

SÉNAT

1^{re} SESSION ORDINAIRE DE 1963-1964

Annexe au procès-verbal de la séance du 13 novembre 1963.

AVIS

PRÉSENTÉ

au nom de la Commission des Affaires économiques et du Plan (1),
sur le projet de loi de finances pour 1964, ADOPTÉ PAR
L'ASSEMBLÉE NATIONALE.

TOME X

Services du Premier Ministre.

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, Octave Bajeux, Auguste-François Billiemaz, Georges Bonnet, Albert Boucher, Amédée Bouquerel, Marcel Brégégère, Raymond Brun, Michel Champleboux, Henri Claireaux, Emile Claparède, Maurice Coutrot, Etienne Dailly, Léon David, Jean Deguise, Roger Delagnes, Henri Desseigne, Hector Dubois, Jacques Duclos, Emile Durieux, Jean Errecart, Jean Filippi, Jean de Geoffre, Victor Golvan, Léon-Jean Grégory, Roger du Halgouet, Yves Hamon, Roger Houdet, René Jager, Eugène Jamain, Michel Kauffmann, Henri Lafleur, Maurice Lalloy, Robert Laurens, Marcel Lebreton, Modeste Legouez, Marcel Legros, Henri Longchambon, Charles Naveau, Gaston Pams, Guy Pascaud, François Patenôte, Pierre Patria, Marc Pautzet, Paul Pelleray, Lucien Perdereau, Jules Pinsard, Michel de Pontbriand, Henri Prêtre, Eugène Ritzenthaler, Abel Sempé, Charles Suran, Gabriel Tellier, René Toribio, Henri Tournan, Camille Vallin, Emile Vanrullen, Jacques Verneuil, Pierre de Villoutreys.

Voir les numéros :

Assemblée Nationale (2^e législ.) : 549 et annexes, 568 (Tomes I à III et annexe 18)
586 (Tomes I et II, annexe VIII) et in-8° 101.

Sénat : 22 et 23 (Tomes I, II et III, annexe 18) (1963-1964).

SOMMAIRE

	Pages.
Introduction.	—
I. — <i>Production du combustible nucléaire</i>	3
1° Politique générale en matière de recherche et exploitation minière	4
2° Concentré d'uranium.....	4
3° Uranium métal.....	6
4° Plutonium et traitement de l'uranium irradié.....	6
5° Usine de la Hague.....	7
6° Uranium enrichi : usine de Pierrelatte.....	7
II. — <i>Production d'énergie électrique d'origine nucléaire</i>	10
1° Perspectives de développement de l'énergie électrique d'origine nucléaire.....	11
2° Les centrales de Chinon.....	11
3° Les autres centrales.....	13
4° Les problèmes de sécurité dans les centrales nucléaires.....	15
5° Accidents survenus à l'étranger.....	16
III. — <i>Activité des centres d'études nucléaires</i>	17
1° Applications de l'énergie nucléaire.....	18
A. — Les réacteurs de puissance et les différentes filières.....	19
B. — Autres applications.....	23
2° Recherches fondamentales.....	23
3° Etudes diverses.....	24
IV. — <i>Prévisions financières sur le plan civil pour 1964</i>	25
1° Analyse par nature de dépenses.....	26
2° Développement par grands objectifs.....	29
A. — Fonctionnement des installations en place et poursuite des investissements en cours.....	29
B. — Opérations propres à 1964.....	33
3° Décomposition des investissements financés sur prêts du Fonds de développement économique et social.....	35
V. — <i>Euratom</i>	37
Conclusion	39
ANNEXES :	
I. — Liste des accélérateurs de particules.....	42
II. — Liste des réacteurs de recherches et d'essais.....	43
III. — Assemblage Critiques.....	44

Mesdames, Messieurs,

Les questions concernant l'énergie atomique sont plus que jamais d'une brûlante actualité.

Les visites du Chef du Gouvernement à Chinon, du Chef de l'Etat à Pierrelatte et à Cadarache, la publicité qui en a été faite dans les journaux et à la télévision ont attiré l'attention du grand public à ce sujet.

Les articles extrêmement nombreux parus dans la grande presse et dans les journaux spécialisés ont analysé les différents problèmes posés par l'emploi de l'énergie atomique.

Une confusion a d'ailleurs été entretenue entre les usages civils et militaires de l'énergie nucléaire, de façon à justifier, par l'intérêt de la science, l'importance énorme des crédits proposés au budget militaire.

Votre Commission des Affaires économiques et du Plan a examiné l'utilisation prévue pour les crédits proposés par le Gouvernement au budget de l'exercice 1964 pour l'usage civil de l'énergie atomique.

Comme les années précédentes, elle a étudié plus spécialement :

- la production du combustible nucléaire et son évolution ;
- la production d'électricité d'origine atomique et les perspectives de développement ;
- l'activité des différents centres du C. E. A.

I. — Production du combustible nucléaire.

1° POLITIQUE GÉNÉRALE EN MATIÈRE DE RECHERCHES ET EXPLOITATIONS MINIÈRES

La politique générale du C. E. A. en matière de recherches et exploitations minières restera dominée en 1964 comme en 1963 par les mesures qu'il a fallu prendre pour faire face à la réduction momentanée de la demande. Mais les perspectives de développement des consommations qui se dessinent, à partir de 1970, en France, comme d'ailleurs dans le reste du monde, confirment l'opportunité de la politique adoptée, qui aura permis de maintenir intact au cours de la période difficile, le potentiel de production français acquis dès les années 1960.

En fait, l'équilibre production-consommation sera réalisé dès 1964 et les années suivantes verront rapidement décroître la fraction excédentaire du stock constitué ces dernières années.

Toutefois, le souci de maintenir le prix français au niveau des contrats de longue durée passés par les Etats-Unis avec leurs producteurs nationaux ou leurs fournisseurs étrangers, ne va pas sans rendre difficile un équilibre financier en raison des frais fixes sur des installations utilisées au-dessous de leur capacité.

Les entreprises privées produisant de l'uranium en France (20 % de la production métropolitaine en 1963) partagent les mêmes soucis, les deux plus importantes viennent d'accepter un étalement dans le temps de leurs livraisons contractuelles, le C. E. A. leur ayant offert en compensation une augmentation des quantités totales à livrer. Ces mesures sont destinées à leur permettre de maintenir un niveau d'activité suffisant en attendant la reprise des besoins.

La connaissance, améliorée chaque année, des ressources du sous-sol métropolitain en uranium conduit à penser que nos réserves ne suffiront pas à couvrir intégralement le développement important

des consommations qui est attendu dans la prochaine décennie. Le souci d'assurer la sécurité des approvisionnements impose d'assigner un certain plafond annuel au recours à nos réserves nationales, de façon à maintenir celles-ci aussi longtemps que possible au-dessus d'un niveau minimum de sécurité.

Il convient donc que pour assurer en temps opportun des sources de productions extérieures abondantes et diversifiées le Commissariat à l'Énergie atomique maintienne et même intensifie son action à l'étranger. Dans les pays africains dans lesquels il a déjà mené une action de prospection générale, il souhaite associer à son effort les entreprises privées françaises et même éventuellement étrangères, déjà engagées dans la production ou la recherche de l'uranium. Parallèlement, dans certains pays étrangers (Argentine, Brésil, notamment), il compte poursuivre son effort d'assistance technique en vue d'ouvrir à ces pays la possibilité de mettre eux-mêmes en valeur leurs ressources en collaboration avec lui.

Dans le cadre général qui vient d'être évoqué, ces programmes de prospection et recherches minières seront orientés en fonction des résultats nouvellement acquis dont les plus significatifs sont actuellement les suivants :

En Métropole :

Confirmation de l'intérêt qui s'attache aux gisements de l'Hérault, considérés comme déjà capables de produire de quatre à cinq mille tonnes d'uranium.

Outre-Mer :

— bilan négatif des recherches opérées dans la région de Marafénobé à Madagascar où les recherches vont être abandonnées ;

— intérêt soutenu des indices catalogués au Niger où se poursuit un important effort en vue de préciser l'extension et la teneur moyenne des gites découverts et de tester leur intérêt industriel ;

— poursuite de l'inventaire des indices répertoriés au Gabon autour du gisement de Franceville ;

— justification de l'envoi d'une mission en Centre-Afrique où l'on a repéré une suite de belles minéralisations dont l'extension est suffisante pour laisser espérer la présence d'un gisement.

2° CONCENTRÉS D'URANIUM

La production de préconcentrés et de concentrés d'uranium, compte tenu des origines géographiques et des organismes producteurs, évoluera comme suit :

	1963			1964		
	C. E. A.	Autres producteurs.	Total.	C. E. A.	Autres producteurs.	Total.
<i>France :</i>						
Vendée et Bretagne (usine de l'Escarpière)	241	55	296	244	62	306
Limousin et Centre (usine de Bessines)	336	132	468	272	126	398
Forez (usine de Saint-Priest)..	250	»	250	279	»	279
Total Métropole.....	827	187	1.014	795	188	983
<i>Outre-Mer :</i>						
Gabon (usines de Mouana et Geugnon)	»	433	433	»	392	392
Madagascar	55	38	93	87	38	125
Total Outre-Mer.....	55	471	526	87	430	517
Production totale.....	882	658	1.540	882	618	1.500

3° URANIUM MÉTAL

La production d'uranium métal qui continue d'être assurée par les usines du Bouchet (C. E. A.) et de Malvesi (Société pour le raffinage de l'uranium), après s'être maintenue en 1963 comme les trois années précédentes à un niveau de l'ordre de 1.000 à 1.200 t va s'établir à partir de 1964 à un nouveau palier de l'ordre de 1.500 t/an.

Les années qui viennent de s'écouler ont été mises à profit pour perfectionner les procédés et améliorer la gestion des usines, ce qui a permis d'abaisser le prix du raffinage de 20 % entre 1961 et 1963, alors que dans le même temps les indices des salaires et des produits utilisés pour le raffinage s'accroissaient sensiblement.

Enfin le procédé d'élaboration du métal par magnésiothermie mis au point à l'usine du Bouchet au stade de l'atelier pilote sera utilisé dès 1964 à l'échelle industrielle et ouvrira la porte à de nouveaux progrès en matière de prix de revient.

4° PLUTONIUM ET TRAITEMENT DE L'URANIUM IRRADIÉ

Le fonctionnement du Centre de Marcoule a été satisfaisant en 1963 et le programme des livraisons de plutonium a été respecté.

La pile G 1 a continué à faire preuve d'une remarquable régularité de marche.

L'amélioration sensible de la puissance des piles G 2, G 3, entamée en 1962 et poursuivie en 1963, a permis d'absorber sans difficulté les pertes de production dues aux arrêts auxquels il a fallu consentir pour réaliser certaines modifications, notamment sur le circuit de réfrigération.

Le déchargement du combustible qui avait été longtemps un sujet de préoccupation a continué à fonctionner parfaitement depuis qu'un nouveau type de combustible a été adopté.

Les travaux du nouvel atelier de dissolution, destiné à remplacer l'atelier existant pour mieux garantir la sécurité de marche de l'ensemble du circuit de production de plutonium, ont été activement menés ; il doit entrer en service dans le courant de 1964.

5° USINE DE LA HAGUE

A. — *Evolution de la construction.*

— En ce qui concerne les bâtiments nucléaires, il y a lieu de noter que la partie actuellement la plus avancée est constituée par les travaux de génie civil « piscine et dégainage » dont les trois quarts à peu près sont terminés.

Les travaux de génie civil du bâtiment haute activité en sont aux deux tiers et ceux du bâtiment moyenne activité au tiers de leur réalisation.

Le bâtiment central est presque terminé.

Le bâtiment décontamination est en cours d'études.

— En ce qui concerne *les bâtiments des services généraux et administratifs*, on note les stades suivants d'avancement : *Magasins* : le gros œuvre en est à 70 %, une mise en service partielle est prévue vers novembre 1963. *Ateliers* : le gros œuvre est réalisé au 1/5. *Chaufferie* : le gros œuvre en est à 70 %. Le montage de la chaudière a débuté le 1^{er} octobre 1963. Le réseau d'eau surchauffée en est à 10 %. *Poste électrique HT* : le gros œuvre en est à 15 %. *Station de réfrigération d'eau* : le gros œuvre en est à 40 % (matériel livré à partir du 15 octobre 1963). *Restaurant et médical* : démarrage des travaux le 15 octobre 1963. *Administration* : gros œuvre à 10 %. *Sécurité* : les fouilles sont terminées. *Barrage* : la mise en place des matériaux est commencée. La mise en eau partielle ou totale doit être effectuée à fin 1963 si les conditions atmosphériques le permettent. *Rejet des effluents* : le caniveau devant recevoir la conduite est terminé. La pose de la conduite partie terrestre a eu lieu le 15 octobre 1963. Pour la partie marine, le marché vient d'être passé pour réalisation en 1964.

— *Quant au laboratoire de radioécologie marine*, dont l'équipement s'achève, la mise en service est prévue pour novembre 1963.

B. — *Entrée en fonctionnement.*

L'usine de la Hague doit entrer en fonctionnement au printemps 1966.

C. — *Utilisation du plutonium.*

La France produit du plutonium à Marcoule dans les piles G 1, G 2 et G 3, et il semble que la totalité de ce plutonium ait été utilisée pour des usages militaires.

C'est ainsi que pour les réacteurs expérimentaux en voie d'installation à Cadarache, Rapsodie et Mazurca, il est nécessaire d'acheter du plutonium à l'Angleterre et aux Etats-Unis.

Ainsi, pour le premier cœur de Rapsodie, 90 kg de plutonium seront nécessaires. Le prix d'achat prévu pour ces 90 kg est de 40 millions de francs.

Avec le plutonium nécessaire pour Masurca, c'est une dépense de 150 millions de francs qui est à prévoir, dont une partie sera prise en charge par l'Euratom.

L'usine de la Hague produira du plutonium à la fois pour les besoins militaires et les besoins civils.

Votre Commission aurait voulu connaître la quantité de plutonium susceptible d'être fabriquée lorsque l'usine sera terminée. Le secret lui a été opposé.

La question était importante. C'est qu'en effet, l'avenir de la production d'énergie électrique repose sur l'emploi du plutonium comme combustible nucléaire, lorsque la technique en aura été maîtrisée.

Il sera alors possible de tirer de l'uranium des quantités d'énergie électrique considérablement plus importantes qu'avec les techniques actuelles : 60.000 mégawattjour par tonne au lieu de 3.000.

Votre Commission a voulu connaître dans quelles conditions la production de plutonium faiblement irradié et susceptible d'être employé à des fins militaires, était prévue à l'usine Chinon I. La réponse suivante lui a été faite :

a) L'objectif primordial de la centrale de Chinon E. D. F. I en cours de démarrage, est la mise au point d'une centrale dans la perspective de la compétitivité de l'énergie nucléaire avec l'énergie classique.

La production de plutonium « militaire » dont il existe d'ailleurs différentes qualités n'y sera donc pas recherchée, lorsque la centrale fonctionnera en régime permanent, d'une façon systématique encore qu'il ne soit pas exclu que certaines quantités de plutonium soient utilisées à des fins militaires, compte tenu des besoins susceptibles de se manifester en ce domaine. Mais cette utilisation éventuelle resterait accessoire et se situerait en marge de l'activité de cette centrale qui demeure fondamentalement civile et est soumise au contrôle d'Euratom ;

b) L'uranium irradié sera traité essentiellement au centre de la Hague, avec appel éventuel au centre de Marcoule à titre de secours ;

c) L'accord avec E. D. F. est actuellement en cours d'élaboration. Les modalités de remboursement des frais tiendront compte aussi bien du coût de retraitement que de la valeur du plutonium.

6° URANIUM ENRICHI : USINE DE PIERRELATTE

A. — *Etat d'avancement de l'usine.*

Le complexe industriel de Pierrelatte comporte trois zones principales :

- une zone pilote ;
- une zone d'ateliers et de magasins ;
- une zone des usines.

L'installation pilote construite en 1961 a permis d'abriter :

— les pilotes de l'usine basse qui fonctionnent depuis fin novembre 1962 et ont permis de vérifier que les prévisions des ingénieurs avaient été correctes, en particulier en ce qui concerne le facteur d'enrichissement ;

— les pilotes de l'usine moyenne et de l'usine haute qui ont démarré à la fin du premier semestre 1963 ;

— les pilotes de l'usine très haute trouveront leur place prochainement auprès des autres pilotes.

Les ateliers de montage et d'entretien ont été construits en 1961 et mis en service comme prévu dans le deuxième semestre 1962.

Ils fonctionnent normalement, ainsi que les services généraux du centre.

La zone des usines comportera quatre usines :

- l'usine basse ;
- l'usine moyenne ;
- l'usine haute ;
- l'usine très haute.

Le génie civil de l'usine basse est terminé, les travaux de montage, de l'appareillage sont eux-mêmes très avancés et les premiers éléments de l'usine basse entreront en service dans les premiers mois de 1964.

Le génie civil de l'usine moyenne est très avancé (80 % environ) et celui de l'usine haute a démarré en juin dernier.

Simultanément, la fabrication des appareillages devant entrer dans ces usines a été lancée.

A côté du Centre de Pierrelatte relevant du commissariat à l'énergie atomique se trouvent d'autres usines ressortissant à l'industrie privée :

— l'usine de fabrication d'éléments catalytiques qui fabrique les barrières destinées aux usines et qui est en exploitation industrielle depuis octobre 1962 ;

— l'usine chimique de Pierrelatte, dont les ateliers qui produisent le fluorure et l'hexafluorure d'uranium sont déjà en fonctionnement.

B. — *Prix de revient de l'uranium enrichi.*

La commission a voulu connaître quel était le prix de revient de l'uranium enrichi qui sera fabriqué à Pierrelatte.

La réponse suivante lui a été faite par le commissariat à l'énergie atomique :

« Au point où nous en sommes de la construction, et compte tenu du fait que nous n'avons pour le moment que l'expérience des pilotes, il paraît prématuré d'avancer un prix de revient qui sera fonction à la fois du total des investissements, du montant annuel des frais de fonctionnement et du rendement final du procédé qui ne peut encore être évalué avec une suffisante précision. »

Un article récent, paru dans l'hebdomadaire *L'Express*, indique que l'uranium 235 français coûterait 12 fois plus cher que l'uranium 235 américain, dont le prix serait actuellement de 12 dollars, soit 6.000 anciens francs le gramme environ.

Il ne semble pas que l'uranium enrichi qui sera fabriqué à Pierrelatte puisse être utilisé d'une façon compétitive pour la production d'énergie électrique.

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

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

La production d'électricité d'origine nucléaire n'atteint actuellement que quelques centaines de millions de kWh par an à Marcoule. Grâce à la mise en service des centrales en construction, elle atteindra près de 2 milliards de kWh en 1965 et de 10 milliards en 1970.

Le programme en cours est en effet le suivant :

SITES ET NOMS DES CENTRALES	PUISSANCE (1.000 kW).	MISE en service.
<i>Chinon :</i>		
E. D. F. 1.....	(2) 60-70	1963
E. D. F. 2.....	(2) 170-190	1964
E. D. F. 3.....	(2) 375-480	1966
<i>Brennilis :</i>		
EL 4.....	80	1966
<i>Choos :</i>		
Sena	(1) 133	1966
<i>Saint-Laurent des Eaux :</i>		
E. D. F. 4.....	(3) 400	1968

(1) Moitié de la puissance totale de cette centrale franco-belge.

(2) Puissance initialement prévue et puissance espérée.

(3) Chiffre indicatif.

Une nouvelle centrale de la filière uranium naturel-graphite-gaz carbonique, comme E. D. F. 1, 2, 3 et 4, est prévue au programme 1965 pour être mise en service en 1970. Certaines dépenses préparatoires seront déjà effectuées en 1964.

Le rythme moyen d'engagement prévu par le IV^e Plan, soit : 200 mW/an, aura donc été respecté.

Aucune décision n'a encore été prise pour les programmes des années ultérieures, c'est-à-dire pour le V^e Plan (1966-1970). Des études sont en cours à ce sujet.

Le coût de construction d'une centrale nucléaire est actuellement sensiblement supérieur à celui d'une centrale thermique classique de même puissance. Il tend à s'en rapprocher. L'écart est de l'ordre de 50 p. 100 pour des centrales mises en service en 1966 et devrait s'abaisser à 20 p. 100 pour des centrales mises en service vers 1970. Par contre, les frais de combustible par kWh devraient être inférieurs d'environ 60 p. 100.

Il semble que le prix de revient du kWh qui sera produit par E. D. F. 3 et E. D. F. 4 sera du même ordre que celui du

kWh thermique classique, et qu'il sera donc raisonnable de prévoir des programmes plus importants, par exemple une centrale de 400 mW de la filière uranium naturel-graphite-gaz tous les ans au lieu de tous les deux ans.

La production d'électricité d'origine nucléaire pourrait ainsi atteindre une trentaine de milliards de kWh en 1975, comme le prévoit le document de la Communauté économique européenne intitulé « Etudes sur les perspectives énergétiques à long terme de la Communauté européenne » (a).

L'insuffisance des ressources nationales d'énergie milite en faveur d'une telle politique. L'alimentation en combustibles des centrales thermiques d'E. D. F. exigera de recourir à l'importation à partir de 1965 ou 1966 et les tonnages de combustibles importés ne pourront que s'accroître tant que le nucléaire ne pourra faire face à l'essentiel des nouveaux besoins d'électricité.

C'est vers les années 1972-1975 qu'un tel objectif pourrait être atteint. Le nucléaire, qui ne représenterait encore que 15 p. 100 des besoins en 1975, pourrait couvrir environ la moitié en 1985.

La contribution des différentes filières, uranium naturel-graphite, uranium naturel-eau lourde et uranium enrichi, dépendra des progrès accomplis dans chacune d'elles et de leur prix de revient, ainsi que des résultats qui auront pu être obtenus dans le domaine des réacteurs surrégénérateurs qui permettront d'utiliser beaucoup plus complètement les ressources naturelles d'uranium.

2. LES CENTRALES DE CHINON

A. *Mise en service de la centrale E. D. F. 1.*

La centrale E. D. F. 1 a été couplée sur le réseau le 14 juin 1963 et a atteint une puissance de 28 mW. Le programme d'essais et de mesures nucléaires se poursuit ainsi que la mise au point du matériel. La pleine puissance — environ 60 mW — devrait être atteinte en novembre.

La montée en puissance d'une centrale nucléaire doit être précédée d'un grand nombre d'essais et de mesures physiques qui ne peuvent être effectuées qu'après mise en place du combustible dans le réacteur qui est donc dès ce moment en état de diverger.

(a) Ce document prévoit des chiffres analogues pour l'Allemagne et l'Italie.

Les mesures concernant en particulier l'intensité et la répartition des flux neutroniques et d'étalonnage des moyens de contrôle et de sécurité. Elles doivent être exécutées en plusieurs séries à différentes températures.

Dans le cas d'E. D. F. 1, ces mesures ont été d'autant plus nombreuses qu'il s'agissait de la première pile d'E. D. F. conçue pour la production d'électricité. La divergence a eu lieu le 16 septembre 1962 et les premiers kWh ont été produits le 14 juin 1963.

A titre de comparaison, les premières piles énergétiques anglaises de Berkley et de Bradwell, qui ont divergé pour la première fois en août 1961, n'ont été couplées sur le réseau qu'en juin 1962.

Dans le cas d'E. D. F. 1, la durée des mesures a été toutefois prolongée par quelques incidents mécaniques sur les appareils de manutention du combustible. En particulier, le bras de l'appareil inférieur a été détérioré à la suite d'une succession de deux incidents et a dû être remplacé ; des mesures ont été prises pour en éviter le retour.

Depuis le mois de juin 1963, d'autres difficultés sont apparues. Le graphite avait une teneur en eau considérée comme trop forte et il a dû être séché par une circulation de gaz carbonique. Une partie de la turbine a dû être retournée quelques jours chez le constructeur pour réparation.

Les enseignements retirés du démarrage d'E. D. F. 1 bénéficieront à ceux d'E. D. F. 2 et d'E. D. F. 3. Ils devraient permettre de réduire la durée totale des essais, d'accélérer les réglages et les mises au point des appareils et de prévenir les incidents d'ordre mécanique qui sont apparus au cours des essais.

B. — E. D. F. 2.

Le génie civil est terminé ainsi que le caisson sphérique métallique qui a été essayé hydrauliquement avec succès.

La construction de ce caisson n'a donné lieu à aucun incident, grâce à l'expérience acquise avec E. D. F. 1.

De nombreux organes principaux comme les soufflantes, turbine, ont été essayés, ainsi que l'appareil de manutention.

L'empilement du graphite est commencé et la divergence est actuellement prévue pour le mois de novembre 1964 et la mise en service au cours du premier trimestre 1965.

C. — E. D. F. 3.

Le bétonnage du caisson en béton précontraint sera terminé à la fin de l'année. Le montage du matériel est commencé.

La divergence est prévue pour le mois de novembre 1965.

3. LES AUTRES CENTRALES

A. — E. D. F. 4.

Saint-Laurent-des-Eaux. — Les travaux préparatoires viennent de commencer par l'implantation des routes et les terrassements.

La mise en service est prévue pour 1968.

B. — E. L. 4.

Le site des monts d'Arrée est un site E. D. F. sur lequel le Commissariat à l'Energie atomique et Electricité de France travaillent simultanément (la situation était analogue à Marcoule mais le site était un site C. E. A.).

Tous les travaux préparatoires d'aménagement du site sont terminés et le génie civil du réacteur est très avancé.

Les montages pourront commencer au début de l'année 1964 et la mise en service est prévue pour l'année 1966.

C. — *Centrale des Ardennes.*

Quelques difficultés géologiques ont retardé d'environ 6 mois le programme prévu et la mise en service est maintenant envisagée pour le milieu de l'année 1966.

Le programme d'excavation en souterrain se poursuit normalement et plus des deux tiers de l'excavation sont achevés.

La cuve sous pression, pièce maîtresse de l'équipement, est presque terminée et pourra être montée à la date prévue.

D. — E. D. F. 5.

Le réacteur E. D. F. 5, qui fera suite au réacteur E. D. F. 4 de Saint-Laurent-des-Eaux, est actuellement à l'étude. Le site sur lequel il sera placé n'a pas encore été fixé.

Dans l'esprit d'Electricité de France, E. D. F. 5 réaliserait un nouveau pas en avant dans les caractéristiques nucléaires. En effet, du point de vue nucléaire, le réacteur E. D. F. 4 est pratiquement semblable à E. D. F. 3; mais sa conception d'ensemble est différente, puisqu'il comporte notamment l'intégration des échangeurs à l'intérieur du caisson.

Au point de vue des dispositions générales, E. D. F. 5 serait peu différent d'E. D. F. 4; mais, par contre, ses caractéristiques nucléaires, et notamment sa densité de puissance, seraient améliorées éventuellement par l'emploi d'éléments annulaires refroidis à la fois extérieurement et intérieurement, alors que ceux des réacteurs précédents ne sont refroidis qu'extérieurement.

4° PROBLÈMES DE SÉCURITÉ DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

Electricité de France se tient en liaison étroite avec les Services compétents du Commissariat à l'Energie atomique pour les questions de sécurité.

Les projets de centrales de puissance d'Electricité de France font l'objet de rapports de sécurité qui sont soumis à l'examen et à l'approbation du Commissariat à l'Energie atomique.

Ces rapports envisagent les divers incidents qui peuvent se présenter et décrivent les dispositifs réalisés ou les moyens envisagés pour éviter ces incidents et en minimiser les conséquences.

La mise en service d'une centrale de puissance n'est faite que lorsque l'accord des spécialistes du Commissariat à l'Energie atomique a été obtenu sur chacun des aspects de la sécurité. Cette mise en service est faite progressivement, par paliers successifs de puissance. A chaque palier, on vérifie l'accord des prévisions avec les valeurs réellement constatées avant de passer au palier supérieur. Des spécialistes du Commissariat à l'Energie atomique participent aux opérations de mise en service.

Au cours de l'exploitation, c'est-à-dire de l'apparition des radiations ionisantes, le contrôle de la sécurité est fait par un service spécial : le Service de protection contre les radiations. Les agents de ce service qui ont reçu une formation spéciale sont constamment présents au cours de l'exploitation. Ils sont munis

des appareils de mesure et de contrôle nécessaires ; ils sont habilités à prescrire toutes mesures qu'ils jugent nécessaires à la sécurité. Leur intervention est plus particulièrement requise au cours d'opérations exceptionnelles telles que : chargement de combustible, etc... Ces agents ont autorité pour prescrire toutes mesures, allant jusqu'à l'arrêt de la centrale si la sécurité l'exige.

Une installation médicale très complète est constamment disponible au cas où, malgré toutes ces précautions, on craindrait ou l'on constaterait des effets de contamination.

Le Service central de protection contre les radiations est dirigé par un médecin spécialiste du problème des effets physiologiques des radiations sur le corps humain.

5° ACCIDENTS SURVENUS

On constate que les nombreuses précautions techniques prises au cours de la construction et de l'exploitation des centrales nucléaires ont rendu exceptionnellement rares les accidents ayant affecté le public ou ayant causé des pertes de vies humaines.

Il faut noter que le nombre des centrales nucléaires de puissance en service dans le monde est de l'ordre de la dizaine et que la plus ancienne est exploitée depuis moins de 7 ans. Mais il faut noter aussi *qu'il n'y a pas eu d'accident de centrale nucléaire de puissance.*

Les seuls accidents de quelque importance connus dans le domaine de l'énergie nucléaire sont :

1° Windscale (Royaume-Uni).

Il s'agit d'une pile plutonigène refroidie à l'air, en circuit ouvert. Un incendie de la pile s'est déclaré au cours du réchauffement provoqué du graphite pour réduire ses tensions internes. Aucune conséquence autre qu'une très légère et temporaire contamination de l'herbe, dans un rayon de quelques kilomètres, qui a entraîné — à titre de précaution — des restrictions temporaires dans la consommation du lait dont l'activité, du fait de l'iode, s'est révélée très légèrement supérieure aux normes théoriques, elles-mêmes fixées volontairement très bas.

Il convient de remarquer que les centrales de Chinon sont refroidies en circuit fermé, et non en circuit ouvert, et que leur température de fonctionnement est telle que le recuit du graphite ne sera pas nécessaire, sauf exceptionnellement pour EDF - 1. Cette opération a été renouvelée sur d'autres réacteurs depuis l'incident de Windscale et l'on sait maintenant parfaitement s'en rendre maître.

2° *SL - 1 (Etats-Unis).*

Il s'agit d'un réacteur expérimental de faible puissance arrêté et démonté pour modifications. Au cours du réassemblage, une équipe de nuit de trois hommes peu entraînés et mal encadrés a fait une fausse manœuvre sur une barre de contrôle. Les trois hommes ont été tués, au moins autant par traumatisme que par irradiation.

L'intérieur du bâtiment du réacteur a été fortement contaminé, mais la contamination extérieure a été nulle malgré la construction très rudimentaire du bâtiment de protection du réacteur.

3° *Vinca (Yougoslavie).*

Il s'agit de manipulations effectuées par une équipe de chercheurs sur un réacteur expérimental de construction relativement rudimentaire et avec les moyens de contrôle et d'alarme qui seraient considérés comme inadéquats dans les normes françaises.

L'accident a fait un mort et plusieurs malades qui se sont rétablis grâce aux soins des médecins français.

III. — Les Centres d'études nucléaires.

L'activité et le programme d'études des différents centres du C. E. A. sont complémentaires. L'organisation même du Commissariat l'impose, les départements scientifiques étant rarement implantés sur un seul centre.

Les différentes études concernant un même objectif sont donc en général réparties entre plusieurs centres, suivant des critères variables dont les principaux sont les suivants .

La localisation du centre : urbain (Fontenay-aux-Roses, Grenoble) ou suburbain (Saclay), isolé (Cadarache).

A cette classification, correspond en fait une répartition des études suivant le stade de leur avancement : aux centres urbains et suburbains est réservé le domaine des recherches de laboratoires et d'études ; au centre isolé, on voit apparaître des réalisations au stade semi-industriel, mettant en œuvre des quantités importantes de matières fissiles, ou des expériences plus poussées.

L'équipement du centre en moyens de recherche : accélérateurs, piles de recherche, laboratoires de haute activité, etc., dont l'implantation est en général définitive.

Il paraît donc plus réaliste de donner une vue d'ensemble des principaux objectifs poursuivis au C. E. A., et d'indiquer pour chacun d'entre eux, ce qui est du ressort de chacun des centres d'études nucléaires. Une vue détaillée du point atteint par les programmes du C. E. A. à la fin de 1962 est donnée dans le rapport annuel du Commissariat. On soulignera seulement ici les résultats acquis en 1963 et on s'efforcera de préciser certaines tendances nouvelles.

1° APPLICATIONS DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

A. — *Les réacteurs de puissance et les différentes filières.*

Filière « Graphite-Gaz » :

Cette filière, qui se caractérise par l'utilisation de l'uranium naturel comme combustible, de graphite comme modérateur et du gaz carbonique comme fluide caloporteur, constitue l'objectif principal du C. E. A. et de l'E. D. F. en matière de réacteurs de puissance. Trois réacteurs de ce type, G 1, G 2, G 3, à la fois plutonigènes et électrogènes, fonctionnent depuis 1957 à Marcoule. E. D. F. 1, premier réacteur de l'E. D. F., a divergé à Chinon à la fin de 1962. Les mises au point et les expérimentations liées à sa montée en puissance se poursuivent, on peut espérer que dans un avenir peu éloigné E. D. F. 1 atteindra sa puissance électrique nominale (70 MWe). Pendant le même temps, la construction d'E. D. F. 2 et d'E. D. F. 3 se poursuit suivant le rythme prévu : on peut penser que ces réacteurs seront respectivement en puissance dans le courant des années 1965 et 1966.

La construction d'E. D. F. 4 est décidée et son projet est en cours de mise au point : E. D. F. 4 ne différera d'E. D. F. 3 que par l'intégration des échangeurs dans le caisson et l'inversion du sens de circulation du gaz. La mise en service doit avoir lieu en 1968.

Enfin, on étudie activement E. D. F. 5, qui devrait être d'un type nettement amélioré : machine de déchargement incorporée dans le caisson, empilement lacunaire et, surtout, nouvel élément combustible creux de grand diamètre à refroidissement interne et externe, dont on espère obtenir des performances exceptionnelles. Si ces espérances se réalisent, la mise en service d'E. D. F. 5 marquera une importante étape dans le développement de la filière Graphite-Gaz.

Le prix du kilowatt heure obtenu paraît devoir être compétitif avec celui donné par les centrales non nucléaires à partir d'E. D. F. 3 ou d'E. D. F. 4.

Ce tableau prometteur ne doit pas faire oublier que de nombreuses incertitudes subsistent, que les études actuelles s'efforcent d'éliminer : tenue des éléments combustibles sous irradiation, corrosion radiolytique du gaz carbonique, etc.

Ce type d'études a une importance capitale pour mettre au point n'importe quelle filière de réacteur.

Comment se répartit cet effort entre les différents centres du C. E. A. ?

A Saclay, sont menées : les études neutroniques, mécaniques et thermiques, la conception générale du réacteur, les études d'éléments combustibles et des matériaux, notamment du graphite. Ces études d'éléments combustibles et de matériaux nécessitent de puissants moyens d'irradiations. La pile piscine Siloé qui a divergé à Grenoble en 1963 apporte aux moyens actuels de Saclay un appoint important mais encore très insuffisant vis-à-vis des besoins qui nécessitent la recherche d'irradiations, en général fort coûteuses dans des piles étrangères. Aussi attend-on avec impatience la mise en service d'Osiris, pile piscine d'une puissance inégalée dans le monde (50 MW) qui doit diverger à Saclay à la fin de 1966. Osiris doit remplacer E. L. 2, vieille déjà de plus de dix ans (on notera que les études de sûreté des réacteurs à eau, qui intéressent très directement ces types de pile, recevront une impulsion nouvelle dès la fin de 1963, avec la divergence à Cadarache de la pile Cabri).

Les éléments combustibles pourront être testés dès 1964 dans les conditions même de leur emploi dans le réacteur Pégase, qui a divergé au début de cette année à Cadarache, tandis que les études neutroniques y bénéficieront de l'appoint d'un nouvel empilement critique, dénommé César, actuellement en construction.

Complétant celui de Saclay, on trouvera à Cadarache un laboratoire de très haute activité, destiné à l'étude des combustibles irradiés, tandis qu'à Cadarache encore se développe un Bureau d'information sur les combustibles, dont la mission est de rassembler les éléments statistiques indispensables sur tous les éléments combustibles placés dans les réacteurs français.

On pourra enfin noter que Cadarache doit recevoir dans les prochaines années l'ensemble des expériences critiques du C. E. A. soit par transfert des autres centres, soit par construction d'expériences nouvelles. C'est ainsi qu'en 1964, on y trouvera pour la filière graphite-gaz, Marius (en provenance de Marcoule) et César (en construction).

Filière « eau lourde-gaz » :

Il s'agit d'une filière de réacteurs de puissance, dont le modérateur est l'eau lourde et le fluide caloporteur le gaz carbonique, le combustible étant de l'uranium naturel ou très légèrement enrichi, selon le matériau de gainage sélectionné. Les réacteurs de ce type sont caractérisés par un bilan neutronique plus favorable que ceux de la filière précédente, ce qui permet d'envisager une meilleure économie du combustible.

EL 4, prototype du premier réacteur de puissance, est en construction à Brennilis et devrait diverger dans le courant de 1966. L'avenir de cette filière est lié pour une bonne part à la mise au point d'un matériau de gainage permettant d'utiliser l'uranium naturel comme combustible : pour le moment, le béryllium paraît seul remplir les conditions exigées et l'étude de sa métallurgie et de sa technologie est menée activement sans qu'on puisse encore augurer du résultat final. D'autres matériaux de gainage, mais exigeant un très léger enrichissement de l'uranium, sont également étudiés : alliages fer-aluminium et zirconium-cuivre.

Pégase, conçu principalement pour tester les éléments combustibles de la filière prioritaire, pourra servir également au test des éléments de la filière eau lourde-gaz, moyennant quelques adaptations.

L'expérience tirée d'EL 4 sera un atout majeur pour décider de la suite de cette filière.

Pour la filière eau lourde-gaz, on trouve une même répartition des tâches que dans la filière graphite-gaz. Au stade actuel, elles se trouvent cependant plus concentrées sur Saclay, où se mène une grande part des études sur le béryllium. Grenoble, de son côté, participe activement aux études sur le fer-aluminium et sur les combustibles réfractaires à l'uranium. Pour les expériences critiques, elles seront prochainement centralisées à Cadarache.

Filière neutrons rapides :

Les réacteurs envisagés dans cette catégorie sont plus connus sous le nom de breeders, ou surrégénérateurs ; leur caractéristique essentielle est en effet de produire plus de matière fissile qu'ils n'en consomment, et en particulier de fabriquer à partir de l'uranium 238, isotope le plus abondant de l'uranium naturel mais non fissile, du plutonium fissile. Ils permettent donc de tirer le plus grand parti des ressources en uranium et de répondre au mieux à la demande en énergie. Cependant leur technique est actuellement dans l'enfance, le premier réacteur français de ce type, Rapsodie, ne devant diverger que fin 1966 à Cadarache. Dans une perspective à long terme, il semble que cette filière doive finir par prendre une place prépondérante, parmi tous les autres types de réacteurs envisageables.

Rapsodie est étudié en association avec Euratom. Dès 1966, une maquette critique dénommée Masurca devrait permettre de franchir un nouveau pas vers la réalisation du premier prototype industriel de cette filière, qui pourrait être lancée vers la fin de cette décennie.

Les études de cette filière se développent principalement dans trois des centres du C. E. A. ; à Saclay, conception générale, études de neutroniques, etc. ; à Fontenay-aux-Roses, études sur les métaux liquides et études de base sur le plutonium, spécialité de ce centre.

A Cadarache, expérimentation sur les métaux liquides (halls HR 1 et HR 2), fabrication des éléments combustibles au plutonium, réacteur source Harmonie (divergence fin 1964), expérience critique Masurca essentielle pour la suite de la filière, tandis que, comme on l'a vu, Rapsodie y est en construction.

Propulsion navale nucléaire :

Réacteur à eau ordinaire — uranium enrichi — le prototype à terre d'un moteur naval va bientôt entrer en service à Cadarache, qui de ce fait constitue le pôle d'attraction dans ce domaine. Cependant on notera que les études de ce prototype se terminent à Saclay, tandis que la contribution de Grenoble, très importante, s'est exercée dans le domaine des transferts thermiques et de l'étude de l'ébullition.

Autres filières :

Le C. E. A. s'intéresse également, dans le cadre d'associations internationales, à l'étude d'autres types de réacteurs :

— réacteurs à haute température : projets Dragon et BBC/Krupp ;

— réacteurs à eau lourde et fluide caloporteur organique : projet Orgel, étudié à Grenoble en association avec Euratom.

B. — *Autres applications de l'énergie nucléaire.*

Parmi celles-ci, la principale est la production et le développement industriel des radio-éléments, activité en accroissement constant et centrée sur l'usine de radio-éléments de Saclay.

On notera enfin qu'à partir de 1963, le C. E. A. consacre à la demande du C. N. E. S. des moyens très réduits à l'étude exploratoire des possibilités d'application de l'énergie nucléaire à l'espace.

2° RECHERCHE FONDAMENTALE

C'est à Saclay que se concentre la majeure partie des activités du C. E. A. en matière de recherche fondamentale.

A Saclay, les recherches en matière de *physique corpusculaire à haute énergie* restent basées sur l'exploitation intensive de l'accélérateur de 3 GeV Saturne, auquel sera prochainement apportée une amélioration importante (éjection du faisceau). Les physiciens du C. E. A. s'efforcent de tirer le meilleur parti de cette machine, ainsi que du synchrotron du C. E. R. N. à Genève ; la mise au point de chambres à bulles s'est développée pendant l'année 1963.

Le C. E. A. participe par ailleurs aux études d'un synchrotron national de 45 à 60 GeV (1) destiné à entrer en service dans quelques années (projet Jupiter). Dans le domaine des *moyennes et basses énergies*, l'année 1963 a vu la mise en service d'un Van de Graaff tandem de 12 MeV (2) à Saclay. En 1964, on prévoit la mise en service d'un cyclotron à énergie variable Philips tandis que l'accélérateur linéaire actuel de Saclay verra sans doute ses performances améliorées.

Quant aux recherches sur la *fusion contrôlée* elles se poursuivent à Fontenay-aux-Roses, à un rythme stable. L'éventualité d'une résolution rapide du problème de la domestication de l'énergie de la fusion thermonucléaire étant écartée, les études actuelles sont orientées vers la connaissance approfondie de la physique des plasmas.

On notera enfin les résultats intéressants obtenus en physique du solide, tant à Saclay qu'à Grenoble.

Par ailleurs, la priorité est affectée d'une part à Saclay aux recherches de biologie et de biophysique nucléaires, d'autre part au développement des recherches sur l'agronomie, qui seront menées sur le Centre de Cadarache.

3° ETUDES DIVERSES

La tendance est d'une part de généraliser la transistorisation des équipements, notamment de contrôle des piles, d'autre part de faire bénéficier les études d'électronique nouvelle (électronique intégrée notamment) de la collaboration étroite de physiciens du solide. Cette action se développe à la fois à Saclay et à Grenoble.

Par ailleurs, dans le domaine de la protection sanitaire, le C. E. A. souhaite donner des bases expérimentales plus approfondies à la définition des normes à appliquer dans la protection radiologique. Une action se développe dans ce sens dès 1963, et s'étendra sur plusieurs années. Un regroupement de toutes les activités dans ce domaine à Fontenay-aux-Roses est envisagé.

(1) Milliard d'électrons-volts.

(2) Million d'électrons-volts.

IV. — Les prévisions financières sur le plan civil pour 1964.

Le projet de loi de finances pour 1964 prévoit, au titre du chapitre 62-00 « Subvention au C. E. A. », les demandes suivantes :

- autorisations de programme : 1.562 millions de francs ;
- crédits de paiement : 1.820 millions de francs.

Ces dotations, qui ont été calculées, abstraction faite des transferts devant être affectués, en cours d'année, à partir du budget des armées, sont complétées par des prêts du F. D. E. S. et par des ressources propres du C. E. A.

Dans ces conditions, l'enveloppe financière globale impartie au C. E. A. pour 1964 présente la structure suivante :

COMPOSITION DE L'ENVELOPPE	AUTORISATIONS de programme.	CREDITS de paiement.
Subvention inscrite au chapitre 62-00.....	1.562	1.820
Prêts du F. D. E. S.....	118	120
Ressources propres et reliquats sur années antérieures	190	150
Total	1.870	2.090

En ce qui concerne la ligne « ressources propres et reliquats sur exercices antérieurs » le calcul des prévisions concernant 1964 a été effectué à partir des éléments suivants :

— les résultats de l'année 1963 confirment la prévision initiale articulée pour cet exercice — soit 122 millions (ventes : 15 ; prestations de services, produits financiers, divers : 5 ; Euratom : 102) ;

— les recettes attendues pour 1964 de la collaboration avec Euratom doivent se situer à un niveau inférieur à celui prévu pour 1963. En effet, contre une prévision de 102 millions en 1963, il n'est guère possible de retenir, pour 1964, un chiffre supérieur

à 80 millions de francs. Cette situation s'explique par le fait que les recettes de 1963 comprenaient pour partie des paiements dus par l'organisation internationale au titre des années antérieures ;

— en revanche, sans qu'il soit encore possible d'articuler un chiffre précis, des recettes peuvent être escomptées en 1964 au titre du fonctionnement de la centrale nucléaire de Chinon EDF 1 ;

— de même, des plus-values de recettes peuvent raisonnablement être attendues des ventes et des prestations de service évaluées pour 1963 à 20 millions de francs ;

— enfin, la prévision concernant les autorisations de programme tient compte des reliquats d'autorisations de programme affectées au cours des années antérieures à des opérations et qu'il sera possible d'annuler en 1964.

C'est le jeu de ces différents éléments qui a permis de fixer les prévisions des ressources propres pour l'exercice 1964 au montant de 190 millions de francs en autorisations de programme et 150 millions de francs en crédits de paiement.

*
* *

Pour la première fois en 1964, le projet de loi de finances donne, à titre indicatif, une analyse de l'enveloppe entre les rubriques élémentaires des dépenses par nature.

Il a paru intéressant, pour donner une vue d'ensemble des crédits demandés :

— d'analyser la ventilation de l'enveloppe entre les 5 principales rubriques de dépenses par nature ;

— de présenter les grandes lignes de développement par objectifs des dotations demandées ;

— d'indiquer les composantes majeures des investissements financés à l'aide des prêts du F. D. E. S.

*
* *

1° ANALYSE PAR NATURE DE DÉPENSES

La présentation de l'enveloppe de 1.870 millions d'autorisations de programme impartie au C. E. A. pour 1964 sous forme d'une analyse entre cinq rubriques principales de dépenses par nature est destinée à répondre aux desiderata formulés par les rapporteurs

parlementaires : elle permet en effet d'assurer une information plus complète du Parlement lors de l'examen du projet de budget.

Il est cependant nécessaire de souligner qu'une telle analyse, faite à cette époque de l'année, conserve encore un caractère prévisionnel. En effet, le budget analytique interne du Commissariat n'est qu'en cours de préparation et ne pourra être arrêté qu'après le vote des dotations demandées dans le cadre du budget de l'Etat pour son financement.

Aussi bien convient-il de mettre l'accent sur le fait que les chiffres avancés au titre de cette analyse comportent nécessairement une marge d'imprécision que l'on peut estimer à 10 % environ.

Sous le bénéfice de ces observations, on trouvera ci-après un certain nombre d'indications concernant les rubriques en cause et leur évolution par rapport à 1963.

*
* *

A) *Ventilation de « l'enveloppe financière » 1964 en cinq rubriques.*

La loi de finances pour 1964 donne — à titre indicatif — l'analyse suivante :

— main-d'œuvre	450,5
— matières et autres charges.....	567,5
— contrats	354,5
— immobilisations	427,5
— non réparti en début d'année.....	70
	<hr/>
	1.870

A titre indicatif également, il est précisé que les charges de main-d'œuvre, de matières et de contrats s'appliquent, à concurrence de 665 millions, à la production de matières premières nucléaires. Ce cadre de présentation appelle les commentaires suivants :

Main-d'œuvre :

Outre les crédits prévus au titre de la reconduction des charges de main-d'œuvre 1963, les crédits demandés doivent permettre la mise en place des équipes nécessaires au fonctionnement des ouvrages récemment achevés ou devant entrer en fonctionnement en 1964.

Matières et autres charges :

Les dotations demandées sont destinées à faire face aux charges suivantes :

- matières consommables, petit outillage ;
- matériel électronique standard ;
- matériels d'une faible valeur unitaire ;
- frais de mission.

A noter que ce poste recouvre également une dotation de 88,5 millions au titre des charges financières représentées par les emprunts contractés par le C. E. A. principalement auprès du F. D. E. S.

Contrats :

Sous cette rubrique figurent à la fois :

- des contrats de production pour..... 205 millions.
- des contrats industriels et de recherche
pour 149,5 millions.

Immobilisations :

A cette rubrique sont inscrites principalement les dépenses correspondant aux équipements des centres de recherche et des centres de production, ainsi qu'aux investissements à réaliser au titre des grands ouvrages, compte tenu des directives fixées en ce qui concerne l'orientation des programmes. La dotation indiquée est susceptible de recevoir certains ajustements en fonction des choix qui restent encore à faire en ce domaine.

Matières de base :

Cette rubrique a disparu de l'analyse proprement dite, les dépenses qui y figuraient ayant été réparties sur les divers postes intéressés de dépenses par nature. On peut néanmoins estimer que les dépenses de fabrication de matières de bases nucléaires atteindront vraisemblablement 665 millions de francs, répartis approximativement comme suit :

- main-d'œuvre 120 millions.
- matières consommables et charges diverses.. 340 millions.
- contrats extérieurs 205 millions.

B. — *Evolution des cinq rubriques entre 1963 et 1964.*

(Autorisations de programme en millions de francs.)

DEPENSES PAR NATURE	1963	1964
Main-d'œuvre	370	450,5
Matières et autres charges.....	(1) 486	567,5
Contrats	(2) 324	354,5
Immobilisations	462	427,5
Non réparti en début d'année	70	70
Totaux	1.712	1.870

(1) Dont 52,9 au titre des charges financières.

(2) Dont : 196 au titre des contrats de production.

128 au titre des contrats industriels et de recherche.

2° DÉVELOPPEMENT PAR GRANDS OBJECTIFS

Dans le contexte financier susvisé, l'activité du Commissariat à l'énergie atomique pour 1964 consistera essentiellement :

— d'une part, à assurer le fonctionnement des installations existantes sur la base du niveau de développement atteint à la fin de l'année 1963 et à poursuivre les investissements en cours ;

— d'autre part, à entreprendre certaines opérations propres à 1964 qui constituent la suite des opérations antérieurement autorisées.

A. — *Fonctionnement des installations en place et poursuite des investissements en cours.*

Il convient tout d'abord de rappeler que, dans le cadre du budget du Commissariat à l'énergie atomique, toutes les dépenses prévues au titre d'une année donnée sont couvertes par une autorisation de programme, qu'il s'agisse de dépenses de fonctionnement ou de dépenses d'investissement.

Dès lors, les autorisations de programme nouvelles prévues pour 1964 sont utilisées par priorité pour assurer le fonctionnement des installations en place et de celles qu'il est prévu d'achever au cours de l'année. Les installations en place et les investissements en cours doivent être examinés séparément, en ce qui concerne d'une part les installations de production et, d'autre part, les installations de recherche.

a) *Installations de production :*

Exploitation des unités de production existantes :

— mines : l'exploitation poursuivie par le Commissariat s'exécute au sein de trois divisions minières : du Forez, de la Crouzille (près de Limoges) et de Vendée ;

— unités de concentration des minerais : les usines de concentration sont situées à proximité des lieux d'extraction du minerai de manière à réduire les charges de transport. Les usines de concentration sont situées à Bessines, l'Ecarpière et à Gueugnon ;

— usine de fabrication d'uranium métal : traitant les concentrés fabriqués dans les usines qui viennent d'être énumérées, les usines d'uranium métal sont situées au Bouchet, dans la région parisienne, et à Malvésy, près de Narbonne ;

— centre de production de plutonium de Marcoule : les piles G 1, G 2, G 3 de Marcoule produisent du plutonium et de l'électricité. Le plutonium est séparé des barreaux irradiés dans l'usine chimique également située à Marcoule et l'électricité est utilisée par E. D. F.

Poursuites des investissements en cours :

Les deux grandes réalisations de production en cours de réalisation sont :

— l'usine de séparation des isotopes de l'uranium de Pierrelatte ;

— l'usine de traitement des combustibles irradiés de la Hague.

A propos de l'usine de Pierrelatte, il convient de noter que la loi de programme du 27 juillet 1957 avait assuré, par une inscription directe au budget du premier ministre, le financement d'une première tranche évaluée à 250 millions de francs.

Maintenant l'usine de Pierrelatte est financée sur les dotations transférées au chapitre 62-01 du budget du Premier Ministre en provenance du budget des Armées.

En ce qui concerne l'usine de la Hague, il faut noter que son financement est assuré pour partie grâce aux crédits inscrits au chapitre 62-00 du budget du Premier ministre et pour partie sur des crédits transférés du budget des armées.

Ce financement mixte s'explique par l'intérêt à la fois civil et militaire du plutonium qui pourra être extrait grâce aux installations de l'usine de la Hague.

b) *Centres de recherche :*

Poursuite des recherches générales autour des accélérateurs et des réacteurs construits au cours des années passées. (Voir Annexe I.)

Investissements achevés en 1963 et en cours de réalisation :

Réacteurs d'études :

— Pégase : cette pile d'essais qui a divergé à Cadarache le 4 avril 1963 utilise comme combustible l'uranium enrichi, comme modérateur l'eau ordinaire. Elle doit permettre d'étudier le comportement des barreaux combustibles des piles de puissance productrices d'électricité. Elle utilisera le gaz comme fluide de refroidissement.

Ce réacteur d'étude permettra d'améliorer la tenue des combustibles dans les piles destinées à la production d'énergie électrique ;

— Siloé : cette pile, implantée au centre d'études nucléaires de Grenoble où elle a divergé le 18 mars 1963 est une pile piscine qui utilise l'uranium enrichi comme combustible, l'eau ordinaire comme modérateur et comme fluide caloporteur. Cette pile piscine permettra de réaliser les irradiations indispensables aux chercheurs du centre d'études nucléaires de Grenoble ;

— Cabri : ce réacteur dont la divergence est prévue en 1964 au centre de Cadarache utilise l'uranium enrichi comme

combustible, l'eau ordinaire comme modérateur et comme fluide caloporteur. Il est destiné aux études de sûreté des piles;

— Osiris : poursuite de la construction à Saclay d'une pile d'études autorisée dans le budget de 1963.

Assemblage critique :

L'assemblage critique César doit diverger en 1964 au centre de Cadarache. Cet outil est destiné à l'étude des réseaux. Le combustible est constitué par l'uranium naturel ou enrichi et le modérateur par du graphite.

Réacteurs expérimentaux et prototypes :

— Rapsodie : c'est la première pile à neutrons rapides inscrite au programme du Commissariat à l'énergie atomique. Il s'agit d'une pile expérimentale surrégénératrice. Elle fournira des renseignements dans le domaine des éléments combustibles au plutonium et sur les problèmes d'évacuation de la chaleur par le sodium fondu. Elle est en cours de construction à Cadarache. Une collaboration entre le Commissariat et Euratom s'est instaurée à propos de cette réalisation ;

— Prototype à terre de réacteur pour sous-marins. Cette réalisation est financée par des crédits transférés du budget des armées. Il s'agit d'un réacteur à uranium enrichi et à eau ordinaire.

— EL 4 : il s'agit d'un prototype de réacteur de puissance modéré à l'eau lourde et refroidi par gaz carbonique sous pression. Cette réalisation, en cours de construction à Brennilis (Finistère), doit permettre de juger à l'expérience s'il conviendra d'ouvrir une nouvelle filière de centrales nucléaires qui pourrait éventuellement, dans l'avenir, prendre le relai de l'actuelle filière de réacteurs uranium naturel-graphite. L'utilisation de l'eau lourde comme modérateur doit permettre, en économisant des neutrons, d'obtenir une combustion plus complète de l'uranium que dans les réacteurs modérés au graphite. Dans un premier temps on utilisera un combustible facile à réaliser, utilisant un uranium légèrement enrichi.

Les développements ci-dessus ont eu pour objet de présenter les charges que le Commissariat à l'énergie atomique devra assumer en 1964 pour assurer le fonctionnement des installations existantes.

Les dotations prévues pour couvrir l'ensemble de ces charges représentent 77 % des crédits demandés pour 1964.

Au-delà de ce pourcentage, les dotations prévues permettront de lancer des opérations propres à 1964 qui constitueront la suite inéluctable des opérations déjà autorisées, soit la suite logique de celles-ci.

B. — Opérations propres à 1964.

a) Opérations inéluctables.

Les principales opérations pouvant être classées sous cette rubrique se présentent comme suit :

Production de matières nucléaires. — En ce qui concerne les investissements, les opérations suivantes sont prévues :

— poursuite de la construction de l'usine de Pierrelatte : on rappellera que les dépenses de construction et d'essais et démarrage du complexe de Pierrelatte sont financées par des crédits à transférer du budget des armées ;

— usine de plutonium de la Hague : outre la participation à la tranche 1964 du nouveau devis, ont été inscrits les crédits d'essais et démarrage (dont la moitié imputable sur crédits transférés) ;

— Marcoule : les dépenses prévues permettront l'amélioration des installations existantes.

En ce qui concerne les dépenses d'exploitation, il est prévu de maintenir le niveau de production pour 1964 à 1.600 tonnes d'uranium contenu.

Continuation de Rapsodie I :

Il a été inscrit à ce titre un volume prévisionnel d'acquisitions d'immobilisations du même ordre de grandeur que celui autorisé pour 1963.

Mise en service d'ouvrages nouveaux :

L'année 1964 sera moins marquée par la mise en service de nouvelles piles que par l'utilisation des nouveaux laboratoires. Cependant, c'est en 1964 que les piles Siloé, Pégase et Cabri fonc-

tionneront pour la première fois pendant l'année entière. Enfin la mise en service du prototype à terre de réacteur pour sous-marin et l'ensemble des mises en service prévues à Cadarache impliquent un développement obligatoire des services généraux de ce centre.

Augmentation des investissements de recherche :

Il s'agit ici d'une croissance de l'investissement par chercheur liée à l'amélioration même de la recherche scientifique et technique (matériels mis à la disposition des chercheurs).

Logements :

Le Commissariat doit poursuivre la construction de logements destinés à abriter son personnel en raison de la politique de décentralisation qu'il poursuit et de l'implantation obligée de la plupart de ses installations : mines, usines, centres de recherches.

b) Opérations nouvelles constituant la suite logique d'opérations déjà autorisées et des orientations nouvelles.

Les opérations nouvelles proposées pour 1964 s'articulent, dans leurs grandes lignes, comme suit :

Développement général :

Pour assurer au Commissariat, au-delà des moyens reconduits au sein desquels toutes les reconversions possibles seront réalisées, le ferment nécessaire à l'utilisation rationnelle des équipes et des moyens rassemblés, une dotation a été réservée au financement des recrutements supplémentaires et à l'amélioration des outils, des équipements et des installations de recherches.

Espace :

En liaison avec le Centre national d'études spatiales, le C. E. A. met au point un programme d'action dans ce domaine.

Projets particuliers :

Il est possible de mentionner à ce titre, en insistant sur le fait que des choix fondamentaux restent encore à faire à ce sujet, les projets suivants :

- l'assemblage critique pour préparer la suite de Rapsodie ;
- les chambres à bulles ;

- des gros équipements nouveaux pour les études de physique ;
- des moyens de production de champs magnétiques très forts (1) ;
- l'étude d'une pile européenne à haut flux (1) ;
- l'amorce des études concernant la filière à neutrons rapides.

3° DÉCOMPOSITION DES INVESTISSEMENTS FINANCÉS SUR PRÊTS DU F. D. E. S.

A. — Programmes.

Le Commissariat à l'énergie atomique a proposé de fixer le niveau du recours au F. D. E. S. sur la base du maintien, en 1964, du régime de croisière défini en 1963.

Dans ces conditions, les moyens de financement à attendre du F. D. E. S. ont été fixés à 118 millions de francs.

Sur cette base, le programme nouveau financé par des prêts du F. D. E. S. s'analyse, pour 1964, selon les points d'application suivants :

	En millions de francs.
— combustibles :	
— premières charges.....	73
— études :	
— filière graphite.....	25
— filière eau lourde.....	20
	118

Il est rappelé que les recharges à introduire dans les piles ont été exclues de ce mode de calcul, pour tenir compte du fait qu'elles sont liées au fonctionnement normal des centrales. En revanche, les premières charges y sont incluses, étant donné qu'elles peuvent être considérées comme directement liées à l'investissement et, dès lors, être financées dans les mêmes conditions que ce dernier.

(1) Le C. E. A. n'envisage pas de prendre à sa charge la totalité de ces dépenses mais seulement d'y participer dans un cadre plus vaste.

B. — Paiements.

La charge à prévoir à ce titre pour 1964 correspond à la couverture des programmes autorisés jusqu'au 31 décembre 1963 et des programmes nouveaux pour 1964.

En ce qui concerne les programmes autorisés, les charges restant à couvrir au 31 décembre 1963 ont été évaluées à 208,9 millions de francs. Bien que l'échéancier correspondant n'ait pas encore été fixé avec précision, on peut évaluer à 35 millions de francs les prêts à prévoir au titre de l'annuité 1964 correspondante.

Quant à la première annuité du programme nouveau 1964, elle a été chiffrée à 85 millions de francs.

Une répartition indicative des paiements à autoriser en 1964 — soit 120 millions de francs — est présentée ci-après :

	En millions de francs.
— centrales :	
— E.D.F.-2	1
— autres centrales.....	76
	<hr/>
	77
	<hr/> <hr/>
— investissements industriels :	
— Pégase	7,5
— E.L.-4	20
— filière eau lourde.....	15
	<hr/>
	42,5
	<hr/> <hr/>
— mines	0,5
	<hr/> <hr/>
	120

V. — Euratom.

Le deuxième programme quinquennal, doté de 425 millions de dollars, s'établit comme suit :

A. — Réacteurs et recherches connexes :

- I. — Réacteurs de type éprouvé : 29,5 millions de dollars. Chinon, Chooz (Ardennes françaises). Cycle « graphite-gaz ».
- II. — Réacteurs à gaz avancé : 25 millions de dollars. L'Euratom se trouve associé au projet « Dragon » (anglais) à Winfirth-Heath et au projet de Julisch (Allemagne). Le but des recherches est d'améliorer le cycle thermo-dynamique et d'assurer une meilleure utilisation de combustible.
- III. — Réacteurs du type Orgel : 57 millions de dollars. Recherches effectuées à Ispra (Italie) dans les réacteurs « Echo » et « Essor ». Le cycle utilisé est : uranium-eau lourde-liquide organique.
- IV. — Réacteurs rapides : 73 millions de dollars.
Recherches effectuées à :
 1. Cadarache (France), avec les réacteurs « Rapsodie », « Mazurca » et « Harmonie ».
 2. Karlsruhe.
 3. Avec l'Italie (en projet).
- V. — Réacteurs de type nouveau : 9 millions de dollars.
- VI. — Propulsion navale : 7,5 millions de dollars.
- VII. — Réacteurs B. R. 2 : 12 millions de dollars à Mol (Belgique).
- VIII. — Retraitement du combustible : 14 millions de dollars.
- IX. — Traitement des déchets radioactifs : 5 millions de dollars.

B. — *Fusion thermo-nucléaire contrôlée* : 31 millions de dollars :

Par contrat d'association avec les centres de recherche à :

- Fontenay-aux-Roses (France) ;
- Frascati (Italie) ;
- Munich et Julisch (Allemagne) ;
- Jutphaas (Pays-Bas).

C. — *Rayonnements* :

7 millions de dollars (isotopes) ;

17,5 millions de dollars (protection sanitaire).

D. — *Centres communes (dépenses d'infrastructure)* :

— Ispra : 72 millions de dollars ;

— Petten (Pays-Bas) : 19 millions de dollars ;

— Mol (Belgique) : 11 millions de dollars (Bureau central des mesures nucléaires) ;

— Institut européen des Transuraniens à Karlsruhe : 25 millions de dollars.

E. — *Enseignement* : 3 millions de dollars (stages, conférences).

F. — *Diffusion* : 9,5 millions de dollars.

Le Conseil des Ministres de l'Europe des Six a adopté le budget de recherches d'Euratom pour l'année 1964 s'élevant à 94 millions de dollars par cinq voix contre une, celle de la France. Il serait intéressant de connaître les motifs qui ont conduit la France à rester isolée en cette matière.

Conclusion.

Les crédits prévus au budget du Premier Ministre pour être affectés au C. E. A. sont majorés de 47 % en ce qui concerne les crédits de paiement et de 18 % en ce qui concerne les crédits d'engagement.

Ces majorations avaient été de 30 % et de 15 % en 1963 par rapport aux crédits de 1962.

Votre Commission a étudié l'utilisation de ces crédits et il lui a semblé que leur importance était justifiée par la poursuite des programmes agréés et la mise en marche des nouvelles réalisations telles qu'elles ont été exposées.

Bien que les crédits ne concernent pas l'utilisation militaire de l'énergie atomique, il n'a pas été possible d'ignorer la question de la fabrication du plutonium et la construction de l'usine de séparation des isotopes de Pierrelatte en raison des besoins pour la production d'énergie électrique la Commission a été surprise par la nécessité d'acheter à l'étranger à un prix élevé le plutonium nécessaire aux réacteurs expérimentaux de Cadarache. Elle s'est montrée inquiète du prix auquel reviendra l'uranium enrichi de Pierrelatte.

L'usine de Chinon a été couplée au réseau E. D. F. le 14 juin 1963, mais la puissance totale n'est pas encore atteinte. A côté du temps nécessaire aux essais, il a fallu faire face à des difficultés importantes.

La Commission espère que les enseignements en seront profitables pour les mises en service des autres centrales nucléaires.

Malgré les prévisions optimistes de l'Administration, il semble qu'il soit raisonnable de s'en tenir aux usines qui seront mises en service vers 1970 pour un prix de revient compétitif entre l'énergie électrique d'origine nucléaire et celle produite dans les centrales thermiques.

Compte tenu des observations présentées, votre Commission ne s'oppose pas à l'adoption des crédits du budget des services généraux du Premier Ministre concernant l'énergie atomique.

ANNEXES

ANNEXE I

Accélérateurs de particules (1).

(En service ou décidés.)

TYPE	DATE de mise en service.	EMPLACEMENT
SAMES 600 KV (générateur de neutrons).....	1959	Fontenay-aux-Roses.
Van de Graaff 2 MV.....	1954	Saclay.
Van de Graaff 5 MV.....	1953	Saclay (2).
Van de Graaff tanden 12 MeV.....	1963	Saclay.
Cyclotron 11 MeV (en protons).....	1954	Saclay.
Cyclotron à énergie variable Philips.....	1964	Saclay.
Cockroft et Walton (« Haefely ») 300 kV (générateur de neutrons)	1956	Saclay (2).
Accélérateur linéaire CSF à électrons 28 MeV (3) (pour un courant crête de 85 mA).....	1958	Saclay.
Synchrotron à protons « Saturne » 3 GeV.....	1958	Saclay.
SAMES 150 kV (accélérateur d'ions).....	1958	Saclay.
Accélérateur linéaire Massiot à électrons de 4 MeV.	1962	Saclay.
SAMES V1 (ions) 600 kV, 2 mA.....	1958	Grenoble.
SAMES V2 (électrons) 600 kV, 2 mA.....	1958	Grenoble.
SAMES V4 (électrons) 1,2 MV, 2 mA.....	1959	Grenoble.
Philips GN1 (générateurs de neutrons) 300 kV	1959	Grenoble.
SAMES GNP1 (générateur de neutrons pulsés) 150 kV	1959	Grenoble.
SAMES GNP2 (générateur de neutrons pulsés) 300 kV	1961	Grenoble.
SAMES P1 (ions) 1,2 MV, 3 mA.....	1961	Grenoble.
Van de Graaff (électrons) 3 MV.....	1963	Grenoble.
Accélérateur à faisceau laminaire (électrons) 300 kV.	1963	Grenoble.

(1) Au 1^{er} février 1963.

(2) Sera transféré à Cadarache en 1963.

(3) Extension à 45 MeV prévue en 1963.

ANNEXE II

Réacteurs de recherche et d'essais.

NOM	DATE de divergence.	TYPE			OBJET
		Combustible.	Modérat.	Fluide réfrigé- rant.	
EL 1 (Zoé).....	15-12-1948	U naturel.	D ₂ O	D ₂ O	Recherche.
EL 2.....	21-10-1952	U naturel.	D ₂ O	CO ₂	Recherche et production de radioéléments.
EL 3.....	4-7-1957	U légèrement enrichi.	D ₂ O	D ₂ O	Recherche, essais de matériaux et production de radioélé- ments.
Mélusine	1-7-1958	U enrichi.	H ₂ O	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.)
Pégase	4-4-1963	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Essais de combustibles pour piles E. D. F.
Siloé	18-3-63	U enrichi.	H ₂ O piscine.	H ₂ O	Recherche.
Cabri	Début 1964	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Etudes de sûreté.
Osiris	1965	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Essais de matériaux.

ANNEXE III

Assemblages critiques.

N O M	DATE de divergence.	T Y P E			O B J E T
		Combustible.	Modérat.	Fluide réfrigé- rant.	
Aquilon	11- 8-56	U naturel.	D ₂ O	Néant.	Etudes de réseaux.
Proserpine	17- 3-58	Divers.	H ₂ O	»	Etudes de criticité.
Alizé	18- 6-59	U enrichi.	H ₂ O	»	Etudes de réseaux.
Rubéole	3- 7-59	UO ₂ enrichi.	BeO	»	Etudes de réseaux.
Marius	7- 1-60	U naturel et enrichi.	Graphite.	»	Etudes de réseaux.
Peggy	2- 2-61	U enrichi.	H ₂ O	»	Maquette critique de Pégase.
Rachel	4-61	Pu.	Néant.	»	Etudes sur les neutrons rapi- des.
Alecto	28-12-62	U enrichi en solutions.	—	—	Etudes de criticité.
Azur	9- 4-62	U enrichi.	H ₂ O	»	Maquette critique du prototype pour sous-marin.