

UN OBJECTIF
POUR
EURATOM

R A P P O R T

présenté par

M. Louis ARMAND, M. Franz ETZEL et M. Francesco GIORDANI

sur la demande des Gouvernements
de la République Fédérale d'Allemagne, de la Belgique,
de la France, de l'Italie, du Luxembourg et des Pays-Bas

MAI 1957

SOMMAIRE

Pages

LETTRE D'ENVOI	7
----------------------	---

RAPPORT

UN OBJECTIF POUR EURATOM

<i>Avant-Propos</i>	13
<i>Détermination d'un objectif</i>	15
Le problème énergétique.....	15
Champ d'application de l'énergie nucléaire	19
<i>Conditions de réalisation</i>	27
Coopération avec les États-Unis, le Royaume-Uni et le Canada.	27
Construction de réacteurs.....	31
Besoins en combustible.....	34
Coût de l'électricité nucléaire.....	37
Investissements	41

ANNEXES

I. Économie de l'énergie des pays d'Euratom	49
II. Perspectives de l'énergie nucléaire	71
III. Champ d'application de l'énergie nucléaire	91
IV. Évolution de l'industrie de l'électricité dans les pays d'Euratom.	103
V. Divers	113

Liste des graphiques :

A. Importations d'énergie des six pays	22
B. Coûts futurs de l'électricité. Évolution concernant les nouvelles centrales.....	40
C. Importations nettes d'énergie des différents pays	60
D. Limitation des importations d'énergie grâce à l'énergie nucléaire et au développement des ressources classiques.	67
E. Puissance des centrales thermo-électriques mises en service chaque année	95
F. Comparaison des programmes nucléaires	98

LETTRE D'ENVOI

de MM. Armand, Etzel et Giordani
aux Ministres des Affaires Étrangères des six pays d'Euratom

le 4 mai 1957.

Monsieur le Ministre,

Conformément au mandat que nous avons reçu de vous-même et de vos collègues, nous avons l'honneur de vous remettre ci-joint notre rapport sur les quantités d'énergie atomique qui peuvent être produites dans des délais rapprochés dans les six pays fondateurs d'Euratom et sur les moyens à mettre en œuvre à cet effet.

Pour élaborer notre rapport, nous avons d'abord pris contact avec les responsables de l'énergie atomique dans nos pays, tant sur le plan gouvernemental que sur le plan industriel. Nous avons eu une série d'entretiens à Paris, à Bruxelles et à Bonn avec les Pouvoirs publics et les personnalités responsables des industries françaises, italiennes, belges, néerlandaises et allemandes. Étant donné le court délai dont nous disposions, les personnalités italiennes ont bien voulu venir spécialement à Paris et les personnalités néerlandaises à Bruxelles. A Bruxelles, nous avons en outre eu l'avantage de pouvoir discuter nos problèmes

avec le Président Spaak et ses collaborateurs de la Conférence Intergouvernementale pour le Marché Commun et l'Euratom.

Nous avons ainsi dégagé une vue d'ensemble sur les perspectives des besoins et des ressources en énergie et sur les programmes atomiques envisagés dans chacun de nos pays. Ensuite, à l'invitation des Gouvernements des États-Unis, de la Grande-Bretagne et du Canada, nous nous sommes rendus dans ces pays afin d'y étudier sur place, avec le concours des personnalités compétentes, les résultats et les enseignements de leur effort atomique. Ces voyages ont été d'une valeur inestimable pour notre information.

Aux États-Unis, nous avons été reçus par le Président Eisenhower. Nous nous sommes entretenus avec le Secrétaire d'État, M. Foster Dulles, avec le Président de l'Atomic Energy Commission, M. Lewis Strauss, et avec ses collègues et collaborateurs. Nous avons visité une centrale atomique en voie d'achèvement à Shippingport et, à Oak Ridge, le National Laboratory, l'un des centres de recherches nucléaires américains. A New York, nous avons rencontré, au cours d'une réunion organisée par l'Atomic Industrial Forum, des dirigeants des principales entreprises industrielles qui travaillent aux applications pacifiques de l'énergie atomique.

Au Canada, nous avons eu des entretiens avec le Ministre des Affaires Économiques, Mr. Howe, et avec Mr. Bennett, Président de l'Atomic Energy of Canada Ltd. Enfin, nous avons fait une visite particulièrement instructive au Centre de recherches atomiques canadien installé à Chalk River.

En Grande-Bretagne, nous nous sommes entretenus avec Lord Salisbury, Lord President of the Council, Lord Mills, Minister of Power, Sir Edwin Plowden, Président de l'Atomic Energy Authority, et avec ses collègues et collaborateurs, ainsi

qu'avec Lord Citrine, Président de la Central Electricity Authority et ses collègues. De précieuses informations nous ont été fournies, lorsque nous avons visité Calder Hall. Nous avons eu également d'utiles discussions avec les représentants des groupes industriels qui ont été créés en Grande-Bretagne pour la construction de centrales atomiques.

Nous saisissons cette occasion pour remercier les Gouvernements des États-Unis, de la Grande-Bretagne et du Canada et toutes les personnalités qui ont assuré le plein succès de notre enquête.

Enfin, les Commissions de l'énergie atomique américaine et britannique ont eu la grande obligeance de mettre à notre disposition des experts avec lesquels nous avons pu, après notre retour, nous mettre d'accord sur les données techniques, concernant respectivement les réacteurs américains et anglais, contenues dans notre rapport et ses annexes.

Les experts de la United States Atomic Energy Commission : Mr. Richard Cook, Deputy General Manager ; Mr. Paul Fine, Director of the Operations, Analysis Division ; Mr. Louis Roddis, Deputy Director of Reactor Development Division, et Mr. Andrew Van der Weyden, Deputy Director of the Division of International Affairs — et les experts de la United Kingdom Atomic Energy Authority : Dr. Hill, Deputy Director of Technical Policy, Dr. Brown, Deputy Chief Engineer of Civil Reactors, et M. Johnson, Overseas Manager in the Technical Policy Branch, nous ont rendu de très grands services. Nous leurs sommes particulièrement reconnaissants de l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée.

Nous sommes naturellement à votre entière disposition pour répondre aux questions que vous désireriez nous poser après lecture du rapport et de ses annexes, et nous tenons à terminer

cette lettre, Monsieur le Ministre, en vous remerciant de la marque de confiance que vous et vos collègues nous avez donnée en nous chargeant d'une mission aussi importante pour l'avenir de nos pays, étant données la gravité de leur situation en énergie et les possibilités qu'ouvre l'énergie atomique.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur le Ministre, l'assurance de notre très haute considération.

ARMAND

ETZEL

GIORDANI

RAPPORT

Un objectif pour Euratom

AVANT-PROPOS

Le 16 novembre 1956, les Ministres des Affaires Étrangères d'Allemagne, Belgique, France, Italie, Luxembourg et Pays-Bas nous ont chargés d'établir un rapport « sur les quantités d'énergie atomique qui peuvent être produites dans des délais rapprochés dans les six pays, et sur les moyens à mettre en œuvre à cet effet ».

Le 25 mars 1957, le Traité instituant la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique (Euratom) a été signé à Rome par les Ministres de ces six pays. Il est actuellement soumis dans ces pays à la ratification des Parlements. Dans l'espoir que cette Communauté pourra commencer à fonctionner dans un très proche avenir, nous avons intitulé notre rapport : « Un objectif pour Euratom ».

Nous avons été conscients, en cherchant à déterminer cet objectif, de la chance unique qu'offre à nos pays l'avènement de l'énergie nucléaire. Cette chance, personne n'aurait osé l'espérer il y a dix ans seulement, alors que l'Europe paraissait irrémédiablement condamnée à ne disposer que d'une énergie moins abondante et plus chère que celle des États-Unis. Aujourd'hui, nous pouvons affirmer que si nos pays veulent faire — guidés et stimulés par Euratom — l'effort considérable qui s'impose, ils disposeront à l'avenir, comme le Nouveau Monde actuel, d'une source énergétique abondante et bon marché qui leur permettra d'entrer hardiment dans l'ère atomique.

DÉTERMINATION D'UN OBJECTIF

Le problème énergétique de l'Europe.

Au cours du XIX^e siècle, une production de charbon abondante et bon marché a centuplé l'efficacité de l'effort humain et fait de l'Europe l'atelier du monde. Mais, dans les dernières années de l'expansion économique d'après-guerre, l'Europe a soudain découvert que cette situation favorable s'était complètement modifiée et qu'un nouveau facteur conditionnait toutes ses perspectives d'avenir : dorénavant, la pénurie d'énergie risque de devenir le frein le plus grave à tout essor économique. C'est de ce point de vue que nous devons apprécier les perspectives qu'ouvre devant nous l'énergie nucléaire, précisément parvenue à l'ère des réalisations au moment où l'Europe aborde un tournant difficile de son histoire (1).

En 1870, la production d'énergie s'élevait dans le monde à 218 millions de tonnes de charbon, dont les trois quarts étaient fournis par le Royaume-Uni et par l'ensemble de nos six pays. Ces chiffres expliquent à eux seuls l'évolution industrielle du XIX^e siècle : non seulement la Grande-Bretagne et le continent européen détenaient la clé d'un progrès économique sans précédent, mais encore ils étaient devenus les grands exportateurs d'énergie et de produits manufacturés.

Malheureusement, si d'après les normes de 1870, les ressources d'énergie propres à l'Europe étaient abondantes à cette

(1) L'Annexe I donne un aperçu détaillé des problèmes énergétiques qui se posent pour l'ensemble des six pays et pour chacun d'entre eux.

époque, elles se révèlent insuffisantes, d'après les normes beaucoup plus élevées de 1957 et le seront davantage encore en 1970. Actuellement, la production de charbon de nos six pays est supérieure à ce qu'était, en 1870, la production mondiale de charbon, mais elle ne représente plus que 15 % de la production totale d'énergie dans le monde. Quant aux ressources européennes en énergie de toutes natures, la rapide croissance des importations, après la seconde guerre mondiale, atteste que leur insuffisance, par rapport à la demande, s'accroît chaque année considérablement.

A la veille de la seconde guerre mondiale, ces importations s'établissaient pour nos six pays aux environs de 5 % de leurs besoins. Elles se sont brusquement accrues au cours de la période d'après-guerre, mais on estimait alors, d'une façon générale, qu'il s'agissait d'un phénomène passager auquel mettrait fin la réorganisation de la production de charbon en Europe. Si un équilibre analogue à celui de l'avant-guerre a paru sur le point d'être réalisé en 1950, la demande d'énergie, à partir de cette date, a continué à s'accroître dans les secteurs de l'industrie et des transports, de la consommation domestique et agricole, et elle est en train de dépasser rapidement la production intérieure. L'Europe a perdu son indépendance énergétique.

Nos six pays doivent donc consacrer tous leurs efforts à développer la production de l'énergie dans ses formes classiques, mais, si grands que soient ces efforts, ils ne permettront pas de suivre le rythme des besoins. Les conditions d'extraction du charbon ne se prêtent pas en Europe à une mécanisation des mines aussi poussée qu'aux États-Unis, puisque, au fur et à mesure que l'on cherche à augmenter la production, il faut attaquer des couches plus profondes et plus difficiles à travailler. Par ailleurs, les ressources de l'énergie hydro-électrique sont déjà largement exploitées. Quant au pétrole et au gaz

naturel, il ne saurait être question un seul instant de combler par leur apport les différences entre les besoins et la production.

Il s'ensuit que, sans l'entrée en scène de l'énergie nucléaire, les importations européennes s'élèveraient jusqu'à des niveaux inacceptables. Déjà nos six pays importent, en très grande majorité, sous forme de pétrole provenant du Moyen-Orient, près du quart de l'énergie qu'ils consomment, soit l'équivalent de 100 millions de tonnes de charbon. Or, la crise de Suez vient de montrer à quel point ces approvisionnements en pétrole peuvent être précaires.

Pour l'avenir, nous avons admis les hypothèses les plus favorables au développement des sources d'énergie classique et nous avons fondé nos évaluations sur une expansion économique constante, mais modérée, considérablement plus lente que celle des années d'après-guerre. On doit faire tous les efforts possibles pour accroître la production intérieure, mais il faut bien se rendre compte que, même dans ces conditions, les importations de combustibles dans nos six pays doubleront en dix ans et tripleront en vingt ans. Elles atteindront 200 millions de tonnes en 1967 et pourraient s'élever, dix ans plus tard, à 300 millions de tonnes, soit 33 %, puis 40 % des besoins (voir graphique A page 22).

Des chiffres aussi élevés mettent en question l'essor économique et même la sécurité politique des pays européens. Tout d'abord, les importations d'énergie entraîneront des dépenses considérables, qui s'élèveront annuellement (en chiffres ronds et à prix constants) de \$ 2 milliards en 1957 à \$ 4 milliards en 1967 et à \$ 6 milliards aux environs de 1975. Certes, une partie de ces dépenses sera réglée en devises nationales, essentiellement en raison de la contribution apportée par nos marines marchandes et par les territoires d'Outre-Mer. Néanmoins, la nécessité de se procurer des devises étrangères pèsera lourdement sur la balance des paiements de nos pays et ceux-ci, pour pouvoir

disposer de la masse de devises correspondant à ces importations supplémentaires, devront procéder à des investissements très étendus dans les industries d'exportation. L'obligation sans cesse croissante de vendre sur le marché mondial pèserait défavorablement sur la balance commerciale de l'Europe. C'est là un point dont l'importance peut être vitale pour le secteur commercial le plus vaste du monde.

Quant à la menace politique que fait peser sur l'Europe la pénurie d'énergie, elle apparaît plus grave encore. Les récents événements et l'insuffisance des approvisionnements en pétrole qui en est résultée ont démontré que la possibilité même d'importer cette catégorie d'énergie est incertaine. Le pétrole fournit déjà plus du cinquième de la consommation totale de nos pays; il est moins cher par calorie que la houille et plus facile à manutentionner et à utiliser. Il est donc à prévoir que, pratiquement, c'est sous la forme de pétrole que nos pays procéderont aux importations nécessitées par l'accroissement de la demande d'énergie.

Mais il s'agit de quantités qui ne pourront être fournies par l'hémisphère occidental, où la demande croît plus rapidement que la production. Le Moyen-Orient, qui possède une proportion très élevée des réserves mondiales de pétrole, est la seule région du monde capable d'assurer des livraisons d'un tel volume. Sans doute, d'après les découvertes récentes, les gisements du Sahara paraissent pleins de promesses. Mais on ne saurait espérer en retirer plus du cinquième de nos importations en énergie aux environs de 1965. Dans ces conditions, l'état de dépendance où se trouve l'Europe à l'égard du Moyen-Orient ne peut que s'aggraver, et la crise de Suez vient de nous donner, sur l'importance de ce danger, un sérieux avertissement. Au fur et à mesure que les importations de pétrole se développeront, les tentations d'exercer par ce moyen une pression politique se feront plus vives. Non seulement une interruption dans les

livraisons des pétroles, si elle intervenait dans quelques années, risquerait de devenir pour nous une calamité économique, mais on sait, d'un point de vue plus général encore, combien la dépendance excessive des pays puissamment industrialisés à l'égard de régions instables peut entraîner des troubles graves dans le monde entier. Il est donc indispensable que le pétrole ne soit qu'un facteur d'expansion industrielle et ne devienne pas une arme politique.

Aussi l'Europe, pour protéger son économie contre tout aléa, doit-elle s'efforcer de trouver d'autres sources d'énergie, pour être en mesure de limiter toute augmentation ultérieure de ses importations de pétrole. Ce résultat ne pourra être obtenu que par la mise en œuvre d'une nouvelle forme d'énergie, l'énergie nucléaire.

Champ d'application de l'énergie nucléaire.

Bien que celle-ci puisse être utilisée pour la propulsion des navires et le chauffage urbain, sa contribution essentielle, au cours des vingt prochaines années, portera sur la production de l'électricité par de grandes centrales et consistera principalement à assurer les charges de base (1).

La consommation de courant électrique est en voie de croissance rapide en Europe : elle double tous les dix ou douze ans. Pour faire face à cette demande, il est évidemment nécessaire de faire appel en premier lieu et dans toute la mesure du possible à des sources nationales d'énergie qui conviennent particulièrement à la production d'électricité (chutes d'eau, lignite, charbons de qualités inférieures, gaz naturel). Mais, même dans

(1) La « charge de base » d'électricité représente l'électricité produite pendant toute la durée des 24 heures, par opposition à la « charge de pointe », qui représente la quantité produite pendant quelques heures seulement chaque jour.

les conditions les plus favorables, le total de ces diverses sources ne pourra fournir tout au plus, d'ici vingt ans, que le tiers de l'accroissement des besoins. Les deux tiers de la production supplémentaire devront donc provenir de centrales fonctionnant, soit au charbon, soit au pétrole, l'un et l'autre importés, à moins qu'on ne construise à leur place des centrales nucléaires. L'augmentation de production de charbon marchand sera absorbée par d'autres utilisations, en particulier par les fours à coke. On estime que la capacité de ces centrales doit s'élever de 38 millions de kW à la fin de 1960 à 60 500 000 kW à la fin de 1967, ce qui représente un accroissement de 22 500 000 kW, compte non tenu des besoins inhérents aux renouvellements, qui s'élèveront à plus de 5 millions de kW au cours de cette période (voir graphique E, Annexe III page 95). C'est ainsi qu'on peut délimiter le champ d'application atomique.

Chaque année perdue dans la construction de centrales nucléaires se traduit par la nécessité d'installer de nouvelles centrales classiques qui, pendant les vingt ou trente années de leur durée utile d'existence, nécessiteront un volume croissant d'importations de pétrole ou de charbon. C'est pourquoi l'Europe doit, dans les limites qui lui sont assignées par le tableau général de la production d'électricité, construire aussi rapidement que possible des centrales nucléaires.

Or, il faut compter jusqu'à quatre années pour la construction de ces centrales. Bien que certaines d'entre elles, qui sont déjà en cours de construction (telle la Centrale E.D.F. 1 en France) ou qui vont faire l'objet de prochaines commandes, doivent commencer à fonctionner en 1961 et 1962, on ne saurait s'attendre que l'énergie nucléaire puisse apporter une ample contribution avant 1963, car aucune commande portant sur la construction d'un nombre important d'installations ne pourra être passée avant la fin de 1958. En outre, il faut prévoir certains délais pour que l'industrie puisse atteindre sa capacité

totale de production et être en mesure d'installer toutes les centrales nucléaires qu'elle pourra utiliser. Les firmes devront faire un effort considérable pour adapter à une nouvelle technologie leur personnel, leurs installations et services de production. Nous devons donc prévoir que le rythme de construction des centrales d'énergie nucléaire va suivre une courbe ascendante. Cette longue croissance va nous permettre de prendre des décisions fondées sur l'expérience acquise au cours de deux ou trois années de fonctionnement des puissantes centrales nucléaires actuellement en construction aux États-Unis et au Royaume-Uni.

Compte tenu de toutes ces considérations, nous avons évalué à environ 15 millions de kW la capacité d'énergie nucléaire qui pourra s'intégrer dans le système d'électricité des six pays, au cours des dix prochaines années. S'il est possible d'y parvenir, cela permettra de stabiliser les importations au niveau qu'elles atteindraient sans cela en 1963, autour d'un chiffre annuel de 165 millions d'équivalent de tonnes de charbon (1).

Un tel objectif est ambitieux. Il exigera un effort puissant et soutenu, car nos industries, à l'exception de l'industrie française, n'ont encore pratiquement acquis aucune expérience sur le plan nucléaire. En outre, loin d'entrer en conflit avec un effort intensif d'accroissement de production d'énergie classique, c'est seulement au prix d'une étroite collaboration entre toutes les méthodes de production d'électricité que cet objectif pourra être atteint et le niveau des importations stabilisé.

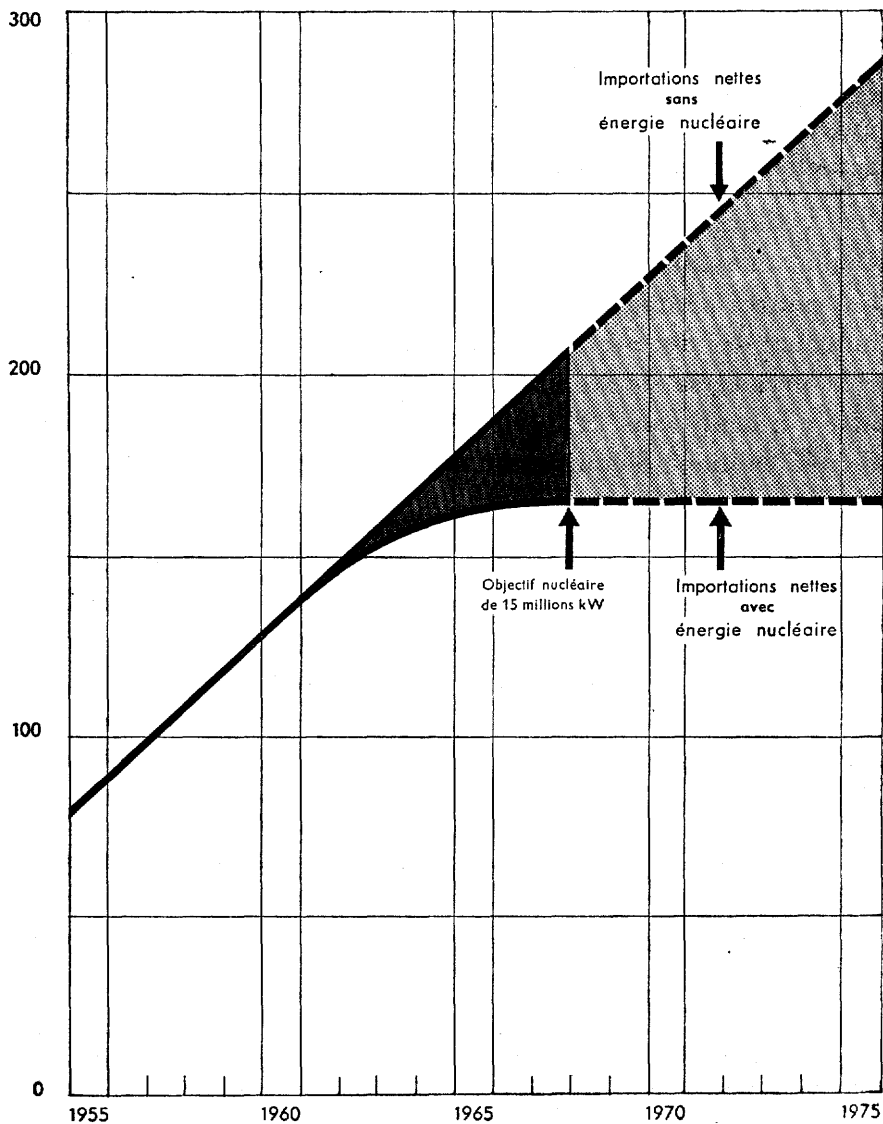
La Grande-Bretagne s'est déjà trouvée en présence d'un problème du même ordre, et elle est arrivée à la même conclusion. En fait, elle a réagi très rapidement à une situation énergé-

(1) Le pétrole ayant une valeur calorifique plus élevée que le charbon, on doit traduire les tonnages de pétrole en leurs « équivalents en charbon », afin d'obtenir des chiffres comparables permettant de déterminer le montant total des importations d'énergie.

Millions
de tonnes
par an
équivalent
charbon

GRAPHIQUE A

Importations d'énergie des six pays.



tique moins menaçante que la nôtre. Aujourd'hui, la Grande-Bretagne n'importe que 12 % du total de ses besoins en énergie, alors que ce pourcentage s'élève à 23 % dans nos pays; dans dix ans, les importations britanniques, si elles n'étaient pas freinées par l'énergie nucléaire, s'élèveraient à 22 % des besoins, contre 33 % dans nos six pays. Elle compte que son programme de 6 millions de kW en 1965 stabilisera les importations de combustibles à partir de 1960. Les 15 millions de kW que nous nous proposons comme objectif en 1967 peuvent obtenir le même résultat en 1963.

Cet objectif représente deux fois et demie le programme britannique; la proportion paraît certes raisonnable, si l'on songe que les populations sont dans les rapports de 1 à 3 et les productions d'électricité dans le rapport de 1 à 2,1, et si l'on considère, comme nous l'avons dit, que les six pays ont, au départ, une situation beaucoup moins favorable que la Grande-Bretagne, du point de vue des importations d'énergie.

Il ne nous appartient pas de transformer cet objectif en programme. Sans doute est-il très supérieur à la somme des plans actuels de chacun de nos six pays, qui aboutirait à l'installation d'environ 6 millions de kW d'ici 1967. D'ailleurs, depuis le début de notre enquête — et il faut peut-être voir là une de ses premières conséquences — une tendance très nette s'est manifestée vers l'accroissement des programmes de chaque pays.

Il était nécessaire aussi que nous confrontions notre objectif et le programme qui en découlerait, avec les possibilités industrielles de construction de réacteurs dans nos six pays.

L'expérience britannique est la seule à laquelle on puisse se référer, si l'on veut avoir une mesure de ce que peut faire l'industrie pour s'adapter à un programme atomique important. En Grande-Bretagne, on estime que l'industrie pourra, en

dix ans (l'exécution du programme britannique a commencé au début de 1955), installer 5 à 6 millions de kW nucléaires et qu'elle serait, en plus, capable de réaliser une exportation équivalente (1), ce qui donne une capacité totale de 10 à 12 millions de kW nucléaires.

Les industries mécaniques et électriques des six pays fondateurs d'Euratom ont une capacité qui est 1,6 fois celle des mêmes industries en Grande-Bretagne (2). Sur cette base, on peut donc estimer que nos pays, avec un effort comparable à l'effort britannique, pourraient construire en dix ans plus de 15 millions de kW nucléaires.

Il s'agit évidemment là d'une appréciation globale de nos possibilités. Comme dans tout grand développement industriel, des goulots d'étranglement apparaîtront. Le rôle de la coopération que nous pouvons obtenir des États-Unis, du Canada et de la Grande-Bretagne, sous forme de connaissances, de procédés, de combustibles, d'éléments de réacteurs, sera non seulement de faciliter notre effort d'une manière générale, mais aussi de surmonter les difficultés temporaires qui surviendront dans des domaines déterminés.

Euratom va créer de nouvelles possibilités; il mettra en commun les ressources scientifiques et industrielles de nos pays, ainsi que leurs diverses compétences techniques. Un marché commun d'équipement nucléaire, organisé dans un an, stimulera la spécialisation industrielle. En outre, vis-à-vis des autres États, Euratom représentera nos six pays comme une seule et

(1) La possibilité d'atteindre cette capacité d'exportation dépend évidemment des dispositions qui devront être prises en temps opportun pour mettre l'industrie britannique en mesure de fournir des équipements difficiles à élaborer, tels que les tôles d'acier pour les enveloppes de pression et le graphite.

(2) Voir le rapport O.E.C.E. (1956) : « *Les industries mécaniques et électriques en Europe* ».

même unité, et se trouvera ainsi mieux placé que le serait chacun d'eux isolément, pour obtenir la pleine collaboration de ces autres États.

L'enquête à laquelle nous avons procédé à l'étranger nous a montré les larges possibilités d'aide extérieure que nous ouvre Euratom. Il s'agit là d'une contribution qui, sous forme d'apport de combustibles nucléaires de technologies et de pièces détachées de réacteurs, peut renverser toute la situation et permettre à la production européenne d'énergie nucléaire, au lieu de démarrer lentement, de prendre un départ rapide.

Prenons un exemple concret : le nombre insuffisant de techniciens ayant reçu une formation adéquate serait de nature à entraver la rapide exécution d'un programme important; or, au cours de nos voyages en Amérique, en Grande-Bretagne et au Canada, Euratom a bénéficié d'offres de formation technique dont l'ampleur n'aurait jamais pu être envisagée si l'on avait traité séparément avec chacun de nos pays.

Nous sommes parvenus à un moment décisif : les techniques de production d'énergie atomique ont atteint un point de développement qui nous autorise à dire que l'énergie nucléaire est sortie du laboratoire du savant pour passer sur la planche à dessin de l'ingénieur et qu'elle entre dès maintenant dans la phase industrielle. Si nos pays savent saisir cette chance, ils en retireront un grand bénéfice, tandis que s'ils la laissent échapper, ils s'en trouveront pénalisés; on peut, en effet, emprunter à d'autres des connaissances scientifiques et techniques, mais chacun doit créer lui-même sa puissance industrielle. Il faut donc que, dès maintenant, nos industries prennent résolument un départ de grande envergure, sans quoi nous nous trouverons bientôt dans l'incapacité d'affronter la concurrence des industries qui, ayant vu leur chance et l'ayant saisie en temps opportun, sont déjà parvenues au stade de la maturité. Tout développement

ultérieur ne serait dès lors possible qu'à l'abri de murailles protectrices, avec tous les inconvénients qui en résultent. Étant donnée l'importance de plus en plus grande que sont appelées à prendre les techniques atomiques pour l'industrie, l'Europe, en qualité de plus grand exportateur de produits fabriqués, ne saurait se permettre de manquer l'occasion qui se présente à elle de prendre un départ rapide. Dans la mesure où nous agirons avec vigueur et détermination, les possibilités créées par Euratom nous donneront tous les espoirs d'affronter victorieusement l'ère atomique et, ce faisant, de résoudre nos problèmes énergétiques.

CONDITIONS DE RÉALISATIONS

Les hommes de science de nos pays ont apporté des contributions fondamentales aux découvertes d'où procèdent les larges perspectives de l'énergie nucléaire. Mais, par suite de la guerre et de leurs divisions, ils ont très peu participé, pendant ces quinze dernières années, à l'élaboration des fondations coûteuses et massives qu'exige une industrie atomique. Si la France est déjà entrée dans la voie des applications industrielles, si l'Allemagne, l'Italie, la Belgique et les Pays-Bas travaillent activement à divers projets de réacteurs de puissance et à des recherches techniques, ces efforts sont encore loin de ceux que la Grande-Bretagne, pour ne pas parler des États-Unis, a déjà accomplis pour mettre au point les applications industrielles de l'énergie nucléaire. A supposer que nos industries s'engagent dans les techniques nucléaires en ne comptant que sur leurs propres ressources, elles devraient envisager une progression qui ne pourrait être forcément que très lente et très coûteuse. Mais l'intérêt que portent les États-Unis à l'extension mondiale de l'énergie nucléaire exploitée à des fins pacifiques, et dont témoigne le programme du Président Eisenhower sur les « atomes au service de la Paix », va permettre à nos pays d'échapper à certaines des lourdes conséquences résultant de leur handicap.

Coopération avec les États-Unis, le Royaume-Uni et le Canada.

Le Gouvernement des États-Unis a manifesté un vif intérêt à notre désir de réaliser, au sein d'Euratom, un très vaste programme de production d'énergie nucléaire. Sans doute, cette

attitude favorable est-elle en liaison étroite avec l'appui que l'Amérique porte à l'unité européenne et avec l'attention qu'elle prête à toutes les mesures de nature à renforcer la puissance et la stabilité de notre économie. Du reste, dans l'avenir, l'Europe pourra apporter son concours à l'Amérique, tout comme celle-ci est disposée à lui prêter assistance aujourd'hui.

Comme le coût moyen de la production d'électricité aux États-Unis représente environ les deux tiers du coût européen, c'est en Europe, bien plus tôt qu'en Amérique, que l'énergie nucléaire pourra commencer à concurrencer l'énergie classique. Une somme impressionnante de recherches et de perfectionnements, effectués aussi bien par l'intermédiaire de l'Atomic Energy Commission que par l'industrie privée, permet à l'Amérique de posséder des installations nucléaires qui sont les plus complètes du monde. Il semble cependant que l'Amérique ne procédera que dans cinq ou dix années à l'exploitation généralisée de l'immense potentiel dont elle dispose. Au contraire, c'est dès maintenant que l'Europe doit faire appel à l'énergie nucléaire. Or, aucune étude technique, si poussée soit-elle, ne saurait remplacer la connaissance pratique acquise par une expérience atomique étendue à tout le secteur industriel. L'Europe pourra donc mettre son expérience à la disposition des États-Unis, et nos entretiens à Washington nous ont convaincus que, sur une base d'échanges parfaitement saine, une étroite association serait réalisable sur un pied d'égalité entre les États-Unis et l'Euratom et entre leurs industries respectives.

D'après les indications que nous avons recueillies au cours de nos visites, notre collaboration avec les États-Unis pourrait s'établir de la façon suivante : les États-Unis mettront à notre disposition les matières fissiles et les connaissances techniques indispensables à la mise en marche d'une industrie nucléaire de caractère pacifique. Une fois Euratom constitué,

un comité restreint, composé de quelques spécialistes américains particulièrement qualifiés, poursuivra avec les experts européens l'étude des divers problèmes techniques posés par notre programme. Par ailleurs, les États-Unis offriront à nos savants et à nos ingénieurs toutes les possibilités de compléter et de perfectionner leurs connaissances. Pour les études de mise au point et d'amélioration des réacteurs, des réalisations communes pourront être envisagées entre les industries américaines et européennes, ainsi qu'entre les commissions américaines et européennes d'énergie atomique.

La Grande-Bretagne a concentré ses efforts sur un type de réacteur qui est d'ores et déjà pleinement entré dans la phase d'application industrielle. Or, les autorités britanniques se sont déclarées prêtes à faciliter les contacts entre les firmes britanniques et les firmes européennes qui s'intéresseraient à la construction des appareils de ce type. Elles ont également manifesté leur intention d'apporter leur aide à Euratom sur l'activité d'importance essentielle que constitue la formation des hommes de science et des ingénieurs et de tenir leurs experts à notre disposition pour l'étude des aspects techniques de notre programme.

La collaboration que le Canada est prêt à nous accorder se présenterait sous deux formes différentes : ce pays est l'une des sources mondiales d'uranium les plus riches et son Gouvernement s'est déclaré disposé à fournir les quantités d'uranium naturel nécessaires pour compléter les ressources européennes, à condition que nos besoins lui soient notifiés plusieurs années d'avance et sous réserve que tout accord conclu avec Euratom comporte l'engagement formel que l'uranium livré sera exclusivement utilisé à des fins pacifiques.

D'autre part, le Canada a accompli une tâche importante et originale en étudiant un type de réacteur qui, par la combinaison d'un grand nombre des avantages inhérents aux

méthodes américaines pour l'utilisation de l'uranium légèrement enrichi, et aux méthodes britanniques pour l'utilisation de l'uranium naturel, semble devoir s'adapter particulièrement bien aux besoins européens. Ce réacteur est en cours de mise au point, et nous avons toutes raisons de croire qu'Euratom trouvera le Gouvernement canadien disposé à collaborer à la construction des prototypes.

Les lointaines perspectives d'avenir envisagées par les États-Unis, le Canada et la Grande-Bretagne, lorsqu'ils ont examiné l'intérêt d'une collaboration avec nos pays, nous donnent l'assurance qu'un vaste programme nucléaire européen bénéficiera non seulement des connaissances acquises depuis des années dans ces trois États, mais aussi des matières premières et de l'assistance technique indispensables à un départ rapide. Cette collaboration nous est offerte en raison même de l'étendue de notre programme commun, dont aucun de nos pays n'aurait pu proposer la réalisation, et grâce également aux dispositions prises par Euratom pour assurer un système efficace de contrôle des matières fissiles.

C'est sur de tels principes que des accords d'associations devront être conclus entre ces trois pays et Euratom, immédiatement après sa création. Parallèlement, il y aura lieu d'instaurer une étroite coopération, éventuellement par l'intermédiaire de l'O.E.C.E., avec d'autres pays, en particulier la Suisse, l'Autriche et les États scandinaves.

En effet, l'évolution atomique sur notre continent doit avoir pour base des liens étroits d'associations. C'est par là que nous obtiendrons en faveur d'Euratom une aide plus efficace de la part des États qui ont exploré plus complètement que nous les techniques nucléaires; c'est également grâce à ces associations que plus tard nous pourrons apporter un large concours aux pays qui nous auront donné leur appui, comme à ceux qui auront besoin d'être aidés.

La méthode opposée, fondée sur la croyance illusoire que nous pourrions résoudre le problème atomique par nos propres moyens, ne ferait que confirmer notre retard et consacrerait la perte de notre indépendance. Au contraire, une politique de coopération, loin de limiter nos possibilités, en créerait de nouvelles, si bien qu'en dernière analyse, elle permettrait à nos industries d'acquérir chacune une personnalité nucléaire distincte.

Construction de réacteurs.

Notre enquête nous a donné la conviction que, s'il existe au moins une douzaine de prototypes de réacteurs dont les plans ont déjà été très poussés ou qui sont en cours de construction, deux seulement sont actuellement prêts à faire l'objet d'une utilisation industrielle. L'un a été mis au point aux États-Unis, l'autre en Grande-Bretagne et en France (1).

Le premier utilise comme combustible de l'uranium légèrement enrichi (2) et son refroidissement est assuré par de l'eau sous pression ou de l'eau bouillante. Cette formule a été conçue à l'origine pour l'équipement de sous-marins, et un exemplaire de ce type fonctionne sans interruption depuis deux ans sur le *Nautilus*. L'expérience ainsi acquise permet de conclure avec une grande assurance à la parfaite régularité et à la sûreté de ce réacteur, dont deux versions sont dès maintenant construites aux États-Unis à l'échelle industrielle et, dans certains cas, sur la seule initiative privée.

Le second modèle, dont la mise au point a été très poussée particulièrement en Grande-Bretagne, est un réacteur à uranium naturel et à refroidissement au gaz. Le prototype construit à Calder Hall fonctionne avec un plein succès depuis six mois et

(1) L'Annexe II donne une description plus détaillée des réacteurs.

(2) Uranium dont la teneur en isotope fissile U 235 a été poussée à un taux qui dépasse celui de l'uranium naturel.

c'est à partir des caractéristiques de cet appareil que la Grande-Bretagne a élaboré, au début de 1955, son programme d'énergie nucléaire dont elle vient de tripler la consistance, sur le vu des résultats obtenus. Déjà plusieurs centrales utilisant ce réacteur sont en cours de construction pour le compte de compagnies d'électricité. Les premiers réacteurs français en cours de fonctionnement ou de construction sont du même type.

Mais les firmes européennes intéressées par les applications de l'énergie nucléaire, et Euratom lui-même, suivront également avec une grande attention le développement de deux autres réacteurs de puissance qui ne sont pas encore entrés dans la phase des applications industrielles mais semblent devoir répondre très spécialement aux besoins de l'Europe : il s'agit d'une version du réacteur britannique à refroidissement au gaz fonctionnant à l'uranium légèrement enrichi et d'un réacteur à eau lourde dont la mise au point est surtout poursuivie au Canada. Des projets communs pourront être élaborés par Euratom et les industries pour résoudre les problèmes encore en suspens avant que ces deux types de réacteurs puissent être commercialement exploités.

Pour obtenir dès le départ des progrès rapides, il nous faudra soit acheter certains réacteurs aux États-Unis et en Grande-Bretagne, soit les construire sous licence. Aucun de ces deux procédés ne nous amènera à accepter un état permanent de dépendance industrielle. Au contraire, ils accéléreront, l'un comme l'autre, la formation des techniciens de nos industries et leur donneront une base d'expérience fortement éprouvée, sur laquelle il leur sera possible d'élaborer et d'enrichir leur propre contribution. En toute hypothèse, même si les réacteurs eux-mêmes doivent être importés, la participation de nos industries mécaniques dans les premières installations d'Euratom sera très appréciable et la proportion des pièces détachées à importer ira en diminuant rapidement.

La nouvelle orientation qui va s'imposer à nos industries soulèvera certainement des problèmes délicats, moins difficiles cependant qu'on le pense communément. Il sera nécessaire de procéder à une formation nouvelle et intensive des hommes de science et des ingénieurs, mais les États-Unis et le Royaume-Uni sont disposés l'un et l'autre à nous apporter leur concours. Euratom devra établir ses programmes de formation scientifique et technique en tenant compte des possibilités offertes par ces deux pays, en plus de celles qui existent en Europe ou qu'Euratom devra créer.

En outre, le nombre de techniciens qualifiés, qu'exigent les études et la construction de réacteurs, ayant déjà fait leurs preuves est moins élevé que celui des techniciens indispensables à la mise au point d'installations de conception entièrement nouvelle. Dans une centrale nucléaire, une grande partie des travaux à exécuter diffèrent fort peu de ceux qu'exécutent les firmes de construction mécanique. En Grande-Bretagne, dix-huit mois avant de présenter leurs soumissions aux Services d'électricité, les groupements industriels qui ont dressé les plans de réacteurs de puissance et qui procèdent aujourd'hui à leur exécution, n'avaient qu'une expérience atomique extrêmement limitée.

Euratom et ses objectifs énergétiques constitueront le véritable moteur de l'évolution; leur influence coordinatrice et stimulante permettra de guider nos industries et de les mieux utiliser. A cet effet, la normalisation des diverses pièces d'un réacteur et celle des contrats de fournitures devra être encouragée. Il sera également indispensable d'établir une certaine coordination d'ensemble, car un programme qui prévoit la production à une date donnée de millions de kW et qui requiert une gamme très étendue de matériels nouveaux et de nouvelles pièces détachées, risque d'être entièrement désorganisé par de graves carences de matériel et par des retards de livraisons. C'est

ainsi que l'industrie devra être documentée sur la quantité des enveloppes à haute pression nécessaires pour les réacteurs, quatre ou cinq ans avant la date de livraison prévue, car ces commandes pourraient exiger une extension de sa capacité de production.

Besoins en combustible.

Ces besoins seront en très grande partie fonction du type de réacteur choisi par les producteurs d'électricité. Il est d'ores et déjà certain qu'en toute hypothèse, le combustible nécessaire pour qu'Euratom atteigne l'objectif envisagé, pourra être obtenu sans difficulté, les besoins étant en effet très inférieurs aux quantités de matériaux fissiles que l'on produira dans le monde, au cours de la période considérée (1).

Comme il est à prévoir que les prospections étendront le champ des réserves connues, la production d'uranium — bien qu'étant encore peu importante — devra croître dans nos pays. De plus, la production canadienne d'uranium naturel pourra augmenter considérablement, si l'on présente des demandes fermes.

Nous attachons également une importance particulière au fait que les autorités gouvernementales des États-Unis nous ont déclaré qu'à leurs yeux la question du combustible ne saurait être un facteur de limitation. Ces déclarations ont été insérées dans le communiqué commun (2) que le Secrétaire d'État américain et le Président de l'Atomic Energy Commission ont publié, avec nous, à l'issue de nos entretiens à Washington.

L'assurance qui nous est ainsi donnée a d'autant plus de poids qu'elle émane du pays qui est le plus grand producteur du

(1) Les besoins en combustibles sont évalués dans l'Annexe III.

(2) Voir Annexe V.

monde en uranium enrichi et l'un des plus grands producteurs d'uranium naturel. Nous sommes donc convaincus que le problème du combustible nucléaire ne viendra pas entraver la réalisation de notre programme.

Les mesures que prendra Euratom en vue d'organiser ses approvisionnements en combustible peuvent présenter une importance décisive pour nos industries. La somme totale consacrée aux combustibles nucléaires dans la période décennale qui nous est nécessaire pour atteindre l'objectif de 15 millions de kW s'élèverait à \$ 2.000 millions environ (1). D'après le Traité instituant Euratom, les matériaux fissiles spéciaux appartiendront à la Communauté. Par conséquent, Euratom va conserver un droit de regard sur l'uranium enrichi qu'il doit mettre à la disposition des usagers, et l'on pourrait concevoir qu'il centralise le financement de l'uranium enrichi et de l'uranium naturel, comme on le fait, sur le plan national, aux États-Unis et dans le Royaume-Uni.

Le problème des combustibles ne se limite pas à la question des approvisionnements en matières fissiles : l'uranium, qu'il soit naturel ou enrichi, doit être avant utilisation transformé en éléments combustibles (2) puis, généralement, après utilisation, subir dans des usines de séparation un second traitement, qui permette de récupérer les précieux produits fissiles encore utilisables. Il va de soi que, pour satisfaire aux besoins de nos premières installations nucléaires, nous pourrions importer du combustible et le réexpédier après usage aux fins de récupération. Ce procédé rencontrerait l'accord des États-Unis et de la Grande-Bretagne, qui ont déjà fait connaître

(1) Voir Annexe III, paragraphe 8.

(2) Pour les types actuels de réacteurs, le combustible nucléaire doit être façonné en forme de cylindres ou de barres revêtus d'un métal tel que le magnésium, le zirconium, l'acier inoxydable, le beryllium, etc.

leurs prix. Mais, si nous comptons exclusivement sur d'autres pays pour assurer le traitement des combustibles, cette façon de faire serait, de toute évidence, incompatible avec la nécessité où nous nous trouvons de ne plus dépendre aussi étroitement qu'aujourd'hui de coûteuses importations d'énergie.

Or, les deux opérations exigent, pour être réalisées dans des conditions économiquement satisfaisantes, de vastes usines desservant plusieurs réacteurs. Si chacun de nos pays devait agir seul comme une unité distincte, il ne pourrait procéder économiquement à ces opérations avant plusieurs années. Au contraire, la création de la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique nous permettra d'édifier les installations de fabrication de combustibles et de traitement chimique, au moment où un grand nombre de réacteurs seront en cours de construction.

Euratom pourrait également se proposer de produire lui-même son uranium enrichi (1) et il semblait même jusqu'à ces tout derniers temps que ce fût pour lui le seul moyen de l'obtenir. Mais la conviction est aujourd'hui acquise que nos pays pourront se procurer en Amérique, aux prix avantageux déjà annoncés, les quantités d'uranium enrichi dont ils auront besoin. Ces prix favorables sont la conséquence des vastes dimensions des installations américaines, du niveau très bas du prix de l'énergie électrique dans les zones où ces installations sont situées, du taux très modéré de financement et du haut degré de perfection atteint dans les plans de construction et la technologie. Dans ces conditions, l'uranium enrichi que produirait l'Europe coûterait probablement deux ou trois fois plus cher que l'uranium provenant d'Amérique.

On a préconisé la construction par Euratom d'une usine de séparation isotopique, afin que la production d'énergie

(1) Dans des installations connues sous le nom d'installations « à diffusion gazeuse » ou « de séparation isotopique ».

nucléaire ne repose pas sur une matière première qu'on peut obtenir exclusivement dans un autre pays. Si l'importation de grandes quantités d'uranium enrichi devait être permanente, cet argument prendrait un certain poids, mais plusieurs années s'écouleront avant que l'installation Euratom de diffusion puisse fonctionner, et dès maintenant l'avenir de l'uranium enrichi apparaît incertain. Même en dehors des perspectives ouvertes par les réacteurs surgénérateurs (1), il faut tenir compte de la présence du plutonium dans le combustible consommé par les premiers réacteurs européens. Or il est fort probable que nous parviendrons à utiliser économiquement ce plutonium, ce qui réduira d'autant nos besoins en uranium enrichi. Finalement, ces divers perfectionnements pourraient même nous permettre de disposer de réacteurs de tous types utilisant exclusivement l'uranium naturel avec un recyclage complet.

Par conséquent, s'il est indispensable que nos pays poursuivent avec le plus grand soin l'étude des aspects économiques et techniques de l'enrichissement de l'uranium, il est important de noter que la décision de construire une installation isotopique à échelle industrielle, qui demanderait des capitaux considérables et consommerait de grandes quantités d'énergie, n'a pas à être prise préalablement à la mise en route d'un programme de production d'électricité atomique.

Coût de l'électricité nucléaire.

Nous examinerons ici quel pourra être le coût de la production d'électricité produite par les réacteurs nucléaires susceptibles d'être installés en Europe avant la fin de 1967, et comment ces prix se situeront par rapport à ceux des centrales

(1) Réacteurs produisant plus de matière fissile qu'ils n'en consomment.

au charbon et au pétrole que nous serions dans l'obligation de construire, si nous ne pouvions faire appel à l'énergie atomique. Quelques considérations d'ordre général s'imposent tout d'abord.

En premier lieu, les données que nous possédons sur le fonctionnement des réacteurs de puissance à l'échelle industrielle ressortant d'une expérience très limitée, les prix de l'énergie nucléaire que nous indiquons résultent toujours d'estimations et ne reposent jamais sur des faits établis. Néanmoins, les études et les vérifications très poussées auxquelles nous avons procédé, notamment avec le concours des experts mis aimablement à notre disposition par l'American Atomic Commission et par l'Atomic Energy Authority du Royaume-Uni nous permettent de dire que les chiffres présentés dans ce rapport sont dignes de créance.

En second lieu, comme le coût de l'électricité produite par un réacteur ne sera pas constant, mais suivra une courbe descendante à mesure que s'amélioreront les techniques d'exploitation, toute estimation doit porter sur le coût *moyen* de l'électricité obtenue par un réacteur au cours de sa durée d'existence. Très élevé au début, le prix de revient s'abaissera au cours des années suivantes, pour atteindre, au fur et à mesure que les conditions de fonctionnement se stabiliseront, un niveau sensiblement inférieur. Dans la suite, et même dans le cas des premiers réacteurs, le coût de production continuera à baisser graduellement, au fur et à mesure que les techniques d'utilisation des combustibles se perfectionneront. Or, les prix des combustibles nucléaires sont sensiblement plus bas — moins de la moitié — que ceux des combustibles utilisés dans les centrales classiques, mais l'économie réalisée de ce fait ne portera que sur un quart environ de la totalité des dépenses d'une installation atomique. Cette économie pourra cependant avoir une influence marquée sur les résultats d'ensemble : à la différence

des centrales nucléaires, il est à prévoir que le coût des combustibles des centrales classiques s'élèvera lentement mais régulièrement, par rapport au niveau général des prix.

En troisième lieu, les comparaisons doivent être établies à partir du prix de revient des nouvelles installations classiques consommant du combustible importé puisque c'est à celles-ci seulement que se substitueront les centrales nucléaires. Sans doute, n'est-il pas possible de faire entrer dans les éléments de calcul le risque croissant d'une interruption des apports de pétrole en provenance du Moyen-Orient, mais les producteurs d'électricité seraient mal inspirés s'ils ne prenaient pas en considération cette éventualité.

Enfin, comme il est très peu probable que les réacteurs de type plus avancé, capables d'assurer des prix d'électricité bien plus avantageux, puissent être utilisés avant la fin de la période décennale envisagée dans le présent rapport, nous les avons négligés de propos délibéré. Mais les experts les plus qualifiés (1) s'accordent à reconnaître que le coût de l'énergie nucléaire obtenue, même dans des réacteurs de types courants, va diminuer au cours des dix ou quinze années à venir.

Compte tenu des considérations qui précèdent, nous sommes amenés à conclure que, d'après nos évaluations, la gamme des prix de revient de l'électricité provenant de réacteurs de type américain aussi bien que britannique se situera entre 11 et 14 mills/kWh (2) contre 11 à 12 mills/kWh pour l'électricité d'origine classique produite à partir de combustible importé (voir graphique B, page 40) (3). En outre, la gamme des

(1) Cf. deux études récentes les plus importantes : conférence faite le 15 mars 1957 par Sir Christopher Hinton, membre de l'U.K. Atomic Energy Authority sur « The future for nuclear power » et « The later prospects for nuclear economic power », étude de M. W. Kenneth Davis, Directeur, et de M. Louis H. Roddis, Sous-Directeur, Division of Reactor Development, U.S. Atomic Energy Commission (le 14 mars 1957).

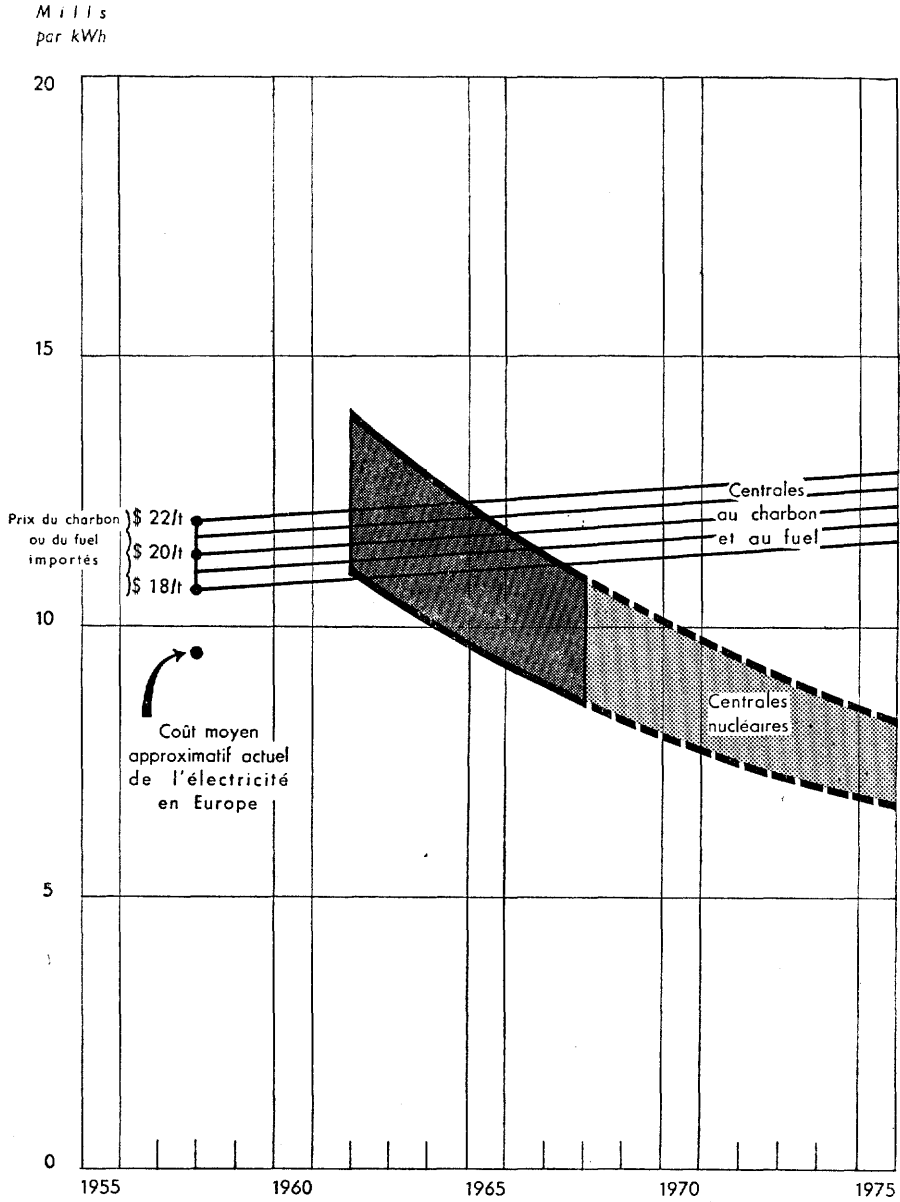
(2) 1 mill = 1/1000 de dollar, soit 0,35 franc.

(3) Voir, pour une analyse détaillée, l'Annexe II.

GRAPHIQUE B

Coûts futurs de l'électricité.

Évolution concernant les nouvelles centrales.



prix des centrales nucléaires suit une courbe descendante. Bien entendu, les chiffres ci-dessus ne concernent pas les quelques réacteurs qui pourraient être mis en service avant 1962 et dont les caractéristiques sont celles des prototypes, bien plutôt que d'installations industrielles.

Cette comparaison de prix nous montre clairement que le moment est venu où l'énergie nucléaire peut nous apporter un moyen économique de stabiliser nos importations d'énergie. Par conséquent, les perspectives d'abaissement du prix de revient à long terme ne sont pas un argument qui doive nous inciter à temporiser; tout au contraire, un puissant programme industriel entrepris dès maintenant est le meilleur moyen d'assurer une base solide sur laquelle on puisse fonder ultérieurement une expansion massive.

Nous devons d'ailleurs signaler que les premières commandes doivent être passées vers la fin de 1958, lorsqu'on disposera des résultats des expériences réalisées, non seulement à Calder Hall, mais aussi à Shippingport, qui influenceront les décisions à prendre au cours des stades ultérieurs du programme.

Autant il est nécessaire, au stade actuel, que les six pays se lancent dans la réalisation de grandes centrales, autant cela ne signifie pas qu'ils puissent, dès maintenant, prendre position sur les installations à construire pendant la période décennale.

Investissements.

Le prix des combustibles dans la détermination du coût de l'électricité joue un rôle prédominant lorsqu'il s'agit d'installations classiques et mineur lorsqu'il s'agit d'installations nucléaires. Or, lorsqu'on évalue les investissements, c'est exactement la position inverse que l'on constate. En moyenne, on peut considérer, pour les centrales qui doivent être mises en

service au cours des dix prochaines années, que les coûts d'investissement, comprenant également la charge de combustibles, représentent un peu plus de deux fois et demie le coût de centrales classiques, et iront en diminuant graduellement vers la fin de cette période. Pour 15 millions de kW, la différence pourrait être de l'ordre de \$ 4 milliards (1) et s'inscrirait entre 1 et 2 % du total brut des investissements qui sont prévus dans l'ensemble de nos six pays, pour les dix prochaines années.

Les immobilisations supplémentaires de capitaux qui en résulteront poseront à l'économie de nos pays des problèmes difficiles, mais se traduiront, dans une certaine mesure, par une modification de la répartition générale des investissements plutôt que par un véritable accroissement des charges. En effet, sans l'intervention de l'énergie nucléaire, le supplément de note à payer pour les importations de charbon et de pétrole exigerait un développement des exportations qui entraînerait, à son tour, une augmentation des investissements dans les industries exportatrices. De même, un accroissement des importations de charbon et de pétrole à destination de nouvelles centrales classiques nécessiterait de nouveaux investissements dans le secteur des transports, notamment pour la construction de navires et d'installations portuaires.

Au début, les dépenses consacrées à des centrales nucléaires, parce qu'elles devront être payées en devises étrangères, dans une proportion qui pourra s'élever jusqu'à 50 % du total, soulèveront également des difficultés en ce qui concerne la balance des paiements. Mais, si l'on calcule sur l'ensemble de la période de dix ans, il n'est pas à prévoir que les importations nécessitées par ces centrales viennent à excéder un montant de

(1) Dont environ \$ 1 milliard correspondrait au combustible nucléaire. Voir Annexe III, paragraphe 10.

\$ 1 100 millions. En outre, même si la *totalité* du combustible correspondant à un programme de 15 millions de kW devait être importée — hypothèse que les possibilités de production d'uranium dans nos pays rendent déraisonnablement pessimiste — le coût global de ces importations ne s'élèverait qu'à \$ 2 milliards, tant pour la charge de combustible que pour l'appoint (1) des premières années et représenterait par la suite \$ 200 millions. C'est cette dernière somme qui doit être mise en regard de la note de pétrole et de charbon qu'il faudrait payer pour des installations classiques de même capacité, soit environ \$ 800 millions par an aux prix actuels.

Par conséquent, bien que la balance des paiements dans nos pays ne doive pas bénéficier immédiatement d'une rapide introduction de l'énergie nucléaire, l'accroissement modéré des importations, au cours des premières années, sera très vite compensé par de grosses économies de devises étrangères. Pour ces diverses raisons, il est conforme à l'intérêt public d'affecter à la construction d'installations nucléaires des sommes plus considérables que celles qui sont affectées aux centrales classiques.

Cependant, ces considérations ne sont pas de nature à aider nos producteurs d'électricité à résoudre leur problème d'investissement. Même actuellement, la rapide croissance de la demande d'électricité pèse très lourdement sur les ressources dont disposent nos industries électriques pour leurs investissements. Il existe une discordance entre l'intérêt public, qui exige que nous atteignions notre objectif, et celui du producteur d'électricité, qui affronte certains risques financiers, lorsqu'il consacre de lourds investissements à des centrales nucléaires, au lieu de construire des centrales classiques.

(1) Cette consommation représente la quantité de combustibles « frais » à mettre périodiquement dans les réacteurs en remplacement des cartouches irradiées.

Il est donc indispensable que l'on prenne sans délai des engagements au sujet des premières installations, tant pour effectuer un démarrage rapide que pour acquérir, dans le domaine de la construction des réacteurs, le maximum d'expérience dans le minimum de temps.

Comme les conditions diffèrent considérablement d'un pays à l'autre, nous ne sommes pas en mesure de suggérer des solutions. C'est donc à la Commission d'Euratom, en association avec les gouvernements et les industries intéressés, qu'il appartiendra de procéder à une étude approfondie de ce problème; s'il n'était pas résolu, il serait totalement illusoire de vouloir atteindre notre objectif et, par conséquent, de compter obtenir une stabilisation des importations d'énergie. La Commission d'Euratom devra donc examiner les moyens propres à stimuler les décisions, en proposant par exemple une accélération de l'amortissement des centrales nucléaires qui fonctionneront au cours des premières années, de loin les plus difficiles, ou d'autres mesures financières.

Nous attachons aussi la plus grande importance à l'établissement d'une législation commune en matière d'assurances, afin que soient couvertes les responsabilités au tiers des compagnies chargées de la construction et du fonctionnement des réacteurs, ainsi que la responsabilité incombant, du fait de la qualité de leur fabrication, aux producteurs résidant dans d'autres pays. Il se peut que l'absence sur ce point d'une législation fédérale ait retardé aux États-Unis la construction de réacteurs par l'industrie privée. Dès maintenant, le Congrès américain étudie un ensemble de projets destinés à remédier à cette lacune.

Tant aux États-Unis qu'en Grande-Bretagne, tous les experts admettent que les risques d'accident sont extrêmement faibles. Néanmoins, en dehors des responsabilités que couvrent les assurances, l'organisation de mesures de protection supplé-

mentaires s'impose. S'il se produisait un accident à proximité de l'un de nos pays, les dommages pourraient s'étendre au-delà des frontières. D'autre part, la construction de grosses centrales nucléaires pourrait faire l'objet de commandes communes de la part des Compagnies d'électricité de plusieurs de nos pays et, par ailleurs, le marché commun des produits nucléaires, qui doit être constitué un an après la création d'Euratom, facilitera la passation de commandes entre pays. Pour toutes ces raisons, il est nécessaire d'aborder l'élaboration d'une législation Euratom qui règle les divers problèmes indiqués ci-dessus.

*
* *

Le développement de l'économie européenne risque d'être gravement entravé par une insuffisance d'énergie. Du fait de cette insuffisance, nos pays doivent s'engager de plus en plus, pour satisfaire à leurs besoins, dans la voie des importations. Celles-ci sont coûteuses et, pour la plus importante d'entre elles, le pétrole du Moyen-Orient, l'approvisionnement lui-même est incertain. Si nous comptons par trop sur cet apport, nous supporterions une charge en aggravation constante et des risques de plus en plus sérieux. Mais l'entrée en scène de l'énergie nucléaire nous donne indirectement la possibilité d'endiguer la marée montante des importations, puisqu'elle doit nous permettre d'éviter la construction de nouvelles centrales classiques fonctionnant au pétrole et au charbon importés.

La comparaison entre les prix de l'énergie nucléaire et de l'énergie classique nous a amenés à conclure qu'un gros effort serait justifié, et nous avons la conviction qu'il serait réalisable industriellement, à condition que nos six pays agissent de concert, avec l'aide de l'Amérique, de la Grande-Bretagne et du Canada,

qui sont en avance sur nous dans le domaine des applications nucléaires et prêts à nous apporter leur entière collaboration.

La mise en commun, grâce à Euratom, des ressources financières, de la capacité industrielle et des diverses techniques de nos pays, permettra à ceux-ci de fournir l'effort qui s'impose; Euratom sera en mesure de guider et de stimuler leur action, notamment en leur donnant les moyens de résoudre la discordance existant, dans la période du début, entre le risque commercial auquel s'exposeront les firmes qui construiront des installations nucléaires et l'intérêt général de la Communauté qui réclame la réalisation aussi rapide que possible d'un programme de vaste envergure.

La création de la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique, sur laquelle nos pays sont appelés à se prononcer, offre la possibilité d'atteindre l'objectif que nous proposons : la construction, avant la fin de 1967, d'installations nucléaires de 15 millions de kW, afin de pouvoir stabiliser nos importations de combustibles au niveau qu'elles atteindront dans cinq ou six années.

ANNEXES

ANNEXE I

ÉCONOMIE DE L'ÉNERGIE DES PAYS D'EURATOM

Bref tableau historique de la production mondiale d'énergie.

I. Jusqu'au début de la première guerre mondiale, l'évolution économique du monde reposait sur la houille. Peu après le début du xx^e siècle, aux États-Unis tout d'abord, puis beaucoup plus tard en Europe, le pétrole a fait son apparition et a commencé à prendre une importance croissante comme source d'énergie. Enfin, entre les deux guerres mondiales se sont développées des sources secondaires : le gaz naturel et l'énergie hydraulique.

Production mondiale d'énergie commerciale (1)

	Charbon	Lignite	Pétrole	Gaz Naturel	Énergie hydraulique	Total
<i>En millions de tonnes d'équivalent charbon (Mt EC) (2)</i>						
1870	203	4	11	—	—	218
1900	701	22	29	9	16	777
1913	1 216	39	77	22	45	1 399
1955	1 604	152	1 086	360	190	3 391
<i>Pourcentage de la Production Mondiale</i>						
1870	93	2	5	—	—	100
1900	90	3	4	1	2	100
1913	87	3	5	2	3	100
1955	47	4	32	11	6	100

(1) Énergie primaire dans la mesure où elle est utilisée commercialement, à l'exclusion du bois et des déchets de ferme.

(2) Facteurs de conversion :

Charbon	:	7 000 kcal/kg
Lignite	:	2 100 kcal/kg
Pétrole	:	10 000 kcal/kg
Gaz naturel	:	9 000 kcal/kg
Énergie hydraulique : 1870-1913	:	7 000 kcal/kWh
	:	1955 : 2 800 kcal/kWh

Entre 1870 et 1955 la production mondiale d'énergie commerciale a augmenté à un taux annuel d'environ 4 %. Parallèlement, la production de pétrole, de gaz naturel, et, à un degré moindre, d'énergie hydraulique, a progressé à un rythme considérablement plus rapide que l'extraction de charbon. A l'heure actuelle, l'importance relative du charbon dans l'économie mondiale de l'énergie ne représente que la moitié de ce qu'elle était au cours des trente dernières années du siècle précédent.

Les raisons de cette progression plus lente de l'extraction du charbon, depuis le début de la première guerre mondiale, se trouvent en partie dans les modifications techniques qui se sont produites dans le secteur de la demande d'énergie, telle que l'apparition du moteur à combustion interne et du moteur Diesel, et en partie dans les conditions naturelles de plus en plus défavorables que rencontre l'extraction de charbon. En Europe, l'épuisement des gisements, les grandes profondeurs que les puits doivent atteindre, les conditions défavorables à la mécanisation des procédés d'extraction jouent un rôle particulièrement important. Tous ces faits expliquent dans une large mesure l'augmentation des prix de revient du charbon, les limites extrêmement étroites dans lesquelles la production de ce combustible s'adapte aux fluctuations de la demande d'énergie et, par conséquent, le fait qu'au cours de ces dernières trente à quarante années, on n'a pas trouvé suffisamment de capitaux disponibles pour l'ouverture de nouvelles exploitations minières. La preuve la plus convaincante de la réalité de ces divers facteurs nous est donnée par l'exemple des houillères britanniques. En 1870, le Royaume-Uni produisait 54 % de la totalité du charbon mondial; en 1913, il en produisait 25 % et 13 % seulement en 1955. En raison des modifications de frontières qui sont intervenues, il n'est pas possible d'établir une comparaison entre la production de charbon des pays de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier au cours des mêmes périodes, mais les documents dont on dispose montrent que la part de ces pays dans la production mondiale de charbon est tombée de 21 % environ en 1938 à 16 % en 1955. Même les États-Unis d'Amérique, qui possèdent de riches gisements de charbon que l'on peut exploiter économiquement, ont vu leur part dans la production mondiale de charbon tomber de 41 % en 1913 à 28 % en 1955, bien que la part des États-Unis dans la production totale d'énergie dans le monde soit aussi importante qu'au début de la première guerre mondiale.

2. Un second facteur, qui a déterminé un changement significatif dans la situation de la production d'énergie primaire, est la rapide expan-

sion de la production du pétrole au Moyen-Orient, en particulier depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Comme les pays du Moyen-Orient possèdent à eux seuls, selon les estimations de 1955, 66 % des réserves mondiales de pétrole actuellement connues et, en outre, produisent ce pétrole à des prix considérablement inférieurs à ceux des autres pays, cette tendance va se poursuivre. On prévoit qu'en 1975 le Proche-Orient produira environ 50 % de la production mondiale de pétrole. Au cours des trente ou quarante prochaines années, l'hémisphère occidental verra sa consommation de pétrole croître plus rapidement que sa production : en conséquence il va devenir nettement importateur.

Production actuelle et prévue de pétrole dans le monde

	<i>Production mondiale</i>	<i>E.U.</i>	<i>Autres pays d'Amérique</i>	<i>Moyen-Orient</i>	<i>Sud-Est asiatique</i>	<i>Europe</i>	<i>U.R.S.S. (1)</i>
<i>En millions de tonnes d'équivalent charbon (Mt EC) (2)</i>							
I. Actuelle							
1938	385	235	63	23	12	11	41
1955	1 091	477	230	230	24	28	100
II. Prévues (3)							
1965	1 740	635	420	575	70	40	»
1975	2 600	635	520	1 290	115	40	»
<i>En % de la production mondiale</i>							
I. Actuelle							
1938	100,0	61,0	16,5	6,0	3,1	2,7	10,7
1955	100,0	43,7	21,0	21,3	2,2	2,6	9,2
II. Prévues (3)							
1965	100,0	36,4	24,1	33,2	4,0	2,3	»
1975	100,0	24,3	20,0	49,6	4,4	1,7	»

(1) Production de l'U.R.S.S. en 1938 et 1955 : évaluation. Prévisions pour 1965 et 1975 non disponibles.

(2) Chiffres convertis en équivalent charbon au taux de 10 : 7, pour faciliter la comparaison avec les autres tableaux; *les gaz liquéfiés sont exclus*.

(3) Ces chiffres ne comprennent pas la production des nouvelles réserves de pétrole découvertes au Sahara qui peut être estimée à environ 10 Mt EC pour 1960 et 40 Mt EC pour 1965. L'exploitation de ces réserves faciliterait considérablement au cours des prochaines années le problème d'approvisionnement énergétique de l'Europe.

Approvisionnements en énergie des pays d'Euratom dans les vingt dernières années.

3. En 1935-36, la consommation intérieure brute (1) (consommation apparente) d'énergie dans la Communauté d'Euratom s'élevait à 295 Mt EC, soit 2,1 t EC par tête d'habitant. En 1955, elle s'était élevée à 400 Mt EC, soit 2,45 t EC par tête d'habitant. Entre 1950 et 1955, la consommation d'énergie a augmenté de 26 %, tandis que le produit national brut augmentait de 22 %.

	1936 (2)	1950	1955
	—	—	—
		(Mt EC)	
Consommation	295	293	400
Production intérieure	275	261	316
Importations nettes	20	32	84

A l'intérieur de cette évolution, le caractère de la demande d'énergie s'est fortement modifié. La demande se porte de plus en plus vers des formes secondaires d'énergie, telles que l'électricité, le gaz et les produits pétroliers raffinés. C'est ainsi que la consommation d'électricité a presque triplé de 1935 à 1955 et que la proportion des huiles minérales, qui ne dépassait pas, en 1935, 6 à 7 % de la consommation, s'élève aujourd'hui aux environs de 20 %.

Ce qui importe davantage, c'est que les six pays deviennent de plus en plus importateurs nets d'énergie. Cela tient à deux raisons : d'une part, la production de houille, qui a constitué et constitue encore aujourd'hui la source la plus importante d'énergie primaire de la Communauté, ne peut suivre le développement de la demande, en partie du fait que les réserves de charbon ne sont pas assez importantes, en partie parce que l'extraction des puits profonds dans nos bassins charbonniers est difficilement adaptable à une demande croissante, enfin parce que le recrutement de la main-d'œuvre est de plus en plus difficile. La seconde raison pour laquelle nous dépendons plus lourdement des importations, c'est

(1) Montant brut de la consommation intérieure = consommation apparente + variation des stocks détenus par les producteurs.

Importations nettes : montant brut de la consommation intérieure moins la production du pays.

(2) Évaluations pour 1936-1937; on n'a pas pu faire de calcul précis en raison des modifications survenues aux frontières depuis cette époque.

que, dans nos pays, les sources d'énergie autres que le charbon n'existent que dans une proportion limitée. Quelques-uns de nos pays disposent de sources d'énergie hydraulique, mais celles dont l'exploitation est rentable ont déjà été largement utilisées. Les gisements de pétrole et de gaz naturels de nos pays ne sont certainement pas sans importance, mais ils ne permettent cependant pas de faire face à la demande croissante. En 1955, les importations d'huiles minérales s'élevaient à environ 103 Mt EC, dont plus de 80 % provenaient du Moyen-Orient. Près de 22 Mt EC de combustibles liquides étaient réexportées sous forme de produits raffinés.

Besoins énergétiques futurs.

4. Les évaluations suivantes des besoins intérieurs, de la production intérieure et des importations nettes reposent sur des études, encore incomplètement publiées, faites par la Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier pour les années 1955 à 1965 (1). En outre, on a procédé pour la période 1965 à 1975 à des prévisions qui, du reste, n'indiquent qu'une tendance générale.

Les évaluations de l'expansion générale de l'économie nationale des pays de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier sont établies sur les hypothèses suivantes : a) la population active sera intégralement employée pendant toute la période considérée et la main-d'œuvre encore inemployée dans certains pays en 1955 sera, en dehors des périodes de chômage saisonnier ou temporaire, absorbée dans l'industrie; b) le taux d'accroissement de la productivité par personne et par an atteindra un niveau élevé, compte tenu d'une certaine réduction de la durée hebdomadaire du travail et d'une extension des vacances annuelles; c) il n'est tenu compte que d'une évolution à long terme.

(1) Ces diverses études sont les suivantes :

a) Rapport du Comité Mixte de la Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier et du Conseil de Ministres des six pays (le premier étant désigné sous le terme de « Comité Mixte ») sur les perspectives et conditions de développement économique général dans les pays de la Communauté (document non encore publié).

b) Rapport du Comité Mixte sur la structure et les tendances de l'économie énergétique dans les pays de la Communauté (document non encore publié).

c) Rapport de la Haute Autorité sur les « Objectifs généraux pour le charbon et l'acier » (document intitulé ci-après « Objectifs généraux »); document publié dans le Rapport général de la Haute Autorité à l'Assemblée, en avril 1957.

D'après ces hypothèses, l'évolution du produit national brut (P.N.B.) est évaluée comme suit :

	1955-1965	1965-1975
Accroissement de la population active (en % du niveau initial)....	6,5	3,4
Taux annuels d'accroissement de productivité (en %).	3,7	2,7 (1)
Taux annuel d'accroissement en P.N.B. (2) (%).	4,3	3,1

5. L'évaluation des besoins d'énergie est obtenue en déterminant le rapport entre les variations des besoins qui se produisent sur une période de temps donnée et les variations correspondantes du produit national brut. Le tableau suivant montre la documentation utilisée et les résultats des évaluations obtenues, selon le cas, par la Haute Autorité ou le Comité Mixte.

Total des besoins d'énergie des Pays d'Euratom

	République Fédérale d'Allemagne (1)	Belgique	France	Italie	Luxem- bourg	Pays- Bas	Six Pays
	<i>Indice du P.N.B.</i>						
1955-1965 (1955 = 100)	155	139	149	163	115	138	152
1965-1975 (1965 = 100)	137,5	127	134	142,5	110,6	126,5	135,5
	<i>Variations de la demande d'énergie par rapport aux variations du P.N.B.</i>						
1955-1965	0,70	0,70	0,90	1,00	0,95	0,90	0,79
1965-1975	0,70	0,75	0,95	1,05	0,95	1,00	0,83

(1) Étant donné que depuis le 1^{er} janvier 1957 le territoire de la Sarre appartient à la République Fédérale d'Allemagne, les chiffres relatifs à la Sarre pour 1955 ont été ajoutés aux chiffres de la République Fédérale.

(Voir suite ci-contre.)

(1) En supposant que, pendant cette période, la durée moyenne du travail soit réduite de 3 % et la productivité totale par heure augmentée de 35 %.

(2) La transition d'un taux élevé d'accroissement pendant la première période décennale à un taux plus faible dans la seconde période est en fait un processus constant et non pas discontinu, comme les chiffres du tableau pourraient le laisser supposer. Par exemple, le taux annuel d'accroissement de productivité à partir de 1965 devrait s'établir aux environs de 3 % ou même un peu au-dessous.

Total des besoins d'énergie des Pays d'Euratom (suite)

	République Fédérale d'Allemagne (1)	Belgique	France	Italie	Luxem- bourg	Pays- Bas	Six Pays
	<i>Indice des besoins en énergie</i>						
1955-1965 (1955 = 100)	138,5	127,3	144,1	163,0	114,2	134,2	141,3
1965-1975 (1965 = 100)	126,2	120,2	132,2	144,6	110,1	126,5	129,8
	<i>Besoins en énergie (2) (3)</i> <i>(Évaluation de la consommation apparente) (Mt EC)</i>						
1955	182	33	107	47	4	27	400
1960	214	38	129	59	4	31	475
1965	252	43	154	76	5	36	566
1970	286	47	178	92	5	40	648
1975	318	51	202	110	5	45	731

(1) Étant donné que depuis le 1^{er} janvier 1957 le territoire de la Sarre appartient à la République Fédérale d'Allemagne, les chiffres relatifs à la Sarre pour 1955 ont été ajoutés aux chiffres de la République Fédérale.

(2) Les chiffres du tableau ci-dessus diffèrent légèrement de ceux qui figurent dans le rapport du Comité Mixte, non encore publié. En dehors des rectifications présentées ultérieurement par les divers pays, les différences proviennent du fait que, dans nos calculs, la production d'énergie hydro-électrique pendant la totalité de la période a été évaluée sur un équivalent de 400 g EC/kWh. Cela correspond à la consommation spécifique de combustible dans les centrales thermiques modernes en 1956.

(3) Pour 1960 et 1970 les chiffres résultent d'une extrapolation.

D'après cette évaluation, les besoins en énergie des six pays pour la période 1955-1965 vont croître chaque année d'environ 3,5 % et, pendant la période 1965-1975, d'environ 2,6 %. Les raisons pour lesquelles nous avons adopté ces taux d'augmentation pour les prochaines années sont les suivantes :

a) Le Comité Mixte estime qu'entre 1955 et 1965 le produit national brut augmentera de 52 % dont 60 % proviendront de l'accroissement de la population et 43 % de l'augmentation de productivité. Toutefois, une telle augmentation de productivité ne peut être réalisée qu'à l'aide d'un approvisionnement plus abondant en énergie, surtout si l'on tient compte de l'aboutissement, au cours des prochaines années, des efforts déployés dans tous les pays pour réduire les heures de travail.

b) L'expansion de l'économie de chacun des pays sera au premier chef la conséquence de l'augmentation que l'on prévoit dans le secteur de la production industrielle. A titre d'approximation générale, on peut considérer qu'une augmentation d'environ 60 % de la production industrielle correspondra à une augmentation de 50 % du produit national brut. Les branches de l'industrie, telles que les produits chimiques qui sont de grands consommateurs d'énergie, vont jouer un rôle d'une importance croissante dans ce programme.

c) L'expansion s'accompagne d'une augmentation croissante de la population urbaine. Il en résulte une augmentation de la consommation domestique d'énergie.

d) L'agriculture entre dans une ère de mécanisation et va devenir un consommateur d'énergie relativement plus important qu'elle ne l'était jusqu'à présent.

En règle générale, la situation énergétique des six pays tend à se rapprocher de la situation existant aux États-Unis ainsi qu'au Royaume-Uni, dont le trait distinctif est le taux élevé de consommation par tête d'habitant.

Augmentation de la production intérieure d'énergie.

6. Une évaluation de la production intérieure d'énergie primaire est difficile à établir, en raison des divergences que l'on constate dans l'évaluation, d'une part, des réserves, lorsqu'il s'agit de pétrole et de gaz naturel, et, d'autre part, des conditions futures de production, lorsqu'il s'agit du charbon.

Pour le charbon, nous avons adopté en premier lieu les évaluations du Comité des « Objectifs généraux », qui sont fondées sur une hypothèse optimiste. Celle-ci fait entrer en ligne de compte tous les gisements existant actuellement et susceptibles d'être exploités, et suppose que malgré la tendance à la réduction de la semaine de travail et à l'augmentation des vacances annuelles, le nombre de jours de production s'élèvera à l'avenir à trois cents jours par an; en outre, on considère dans cette hypothèse que la production par homme et par équipe de fond, pourra augmenter de 30 % en vingt ans. Les chiffres auxquels aboutissent ces évaluations indiquent la capacité maximum de production, si l'on met en exploitation une trentaine de nouveaux puits.

Dans une évaluation prudente, nous avons supposé qu'il ne sera

pas possible de compenser la réduction prévue de la semaine de travail et que la tendance actuelle se traduira par une diminution de trois cents à deux cent soixante du nombre de jours de travail effectif dans une année.

Pour le lignite, on considère qu'on procédera à une exploitation maximum des gisements actuels et que toute la production supplémentaire sera utilisée à l'approvisionnement des centrales électriques (en particulier dans le cas du lignite de Rhénanie).

Quant aux ressources hydro-électriques, l'hypothèse adoptée est celle d'une exploitation maximum.

Les évaluations de l'avenir du pétrole et du gaz naturel sont moins sûres; en l'occurrence, la documentation émanant des divers pays intéressés a été adoptée. La production future des ressources pétrolifères du Sahara est reprise ici, du point de vue statistique, dans les importations des six pays.

Enfin, le Comité Mixte a donné une évaluation du développement probable de la production intérieure, qui se situe plus ou moins à mi-chemin entre l'hypothèse optimiste et l'hypothèse prudente. Nous avons également adopté ces derniers chiffres, sous réserve cependant des variations provenant de l'utilisation maximum des ressources hydrauliques disponibles (1).

Le tableau ci-après donne les résultats des calculs. Les chiffres de chacun des pays figurent dans les tableaux situés à la fin de cette annexe

Production d'énergie primaire dans les Pays d'Euratom

En millions de tonnes d'équivalent Charbon (Mt EC)

	1955	1960	1965	1970	1975
<i>Estimation optimiste</i>					
Charbon.....	243,3	262	285	300	320
Lignite.....	28,5	32	40	45	49
Pétrole.....	7,5	24	40	55	71
Gaz naturel.....	5,5				
Electricité hydraulique.....	30,9	35	45	90	56
Total.....	315,7	353	410	490	496

(Voir suite au verso.)

(1) Il s'agit là d'un des facteurs fondamentaux déterminant l'ampleur d'un programme d'énergie nucléaire (cf. Annexe III).

Production d'énergie primaire dans les pays d'Euratom (suite)

	1955	1960	1965	1970	1975
<i>Estimation prudente</i>					
Charbon.....	243,3	245	250	262	277
Lignite.....	28,5	32	40	45	49
Pétrole.....	7,5	23	34	36	43
Gaz naturel.....	5,5				
Electricité hydraulique	30,9	35	45	50	56
Total	315,7	335	369	393	425
<i>Estimation de la production intérieure probable</i>					
Charbon.....	243,3	254	265	279	293
Lignite.....	28,5	32	40	45	49
Pétrole.....	7,5	13	19	24	29
Gaz naturel.....	5,5	10	15	18	22
Electricité hydraulique	30,9	35	45	50	56
Total	315,7	344	384	416	449

7. En raison de la diminution de valeur des gisements et de l'emploi croissant des procédés mécaniques d'extraction, le charbon obtenu contiendra une teneur de plus en plus forte de cendres. De même, à la suite de la préparation plus intense du charbon tout-venant, la proportion de charbon de qualité moyenne des mixtes et des schlamms va augmenter. Les poussières à haute teneur en cendres, les déchets de lavage et les schlamms sont tous rangés dans la catégorie de « charbon de qualité inférieure ».

Production de charbon de qualité inférieure en 1955

	Tonnage réel (en millions de tonnes)	Pourcentage sur la production totale de charbon
République Fédérale d'Allemagne	18,0	12
Belgique	8,3	28
France	11,6	21
Pays-Bas	1,5	12
	<u>39,4</u>	<u>15,7</u>

En raison de sa forte proportion de cendres et de ses autres caractéristiques défavorables, le charbon de qualité inférieure est impropre aux transports à longue distance; il doit donc être consommé dans les centrales minières (sa valeur calorifique étant estimée à 4 300 kcal/kg contre 7 000 kcal/kg pour le charbon ordinaire). Cette utilisation correspond d'ailleurs aux efforts actuellement déployés pour réaliser l'électrification

des procédés d'extraction du charbon. Le Comité des « Objectifs généraux » a évalué la proportion de charbon de qualité inférieure dans la production future en considérant que, tout particulièrement dans les mines de charbon d'Allemagne occidentale, les couches qui ont une haute teneur de charbon de qualité inférieure feront dorénavant l'objet d'une exploitation plus intensive. Si les pourcentages résultant de l'évaluation de ce comité sont appliqués aux chiffres de production probable, les quantités de charbon de qualité inférieure extrait des mines de charbon seront les suivantes :

	Total de la production probable de charbon (Mt)	Production probable de charbon de qualité inférieure		
		% de la production totale	Tonnage réel (Mt)	Converti en EC (Mt)
1955	243	15,7	39,4	23,3
1960	254	16,3	41,4	24,0
1965	265	17,4	46,1	27,7
1970	279	17,5	48,5	29,1
1975	293	17,6	51,6	31,0

On ne peut pas établir un rapport direct entre ces chiffres et la production d'électricité dans les centrales minières (indiquées à l'annexe IV, paragraphe 4) parce qu'une partie du charbon de qualité inférieure est employée à d'autres usages.

Importations nettes des pays d'Euratom.

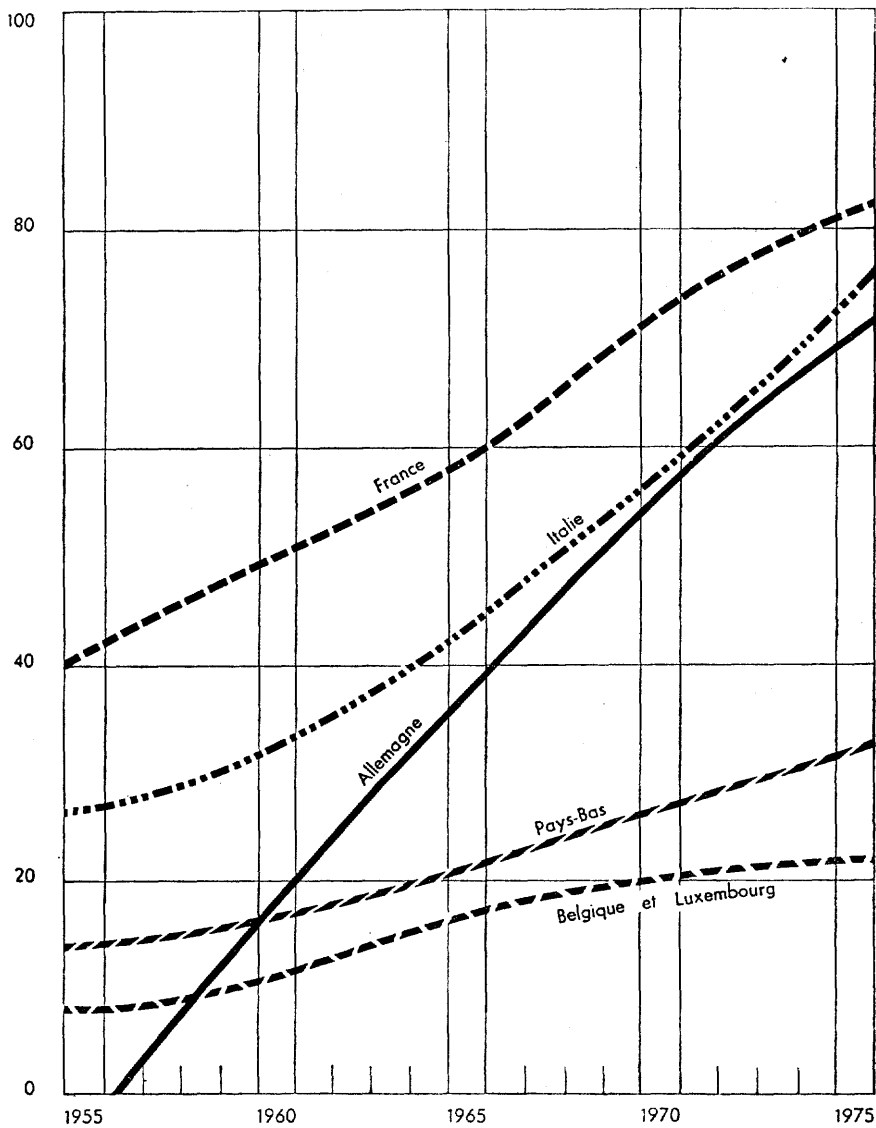
8. Les importations nettes des six pays, c'est-à-dire la différence entre la consommation et la production intérieures, seront, même si l'on adopte l'hypothèse optimiste de production, presque doublées en 1965 et plus que triplées en 1975, par rapport aux chiffres de 1955.

	Importations nettes				
	1955	1960	1965	1970	1975
Estimation optimiste de la production intérieure.					
Mt EC	84,3	122	156	193	235
%	21,0	26,7	27,6	30,0	32,2
Estimation prudente de la production intérieure.					
Mt EC	84,3	140	197	250	306
%	21,0	29,5	34,8	38,9	41,9

Millions
de tonnes
par an
équivalent
charbon

GRAPHIQUE C

Importations nettes d'énergie des différents pays.



Les chiffres ainsi calculés englobent une série d'éventualités et de facteurs d'incertitude qui ne feront probablement que croître avec l'extension de la période examinée. Pour prévoir la tendance à long terme, il paraît opportun de prendre comme base la variation *probable* de la production (cf. paragraphe 6).

Tendances probables des importations nettes

	1955	1960	1965	1970	1975
Consommation prévue (Mt EC)	400	475	566	648	731
Production intérieure (Mt EC)	316	344	384	416	449
Importations nettes (Mt EC)	84	131	182	232	282
Importations nettes (%)	21,0	27,5	32,2	35,9	38,6

Sur cette base d'évaluation, les importations nettes d'énergie dans les pays de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier représentent actuellement, semble-t-il, environ 100 Mt EC, soit 23 % de la consommation intérieure; dans dix ans, elles représenteront approximativement 200 Mt EC, soit 33 % de la consommation intérieure prévue; dans vingt ans elles seront autour de 300 Mt EC, soit environ 40 % de la consommation intérieure prévue — ces chiffres ne faisant pas état, bien entendu, d'une intervention de l'énergie nucléaire (voir graphiques A, page 22, et C, page 60).

La part occupée par les importations nettes dans le total des besoins (consommation prévue) varie d'un pays à l'autre d'après le niveau de sa production. Au cours des dix ou vingt prochaines années, le degré auquel chacun des six pays dépendra de ses importations sera modifié. Le changement de beaucoup le plus profond sera celui qui affectera la République Fédérale d'Allemagne dont la balance des comptes est actuellement en équilibre stable. Cependant, en 1965, la République Fédérale sera probablement tributaire d'importations d'un montant net de 38 Mt EC, soit 15 % du total de ses besoins, importations qui, en 1975, pourraient s'élever à 72 Mt EC environ, soit près du quart de sa consommation. Comme le montre le graphique D (page 67), la détérioration de la balance des comptes, au point de vue des approvisionnements en énergie, progresse dans ce pays plus rapidement que dans aucun autre pays d'Eura-

tom. Les chiffres détaillés du bilan énergétique de chaque pays figurent à la fin de la présente annexe.

Comparaison avec les évaluations de l'O.E.C.E. (1).

9. Nos évaluations des besoins et de la production d'énergie diffèrent à un certain degré des évaluations publiées dans le rapport de l'O.E.C.E. sur « Les besoins en énergie de l'Europe », qui sont les suivantes :

	1955	1960	1975
	—	—	—
Maximum	100	118	175
Moyenne	100	115	165
Minimum.....	100	112	150

C'est ainsi que le rapport de l'O.E.C.E. prévoit une augmentation annuelle de 3 % pour la période 1955-1975, d'après l'évaluation maximum, et de 2,5 % d'après l'évaluation moyenne. Le Comité Mixte évalue le taux annuel d'augmentation pour les pays de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier à 3 % pour la période 1955-1975. Les différences d'évaluations portent sur la première période. Alors que l'O.E.C.E. suppose un taux annuel de 3 % pour la période 1955-1960, le Comité Mixte fixe ce taux à 3,5 % pour la période 1955-1965.

Le rapport de l'O.E.C.E. ne donne pas une documentation complète pour les divers pays, si bien qu'on ne peut procéder qu'à une comparaison indirecte, en soustrayant les montants de l'évaluation distincte faite pour la Grande-Bretagne et de celle que nous donnons pour les six pays, de l'évaluation maximum donnée par l'O.E.C.E., pour voir si le solde subsistant pour les autres pays O.E.C.E. semble raisonnable. Pour les besoins d'énergie, cette opération donne les chiffres suivants :

	1955	1960	1975
	—	—	—
	(Mt EC)		
Évaluation O.E.C.E. pour tous les pays.....	730	860	1 300
Évaluation pour la Grande-Bretagne (2).....	250	275	363
Évaluation actuelle pour les six pays	400	475	731
Autres pays de l'O.E.C.E. (par différence).....	80	110	206

(1) « Besoins croissants d'énergie de l'Europe. Comment les satisfaire? » O.E.C.E. Rapport publié par un groupe d'experts, mai 1956.

(2) G. H. Daniel « Perspectives énergétiques de la Grande-Bretagne »; Étude du Vicomte Nuffield, 15 décembre 1955.

Pour la production intérieure d'énergie primaire, la même méthode donne les chiffres suivants :

	1955	1960	1975
	(Mt EC)		
Évaluation O.E.C.E. pour tous les pays.....	584	645	755
Évaluation pour la Grande-Bretagne (1).....	222	230	255 (2)
Évaluation actuelle pour les six pays	316	344	449
Autres pays de l'O.E.C.E. (par différence).....	46	71	51

Il ressort de ces tableaux que l'évaluation maximum O.E.C.E. correspond sensiblement à celle du présent rapport lorsqu'il s'agit des besoins, mais reste beaucoup plus prudente lorsqu'il s'agit de la production nationale.

Demande de différents types spécifiques d'énergie.

10. Dans une certaine mesure, la demande d'énergie porte sur des qualités spécifiquement déterminées : les fours à coke ont besoin de charbon; les automobiles et les avions ont besoin de combustible liquide. Cependant, la plus grande partie de la demande d'énergie peut être satisfaite ou par du charbon ou par du pétrole. Dans ce domaine, qui comprend les besoins de chauffage industriels et domestiques et la production d'électricité thermique, les divers types d'énergie se concurrencent les uns les autres.

Le mémorandum de la Haute Autorité définissant les « Objectifs généraux pour le Charbon et l'Acier » et les études du Comité Mixte sur l'économie de l'énergie donnent, sans faire entrer en ligne de compte l'énergie nucléaire, des évaluations par catégorie des divers besoins en énergie qui figurent dans le tableau ci-après. En l'occurrence, la demande des consommateurs d'électricité est considérée comme une demande d'énergie spécifiquement déterminée.

(1) G. H. Daniel « Perspectives énergétiques de la Grande-Bretagne »; Étude du Vicomte Nuffield, 15 décembre 1955.

(2) G. H. Daniel (*op. cit.*) ne donne aucune évaluation pour 1975; le chiffre cité dans ce tableau est celui qu'il donne pour 1970.

Types d'énergie requis pour les besoins spécifiques des consommateurs

	1955		1965		1975	
	(Mt EC)	%	(Mt EC)	%	(Mt EC)	%
<i>Besoins spécifiques :</i>						
Électricité (1).....	92	23,0	161	28,5	253	34,5
Charbon (2)	114	28,4	144	25,4	168	23,0
Pétrole (3)	21	5,3	41	7,2	63	8,6
<i>Besoins non spécifiques.</i>	173	43,3	220	38,9	247	33,9
Total des besoins	400	100,0	566	100,0	731	100,0

Les déductions suivantes peuvent être tirées de ce tableau, qui ne donne que des indications sommaires des besoins :

a) la part de l'électricité dans le montant total d'énergie consommée aura augmenté de 50 % en 1975;

b) on estime que les besoins spécifiques de charbon vont augmenter de 54 Mt EC d'ici 1975. La part du charbon dans le montant total d'énergie consommée déclinera, mais en valeur absolue son augmentation est au moins aussi grande que celle qui peut être prévue dans la production de charbon;

c) on estime que les besoins non spécifiques s'élèveront de 74 Mt EC de 1955 à 1975;

d) l'accroissement global de la consommation non spécifique et des besoins non spécifiques des centrales électriques devront être comblés par un supplément d'importation, dans la mesure où l'énergie nucléaire ne sera pas intervenue.

La structure future de la consommation dans l'économie énergétique des six pays sera donc déterminée essentiellement par le rapport entre les prix du charbon importé et du pétrole importé à l'état brut ou sous forme de combustible liquide.

(1) La demande d'électricité, en tant que forme secondaire d'énergie, présente un caractère spécifique, mais plus de la moitié de cette électricité est produite par les « autres centrales thermiques », dont la consommation d'énergie primaire peut être considérée comme n'étant pas spécifique. (Pour les chiffres, voir les tableaux de la fin de l'Annexe IV.)

(2) Besoins en fines à coke des fours à coke et des usines à gaz + consommation propre des puits de mines.

(3) Pétrole et huile diesel consommés par les véhicules routiers et le trafic aérien.

Coûts des combustibles importés.

11. Si les six pays doivent dépendre de plus en plus des importations pour leur approvisionnement en énergie, ce fait ne saurait manquer d'avoir une répercussion sur le coût de nos importations en énergie. La tendance ascendante des prix ainsi suscitée deviendra d'autant plus sensible que les autres pays gros consommateurs se trouveront obligés de compter de plus en plus sur des importations d'énergie. La Grande-Bretagne devrait — sans son programme d'énergie nucléaire — augmenter ses importations d'énergie de 38 Mt EC à 108 Mt EC en 1970. Il n'est pas jusqu'aux États-Unis qui ne devront, dans une proportion croissante, couvrir leurs besoins de pétrole au moyen d'importations.

La Communauté des six pays est un très gros importateur d'énergie, mais en même temps un important exportateur d'énergie raffinée, et elle tire des bénéfices tout à fait substantiels de l'industrie du raffinage. En 1955, les importations brutes d'énergie en provenance des pays tiers s'élevaient à près de 14,3 % du total des produits importés et au cinquième des importations de matières premières et de produits alimentaires. Ces proportions vont croître rapidement; un trait distinctif de l'évolution future sera la modification qui se produira dans la composition des importations, en conséquence de l'augmentation du volume de l'énergie importée.

Échanges d'énergie entre les pays d'Euratom et les pays tiers en 1955

	Quantités (Mt EC)	Valeurs (\$ m)
<i>Total des importations :</i>		
Charbon.....	22,9	
Pétrole brut	92,8	
Huile minérale raffinée	9,6	
Total	125,3	1 946 (\$ 15,8/t)
<i>Total des exportations :</i>		
Combustible solide (coke, etc.)	18,9	
Combustible liquide (huile minérale raffinée)	21,7	895 (\$ 23,9/t)
Total	40,6	
<i>Solde :</i>		
Combustible solide	4,0	
Combustible liquide	80,7	1 051
Total	84,7	

Les évaluations du commerce extérieur pour l'exercice 1955 ne sauraient être considérées comme significatives pour l'avenir, car elles ne reflètent ni l'augmentation des demandes d'importation qui s'est produite depuis lors, ni l'accroissement des besoins à prévoir dans l'avenir. Au cours des six à neuf premiers mois de 1956, les prix d'importation, par tonne EC, étaient plus élevés de \$ 2,5 que les chiffres correspondants de 1955.

Il existe un rapport entre les prix de charbon et de fuel importés, car ils sont en concurrence directe sur la côte est des États-Unis. C'est ainsi qu'en 1956, les prix fob du charbon étaient de \$ 12 par tonne, et pour l'huile de soute C (convertie en EC) d'environ \$ 10 par tonne; lorsqu'on tient compte des augmentations ultérieures des prix du pétrole et d'une certaine amélioration de la stabilité du marché du charbon, on peut considérer que les prix fob représentent \$ 12 par tonne pour le charbon et \$ 12 par tonne pour le pétrole. Il se peut que dans l'avenir la brusque ascension prévue pour les importations de pétrole aux États-Unis vienne à modifier ce rapport.

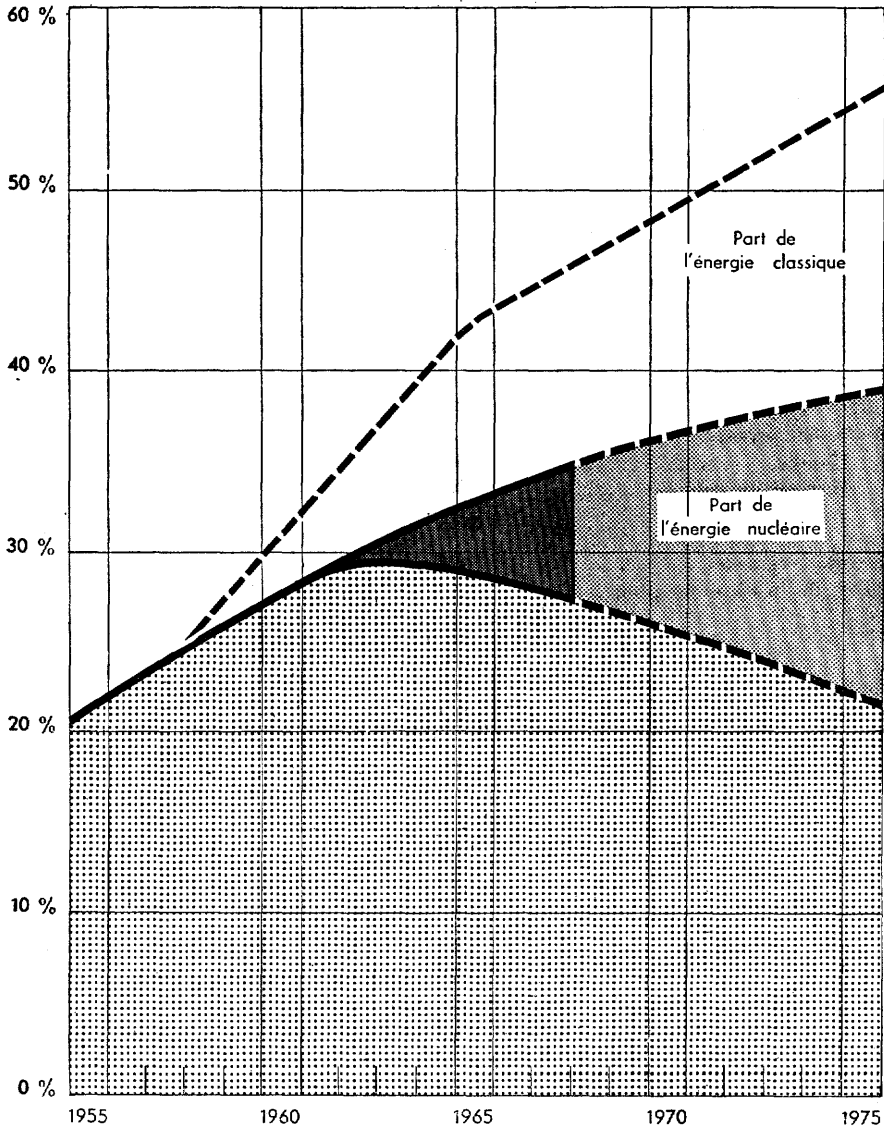
On peut considérer qu'à long terme les taux de fret du charbon envoyé par les États-Unis en Europe vont se stabiliser aux environs de \$ 8 par tonne, le chiffre correspondant pour le pétrole étant de \$ 5 par tonne (EC). Cela donnerait des prix caf de \$ 20 par tonne pour le charbon et \$ 16 par tonne pour le pétrole, auxquels on doit ajouter des frais de manutention et de transport terrestre d'environ \$ 2 par tonne, ce qui donne des prix de \$ 22 par tonne pour le charbon et \$ 18 par tonne pour le pétrole livrés aux consommateurs résidant à proximité des ports. Dans la pratique, cette différence pourrait tendre à diminuer. Tout en nous rendant pleinement compte des éléments d'incertitude contenus dans de telles prévisions, nous pensons que, pour l'objet du présent rapport, il est raisonnable d'adopter un prix de livraison de \$ 20 par tonne (EC) pour les importations d'énergie des six pays.

Une demande spécifique de fines à coke américaines et les préférences traditionnelles ou techniques de certains groupes de consommateurs, qui joueraient même dans l'avenir, pourraient aboutir à une augmentation appréciable des importations de charbon. Mais on doit conclure de la comparaison des prix effectuée ci-dessus que l'augmentation future d'importation d'énergie des six pays tendra dans une très grande mesure à jouer sous forme de pétrole plutôt que sous forme de charbon.

GRAPHIQUE D

Limitation des importations d'énergie grâce à l'énergie nucléaire
et au développement des ressources classiques.

(En % du total des besoins d'énergie)



Bilans énergétiques des divers pays (1)
En millions de tonnes équivalent charbon (Mt EC)

	1955	1960	1965	1970	1975
RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE					
<i>Consommation apparente</i>	181,7	214	252	286	318
<i>Production prévue :</i>					
Houille	148,8	155	163	173	184
Lignite	27,2	30	36	40	46
Pétrole	4,5	5	6	6	6
Gaz naturel et tourbe	1,0	1	2	2	3
Énergie hydraulique	4,8	5	7	7	7
Total	186,3	196	214	228	246
<i>Importations nettes</i>	4,5	18	38	58	72
<i>En % de la consommation</i>	2,5	8,4	15,1	20,2	22,6
BELGIQUE					
<i>Consommation d'après les évaluations</i>	33,6	38	43	47	51
<i>Production prévue :</i>					
Houille	29,4	30	31	32	34
Énergie hydraulique	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	29,5	30	31	32	34
<i>Importations nettes</i>	4,2	8,0	12	15	17
<i>En % de la consommation</i>	12,5	21,1	27,9	31,9	33,4
FRANCE					
<i>Consommation d'après les évaluations</i>	107,0	129	154	178	202
<i>Production prévue :</i>					
Houille	52,2	55	58	60	62
Lignite	1,2	2	2	2	2
Pétrole (2)	1,3	5	9	12	16
Gaz naturel	0,4	3	6	9	12
Énergie hydraulique	10,2	14	20	23	28
Total	65,3	79	95	106	120
<i>Importations nettes</i>	41,7	50	59	72	82
<i>En % de la consommation</i>	39,0	38,8	38,3	40,4	40,6

(1) Les chiffres proviennent essentiellement de documentation des divers pays. Dans chaque cas, on a considéré une utilisation maximum des ressources hydrauliques.

(2) L'évaluation des chiffres de consommation intérieure ne tient pas compte de la production future de pétrole au Sahara.

Bilans énergétiques des divers pays (1) (suite)
En millions de tonnes équivalent charbon (Mt EC)

	1955	1960	1965	1970	1975
	—	—	—	—	—
ITALIE					
<i>Consommation d'après les évaluations</i>	46,4	59	76	92	110
<i>Production prévue :</i>					
Houille	1	1	1	1	1
Lignite	0,2	0,6	1	1	1
Pétrole	0,3	1,4	3	4	5
Gaz naturel	4,3	7	8	8	8
Énergie hydraulique et géothermique	13	16	19	20	21
Total	18,8	26	32	34	36
<i>Importations nettes</i>	27,6	33	44	58	74
<i>En % de la consommation</i>	59,5	56,0	57,9	63,0	67,3
LUXEMBOURG					
<i>Consommation d'après les évaluations</i>	4	4	5	5	5
<i>Production prévue :</i>					
Énergie hydraulique	0	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>Importations nettes</i>	4	3,7	4,7	4,7	4,7
<i>En % de la consommation</i>	100	92,5	94,0	94,0	94,0
PAYS-BAS					
<i>Consommation d'après les évaluations</i>	26,7	31	36	40	45
<i>Production prévue :</i>					
Houille	12,0	12	12	12	12
Pétrole	1,5	2	2	1,5	1,5
Gaz naturel	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
Total	13,7	14,3	14,3	13,9	13,9
<i>Importations nettes</i>	14	16,7	21,7	26,1	31,1
<i>En % de la consommation</i>	52,4	53,9	60,2	65,2	69,1

(1) Les chiffres proviennent essentiellement de documentation des divers pays. Dans chaque cas, on a considéré une utilisation maximum des ressources hydrauliques.

ANNEXE II

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

1. Jusqu'à une époque récente, la rapidité du développement nucléaire et la publicité qui a accompagné son remarquable succès ont difficilement permis, aux experts comme aux profanes, de formuler un jugement objectif sur les problèmes et les dépenses probables afférentes à l'installation des premières centrales nucléaires. Mais, actuellement, une douzaine ou davantage de centrales et de prototypes d'installations d'énergie nucléaire sont en cours de construction ou à l'état de projet, à un stade très avancé; aussi est-il possible de procéder avec une certaine confiance à une évaluation des possibilités de l'énergie nucléaire, au point de vue économique.

Les voies les plus favorables n'ont pas encore été fermement tracées. Les experts sont cependant certains que des progrès radicaux seront réalisés au cours des dix prochaines années. Dès maintenant, l'électricité nucléaire est produite commercialement. Étant données les perspectives si favorables qui s'ouvrent à nous, tout vaste programme d'énergie nucléaire doit être conçu avec une grande souplesse et poursuivre la mise au point des problèmes à courte échéance et à long terme, en liaison étroite avec la réalisation des applications commerciales. Pour les premières étapes de ce programme, on dispose de deux catégories de réacteurs, qui vont bénéficier d'améliorations considérables au cours des dix prochaines années.

(a) PWR/BWR : Le réacteur américain à eau sous pression prototype PWR, installé à Shippingport (près de Pittsburgh) doit commencer à fonctionner dans six mois environ, et plusieurs unités améliorées, dont la capacité se situe aux environs de 140 MWe (1), sont en cours de construction ou à l'état de plans. Ce type de réacteur

(1) L'abréviation MWe est employée pour distinguer la puissance électrique nette des installations nucléaires de leur puissance calorifique, qui est souvent exprimée en mégawatts.

équipe le sous-marin *Nautilus*; de ce fait, il a pu bénéficier d'une grande expérience; de nombreux problèmes technologiques ont pu être résolus. La version adaptée aux besoins civils utilise comme combustible de l'uranium ayant une concentration moyenne d'U 235 représentant deux à quatre fois celle de l'uranium naturel. Le réacteur à eau bouillante BWR est une variante du PWR, qui évite la haute pression s'exerçant sur les parois de ce dernier; selon la destination exacte, il permet d'utiliser directement la vapeur dans les turbines, ou bien de la faire passer par une chaudière intermédiaire. La disposition des éléments de son combustible et la technologie de son circuit sont très voisines de celles du PWR, et l'expérience réalisée à Argonne avec un prototype de 5 MWe est très encourageante. Une puissante unité (180 MWe) est actuellement en cours de construction.

Un certain nombre de considérations d'ordre technique et financier vont déterminer la teneur en vapeur de l'eau sortant du noyau et la proportion de chaleur transférée aux circuits primaire et secondaire de vapeur. Il se pourrait que les méthodes adoptées pour réaliser le PWR et le BWR conduisent à les combiner dans une phase ultérieure.

- (b) PIPPA : Le réacteur britannique PIPPA de Calder Hall à refroidissement au gaz a fonctionné avec le plus grand succès, au cours des derniers six mois, et plusieurs centrales (à deux réacteurs) de 300 MWe sont en cours de construction pour le compte des entreprises productrices d'électricité. Ce type a été adopté dans le Royaume-Uni, parce qu'il utilise dans de grandes proportions des procédés de construction mécanique classiques, tout en offrant de grandes possibilités d'amélioration future. Il est capable de fonctionner avec de l'uranium naturel, ce qui évite de puiser dans l'uranium enrichi en U 235; de plus, il se prête à la production, pour des fins militaires, de plutonium avec de l'énergie comme produit secondaire (bien que cela ne joue plus pour les centrales commerciales).

Deux autres types pourront être utilisés dans trois ou quatre ans pour des réalisations à l'échelle industrielle :

- (a) PIPPA ENRICHI : Un réacteur au graphite avec combustible modérément enrichi et refroidissement au gaz représente évidemment le prochain stade pour ce réacteur, mais il n'a pas encore fait l'objet

de plans détaillés. Un enrichissement modéré permet d'obtenir une irradiation supérieure du combustible; en outre, à la différence de l'uranium naturel, il peut comporter des revêtements métalliques (en acier inoxydable, par exemple) et des alliages capables de supporter une température plus élevée. Cela doit permettre d'accroître le taux de production et de rendement et de réduire proportionnellement les frais d'investissement et de fonctionnement.

- (b) HWR : Le type HWR à eau lourde est parvenu à une technologie de base extrêmement poussée. Cela tient en grande partie aux travaux effectués par le Canada sur la rivière Chalk et à sa parenté étroite avec le PWR. La mise au point n'est pas encore aussi avancée, mais plusieurs prototypes font actuellement l'objet de travaux aux États-Unis et au Canada. Ce réacteur modéré à eau lourde donne la possibilité d'utiliser comme combustible de l'uranium naturel, à très haut degré, sans aucune remise en circuit; en outre, si l'agent de refroidissement peut être contenu dans des gaines au lieu d'être enfermé obligatoirement dans une enveloppe à haute pression, des unités à très grande capacité pourront être construites.

2. Les PWR/BWR et le PIPPA sont les seuls modèles immédiatement utilisables à l'échelle industrielle; pour de premières réalisations, leurs coûts et leurs aléas paraissent, selon toute probabilité, tout à fait comparables. Les avantages en puissance et les perspectives de développement de chacun d'eux sont tels qu'il est important d'entreprendre la construction de grandes usines des deux catégories. Mais les réacteurs de puissance dont l'Europe a besoin diffèrent, sur plusieurs points importants, de ceux qui existent aux États-Unis et au Royaume-Uni. Il est indispensable d'examiner d'urgence les perspectives d'évolution de ces modèles pour les adapter aux besoins de l'Europe, qu'il s'agisse des méthodes d'approvisionnement en combustible avec toutes leurs implications, ou de la question fondamentale de réduction des coûts et de régularité de fonctionnement. Cela pourrait entraîner, au cours des prochaines années, l'adjonction de systèmes à eau lourde, qui constitueront une troisième catégorie essentielle, une fois mis au point, et la mise en chantier d'un modèle du type PIPPA bénéficiant d'un enrichissement optimum en U 235. Ces deux sortes de réacteurs, en effet, offrent la perspective de cycles de combustion favorables, et ont des normes de construction tout à fait précises, qui doivent entraîner des réductions de coûts appréciables. Il est aussi très

important de mettre au point des procédés permettant d'utiliser le plutonium comme combustible dans les réacteurs de puissance, afin de diminuer les besoins en uranium enrichi.

3. Il existe d'autres types de réacteurs qui ne paraissent pas devoir parvenir à des prix de revient avantageux dans un proche avenir, ou qui ont encore à parcourir une période de développement longue et peut-être incertaine. Ce sont notamment les réacteurs au sodium-graphite, et à refroidissement (et modérateur) organiques, les réacteurs régénérateurs à plutonium rapide, les réacteurs aqueux homogènes, les réacteurs à combustible de métal fondu, enfin les réacteurs à refroidissement au gaz à haute température. Certains de ces types offrent des perspectives particulièrement intéressantes à longue échéance, lorsque leurs divers problèmes de mise au point auront été résolus.

Des travaux très poussés sont déjà en cours d'exécution dans certains de nos pays, tant sur les premiers types de réacteurs réalisés que sur ceux dont les perspectives à long terme sont intéressantes. C'est ainsi que la France a terminé depuis 1948 la construction du réacteur G 1 de Marcoule et de cinq réacteurs expérimentaux; elle construit actuellement à l'échelle industrielle trois réacteurs de puissance à refroidissement au gaz, dont deux à Marcoule et un à Chinon, qui vont apporter au réseau E.D.F. un total de 120 MWe; elle élabore enfin un vaste programme dont la réalisation viendra augmenter cette capacité. L'Italie, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Belgique entreprennent l'installation de réacteurs de type PWR/BWR employant comme réfrigérant de l'eau légère ou lourde. Enfin, cinq de nos pays ont des programmes de développement d'énergie atomique, à divers degrés de perfectionnement, comprenant l'étude de certains types perfectionnés tels que des réacteurs homogènes, des réacteurs régénérateurs à neutrons rapides, des réacteurs à haute température et refroidissement au gaz, etc.

Coûts nucléaires.

4. Lorsqu'on examine le coût de l'énergie nucléaire, il est important de définir exactement les termes qu'on emploie : une installation qui se trouve actuellement au stade d'élaboration des plans sera terminée dans trois à cinq ans et, à partir de ce moment, pourra fonctionner pendant vingt ans ou plus longtemps encore. Le coût de fonctionnement sera plus élevé pendant la période initiale qu'une fois réalisées les conditions de

fonctionnement stable, mais on peut s'attendre que cette phase initiale ne dure qu'un ou deux ans. Par la suite, le coût va continuer à décroître lentement, à mesure que l'on réduira les coûts de fabrication des éléments du combustible et qu'on améliorera le cycle d'irradiation, même dans un réacteur déjà construit. Enfin, les frais d'entretien subiront une hausse qui mettra fin à sa durée utile d'existence. Dans ces conditions, il s'agit d'une période d'une trentaine d'années peut-être à partir du moment où les plans auront été mis à l'étude, et au cours des vingt-cinq dernières années, le coût de fonctionnement variera du maximum, à la période de mise en marche, jusqu'à la limite inférieure réalisée grâce aux améliorations du cycle de combustion. Par conséquent, si l'on considère par exemple, des installations nucléaires terminées en 1965, pour les comparer, sur la même période, avec des installations classiques, on doit en réalité établir une comparaison entre un coût moyen de fonctionnement de l'installation nucléaire pendant toute sa durée utile d'existence et le coût moyen d'une installation classique, établi sur la même base. Lorsqu'on parle de coûts de fonctionnement, c'est habituellement à une comparaison de cet ordre que l'on pense; et telle est la méthode qui a été adoptée dans les calculs ci-après : dans le graphique B (page 40), on a considéré, à la date effective de mise en marche de l'installation, son prix moyen de fonctionnement pendant toute sa durée utile d'existence. Il y a là un élément particulièrement significatif, lorsqu'on fait jouer sur toute la durée utile d'existence de l'un et l'autre types, l'augmentation du coût des combustibles classiques et la diminution prévue du coût des combustibles nucléaires.

Les divers rendements, et les évaluations du coût de l'électricité produite qui figurent dans les tableaux ci-après, se réfèrent à trois projets concrets de production d'énergie, faisant appel à de nouveaux types de réacteurs actuellement prêts à être exploités commercialement : le PWR, le BWR et le PIPPA. Ces tableaux sont établis d'après les meilleures sources disponibles. Les principaux éléments d'incertitude, au cours des deux ou trois prochaines années, portent sur les dépenses initiales de construction de l'installation et sur la consommation de combustible; les chiffres publiés dans les documents que nous avons utilisés représentent les objectifs que se sont assignés les ingénieurs qui ont conçu l'installation; mais il peut arriver que le premier réacteur construit ou la première série d'éléments de combustible restent en-deçà de ces objectifs.

Ces évaluations *ne s'appliquent pas* à de petites installations, pour lesquelles les frais d'investissement par kW et le prix de l'électricité produite sont plus élevés.

Caractéristiques de divers réacteurs

	PWR (a) (Yankee)	BWR (b) (Dresden)	PIPPA (c) (Hunterston)
Évaluation de l'énergie thermique totale (MW).....	480	627	530
Production brute d'électricité (MWe).....	143	192	168
Puissance nette d'électricité (MWe).....	134	180	150
Rendement thermique total (%).....	27,9	28,7	28,4
Pression de vapeur (kg/cm ²)	36,6	66,6/33,5 (d)	41,5/11,2 (d)
Puissance spécifique (MW chaleur/tonne U).	19,7	11,5	2,1
Combustible dans le réacteur (tonnes U)..	24,4	54,5	251
Charge totale de combustible (tonnes U) (e).	51	82	310
Teneur en U 235 de combustible frais (kg/tonne U)	26,0	15,0	7,1
Taux de combustion du combustible (MWD par tonne) (f).....	8 000	10 000	3 000
Teneur en U 235 de combustible consommé (kg/tonne U)	19,0	5,5	4,4
Facteur de charge (%) (g)	80	80	80
Approvisionnement en combustible (tonnes U/année).....	17,5	18,3	51,5
Production totale de plutonium (kg/an)...	85	100	93
Forme du combustible	{ Tube d'acier inoxydable UO ₂	{ Tube de zirconium UO ₂	{ Gaine de magnésium U métal
Coût d'investissement de l'installation (h) (\$ M.)	39,2	45,0	52,5
Intérêts pendant la construction (\$ M.)...	5,9	6,8	7,9
Coût total d'investissement (\$ M.).....	45,1	51,8	60,4
Coût d'investissement au kW installé (\$/kW)	340	290	400

NOTES

(a) Voir document *A.S.M.E.*, No. 56-A-166 : « The Yankee atomic electric plant » (Les coûts d'investissement ont été rectifiés d'après des communications d'ordre privé).

(b) Voir document *A.S.M.E.*, No. 56-A-169 : « The Dresden nuclear power station ».

- (c) Voir *Nuclear Engineering*, février 1957 (Les chiffres portent sur la moitié d'une centrale à deux réacteurs).
- (d) Doubles cycles de vapeur.
- (e) Dans la charge totale de combustible, on tient compte de 18 mois en dehors de la pile pour PWR et BWR, mais de 14 mois pour PIPPA, car pour celui-ci l'approvisionnement et l'évacuation de combustible sont continus.
- (f) Le taux de combustion du combustible indiqué dans ce tableau représente les évaluations, données par le constructeur, de consommations moyennes qui semblent réalisables pour le combustible envisagé, au cours du fonctionnement constant de l'installation. Ces limites sont fixées par les problèmes que soulèvent l'irradiation, la corrosion ou la réactivité. Quant aux dommages provoqués par l'irradiation, les connaissances actuelles reposent sur les résultats limités de certaines expériences réussies, au cours desquelles des échantillons d'uranium métal ont été exposés à plus de 3 000 MWD/T et des échantillons d'oxyde d'uranium à plus de 10 000 MWD/T, mais, dans l'un et l'autre cas, le nombre d'échantillons était trop restreint pour permettre de déterminer la portée réelle d'une défaillance de l'élément combustible. En fait, on ne pourra réunir une bonne documentation statistique que quand plusieurs réacteurs auront fonctionné pendant une période de temps appréciable. L'élément corrosion ne semble pas avoir une action limitatrice, dans aucun des trois projets. La réactivité ne semble pas non plus exercer sur eux une action limitatrice, aux taux de consommation indiqués. Elle commence à exercer cette action, lorsqu'il s'agit du PIPPA sans enrichissement, autour de 3 500 MWD/T.
- (g) Le fait qu'on ait pris comme base un facteur de charge de 80 % pourra surprendre ceux qui sont au courant des conditions dans lesquelles on utilise généralement une installation classique; mais, après examen approfondi, en collaboration avec les experts que nous avons consultés, nous sommes arrivés à la conviction que les stations nucléaires vont atteindre un très haut degré d'utilisation. L'expérience des réacteurs actuels indique un rendement possible nettement supérieur à 90 %; lorsqu'on fait entrer en ligne de compte les arrêts temporaires qui seront nécessaires aux heures où l'énergie hydraulique du fil de l'eau, ou d'autres énergies excédentaires à très bas coût de production marginal, pourrait absorber intégralement la charge disponible, nous avons la conviction d'être très près de la réalité en fixant à 80 % le facteur moyen de charge des centrales nucléaires.
- (h) Le coût d'investissement de l'installation ne comprend pas les frais de recherches et de mise au point, les travaux de génie civil en dehors de l'emplacement de la centrale (tels que les routes d'accès, par exemple), le coût d'achat du terrain et l'intérêt versé pendant la construction (qui figureront dans des postes distincts).

Évaluation du coût de l'électricité

En mills par kilowatt-heure

	<u>PWR</u>	<u>BWR</u>	<u>PIPPA</u>
<i>Coûts de combustible :</i>			
Uranium en combustible frais (a)	5,8	2,1	2,0
Fabrication du combustible (b).....	1,1	1,7	0,4
Traitement chimique (c).....	0,4	0,3	0,3
Plutonium à inscrire au crédit (d)	— 0,9	— 0,8	— 1,0
Uranium à inscrire au crédit (e).....	— 3,7	(— 0,3)	(— 0,3)
Coût net du combustible.....	<u>2,7 (f)</u>	<u>3,3 (f)</u>	<u>1,7</u>
<i>Autres frais de fonctionnement (g).....</i>	1,0	1,0	1,0
<i>Frais de charge de combustible (h)</i>	1,3 (f)	0,8 (f)	0,7
<i>Dépenses d'investissement (i).....</i>	6,3	5,4	7,4
Coût total de l'électricité	<u>11,3</u>	<u>10,5</u>	<u>10,8</u>
Total plus 25 % de marge d'incertitude (j)....	<u>14,1</u>	<u>13,1</u>	<u>13,6</u>
GAMME DES PRIX	11,3 à 14,1	10,5 à 13,1	10,8 à 13,6

NOTES

- (a) Les coûts de l'uranium en combustible frais sont fondés sur le tableau de prix de combustible enrichi publié par l'A.E.C. des États-Unis le 18 novembre 1956, et sur le prix du métal uranium naturel de \$ 40/kg annoncé le 8 août 1955.
- (b) Les coûts de fabrication pour les éléments d'acier inoxydable destinés au PWR s'élèvent à \$ 60/kg U; le coût des éléments au zirconium pour le BWR s'élève à \$ 115/kg U, y compris le coût de conversion d'UF₆ à UO₂, et de récupération des déchets, et compte tenu de toutes les dépenses de fonctionnement et de tous les frais généraux de l'installation de fabrication de combustible, pendant la période de production. Dans le cas de PIPPA, on fait entrer en ligne de compte une dépense de \$ 9/kg U pour la fabrication à partir du métal, ce chiffre représentant la différence entre le prix de £ 17 500/tonne indiqué par l'A.E.A. du Royaume-Uni pour les éléments de combustible, et le coût de \$ 40/kg cité pour l'uranium. Le prix de £ 20 000/tonne souvent cité à cet égard représente l'évaluation, effectuée par l'A.E.A. du Royaume-Uni, d'une valeur maximum à long terme, qui tient compte des augmentations éventuelles du coût de l'uranium métal et de l'amélioration dont bénéficieront les matériaux de gainage et les procédés de fabrication des éléments de combustible.

- (c) Le coût de récupération, sous forme de nitrate, du plutonium et de l'uranium irradiés dans les PWR et les BWR, est établi d'après le coût de \$ 15 000/jour annoncé par l'A.E.C. des États-Unis le 18 février 1955 pour une installation d'une tonne/jour. Pour ces évaluations, on suppose une capacité de 300 tonnes/an; elles comprennent les frais d'évacuation des détritux, mais non les frais de transport (l'envoi aux États-Unis du combustible aux fins de traitement reviendrait à environ 0,2 mill/kWh). Dans le cas de PIPPA, l'A.E.A. du Royaume-Uni donne une évaluation de £ 2 500 par tonne pour une installation qui traiterait 2 000 tonnes/an d'éléments revêtus en Magnox.
- (d) Le plutonium récupéré des éléments de combustible de PWR et BWR est crédité à \$ 12/g, prix indiqué le 18 novembre 1956 par l'A.E.C. des États-Unis, moins les frais officiels de \$ 2/g pour la conversion du nitrate en métal. Pour PIPPA, l'A.E.A. du Royaume-Uni donne une évaluation de £ 5 000/tonne plus £ 2 500/tonne pour le traitement chimique; cela donne \$ 11,70/g pour le nitrate.
- (e) L'uranium récupéré est évalué d'après le tableau publié le 18 novembre 1956, pour PWR, par l'A.E.C. des États-Unis. Les valeurs indiquées entre parenthèses pour le BWR et le PIPPA n'entrent pas en ligne de compte dans le coût net du combustible, parce qu'elles sont calculées au moyen d'une extrapolation linéaire du tableau, en-dessous du taux de concentration de l'uranium naturel. Dans tous les cas, on a déduit une somme forfaitaire de \$ 3/kg U au titre de la conversion de nitrate en UF₆.
- (f) Cette différence entre les coûts du combustible et de la charge de combustible est une conséquence tenant à la nature de l'élément de combustible, et non pas aux différences existant entre les deux types de réacteurs.
- (g) Les coûts de fonctionnement comprennent dans tous les cas \$ 7/kW-année pour les frais de fonctionnement, d'entretien et d'emmagasinage, ce qui donne, 1,0 mill/kWh à un facteur de charge de 80 %.
- (h) La « charge totale de combustible » figure pour 8 % de la valeur réelle du combustible, d'un bout à l'autre de son cycle, y compris les frais de fabrication, transport, emmagasinage, séjour dans la pile, refroidissement, nouveau transport et traitement chimique.
- (i) Les dépenses d'investissement de 13 % sont considérées comme une moyenne représentant les conditions existant dans les six pays, y compris les intérêts, les frais d'amortissement (sur une période de 15 ans) et les frais généraux, mais à l'exclusion des taxes et de l'assurance spéciale pour risques nucléaires. (Les taux intérieurs provisoirement en vigueur aux États-Unis pour l'assurance nucléaire spéciale reviennent environ à 0,2 mill/kWh, sous réserve d'une révision reposant sur l'expérience acquise au bout de dix ans).
- (j) Pour la marge d'incertitude, voir paragraphe 5, ci-après.

5. Il arrive souvent qu'on perde de vue les diverses variantes qui doivent être adoptées dans ces calculs de coût d'énergie nucléaire, si bien que l'on conserve seulement dans l'esprit le chiffre final. Pour éviter ce risque, on a ajouté une *marge d'incertitude de 25 %* aux évaluations ci-dessus, en prenant pour base de calcul ce qui semble raisonnablement réalisable comme moyenne des coûts pendant la durée d'existence utile des installations mises en service de 1960 à 1964. Cette marge permet de faire ressortir les incertitudes inhérentes aux évaluations actuelles; on peut considérer qu'elle comprend les éléments défavorables qui pourraient s'associer pour entraîner une élévation des coûts. Par exemple, ce chiffre forfaitaire de 25 % couvrirait simultanément une augmentation de 50 % des frais de fonctionnement, de 25 % des frais de fabrication et de traitement chimique, de 15 % des frais d'investissement (et d'assurance), et une réduction de 25 % du taux d'irradiation. Il ne semble pas qu'on doive prévoir que tous ces facteurs joueront dans un sens défavorable, étant donné notamment les améliorations réalisées dans les coûts de cyclage du combustible.

6. D'autre part, ces évaluations de coûts ne tiennent pas compte de certaines économies qu'on ne peut pas encore exprimer en chiffres définitifs. Les premiers projets commerciaux font nécessairement l'objet d'évaluations prudentes, mais selon toutes probabilités, les installations suivantes comporteront déjà certains perfectionnements et certaines simplifications; la recherche des conditions optimum pourra accroître leur rendement (dans une mesure qui est évaluée à 40 % environ dans le cas de PIPPA), de telle sorte que le coût par kW devrait être réduit dans des proportions très appréciables dans un proche avenir, pour ces diverses raisons.

Les estimations se réfèrent à une centrale à un seul réacteur (la moitié d'une centrale à deux réacteurs dans le cas de PIPPA); mais dans les centrales nucléaires composées de plusieurs réacteurs ayant chacun une puissance électrique nette de 200 MWe, le coût par kW devrait être réduit d'une manière appréciable.

Dans nos pays, les frais d'équipement et de construction sont inférieurs à ceux qui sont pratiqués aux États-Unis et au Royaume-Uni. Le marché commun nucléaire prévu par le Traité d'Euratom va favoriser la spécialisation et offrir de grandes possibilités de normalisation et de commandes en série, dans le cadre d'un vaste programme de coordination portant sur un certain nombre de réacteurs identiques de chaque type.

La création de vastes installations communes de fabrication et de traitement des éléments de combustible maintiendrait à un niveau minimum le coût de ces opérations. Si les combustibles nucléaires pouvaient être fournis aux prix de location en vigueur aux États-Unis (4 %), les frais de charges de combustible bénéficieraient d'une réduction, qui s'établirait entre 0,2 et 0,5 mill/kWh, selon le type de réacteur.

Dans nos pays, où le coût des combustibles classiques est élevé, la combinaison des générateurs PWR/BWR à vapeur avec des dispositifs de surchauffe alimentés en combustible classique permet d'abaisser sensiblement les frais additionnels et la consommation de combustible, ce qui réduit indirectement les frais d'énergie nucléaire.

7. Ces facteurs tendront à réduire le prix de l'électricité produite par les installations nucléaires construites en Europe au cours des dix prochaines années, à un niveau inférieur à celui des estimations figurant au paragraphe 4 ci-dessus; il convient d'ajouter qu'en général, il est admis que ces types de réacteurs offrent des possibilités d'améliorations majeures dans la conception des installations et d'économies dans le cycle de combustible, au cours de cette période. En outre, les systèmes PIPPA à eau lourde et à enrichissement vont pouvoir jouer un rôle important dans la situation de l'Europe à partir de 1965 et, dans les quelques années qui suivront 1970, on peut prévoir que certains des types dont la conception est la plus avancée commenceront à être utilisés commercialement. L'ensemble de ces facteurs peut se traduire par une courbe descendante (1) des coûts d'énergie nucléaire, telle que la courbe indiquée dans le graphique B (page 40).

Comparaison avec le coût de l'énergie classique.

8. La mesure dans laquelle l'électricité nucléaire peut concurrencer les autres sources d'énergie sur le marché peut être déterminée par une comparaison avec le coût des nouvelles centrales au charbon et au pétrole qu'elle viendrait remplacer. Malgré l'importance des variations de coûts, cette comparaison peut être effectuée sur une base commune pour les installations qui doivent être construites dans les six pays, parce que les

(1) Voir Davis et Roddis « The latest prospects for economic nuclear power », conférence N.I.C.B., Philadelphie, 14 mars 1957; voir également Hinton « The future for nuclear power », conférence d'Axel Johnson, Stockholm, 15 mars 1957.

coûts de production nucléaire seront pratiquement les mêmes, quel que soit l'emplacement de l'installation. En outre, pour calculer les coûts de l'énergie classique, on peut prendre comme bases générales les hypothèses suivantes :

a) La totalité du combustible nécessaire pour les nouvelles centrales au charbon et au pétrole devra être importée dans chacun des six pays; dans ces conditions, le prix actuel à la livraison de \$ 20/tonne pour le pétrole importé ou son équivalent en charbon, peut être adopté comme un prix moyen général correspondant à la réalité des faits (voir Annexe I, paragraphe 8). Dans certains cas, le prix à la livraison, lorsqu'il s'agit d'emplacements proches des ports d'importation, pourrait descendre jusqu'à \$ 18/tonne, et s'élever jusqu'à un maximum de \$ 22/tonne, lorsque les emplacements sont situés très loin à l'intérieur des terres.

b) Le rendement *net* des grandes centrales au charbon et au pétrole construites en Europe au cours des quelques prochaines années semble devoir s'établir autour de 33 % pendant la durée d'existence de ces installations (2 675 kWh/tonne d'équivalent en charbon) (1), ce qui donne un coût unitaire de combustible de \$ 20 : 2 675 = 7,50 mills/kWh. Cette somme devrait être portée au moins à 7,7 mills/kWh pour tenir compte des frais de manutention et d'évacuation des cendres, lorsqu'il s'agit de charbon, et des frais de même nature occasionnés par le soufre et le vanadium, lorsqu'il s'agit de mazout. Les prix varient d'un minimum de 7,0 à un maximum de 8,4 mills/kWh. La tendance ascendante des prix de combustible importé (par rapport au niveau général des prix) doit, selon les prévisions, élever ces prix d'environ 1 mill par kWh en 1975, malgré une nouvelle amélioration du rendement thermique. Les taxes ne sont pas comprises dans cette évaluation.

c) Les dépenses d'investissement d'une installation au charbon ou au pétrole varient dans les six pays de \$ 120/kW à \$ 170/kW (évaluation effectuée sur le rendement net et comprenant tous les postes de dépenses, à l'exception des intérêts versés pendant la période de construction et

(1) Certaines installations vont sans aucun doute réaliser aux essais des rendements nets supérieurs à 33 % dans cette période, mais quand on tient compte de toute la gamme d'installations construites (parmi lesquelles plusieurs sont de petites dimensions), et d'un certain déclin de rendement qui se produira au cours de l'existence de chacune d'elles, lorsqu'elle fonctionnera avec des facteurs de charge très bas et qu'elle subira une usure graduelle, on peut considérer que 33 % représente une valeur moyenne conforme à la réalité.

les taxes). Cependant, si nous tenons compte du fait que, dans certains de nos pays, les taux élevés d'intérêts sont partiellement compensés par le faible niveau des prix de construction, il est admissible d'adopter, pour représenter la situation générale, un seul chiffre global de 13 % de charges annuelles au titre des frais d'amortissement et des frais généraux, et de \$ 140/kW pour les frais d'investissement. Ce chiffre doit être augmenté de 15 %, ce qui le portera à \$ 160/kW, pour tenir compte des intérêts versés pendant la période de construction. On arrive ainsi à un coût annuel de \$ 21/kW-an (sur la base de la puissance nette).

d) Les frais de fonctionnement et d'entretien (en dehors des frais de combustible) ne seront pas inférieurs à \$ 4/kW-an pour de nouvelles installations fournissant la charge de base (1).

Cela donne la comparaison suivante avec les chiffres correspondants relatifs à l'énergie nucléaire, exprimés en charges fixes et en coûts de combustibles (2) :

Charbon/pétrole \$ 25/kW-an + 7,0 à 8,4 mills/kWh (d'après l'emplacement).

PWR	: \$ 60 /kW-an + 2,7 mills/kWh	} Plus une somme forfaitaire pour marge d'incertitude s'élevant à 25 %.
BWR	: \$ 50 /kW-an + 3,3 mills/kWh	
PIPPA	: \$ 63,50 /kW-an + 1,7 mills/kWh	

A 80 % de facteur de charge (soit 7 000 heures/année) (3), cela donne pour l'énergie classique un coût global de 10,6 à 12,0 mills/kWh, par comparaison avec 11 à 14 mills/kWh pour les premières centrales nucléaires. Pratiquement, le coût très bas du combustible des centrales nucléaires maintiendra leur coût de fonctionnement tout près du rendement maximum prévu pendant presque toute leur durée utile d'existence, alors que les installations à charbon et à pétrole, pour lesquelles les coûts de combustible seront de 7 à 9 mills/kWh verront descendre leur degré d'utilisation à mesure qu'elles vieilliront, ce qui augmentera les frais à mesure que leur facteur de charge baissera tandis que le coût des combustibles s'élèvera.

(1) Voir le rapport de l'I.C.A. sur les « Economic aspects of electric power Production in selected countries », juillet 1955, p. 21.

(2) Dans les installations nucléaires, les charges fixes exprimées en \$/kW-an peuvent être déduites du tableau sur « l'évaluation du coût de l'électricité » (voir paragraphe 4) en multipliant tous les coûts unitaires, à l'exception de ceux du combustible, par 7 000 heures par an (soit un facteur de charge de 80 %).

(3) A 70 % de facteur de charge, les coûts de l'énergie classique seraient plus élevés de 0,5 mill/kWh, et ceux de l'énergie nucléaire de 1,0 mill/kWh.

Besoins supplémentaires en capitaux d'investissement et vieillissement des installations.

9. Les dépenses d'investissement que nécessitent les installations nucléaires, sur la base des facteurs exposés au paragraphe 4 ci-dessus, peuvent être comparées comme suit avec celles des installations thermiques classiques.

	PWR	BWR	PIPPA
	<i>(en \$/kW)</i>		
	—	—	—
Dépenses d'investissement pour une installation nucléaire (y compris les intérêts versés pendant la construction et la charge de combustible)	450	360	460
Moins les dépenses d'investissement pour une installation classique (y compris les intérêts versés pendant la construction)	— 160	— 160	— 160
<i>Supplément</i> d'investissement nucléaire.....	290	200	300
Moins la charge de combustible d'uranium (valeur réelle pendant tout le cycle de combustion, y compris les coûts de fabrication) (1).....	— 110	— 70	— 60
<i>Supplément</i> d'investissement nucléaire (combustible non compris)	180	130	240

Dans les calculs ultérieurs, on considère que la moitié des réacteurs construits seront du type PIPPA, et l'autre moitié du type PWR/BWR, ce qui donne un coût moyen d'environ \$ 350/kW par installation et de \$ 75/kW pour la charge de combustible (dont environ \$ 25/kW représentant les coûts de fabrication).

On pourrait supposer que l'amélioration rapide prévue pour les réacteurs nucléaires pourrait provoquer le déclassement des installations construites à très grands frais au cours des premières années, avant qu'elles cessent d'être en état de fonctionner. En fait, cela n'aura pas lieu parce que même les premiers réacteurs n'auront à supporter que des frais de fonctionnement, de combustible et de charge de combustible (qui sont des coûts marginaux); ces frais, qui ne représenteront que 3,5 à 5,0 mills/kWh, s'étendront sur toute la durée d'existence de l'installation, à mesure que le cycle du combustible s'améliorera. Dans ces conditions, le coût total des futures installations nucléaires devra être réduit de

(1) Calculée d'après les données du tableau « Évaluation du coût de l'électricité » (paragraphe 4, page 78).

plus de 50 %, avant que la fermeture d'une des premières unités construites et son remplacement par une nouvelle devienne une opération payante. Cette éventualité ne se produira pas au cours des quinze années d'existence utile dont on tient compte lorsqu'on évalue à 13 % les frais d'investissement. Dans ces conditions, on continuera à faire fonctionner les premières installations nucléaires avec le facteur de charge élevé que permettront le faible montant et la diminution régulière des coûts marginaux jusqu'à ce que les dépenses d'entretien et de production commencent à s'élever en raison de l'âge de l'installation, pour atteindre le point où ces coûts marginaux justifieront son remplacement par une installation nouvelle. Ces considérations n'impliquent aucune hypothèse sur l'avenir, si ce n'est que le prix de revient total des nouvelles installations construites avant 1975 restera plus élevé que 3,5 à 5,0 mills/kWh. Tout au contraire, les frais marginaux très élevés et en voie d'augmentation constante des centrales thermiques classiques (8 à 10 mills/kWh) tendront à les reléguer prématurément au rôle de réserves pour les heures de pointe.

Problèmes relatifs aux combustibles nucléaires.

10. Il ressort du tableau figurant au paragraphe 4 que le coût net de l'uranium est pratiquement le même pour les trois types de réacteurs (2,1 mills/kWh pour PWR et BWR et 2,0 mills/kWh pour PIPPA), mais les combustibles *nucléaires* soulèvent des problèmes d'approvisionnement et de prix, car les États-Unis représentent la seule source économique d'uranium enrichi; cet enrichissement est indispensable pour certains réacteurs et souhaitable pour la majorité des autres.

En laissant de côté les systèmes particulièrement perfectionnés, les cycles de combustible des réacteurs qui peuvent être mis en service au cours des dix prochaines années sont tous fondamentalement semblables, à cette différence près que le modérateur et la matière fertile employés exigent des niveaux différents de concentration de la matière fissile.

Le fonctionnement d'un réacteur à un degré élevé d'enrichissement coûte davantage par gramme d'U 235 consommé, et les frais de charge de combustible sont également plus élevés. Mais cette augmentation est généralement compensée par un plus haut degré d'utilisation du combustible, en ce sens que le Pu 239 engendré brûle dans une plus grande proportion, ce qui réduit l'incidence des frais de fabrication de

combustible et de traitement chimique. Ce mode de fonctionnement également des effets marqués sur les matières qui peuvent être employées (c'est ainsi que l'acier inoxydable coûte aujourd'hui la moitié du prix du zirconium), et sur le taux d'utilisation et le rendement du réacteur.

Il est donc extrêmement important que l'industrie, après avoir choisi un type donné de réacteur, soit libre de déterminer la concentration optimum de son combustible frais et irradié; dans tous les cas prévisibles, cela se traduira par une alimentation en combustible provenant d'une installation de diffusion, afin d'obtenir une concentration supérieure à celle de l'uranium naturel, au moins jusqu'à ce qu'on puisse disposer d'un réacteur à eau lourde ou qu'on puisse employer le plutonium récupéré comme autre source économique de réenrichissement de l'uranium appauvri, ce qui réduit d'autant l'approvisionnement en uranium naturel. De même, en règle générale, il y aura avantage à renvoyer à une usine de diffusion l'uranium récupéré à partir des éléments irradiés, sauf si la conception du noyau nécessite une certaine proportion de combustible appauvri, ou si le prix de la teneur en U 235 est inférieur à l'économie réalisée par la mise au rebut.

11. Les six pays doivent envisager la possibilité de construire à cet effet une usine de diffusion à faible enrichissement. Cependant, pour les raisons données au paragraphe 13 ci-dessous, les besoins futurs d'U 235 sont loin d'être établis avec certitude. Dans ces conditions, il est extrêmement avantageux d'être en mesure d'obtenir des installations américaines l'U 235, en bénéficiant des conditions particulièrement favorables annoncées par l'A.E.C. le 18 novembre 1956, et d'éviter ainsi les gros investissements et la consommation élevée d'électricité qu'exige une installation de diffusion, aussi longtemps que sa nécessité n'aura pas été clairement établie. On sait que les prix de l'A.E.C. sont fondés sur les prix réels, y compris l'amortissement de l'investissement total. Mais ils représentent probablement le tiers ou la moitié de ceux qu'une première installation construite dans d'autres pays pourrait réaliser, en raison des vastes dimensions des installations américaines, du coût extrêmement bas de l'énergie (4 mills/kWh), des taux normaux de financement appliqués par le gouvernement des États-Unis et par-dessus tout, peut-être, en raison du degré de perfection considérable des plans et de la technologie en Amérique. Par conséquent, il n'y a pas de raison d'hésiter à employer du combustible enrichi du fait que les prix indiqués par l'A.E.C. bénéficieraient de subventions et, par conséquent, fausseraient

artificiellement les données de base utilisées pour la construction d'un réacteur.

12. Il sera toujours avantageux de soumettre le combustible usé à un traitement de récupération, même si son uranium est trop épuisé pour faire retour dans une installation de diffusion, parce que la valeur que l'on peut inscrire au crédit de l'opération, en raison de sa teneur en plutonium — si l'on considère que l'évaluation actuelle est justifiée par le perfectionnement des moyens économiques de réutilisation — dépasse, dans tous les cas, de 0,6 à 0,8 mill/kWh les dépenses de traitement de récupération. En outre, le fait de procéder à ce traitement en Europe sera payant. En effet, le transport aux États-Unis ou au Royaume-Uni d'éléments irradiés sous blindage coûterait environ 0,2 mill/kWh, alors que les frais de transport de matériel récupéré, qui ne nécessite plus de protection par blindage, sont négligeables. La dimension optimum d'une installation de traitement chimique, si l'on prend pour base sa capacité d'absorption de combustible, représente plusieurs fois celle d'un réacteur et, dans ces conditions, une installation peut desservir plusieurs réacteurs. Un approvisionnement économique sera réalisé pour une installation Euratom de traitement lorsque la quantité de combustible irradié provenant des réacteurs représentera environ une tonne par jour. Si l'on prend pour base les évaluations récentes effectuées aux États-Unis et au Royaume-Uni, une telle installation coûterait environ \$ 20 millions. Sa capacité pourrait être doublée, en temps voulu, moyennant un investissement additionnel d'environ \$ 10 millions. Cette opération réduirait de 20 % ou davantage le coût unitaire de traitement. Au moment où 15 millions de kW seront installés, les quantités à traiter (dans l'hypothèse où les réacteurs seront constitués par moitié de PWR/BWR et par moitié de PIPPA) seront d'environ 10 tonnes par jour. De nouvelles réductions substantielles dans les frais de traitement sont à prévoir, à mesure qu'on disposera de nouvelles installations plus grandes permettant de traiter cette charge quotidienne de 10 tonnes. Le niveau moins élevé des prix de construction en Europe et les perfectionnements techniques substantiels réalisés dans le domaine du traitement du combustible contribueront également à abaisser les coûts.

Toutes ces installations de séparation chimique isotopique posent un problème de manutention et d'évacuation de quantités importantes de résidus radioactifs, auquel un programme de réacteurs de puissance doit apporter une solution qui réponde aux impératifs de sécurité, tout

en restant économique. On dispose maintenant de techniques parfaitement satisfaisantes au point de vue sécurité pour l'emmagasinage et le traitement des résidus au cours du processus de récupération du plutonium pour des fins militaires. Les experts pensent que l'on pourra mettre au point des méthodes plus économiques pour le traitement de grandes quantités de résidus radioactifs.

La récupération et l'utilisation possibles des produits de fission radioactive, qui existent actuellement dans une proportion limitée, mais qui font l'objet d'une demande croissante pour diverses utilisations industrielles, pourraient dans l'avenir produire un revenu supplémentaire.

13. Pour revenir à la question de l'approvisionnement en combustible, il existe plusieurs possibilités de réduction des besoins futurs, qui pourraient contribuer à un degré extrêmement important à satisfaire aux besoins de l'Europe à partir de 1965 :

a) Le système à eau lourde requiert non seulement moins de la moitié de l'appoint annuel d'uranium naturel que le réacteur PIPPA, mais encore il offre probablement le moyen le plus économique d'employer de l'uranium au-dessous du taux naturel de concentration.

b) Il existe, pour un vaste programme coordonné, une intéressante possibilité, consistant à faire passer en cascade l'uranium provenant des réacteurs à degré moyen d'enrichissement, jusqu'aux installations à eau lourde. On pourrait ainsi éviter les frais qu'entraînent les conversions multiples d'azotate en UF_6 , puis en oxyde ou en métal; en dernière analyse, ce processus permettrait de rejeter de l'uranium à très faible teneur d'U 235. Cette méthode aurait enfin pour conséquence de supprimer les frais élevés qu'entraînent les charges d'intérêts et le renvoi du matériel irradié qui doit faire l'objet d'un traitement de récupération aux États-Unis.

c) Lorsque des méthodes permettant de fabriquer du plutonium à un prix raisonnable auront été mises au point, on aura la possibilité de remplacer l'appoint de combustible frais presque en proportion de sa teneur en Pu 239. En même temps, ce processus permettrait de faire fonctionner les réacteurs avec un rendement correspondant à celui du processus d'enrichissement, sans aucun uranium enrichi en U 235, et avec un approvisionnement réduit d'uranium naturel.

d) Lorsqu'on aura résolu le problème tout aussi difficile de l'utilisation de l'U 233, l'introduction de thorium à la place d'U 238 permettra

à certaines catégories de réacteurs de parvenir à un taux de conversion voisin de l'unité, ce qui réduira l'appoint annuel à de très petites proportions.

Emplacement des installations nucléaires.

14. Les faibles coûts de transport de combustibles doivent, en règle générale, permettre plus facilement que pour les centrales thermiques classiques de choisir un emplacement optimum pour les centrales nucléaires, au point de vue de la répartition géographique des charges d'électricité, du réseau de transport et des autres sources d'approvisionnement. Le choix des emplacements nucléaires répondant aux conditions générales définies ci-dessus soulève cependant certains problèmes. En particulier, les réacteurs représentent un poids considérable et très concentré, ce qui impose des conditions particulières pour l'établissement des fondations; en outre, ils demandent un volume d'eau de refroidissement supérieur d'environ 50 % à celui des installations classiques (1). De même, le transport de combustible irradié jusqu'à l'installation de traitement chimique, dans de lourds blindages de plomb, exige de fortes installations ferroviaires, même si le tonnage est peu considérable.

Mais le facteur de très loin le plus important, pendant les premières années, lorsqu'on choisit un emplacement nucléaire, semble devoir être la sécurité. Un grave accident de réacteur est un événement extrêmement improbable (2), mais la dissémination des matières radioactives contenues dans un réacteur à grande puissance pourrait avoir des conséquences catastrophiques qui s'étendraient sur une très vaste zone. Étant donné notre manque d'expérience actuel, la tendance à prévoir des zones interdites et (ou) des enveloppes de protection, et à situer les installations à une certaine distance de zones d'habitation est donc assez naturelle. Les deux réacteurs qui, jusqu'à présent, ont eu des accidents au cours d'expériences risquées, ont subi de graves dommages matériels entraînant

(1) Un rendement nucléaire de 28 % net implique le rejet d'environ 67 % de la chaleur engendrée, à comparer avec 52 % pour une installation classique ayant un rendement net de 33 %.

(2) Voir « Theoretical possibilities and consequences of major accidents in large nuclear plants » - U.S. A.E.C., mars 1957; voir également les exposés de Mr. L. L. Strauss, Président de U.S. A.E.C., et de M. H.-L. Price au cours des auditions devant le U.S. « Congressional Joint Committee on atomic energy ». Ces exposés, faits le 25 mars 1957 portaient sur la législation réglementant les questions d'assurance et d'indemnité.

de longues interruptions de fonctionnement, mais ni le personnel, ni les environs, n'en ont souffert.

Le Royaume-Uni considère que la conception actuelle du PIPPA est satisfaisante au point de vue sécurité, en raison du niveau assez bas du débit prévu et de la haute capacité thermique du système qui, par conséquent, ne nécessite pas une enveloppe protectrice. Cependant, les premières stations de ce type ne sont pas situées dans le voisinage immédiat des grandes agglomérations.

Les États-Unis considèrent que les réacteurs PWR et BWR ont des caractéristiques intéressantes au point de vue sécurité, particulièrement en raison de leur haut coefficient négatif de température. Néanmoins, on utilise en général aux États-Unis des enveloppes de protection pour tous les réacteurs de puissance, à l'exception de ceux qui sont bâtis dans des régions isolées. A cet effet, une provision de \$ 10 à \$ 15 par kilowatt de capacité installée figure dans les estimations de prix pour le PWR et le BWR.

Il n'existe en Europe aucune réglementation déterminée pour les réacteurs de puissance. En France, deux réacteurs de puissance refroidis au gaz (G-2 et G-3) à Marcoule n'auront pas de dispositif de sécurité, alors qu'une unité à refroidissement au gaz située à Chinon (E.D.F. 1) sera renfermée dans une enveloppe protectrice.

ANNEXE III

CHAMP D'APPLICATION DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

1. Au cours de la période décennale dont le présent rapport traite essentiellement, tout laisse à penser que l'énergie nucléaire sera surtout utilisée à produire de l'électricité; c'est son utilisation pour la production d'une charge de base dans de grandes centrales qui apportera une contribution fondamentale à la limitation des importations d'énergie. Il se peut que l'on puisse utiliser des réacteurs atomiques pour le chauffage urbain dans certains cas spéciaux, mais l'emploi généralisé de telles installations pour la production individuelle de chaleur ou pour le chauffage est improbable avant 1970 car les petits réacteurs continueront pendant de nombreuses années à coûter proportionnellement bien plus cher que les grands. Il n'est pas exclu que des pétroliers à propulsion nucléaire de grand tonnage offrent une possibilité secondaire, mais importante, d'utilisation.

Il est donc indispensable de déterminer les quantités d'énergie nucléaire que les réseaux d'électricité des six pays seront en mesure d'absorber. C'est à cette intention qu'ont été établies à l'Annexe IV, en collaboration avec les autorités compétentes de chacun des six pays, les prévisions des besoins généraux et de la production des différents types de centrales électriques. Les chiffres totaux pour l'ensemble des six pays se présentent comme suit (1) :

(1) Les statistiques de puissance données dans tous les pays se réfèrent à la fin de chaque année, alors que les chiffres de production portent sur l'année fiscale. Cependant, pour les besoins du présent rapport, nous avons considéré qu'il était plus logique d'adopter comme date de référence, tant pour les chiffres de puissance que pour les chiffres de production, la fin de l'année (les chiffres de production étant rectifiés pour tenir compte des variations saisonnières).

	1955	1960	1965	1970	1975
<i>Puissance nette (MWe) :</i>					
Hydro-électrique	19 443	23 800	30 040	36 030	42 230
Gaz de hauts fourneaux	1 514	1 850	2 130	2 450	2 800
Lignite	3 678	5 000	7 500	9 700	12 000
Autres sources d'énergie thermique (1)	26 251	37 900	52 800	73 400	96 500
Total	50 886	68 550	92 470	120 580	154 530
<i>Production nette (TWh/an) :</i>					
Hydro-électrique	73	86	107	124	139
Gaz de hauts fourneaux	8	9	11	13	15
Lignite	20	30	45	58	72
Autres sources d'énergie thermique (1)	90	141	208	302	410
Total	191	266	371	497	635
<i>Consommation de combustible (Mt EC/an) :</i>					
Autres sources d'énergie thermique.....	48	70	93	130	164

(1) Ce poste comprend les centrales minières et les centrales autonomes des industries minières qui consomment essentiellement du charbon de qualité inférieure. A la fin de 1955, leur capacité nette s'élevait à 4 970 MW et leur production à 23 TWh (voir Annexe I, paragraphe 7, et Annexe IV, paragraphe 4).

Ces évaluations s'appuient sur les données de l'annexe IV qui les compare avec les prévisions antérieures de l'O.E.C.E. et de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier.

2. Il est clair que la situation énergétique, dans son état actuel, nécessite l'exploitation jusqu'à la limite de leur capacité des sources d'énergie hydro-électrique. Les chiffres ci-dessus représentent donc le programme maximum pour tous les pays. De même, l'exploitation la plus intense possible des gisements de lignite doit avoir pour but exclusif la production d'électricité, pour laquelle elle convient particulièrement du point de vue économique. Quant aux excédents de gaz provenant des hauts fourneaux, ils doivent être utilisés dans les centrales situées à

proximité immédiate. Dans ces conditions, c'est dans le cadre de la production des « autres centrales thermiques » — qui, d'après les évaluations ci-dessus, doit fournir 72 % de l'augmentation totale d'électricité de 1955 à 1975 — que l'énergie nucléaire doit trouver une place plus ou moins importante, en remplacement des centrales brûlant du charbon et du fuel. Le tableau suivant comporte des chiffres plus détaillés pour cette catégorie d'énergie. Ces chiffres portent sur la période couverte par le présent rapport.

Année (31 décembre)	Capacité (MW)	Facteur de charge (heures/an)	Production (TWh/an)	Consommation de combustible	
				(g/kWh)	(Mt EC/an)
1960	37 900	3 720	141	500	70
1961	40 550	3 775	153	490	75
1962	43 300	3 820	166	480	80
1963	46 250	3 865	179	470	84
1964	49 400	3 905	193	460	88
1965	52 800	3 940	208	450	93
1966	56 500	3 980	225	440	99
1967	60 450	4 015	243	430	104

Champ d'application de l'énergie nucléaire.

3. La puissance des « autres centrales thermiques » qui doivent être mises en service chaque année pour permettre de faire face à ces besoins est représentée par le graphique E (page 95). Ce schéma définit la quantité d'énergie nucléaire qui peut être intégrée dans le système de production d'électricité des six pays au cours des années en question, sans que l'on tienne compte des limitations que les conditions techniques et économiques pourront pratiquement imposer au rythme de construction.

Le graphique E contient également une évaluation sommaire des besoins supplémentaires de puissance nouvelle pour assurer le remplacement des vieilles installations qui cesseront chaque année d'être utilisables. On s'éloignerait de la réalité des faits si l'on faisait entrer ces installations de remplacement dans le secteur sur lequel doit jouer l'énergie nucléaire dans la période décennale couverte par nos travaux. En outre, après 1967, il y aura une limite dans la *production*, aussi bien que dans la puissance des installations nucléaires, du fait que leur fonctionnement ne sera rentable qu'à des facteurs de charge très élevés. Pour cette raison,

il est tout à fait improbable qu'en 1975 l'énergie nucléaire (1) puisse aller jusqu'à représenter la moitié de la capacité des « autres formes d'énergie thermique » (évaluées à 96 500 MWe). A ce niveau, les installations nucléaires fourniraient déjà plus de 80 % de la production que devrait assurer cette catégorie de centrales électriques, si elles fonctionnaient 7 000 heures par an. Il sera probablement indispensable d'installer une proportion croissante de réserves spécialisées et de puissance de pointe, dans le cadre d'un vaste programme nucléaire, notamment les équipements supplémentaires qu'il faudra ajouter aux réservoirs de barrage des installations hydrauliques, les réserves constituées par pompage, les chaudières Velox alimentées en fuel et les turbines à gaz. Il est également probable qu'à ce stade il sera préférable de conserver plus longtemps en service, à titre de réserves, les anciennes centrales thermiques et d'étendre les réseaux de transport, pour fournir la puissance de réserve supplémentaire, plutôt que de réduire l'utilisation des installations nucléaires.

Cela suppose également que l'utilisation des centrales au charbon et au fuel construites au cours des dix prochaines années va brusquement décroître, lorsque la capacité nucléaire représentera une forte proportion du total, parce que leur coût de combustible sera trop élevé (et en hausse constante) par comparaison avec les coûts des combustibles nucléaires (dont on prévoit qu'ils diminueront).

L'objectif de 15 millions de kW.

4. Dans ces limites, imposées par les besoins et les approvisionnements d'électricité, on doit tenir compte non seulement de la période de quatre années, nécessaire à l'élaboration des plans et à la construction des centrales, mais aussi du temps nécessaire pour organiser une entreprise considérable et nouvelle, où l'on doit encore faire face à bien des inconnues, pour supprimer les goulots d'étranglement et pour remédier aux retards

(1) La production qu'on estime pouvoir tirer des installations thermiques à la fin de 1975 s'élève à 410 TWh. Si la moitié de cette puissance était d'origine nucléaire (48.250 MWe), elle produirait 338 TWh avec une utilisation de 7 000 heures/an, ce qui laisserait seulement 72 TWh à produire par l'autre moitié de l'ensemble de la puissance installée. Si tout le charbon de qualité inférieure produit à cette date (31 Mt EC/an) était utilisé pour fabriquer de l'électricité avec une consommation spécifique de 400 g/kWh, il suffirait à lui seul à produire la totalité de ce solde.

qui sont inévitables lorsque les décisions dépendent de la somme de décisions individuelles à prendre par les entreprises d'électricité publiques et privées. En conséquence, même dans le cadre d'un programme maximum, on doit prévoir que le rythme d'équipement de la capacité de production nucléaire que l'on pourra atteindre va croître progressivement à partir de 1960-61, période à laquelle les premiers projets de réacteurs de puissance déjà lancés pourraient entrer en service, puis s'élever plus lentement après 1965 à partir du moment où l'on s'approchera des limites indiquées au paragraphe 3 ci-dessus. Le graphique E montre comment se présente cette intégration de l'énergie nucléaire dans l'équipement électrique.

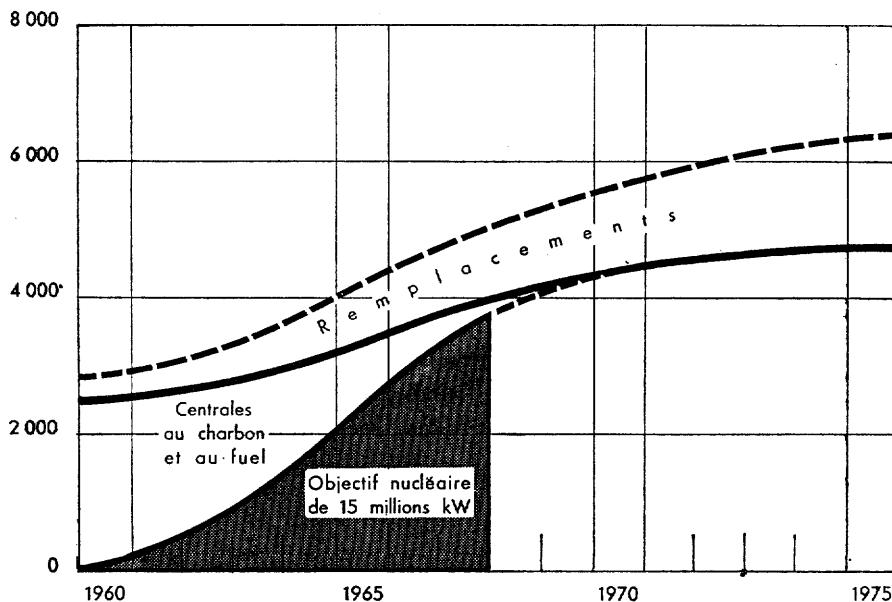
Ce rythme d'expansion nucléaire, qui représente pratiquement le maximum réalisable, nécessiterait la mise en place, à la fin de 1967, d'installations nucléaires de 15 millions de kW. Ce chiffre a été adopté comme objectif pour Euratom, afin de stabiliser nos importations d'énergie à une date aussi rapprochée que possible.

GRAPHIQUE E

Puissance des centrales thermo-électriques mises en service chaque année.

Megawatts
par an

(A l'exclusion des centrales au lignite et au gaz)



Cet objectif permettrait de libérer chaque année 40 à 45 millions de tonnes d'équivalent en charbon, à partir de 1967-68, époque à laquelle les importations nettes atteindraient 205 à 210 millions tonnes par an, sans l'intervention de l'énergie nucléaire. Les importations seraient ainsi stabilisées aux environs de 165 millions de tonnes par an, volume qu'elles atteindraient dans six ans sans énergie nucléaire. Si l'intégration d'énergie nucléaire continue par la suite au rythme indiqué par le graphique E, l'économie de combustible pourrait atteindre 125 millions de tonnes par an à partir de 1975. D'après les évaluations figurant à l'annexe I, cela suffirait à maintenir les importations d'énergie au niveau de 165 millions de tonnes par an, dans la période ultérieure.

5. D'après les prévisions, la quantité de charbon de qualité inférieure qui doit être brûlée dans les centrales minières à partir de 1967 s'élève annuellement à 28 millions de tonnes environ (1). Ainsi que le montrent les chiffres approximatifs ci-après, il resterait encore d'amples possibilités d'utilisation pour ce combustible, même si l'on en consacrait la totalité à la production d'électricité (tous les chiffres se rapportent à la fin de chaque année);

	Fin de 1960	Fin de 1965	Fin de 1970
	(Mt EC/an)		
<i>Importations nettes d'énergie dans les six pays :</i>			
a) Sans l'énergie nucléaire	136	187	207
b) Avec l'énergie nucléaire.....	136	164	164
<i>Combustible libéré par les installations nucléaires</i>			
	0	23	43
<i>Combustible brûlé dans les installations classiques (2)</i>			
	70	70	61

Comparaison avec les programmes britanniques.

6. Le Royaume-Uni est le premier pays qui ait lancé un vaste programme d'énergie nucléaire dont l'analogie avec les objectifs d'Euratom est encourageante, mais qui, néanmoins, présente avec ces derniers certaines différences marquées.

(1) Voir Annexe I, paragraphe 7.

(2) Cf. Annexe IV.

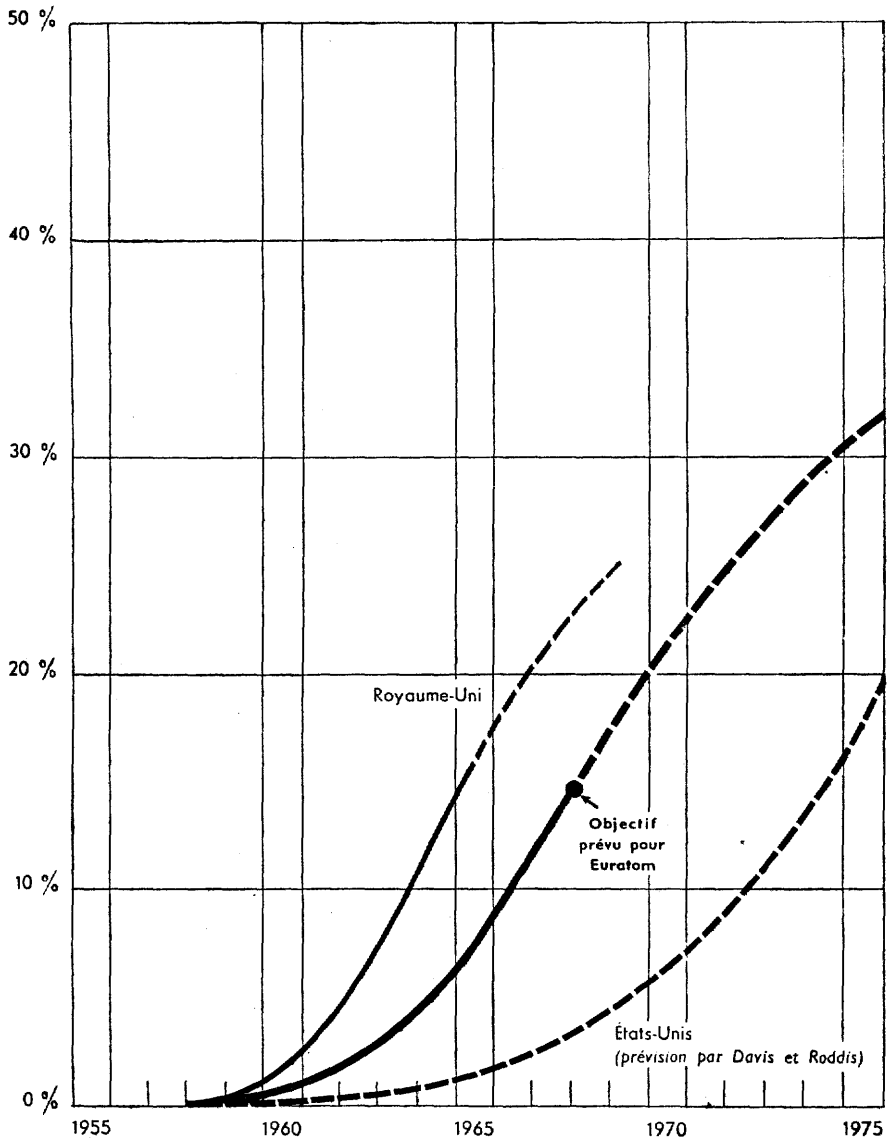
Le programme annoncé pour la première fois il y a deux ans visait à installer 1 500 à 2 000 MWe sous forme de centrales nucléaires au cours des dix années se terminant en 1965, et plusieurs groupes d'industries furent constitués à cette date pour mettre au point des réalisations à l'échelle industrielle du prototype de réacteur Calder Hall. Les premiers résultats ont été si satisfaisants que l'on a pu projeter d'augmenter la puissance de chaque réacteur et la confiance dans les perspectives générales s'est trouvée à tel point renforcée, que le gouvernement a récemment décidé de porter le programme à 5 000 et 6 000 MWe dès la fin de 1965. On peut s'attendre à d'autres accroissements considérables des possibilités de production des réacteurs. Les 6 000 MWe représenteront à cette date 15 % de la capacité du système britannique, ce qui correspond aux 15 millions de kW proposés comme objectif pour les six pays à la fin de 1967 (voir graphique F, page 98). Cela permettra de stabiliser les importations énergétiques britanniques à leur niveau de 1960 (45 millions de tonnes d'équivalent charbon par an), ce qui est à mettre en regard de la stabilisation à 165 millions de tonnes en 1963 dans les six pays. Exprimés en électricité, 30 % de la production totale du Royaume-Uni proviendront des centrales nucléaires dès 1965 et l'accroissement total de la production à partir de 1960 sera également d'origine nucléaire. Le programme d'Euratom n'atteindrait pas tout à fait ce niveau, même en 1967, date à laquelle 15 millions de kW nucléaires représenteraient 25 % de la production totale.

7. La date tardive à laquelle nous amorçons notre programme ajourne d'autant les bénéfices que nous devons en tirer, mais nous permet du moins d'exploiter les progrès rapides réalisés ces dernières années dans la technologie des réacteurs. Le fait de n'être pas liés à un seul type de réacteur nous met à l'abri, dans une mesure très importante, des mauvaises surprises possibles au cours des premières années, tant que les meilleures voies ne sont pas clairement déterminées. En particulier, la possibilité d'accéder à l'U 235 américain nous permettra de profiter dès le début des avantages très considérables de l'enrichissement. De même, le fait qu'environ un tiers de la capacité totale des six pays est de nature hydro-électrique leur permettra, plus facilement qu'au Royaume-Uni, d'installer une puissante charge de base nucléaire. La proportion importante de réserves annexes qui doivent être constituées dans un équipement nucléaire pourra ainsi plus facilement revêtir la forme particulièrement avantageuse de réserves additionnelles de kilowatts hydro-électriques, et en parti-

GRAPHIQUE F

Comparaison des programmes nucléaires.

(En % de la puissance électrique totale)



culier de kilowatts accumulés par pompage. La nécessité de cet appoint est reconnue en Grande-Bretagne, mais les possibilités de réalisation matérielle sont limitées par comparaison avec le Continent, ce qui suscitera probablement un facteur de charge plus élevé pour les installations nucléaires sur le Continent que dans le Royaume-Uni.

Besoins en combustible nucléaire.

8. On peut évaluer approximativement le combustible nucléaire dont nous avons besoin pour atteindre notre objectif de 15 millions de kW en dix ans, si l'on considère, par exemple, que cet objectif se compose par moitié de réacteurs employant de l'uranium naturel et de réacteurs employant de l'uranium légèrement enrichi, et que le plutonium et l'U 233 ne seront pas remis en circuit dans des proportions importantes avant 1967. On a tenu compte du temps indispensable pour fabriquer des éléments de combustible et des quantités de matière nécessaires avant, pendant, et après l'irradiation.

La quantité d'uranium naturel que nécessite la charge totale de combustible pour un programme de 7 500 MWe de réacteurs à l'uranium naturel (en considérant qu'ils sont du type PIPPA), serait d'environ 15 000 tonnes. En outre, la somme des appoints de combustible à la fin de la période de dix ans (y compris une avance pour l'année ultérieure) s'élèverait à près de 9 000 tonnes, et l'appoint nécessaire par la suite, pour une installation de 7 500 MWe représenterait environ 2 500 tonnes par an. Par conséquent, le total combiné de la charge de combustible et de l'appoint représenterait environ 24 000 tonnes d'uranium naturel à la fin de 1967. Au prix de \$ 40 le kilo d'uranium métal, cela reviendrait à \$ 1 000 M environ, auxquels s'ajoutent dans les années ultérieures les frais de l'appoint annuel de combustible, soit environ \$ 100 M. Au cours de cette période, on prévoit que les quantités fournies par la France et la Belgique vont monter de 1 200 à 2 500 tonnes par an, et pourraient totaliser près de 15 000 tonnes. Il y a toutes raisons de prévoir qu'une prospection intensive réalisée dans les six pays accroîtra encore cette production. Cependant, le coût des combustibles doit être un facteur qui déterminera la quantité d'uranium naturel à importer des autres pays.

La quantité d'uranium légèrement enrichi que nécessite la charge

totale de combustible, pour un programme de 7 500 MWe de réacteurs à uranium enrichi (en considérant que ces réacteurs se composeront par moitié de PWR et BWR) serait d'environ 1 400 tonnes d'uranium contenant 2,6 % d'U 235, et 1 700 tonnes d'uranium contenant 1,5 % d'U 235. En outre, le montant total d'U 235 *consommé* à la fin de la période de dix ans (y compris une avance constituée pour l'année ultérieure) serait d'environ 25 tonnes, et l'U 235 consommé par la suite serait d'environ 7 tonnes par an, pour une installation de 7 500 MWe. Le coût de ces matières (charge initiale de combustible + consommation) serait, d'après le tableau publié par l'A.E.C. des États-Unis le 18 novembre 1956, approximativement de \$ 1 000 M, auxquels s'ajouterait par la suite un appoint annuel de combustible revenant environ à \$ 100 M.

Le coût annuel de combustible, lorsque les 15 millions de kW seront équipés s'élèvera donc approximativement aux chiffres suivants :

	\$ millions/an
Matériel consommé (consommation)	200
Fabrication des éléments de combustible	100
Charge de matériel	90
	390
Moins le plutonium inscrit au crédit, après déduction des frais de traitement	— 65
	325

La récupération du plutonium, sur les 15 millions de kW obtenus par ces réacteurs, serait environ de 9 tonnes par an, équivalant à 5 ou 6 tonnes d'appoint en U 235. Par conséquent, la mise au point de moyens économiques de fabrication d'éléments de combustibles contenant du plutonium aurait une répercussion extrêmement importante sur les besoins européens de combustible nucléaire, en réduisant à un niveau modeste les 7 tonnes annuelles d'U 235 consommées et en facilitant l'enrichissement de réacteurs de type PIPPA (et peut-être même de certains types de réacteurs à eau lourde).

9. On peut constater que 7 tonnes d'U 235 (dans des réacteurs PWR/BWR) ou 2 500 tonnes d'U naturel (dans des réacteurs PIPPA) produiraient la même quantité d'électricité que 20 millions de tonnes de charbon (ou leur équivalent en pétrole), et qu'en valeur calorifique,

l'U 235 (ou uranium naturel) coûte 70 cents/millions de kcal, par comparaison avec les \$ 2,80 millions/kcal, auxquels revient le charbon à \$ 20 la tonne.

Investissement dans l'énergie nucléaire.

10. Le capital nécessaire à la réalisation d'une installation nucléaire de 15 millions de kW peut être déduit approximativement (si l'on prend comme ci-dessus l'hypothèse d'un programme composé par moitié de réacteurs à uranium naturel et de réacteurs à uranium enrichi), des coûts par kW donnés au paragraphe 9 de l'annexe II. Une moyenne prudente nous donne, pour la première étape d'installations nucléaires, \$ 350/kW, y compris les frais intercalaires versés en cours de construction, mais non compris la charge de combustible et les taxes et sans tenir compte des réductions de coût des installations qu'un vaste programme européen doit permettre de réaliser au cours des dix prochaines années. Cela donne un investissement total de \$ 5 250 millions, à mettre en regard de la somme de \$ 2 400 millions que nécessiterait la création d'installations classiques de même importance à \$ 160/kW (y compris les frais intercalaires versés en cours de construction). Le supplément de dépenses à prévoir pour une installation nucléaire évaluée sur cette base est donc de \$ 2 850 millions. En supposant une expansion progressive des équipements nucléaires du type de celle qui est représentée dans le graphique E, et si l'on tient compte du fait que cette somme se répartit sur trois ans avant que les installations entrent en service, l'excédent en question va se constituer lentement pendant toute la période décennale considérée, pour atteindre un taux maximum de \$ 500 à 600 millions aux environs de 1965 (si nous laissons de côté les installations à commander après 1967); cela représenterait 1,5 % de l'investissement brut effectué par les six autres pays, au cours de cette année 1965.

En outre, une somme totale d'environ \$ 100 millions devra être immobilisée, qui représente la valeur du combustible nucléaire dans les réacteurs et dans d'autres phases du cycle de combustion, y compris son coût de fabrication en éléments de combustible. Mais cet investissement au titre de la charge de combustible est d'une nature différente de celui qui est consacré aux installations elles-mêmes, car il représente un actif qui ne disparaît pas et qui possède une valeur de récupération facile; et, dans la mesure où Euratom sera l'organisme qui possède et qui traite ces combustibles, on peut prévoir un financement centralisé, conformément à la pratique suivie aux États-Unis et au Royaume-Uni.

Effets sur les devises étrangères.

11. Une partie substantielle des premiers réacteurs construits devra être importée des États-Unis et du Royaume-Uni, y compris en particulier leurs plans et leurs spécifications de construction. Les enquêtes menées en Amérique et en Grande-Bretagne ont indiqué que la « proportion d'importations » pourrait au début s'élever jusqu'à 50 %, mais qu'on peut s'attendre à la voir tomber à un niveau assez bas dans les quelques années suivantes, lorsque le volume des constructions sera beaucoup plus élevé. Sur la totalité des dix années, il ne semble pas qu'on doive prévoir que cette proportion d'importations dépasse 20 % des \$ 5 250 millions investis, ce qui représenterait \$ 1 100 millions à verser en devises étrangères, le maximum annuel étant inférieur à \$ 200 millions aux environs de la période 1964-1965.

En outre, il est nécessaire de se procurer des combustibles nucléaires d'une valeur de \$ 2 000 millions environ pour la charge et l'appoint de combustible (somme dont on déduit la valeur du plutonium récupéré), jusqu'à la fin de 1967, et d'environ \$ 200 millions par an pour l'appoint, au cours des années ultérieures. Le coût d'importation de combustible représenterait la moitié de ces sommes, si l'Europe peut produire, en 1967/1968, 25 000 tonnes d'uranium naturel, en supposant que la moitié des réacteurs installés auront besoin de combustibles enrichis provenant des États-Unis. Si ce combustible bénéficiait d'un financement extérieur, le coût en devises étrangères au titre du combustible n'atteindrait pas \$ 600 millions au cours des dix premières années, et descendrait peut-être ensuite à \$ 125 millions par an, sous réserve des réductions réalisées par la vente ou l'utilisation du plutonium (dont la valeur représentera \$ 65 millions par an à partir de 1967).

Si l'installation nucléaire de 15 millions de kW est en service à partir de 1967, l'économie réalisée sur le coût en devises étrangères des importations de combustible classique dépasserait à cette date \$ 2 500 millions et, dans les années ultérieures, cette économie annuelle s'élèverait à \$ 850 millions, en dehors des résultats à attendre de nouvelles extensions de la capacité nucléaire. Dans ces conditions, après avoir inscrit à notre débit, avant 1965, un total de quelques centaines de millions de dollars, représentant le prix qu'il est inévitable de payer pour pouvoir prendre un départ rapide, nous verrions les économies nettes s'élever rapidement à \$ 600-700 millions par an, quand les installations nucléaires de 15 millions de kW seront en service.

ANNEXE IV

ÉVOLUTION DE L'INDUSTRIE DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LES PAYS D'EURATOM

Tendances et rythmes d'expansion.

1. Le taux annuel d'accroissement de production d'électricité, au cours des 30 dernières années, a été de 5 à 6 %; elle a donc doublé dans chaque période de 12 à 14 ans.

Evolution de la production d'électricité 1925-55

	<i>Taux annuel d'accroissement (%)</i>	<i>Accroissement en dix ans (%)</i>
République Fédérale d'Allemagne	6,1	80
Belgique	5,4	69
France	5,0	63
Italie	5,7	73
Pays-Bas (1935-55)	5,6	72

Ces taux d'accroissement ont été affectés par la grande récession économique et par la guerre. Dans la période d'après-guerre, les taux d'accroissement de la production courante ont monté jusqu'à atteindre le rythme du doublement en 10 ans. Jusqu'aux environs de 1965, ce rythme d'accroissement aura tendance, en règle générale, à se maintenir, bien qu'il puisse se produire dans certains pays des circonstances spéciales qui, même dans le cours de la période décennale actuelle, pourraient freiner un peu cette expansion; il n'est donc pas facile de prévoir la façon dont les besoins d'électricité vont évoluer dans les dernières années de la période actuellement envisagée. Cependant, on s'accorde généralement à reconnaître que dans vingt ans les besoins seront au moins triplés, et au plus quadruplés.

Pour les besoins du présent rapport, nous avons adopté une évaluation qui, pour la période se terminant en 1975, représente plus ou moins une moyenne entre le triple et le quadruple des chiffres de production de 1955, compte tenu des conditions spéciales aux divers pays. C'est ainsi que le rythme moyen annuel d'accroissement pour la période 1955 à 1965 est évalué à environ 7 % et à 5,7 % pour la période 1965-1975. Ces chiffres correspondent aux tendances qui ont prévalu au cours des 25 à 35 dernières années.

Production nette d'électricité dans les six pays (1)

Pays	Production 1955 (TWh)	Indices			Production d'électricité (TWh)	
		1955-65	1965-75	1955-75	1965	1975
République Fédérale						
d'Allemagne	74,4	200	175	350	149	260
Belgique	10,9	160	150	250	17	26
France	49,6	200	175	350	100	175
Italie	37,8	190	175	335	72	126
Luxembourg	1,1	150	150	280	2	3
Pays-Bas	10,6	190	175	331	20	35
Total	184,4	195	174	339	360	625

(1) Les définitions et abréviations suivantes sont employées :

- (a) Usines de production d'énergie électrique = Centrales appartenant à l'État, autoproducteurs, centrales situées sur le carreau de mine et centrales du réseau ferré.
- (b) Puissance = Puissance nette maximum à la fin de l'année calculée aux bornes haute tension.
- (c) Production d'électricité = Quantité nette fournie aux réseaux (compte non tenu de la consommation propre et des pertes au transformateur).
- (d) Utilisation = Heures d'utilisation annuelles à pleine charge = $\frac{c}{b}$.
- (e) Facteur de charge = Nombre d'heures d'utilisation annuelles, exprimé en pourcentage de 8 760 heures par an.
- (f) kW = kilowatt; MW = megawatt = 1 000 kW.
- (g) kWh = kilowatt-heures (= 860 kcal); TWh = terawatt-heures = 1 000 millions de kWh.

Comparaison avec les évaluations de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier et de l'O.E.C.E.

2. Les chiffres totaux donnés ci-dessus pour les six pays correspondent étroitement à ceux qu'a publiés le mémorandum de la Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, intitulé « Objectifs généraux pour le charbon et l'acier », ainsi qu'à ceux du document, non encore publié, du Comité Mixte, intitulé « Structure et tendances de développement dans l'industrie de l'électricité ». Cependant, les évaluations de production établies par les divers pays accusent de plus grandes différences, car elles sont établies à partir de chiffres de production nette au lieu de chiffres de production brute; en outre, on a supposé dans le présent rapport une exploitation maximum des ressources hydrauliques et des gisements de lignite.

3. L'Organisation Européenne de Coopération Économique (O.E.C.E.) considère que, pendant les dix premières années, la production de courant électrique va croître sur un rythme annuel de 7 % alors que pour la période ultérieure de dix ans, elle adopte un taux d'évaluation optimiste de 7 % d'augmentation et un taux d'évaluation prudente de 5,5 % (1). Ces taux de croissance correspondent à ceux qui ont été adoptés dans le présent rapport.

Rôle des centrales minières.

4. Le Comité des Objectifs Généraux a évalué l'expansion des centrales minières jusqu'à 1975 en prenant pour base la production prévue de charbon de qualité inférieure (voir annexe I, § 7). Ce groupe de centrales comprend les centrales communes des industries minières dont une grande partie de la production est livrée au réseau de transport général; un quart environ du combustible qu'elles consomment est du charbon marchand. En outre, une partie de la production de charbon de qualité inférieure sert à d'autres usages que la production d'électricité, tels que la production de gaz et la production d'air comprimé utilisée dans les mines. Les évaluations élevées d'électricité (données ci-après) sont établies sur une prévision optimiste de la production de charbon, et doivent donc être considérées comme un maximum théorique.

(1) *L'Europe face à ses besoins croissants en énergie*, p. 34.

Puissance et rendement des centrales minières

	1955	1960	1965	1970	1975
<i>Fin de l'année</i>					
<i>Puissance nette (MWe) :</i>					
République Fédérale d'Allemagne.	2 254	4 495	7 000	10 300	13 300
Belgique	641	1 240	1 300	1 400	1 400
France	1 790	2 540	2 800	3 000	3 200
Italie	—	65	70	70	70
Pays-Bas	283	360	400	400	400
Total	4 968	8 700	11 570	15 170	18 370
<i>Production nette (TWh) :</i>					
République Fédérale d'Allemagne..	12,2	23,8	37,0	52,4	68,5
Belgique	2,0	3,7	4,0	4,4	4,4
France	9,3	12,9	14,6	15,1	16,1
Italie	—	0,3	0,4	0,4	0,4
Pays-Bas	1,4	1,8	2,0	2,0	2,0
Total	24,9	42,5	58,0	74,3	91,4
<i>Consommation totale de combustible</i>					
Mt EC	13,2	21,2	26,1	32,0	36,4

Tableaux de l'industrie dans les pays de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier.

5. Les tableaux ci-après, indiquant la puissance, la production d'électricité et la consommation de combustible des centrales thermiques, sont fondés sur la documentation fournie par les services gouvernementaux, les compagnies d'électricité ou d'autres sources dignes de foi; lorsque nous avons fait figurer nos propres évaluations, les chiffres que nous produisons n'ont pas soulevé d'objection de la part de ces divers organismes.

Les chiffres relatifs à la capacité sont ceux de la fin de l'année considérée. Il en est de même des chiffres de production d'électricité relatifs à l'année 1955 et aux années suivantes, à l'exception de ceux placés entre parenthèses. Quant à la documentation relative à la consommation de combustible des centrales thermiques, elle provient des bilans énergétiques publiés par les pays intéressés.

République Fédérale d'Allemagne

	<i>Année</i>	<i>1955</i>	<i>1960</i>	<i>1965</i>	<i>1970</i>	<i>1975</i>
	<i>1955</i>	<i>Fin de l'année</i>				
		<i>Puissance nette (MW)</i>				
Énergie hydraulique ...	»	2 858	3 330	3 570	4 000	4 250
Gaz.....	»	412	525	620	690	800
Lignite	»	3 678	5 000	7 500	9 700	12 000
Autres sources thermiques	»	11 948	15 000	20 860	28 650	38 000
Total	»	18 896	23 855	32 550	43 040	55 050
		<i>Production nette d'électricité (TWh)</i>				
Énergie hydraulique ...	(11,8)	12,2	14	15	16	17
Gaz.....	(1,9)	2,0	2	3	3	4
Lignite	(18,9)	19,5	30	45	58	72
Autres sources thermiques	(41,8)	43,2	60	91	126	167
Total	(74,4)	76,9	106	153	203	260
		<i>Consommation de combustible des centrales thermiques</i>				
<i>g EC/kWh</i>		520	500	470	440	410
Centrales au lignite (<i>Mt EC</i>)		10,1	15,0	21,0	26,0	30
Autres centrales thermiques (<i>Mt EC</i>)		22,45	30,0	41	55	68

La République Fédérale a réalisé de grands progrès dans le développement des centrales hydrauliques; les ressources totales sont évaluées à 5 500 MW, dont la moitié est actuellement équipée. Les conditions économiques de l'énergie hydraulique restant encore à utiliser sont relativement moins favorables que celles des ressources déjà équipées. Les prévisions tiennent compte d'un léger ralentissement dans l'accroissement de la production qui se traduit par une diminution du facteur de charge.

La puissance et la production des centrales au lignite sont indiquées dans le tableau au maximum de leur potentiel. En outre, les chiffres

relatifs à 1975 doivent être considérés comme la limite supérieure absolue d'exploitation des dépôts de lignite. Le facteur de charge des centrales au lignite est évalué à 70 %, conformément à leur situation de centrales fournissant la charge de base.

La capacité et la production des centrales alimentées au gaz de hauts fourneaux sont fonction de l'accroissement prévu pour la production de fonte. Comme les heures de travail ont été réduites dans l'industrie sidérurgique, la durée utile d'existence de ces installations industrielles ne devrait pas croître considérablement.

Actuellement, les autres centrales thermiques sont presque exclusivement alimentées au charbon. La consommation effective de combustible représente environ 400 g/kWh pour les installations qui bénéficient des perfectionnements les plus récents. Cependant, il ne semble pas que l'on doive envisager que la *moyenne* de consommation de toutes les centrales thermiques doive descendre au-dessous de 400 g/kWh dans les vingt prochaines années.

Belgique						
<i>Année</i>	<i>1955</i>	<i>1960</i>	<i>1965</i>	<i>1970</i>	<i>1975</i>	
<i>1955</i>	<i>Fin de l'année</i>					
<i>Puissance nette (MW)</i>						
Énergie hydraulique ...	»	48	72	72	72	72
Gaz.....	»	200	250	270	310	350
Autres énergies thermiques	»	2 615	3 418	4 258	5 243	6 508
Total	»	2 863	3 740	4 600	5 625	6 930
<i>Production nette d'électricité (TWh)</i>						
Énergie hydraulique ...	(0,1)	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Gaz.....	(1,3)	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
Autres énergies thermiques	(9,5)	9,8	12,4	16,1	20,0	24,7
Total	(10,9)	11,2	14,1	18,0	22,0	27,0
<i>Consommation de combustible des centrales thermiques</i>						
Mt EC	»	5,0	6,0	7,0	8,5	10,0
g EC/kWh	»	510	480	460	430	410

L'évaluation de la production d'électricité est ici fondée sur une augmentation globale de la production industrielle de 3,5 % par an (chiffre moyen) (1). Le taux d'utilisation est relativement bas : il représente environ 3 800 heures/an et, au cours des vingt prochaines années, il s'élèvera de 0,5 % par an. Les chiffres relatifs à la puissance tiennent compte des besoins aux heures de pointe. Pour évaluer la production des centrales à gaz de hauts fourneaux, on a pris des chiffres proportionnels à l'augmentation d'extraction de la fonte.

France

<i>Année</i>	<i>1955</i>	<i>1960</i>	<i>1965</i>	<i>1970</i>	<i>1975</i>	
<i>1955</i>	<i>Fin de l'année</i>					
<i>Puissance nette (MW)</i>						
Énergie hydraulique.....	»	7 548	9 250	13 250	18 100	23 000
Gaz.....	»	700	850	1 000	1 200	1 400
Autres énergies thermiques.....	»	6 000	9 600	13 100	19 000	25 600
Total	»	14 248	19 700	27 350	38 300	50 000
<i>Production nette d'électricité (en TWh)</i>						
Énergie hydraulique.....	(25,6)	26,5	32,0	45,0	58,0	70,0
Gaz.....	(3,6)	3,7	4,5	5,5	6,5	7,5
Autres énergies thermiques.....	(20,5)	21,2	36,5	52,5	75,5	102,5
Total	(49,7)	51,4	73,0	103,0	140,0	180,0
<i>Consommation de combustible des centrales thermiques</i>						
<i>Mt EC</i>	»	12,5	20	26	35	46
<i>g EC/kWh</i>	»	590	550	500	470	450

(1) « Évolution de la part relative aux centrales électriques nucléaires dans les futures installations de production d'énergie électrique »; Ministère des Affaires Économiques, Bruxelles, 1956.

La seule évaluation optimiste que nous ayons adoptée porte sur les centrales hydrauliques. Elle tient compte de l'accroissement de toutes les ressources hydrauliques encore disponibles. Les évaluations des réserves d'énergie hydraulique en France sont les suivantes :

Production totale économiquement réalisable	70 TWh
Production actuelle.....	25,5 TWh
Pourcentage des quantités actuellement utilisées par rapport aux ressources hydrauliques totales	38 %

Si l'on suppose que la production globale d'électricité va croître de trois fois et demie de 1955 à 1975, la production des centrales thermiques (à l'exclusion des installations alimentées au gaz de hauts fourneaux) sera sextuplée. La grande majorité de ces centrales sont actuellement alimentées au charbon ; 7 % seulement utilisent du pétrole.

Italie

	Année 1955	1955	1960	1965	1970	1975
		Fin de l'année				
<i>Puissance nette (MW)</i>						
Énergie thermique d'origine hydraulique et géothermique	»	8 988	11 125	13 122	13 835	15 890
Énergie thermique	»	2 118	5 600	7 000	13 000	17 300
Total	»	11 106	16 725	20 122	26 835	33 190
<i>Production nette d'électricité (TWh)</i>						
Énergie thermique d'origine hydraulique et géothermique	(32,6)	33,7	40	47	50	52
Énergie thermique	(5,2)	5,4	17	27	52	78
Total	(37,8)	39,1	57	74	102	130
<i>Consommation de combustible des centrales thermiques</i>						
Mt EC.....	»	2,3	7	11	19	28
g EC/kWh	»	0,43	0,41	0,39	0,37	0,36

Plus de 80 % de la production d'électricité provient de centrales d'énergie hydraulique et géothermique. Cependant, comme la plus grande partie de l'énergie hydraulique susceptible d'être développée sur des

bases économiques se trouve déjà utilisée, l'avenir enregistrera d'importantes modifications de structure dans l'industrie électrique.

Énergie hydraulique disponible pour un développement économique.	50 TWh
Électricité produite en 1955	33,8 TWh
Proportion des sources actuellement utilisées par rapport aux sources disponibles	61 %

Les ressources hydrauliques encore susceptibles d'un nouveau développement fonctionneront dans des conditions de rentabilité de moins en moins favorables, ce qui se traduira par une tendance à construire des installations destinées à couvrir la pointe et ayant des facteurs de charge moins élevés.

La production d'électricité imputable aux centrales thermiques doit s'élever dans l'avenir à plus de 60 % de la production totale; en l'absence d'un supplément de fournitures nationales de combustibles, la presque totalité de cet accroissement proviendra probablement de pétrole importé, dans la mesure où l'énergie nucléaire ne lui aura pas été substituée. L'utilisation des centrales thermiques s'élevait en 1955 à environ 2 500 heures par an. Nous avons supposé qu'en 1975 elle atteindra 4 500 heures par an.

Luxembourg

	1955	1960	1965	1970	1975
<i>Fin de l'année</i>					
<i>Puissance nette (MW)</i>					
Centrales hydrauliques	1	16	22	22	22
Centrales au gaz	202	220	240	250	250
Total	203	236	262	272	272
<i>Production nette d'électricité (TWh)</i>					
Centrales hydrauliques.....	0,003	0,04	0,07	0,07	0,07
Centrales au gaz.....	1,100	1,21	1,32	1,38	1,38
Total	1,103	1,25	1,39	1,45	1,45

L'électricité est produite exclusivement par des centrales fonctionnant avec le gaz de hauts fourneaux. De nouveaux plans prévoient la mise en œuvre des assez faibles ressources du pays en énergie hydraulique naturelle et à plus longue échéance l'aménagement de centrales sur la Moselle qui seront réalisées parallèlement à la canalisation de cette rivière.

Pays-Bas

	Année 1955	1955	1960	1965	1970	1975
		<i>Fin de l'année</i>				
<i>Puissance nette (MW)</i>						
Centrales thermiques....	»	3 570	4 300	6 000	7 500	9 125
<i>Production nette d'électricité (TWh)</i>						
Centrales thermiques....	(10,6)	11,0	15	21	28	37
<i>Consommation de combustible</i>						
Mt EC	»	5,4	7	9	12	15
g EC/kWh	»	49,0	460	440	420	400

Les Pays-Bas ne possèdent que des centrales thermiques, dont la plupart sont alimentées au charbon.

Total pour les six pays

	Année 1955	1955	1960	1965	1970	1975
		<i>Fin de l'année</i>				
<i>Puissance nette (MW)</i>						
Centrales hydrauliques..	»	19 443	23 793	30 036	36 029	43 234
Centrales au gaz.....	»	1 514	1 845	2 130	2 450	2 800
Centrales au lignite....	»	3 678	5 000	7 500	9 700	12 000
Autres centrales thermiques	»	26 251	37 918	52 800	73 393	96 533
Total	»	50 886	68 556	92 466	121 572	154 567
<i>Production nette d'électricité (TWh)</i>						
Énergie hydraulique....	70,2	72,6	86,0	107	124	139
Gaz de hauts fourneaux.	7,94	8,1	9,5	11	13	15
Lignite.....	18,9	19,5	30,0	45	58	72
Autres centrales thermiques	87,6	90,5	140,9	208	302	410
Total	184,6	190,7	266,4	371	497	635
<i>Consommation de combustible des autres centrales thermiques</i>						
Mt EC	»	47,65	70	94	130	164
g EC/kWh	»	500	500	450	430	400

ANNEXE V

DIVERS

I

Mandat du Comité

CONFÉRENCE INTERGOUVERNEMENTALE
POUR LE MARCHÉ COMMUN
ET L'EURATOM

Bruxelles, le 16 novembre 1956.

—
Secrétariat

Les chefs des délégations de la Conférence Intergouvernementale pour le Marché Commun et l'Euratom, agissant sur instructions des Ministres des Affaires Étrangères respectifs, ont pris, le 16 novembre 1956, la décision suivante :

« Les Ministres des Affaires Étrangères chargent un Comité comprenant :

MM. ARMAND, ETZEL, GIORDANI,

qui travaillera dans le cadre de la Conférence de Bruxelles présidée par M. le Ministre Spaak, de leur faire rapport dans les deux mois sur les quantités d'énergie atomique qui peuvent être produites dans des délais rapprochés dans les six pays et sur les moyens à mettre en œuvre à cet effet.

En conséquence, le Comité s'informerait auprès des autorités responsables qui lui apporteraient la coopération nécessaire à l'accomplissement de sa mission sur les perspectives de besoins et de ressources en énergie et sur les programmes atomiques envisagés dans chacun des pays intéressés.

Le Comité est autorisé à demander aux autorités compétentes des pays tiers les renseignements nécessaires à l'accomplissement de sa tâche. »

II

DÉPARTEMENT D'ÉTAT
COMMUNIQUÉ DE PRESSE

Le 8 février 1957

N° 58

Communiqué commun du département d'État, du Président de la Commission de l'Énergie atomique et du Comité d'Euratom.

1. Un Comité institué par les Gouvernements de la Belgique, de la France, de l'Allemagne, de l'Italie, du Luxembourg et des Pays-Bas, qui poursuivent actuellement à Bruxelles la mise au point du Traité instituant une Communauté Européenne de l'Énergie atomique (Euratom), a terminé aujourd'hui sa visite officielle à Washington. Ce Comité, qui est composé de M. Louis ARMAND, de M. FRANZ ETZEL et du Professeur Francesco GIORDANI, a rendu visite au Président Eisenhower, au Secrétaire d'État et au Président de la Commission de l'Énergie Atomique des États-Unis, et a eu des entretiens avec des fonctionnaires du Département d'État et de cette même Commission.

2. Le Comité était chargé de rechercher dans quelle mesure l'énergie atomique peut faire face au surcroît de besoins de l'Europe en énergie. La nécessité d'avoir des disponibilités suffisantes et les coûts de l'énergie sont devenus un facteur limitant le développement de l'économie et du bien-être de l'Europe. Après avoir étudié les possibilités et les besoins, le Comité a été amené à se fixer comme objectif de stabiliser les importations de combustibles immédiatement après 1960. Pour atteindre cet objectif, il faudrait que soient installées, dans les dix prochaines années, des centrales nucléaires d'une puissance totale de 15 millions de kW.

3. Un examen du programme élaboré par le Comité permet de conclure que l'objectif visé peut être atteint. Dans les conditions actuelles, la nécessité de se procurer des combustibles nucléaires ne saurait être consi-

dérée comme une entrave. Un groupe mixte d'experts qui seront désignés par le Comité et par la Commission de l'Énergie Atomique poursuivra l'examen des problèmes techniques que pose la réalisation de l'objectif visé par le Comité.

4. Le Comité a souligné que la Communauté de l'Énergie Atomique (Euratom) qui résultera des négociations qui se déroulent actuellement à Bruxelles fournira le cadre et l'impulsion nécessaires à la réalisation de l'objectif du Comité. Elle assurera la mobilisation en Europe des ressources techniques et industrielles requises et constituera une entité politique compétente pour fournir des garanties suffisantes et pour passer avec le Gouvernement des États-Unis des arrangements pratiques détaillés.

5. Le Gouvernement des États-Unis accueille avec satisfaction l'initiative prise par le Comité dans sa proposition visant une application audacieuse et imaginative de l'énergie atomique. Le 22 février 1956, lorsqu'il avait annoncé que 20 000 kg d'U 235 seraient libérés pour être vendus ou loués à l'extérieur des États-Unis à des fins pacifiques (principalement pour l'approvisionnement de réacteurs produisant de l'énergie électrique et de réacteurs expérimentaux), le Président Eisenhower avait déclaré : « d'importantes mesures sont en préparation en vue de créer une agence internationale et une communauté intégrée en Europe occidentale aux fins de développement des utilisations pacifiques de l'énergie atomique ».

Les États-Unis accueillent avec satisfaction ces signes de progrès et collaboreront avec ces institutions dès leur création. Les États-Unis entendent participer activement à la réalisation de l'objectif du Comité et prévoient que pourront s'instituer d'utiles échanges d'expériences et de progrès techniques, qui permettront d'amorcer tant sur le plan gouvernemental que sur le plan industriel une action nouvelle mutuellement profitable et de renforcer la solidarité des peuples de l'Europe et d'Outre-Atlantique.

III

Communiqué commun publié par « The United Kingdom Atomic Energy Authority » et le Comité des « Trois Sages » d'Euratom

Un Comité créé par les Gouvernements de la Belgique, de la France, de la République Fédérale d'Allemagne, de l'Italie, du Luxembourg et des Pays-Bas, lesquels se préparent à signer dans le courant de ce mois un traité instituant la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique (Euratom), a terminé aujourd'hui son séjour au Royaume-Uni. Le Comité, formé de M. Louis ARMAND (France), M. Franz ETZEL (Allemagne) et du Professeur Francesco GIORDANI (Italie) a rendu visite à Lord Salisbury Lord-Président du Conseil ainsi qu'à Lord Mills, Ministre de l'Énergie et s'est entretenu avec les Présidents, les Membres et les Fonctionnaires de l'Autorité de l'Énergie Atomique du Royaume-Uni et de l'Autorité Centrale de l'Électricité.

Le Comité a consacré une journée à une visite de la centrale nucléaire de Calder Hall et a eu des entretiens avec les représentants des industries intéressées aux projets relatifs à la production d'énergie nucléaire au Royaume-Uni.

La tâche confiée au Comité consiste à déterminer la mesure dans laquelle l'énergie atomique est capable de faire face aux besoins toujours grandissants d'énergie en Europe. Les disponibilités, ainsi que le prix de revient de l'énergie, forment aujourd'hui un élément tendant à freiner le développement de la puissance économique et de la prospérité de l'Europe. L'étude entreprise par le Comité, quant aux besoins et aux possibilités existants, l'a conduit à viser à la stabilisation des importations de charbon et de pétrole à partir des premières années après 1960. Il faudrait, pour atteindre ce but, installer au cours des dix années à venir, des centrales nucléaires d'une puissance totale de 15 millions de kW.

Encore que le Royaume-Uni soit relativement moins dépendant, pour ses besoins en énergie, de l'importation de combustibles que ne le sont les six nations de l'Euratom, ce pays a été amené à développer le plus rapidement possible l'utilisation industrielle de l'énergie nucléaire.

L'autorité de l'Énergie Atomique et le Comité de l'Euratom ont eu des échanges de vues sur la manière dont les réacteurs du type « Calder Hall » pourraient contribuer au but poursuivi par le Comité, et sur l'assistance que le Royaume-Uni pourrait fournir dans l'exécution d'un tel programme. Un groupe composé d'experts du Comité et de l'Autorité de l'Énergie Atomique continuera à étudier les aspects techniques du programme prévu par le Comité.

L'Autorité de l'Énergie Atomique du Royaume-Uni s'est déclarée disposée à faciliter les contacts entre les entreprises industrielles du Royaume-Uni et celles des pays de l'Euratom qui s'intéressent à la construction de réacteurs nucléaires. L'Autorité a en outre indiqué qu'elle était prête à donner toute l'aide qu'elle pourrait en vue de la formation de savants et de techniciens. Des places pourraient ainsi être réservées à l'École de construction de réacteurs de Harwell et plus tard à l'École d'exploitation de réacteurs nucléaires de Calder Hall.

Le Comité de l'Euratom ainsi que l'Autorité de l'Énergie Atomique du Royaume-Uni sont convaincus que cette visite a, d'une façon particulièrement utile, ouvert la voie à une collaboration entre le Royaume-Uni et la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique en vue de son futur programme énergétique.