

SÉNAT

PREMIERE SESSION ORDINAIRE DE 1970-1971

Annexe au procès-verbal de la séance du 13 octobre 1970.

RAPPORT D'INFORMATION

PRÉSENTÉ

au nom de la Mission commune d'information (1) désignée par la Commission des Affaires culturelles, par la Commission des Affaires économiques et du Plan, par la Commission des Affaires étrangères, de la Défense et des Forces Armées, par la Commission des Finances, du Contrôle budgétaire et des Comptes économiques de la Nation, et chargée de l'étude de l'ensemble des questions nucléaires,

Par MM. Yvon COUDE DU FORESTO, André ARMENGAUD, Michel CHAUTY, Roger HOUDET, Michel MAURICE-BOKANOWSKI et Maurice VERILLON,

Sénateurs.

(1) Cette mission est composée de: MM. Yvon Coudé du Foresto, président; Jean Fleury, André Monteil, Alex Roubert, vice-présidents; André Armengaud, Michel Chauty, Roger Houdet, Michel Maurice-Bokanowski, Maurice Vérillon, rapporteurs; Mme Suzanne Crémieux, MM. Pierre Giraud, Maurice Lalloy, Robert Laucournet, Marcel Pellenc.

AVERTISSEMENT

Le présent rapport était déjà à l'impression lorsqu'a été annoncée officiellement la décision d'E.D.F. de choisir pour la première tranche de la centrale nucléaire de Fessenheim le procédé P.W.R. et de confier, d'une part, la réalisation de la chaudière nucléaire à la Société des Forges et Ateliers du Creusot et à Framatome, d'autre part, celle de la partie classique de l'installation — le groupe turbo-alternateur — à la société Alsthom du groupe de la Compagnie Générale d'Electricité.

E.D.F. précise, en outre, dans son communiqué (1), que la deuxième tranche de Fessenheim pourrait être constituée par un réacteur B. W. R., procédé dont la C. G. E. détient la licence.

On verra à la lecture de ce rapport que ces décisions, si elles rejoignent certaines des préoccupations de la mission, s'écartent par contre sensiblement d'une partie de ses recommandations.

Par ailleurs, le Gouvernement a pris un décret modifiant l'ordonnance de 1945 instituant le C.E.A. et a procédé à la nomination d'un nouvel Administrateur général délégué et d'un nouveau Haut-Commissaire. On trouvera ces textes en annexe (2).

(1) Voir le texte du communiqué (Annexe III, p. 173).

(2) Voir Annexe IV (p. 175).

SOMMAIRE

	Pages.
Introduction	9
CHAPITRE I ^{er} . — Les réalisations militaires.....	13
CHAPITRE II. — Importance de l'énergie nucléaire pour la France.....	15
§ 1. — Evolution du bilan énergétique global depuis 1945.....	15
§ 2. — Evolution du bilan de la production française d'électricité depuis 1945	16
§ 3. — Perspectives d'avenir	17
§ 4. — Importance de l'énergie nucléaire.....	18
Premières conclusions	20
CHAPITRE III. — Le choix des filières.....	22
§ 1. — Les différentes filières :	
— Uranium naturel, graphite, gaz.....	22
— A. G. R.	23
— Eau lourde	23
— Eau légère	24
— H. T. R.	24
— Neutrons rapides	25
§ 2. — Les centrales nucléaires françaises :	
— Chinon 1, 2, 3.....	26
— Saint-Laurent 1, 2.....	29
— Bugey 1	29
— Brennilis	29
— Chooz	30
— Tihange et Kaiseraugst	30
— Vandellós	30
§ 3. — Appréciation sur l'équipement nucléo-électrique.....	31
a) Les maladies de jeunesse.....	31
b) Le programme nucléaire français.....	32
§ 4. — Comparaison des filières.....	34
I. — Filière uranium naturel, graphite, gaz.....	35
II. — Filière uranium enrichi, eau légère.....	37
III. — Filière à haute température.....	39
IV. — Filière à neutrons rapides.....	40
§ 5. — Appréciation sur la nouvelle politique nucléo-électrique...	41
§ 6. — Eléments du choix P.W.R. - B.W.R.	45

	Pages.
CHAPITRE IV. — Les ressources en matières nucléaires	51
§ 1. — L'uranium naturel	51
§ 2. — L'uranium enrichi	54
A. — Evolution prévisible des besoins et de la consommation	55
B. — Capacité de production des U.S.A.	58
C. — Capacité de production hors U.S.A.	60
D. — Le problème de l'usine européenne de séparation isotopique	61
a) L'impossibilité d'une solution nationale.....	61
b) L'usine européenne peut-elle être compétitive?..	62
c) Les propositions de la Commission des Communautés européennes	62
d) L'aspect politique	63
CHAPITRE V. — La recherche nucléaire	65
Section I. — Importance de la recherche dans les activités du C. E. A.	66
§ 1. — L'organisation administrative	66
§ 2. — L'infrastructure technique	69
§ 3. — Les crédits et les effectifs.....	74
Section II. — Objet des recherches du C. E. A.	78
§ 1. — Les grands axes de la recherche fondamentale.....	79
§ 2. — Les grands axes de la recherche appliquée et les études technologiques	82
Section III. — Le C. E. A. dans l'ensemble des recherches nucléaires françaises et européennes.....	88
§ 1. — La physique nucléaire fondamentale: importance respective des laboratoires nationaux (C. E. A., université, C. N. R. S.) et problèmes de coordination.....	89
§ 2. — L'organisation européenne pour la Recherche nucléaire (C. E. R. N.) et la France.....	93
§ 3. — La Communauté européenne de l'énergie atomique.....	96
Conclusions.....	100
CHAPITRE VI. — Les autorités responsables en matière nucléaire	105
Section I. — Le C. E. A.	106
§ 1. — Rappel des activités du C. E. A.	106
§ 2. — Examen général des résultats obtenus par le C. E. A.....	106
§ 3. — Thèses sur la réforme du C. E. A.	110
A. — L'exemple étranger: Grande-Bretagne et U. S. A. ...	111
B. — Solutions envisagées en France.....	112
1° Transferts partiels	112
2° La réorganisation interne	113
§ 4. — Conclusions de la mission.....	116

	Pages.
Section II. — E. D. F.	121
Section III. — L'industrie	124
Introduction — Incidence du passage à l'eau légère : Fessenheim...	124
Rappel des antécédents de l'industrie française.....	126
§ 1. — Situation actuelle de l'industrie française nucléaire.....	127
A. — Structure de l'industrie électromécanique.....	127
B. — Incidences de la politique du C. E. A. et d'E. D. F. sur l'industrie.....	133
C. — Place de l'industrie nucléaire française dans le monde.	136
§ 2. — L'avenir de l'industrie nucléaire française.....	140
A. — Le contexte national et international.....	140
B. — Les incertitudes de la situation française.....	143
C. — La capacité nucléaire de l'industrie.....	146
Conclusions	150
Conclusions générales	154
1. — Importance capitale de l'énergie nucléaire.....	154
2. — L'approvisionnement en uranium naturel.....	156
3. — Les nouvelles orientations de la politique nucléaire française.	157
4. — Le choix P.W.R. - B.W.R.	158
5. — La production d'uranium enrichi	159
6. — Coopération européenne	160
7. — Rôle des partenaires atomiques	161
8. — L'aspect politique	162
9. — Rôle du Parlement.....	162
Annexes :	
ANNEXE I. — Liste des personnalités entendues par la mission.....	167
ANNEXE II. — Rappel de quelques notions élémentaires sur l'atome et les réacteurs nucléaires.....	169
ANNEXE III. — Communiqué d'E. D. F. du 25 septembre 1970.....	173
ANNEXE IV. — Décret n° 70-878 du 29 septembre 1970 relatif au C. E. A... Décret portant nomination de l'Administrateur général délé- gué du C. E. A.....	178
Décret portant nomination au Comité de l'Energie atomique et attribution des fonctions de Haut-Commissaire.....	179
ANNEXE V. — Note d'information du Ministère du Développement indus- triel et scientifique en date du 1 ^{er} octobre 1970.....	181

INTRODUCTION

Mesdames, Messieurs,

C'est le 18 décembre 1969 que le Sénat a autorisé ses Commissions des Finances, des Affaires culturelles, des Affaires économiques, des Affaires étrangères et des Forces armées à constituer une mission d'information chargée de « l'étude de l'ensemble des questions nucléaires ».

Réunie dès le 15 janvier 1970, votre mission a élu son bureau, nommé ses rapporteurs et fixé un programme de travail orienté sur les quatre axes suivants :

— Problèmes de la recherche scientifique fondamentale et appliquée (rapporteur M. Maurice VÉRILLON).

— Problèmes économiques et financiers portant principalement sur les centrales nucléaires de production d'électricité (rapporteurs MM. HOUDET et CHAUTY).

— Problèmes de coopération internationale (rapporteur M. MAURICE-BOKANOWSKI).

— Problèmes industriels liés au développement de l'énergie nucléaire (rapporteur M. ARMENGAUD).

M. Yvon COUDÉ DU FORESTO, président, a été nommé rapporteur chargé de la coordination.

Dès le départ, votre mission a convenu qu'elle n'approfondirait pas l'aspect militaire de l'énergie nucléaire sur lequel le Sénat avait, à plusieurs reprises, pris des positions politiques très nettes et qu'elle n'aborderait ce secteur que dans la mesure où il exerçait une influence sur les applications civiles.

En effet, la caractéristique la plus apparente des questions nucléaires réside dans l'impossibilité de dissocier — sinon pour des raisons de méthode — chacun de leurs aspects. C'est d'ailleurs cette interconnexion et ces interactions réciproques qui sont à la base de la complexité et de la difficulté du sujet.

Il convient ici de rappeler qu'au moment où le Sénat a confié sa charge à la mission, on venait d'assister à des transformations dans la politique nucléaire française qui s'étaient concrétisées dans le communiqué publié par le Conseil restreint des Ministres, le 13 novembre 1969. Depuis plusieurs mois déjà la presse s'était fait l'écho des malaises et des doutes qui s'exprimaient de plus en plus ouvertement tant dans le secteur civil que dans le secteur militaire. De nombreuses revues publiaient simultanément des articles sur les causes des difficultés rencontrées. Le personnel du Commissariat à l'Energie atomique, troublé par les critiques adressées à cet organisme et inquiet pour son propre sort, se mettait en grève.

Le public ainsi saisi de questions sur la nature et l'importance desquelles il était mal éclairé, fut parfois désorienté devant des passions dont l'expression révélait l'importance des intérêts moraux et matériels en cause.

Dans ce contexte, on comprend mieux le souci qui a animé le Sénat en créant cette mission d'information. Il s'agissait au fond d'éclairer nos collègues sur l'importance d'un sujet dont l'apparence scientifique et technique risquait de masquer le caractère capital en ce qui concerne l'avenir énergétique du pays. Il s'agissait de leur fournir ainsi qu'au Gouvernement et à l'opinion publique un document de synthèse impartial posant d'une manière aussi précise et aussi complète que possible les problèmes nucléaires du moment.

Notre mission n'a pas perdu de temps mais l'originalité même de sa conception et de ses objectifs lui ont valu des débuts quelque peu difficiles. En effet, à l'inverse d'une mission de contrôle ou d'une mission d'enquête dont les investigations sont tournées vers les faits et les actions passés des services publics, notre mission avait pour objectif une étude dont le champ recouvrait à la fois le passé et l'avenir. Si elle a tenu à s'informer avec quelque précision sur les conditions d'exécution et les résultats des orientations nucléaires antérieures, c'était non pour relancer les controverses ni pour formuler des accusations, mais pour pouvoir

tenir compte de tous les éléments qui ont suscité le malaise nucléaire français. Il était cependant de son devoir de les analyser et d'en mesurer les conséquences financières et économiques pour en tirer les enseignements nécessaires.

Ce sont ces principes de travail qu'elle a tenu à faire connaître à M. le Premier Ministre lors d'un entretien franc et loyal, le 11 février 1970, qui a permis que fussent levées les réticences qui s'étaient d'abord manifestées. Autorisée par M. CHABAN-DELMAS à procéder à l'audition des Ministres, des techniciens et des chercheurs, la mission a pu, durant les mois de février, mars, avril et mai, entendre de nombreuses personnalités et ce, malgré les difficultés qui résultaient de la campagne électorale pour l'élection des Conseils généraux d'une part, et de la reprise des travaux législatifs d'autre part. On trouvera en Annexe I la liste des personnalités entendues.

Faute de temps et compte tenu du fait que plusieurs de ses membres avaient déjà visité les installations nucléaires françaises, la mission n'a fait qu'une seule enquête sur place pour s'informer des difficultés intervenues à la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux. Par contre, la décision du Gouvernement français d'adopter la filière à uranium enrichi - eau légère mise au point aux U. S. A. lui a paru imposer une étude sur place portant d'une part sur les appréciations portées par les instances officielles américaines sur l'avenir de l'énergie nucléaire, et d'autre part, sur la fiabilité des réacteurs construits par les deux grandes sociétés Westinghouse et General Electric. Disons tout de suite qu'elle a reçu partout un accueil exceptionnellement ouvert et qu'elle a été mise en mesure de recueillir une documentation d'un grand intérêt.

Oserons-nous dire que nous avons été frappés par la différence de mentalité de certains de nos interlocuteurs français et de nos interlocuteurs américains, que nous avons trouvé chez les seconds une ouverture et un esprit de coopération désireux de ne laisser aucune question dans l'ombre, que nous n'avons pas toujours rencontrées au même degré chez les premiers ? Faut-il y voir un affaiblissement de l'esprit démocratique dans notre pays ?

Quoi qu'il en soit, au point où votre mission en est arrivée de ses travaux, elle doit avouer, en toute humilité, que la diversité, l'ampleur et la complexité des problèmes entrant dans sa compétence la mettent hors d'état, malgré les efforts considérables de ses

membres, de vous présenter un rapport aussi complet qu'elle l'aurait désiré. Bien qu'elle ait poursuivi ses travaux durant l'été, bien qu'elle se tienne quotidiennement informée des développements nouveaux qui sont la caractéristique de cette matière où les progrès sont continus, bien qu'elle ait approuvé les grandes lignes d'un document dont la rédaction est déjà avancée, elle va se heurter à la barrière que constituent pour ses membres les travaux budgétaires d'octobre.

Consciente cependant de l'urgence qui s'attache à ce qu'elle fasse connaître ses principales conclusions avant que le Gouvernement ne prenne des décisions qui pèseront longtemps sur l'avenir énergétique du pays, elle a décidé de vous présenter l'état actuel de ses réflexions dans le présent rapport qui revêtira de ce fait le caractère d'une introduction aux questions nucléaires d'actualité.

CHAPITRE I^{er}

LES REALISATIONS MILITAIRES

Comme nous l'avons dit, votre mission ne s'est pas orientée vers l'étude des aspects militaires de l'énergie nucléaire. Elle n'entend pas, en effet, s'étendre sur des considérations stratégiques ou tactiques qui relèvent de la compétence de la Commission des Affaires étrangères et des Forces armées.

Cependant, elle ne saurait s'abstenir de rappeler que l'effort nucléaire principal des dix dernières années — passé le stade des recherches indifférenciées dont les résultats pouvaient déboucher sur des applications aussi bien civiles que militaires — a été axé sur la fabrication d'engins explosifs. Ce fait n'a pas manqué d'avoir des conséquences importantes.

Les unes ont fait apparaître le C.E.A. comme un instrument privilégié de la politique militaire du Gouvernement avec tout ce que cela peut comporter du point de vue de la puissance relative dans la Nation, des facilités financières et de l'absence de contrôle en raison du secret.

La courbe des effectifs du C.E.A. suit cette montée en puissance : de 5.000 agents en 1955, ils passent à 14.000 en 1960, à 29.000 en 1965 pour culminer à plus de 30.000 en 1967-1968.

En progression régulière depuis 1955, la part militaire du budget du C.E.A excède la moitié des ressources globales pendant toutes les années correspondant à la fabrication des armes nucléaires (1963-1968) et représente en chiffres ronds une dépense effective qui n'est jamais inférieure à 2 milliards par an.

Une autre conséquence qui nous intéresse directement est que le programme civil a été nécessairement influencé par le programme militaire. Nous retrouverons plus loin la querelle de l'uranium naturel et de l'uranium enrichi. On peut légitimement penser que les besoins de l'Armée en plutonium ont été un des facteurs — non le seul certes — qui ont conduit E.D.F. à adopter la filière à uranium naturel — graphite — gaz pour ses premières centrales.

D'une façon plus générale, si, d'un certain point de vue, on peut admirer les résultats obtenus par les savants et les techniciens du C.E.A. qui ont rempli avec succès la mission que leur confiait le Gouvernement, on ne peut cependant que regretter que les sacrifices financiers consentis par la Nation pour se doter d'un armement nucléaire n'aient pas eu sur le plan industriel et commercial l'effet d'entraînement et de réalisation qu'on en aurait pu attendre et que l'on se vantait d'obtenir.

Votre mission n'ignore certes pas que la voie de l'uranium naturel était au départ la seule techniquement praticable mais force lui est de constater qu'en face de réalisations militaires onéreuses mais couronnées de succès, la France s'est vu acculée l'an dernier à reviser ses orientations civiles dans un sens que de nombreuses personnalités compétentes préconisaient plus ou moins ouvertement depuis des années.

Pour conclure ces quelques observations, votre mission pense qu'à l'avenir le développement du nucléaire militaire ne devrait pas continuer à s'effectuer d'une manière entièrement autonome. Il lui paraît souhaitable, à l'instar de ce qui se passe aux U.S.A. où la loi du secret n'est pas moins sévère qu'en France, que les autorités nucléaires aient un égal souci de tirer le meilleur parti pour l'économie des découvertes résultant des programmes militaires.

Elle ne pense toutefois pas que la France soit financièrement capable de supporter simultanément la charge de la recherche et de la mise en œuvre opérationnelle d'un armement thermonucléaire et celle d'un développement important de l'énergie nucléaire à des fins économiques. L'une et l'autre impliquant des investissements extrêmement onéreux, il apparaît qu'on ne saurait les réaliser conjointement et que le pays se trouve devoir faire à cet égard une option dont l'enjeu est capital. Poursuivre un programme thermonucléaire important revient aux yeux de votre mission à sacrifier une part notable du développement économique de la Nation. Elle tient donc à souligner que le choix à opérer doit être fait en toute clarté en mettant en évidence toutes les conséquences de natures diverses qui en découlent.

C'est dans ce but que dans le chapitre suivant, elle va s'efforcer de donner la dimension de l'enjeu économique que constitue le développement de l'énergie nucléaire civile en France.

CHAPITRE II

IMPORTANCE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE POUR LA FRANCE

En dehors de ses applications militaires — peut-être à cause de leur caractère apocalyptique — il ne semble pas que l'opinion ait pris la juste mesure de la place qu'est appelée à prendre l'énergie nucléaire dans les sociétés industrielles développées dont l'évolution est liée aux sources d'énergie dont elles disposent. Le charbon a fait la puissance de l'Europe au XIX^e siècle, le charbon puis le pétrole ont fait celle de l'Amérique du XX^e siècle ; l'impressionnant programme civil nucléaire des U.S.A. est un signe certain du rôle croissant que va prendre la nouvelle source d'énergie. Qu'en est-il pour la France ? Avant d'aborder cette question, il ne sera pas inutile de rappeler brièvement l'évolution du bilan énergétique global et celle de la production d'électricité.

§ 1. — Evolution du bilan énergétique global de la France depuis 1945.

Le souci de tous les Gouvernements français a toujours été de sauvegarder une certaine autonomie d'approvisionnement en énergie primaire. Cet effort a été renforcé après la seconde guerre mondiale par le souci d'éviter des sorties de devises ; aussi a-t-on fait alors des dépenses considérables pour accroître la production de charbon national qui représentait 80 % de la consommation en 1949. Mais cette part n'a cessé de décroître progressivement au fil des années, d'une part en raison des coûts de production qui rendaient le charbon de moins en moins compétitif par rapport au pétrole et au gaz naturel malgré les correctifs imposés par voie d'autorité, d'autre part par l'effet d'une politique d'approvisionnement indépendant en pétrole pratiquée durant la période 1953-1958 (Sahara, Lacq). Il faut en outre ajouter que l'entrée dans le Marché commun a amené la France à une recherche du moindre coût de l'énergie pour sauvegarder la compétitivité de son industrie sans y réussir d'ailleurs pour les fortes consommations d'énergie à haute tension.

C'est ainsi que la part du charbon dans la consommation est tombée à 70 % en 1952, 60 % en 1958, 54 % en 1960, 40 % en 1965, \pm 27 % en 1970 (prévision). Dans le même temps la part du pétrole ne cessait d'augmenter pour atteindre 43 % en 1965, 52 % en 1968, 56 % en 1970 (prévision).

On ne devra jamais perdre de vue que les deux tiers de l'énergie qui sera consommée en 1970 auront dû être importés ni que le pétrole importé provient de pays peu paisibles dont les gouvernements n'hésitent pas à employer leur seule richesse comme un moyen de pression politique. Les négociations toujours renouvelées entre la France et l'Algérie en sont sans doute un des meilleurs exemples.

L'énergie se consommant de plus en plus sous la forme d'électricité, voyons maintenant comment s'établit le bilan à cet égard.

§ 2. — Evolution du bilan de la production française d'électricité depuis 1945.

Dans le climat de pénurie de l'après-guerre, l'accent fut d'abord mis sur le renforcement de l'équipement hydroélectrique dont la production passa de 11 milliards de kWh en 1946 à 24 milliards en 1952. Mais des facteurs conjoncturels — sécheresses exceptionnelles, difficultés financières et désir de créer des débouchés pour le charbon national — devaient à partir de 1953 donner la prépondérance aux équipements thermiques. De ce fait, la production thermique a atteint en 1967, 60 % de la production totale.

Les centrales thermiques utilisent, soit du charbon, soit des hydrocarbures ou du gaz naturel, la répartition entre ces sources étant fonction du prix de la thermie de chacun de ces combustibles et des conditions de l'accord général liant E. D. F. et Charbonnages de France. E. D. F. s'est en effet engagée à accepter tous les charbons valables offerts par les Charbonnages moyennant quoi elle est autorisée à importer du charbon étranger pour le surplus. Ce sont là des mesures de circonstances s'inscrivant dans une politique générale de régularisation de l'évolution régressive du secteur charbonnier.

La situation actuelle étant ainsi sommairement schématisée, il convient de regarder de plus près les perspectives d'avenir.

§ 3. — Perspectives d'avenir.

La consommation d'électricité est en voie d'accroissement selon un rythme jusqu'ici égal au doublement tous les dix ans et qui a tendance à s'accélérer. Cela signifie qu'il faut en dix ans construire au moins autant de centrales électriques qu'il en existe actuellement.

Or le potentiel hydro-électrique s'épuisant rapidement, le recours à la production thermique doit être croissant. Comme la part du charbon dans l'alimentation des centrales va décroissant, le problème apparaît dans toute son acuité : la majeure partie de la production électrique française peut-elle dépendre de l'importation des produits pétroliers ?

Le tableau suivant montre l'état de dépendance croissante de la France à l'égard des sources d'énergie extérieures.

Part des ressources métropolitaines dans la consommation d'énergie en France.
(En millions de T. E. C.)

	1969	1970	1975	1980	1985
A. — Consommation d'énergie ..	207,8	220	275	345	430
B. — Ressources françaises :					
Charbon	43,5	41,6	25	>	>
Pétrole	3,7	3,7	4	>	>
Gaz naturel	9,1	9,6	10	>	>
Hydro-électricité	17,6	17,3	19,5	>	>
Nucléaire	1,5	2,5	5,5	>	>
Total B	75,4	74,7	64	70-65	95-70
C. — Rapport $\frac{B}{A}$ (en pourcentage).	36	34	23	21-19	22-16

Si les chiffres donnés pour 1980 et 1985 n'ont qu'un caractère indicatif, la tendance générale n'en demeure pas moins affirmée d'une dépendance croissante à l'égard de l'étranger. Si l'on considère l'évolution de la répartition de la production d'électricité

entre les différentes sources, on constate également un accroissement de la part du thermique, la même réserve étant faite pour les chiffres de 1980-1985 (en TWh) :

	1969	1970	1975	1980	1985
Consommation (pertes comprises).	130,6	140	195	275	380
Production de l'hydraulique et du thermique « fatal »	66,8	66	70	70	70
Production thermique complémentaire (classique et nucléaire)	64,4	74	125	205	310
Importations	- 0,6	0,1	»	»	»

L'analyse de la production thermique complémentaire renforce encore la démonstration (en TWh) :

	1969	1970	1975	1980	1985
Production thermique complémentaire	64,4	74	125	205	310
Dont :					
Production nucléaire	4,5	7,65	16,5	30- 55	80-150
Production thermique issue de combustibles riches	59,9	66,35	108,5	175-150	230-160

Ces quelques constatations montrent l'intérêt qui s'attache à une diversification des sources d'approvisionnement. Nous allons voir maintenant les avantages que présente l'énergie nucléaire à cet égard.

§ 4. — Importance de l'énergie nucléaire.

Dans ces perspectives, on voit l'intérêt essentiel qui s'attache à l'existence d'une source d'énergie — l'uranium — dont les avantages par rapport au pétrole méritent d'être soulignés :

— pas de problème politique d'approvisionnement, la répartition des mines dans le monde étant beaucoup plus diversifiée. Grâce à l'action de prospection du C.E.A., la France détient environ 10 % des réserves mondiales d'uranium ;

- faible coût en devises de l'énergie tirée de l'uranium : le minerai n'entre que pour 10 à 15 % dans le prix du kW ;
- stockage aisé et peu coûteux d'une grande quantité d'énergie sous un faible volume ;
- pas de pollution atmosphérique.

Il ne fait pas de doute pour votre mission que la France doit tout faire pour que l'énergie nucléaire devienne la source la plus importante possible de sa production d'électricité. Cette orientation pose de nombreux problèmes, notamment d'ordre technique, d'ordre économique, car la compétitivité du nucléaire restant fonction des prix des combustibles concurrents n'est pas encore assurée, d'ordre politique car la mesure de notre indépendance énergétique en dépendra, d'ordre international enfin en raison de l'énormité des investissements qu'elle exige et qui ne peuvent être assurés par une seule nation européenne. Votre mission a été impressionnée par l'ampleur du programme de construction de centrales nucléaires en cours aux U. S. A. alors que ce pays ne connaît pas les mêmes problèmes d'approvisionnement que l'Europe (1). Elle y voit un signe révélateur d'une évolution économique et industrielle dont le sérieux ne peut être mis en doute quand on connaît le souci dominant du prix de revient que nourrissent les Américains. On sait, en outre, que les problèmes de pollution retiennent actuellement leur attention ; nous ne pourrions nous-mêmes les ignorer longtemps encore et il ne faut pas oublier que leur solution alourdit le poids financier des investissements classiques.

Les quelques données sommaires qui précèdent nous paraissent montrer à l'évidence l'intérêt capital qui s'attache à un développement important de l'énergie nucléaire en France. Ce disant nous n'avons pas la prétention d'émettre une idée originale puisque le II^e Plan déclarait déjà en 1957 « qu'au cours des prochaines années, aucun pays ne pourra se désintéresser des progrès de cette science (nucléaire) sous peine de perdre tout espoir de demeurer une nation moderne ». Malheureusement, votre mission n'a pas le sentiment que cette déclaration d'intention ait été suivie d'effet. Pour des raisons qui restent à déterminer, les prévisions du V^e Plan qui comportaient une moyenne de 500.000 kW nucléaires par an, avec en complément éventuel, un programme optionnel

(1) Malgré certaines difficultés récentes pour le gaz naturel.

d'un million à un million et demi de kW, n'ont abouti qu'à une capacité de 1.260 MW. Les options du VI^e Plan n'envisagent de leur côté que le lancement de 3 à 5 centrales (de 800 MW). Que s'est-il passé et comment se pose le problème sur les plans technique et économique, c'est ce que nous essaierons de déterminer dans le chapitre suivant consacré à la question du choix des filières.

Toutefois, au terme de cette première approche du problème nucléaire français, votre mission tient à formuler expressément les conclusions suivantes :

Il lui apparaît que les options discrètes du VI^e Plan laissent une part non pas excessive mais déraisonnablement excessive aux centrales classiques. D'abord en raison du coût de l'énergie produite, puis pour des raisons de sécurité de ravitaillement en énergie, enfin en raison des incidences graves de la pollution atmosphérique.

En effet :

a) D'après les informations recueillies par votre mission d'information auprès de deux importantes compagnies productrices d'électricité aux Etats-Unis, le coût du combustible nucléaire serait, à puissance égale, d'environ 30 % inférieur à celui des hydrocarbures et du gaz naturel et, *a fortiori* du charbon, dès que la puissance installée atteint 800 MW. On pense, aux Etats-Unis, que cet avantage ne peut que s'affirmer avec l'amélioration progressive de la technologie.

b) Les disponibilités françaises en matière de gaz naturel et de pétrole brut sont, en raison de l'origine de ce dernier, soumises à la bonne volonté des pays producteurs, dont le moins qu'on puisse dire, c'est que nombreux sont ceux qui soumettent leurs clients à des exactions (nationalisations dont l'indemnisation est incertaine) ou des élévations de prix et de taxes souvent considérables à peine de refus de vendre, en dépit de contrats existants. L'expansion soviétique en Méditerranée et au Proche-Orient comme les revendications croissantes de la Lybie et de l'Algérie font nettement apparaître la précarité des sources de ravitaillement des pays européens.

c) Les seules centrales thermiques dont la production d'énergie n'entraîne aucune pollution atmosphérique sont les centrales nucléaires qui ne rejettent dans l'air que de la vapeur et ce en

quantité limitée, du fait du bouclage du circuit d'eau d'alimentation et de sa récupération maximum après condensation (1).

Une mutation profonde des programmes d'E.D.F. doit donc être envisagée et réalisée par la substitution rapide de projets de centrales nucléaires aux projets de centrales thermiques classiques.

Sans doute, cette mutation ne peut-elle être instantanée, le délai moyen de construction d'une centrale nucléaire de 800 MW étant actuellement de 50 mois aux Etats-Unis, où les possibilités de production des deux principaux constructeurs de centrales dépassent 20.000 MW par an. Mais au moins peut-on prendre tout de suite le tournant de manière que, pour le VII^e Plan s'étendant de 1975 à 1980, la mutation soit effective et la proportion inversée entre centrales classiques et centrales nucléaires. Ne se posera alors qu'une question, celle de l'approvisionnement en uranium légèrement enrichi qui, si l'on se réfère au chapitre qui lui est consacré, peut être assuré sans difficulté à tout le moins pour les dix années à venir.

(1) L'aspect sécurité des centrales nucléaires ne peut être traité dans toute son ampleur. Disons toutefois que les multiples précautions prises pour éviter toute fuite de radiations à l'extérieur sont telles qu'elles rendent hautement improbables en temps de paix tout accident. De plus, les contrôles exercés par l'autorité publique sont d'une rigueur absolue.

Il faut cependant indiquer que le réchauffement de l'eau des rivières par les centrales atomiques est supérieur à celui qui résulte des rejets des centrales thermiques classiques. Il ne semble cependant pas qu'il y ait lieu de s'alarmer à ce sujet : le choix des sites et des puissances tient compte de ce facteur et l'élévation de la température de l'eau est limitée de manière à respecter les impératifs écologiques. Il est probable que la nature et la dimension des fleuves français conduiront dans l'avenir à rechercher des sites sur le littoral maritime. En outre, divers procédés sont à l'étude, notamment : transport par pipe-line de l'eau à évaporer dans des tours de réfrigération, utilisation des réfrigérants secs.

CHAPITRE III

LE CHOIX DES FILIERES

On sait qu'un réacteur nucléaire se caractérise par son combustible, son modérateur et son fluide caloporteur ou réfrigérant (1). C'est d'une façon très cursive que nous allons d'abord passer en revue les différentes filières avant d'examiner dans une série de paragraphes les problèmes de la filière dite française et les nouvelles orientations arrêtées par le Gouvernement en novembre 1969.

§ 1. — Les différentes filières.

On désigne par « filière » un ensemble de réacteurs utilisant le même modérateur.

On compte six grandes familles de réacteurs de puissance que nous allons passer rapidement en revue :

1. — La filière « uranium naturel - graphite - gaz » (G. C. R. : gas cooled reactor).

Combustible : uranium naturel (0,72 % d'uranium 235) utilisé sous forme de barreaux de métal insérés dans des canaux (2), ce qui implique des températures plus basses que celles permises par un réfrigérant gazeux et des précautions spéciales (système complexe de détection) pour éviter les ruptures de gaine (3).

Modérateur : un graphite extrêmement pur en empilements de briques.

Caloporteur : le gaz carbonique. Le circuit est intégré : le caisson en béton ou en acier contient le cœur et les échangeurs, d'où ses dimensions considérables.

Sous des formes différentes cette filière est utilisée en France et en Angleterre.

(1) Voir Annexe II.

(2) 3.000 canaux à Saint-Laurent I.

(3) Les gaines sont l'enveloppe des tubes contenant le combustible.

2. — La filière « A. G. R. » (*Advanced Gas Cooled Reactor*).

Combustible : bi-oxyde d'uranium (UO_2) ce qui impose l'emploi d'uranium enrichi à 2,5 %. Celui-ci permet d'augmenter les températures du gaz caloporteur (650°C contre 410°C en « graphite-gaz ») et partant d'obtenir un rendement de 40% au lieu de 30 %.

Le nombre des canaux est ramené à 400 (contre 3.000 en graphite-gaz) ce qui facilite l'agencement du combustible et les opérations de chargement-déchargement.

Modérateur : graphite.

Caloporteur : gaz carbonique - circuit intégré.

Cette filière n'est développée qu'en Angleterre où elle a été adoptée pour échapper aux inconvénients de la filière à uranium naturel.

3. — La filière à eau lourde.

Combustible : uranium naturel sous forme d'oxyde (UO_2). Produit d'importantes quantités de plutonium dont une partie notable est consommée *in situ*. Le combustible peut rester longtemps en pile : le taux de combustion permet d'extraire près de 10.000 MW j/t au lieu de 4 à 5.000 dans les G. C. R.

Modérateur : eau lourde (1), fluide qui présente l'avantage d'être un excellent ralentisseur de neutrons dont il ne capture qu'une faible partie.

Caloporteur : peut être un gaz (CO_2), de l'eau lourde bouillante ou sous pression, de l'eau légère (2) bouillante ou un liquide organique.

Cette filière est en expérimentation en France (EL 4), en Allemagne (K.K.N.), aux U. S. A. (Pickering), mais est principalement poussée au Canada (variante dite CANDU : Canadian Deutérium Uranium). Les Canadiens estiment qu'ils peuvent aboutir à un développement industriel. L'industrie française poursuit l'étude d'un avant-projet de réacteur à eau lourde, selon la formule cana-

(1) C'est de l'eau dans laquelle les atomes d'hydrogène (un proton, un électron) sont remplacés par des atomes d'hydrogène lourd ou deutérium (un proton, un neutron, un électron). Une molécule d'eau lourde contient deux atomes de deutérium et un atome d'oxygène (D_2O).

(2) Eau naturelle.

dienne. Sur la base du dossier qui sera constitué avant la fin de 1970, une décision sera prise sur le lancement d'une centrale de ce type en France (1).

4. — *La filière à « eau légère ».*

Combustible : uranium enrichi à 3 % environ sous forme de pastilles d' UO_2 et plutonium.

Modérateur : eau ordinaire : très efficace ralentisseur de neutrons en quantité relativement faible ce qui permet des réacteurs de moindre dimension ; par contre, capture facilement les neutrons, d'où l'emploi d'uranium enrichi.

Caloporteur : c'est l'eau qui sert de modérateur qui joue également le rôle de caloporteur.

Cette filière, mise au point et développée aux U. S. A., comporte deux types de réacteurs :

1° Le P. W. R. (Pressurized Water Reactor) où le circuit primaire d'eau sous pression à fonction de modérateur-caloporteur est entièrement séparé du circuit secondaire qui recueille la chaleur dans un échangeur ;

2° Le B. W. R. (Boiling Water Reactor) où l'eau est portée à ébullition dans le cœur et transformée en vapeur qui est envoyée directement à la turbine.

Ce sont ces deux variantes qui sont proposées au choix d'E.D.F. pour les premières centrales, dont Fessenheim.

5. — *La filière H. T. R. (High Temperature Reactor) ou H. T. G. R. (High Temperature Gas cooled Reactor).*

Combustible : uranium 235 et thorium sous forme de petites particules de carbure enrobées et dispersées dans du graphite. A l'étude : uranium enrichi seul (3 à 5 %).

Modérateur : graphite.

Caloporteur : hélium.

Ces réacteurs permettent d'atteindre des températures de gaz très élevées (1.000° et plus) grâce à la présentation du combustible qui permet la suppression des gaines métalliques. La vapeur à

(1) La mission s'est montrée très réservée en ce qui concerne l'opportunité pour la France de s'engager dans cette voie.

565° C peut actionner des turbines à vapeur classiques. Il est possible qu'on parvienne à transformer directement l'énergie thermique des gaz en énergie mécanique dans une turbine à gaz.

Trois prototypes fonctionnent : Dragon (Euratom), A. V. R. en Allemagne, Peach Bottom aux U. S. A. En outre une centrale de 300 MWe est en construction aux U. S. A. par les soins de la Gulf General Atomic.

6. — *La filière « neutrons rapides » ou breeders
ou surgénérateurs.*

Combustible : cycle plutonium 239 (matière fissile) — uranium 238 (matière fertile) — fines aiguilles d'oxyde ($UO_2 - PuO_2$).

Modérateur : pas de modérateur.

Caloporteur : sodium liquide.

L'intérêt de cette filière — actuellement au stade expérimental — est de produire plus de noyaux fissiles qu'il n'en est consommé. Aussi est-elle à peu près unanimement considérée comme la filière de l'avenir, les opinions divergeant sur l'époque de son développement industriel.

Des études très poussées sont effectuées au C. E. A. dont le réacteur expérimental Rapsodie a donné d'excellents résultats ; la centrale de démonstration Phenix (250 MWe) conçue pour faire la preuve des possibilités techniques et industrielles de la filière doit entrer en divergence en 1973.

Aux Etats-Unis, existent plusieurs breeders d'expérimentation (notamment SEFOR près de Fayetteville et FERMI près de Detroit). Les principaux constructeurs et producteurs d'électricité ont des projets d'études portant sur des réacteurs de 200 à 500 MW et l'U. S. A. E. C. (1) leur a demandé de présenter des propositions conjointes pour l'expérimentation d'un tel réacteur.

*
* *

Telles sont très sommairement décrites les principales filières. Cet exposé nous permettra après avoir fait le point des centrales de puissance françaises de poser le problème du choix auquel la France doit actuellement faire face.

(1) United States Atomic Energy Commission.

§ 2. — Les centrales nucléaires françaises.

A. L'origine, l'utilisation industrielle de l'énergie nucléaire en France n'a pu se développer que dans une seule direction : celle de l'uranium naturel modéré au graphite. En effet, seuls les Etats-Unis possédaient de l'uranium enrichi qu'ils considéraient comme une matière stratégique dont les procédés de fabrication étaient un secret militaire. Le C.E.A. n'avait donc pas d'autre choix que celui d'utiliser le seul combustible dont la France disposât, l'uranium naturel. On se souvient en effet que l'accord de Québec de 1943, toujours en vigueur à la fin de la guerre, réservait aux Anglo-Saxons le monopole des matières fissiles. Ce n'est qu'en 1953 que le Général Eisenhower autorisa la fourniture de matériaux fissiles pour les réacteurs de recherche. Aussi, le C. E. A. dut-il procéder à ses toutes premières expérimentations en utilisant un petit stock d'uranium et d'eau lourde. Par la suite, il disposa d'un nouveau modérateur, le graphite pur, dont la fabrication fut réalisée avec succès par l'industrie. La voie de l'uranium enrichi demeurant impraticable faute des connaissances, force fut bien de s'en tenir aux seules réalisations qu'autorisaient les ressources nationales disponibles. Ainsi furent fixées alors les caractéristiques de ce qu'on devait appeler la « filière française » (uranium naturel — graphite — gaz) bien que les Anglais l'eussent adoptée quelques années plus tôt.

Les premières piles G 1, G 2, G 3 construites sur le site de Marcoule avaient pour objet la production de plutonium. C'est en 1955 qu'a été prise la décision d'associer aux réacteurs G 2 et G 3 des installations de récupération d'énergie de 50 MW, mises en service en 1959 et 1960.

Elles ont permis de produire depuis lors 414 millions de kWh.

A partir de cette expérience à petite échelle, et en application du II^e Plan nucléaire voté en 1957, fut lancée sur le site de Chinon, la centrale E.D.F.1 (ou Chinon 1) d'une puissance de 70 MW qui entra en service en juin 1963. La construction de cette unité donna lieu à des difficultés considérables notamment pour réaliser les soudures du caisson métallique qui à elles seules provoquèrent un retard de deux ans.

Son fonctionnement expérimental a donné lieu à d'assez nombreux incidents dont aucun n'était directement dû à une cause nucléaire : rupture d'aubes mobiles de la turbine et de la soufflante principale notamment.

Remise en service en octobre 1964, la centrale a été arrêtée durant l'été 1965 pour renouvellement du combustible mais un incident sur la ligne d'arbre du groupe turbo-alternateur retarda le démarrage effectif jusqu'en décembre 1965. Depuis lors la centrale fonctionne de façon satisfaisante.

Sur les cinq premières années de fonctionnement, cette centrale qui a cumulé toutes les maladies d'enfance de la filière, accuse un taux d'indisponibilité totale de 66,12 % réparti comme suit :

— partie nucléaire	22,68 %
— partie classique	10,14 %
— programme d'entretien et réparation des incidents.	33,30 %

En 1969, le taux d'utilisation a atteint 65 %.

Lors de l'élaboration du III^e Plan, on avait pensé que l'électricité d'origine nucléaire deviendrait rentable vers 1965, mais l'abondance du pétrole saharien conduisit à reculer cette échéance de quatre ou cinq ans. Aussi le III^e Plan (1958-1961), renonçant à une variante forte, n'avait-il envisagé en 1959 que le lancement d'un programme de centrales nucléaires devant atteindre 800.000 kW. Le programme du IV^e Plan (1962-1965) prévoyait l'installation de 980.000 kW nucléaires.

Ainsi la période du III^e Plan a-t-elle vu le lancement d'E. D. F. 2, E. D. F. 3, de la centrale de Chooz, d'EL. 4, et celle du IV^e Plan le lancement d'E. D. F. 4 et d'E. D. F. 5. Donnons quelques indications sur ces diverses installations.

E. D. F. 2 ou Chinon 2 (200 MW).

Lancée en 1959, cette centrale a été mise en service en février 1965. Bénéficiant de l'expérience de Chinon 1, sa construction s'est déroulée sans incident.

Elle n'a enregistré qu'un seul incident sérieux, l'apparition de fuites sur 4 des 96 éléments d'échangeurs CO₂-vapeur. Les modifications nécessaires furent exécutées durant l'arrêt programmé

de l'été 1966. Après la remise en service de novembre 1966, le fonctionnement de la centrale a été perturbé par une campagne d'essais systématiques destinés à contrôler l'état du dispositif de détection de ruptures de gaines.

Pour ses deux premières années de fonctionnement, le taux d'indisponibilité totale a été de 56,30 % réparti comme suit :

— partie nucléaire	15,30 %
— partie classique	1,20 %
— entretien et réparations	39,80 %

En 1969, le taux de disponibilité a atteint 89 %.

E.D.F. 3 ou Chinon 3 (480 MW).

La construction a commencé en 1961 et la mise en service est intervenue en août 1966.

A l'inverse d'E.D.F. 2, cette centrale a donné lieu à quatre incidents :

- l'un concernant le dispositif de détection de ruptures de gaines qui a imposé l'arrêt de la centrale le 10 octobre 1966 ;
- le second concernant les échangeurs de chaleur sur lesquels se sont produites des fuites. Les échangeurs ont dû être remplacés, opération qui a pris fin au début de 1969 ;
- le troisième a concerné un groupe turbo-alternateur ;
- le quatrième s'est manifesté par des vibrations anormales des gaines qui ont rendu nécessaire le remplacement des 37.000 éléments combustibles.

La centrale doit être remise en service à la fin de l'année 1970.

Ces incidents expliquent un taux d'indisponibilité totale de 76,40 % pour les deux premières années, réparti comme suit :

— partie nucléaire	42,20 %
— partie classique	3,70 %
— entretien et réparations	30,50 %

En 1969, malgré les travaux en cours, le taux de disponibilité a été de 21 %.

E.D.F. 4 ou Saint-Laurent I (480 MW).

Lancée en avril 1963, la centrale a été mise en service en avril 1969. Tout en ayant de nombreux points communs avec E.D.F. 3, l'intégration des échangeurs de chaleur et du réacteur dans une même enceinte sous pression en fait encore un prototype.

Après un démarrage satisfaisant (1 milliard de kWh en 5 mois), la centrale a dû être arrêtée dès octobre 1969 à la suite d'une anomalie dans une opération de chargement due à une défaillance dans le maniement de l'ordinateur. L'insertion d'un élément graphite à la place d'un élément combustible a entraîné la fusion de 50 kilogrammes d'uranium tombés sur l'aire de support et les échangeurs, sous forme de débris fondus en alliage avec le magnésium des gaines. La radioactivité a rendu extrêmement lents les travaux de réparation qui ont pris fin en septembre 1970.

Coefficient de disponibilité en 1969 : 32 %.

Saint-Laurent II (530 MW).

Actuellement en construction, cette centrale qui est une duplication de Saint-Laurent I doit entrer en service en mars 1972.

Bugey (540 MW).

Centrale à uranium naturel du même type que celles de Saint-Laurent, actuellement en construction, elle bénéficiera de plusieurs perfectionnements, notamment en matière de combustible. Sa mise en service est prévue pour 1972.

EL. 4, centrale nucléaire des Monts d'Arrée ou Brennilis (70 MW).

Il s'agit d'une centrale à eau lourde construite par le C. E. A. en collaboration avec l'E. D. F. en vue d'étudier les problèmes de cette filière à une échelle représentative.

Après une mise en service en 1967, de graves difficultés ont imposé l'arrêt définitif de la centrale en août 1969.

Centrale franco-belge de Chooz (Ardennes) ou S. E. N. A. (242 MW).

Dans le cadre de l'Euratom et de l'accord Euratom-U. S. A. sur la fourniture d'uranium enrichi, l'E. D. F. et des sociétés privées belges ont constitué la « Société d'énergie nucléaire franco-belge des Ardennes » (S. E. N. A.) en vue de la construction et de l'exploitation par moitié d'une centrale nucléaire à uranium enrichi-eau légère de type P. W. R.

Commencée en 1961, la centrale devait être achevée en 1965. La mise en œuvre de cette nouvelle technique s'est heurtée à de nombreuses difficultés qui ont imposé l'arrêt de la centrale du 2 février 1968 au 19 mai 1970. En effet, Chooz comportait, au moment de la commande, un risque d'extrapolation puisqu'il s'agissait de faire en 240 MW ce qui n'avait alors été réalisé qu'en 150 MW. Les turbulences, beaucoup plus violentes, ont causé des dégâts à l'intérieur du réacteur.

Elle avait toutefois produit, à la date du 2 février 1968, 725 millions de kWh.

Tihange (800 MWe).

Il s'agit d'une centrale type P. W. R. de 800 MWe pour la réalisation de laquelle Français et Belges se sont associés dans les mêmes conditions qu'à Chooz. Commandée le 14 janvier 1969, cette centrale devrait entrer en service en 1973.

Vandellos (480 MWe).

Il s'agit ici d'une participation française de 25 % dans la réalisation d'une centrale espagnole de type uranium naturel-graphite-gaz ayant les mêmes caractéristiques que Saint-Laurent I.

Kaiseraugst.

Un organisme franco-suisse « Le Consortium d'études d'énergie nucléaire de Kaiseraugst » a été créé en janvier 1968 en vue d'examiner les conditions de réalisation d'une centrale nucléaire située à Kaiseraugst, près de Bâle.

A la suite des résultats des études et des consultations qui ont été effectuées par ce consortium, le Ministre du Développement industriel et scientifique a autorisé l'Electricité de France à participer à la société qui prendra en charge la réalisation et l'exploitation de cette centrale.

L'installation doit comporter un réacteur, d'une puissance électrique de 830 MW environ, du type uranium enrichi-eau ordinaire bouillante.

Reste pendante la question d'une participation allemande à cette réalisation.

§ 3. — **Appréciation sur l'équipement nucléo-électrique.**

a) *Les maladies de jeunesse.*

Les brèves indications du paragraphe précédent montrent que le passage des réacteurs de faible puissance du type G 2 ou G 3, qui ont accusé un taux de disponibilité de 95 % en 1968 et 1969, à des installations de grande taille soulève des problèmes technologiques extrêmement complexes non seulement pour la partie nucléaire mais aussi pour la partie conventionnelle. Ces phénomènes se produisent également dans les centrales thermiques classiques mais les réparations sur les centrales nucléaires sont d'autant plus longues que l'accès aux organes endommagés est rendu difficile par le danger de radioactivité.

De plus, et ceci est plus particulièrement vrai de la filière G. C. R., la complexité qui découle de l'effet de taille (nombre de canaux, machines de chargement-déchargement) donne des proportions considérables à des incidents en soi limités.

Tout en tenant compte du caractère inévitable des difficultés rencontrées dans un secteur aussi neuf que le nucléaire — sur tous les types, dans tous les pays, tous les constructeurs s'y sont heurtés — votre mission croit néanmoins que les chances d'indisponibilité croissent avec la complexité du réacteur et sa taille et que, de ce point de vue technique, la filière G. C. R. présente un handicap sérieux.

On a vu, à l'automne dernier, la presse se faire l'écho des responsabilités que se sont imputées réciproquement le C. E. A., l'E. D. F. et les constructeurs. Dans ce procès où la vérité est difficile

à déceler, votre mission s'abstiendra aujourd'hui de juger les uns ou les autres, ce qui n'entre d'ailleurs pas dans son propos. Elle se bornera à souligner qu'en ce secteur, les erreurs sont extrêmement coûteuses et qu'aucune considération de fierté, d'indépendance ou de puissance propre de chacun des responsables ne saurait justifier l'existence de rivalités dont le contribuable est toujours appelé à faire les frais. Il importe au plus haut point qu'une conjonction soit réalisée du souci de l'intérêt national qui anime — la mission l'a constaté — chacun des intéressés. Il est, en effet, navrant de voir des personnalités également compétentes et également soucieuses du bien du pays ne pas surmonter leur particularismes de « maison » et se laisser entraîner à vouloir perfectionner ce qu'a fait le voisin sans une suffisante appréciation des conséquences économiques de cette attitude.

Il faut dire au surplus qu'il appartient à l'autorité politique de faire prévaloir un esprit de collaboration qui a peut-être d'autant plus fait défaut dans le passé qu'au niveau gouvernemental les responsabilités nucléaires étaient dispersées entre plusieurs ministres dont chacun, d'ailleurs, devait accorder son action à la primauté des objectifs militaires.

Aussi la mission se réjouit-elle des assurances qui lui ont été données à cet égard. D'une part, la responsabilité générale a été confiée au seul ministre du Développement industriel et scientifique, d'autre part, il semble bien qu'un pas important ait été fait dans la voie de la collaboration entre le C. E. A. et l'E. D. F. Il en sera reparlé plus loin.

b) *Le programme nucléaire français.*

Les III^e et IV^e Plans, on l'a vu, ont à peu près, quoique avec retard, atteint leurs objectifs en matière d'équipements électriques nucléaires. Qu'en a-t-il été du V^e Plan ? Il avait prévu l'engagement d'un programme minimum de 2.500 MW en électro-nucléaire, plus une tranche optionnelle de 1.500 MW. Cet objectif, s'ajoutant aux réalisations déjà engagées, aurait situé la puissance installée en électricité d'origine nucléaire au niveau de 4.500 MW en 1970 (6.000 MW avec la tranche optionnelle), ce qui aurait fourni 12 % de la consommation française d'électricité et 4 % de la consommation totale d'énergie.

Où en sommes-nous en nous plaçant dans l'hypothèse favorable (1) où toutes nos centrales seraient opérationnelles ? Le tableau suivant récapitule les puissances installées :

	En MW.
G 2 + G 3.....	80
Chinon I	70
Chinon II	200
Chinon III	480
Saint-Laurent I	480
Saint-Laurent II	530
Bugey I	540
Brennilis	70
Chooz (2)	120
Vandellos (2)	125
Tihange (2)	375
Total	3.070

Quoique Bugey I n'ait été engagé qu'après la fin du IV^e Plan, on voit qu'avec Saint-Laurent II, Vandellos et Tihange les engagements du V^e Plan se sont limités à 1.155 MW.

C'est que les espoirs fondés sur la rentabilité, la compétitivité et les possibilités d'exportation des centrales G. C. R. se sont assez vite évanouis au cours de la décennie 1960-1970. Comme cela pouvait apparaître comme un échec national, la reconnaissance de l'état de fait a été longue à venir puisque ce n'est qu'en novembre 1969, après des hésitations, des décisions contradictoires et des procrastinations successives au sujet des projets de Fessenheim que le Conseil des Ministres a finalement reconnu que les jeux étaient faits sur le plan mondial.

Nous verrons dans un autre paragraphe comment peut se présenter la comparaison des filières éprouvées.

Votre mission croit quand même à ce point devoir rappeler que la Commission de l'Energie du V^e Plan avait inséré dans son rapport un certain nombre d'affirmations favorables à la filière uranium-naturel-graphite-gaz ainsi qu'à la filière à eau lourde et qu'elle se félicitait que la France fut enfin seule dans la première en déplorant que le Canada fût un concurrent sérieux pour l'eau lourde. Ce n'est point une critique mais une illustration de la mentalité générale qui prévalait à l'époque, alors que, il faut

(1) Mais non conforme à la réalité.

(2) Part française.

bien le dire, les esprits les plus distingués et les plus compétents étaient progressivement amenés à la conclusion qu'économiquement parlant, tout au moins, les filières à eau légère dans le développement desquelles les grandes sociétés américaines avaient mis toute leur puissance, affirmaient de plus en plus leur supériorité. La baisse des prix du fuel intervenue en 1969, peut-être pas uniquement pour des raisons techniques, n'a fait qu'accélérer cette évolution.

Cette considération nous conduit à tenter de procéder à une comparaison des filières évoluées, à la lumière de laquelle nous pourrions mieux juger les décisions du Conseil des Ministres et émettre un avis sur ce qui nous paraît souhaitable pour l'avenir.

§ 4. — **Comparaison des filières** (1).

Cet essai ne peut porter que sur quatre des filières précédemment décrites, les H. T. R. et les surrégénérateurs étant encore au stade expérimental. L'intérêt que présentent ceux-ci exige cependant qu'on apprécie en fonction de la date à laquelle ils seront industrialisés la portée des choix faits dans l'immédiat.

Trois points de vue doivent être retenus pour émettre une opinion nuancée :

— le point de vue technique qui permet d'apprécier la fiabilité de la filière ;

— le point de vue économique qui est un essai de détermination de la compétitivité de la filière, soit par rapport aux autres filières, soit par rapport aux centrales thermiques classiques ; c'est dire que ce jugement est plein d'aléas puisque les références de comparaison sont susceptibles de variations. Par exemple, l'objectif de rentabilité des centrales G. C. R. françaises avait été calculé sur la base d'une compétitivité à l'égard des centrales au fuel revenant à 8 centimes la thermie. L'abaissement du prix du fuel réduisant celui de la thermie à 6 centimes a évidemment rendu ces calculs caducs. Au surplus, le coût d'une centrale de même filière peut varier dans des proportions sensibles en fonction du site choisi. Et bien d'autres éléments peuvent entrer en ligne de compte ;

— le point de vue politique pour lequel la meilleure centrale est celle qui assure la plus grande indépendance énergétique.

(1) On se bornera ici à ne retenir que quelques notions les plus significatives dont nous soulignons le caractère schématique.

I. — FILIÈRE URANIUM NATUREL-GRAPHITE-GAZ

a) *Point de vue technique.*

La difficulté à surmonter dans cette technologie est d'obtenir que le total des captures parasites de neutrons ne dépasse pas 1,5 neutron par fission, faute de quoi la réaction ne se produit pas.

Malaisé à obtenir, ce résultat peut toutefois être atteint en utilisant un modérateur peu coûteux mais assez absorbant — le graphite — et des gaines en métal très léger et par conséquent fragiles, ce qui complique les problèmes de manipulation du combustible. Toute une technologie délicate concourt à ne pas outrepasser les limites du bilan neutronique.

De plus, l'emploi d'un combustible pauvre conduit à en mettre un tonnage important dans le cœur ainsi que de grandes quantités de modérateur qu'il faut renouveler fréquemment, ce qui implique une taille importante, un grand nombre de canaux (3.000), donc une grosse machinerie de chargement, un système complexe de détection de ruptures de gaines, etc.

Le degré d'utilisation du combustible est médiocre : 1 % seulement de ses potentialités est employé.

Le rendement thermodynamique est insuffisant et l'emploi de l'uranium métal exige des températures assez basses.

Bref, l'appréciation technique de la filière n'est pas très favorable. L'honneur qui revient aux techniciens français est d'autant plus grand qu'ils ont su surmonter ces handicaps techniques et que des centrales qu'ils ont conçues et construites, on pourra dire qu'elles constituent un succès technique obtenu dans des conditions difficiles.

b) *Point de vue économique.*

Le coût du kWh fourni par la centrale dépend :

- des investissements ;
- des frais d'exploitation ;
- du coût du combustible.

Les investissements nécessaires pour les centrales nucléaires, quel que soit leur type, sont supérieurs à ceux des centrales thermiques classiques. Dans l'échelle de ce surcoût par rapport aux centrales classiques, on peut dire que les filières se classent par ordre croissant de la manière suivante :

- filière à eau légère ;
- filière graphite-gaz ;
- filière à eau lourde (si l'on tient compte du prix du modérateur).

Les frais d'exploitation au kWh/an sont plus élevés que pour les autres filières.

Le coût du combustible est sensiblement le même que pour la filière à eau légère mais supérieur à celui des A. G. R. et des centrales à eau lourde (1). Le coût de la première charge est inférieur à celui d'une première charge en uranium enrichi.

L'appréciation du prix du kWh est une notion à manier avec les plus extrêmes précautions en raison du nombre de paramètres à considérer. Votre mission ne saurait actuellement entrer dans le détail d'un calcul économique toujours sujet à discussion. Pour donner un exemple, l'élévation du taux d'actualisation de 7 à 10 % provoque une augmentation de plus de 20 % du prix du kWh produit par des centrales à uranium naturel graphite-gaz ou par des centrales à uranium enrichi-eau légère.

Pour résumer la grande majorité des opinions émises devant la mission, on peut dire qu'économiquement parlant, la filière uranium naturel-graphite-gaz aboutit à des coûts d'exploitation supérieurs de 10 % à ceux de la filière uranium enrichi-eau légère.

c) Point de vue politique.

Il est certain que s'agissant de l'indépendance énergétique de la France, c'est une bonne filière puisqu'elle fait appel à une source d'énergie dont nous disposons librement.

La filière uranium naturel-graphite-gaz a sans doute cessé d'être rentable vers 1964 et, de ce point de vue son abandon était devenu une nécessité dès 1965-1966. La décision de construire des centrales

(1) Notons au passage que le coût du combustible nucléaire est toujours inférieur à celui du fuel.

à eau légère n'a pas été prise à ce moment-là par souci d'indépendance politique et pour des raisons techniques tenant à l'espoir mis par le C. E. A. dans la solution dite à combustible annulaire, sans qu'on se soit alors rendu compte que cette indépendance était théorique puisqu'elle conduisait à peser sur le prix du kWh et surtout sur la compétitivité de l'industrie.

II. — FILIÈRE URANIUM ENRICHI-EAU LÉGÈRE

Cette filière existe, nous le rappelons, en deux variantes : eau pressurisée (P. W. R.) (1) et eau bouillante (B. W. R.) (2) entre lesquelles il est très difficile d'opérer un partage. Des nombreuses opinions formulées devant la mission et de son enquête aux Etats-Unis, il résulte qu'on peut les considérer comme équivalentes.

a) *Point de vue technique.*

L'emploi de l'uranium enrichi résoud le problème neutronique et facilite la technologie. Le combustible qui se présente sous forme d'oxyde beaucoup plus résistant aux hautes températures que l'uranium métal, permet l'adoption de gaines en métaux moins fragiles (zirconium, zircaloy) et le recours au modérateur relativement absorbant qu'est l'eau ordinaire.

Cette filière échappe évidemment à tous les handicaps dus à l'emploi de l'uranium naturel. Nécessitant un tonnage moindre de combustible, elle est à la fois moins complexe et plus « compacte ». Les détections de ruptures de gaines, canal par canal ne sont pas nécessaires ; le modérateur est très simple et permet en cas de panne l'accès au réacteur. C'est même sur la simplicité de son réacteur que l'un des grands constructeurs américains en a axé la présentation. Ce qui ne signifie pas que la mise au point des deux variantes se soit effectuée sans difficultés, bien au contraire mais grâce à sa puissance, l'industrie américaine, appuyée sur l'expérience qu'elle avait déjà acquise au service de l'U. S. A. E. C. a pu surmonter, à grands frais, d'énormes difficultés techniques, notamment pour la fabrication d'éléments combustibles au rendement optimum, ce qui lui a permis de déboucher sur un marché intérieur dont l'ampleur justifiait l'entreprise.

(1) Mis au point par Westinghouse.

(2) Mis au point par General Electric.

b) *Point de vue économique.*

Les investissements : pour une puissance donnée on admet généralement qu'ils sont inférieurs à ceux des centrales uranium naturel-graphite-gaz à l'intérieur d'une fourchette située entre 10 et 20 % et qu'ils sont comparables à ceux d'une centrale thermique classique.

Les frais d'exploitation accusent également un niveau moins élevé. Notons qu'une plus grande facilité d'accès au cœur contribue à réduire la durée d'arrêt éventuel de la centrale en cas de panne.

Le coût du combustible est sensiblement égal à celui de la filière uranium naturel-graphite-gaz, mais la première charge est d'un coût plus élevé.

On peut estimer que le coût du kWh accuserait une différence en moins de 30 centimes par rapport à l'uranium naturel (1).

c) *Point de vue politique.*

Quant à l'indépendance énergétique, cette filière impose pour le moment le recours au seul pays organisé pour une exportation massive, les Etats-Unis. En fait, on n'achète pas l'uranium enrichi, on fait traiter l'uranium naturel dans les usines américaines. Cette opération est assortie de clauses de contrôle politique ayant pour but la vérification de l'emploi pacifique de l'uranium enrichi. Toutefois, l'U. S. A. E. C. a confirmé à votre mission qu'elle était prête à prendre un engagement de fourniture pour une longue durée au prix américain.

En réalité, le problème posé par le passage à l'uranium enrichi présente un aspect immédiat et un aspect à long terme.

Dans l'immédiat, sur la base du programme du VI^e Plan limité à quatre ou cinq centrales, celles-ci seront nécessairement approvisionnées par les Etats-Unis. Cependant la modicité de ces objectifs limite la portée de cette dépendance car :

1° Ces réacteurs ne représenteraient en 1980 que 5 % de la puissance électrique totale installée ;

2° Les stocks normaux nécessaires assurent deux ans de fonctionnement ;

(1) Cf. Yves Chellet, *Filières nucléaires in « Atomes »* (Septembre 1968), p. 514.

3° En cas de rupture d'approvisionnement, le fonctionnement des centrales nucléaires pourrait être limité aux périodes de pointe de l'hiver.

A plus long terme, dans l'hypothèse, à notre avis nécessaire, d'un effort massif sur les centrales à uranium enrichi, se poserait un véritable problème politique d'indépendance, et ce d'autant plus que vers 1980, les capacités d'enrichissement aux Etats-Unis devraient être saturées. Il faudra donc créer de nouvelles usines de séparation isotopique. Le problème éminemment politique se pose alors de savoir quelles sont les chances de réalisation d'une usine européenne car il est certain que l'importance des investissements nécessaires rend inconcevable toute solution limitée à la couverture des besoins nationaux (1). Précisons en passant, dans cette perspective que l'usine de Pierrelatte, même transformée, ne pourrait être d'aucune utilité réelle, sa capacité et le coût de ses produits n'étant pas adaptés au problème posé, si ce n'est peut-être en période de crise où les considérations économiques ne prévaudraient plus.

III. — FILIÈRE A HAUTE TEMPÉRATURE

Elle fait l'objet en plusieurs pays (notamment U. S. A. et Allemagne) d'un effort important de recherche-développement. Certains considèrent qu'elle pourrait constituer un stade intermédiaire si l'avènement commercial des surgénérateurs était retardé, ou peut-être même concurrencer ces derniers.

La France n'a pas de programme spécial dans ce domaine. On a considéré qu'étant dans le prolongement des techniques graphite-gaz, il suffisait de s'en tenir à des participations internationales. Toutefois reste pendante une option entre un programme important et un programme d'attente susceptible d'accélération en cas de besoin.

Notre mission estime qu'on ne peut, pour des raisons financières, avoir la prétention de se lancer à fond dans toutes les voies ouvertes et que l'effort du C. E. A. doit être concentré principalement sur la filière à neutrons rapides pour laquelle un bon départ a été pris.

Cette position n'exclut pas — au contraire — une action en vue de favoriser la réalisation des projets lancés par l'industrie privée dans le domaine des hautes températures.

(1) Du moins dans la technique de la diffusion gazeuse.

Signalons à ce propos que la Compagnie électro-mécanique (C. E. M.) a constitué cette année avec la Compagnie des Ateliers et Forges de la Loire (C. A. F. L.), la Société des Forges et Ateliers du Creusot (S. F. A. C.), Péchiney et la Compagnie pour l'étude et la réalisation de combustibles atomiques (C. E. R. C. A.), un groupement d'intérêt économique sous le nom de « Groupement industriel français pour les réacteurs à haute température » dont l'objectif est de présenter en 1973 une offre commerciale avec engagement de prix pour une centrale nucléaire haute température de 600 MWe. Cette initiative présente un intérêt certain non seulement par son objet mais aussi par le fait qu'elle est un exemple du dynamisme de l'industrie.

IV. — FILIÈRE A NEUTRONS RAPIDES

Il s'agit ici d'une technologie en plein développement sur laquelle on ne peut porter aucun jugement ni au plan technique ni au plan économique puisqu'elle est au stade de l'expérimentation. Par contre, l'intérêt énergétique de la surgénération et, par conséquent politique, est jugé exceptionnel. C'est pourquoi votre mission croit devoir retracer brièvement ici l'état des recherches françaises qui sont actuellement en très bonne place dans la compétition internationale.

Les travaux sur cette filière ont commencé en 1955 (1). Le premier prototype Rhapsodie, lancé en 1961 a divergé en 1967. Les résultats obtenus ont permis cette année de porter sa puissance de 24 à 40 MW thermiques : son fonctionnement semble avoir été supérieur à celui des piles étrangères. Simultanément, des expériences critiques ont été effectuées sur Harmonie et Masurca.

Le réacteur Phœnix (250 MW électriques), commencé en 1968, doit entrer en service en 1972-1973 (seule la Grande-Bretagne disposera d'une centrale de même puissance avec un peu d'avance). Il sera suivi d'un prototype « 1.000 MWe » qui devrait entrer en service en 1979. Les grands producteurs européens d'électricité ont engagé des conversations pour une réalisation multinationale.

Votre mission ne saurait trop insister sur l'intérêt d'une coopération européenne dans ce domaine. Il est évident que la logique impose que, dans le Marché commun, la diversification des recher-

(1) Pour donner une idée de la mesure des dépenses nécessitées par les recherches nucléaires, indiquons que le montant des dépenses cumulées depuis le début des travaux sur les neutrons rapides avoisine le milliard et demi.

ches selon les pays se traduise par une sorte de division du travail dont les fruits doivent être mis en commun et non par une dérisoire concurrence entre Etats. L'avance des uns dans un secteur doit profiter aux autres. Il appartient au Gouvernement d'exercer avec insistance une action dans ce sens à Bruxelles (1).

Les travaux doivent être poursuivis dans différents domaines :

— études fondamentales, théoriques et expérimentales, en matière de neutronique de protection, de sûreté et de dynamique des centrales ;

— le développement des composants doit prendre l'ampleur considérable que permettent les moyens réunis à Cadarache ;

— les éléments combustibles exigent encore des perfectionnements importants.

Notons que la direction des travaux a été sagement confiée à une équipe intégrée C. E. A. - E. D. F. - Industrie.

§ 5. — **Appréciation sur la nouvelle politique nucléo-électrique.**

On se souvient des nouvelles orientations définies par le Conseil restreint du 13 novembre 1969 à la suite duquel a été publié le communiqué suivant :

« Les études relatives au procédé fondé sur l'uranium naturel continueront à être développées par le Commissariat à l'énergie atomique et l'industrie.

« Les efforts des réalisations en cours dans le domaine des réacteurs à neutrons rapides seront activement poursuivis.

« Dès 1970 et pendant le cours du VI^e Plan, un programme de diversification portant sur plusieurs centrales de grande puissance utilisant comme combustible l'uranium enrichi sera lancé par l'Electricité de France.

« Pour l'exécution de ce programme destiné à favoriser la compétitivité de notre économie, un effort accru de restructuration et de regroupement de l'industrie française devra être entrepris à l'incitation de l'Etat. »

(1) Sur cette question, voir aussi p. 160.

Ce qu'on peut traduire par :

- mise en réserve de la technologie uranium naturel-graphite-gaz ;
- pari sur les surgénérateurs ;
- adoption de la filière à uranium enrichi ;
- reconnaissance du lien entre le développement nucléaire et la restructuration industrielle.

A la vérité, votre mission ne peut, compte tenu des analyses qui précèdent marquer un désaccord à l'égard de ces orientations. Ne pouvant vous présenter dans le cadre limité de ce rapport une étude complète sur les réacteurs à neutrons rapides, elle se bornera ici à enregistrer qu'ils sont en général considérés comme la meilleure solution pour l'avenir en raison de l'avantage spécifique qu'ils comportent en ce qui concerne le combustible ; cette opinion est d'ailleurs nuancée par certains qui soulignent l'incertitude où l'on est encore de la date à laquelle ces réacteurs seront économiquement compétitifs, les appréciations, à cet égard, variant considérablement. Dans l'ensemble, le début de leur mise en service économique est attendu à une échéance d'une quinzaine d'années.

Toutefois, les milieux nucléaires américains estiment que l'avènement industriel des surrégénérateurs ne peut intervenir avant 25 ou 30 ans. Votre mission a cependant l'impression qu'il s'agit avant tout, pour les Américains pragmatiques et hommes d'affaires, de freiner ce développement pour permettre un amortissement raisonnable de leur filière à eau légère. De plus, à leurs yeux, dans la course aux breeders, c'est l'U. R. S. S. et la Grande-Bretagne qui ont acquis la plus grande avance.

Le problème le plus actuel concerne l'adoption de la filière à uranium enrichi et le point de savoir si une seule ou les deux variantes doivent être adoptées, ce qui soulève la question de la structure industrielle française qui sera traitée au chapitre VI, section III.

Votre mission voudrait d'abord exprimer sa compréhension à l'égard des techniciens qui ont consacré le meilleur d'eux-mêmes à la réalisation d'une filière originale et qui ont eu brutalement le sentiment d'être désavoués et de voir leurs efforts presque condamnés. La foi qui les animait aurait certainement justifié qu'ils fussent mieux informés et partant mis à même de comprendre les fondements de la décision qui les touchait. Aux yeux de votre

mission, il est regrettable que la diversité des arguments lancés dans le public ait suscité une controverse dans laquelle la multiplicité et les difficultés d'interprétation des paramètres en cause ne pouvaient permettre d'aboutir à des conclusions convaincantes. Aussi est-il bon que le communiqué du 13 novembre 1969 ait affirmé le principe d'une continuité dans les études, ce qui laisse la porte ouverte à la survie et au progrès de la filière délaissée ; de même l'existence des quatre grandes centrales et l'achèvement de celles de Saint-Laurent II, de Bugey I et de Vandellos seront pour les esprits attachés à cette filière une possibilité de témoignage de ses vertus.

Les hommes de ce temps n'acceptent plus d'être des exécutants aveugles. C'est un fait que certains peuvent regretter mais force est d'en tenir compte même s'il doit bouleverser certaines habitudes de gouvernement ou d'administration. Le pouvoir de décision doit désormais s'accompagner d'un devoir d'information qui, loin de l'affaiblir, peut au contraire le rendre plus efficace. Or, en cette affaire comme dans la question connexe du redéploiement des activités du C. E. A., il semble bien que les remous qui se sont produits aient été dus à une attention insuffisante à cet aspect humain des problèmes. Votre mission tenait à souligner l'importance de cette notion d'information du personnel qui est une des formes nécessaires de la participation partout ressentie comme un besoin.

Cette observation étant faite, il nous apparaît que le coût global d'une centrale de 800 MW (combustible compris) dépassant le milliard de francs, les plus extrêmes précautions doivent être prises pour que la collectivité nationale ne soit pas appelée à faire les frais d'erreurs ou d'expériences nouvelles. Il faut ici nous expliquer. Si, comme nous l'avons reconnu, les difficultés rencontrées dans la construction des premières centrales à uranium naturel avaient le caractère d'inévitables maladies de jeunesse, il n'en reste pas moins qu'une certaine hardiesse technique trop étrangère aux considérations économiques a contribué à les aggraver.

Quel que soit le choix qui sera fait — P. W. R. ou B. W. R., ou les deux — une chose nous apparaît évidente. Puisqu'il s'agit d'adopter une technologie éprouvée et non point de la réinventer, votre mission pense qu'il n'y aurait que des inconvénients à vouloir apporter des modifications aux plans résultants des licences. Ces inconvénients sont de deux ordres : technique et économique. En effet, c'est un travers des ingénieurs de vouloir toujours perfec-

tionner et donc modifier ce qu'ont fait les autres : le caisson de Chinon I en est le plus bel exemple. Malheureusement la perfection technique ne correspond pas nécessairement aux exigences économiques car elle se révèle souvent onéreuse.

Soucieuse du bon emploi des deniers publics, votre mission sait bien qu'en cas d'aventure technique coûteuse, force est de faire appel au Trésor public ; aussi est-elle formelle sur ce point : il serait parfaitement déraisonnable de s'écarter des spécifications données par les licenciés pour la construction des premières centrales. Ce n'est peut-être pas glorieux mais quand on connaît les difficultés qu'ont rencontrées les entreprises américaines pour mettre au point leurs procédés et les sommes colossales qu'elles ont dû engloutir pour les résoudre, on ne peut que mettre en garde les responsables contre une tentation de perfectionnisme qui se révélerait certainement économiquement aventureuse. Le problème se serait présenté dans de toutes autres conditions si, comme les Allemands, nous étions entrés dans la voie de l'uranium enrichi à ses débuts. Il faut donc dire qu'on ne peut se fonder sur l'exemple de ces derniers pour justifier une éventuelle « francisation » immédiate de la filière.

Ce n'est que dans ces conditions d'ailleurs qu'on pourra obtenir une indispensable garantie financière car l'assistance du licencié au constructeur français sera fonction du respect rigoureux par celui-ci des spécifications du procédé. Ce n'est qu'au prix de cette discipline, qu'E. D. F. pourra être fidèle aux impératifs économiques qui s'imposent à elle, son souci principal devant être de produire de l'électricité à un prix compétitif et non de se lancer dans des techniques d'avant-garde.

Il faut bien voir, en effet, que si, comme on le pense généralement, la filière à uranium enrichi est appelée à constituer une étape intermédiaire jusqu'à la mise au point des filières haute température et des surgénérateurs, il n'y a pas intérêt pour la France à essayer de rattraper un retard désormais trop grand dans ce secteur. C'est sur les filières d'avenir que doit porter son effort en prenant soin d'ailleurs de ne pas avoir la prétention de faire tout toute seule, l'isolement en ce domaine étant le plus sûr garant de l'échec final.

C'est qu'en effet, au débouché de la recherche se pose le problème de l'existence d'une industrie de taille non seulement à surmonter les difficultés technologiques mais aussi à prendre sa

part d'un marché mondial où la concurrence sera sévère, le marché intérieur demeurant en tout état de cause absolument insuffisant pour justifier les investissements énormes qu'implique le nucléaire.

Ce problème de la structure de l'industrie française — évoqué dans le communiqué du 13 novembre 1969 — se pose dans l'immédiat dans les termes suivants : deux groupes industriels, la C. G. E. et Creusot-Loire par le truchement de Framatome sont licenciés respectivement de General Electric (B. W. R.) et de Westinghouse (P. W. R.). L'adoption par la France de l'un de ces procédés ou des deux jouera un rôle important dans la restructuration de l'industrie française en cause et dans le choix de la solution qui sera donnée au rachat de la majorité Empain dans Jeumont-Schneider, compte tenu de l'existence du Groupement Creusot-Loire - C. E. M. qui fait large contrepoids à la C. G. E.

L'importance évidente de cette question mérite qu'on lui consacre une étude spéciale qu'on trouvera au chapitre VI.

§ 6. — Éléments du choix entre les deux types de la filière eau légère : B. W. R. et P. W. R.

L'abandon de la filière uranium naturel-graphite-gaz qui permit les premières réalisations françaises tout en assurant la production de plutonium, destiné essentiellement à des fins militaires, présente évidemment, répétons-le, l'inconvénient sérieux de ruiner les espoirs de ceux qui s'étaient consacrés à elle depuis 15 ans. Encore faudra-t-il, pour ne pas décourager les chercheurs et prendre une place éminente dans les filières qui, d'ici 15 à 20 ans, se substitueront plus ou moins aux filières classiques actuelles à eau légère, les mettre en état de poursuivre leurs études, travaux de recherche et de mise au point de prototypes en liaison avec l'industrie.

Mais à partir du choix en faveur de la filière à eau légère, quelle attitude prendre ?

Faut-il s'orienter vers une seule filière, eau pressurisée ou eau bouillante, et ne construire que sous le bénéfice d'une seule licence, ou bien pouvoir offrir à E. D. F. comme à la clientèle étrangère le choix entre deux techniques parallèles ?

Pour en avoir le cœur net, votre mission constitua une délégation chargée de faire une enquête aux Etats-Unis auprès de l'A. E. C. (Atomic Energy Commission), des grands constructeurs et des producteurs d'énergie électrique.

Cette délégation est revenue avec les conclusions suivantes :

a) L'A. E. C. estime tout à fait au point et de même qualité les deux filières, eau pressurisée et eau bouillante, témoin la répartition actuelle des fabrications de grosses unités : 54 B. W. R. vendues à ce jour représentant une puissance installée de 37.700 MW ; 72 P. W. R. vendues à ce jour représentant une puissance installée de 50.000 MW (1). Les nouvelles commandes projetées se répartissent à peu près dans les mêmes proportions.

b) Aux U. S. A. les dimensions des unités tendent à augmenter. A ce jour, 14 centrales d'environ 1.100 MW ont fait l'objet de commandes fermes au 1^{er} juillet 1970, 12 sont en construction tandis que 19 centrales de 800 MW, commandées de 1966 à 1968, sont en cours de réalisation et que 9 de cette même puissance sont commandées.

Seules deux unités de 500 MW font encore l'objet de contrats, 6 sont en construction.

D'où la nécessité de moyens de fabrication amortissables sur des séries déjà sérieuses.

c) Des études sur les réacteurs estimés d'avenir sont activement poursuivies par la Gulf General Atomic dans le domaine des réacteurs à haute température refroidis au gaz (construction d'une unité de 300 MW pour la Public Service Company of Colorado dont la mise en route est prévue pour 1972 et projet d'une unité de 1.000 MW) et dans celui des « breeders » par l'A. E. C., la General Electric, Westinghouse et Babcock, avec le concours des utilisateurs

(1) Vente de réacteurs américains pour la production d'énergie électrique :

TYPE	FABRICANT	NOMBRE VENDU		PUISSANCE INSTALLÉE	
		U. S. A.	Étranger.	U. S. A.	Étranger.
				(En MW.)	
B. W. R....	G. E.	41	13	33.257	4.478
P. W. R....	Westinghouse	37	11	28.189	4.389
P. W. R....	Babcock	12	»	9.188	»
P. W. R....	Combustion Engin.	12	»	6.551	»
	Gulf General Atomic.....	2	»	370	»
		3	»	131	»
	Atomics Int.	2	»	86	»

(projets de 300 à 500 MW). Mais à part les espoirs de la Gulf General Atomic, l'exploitation industrielle n'est pas envisagée sérieusement avant 15 ans, sauf réussite immédiate des prototypes de grande puissance.

Les utilisateurs portent donc leurs efforts principaux sur les réacteurs classiques à eau légère pressurisée ou bouillante, pour lesquels l'augmentation importante de la puissance des unités pose des problèmes de délai et de sécurité.

Il apparaît donc, comme on l'a dit, que la France ait intérêt à ne pas innover en matière de centrales à eau légère, à profiter des licences consenties par les deux grands groupes concurrents General Electric et Westinghouse, et à axer ses efforts sur les réacteurs avancés où elle a déjà, pour les breeders au moins, une situation favorable.

Toutefois, celle-ci ne le demeurera qu'à la condition que le C. E. A. ne soit pas conduit à disperser ses moyens mais puisse les concentrer en matière énergétique sur le contrôle technique des centrales — à leur mise en service et en cours d'utilisation — et sur ses travaux en cours pour d'autres filières, dans l'optique des grosses puissances à installer.

d) Le choix de la clientèle américaine et étrangère est essentiellement déterminé par des questions de prix et de délais eu égard à l'urgence de la livraison de nouvelles unités. Ainsi, qu'il s'agisse de Commonwealth Edison ou de Sacramento Municipal Utility District que nous avons visités, ou des autres utilisateurs dont nous ont entretenus l'A. E. C. ou les constructeurs, c'est la question du prix qui a dicté le choix. Et les prix des deux types de réacteurs sont à peu près semblables, ceux de la filière à eau bouillante ou ceux de la filière à eau pressurisée l'emportant suivant les époques et les clients. Ainsi, la vivacité de la concurrence a conduit Commonwealth Edison à intercaler dans ses commandes de grosses unités B. W. R. General Electric, deux unités P. W. R. Westinghouse de 1.100 MW.

Des efforts considérables sont faits par les constructeurs pour réduire les délais de livraison et de mise en service des centrales nucléaires de manière à les rendre comparables à ceux des centrales traditionnelles à combustibles fossiles. En raison des retards sérieux pris dans la mise en fonctionnement normal des centrales nucléaires, les producteurs d'électricité ont, en effet, au cours des dernières années, préféré dans de nombreux cas, les centrales conven-

tionnelles, bien que leur coût ait été sérieusement accru du fait des installations complémentaires destinées à lutter contre la pollution atmosphérique.

e) Les clauses du contrat de licence proposé à, ou conclu par, la General Electric ou Westinghouse avec leurs associés français sont comparables en fait : la licence accordée par General Electric au Groupe C. G. E.-Alsthom est générale et ne comporte aucune restriction au point de permettre à ce groupe de concurrencer le donneur de licence sur le marché américain ; au contraire, la licence Westinghouse dont bénéficie Framatome, exclut les U. S. A. et le Canada. Cette distinction n'en est pas une dans la pratique : en effet il est exclu que les groupes français puissent entrer en compétition réelle pour des ensembles clés en mains, avec leur donneur de licence sur le territoire américain, en raison de l'éloignement et de ses conséquences sur les frais de transport et de surveillance, de la nécessité pour les utilisateurs d'avoir un contact permanent avec le constructeur, de la préférence naturelle renforcée par le Buy American act accordée aux producteurs américains.

Par contre la General Electric comme Westinghouse, qui ont déjà adopté cette pratique pour les pièces de grosse chaudronnerie (cuves de réacteur, pressuriseur) passeraient volontiers commande de sous-ensembles à leurs licenciés français, de manière à éviter la charge du financement de certaines usines et à bénéficier de prix souvent compétitifs.

f) Les licences nucléaires Westinghouse et General Electric ne pourront pas être concentrées en une seule main pour deux raisons : l'hostilité farouche des deux groupes américains en cause à la création en France d'une entité comparable à K. W. U., filiale de Siemens et A. E. G., destinée à avoir le monopole de la distribution de leurs centrales nucléaires. Les réactions de l'Administration américaine à la suppression indirecte de toute concurrence entre groupes américains sur des territoires tiers contrairement aux dispositions des lois anti-trust ne doivent pas non plus être mésestimées.

Au surplus, Westinghouse a fait savoir qu'en cas de prise de contrôle de Jeumont par la C. G. E. le bénéfice de la licence afférente à la partie conventionnelle des centrales électriques serait retiré à Jeumont-Schneider, Framatome conservant la licence proprement nucléaire. Ce retrait aurait sans doute pour conséquence

de rendre impossible la détention par un seul groupe français des deux licences P. W. R. et B. W. R. Il raffermirait en outre le rapprochement du groupe Creusot-Loire-Framatome, licencié nucléaire de Westinghouse, avec la C. E. M., et peut-être les Ateliers de Charleroi, licenciés belges de la technique électrique conventionnelle de Westinghouse.

g) Monter une industrie pour la production d'énergie nucléaire dans l'optique du seul marché métropolitain n'a pas de justification économique. L'industrie américaine n'a pu devenir compétitive dans ce domaine que par la mise en construction d'unités supérieures à 500 MW, voire de 800 à 1.100 MW, dans le cadre de besoins estimés à plus de 10.000 MW/an pour les années à venir. Un programme français de 1.000 MW/an, même porté à 2.000 ou 3.000 MW/an, est trop étriqué pour permettre des prix compétitifs, à moins de prise en charge par E. D. F. ou l'Etat des surpris consécutifs à des fabrications quasi unitaires. Une répartition des tâches serait donc souhaitable entre les constructeurs américains et leurs licenciés. A ce titre la tentative de création d'un monopole de construction en France peut rendre une telle répartition difficile, toute décision dépendant du seul constructeur américain dont le licencié français serait en France le seul fournisseur.

Pour la construction des premières centrales, votre mission estime naturelle, et comme ne posant aucun problème, la fabrication en France sous licence et sous l'entière responsabilité du licencieur de tous les éléments des centrales nucléaires, sauf celle des éléments combustibles et des barres de commande pour lesquelles seules les barres et tôles de zirconium seraient françaises, ainsi que les pastilles d'UO₂ enrichi en moyenne à 3 % que le C. E. A. devrait pouvoir fournir. Ce partage des tâches éviterait des investissements importants non amortissables sur deux des trois centrales d'un même type (P. W. R. ou B. W. R.) et donnerait toute sécurité à E. D. F. pour les premiers chargements. En tout cas, le licencieur garderait la responsabilité de l'ensemble mais à la condition expresse que le licencié s'en tienne rigoureusement aux normes imposées par son cocontractant américain.

Par contre, il serait très opportun, en prévision de l'avenir, c'est-à-dire d'une accélération des commandes d'E. D. F. et des producteurs d'électricité européens, de faire participer effectivement l'industrie française à la production d'éléments combustibles destinés aux filières à eau légère qui seraient installées dans le

monde. Il paraîtrait opportun, à cet égard, de voir s'il ne conviendrait pas de négocier avec General Electric une participation française dans l'usine de combustibles nucléaires prévue en Allemagne, afin de concourir à de telles fabrications pour la filière B. W. R., ou de s'entendre avec Westinghouse pour constituer une société commune avec le C. E. A. destinée à la fabrication en France des éléments combustibles type P. W. R. — ou encore de constituer avec les partenaires européens des unités communes de production (1).

(1) Ces unités pourront être des unités existantes adaptées à une fabrication mais travaillant pour compte commun.

CHAPITRE IV

LES RESSOURCES EN MATIERES NUCLEAIRES

L'important effort du C. E. A. en matière de prospection minière ne saurait être décrit dans le cadre d'un rapport succinct. Aussi nous bornerons-nous ici à donner quelques indications sur l'état actuel des ressources françaises en uranium pour nous étendre plus longuement sur le problème de l'enrichissement de l'uranium.

§ 1. — L'uranium naturel.

a) Les réserves uranifères sur le territoire métropolitain sont évaluées, fin 1969, à 64.200 tonnes d'uranium contenu ;

b) Les ressources découvertes outre-mer, essentiellement en Afrique, sont de l'ordre de 70.000 tonnes ;

c) La production d'uranium pour 1969 s'est élevée à 1.267 tonnes pour les mines métropolitaines ;

d) S'y ajoutent 400 tonnes d'uranium livrées par le Gabon.

La capacité de production française est actuellement de 2.000 tonnes sur un total mondial de 23.000 tonnes, soit environ 9 %. Mais en 1974, avec les gisements du Niger et de la République Centre-africaine, nous aurons une capacité de production de 4.500 tonnes sur une capacité mondiale de 31.500 tonnes, soit 14 %.

Il suffit de retenir qu'en matière d'uranium naturel, nous sommes à plus de 10 % des réserves mondiales et de la production du monde occidental. Dans ces conditions, il serait hautement regrettable que la nécessité d'utiliser l'uranium enrichi nous fasse perdre le bénéfice d'indépendance que nous vaut notre position de producteur d'uranium naturel. On peut dire à cet égard que l'avènement de l'énergie nucléaire est une chance inespérée pour la France de se libérer dans une proportion notable de sa dépendance énergétique.

On voit dès lors que la solution qui sera donnée au problème de la construction de l'usine de séparation isotopique dont la nécessité sera inévitable en 1980 présente un intérêt essentiel pour notre pays. Il est exclu que cette usine soit nationale. Sera-t-elle américaine ou européenne ?

Mais avant de voir comment se présentent les perspectives de production d'uranium enrichi, il est important de prendre la mesure des ressources propres en uranium naturel de la France et de les évaluer en capacité de production d'énergie électrique. Votre mission pense que la situation à cet égard peut se caractériser comme suit :

La capacité de production d'uranium de la France est de 1.800 tonnes, les réserves actuellement connues ou estimées garantiront 30 années de ce niveau de production. Mais cette capacité n'est actuellement utilisée qu'aux deux tiers. Tout espoir n'est pas écarté de trouver encore d'autres ressources en uranium dans le sous-sol national, mais celles-ci seront probablement utilisées pour prolonger la production nationale plutôt que pour l'accroître.

Les besoins nationaux (programme militaire et alimentation des centrales électriques) dépasseront la capacité de production nationale dans 6 à 8 ans et devraient atteindre 2.600 à 4.000 tonnes en 1980 et 4.000 à 6.500 tonnes en 1985.

L'excédent des besoins sur les ressources nationales sera couvert sans difficulté par les entreprises minières françaises implantées en Afrique, au Gabon, au Niger et en République Centrafricaine qui disposeront même de surplus exportables dans d'autres pays. Le C.E.A. détient dans les sociétés exploitantes des participations minoritaires mais importantes ; les gouvernements locaux et des intérêts étrangers ont également des participations, ce qui devrait contribuer à placer ces sources d'approvisionnement à l'abri d'un certain nombre de vicissitudes politiques. Mais la sécurité d'approvisionnement donnée par ces sources lointaines demeure évidemment inférieure à celle d'une production purement nationale. Pour accroître la sécurité des approvisionnements nationaux, un effort de diversification a été entrepris. Le C.E.A. et diverses entreprises françaises procèdent actuellement à des recherches d'uranium en Iran, en Indonésie, au Canada, en Australie et peut-être bientôt au Brésil.

Diverses considérations permettent d'affirmer que l'alimentation des centrales nucléaires est suffisamment garantie :

1° Comme le montre l'exemple américain, les matières fissiles accumulées pendant les 20 ou 30 premières années d'un programme militaire permettent de faire face aux développements ultérieurs de celui-ci sans consommation nouvelle d'uranium naturel. La production nationale devrait donc, dans le courant des années 80, se trouver totalement affectée aux centrales électriques.

2° La faible part du prix de l'uranium naturel dans le coût du kWh permet de constituer des stocks de sécurité avec un investissement beaucoup plus réduit que dans le cas des combustibles fossiles. Le stock de sécurité de la France a été fixé à un an de consommation.

3° Une part importante des besoins exprimés plus haut est constituée par la première charge des centrales en construction. Par contre, les recharges représentent des consommations moins importantes. C'est ainsi que la production nationale de 1.800 tonnes/an permettrait, avec des centrales à eau légère déjà dotées de leur première charge, de produire 100 milliards de kWh par an, sans recycler le plutonium et 135 milliards en recyclant le plutonium, soit à peu près la consommation totale d'électricité de la France en 1970 (1).

4° Quand les réacteurs à neutrons rapides fourniront une part notable de la production d'électricité, la sécurité d'approvisionnement sera à peu près absolue puisqu'ils seront alimentés par de l'uranium appauvri et du plutonium déjà présents sur le territoire national.

On voit que la production métropolitaine représenterait approximativement la possibilité de mettre en service 3.000 MW par an ou bien d'alimenter de 13 à 20 centrales de 1.000 MW. Il convient de noter cependant que la France doit prélever actuelle-

(1) Quantités d'uranium naturel nécessaires pour l'alimentation en uranium enrichi des centrales à eau légère pour une puissance de 1.000 MWe (*).

	B. W. R.	P. W. R.	MOYENNE
		(En tonnes.)	
Première charge	515	390	450
Recharges annuelles en régime :			
Avec recyclage du plutonium.....	140	130	135
Sans recyclage du plutonium.....	90	90	90

(*) Avec la teneur de rejet actuelle des usines d'enrichissement américaines.

ment sur sa production d'uranium naturel, d'une part, la quantité nécessaire à la production d'uranium fortement enrichi destiné aux armes nucléaires (1), d'autre part, la quantité d'uranium naturel nécessaire à la marche des centrales graphite-gaz.

Sur la base de ces indications, votre mission croit pouvoir formuler les observations suivantes :

1. En toute hypothèse, la production métropolitaine est d'un niveau suffisant dans l'immédiat ; on peut dire qu'elle assurera à l'avenir un approvisionnement déterminant pour l'indépendance énergétique.

2. Par contre, la capacité de production totale dont disposera le C. E. A. à moyen terme permettra d'assurer la marche d'un nombre appréciable de centrales mais elle a l'inconvénient d'être fondée pour la majeure partie sur les ressources africaines, ce qui implique une dépendance excessive à l'égard d'une partie du monde en pleine évolution politique, quelles que soient les précautions prises à cet égard et les relations amicales avec les dirigeants.

3. Cet état de choses devrait normalement conduire à mettre l'accent au moins pour la durée d'utilisation des réacteurs à eau légère, sur une politique d'approvisionnement en provenance des pays du monde occidental nécessairement solidaires en cas de crise et notamment du Canada duquel aucune visée impérialiste n'est à craindre.

Dans cette perspective, des liaisons entre constructeurs européens et constructeurs américains seraient de nature à renforcer la solidarité occidentale et, partant, la sécurité d'approvisionnement. En outre, ces liaisons assureraient une participation importante de l'industrie française dans la construction et la commercialisation de centrales nucléaires dans le monde.

4. Cette situation rend impérative dans les plus courts délais la mise au point des surgénérateurs dans des conditions qui en fassent une véritable entreprise européenne dont la sécurité d'approvisionnement serait largement assurée du fait même de la technique mise en œuvre.

§ 2. — L'uranium enrichi.

La décision de ne pas construire de nouvelles centrales à uranium naturel et l'adoption de la filière à uranium enrichi-eau légère, posera, d'une façon de plus en plus pressante, à mesure que

(1) Et à la fourniture d'uranium enrichi à certains pays, comme l'Italie.

la consommation de combustible s'accroîtra, le problème de l'approvisionnement en uranium enrichi. Nous allons examiner quelle est la situation et son évolution prévisible tant dans le domaine des besoins que dans celui de la production. Puis, à la lumière de ces indications, nous verrons comment se présente la question de la construction d'une usine européenne de séparation isotopique.

**A. — ÉVOLUTION PRÉVISIBLE DES BESOINS
ET DE LA CONSOMMATION D'URANIUM ENRICHIS**

On considère généralement que vers l'année 1980 nous aurons besoin de 40 millions d'unités de séparation (1) en Occident. Or les usines américaines seront capables d'en produire 20 à 25 millions après certaines extensions. Il n'y a pas de stock intermédiaire. Si bien que le monde occidental peut tenir sur les usines américaines jusque vers 1978-1979. Au-delà, on manquera de puissance de séparation en Occident et, de toute façon, le problème de la construction d'une usine de la taille de 6 à 8 millions d'unités de séparation se posera.

L'évolution de la demande (au prix actuel de 26 dollars l'unité de séparation) (2) se présente comme suit :

ANNEES	VALEUR (En dollars.)	UNITES de séparation.
1970	130 millions	5 millions
1975	450 millions	17 millions
1980	1 milliard	38 millions

La fourniture d'uranium enrichi peut s'effectuer selon trois modalités : la location, la vente et l'enrichissement à façon. L' U. S. A. E. C. offre ses services d'enrichissement aux autres pays du monde libre sans imposer une utilisation interne et, pour leur donner une plus grande assurance de fourniture ininter-

(1) On exprime la capacité de production d'une usine d'enrichissement en termes d'unités de séparation. Une unité de séparation n'est pas une quantité de matière mais une mesure de travail effectué par l'usine pour séparer une quantité d'uranium donnée en deux composants, l'un d'eux ayant un pourcentage inférieur.

(2) L' U. S. A. E. C. vient d'annoncer un relèvement du prix de l'ordre de 10 %, qui mettrait l'unité de séparation à 28,70 dollars. Il est intéressant de noter que ce nouveau prix correspondrait au travail exécuté dans de nouvelles usines conçues, construites et gérées essentiellement dans les conditions du marché.

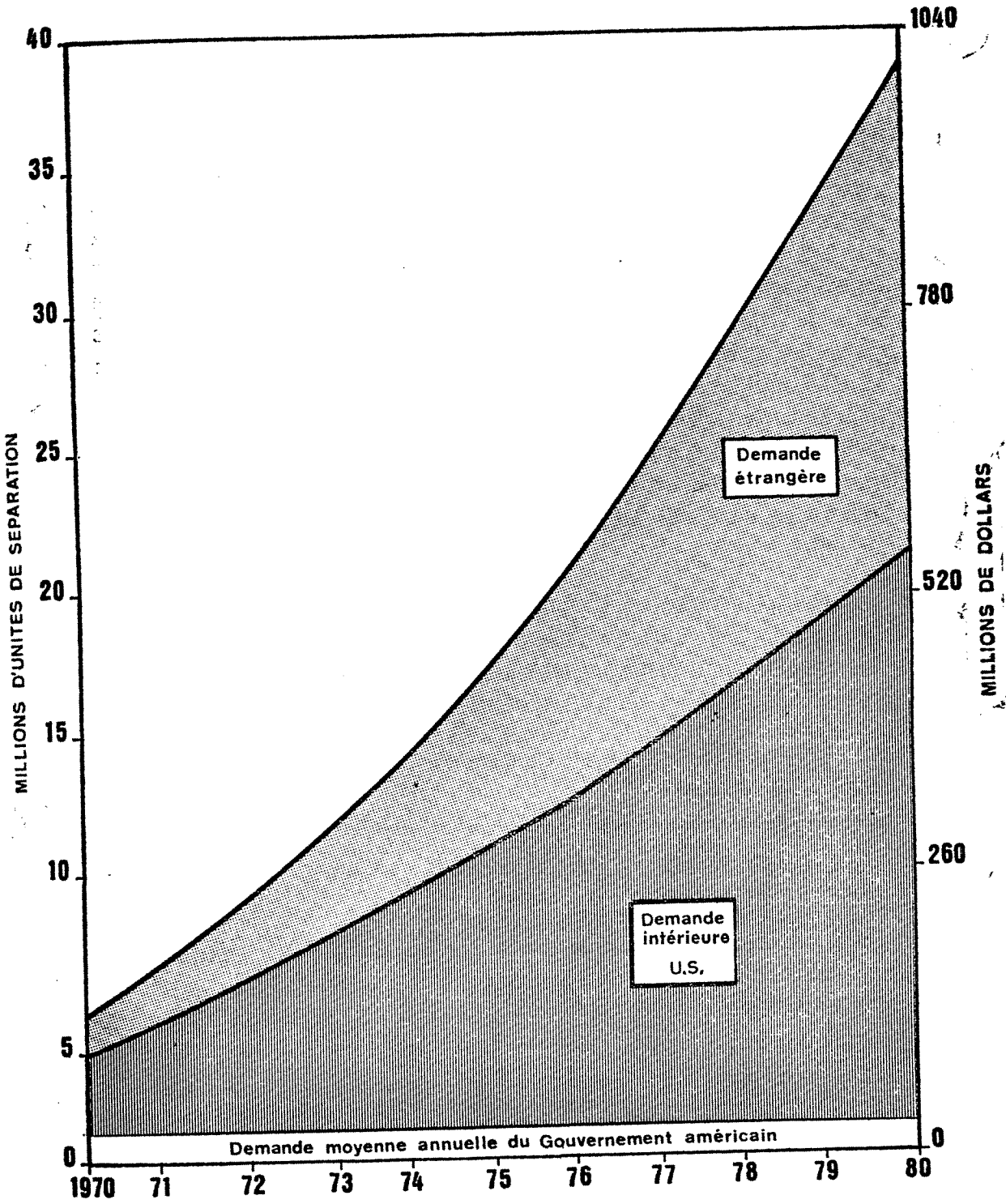
rompue, elle a déclaré que les Etats-Unis sont disposés à leur fournir un stock de combustible nucléaire couvrant cinq années de leurs besoins actuels.

Le tableau suivant donne la capacité totale d'enrichissement des trois usines en service aux Etats-Unis. Cette capacité dépend de la quantité de la puissance électrique utilisée, quoique pas nécessairement selon une fonction directe.

ENERGIE consommée en MW	CAPACITE annuelle de production en millions d'unités de séparation.	EXEMPLES D'EMPLOI DE LA CAPACITE DE SEPARATION Quantité approximative de produit enrichi qui peut être produit.	
		(Uranium enrichi à 2 %.)	(Uranium enrichi à 3 %.)
2.000	6,9	3,15 millions de kilogrammes tirés de 11,1 millions de kilogrammes d'uranium naturel.	1,60 million de kilogrammes tiré de 8,76 millions de kilogrammes d'uranium naturel.
3.000	9,9	4,51 millions de kilogrammes tirés de 15,9 millions de kilogrammes d'uranium naturel.	2,30 millions de kilogrammes tirés de 12,6 millions de kilogrammes d'uranium naturel.
6.000	17,1	7,79 millions de kilogrammes tirés de 27,5 millions de kilogrammes d'uranium naturel.	3,97 millions de kilogrammes tirés de 21,8 millions de kilogrammes d'uranium naturel.

La demande en 1969 n'a représenté que 39 % de la capacité actuelle de production des trois usines travaillant à 2.000 MW.

La courbe suivante retrace l'estimation faite par l'U. S. A. E. C. de l'évolution de la demande jusqu'en 1980.



Source: U.S.A.E.C. - The nucléaire industrie. 1969-p.56

B. — CAPACITÉ DE PRODUCTION DES ETATS-UNIS

La comparaison des deux tableaux précédents implique qu'une augmentation de la capacité de production sera nécessaire en 1976 ; toutefois, pense l'U. S. A. E. C., l'inventaire plus précis qui pourra alors être fait et la capacité additionnelle de production qu'on pourra obtenir par le perfectionnement des usines existantes peut renvoyer jusqu'à 1981 le besoin d'une nouvelle usine. On estime que la capacité annuelle totale de séparation des trois usines actuelles peut être portée de 17,1 millions d'unités de séparation à 21,7 millions (moyennant 6.000 MW) en leur apportant des améliorations. De plus, on estime que la technologie actuelle permettrait un accroissement ultérieur jusqu'à 25,8 millions d'unités par an en modifiant les usines pour les faire fonctionner avec une puissance de 7.400 MW (ce qui coûterait 130 millions de dollars de plus).

Cette dernière opération, notons-le, augmenterait les coûts de production. Le coût de l'unité de séparation en résultant serait supérieur à celui résultant des autres améliorations mais il resterait encore inférieur au coût du produit issu d'une usine nouvelle.

Cette série d'éventualités peut se résumer comme suit dans le tableau suivant :

CAPACITE TOTALE des trois usines américaines. (Millions d'unités de séparation.)	EN LEUR ETAT actuel avec 6.000 MW.	PREMIERS perfectionne- ments. (P ₁ .)	AUGMENTATION de puissance. (P ₂ .)
Base	17,1	17,1	17,1
P ₁	»	4,6	4,6
P ₂	»	»	4,2
	17,1	21,7	25,9
Coût en capital de la capacité additionnelle (millions de dol- lars)	»	477	130
Prix de revient de l'unité de séparation résultant de l'accroissement de capacité (dollars/unité de séparation) .	21 (moyenne)	13	16

Ces prévisions mettent les Etats-Unis en mesure de faire face à la demande du monde libre jusqu'en 1980. Il est nécessaire de voir plus loin. On pense que la demande totale croîtra de 1980 à 1985 à un rythme annuel de plus de 5 millions d'unités de séparation. Il en résulte, compte tenu de l'augmentation de capacité des usines existantes, que le démarrage de nouvelles usines s'imposera à ce moment-là. Les Américains pensent que, sur la base d'une capacité unitaire de production de l'ordre de 8,75 millions d'unités de séparation, la mise en service de 2 à 5 usines serait justifiée au cours des années 80.

L'U. S. A. E. C. estime aux montants suivants le coût de construction :

USINES	CAPACITE de séparation en millions d'unités de séparation.	PUISSANCE utilisée en MW.	INVESTISSE- MENTS en millions de dollars.
Nouvelle	8,75	2,400	780
Nouvelle	17,50	4,700	1.300
Extension 1 de l'usine de Paducah	8,75	2,400	570
Extension 2 de l'usine de Paducah	17,50	4,700	1.000

Compte tenu de ce que le lancement de l'usine doit intervenir six ans avant sa mise en service, les Américains seront appelés à prendre une décision vers 1975 (1).

Toutefois la question se pose de savoir pendant combien de temps la demande d'uranium enrichi continuera d'augmenter. La réponse dépend entièrement du moment auquel les réacteurs à neutrons rapides atteindront en nombre significatif le stade de la commercialisation et de la compétitivité ainsi que celui de leur auto-entretien par l'effet de surgénération. Pour l'U. S. A. E. C. il n'est pas vraisemblable que la demande d'uranium enrichi décroisse avant l'an 2000.

Existe-t-il en dehors des Etats-Unis une capacité de production d'uranium enrichi et quels sont les projets des Etats concernés, c'est la question que nous devons nous poser avant d'examiner comment se présente le problème d'une usine européenne.

(1) Signalons que la question de savoir si la production d'uranium enrichi doit être transférée au secteur privé fait l'objet d'études nombreuses. Cette hypothèse n'est pas à exclure complètement pour les années à venir.

C. — CAPACITÉ DE PRODUCTION HORS DES ETATS-UNIS

Rappelons d'abord qu'il existe plusieurs procédés connus de séparation des isotopes mais qu'un seul a été employé jusqu'à présent de façon industrielle ; c'est le procédé dit de diffusion gazeuse. (L'uranium naturel sous forme d'hexafluorure gazeux franchit des barrières successives qui laissent passer plus aisément l'U 235 plus léger.)

Un autre procédé dit d'ultracentrifugation en phase gazeuse utilise la force centrifuge qui concentre l'isotope le plus lourd à la périphérie tandis que le plus léger est concentré sur l'axe.

En dehors des Etats-Unis, deux pays occidentaux possèdent une usine de séparation par diffusion gazeuse : la *Grande-Bretagne* et la *France*.

L'usine de Capenhurst devrait avoir, fin 1970, un surplus de capacité de 400.000 unités après les modifications qui doivent lui être apportées. L' U. K. A. E. A. (1) s'est engagée dans des recherches sur l'ultracentrifugation qui doivent déboucher sur une usine pilote d'une capacité annuelle de 50.000 unités de séparation en 1972-1973 (2). Il va sans dire que l'usine de Capenhurst est de dimensions trop réduites pour être économiquement exploitable.

La seconde usine hors Etats-Unis est l'usine de Pierrelatte dont les produits à haut enrichissement sont exclusivement destinés aux besoins militaires. Elle a coûté entre 5 et 600 milliards anciens ; c'est donc une réussite technique coûteuse ; elle donne au C. E. A. une expérience considérable dont il essaye de tirer parti en procédant à des études répondant à l'hypothèse de la construction d'une usine européenne de faible enrichissement.

Le *Canada* n'envisage pas de produire de l'uranium enrichi avant 1980.

Le *Japon* fait des recherches à la fois en matière de diffusion gazeuse et d'ultracentrifugation. On y parle aussi d'un procédé par échanges d'ions qui semble rester du domaine du laboratoire. Pour la période 1970-1972 le Japon envisage une dépense de 7,5 millions de dollars pour le premier procédé et de 8,35 millions de dollars pour le second.

(1) United Kingdom Atomic Energy Authority.

(2) Source U. S. A. E. C. The nuclear industry 1969.

L'U. R. S. S. a fait savoir en 1968 qu'elle était en mesure de fournir de l'uranium faiblement enrichi (ou de louer ses services d'enrichissement) aux pays intéressés non nucléaires. Elle n'a donné aucune autre indication notamment en matière de prix.

L'Afrique du Sud a fait connaître à la fin de juillet dernier qu'elle allait entreprendre la construction selon un nouveau procédé d'une installation pour l'enrichissement de l'uranium en vue, semble-t-il, non seulement de couvrir ses besoins propres mais aussi de prendre place sur le marché mondial. Votre mission n'a pas encore d'informations précises à ce sujet.

D. — LE PROBLÈME DE L'USINE EUROPÉENNE DE SÉPARATION ISOTOPIQUE

a) *Impossibilité d'une solution nationale.*

Nous avons déjà dit qu'en raison du rapport taille-rentabilité d'une usine de séparation par diffusion gazeuse, on s'accorde à dire que si les pays européens veulent assurer l'indépendance de leur production, il leur faudra s'entendre pour réaliser une entreprise commune.

Cette affirmation, vraie en soi, suscite néanmoins les observations suivantes :

Certains pensent qu'il est trop tôt pour trancher le débat qui peut être relancé par l'évolution des techniques. Ils font ainsi allusion aux possibilités du procédé par ultracentrifugation dont la caractéristique est de se présenter sous forme de petites unités permettant une production réduite. La question est de savoir si cette production se fera au prix du marché. Les estimations faites par Euratom donnent un prix moyen qui serait de l'ordre de celui de la diffusion gazeuse mais avec une marge d'incertitude de 50 % en plus ou en moins. Il demeure que, les besoins d'uranium enrichi ne devant apparaître que vers 1980, il est bien évident que d'ici là l'ultracentrifugation peut devenir compétitive.

D'autres, à l'inverse, estiment que l'ultracentrifugation présente des inconvénients techniques (usure des machines tournantes), économiques (la courbe du prix diminue moins vite que celle de la diffusion gazeuse) et que surtout la diffusion gazeuse est un procédé industriellement éprouvé qu'il est difficile de concurrencer.

b) *L'usine européenne peut-elle être compétitive ?*

On a tendance à penser que le prix américain se rapportant à des usines entièrement amorties (l'uranium enrichi américain n'est qu'un sous-produit de l'armement nucléaire américain), le prix européen serait plus élevé parce qu'il serait un prix réel, et parce qu'il dépendrait du prix du kWh. Mais il ne faut pas oublier que cette usine fonctionnera de 1980 à 2010, que le prix de l'électricité devrait à l'avenir s'équilibrer des deux côtés de l'Atlantique.

En outre, il faut encore tenir compte de la hausse récente des prix américains (voir ci-dessus p. 55). Si bien que l'on peut penser aujourd'hui que la compétitivité d'une usine européenne serait assurée à partir d'une puissance consommée supérieure à 3.000 MW; à 5 ou 6.000 MW, elle serait certaine.

Si l'on s'en tenait au projet français, le coût de construction serait du même ordre qu'aux Etats-Unis. L'usine consommerait 10 % d'électricité de plus que les usines américaines. On pourrait atteindre un prix très voisin du prix de 26 dollars l'unité de séparation. On prévoit, pour une capacité de 6 à 7 millions d'unités de séparation, 3,5 milliards de francs d'investissements, à quoi s'ajouterait 1,5 milliard de francs pour la construction de centrales électriques, soit une dépense totale de 5 milliards de francs. Un tel investissement ne pourrait être envisagé sans freinage dans les dépenses publiques, et l'existence de contrats de fournitures aux centrales européennes à venir.

c) *Les propositions de la Commission des Communautés européennes.*

La Commission des Communautés européennes a fait, en 1969, des propositions pour un programme en quatre phases :

Première phase : jusqu'au 30 juin 1971. Constitution d'un dossier technico-économique permettant d'évaluer les caractéristiques et les performances des procédés d'enrichissement par diffusion gazeuse et par ultracentrifugation.

Deuxième phase : 30 juin 1971-30 juin 1973. Proposition de choix fermes, sur le plan technique, du projet détaillé.

Troisième phase : avant le 31 décembre 1973. Décision de construction.

Quatrième phase : 31 décembre 1973 - 31 décembre 1978. Réalisation.

Le Conseil des Ministres des Communautés européennes n'a pas pris de décision. Il s'est accordé, le 6 décembre 1969, un délai d'un an pour prendre position. Nous allons voir que la question est politiquement complexe.

d) *L'aspect politique.*

Il convient de rappeler tout d'abord ce paradoxe : alors que l'on avait cru, lors de la discussion des Traités de Rome, que le domaine nucléaire serait le domaine d'élection de la construction européenne parce qu'il était quasi vierge, on s'est aperçu au fil des années qu'il était au contraire le domaine d'élection du nationalisme. Il faut également se souvenir de l'influence de la politique américaine du secret atomique : lorsqu'en 1955, les Anglais n'ont pu donner suite à un projet de collaboration avec la France pour une usine de séparation, ce fut en raison du veto américain. Et cette même influence américaine n'est peut-être pas étrangère à l'échec du syndicat européen d'études nucléaires qui en 1955, sous la présidence de M. Louis Armand, avait entrepris d'élaborer une coopération européenne qui devait échouer en 1957.

Lorsqu'en 1967, les Français ont parlé à leurs partenaires d'une usine européenne selon la technique de Pierrelatte, ils ont peut-être eu le tort d'invoquer eux aussi le secret et de vouloir ainsi conserver une sorte de monopole. La conséquence de cette attitude fut sans doute les négociations anglo-germano-néerlandaises qui aboutirent au début de 1970 à la signature du Traité d'Almelo par lequel ces trois pays se sont engagés dans une entreprise commune pour la production d'uranium enrichi par voie d'ultracentrifugation.

Si bien qu'actuellement, l'échiquier comporte les données suivantes :

1° Les Américains souhaitent conserver le monopole de la production d'uranium enrichi ; ils sont franchement hostiles au développement de l'ultracentrifugation, procédé favorisant la prolifération nucléaire ; pour y faire échec, ils ne prendraient pas

ombrage de la construction d'une usine en Europe mais selon la technique américaine, d'ailleurs reproduite par les Anglais et les Français ;

2° Les Allemands en se liant aux Anglais pour l'ultracentrifugation recherchent la consécration officielle de leur accès à l'uranium enrichi, et escomptent ainsi se présenter en partenaires majeurs dans la discussion ; les Néerlandais y trouvent un support international pour le financement de leur recherche ; les Anglais, tout en cherchant la compétitivité y voient une bonne carte pour la négociation d'adhésion à la C. E. E. Tous les trois, sans doute, visent à affaiblir la position que la France tient de ses réalisations et de ses études techniques ;

3° Les Italiens et les Belges, initialement exclus de l'accord tripartite conserveront-ils leur tendance à rechercher la collaboration de la France, après que — au moins pour l'Italie — l'adhésion au Traité d'Almelo sera devenue possible ;

4° La France disposera en 1973 des connaissances nécessaires à la construction d'une usine de grande taille mais les études du C.E.A. dans cette direction sont accompagnées de recherches en matière d'ultracentrifugation. Les ouvertures faites au sommet de La Haye ont recueilli peu d'échos.

Dans ces conditions, comment conclure ? D'abord par un regret, celui que la France n'ait peut-être pas pris suffisamment en considération les recherches sur l'ultracentrifugation et qu'elle n'ait pas mené une politique plus ouverte dont on pouvait espérer qu'elle aurait permis d'éviter la scission de l'Europe en deux clans sur cet objet. Ensuite, la situation évoluant comme elle le fait, par le souhait corrélatif de la voir participer aux travaux de ses partenaires européens dans le cadre du Traité d'Almelo.

Il semble bien, en effet, que la technique viendra au secours de la politique en permettant la jonction des deux procédés, la diffusion gazeuse constituant un premier stade d'enrichissement de l'uranium et l'ultracentrifugation — si elle est mise au point — assurant l'enrichissement complémentaire adapté aux exigences des différents cœurs.

Il apparaît donc à votre mission que, là encore, la bonne voie est celle de la coopération européenne et que tout doit être mis en œuvre pour la réaliser.

CHAPITRE V

LA RECHERCHE NUCLEAIRE

La recherche scientifique est une des activités essentielles du Commissariat à l'Energie atomique. L'organisation administrative de la recherche au C. E. A., l'importance de l'infrastructure des quatre centres de recherches et la part de la recherche dans le budget et les effectifs du Commissariat traduisent cette vocation fondamentale.

L'éventail des recherches poursuivies au Commissariat couvre toutes les disciplines qui concernent les phénomènes nucléaires et leurs applications. Ces recherches sont de toute nature, fondamentale, appliquée ou recherche-développement.

Mais le Commissariat n'a pas le monopole exclusif de ces études. La recherche fondamentale en physique nucléaire relève aussi bien du Ministère de l'Education nationale et du C. N. R. S. que du C. E. A. et il existe un Organisme européen pour la recherche nucléaire (C. E. R. N.) auquel les pays européens — France incluse — transfèrent progressivement la responsabilité des travaux nécessaires à l'approfondissement de la connaissance de la matière. En ce qui concerne les recherches appliquées, l'E. D. F. ou le secteur industriel privé ainsi qu'Euratom sont également compétents. Il conviendrait donc de prendre en considération l'ensemble de la politique de la recherche en France, afin d'y situer les unes par rapport aux autres ces diverses instances et de caractériser les relations qu'elles entretiennent. Mais les questions concernant l'industrie et les relations entre le C. E. A. et l'E. D. F. étant traitées dans d'autres parties de ce rapport, on se bornera ici à traiter les problèmes de coordination des recherches fondamentales et à donner un bref aperçu des activités d'Euratom.

On examinera successivement (1) :

- la place de la recherche dans l'ensemble des activités du C. E. A. ;
- l'objet des recherches poursuivies ;
- le C. E. A. dans l'ensemble des recherches nucléaires nationales et européennes (C. E. R. N.-Euratom).

(1) Il ne sera traité ici que des recherches civiles.

SECTION I. — IMPORTANCE DE LA RECHERCHE
DANS LES ACTIVITES DU C. E. A.

§ 1^{er}. — L'organisation administrative de la Recherche
au sein du C. E. A.

a) Composé de treize membres nommés par le Gouvernement, le *Comité de l'Energie atomique* tient au C. E. A. le rôle d'un conseil d'administration. Il « établit les programmes de recherches, de fabrication et de travaux dans le domaine de l'énergie atomique ». (Décret n° 45-2572 du 18 octobre 1945.)

Des deux personnalités qui sont à la tête du Commissariat, l'administrateur général et le haut-commissaire, c'est le *haut-commissaire* qui est plus particulièrement chargé de la direction scientifique et technique, dans le cadre des délibérations du Comité de l'Energie atomique. (Ordonnance du 18 octobre 1945, art. 3.)

Il est assisté dans cette tâche par le *Conseil scientifique*, obligatoirement consulté sur les programmes d'études et de recherches du Commissariat. Ce Conseil comprend quinze membres, nommés par arrêté du Premier Ministre parmi les personnalités du monde scientifique (Décret n° 51-7 du 3 janvier 1951, art. 2.)

En outre un *Comité de biologie*, créé en 1961, est chargé de donner son avis sur les programmes de recherches biologiques du Commissariat et sur les programmes de recherche que le C. E. A. confie, par contrat, à des laboratoires extérieurs biologiques et médicaux.

b) Les différents services du Commissariat — à l'exception de trois départements, deux services d'inspection et une sous-direction (1) — sont regroupés au sein de douze *directions*.

(1) Département de sûreté et de protection du secret (Administrateur général).
Département de biologie (Haut-Commissaire).
Département de l'usine de séparation des isotopes de l'uranium.
Prospection générale.
Inspection générale des travaux.
Sous-direction de la métallurgie.

La logique de ces regroupements n'apparaît pas, dans bien des cas, comme évidente, tout particulièrement en ce qui concerne la ventilation des différents services de recherche entre les Directions.

Le développement des activités du Commissariat explique dans une certaine mesure la création de nouveaux services qui ont été rattachés aux structures administratives existantes. Il en résulte une impression d'irrationalité dans la répartition des tâches telle qu'elle ressort de la lecture de l'organigramme. Ce défaut est le lot commun de bien des administrations dont le caractère évolutif est peu compatible avec la rigidité des structures.

Parmi les douze directions, trois seulement ne sont pas concernées par la recherche civile. Ce sont :

- la Direction administrative et la Direction financière et comptable, rattachées à l'administrateur général, d'une part ;
- la Direction des applications militaires, d'autre part.

Les responsabilités des études de recherche et développement sont diffusées à travers les neuf directions restantes :

- la Direction de la protection et de la sûreté radiologiques (Département de la protection sanitaire, Services d'études de sûreté radiologique, d'études de criticité, d'études de protection) ;
- la Direction des relations extérieures et des programmes (Département des programmes) ;
- la Direction des productions (recherches sur la production de matières premières) ;
- la Direction des piles atomiques (Département des études de piles, Département de recherche physique) ;
- la Direction des matériaux et des combustibles nucléaires (Départements de physico-chimie, de chimie, des radio-éléments) ;
- la Direction de la physique (Départements du synchrotron Saturne, de physique nucléaire, de physique du plasma, de physique des particules élémentaires, services de physique du solide et de physique théorique).

Les trois dernières Directions ne correspondent pas à une ventilation des activités par objet ou par mission, mais coiffent les différents Centres de recherches.

Ce sont :

- la Direction du centre d'études nucléaires de Saclay ;
- la Direction du centre d'études nucléaires de Grenoble ;
- la Direction commune aux centres de Fontenay-aux-Roses et de Cadarache.

Des études et recherches sont, en outre, poursuivies au Département de biologie, rattaché directement au Haut-Commissaire.

*

* *

Les activités de recherche poursuivies au C. E. A. classées selon leur nature (fondamentale, appliquée, développement) ou leur objet (1), ne correspondent guère aux structures administratives décrites ci-dessus.

Ainsi les recherches sur la production de matières premières sont menées à la fois par la Direction des productions et par celle des matériaux et combustibles nucléaires.

Seule la Direction de la physique semble constituer un tout cohérent coiffant totalement et exclusivement les recherches en physique fondamentale. Encore convient-il de nuancer cette affirmation puisque la Direction des piles atomiques comporte un Département de recherche physique.

Si les activités de recherche sont aussi dispersées, c'est sans doute parce que le Commissariat est avant tout un organisme de recherches. Même lorsque ses missions ont un caractère industriel, telle la production de matières nucléaires, celles-ci supposent bien évidemment des études en amont.

Doit-on considérer que les services du Commissariat disposent d'une certaine autonomie, ce qui ferait craindre certains doubles emplois au sein même de l'organisme ? Au contraire, les services travaillent-ils en étroite symbiose ?

Chaque centre pluri-disciplinaire relevant d'une direction propre, c'est peut-être au niveau de l'unité géographique qu'existe une autonomie relative. Mais le fait que les crédits de recherche soient alloués par une autorité centrale permet de supposer que les recherches sont coordonnées au sein du Commissariat : dans

(1) Voir section II.

la présentation du budget-recherche annuel, les crédits sont ventilés selon la nature et l'objet des recherches et non par services. Cette coordination est le fait des directions verticales responsables de telle ou telle mission de recherche, ces directions étant appelées à collaborer entre elles si l'objet des travaux qui y sont poursuivis est commun ou voisin.

§ 2. — L'infrastructure technique de la recherche.

La recherche civile s'effectue au Commissariat dans quatre centres d'études nucléaires :

— ceux de Saclay et de Fontenay-aux-Roses, dans la région parisienne ;

— ceux de Grenoble et de Cadarache dans le Sud-Est de la France.

Une partie des installations de ces centres est utilisée pour l'accomplissement de plusieurs missions et forme le *support technique* de la recherche.

Ce sont principalement :

— certains réacteurs d'irradiations polyvalents, telles les piles EL 1 (ZOE), EL 3 et Osiris ;

— l'instrumentation électronique assurant le fonctionnement des installations nucléaires ;

— les ordinateurs et les centres de calcul ;

— la documentation concentrée à la bibliothèque centrale ;

— les services communs de radioprotection et de traitement des effluents.

Le coût de la gestion de ce support technique représente, en fonctionnement et en investissement, environ 22 % du budget recherche du C. E. A. Les personnels correspondants représentent 32 % des effectifs globaux affectés à la recherche.

En outre, chaque centre est doté d'équipements et d'appareillages correspondant à ses missions propres.

a) *Le centre de Saclay* est le plus important des centres de recherches nucléaires existant en France. Sa construction a commencé en 1949. Depuis cette date il n'a cessé de développer ses activités et s'est enrichi chaque année de nouvelles installations. Plus de 5.000 agents du C. E. A. travaillent à Saclay.

Les travaux effectués au centre intéressent la physique nucléaire fondamentale, les réacteurs, l'étude des matériaux et des combustibles nucléaires, la biologie et la protection contre les radiations.

Au nombre des équipements servant à ces travaux il convient de citer en premier lieu les accélérateurs de particules et les réacteurs expérimentaux.

Les *accélérateurs* sont utilisés pour la recherche fondamentale en physique des hautes énergies (1). Seuls le perfectionnement de ces appareils et l'augmentation de leur puissance doivent permettre de découvrir les particules les plus infimes qui composent la matière.

Les accélérateurs de Saclay sont au nombre de six : un Van de Graaff tandem de 24 MeV (millions d'électrons-volts : énergie communiquée aux particules qui, envoyées sur une cible, explosent et donnent naissance à des particules nouvelles) ; un cyclotron à énergie fixe ; un cyclotron à énergie variable ; un accélérateur linéaire de 60 MeV ; le synchrotron Saturne, qui permet de communiquer à des protons une énergie de 3 milliards d'électrons-volts et était au moment de son entrée en service (1958) le plus gros accélérateur du monde ; enfin un accélérateur linéaire d'électrons à forte intensité de 300 MeV entré en service en 1968.

Les *piles expérimentales* de Saclay sont au nombre de deux, EL 3 et Osiris. Cette dernière est complétée par la maquette critique (2) Isis. Osiris a remplacé EL 2, arrêtée en 1965 au terme de 13 ans de service. Les deux réacteurs d'irradiation sont réservés aux recherches des physiciens sur faisceaux de neutrons, aux études sur le comportement des matériaux, à la production des radioéléments.

En outre, Saclay dispose de *laboratoires* hautement spécialisés, dotés d'équipements complexes pour le traitement des matières radioactives :

— un laboratoire d'examen des combustibles irradiés (L. E. C. I.) ;

— un laboratoire de production des radioéléments et des molécules marquées (3) ;

(1) Voir section II, § I, et section III, § I et II.

(2) La maquette critique d'une pile est un modèle réduit qui présente les mêmes caractères et sert à préparer les expériences qui seront faites sur la pile.

(3) Voir section II, § II.

— un laboratoire d'analyse des produits irradiés par activation, commun au C. E. A. et au C. N. R. S. (laboratoire Pierre Süe) ;

— un centre d'application des radiations ionisantes (Capri), en cours d'installation, destiné à promouvoir en France le développement de la chimie sous rayonnement.

L'ensemble des installations de Saclay, comprenant d'importants services généraux et un certain nombre de services scientifiques et techniques qui font partie du support technique de la recherche (électronique générale et documentation, par exemple), représente un investissement de près de 2 milliards de francs.

Ajoutons que Saclay abrite l'*Institut des sciences et techniques nucléaires*, créé en 1956 avec mission d'enseignement. Cet institut dispose d'équipements propres dont la pile de 100 kW « Ulysse ».

b) *Le centre de Fontenay-aux-Roses* est installé sur l'emplacement de l'ancien fort de Châtillon, qui abrita les pionniers du Commissariat, rassemblés autour de la première pile atomique française ZOE (EL 1).

Enfermé dans une superficie de 13 hectares, astreint par décision gouvernementale, en raison de sa situation dans la région parisienne, à un effectif maximum de 1.500 personnes, le Centre de Fontenay a pour *vocation* de conduire des travaux de laboratoire qui trouveront leur achèvement dans les centres de province.

Le *programme* des services implantés à Fontenay-aux-Roses porte principalement sur le contrôle des radiations et l'hygiène atomique, et sur l'« étude des matériaux et combustibles nucléaires ». Le service de protection sanitaire demeure un des plus actifs.

En outre, c'est à Fontenay que sont menées les recherches françaises sur la fusion contrôlée qui se développent dans le cadre des accords C. E. A.-Euratom. Mais les études sur la fusion contrôlée nécessitent des installations de plus en plus importantes et il est question de transplanter les laboratoires de Fontenay au centre de Grenoble dans un proche avenir.

Les piles d'études et de recherches sur lesquelles les chercheurs de Fontenay poursuivent leurs travaux sont au nombre de trois : ZOE (EL 1) Triton et Minerve (piles piscines). La pile EL 1, en service depuis 1948, est plus particulièrement utilisée pour les études de protection. Les piles Triton et Minerve servent entre autres usages à la mesure de la pureté des matériaux nucléaires et à la production de radioéléments.

Outre ces équipements importants, Fontenay abrite de nombreux laboratoires spécialisés (protection des personnes et des biens contre les radiations, fusion thermonucléaire contrôlée, etc.).

c) *Le troisième centre d'études* nucléaires du Commissariat a été créé en 1956, à Grenoble avec deux objectifs : décentralisation des activités de recherches et collaboration avec l'université et l'industrie. Le dynamisme des laboratoires universitaires et l'essor d'industries spécialisées dans les technologies les plus avancées désignaient particulièrement la région grenobloise pour une telle implantation.

Le centre de Grenoble est à vocation *pluridisciplinaire* : l'éventail des recherches qui y sont menées couvre à peu près tout ce qu'il est possible d'étudier en vue du développement des applications des sciences nucléaires ou au moyen des techniques que les recherches en vue de ces applications ont permis de mettre au point. On y fait aussi bien des recherches fondamentales en physique du du solide que de l'électronique avancée.

Comme les autres centres de recherches du Commissariat, celui de Grenoble dispose d'une infrastructure complexe qui se répartit en moyens d'irradiations tels que réacteurs et accélérateurs, laboratoires spécialisés et halls d'essais, enfin bâtiments de Service généraux techniques et administratifs.

Les moyens d'irradiation comprennent deux piles-piscines, Mélusine (2 MW) et Siloé (10 MW) ; une petite pile de modèle nucléaire, Siloette, qui est la maquette critique de Siloé, huit accélérateurs électrostatiques et 2 Van de Graaff. L'ensemble de ces équipements est complété par un laboratoire de haute activité pour les opérations et examens post-irradiatoires et par diverses installations, telles que les laboratoires du bâtiment de contrôle analytique des matériaux, la station de traitement des déchets radioactifs, le bâtiment de décontamination, etc.

Le laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique (L. E. T. I.) mérite une mention particulière. Né en 1967 de la collaboration entre le Service d'électronique et plusieurs laboratoires de recherches en physique du Centre d'études nucléaires de Grenoble, le L. E. T. I. a pour vocation de participer à l'effort national d'étude et de développement dans les domaines touchant à l'informatique et d'améliorer les liaisons avec d'autres organismes publics et privés. Le L. E. T. I. est en pleine expansion : ses effectifs ont atteint fin 1969 environ 300 personnes, dont les deux tiers

sont formés par du personnel contractuel travaillant dans le cadre de conventions de recherche avec l'industrie et avec les administrations, ou par des équipes détachées par certaines entreprises industrielles. Cette recherche contractuelle est essentiellement orientée vers l'étude des composants électroniques.

Le L. E. T. I. représente une tentative intéressante de centre de recherche interdisciplinaire ouvert à la participation de tous : l'originalité de son statut — relative autonomie administrative, participation de l'industrie au financement des recherches — et la rapidité de son développement le désignent aux yeux de certains comme modèle d'organisme de liaison entre la recherche publique et la recherche privée.

Notons enfin que le C. E. N. de Grenoble abrite depuis peu l'Institut Max Von Laue-Paul Langevin, chargé de la construction puis de l'exploitation du réacteur à haut flux franco-allemand (1).

En 1971, gonflé par la création de l'Institut Max Von Laue-Paul Langevin et le transfert du département des fusions de Fontenay-aux-Roses, *l'effectif* du Centre d'études nucléaires de Grenoble devrait atteindre 3.000 personnes.

d) La création du plus récent *centre d'études nucléaires*, celui de *Cadarache*, dans les Bouches-du-Rhône, s'est inscrite, comme celle de Grenoble, dans le cadre de la politique d'aménagement du territoire.

Bénéficiant d'une vaste superficie (1.600 hectares), le nouveau centre pouvait abriter les installations nécessaires aux recherches expérimentales sur la *propulsion nucléaire navale* et la *filiale des réacteurs à neutrons rapides*. Quoique principalement axées sur les études de réacteurs, les recherches poursuivies à Cadarache concernent également la technologie du plutonium, la chimie industrielle (traitement des effluents, dessalement de l'eau de mer), la sûreté des piles et la protection radiologique, la radioagronomie et la radioécologie.

Les réacteurs de recherche sont au nombre de huit : Pégase (essais des combustibles dans les réacteurs refroidis au gaz) et sa maquette critique Peggy, Cabri (études de sûreté), Marius (études de réseaux), Eole (études de réseaux à eau lourde), Azur (maquette critique du prototype à terre), enfin Harmonie et Mazurca.

(1) Voir section I, § 1.

Ces deux derniers réacteurs sont utilisés pour les recherches sur la filière à neutrons rapides : Mazurca est une maquette critique de réacteur à neutrons rapides et Harmonie est un réacteur-source de neutrons pour les expériences neutroniques sur maquette critique. Sont également utilisés comme source de neutrons *deux accélérateurs de particules* (l'un de type Van de Graaff, l'autre électrostatique).

L'essentiel de l'équipement expérimental pour la filière des sur-régénérateurs est constitué par le *réacteur prototype Rhapsodie* qui fonctionne depuis 1967. L'étape prochaine sera Phénix réacteur prototype de 250 MWe, dont la construction est en cours à proximité du centre de Marcoule.

Notons que le P. A. T. (prototype à terre de moteur de sous-marin atomique) est toujours en fonctionnement.

Les *effectifs* du centre de Cadarache ont atteint, en 1969, 2.200 agents du C. E. A., auxquels il convient d'ajouter plusieurs centaines d'ouvriers et de techniciens salariés d'entreprises extérieures.

§ 3. — Les crédits et les effectifs.

La recherche représente, en fonctionnement et en investissements, 52 % du budget civil du Commissariat en 1969 — et elle occupe 42 % des effectifs correspondants.

Ces données brutes permettent de mesurer l'importance de la part de la recherche dans les activités du Commissariat, *a fortiori* si l'on tient compte des recherches poursuivies en vue des applications militaires.

A titre de comparaison, notons que la production des matières nucléaires (recherches en vue de la production exceptées), autre activité importante du Commissariat, représente deux fois moins en crédits mais presque autant en nombre d'agents employés.

1° Les crédits.

Le financement de la recherche civile est assuré par la subvention annuelle du chapitre 62-00 du budget du Ministère du Développement industriel et scientifique. Les crédits budgétaires affectés

à la recherche civile du C. E. A. demeurent hors enveloppe-recherche mais sont soumis à la procédure d'examen interministériel depuis 1969.

Les sommes versées au C. E. A. en contrepartie de contrats de recherche exécutés pour les organismes extérieurs (Délégation générale à la recherche scientifique et technique, direction des recherches et moyens d'essai...), ne représentent qu'une faible part des ressources propres (11 millions de francs en 1969).

Pour 1969, sur un budget civil de 2.423 millions de francs, les crédits de recherche se sont élevés à 1.245 millions de francs, dont 770 en crédits de fonctionnement et 475 en crédit d'équipement.

Depuis 1967, le volume des crédits *recherches* du C. E. A. tend à *se stabiliser*. En effet :

— les grandes installations de recherche fondamentale nécessitant de gros investissements sont achevées pour la plupart. La tendance actuelle est à la participation à la construction d'appareils au niveau international (grand accélérateur de 300 GeV du C. E. R. N.) ;

— les ressources affectées aux secteurs de recherche appliquée qui ont abouti à des réalisations industrielles (filrière graphite-gaz) ont été réduites en conséquence.

Bien évidemment, d'autres programmes ont pris le relais. Mais l'effort de compression des dépenses publiques auquel s'est astreint l'Etat ces dernières années n'a pas épargné le Commissariat, tant dans ses programmes militaires que dans ses programmes civils. Aussi les crédits actuellement alloués ont-ils suivi une régression.

Actuellement est assuré en priorité le financement des programmes suivants :

— engagements internationaux :

— participation à la réalisation du *réacteur franco-allemand à haut-flux* par l'Institut Max Von Laue-Paul Langevin, sis à Grenoble ;

— *chambre à bulles Mirabelle* à destination de l'accélérateur soviétique de Serpukhov (1) ;

— *chambre à bulles européenne* (C. E. R. N.) ;

— réalisation du *réacteur Phénix* à Cadarache dans le cadre du développement de la filière à neutrons rapides.

(1) Achevée au début de l'année 1970 cette chambre à bulles est actuellement en cours de transfert vers l'Union soviétique.

Le coût élevé de ces programmes prioritaires, considérés comme charges incompressibles, fait peser un lourd handicap sur le reste des recherches, partiellement sacrifiées (1).

Notons que le budget-fonctionnement de la recherche est alourdi par des *frais de personnel* importants. Les effectifs employés à la recherche sont en grande part des salariés de haute qualification, et les hausses des salaires accordées dans la fonction publique depuis 1968 se sont fortement répercutées sur le budget recherche du Commissariat.

2° *Les effectifs.*

En 1969, 7.458 personnes sur 17.555 employées au C. E. A. à des tâches civiles étaient occupées à des missions de recherche.

La *structure de ce personnel* se caractérise par l'importance des agents de la catégorie *cadres* par rapport aux non-cadres, d'où le coût de son emploi qui a été indiqué dans le développement précédent concernant le financement de la recherche. Par ailleurs, c'est un personnel relativement jeune et mobile par rapport au reste des effectifs du commissariat.

Outre les agents du Commissariat, travaillent dans les centres de recherche de nombreux stagiaires, boursiers - thèses et autres collaborateurs extérieurs. On comptait en 1968 pour l'ensemble du Commissariat :

- 1.520 stagiaires universitaires rémunérés dont 142 étrangers ;
- 812 stagiaires non rémunérés dont 431 étrangers ;
- 560 boursiers - thèses ;
- 99 agents d'Euratom ;
- 114 collaborateurs extérieurs (industrie, etc.) ;
- 141 conseillers.

Tous ces chiffres marquaient une progression par rapport à 1967.

Le *volume des effectifs* recherche a évolué comme l'ensemble des effectifs civils et militaires du Commissariat. Si l'on représente cette *évolution* sur un graphique avec le temps en abscisse et le volume des effectifs en ordonnées, la courbe tracée prend une forme

(1) Voir annexe, section I, § I, physique nucléaire.

logistique (courbe en S). Les deux inflexions se situent vers 1952-1953 pour l'inflexion vers une hausse accélérée et vers 1966-1967 pour l'inflexion vers la stabilisation. La période 1953-1966 correspond à une période de forte activité : c'est en 1959-1960 que sont mises en service les grandes piles G 2 et G 3 de Marcoule, qu'explose le premier engin atomique militaire français et que démarre la construction de Pierrelatte ; c'est en 1962 qu'entre en fonctionnement Chinon I, en 1964 le prototype à terre du réacteur de propulsion navale et en 1967 la pile expérimentale Rapsodie. On constate ainsi une nette corrélation entre l'accroissement des effectifs et le calendrier des réalisations du Commissariat à l'Energie atomique.

En ce qui concerne plus particulièrement la recherche, l'augmentation des effectifs des Centres d'études nucléaires a été progressivement ralentie : 3,1 % en 1966, 2,5 % en 1967 et seulement 1,2 % en 1968.

*
* *

La *tendance actuelle à la stabilisation* des effectifs a deux causes principales :

— l'aboutissement de certaines missions (activités militaires, filière graphite-gaz) ;

— l'austérité budgétaire nécessitée par la conjoncture depuis 1968.

Mais stabilisation ne doit pas signifier sclérose.

Un des problèmes que se posent actuellement les dirigeants du Commissariat est donc celui de la *reconversion des équipes*. L'objectif primordial que se fixent les responsables de la politique du personnel est de permettre la *mobilité* de celui-ci, externe et interne, afin d'assurer la meilleure utilisation possible d'un potentiel de main-d'œuvre souvent très qualifiée. Des procédures et des techniques nouvelles sont à l'étude pour accroître les mutations d'une unité à l'autre.

On sait qu'une réduction des effectifs du C. E. A. a été décidée qui doit porter sur 2.600 emplois d'ici à la fin de 1971 et se poursuivre jusqu'en 1976-1977. Mais elle concerne surtout la Direction des applications militaires et la Direction de la production,

cette dernière dans la mesure où tant le freinage du programme militaire que l'infléchissement de la politique électronucléaire française impliquent un ralentissement de la production de matières nucléaires.

En revanche, le secteur de la recherche civile est peu atteint. Habituellement d'ailleurs le nombre des départs volontaires dans le secteur scientifique permet de maintenir un certain renouvellement à la base, indispensable à l'esprit d'invention qui doit animer les équipes de recherche.

SECTION II. — OBJET DES RECHERCHES DU C. E. A.

A sa création, le C. E. A. a été investi d'attributions globales qui lui donnaient le quasi monopole des études nécessaires au développement de toutes les applications de l'énergie nucléaire.

Ce champ de compétences s'étendait en amont aux *recherches* les plus *fondamentales* sur la matière et les radiations. A la Libération en effet la France avait d'excellents physiciens et un passé scientifique très honorable, mais ne disposait d'aucun des équipements nécessaires à ces études. La création d'un organisme tel que le C. E. A. représentait donc une solution permettant de concentrer à la fois les hommes et les moyens financiers alors rares.

A l'aval, les *Recherches appliquées* se sont développées selon quelques finalités essentielles : production d'électricité, applications militaires, utilisations médicales, etc. Le C. E. A. a poursuivi parallèlement les recherches d'accompagnement nécessaires : par exemple en vue de la protection contre les irradiations et la sûreté des installations.

Enfin le développement des activités nucléaires du Commissariat a permis la mise au point d'appareillages et de *techniques* fort intéressants dans tous autres domaines que le nucléaire au sens strict : par exemple le dessalement des eaux.

Ainsi d'étape en étape les études entreprises ont eu un effet d'entraînement les unes sur les autres. Les recherches ont eu tendance à se développer en fonction non plus des *objectifs* fixés mais des *moyens* mis en place, en sorte que les activités de recherche du Commissariat non seulement couvrent l'ensemble du domaine nucléaire mais s'étendent au-delà de ses missions originelles strictes,

Dans le tableau que nous allons maintenant broser des grands axes des recherches poursuivies au C. E. A. nous nous efforcerons de déterminer autant que possible quelles ont été les motivations de ces recherches.

§ 1. — Les grands axes de la recherche fondamentale.

1° Actuellement, malgré la renaissance après-guerre des laboratoires universitaires, le C. E. A. est toujours l'un des plus grands organismes de recherche français dans des branches essentielles de la *physique* et, dans une moindre mesure, de la *chimie fondamentales*.

Ces activités représentent 21 % du budget-recherche et 20 % des effectifs-recherche du Commissariat.

Elles sont poursuivies en collaboration avec l'Université et certains organismes de recherche internationaux comme le C. E. R. N. ou Euratom.

a) *La physique nucléaire* concerne l'étude de la structure du noyau atomique et de ses propriétés.

Elle débouche sur la *physique des particules élémentaires* ou *physique des hautes énergies* : recherche des particules infimes qui constituent la matière, étude de leurs propriétés et de leurs interactions. Les découvertes les plus récentes concernent les particules dites étranges, dont la durée de vie est extrêmement brève, de 10^{-8} seconde (10 milliardièmes de seconde) et les résonances (particules très instables dont la durée de vie est inférieure à 10^{-20} seconde).

On produit ces particules, au prix d'une dépense d'énergie considérable, au sein des grands accélérateurs, d'où le terme de *physique des hautes énergies*. Elles sont ensuite détectées dans des appareils spéciaux, chambres à étincelles ou chambres à bulles. Une chambre à bulles est un appareil rempli de liquide (hydrogène liquide par exemple) presque en état d'ébullition. Le passage d'un faisceau de particules à travers ce liquide crée des alignements de bulles microscopiques qui sont photographiés. L'examen des clichés permet d'étudier la trajectoire des particules, et révèle parfois la présence de particules non identifiées, donc nouvelles pour la science.

Les recherches en physique des hautes énergies exigent des équipements de plus en plus colossaux, grâce auxquels les chercheurs espèrent atteindre les limites de l'infiniment petit.

Les plus gros accélérateurs du C. E. A. sont le synchrotron à protons « Saturne » (3 milliards d'électrons-volts) et l'accélérateur linéaire de Saclay en construction.

Le C. E. A. s'est acquis une renommée mondiale dans la construction de chambres à bulles. Un de ces appareils — la chambre à bulles Mirabelle — commandé par l'Union soviétique, est en cours de transfert auprès de l'accélérateur de Serpukhov.

b) Les études en *physique du solide* et du *magnétisme* poursuivies au C. E. A. s'appliquent à divers problèmes relatifs aux propriétés de la matière condensée, par exemple aux mouvements moléculaires dans des solides organiques.

C'est essentiellement à ces recherches qu'est destiné le *réacteur à haut-flux franco-allemand* dont la construction est actuellement en cours à Grenoble. Les études en vue de la réalisation de ce réacteur sont poursuivies à l'Institut Max Von Laue-Paul Langevin, créé à cet effet. Il doit être exploité en commun par des physiciens français (C. E. A. - C. N. R. S.) et allemands.

c) *La physique atomique* a été principalement étudiée d'un triple point de vue : collisions électron-atome, comportement de la matière sous l'influence d'un flux de protons intense (produits par Laser) et aspects généraux des interactions entre atomes excités.

d) *La physique des milieux ionisés* est l'étude de la matière en état de *plasma*. En physique, un plasma est un gaz ionisé extrêmement instable, que les chercheurs tentent de confiner par champ magnétique ou par faisceau Laser. L'étude de la physique des plasmas débouche sur la *fusion thermonucléaire contrôlée*, qui permettrait de produire de l'énergie par fusion de noyaux légers et non par fission (1). Mais la solution du problème (stabilisation du plasma) échappe encore aux physiciens, malgré les perfectionnements constants apportés aux machines construites dans ce but.

En France, les études sur la fusion thermonucléaire contrôlée sont poursuivies en association avec Euratom. Le projet de construction d'une machine à striction tubulaire (projet Superstator) a dû

(1) Voir Annexe II, p. 169.

être abandonné pour des raisons d'économie. Mais le Comité de l'Energie atomique a décidé, le 2 avril 1970, la construction d'un dispositif torique du type Tokomak.

e) *L'astrophysique nucléaire* comporte l'étude des particules nucléaires et des rayonnements d'origine extra-terrestre.

En collaboration avec le Centre national d'Etudes spatiales (C. N. E. S.), le C. E. A. a été amené à participer à la préparation, au montage et à l'interprétation de nombreuses expériences spatiales. Actuellement, le programme de recherches porte sur le rayonnement cosmique nucléaire d'origine solaire et galactique, les électrons galactiques et solaires, l'astronomie en rayonnement X et l'astronomie en rayonnement gamma.

f) Les recherches fondamentales en *chimie, physico-chimie*, accessoirement métallurgie, ont pour objet l'étude des effets des rayonnements et des mécanismes élémentaires intervenant dans les matériaux sous l'effet des contraintes propres aux installations nucléaires.

Alors que les recherches dans les secteurs précédemment énoncés avaient pour seul objectif l'accroissement des connaissances, les recherches fondamentales en chimie et physico-chimie sont plus directement liées aux travaux effectués au C. E. A. sur les filières de réacteurs ou la production des matières nucléaires. Selon une formule de M. Hirsch, elles « visent à accroître les connaissances fondamentales en vue de fertiliser la recherche appliquée ».

2° C'est en 1952 qu'a été introduite dans les programmes du C. E. A. la *Recherche biologique*, dans le but de promouvoir les méthodes nucléaires en biologie et d'étudier l'action des rayonnements sur les êtres vivants.

Actuellement, ces premiers objectifs ont été atteints. Mais les applications de l'énergie nucléaire en médecine et en agronomie, la production des molécules marquées et l'utilisation des isotopes stables se sont développées et ont ouvert de nouvelles perspectives à la recherche fondamentale. Les travaux portent principalement sur :

- la structure des acides nucléiques et la transmission de l'information génétique au niveau de la cellule ;
- la photosynthèse ;
- la perméabilité des membranes aux ions ;
- la synthèse des protéines.

Les recherches en biologie sont peu coûteuses : 1 % du budget recherche du C. E. A. En effet, cette discipline est étudiée en laboratoire et nécessite peu d'investissements. Elle occupe 2 % des effectifs recherche.

§ 2. — Les grands axes de la recherche appliquée et les études technologiques.

La recherche appliquée ne peut être ventilée comme la recherche fondamentale selon les disciplines étudiées. Les axes de la recherche appliquée correspondent aux différentes utilisations de l'énergie nucléaire et aux missions du Commissariat à l'Energie atomique.

1. — Les études en vue de la *production d'énergie électrique d'origine nucléaire* et de la *construction des générateurs* représentant l'effort de recherche le plus important : 37 % du budget-recherche, 26 % des effectifs-recherche.

a) Jusqu'en 1967, l'effort s'est porté sur la mise au point de la filière à uranium naturel-graphite-gaz, filière dite française mais également étudiée par les britanniques.

Le C. E. A. a procédé à l'étude des *différentes filières* décrites dans le chapitre III et, comme on l'a dit, son effort se concentre actuellement sur la filière à neutrons rapides.

b) Dans le même cadre de ses travaux sur la production d'électricité, le C. E. A. a été amené à étudier divers systèmes de *conversion directe de l'énergie thermique en électricité*, c'est-à-dire sans l'apport d'échangeurs de chaleur. Ces procédés ne sont pas spécifiques aux sources thermiques à combustible nucléaire, mais il est intéressant de tenter de les adapter à ces sources d'énergie.

Les procédés de conversion directe de l'énergie thermique en électricité sont au nombre de trois :

- la conversion thermoélectronique ou thermoïonique ;
- la conversion thermoélectrique ;
- la conversion magnétohydrodynamique.

1° Les générateurs d'électricité construits selon les méthodes de la *conversion thermoélectronique* (ou thermoïonique) et de la *conversion thermoélectrique* présentent un double intérêt :

- encombrement minimum ;
- longue autonomie de marche par rapport à l'environnement.

Les études conjointes du C. E. A. (Grenoble), de la Direction des recherches et moyens d'essai et de l'industrie (Thomson C.S.F.) sur le premier de ces procédés ont abouti à la mise au point de générateurs d'une puissance de 100 à 1.000 KWe, constitués d'un ensemble de diodes de conversion chargées d'uranium qui forment la masse critique d'un petit réacteur nucléaire. L'emploi de ces réacteurs s'avère particulièrement opportun dans l'espace ou en océanologie profonde.

Avec la méthode de conversion thermoélectrique, on peut construire des générateurs d'une puissance de 20 à 50 W., opérationnels pour des applications sous-marines (exemple : expériences pétrolières en mer). Dans ce domaine, le C. E. A. est doté de moyens de transformation et de réalisation de fortes sources isotopiques de chaleur qui le placent au premier rang dans le monde. Ainsi, l'emploi de plutonium 239 comme combustible permet de réaliser de très petits réacteurs de ce type, susceptibles d'application en médecine et chirurgie (stimulateurs d'organe), dans les télécommunications ou comme instrument de mesure du temps.

2° Un générateur *magnétohydrodynamique* fonctionne grâce au déplacement d'un fluide conducteur de l'électricité dans un champ magnétique, ce qui permet par effet Faraday de convertir l'énergie de ce fluide (cinétique par exemple) directement en énergie électrique. Cette méthode permet d'obtenir un rendement thermique très élevé.

Mais, à l'heure actuelle, la technique n'est pas encore au point. Le C. E. A. poursuivait, en relation avec la Pologne, des recherches sur la conversion magnétohydrodynamique, l'E. D. F. également. L'un et l'autre organisme en butte à des problèmes techniques considérables ont abandonné leurs travaux. En revanche, des études sont poursuivies avec bon espoir dans l'industrie (C.E.M.-S.O.C.I.A.).

c) Outre les différents travaux énumérés ci-dessus, le Commissariat poursuit des *études communes* à toutes les méthodes de production d'électricité d'origine nucléaire. Ces études concernent :

- la neutronique théorique (neutrons thermiques et neutrons rapides) ;
- la physique des combustibles irradiés ;
- les propriétés des différents combustibles nucléaires (uranium métal et alliages, oxyde d'uranium, plutonium) ;
- la résistance et la corrosion des matériaux nucléaires (aciers et alliages à base de fer, alliages de zirconium, bétons spéciaux).

2. — Le C. E. A. porte la responsabilité de l'approvisionnement du pays en matières nucléaires de base. *Les études de production* nécessaires portent sur :

- la minéralogie ;
- le traitement des combustibles irradiés dans les réacteurs ;
- la séparation isotopique de l'uranium (procédé de la diffusion gazeuse expérimenté à l'usine de Pierrelatte) ;
- les procédés de fabrication d'eau lourde.

L'ensemble de ces études représente 8 % du budget recherche et occupe 7 % des effectifs recherche du Commissariat.

3. — Troisième mission importante du Commissariat : la production de *radioéléments artificiels* et le contrôle du marché de ces produits ; *l'utilisation des rayonnements*.

a) Les radioéléments — ou éléments radioactifs — comprennent :

- les radioisotopes (isotopes radioactifs d'un élément naturel) qui sont les radioéléments proprement dits ;
- les produits chimiques marqués par radioéléments ;
- les molécules marquées (au carbone 14, au phosphore 32, au soufre 35, au tritium, à l'azote 15, au carbone 13 et au deutérium) ;
- les sources radioactives alpha, bêta, gamma ; les sources de neutrons ;
- les étalons radioactifs.

On dénombre au total près de 2.000 produits différents.

Les radioisotopes sont fabriqués par irradiation dans les réacteurs de recherche du C. E. A. et accessoirement dans les réacteurs d'E. D. F. (1). En 1969, les ventes de radioéléments ont atteint un montant hors taxes de l'ordre de 20 millions de francs dont environ la moitié à l'exportation. Le marché est en expansion (taux de croissance annuel du chiffre d'affaires de l'ordre de 6 à 7 %).

La production des molécules marquées, fort coûteuse, est effectuée à la demande des grands laboratoires de recherche biologique français. Le C. E. A. les vend au-dessous de leur prix de revient, remplissant ainsi une véritable mission de service public.

b) Les radioéléments constituent d'infinies sources de radioactivité.

L'éventail de leurs applications se diversifie sans cesse :

- recherche biologique (utilisation de traceurs radioactifs) ;
- médecine et chirurgie :
 - radiothérapie au cobalt (traitement des tumeurs malignes) ;
 - radiodiagnostic : utilisation de molécules marquées comme indicateurs à travers l'organisme ;
 - utilisation de générateurs radio-isotopiques au plutonium 238 comme stimulateurs d'organes (2) ;
- agronomie : application des rayonnements à la conservation des denrées (3), à la production de nouvelles espèces végétales, à la destruction des insectes ;
- industrie :
 - chimie sous rayonnement (industries chimiques et matières plastiques) ;
 - stérilisation d'instruments et de matériaux ;
 - utilisation de générateurs d'énergie radio-isotopiques sous-marins ;
 - utilisation de traceurs radioactifs (pollution des eaux par exemple).

(1) Ce sont donc des sous-produits de la production d'énergie nucléaire.

(2) Cf. Expérience récente de mise en service d'un stimulateur cardiaque de ce type à l'hôpital Broussais.

(3) Le C.E.A. a pour objectif de développer cette application dans les pays sous-développés où elle peut s'avérer particulièrement opportune.

c) Peu importantes quantitativement (2 % du budget, 2,5 % des effectifs) les recherches assumées par le Commissariat dans ce domaine sont donc d'un haut intérêt technique, scientifique et humanitaire. Elles portent sur :

— la mise au point de procédés nouveaux pour améliorer la production de radioéléments et de molécules marquées ;

— le développement des applications médicales, agronomiques et individuelles des rayonnements, ce en liaison soit avec l'industrie, soit avec les services biologiques ou médicaux intéressés.

Rappelons que le Centre d'application des radiations ionisantes (Capri), en cours d'installation à Saclay, est tout spécialement destiné à promouvoir le développement de la chimie sous rayonnement et ses applications industrielles.

4° Quatrième mission du C. E. A. : la protection des personnes et des biens contre les dangers de la radioactivité, condition impérative du développement de l'énergie nucléaire. Outre la mise en place de services de protection auprès des installations nucléaires, la recherche de cette sécurité implique des *études de protection sanitaire et de sûreté*.

Les études de sûreté ont pour but d'éviter les accidents nucléaires dans les installations et d'en limiter les effets à un niveau acceptable au cas où ils viendraient à se produire. Les études portent sur les sites, sur les processus d'émission et de diffusion des produits radioactifs, ou sur les risques particuliers à divers types d'équipements. La tâche à assumer en matière de sûreté des réacteurs est particulièrement importante ; les contrôles sur les projets, la construction, l'exploitation des réacteurs incombent également à l'E. D. F. et aux Armées selon qu'il s'agit de réacteurs civils ou militaires.

Les études de protection sanitaire couvrent la radiopathologie (étude de la nocivité des rayonnements sur l'homme et recherche des thérapeutiques adéquates), la radioécologie continentale et marine (étude de la contamination du milieu naturel par la radioactivité) et le contrôle des retombées radioactives.

Le développement des matériels adaptés aux besoins de la radioprotection a permis la mise au point d'instrumentations et de techniques originales susceptibles d'applications sortant du

domaine nucléaire. Ainsi les techniques mises en œuvre en radio-écologie peuvent être aisément appliquées à des travaux concernant la *pollution* du milieu par des contaminants industriels autres que les effluents radioactifs et rejetés, soit dans les eaux de surface, soit dans l'atmosphère. Plusieurs études de ce type ont déjà été réalisées. On sait par ailleurs que le Commissariat, dans le cadre de la diversification de ses activités, pourrait se voir confier une part importante des responsabilités nationales dans la lutte contre la pollution.

Les études de protection et de sûreté occupent 7,6 % des effectifs-recherche du Commissariat, et leur charge représente 4,5 % du budget correspondant.

5. — Au cours des développements qui ont précédé, on a vu comment le Commissariat avait été amené à développer des *études technologiques* variées débordant largement le domaine nucléaire proprement dit : conversion directe de l'électricité, lutte contre les pollutions...

Les techniques que les travaux du Commissariat ont permis de mettre au point concernant des domaines aussi variés que les études de matériaux (corrosion en particulier), la physique de pointe (technologie du vide, obtention de très hautes ou très basses températures, transfert thermique), la chimie sous rayonnement ou l'électronique et les appareils de mesure et de calcul.

Trois points méritent une mention particulière : l'électronique, les études de dessalement, l'application pacifique des explosions nucléaires.

a) La mise au point et le contrôle des appareils précis et complexes que sont les réacteurs et les accélérateurs de particules, le foisonnement des informations à rassembler, exigent un potentiel de *recherche électronique* considérable. Pour gérer et valoriser ce potentiel, le Commissariat a créé sur son centre de Grenoble un laboratoire d'électronique et de technologie de l'information (1). Doté d'un statut original, ce laboratoire effectue pour d'autres organismes publics ou privés des recherches sous contrat.

b) Les procédés de *dessalement des eaux saumâtres ou marines* font appel à des techniques dérivées du nucléaire et bien connues du C. E. A. telles que les techniques d'échange thermique, de lutte

(1) Voir : infrastructure technique, centre de Grenoble.

contre la corrosion ; par ailleurs l'usage de réacteurs nucléaires comme source d'énergie peut s'avérer adéquat pour faire fonctionner les appareils utilisés.

Entreprises depuis plus de quatre ans par le C. E. A., les études de dessalement ont d'ores et déjà atteint le stade du développement industriel. Après la réalisation d'une usine à Nouakchott, en Mauritanie, où le C. E. A. a joué le rôle de conseiller, celui-ci collabore actuellement avec la société Alsthom à la réalisation d'un grand ensemble au Koweït. Par ailleurs, l'île de Port-Cros est alimentée en eau potable depuis l'été 1969 par un électrodialyseur construit par le Commissariat.

c) *Les explosions nucléaires* sont susceptibles de trouver des applications pacifiques dans différents domaines industriels. Leur utilisation pour la création de réservoirs souterrains pour le stockage de gaz ou de liquides, par exemple, semble ouvrir des perspectives intéressantes dont le développement pourrait être pris en charge par les sociétés pétrolières, en collaboration avec le C. E. A. qui poursuit actuellement des études en ce sens.

SECTION III. — LE C. E. A. DANS L'ENSEMBLE DES RECHERCHES NUCLEAIRES FRANÇAISES ET EUROPEENNES

A travers la description des activités de recherche du Commissariat nous avons pu mesurer la diversité des disciplines scientifiques et techniques qui touchent au domaine nucléaire.

Il va sans dire que le C. E. A., quoique ayant été investi de compétences globales en la matière, n'est pas le seul organisme de recherche français — ou international — intéressé par ces disciplines.

Il est donc utile d'examiner comment la vocation et les missions de cet organisme s'inscrivent aujourd'hui dans l'ensemble de la politique de la recherche nationale, européenne et internationale, et comment sont coordonnées des activités des diverses instances intéressées.

§ 1. — La physique nucléaire fondamentale :
importance respective des laboratoires nationaux,
C. E. A., Universités, C. N. R. S., et problèmes de coordination.

L'importance respective des laboratoires de l'Université et du C. N. R. S., d'une part, du C. E. A., d'autre part, dans les recherches nationales en physique nucléaire et des particules élémentaires se mesure à trois points de vue : celui des équipements, celui des hommes, celui des crédits, enfin.

A. — LES ÉQUIPEMENTS

Les appareils essentiels à ces recherches, rappelons-le, sont les accélérateurs de particules de basse énergie (quelques millions d'électrons volts-MeV), de moyenne et de haute énergie (jusqu'à plusieurs centaines de milliards d'électrons volts-GeV).

Compte tenu du coût d'installation et de fonctionnement de ces équipements, le C. N. R. S. et l'Education nationale ont pour politique de ne développer qu'un nombre limité de centres de recherche nucléaire qui sont, par ordre d'importance décroissante, ceux de Paris-Orsay (60 % des recherches), Strasbourg, Lyon, Grenoble et Bordeaux.

Ces centres sont ainsi équipés :

Paris-Orsay :

- 1 synchrocyclotron de 150 MeV (basse énergie) ;
- 1 accélérateur linéaire à électrons de 2, 3 GeV (haute énergie) ;
- 1 Van de Graaff à protons de 20 MeV ;
- 1 anneau de collision à électrons (1).

Strasbourg :

- plusieurs générateurs de quelques MeV ;
- 1 Van de Graaff à protons analogue à celui d'Orsay.

(1) Un anneau de collisions est un appareil en forme d'anneau à travers lequel circulent deux flux d'électrons chargés en sens inverse. Lorsque les flux d'électrons se rencontrent — phénomène que les chercheurs contrôlent — des collisions entre particules se produisent dont on mesure les effets. L'avantage d'un tel système est la multiplication de l'énergie communiquée aux particules qui se heurtent. Mais on ne peut faire entrer en collision que des particules de même masse.

Lyon :

- 1 accélérateur de 1,20 MeV.

Grenoble :

- 1 cyclotron à énergie variable de 1,60 MeV.

Le C. E. A. de son côté dispose d'un équipement similaire, à l'exception de l'anneau de collision. Notons que l'accélérateur français le plus puissant est le synchrotron à protons Saturne de Saclay (3 GeV).

A titre de comparaison, les plus gros appareils actuellement en fonctionnement dans le monde sont aux U. S. A. un accélérateur de 30 GeV et en U. R. S. S. (Serpukhov) un accélérateur de 70 GeV. Sont à l'étude :

- un appareil de 200 à 500 GeV aux U. S. A. ;
- un appareil de 1.000 GeV en U. R. S. S. ;
- un appareil européen de 300 GeV qui pourrait être implanté auprès des installations du C. E. R. N. à Genève.

B. — LES HOMMES

Dans les laboratoires Education nationale-C. N. R. S., 700 chercheurs et enseignants, répartis pour moitié entre Université et C. N. R. S., sont assistés par 1.200 à 1.300 techniciens.

Le nombre de chercheurs travaillant au C. E. A. dans le secteur recherche fondamentale-physique nucléaire et des particules s'élève à environ 200. Le rapport chercheurs-techniciens y est le même que dans les laboratoires C. N. R. S.-Université.

On note toutefois que la comparaison est faussée par le sort différent qui est fait aux ingénieurs : au C. E. A. certains d'entre eux sont assimilés aux chercheurs ; au C. N. R. S. et dans les universités au contraire ils sont comptabilisés parmi les techniciens.

L'origine des chercheurs en physique nucléaire est sensiblement la même, du moins pour les générations actuelles. En effet lors de la création du C. E. A. les premiers responsables ont recruté massivement des ingénieurs sortis de grandes écoles (surtout polytechnique). Depuis lors le recrutement s'est largement étendu aux jeunes gens formés à l'Université.

Quant aux écarts de salaires entre chercheurs du C. E. A. et chercheurs C. N. R. S. Education nationale, ils seraient sensibles en faveur du personnel C. E. A. à l'échelon intermédiaire, mais non en début et en fin de carrière.

C. — LES CRÉDITS

Pour l'ensemble des recherches fondamentales en physique nucléaire, les crédits programmés s'élèvent à 400 millions de francs par an environ (crédits de fonctionnement et crédits d'équipement, non inclus le traitement des enseignants) répartis entre :

- Education nationale et C. N. R. S. ;
- Commissariat à l'Energie atomique ;
- contribution française à l'organisation européenne pour la recherche nucléaire (C. E. R. N.).

Les crédits accordés en 1968 peuvent se décomposer ainsi :

— équipement et fonctionnement :

- éducation nationale 134 millions de francs.
- C. E. A. 152 millions de francs.
- contribution française au C. E. R. N... 68 millions de francs.

— salaires versés aux chercheurs :

- éducation nationale 62 millions de francs.
- C. E. A. 32 millions de francs.

Cette brève comparaison situe à peu près à égalité le C. E. A. et l'ensemble Education nationale - C. N. R. S., le C. E. A. toutefois disposant de plus de crédits d'équipement par tête de chercheur.

*
* *

Depuis plusieurs années déjà a été décidée la création d'un *Institut national de physique nucléaire et de physique des particules* (dit I. N. 2 P 3) qui doit voir le jour dans les mois qui viennent.

L'I. N. 2 P 3 est appelé à fédérer les laboratoires du C. N. R. S. et les laboratoires coiffés par la Direction des enseignements supérieurs du Ministère de l'Education nationale — Université et Collège de France — spécialisés dans la physique nucléaire et des particules.

Il existe déjà au C. N. R. S. un organisme similaire pour les Recherches en astronomie et géophysique (I. N. A. G.).

L'ensemble des *crédits d'investissement* correspondant aux recherches menées dans ces laboratoires sont déjà groupés depuis 1967 au C. N. R. S. Seront également transférés au C. N. R. S., les *crédits de fonctionnement* de l'Education nationale affectés à la physique nucléaire ; le C. N. R. S. assumera leur répartition à travers l'I. N. 2 P 3.

La définition du statut juridique du futur institut soulève encore quelques problèmes : ainsi l'harmonisation des grilles de salaires des différents personnels. Sa création dépend de leur solution imminente.

*
* *

Comment doivent se résoudre les problèmes de coordination des recherches entre ces différents laboratoires, C. E. A. et futur « I. N. 2 P 3 » ?

a) Les *contacts personnels* sont multiples, surtout aux échelons de responsabilité. Ce sont les mêmes hommes qui conçoivent ensemble la politique de la recherche, dans les instances nationales suprêmes que sont le Comité des sages et la Commission du Plan.

Aux échelons moins élevés, les échanges de chercheurs sont fréquents. Des équipes d'universitaires et d'étudiants travaillent sur les appareils du C. E. A. Ainsi le C. E. A., le Collège de France, le C. N. R. S., les facultés de sciences d'Orsay et de Caen, l'école polytechnique exploitent ensemble ou à tour de rôle l'accélérateur Saturne ;

b) C. N. R. S. et C. E. A. ont joint leurs efforts pour l'étude et la *construction d'installations qu'ils exploitent en commun*. En particulier :

— le laboratoire d'analyse par activation (comprenant un réacteur construit par le C. E. A.) à Saclay ;

— le réacteur à haut flux de Grenoble, construit en collaboration avec l'Allemagne et géré par l'Institut Paul Langevin-Max Von Laue, pour l'étude de la matière (solide-liquide), également utilisé à certaines recherches en biologie ;

c) Les *crédits budgétaires* affectés à la Physique nucléaire et des particules font l'objet d'une discussion commune au sein du Comité interministériel. Une somme globale est fixée qui est ensuite répartie ainsi que nous l'avons précisé plus haut ;

d) La commission pour le *VI^e Plan* a également pris en considération l'ensemble de la physique nucléaire afin de fixer des perspectives d'évolution globale qui tiennent compte de toute la politique de la recherche.

*
* *

Cela dit, quelles sont les *perspectives* d'avenir de la recherche nucléaire en France ?

La poursuite de cette recherche exige la construction d'équipements de plus en plus lourds dont un pays européen seul n'est plus à l'heure actuelle en mesure d'assumer la charge. Aussi tend-on à transférer progressivement l'effort de recherche sur le plan européen.

§ 2. — **L'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (C. E. R. N.) et la France.**

Différents pays : la France, la République fédérale allemande, l'Italie, la Belgique, la Suisse et l'Autriche, projettent la construction en commun d'un grand accélérateur de 300 GeV qui placerait l'Europe au niveau de l'Union Soviétique et des Etats-Unis. Cet accélérateur serait situé, selon les dernières hypothèses, auprès des installations du C. E. R. N. à Genève, aux confins de la France et de la Suisse.

Le C. E. R. N. (*Organisation européenne pour la recherche nucléaire*) « assure la collaboration entre les Etats européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental, ainsi que pour d'autres recherches en rapport essentiel avec celles-ci. L'organisation s'abstient de toute activité à des fins militaires et les résultats de ses travaux expérimentaux et théoriques sont publiés ou, de toute autre façon, rendus généralement accessibles ».

Né juridiquement en 1952, le C. E. R. N. n'a pris forme concrète qu'au début des années 1960 lorsqu'il a été implanté à Genève.

Actuellement, 12 pays sont membres du C. E. R. N. Ils contribuent au budget de l'Organisation selon un barème établi en fonction du revenu national net de chaque Etat. Pour les années 1969-1971 les contributions sont les suivantes :

Allemagne (République fédérale)	23,27 %
Autriche	1,96 %
Belgique	3,77 %
Danemark	2,26 %
France	19,90 %
Grèce	0,60 %
Italie	12,89 %
Norvège	1,52 %
Pays-Bas	4,43 %
Royaume-Uni	21,61 %
Suède	4,59 %
Suisse	3,20 %

Les expériences, le budget, le personnel du C. E. R. N. sont gérés par un Conseil, organe souverain, où les Etats membres sont représentés par deux délégués. Pour la France, le délégué scientifique est le Haut-Commissaire du C. E. A., le délégué administratif est le directeur du C. N. R. S.

Le C. E. R. N. emploie environ 3.000 personnes dont 2.400 fonctionnaires originaires des Etats membres, choisis pour leurs compétences et non en fonction de leur nationalité ; il reçoit 400 boursiers et visiteurs originaires ou non des Etats membres. Le nombre des physiciens et ingénieurs représente le quart des 2.400 fonctionnaires.

Les *équipements de recherche* se composent principalement de trois *accélérateurs* de particules ; un syncho-cyclotron de 600 MeV, un synchrotron à protons de 28 GeV, dont la puissance est neuf fois supérieure à celle de Saturne, enfin un double anneau de collisions du même type que celui d'Orsay — appareil appelé « anneaux de stockage à intersections » — mais qui fonctionne avec des protons et non des électrons.

Trois *chambres à bulles* sont actuellement en service au C. E. R. N., dont une chambre à liquide lourd de 1.180 litres de contenance qui est la plus grande du monde. Deux grandes chambres sont en cours de réalisation :

— une chambre à liquides lourds de 12.000 litres appelée Gargamelle, en construction à Saclay mais qui sera livrée et exploitée au C. E. R. N. ;

— une chambre à hydrogène de 3,50 mètres de diamètre étudiée par un groupe mixte C. E. R. N.-Allemagne-France.

Le C. E. R. N. est un modèle d'organisation internationale ouverte et souple : son succès tient dans une large mesure aux principes de son fonctionnement qui ne tiennent pas compte de la nationalité des responsables et à l'aspect désintéressé des recherches qui y sont poursuivies. Peu d'intérêts industriels sont en effet directement en jeu dans l'approfondissement des connaissances sur la matière. Les problèmes de « juste retour » qui grèvent l'évolution d'une organisation comme Euratom y sont pratiquement inconnus. Seul le choix du site du nouvel *accélérateur européen de 300 GeV* soulevait jusqu'à présent des difficultés : il semble aujourd'hui que son implantation auprès du centre de Genève fasse l'accord unanime. Le choix de ce site devrait avoir pour effet de recueillir la participation de la Grande-Bretagne et des pays scandinaves qui s'étaient montrés jusqu'à présent peu favorables au projet.

*
* *

Ainsi la physique nucléaire des hautes énergies est une des rares disciplines qui semble faire l'objet d'une coopération efficace à l'échelle européenne.

Les perspectives pour le VI^e Plan (5 % de croissance annuelle) sont envisagées en tenant compte impérativement du développement de la recherche européenne : c'est à l'échelle européenne qu'est transférée la construction d'équipements nouveaux qui permettront les recherches de pointe ; les centres nationaux devront donc se limiter à exploiter leurs moyens actuels.

Il ne faudrait pas conclure de ces faits que la recherche purement nationale soit vouée à la sclérose et à l'infécondité. En effet, les appareils en place sont encore suffisamment puissants et modernes pour permettre certaines recherches. D'autre part, c'est

dans les centres nationaux que sont formés les hommes. Ainsi celles des recherches pures qui exigent des moyens de plus en plus puissants, passeraient sous la responsabilité commune de plusieurs pays tandis que le rôle des centres nationaux serait progressivement lié à la fonction d'enseignement.

§ 3. — La Communauté européenne de l'Énergie atomique (Euratom).

A. — ATTRIBUTIONS D'EURATOM

On se souvient que les objectifs fixés à l'Euratom figurant à l'article 2 du traité de 1957 sont les suivants :

« a) Développer la recherche et assurer la diffusion des connaissances techniques ;

b) Etablir des normes de sécurité uniformes pour la protection sanitaire de la population et des travailleurs et veiller à leur application ;

c) Faciliter les investissements et assurer, notamment en encourageant les initiatives des entreprises, la réalisation des installations fondamentales nécessaires au développement de l'énergie nucléaire dans la Communauté ;

d) Veiller à l'approvisionnement régulier et équitable de tous les utilisateurs de la Communauté en minerais et combustibles nucléaires ;

e) Garantir, par les contrôles appropriés, que les matières nucléaires ne sont pas détournées à d'autres fins que celles auxquelles elles sont destinées ;

f) Exercer le droit de propriété qui lui est reconnu sur les matières fissiles spéciales ;

g) Assurer de larges débouchés et l'accès aux meilleurs moyens techniques par la création d'un marché commun des matériels et équipements spécialisés, par la libre circulation des capitaux pour les investissements nucléaires, et par la liberté d'emploi des spécialistes à l'intérieur de la Communauté ;

h) Instituer avec les autres pays et avec les organisations internationales toutes les liaisons susceptibles de promouvoir le progrès dans l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. »

B. — PRINCIPALES ACTIVITÉS D'EURATOM

1° *Recommandations concernant l'approvisionnement à long terme en uranium enrichi.*

La Commission poursuit l'objectif d'aboutir, d'une part à la réalisation d'une capacité d'enrichissement dans la Communauté, d'autre part à l'amélioration des conditions d'approvisionnement en provenance des Etats-Unis.

2° *Etude des problèmes technologiques concernant les réacteurs.*

a) Les réacteurs prototypes.

La Commission mène des actions de recherche dans le domaine des surgénérateurs, de la haute température et de l'eau lourde.

b) Technologie des centrales nucléaires.

Les actions d'Euratom comprennent :

— la participation à cinq centrales nucléaires et l'octroi de statut d'entreprises communes à quatre centrales nucléaires ;

— les transferts de connaissances et d'expériences concernant de nouveaux projets de centrales nucléaires. Dans ce domaine, une Convention a été signée entre la Commission et la société allemande K. K. S. ;

— l'échange systématique d'expériences technologiques avec les exploitants de centrales nucléaires ;

— la technologie d'exploitation ;

— la technologie de construction et des équipements.

c) Applications non électrogènes.

— Propulsion navale :

Le contrat d'association avec les sociétés Fiat-Ansaldo et le contrat de participation avec la Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt ont pris fin. Les résultats scientifiques et technologiques obtenus sur le navire *Otto Hahn* se sont avérés prometteurs.

La Commission a étudié les principes d'une nouvelle forme de collaboration en matière de propulsion navale.

- Etude sur les applications de l'énergie nucléaire à des procédés chimiques à haute température (sidérurgie et valorisation des combustibles fissiles).

3° *Réalisation de programmes pluriannuels de recherches et d'investissement.*

- a) La préparation du nouveau programme pluriannuel de recherches et d'investissement.

Cet aspect essentiel de la mission d'Euratom — la définition d'un programme commun — se heurte, depuis sa création, aux conceptions divergentes des Etats membres que l'esprit communautaire n'a jamais réussi à dominer.

- b) L'exécution du programme de recherches et d'investissement.

Activités du Centre commun de recherches : elles sont réparties dans quatre centres différents :

- Etablissement d'Ispra :

- le réacteur à eau lourde de Essor a pu être porté à sa pleine puissance ;
- les réacteurs rapides et à haute température (ces derniers en liaison avec le projet Dragon) ont fait l'objet de nouveaux travaux ;
- des études ont été poursuivies sur la sécurité des installations nucléaires, le contrôle des matières fissiles, les combustibles nucléaires, dans le domaine de la physique des réacteurs, et de la conversion directe de l'énergie.

- Bureau central de mesures nucléaires :

- les accélérateurs linéaire et Van de Graaff ont été utilisés pour la mesure de nombreux paramètres neutroniques ;
- des études ont été menées sur les spins de résonances d'isotopes stables ou fissiles ;
- le B. C. M. N. travaille à la préparation et à la standardisation d'étalons radioactifs et d'échantillons de mesures.

— Institut des transuraniens-Karlsruhe :

Il a poursuivi des études fondamentales sur l'oxyde de plutonium, sur les carbures, ainsi que sur le comportement sous irradiation en flux rapide des combustibles au plutonium. Les techniques d'analyse isotopique des combustibles irradiés ont été encore améliorées.

— Etablissement de Petten :

L'utilisation du réacteur H. F. R. de 30 à 45 MW s'est beaucoup améliorée.

Les activités de l'établissement se sont étendues en outre à l'étude des matériaux, et aux expériences de fusion par lévitation.

Réacteurs rapides :

Dans le cadre des associations conclues en 1962 et 1963 avec le C. E. A. et la C. F. R. (Gesellschaft für Kernforschung), le personnel détaché du Centre commun de recherches a participé aux travaux menés par ces derniers organismes :

- exploitation des grands engins ;
- études de neutronique théorique, de physique des réacteurs et de protection biologique et études expérimentales ;
- études d'exploitation du réacteur expérimental pour transitoires Sefor et des expériences à y réaliser ;
- études générales de réacteurs à sodium de grande puissance et de réacteurs rapides à réfrigérant gazeux ;
- études sur la migration de produits de fission dans le combustible irradié ;
- études théoriques et expérimentales de mécanique, de thermique et d'hydraulique, en tenant compte des propriétés sur irradiation neutronique.

Réacteurs à haute température.

Le projet Dragon se poursuit ainsi que des travaux dans les domaines des combustibles, du graphite, du pyrocarbure, de la technologie et de la physique.

Irradiation de matériaux :

Le réacteur BR₂, en pleine expansion, a été utilisé principalement pour l'irradiation de combustibles et de matériaux de structures, pour le projet de réacteur rapide S. N. R. et pour les réacteurs à Gaz (T. H. T. R.).

Fusion thermonucléaire et physique des plasmas :

La commission a signé un nouveau contrat d'association avec les laboratoires belges de l'Ecole royale militaire et de l'U. L. B. et a reconduit des contrats antérieurs avec le C. E. A., le C. N. E. N. avec l'I. P. P., le F. O. R. et la K. F. A.

Biologie et protection sanitaire :

Les recherches ont concerné surtout la radio-protection et l'adaptation des techniques nucléaires à la recherche agronomique.

Enseignement et formation :

Il s'agit principalement de l'organisation de stages pour étudiants, de l'octroi de bourses à de jeunes chercheurs, de la formation du personnel scientifique et technique de la commission.

*
* *

On sait que le développement de la Communauté en matière nucléaire a été freiné par le désir des Etats membres de participer en temps qu'Etats souverains à la mise en œuvre de l'industrie nucléaire. Euratom n'a plus été qu'un fonds de recherche où chacun des participants entendait retrouver sous forme d'installations sur son propre territoire la mise qu'il y apportait. C'est ce qu'on a appelé « le juste retour ». Rien n'était évidemment plus éloigné de l'esprit des fondateurs de la Communauté.

Les propositions faites — notamment par la France — au Conseil des Ministres et à La Haye n'ont pas permis de sortir de l'ornière. C'est d'autant plus regrettable que, comme nous le disons tout au long de ce rapport, on ne saurait, quel que soit le secteur concerné, penser que les pays européens pourront individuellement faire face aux exigences économiques des réalisations nucléaires.

Conclusions.

Cette multiplicité des organismes de recherche que nous venons de passer en revue donne naturellement à penser que des actions de coordination, de simplification et de systématisation, voire de redistribution des compétences seraient opportunes pour donner toute l'efficacité possible aux crédits consacrés à la recherche nucléaire.

Qui peut en effet affirmer qu'aucun double-emploi n'existe entre les organismes nationaux, entre ceux-ci et les organismes internationaux ?

Il faut reconnaître que les textes institutifs de deux organismes comme le C. N. R. S. et le C. E. A. laissent planer une ambiguïté sur le partage des compétences entre eux : le C. E. A. est chargé de poursuivre « les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans les divers domaines de la science, de l'industrie et de la Défense nationale » (ordonnance de 1945) ; par ailleurs, le C. N. R. S. « a pour mission de développer, orienter et coordonner les recherches scientifiques de tous ordres... » (décret n° 59-1398 du 3 décembre 1959, reprenant à peu près les termes du décret du 19 octobre 1939 qui a créé le C. N. R. S.). Il semble qu'il existe entre les textes un chevauchement dont les rédacteurs n'ont pas mesuré toute la portée : le C. E. A. est chargé d'une mission globale pour le développement des sciences nucléaires ; de ce fait la compétence générale du C. N. R. S. en matière de recherche scientifique est limitée dans certains secteurs de la recherche.

*
* *

Dans l'optique de la thèse connue sous le nom « d'éclatement » du C. E. A. (1), le regroupement au sein d'un organisme unique de toutes les activités nucléaires, justifié à l'origine, cesserait de l'être à partir du moment où les connaissances acquises rapprochent la France sensiblement du niveau des premiers pays atomiques que sont les U. S. A. et l'U. R. S. S. S'agissant de la recherche, on considère que la logique imposerait qu'elle soit transférée du C. E. A. vers d'autres organismes dans les conditions suivantes :

— dans la mesure où elle n'excède pas les possibilités nationales par sa nature et par son volume, la recherche fondamentale serait confiée au C. N. R. S. et la recherche appliquée à l'industrie ;

— dans la mesure où, au contraire, elle exige des moyens supérieurs à la capacité nationale, elle serait transférée à des organismes internationaux bénéficiant de la participation de nombreux pays.

(1) Voir ci-dessous, chapitre VI, section I.

Votre mission, tout en reconnaissant qu'un tel schéma est séduisant, doit cependant dire qu'il ne saurait être recommandé sans beaucoup de circonspection dans les conditions actuelles. En effet, sa réalisation ne saurait être qu'un aboutissement et non un point de départ.

Nous verrons plus loin que s'il est souhaitable que l'industrie prenne sa part de la recherche appliquée en matière nucléaire, elle ne pourrait le faire qu'au terme d'une restructuration aboutissant à des groupes transnationaux de taille continentale qui la rendrait assez prospère pour en supporter la charge.

D'une façon analogue, nul ne peut se dissimuler que le secteur universitaire est actuellement en mutation profonde et qu'il serait sans doute inopportun d'opérer, dans ces conditions, un transfert qui, par ailleurs, soulèverait probablement des problèmes humains extrêmement délicats. Tant que la rigidité des statuts et des grilles de rémunérations demeurera ce qu'elle est, toute tentative de refonte des structures de la recherche ne risquerait-elle pas d'aboutir à des conséquences extrêmement fâcheuses dont la moindre n'est pas « l'exode des cerveaux » ou, ce qui est peut-être pire, leur reconversion vers des secteurs économiques où les considérations commerciales l'emportent largement sur l'esprit de recherche ?

On ne saurait, par conséquent, songer à faire rentrer la recherche nucléaire dans le cadre universitaire tant que celui-ci ne sera pas en mesure d'offrir des structures bien définies à l'intérieur desquelles se sera formé un esprit nouveau ouvert aux problèmes et aux contraintes de l'économie d'entreprise dominée par le concept de concurrence. Cette orientation n'a certainement pas été étrangère aux rédacteurs de la réforme universitaire, mais ce n'est que lorsque son application aura prouvé que l'université remplit ces conditions que pourra se révéler bénéfique une symbiose enseignement-recherche-industrie.

*
* *

Dans ces conditions, votre mission, qui n'a pas compétence pour définir une politique générale à long terme de la recherche et encore moins la prétention de le faire, se bornera à des conclusions qu'elle veut réalistes dans l'immédiat.

Elle sait, en effet, que ce problème, dont l'importance n'a pas besoin d'être soulignée, revêt un caractère de complexité telle qu'une étude d'ensemble portant sur tous les éléments en cause serait préalablement nécessaire pour déterminer dans quelle mesure l'équilibre actuel entre C. E. A., C. N. R. S. et industrie pourrait être utilement modifié. Elle souhaite vivement que le Gouvernement l'entreprenne dès maintenant parce qu'il ne fait pas de doute pour elle que l'évolution future des coûts de la recherche imposera dans tous les pays, non seulement une rationalisation de l'utilisation des crédits, mais aussi une sélection parmi les recherches possibles. Cette étude devrait permettre, dans son esprit, de déterminer, compte tenu de l'évolution rapide de la science nucléaire et de l'importance croissante de la participation française au C. E. R. N., si c'est au sein du C. E. A. que la recherche fondamentale nucléaire devra continuer de s'effectuer. Mais c'est là, à notre avis, une perspective d'avenir à assez long terme et, dans l'immédiat, il paraît difficile de prendre des mesures partielles qui mettraient en cause l'existence d'un complexe pluridisciplinaire débouchant sur des réalisations économiques dont l'enjeu est vital pour la vie économique de la Nation. En tout état de cause, votre mission estime souhaitable que le C. E. A. résiste à la tendance actuelle des organismes de ce genre d'étendre ses activités au-delà de ce qui constitue sa mission propre. Aussi, insiste-t-elle pour que, le plus tôt possible, les secteurs de recherches du C. E. A. qui ne sont pas essentiellement liés à ses objectifs économiques rentrent dans l'orbite du C. N. R. S.

Votre mission approuve, par ailleurs, en ce qui concerne la physique nucléaire, le projet de création d'un organisme de coordination — connu sous le nom « $IN_2 P_3$ », qui devrait représenter le moment venu — compte tenu des progrès de la coopération européenne — la structure la plus efficace pour la poursuite des recherches nationales dans ce domaine particulier.

Votre mission tient, enfin, à souligner avec force, que le cadre national devient beaucoup trop étroit pour faire face aux exigences de taille et de coût des installations scientifiques et techniques requises par les recherches nucléaires à tous les niveaux. Il ne fait pas de doute — et le Gouvernement l'a bien senti qui a fait des propositions en ce sens à La Haye et à Bruxelles — que la dispersion des efforts des pays européens les condamne à terme — bien qu'on puisse enregistrer chemin faisant quelques succès nationaux individuels — à une impuissance dramatique.

Les auteurs des Traités de Rome avaient bien compris que la science et la technique nucléaires seraient une des clefs de la puissance des pays européens. L'application du Traité d'Euratom a été une grande déception. Sans doute les conditions politiques, à la fin de l'année 1969, ont-elles évolué et les Chefs d'Etat et de gouvernement, lors de la conférence de La Haye, les 1^{er} et 2 décembre 1969, ont repris la question de l'Euratom. Le paragraphe 10 du communiqué déclare en effet :

« Ils s'accordent en outre sur la nécessité de déployer de nouveaux efforts pour élaborer à bref délai, pour la Communauté européenne de l'énergie atomique, un programme de recherche conçu selon les exigences de la gestion industrielle moderne et permettant d'assurer l'utilisation la plus efficace du centre commun de recherche ». Mais, depuis la Conférence, il semble que peu de réalisations concrètes aient vu le jour.

L'élargissement des Communautés européennes nous paraît être une occasion opportune pour relancer l'entreprise. On mesure aisément le gain en argent et en efficacité que constituerait la mise en commun des ressources en hommes, en matériel et en crédits de dix pays européens. Dans ce cadre seulement, pourrait s'épanouir une recherche nucléaire de même dimension qu'aux U.S.A. et en U.R.S.S.

Votre mission n'ignore pas avec quelle force les particularismes nationaux s'opposent à cette réalisation, mais elle sait aussi qu'ils apparaîtront dérisoires et coupables à la génération suivante. Elle exhorte vivement le Gouvernement à prendre une position de pointe dans les instances communautaires pour que l'achèvement du Marché commun donne naissance à un véritable organisme de recherche commune en matière nucléaire.

Le projet européen de construction d'un accélérateur de particules de 300 GeV a subi des heurs et malheurs au cours des mois passés. Il semble que, finalement, la technique soit venue au secours de la politique, en proposant une implantation près des installations du C.E.R.N. qui a reçu un accueil favorable et laisse présager une issue heureuse à l'entreprise. C'est un exemple encourageant, et votre mission tient à exprimer sa satisfaction et son espoir d'un proche aboutissement avec le plus grand nombre de participants possible.

CHAPITRE VI

LES AUTORITES RESPONSABLES EN MATIERE NUCLEAIRE

Le développement nucléaire en France est de la compétence de deux organismes publics, le C. E. A. et l'E. D. F., et des groupes industriels privés.

On sait que l'ordonnance du 18 octobre 1945 instituant le C. E. A. confiait à cet organisme une vocation nucléaire universelle en le chargeant de poursuivre « les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans les divers domaines de la science, de l'industrie et de la Défense nationale ».

Il devait échapper au législateur qui édictait par la loi du 8 avril 1946 la nationalisation de l'électricité qu'E. D. F., entre les mains de qui s'instaurait le quasi-monopole de la distribution et de la production, assumerait un rôle mal délimité par rapport à celui du C. E. A.

Aussi, lorsque ce dernier, quelque dix ans plus tard, entra dans la voie des réalisations techniques, de sérieuses difficultés se sont élevées dans ses rapports avec E. D. F. d'où résultèrent les conséquences habituelles de ces sortes d'opposition : doubles emplois, manque de coordination, réalisations plus coûteuses. Conscients de ces inconvénients, les dirigeants des deux organismes avaient conclu des accords en 1956, mais la valeur de cette sorte de *modus vivendi* dépendant des rapports personnels entre individus est nécessairement limitée dans le temps.

Quant à l'industrie, elle devait régler son attitude en fonction des incertitudes découlant de cet état de choses.

En novembre 1969, la crise qui couvait depuis plusieurs années éclate au grand jour à l'occasion de la décision d'abandon de la

filière uranium naturel-graphite-gaz et de la compression des effectifs du C. E. A. Dès lors chacun essaye de démontrer qu'il n'a pas démerité et que la faute incombe au voisin.

Essayons de démêler l'écheveau non pas pour accabler l'un ou l'autre, mais pour situer le problème et discerner quelles solutions peuvent lui être apportées.

SECTION I. — LE COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

§ 1. — Rappel des activités du C. E. A.

a) Production de matières de base : nous avons vu au chapitre VI que son action assurait à la France un approvisionnement estimable en uranium ;

b) La production des radio-éléments : c'est un des secteurs dont le C. E. A. est le plus fier ;

c) La recherche fondamentale ;

d) Les applications militaires ;

e) L'étude des générateurs d'énergie.

§ 2. — Examen général des résultats obtenus par le C. E. A.

Un tel examen est délicat ; d'un côté on ne peut qu'admirer les résultats d'un effort parti de presque rien dans chacun des secteurs d'activités : des matières premières, des réacteurs, une situation prometteuse pour les surgénérateurs, les bombes, le moteur sous-marin, etc., tout cela est important et l'on comprend l'attachement du personnel à sa « maison » et son amertume de la voir critiquée. D'un autre côté, certains se demandent si les mêmes résultats n'auraient pas pu être obtenus à moindres frais : 46 milliards de francs constants ont été dépensés en 25 ans et si, le plus difficile étant fait, il n'y aurait pas lieu de revoir entièrement le rôle et la structure du C. E. A.

Une remarque préliminaire s'impose : de 1960 à 1970, on peut dire, exprimé en effectif ou en crédit, qu'en moyenne près de la moitié de l'effort du C. E. A. a été consacrée aux applications militaires. Les critiques concernant ces dernières ne s'adressent pas en réalité au C. E. A. qui a employé les moyens mis à

sa disposition par le Gouvernement pour atteindre un objectif militaire par nature étranger à toute considération de prix de revient.

Mais la priorité de cet objectif et le halo de prestige et de secret qui entourait en conséquence le C. E. A. ont sans doute contribué à une certaine inflation des effectifs, virus apporté par les militaires et qui s'est transmis aux autres divisions.

Du point de vue civil, qu'a-t-on reproché au C. E. A. ? En premier lieu, ce qu'on a appelé l'échec de la filière graphite-gaz, ensuite sa taille et ses effectifs croissants, un emploi trop libre et, partant, trop onéreux de ses fonds, et puis aussi une certaine attitude supérieure de ses savants et la perfectionnisme de ses ingénieurs, au fond une absence de souci industriel et commercial.

En ce qui concerne l'affaire de la filière, en imputer l'échec au seul C. E. A. est excessif : au plan technique de la recherche-développement, les réacteurs du C. E. A. ont toujours bien fonctionné ; il ne faut pas oublier qu'à l'origine le choix de cette filière était le seul possible du fait de l'attitude de nos alliés qui désiraient conserver le bénéfice exclusif de la nouvelle science (par exemple aux Etats-Unis d'Amérique, loi Mac Mahon) ; les incidents qu'ont connus les extrapolations industrielles ne sont pas propres à la filière française (les filières américaines ont eu les leurs et les grosses centrales classiques n'en sont pas exemptes). On peut dire que l'échec commercial résulte surtout de la complexité technique du réacteur et de la conjonction de deux facteurs simultanés : d'une part, l'arrivée en force sur le marché de types de centrales techniquement plus simples mises au point par General Electric et Westinghouse avec la hardiesse que leur permettent leurs énormes moyens financiers et industriels et, d'autre part, une baisse du prix du fuel bouleversant les données des calculs économiques.

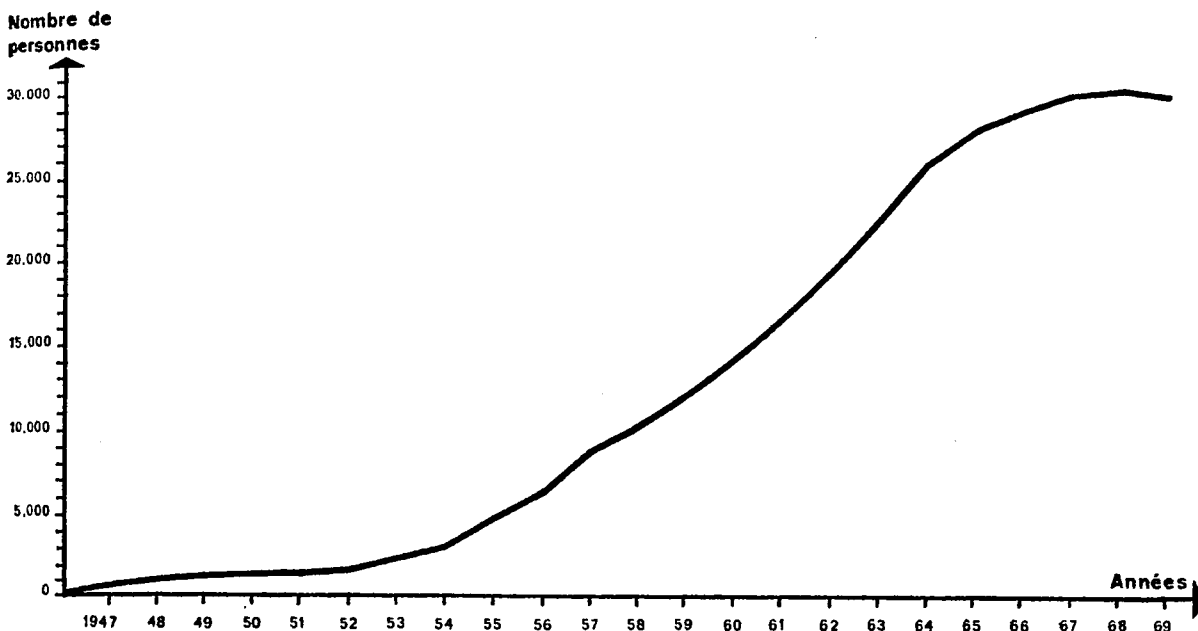
Il n'est peut-être pas inutile de rappeler que les esprits avertis — au C. E. A. et ailleurs — avaient compris en 1966 que la filière uranium naturel-graphite-gaz n'avait pas d'avenir commercial hors de France. Or, à cette époque, depuis deux ans déjà, le P. A. T. (1) fonctionnait de façon satisfaisante et le responsable du P. A. T. suggéra en vain l'extrapolation d'une centrale dérivée de 750 MW qui, même si elle avait échoué, aurait permis, si elle avait été tentée, de placer l'industrie française dans une bien meilleure position pour discuter les conditions d'obtention des licences américaines.

(1) Prototype à terre du réacteur sous-marin à uranium enrichi.

Il semble cependant qu'il ne se soit agi, en l'occurrence, que d'une initiative isolée et si on ne saurait tenir le C. E. A. pour responsable unique de la situation fort grave dans laquelle nous nous trouvons actuellement en matière nucléo-électrique, il n'en reste pas moins qu'il n'a réalisé lui-même que des piles expérimentales et que le souci de l'extrapolation vers des réalisations industrielles et commerciales susceptibles de répondre aux conditions du marché ne semble pas avoir été au premier plan de ses préoccupations. Il est probable que les difficultés rencontrées dans la mise au point des premières centrales graphite-gaz eussent été moindres si l'on était parti d'une prototype plus puissant ou si on s'était orienté rapidement vers un tel prototype et si la conception et la construction de l'ensemble chaudière-générateur avait pu faire l'objet d'une coopération étroite entre le C. E. A. et E. D. F., ainsi qu'avec les constructeurs d'un tel matériel car, comme on devait s'en apercevoir, la chaudière de grande taille posait des problèmes technologiques nouveaux et la partie dite classique nécessitait une adaptation. Il semble bien que le C. E. A. n'ait pas attaché à l'origine une suffisante attention aux réalisations civiles de taille économique. Il n'est pas certain non plus qu'en tant que conseiller du Gouvernement en matière atomique, il ait suffisamment mis en lumière les possibilités d'extrapolation civile qu'offrait le P. A. T. ni qu'il ait pressenti le succès futur des filières à eau légère qui avaient pour elles le défaut de ne pas être nationales.

Le C. E. A. a-t-il abusé de la situation prééminente que lui donnait son activité militaire ? Là, deux constatations doivent être faites : la première, c'est que depuis la création du C. E. A., le Parlement n'a jamais mis en cause les crédits qui lui étaient demandés pour la recherche atomique et il semble bien que, quoi qu'on ait dit de l'insuffisance des crédits de recherche en France, dans ce secteur-là au moins, l'œuvre des chercheurs n'a jamais été limitée par pénurie de crédits. Le C. E. A. n'a d'ailleurs jamais consommé l'intégralité des ressources mises à sa disposition. Si, s'agissant de la recherche, il est plus difficile de porter un jugement sur l'emploi des crédits, on ne saurait se dissimuler, compte tenu du régime financier particulier du C. E. A., que pour l'ensemble de ses activités ce n'est pas le souci de l'économie qui a prédominé.

Sans perdre de vue ce que nous avons dit sur l'importance de ses activités militaires, on peut tout de même s'interroger sur la légitimité de la politique qui se traduit par la courbe suivante des effectifs :



Un organisme nucléaire comptant plus de 30.000 personnes avec un budget en 1970, de 4,5 milliards de francs (2,93 % du budget de l'Etat et 0,59 % du P. N. B.) est-il à la mesure de la France ? La question s'est posée fin 1969 et nous verrons plus loin quelles solutions ont été envisagées, l'idée maîtresse étant que les missions initiales ayant été remplies, il y a lieu de repenser les activités du C. E. A.

Ici d'ailleurs une parenthèse s'impose pour dire que la question ne saurait être traitée « technocratiquement » et qu'il est regrettable qu'avant de l'envisager on n'ait pas mis en place des dispositifs qui permettent de la résoudre sans créer un trouble profond — d'ailleurs préjudiciable à l'intérêt public — dans le personnel, lequel n'ayant en rien démérité ne saurait être la victime d'un changement d'orientation politique. On se plaint en effet de la « pesanteur sociologique » qui, en France, fait échec à des réformes parfois inévitables. Il est bien évident que si l'on ne prend soin de faire en sorte d'éviter qu'une évolution ne se traduise par une multiplicité de drames individuels ou collectifs, il est vain d'espérer pouvoir réaliser quelque réforme que ce soit.

Il y aurait beaucoup à dire à ce sujet et notamment qu'il y a là un axe de recherche qu'il serait bon d'explorer d'une façon générale plutôt que d'être acculé à résoudre les difficultés à chaud et au coup par coup.

Et puis enfin il faut parler d'un travers général des Français auquel n'a pas échappé le C. E. A. Etes-vous du secteur public, vous avez un complexe de supériorité à l'égard du privé qui ne cherche que son intérêt particulier. Etes-vous du secteur privé, tout le mal vient de « l'Administration ». Il faut bien reconnaître — pour le déplorer — que le C. E. A. comme E. D. F. n'ont pas eu, dans le passé, tendance à considérer l'industrie comme un partenaire majeur ni à comprendre, si ce n'est pour la tenir en tutelle, que les préoccupations commerciales sont vitales pour elle. Nous touchons là un des points les plus déficients de la structure française sans doute dû à la coexistence avec le secteur concurrentiel d'énormes entreprises publiques qui, dans le cadre national, ont une position prépondérante.

L'échec de la filière « française » a mis en lumière qu'il ne suffisait pas d'avoir d'excellents chercheurs et d'excellents ingénieurs. Il faut aussi que les uns et les autres gardent présente à l'esprit la nécessité dans un monde économique de déboucher sur un marché. Il faut des produits sûrs et fiables sur le plan technique donc ni trop compliqués, ni trop perfectionnés et compétitifs sur le plan économique, ce qui implique aussi qu'on se méfie des perfectionnements séduisants pour l'ingénieur et ruineux pour le vendeur et l'utilisateur. Il faut par conséquent que l'industrie soit mise à même de tirer un parti profitable à toute la Nation des recherches faites dans le secteur public.

De ce point de vue particulier — mais spécialement important — comme d'un point de vue global, apparaît la nécessité de définir les missions du C. E. A. au regard de celles de l'E. D. F. et de l'industrie.

§ 3. — Thèses sur la réforme du C. E. A.

Deux attitudes se dessinent face au C. E. A. L'une constate qu'il a atteint ses objectifs mais qu'une vaste carrière s'ouvre encore devant lui en raison de sa polydisciplinarité, avec tous les progrès reconnus possibles pour l'avenir, du surgénérateur à la fusion contrôlée en passant par la thermo-ionique.

La seconde se fonde sur l'observation suivante : on peut distinguer deux catégories de pays nucléaires ; dans la première, les Etats parce que poursuivant un but militaire ont dû initialement prendre en charge la totalité du secteur nucléaire. Puis, les objectifs ayant été atteints, il leur est apparu qu'un certain nombre de recherches et de réalisations tombées dans le domaine public et en passe de devenir conventionnelles ne devaient pas être retenues par la puissance publique. Dans la deuxième catégorie, l'évolution est inverse : dans les Etats qui n'ont pas voulu ou pas pu accéder à la fabrication des armes nucléaires, les recherches et les applications civiles nucléaires ont d'abord été le fait principalement du secteur privé mais il s'est progressivement révélé que le poids financier de ces activités excédait sa capacité et les gouvernements ont été appelés à prendre une part plus grande du développement de ce secteur. De cette observation et de la constatation que la France appartient à la première catégorie bien que ses objectifs militaires ne soient pas encore pleinement atteints, certains tirent la conclusion que le moment est venu de mettre en cause le rassemblement des activités du C. E. A. Avant de décrire les thèses qui s'affrontent sur la réforme du C. E. A., nous jetterons un coup d'œil sur les réflexions faites à l'étranger sur ces questions.

A. — L'EXEMPLE ÉTRANGER : GRANDE-BRETAGNE ET U. S. A.

Il n'est que deux exemples intéressants à cet égard hors de nos frontières, ceux de la Grande-Bretagne et des Etats-Unis. La première, en avance de quelques années sur nous, a procédé en 1965 à une réforme de l'U. K. A. E. A. qui, sans éclatement, a conservé sa mission scientifique en essayant de la rentabiliser en vendant ses découvertes à l'industrie cependant que toutes les réalisations commerciales nucléo-électriques passaient à l'Electricity Board et à l'industrie privée. Plus récemment, au début de 1970, est paru un Livre vert du Ministère de la technologie visant l'U. K. A. E. A. à travers une refonte de la recherche industrielle et du développement dans les laboratoires d'Etat. Ce document proposait la création d'une « British Research and Development Corporation » groupant, avec d'autres établissements, les laboratoires de recherches et de mise au point de l'U. K. A. E. A. (groupes de recherche, d'étude des réacteurs, de physique, etc.).

De plus, un projet de loi avait été déposé qui visait les activités industrielles de l'U. K. A. E. A. selon lequel la production

des combustibles nucléaires passerait à une société nouvelle dénommée « British Nuclear Fuel Ltd (B. N. F.) », qui aurait des liens étroits avec l'industrie de construction nucléaire. C'eût été une sorte de trust, à capitaux publics majoritaires, de l'énergie électro-nucléaire qui aurait ainsi été créé. Enfin, un autre organisme, la « Radio Chemical Center Ltd », se serait occupé de la production et de la vente des radioéléments.

Il est probable que les changements politiques intervenus en juin dernier en Grande-Bretagne conduiront à un réexamen de l'affaire, mais il n'était peut-être pas inutile de donner une idée des réflexions des Britanniques placés dans une situation analogue à la nôtre.

Moins exemplaire pour nous est la situation aux États-Unis où les hommes s'échangent du secteur privé au secteur public et où l'industrie était de taille à prendre le relais nucléaire, l'U. S. A. E. C. s'en tenant aux tâches de sécurité, stratégiques (production de la matière de base des combustibles) et à la recherche fondamentale.

B. — SOLUTIONS ENVISAGÉES EN FRANCE

Elles peuvent être regroupées en deux catégories : celles qui visent au transfert à d'autres organismes de certaines activités du C. E. A. ; celles qui tendent à sa réorganisation interne et à son ouverture sur le secteur privé.

1° *Le transfert à d'autres organismes de certaines activités du C.E.A. (1).*

Les tenants de cette thèse critiquent l'ampleur atteinte par le C. E. A. et sa gestion qu'ils estiment mauvaise en raison même de cette ampleur. Reprenant les thèses du Livre vert britannique, ils préconisent :

— le transfert des activités relevant des applications militaires au Ministère de la Défense nationale sous une forme à déterminer (établissement public ou société nationale) ;

(1) C'est intentionnellement que votre mission ne reprend pas le vocable « éclatement » généralement employé pour caractériser cette catégorie de solutions parce qu'il semble impliquer la disparition du C.E.A., hypothèse théorique dépourvue de réalisme.

— la création d'une société d'économie mixte recueillant les moyens du C. E. A. pour assumer la réalisation de la partie nucléaire des centrales ;

— la création d'une autre société (nationale celle-ci) pour la production des matériaux de base et la fabrication des combustibles nucléaires ;

— le regroupement dans un organisme public de recherche des moyens de recherche appliquée ;

— le rattachement au C. N. R. S. de la recherche fondamentale.

Les partisans de ce type de réforme font valoir que la diminution de taille des unités ainsi créées les rendrait plus dynamiques et d'une gestion plus aisée, que les sociétés d'économie mixte seraient plus aptes à se mesurer à leurs concurrentes étrangères, que la création d'un institut de recherche appliquée serait spécialement adaptée au développement industriel et qu'enfin, le personnel du C. E. A. pourrait être réparti et reconverti dans les meilleures conditions.

Les adversaires de cette thèse, tout en reconnaissant ses avantages de principe, soulignent que l'adoption immédiate d'une telle organisation soulèverait des difficultés, des retards, de nouvelles complexités de relations des organismes créés entre eux, et la dislocation et l'affaiblissement des équipes pluridisciplinaires du C. E. A.

2° *La réorganisation interne.*

Ce sont des risques que n'ont pas estimé devoir courir les auteurs du rapport du groupe de travail présidé par M. Cristofini auquel le Ministre du Développement industriel et scientifique avait confié, au début de cette année, la tâche suivante :

« — préciser les missions du C. E. A. et le rôle que peut jouer cet organisme dans le développement technique et industriel français, soit dans le domaine proprement électronucléaire, soit hors de ce domaine ;

« — examiner..., les adaptations qu'il conviendrait de retenir quant aux modalités d'organisation et de gestion du C. E. A. afin de permettre, notamment par un développement de la gestion prévisionnelle, à la fois une efficacité accrue et une meilleure appréciation des résultats. »

Aussi la solution dégagée par ce rapport relève-t-elle naturellement de l'application au C. E. A. des méthodes modernes d'organisation et de gestion.

Votre mission rend hommage au travail effectué par le groupe d'études car, mieux que quiconque, elle se rend compte que la tâche n'était pas aisée d'étudier un problème aussi vaste et de fournir un avis au Gouvernement dans un délai limité à cinq mois. Les auteurs soulignent d'ailleurs eux-mêmes le caractère partiel de leur travail et le caractère « d'ébauche » que revêtent les solutions proposées. Leur conclusion générale laisse l'impression qu'ils sont conscients de n'avoir point résolu l'ensemble du problème à eux posé.

Résumons brièvement leurs propositions.

Dans une première partie, le rapport traite de l'électronucléaire et du rôle respectif de l'E. D. F., du C. E. A. et de l'industrie. L'objectif de base en la matière est de faire construire des centrales fiables et compétitives, utilisables dans des conditions économiques sur le marché intérieur et susceptibles d'être exportées. Le programme limité du VI^e Plan doit constituer une phase de démarrage devant déboucher avec le VII^e Plan sur des équipements beaucoup plus nombreux.

Analysant les rôles respectifs du C. E. A. et de l'industrie dans les trois domaines de la recherche, du développement et de la production, le rapport établit un schéma selon lequel :

- dans la phase recherche, le C. E. A. est responsable principal, E. D. F. étant informée pour mise au courant en vue d'extrapolations économiques, et l'industrie étant associée aux travaux du C. E. A. ;
- dans la phase développement :
 - il appartient au C. E. A. de soumettre un programme au Gouvernement, de prendre la responsabilité de sa réalisation et, au terme de l'expérimentation, de transférer la responsabilité de maître d'œuvre à E. D. F., l'industrie devant en fin de course être en mesure de prendre la responsabilité d'exécution à prix ferme ;
 - E. D. F. coopère à la définition du programme, en suit le développement, sa participation étant croissante puis prépondérante dans l'expérimentation ;
 - l'industrie est associée au C. E. A. pour se préparer à prendre la responsabilité d'exécution de la chaudière nucléaire ;

— enfin, dans la phase production, le C. E. A. devient un conseiller, l'E. D. F. est maître d'œuvre, l'industrie assume la responsabilité d'exécution.

Le rapport applique ensuite ce schéma aux programmes concernant les filières à eau légère, les filières H. T. (1) et la filière à neutrons rapides (2).

Dans une deuxième partie, le rapport traite sous le vocable de « *diversification* » des actions correspondant à l'ouverture du C. E. A. dans le domaine non nucléaire : actions effectuées dans un but d'intérêt national ou social (luttés contre les nuisances, bureau des standards, centre national d'information scientifique et technique, nouveaux matériaux, dessalement, enseignements) ou programmes particuliers au service de l'économie (lutte contre la corrosion, électronique, usinage, calcul, etc.).

La troisième partie comprend des propositions concernant l'organisation et la gestion.

L'organigramme, simplifié, comporterait cinq directions scientifiques et techniques : 1° armes nucléaires ; 2° matières de base ; 3° énergie ; 4° recherche fondamentale ; 5° disciplines communes. Ainsi le C. E. A. se rapprocherait d'un grand établissement public, technique et industriel.

Au bicéphalisme — Administrateur délégué et Haut-Commissaire — serait substitué un Directeur général dont le rôle consisterait à fixer les programmes généraux, les délais, les moyens et à ajuster les règles de gestion. L'aspect scientifique serait le fait d'un Conseiller.

Un secrétariat général définirait la politique administrative et financière et assurerait le contrôle *a posteriori* de la gestion.

Un conseil de surveillance serait placé auprès du Directeur général.

Les grandes options politiques dépendraient d'un Conseil interministériel statuant sur rapport du Directeur général.

Il est ensuite traité de la détermination des prix de revient des produits et des services et les auteurs étudient de très près la gestion des programmes de recherche et de développement.

On voit que les conclusions de ce rapport ne relèvent pas d'une philosophie réformatrice. Il se borne à proposer d'une part un

(1) Qui jusqu'à présent semblaient avoir suscité peu d'intérêt au C. E. A. et à E. D. F.

(2) Le rapport tranche en faveur du C. E. A. le conflit qui l'oppose à E. D. F. en ce qui concerne la maîtrise d'œuvre du prototype de 1.000 MW.

partage des responsabilités dans l'électro-nucléaire qui doit se prolonger dans des accords entre organismes publics et, d'autre part, des réformes de structures et de gestion ne modifiant pas la nature même du C. E. A. On pourrait être tenté de penser que c'est peu ; répétons qu'il faut cependant reconnaître qu'avoir fait à peu près le tour de la question en quelques mois est un effort plus que méritoire ; les dernières pages du rapport d'ailleurs laissent penser qu'il ne s'agit que de mesures de réactualisation du C. E. A. et qu'à un autre stade du progrès nucléaire plus ou moins éloigné dans le temps, des réformes seront nécessaires.

§ 4. — Conclusions de la mission.

Votre mission, vous ayant ainsi éclairé sur la position du problème du C. E. A., voudrait maintenant vous faire part de ses conclusions propres.

Sans nier l'intérêt du rapport du groupe Cristofini, il ne lui semble pas que celui-ci ait véritablement donné une orientation nouvelle.

Or votre mission pense qu'entre le démembrement total et le maintien du *statu quo*, il y a une orientation possible et sans doute souhaitable sur des stades progressifs de réformes plus accentuées. On peut considérer les propositions du groupe Cristofini comme le point zéro de cette orientation : le dégrillage d'un ensemble devenu trop lourd.

Mais votre mission estime conforme à l'évolution naturelle — et inévitable dans un régime économique qui accepte la concurrence internationale — un certain transfert d'attributions du secteur public au secteur privé. Encore faut-il que certaines conditions soient remplies. Il ne faut pas oublier que seul l'Etat, après la guerre, était en mesure de mener à bien ce qui était, somme toute, la redécouverte d'une science et d'une invention industrielle d'autant moins rentables qu'il fallait aller vite et que le principal but de cet effort était militaire. Sous réserve des impératifs résultant de la sauvegarde des intérêts nationaux (sécurité, approvisionnement, etc.), il apparaît que les produits de la réinvention doivent passer à l'industrie, mais que dans la mesure où le développement des progrès essentiels (notamment en électro-nucléaire) revêt une

importance nationale pour l'économie, tout en excédant les possibilités du secteur privé, c'est l'organisme public qui doit en être chargé.

Mais il doit être bien entendu que ce dernier fournisseur sa contribution intellectuelle et matérielle aux études et recherches, devra recevoir du secteur privé, sous forme de redevances ou de frais d'études la contrepartie de ses travaux susceptibles d'un développement industriel.

S'il avait fallu créer au début du siècle dernier, un Commissariat à l'Energie thermique, pense-t-on qu'un siècle après, celui-ci eut dû continuer d'exister dans sa forme initiale ? On peut aussi se demander dans cette hypothèse quel eût été le lustre de ceux qui auraient été appelés à succéder à la génération des inventeurs. Cette caricature a l'avantage de montrer qu'il y a une progression à observer mais que la direction ne fait pas de doute et que si on la négligeait ce serait les hommes les plus attachés aujourd'hui au C. E. A. qui l'abandonneraient alors pour aller vers de nouveaux secteurs de pointe.

S'il faut déterminer le moment où une activité du secteur public est mûre pour tomber dans le domaine de l'exploitation industrielle, encore faut-il que les entreprises héritières de cet apport soient en mesure de la développer. Il faut donc une industrie d'une certaine taille pour que le transfert soit possible. Si les Etats-Unis n'avaient pas eu General Electric et Westinghouse, l'U. S. A. E. C. eût dû garder toutes ses activités. Elle en est maintenant à étudier la possibilité de transférer au secteur privé même les usines d'enrichissement de l'uranium et la question se pose précisément dans les termes que nous venons de décrire : 1° Un intérêt supérieur s'oppose-t-il à ce transfert ? 2° Cette activité est-elle rentable (1) pour être acceptée par le secteur privé ? 3° Le secteur privé est-il en état de la faire prospérer par ses moyens propres ?

Votre mission souhaiterait que cette orientation fût adoptée par le Gouvernement, son application devant se moduler selon les circonstances. Elle ne pense pas que le personnel doive en prendre ombrage : appartenant actuellement à un organisme en pointe,

(1) Faire des bénéfices ou tirer le meilleur parti des richesses dont on dispose est le souci, on pourrait dire national, des Américains, qu'ils appartiennent au secteur public ou au secteur privé. Certains en France s'indignent à l'idée que l'industrie fera des bénéfices grâce à l'effort public ; c'est manquer d'une vue d'ensemble dans laquelle toutes les activités de la Nation sont en définitive solidaires.

croit-il qu'il pourra toujours y avoir pour tous un secteur de pointe nouveau ou bien estime-t-il souhaitable que le C. E. A. devienne un gestionnaire de procédés classiques ?

Il reste à déterminer à quelles conditions le secteur privé serait en mesure de faire face à ces transferts.

La condition nécessaire pour qu'ils s'effectuent heureusement, c'est que l'industrie française atteigne à une dimension et à une surface financière qui la mettent en état :

1° De supporter les investissements considérables qui la rendront capable de construire matériels et ensembles nucléaires dans les conditions de prix et de délais du marché international ;

2° De prendre sa part de certaines recherches appliquées et de participer à la recherche-développement lorsque celles-ci la concernent directement.

L'obtention de cette taille économique et financière dépend elle-même :

— de l'ampleur du marché national et du comportement du client national, qui conditionnent la structure industrielle ;

— de l'accès au marché international qui exige des liens transnationaux.

Le marché national dépend de l'importance du programme d'E. D. F. complété par celui de rares clients du secteur privé, en l'espèce les grands autoproducteurs d'électricité, de chaleur ou de vapeur. Il est évident que ce marché doit être suffisant pour fournir à l'industrie un minimum de charge de travail et une gamme de références commerciales sérieuses. De plus, il ne doit pas être soumis à des secousses ou des oscillations permanentes.

Encore faut-il que l'industrie soit mise en mesure de prendre des responsabilités et des initiatives. A cet égard, l'attitude du client est fondamentale : si celui-ci veut sans cesse ou par principe imposer ses propres solutions, autrement dit se substituer à son fournisseur pour les spécifications de certains éléments essentiels, il est évident que l'industrie ne peut jouer pleinement son rôle naturel. Il est par conséquent nécessaire que le client n'aille pas au-delà de l'exigence du respect des normes de sécurité, de fiabilité, de fonctionnement, de délai d'usage dans l'industrie considérée.

En toute hypothèse, le marché national ne saurait être suffisant ; aussi faut-il que l'industrie française ait une part sérieuse des fournitures mondiales. Avoir cette part présuppose que techni-

quement et financièrement l'industrie française en soit capable, que sur le plan commercial elle soit bien placée. Or dans l'industrie électronucléaire, la compétition est limitée à quelques entreprises et le marché mondial est dominé par certains groupes étrangers qui sont aux États-Unis : General Electric et Westinghouse ; en Grande-Bretagne : English Electric et General Electric Company ; en Allemagne : Siemens et A. E. G., associés dans K. W. U.

Sans des relations étroites avec tels ou tels d'entre eux, la partie se jouera sur les prix, les délais, les garanties ; la forme des contrats de licence conclus entre les deux groupes français actuels et General Electric pour l'un, Westinghouse pour l'autre, et l'appui réciproque du donneur de licence et du licencié sont dès lors essentiels. En effet l'intimité de leurs relations peut permettre toutes les combinaisons pour s'assurer des commandes dans le monde. Suivant le cas, l'offre sera faite par le licencié ou par le donneur de licence, étant entendu que du point de vue des fabrications, les tâches seront réparties. En outre, s'il est convenu que les travaux respectifs des cosignataires d'un contrat de licence seront échangés dans l'intérêt commun des deux parties, l'avenir en matière de nouvelles filières est également sauvegardé.

Si ces conditions de marché étaient réalisées, le relais par l'industrie de certaines activités du C. E. A. pourrait se dérouler d'une façon qui non seulement ne porterait pas préjudice aux membres du personnel du C. E. A. qui accepteraient de passer au secteur privé, mais leur assurerait une mission de même intérêt sans problème de rémunération.

En effet, le constructeur, assuré d'avoir les coudées franches, dans la limite du respect des normes obligatoires pour les matériels en cause, peut alors offrir au personnel spécialisé une situation stable si le marché est suffisant. Sans une telle stabilité donnant à ce personnel des apaisements pour le présent et l'avenir (rémunération, carrière, retraite), certaines réactions syndicales trouveraient une justification.

Dans le même esprit, la politique de restructuration de l'industrie française n'est pas indifférente. Aller vers un seul groupe national au lieu de deux groupes transnationaux aux bien plus larges possibilités, si les précautions sont prises en matière de licences et d'accords, c'est mettre face à face deux monopoles ou quasi monopoles E. D. F. et son fournisseur. Ce dernier, assuré pratiquement du marché national mais handicapé par sa rigidité technique sur le

marché international et dès lors réduit au rôle de correspondant obéissant et passif d'E. D. F. n'offrira aux éléments ambitieux du C. E. A. aucune voie d'avenir ni aucune chance de carrière brillante. Laisser coexister deux groupes où l'émulation sera de règle en raison de la compétition interne et des possibilités internationales, ouvrira plus d'horizons au personnel du C. E. A. disposé à aller vers le secteur privé. Ainsi est justifiée à nouveau la coexistence des groupes C. G. E.-Alsthom, d'une part (appuyés par Babcock-Atlantique), et Creusot-Loire-Framatome, d'autre part (associés si nécessaire à C. E. M.), et bénéficiant l'un de la licence General Electric, l'autre de celle de Westinghouse.

Il ne faudrait pas croire pour autant que le C. E. A. perdrait de la sorte une part excessive de sa substance. S'il est certain que dans une très large mesure, la nature des relations entre les industriels français et leurs partenaires étrangers jouera un rôle décisif dans l'effacement relatif du rôle industriel du C. E. A. pour les techniques déjà commercialisées, cet effacement, même s'il est important pendant les années à venir, du fait de la mutation vers les filières à eau légère, serait très relatif quant au rôle à jouer par le Commissariat. D'abord, ce dernier devra suivre avec soin les résultats obtenus avec ces filières, connaître tous les détails de la fabrication de ses éléments, veiller à leur conformité avec les normes de rendement et de sécurité, continuer à suivre l'application de telle ou telle d'entre elles aux autres applications dont la propulsion navale, continuer d'intensifier ses recherches sur la filière à neutrons rapides, en association avec l'industrie et E. D. F., suivre les travaux franco-étrangers ou étrangers sur les filières à eau lourde et à haute température, sans compter la poursuite de ses travaux dans toutes les autres disciplines ou applications de l'énergie atomique.

Pour terminer sur cette projection de nouveaux rapports C. E. A.-industrie, un point doit ici être fortement souligné : le parti que tirera l'industrie des recherches du C. E. A. en mettant en œuvre ses découvertes doit être compensé par une juste rémunération du service rendu. En effet, si la structure économique française est telle que l'industrie n'a pas les moyens d'entretenir de grandes unités de recherche, il paraît tout à fait équitable que les organismes publics de recherches — qui à un certain point de vue jouent un rôle de substitution — reçoivent des utilisateurs une contrepartie financière.

Pour résumer ces quelques observations, nous dirons qu'il dépend au moins autant des Pouvoirs publics et des organismes publics que de l'industrie elle-même que celle-ci soit portée à un degré de maturité qui rendra la mutation nécessaire du C. E. A. réalisable à la fois d'une façon conforme à l'intérêt national et dans le respect des impératifs humains.

SECTION II. — ELECTRICITE DE FRANCE (E. D. F.) (1)

On a fait allusion à plusieurs reprises aux difficultés sérieuses qui, dans le passé, ont marqué les relations de l'E. D. F. avec le C. E. A. et avec l'industrie. Il ne fait pas de doute que la taille économique d'E. D. F. lui donne dans le cadre national une puissance qui n'est peut-être pas justement proportionnée à sa fonction de fournisseur d'électricité.

Pour l'industrie, ses commandes de matériels sont absolument vitales ; il en est résulté pour E. D. F. une tendance à la maintenir en tutelle, notamment par un fractionnement excessif de ses commandes et par le caractère extrêmement précis de ses spécifications. Une telle attitude n'était évidemment pas de nature à inspirer un dynamisme particulier à l'industrie.

A l'égard du C. E. A., E. D. F. a eu tendance à vouloir annexer au moins une partie du développement en considérant le C. E. A. comme un organisme de recherche. Encore ce dernier domaine ne lui a-t-il pas paru devoir lui échapper totalement. Par exemple, la construction d'une boucle expérimentale au sodium alors que le C. E. A. poursuit ses travaux sur la filière à neutrons rapides semble manifester, quels que soient les accords pris entre les deux organismes, une tendance à l'autonomie dont on peut se demander si elle correspond à une nécessité réelle.

Toutefois, sur le plan de son rôle nucléaire, le jugement doit être nuancé. S'agissant des centrales de la filière graphite-gaz, la situation particulière dans laquelle s'est trouvée E. D. F. explique dans une très large mesure un comportement et des faits qui, vus de l'extérieur par un esprit non averti, pourraient donner l'impression de prêter le flanc à des critiques graves. Il faut bien voir en effet que si E. D. F. n'a pas pour mission de découvrir et de mettre

(1) Dans le cadre restreint de ce rapport, il n'a pas été possible de décrire l'importance du rôle et de la place d'E. D. F. dans l'économie française. La brièveté de ce paragraphe n'implique nullement leur méconnaissance. On y a simplement schématisé les observations qui sont développées dans les sections I et III du présent chapitre.

au point des procédés nouveaux de production d'électricité, l'obligation où elle se trouve de faire face à la demande croissante lui a fait un devoir de passer à l'utilisation de l'énergie nucléaire en même temps que les autres pays industrialisés.

Or, quelle était pour elle la situation au cours de la dernière décennie ? D'une part et pour des raisons politiques, elle n'avait pas le choix de la filière quoiqu'il semble bien que ses spécialistes aient reconnu très tôt l'intérêt de la filière à eau légère. D'autre part, la filière qui lui était imposée — et notamment pour des raisons de production de plutonium militaire — n'était opérationnelle qu'à l'échelle des piles expérimentales du C. E. A. Il ne semble pas que celui-ci — quels que soient les succès enregistrés à ce niveau — ait eu le souci de déboucher dans un délai répondant aux impératifs économiques sur une réalisation de taille industrielle.

On peut donc dire qu'E. D. F., tout en doutant de la rentabilité de la filière, a été en quelque sorte contrainte — alors que par ailleurs l'entreprise excédait les possibilités financières et les capacités en recherche-développement d'une industrie qui ne pouvait escompter un marché lui en assurant la rentabilité — de prendre l'initiative, la charge et la responsabilité de l'extrapolation des installations expérimentales en 70 MW (Chinon I) puis en 200 MW (Chinon II) pour aboutir à 480 MW (Chinon III). Elle ne pouvait espérer bien évidemment être à l'abri des surprises que réserve toujours ce genre d'opérations. Elle a fait preuve d'une hardiesse certaine et on ne peut se dissimuler que l'entreprise a été coûteuse et les résultats contestables sur le plan économique. Il reste quand même du seul point de vue énergétique qu'elle a doté le pays d'une capacité de production d'électricité d'origine nucléaire non négligeable, amorçant ainsi l'évolution nécessaire du thermique classique au nucléaire. Ne l'eût-elle point fait qu'on le lui eût reproché.

En face de cette situation, votre mission doit d'abord rendre hommage à la clairvoyance courageusement exprimée de ceux qui sentirent très tôt la supériorité des solutions techniques qui devaient affirmer leur succès quelques années plus tard. Elle ne peut que reconnaître que, compte tenu des contraintes qui s'exerçaient sur elle, E. D. F. s'est efforcée de remplir sa mission de producteur d'électricité en adoptant résolument la nouvelle source d'énergie qui est en train de se répandre dans le monde. Elle ne peut par contre que regretter que des considérations extra-économiques aient bridé sa liberté de choix et d'action.

Compte tenu des nombreux facteurs de la situation que nous venons d'évoquer, il faut dire aussi que les rivalités, les divergences, les conflits de compétence entre grands organismes publics nationaux sont choses déplorables, pour dire le moins. Mais il faut ajouter qu'il appartient au Gouvernement, non seulement de ne pas créer des situations qui les favorisent mais surtout de définir des orientations claires, de les faire connaître et d'en susciter l'examen public au sein du Parlement.

Cette condition préalablement remplie et chacun se voyant fixer son rôle dans la réalisation des objectifs retenus, toutes opinions ayant pu s'exprimer, il sera alors possible de dégager un esprit de coopération et de confiance réciproques auquel tous les intéressés ne sauraient plus déroger sans encourir une grave responsabilité.

Les rôles respectifs doivent être bien définis : quelles que soient à cet égard les décisions qui seront prises, E. D. F. et l'industrie doivent reconnaître au C. E. A. sa vocation de chercheur et d'expérimentateur. Le C. E. A. doit reconnaître que son activité a pour but de mettre l'industrie et E. D. F. en mesure d'assurer leurs fonctions selon les contraintes qui s'imposent à elles. E. D. F. doit reconnaître qu'elle ne doit pas tenir l'industrie en tutelle et comprendre que sa propre responsabilité nucléo-électrique est fonction de la maturité commerciale de l'industrie et qu'elle doit l'aider à y parvenir.

Mais il y aura toujours des zones intermédiaires : là doivent jouer à plein l'information et la coopération réciproques.

Encore faut-il qu'au point de départ, redisons-le, la décision politique ait établi un programme dont l'établissement doit relever de considérations économiques à l'exclusion de toutes autres. Si le C. E. A. est qualifié pour apprécier la fiabilité et le rendement d'une filière, il est évident que c'est la considération de coût, essentielle pour le producteur d'électricité, qui doit emporter la décision finale. Il est donc évident qu'E. D. F. ne saurait être absente des stades d'expérimentation et qu'elle doit prendre une part importante, voire prépondérante, au stade du prototype industriel.

Mais nous n'entrerons pas ici dans le détail des modalités de coopération entre les partenaires, ce qui importe, c'est le principe et, nous le verrons plus loin, les moyens d'assurer son respect.

Pour conclure ces quelques observations sur E. D. F., nous dirons que la responsabilité économique nationale tout à fait capi-

tale qui lui incombe et dont chacun reconnaît qu'elle s'en acquitte la plupart du temps avec succès, grâce notamment à la valeur de ses ingénieurs et techniciens, lui impose chaque jour davantage, dans le cadre européen d'adopter un comportement inspiré par le souci de répondre à la demande d'énergie dans les conditions les meilleures au point de vue économique. Le VI^e Plan a justement mis l'accent sur la nécessité de desserrer les entraves qui freinent le désir d'E. D. F. de jouer le jeu de la rentabilité économique. Votre mission souhaite que le Gouvernement s'oriente résolument dans ce sens.

SECTION III. — L'INDUSTRIE

L'appel d'offres lancé en février 1970 par E. D. F. pour la construction à Fessenheim d'une centrale nucléaire d'un type différent de celles de la filière uranium naturel - graphite gaz, a eu sur les secteurs concernés de l'industrie française d'importantes répercussions. Il s'agit, en effet, au-delà de l'adjudication d'un marché considérable certes, mais qui n'est pas unique, de l'ouverture d'une ère nouvelle du nucléaire en France appelé à passer au stade industriel.

L'appel d'offres concerne la construction de la partie nucléaire d'une centrale de 800 à 900 MWe sans que soit précisé le type du réacteur. Il paraît toutefois évident, à la suite de la décision gouvernementale du 13 novembre 1969, qu'il ne saurait s'agir que d'un réacteur à uranium enrichi et eau légère, soit du type P. W. R., soit du type B. W. R. Les projets présentés doivent prévoir, en outre, le doublement éventuel de l'installation initiale.

L'importance de ce marché de plus d'un milliard de francs n'expliquerait pas les réactions provoquées dans l'industrie non seulement en France mais à l'étranger, s'il n'annonçait surtout le passage à un nouveau stade de l'effort nucléaire français pour la production d'électricité.

Certes, depuis plusieurs années, cet effort avait dépassé le stade du développement pour atteindre des dimensions industrielles avec la construction des centrales E. D. F. de Chinon et, plus encore, de Saint-Laurent-des-Eaux. Il n'avait pas toutefois véritablement atteint l'industrie elle-même qui n'y jouait pas le rôle qui semble devoir être le sien à l'avenir.

Diverses raisons expliquent cet état de fait. En premier lieu, si les réacteurs nucléaires déjà construits par E. D. F. sont des ins-

tallations industrielles productrices d'énergie (à des prix d'ailleurs non compétitifs) et non plus des piles laboratoires comme celles qui furent réalisées par le Commissariat à l'Energie atomique, ces réacteurs n'ont pas dépassé définitivement le stade expérimental et de mise au point. Les incidents assez nombreux qu'ils ont subis sont là pour le rappeler. Les risques, dans ces conditions, ont paru aux industriels supérieurs aux chances de gains, ce qui ne les engage pas à prendre des responsabilités, notamment celle de fournir des installations complètes dont ils ne pouvaient garantir financièrement le bon fonctionnement.

Cette tendance a été renforcée par la position du C. E. A. et l'attitude d'E. D. F. ; jusqu'à présent, les centrales nucléaires construites en France pour produire de l'électricité ont toutes été du type uranium naturel-graphite-gaz, mis au point par le C. E. A. Ne font exception que certains réacteurs expérimentaux (EL 4, Phénix, par exemple) et la centrale de Chooz construite en collaboration avec la Belgique. Inventeur du procédé, détenteur de la technique et du savoir-faire, le C. E. A. a joué dans la construction des centrales un rôle essentiel, que lui attribuait d'ailleurs l'ordonnance de 1945 et qui n'a guère été contesté que par E. D. F. Celle-ci, en sa qualité de producteur d'électricité, s'est réservé le rôle d'architecte industriel pour l'édification des centrales de puissance. Privés d'initiative, les industriels se sont résignés au rôle de sous-traitants et de fournisseurs de pièces détachées.

C'est cette situation qui est remise en cause à l'occasion de l'appel d'offres lancé pour la réalisation de la centrale de Fessenheim. Le C. E. A. et E. D. F. vont, en effet, se trouver confrontés à un stade de réalisation relativement nouveau pour eux et sur lequel ils ne peuvent faire valoir de droits d'auteur. Les industriels, en revanche, garantis par les réalisations des firmes américaines, espèrent, en s'appuyant sur les licences qu'ils ont acquises, maîtriser sans grands risques le procédé « uranium enrichi, eau légère ».

Ainsi s'expliquent les mouvements qui agitent les industries françaises — et étrangères — qui s'intéressent au secteur nucléaire.

Il faut garder présent à l'esprit certains des traits que l'industrie française tient de l'évolution économique et politique depuis la fin de la seconde guerre mondiale et qui sont de nature à faire mieux comprendre la situation actuelle :

— reconstitué après 1945 à partir des seuls ressources et moyens nationaux, le potentiel industriel n'a pu bénéficier des derniers progrès technologiques accomplis pendant la guerre aux U. S. A. Nous souffrons encore du retard pris à cette époque ;

— la création du C. E. A., organisme à vocation exclusive en matière atomique, justifiée et nécessaire, a, en fait, écarté l'industrie de ce secteur étatique ;

— les nationalisations, pour justifiées économiquement qu'elles aient été, ont reçu une application qui a pu faire craindre aux industriels qu'en accroissant la taille de leurs entreprises, elles deviendraient susceptibles d'être nationalisées, d'où un freinage des investissements et une hésitation devant les risques ;

— le climat national français a été longtemps défavorable à l'industrie qui apparaissait à la fois méconnue par l'opinion publique, menacée par certains programmes politiques ou syndicaux, et placée sous la tutelle de l'Administration tant pour les marchés que pour les prix, cependant que son activité ne s'exerçait que dans une aire économique limitée ;

— il en résulte une sorte d'esprit de clientèle à l'égard des grandes entreprises publiques et une recherche de l'appui des pouvoirs publics et de leurs dirigeants au détriment de l'esprit de compétition naturel au secteur privé ;

— ce n'est qu'avec l'ouverture du Marché commun, l'accroissement de taille des unités de production électrique et la complexité de la technologie nucléaire qu'est apparue la nécessité d'une concentration des industries concernées.

Ces observations, qui s'appliquent évidemment à l'ensemble de l'industrie, expliquent, en particulier, la dispersion de l'industrie électromécanique dont il convient de définir ici ce qu'elle fournit au secteur nucléaire.

Celui-ci, en effet, offre à l'industrie un vaste champ d'activité allant de la fabrication des radioéléments artificiels et de l'équipement de laboratoire à la construction de centrales nucléaires dont les plus récentes dépassent 1.000 MWe de puissance installée.

Seul le secteur lourd sera considéré ici, ce qui ne signifie pas que les autres activités nucléaires, moins spectaculaires, soient pour autant négligeables puisque actuellement, en France, leur chiffre d'affaires atteint, s'il ne le dépasse pas, celui de la construction de centrales nucléaires.

Celle-ci ne relève pas d'un secteur industriel spécialisé et bien défini en raison même de la composition de telles centrales qui, à côté d'un équipement spécifiquement nucléaire, comportent des éléments qu'on retrouve dans toute centrale thermique. L'équipement spécifiquement nucléaire représente seulement 35 % de l'ensemble et comprend, notamment, le réacteur avec la cuve dans laquelle est logé le cœur contenant le combustible, le système de chargement et de contrôle du combustible, enfin, les échangeurs de température. Le reste de l'équipement (turbines, alternateurs, gros transformateurs, etc.) est analogue à celui des centrales classiques avec certaines différences notables, toutefois, tenant à la qualité et à la pression de la vapeur produite.

Les secteurs industriels concernés sont donc celui de la chaudronnerie et de la mécanique lourdes, d'une part, pour la fabrication des chaudières, cuves, échangeurs, turbines, etc., et celui du gros équipement électrique pour les alternateurs, gros transformateurs, disjoncteurs, etc., d'autre part.

Ces deux secteurs connaissent en France, depuis quelques années, une mutation profonde caractérisée par des accords de regroupement qui n'ont toutefois pas encore modifié notablement la position de l'industrie française tant à l'égard du C. E. A. et d'E. D. F. qu'à l'égard de la concurrence internationale (§ 1).

Cette modification devrait être la conséquence du tournant pris par la politique nucléaire de la France, dont le premier effet sera d'achever la restructuration en cours (§ 2).

§ 1. — La situation actuelle de l'industrie française du secteur nucléaire.

A. — STRUCTURE DE L'INDUSTRIE ÉLECTROMÉCANIQUE

Les firmes françaises concernées par la construction de centrales électriques, notamment nucléaires, appartiennent soit au groupement de la mécanique lourde (G. M. L.) soit à celui du gros matériel électrique (G. M. E.). Chacun de ces secteurs connaît depuis

quelques années de profondes mutations internes qui devraient permettre à l'industrie française d'accéder dans ce domaine au rang de partenaire égal des grands organismes publics français ou des entreprises étrangères concurrentes auquel elle n'a pu prétendre jusqu'à présent.

*
* *

En 1967 encore, le nombre des entreprises françaises travaillant à la construction de centrales était très élevé. Pour chaque catégorie de matériel, il existait au moins trois ou quatre spécialistes. Parmi les plus importants, on recensait :

- pour les alternateurs : Jeumont-Schneider, Alsthom, la Compagnie Electro-Mécanique (C. E. M.) ;
- pour les turbines : les mêmes, plus Rateau ;
- pour les chaudières : la société des Forges et Ateliers du Creusot, Babcock et Wilcox, Fives-Penhoët, Stein et Roubaix.

Beaucoup d'entreprises d'importance moindre avaient des activités analogues. Le résultat des mutations qui se sont produites ces dernières années a été le regroupement de l'industrie mécanique lourde, d'une part, de l'industrie du gros matériel électrique, de l'autre, autour d'un chef de file tout en laissant subsister dans chaque secteur des rivaux dynamiques solidement épaulés par des firmes étrangères.

*
* *

L'industrie de la construction électrique française, à laquelle se rattache celle du gros matériel électrique, compte au total près de 2.000 entreprises souvent de très petite taille. Elle employait à la fin de 1968 environ 350.000 personnes pour un chiffre d'affaires de 20 milliards de francs. Deux grandes firmes dominent ce secteur : la Compagnie générale d'Electricité (C. G. E.) et Thomson-Houston qui à elles seules employaient 147.000 personnes en 1968 et faisaient un chiffre d'affaires de près de 11 milliards de francs.

La diversité des fabrications électriques est très grande mais par simplification on distingue généralement deux types d'activités :

- les courants forts qui regroupent le matériel de production (turbines, alternateurs), de transformation (gros transformateurs)

et de transport (câbles, disjoncteurs) de l'énergie électrique ainsi que le gros équipement industriel (gros moteurs électriques, matériels de traction) ;

— les courants faibles qui concernent le petit équipement industriel, les appareils électroménagers, le matériel de télécommunications et de l'électronique.

La phase essentielle de la restructuration de l'industrie électrique française semble avoir été l'accord intervenu en 1969 entre Thomson-Houston et la C. G. E. qui a pour objet précisément de spécialiser chacune de ces firmes dans un type de productions.

La société Thomson-Houston constituée par les regroupements successifs d'entreprises (Hotchkiss-Brandt, C. S. F., Claret, etc.) avait en 1968 un chiffre d'affaires (non consolidé) de 5,2 milliards de francs et employait 70.000 personnes essentiellement dans l'électronique professionnelle et l'électroménager. Sa position dans l'électrotechnique se limitait à une participation dans Alsthom.

En revanche, la C. G. E., holding sans domaine industriel propre, depuis le début de 1969, avait dans les courants forts une place particulièrement importante, grâce à une centaine de filiales réalisant un chiffre d'affaires (non consolidé) de 5,5 milliards de francs pour un effectif de 77.000 personnes.

La production de ces deux firmes était donc dans une large mesure complémentaire, sauf dans l'électrotechnique et l'accord intervenu en 1969 a eu pour effet de consacrer cette complémentarité.

La société Thomson-Houston a renforcé sa position dans le secteur de l'électroménager et dans l'informatique, en acquérant la prépondérance au sein de la Compagnie internationale pour l'informatique (la C. I. I. du Plan Calcul). La C. G. E., en revanche, l'emporte dans le secteur des courants forts en prenant avec une participation de 40 % du capital, le contrôle de l'Alsthom.

Dans ce secteur, l'accord est complété par diverses autres mesures qui l'on suivi ou précédé. Dès 1969, Alsthom a fusionné avec la société Neyrpic et elle est sur le point d'absorber la société Rateau, l'une et l'autre spécialisées dans le gros matériel électrique, notamment les turbines. En outre, Alsthom, après la transformation de Stein et Roubaix, a pris le contrôle de la nouvelle société Stein-Industrie, constructeur de chaudières classiques pour centrales.

On a ainsi abouti à la création d'un groupe important conduit par la C. G. E. et comprenant des entreprises d'électrotechnique (Alsthom, Rateau, Neyrpic) et de métallurgie lourde (Stein-Industrie).

Avec un chiffre d'affaires global (non consolidé) de 6,4 milliards de francs en 1969 (dont 2,5 milliards dans l'électrotechnique) ce groupe est devenu le principal fabricant français de gros matériel électrique devant ses trois concurrents qui sont la C. E. M., la société Jeumont-Schneider et Merlin-Gérin.

La situation de ces deux dernières liées au groupe Schneider S. A. et dont le chiffre d'affaires dans l'électrotechnique atteint 1 milliard de francs sera examinée ultérieurement.

La C. E. M. représente, pour la C. G. E., le rival français le plus sérieux dans le secteur de gros matériel électrique. Avec un chiffre d'affaires de 711 millions de francs (833 avec ses filiales) pour un effectif de 11.000 personnes en 1969, la C. E. M. constitue dans le secteur de l'électrotechnique une entreprise moyenne. Toutefois, elle fait preuve d'un grand dynamisme et bénéficie d'une forte position grâce aux liens qui l'unissent à la compagnie Brown-Boveri (B. B. C.). Cette compagnie d'origine suisse possède des filiales en Allemagne et en Italie et, en France, une participation de 38 % dans le capital de la C. E. M. Récemment modifiée, son organisation laisse aux sociétés du groupe une assez large autonomie, notamment à la C. E. M., tout en leur assurant l'appui d'un réseau commercial mondial efficace et de techniques éprouvées dans le domaine de l'électrotechnique. La C. E. M. a pu mener de la sorte une action dynamique qui lui a valu en 1969 des succès sur le marché américain où elle a obtenu la commande de deux groupes de turbo-alternateurs qui équiperont des centrales nucléaires.

Un regroupement opéré autour d'une entreprise importante, bien qu'elle n'atteigne pas encore la dimension internationale, aux productions diversifiées; la C. G. E. ; une autre entreprise aux dimensions plus restreintes, mais très dynamique, la C. E. M., tel est le résultat des mutations intervenues dans le secteur du gros matériel électrique en France. Ce qu'il adviendra de Jeumont-Schneider donnera à ce secteur son aspect pour les prochaines années.

La mécanique et la chaudronnerie lourdes recouvrent une gamme très vaste de fabrications souvent très spécialisées et qui ne se prêtent pas toujours à des réalisations en série : pièces forgées, matricées, moulées de toutes dimensions, matériel pour les mines,

instruments de levage et de manutention, réservoirs, échangeurs, pompes pour l'industrie du pétrole et du gaz, chaudières conventionnelles et nucléaires pour les centrales électriques, etc.

Comme pour l'industrie du gros matériel électrique, les mutations ont été nombreuses depuis peu d'années et la situation ne paraît pas encore complètement stabilisée.

Ces mutations ont abouti en premier lieu à la constitution, en 1970, d'un ensemble industriel vaste, mais hétéroclite : Creusot-Loire, né de la fusion de la société des Forges et Ateliers du Creusot (S. F. A. C.) et de la compagnie des Ateliers et Forges de la Loire (C. A. F. L.).

La S. F. A. C. est l'une des filiales industrielles du groupe Schneider S. A. (1) qui, comme la C. G. E., n'exerce pas d'activités industrielles directes, mais contrôle un grand nombre de filiales dont les activités, à partir de la sidérurgie fine et de la mécanique lourde, se sont très largement diversifiées. Si l'on recense les filiales dont le groupe Schneider, avec une participation de plus du tiers du capital, est le seul actionnaire important, on atteint un chiffre d'affaires (non consolidé) de 3,35 milliards de francs, pour un effectif de 38.000 personnes en 1969. Ces chiffres peuvent être doublés si l'on y ajoute les sociétés où, avec une participation de 10 à 30 % du capital, le groupe Schneider exerce une influence importante. Parmi les filiales du groupe, la S. F. A. C., avec un chiffre d'affaires de 1,3 milliard de francs en 1968 et un effectif de 25.000 personnes, occupe une place essentielle. Son activité s'exerce à raison de 40 % dans la sidérurgie fine (aciers alliés) et 60 % dans la mécanique lourde.

La C. A. F. L., née en 1953 de la fusion d'entreprises de la région de Saint-Etienne et des usines du groupe de la Marine, a réalisé, en 1968, un chiffre d'affaires d'un milliard de francs avec un effectif de 15.000 personnes.

Après un premier essai de coopération remontant à 1956, ces deux firmes ont, dans le cadre du plan professionnel de la sidérurgie, décidé de fusionner leurs actifs pour rationaliser leurs productions. Le nouveau groupe Creusot-Loire, dont la constitution devrait être achevée à l'automne 1970, sera contrôlé également par le groupe Schneider et celui de la Marine. Sur la base de 1969, son chiffre d'affaires devrait atteindre 2,7 milliards de francs et en

(1) Le principal actionnaire du groupe Schneider est le baron Empain qui détient 24 % du capital.

faire le premier producteur français dans le secteur de la métallurgie lourde. Toutefois, la fusion ne se réalise que difficilement et ne résoud pas tous les problèmes. Alors que le groupe Schneider était lui-même en cours de réorganisation, Creusot-Loire aura de difficiles problèmes à résoudre pour rationaliser et adapter l'une à l'autre les productions de la S. F. A. C. et de la C. A. F. L., notamment dans le secteur de la mécanique lourde.

Doté d'installations anciennes, il a, en outre, à subir la concurrence de rivaux de dimensions plus modestes, certes, mais mieux équipés et dynamiques : Ugine-Marel dans le secteur de la sidérurgie et, surtout, Babcock-Atlantique dans le secteur de la mécanique et de la chaudronnerie.

Babcock-Atlantique est né de la fusion, en 1968, des deux entreprises de chaudronnerie et mécanique lourdes, Babcock et Wilcox France et Chantiers de l'Atlantique. En 1969, grâce au rachat des actions détenues par les Chantiers de l'Atlantique, Babcock a pris le contrôle du groupe.

Babcock et Wilcox - France, qui fabrique des chaudières conventionnelles et nucléaires, est l'une des sociétés du groupe international d'origine britannique qui possède des filiales également aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et en Allemagne. La participation britannique dans la Babcock française atteint 20 % du capital, mais comme dans le cas de la société Brown-Boveri, les sociétés membres du groupe conservent une large autonomie. En 1969, le chiffre d'affaires de Babcock-Atlantique s'est élevé à 650 millions de francs pour un effectif de 5.000 personnes. Bien que de dimensions très inférieures à Creusot-Loire, cette société possède de solides atouts, qui sont d'abord l'appui d'un groupe international important, de son appareil commercial et de ses techniques, notamment dans le secteur nucléaire ; ensuite, une action très dynamique qui lui a permis de réaliser des installations ultra-modernes à Saint-Nazaire. Ces installations, situées en bord de mer sur le bassin à flot de Penhoët, ont produit, pour une société pétrolière américaine, des pièces de chaudronnerie de près de 600 tonnes et en produiront bientôt de 1.200 tonnes. Or, l'industrie nucléaire aura de plus en plus besoin de pièces de telles dimensions, transportables par voie maritime seulement, et les anciennes installations à sec risquent de se trouver déclassées.

En février 1970, Babcock-Atlantique s'est encore renforcée en absorbant la société Fives-Lille-Cail pour former un groupe qui,

avec un chiffre d'affaires de 1,5 milliard de francs et un effectif de 10.000 personnes, se pose en rival sérieux du groupe Creusot-Loire.

*
* *

A la suite de ces divers regroupements, la situation de l'industrie française concernée par la construction de centrales nucléaires est la suivante :

— dans le secteur du gros équipement électrique, il existe un groupe prépondérant par ses dimensions, la C. G. E. - Alsthom, flanqué de deux rivaux : Jeumont-Schneider, dont l'avenir est incertain, et la C. E. M., qui cherche à renforcer sa position au sein du groupe international Brown-Boveri ;

— dans le secteur de la mécanique lourde, il existe également un groupe prépondérant par ses dimensions, Creusot-Loire, qui cherche à s'imposer face à un rival actif, Babcock-Atlantique.

Cette situation est assez différente de celle qui existait encore en 1967 ; elle n'en est pas moins provisoire car aussi bien les forces internes que les influences extérieures doivent provoquer dans un avenir proche de nouveaux regroupements.

B. — INCIDENCES DE LA POLITIQUE DU C. E. A. ET D'E. D. F. SUR L'INDUSTRIE

La nécessité de nouveaux regroupements apparaît à l'examen des rapports de l'industrie française du secteur nucléaire avec les grands organismes publics français, C. E. A. et E. D. F. d'une part, avec les grandes firmes étrangères concurrentes d'autre part. Dans l'un et l'autre cas, mais pour des raisons différentes, l'industrie nucléaire française éprouve des difficultés à figurer en partenaire égal.

A l'égard du C. E. A. et d'E. D. F., la position de l'industrie française s'explique dans une large mesure par des habitudes déjà anciennes qui ont marqué l'attitude des trois partenaires.

Le développement des techniques nucléaires en France, l'accession de ce pays au rang de puissance atomique ont été dus, dans une large mesure, aux efforts du C. E. A. qui en a tiré une légitime fierté. Mais il n'a pu obtenir ces résultats que parce qu'il a bénéficié des années durant de possibilités exceptionnelles qui lui avaient été reconnues par l'ordonnance de 1945. Celle-ci assurait pratiquement au C. E. A. le monopole des questions nucléaires y compris la construction de centrales nucléaires de puissance. Jusqu'à une période récente, on ne s'était pas demandé si l'évolution du secteur nucléaire justifiait toujours le maintien sans modification de l'ordonnance de 1945. L'assurance que le C. E. A. a tiré de ses succès techniques lui a donné un sentiment d'excessive supériorité, l'incitant à beaucoup faire par lui-même sans associer à ses réalisations ceux qui auraient dû être ses partenaires naturels.

Seule E. D. F. est parvenue à battre en brèche le monopole nucléaire du C. E. A. en se faisant reconnaître, en dépit de l'ordonnance de 1945, le rôle de maître-d'œuvre pour la construction des centrales nucléaires de puissance.

Cependant, si le statut du C. E. A. lui donnait la mission fort étendue de doter la France d'une industrie nucléaire, du fait de ses propres moyens et de ceux de l'industrie qu'il entraînerait derrière lui, ce qui lui laissait une grande liberté d'action dans la limite de ses dotations budgétaires, tant civiles que militaires, celui d'E. D. F. était bien plus limité : il lui donnait le monopole du transport et le quasi-monopole de la distribution de l'électricité, et, sous certaines réserves, celui de la production d'électricité ; il ne lui en donnait aucun dans celui de la fabrication de matériels destinés à satisfaire sa vocation.

Du fait de son poids économique, du statut rigide du personnel le figeant dans une structure parapublique du penchant naturel de tout service de grossir, d'étoffer, d'accroître son influence, du comportement de l'industrie préférant s'assurer même par une diminution de ses responsabilités propres, une part des commandes du principal, sinon unique, client national, E. D. F. en vint peu à peu à se substituer aux constructeurs dans le détail même des installations : elle ne se limita plus vis-à-vis de l'industrie à son rôle de client des producteurs de matériel, mais elle assuma celui de maître d'œuvre libre de diviser à son gré ses commandes d'éléments pour une unité de production d'énergie donnée.

D'où une tendance à l'éclatement des commandes et au refus de voir l'industrie assurer la responsabilité d'ensembles importants pour partie thermo-dynamique, pour partie électrique ou électromécanique. Cette tendance s'ajoutant aux incertitudes des dotations budgétaires destinées à E. D. F. devait avoir sur l'industrie un effet inhibiteur. En effet, l'importance des risques courus est telle que les entreprises n'ont pas été en mesure, ni techniquement, ni financièrement, de fournir jusqu'à présent des garanties de bon fonctionnement pour des installations livrées clés en main. Lorsqu'à la centrale de Chinon III, des défauts dans certains échangeurs conduisirent à modifier l'ensemble des échangeurs, seuls les échangeurs défectueux furent remplacés aux frais du fournisseur, les autres, qui n'auraient sans doute pas tardé à céder, restèrent à la charge d'E. D. F. De tels incidents justifient dans une certaine mesure, le souci de cet organisme de conserver le contrôle des opérations de construction.

Les industriels d'ailleurs n'ont pas tenté, jusqu'à une période récente, d'étendre leur rôle dans le secteur nucléaire. Tant que le stade expérimental n'était pas dépassé, le coût des études, les risques d'incidents rendaient les espoirs de réaliser des bénéfices très aléatoires. L'expérience des firmes américaines qui, jusqu'à une date récente, ont perdu plus d'argent qu'elles n'en ont gagné en construisant des centrales nucléaires, l'a bien montré.

L'inconvénient pour l'industrie française, c'est qu'elle a perdu ses capacités d'initiative en même temps que ses bureaux d'études se réduisaient progressivement. Cette situation ne présente pas trop d'inconvénients sur le marché français assez bien protégé jusqu'alors contre la concurrence. En revanche, elle constitue un sérieux handicap dans la compétition sur les marchés extérieurs.

Le Marché commun qui devait théoriquement faire tomber les frontières entre les Six n'a, en fait, rien changé au comportement des grands producteurs d'énergie ; qu'il s'agisse d'E. D. F., entreprise nationale, ou des sociétés privées, des services publics ou des municipalités allemandes, la règle est « acheter national ». D'ailleurs les syndicats, par crainte du risque de chômage qui résulterait d'une préférence accordée au fournisseur étranger, s'opposeraient à des commandes faites à des entreprises étrangères, même européennes. Pour cette raison, les syndicats n'ont pas encore adopté un comportement franchement européen.

C'est là un motif supplémentaire pour les constructeurs de gros matériel électrique de production d'énergie de ne considérer que le marché national et de raisonner en fonction de celui-ci seul, si étriqué soit-il.

C. — PLACE DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE FRANÇAISE DANS LE MONDE

Vis-à-vis de ses concurrents étrangers, l'industrie française du secteur nucléaire apparaît relativement dispersée et fragile, tant du point de vue financier que du point de vue technique. Le sort de l'entreprise Bull l'avait déjà illustré dans d'autres secteurs et la même situation a failli se répéter dans le secteur de l'électrotechnique, à propos de la société Jeumont-Schneider. Avec un chiffre d'affaires de plus de 700 millions de francs, cette firme est le troisième constructeur français de gros matériel électrique, après C. G. E.-Alsthom et la C. E. M. Une fraction importante de son capital (39 %) appartient au groupe Schneider, qui contrôle également la S. F. A. C., avec qui elle entretient donc des relations étroites. Toutefois, Jeumont-Schneider est contrôlée par le baron belge Empain, qui détient les 61 % restant du capital. Devant les difficultés rencontrées par la firme, du fait de ses structures anciennes et de la concurrence internationale, le baron Empain a tenté, en 1968, de céder sa participation, ainsi que celle qu'il détenait dans les sociétés belges Electrorail et Ateliers de construction électrique de Charleroi, à la firme américaine Westinghouse.

Le refus du Gouvernement français a fait échouer le projet. L'affaire, toutefois, a alerté les industriels français et favorisé le mouvement de regroupement dans les secteurs de l'électrotechnique et de la métallurgie lourde. Néanmoins, les groupes français, par leur puissance et leurs dimensions, restent encore bien loin derrière les grands groupes étrangers.

En tête de ceux-ci, on trouve les deux firmes américaines concurrentes Westinghouse et General Electric Corporation, qui, l'une et l'autre, possèdent, à côté de nombreuses autres activités, un important secteur d'électrotechnique fabriquant tout le matériel nécessaire à la production, au transport et à la distribution d'énergie électrique. Chacune de ces firmes a notamment mis au point, dans la filière à uranium enrichi, un type de réacteur nucléaire à eau pressurisée (P. W. R.) pour Westinghouse, à eau bouillante (B. W. R.) pour General Electric. Avec un chiffre d'affaires

global de 46,2 milliards de francs et un effectif de 400.000 personnes, celle-ci est l'une des plus grandes firmes mondiales et la première pour la construction électrique. 52 centrales nucléaires, d'une puissance de 30.000 MW, lui ont été commandées aux U. S. A. et dans le monde, dont 12 fonctionnent déjà. Ses installations nucléaires se répartissent à travers tous les Etats-Unis, de la Californie à l'Illinois et à la Caroline du Nord. Elle a, en outre, passé des accords avec des firmes japonaises ou européennes parmi les plus importantes (A. E. G. en Allemagne, C. G. E. en France).

Sa rivale, la Westinghouse Company, vient au deuxième rang dans la construction électrique. Son chiffre d'affaires global atteint 18 milliards de francs pour un effectif de 180.000 personnes. Elle avait, à la fin de 1969, 43 centrales nucléaires déjà construites ou en cours de construction, correspondant à une puissance installée presque égale à celle de la General Electric. Comme celle-ci, elle a pu, grâce à sa puissance industrielle et financière, faire face au déficit des premières années et acquérir, dans le domaine nucléaire, une expérience et un savoir-faire dont elle espère qu'ils lui permettront de retirer d'importants bénéfices de son activité dans ce secteur.

Devant la menace dégagée par la puissance des firmes américaines, un certain nombre d'entreprises européennes ont éprouvé le besoin de se regrouper pour constituer des ensembles capables de résister à la concurrence américaine.

En Grande-Bretagne, la fusion des sociétés General Electric-English Electric et Associated Electrical Industries (A. E. I.) a donné naissance à un puissant groupe dont le chiffre d'affaires atteint près de 11 milliards de francs pour un effectif de 250.000 personnes. Ce groupe s'est associé avec la société Babcock et Wilcox pour la construction de chaudières nucléaires. La Babcock et Wilcox est elle-même un groupe international spécialisé dans la métallurgie lourde qui a des ramifications non seulement en Grande-Bretagne et en France mais également aux Etats-Unis et en Allemagne. L'ensemble réalise, avec un effectif de 100.000 personnes, un chiffre d'affaires de 11 milliards de francs.

En Allemagne, les deux grandes firmes rivales dans le secteur de la construction électrique, Siemens (chiffre d'affaires : 15 milliards de francs, effectif : 272.000 personnes) et A. E. G. (chiffre d'affaires : 8 milliards de francs, effectif : 150.000 personnes) ont créé en 1969 une filiale commune, la Kraftwerk Union (K. W. U.)

qui regroupe leurs moyens de production et de vente dans le domaine de la fabrication des turbines et de la construction de centrales thermiques conventionnelles et nucléaires et se charge ainsi d'exploiter les licences nucléaires que Siemens et A. E. G. ont respectivement acquises de Westinghouse et General Electric.

Cet accord a eu pour effet, notamment en raison des travaux propres de Siemens dans le domaine de la filière à eau pressurisée, d'une part de faire rompre par Westinghouse ses liens inconditionnels avec Siemens, d'autre part de desserrer les liens techniques entre General Electric et A. E. G. du fait d'une certaine prépondérance de Siemens.

A ces grands groupes européens qui peuvent rivaliser de taille avec les géants américains, on peut ajouter la compagnie Brown-Boveri, groupe international d'origine suisse, qui est spécialisée dans l'équipement des centrales électriques et la construction de locomotives et de gros moteurs électriques. Outre la société B. B.-Baden située en Suisse, le groupe comprend la B. B.-Mannheim (Allemagne) dont elle détient 56 % du capital, la C. E. M. en France dont elle détient 38 % du capital et diverses entreprises plus petites. Au total, l'ensemble réalise un chiffre d'affaires de 5 milliards de francs, avec un effectif de 80.000 personnes. Un accord de production vient d'être passé avec la société suédoise A. S. E. A. (chiffre d'affaires : 3 milliards de francs, effectif : 32.000 personnes) spécialisée dans la fabrication de transformateurs et disjoncteurs et la construction de réacteurs nucléaires sous licence Westinghouse.

Face à ces groupes industriels à caractère transnational, les entreprises françaises subissent le handicap de leur faible dimension qui est aggravé par leur dépendance technique. Une part notable de leurs fabrications est en effet réalisée sous licences étrangères non seulement dans le domaine nucléaire mais également pour les matériels classiques.

Dans le domaine nucléaire, la S. F. A. C. a acquis, par l'intermédiaire de sa filiale Framatome, la licence P. W. R. de Westinghouse ; de son côté la C. G. E.-Alsthom vient d'acheter la licence B. W. R. de General Electric.

Dans le domaine des matériels classiques, Alsthom et Jeumont-Schneider construisent des turbines et des alternateurs avec les licences respectives de Westinghouse et General Electric et Stein-Industrie fabrique ses chaudières conventionnelles sous licence

Combustion Engineering. Quant à la C. E. M. et Babcock-Atlantique, elles partagent en partie les brevets respectifs de Brown-Boveri et de Babcock et Wilcox, ce qui leur laisse une autonomie relative et a permis notamment à la C. E. M. d'enlever sur le marché américain les deux importantes commandes de turbo-alternateurs.

Disons enfin que :

— l'Italie compte quatre groupes : Technomasio (filiale de Brown-Boveri), Franco Tosi, Ansaldo Mecanino Nucleare, Marelli ;

— en Suède, A. S. E. A. est dans une situation comparable à celle de Brown-Boveri, mais moins forte, faute de sociétés associées à l'étranger ;

— les Pays-Bas ont deux entreprises moyennes : V. M. F.-Stork et Rijn-Schelde.

Dans son mémorandum sur la politique industrielle de la Communauté, d'avril 1970, la Commission européenne déclare que « pour la production de certains biens de technologie avancée, existent des seuils minima de puissance industrielle, financière et technologique, au-dessous desquels la production en question est vouée à l'échec ou condamnée à une non-rentabilité permanente. Cette contrainte du seuil minimum s'applique en particulier au grand matériel électromécanique qu'exigera de plus en plus la centrale nucléaire ».

En ayant présent à l'esprit que le seuil en question se situe probablement au niveau d'une capacité de production de 6.000 MW, on constatera à la lecture du tableau suivant que la France — toutes entreprises réunies — atteint à peine ce niveau.

**LISTE DES PRINCIPALES INDUSTRIES DE LA C. E. E.,
DE L'A. E. L. E. ET DES ETATS-UNIS
PRODUISANT DU GROS MATERIEL ELECTROMECHANIQUE (1)**

ENTREPRISES	CAPACITE DE CONSTRUCTION annuelle d'alternateurs ou de turbines ou de turboalternateurs complets par entreprise.
<i>Allemagne :</i>	
K. W. U.	6.000 MW turboalt.
M. A. N./G. H. H.	6.000 MW turboalt.
B. B. C. Mannheim	3.000 MW turboalt.
<i>Belgique :</i>	
A. C. E. C.	± 450 MW alternat.

(1) Sources : Communautés européennes, *Mémorandum sur la politique industrielle*, p. IV/4.

ENTREPRISES	CAPACITE DE CONSTRUCTION annuelle d'alternateurs ou de turbines ou de turboalternateurs complets par entreprise.
<i>France :</i>	
C. G. E./Alsthom.....	± 2.000 MW turboalt.
Jeumont-Schneider	2.500 MW turboalt.
C. E. M.	1.400 MW turboalt.
<i>Italie :</i>	
Tecnomasio (B. B. C.).....	600 MW turboalt.
Franco Tosi	1.600 MW turbines.
E. Marelli	1.400 MW alternat.
Ansaldo G. E. Nucleare.....	2.000 MW turboalt.
<i>Pays-Bas :</i>	
V. M. F/Stork/W.....	300 MW turbines.
Rijn-Schelde	600 MW turbines.
<i>Royaume-Uni :</i>	
E. E./G. E. C.	± 10.000 MW turboalt.
Parsons	
<i>Suisse :</i>	
Groupe B. B. C.....	1.500 MW turboalt.
<i>Etats-Unis :</i>	
General Electric	18.000 MW turboalt.
Westinghouse	18.000 MW turboalt.

§ 2. — L'avenir de l'industrie nucléaire française devant l'évolution du marché et la concurrence étrangère.

A. — LE CONTEXTE NATIONAL ET INTERNATIONAL

L'évolution du marché mondial des centrales nucléaires tend à favoriser les groupes transnationaux puissants. C'est dans cette optique plus qu'en s'attachant aux seuls problèmes intérieurs, que les industries françaises concernées doivent envisager la phase ultime de leur restructuration.

En 1966, avec un chiffre d'affaires de 240 milliards de francs, les Etats-Unis représentaient 53 % du marché mondial de l'électrotechnique. En 1970, la puissance des centrales nucléaires atteignait 5 % de la puissance électrique totale installée aux Etats-Unis (290.000 MW, soit dix fois la puissance française). Il est prévu qu'en 1975, la proportion atteindra 25 % et 35 % en 1980, pour une puissance totale installée qui sera alors de 600.000 MWe.

La Grande-Bretagne mise à part, le développement de la production d'énergie nucléaire paraît devoir être beaucoup moins vif en Europe où les entreprises capables d'assumer techniquement et financièrement des risques importants sont peu nombreuses et dont le marché fractionné par les frontières est beaucoup moins large.

Le marché français notamment est étroitement limité pour plusieurs raisons. La consommation française d'électricité, d'abord, est relativement faible. Alors que la France occupe le premier rang européen pour la densité des automobiles, elle ne vient qu'au dixième rang pour la consommation annuelle d'électricité par habitant 2.400 kWh (3.270 en Allemagne fédérale, 3.880 en Grande-Bretagne, 4.100 en Suisse et 7.330 en Suède). Avec une population égale à 28 % de la population française, la Suisse et la Suède consomment une quantité d'électricité égale à 65 % de la consommation française. Aussi l'industrie française du gros matériel électrique est-elle contrainte à un gros effort d'exportation. De 1960 à 1969, la production française exportée a ainsi progressé :

1960	22,7 % des commandes.
1966	25,6 % des commandes.
1967	27,3 % des commandes.
1968	35,2 % des commandes.
1969	37 % des commandes.

Le programme nucléaire français subit les conséquences de cette situation aggravée par la concurrence du fuel, objet d'une politique très favorable des Pouvoirs publics. Aussi, alors que les Etats-Unis ont actuellement en construction ou en commande des centrales nucléaires pour une puissance de plus de 70.000 MW, le programme français prévu par le VI^e Plan sera de l'ordre de 3.500 MW.

C'est dans ces conditions que se déploie la stratégie des groupes de l'industrie nucléaire mondiale dans laquelle l'initiative a toujours appartenu jusqu'à présent aux firmes américaines dont les concurrents européens, et notamment allemands, s'efforcent désormais de relever le défi.

Les firmes américaines ont, nous l'avons vu, l'avantage de s'appuyer sur un vaste marché intérieur qu'elles contrôlent étroitement et se répartissent de la façon suivante :

— à General Electric 39 % des commandes de centrales nucléaires ;

- à Westinghouse, 38 % des commandes de centrales nucléaires ;
- à Babcock et Wilcox, 12 % des commandes de centrales nucléaires ;
- à Combustion Engineering, 8 % des commandes de centrales nucléaires.

Les deux grandes firmes General Electric et Westinghouse sont donc pratiquement à égalité mais du fait que les centrales construites par Babcock et par Combustion Engineering sont comme celles de Westinghouse du type P. W. R. celui-ci l'emporte dans l'ensemble sur le type B. W. R. mis au point par General Electric.

Solidement implantés sur le marché américain, General Electric et Westinghouse s'efforcent d'étendre leur emprise sur le marché mondial et notamment européen. Elles sont aidées en cela non seulement par leur puissance économique, technique et financière, mais aussi par la tendance générale à l'abaissement des barrières douanières et à l'uniformisation des besoins qui facilitent l'action des groupes industriels transnationaux. Cette action s'exerce selon un schéma dans lequel l'unité de stratégie et de marché du groupe est assurée par la maison-mère et la division du travail suivant une répartition technique et géographique des compétences.

Westinghouse a ainsi tenté de gagner le marché européen en passant des accords de licences et de coopération pour la construction de centrales nucléaires du type P. W. R. avec Siemens d'abord, puis la S. F. A. C. en France et A. S. E. A. en Suède. Plus récemment, cette société a tenté de s'implanter physiquement en Europe et de racheter, pour les fusionner en une société, Westinghouse-Europe, diverses entreprises européennes d'électrotechnique :

- la société Electrorail et les Ateliers de construction électrique de Charleroi, en Belgique ;
- la société Jeumont-Schneider, en France ;
- la société Cenemesa, en Espagne ;
- les entreprises Marelli et Tosi, en Italie.

L'opération lancée en 1968 a partiellement échoué en raison du refus du groupement français d'autoriser le rachat de la société Jeumont-Schneider et jusqu'à présent, seules la société Electrorail et A. C. E. C. sont passées sous le contrôle de Westinghouse.

Soucieuse de ménager les susceptibilités nationales, General Electric a évité d'intervenir directement dans un secteur où elles sont particulièrement vives. Elle a préféré mettre l'accent sur son

expérience et sa puissance industrielles pour promouvoir sa technique B. W. R. en passant avec les firmes européennes des accords de licences et de coopération et avoir ses « manufacturing associates », tels que A. E. G. en Allemagne pour les réacteurs B. W. R., et Alstom en France, pour les turbines.

Les entreprises européennes ont réagi à l'expansion américaine, soit en se regroupant (General Electric-English Electric et les A. E. I. en Grande-Bretagne, Siemens et A. E. G. en créant la Kraftwerk Union en Allemagne), soit en réorganisant leur structure interne à l'image des firmes américaines pour la rendre plus efficace (Siemens ou Brown-Boveri). C'est de Siemens qu'est venue la réaction la plus vive puisque cette firme, après s'être affranchie de la licence P. W. R. de Westinghouse, vient de porter la lutte sur le marché américain même, en passant un accord avec la firme Allis-Chalmer. Celle-ci, spécialisée dans le matériel électrique, constitue, avec un chiffre d'affaires de 4 milliards de francs (dont 1,8 milliard dans l'électrotechnique) une entreprise de dimension moyenne pour le marché américain. Elle avait d'ailleurs abandonné depuis 1962 ses activités dans la construction de centrales électriques, maintenant seulement un service d'entretien pour les centrales existantes. L'accord passé avec Siemens crée une filiale commune chargée de vendre aux Etats-Unis les équipements fabriqués par A. E. G. et Siemens notamment les centrales nucléaires.

C'est dans ce contexte international plus qu'en tenant compte du seul contexte intérieur que doit s'opérer la phase ultime de restructuration de l'industrie nucléaire française.

B. — LES INCERTITUDES ACTUELLES EN MATIÈRE D'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

En France, règne une triple incertitude :

— celle de la filière à eau légère à mettre en œuvre, chacune de ses techniques ayant son chef de file, C. G. E. ou groupe Schneider ;

— celle de la place que prendront à leurs côtés Babcock-Atlantique d'une part, C. E. M. de l'autre, soit pour la chaudronnerie et la mécanique lourde, soit pour la partie électromécanique ;

— et celle de savoir s'il faut se limiter à une filière eau légère, en regroupant tous les moyens, et dans ce cas laquelle, ou s'il

faut donner leur chance aux deux filières, compte tenu du marché national et du marché international où nos industries pourraient participer en association ou non avec des partenaires ou concurrents étrangers.

S'il ne s'agissait que du marché français, la réponse à cette incertitude serait claire : en raison de l'étroitesse de ce marché où le seul client certain est E. D. F., un seul groupe est largement suffisant ; en raison de l'équivalence des deux filières à eau légère, le choix pouvait n'être que sentimental pour ne pas dire politique ou découler d'un pari. Par contre, la faiblesse du marché et la nécessité pour le client, E. D. F., d'accepter un prix correspondant à une fabrication quasi unitaire laisse penser que la différence de coût dans le cas de l'une ou de l'autre filière doit être faible.

Si on part de l'idée que l'expérience acquise doit être déterminante, celle du C. E. A. et du groupe Framatome - Schneider qui ont l'un et l'autre l'expérience de la filière à eau pressurisée utilisable en outre dans la propulsion navale, dont celle des sous-marins, doit être considérée comme devant déterminer le choix.

S'il s'agit d'un marché national, par hypothèse, largement amplifié du fait d'une rapide accélération du programme d'implantation de centrales nucléaires pour réduire la pression des importations de pétrole et d'une participation au marché international, il convient :

1° De rester associé aux recherches faites par le donneur de licence dans la voie d'autres filières, H. T. et neutrons rapides, de manière à pouvoir là aussi bénéficier des résultats de leurs travaux auxquels le C. E. A. aura de son côté apporté une contribution du fait de ses propres recherches et mises au point ;

2° D'accepter le principe des deux filières pour laisser la clientèle libre de choisir entre elles.

Si enfin, tel donneur de licence assure à l'industrie française une part importante de ses fabrications pour le marché mondial, américain inclus, le choix pourrait pencher en faveur de sa filière ; mais encore ne faudrait-il pas pour autant sacrifier l'avenir des autres filières qui prendront la relève d'ici 15 à 20 ans. Ici encore le choix des partenaires n'est pas indifférent : si le donneur de licence communique au licencié tous ses perfectionnements au fur et à mesure qu'ils se réalisent ainsi que le résultat de ses travaux

de recherche et de développement sur de nouvelles filières, l'association d'intérêts aura un effet bénéfique pour l'industrie française.

Inversement, c'est peut-être se lier les mains du point de vue technique et commercial, mais en une telle matière peut-on être indépendant, si l'on n'a pas les moyens des nations-continentes et quand on a pris du retard ?

En fait, dans une technique en constante et rapide évolution le licencié ne profite à fond de l'appui technique de son donneur de licence qu'à condition de ne pas être passif et d'apporter à ce donneur une contribution intellectuelle et technique importante dont il puisse tirer parti, et qui permette au licencié de maîtriser cette technique comme son promoteur.

L'ensemble de ces considérations fait pencher votre commission pour la solution suivante :

— approuver avec satisfaction l'accord C. G. E.-General Electric donnant à l'industrie française un accès direct et rapide à la technique de l'eau légère bouillante ;

— maintenir l'industrie française à la place qu'elle s'est acquise dans la filière à eau pressurisée par le concours de la licence Westinghouse dont bénéficie Framatome, dans le cadre Creusot-Loire, Jeumont - Schneider ;

— veiller à ce que les accords C. G. E. - General Electric et Framatome - Westinghouse ouvrent la voie à une coopération technique étroite pour les filières présentes et à venir entre les partenaires ;

— faire en sorte que, pour les filières à eau légère, l'industrie française soit le plus largement possible associée à la réalisation de projets de centrales nucléaires dans le monde, du fait de la qualité des relations entre les licenciés et les licenciés ;

— faire participer progressivement le C. E. A. et l'industrie française, en association avec les partenaires de cette dernière, aux extensions de fabrication d'éléments combustibles ;

— assurer à la France sa place dans la construction d'une usine européenne de séparation isotopique (1).

(1) Sur cette question, voir page 64.

C. — CAPACITÉ NUCLÉAIRE DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE

La disponibilité des techniques et moyens de construction de centrales nucléaires doit être examinée sous plusieurs aspects : technique, financier, national ou européen.

Sur le plan technique, il convient de distinguer outre le génie civil, la part traditionnelle et la part spécifiquement nucléaire.

a) La part traditionnelle comporte les turbines, les générateurs et moteurs électriques divers, les transformateurs. Elle soulève d'abord les problèmes de la dimension des unités de production d'énergie électrique. Des turbines et générateurs de 800 MW, *a fortiori* de 1.100 MW, nécessitent un équipement, tant pour l'usage que la manutention, plus puissant que pour les unités classiques de 250 MW ou de 500 MW. La mise en place d'un tel équipement relève sans difficultés particulières des usines spécialisées françaises de grosse mécanique Alsthom, S. F. A. C., Schneider, C. E. M., chacune pour sa spécialité.

Un deuxième ordre de problèmes auquel on ne prête pas toujours une suffisante attention résulte de la qualité de la vapeur produite par les chaudières nucléaires. Celle-ci présente des caractéristiques différentes de la vapeur des centrales classiques, notamment sa température et éventuellement sa radioactivité. Ce fait interdit de considérer la partie « générateurs » comme indépendante de la partie nucléaire et de croire que les solutions classiques peuvent s'associer sans changement à une source nucléaire.

La mise en exploitation des unités traditionnelles de 600 MW (Porcheville par exemple) a permis aux constructeurs français de s'équiper pour la fabrication de grosses turbines et générateurs. Sans doute l'extrapolation de 600 à 800 MW, et à 1.000 MW posera dans le cas de fabrications unitaires des problèmes sérieux d'outillage. Toutefois, il n'y aurait de difficultés qu'en cas d'afflux de commandes françaises et étrangères dépassant les capacités des usines françaises.

Par contre, le renforcement des moyens de manutention et la création d'outillages nouveaux, voire l'implantation de certaines grosses machines-outils pour la fabrication des éléments correspon-

dant à une, au plus deux unités de 800 MW par an, entraîneraient, s'ils n'ont pas été déjà réalisés pour des centrales traditionnelles destinées à E. D. F., des investissements dont la rentabilité ne serait pas rapidement assurée, sauf surpris accepté par E. D. F. ou obtention de commandes importantes à l'étranger. Cette dernière éventualité est très hypothétique, étant donné les investissements réalisés pour la fabrication de grosses unités de 800 MW et plus par General Electric et Westinghouse aux Etats-Unis.

b) La part nucléaire se divise elle-même en quatre : la partie grosse chaudronnerie pour la fabrication des cuves des réacteurs, la partie échange de chaleur, la partie éléments combustibles, la partie appareillage mécanique et ses commandes électroniques :

— la fabrication des cuves de réacteurs, voire de pressuriseurs dans le cas de la filière à eau pressurisée, relève d'une technique classique de formage et de soudure de tôles épaisses de plusieurs centimètres, revêtues s'il y a lieu intérieurement d'acier inoxydable. La livraison par l'industrie française, par S. F. A. C. en l'espèce, à Westinghouse, de cuves soudées ou d'éléments soudés de ces cuves, permet de penser qu'il n'y a pas de difficultés à prévoir, tant sont sévères les spécifications caractéristiques et les contrôles américains ;

— toute la partie échangeurs de chaleur, sécheurs de vapeur, condenseurs, est classique et, à moins de spécifications particulières imprévisibles pour les unités envisagées de 800 MW, du ressort normal des usines françaises telles Stein ou Babcock, sous réserve des difficultés particulières inhérentes à de telles fabrications et au renforcement des contrôles de sécurité et de concordance avec les spécifications.

On sait que les premières centrales à eau légère du type P. W. R. ont donné lieu à de sérieuses difficultés du fait des vibrations des circuits fort complexes des échangeurs. Les ingénieurs de Westinghouse y ont remédié par l'insertion entre les tubes de fixations destinées à assurer leur stabilité. Il y a là un problème technologique tout à fait nouveau et sans précédent dans le domaine des centrales classiques. Il est certain que les industriels qui seront chargés de la fabrication des échangeurs devront prendre les plus grandes précautions pour réaliser un système efficace. On peut espérer qu'à cet égard l'expérience de la S. E. N. A. portera ses fruits.

— les éléments combustibles, à savoir les pastilles d' UO_2 et leurs gaines, ainsi que les faisceaux de gaines assemblées relèvent de procédés d'usinage classique, que toute fabrication en série permet d'effectuer dans de bonnes conditions, sans doute compétitives. Mais on ne saurait comparer des prix de revient d'usines groupées, aux U. S. A., chez Westinghouse et General Electric, destinées à fabriquer des éléments combustibles pour des besoins de 20.000 MW, avec ceux d'une usine destinée à des besoins de 800 à 1.600 MW.

En effet, les usines de fabrication d'éléments combustibles et de leurs barres de contrôle, représentent, aussi bien chez Westinghouse que chez General Electric, un investissement de 20 millions de dollars environ, inamortissable sur de petites séries. Inversement, une fabrication artisanale serait d'un coût trop élevé, sans pour autant donner la certitude d'une fabrication irréprochable, faute d'outillage approprié.

Enfin les différences de teneur en UO_2 des pastilles suivant leur emplacement dans les gaines posent des problèmes de fabrication dans le cas de petites séries ; de même l'importance des moyens de contrôle mis en œuvre aux Etats-Unis n'est guère compatible avec des fabrications à petite échelle.

Les tôles en alliage de zirconium et les barres de zircaloy destinées au gainage des pastilles d' UO_2 doivent pouvoir être fabriquées par Ugine et Vallourec, de l'avis des constructeurs américains qui ont étudié la question.

La partie mécanique, têtes et fonds d'assemblages contenant les gaines combustibles, barres de commande des assemblages, relèvent de la mécanique classique de haute précision. Toutefois, il faut noter qu'aux U. S. A. la fabrication de têtes et fonds d'assemblages est effectuée à l'aide de machines-outils à têtes multiples et à commande numérique, dès lors très coûteuses, donnant une sécurité absolue dans le respect des normes établies pour le positionnement des gaines dans les assemblages, lors du montage de ces derniers. Pourra-t-on faire de tels investissements pour de toutes petites séries correspondant aux besoins actuellement prévus, sans alourdir le prix de revient abusivement ? Inversement un outillage de fortune pourra-t-il permettre le respect des normes, sans des dépenses de main-d'œuvre énormes ?

La question est donc de savoir s'il existe en France des moyens d'usinage actuels pouvant, dans l'hypothèse d'une centrale de 800 MW par an (soit de 10 à 30.000 gaines par réacteur), fabriquer gaines et assemblages français, dans des conditions de prix comparables à ceux consentis par Westinghouse et General Electric.

Se pose ainsi, au sujet des fabrications d'éléments essentiels de la partie nucléaire, la question de savoir si, au regard du seul programme français, il est raisonnable de vouloir fabriquer tout ce qui met en œuvre aux U. S. A., un outillage considérable et coûteux, dont *le prix est lui-même alourdi par le luxe nécessaire des appareils de mesure et de contrôle répétés à tous les stades de la fabrication* (1).

A moins d'une entente européenne permettant une spécialisation des fabrications et d'accords avec les constructeurs américains pour qu'ils réservent à l'Europe une part de la fourniture des ensembles, en renonçant à accroître leurs propres capacités de production, la réponse nous paraît devoir être négative sur le plan français seul.

On ne saurait en effet oublier que les licences consenties par General Electric à la C. G. E., par Westinghouse à Framatome, si elles sont exclusives pour le territoire français, voire l'Afrique d'ancienne obédience française, ne le sont pas à l'échelle européenne et *a fortiori* mondiale ; de la sorte les autres licenciés peuvent entrer partout en compétition avec les licenciés français. Rien ne prouve que les conditions offertes par ces derniers soient les meilleures, en raison de la hausse permanente des prix en France.

c) Ainsi, sur le plan national, il apparaît que les possibilités de l'industrie française sont pour l'instant assez réduites : le marché national est, dans le cadre du programme actuel d'E. D. F. encore orienté essentiellement vers les centrales traditionnelles, très étriqué : il conduit de ce fait à des prix de revient unitaires de construction très élevés. Or l'industrie française grosse consommatrice (électrochimie ou électrométallurgie) se plaint déjà du prix excessif du kWh ; faire acheter à E. D. F. des unités nouvelles nucléaires au prix fort ne peut que handicaper l'entreprise nationale.

(1) Sans préjudice des contrôles sur le site.

Seul un programme ambitieux de centrales nucléaires — qui serait une mesure sage en raison des menaces pesant sur le ravitaillement de la France et de l'Europe en pétrole brut — modifierait cette situation.

Les besoins des partenaires européens sont, pour les mêmes raisons que la France, en voie de croissance accélérée, tant pèsent les menaces des pays du Proche-Orient ou d'Afrique du Nord sur le prix du pétrole.

A l'échelle européenne, les programmes de construction de centrales nucléaires devraient dès lors être importants dans un avenir proche, ouvrant ainsi de nouveaux débouchés.

Inversement, en dépit des déclarations européennes des divers Gouvernements, le nationalisme commercial joue un rôle déterminant dans la commande de gros ensembles industriels, telles les centrales thermiques. On voit mal aujourd'hui E. D. F. commander une centrale à K. W. U., en Allemagne, ou la Bergwerke Elektrizitäts commander une centrale à la C. G. E.-Alsthom.

Ainsi, dans l'état actuel des choses, le marché européen, même important, est en fait cloisonné.

Le seul décloisonnement possible, que permette une répartition des tâches entre constructeurs par dessus les frontières, est celui qui découlerait de l'existence de groupes transnationaux européens capables, par la spécialisation de leurs unités de production et l'élargissement du marché, de pratiquer des prix plus faibles et de meilleurs délais, et surtout d'assurer le maximum de fabrication en Europe, du fait de l'emploi optimum des investissements. Ainsi, la fabrication des éléments combustibles ne poserait plus de problèmes d'investissements rentables aussi sérieux.

Conclusions.

On voit en définitive que, quelle que soit l'approche du problème, la conclusion paraît dès lors évidente : sans entente européenne dans le cadre de groupes transnationaux le marché offert à l'industrie française, à moins de la subventionner elle aussi, est trop étroit pour aller très loin dans des conditions raisonnables dans la fabrication strictement nucléaire et pour espérer entrer

en compétition normale en matière de centrales nucléaires, clefs en mains, avec les grands constructeurs américains, dont le marché actuel est déjà supérieur de plusieurs fois à celui de toute l'Europe occidentale.

Avant de développer cette conclusion, faisons le tour de l'industrie électromécanique en France.

Deux groupes se sont constitués. Le premier, avec à sa tête la C. G. E., est composé de la Sogerca, créée pour la construction de centrales nucléaires, d'Alsthom, Neyrpic et Rateau pour l'électrotechnique, de Stein-Industrie pour la chaudronnerie, enfin de la société Les Grands Travaux de Marseille, pour le génie civil. Ce groupe a pour lui, semble-t-il, la sympathie des Pouvoirs publics mais il subit un double handicap : sa faiblesse dans le domaine de la chaudronnerie et sa faible part dans la mécanique fine qui constituent une fraction importante des réacteurs nucléaires, son manque d'expérience dans la construction de réacteurs à uranium enrichi. Ce handicap est en partie compensé d'une part, grâce à la collaboration ancienne et étroite qui lie la C. G. E. et Babcock-Atlantique qui ont pris, l'une et l'autre, une participation dans le plus important bureau d'études nucléaires français, le Groupement atomique Alsacienne-Atlantique (G. A. A. A.), d'autre part, du fait que C. G. E. Alsthom détient la licence B. W. R. de la General Electric.

Dans l'autre groupe, on trouve la S. F. A. C. (en fait Creusot-Loire, depuis la fusion avec la C. A. F. L.) pour la chaudronnerie et d'autres filiales du groupe Schneider : Framatome pour l'engineering de réacteurs nucléaires, S. O. C. I. A., bureau d'études nucléaires, Jeumont-Schneider et Merlin-Gérin pour l'électrotechnique, enfin la C. I. T. R. A. pour les travaux du génie civil. Ce groupe a l'avantage d'être bien armé dans le secteur de la chaudronnerie et de la mécanique et d'avoir une expérience de la construction des deux réacteurs franco-belges de Chooz et de Tihange et de plusieurs cuves pour des centrales américaines et suisses. Son handicap vient des difficultés rencontrées par la réorganisation du groupe et la constitution de Creusot-Loire d'une part, de l'incertitude qui pèse sur le sort de Jeumont-Schneider, d'autre part.

Après le désir manifesté par Westinghouse en 1968 de racheter Jeumont-Schneider et le refus, au moins provisoire, opposé par le Gouvernement français l'année suivante, la C. G. E. a fait une proposition de rachat.

L'opération lui permettrait de contrôler l'ensemble du secteur de l'électrotechnique à l'exception de la C. E. M. Ce projet a été remis en cause par l'offre d'achat présentée par cette dernière.

Pour justifier son intervention, celle-ci ne manque pas d'arguments. Isolée sur le marché français, elle devrait alors resserrer des liens avec la compagnie Brown-Boveri et perdre ainsi l'autonomie que la récente réorganisation du groupe suisse vient de confirmer. En revanche, renforcée de Jeumont-Schneider, elle accroîtrait l'influence française au sein du groupe aux dépens de ses partenaires suisse et allemand, d'autant plus qu'en nouant ainsi des liens avec le groupe Schneider et la S. F. A. C., elle apporterait à la firme suisse le concours qui lui fait défaut pour construire des centrales nucléaires complètes, type P. W. R.

Le projet de la C. E. M. aboutirait à la constitution de deux groupes français de puissance comparable, disposant l'un et l'autre, du fait de l'accord de coopération : C. E. M.-Framatome, S. F. A. C., Creusot-Loire, de la licence d'une des filières à eau légère et de techniques traditionnelles équivalentes. A ce double titre il satisferait la préoccupation normale d'E. D. F. de se trouver devant deux fournisseurs comparables et de choisir entre eux en fonction de ses besoins et de sa politique. Le remarquable réseau commercial de B. B. C. constituerait, en outre, un atout sérieux.

Mais la restructuration de l'industrie électrique française ne peut, en l'occurrence, être pensée en fonction des seules données nationales.

Tout d'abord, l'étroitesse relative du marché français, comme d'ailleurs celle du marché national de chacun des Etats européens, incite à un élargissement de l'éventail de la clientèle.

A cet égard, il est évident que les groupes transnationaux européens auraient en Europe une clientèle élargie et, en outre, pourraient, par l'appui réciproque que se donneraient les associés nationaux de tels groupes, avoir la surface suffisante pour se placer sur le marché international, dès lors qu'ils auraient la technique nécessaire et un rayonnement commercial suffisant.

D'où l'intérêt certain à l'échelle européenne de deux groupes nationaux, axés, pour le moment, l'un sur le P. W. R., l'autre sur le B. W. R. Pour l'instant ces deux groupes n'existent pas, le regroupement des intérêts nucléaires allemands dans la K. W. U. où Siemens, qui a largué ses attaches avec Westinghouse, joue le rôle principal ayant fait disparaître la concu-

rence classique A. E. G.-Siemens. Toutefois, l'insatisfaction du Gouvernement allemand devant la tendance monopoliste de K. W. U. a conduit à la conception d'un nouveau groupe B. B. C., Mahhnheim, Krupp, Mann, Gutehoffnung, qui s'articulerait sur la B. B. C. Baden en Suisse, la C. E. M. en France et Marelli en Italie. De son côté, K. W. U. aurait des liens avec G. A. A. A.

De la sorte, on verrait poindre deux groupes transnationaux européens, dont l'un aurait par la C. G. E. la licence B. W. R. et par K. W. U. une technique européenne, largement inspirée du P. W. R., et l'autre par Framatome la licence P. W. R.

Ces deux groupes, dans le cas de l'élargissement de l'Europe, pourraient avoir leurs prolongements en Grande-Bretagne.

Mais l'expérience prouve que les négociations européennes sont lentes et que le nationalisme économique gêne les regroupements par-dessus les frontières.

Aussi, tout en estimant indispensables les associations d'intérêts européennes, on ne peut s'empêcher de penser que la sagesse est, tout en en poursuivant la réalisation, de maintenir, pour la mise en œuvre des filières à eau légère et l'échange d'informations pour les techniques d'avenir, un tel climat d'amitié et de coopération avec les donneurs de licence américains, Westinghouse et General Electric, que ces derniers tendront plutôt à associer leurs licenciés français à leurs fabrications et livraisons d'usines complètes dans le monde, qu'à développer leurs moyens de production propres, dans tous les domaines des centrales électronucléaires.

Il serait, dès lors, inélégant, pour ne pas dire davantage, de vouloir franciser à tout prix les filières à eau légère, alors que nos possibilités en matière de neutrons rapides nous donnent une chance d'être dans le peloton de tête pour cette nouvelle filière et, dès lors, de nous voir plus tard, entraînant nos associés et partenaires européens, dans la position de colicencieurs et non pas de licenciés seulement.

CONCLUSIONS GENERALES

Au terme de ce rapport dont les lacunes et les insuffisances ne lui échappent pas, votre mission, soucieuse d'appeler dès maintenant de cette façon imparfaite votre attention sur un aspect important de la politique économique et financière, voudrait récapituler ses premières conclusions.

Auparavant, cependant, elle entend répéter avec quelque solennité que ces conclusions ne sauraient être prises en considération si n'est pas tranché préalablement le **problème fondamental du meilleur emploi des ressources financières** dont nous disposons. A ses yeux, il est exclu que la France puisse financièrement se doter à la fois d'une arme thermonucléaire réellement opérationnelle et d'une infrastructure de production civile nucléaire qui nous paraît être la condition de la prospérité économique des vingt ou trente prochaines années. Il ne serait pas raisonnable de dire que nous pouvons faire les deux : ou bien nous les ferons mal toutes deux, ou bien nous sacrifierons l'une à l'autre car les deux secteurs sont maintenant divergents. Votre mission, pour sa part, estime que financièrement et économiquement parlant, l'intérêt supérieur de la France est de ralentir l'effort militaire nucléaire pour assurer la vie économique des générations à venir.

1. — La première observation sur laquelle votre mission veut insister concerne la nécessité de prendre conscience de l'**importance capitale qui s'attache à un développement en France de l'énergie nucléaire**. Sur la période 1970-1985, on admet un taux de croissance de la consommation française d'énergie électrique voisin de 7,2 %, ce qui signifie qu'elle passerait de 140 TWh (1) en 1970 à 195 TWh en 1975, 280 TWh en 1980 et 400 TWh en 1985. La croissance démographique, l'urbanisation progressive, l'élévation du niveau de vie et l'industrialisation feront qu'une part croissante de l'énergie sera utilisée sous forme d'électricité. Cette part passera de 21 % en 1970 à 30 % en 1985 (2).

(1) Térawattheure : 10¹² wattheures.

(2) Les projections faites aux Etats-Unis pour l'an 2000 donnent 52 % pour ce pays,

Si la différence de consommation d'énergie primaire était comblée uniquement par des produits pétroliers, les autres sources demeurant égales, ceux-ci représenteraient, en 1985, 73 % de l'approvisionnement énergétique ; comme la consommation de charbon diminuera, ce chiffre monterait à plus de 80 %.

Ces projections sont de toute évidence intolérables. S'agissant de l'électricité, les prévisions officielles d'E. D. F. répartissent comme suit la production (en TWh) :

	1969	1970	1975	1980	1985
Consommation + pertes.....	130,5	140	195	280	400
Importations nettes.....	1	»	»	»	»
Production hydroélectrique.....	51	52	57	60	60
Production thermique autre que E. D. F.....	22	24,5	26	28	28
Centrales thermiques classiques E. D. F.....	52	58,5	94	142	172
Centrales thermiques nucléaires E. D. F.....	4,5	5	18	50	140

Il faut noter que les chiffres donnés pour le nucléaire comportent une marge sensible d'incertitude. D'autres estimations indicatives donnent, pour 1985, une fourchette de 80 à 150 TWh pour le nucléaire et de 160 à 230 TWh pour le fuel.

Les uns comme les autres conduisent à penser qu'il est indispensable de se lancer dans un programme nucléaire ambitieux dans les années à venir si l'on ne veut pas que l'économie du pays soit à la merci d'un quelconque coup de Suez, hypothèse que rien ne permet d'exclure.

Aussi votre mission estime-t-elle que la gravité de la situation actuelle (1) doit être soulignée et que le lancement (2) de trois à cinq centrales durant le VI^e Plan est d'une insuffisance criante. A ce rythme, la position de la France ira se détériorant et l'on ne

(1) Equipements nucléaires en construction en 1969 :

Grande-Bretagne	4 centrales = 4.300 MW.
R. F. A.	3 centrales = 2.415 MW.
France	3 centrales = 1.305 MW (Phoenix inclus).

(2) 4 à 5 ans séparent le lancement de la mise en service.

peut différer indéfiniment l'équipement nécessaire dans l'attente de nouveaux modèles. Nous risquons à ce train de donner au monde le spectacle dérisoire d'une nation qui s'offre le luxe d'un armement atomique, dont l'efficacité n'est pas unanimement admise, mais qui est incapable de tirer le bénéfice économique de ses ressources minières et de sa technologie.

Il ne faut pas se dissimuler, en effet, et la mission tient à le répéter avec insistance, que, dans l'état actuel de leur développement, on ne saurait tabler sur aucune assurance d'approvisionnement de la part des pays arabes producteurs de pétrole. Peu favorables en général aux nations occidentales, susceptibles de relever d'idéologies extrémistes, capables de prendre des décisions allant même à l'encontre de leurs propres intérêts économiques, handicapés par la question palestinienne, conscients de la dépendance de l'Occident et de la concurrence des demandeurs, leurs dirigeants ne peuvent qu'être tentés de pratiquer une politique de surenchère qui fait peser une incertitude exorbitante tant sur la sécurité d'approvisionnement que sur les prix des hydrocarbures. Si l'on ajoute à cela que les grandes compagnies pétrolières ne manqueront pas, comme leur intérêt le leur commande, de s'efforcer de retarder le plus possible le jour de la compétitivité nucléaire, il est certain que dans cette période intermédiaire que constitue la présente décennie l'option en faveur de la production nucléo-électrique revêt un caractère capital au regard de l'avenir économique. L'enjeu est tel qu'il nous paraît indispensable de faire sans tarder l'effort nécessaire et, en premier lieu, de revoir le programme nucléaire du VI^e Plan.

Il appartient au Sénat, dont le rôle est de s'élever au-dessus des contingences conjoncturelles, d'alerter les pouvoirs publics et l'opinion sur un état de choses qui peut mettre en péril l'avenir économique du pays.

2. — En ce qui concerne l'**approvisionnement en uranium naturel**, votre mission tient à souligner la nécessité d'une diversification géographique des sources. Il serait extrêmement regrettable de se mettre dans la dépendance d'un seul type d'Etats parmi les détenteurs de mines dont certains pourraient être tentés de suivre l'exemple des pays pétroliers. Il est compréhensible que certains jeunes Etats soient exagérément optimistes quant aux avantages que peut leur procurer la détention de mines d'uranium et ne mesurent pas toujours que l'importance des investissements néces-

saires à l'exploitation de sites généralement difficiles limite nécessairement le profit qu'ils en peuvent attendre. Il convient donc, notamment en ce qui concerne les Etats africains, de les associer aussi étroitement que possible à l'exploitation de leurs richesses naturelles, en établissant des liens de coopération susceptibles de mettre leurs dirigeants en mesure d'apprécier la limite économique du développement à attendre de la mise en valeur des ressources uranifères de leur sous-sol.

Mais votre mission estime qu'il est en outre nécessaire qu'une part de l'approvisionnement provienne de pays du monde occidental pour ne pas courir le risque plus ou moins difficile à prévoir de changements d'orientations politiques de certains Etats.

Sans la résoudre, elle pose aussi la question de savoir si une politique d'économie des ressources métropolitaines ne devrait pas être suivie, à l'instar de ce que font les Etats-Unis pour certains produits essentiels comme le pétrole. On peut, en effet, penser que la sauvegarde d'un volant de production nationale serait de nature à pallier les difficultés éventuelles que pourraient provoquer des troubles dans l'approvisionnement extérieur.

Quoi qu'il en soit, il doit être tiré parti de la répartition géographique naturelle de l'uranium dans le monde pour disposer d'une gamme diversifiée de fournisseurs.

3. — En ce qui concerne les **orientations arrêtées par le Gouvernement** en novembre 1969, votre mission estime que, dans l'ensemble, elles répondent aux exigences d'une situation de fait. Les considérations de politique nationale n'ont pu l'emporter sur la réalité économique : pour une période d'au moins quinze années le marché nucléaire sera dominé par la technique des filières à eau légère. Force est bien de s'y ranger. Encore ne faut-il point à cette occasion retomber dans des travers qui ont dans le passé pesé sur notre développement nucléaire.

Contraints d'adopter une technique qui a valu à ceux qui l'ont mise au point des déboires financiers initiaux considérables (1), il nous apparaît qu'il serait téméraire — sous prétexte de francisation et de dégagement à l'égard du licencié — de vouloir apporter, au moins aux premières centrales, des modifications ou des perfectionnements. Nous ne doutons pas que ce soit technique-

(1) On avance les chiffres de 300 millions de dollars pour General Electric et de 150 millions de dollars pour Westinghouse.

ment possible mais nous sommes persuadés qu'en prenant cette voie on s'engagerait *ipso facto* dans celle des incidents onéreux. Le souci de la rentabilité économique est exclusif de celui de la « perfectionnisme ». Nous mettons en garde tous les intéressés contre les conséquences d'une telle attitude et nous invitons fermement le Gouvernement à tenir la main à ce qu'une attitude plus réservée soit adoptée. Qu'on ne nous dise pas que ce serait maintenir l'industrie française sous la tutelle de l'industrie américaine ou que c'est une marque de défiance à l'égard de la valeur de nos techniciens. Il ne faut pas perdre de vue la finalité économique et financière de notre programme. Au surplus, en agissant prudemment, nous assimilerons beaucoup plus vite. Mettons-nous d'abord sans amertume à l'école de ceux qui ont réussi puis l'expérience venant progressivement il sera temps d'assimiler ce que nous aurons appris.

L'expérience américaine sur les grosses unités est très récente. Vouloir s'éloigner de ce qui est acquis pose le problème de la responsabilité financière : le licencié déjà réticent à cet égard, dans le cas où le licencié assume l'essentiel de l'étude et de la construction, risque de lâcher ce dernier s'il s'écarte sans son accord des spécifications transmises. Qui dès lors supportera cette responsabilité ? L'industrie française ne peut pas se le permettre, aussi retombera-t-elle inévitablement sur le contribuable sans aucun bénéfice pour la Nation. C'est ce que votre mission voudrait éviter et c'est pourquoi elle préconise pour le début un respect absolu des spécifications du licencié.

Si cette observation devait rester lettre morte et si l'on devait enregistrer de nouveaux déboires avec les séquelles financières habituelles, votre mission se considérerait comme tenue d'appeler l'attention du Sénat et des commissions compétentes sur les imprudences qui seraient alors des fautes. Autant un effort financier nous paraît nécessaire pour tenter de nous placer dans les filières d'avenir, autant des sacrifices financiers nous paraissent inutiles dans un domaine où nous ne pouvons espérer qu'une bonne assimilation parce que nous avons été amenés à y entrer trop tard.

Il est grand temps de prendre la mesure de nos moyens et de notre taille et d'y proportionner nos ambitions.

4. — Cette observation étant faite, **la France doit-elle s'en tenir à un seul des types de la filière à eau légère ?** Compte tenu de l'équivalence technique et économique des deux technologies, compte

tenu des incidences industrielles et commerciales du choix, votre mission s'est résolument prononcée en faveur de l'adoption des deux types. Elle y voit une série d'avantages.

a) Si dans les cinq ans à venir, l'une des technologies venait à se révéler plus avantageuse, nous serions en état de tenir compte de cette évolution ;

b) Le double choix favorise l'existence de deux groupes industriels importants, ce qui ménage l'avenir à l'égard d'éventuelles liaisons entre industries européennes et de participations dans les réalisations à l'étranger des deux licenciés américains.

c) Même s'il est peu probable que la France soit appelée à exporter des centrales complètes, elle doit se ménager la possibilité d'offrir un choix à ses éventuels clients et, en tout cas, de fournir des éléments de centrales pour les deux types. On ne saurait, en effet, raisonner sur un marché intérieur beaucoup trop étroit.

5. — En ce qui concerne le combustible, deux questions se posent : l'une concernant l'**approvisionnement en uranium enrichi**, l'autre concernant la **fabrication des éléments combustibles**. Sur la première, nous avons vu qu'il n'y avait pas d'inquiétude à avoir dans l'immédiat en ce qui concerne l'uranium enrichi. Il reste que les centrales à uranium enrichi seront vraisemblablement, même si l'avènement économique des surgénérateurs se situe vers 1985, utilisées jusqu'à la fin du siècle. De ce fait, en l'état actuel de la technique, la liberté relative d'approvisionnement énergétique de l'Europe passe obligatoirement par la construction d'une usine de séparation isotopique multinationale. Nous avons dit que c'était un problème complexe de politique extérieure. Certes, le Président de la République a évoqué la question au sommet de La Haye, les conversations franco-allemandes ont fait état d'une collaboration plus étroite dans le domaine nucléaire, le Gouvernement français a présenté au Conseil des Six un mémorandum sur les modalités d'un renforcement de la coopération européenne en matière de développement industriel et scientifique, qui, dans la concision de sa première page, dit l'essentiel pour « l'industrie atomique » ; simultanément, le C. E. A. se met en état de proposer une participation très importante. Ces initiatives sont approuvées par votre mission, mais elle estime que la part de responsabilité passée de la France dans ce qu'il faut bien appeler « la scission des Six en matière d'uranium enrichi », lui fait

un devoir de jouer un rôle moteur dans cette affaire par une politique plus active et plus insistante, même si elle éprouve un regret justifié de ne pas être invitée à participer aux études communes de nos partenaires européens sur l'ultracentrifugation.

Par ailleurs, la fabrication des éléments combustibles est un des secteurs où le C. E. A. et l'industrie ont acquis une expérience précieuse qui pourrait être le point de départ d'une production dont les débouchés seraient susceptibles d'excéder non seulement le marché national mais aussi le Marché commun. Encore faudrait-il ici, également, explorer les possibilités d'ententes transnationales de nature à donner accès à un vaste marché. On peut légitimement penser qu'il appartiendrait au C. E. A. de rechercher, avec des entreprises étrangères ayant une expérience certaine en la matière, dans quelles conditions pourrait être réalisée l'installation en France d'une usine de fabrication d'éléments combustibles à vocation mondiale. Une offre de cette nature ne lui a-t-elle pas été présentée ?

6. — Comme le suggère le mémorandum précité, **l'action communautaire doit aussi s'étendre au domaine des réacteurs** car, en définitive, l'étroitesse du marché intérieur et l'insuffisante envergure de l'industrie française ont tenu une place importante dans les difficultés que nous avons rencontrées. La promotion de l'électro-nucléaire ne saurait, à notre avis, se réaliser économiquement que dans un cadre européen le plus vaste possible, et ce, en raison tant des énormes moyens techniques et financiers à mettre en œuvre que de la diversité des voies explorables. La France — non plus que ses voisins — ne pouvant faire tout toute seule, son indépendance et celle de ses partenaires passe nécessairement par la coopération européenne la plus élaborée pour la mise en œuvre des nouvelles filières d'avenir. Qui peut croire que, quand bien même nos ingénieurs mettraient au point avec un ou deux ans d'avance, un réacteur au sodium, cela suffirait pour l'imposer au marché mondial ?

Cette prise de position n'a évidemment rien d'original mais, ce qui importe, c'est la volonté politique de la faire aboutir. Le domaine nucléaire sera vital pour les générations à venir dans la mesure où l'on estime que la civilisation occidentale doit poursuivre son progrès matériel. C'est pourquoi il appartient au Parlement d'alerter l'opinion publique et de pousser vigoureusement le Gouvernement à placer ces problèmes dans les premiers rangs de ses préoccupations.

En effet, c'est un devoir national — et européen — de mettre un terme à la dispersion des efforts des Six, à la concurrence surannée tant de leurs industries que de leurs organismes publics, à une politique de secret, voire de suspicion réciproques. Si chacun prend la mesure de ses possibilités individuelles, il devra constater qu'au-delà de tel ou tel succès particulier et par nature provisoire, c'est dans la recherche passionnée de l'accord, de la coopération où chacun peut tenir sa place, de la coordination et de l'unification des efforts que se trouve le salut énergétique de chacun en particulier et de l'Europe dans son ensemble. L'échec qu'il faut bien constater de l'Euratom (1) doit être surmonté, mais encore une fois, il faut y mettre un dynamisme politique sans faille.

Votre mission espère que le Sénat mettra tout le poids de son autorité morale au service de cette cause.

7. — En ce qui concerne les **partenaires atomiques nationaux**, votre mission rappelle qu'elle se prononce :

a) Pour une évolution du C. E. A. correspondant à l'évolution des progrès dans l'application industrielle et commerciale de l'énergie nucléaire, ce qui signifie qu'au fur et à mesure que le constructeur et le client sont mis en état d'exploiter économiquement les résultats de la recherche-développement, les activités correspondantes doivent leur être transférées étant entendu qu'une rémunération appropriée devra être assurée au C. E. A. dans le cas d'applications industrielles de ses travaux ;

b) Pour une restructuration de l'industrie concernée sauvegardant le stimulant indispensable de la concurrence et excluant par conséquent la formation d'un groupe national unique de constructeurs mais ouvrant la voie à des ententes transnationales entre constructeurs car le pays qui reste isolé, contre tous les autres, a toujours tort sur le plan industriel. Ici comme ailleurs réapparaît la dimension européenne ;

c) Pour que dans le domaine de la recherche des dispositions soient prises afin que le prestige du chercheur se prolonge en une réussite industrielle ;

d) Pour une claire définition des rôles respectifs du C. E. A., d'E. D. F. et de l'industrie excluant toute rivalité ou hostilité au profit d'une compréhension réciproque et d'une collaboration dont la finalité est un succès économique global.

(1) Votre mission regrette de ne pouvoir vous présenter une étude sur ce sujet.

8. — Cette dernière observation nous conduit à dire qu'en dernière analyse **la responsabilité** de la situation qui nous a obligés à réviser entièrement notre orientation nucléaire civile est **d'ordre politique**. C'est faute d'autorité que les organismes en cause se sont opposés. Il était, dans une certaine mesure, normal et sain que les opinions divergent mais il est blâmable qu'il ne se soit pas trouvé d'instance politique pour trancher entre elles au moment opportun. Loin de nous de prétendre qu'une décision dans un domaine aussi complexe était facile : dans le maquis des chiffres des données techniques et économiques, le « politique » a bien du mal à se forger une opinion. Mais après tout mieux eût valu une décision imparfaite que pas de décision du tout. Mais où était le pouvoir réel ? Au C. E. A. ? A l'E. D. F. ? Au Ministère de l'Industrie ? A Matignon ou à l'Elysée ?

L'affaire est de trop grande importance pour qu'il n'y soit pas porté remède. C'est pourquoi votre mission se félicite que déjà un ministre unique ait sous son autorité les différents partenaires nucléaires et qu'il ait entrepris la réorganisation de ses services. Est-ce suffisant ? Nous ne le pensons pas. La multiplicité des aspects qui s'enchevêtrent et l'ampleur des intérêts en cause nous paraissent exiger l'existence d'un organisme interministériel qui, sous l'autorité directe du Premier Ministre, serait appelé à étudier les grandes orientations de la politique nucléaire sur lesquelles le Conseil des Ministres aurait à se prononcer en tenant un compte sérieux de ses implications internationales et de la politique menée notamment, par nos partenaires européens. Ainsi une politique d'ensemble pourrait être déterminée, coordonnée et appliquée par chacun des Ministres compétents dans son secteur sans être remise en cause par des facteurs conjoncturels.

Puisse la politique nucléaire civile être menée avec autant de détermination que l'a été la coûteuse politique nucléaire militaire que nous considérons comme incompatible avec un programme civil sérieux qui fasse sa large part aux filières d'avenir.

9. — Nous avons parlé de responsabilité politique. D'aucuns s'étonneraient à juste titre que nous n'y associons pas le Parlement.

Mais il faut être clair. **Le contrôle du Parlement** ne s'exerce à plein que durant les deux mois de la discussion budgétaire dont on sait dans quelles conditions elle se déroule. Peut-on sérieusement soutenir que, soit en commission, soit en séance publique, une idée exhaustive d'un domaine aussi complexe

que le domaine nucléaire puisse être dégagée ? Vos rapporteurs qui depuis neuf mois en étudient les divers aspects sont bien placés pour dire qu'une telle prétention serait bien présomptueuse. Aussi bien, le vote annuel des crédits ne saurait-il signifier autre chose que la reconnaissance d'une exigence nationale. Mais que des crédits considérables aient été dépensés pour n'aboutir qu'à l'achat de licences étrangères est un fait qui ne saurait être imputé au Parlement.

Il reste que ceci est une illustration de la nécessité urgente où se trouve le Sénat de modifier — dans le cadre constitutionnel — ses errements budgétaires. Il reste notamment que le contrôle budgétaire devrait s'exercer non plus en fonction de la présentation comptable des crédits mais en fonction des objectifs recherchés. Il reste qu'un effort de classification budgétaire doit être entrepris et que dans le secteur qui nous occupe une présentation pluri-annuelle s'impose.

Il reste aussi que le Gouvernement doit faire un effort en vue de l'information du Parlement. Certes, le C. E. A. publie un rapport annuel, E. D. F. également. Mais pourquoi ces documents — le premier surtout — sont-ils d'une lecture si ardue et pourquoi leurs rédacteurs semblent-ils supposer connu de tous leur langage technique ? Pourquoi est-il si malaisé de mettre un chiffre sur chacune de nos réalisations ? Une atmosphère de secret semble s'attacher à tout ce qui est atomique en France. L'ambition initiale de votre mission était de mettre à votre disposition un document aisément accessible. La nécessité où elle s'est trouvée de vous rendre compte rapidement de ses travaux l'en a empêchée. Elle le regrette vivement et vous demande d'excuser l'abord parfois difficile de son rapport. Elle tient, dans cet ordre d'idée, à souligner combien chacun gagnerait à rendre plus accessibles les données des questions nucléaires ; elle a dû constater que si leur présentation est moins soignée, les documents officiels américains tiennent un grand compte de la différence de niveau scientifique entre le rédacteur et le lecteur.

Cette allusion aux Etats-Unis nous ramène à notre sujet : le contrôle parlementaire. Nous avons pu constater que les problèmes nucléaires sont suivis de façon très constante par une commission du Congrès et que le plus démocratiquement du monde, la puissante Atomic Energy Commission lui rend compte de ses activités et de ses projets et tient compte de ses observations.

Notre mission constitue au fond une expérience analogue à celle des « administrations de mission » (groupe de fonctionnaires chargés de la réalisation d'un objectif dans un temps déterminé). Ce délai est évidemment d'autant plus bref que les fonctionnaires choisis sont déjà des spécialistes. Votre mission n'est pas composée de spécialistes. Vous lui aviez confié l'ambitieux programme de « l'étude de l'ensemble des problèmes nucléaires ». Elle a dû se limiter aux aspects qui lui ont paru les plus actuels. Elle vous présente ici le résultat d'un effort incomplet. C'est pourquoi elle sollicite votre indulgence dans le jugement que vous porterez sur cette nouvelle formule de mission d'information. Des améliorations importantes peuvent lui être apportées. Il reste à déterminer le meilleur usage qui peut en être fait.

ANNEXES



ANNEXE I

LISTE DES PERSONNALITES ENTENDUES PAR LA MISSION

MM.

François ORTOLI, Ministre du Développement industriel et scientifique	25 février 1970.
Robert GALLEY, à titre d'expert	26 février 1970.
Robert HIRSCH, Administrateur général du Commissariat à l'Energie atomique	
Francis PERRIN, Haut-Commissaire à l'Energie atomique.....	19 mars 1970.
Jules HOROWITZ, Directeur des piles atomiques au Commissariat à l'Energie atomique	19 mars 1970.
Jacques MABILE, Directeur des productions au Commissariat à l'Energie atomique	2 avril 1970.
Bertrand GOLDSCHMIDT, Directeur des relations extérieures du Commissariat à l'Energie atomique	2 avril 1970.
Les délégués de l'Association intersyndicale des personnels du Commissariat à l'Energie atomique	7 avril 1970.
Marcel BOITEUX, Directeur général d'Electricité de France.....	14 avril 1970.
Maurice SCHUMANN, Ministre des Affaires étrangères	17 avril 1970.
DELAHOUSSE, Conseiller juridique auprès de la commission des Communautés européennes	21 avril 1970.
HANNOTIAUX, Spécialiste des questions nucléaires	21 avril 1970.
MERIEL, Journaliste spécialiste des questions nucléaires	22 avril 1970.
Le Général BUCHALET, Président directeur général de la Société des Forges et Ateliers du Creusot	23 avril 1970.
KOCH, Directeur général de la Compagnie électromécanique et RENAUDIN, Directeur scientifique de la S. O. C. I. A.	28 avril 1970.
Ambroise ROUX, Directeur général de la Compagnie générale d'électricité	29 avril 1970.
Georges GLASSER, Président directeur général de la Société Alsthom.	29 avril 1970.
Pierre GUILLAUMAT, Président de la Société E. R. A. P.	6 mai 1970.
Claude DESTIVAL, Rapporteur général de la commission de l'Energie du Plan	19 mai 1970.
Georges BESSE, Directeur général du Groupement atomique Alsacienne-Atlantique	21 mai 1970.

ANNEXE II

QUELQUES NOTIONS ELEMENTAIRES SUR L'ATOME ET LES REACTEURS NUCLEAIRES

Votre mission ne comprenait pas de techniciens de l'atome. Il lui apparaît cependant nécessaire pour la compréhension du rapport, pour les lecteurs non familiarisés avec les problèmes nucléaires, de rappeler certaines notions élémentaires et même rudimentaires de physique nucléaire.

I. — L'atome.

La matière se compose d'atomes infiniment petits et jusqu'à présent invisibles même au microscope électronique le plus puissant. Chaque atome comporte un noyau très dense et très lourd composé de protons chargés positivement et de neutrons sans charge électrique. Autour du noyau gravitent, comme dans le système solaire, des électrons chargés négativement en nombre égal à celui des protons du noyau et extrêmement légers.

Le nombre de protons et, par conséquent, d'électrons de chaque atome d'un même corps est toujours le même. En revanche, le nombre de neutrons peut varier et cette variation donne naissance aux isotopes des corps considérés, ces isotopes ayant les mêmes propriétés chimiques que l'élément de base mais en différant par certaines propriétés physiques.

L'atome le plus simple est celui de l'hydrogène, comprenant un seul proton et par conséquent un seul électron — l'addition d'un neutron constitue l'eau lourde.

L'atome le plus lourd connu à ce jour est celui de l'uranium comprenant 92 protons et 92 électrons. L'uranium naturel ou U 238 comprend 92 protons et 146 neutrons dans son noyau et évidemment 92 électrons. S'il vient à perdre trois neutrons il se transforme en U 235 dont les propriétés sont très différentes.

Si, à l'inverse, il en absorbe un il se transforme en U 239 ou plutonium.

La cohésion du noyau est assurée par une concentration considérable d'énergie. Pour en fournir un exemple, 1 gramme d'U 235 peut fournir par sa conversion totale une énergie équivalente à 9 tonnes de charbon. Mais cette conversion est irréalisable dans sa totalité et, dans l'état actuel des techniques, ne peut être que partielle.

Les matériaux qui nous intéressent peuvent être classés en deux catégories principales :

— les matériaux fissiles et, parmi ceux-ci, les deux principaux isotopes de l'uranium naturel, c'est-à-dire le plutonium et l'U 235. Ces deux métaux, dont l'un — le Pu — n'existe pas à l'état naturel et l'autre n'est contenu qu'à raison de 0,72 p. 100 dans l'uranium naturel, émettent naturellement des neutrons ;

— les matières fertiles qui, sous l'effet d'un bombardement neutronique, se transforment en partie en isotopes fissiles sont l'uranium naturel U 238 ou le thorium.

Nous écartérons de notre propos la fusion thermo-nucléaire qui, au stade technique où nous sommes parvenus, est réservée à des applications militaires et qui consiste à fusionner des atomes légers de deutérium ou de tritium (isotopes de l'hydrogène) en les portant à des températures très élevées (de l'ordre de plusieurs millions de degrés) et nous nous bornerons aux problèmes de fission qui, pour l'instant, sont seuls susceptibles d'applications pacifiques pour la production d'énergie.

II. — Les réacteurs nucléaires.

La fission nucléaire ne fut pas utilisable tant que les savants ne surent pas tirer du noyau plus d'énergie qu'ils n'y mettaient pour le casser. Pour y arriver, il fallait qu'un noyau ne se bornât point à sa propre fission mais qu'il provoquât en même temps la fission d'un autre noyau. En d'autres termes, il fallait produire une réaction en chaîne. C'est ici qu'intervient l'U 235. Lorsque les savants bombardèrent un noyau d'U 235 à l'aide d'un neutron, ils constatèrent que de nouveaux neutrons étaient éjectés à grande vitesse du noyau fissionné.

Le premier neutron de bombardement casse un atome d'U 235. L'énergie résultant de la fission se manifeste sous la forme d'une chaleur et d'une force terrifiantes. Les fragments de l'atome fissé constituent des atomes d'autres éléments. Et un à trois neutrons sont éjectés. Que leur arrive-t-il ?

- ils peuvent se perdre ;
- ils peuvent s'intégrer à des noyaux d'U 238 ;
- ils peuvent heurter et fissurer d'autres atomes d'U 235.

Dans ce dernier cas, une énergie nouvelle est dégagée et de nouveaux neutrons sont éjectés qui peuvent fissionner d'autres atomes. L'ensemble du phénomène se produit à peu près instantanément de telle sorte qu'un nombre inimaginable de réactions peuvent se produire en une fraction de seconde.

La fission nucléaire incontrôlée est celle de la bombe A (1). Si la fission est contrôlée, la réaction se poursuit régulièrement produisant une énergie utilisable. C'est ce qui se passe dans les réacteurs nucléaires dont nous allons parler maintenant.

Avant de décrire le principe du réacteur, précisons les points suivants :

1. — Les neutrons lents sont plus efficaces que les neutrons rapides pour la fission de l'U 235.

Si certains des neutrons éjectés heurtent des noyaux non fissiles, ils sont ralentis par ces chocs. Les atomes à noyaux très légers sont les meilleurs ralentisseurs ou « modérateurs » : ce sont les atomes d'hydrogène de l'eau et les atomes de carbone du graphite pur qui remplissent le mieux cette condition.

2. — Certains neutrons peuvent être arrêtés pour empêcher la réaction en chaîne d'échapper au contrôle.

Si deux neutrons de chaque noyau fissé d'U 235 fissent deux nouveaux noyaux, les quatre neutrons fissent quatre noyaux et ainsi de suite : la réaction peut s'emballer. C'est pourquoi des barres d'un matériau arrêtant et absorbant les neutrons sont soit introduites dans la réaction pour ralentir la vitesse de fission, soit retirées pour l'accélérer.

3. — On peut récupérer l'énorme énergie thermique résultant de la fission nucléaire.

De l'eau, des gaz comprimés ou des métaux liquides sont mis en circulation pour capter la chaleur et la transférer hors du centre de fission.

(1) Dans la bombe H, c'est la fusion de certains types d'atomes d'hydrogène qui provoque l'explosion.

4. — On doit arrêter au moyen de protections épaisses les radiations dangereuses résultant des neutrons des particules et des rayons.

D'épaisses enceintes métalliques et en béton sont prévues à cet effet dans les réacteurs.

5. — On ne peut pas actuellement convertir directement l'énergie nucléaire en électricité (1) ; on l'utilise sous forme d'énergie thermique.

La différence entre une centrale nucléaire et une centrale classique ne porte que sur la source d'énergie : nucléaire dans un cas, fossile (charbon ou fuel) dans l'autre. Le reste du cycle reste identique : production de vapeur à l'aide de la chaleur mettant en mouvement des turbines actionnant des générateurs d'électricité.

Comment est constitué un réacteur nucléaire ?

On l'appelle le « cœur ».

Le cœur contient :

— le combustible (uranium naturel ou enrichi) au sein duquel se produit la réaction en chaîne ;

— un modérateur (graphite, eau naturelle, eau lourde) qui ralentit les neutrons de fission ;

— des barres de contrôle (2) qui absorbent les neutrons en surnombre et assurent le contrôle de la réaction ;

— un fluide réfrigérant qui extrait la chaleur du cœur ;

— une enceinte de béton pour la protection contre les radiations.

Quels sont les combustibles nucléaires ?

Dans l'état actuel de la science, seul est employé au stade industriel l'uranium.

Avec l'uranium naturel, il est très difficile d'amorcer une réaction en chaîne, ce qui se conçoit aisément puisque les deux ou trois neutrons de bombardement n'ont qu'une chance sur 140 de rencontrer un atome fissile d'U 235. Il y a cependant deux moyens d'y parvenir : ralentir la vitesse des neutrons, ce qui multiplie jusqu'à 10.000 les chances de fission ou augmenter la proportion d'U 235 contenue dans l'uranium naturel (qui passe de 7 p. 1.000 à 2,5/3 p. 100).

Les centrales françaises utilisent de l'uranium naturel.

Aux Etats-Unis, où les besoins militaires ont provoqué l'installation de puissantes usines d'enrichissement, on utilise l'uranium enrichi.

Un mot encore pour signaler que si le neutron de bombardement pénètre un noyau d'U 238, il peut provoquer la constitution d'un nouvel élément, artificiel celui-là, le plutonium (Pu 239), qui a la particularité d'être fissile. Une partie de ce plutonium sert à la réaction nucléaire, une autre partie constitue un sous-produit de fission qui est récupéré au cours d'opérations complexes dans des usines de retraitement des combustibles irradiés.

(1) Des recherches sont faites dans cette direction.

(2) Appelées aussi barres de commande.

ANNEXE III

COMMUNIQUE

ELECTRICITE DE FRANCE

DIRECTION GÉNÉRALE

25 septembre 1970

Electricité de France communique :

Au cours de sa séance du 25 septembre, le Conseil d'administration d'E.D.F. a étudié les propositions remises à l'établissement pour l'équipement d'une tranche nucléaire de 800 à 900 MW de puissance électrique à Fessenheim, sur le Rhin.

*
* *

Un premier appel d'offres lancé le 2 février 1970 concernait l'étude, la fourniture et le montage d'une chaudière nucléaire de la filière à eau ordinaire et uranium enrichi.

Après avoir noté que les deux techniques qui se partagent cette filière : eau ordinaire sous pression (P. W. R.) et eau ordinaire bouillante (B. W. R.) apparaissent aujourd'hui équivalentes pour la fiabilité et pour la sécurité et que les deux constructeurs français qui ont été consultés avaient obtenu des conditions comparables de leurs bailleurs de licence (pour l'un Westinghouse et pour l'autre General Electric), le Conseil d'administration d'E. D. F. a décidé :

— que, dans ces conditions, il y avait intérêt à laisser ouverte pour l'avenir la compétition entre les deux techniques ;

— que, conformément à l'offre du constructeur le moins disant, la chaudière nucléaire devant équiper la première tranche de la Centrale de Fessenheim serait à eau ordinaire sous pression (P. W. R.) et confiée au groupement de constructeurs, S. F. A. C. et Framatome, ce dernier étant chef de file ;

— qu'il convenait de rechercher avec le constructeur licencié de la technique eau bouillante s'il serait possible de réaliser la centrale suivante dans cette technique à des conditions économiques satisfaisantes ;

— qu'il y avait lieu de continuer à approfondir les études sur la comparaison entre les coûts de différentes filières d'une énergie nucléaire désormais absolument nécessaire, en prenant en considération ce que l'on peut conjecturer sur l'évolution future des différents éléments du coût (prix des combustibles, accroissement de puissance unitaire et limite technologique, etc.).

Un deuxième appel d'offres lancé le 17 mars 1970 concernait l'étude, la fourniture et le montage du groupe turbo-alternateur devant équiper cette tranche nucléaire. Après examen des offres, le Conseil d'administration d'E. D. F. a décidé de passer le contrat correspondant à la société Alsthom.

ANNEXE IV

DECRET N° 70-878 DU 29 SEPTEMBRE 1970 RELATIF AU COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

Le Président de la République,

Sur le rapport du Premier Ministre, du Ministre d'Etat chargé de la Défense nationale, du Ministre des Affaires étrangères, du Ministre de l'Economie et des Finances, du Ministre de l'Education nationale et du Ministre du Développement industriel et scientifique,

Vu la Constitution, et notamment son article 37 ;

Vu l'ordonnance n° 45-2563 du 18 octobre 1945 instituant un Commissariat à l'Energie atomique, ensemble les textes qui l'ont modifiée ;

Vu l'avis du Comité de l'Energie atomique en date du 10 septembre 1970 ;

Le Conseil d'Etat entendu ;

Le Conseil des Ministres entendu,

Décète :

Art. 1^{er}. — Les alinéas 2 et suivants de l'article 1^{er} (1) et les articles 3, 4, 6 (1^{er} alinéa) et 8 de l'ordonnance susvisée du 18 octobre 1945 sont abrogés.

Art. 2. — Le Commissariat à l'Energie atomique exerce, en se conformant aux directives fixées par le Gouvernement en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans les divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale, les missions suivantes :

Il poursuit les recherches scientifiques et techniques nécessaires ;

Il propose les mesures propres à assurer la protection des personnes et des biens contre les effets de l'énergie atomique et contribue à leur mise en œuvre ;

Il est habilité à poursuivre une action de recherche, de production, de stockage et de transport de matières premières nucléaires soit directement, soit par l'intermédiaire d'entreprises dans lesquelles il détient une participation ;

(1) L'article 1^{er} de l'ordonnance du 18 octobre 1945 était ainsi rédigé :

« Article premier. — Il est institué, sous le nom de Commissariat à l'Energie atomique, un établissement de caractère scientifique, technique et industriel, doté de la personnalité civile ainsi que de l'autonomie administrative et financière et placé sous l'autorité et le contrôle du Président du Gouvernement provisoire.

« Le Commissariat à l'Energie atomique :

« Poursuit les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans les divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale ;

« Etudie les mesures propres à assurer la protection des personnes et des biens contre les effets destructifs de l'énergie atomique ;

« Organise et contrôle, d'accord avec les départements ministériels intéressés, la prospection et l'exploitation des gisements des matières premières nécessaires ;

« Réalise à l'échelle industrielle les dispositifs générateurs d'énergie d'origine atomique ;

« Fournit au Gouvernement toutes informations concernant l'énergie atomique et ses applications et, notamment, l'éclaire dans la négociation des accords internationaux ;

« Et, en général, prend toutes mesures utiles pour mettre la France en état de bénéficier du développement de cette branche de la science ;

« Il dispose, pour l'exécution de sa mission et selon les règles prévues pour son fonctionnement, des pouvoirs actuellement dévolus aux Ministres intéressés. »

Il peut procéder à la transformation et au commerce de matières premières nucléaires, et généralement à toutes opérations concernant ces activités et s'y rattachant directement ou indirectement ; il veille à ce que soit assuré l'approvisionnement des utilisateurs et propose à cet effet les mesures nécessaires ;

Il coordonne, en ce qui concerne les applications énergétiques, les interventions publiques pour l'étude et la mise au point des techniques en voie de développement ; il participe, en cas d'intervention publique ou à la demande des constructeurs et des utilisateurs, aux programmes d'amélioration des techniques industrielles ;

Il peut, dans les divers domaines relevant de son activité, se livrer ou participer à la construction et à la production de dispositifs, de matériels ou de composants ;

Il prend ou suggère toutes mesures utiles pour mettre la France en état de bénéficier du développement des disciplines nucléaires ;

Il suit l'évolution scientifique, technique et économique à l'étranger se rapportant à ses activités en vue d'éclairer le Gouvernement, notamment dans la négociation des accords internationaux.

Le Commissariat à l'Energie atomique peut également, dans les limites fixées par le Gouvernement, prolonger certaines de ces activités de recherche et de développement dans des domaines non nucléaires soit à des fins économiques, soit en vue de participer à des programmes d'intérêt général.

Art. 3. — Le Commissariat à l'Energie atomique est administré, conformément aux directives générales du Gouvernement qui lui sont données par le Ministre du Développement industriel et scientifique, par un comité qui comprend :

L'administrateur général délégué ;

Le secrétaire général du Ministère des Affaires étrangères ;

Le secrétaire général de l'Energie ;

Le délégué général à la recherche scientifique et technique ;

Le directeur du budget ;

Le directeur général du Centre national de la recherche scientifique ;

Une personnalité choisie par le Premier Ministre ;

Trois personnalités choisies par le Ministre chargé de la Défense nationale ;

Cinq personnalités qualifiées en raison de leur compétence dans le domaine scientifique et industriel, dont l'une exercera les fonctions de haut-commissaire définies à l'article 5 ci-après.

Le comité est présidé par le Ministre du Développement industriel et scientifique ou, à défaut, par l'administrateur général délégué.

Les membres du comité autres que les membres de droit ainsi que le haut-commissaire sont nommés pour cinq ans par décret en Conseil des Ministres.

Art. 4. — La direction générale du Commissariat à l'Energie atomique est assurée par un administrateur général délégué, nommé pour cinq ans par décret en Conseil des Ministres.

Art. 5. — Le haut-commissaire assume la charge de conseiller scientifique et technique auprès de l'administrateur général délégué.

Il peut saisir directement le Comité de l'Energie atomique et les Ministres intéressés de ses propositions concernant l'orientation générale scientifique et technique qui lui paraît souhaitable.

Il donne son avis en matière nucléaire sur toutes les questions qui intéressent la sécurité des personnes et des biens et nécessitent une décision de l'administrateur général délégué.

Il peut être chargé de diverses missions, notamment dans le domaine de l'enseignement.

Il préside le conseil scientifique prévu à l'article 6 ci-après.

Art. 6. — Le conseil scientifique a pour mission d'assister le haut-commissaire dans l'exercice de ses fonctions.

Il se réunit à la demande du haut-commissaire et peut émettre des vœux qui sont communiqués au Comité de l'Energie atomique et au Ministre du Développement industriel et scientifique.

Il comprend quinze membres au plus nommés pour trois ans en raison de leur compétence par arrêté du Ministre du Développement industriel et scientifique.

Art. 7. — L'administrateur général délégué adresse au Ministre du Développement industriel et scientifique et au Ministre de l'Economie et des Finances un rapport annuel sur l'activité et la gestion du commissariat.

Art. 8. — Un décret en Conseil d'Etat pris sur le rapport du Ministre du Développement industriel et scientifique et du Ministre de l'Economie et des Finances fixe les conditions d'application du présent décret ; il détermine notamment le fonctionnement administratif et financier de l'établissement et précise les attributions respectives de l'administrateur général délégué, du haut-commissaire et du comité.

Art. 9. — Sont abrogés le décret n° 51-7 du 3 janvier 1951, le décret n° 56-1281 du 14 décembre 1956 et le décret n° 68-852 du 25 septembre 1968.

Art. 10. — Le présent décret ne pourra être modifié que par un décret en Conseil d'Etat.

Art. 11. — Le Premier Ministre, le Ministre d'Etat chargé de la Défense nationale, le Ministre des affaires étrangères, le Ministre de l'Economie et des Finances, le Ministre de l'Education nationale et le Ministre du Développement industriel et scientifique sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 29 septembre 1970.

GEORGES POMPIDOU.

Par le Président de la République :

Le Premier Ministre,
JACQUES CHABAN-DELMAS.

Le Ministre du Développement industriel et scientifique,
FRANÇOIS ORTOLI.

Le Ministre d'Etat chargé de la Défense nationale,
MICHEL DEBRÉ.

Le Ministre des Affaires étrangères,
MAURICE SCHUMANN.

Le Ministre de l'Economie et des Finances,
VALÉRY GISCARD D'ESTAING.

Le Ministre de l'Education nationale,
OLIVIER GUICHARD.

**DECRET PORTANT NOMINATION DE L'ADMINISTRATEUR GENERAL
DELEGUE DU COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**

Le Président de la République,

Sur le rapport du Premier Ministre et du Ministre du Développement industriel et scientifique,

Vu l'ordonnance du 18 octobre 1945 instituant le Commissariat à l'Energie atomique, ensemble les textes qui l'ont modifiée et complétée, et notamment le décret du 29 septembre 1970 ;

Vu le règlement d'administration publique du 18 octobre 1945 pris pour l'application de l'ordonnance susvisée, ensemble les textes qui l'ont modifié et complété ;
Le Conseil des Ministres entendu,

Décète :

Art. 1^{er}. — M. Giraud, ingénieur en chef des mines, est nommé, pour une période de cinq ans, administrateur général délégué du Commissariat à l'énergie atomique.

Art. 2. — Le Premier Ministre et le Ministre du Développement industriel et scientifique sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française et prendra effet à compter du 1^{er} octobre 1970.

Fait à Paris, le 29 septembre 1970.

GEORGES POMPIDOU.

Par le Président de la République :

Le Premier Ministre,
JACQUES CHABAN-DELMAS.

Le Ministre du Développement industriel et scientifique,
FRANÇOIS ORTOLI.

**DECRET PORTANT NOMINATION AU COMITE DE L'ENERGIE ATOMIQUE
ET ATTRIBUTION DES FONCTIONS DE HAUT-COMMISSAIRE**

Le Président de la République,

Sur le rapport du Premier Ministre et du Ministre du Développement industriel et scientifique,

Vu l'ordonnance du 18 octobre 1945 instituant le Commissariat à l'Energie atomique, ensemble les textes qui l'ont modifiée et complétée, et notamment le décret du 29 septembre 1970 ;

Vu le règlement d'administration publique du 18 octobre 1945 pris pour l'application de l'ordonnance susvisée, ensemble les textes qui l'ont modifié et complété ;

Le Conseil des Ministres entendu,

Décète :

Art. 1^{er}. — M. Jacques Yvon, professeur à la faculté des sciences de l'Université de Paris, est nommé, pour une période de cinq ans, membre du Comité de l'Energie atomique, au titre des personnalités qualifiées en raison de leur compétence dans le domaine scientifique et industriel.

Art. 2. — M. Jacques Yvon, membre du Comité de l'Energie atomique, est chargé, pour une période de cinq ans, des fonctions de Haut-Commissaire à l'Energie atomique.

Art. 3. — Le Premier Ministre et le Ministre du Développement industriel et scientifique sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française et prendra effet à compter du 1^{er} octobre 1970.

Fait à Paris, le 29 septembre 1970.

GEORGES POMPIDOU.

Par le Président de la République :

Le Premier Ministre,
JACQUES CHABAN-DELMAS.

Le Ministre du Développement industriel et scientifique,
FRANÇOIS ORTOLI.

ANNEXE V

NOTE D'INFORMATION

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT
INDUSTRIEL ET SCIENTIFIQUE

SERVICE DE RELATIONS PUBLIQUES
ET D'INFORMATION

Le 1^{er} octobre 1970.

On indique au Ministère du Développement industriel et scientifique que le décret relatif à l'organisation du Commissariat à l'Énergie atomique, publié aujourd'hui au *Journal officiel*, constitue l'un des aspects d'une réforme engagée depuis la fin de l'année dernière et qui intéresse aussi bien :

- l'actualisation des missions ainsi que l'adaptation de l'organisation générale des pouvoirs au sein du Commissariat à l'Énergie atomique et des relations de ce dernier avec les Pouvoirs publics à un contexte profondément modifié depuis 1945 ;
- l'organisation interne du Commissariat et les conditions de son fonctionnement en vue d'une gestion par objectif assurant aux différents niveaux d'exécution à la fois l'initiative et la responsabilité de la meilleure utilisation des moyens ;
- les relations avec l'industrie et les relations avec Electricité de France dans le domaine particulier des centrales nucléo-électriques.

L'ensemble des mesures prises manifeste en tout premier lieu l'intérêt que le Gouvernement continue d'attacher à un établissement chargé de la réalisation de programmes importants pour l'avenir à long terme du pays. Il s'agit notamment de la mise au point des techniques les plus modernes de construction de centrales nucléaires destinées à produire une énergie électrique compétitive utilisant au mieux la possibilité des matières nucléaires, ainsi que des programmes militaires inscrits au 3^e plan militaire à long terme.

Les nouvelles missions du Commissariat à l'Énergie atomique en continuité avec les précédentes, notamment dans le domaine de la recherche fondamentale, innoveront néanmoins en ce qu'elles portent la marque du troisième âge de l'énergie nucléaire. Celle-ci, après les études de base, puis les expériences en vraie grandeur, est en passe d'atteindre ou a déjà atteint, comme aux États-Unis, une maturité caractérisée par l'accession de l'industrie à la maîtrise des techniques, et par une compétition sévère entre les groupes industriels pour l'acquisition de marchés qui s'ouvrent de plus en plus.

Dans cette perspective, le Commissariat à l'Energie atomique ne doit pas seulement coordonner les efforts de recherche et de développement soutenus par les Pouvoirs publics en y associant aussitôt que possible notre industrie. Il doit aussi se placer également en position de conseiller et de centre d'études et d'essais écouté, apprécié et recherché par l'industrie pour l'amélioration de ses fabrications et l'éclosion de ses initiatives. Cette dernière orientation est cohérente avec une évolution qui poussera sans doute davantage les industries européennes à collaborer entre elles, et donc probablement à prendre en charge une part plus importante de l'effort de développement.

Cette préoccupation générale se retrouve également en ce qui concerne l'approvisionnement en matières nucléaires de base. Dans ce domaine, le Gouvernement choisit clairement d'affirmer dans les textes la mission industrielle du Commissariat. Ceci doit permettre, d'une part, en conjuguant les efforts du Commissariat à l'Energie atomique et ceux de l'industrie minière française, de donner à notre pays une position d'envergure internationale économiquement intéressante, de réserver, d'autre part, aux Pouvoirs publics une possibilité d'action suffisante pour mener une politique de l'énergie cohérente et assurer, le cas échéant, la sécurité d'approvisionnement nécessaire.

Le champ d'action du Commissariat est, par ailleurs, accru. Il pourra désormais, dans les limites qui seront précisées par le Ministre du Développement industriel et scientifique, prolonger certains de ses programmes dans les domaines non nucléaires soit que cela apparaisse économiquement intéressant, soit qu'il puisse aussi, grâce à la puissance de ses moyens, contribuer au succès d'actions d'intérêt général telles que celles relatives par exemple aux nuisances industrielles.

L'entrée à terme rapproché des techniques nucléaires dans une phase de maturité marquée par des préoccupations industrielles et l'importance que prennent sous cet angle les problèmes de gestion a conduit le Gouvernement à remanier l'organisation des pouvoirs au sein du Commissariat à l'Energie atomique en confiant à l'Administrateur général la Direction générale du Commissariat à l'Energie atomique. De son côté, le Haut Commissaire, M. Jacques Yvon, se voit confirmé dans le rôle de conseiller pour l'orientation générale scientifique et technique de l'établissement, rôle essentiel dans un organisme remplissant au plus haut degré des fonctions de recherche fondamentale et appliquée. Il veillera tout particulièrement aux questions intéressant la sûreté des dispositifs et des techniques. Sans remettre en cause des règles de fonctionnement qui ont fait la preuve de leur efficacité, le nouveau texte souligne aussi une évolution dans les rapports entre le Commissariat et les Pouvoirs publics. Il précise notamment les responsabilités propres au Ministre du Développement industriel et scientifique, et conduit à intégrer plus étroitement les composantes énergétiques et industrielles de la politique nucléaire dans la politique industrielle et la politique d'approvisionnement en matières premières menée par le Gouvernement et le Ministère du Développement industriel et scientifique.

*

* *

Sur le plan interne le nouvel Administrateur général, M. André Giraud, sera chargé de mettre en œuvre les orientations de gestion dégagées par le groupe de travail présidé par M. Cristofini et approuvées par le Gouvernement. Ces orientations visent, pour l'essentiel, à rattacher l'action des différents services et laboratoires à des programmes pluri-annuels conçus et approuvés de façon à permettre une gestion prévisionnelle, et auxquels seront affectés des crédits ventilés sous une responsabilité mieux définie.

Le Gouvernement envisage de réunir au cours des prochains mois, dans l'optique indiquée ci-dessus, un conseil interministériel destiné à préciser les programmes du Commissariat, notamment en matière de recherche minière et de développement

de techniques nouvelles de production d'énergie électrique, et à faire le point des conditions dans lesquelles s'effectue le lancement du programme de construction de centrales à uranium enrichi et à eau légère décidé l'année dernière.

Il convient de rappeler à ce sujet que la politique que notre pays doit mener en matière de techniques nouvelles doit partir d'un choix précis des objectifs assurant la concentration et l'efficacité les meilleures des moyens qui peuvent leur être appliqués. Les incertitudes relatives aux recherches à long terme amèneront toutefois à surveiller l'évolution générale des techniques et pourront conduire, dans certains cas, à s'intéresser de plus près à certaines d'entre elles en participant par exemple à des programmes de moindre envergure permettant de préciser davantage leur intérêt possible sur le plan industriel.