

N° 146

SÉNAT

PREMIERE SESSION ORDINAIRE DE 1975-1976

Annexe au procès-verbal de la séance du 15 décembre 1975.

RAPPORT

FAIT

*au nom de la Commission des Affaires économiques et du Plan (1),
à la suite de la mission effectuée aux **Etats-Unis** et au **Canada**,
du 14 au 28 septembre 1975, concernant la mise en œuvre de
l'énergie nucléaire dans ces deux pays,*

Par MM. Michel CHAUTY, Charles ALLIÈS, Jean FRANCOU,
Bernard LEGRAND, Louis MARRÉ et Charles ZWICKERT,

Sénateurs.

(1) Cette commission est composée de : MM. Jean Bertaud, président ; Paul Mistral, Joseph Yvon, Marcel Lucotte, Michel Chauty, vice-présidents ; Jean-Marie Bouloux, Fernand Chatelain, Marcel Lemaire, Jules Pinsard, secrétaires ; Charles Alliès, Octave Bajoux, André Barroux, Charles Beaupetit, Georges Berchet, Auguste Billiemaz, Amédée Bouquerel, Frédéric Bourguet, Jacques Braconnier, Marcel Brégégère, Raymond Brun, Paul Caron, Auguste Chupin, Jean Colin, Francisque Collomb, Jacques Coudert, Maurice Coutrot, Pierre Croze, Léon David, René Debesson, Hector Dubois, Emile Durieux, Gérard Ehlers, Jean Filippi, Jean Francou, Léon-Jean Grégory, Mme Brigitte Gros, MM. Paul Guillaumot, Rémi Herment, Maxime Javelly, Pierre Jeambrun, Alfred Kieffer, Pierre Labonde, Maurice Lalloy, Robert Laucournet, Bernard Legrand, Léandre Létouart, Paul Malassagne, Louis Marré, Pierre Marzin, Henri Olivier, Louis Orvoen, Gaston Pams, Robert Parenty, Albert Pen, Pierre Perrin, André Picard, Jean-François Pintat, Richard Pouille, Henri Prêtre, Maurice PrévotEAU, Jean Proriot, Roger Quilliot, Jean-Marie Rausch, Jules Roujon, Guy Schmaus, Michel Sordel, René Travert, Raoul Vadepied, Jacques Verneuil, Charles Zwickert.

SOMMAIRE

	Pages.
Composition de la délégation.....	5
Introduction	7
Compte rendu du voyage.....	10
 I. — L'énergie nucléaire aux Etats-Unis. 	
A. — Bilan et perspectives énergétiques :	
1° Situation actuelle.....	19
2° Perspectives	20
B. — Organismes compétents au plan énergétique :	
1° Organismes du pouvoir exécutif.....	23
2° La commission atomique paritaire du Congrès.....	25
C. — Le cycle du combustible nucléaire :	
1° Besoins et ressources en uranium.....	26
2° Enrichissement de l'uranium.....	28
3° Retraitement du combustible nucléaire.....	32
4° Les déchets radioactifs.....	35
D. — Les centrales nucléaires :	
1° Les procédures administratives préliminaires.....	39
2° Modalités de construction des centrales.....	42
3° Les vendeurs de chaudières nucléaires à eau légère.....	42
a) Westinghouse	43
b) General Electric.....	47
c) Combustion Engineering.....	49
d) Babcock and Wilcox.....	50
4° Le parc nucléaire.....	51
5° Les problèmes de sécurité et d'environnement.....	58
E. — Dossier économique de l'énergie nucléaire :	
1° Coût des centrales.....	61
2° Dépenses de combustible.....	64
3° Limites de compétitivité du nucléaire.....	66
F. — Les filières expérimentales :	
1° La filière à haute température.....	67
2° La filière à neutrons rapides.....	68

II. — L'énergie nucléaire au Canada.

A. — <i>Le bilan énergétique :</i>	
1° <i>La répartition actuelle des sources énergétiques</i>	71
2° <i>Situation et perspectives des principaux produits</i>	71
B. — <i>Principaux organismes responsables de l'énergie nucléaire</i>	73
C. — <i>Ressources et besoins en uranium :</i>	
1° <i>Les ressources</i>	75
2° <i>Production et besoins</i>	76
D. — <i>La filière Candu :</i>	
1° <i>Caractéristiques techniques</i>	80
2° <i>Principales étapes de développement</i>	81
3° <i>Situation actuelle du parc nucléaire</i>	82
E. — <i>Deux problèmes connexes : le combustible et l'eau lourde :</i>	
1° <i>Le combustible</i>	83
2° <i>L'eau lourde</i>	84
F. — <i>Les données économiques</i>	86
G. — <i>Appréciation générale de la technique canadienne</i>	87
H. — <i>Une tentative de collaboration franco-canadienne : l'accord Canadif</i>	89
I. — <i>Une entreprise gigantesque : le complexe hydro-électrique « La Grande »</i> .	90
Conclusion	93

*

* *

Cartes et graphique :

Itinéraire de la mission.....	17
Réacteurs nucléaires aux U. S. A.	53
Coût des centrales nucléaires.....	62

Composition de la délégation.

Président.

M. Michel Chauty, Sénateur de la Loire-Atlantique, Vice-Président de la commission.

Membres.

M. Charles Alliès, Sénateur de l'Hérault.

M. Jean Francou, Sénateur des Bouches-du-Rhône.

M. Bernard Legrand, Sénateur de la Loire-Atlantique.

M. Louis Marré, Sénateur de la Savoie.

M. Charles Zwickert, Sénateur du Haut-Rhin.

Secrétariat.

M. Pierre Le Marois, Administrateur des services du Sénat.

*
* *

La délégation était accompagnée par M. Daniel Chavardes, Chargé de mission au Commissariat à l'Énergie atomique.

Mesdames, Messieurs,

Il y a trois ou quatre ans à peine, peu de gens, du moins dans les pays qualifiés d'économiquement développés, se préoccupaient des problèmes énergétiques et, seuls, quelques esprits prévoyants ou simplement pessimistes tentaient d'attirer l'attention des Gouvernements et de l'opinion sur cette question.

Depuis la dernière guerre, et plus précisément depuis 1950, la découverte de très importants gisements pétroliers, la plupart situés au Moyen-Orient et en Afrique, d'exploitation facile et économique, avaient, en effet, mis à la disposition de l'Europe occidentale, du Japon et des Etats-Unis, des sources d'énergie peu coûteuses, malgré les redevances déjà substantielles, par rapport au prix de revient, perçues par les pays producteurs.

De ce fait, les hydrocarbures, qui ne jouaient encore qu'un rôle modeste à côté du charbon, ont pris, dans presque tous les pays industrialisés, une part prédominante en même temps que s'aggravait ainsi leur dépendance vis-à-vis de leurs fournisseurs étrangers.

Le relèvement brutal des prix du brut pétrolier intervenu en 1973 et 1974 et la menace d'embargo sur les livraisons d'hydrocarbures ont fait apparaître au grand jour le danger d'une telle situation. Il a souligné tout particulièrement la fragilité d'une croissance industrielle basée sur l'utilisation de matières importées dont la fourniture et le coût dépendent du bon vouloir de nations soucieuses de tirer un profit d'autant plus élevé de leurs gisements pétroliers qu'elles en savent les réserves limitées.

L'analyse de cette situation nouvelle a conduit tous les pays, et il faut ici le souligner avec force, qu'ils soient ou non détenteurs de ressources énergétiques sur leur territoire, à se tourner, en premier lieu, vers l'énergie nucléaire, *seule susceptible d'une production massive et compétitive au regard des besoins à satisfaire et des possibilités d'autres sources énergétiques.*

Plus défavorisée encore que ses voisins par la déficience de ses ressources en charbon et en pétrole, ne pouvant espérer qu'un apport marginal de ses chutes d'eau, du vent, de la géothermie et du soleil, *la France* s'est engagée dans un programme ambitieux de construction de centrales nucléaires devant lui permettre, en résumé, de doubler sa production d'électricité d'ici à 1985 en réduisant de

10 à 15 % une consommation d'hydrocarbures que la poursuite des tendances précédentes aurait conduit à multiplier par deux tous les dix ans.

L'importance et l'urgence de l'effort à entreprendre nécessitaient l'adoption d'une technique éprouvée et rentable, susceptible, de plus, d'alimenter un courant fructueux d'exportations. Tels sont, à notre sentiment, les principaux motifs qui conduisirent le Gouvernement à adopter, dans un premier temps, la filière dite à eau légère pressurisée mise au point par la société américaine Westinghouse, tout en se donnant comme objectifs, à l'échéance de 1982, l'instauration de relations équilibrées avec ce partenaire américain et, un peu plus tard, la commercialisation de la filière à neutrons rapides pour laquelle notre pays dispose d'une avance reconnue par tous.

Votre commission est consciente, ceci dit, des réticences que rencontre dans l'opinion publique l'exploitation de l'énergie nucléaire à laquelle reste attaché, qu'on le veuille ou non, le souvenir angoissant d'Hiroshima. A ce rapprochement psychologiquement explicable, mais qui ne résiste pas à un examen technique sérieux, s'ajoutent différents arguments parmi lesquels nous retiendrons principalement : les réserves apparemment limitées des gisements d'uranium, la dépendance vis-à-vis des Etats-Unis pour l'enrichissement de ce métal, le danger des déchets radioactifs et l'échauffement des eaux à la sortie des centrales.

C'est le souci d'étudier cet ensemble de problèmes et les solutions qui peuvent leur être apportées qui a conduit une délégation de votre commission des Affaires économiques et du Plan à se rendre aux Etats-Unis, pays où, comme nous le verrons plus loin, fonctionnent déjà 56 centrales nucléaires développant une puissance électrique totale représentant plus de 90 % de celle de l'ensemble des installations exploitées par E.D.F.

Afin de vous apporter sur l'ensemble des réalisations nucléaires de nos amis d'outre-Atlantique les données les plus complètes, la délégation sénatoriale a tout d'abord passé dix jours aux Etats-Unis où elle a pris contact avec les autorités fédérales, le Congrès et les sociétés Westinghouse et Combustion Engineering avant de visiter plusieurs centrales.

Elle s'est rendue ensuite au Canada, pays qui développe sa propre filière (à eau lourde) et dispose d'importantes réserves d'uranium.

Avant d'exposer maintenant l'ensemble des renseignements recueillis, nous tenons à souligner *l'excellent accueil* qui nous a été réservé partout au cours de ce voyage et l'aide qui nous a été fournie par nos représentants dans les deux pays visités.

Nous devons en particulier à l'obligeance de M. Michel d'Ornano, Ministre de l'Industrie et de la Recherche, et de M. André Giraud, Administrateur général du C. E. A., d'avoir pu être accompagnés pendant notre mission par M. Daniel Chavardes, Chargé de mission au Commissariat, dont les connaissances scientifiques et la pratique de l'anglais nous ont été précieuses.

Nous présentons aussi nos plus vifs remerciements à M. Michel Chauvin, attaché nucléaire auprès de l'Ambassade de France à Washington, qui a préparé avec soin notre mission en liaison avec notre secrétariat et nous a également accompagnés à Washington, à Pittsburgh et à Chattanooga, manifestant en toutes occasions une compétence, un sens des contacts humains et une amabilité à laquelle nous tenons à rendre hommage

Compte rendu du voyage.

Dimanche 14 septembre 1975 :

Partis à 13 h 40 par le courrier régulier d'Air France, les parlementaires sont accueillis à leur arrivée à Washington, à 18 h 25 (heure locale), par M. Michel Chauvin, attaché nucléaire auprès de l'Ambassade de France.

Ils gagnent ensuite l'hôtel Quality Inn.

Lundi 15 septembre :

La délégation se rend à 10 heures au Département d'Etat où un exposé sur la politique générale de l'Energie leur est présenté par M. Dixon Hoyle, Chef du service de la programmation au Bureau des Océans, de l'environnement international et des Affaires scientifiques (O. E. S.).

Après un large échange de vues sur ce problème, les sénateurs entendent successivement plusieurs hauts fonctionnaires de l'Administration fédérale de l'Energie (F. E. A.) :

MM. Borton House, Administrateur assistant pour le développement des ressources énergétiques ; Robert Davies, chargé des relations publiques ; Cécil B. Thompson, administrateur assistant associé, chargé des Ressources internationales et du Commerce ; Paul Dragoumis, chargé des Affaires énergétiques internationales, qui développent les différents thèmes suivants : inventaire et exploitation des ressources énergétiques des Etats-Unis, mise en œuvre du Plan « Indépendance » et rôle particulier de l'énergie nucléaire.

Dans le courant de l'après-midi, cette série d'auditions se poursuit, de 14 h 30 à 16 h 30, par celles de hauts représentants de l'Administration pour la recherche et le développement de l'Energie (E. R. D. A.) : MM. Thomas Clark, Robert Nininger, Schwennesen, John Crawford et Dave Thomas, qui traitent essentiellement du cycle de l'uranium, des filières nucléaires et de la comparaison entre les différentes techniques énergétiques.

Dans la soirée, la délégation est conviée à une réception offerte par M. et Mme Chauvin à leur résidence privée, située à Bethesda (Maryland).

Mardi 16 septembre 1975 :

Les parlementaires se rendent au Sénat où ils sont accueillis par M. Georges Murphy, Directeur exécutif.

Ils assistent ensuite à une audition publique (« Hearing ») du Comité atomique paritaire (du Congrès et du Sénat) — dit « Joint Committee » — présidé par M. le Sénateur Joseph M. Montoya (New Mexico), consacrée à l'incendie de la Centrale nucléaire de Browns Ferry, survenu le 22 mars 1975.

La délégation visite ensuite le Capitole et assiste au début d'une séance du Sénat avant d'être reçue à déjeuner à l'Ambassade de France par Son Excellence M. Kosciusko-Morizet.

Dans l'après-midi, les sénateurs se rendent à la Fédération des Industries atomiques (Atomic Industrial Forum) dont le président, M. Carl Walske, et le vice-président, M. Howard Larson, assistés d'un de leurs hauts collaborateurs, M. Turner, leur exposent les principales difficultés que rencontrent actuellement aux Etats-Unis les industriels participant au développement de l'énergie nucléaire.

Ils sont conviés le soir à dîner par M. Daniel Lefèvre, représentant de la S. N. C. F. aux Etats-Unis.

Mercredi 17 septembre :

A partir de 9 heures, la matinée est consacrée à l'audition des principaux responsables de la Commission de la Réglementation nucléaire (N. R. C.) :

MM. Edward Mason, Commissaire ; Lee V. Gossick, Directeur exécutif des opérations ; Bénard C. Rusche, Directeur de l'Office de la Réglementation des réacteurs nucléaires ; Herbert J. C. Kouts, Directeur de l'Office de la Recherche ; Joseph D. Lafleur Jr, Directeur des programmes internationaux, qui traitent, notamment, du rôle de leur organisme, de la procédure d'agrément des centrales, des recherches concernant la sécurité et des problèmes internationaux.

A 11 heures, la délégation entend les hauts fonctionnaires de l'Agence pour la protection de l'Environnement (E. P. A.) :

MM. Fitzhugh Green, Administrateur associé ; William Rowe, Directeur de l'Office, chargé de l'étude de la radioactivité, et Mlle Kristine Robinson, responsable de la réception des visiteurs étrangers, qui lui exposent, en particulier, les points suivants : activités

de l'E. P. A., normes de radioactivité admise, relations avec le N.R.C. et l'E.R.D.A., impact des centrales nucléaires sur l'environnement, rôle des associations contestataires.

Dans le courant de l'après-midi, M. Michel Chauty, accompagné du Secrétaire de la délégation, M. Pierre Le Marois, visitent en compagnie de M. Jules Wainrib, de la Société Stone and Webster (l'un des principaux « architectes industriels » américains), la centrale nucléaire de North Anna, située en Virginie, à environ 200 kilomètres au sud de Washington.

La délégation, accompagnée par M. Michel Chauvin, quitte Washington pour Pittsburgh à 18 h 50 et arrive dans cette ville à 19 h 43. Elle est accueillie à l'aéroport par une délégation de la Société Westinghouse et gagne l'hôtel Hilton où elle est conviée à dîner par M. le docteur Arnold, chef de la division des réacteurs à eau pressurisée de cette entreprise.

Jeudi 18 septembre :

Les parlementaires se rendent au Centre nucléaire de Westinghouse, à Monroeville, où ils entendent une série d'exposés : de M. le docteur Arnold, sur la politique générale de la Société, de M. Evenepoel, sur l'acceptation du nucléaire par le public, de MM. Antonijuan et Rankin, sur l'apport de l'énergie nucléaire et de M. A. de Saint-Maurice, sur la sécurité et l'environnement.

Après le déjeuner pris au restaurant du Centre et une visite guidée des laboratoires et bureaux, Mme Crosby expose aux parlementaires les conditions d'intervention du Gouvernement.

Un large débat s'instaure ensuite entre les représentants de Westinghouse et leurs hôtes sur la politique nucléaire américaine.

La journée se termine par une réception au Duquesne Club, à Pittsburgh, où les sénateurs sont reçus à dîner par la société Westinghouse.

Vendredi 19 décembre :

La délégation quitte Pittsburgh à 18 h 15 pour Chattanooga (Tennessee), où elle parvient à 10 h 47 et est accueillie par M. Mac Queen, Directeur général de l'usine « Combustion Engineering ».

Après un exposé de MM. Mac Queen et Himphill sur l'activité et les moyens de leur entreprise, les sénateurs visitent l'atelier de construction des cuves en acier spécial (destinées à contenir

les éléments combustibles des réacteurs nucléaires), le laboratoire de recherche métallurgique et le poste d'embarquement des pièces lourdes sur la rivière Tennessee.

En fin d'après-midi, un dîner est offert à la délégation, au Country Club de Chattanooga, par M. Mac Queen.

Samedi 19 décembre :

Après avoir pris congé de M. Michel Chauvin qui regagne directement Washington, les parlementaires quittent Chattanooga à 9 h 30 par un avion spécial mis à leur disposition par la Société Westinghouse.

Accompagnés par M. Bader, Directeur des services du marketing de Westinghouse, ils arrivent à 10 h. 30 à Chicago où ils sont accueillis par M. Jacques Lardet, attaché au Consulat général de France.

Ils gagnent ensuite l'hôtel Sheraton Chicago.

L'après-midi du samedi et la journée du dimanche sont consacrés à la visite de la ville.

Lundi 22 septembre :

Les sénateurs se rendent à Zion, à 70 kilomètres au nord de Chicago (au bord du lac Michigan), dans une voiture mise aimablement à leur disposition par M. le Consul général de France.

A la centrale nucléaire de Zion, comportant deux tranches d'une puissance de 1 100 mégawatts électriques chacune, utilisant la technique à eau pressurisée (procédé Westinghouse) et exploitée par la Compagnie d'électricité Commonwealth Edison, la délégation est accueillie par M. Jack Bitel, directeur, qui lui fait visiter les installations et lui fournit toutes informations concernant le fonctionnement des réacteurs, les incidences sur l'environnement et le stockage des combustibles irradiés. Les sénateurs se rendent ensuite au Centre d'entraînement de Westinghouse où sont formés les personnels destinés à assurer le fonctionnement et l'entretien des centrales nucléaires. Ils y sont reçus par M. Jim Smith, Directeur de l'instruction, qui leur expose les grandes lignes du cycle d'entraînement de six mois auquel sont soumis les stagiaires, concrétisé à la fin de cette période par la délivrance d'un diplôme technique.

A la fin de l'après-midi, les parlementaires se rendent à une réception offerte en leur honneur par M. Philippe Olivier, Consul général de France à Chicago.

Mardi 23 septembre :

La délégation se rend à 60 kilomètres au sud-ouest de Chicago pour visiter la centrale nucléaire de Dresden, comportant deux tranches de 809 mégawatts électriques et une tranche de 200 mégawatts, également exploitée par la Compagnie électrique Commonwealth Edison, mais utilisant la filière à eau bouillante de General Electric.

Elle est accueillie sur place par M. Van Slyke, Directeur des relations publiques, qui leur fait visiter la centrale.

Les parlementaires regagnent ensuite Chicago et en repartent à 19 h 15 pour Toronto où ils atterrissent à 21 h 35.

La délégation est accueillie, à son arrivée à l'aéroport, par MM. Lunet, Consul général de France à Toronto, Silhouette, Conseiller scientifique auprès de l'Ambassade de France, et Egnell, Attaché commercial, et gagne ensuite l'hôtel King Edward Sheraton.

Mercredi 24 septembre :

Les sénateurs quittent leur hôtel à 9 h 30 pour se rendre à Pickering où ils visitent, sous la conduite de M. E. Kevir Keane, Directeur de la station, la centrale à eau lourde « Candu » et comprenant quatre tranches de 510 mégawatts électriques.

Après le déjeuner offert par le Consulat général au Westbury Hôtel, la délégation visite, successivement, le laboratoire d'essai des matériaux nucléaires de Sheridan Park et la fondation de recherche de l'Ontario qui leur est présentée par son président, M. Stadelman.

Un dîner est offert, en fin de journée, aux parlementaires par M. Timbrell, Ministre de l'Energie de l'Ontario, et M. Taylor, Président de la Société d'électricité Ontario-Hydro.

Jeudi 25 septembre :

La délégation quitte l'hôtel à 8 h 30 pour Bruce, situé à 200 kilomètres au nord-ouest de Toronto, sur les bords du lac Huron, où elle arrive à 11 h 45.

Elle y visite, sous la conduite de M. Franklin, Directeur technique, l'usine d'eau lourde de Douglas-Point, d'une capacité actuelle de 800 tonnes-an, et le chantier de construction des installations futures qui porteront la production à 3 200 tonnes en 1985.

Les sénateurs se rendent, ensuite, à la petite centrale électro-nucléaire de Douglas-Point, de 240 mégawatts électriques (mise en service en 1967), utilisée partiellement pour alimenter en vapeur les unités de production d'eau lourde voisines.

Ils visitent, enfin, le chantier de la centrale nucléaire de Bruce dont les quatre tranches de 750 mégawatts doivent entrer, progressivement, en service de 1976 à 1979.

La délégation quitte Toronto à 21 h 55 pour Ottawa où elle atterrit à 22 h 45. Elle est saluée à son arrivée dans la capitale fédérale par M. J. S. Foster, Président de l'Energie atomique du Canada, M. A. J. Prince, Président de la Commission de contrôle de l'Energie atomique, et M. Alain Sicé, Conseiller à l'Ambassade de France, et gagne, ensuite, l'hôtel Sheraton El Mirador.

Vendredi 26 septembre :

Les sénateurs sont accueillis à 9 heures à la Commission de contrôle de l'Energie atomique par son président, M. A. T. Prince.

Différents exposés leur sont présentés, ensuite, par MM. P. E. Hamel, Directeur technique, sur la sûreté des installations nucléaires ; J. P. Marchildon, de la direction des réacteurs nucléaires, sur le contrôle des produits radioactifs ; J. P. Drolet, sous-ministre adjoint à l'exploitation générale, sur la politique canadienne de l'uranium ; D. W. Fulford, du Ministère des Affaires extérieures, sur le problème de l'exportation des matières nucléaires.

Après le déjeuner offert à l'hôtel Carlton Towers par la commission, la délégation se rend au Commissariat à l'Energie atomique où M. Forster, Président de cet organisme, lui fait un exposé très complet de l'effort nucléaire canadien.

Les sénateurs assistent, en fin d'après-midi, à une réception offerte en leur honneur par M. Jacques Viot, Ambassadeur de France.

Ils quittent ensuite Ottawa à 18 h 30 pour Montréal où ils arrivent à 19 h 15.

La délégation est accueillie à l'aéroport par MM. Boulva, président de la Société d'aménagement de la baie, James et Philippe Girard, Directeur général de Canadif.

Elle se rend ensuite à un dîner offert par M. Charles Boulva avant de gagner l'hôtel Sheraton Mont Royal.

Samedi 27 septembre :

Les parlementaires quittent à 9 h 15 l'aéroport de Dorval en avion spécial pour le site de la Grande-Rivière situé à l'Est de la baie James (prolongement méridional de la baie d'Hudson) à environ 1 200 km au Nord de Montréal. Pour raison de santé, M. Chauty n'a pu, à son grand regret, participer à ce déplacement.

Arrivés à 12 h 15 à destination, les sénateurs visitent, sous la direction de M. Jean-Paul Fontaine, le chantier du complexe hydro-électrique qui, une fois totalement aménagé, en 1975, devrait atteindre une puissance de 11 000 mégawatts.

Les sénateurs quittent la Grande-Rivière à 19 h 30 et arrivent à Montréal à 22 h 40.

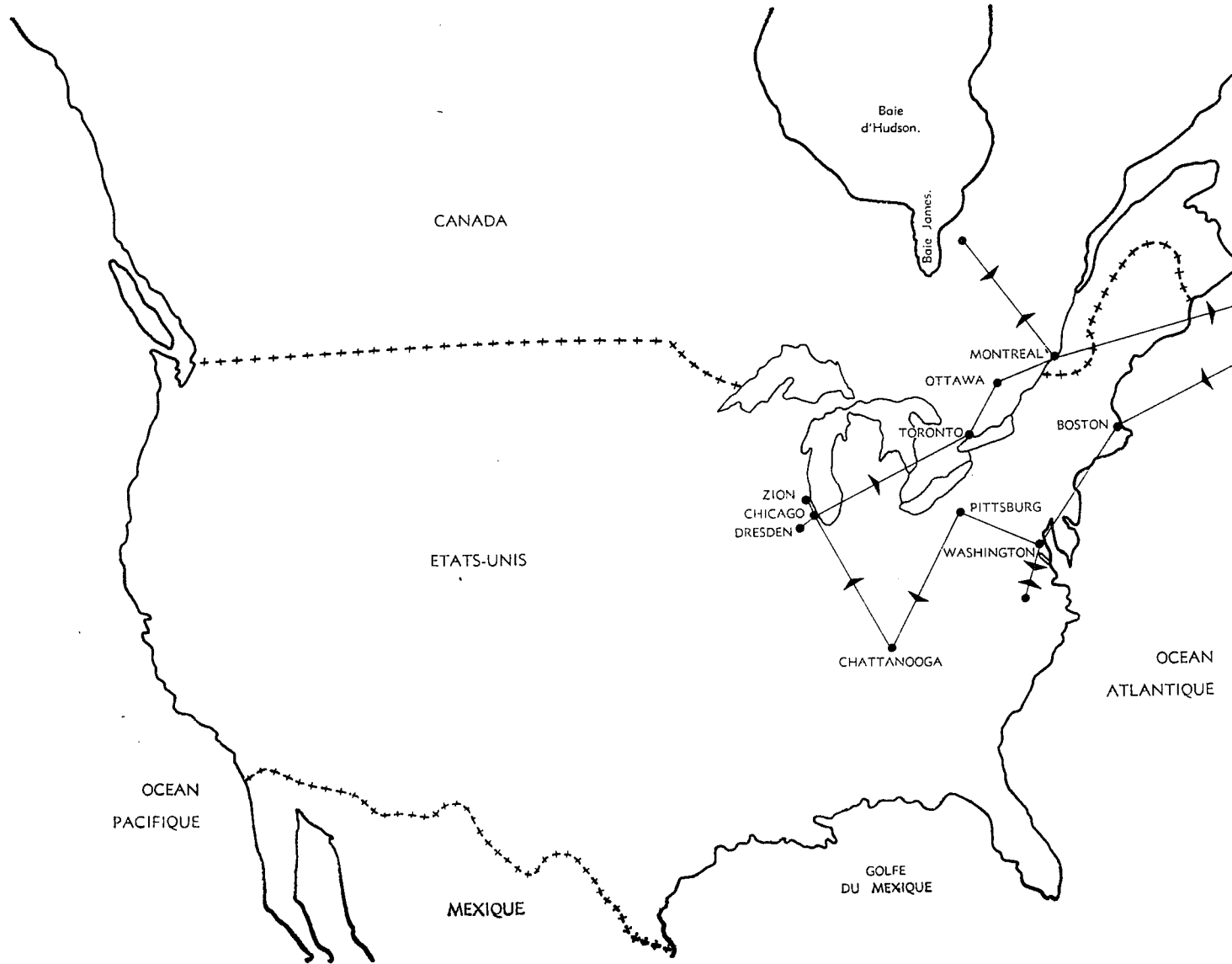
Dimanche 28 septembre 1975 :

La délégation visite dans la matinée, sous la direction de M. Bernard Leveillé, architecte de la ville de Montréal, le chantier des Jeux olympiques qui doivent se tenir dans cette ville en 1976.

Ils sont conviés ensuite à déjeuner, au Pavillon Hélène de Champlain, par M. Drapeau, maire de la ville, représenté par son Chef de cabinet, M. Michel de Montigny.

Les sénateurs quittent Montréal à 21 h 45 par le courrier régulier d'Air France et arrivent à Paris (Roissy) le *lundi 29 septembre 1975*, à 9 h 20 (heure locale).

ITINERAIRE DE LA MISSION



I. — L'ENERGIE NUCLEAIRE AUX ETATS-UNIS

A. — Bilan et perspectives énergétiques.

1° SITUATION ACTUELLE

Le bilan énergétique des U. S. A. pour l'année 1973 se présentait comme suit en millions de tonnes d'équivalent pétrole (T. E. P.).

Charbon	334,8, soit 18 %
Pétrole	860,8, soit 46,2 %
Gaz naturel.....	571, soit 30,7 %
Energie nucléaire.....	21,2, soit 1,2 %
Hydraulique	72,7, soit 3,9 %

Total 1 860 M. T.E.P.

La répartition de la consommation par grand secteur est la suivante :

Foyers domestiques et commerce.....	20,7 %
Industries	27,5 %
Transport	25,3 %
Production d'électricité.....	26,5 %

Enfin, on estime que le taux de couverture du pays par ses ressources propres est de l'ordre de 81 %.

Si l'on compare ces données avec celles concernant la France, deux observations majeures s'imposent. En premier lieu, la situation des Etats-Unis se présente beaucoup plus favorablement que celle de notre pays, dont le taux de couverture n'est que de 25 % environ.

En second lieu, la quantité d'énergie consommée par tête ressort à 9 tonnes d'équivalent pétrole pour les Américains contre 3,4 pour la France.

2° PERSPECTIVES

Habités à dépenser sans compter une énergie dont ils estimaient posséder sur leur propre sol des ressources inépuisables, la plupart des Américains conçoivent mal, même aujourd'hui, que cette ère de facilité ait pris fin et les hauts responsables que nous avons rencontrés déplorent tous cet optimisme persistant. Les avertissements les plus solennels n'ont cependant pas manqué, comme nous allons le rappeler brièvement :

a) *La politique de Nixon et le projet « Indépendance ».*

Dès le début de 1973, le Président Nixon a fait effectuer, par son administration, une série d'études sur la situation énergétique des Etats-Unis, caractérisée principalement par un écart croissant entre la demande de pétrole et de gaz et la capacité productive américaine. Le 7 novembre 1973, le Président présentait à la télévision son programme « Indépendance » ayant pour objectif d'assurer la couverture totale du pays en matière d'énergie d'ici à 1980 par une série de mesures d'économie et d'incitation à la production.

Bien que le Président Ford ait, sur ce point, poursuivi la politique de son prédécesseur, la plupart des mesures préconisées n'ont pas été suivies d'effet en raison de l'opposition du Congrès et des réticences des industriels. Le seul résultat pratique paraît être aujourd'hui d'avoir permis de faire le point dans les domaines du charbon, du pétrole, du gaz et du nucléaire. Ce dernier secteur devant faire l'objet de l'essentiel de notre étude, nous nous limiterons, dans le cadre de ce chapitre, à donner quelques indications concernant les trois premiers produits.

b) *Situation des principaux produits énergétiques.*

1. Le charbon.

Le charbon, qui a joué un rôle essentiel jusqu'en 1950, a vu sa part décroître rapidement depuis vingt-cinq ans. Sa production, évaluée à 570 millions de tonnes en 1973 est, à concurrence de 10 % environ, exportée.

Les chiffres avancés au sujet des réserves exploitables sont très variables mais on peut retenir à titre indicatif celui de 434 milliards de tonnes indiqué par M. Zarb, administrateur de l'Administration fédérale de l'énergie. On notera que **cette quantité correspond à sept cents ans de consommation au taux actuel.**

Le souhait de la plupart des experts est que la production soit doublée d'ici à 1985, mais il paraît plus raisonnable de penser qu'on arrivera à cette date à 900 millions de tonnes, au mieux, les 1 200 millions pouvant toutefois être atteints en 1990. Trois obstacles de taille restent cependant à vaincre : la nécessité de recruter 150 000 mineurs supplémentaires, l'obligation de procéder à une complète rénovation du système ferroviaire, le respect des normes antipollution (le charbon étant le combustible le plus « salissant »).

2. Le pétrole.

La production annuelle de pétrole supérieure à 500 millions de tonnes jusqu'en 1973 est aujourd'hui inférieure à ce chiffre et **les U. S. A. doivent maintenant importer plus de 300 millions de tonnes de brut et de produits finis**, ce qui a représenté, l'an dernier, une dépense de 25 milliards de dollars. Selon la déclaration récente d'un représentant des U. S. A. à la Conférence sur l'énergie de Mexico (en septembre 1975), la production devrait recommencer à croître d'ici quelques années en raison de l'exploitation des gisements d'Alaska et pourrait culminer à 640 millions de tonnes en 1990 avant de décroître « rapidement et de façon dramatique ».

Selon M. Zarb, déjà cité ci-dessus, la poursuite de l'exploitation au niveau présent conduirait à un épuisement des réserves (connues et escomptées) dans un délai de dix-neuf à trente-deux ans.

Certes, il n'est pas fait état dans ces évaluations des réserves contenues dans les schistes bitumineux qu'une récente étude de deux physiciens de l'université de Seattle (MM. Fred Schmidt et David Bodawsky) chiffre à 100 milliards de tonnes, mais personne n'a été en mesure de nous indiquer le prix de revient du pétrole ainsi obtenu. On peut d'ailleurs faire confiance aux défenseurs de l'environnement pour s'opposer de toutes leurs forces aux bouleversements du milieu naturel qui résulteraient de l'exploitation à grande échelle de ces roches.

Quoi qu'il en soit, comme nous l'ont déclaré la plupart des personnalités rencontrées par notre mission, il est grand temps de considérer que les hydrocarbures sont avant tout de précieux produits chimiques et non des combustibles.

3. Le gaz naturel.

Comme nous avons pu l'observer, le gaz naturel joue aux Etats-Unis un rôle très important mais sa production qui dépasse 600 milliards de mètres cubes doit être appréciée par rapport aux réserves connues estimées à 7 075 milliards. Même en tenant compte des ressources probables, on pense que cette source énergétique serait épuisée en trente-cinq ou cinquante ans.

*
* *

Tout donne donc à penser que, sous réserve d'une exploitation à grande échelle des schistes bitumineux qui exigerait des moyens et des travaux gigantesques, **les Etats-Unis devront à moyen terme baser leur énergie sur le charbon et le nucléaire.**

Ainsi que nous l'ont répété tous les experts rencontrés à Washington et ailleurs, *il ne s'agit pas d'un choix mais d'une nécessité absolue* et la lourdeur des investissements à entreprendre impose que cette nouvelle orientation ne souffre aucun retard.

A ce point de notre étude, *une observation essentielle nous paraît devoir être faite*. Contrairement à ce qui se passe en France, l'élément moteur de toutes les décisions et de toutes les transformations, au plan énergétique comme dans les autres domaines reste, aux Etats-Unis, en dépit de l'intervention croissante de l'exécutif, *l'action des entreprises privées* soucieuses à juste titre de conforter leur situation propre. Cet objectif explique mieux que l'opposition des défenseurs de l'environnement, la difficulté pour une nation aussi puissante et organisée de mettre au point un programme coordonné à moyen et long terme, *dès lors que la rentabilité immédiate des actions à entreprendre n'apparaît pas évidente*. Si l'on ajoute à cet élément la méfiance instinctive des Américains pour toute construction *a priori* et leur préférence pour une démarche empirique, on comprend combien est ardue la tâche de ceux qui sont convaincus de la gravité du problème énergétique qui se pose à ce pays et qui pourrait remettre en cause le haut niveau de vie dont il est si fier.

B. — Organismes compétents au plan énergétique.

1° ORGANISMES DU POUVOIR EXÉCUTIF

Depuis le printemps de 1973, le Gouvernement fédéral s'est engagé dans une profonde réforme administrative intéressant le secteur énergétique.

La première action entreprise a été celle du Président Nixon décidant, dès avril 1973, de créer une *Administration fédérale de l'énergie* (F.E.A.), organisme chargé d'arrêter les mesures à prendre pour réduire la consommation d'énergie, préserver les ressources nationales, mettre en œuvre de nouvelles techniques et définir une politique d'exportation et d'importation adéquate.

Ce fut la F.E.A., officiellement mise en place le 28 juin 1974 qui élaborera le projet « Indépendance » évoqué ci-dessus.

Les réformes de structures, intéressant plus particulièrement le secteur nucléaire, résultent de la loi du 11 octobre 1974 comprenant deux volets essentiels :

- suppression de la Commission de l'énergie atomique (A.E.C.) ;
- dévolution de ses attributions à deux organismes nouveaux :
 - l'Administration pour la recherche et le développement de l'énergie (E.R.D.A.) ;
 - la Commission de réglementation nucléaire (N. R. C.).

Le premier organisme a pour fonctions de définir et d'appliquer la politique de recherche et de développement concernant pratiquement toutes les sources d'énergie ainsi que la prévention de la pollution pouvant résulter de leur emploi.

Nous avons retenu notamment que, parmi les directives gouvernementales, figure : « le développement technologique en liaison étroite avec les entreprises privées *dans le but de parvenir à l'exploitation commerciale* ».

Le second organisme, reprenant les attributions de l'A.E.C. dans le domaine de la réglementation, a pour mission d'établir les normes de réalisation des installations nucléaires, d'accorder les autorisations de construire celles-ci et de contrôler l'utilisation qui est faite des matières nucléaires.

L'objectif général recherché était, on le voit, *de séparer très nettement ceux qui définissent les normes des installations nouvelles et qui ont donc tendance à les trouver parfaites, et ceux qui sont appelés à les contrôler.*

En dehors de ces administrations, il en subsiste une troisième : l'Agence pour la protection de l'environnement (E.P.A.) créée le 2 décembre 1970, dont le rôle est d'étudier la pollution engendrée par les installations industrielles et d'établir dans ce but une réglementation appropriée.

Ce dernier organisme a perdu, il est vrai, une partie de son importance depuis que ses activités de recherche ont été transférées à l'E.R.D.A.

L'indépendance de l'E. R. D. A et de la N. R. C. vis-à-vis des pressions extérieures a été un des soucis majeurs des législateurs.

C'est ainsi que l'E.R.D.A. est gérée par un conseil de huit hauts fonctionnaires (un administrateur, un administrateur délégué et six assistants) nommés pour cinq ans et ne pouvant, en principe, pas être révoqués au cours de cette période.

L'administrateur et l'administrateur délégué sont bien nommés par le Président mais *cette désignation doit être confirmée par le Sénat.*

La N.R.C. est gérée par un comité de cinq membres comprenant un président et quatre « commissionners » renouvelables par cinquième chaque année. Le président est nommé par le Président des Etats-Unis mais cette désignation doit être confirmée, également, par le comité atomique paritaire du Congrès.

Pour juger de l'importance des moyens de ces deux organismes, on notera que l'E.R.D.A. dispose d'un personnel de 7 200 employés et d'un budget de 11 milliards de dollars pour les cinq prochaines années, tandis que le budget de la N.R.C. pour 1975 s'élève à 140 millions de dollars.

Rappelons enfin que le premier président de la N.R.C. est l'ancien astronaute William A. Anders qui fut ensuite secrétaire du Conseil national de l'aéronautique et de la recherche spatiale puis commissaire à l'Energie atomique.

2° LA COMMISSION ATOMIQUE PARITAIRE DU CONGRÈS

(JOINT COMMITTEE)

Au niveau parlementaire existe un organisme permanent très important qui exerce un contrôle vigilant à tous niveaux sur l'action du pouvoir exécutif et l'activité des industriels et des compagnies d'électricité, c'est la Commission atomique paritaire du Sénat et du Congrès (Joint Committee) comprenant neuf sénateurs et neuf députés et présidée actuellement par M. John O. Pastore, sénateur. Cette commission a la possibilité de convoquer tous les hauts responsables publics ou privés en ce qui concerne la mise en œuvre de l'énergie nucléaire. Elle peut également entendre les mêmes personnes ou toute association ou même simple particulier intéressés par ces problèmes en auditions publiques « hearings ». Sous réserve d'en faire la demande motivée en temps utile, tout citoyen peut assister à ces auditions et y prendre la parole. Les journalistes de la presse et des moyens audiovisuels assistent également à ces réunions dont le compte rendu est largement diffusé. Sénateurs et députés sont assistés par un important état-major de fonctionnaires du Parlement.

Votre délégation a eu le privilège d'assister à un de ces « hearings » dont l'objet était d'examiner les circonstances dans lesquelles s'était déclaré un grave incendie dans la centrale nucléaire de Browns Ferry, le 22 mars 1975. Elle a pu, à cette occasion, entendre M. Anders, président de la N.R.C., qui a fait un exposé très complet de cet événement.

Signalons, à ce propos, que cet incendie dû à l'imprudence d'un ouvrier recherchant la provenance d'une fuite d'air avec une bougie, n'a causé aucun accident de personne, *ni aucune manifestation radioactive*, les dispositifs de sécurité ayant correctement fonctionné.

C. — Le cycle du combustible nucléaire.

1° BESOINS ET RESSOURCES EN URANIUM

Le développement de l'énergie nucléaire pose bien évidemment le problème de l'alimentation en combustible des réacteurs. Cette question préoccupe d'autant plus les Américains que l'épuisement progressif de leurs ressources en pétrole et en gaz leur a montré le danger de baser leur puissance industrielle sur des sources énergétiques dont ils ne seraient pas les maîtres.

a) *Demande et capacité de production.*

La demande annuelle d'uranium correspondant aux besoins des réacteurs existants et de ceux qui entreront en service à moyen terme s'accroît rapidement. De 10 000 tonnes d'oxyde (U^3O_8) en 1975, on estime qu'elle passera à 70 000 tonnes en 1990 et, d'ici l'an 2000, la quantité consommée cumulée devrait s'élever à 940 000 tonnes. Or, selon les prévisions établies au début de 1975, la capacité productive des installations minières existantes ne dépasserait pas, sur la base d'un prix de 8 dollars la livre, bien dépassé aujourd'hui, le niveau de 30 000 tonnes par an.

A l'heure présente, l'extraction du minerai d'uranium est assurée par seize compagnies privées parmi lesquelles se détachent la Kerr Mc Gee Corporation, la United Nuclear Homestake Partners et l'Anaconda Company, opérant toutes trois dans le New Mexico. Sept autres entreprises sont situées dans le Wyoming, deux dans l'Utah et le Colorado, une dans le Texas et le Washington.

Si donc les moyens actuels peuvent faire face à la demande jusqu'en 1982-1983, il importe dès maintenant de mettre en exploitation de nouveaux gisements. Il est vrai que la hausse importante des cours de l'oxyde permet dès aujourd'hui d'accepter des prix de revient d'extraction plus élevés et, en conséquence, d'exploiter des gisements moins accessibles ou plus pauvres.

Ceci nous conduit à nous interroger sur l'importance des ressources uranifères américaines.

b) *Réserves et ressources.*

L'appréciation des réserves uranifères des Etats-Unis varie de façon très importante suivant les organismes qui se sont penchés sur cette question. Nous nous bornerons donc aux renseignements fournis à la délégation à Washington par les responsables de l'E. R. D. A. et qui se résument comme suit (en tonnes d'U³ O⁸):

PRIX DE REVIENT	RESERVES certaines.	RESERVES probables.	RESERVES possibles.	RESERVES spéculatives.	TOTAL
De 8 à 10 dollars la livre	315 000	460 000	390 000	110 000	1 275 000
De 10 à 15 dollars la livre	420 000	680 000	640 000	210 000	1 950 000
De 15 à 30 dollars la livre	600 000	1 140 000	1 340 000	410 000	3 500 000

Faut-il considérer que ce chiffre de 3 500 000 tonnes est un maximum ? Beaucoup ne le pensent pas et avancent des évaluations très supérieures basées sur des prix de revient beaucoup plus élevés.

A titre indicatif, nous pouvons citer une intéressante étude de l'Electric Power Research Institute qui estime que, sur la base d'un coût de production inférieur à 100 dollars la livre, les ressources en uranium, complémentaires des précédentes, seraient de :

- 3,5 à 7,7 millions de tonnes dans les gisements reconnus ;
- 12,2 à 28,9 millions de tonnes pour l'ensemble des Etats-Unis.

A ces tonnages, s'ajouteraient encore, en acceptant les minerais à très faible teneur (0,05 à 0,10 %), 14 millions de tonnes dont 3,7 provenant des régions productrices.

Enfin, il est théoriquement possible d'extraire de l'uranium en quantité considérable de certains gisements « non conventionnels » tels que la syénite des monts Bearpaw dans le Montana, le schiste uranifère du bassin de Chattanooga dans le Tennessee, sans parler des bassins houillers dont certains pensent qu'ils contiennent plus d'énergie nucléaire que leur équivalent calorifique.

Il ne s'agit, cependant, précisons-le, que de pures spéculations et il est préférable de s'en tenir aux chiffres officiels jugés déjà optimistes par bien des experts.

En conclusion, la situation de l'uranium aux Etats-Unis peut être appréciée de façon fort différente. Dans les conditions actuelles du marché, la pénurie apparaît menaçante à court terme mais le renchérissement rapide du « combustible » devrait permettre d'écarter cette perspective, compte tenu du volume quasi illimité des réserves potentielles du pays.

Ce qui est aujourd'hui préoccupant et qui peut toutefois poser un problème d'ici sept à huit ans, *ce n'est donc pas l'insuffisance de ressources mais le manque de capacité de production* parce que le marché déprimé de l'uranium des dernières années a dramatiquement ralenti les investissements des sociétés minières.

On trouve là un exemple de l'inconvénient d'une économie trop directement axée sur le profit immédiat et mal adaptée comme telle à des prévisions à long terme.

2° L'ENRICHISSEMENT DE L'URANIUM

L'équipement nucléaire américain étant basé sur des centrales à eau légère utilisant de l'uranium où le taux d'isotope 235 a été porté de 0,7 à 2,5 ou 3,5 %, l'alimentation des centrales suppose un traitement préalable de ce métal visant à « l'enrichir ».

Pour la compréhension des renseignements fournis ci-après concernant la capacité d'enrichissement, il convient de noter que celle-ci se mesure en unités de travail de séparation (U. T. S.) et qu'il faut 4,6 U. T. S. pour obtenir 1 kilogramme d'uranium enrichi à 3 % avec un taux de rejet de 0,25 % (soit, pour une centrale de 900 MW : 220 000 U. T. S. pour la première charge et de 105 000 pour son renouvellement partiel annuel).

a) *Capacité actuelle et future des installations existantes.*

Jusqu'ici, la Commission atomique américaine, d'abord, et l'E. R. D. A. ensuite ont été les seuls fournisseurs d'uranium enrichi.

Les trois usines d'Etat d'enrichissement utilisant le procédé par diffusion gazeuse, analogue à celui mis en œuvre à Pierrelatte, sont actuellement en mesure de fournir 17 millions d'U. T. S. par an, mais leur modernisation permettrait moyennant une dépense d'énergie supplémentaire de l'ordre de 20 % seulement, de porter cette capacité à 22,8 millions d'U. T. S. en 1980, 25,2 en 1982 et 27,7 en 1990.

b) *Evolution des besoins américains.*

Dans l'immédiat, la capacité des installations est nettement supérieure aux besoins des États-Unis qui sont de l'ordre de 5 millions d'U. T. S. seulement, mais, bien que le développement du programme de construction de centrales ait été sensiblement ralenti, le potentiel à mettre en œuvre pour satisfaire les seuls besoins nationaux devrait évoluer comme suit au cours de la prochaine décennie :

1980	12,8 millions d'U. T. S.		
1982	18,6	—	—
1984	23,8	—	—
1986	30,5	—	—
1988	38,4	—	—
1990	47,4	—	—

A ces chiffres, il convient d'ajouter les contrats à long terme passés avec les nations étrangères qui, en dépit de la décision prise par l'A. E. C., en 1974, de ne plus accepter de nouvelles commandes extérieures, devront être honorés pendant les dix années à venir.

Compte tenu de ces engagements à l'exportation, les livraisons totales à effectuer par l'E. R. D. A. se présentent comme suit (en millions d'U. T. S.) sur la base des contrats signés jusqu'en octobre 1974 :

1975	6,8	1981	25,7
1976	8,9	1982	28,4
1977	9,2	1983	23,8
1978	12,9	1984	28,3
1979	17,5	1985	29,1
1980	19,0	1986	28,4

La seule lecture de ces chiffres montre que la capacité de production américaine sera, dès l'année 1981, inférieure au montant des engagements pris et, à partir de 1983, insuffisante pour couvrir les besoins propres du pays.

Il faut cependant tenir compte des quantités d'uranium enrichi que la surcapacité provisoire des installations actuelles a permis et permet encore de stocker.

Grâce à ces réserves dont le volume nous est inconnu mais qui sont sans doute importantes, il est probable que les Etats-Unis pourront faire face à leurs engagements et à leurs besoins jusqu'en 1985 ou 1986, mais au-delà, ils devront bien évidemment recourir à de nouvelles installations.

c) Les projets de nouvelles usines d'enrichissement.

Conscient de l'accroissement des besoins du pays en uranium enrichi, le gouvernement encourage les groupes privés à prendre le relais de l'E. R. D. A. Ceux-ci bénéficient, d'ailleurs, de la technique acquise et développée dans les laboratoires nationaux, ce qui n'est pas un mince avantage.

Le projet qui semble actuellement le plus avancé est celui de la Société Bechtel qui, en dépit de la défection de Westinghouse et d'Union Carbide avec lesquels elle s'était associée, poursuit son étude d'une usine de diffusion gazeuse.

Le coût de cet établissement d'une capacité de 9 millions d'U. T. S. est estimé par Atomic Industrial Forum à 4,4 milliards de dollars, prix comprenant les centrales électriques destinées à l'alimenter. L'uranium enrichi fourni permettrait d'alimenter quarante réacteurs de 1 000 mégawatts en première charge ou de soutenir le fonctionnement d'un parc de centrales d'une puissance totale de 85 000 MWe.

La Société Bechtel déclare n'attendre que l'accord des autorités pour commencer les travaux qui pourraient débiter dès 1976. Mais en fait cette entreprise demande aussi certaines garanties ou aides financières. Sous réserve qu'un arrangement puisse être trouvé avec l'Etat, l'usine pourrait entrer en fonctionnement entre 1981 et 1983.

Ce délai donne une idée de l'urgence de la décision à prendre si l'on ne veut pas que l'insuffisance des moyens d'enrichissement constitue un goulet d'étranglement pour l'industrie nucléaire américaine. Il serait vain, en effet, de compter, comme on peut le faire pour l'uranium naturel, sur les ressources des pays étrangers qui ont eu, au contraire, recours jusqu'à présent principalement aux Etats-Unis pour s'alimenter en uranium enrichi.

Le gouvernement est conscient de l'importance du problème et le Président Ford a ainsi présenté au Congrès, en juin 1975, un projet de loi (le Nuclear Fuel Assurance Act) qui autoriserait l'E. R. D. A. à passer des accords avec les sociétés privées. Aux termes de ce texte, ces entreprises pourraient bénéficier des connaissances scientifiques et technologiques de cet organisme et se voir fournir, soit des garanties, soit une aide financière directe.

L'E. R. D. A. développe parallèlement à la technique de la diffusion gazeuse celle de la centrifugation et consacre des efforts et des crédits importants à ce procédé selon un programme connu sous le nom de D. C. E. F. (Demonstration Centrifuge Enriching Facilities).

L'accès aux techniques mises au point par les services nationaux est identique à celui offert aux utilisateurs de la diffusion gazeuse. De plus, tout en cherchant à mettre au point des installations pilotes, le gouvernement envisagerait de participer financièrement à titre provisoire à certains projets sous réserve de la garantie d'un volume suffisant de commandes des compagnies d'électricité.

Dans l'immédiat, l'E. R. D. A. tente de mettre au point une industrie de fabrication des centrifugeuses et plusieurs entreprises telles que Exxon et Garrett Corporation paraissent disposer à utiliser massivement ces nouveaux matériels.

Les experts rencontrés sur place nous ont paru intéressés par la nouvelle technique qui permettrait, notamment, de répondre aux besoins de compagnies d'électricité souhaitant à la fois disposer de sources autonomes et indépendantes d'uranium enrichi et de diversifier leur approvisionnement.

En haut lieu, on est également tenté par l'économie importante d'énergie que permet ce procédé qui consomme environ cinq fois moins d'électricité par U. T. S. que la diffusion gazeuse.

Quoi qu'il en soit, la situation aux U. S. A. ne nous semble pas sensiblement différente de celle qui prévaut aujourd'hui en Europe et, là-bas comme ici, *la diffusion gazeuse reste pour le moment la seule technique fiable et éprouvée*. Dans la meilleure hypothèse, les premières installations de centrifugation ne verraient le jour qu'après 1982 avec des capacités initiales ne dépassant pas un million d'U. T. S. pouvant être portées à deux millions d'U. T. S. vers 1984-1985. L'objection majeure reste la faible capacité unitaire des

centrifugeuses et les redoutables problèmes mécaniques et d'étanchéité que pose leur réalisation avec comme conséquence un coût d'investissement encore beaucoup trop élevé pour compenser l'économie d'énergie qu'elles permettent.

Il n'en reste pas moins que le choix ainsi offert à la clientèle, pour théorique qu'il soit, présente l'inconvénient de retarder les décisions urgentes qui s'imposent.

3° RETRAITEMENT DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

Contrairement au charbon ou au pétrole dont les résidus de combustion sont inutilisables du moins au plan énergétique, le combustible nucléaire que l'on retire des centrales après utilisation contient, notamment, des quantités appréciables d'uranium 235 et de plutonium radioactifs. Il est donc économiquement souhaitable de les récupérer. Ce sont les opérations entreprises dans ce but qu'on désigne communément sous le nom de retraitement (en anglais : reprocessing).

Compte tenu de ce que nous venons d'indiquer et de l'importance du parc nucléaire, on ne manquera pas d'être surpris qu'*il n'existe actuellement aux Etats-Unis aucune usine de retraitement*. De ce fait, la quantité de combustible usé augmente, chaque année, de façon importante et on prévoit que, de 1 000 tonnes au début de 1974, il s'élèvera à près de 5 000 tonnes à la fin de 1976.

En attendant que des décisions soient prises pour remédier à cette carence, les compagnies d'électricité utilisant l'énergie nucléaire se bornent à stocker les produits irradiés dans des piscines situées à proximité des centrales, piscines généralement agencées pour pouvoir être agrandies en cas de besoin.

Si l'on songe qu'il faut au moins sept ans et plus probablement dix ans pour concevoir, construire et mettre en activité des installations de retraitement appropriées, y compris les délais nécessaires à l'agrément et l'équipement de nouveaux sites, on peut penser que cette insuffisance de moyens ne se résoudra pas avant, au mieux, douze à quinze ans.

Les membres de votre délégation n'ont pas manqué de manifester à leurs interlocuteurs leur surprise devant une telle situation. Nous allons nous efforcer de résumer les principales explications qui nous ont été fournies.

En premier lieu, la Commission de l'énergie atomique (1), considérant à tort que le retraitement des produits irradiés deviendrait à court terme une activité rentable dans le cadre d'une économie de marché, a incité industriels et financiers à s'y lancer. Mais les indications fournies au départ sur le coût d'investissement et de fonctionnement se sont révélées complètement erronées en raison de l'aggravation considérable des charges entraînées par la réglementation nouvelle visant la sécurité et la protection de l'environnement. Le retraitement des combustibles constitue, en effet, une opération mécanique et chimique particulièrement délicate car les produits concernés sont très fortement radioactifs et les mesures à prendre pour éviter l'irradiation et la contamination du personnel sont telles que les interventions sur les matériels défectueux sont longues, délicates et coûteuses.

Ce souci de la sécurité et les charges nouvelles afférentes ont été les principales raisons pour lesquelles la plupart des industriels qui s'étaient engagés dans cette activité y ont renoncé, au moins provisoirement. Tel est, par exemple, le cas d'Atlantic Richfield et National Lead ainsi que de General Electric qui a renoncé à mettre en service son usine de Morris (Illinois) de 300 tonnes de capacité annuelle, après y avoir dépensé 60 millions de dollars. General Electric estimait en effet que les modifications qui lui étaient imposées auraient coûté de 90 à 130 millions de dollars et nécessité quatre ans de travaux. De leur côté, Getty Oil et Skelly Oil (groupe N. F. S.) se sont vu retirer par l'U. S. A. E. C. la licence d'exploitation de l'usine ouverte en 1966 et qui a fonctionné jusqu'en 1972 avec une capacité de 300 tonnes.

Un autre motif de la carence en moyens de retraitement tient au retard apporté à la mise au point des réacteurs rapides utilisateurs de plutonium, substance qui est, on le sait, un des principaux sous-produits du traitement des combustibles irradiés et contribue ainsi à valoriser cette opération (2).

(1) Aujourd'hui le N. R. C.

(2) Il est également possible d'utiliser ce plutonium dans les réacteurs à eau légère.

Enfin, les tergiversations officielles concernant le stockage et le conditionnement des déchets radioactifs n'est pas également de nature à stimuler les initiatives, beaucoup d'industriels estimant, en dernier ressort, que ce problème doit être pris en charge par l'Etat.

En dépit de ces difficultés, trois entreprises paraissent décidées à s'engager dans la voie du retraitement.

La première est Allied General Nuclear Services (A. G. N. S.) associant Allied Chemical et la Compagnie General Atomic.

Ce groupe réalise actuellement à Barnwell, en Sud Caroline, une usine de 1 500 tonnes de capacité pour laquelle le permis de construire a été délivré en 1970. A. G. N. S. compte que cet établissement pourra entrer en service en juillet 1976. Le coût minimum de l'opération est évalué à 500 millions de dollars.

Le groupe N. F. S., dont nous avons relaté ci-dessus les difficultés, mais qui bénéficie de l'expérience acquise (620 tonnes traitées de 1966 à 1972), s'oriente vers la réalisation d'une usine de 750 tonnes de capacité par extension et transformation de la précédente. Si le « barrage » des auditions publiques est franchi, cet établissement pourrait entrer à nouveau en service au début de 1979. Faisant preuve d'un bel optimisme, la firme continue cependant à recevoir et à stocker des combustibles irradiés provenant des sociétés d'électricité dont elle pense s'assurer ainsi la clientèle.

Enfin, Exxon a annoncé son intention de construire une usine de retraitement de forte capacité, mais celle-ci ne serait opérationnelle qu'en 1985.

Un certain déblocage d'une situation jusqu'ici figée par une réglementation de plus en plus rigide se manifeste donc mais chacun est aujourd'hui conscient qu'un effort très important reste à faire pour éviter une dramatique pénurie de moyens alors que le tonnage des produits à retraiter annuellement, selon les prévisions, devrait dépasser 10 000 tonnes en 1982 et 20 000 tonnes en 1985.

4° LES DÉCHETS RADIOACTIFS

a) *Caractéristiques générales.*

Ce problème se rattache directement au précédent. En effet, si les déchets radioactifs apparaissent à tous les stades de l'exploitation de l'énergie nucléaire, *les plus dangereux sont ceux qui sont contenus dans les combustibles irradiés.* C'est donc au stade du retraitement de ces derniers qu'ils sont manipulés et isolés.

Aux Etats-Unis, comme dans les autres pays, les déchets sont classés en deux catégories :

— *les déchets à faible niveau de radioactivité* sont désignés comme tels, soit parce qu'il s'agit de faibles concentrations, soit en raison de leur radioactivité peu importante et n'ayant pas de ce fait de répercussion significative sur l'environnement. Ils peuvent se présenter sous forme de résidus d'opérations chimiques, de ferrailles, de plastiques, de filtres ou de tous matériaux contaminés provenant de laboratoires ou de centrales ;

— *les déchets à haut niveau de radioactivité et à vie longue* proviennent essentiellement des combustibles irradiés.

Il s'agit, d'une part, des produits de fusion à vie longue, tels que le césium 137 et le strontium 90 et des actinides à très longue période d'activité tels que l'américium ou le curium.

On y classe, d'autre part, les matières contenant des résidus de plutonium non récupérés et, parmi ceux-ci, les isotopes supérieurs de ce métal (240, 241 et 242) émetteurs également à très longue vie qui comptent parmi les plus dangereux en raison des risques de toxicité par contamination ainsi que les déchets constitués par *tous objets ayant été contaminés par des produits transuraniens* et contenant, de ce fait, des quantités significatives d'émetteurs alpha.

Parmi tous ces déchets, les experts, bien que préoccupés par les produits transuraniens à longue durée de vie mais à radioactivité faible et facile à arrêter, estiment que les plus nocifs, en raison de leur très forte radioactivité, sont le césium 137, et surtout le strontium 90 qui a la propriété de se fixer définitivement sur le squelette.

Les produits appartenant aux deux dernières catégories doivent donc être stockés en des enceintes parfaitement isolées et sous perpétuelle surveillance après avoir été incorporés dans des matériaux insolubles, incombustibles et inattaquables par tous agents chimiques courants.

b) *Gestion des déchets.*

La responsabilité du traitement et de la conservation des déchets hautement radioactifs et à longue vie incombe au gouvernement fédéral et, plus précisément, à l'E. P. A. et à l'E. R. D. A.

Les travaux entrepris précédemment dans ce but par l'A. E. C. et poursuivis par ces deux organismes portent sur deux points principaux : le traitement des produits et leur stockage.

Concernant *le traitement des déchets*, des études et travaux poursuivis au laboratoire nucléaire d'Idaho et à Hanford visent à mettre au point des méthodes d'incorporation dans des blocs de métal (acier inoxydable), de céramique ou de verre. Les services du gouvernement testent la fiabilité des différents procédés et tentent de définir les méthodes les plus valables et les plus économiques.

En ce qui concerne *le stockage*, le problème est moins ardu qu'en France dans la mesure où les Etats-Unis disposent, dans le centre ouest, de vastes territoires pratiquement inhabités à peu près privés d'eau et d'une grande stabilité géologique. De plus, il apparaît logique, au moins dans un premier temps, d'utiliser les sites déjà pollués par les explosions souterraines.

Mais les experts nous sont apparus en désaccord sur un point important : convient-il d'enfouir les déchets de façon définitive sans possibilité de surveillance et de récupération ou faut-il, au contraire, prévoir un stockage contrôlable et accessible ?

Adoptant une position médiane, l'E. P. A. et l'E. R. D. A. ont marqué leur préférence pour un enfouissement dans des couches géologiques profondes et stables où des cavités appropriées et susceptibles d'être ventilées seraient aménagées, ce qui permettrait la récupération éventuelle des déchets. On espère, en effet,

que, d'ici vingt à trente ans, auront été mises au point des techniques permettant, soit de « casser » les atomes des produits concernés, soit de les éliminer de toutes autres manières. Certains parlent aussi de les expédier dans l'espace, mais ceci paraît moins sérieux.

Quoi qu'il en soit, nous n'avons pas connaissance que cette méthode d'emmagasinage soit encore utilisée aux Etats-Unis bien qu'un projet de stockage de plutonium et, plus tard, d'autres déchets fortement radioactifs, dans les couches salines du Nouveau Mexique soit à l'étude dans le cadre de l'opération « Alpha Waste Repository ».

Sur un plan moins spéculatif, l'E. P. A. a, d'ores et déjà, pris position contre le rejet en mer ou l'immersion de tout déchet radioactif de haute activité, étant entendu que, pour ceux de basse activité, l'immersion peut être autorisée dans des conteneurs dont la durée de résistance est équivalente à la période de vie des produits considérés. De toute manière, l'E. P. A. doit accorder un visa pour toute opération d'immersion et en assure ensuite le contrôle.

Comme nous l'ont précisé les spécialistes de cette Agence, rencontrés à Washington, l'examen de fûts de déchets radioactifs (incorporés dans du béton) immergés par 1 000 mètres de fond le long de la côte atlantique et au large de San Francisco a permis de montrer que ces récipients avaient mal résisté à la pression et à la corrosion marine. Ceci justifie les interdictions évoquées ci-dessus. Notons, enfin, que l'E. P. A., qui se fait le défenseur vigilant de l'environnement, vient, tout récemment, d'exiger la récupération des traces de tritium et de krypton contenues dans les effluents gazeux rejetés jusqu'ici dans l'atmosphère par les centrales nucléaires.

c) *Volume et stockage actuels des déchets.*

En raison même de l'absence de capacité de retraitement aux Etats-Unis, la quantité de déchets de haute activité est encore relativement faible, du moins si l'on ne tient pas compte des combustibles irradiés provisoirement stockés en piscine le plus souvent à proximité des centrales.

Quoi qu'il en soit, les statistiques américaines établissent une distinction entre les déchets provenant des installations du gouvernement et ceux imputables aux centrales privées.

1. Déchets provenant des installations gouvernementales.

En ce qui concerne les déchets de la première catégorie parmi lesquels on estime qu'environ 25 % sont suffisamment contaminés par les produits transuraniens pour nécessiter un conditionnement de longue durée, les quantités stockées chaque année depuis 1968 de façon récupérable ou non sont les suivantes :

1968	47 169 mètres cubes.		
1969	52 947	—	—
1970	44 550	—	—
1971	37 881	—	—
1972	37 989	—	—
1973	34 776	—	—
1974	35 100	—	—

2. Déchets provenant des centrales ou des laboratoires privés.

Ces matières le plus souvent de bas niveau radioactif sont enterrées pour la plus grande partie dans six dépôts souterrains spécialisés appartenant à trois sociétés qui assurent à la fois le conditionnement, le transport et le stockage des déchets.

Il s'agit des dépôts :

— de Richland (Washington), de Beatty (Nevada), de Sheffield (Illinois) et de Morehead (Kentucky), propriétés de la Compagnie Nuclear Engineering ;

— de West Valley (New York) appartenant à la Nuclear Fuel Services ;

— de Barnwell (Sud Caroline), propriété de la Société Chemical Nuclear Services.

Les quantités stockées annuellement depuis 1968 ont évolué comme suit :

1968	18 009 mètres cubes.		
1969	20 304	—	—
1970	26 865	—	—
1971	32 589	—	—
1972	36 045	—	—
1973	45 198	—	—
1974	48 600	—	—

On estime que ces volumes sont destinés à s'accroître de façon très sensible et pourraient dépasser 50 000 mètres cubes en 1975, 100 000 en 1980 et 150 000 en 1985.

Pour apprécier l'importance du problème, précisons qu'une tranche nucléaire de 1 000 mégawatts électriques produit chaque année environ 7 tonnes de déchets de haute activité (1) et 230 tonnes de produits de bas niveau radioactif.

D. — Les centrales nucléaires.

1° LES PROCÉDURES ADMINISTRATIVES PRÉLIMINAIRES

L'autorisation de construire et de mettre en fonctionnement une centrale nucléaire est soumise à un certain nombre d'obligations qui visent essentiellement à assurer la protection de la vie et de la santé des employés de l'installation et des populations habitants au voisinage et à éviter toute détérioration de l'environnement.

Sous la pression de l'opinion publique et du Congrès, la réglementation, tout d'abord assez libérale, s'est considérablement alourdie depuis quelques années entraînant un allongement sensible des délais de mise en service, passés progressivement de six ans à dix ans, et une augmentation notable des prix. Nous verrons par la suite que le gouvernement cherche aujourd'hui à lutter contre cette tendance qui freine sensiblement la mise en œuvre du programme nucléaire.

a) *Permis de construire.*

L'utilisation d'un site est soumise à l'obtention préalable d'un permis de construire accordé après examen de deux documents à fournir par le demandeur (généralement la société productrice d'électricité) : le rapport préliminaire de sûreté (P. S. A. R.) et le rapport sur l'environnement relatif à la construction.

Après avoir recueilli les avis des commissions locales et entendu les déclarations des éventuels opposants (individus ou associations) au cours d'auditions publiques, les commissaires de la N. R. C. délivrent le permis de construire.

(1) Qui peuvent être stockés dans un volume de l'ordre de 2 mètres cubes, enrobage de verre compris.

Ainsi que nous l'ont indiqué les fonctionnaires de cet organisme, le volume des documents à fournir au départ par les demandeurs est tel qu'il *représente la charge de plusieurs camions* et ceci explique à la fois le temps consacré à l'élaboration des rapports préliminaires, soit deux ans, et le délai nécessaire à leur examen par les juges locaux et par toute personnes désirant prendre connaissance des dossiers, soit environ dix-huit mois.

C'est seulement après ce délai qu'interviennent les auditions publiques qui doivent obligatoirement se tenir dans le district où s'élèvera la centrale. A la suite de ces « hearings » obligatoires, une première décision, favorable ou non, est prise, mais elle est susceptible de recours auprès d'un conseil d'appel. La position adoptée au plan local ne devient d'ailleurs définitive qu'après approbation par la N.R.C.

Ainsi, tout paraît du moins se passer dans le strict respect de la volonté des populations concernées mais un délai qui peut atteindre quatre ans a été consacré à cette procédure au terme de laquelle la construction de la centrale peut enfin commencer.

Ceci apparaît *un temps bien long* lorsqu'on sait qu'en définitive une seule demande a été refusée jusqu'à maintenant par un conseil local et que cette décision a été cassée en appel. Il est vrai que plusieurs demandeurs, sans doute découragés, ont renoncé à leur projet.

b) *Licence d'exploitation.*

Lorsque la construction est suffisamment avancée, c'est-à-dire environ trois ans plus tard, le demandeur soumet un rapport final de sûreté (F.S.A.R.) et un rapport sur l'environnement relatif à l'exploitation (opérations Licence stage) dans le but d'obtenir la licence d'exploitation de la centrale.

Ces deux rapports sont examinés dans les mêmes conditions que les précédents sous la réserve que les auditions publiques ne sont dans ce cas que facultatives.

On estime qu'il faut environ deux ans pour franchir cette seconde étape et un an environ pour que la centrale entre effectivement en service. Au total, le branchement au réseau n'intervient donc aujourd'hui que dix ans, au mieux, après la commande alors qu'un délai de cinq à six ans était considéré comme normal en 1970 et 1971.

c) *Modifications envisagées à la législation actuelle.*

Les retards accumulés par l'application de la législation présente joints aux effets de la récession économique se traduisent par une sensible réduction des objectifs annoncés en 1972 et on pense, aujourd'hui, que la puissance nucléaire installée aux U.S.A. en 1980 ne dépassera pas 85 000 mégawatts au lieu des 95 000 prévus. Aussi le gouvernement envisage-t-il plusieurs modifications aux textes en vigueur visant à ramener de dix à six ans les délais de réalisation.

En premier lieu, la N.R.C. se propose de *valider pour une durée de dix ans des sites où il serait possible de construire une centrale.* En second lieu, une centrale ou une chaudière nucléaire pourrait être « validée » sous réserve de répondre à certaines normes standardisées que la N.R.C. s'efforce par ailleurs de définir en collaboration avec les sociétés constructrices.

Les auditions publiques se tiendraient, en totalité si possible, au cours de ces procédures de validation, ce qui permettrait aux demandeurs d'entamer les travaux à leurs risques et périls avant l'obtention du permis de construire.

On parviendrait ainsi au calendrier suivant :

- J + 2 ans : permis de construire ;
- J + 5 ans : autorisation d'exploitation ;
- J + 6 ans : mise en service.

*

* *

Pour en terminer sur ce chapitre, nous voudrions vous faire part de quelques indications qui nous ont été fournies lors de la visite du chantier de la centrale nucléaire de North Anna en Virginie.

Le responsable du chantier, au nom de la Société Stone and Webster, nous a tout d'abord précisé que la première tranche de cette centrale entrerait en service neuf ans après avoir été commandée. Il a noté, en outre, que *l'obsession du respect des règles de sécurité paralysait les techniciens et leur ôtait tout esprit d'initiative.* Enfin, il a vivement souhaité qu'on adopte une formule standardisée et officiellement agréée de chaudière nucléaire de

l'ordre de 1 000 mégawatts permettant leur construction en série. Ce souci rejoint, on le voit, la position adoptée par le gouvernement américain et en France par E.D.F. qui a sagement choisi de s'en tenir au départ à des chaudières de 950 mégawatts sensiblement identiques, avant de passer, comme elle vient d'en manifester l'intention, à l'échelle des 1 300 mégawatts.

2° MODALITÉS DE CONSTRUCTION DES CENTRALES

Contrairement à ce qui se passe en France où la maîtrise de la réalisation des centrales appartient à E.D.F., cette responsabilité est généralement assurée aux Etats-Unis par des entreprises de construction spécialisées dans la conduite de grands chantiers de travaux publics connues sous l'appellation d'architectes industriels. Parmi ces sociétés, citons quelques-unes des plus importantes : Bechtel, Burns and Roe, Gibbs and Hill, Stone and Webster, Sargent and Lundy. La plupart de ces entreprises, bien que ne limitant pas leur activité au secteur nucléaire, ont créé des services autonomes spécialisés dans ce domaine auquel elles consacrent des moyens de recherche importants en association avec les fabricants de « chaudières ».

Cette intervention des architectes industriels s'explique à la fois par le fait qu'il existe aux Etats-Unis un grand nombre de compagnies d'électricité de moyenne importance, dont aucune, par exemple, n'a les dimensions d'E.D.F., et par l'existence d'un puissant réseau d'entreprises de travaux publics qui dominent et tiennent le marché.

Ce rôle de l'architecte industriel, pour important qu'il soit, se limite cependant à l'agencement des parties conventionnelles de la centrale, l'ensemble proprement nucléaire étant fourni et monté par les sociétés détentrices des différentes licences dont nous allons maintenant parler.

3° LES VENDEURS DE CHAUDIÈRES NUCLÉAIRES A EAU LÉGÈRE

Quatre entreprises se partagent de façon inégale le marché des chaudières nucléaires : Westinghouse, General Electric, Babcock and Wilcox et Combustion Engineering. Nous consacrerons un développement plus important à la première de ces entreprises dont la licence est, actuellement, la seule utilisée en France.

a) *Westinghouse Electric Corporation.*

1. Les structures centrales.

Le siège de la Westinghouse Electric Corporation est à Pittsburgh (Pennsylvania), Westinghouse Building, Gateway Center.

La Westinghouse Corporation est divisée en quatre sociétés qui ont réalisé au total 5,8 milliards de dollars de chiffre d'affaires en 1974.

— Industry Products Company : environ 37 % du chiffre d'affaires ;

— Public Systems Company (24 %) ;

— Broadcasting (2 %) ;

— Power Systems Company (34 %).

Tout ce qui se rapporte à la production d'énergie nucléaire civile est concentré dans la Power Systems Company, siégeant à Pittsburgh dont le président est M. Gordon C. Hurlbert.

Elle est divisée en trois départements : Power Generation, Transmission and Distribution et Nuclear Energy Systems. Ce dernier département regroupe environ 8 000 personnes.

En ce qui concerne les réacteurs à eau légère :

— La P.W.R. Systems Division (1 000 personnes) fait la recherche et développement (centre de Forest Hills près de Pittsburgh) et l'ingénierie (centre de Monroeville près Pittsburgh) de la chaudière nucléaire ;

— la Nuclear Fuel Division est responsable de la fabrication des éléments combustibles et de la recherche et développement de nouveaux éléments. Les fabrications sont faites dans les usines de Columbia (Caroline du Sud). Les dessins, à Monroeville ;

— la Nuclear Services Division regroupe toutes les activités sur les sites pendant la construction, le démarrage du réacteur puis la surveillance des centrales en exploitation. Elle possède également un simulateur d'entraînement à Zion, Illinois près de Chicago ;

— la Pensacola Division, située à Pensacola en Floride est chargée de la construction des structures internes du réacteur ;

— la Tampa Division, située à Tampa, en Floride, est chargée de la construction des générateurs de vapeur et des pressuriseurs ;

— l'Electromechanical Division, située à Cheswick, en Pennsylvanie, fabrique tous les équipements électromécaniques comme les pompes, les mécanismes de barre de contrôle, les vannes d'isolement, etc. ;

— la Specialty Metals Division, située à Blairsville en Pennsylvanie, produit, entre autres, les tubes pour les générateurs de vapeur et pour les éléments combustibles ;

— la Nuclear Licensing Administration traite des licences accordées à l'extérieur de la corporation. Située à Monroeville près de Pittsburgh.

— la Marketing Division située à Monroeville et à Bruxelles est responsable de la commercialisation des produits et services offerts par les divisions chargées des réacteurs à eau légère.

2. Filiales ou associations.

Aux Etats-Unis, Westinghouse, Nuclear Energy Systems, n'a pas de filiale. Les composants importants de la chaudière nucléaire qu'il ne fabrique pas lui-même sont sous-traités :

— la cuve principale à Combustion Engineering, Babcock and Wilcox ou Chicago Bridge and Iron Company ;

— l'instrumentation nucléaire à Nuclear Instrument and Control Division (N.I.C.D. près de Baltimore) et les programmes des calculateurs à Industrial System Division (I.S.D. près de Harveyville) qui ne font pas partie du groupe nucléaire de Westinghouse tout en appartenant à cette société.

A l'étranger les participations, les associations ou les accords de Westinghouse sont par contre assez nombreux.

En Europe, une filiale, la Westinghouse Nuclear Europe, est chargée de l'ingénierie et de la réalisation des projets européens de la société. Au total 540 personnes y sont employées dont 375 à Bruxelles, siège de la compagnie.

Westinghouse a 65 % de participation dans les A.C.E.C. (Belgique), licencié et fabricant des structures internes des pompes et des mécanismes de barre de contrôle de la chaudière.

Elle avait, jusqu'à l'an dernier, 45 % dans la société française Framatome mais on sait qu'à la demande du Gouvernement français cette part a été ramenée à 15 % par cession de 30 % au C. E. A.

Pour la fabrication du combustible, Westinghouse a 35 % de participation dans Eurofuel (France), 61 % dans la Coren (Italie), 35 % dans la Mitsubushi Nuclear Fuel Company (Japon) et est associée avec S.T.E.A.G. (Allemagne) dans la Nuclear Bremstoff, Gwbh.

Enfin Westinghouse a des accords avec Uddscorn et Aseatom (Suède), Breda et Fiat (Italie), Inusa (Espagne), Cockrill-Ougree (Belgique) et Mitsubishi (Japon).

3. La technique nucléaire Westinghouse.

Rappel historique.

Westinghouse a réalisé son premier réacteur nucléaire en mettant au point en 1953 le prototype à eau pressurisée du premier sous-marin atomique S1W qui donnera naissance en 1954 au S2W équipant *Le Nautilus*.

La première centrale couplée au réseau en 1957 sera celle de Shippingport de 90 MWe, puis viendra la Yankee Nuclear Power Station de 175 MWe. Toutes ces installations étaient subventionnées par le gouvernement, ainsi que celles de San Onofre (1960) et de Haddam Neck (1962), ce qui a permis à l'entreprise de mettre au point sa technique dans les conditions les plus avantageuses.

La première percée vraiment commerciale ne sera cependant réalisée aux Etats-Unis qu'en 1965 avec la centrale nucléaire de Ginna, entièrement payée sur fonds privés, qui entrera en service en 1970.

Entretiens, Westinghouse avait vendu ou fait construire sous sa licence à l'étranger plusieurs réacteurs dont Trino (242 MWe) en Italie, Chooz (283 MWe) en France, réalisé en collaboration avec les Français et les Belges, Zorita en Espagne, Beznau 1 (350 MWe) en Suisse, tous réacteurs qui divergèrent entre 1964 et 1969.

C'est, enfin, en 1967 que Westinghouse propose ses premières centrales approchant ou dépassant 1 000 mégawatts électriques : Indian Point 3 (965 MWe), Zion 1 (1 050 MWe) et Salem 2 (1 115 MWe).

Principales caractéristiques de la chaudière Westinghouse.

Nous n'avons pas l'intention de procéder ici à une description détaillée de cette chaudière et nous nous bornerons à en remplacer les principales caractéristiques.

Il s'agit d'une chaudière du type à eau légère, c'est-à-dire utilisant l'eau comme ralentisseur. Pour rester liquide, cette eau est maintenue sous une pression de 155 bars dans une cuve en acier spécial dont les parois ont une épaisseur de l'ordre de 22 centimètres.

L'eau contenue dans la cuve est portée à une température supérieure à 300 °C par les éléments combustibles (gainés en zircaloy de 9,50 millimètres de diamètre contenant l'oxyde d'uranium enrichi à 2,5 ou 3 %). Mise en route par des pompes dans plusieurs circuits primaires (ou boucles), elle cède sa chaleur à un circuit secondaire par des échangeurs où se forme la vapeur alimentant les turbo-alternateurs.

Le fluide circulant dans la partie classique de la centrale n'est donc pas en contact direct avec les gainés de produits fissiles, ce qui constitue à notre sentiment un élément de sécurité appréciable.

En revanche, les échangeurs, ou générateurs de vapeur, sont des pièces très encombrantes (plus de 20 mètres de haut) et délicates que la pression élevée du liquide soumet à de dures contraintes d'étanchéité.

4. Intervention dans la fabrication et la certification des chaudières.

Un schéma général descriptif est tout d'abord présenté au futur client. Il comprend notamment la conception d'ensemble et le détail des principaux sous-ensembles de la chaudière. L'entreprise collabore également à l'élaboration du rapport de sûreté et participe, en outre, avec l'architecte industriel choisi par son client aux auditions publiques et aux discussions ayant pour objet l'obtention du permis de construire.

5. Fournitures matérielles.

En dehors des cuves elles-mêmes qui sont construites dans les ateliers de Combustion Engineering de Babcock et Wilcox ou de Chicago Bridge and Iron, tous les composants de la chaudière sont réalisés par Westinghouse ou ses sous-traitants.

Les principaux ateliers de fabrication sont :

— à Pensacola, en Floride, où sont fabriquées les structures internes des réacteurs (15 000 mètres carrés de surface couverte en air conditionné) ;

— à Tampa, également en Floride, où sont réalisés les générateurs de vapeur et les pressuriseurs ;

— à Cheswick, en Pennsylvanie, où sont fabriqués les pompes, les mécanismes des barres de contrôle et les vannes (35 000 mètres carrés de surface) ;

— à Blairsville en Pennsylvanie où sont usinés les tubes de générateurs de vapeur et les gaines des aiguilles en zircaloy.

En ce qui concerne le combustible, celui-ci est fabriqué par Westinghouse à Colombia dans une usine qui serait la plus grande du monde avec une surface d'un seul tenant de 30 000 mètres carrés et dont la capacité est d'environ 1 500 tonnes/an.

Rappelons enfin que c'est à Monroeville, où la délégation sénatoriale a été longuement reçue, qu'est réalisée l'opération essentielle de la conception de l'assemblage des différents éléments de la chaudière.

b) *La Compagnie General Electric.*

1. Les structures centrales.

La Compagnie General Electric est, on le sait, un vaste empire industriel dont les activités s'étendent à une grande variété de secteurs. Par son chiffre d'affaires (13,4 milliards de dollars en 1974) et le nombre de ses employés, General Electric se situe au neuvième rang dans le monde et au premier dans sa spécialité (électrique et électronique).

Elle comprend deux groupes principaux dont l'un spécialisé dans la production d'énergie comporte une division de production d'énergie nucléaire.

C'est cette division qui est chargée du développement et de la vente des centrales nucléaires.

Les principaux centres d'opération se répartissent comme suit :

— centre de recherche et de développement à San José (Californie) ;

— fabrication et fourniture du combustible à Wilmington (Caroline du Nord).

Cette usine, entièrement intégrée, qui fabrique directement les faisceaux d'aiguilles contenant le combustible, couvre 10 000 mètres carrés. Sa capacité annuelle de fabrication actuellement de 1 000 tonnes doit être portée à 1 500 tonnes.

2. Filiales ou associations.

Dans le domaine des *chaudières nucléaires*, General Electric s'est associé avec Chicago Bridge and Iron Nuclear Company qui met à la disposition de l'association ses ateliers de Memphis.

Dans le domaine du combustible, General Electric s'est associé avec A. E. G. (Allemagne), Ansaldo (Italie) et Hitachi et Tokio Shibura (Japon).

En ce qui concerne l'enrichissement de l'uranium, General Electric s'est associé avec la Compagnie Exxon Nuclear avec laquelle elle cherche à réaliser une usine utilisant la technique de la centrifugation.

3. La technique « General Electric ».

General Electric est le seul tenant des réacteurs à eau bouillante (B. W. R.).

Dans ce type de filière, la cuve de dimensions plus importantes (6 mètres de diamètre sur 21,50 mètres de haut dans une centrale de 1 178 MWe) supporte une pression interne moins élevée (73 bars), ce qui permet à l'eau d'entrer en ébullition. La vapeur ainsi produite actionne directement la turbine qui entraîne les alternateurs.

Comme on le voit le système semble, au moins à première vue, plus simple que celui à eau pressurisée (pas de générateurs de vapeur) mais une certaine contamination de la partie génératrice d'électricité n'est pas exclue, la fissuration de quelques gaines de matière fissile ne pouvant être évitée.

Lors de la visite de la centrale de Dresden, nous avons pu constater, d'ailleurs, que l'ensemble turbo-alternateur était protégé par des murs épais en béton.

Précisons enfin que le combustible est formé d'uranium un peu moins enrichi que dans la filière Westinghouse (de 1,6 à 2,2 %).

c) *Combustion Engineering*.

1. Structures centrales.

L'activité nucléaire de Combustion Engineering est concentrée dans son Power Systems Group (qui fait 48 % de son chiffre d'affaires) comprenant lui-même une division des centrales nucléaires basée à Windsor (Connecticut).

2. Filières ou associations.

Combustion Engineering est associée aux Etats-Unis à 21 % avec United Nuclear Corporation qui exploite des mines d'uranium apparemment sans grand succès. Elle est associée, en revanche, à l'étranger, avec de nombreuses entreprises allemandes, japonaises, canadiennes et suédoises.

3. La technique « Combustion Engineering ».

Cette technique utilise comme Westinghouse le système à eau pressurisée.

La principale différence qui nous est apparue est le fait qu'il n'existe pour une centrale de 1 200 MW que *deux circuits de refroidissement* (boucles) et donc deux générateurs de vapeur de très grandes dimensions (diamètre : 6,80 mètres, hauteur : 19,80 mètres).

4. L'atelier métallurgique lourd de Chattanooga (Tennessee).

La délégation a consacré une journée de son voyage à la visite de l'atelier métallurgique de Combustion Engineering qui fournit plus de la moitié des besoins des grandes entreprises nucléaires américaines. L'importance des moyens mis en œuvre et le nombre des cuves prêtes en grosse chaudronnerie à être livrées ont vivement impressionné les visiteurs.

Cet atelier nucléaire « lourd » est probablement l'un des plus importants du monde. Il couvre 4 hectares et emploie 700 per-

sonnes. Il peut usiner des pièces de 11 mètres de diamètre et de 30 mètres de long, former des tôles de 380 millimètres d'épaisseur et déplacer des charges de 1 000 tonnes.

Ici sont réalisés les cuves des chaudières nucléaires de Combustion Engineering mais aussi de Westinghouse et de General Electric ainsi que les générateurs de vapeur, les pressuriseurs et les tuyaux de fort diamètre.

On notera que le corps central des cuves est réalisé par pliage et soudure méridienne et que l'intérieur est tapissé d'une feuille d'acier inoxydable. La qualité des aciers et des soudures est soigneusement vérifiée avec les appareils les plus modernes.

La capacité de construction est d'environ 10 cuves par an.

Le problème du transport d'éléments aussi lourds et encombrants pose, comme partout, un problème délicat. Il est ici résolu par la voie d'eau. Un portique d'une puissance de 1 000 tonnes achemine en effet les pièces jusqu'à un embarcadère où accostent des barges à grand gabarit spécialement aménagées. C'est, d'ailleurs, cette possibilité d'utiliser ainsi la rivière Tennessee qui a motivé l'implantation en ce lieu de l'atelier de Combustion Engineering.

Un laboratoire de recherches métallurgiques est situé à proximité immédiate des ateliers. Il contribue à l'amélioration continue des techniques utilisées par l'entreprise dans le domaine des aciers spéciaux et des revêtements anti-corrosifs.

d) *Babcock and Wilcox.*

1. Structures centrales.

La division des centrales nucléaires est située à Lynchburg (Virginie). Elle a également la charge de la vente des éléments combustibles fabriqués sur place.

Il existe deux usines de fabrication de composant à Mount Vernon (Indiana) pour les gros équipements, à Barbeton (Ohio) pour les structures internes. Diverses autres installations sont réparties sur l'ensemble du territoire.

2. Filiales et associations.

Babcock est associé aux Etats-Unis avec la Bailey Meter Corporation et la Diamond Power Speciality Corporation.

Elle est liée à l'étranger avec de nombreuses entreprises : en Grande-Bretagne, France (Babcock-Atlantique), Allemagne (Brown Boveri), Italie, Espagne et Japon.

3. La technique « Babcock and Wilcox ».

Il s'agit également d'un système à eau pressurisée assez semblable à celui de Combustion Engineering.

Le caractère original tient aux générateurs de vapeur de diamètre légèrement plus faible mais très long : 23,60 mètres, du type à traversée unique.

4° LE PARC NUCLÉAIRE

a) *Situation actuelle.*

Au 1^{er} janvier 1976, la situation du parc nucléaire américain se présentait comme suit :

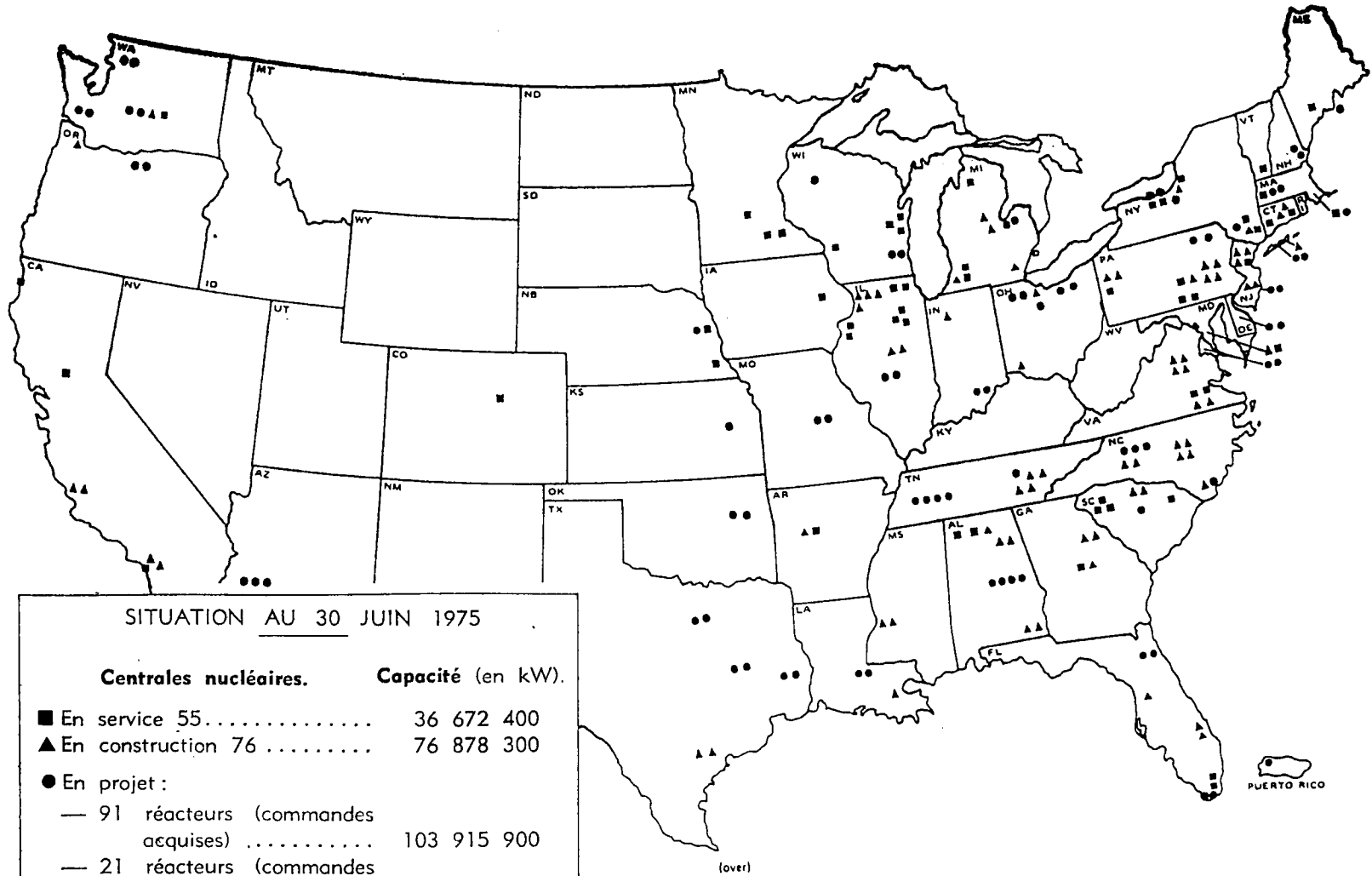
	NOMBRE	PUISSANCE (MWe).
Tranches nucléaires :		
En exploitation	58	39 940
En construction	69	72 465
Commandées fermes	92	104 104
Ayant fait l'objet d'une commande de principe.	9	9 680
Total	228	226 189

On jugera de l'importance de ces chiffres en notant que la puissance des installations en service et en construction aux Etats-Unis représente plus de la moitié de celle du parc mondial.

b) *Décomposition par types.*

Au 1^{er} mars 1975, les 55 unités en service se répartissaient de la manière suivante :

	NOMBRE	PUISSANCE (MWe).
Technique à eau pressurisée :		
Westinghouse	19	12 918
Combustion Engineering	4	2 795
Babcock	7	5 505
Technique à eau bouillante :		
General Electric	22	15 224
Allis Chalmers	1	53
Haute température :		
Gulf Atomic	1	330
Eau pressurisée + graphite :		
G. P. W. R.	1	784



SITUATION AU 30 JUIN 1975

Centrales nucléaires. Capacité (en kW).

■ En service 55.....	36 672 400
▲ En construction 76	76 878 300
● En projet :	
— 91 réacteurs (commandes acquises)	103 915 900
— 21 réacteurs (commandes escomptées)	25 860 000
243 centrales nucléaires	243 326 600

La production d'électricité nucléaire a été en 1974 de 124 milliards de kilowatts/heure soit les deux tiers de celle d'E. D. F.

Pour le premier semestre de 1975, le total atteint a été de 76 milliards de kilowatts/heure soit 8,3 % de la production d'électricité.

c) Conditions de fonctionnement.

Selon les derniers renseignements concernant le fonctionnement des centrales nucléaires du 1^{er} janvier au 30 juin 1975, le facteur moyen de charge des réacteurs en service a été de 64,2 % chiffre à rapprocher des 45,9 % obtenus par les autres centrales thermiques (1). Rappelons à ce propos que le facteur de charge est le rapport entre la production effective pendant une durée donnée et celle qui aurait pu être réalisée si l'installation avait fonctionné dans le même temps à pleine puissance.

Les renseignements que nous avons recueillis auprès de la Compagnie Commonwealth Edison opérant dans la région de Chicago diffèrent peu de ces informations générales.

Ainsi, selon les dirigeants de cette société, le facteur de charge moyen annuel de leurs quatre centrales nucléaires et thermiques a évolué respectivement comme suit de 1972 à 1974 :

	FACTEURS DE CHARGE (1)			MOYENNE
	1972	1973	1974	
Centrales nucléaires	60 %	68 %	53 %	60 %
Centrales thermiques classiques	53 %	53 %	55 %	54 %

(1) En tenant compte des périodes d'arrêt normales pour rechargement (trois à quatre semaines), on obtiendrait des facteurs de charge plus élevés.

d) Evolution de la puissance nucléaire et perspectives à moyen terme.

Le nombre des commandes passées par les compagnies d'électricité a sensiblement fléchi en 1975. En effet, après s'être élevé à 26 en 1971, 33 en 1972, 36 en 1973 et 27 en 1974, il est tombé à 5 en 1975 (représentant 5 350 mégawatts). De plus, un certain nombre

(1) Ce pourcentage relativement bas tient compte de l'adaptation à la demande d'électricité.

d'annulations (6 de janvier à septembre 1975) et de reports (18 au cours de la même période), allant d'un à deux ans et parfois davantage, ont été enregistrés au cours de la même année. On notera, à ce propos, que sur les 7 tranches commandées récemment, 6 utilisent la technique à eau pressurisée et qu'il s'agit de réacteurs d'une puissance de l'ordre de 1 100 MWe.

A contrario, on avait enregistré en 1973 et 1974 un nombre record de mises en service. C'est ainsi que treize centrales avaient reçu l'autorisation de fonctionner au cours des dix premiers mois de 1974 contre douze pour l'ensemble de l'année 1973.

La puissance totale installée était ainsi passée de 25 000 MWe, en fin 1973, à 34 800 au 31 décembre 1974, le nombre des centrales s'élevant alors à 53.

Depuis le début de 1975, la progression est là aussi beaucoup moins marquée puisque cinq centrales ont été branchées au réseau au premier semestre de l'an dernier.

A plus long terme, en raison de cette relative désaffection de la clientèle due à ses difficultés financières, au renchérissement des installations et de l'allongement des délais administratifs, toutes les prévisions primitives sont révisées en baisse et on estime aujourd'hui que la puissance installée en service commercial n'atteindra guère que 89 000 MWe en 1980, au lieu des 95 000 prévus en 1974, et 180 000 MWe en 1985, au lieu des 190 000, chiffre déjà notablement inférieur au programme établi en 1972.

A titre d'exemple, la Potomac Electric Power Company a annoncé un report d'investissements nucléaires d'au moins cinq ans et la société Commonwealth Edison a décidé de retarder d'un an la mise en service des installations programmées pour 1980 et de deux ans, au minimum, celle des centrales qui auraient dû entrer en fonctionnement entre 1982 et 1985.

Faut-il cependant en conclure — comme n'hésitent pas à le faire certains journalistes américains ou français — que les Etats-Unis renoncent désormais à l'énergie nucléaire ; ceci nous apparaît totalement erroné.

Comme nous l'avons déjà indiqué, en effet, la récession économique, l'alourdissement de la réglementation et le renchérissement des prix expliquent avant tout le marasme, sans doute provisoire, de l'industrie nucléaire qui touche également d'ailleurs les fabricants de centrales « classiques ».

En dépit de ce ralentissement, l'énergie nucléaire est, à notre avis, appelée à prendre une part croissante dans la production d'électricité et de 7,8 % aujourd'hui, sa part devrait s'élever à 23 % en 1985, et à 50 % à la fin du siècle en se substituant progressivement au pétrole et au gaz.

Les dirigeants des compagnies électriques rencontrés aux Etats-Unis nous ont, en tout cas, confirmé leur confiance dans l'énergie nucléaire appelée, selon eux, à partager à moyen terme avec le charbon la couverture des besoins du pays.

e) *La politique de standardisation.*

Dans le cadre des efforts entrepris pour réduire les délais de mise en service, le gouvernement a décidé, depuis 1972, d'aider et de promouvoir toutes activités conduisant à une plus grande standardisation dans la conception, la construction, le montage, les essais et l'exploitation des centrales nucléaires.

La Commission pour l'énergie atomique (actuellement remplacée par l'E. R. D. A.) proposait dans ce but trois formules :

Option n° 1. — Le système de référence, c'est-à-dire un projet de centrale ou d'une fraction importante de centrale pouvant être examiné par la N. R. C. en dehors des procédures pour l'obtention d'un permis de construire particulier. Une fois « approuvé », il devenait un « projet standardisé ». Si la centrale, pour laquelle un producteur d'électricité sollicitait un permis de construire ou une licence d'exploitation, était conçue à partir d'un projet « standardisé », son examen (officiel cette fois) en serait grandement simplifié.

Option n° 2. — La « centrale répétée », c'est-à-dire une centrale qu'un producteur ou un groupe de producteurs d'électricité a l'intention de faire construire en plusieurs exemplaires dans un temps limité. Un seul examen devient nécessaire pour l'obtention des permis sollicités pour chaque centrale.

Option n° 3. — La « licence de fabrication », c'est-à-dire l'autorisation de construire en série un type donné de centrale.

L'examen du « projet standardisé » (option n° 1) se fait à partir d'un document intitulé « Standard Safety Analysis Report » (S. S. A. R.).

L'approbation de ce S. S. A. R. est valable pour une période de quatre à cinq ans, sans changement notable bien entendu.

On trouvera ci-après l'état de trois S. S. A. R. présentés à l'A. E. C. Remarquons que la procédure qui conduira à l'approbation ne commence véritablement qu'à partir du moment où le document a été « enregistré » (docketed) par la N. R. C. (c'est-à-dire que le document soumis a été jugé par la N. R. C. assez valable et complet pour faire l'objet d'un examen détaillé). Il faut compter de deux ans à deux ans et demi entre cet enregistrement et son approbation.

DEMANDEUR	DOCUMENT présenté.	DESIGNATION du projet.	PUISSANCE annoncée.	DATE du dépôt.	ENREGISTREMENT par A. E. C.	DATE de l'acceptation.
General Electric	Gesar - 25	B.W.R./6 - M.K. III	3833 MWt	mai 1973	juillet 1973	25-12-1975
Combustion Engineering.	Cessar - 80	System 80	3800 MWt	sept. 1973	déc. 1973	30-12-1975
Westinghouse	Resar - 41	3817 MWt N. S. S. S.	3817 MWt	déc. 1973	mars 1974	30-12-1975

L'option n° 2, consiste à soumettre *un seul* rapport préliminaire de sûreté (P. S. A. R.) pour obtenir le permis de construire pour plusieurs centrales répliques les unes des autres et construites à peu près au même moment. Cela incite les producteurs d'électricité à grouper leurs demandes. Le meilleur exemple en est fourni par le groupe S. N. U. P. P. S. (Standardized Nuclear Power Plant System) comprenant cinq compagnies d'électricité soumettant au même moment leur demande de permis de construire à l'A. E. C. pour six centrales identiques du type P. W. R. d'une puissance de 3 425 mégawatts thermiques. Ces centrales devraient entrer en fonctionnement en 1981, 1982 et 1983 sur des sites du Kansas, du Wisconsin, du Missouri et de l'Etat de New York.

L'option n° 3 a été adoptée par la « Offshore Power Systems », filiale de Westinghouse, qui construit un atelier de fabrication de centrales flottantes (coût prévu de 200 millions de dollars) près de Jacksonville en Floride sur une île de la rivière Saint Johns.

La demande de « licence de fabrication » (license to manufacture) pour huit centrales nucléaires flottantes standardisées a été déposée et « enregistrée » (docketed) au mois de juillet 1973. L'approbation a été obtenue en 1975. Ces centrales sont également équipées de réacteurs P. W. R. Westinghouse de 3 425 mégawatts thermiques.

5° PROBLÈMES DE SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT

Les problèmes de sécurité et d'environnement liés notamment à l'exploitation des centrales nucléaires ont fait l'objet, depuis cinq ans, d'études extrêmement approfondies dans le cadre desquelles se situe en particulier *le rapport Rasmussen* publié le 20 août 1974 montrant que l'énergie nucléaire n'entraîne pas de risques sans précédent pour la santé et la sécurité publiques si même elle n'est pas la plus sûre.

Nous nous limiterons ici à trois questions fréquemment évoquées : le risque de fusion et d'explosion du « cœur » par perte du liquide de refroidissement, la pollution thermique de l'environnement et les risques biologiques.

a) *Un risque majeur : l'assèchement du cœur.*

En raison de la température très élevée régnant au sein des aiguilles de combustible, il est nécessaire que celles-ci soient constamment refroidies et cet échange thermique est réalisé en temps normal par l'eau contenue dans la cuve, liquide mis en mouvement par des pompes.

Dans ces conditions, on conçoit que tout arrêt de la circulation du liquide et, *a fortiori*, toute disparition quasi instantanée de celui-ci (causée, par exemple, par une rupture soudaine et complète de tuyauterie principale entre les vannes de sécurité et la cuve), entraînerait, s'il n'y est pas porté remède dans un délai très bref, une brutale montée de température et, par suite, la rupture ou la fusion de crayons de combustible avec projection dans l'enceinte extérieure de vapeur et d'éléments radio-actifs.

Bien que la probabilité d'un tel accident soit extrêmement faible, toute centrale doit donc être dotée d'un *système de refroidissement de secours du cœur* (E. C. C. S.) répondant à des critères qui furent définis le 4 janvier 1974 par la Commission de l'énergie atomique.

En dehors de la chute automatique des barres de contrôle entraînée par toute baisse de pression à l'intérieur de la cuve et des vannes de fermeture, le dispositif de sécurité est essentiellement constitué par *un circuit d'injection de sécurité* visant à assurer, en dépit de l'arrêt de la réaction nucléaire entraîné par la chute des barres, le refroidissement des crayons absolument nécessaire compte tenu de la puissance résiduelle que continuent à dégager les produits de fission.

Ce circuit d'injection comprend :

— des accumulateurs d'eau borée à 3 000 p. p. m. (un par boucle) maintenus en permanence à 45 bars, dont le contenu est injecté directement dans le cœur du réacteur dès que la pression primaire descend en-dessous de 45 bars ;

— injection directe : introduction dans le cœur du réacteur d'eau borée en provenance du réservoir de stockage de l'eau de la piscine - réacteur (en abrégé : réservoir - piscine) via les tuyauteries primaires ;

— injection en recirculation : reprise de l'eau accumulée au fond des puisards de l'enceinte et réinjection dans le cœur, une fois le réservoir - piscine vidé.

Le refroidissement de l'eau s'effectue en phase de recirculation par les échangeurs du circuit d'aspersion.

Le circuit d'aspersion du bâtiment réacteur (E. A. S.) intervient dès le début de l'accident pour ramener le plus rapidement possible la pression de l'enceinte au voisinage de la pression atmosphérique de façon à réduire les fuites radio-actives à l'extérieur de l'enceinte. Cette aspersion a également pour effet d'absorber une grande partie des iodes radio-actifs libérés par les crayons combustibles, réduisant ainsi les quantités d'iodes pouvant fuir au travers de l'enceinte.

Dans le cas d'une petite fuite, un système d'injection « active » envoie l'eau borée du réservoir « Boron injection tank », par l'intermédiaire des pompes de charge du système de remplissage, à l'entrée du circuit de refroidissement principal. Lorsque le réservoir est vide les pompes d'injection de secours envoient l'eau de remplissage aux sorties du circuit de refroidissement principal.

b) *La pollution thermique.*

Ce problème a fait l'objet aux États-Unis d'études particulièrement poussées et qui ont abordé la plupart des aspects physiques, physico-chimiques et surtout biologiques de la question. Ces travaux ne se limitent d'ailleurs pas aux centrales nucléaires mais utilisent les observations faites sur les quelque 900 centrales thermiques réparties sur le territoire américain.

Un effort financier évalué à 5 millions de dollars par an est entrepris pour mesurer l'impact des rejets d'eau chaude, en

particulier sur les poissons, les algues et le plancton en retenant les effets destructeurs ou, au contraire, les « explosions de populations » dues au relèvement de température.

De façon générale, il apparaît aujourd'hui aux experts américains de l'environnement que *l'incidence des rejets d'eau chaude a été très exagérée* et, qu'à condition de rester dans certaines limites, elle serait pratiquement sans danger.

La réglementation actuelle peut se résumer comme suit : les standards définis Etat par Etat, et variant beaucoup de l'un à l'autre, concernent la température maximale du rejet et celle du milieu récepteur. A noter que l'échauffement au niveau du condenseur n'est pas réglementé et que ces standards thermiques ne s'appliquent pas à la zone dite de mélange aux abords des rejets. Enfin, la réglementation est sensiblement différente suivant la qualité du niveau récepteur (rivière, lac ou mer).

Voici, à titre d'exemple, les valeurs maximales tolérées pour des zones maritimes ou soumises à marée :

— la température maximale du milieu récepteur varie de 20 °C en Alaska, à 35,7 °C en Louisiane ;

— l'échauffement maximal autorisé est de 0,83 °C en Hawaï ou dans le Maine en été, et de 11 °C dans le Maryland, en hiver.

Outre ces standards donnés Etat par Etat, l'Agence pour la protection de l'environnement (E. P. E.) a défini, dans l'optique de la réalisation de rejets sans augmentation de température, le meilleur procédé de traitement de l'effluent comme étant, pour les centrales de plus de 500 MWe, la technique de la réfrigération atmosphérique (dont l'exemple classique est la tour de réfrigération). *Toute centrale neuve ou ancienne devra, en principe, se conformer à cette règle avant juillet 1977.* Toutefois, une dérogation peut être obtenue dans la mesure où l'utilisateur peut apporter la preuve que le rejet ne cause ou ne causera pas de dommages au bilan biologique aquatique.

La délégation s'est bien entendu intéressée à ce problème et elle a noté la variété des solutions apportées.

A l'heure présente, 13 « tranches » nucléaires sont équipées de tours de refroidissement et 86 de celles qui sont en chantier utiliseront ce procédé qui gagne manifestement du terrain.

Parmi les centrales que nous avons visitées, nous avons noté la formule particulièrement originale employée à Dresden où les échanges thermiques entre l'eau de refroidissement et l'atmosphère

sont activés par une batterie de jets d'eau du plus bel effet esthétique. Par ailleurs, nous avons appris qu'au large de la centrale de Zion, implantée au bord du lac Michigan, la zone de déversement des effluents du réacteur était devenue le point de rassemblement privilégié des pêcheurs de la région qui y trouvaient en abondance une grande variété de poissons. Tant il est vrai que le rejet d'eau tiède n'est pas, pour tous, considéré comme une calamité.

c) *Les risques biologiques.*

Il est fait souvent état de possibilités de concentration de produits radioactifs par les organismes vivants.

Nous n'entrerons pas dans le détail de ce processus mais, à l'occasion de la visite de la centrale de Dresden, nous avons noté que le gouvernement américain s'est préoccupé de ce problème. C'est ainsi que le ministère de la santé publique exploite au voisinage immédiat de cette installation, et dans son vent moyen, une ferme dont toutes les productions animales et végétales sont systématiquement contrôlées. Les bêtes nourries par les produits de cette ferme sont abattues ; leurs organes sont examinés avec soin. Or, depuis deux ans d'études, aucune trace significative de radioactivité n'a été décelée.

E. — Dossier économique de l'énergie nucléaire.

La progression très forte du coût des centrales nucléaires, notamment entre 1969 et 1971, où celui-ci est passé de 200 à 450 dollars par kilowatt installé, peut faire douter de l'intérêt de recourir à cette source énergétique dans un pays qui dispose encore de quelques réserves de pétrole et surtout de ressources en charbon considérables.

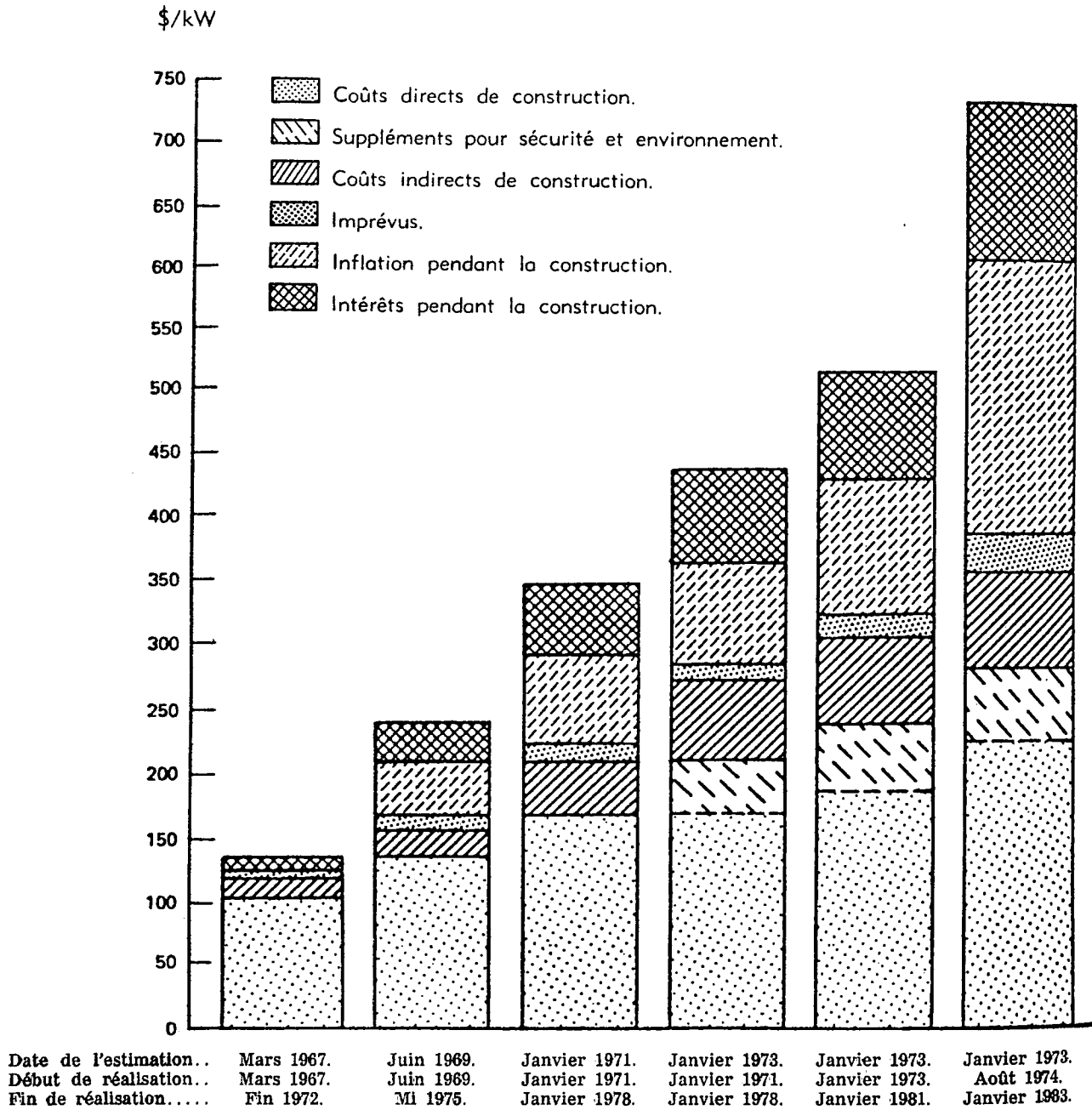
Nous allons donc nous efforcer de fournir tous les éléments permettant de juger ce dossier.

1° COÛT DES CENTRALES

Selon les renseignements datant de 1974 et basés sur des contrats types de centrales de 1 100 à 1 200 MWe devant entrer en service vers 1982, le prix du kilowatt nucléaire se présentait comme suit (en dollars 1974) comparé à celui d'une centrale thermique au charbon.

COUT DES CENTRALES NUCLEAIRES (1)

(Au kilowatt installé.)



(1) Apprécié au début de 1975.

	CENTRALE nucléaire.	CENTRALE au charbon.
	(En dollars.)	
<i>Coûts directs.</i>		
Terrain	1	1
Gros œuvre	43 à 61	34 à 47
Réacteur ou chaudière.....	80 à 91	102 à 119
Turbo-alternateur	83 à 95	72 à 73
Distribution électrique	27 à 35	22 à 27
Equipements divers	5 à 6	4 à 6
Imprévus et recharges.....	17 à 22	17 à 22
Sous-total	256 à 311	252 à 305
<i>Coûts indirects.</i>		
Frais professionnels	41 à 48	23 à 26
Autres dépenses	30 à 34	31 à 36
Intérêts en cours de construction (8 % l'an).....	106 à 127	94 à 113
Sous-total	177 à 209	148 à 175
Coût de la centrale sans revision de prix.....	433 à 520	400 à 480
Revisions de prix	167 à 200	100 à 120
<i>Coût total jusqu'à la mise en exploitation commerciale</i>	600 à 720	500 à 600

Il ressort de ces chiffres que le coût d'investissement par KWe nucléaire était à l'époque de référence d'environ 20 % plus élevé que celui du kilowatt d'une centrale au charbon.

Même en admettant que la progression des prix ait été, depuis un an, de 20 % pour la chaudière nucléaire, on peut considérer que l'écart entre les deux types de centrales ne doit pas aujourd'hui dépasser 25 %.

2° DÉPENSES EN COMBUSTIBLE

La comparaison entre le nucléaire et le charbon est ici beaucoup plus délicate en raison du grand nombre d'éléments à prendre en compte pour apprécier le coût de l'uranium enrichi et celui de la houille.

Nous nous référons sur ce point au rapport Wash 1174.74 publié par les services gouvernementaux et basé sur des évaluations établies en fin 1974.

a) *Estimation du coût du combustible nucléaire par kilowatt/heure en millièmes de dollars (pour un réacteur de 1 000 MWe).*

Extraction et traitement du minerai.....	0,75
Conversion en fluorine d'uranium.....	0,07
Enrichissement	1,07
Fabrication des éléments combustibles.....	0,27
Transport du combustible utilisé.....	0,04
Retraitement	0,39
Traitement des déchets.....	0,05
Frais de recherche.....	0,87
	<hr/>
Sous total.....	3,51
Plutonium récupéré.....	— 0,49
	<hr/>
Total	3,02

b) *Coût du charbon.*

L'appréciation du coût du charbon est extrêmement délicate, le prix de fourniture de ce combustible variant considérablement suivant les qualités, les conditions d'extraction et les frais de transport. Toutefois, en retenant le prix moyen de vente de 15,2 dollars par tonne, on peut évaluer la dépense par kilowatt/heure à 6,6 millièmes de dollar.

Pour une centrale appelée à fonctionner en 1982, ces prix évalués en 1974 ont été affectés d'un coefficient de majoration de 85 % qui conduit à un chiffre de 5,6 pour le combustible nucléaire et de 12,2 pour le charbon.

c) *Prix de revient du kilowatt/heure.*

Selon les éléments précédemment indiqués, le coût comparé du kilowatt/heure produit respectivement par les centrales nucléaires et celles qui sont alimentées au charbon s'établissait comme suit en 1974 (en millièmes de dollars) :

	CENTRALE nucléaire.	CENTRALE au charbon.
Dépenses en capital.....	15,5	13,0
Combustible	5,6	12,2
Frais d'entretien et maintenance.....	1,5	3,7
	(1) 22,8	(1) 28,9

(1) En 1985, selon certaines études, ces prix seraient respectivement de 34 millièmes de dollars pour le nucléaire et de 40 à 50 pour les centrales à charbon.

De cette étude dont nous reconnaissons qu'elle peut être contestée en raison, en particulier, de l'évaluation hypothétique des dépenses de retraitement et de conditionnement des déchets, il ressort que l'utilisation de *l'énergie nucléaire reste encore nettement plus avantageuse que celle du charbon*, au moins dans toutes les régions ne bénéficiant pas de fournitures de houille exceptionnellement bon marché.

En dehors de cette étude un peu théorique, nous pouvons d'ailleurs faire état de l'opinion des dirigeants de la compagnie d'électricité Commonwealth Edison opérant dans la région de Chicago, entreprise qui exploite sept centrales nucléaires d'une capacité totale de 5 500 MWe et un certain nombre de centrales thermiques classiques à concurrence de 10 600 MWe, dont cinq ayant une puissance unitaire excédant 600 MWe.

La comparaison suivante entre ces deux types de centrales, pour l'exercice 1974, a été établie d'une part sur la base actuelle de l'utilisation conjointe de charbon de l'Illinois (moins cher mais aussi moins performant) et de charbon de l'Ouest réellement plus

coûteux mais recherché en raison de son bas taux de soufre et, d'autre part, dans l'hypothèse d'une utilisation exclusive de cette dernière qualité de combustible.

Comparaison des coûts de production d'électricité
appréciés par la société Commonwealth Edison (1).

(En millièmes de dollars par kilowatt/heure.)

	CENTRALES nucléaires.	CENTRALES au charbon (Illinois et Ouest).	CENTRALES au charbon (Ouest).
Charges courantes.....	4,55	3,53	3,53
Combustible	2,01	4,96	7,89
Entretien et maintenance.....	1,73	1,19	1,19
Coût brut.....	8,29	9,68	12,61

Le gain réalisé en utilisant la technique nucléaire est ainsi estimé par cette entreprise à 1,39 millième de dollar par kilowatt/heure produit.

3° LIMITES DE COMPÉTITIVITÉ DU NUCLÉAIRE

Toujours selon l'étude gouvernementale à laquelle nous avons fait référence, le nucléaire reste compétitif jusqu'aux limites suivantes : relèvement du coût des centrales de 40 % ; augmentation du prix du combustible de 112 % en supposant, bien entendu, que le prix des centrales au charbon et du charbon lui-même reste inchangé.

En revanche, le charbon reprend l'avantage lorsqu'il est négociable au-dessous de 13,50 dollars la tonne (ce qui est le cas notamment dans les meilleurs bassins houillers).

*
* *

De cette étude d'un intérêt crucial, il ressort, comme nous l'avons déjà indiqué, que **le charbon et le nucléaire sont appelés à entrer de plus en plus en compétition pour la production d'électricité, ne serait-ce qu'en raison de la possibilité qui leur est offerte d'occuper la place tenue actuellement par le pétrole et le gaz.**

(1) Non compris les dépenses en capital.

Les experts américains estiment que le nucléaire devrait égaler la part du charbon d'ici dix ans dans la production d'électricité et la dépasser ensuite très largement, même dans l'hypothèse d'un doublement du tonnage de houille utilisé.

La progression très sensible des coûts d'investissement des centrales nucléaires permet certes de douter qu'une telle évolution se produise aussi rapidement mais on doit également prendre en considération *la hausse très importante du prix du charbon de qualité (non polluant) qui, par exemple, sur la côte Est, a été payé en 1974 par une importante compagnie électrique 35,9 dollars la tonne contre 13,20 dollars en 1973.*

Lorsqu'on sait la sensibilité du coût du kilowatt/heure thermique classique au prix du combustible (65 %), on peut en déduire que **la marge économique dont dispose actuellement le nucléaire n'est pas prête d'être comblée**, la seule certitude étant que l'énergie, quelle qu'en soit la source, est appelée à devenir un luxe aux Etats-Unis comme elle l'est déjà en Europe.

F. — Les filières expérimentales.

1° LA FILIÈRE A HAUTE TEMPÉRATURE

Les réacteurs à haute température utilisent comme élément combustible l'uranium enrichi (en isotope 235) ou l'uranium 233 obtenu par irradiation du thorium. Le modérateur est constitué par du graphite et le caloporteur par de l'hélium.

La haute température obtenue (supérieure à 900 °C) permet d'utiliser ce type d'installation, soit pour faire fonctionner un générateur d'électricité, soit pour une alimentation directe en vapeur, soit encore pour actionner une turbine à gaz. Le rendement est d'environ 40 %.

Ces réacteurs sont apparus au plan commercial en 1971, année où la Compagnie Générale Atomique (association de la Gulf Atomic et de Shell nucléaire) a commencé à proposer à la clientèle deux installations types de, respectivement, 770 et 1 160 MWe après mise au point des deux prototypes de Peach Bottom (40 MWe) et de Fort-Saint-Vrain (330 MWe).

Depuis cette date, quelques compagnies ont passé commande ou pris des options pour plusieurs de ces centrales mais la plupart de ces contrats ont été annulés depuis. On ne peut donc dire qu'une percée décisive ait été encore réalisée à ce jour dans ce domaine.

2° LA FILIÈRE A NEUTRONS RAPIDES

Depuis vingt ans, la commission atomique relayée aujourd'hui par l'E.R.D.A. conduit un important programme de recherche et de développement visant à la mise au point et à la commercialisation de réacteurs à neutrons rapides.

Sans entrer dans le détail de cette technique, rappelons qu'elle permet d'utiliser au moins 60 % de l'uranium naturel contenu dans le cœur, au lieu de 1 à 2 % dans les installations à eau légère, ce résultat étant obtenu par transformation progressive de cet uranium en plutonium, d'où le nom de *surrégénérateur* donné également à ce type de réacteur.

On conçoit aisément l'intérêt d'une telle formule qui conduit à *une consommation d'uranium de cinquante à soixante fois plus faible par kilowatt-heure* et règle du même coup les problèmes de pénurie éventuelle de ce métal.

Ajoutons que les surrégénérateurs utiliseront comme matière première, en dehors du plutonium obtenu par retraitement des combustibles des centrales à eau légère, les stocks importants d'uranium appauvri provenant des usines d'enrichissement du Gouvernement.

Bref rappel historique.

Les Etats-Unis disposent, en ce qui concerne cette filière, d'une expérience déjà ancienne puisque le premier surrégénérateur de démonstration (brûlant du plutonium et refroidi au sodium) a fonctionné à Los Alamos de 1946 à 1953.

Vient ensuite l'Experimental Breeder Reactor 1 (E.B.R. 1) (1 000 kilowatts thermiques) construit par le laboratoire Argonne en 1951 et qui a fonctionné jusqu'en 1963.

Au milieu des années 1950, dans le cadre du programme de démonstration des réacteurs civils, a été réalisé l'E. B. R. 2 (62,5 mégawatts thermiques) toujours en fonctionnement.

A la même époque, fut construite la première centrale à neutrons rapides « Enrico Fermi » qui, après avoir démarré en 1963, a connu de nombreux avatars et a dû être fermée en 1972.

Actuellement, le programme comprend plusieurs volets :

- un important effort de mise au point de combustibles et de matériaux ;
- la construction d'un second réacteur d'essais, le Fast Flux Test Facility (F. F. T. F.) réalisé au centre nucléaire de Hanford (Etat de Washington) par la compagnie Westinghouse : réacteur refroidi au sodium ayant une puissance de 400 mégawatts thermiques (environ 130 mégawatts électriques) ;
- le projet de prototype C. R. F. B. R. (Clinch River Fast Breeder Reactor) de 350 mégawatts électriques refroidi au sodium.

Quatre sociétés sont associées pour la réalisation de ce réacteur :

- *Westinghouse* comme principal contractant chargé de la coordination de l'ensemble et notamment du cœur nucléaire ;
- *General Electric* pour le circuit de sodium secondaire, les générateurs de vapeur et autres équipements annexes ;
- *Atomics International* pour divers équipements secondaires ;
- *Burns & Roe* comme architecte industriel.

Suivant le calendrier prévu, la première divergence de ce réacteur interviendrait en juillet 1982.

Bilan financier.

Au 1^{er} janvier 1975, selon une étude effectuée par M. Michel Grenon pour *La Revue de l'Energie*, le Gouvernement avait déjà dépensé 1 800 millions de dollars, soit 8 milliards de francs, pour les réacteurs à neutrons rapides.

Il est difficile d'apprécier le montant des opérations restant à financer jusqu'à la mise en route du réacteur prototype commercial C. R. F. B. R. mais le coût du programme mis en route en 1971 a été révisé au milieu de 1974 à hauteur de 1 736 millions de

dollars contre 699 en 1972 dont 253 millions pris en charge par les compagnies d'électricité. Ceci donne une idée de l'effort financier à entreprendre pour parvenir au stade que la France a déjà atteint avec un investissement total ne dépassant pas 3 500 millions de francs à fin 1975, y compris la construction de Phénix.

Perspectives.

Selon les prévisions initiales, les réacteurs « rapides » devaient représenter 40 % de la puissance nucléaire installée en l'an 2020, ce qui supposait notamment la fourniture de 5 000 tonnes de plutonium par an.

De tels objectifs paraissent aujourd'hui quelque peu irréalistes en raison des moyens de retraitement et autres équipements industriels qu'il faudrait mettre en œuvre.

Par ailleurs, l'opportunité des surrégénérateurs est aujourd'hui très contestée en raison de leur coût, de l'offensive vigoureuse des défenseurs de l'environnement (hostiles à l'utilisation et à la manipulation du plutonium) et des incertitudes concernant le volume des réserves d'uranium.

Il nous apparaît cependant que ces objections ne seront pas déterminantes et que *les réacteurs « rapides » finiront par s'imposer*, mais sans doute beaucoup plus tardivement que prévu. Nous avons noté, en ce qui nous concerne, l'intérêt que les responsables de Westinghouse attachent à cette question.

Quoi qu'il en soit, on peut estimer aujourd'hui que cette technique n'interviendra pas de façon significative dans le bilan énergétique américain, au mieux, avant la fin du siècle, à moins d'une vigoureuse politique de redressement en la matière.

II. — L'ÉNERGIE NUCLEAIRE AU CANADA

A. — Le bilan énergétique.

1° RÉPARTITION ACTUELLE DES SOURCES ÉNERGÉTIQUES

Pour l'année 1972, la production et la consommation d'énergie se présentaient comme suit, par produit, en 10⁶ tonnes d'équivalent pétrole :

	PRODUCTION	CONSOMMATION
Charbon	14	17
Pétrole	86	76
Gaz naturel	73	48
Electricité hydraulique	14	14
Nucléaire	1,5	1,5
	188,5	156,5

A la lecture de ces chiffres, on voit que les hydrocarbures (pétrole et gaz) occupent une place prédominante puisqu'elle dépasse 84 %. On constate par ailleurs qu'au moins, pour l'année considérée, le bilan énergétique canadien était largement bénéficiaire, le taux de couverture ressortissant à près de 120 %.

Selon les quelques renseignements plus récents en notre possession, il semble que cette situation se soit un peu détériorée bien que le Canada reste toujours globalement exportateur d'énergie.

2° SITUATION ET PERSPECTIVES DES PRINCIPAUX PRODUITS

a) *Le pétrole.*

En ce qui concerne le pétrole, la production paraît aujourd'hui stabilisée un peu en dessous de 100 millions de tonnes (en y incluant les produits extraits du gaz et des huiles). Plus de la moitié de cette production est exportée vers les Etats-Unis à partir des

gisements de l'Alberta situés dans l'Ouest du pays. En revanche, les provinces de l'Est s'approvisionnent à l'étranger, principalement au Moyen-Orient à concurrence de 44 millions de tonnes (1973). Il convient de noter, également, que le Canada vend aux Etats-Unis un tonnage important de produits finis.

Cette situation qui s'explique par l'étendue considérable du pays et l'absence de moyens de transport appropriés est appelée à se modifier sensiblement lorsque l'oléoduc reliant l'Alberta aux provinces orientales sera terminé et, à ce moment le courant actuel d'exportation vers les Etats-Unis sera pratiquement tari.

Pour l'avenir, tout dépend, naturellement, des réserves du pays en hydrocarbures liquides et, sur ce point, les données sont incertaines, un décalage très important existant entre les réserves prouvées soit environ 1 400 millions de tonnes et les ressources récupérables possibles que certaines études évaluent entre 12 et 17 millions de tonnes dont 60 % se trouveraient sans doute dans la région arctique. Il apparaît en effet vraisemblable que des découvertes importantes seront faites à plus ou moins long terme.

En se basant sur les chiffres connus, on voit que l'approvisionnement du Canada est, en tout état de cause, assuré jusqu'au milieu du siècle à venir.

b) *Le gaz naturel.*

De même que celle de pétrole brut, la production de gaz est actuellement excédentaire et, sur les 72 milliards de mètres cubes fournis en 1974, 58 seulement sont consommés sur le marché canadien, le reste étant exporté aux Etats-Unis.

Dans ce domaine également, les perspectives sont satisfaisantes puisque les réserves sont évaluées à 1 486 milliards de mètres cubes, chiffre qu'on peut considérer comme un minimum.

c) *Le charbon.*

La production de charbon provenant surtout des gisements de l'Est a sensiblement régressé depuis vingt ans et le Canada dépend sur ce point de l'étranger, les importations atteignant 20 millions de tonnes et les exportations environ 9 millions.

Le Canada dispose, cependant, de réserves très importantes estimées à 120 milliards de tonnes mais presque toutes localisées en Colombie britannique, ce qui pose un sérieux problème d'acheminement vers les régions industrielles de l'Est.

d) *Part de l'électricité.*

Comme dans tous les pays développés, la part de l'électricité — déjà nettement plus importante qu'en France — est destinée à croître et certains pensent même qu'elle représentera au milieu du prochain siècle, plus de 85 % de l'énergie consommée.

Parmi les sources de cette forme d'énergie, le pourcentage de l'hydraulique, actuellement particulièrement élevé (près de 75 %), est appelé à diminuer sensiblement au profit du nucléaire (30 % d'hydro-électricité en l'an 2000 contre 42 % fournie par les réacteurs).

*
* *

La physionomie du bilan énergétique que nous avons retracée au début de ce chapitre varie, bien entendu, de façon importante suivant les provinces. C'est ainsi que la part de l'hydraulique dans la fourniture d'électricité est beaucoup plus grande dans le Québec (plus de 90 %) que dans l'Ontario où le nucléaire joue, en revanche, un rôle déjà notable dans la production d'électricité (en 1974, hydraulique : 41,6 % ; thermique classique : 42,5 % ; nucléaire : 15,9 %).

B. — Principaux organismes responsables de l'énergie nucléaire.

Les organismes fédéraux sont placés sous la tutelle du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.

a) *L'énergie atomique du Canada (E. A. C. L.).*

Il s'agit d'une société d'État fondée en 1952 dans le but de poursuivre des recherches et de mettre au point les moyens d'*utilisation pacifique* de l'énergie atomique, qu'il s'agisse de l'énergie électronucléaire ou des applications médicales ou agricoles.

L'E. A. C. L. dispose, pour remplir sa mission, de plusieurs centres de recherche et d'essais dont celui de Chalk River, en Ontario, et de Whiteshell, au Manitoba. Mais, en matière de centrales nucléaires, le rôle principal incombe à la Division des projets d'usines nucléaires de Sheridan Park (près de Toronto) qui a mis au point la filière canadienne à eau lourde. Cette division emploie sept cent cinquante spécialistes et techniciens.

b) *La Commission de contrôle de l'énergie atomique*
(C. C. E. A.).

La C. C. E. A. a été créée en 1946 par voie législative. Cette Commission, présidée par le président du Conseil national de la recherche, comprend, en outre, quatre membres nommés par le gouverneur en conseil. Ses pouvoirs sont très étendus mais on peut résumer son mandat en disant qu'elle doit : « pourvoir au contrôle et à la surveillance du développement de l'énergie atomique et permettre au Canada de participer d'une manière efficace aux mesures de contrôle international de cette énergie ».

La Commission recueille, dans ce but, les conseils d'autres organismes fédéraux tels que le Bureau de protection contre les radiations dépendant du Ministère de la Santé ; elle nomme des commissions consultatives tel le Comité consultatif sur la sûreté des réacteurs.

c) *L'Eldorado nucléaire.*

Cette société d'Etat est chargée de l'extraction et du traitement du minerai, de la fabrication des concentrés, de l'oxyde et de l'hexafluorure ainsi que du zirconium.

Une partie de ces activités (allant de l'extraction à la transformation en oxyde) a été confiée à des compagnies privées (Denison Mines, Gulf Minera, Rio Algom).

d) *L'Association nucléaire canadienne.*

Il s'agit d'une association bénévole sans but lucratif, destinée à promouvoir le développement ordonné et « sain » de l'énergie nucléaire. Elle regroupe des personnalités appartenant aux milieux les plus divers : gouvernements, firmes conseils, industriels, financiers et éducateurs.

*

* *

En dehors de ces organismes, les entreprises publiques d'électricité contribuent puissamment au développement et à la modernisation des centrales nucléaires. *C'est en particulier le cas d'Ontario Hydro* qui s'est dotée, dans ce but, d'importants moyens de recherche.

Il existe enfin au niveau des provinces des fondations ou des instituts qui jouent un rôle important dans ce domaine. La délégation a pu s'en rendre compte en visitant à Toronto la Fondation de recherche de l'Ontario.

C. — Ressources et besoins en uranium.

1° LES RESSOURCES

Les données les plus récentes dont nous disposons concernant les réserves en uranium du Canada ressortent des premières conclusions d'une étude effectuée par un groupe d'évaluation des ressources de ce métal, constitué le 5 septembre 1974 à l'initiative du Ministre de l'Energie, des Mines et des Ressources.

Ce travail se base sur deux prix : l'un de 15 dollars la livre d'oxyde d'uranium correspondant au marché international de fin 1974, l'autre de 30 dollars la livre considéré comme pouvant être atteint à brève échéance.

Sur ces bases, l'évaluation des ressources canadiennes se présente comme suit (en tonnes) :

	RESSOURCES		
	Mesurées.	Évaluées.	Hypothétiques.
Jusqu'à 15 dollars la livre d'U 3 08.	70 000	100 000	214 000
De 15 à 30 dollars.....	3 500	15 000	76 000
	73 500	115 000	290 000

Pour apprécier ces chiffres, il faut considérer, en premier lieu, que l'étude s'est limitée aux principaux gisements connus à ce jour et, en second lieu, que les efforts de recherche visaient surtout à obtenir de l'uranium au moindre prix.

On peut donc estimer, en raison même de l'étendue considérable de ses terrains primaires, que le Canada dispose de ressources nettement plus importantes que celles aujourd'hui répertoriées. C'est, en tout cas, le sentiment de la plupart des experts que nous avons rencontrés et il est certain que la technique même mise au point au Canada repose sur le sentiment que ce pays possède des réserves qui se situent parmi les plus importantes existant au monde.

2° PRODUCTION ET BESOINS

a) *Production.*

En 1974, les trois producteurs d'uranium canadiens ont produit 4 100 tonnes d'oxyde d'uranium ($U^3 O^8$). La capacité totale de ces trois groupes est appelée à évoluer comme suit jusqu'à 1984 :

Années.	Tonnes d' $U^3 O^8$.
1975	5 530
1976	6 850
1977	7 070
1978	9 800
1979	10 520
1980	10 900
1981	11 800
1982	12 100
1983	13 100
1984	13 500

Il va de soi que ces capacités de production pourraient progresser, du moins à partir de 1982, si de nouveaux gisements venaient à être découverts.

b) *Besoins.*

La demande annuelle en uranium pour les charges de combustible des réacteurs fonctionnant actuellement au Canada est de l'ordre de 400 à 500 tonnes d' $U^3 O^8$.

Jusqu'à la fin du siècle, les besoins du pays doivent s'évaluer comme suit (en tonnes) :

	DEMANDE ANNUELLE	BESOINS CUMULES
1980	1 500	6 500
1985	3 000	21 500
1990	6 000	45 000
2000 ..	20 000	170 000

c) Réserve protégée et sécurité d'approvisionnement.

1. Constitution de stocks.

La sécurité d'approvisionnement en uranium préoccupe depuis longtemps le gouvernement canadien. C'est dans cette optique qu'il a acquis une première fois, de 1963 à 1964, et une seconde, de 1965 à 1970, deux stocks d'uranium, l'un de 5,4 millions de livres d' $U^3 O^8$ et l'autre de 13,9 millions de livres représentant un investissement de 100 millions de dollars. De plus, un programme conjoint d'accumulation de stocks a été établi par la Société Denison Mines, pour permettre à cette entreprise de maintenir un niveau de production de 2 000 tonnes d'oxyde par an de 1971 à 1974, visant à l'acquisition par le gouvernement de 1 000 tonnes par an de 1971 à 1973 et de 234 tonnes à partir de 1974.

Récemment, toutes les réserves ainsi constituées et une partie de celles du Gouvernement ont été mises en vente mais les stocks du gouvernement seront maintenus à 14,5 millions de livres (1) plus ou moins 1,5 million selon les contrats passés par les acheteurs.

2. Réserves protégées.

La nouvelle politique de l'uranium annoncée le 5 septembre 1974 comporte deux objectifs :

— assurer au pays une réserve d'au moins trente ans de combustible nucléaire afin d'alimenter les réacteurs existants, en construction ou prévus ;

— garantir que le programme nucléaire dispose d'une réserve suffisante pour se développer au maximum.

(1) Une livre = 0,454 kilogrammes.

Dans ce but, le Gouvernement exige, tout d'abord, que soit constitué un stock susceptible d'assurer, avec un facteur de charge moyen de 80 % pendant trente ans, ou durant les trente années à compter de leurs mises en service, le fonctionnement des tranches nucléaires prévues au plan.

Sur la base de la puissance à mettre en œuvre en 1985, soit 18 400 mégawatts, *cette réserve protégée s'élève à 92 000 tonnes d'U³O⁸.*

Il est exigé, de plus, des compagnies d'électricité que, pour une partie de cette réserve protégée, elles aient *des contrats fermes leur assurant quinze ans d'approvisionnement*, ce qui correspond à environ 26 000 tonnes.

La « réserve protégée » définie ci-dessus a été répartie entre les producteurs et correspond, en gros, à 25 % de leurs réserves respectives.

d) *Les restrictions à l'exportation.*

Les exportations d'uranium sont sévèrement réglementées pour des raisons économiques et politiques et les producteurs doivent soumettre à l'examen de la Commission de contrôle leurs contrats de vente d'uranium à l'étranger avant d'obtenir une licence d'exportation. Ils sont même dans l'obligation de fournir la preuve que *les acheteurs extérieurs ne bénéficient pas de prix plus avantageux que ceux consentis aux clients canadiens*. Eu outre, la durée des contrats ne peut, en principe, dépasser dix ans, un délai supplémentaire de cinq ans étant toutefois consenti en cas de nouvelles négociations de prix.

De telles précautions peuvent paraître surprenantes de la part d'un pays qui passe pour détenir des réserves très importantes d'uranium mais les Canadiens estiment que la demande extérieure est appelée à croître considérablement et ils craignent que le développement du courant d'exportation déjà matérialisé en 1974 par des engagements se montant à 110 000 tonnes ne viennent compromettre le programme nucléaire national.

Les producteurs jugent, cependant, que même en tenant compte du tonnage bloqué au bénéfice du Canada et de leurs contrats à l'étranger, leurs disponibilités représentent encore 50 % de leurs ressources prouvées totales.

Au plan politique, le Canada est lié par les engagements qu'il a souscrits en tant que signataire du *Traité de non-prolifération des armes nucléaires*. En fonction de cet accord, de même qu'il accepte le contrôle sur son sol des représentants de l'Agence internationale pour l'énergie atomique (A. I. E. A.), il vient de déclarer par la bouche de son Secrétaire d'Etat aux Affaires extérieures que les engagements officiels d'assistance technique bilatérale du Canada destinés à financer des projets nucléaires seront réservés aux pays cosignataires de ce Traité et que l'adhésion d'un pays à cet accord constituera un facteur important dans la décision du gouvernement de financer les exportations dans le domaine nucléaire. Le Ministre a, toutefois, ajouté que, mise à part cette position, « le Canada continuera à fournir aux autres pays les matières nucléaires, l'équipement et l'assistance technologique nécessaire à la condition expresse, solidement étayée par des engagements astreignants, que les fournitures canadiennes ne serviront pas au développement ou à la fabrication de dispositifs nucléaires explosifs quel que soit l'usage qu'on veut en faire ».

Au cours de notre voyage, il nous est apparu que cette position officielle était partagée par l'ensemble des responsables qu'il nous a été donné de rencontrer. Par ailleurs, il est certain que l'opinion publique canadienne a été sérieusement traumatisée par l'explosion de la bombe atomique indienne sans aucun doute fabriquée avec du plutonium obtenu à partir de la centrale à eau lourde vendue à ce pays par le Canada.

En dépit de leur désir de commercialiser leur filière, les Canadiens veulent à tout prix éviter qu'un tel fait se reproduise. Les négociations conduites dans ce sens avec la Corée et l'Argentine qui ont passé commande de centrales à eau lourde en sont un exemple.

Bien que la France ne soit pas signataire du traité de non-dissémination, elle est en quelque sorte assimilée par les Canadiens aux pays ayant adhéré à ce pacte compte tenu des engagements pris et des garanties fournies visant l'emploi des matières nucléaires. Aucun problème ne se pose donc relativement aux échanges de tels produits et des connaissances technologiques annexes entre la France et le Canada.

D. — La filière Candu.

1° CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Les Canadiens ont mis au point une technique originale qui diffère très sensiblement de celle « à eau légère » de loin la plus employée dans le monde.

Nous allons nous efforcer d'en donner une description sommaire.

En premier lieu, l'élément combustible est constitué par des pastilles d'oxyde d'uranium naturel incluses dans des tubes de faible section (15,2 millimètres) en zircaloy. Ces éléments, longs de près de 6 mètres, groupés en gerbes, sont eux-mêmes insérés dans des tubes de force de 104 millimètres de section également en zircaloy disposés parallèlement et horizontalement dans une cuve. Les éléments combustibles sont immergés dans de l'eau lourde circulant à l'intérieur desdits tubes de force et jouant le rôle de caloporteur. Enfin, la cuve est également remplie d'eau lourde. Cette eau lourde, combinée d'oxygène et de deutérium, isotope lourd de l'hydrogène, joue donc à la fois le rôle de véhicule calorifique et de modérateur du flux neutronique.

Le caloporteur dont la température est élevée aux environs de 300 °C est évacué vers les générateurs de vapeur par des tubes en acier venant s'insérer sur les tubes en zircaloy, à la sortie de la cuve. Par l'intermédiaire de ces générateurs, ces calories sont cédées à un circuit secondaire dont la vapeur alimente une turbine actionnant elle-même un alternateur.

Dans les réacteurs de Pickering visités par la mission, le nombre des tubes de force est de 390 et leur diamètre intérieur est de 104 millimètres. Ils supportent une pression interne de 90 bars. Chaque faisceau de combustible groupe 28 « crayons ». Le diamètre de la cuve est de 7,80 mètres et sa longueur de 8,10 mètres. Le tonnage total d'eau lourde est de 440 tonnes (modérateur : 290 ; caloporteur : 150). Précisons, enfin, que la pression intérieure de l'eau lourde contenue dans la cuve n'excède pas 1,5 bar.

Les principales différences avec le système « à eau légère » résident donc dans *l'utilisation d'un produit non enrichi* comme

combustible, dans *l'emploi d'eau lourde* (au lieu d'eau légère) et dans la *substitution à une cuve sous pression, élément unique* contenant l'ensemble du cœur, *d'un grand nombre de tubes de force indépendants* les uns des autres.

2° PRINCIPALES ÉTAPES DE DÉVELOPPEMENT

Les responsables de l'industrie nucléaire canadienne ne contestent pas le rôle déterminant qu'a joué dans ce domaine l'équipe franco-britannique arrivée dans leur pays au début de la dernière guerre avec un petit stock d'eau lourde. C'est cette cellule initiale de savants qui réalisa, dans le monde, au sein de la pile Z. E. E. P. (Zero Energy Experimental Pile) la première réaction de fission auto-entretenu, en dehors des Etats-Unis, avec des barreaux d'uranium baignant dans l'eau lourde.

En 1947, fut réalisée la divergence du réacteur N. R. X. à Chalk River avec une puissance de 10 mégawatts thermiques (MWth) portée ensuite à 40 MWth.

En 1952, une étape essentielle est franchie avec la création de la compagnie « L'Energie atomique du Canada » (A. E. C. L.). La responsabilité du nucléaire (jusqu'ici l'apanage du Conseil national de la recherche, N. R. C.) est, à partir de ce moment, transférée à cette société.

En 1957, diverge un nouveau réacteur N. R. U. également à Chalk River atteignant la puissance de 110 MWth.

En 1959, la décision de construire à Douglas Point (Ontario) un réacteur de 200 MWe marque le premier pas significatif en matière de réacteur électrogène. Ce réacteur utilisant le bioxyde d'uranium naturel comme combustible et l'eau lourde comme colporteur dans des tubes de force et, à l'extérieur, comme modérateur, peut être considéré comme le prototype de la filière Candu. Il divergera en novembre 1966.

Entre-temps, le Canada décidera dès 1964 de lancer la construction d'une usine d'eau lourde, et de deux réacteurs à l'échelle industrielle de 540 MWe de puissance : Pickering 1 et 2.

Cependant, des techniques différentes seront explorées avec la mise en chantier, en 1965, d'un réacteur expérimental à colporteur organique de 40 MWth et, en 1966, à Gentilly (Québec), d'un

réacteur modéré à l'eau lourde mais utilisant comme caloporteur l'eau légère bouillante. Gentilly divergera en novembre 1970, Pickering 1 en février 1971, et Pickering 2 en septembre.

En dépit de quelques hésitations et tâtonnements, les Canadiens développent donc, en priorité, leur filière Candu, et cette politique aura été définitivement précisée en 1967 avec les commandes de Pickering 3 et 4 dont le dernier divergera en mars 1974.

Mais le Canada ne s'est pas contenté de se doter de centrales nucléaires de conception nationale ; il a de plus fait un vigoureux effort de commercialisation à l'extérieur, et ceci s'est traduit déjà par l'implantation à l'étranger de deux réacteurs : au Pakistan (réacteur Kanupp de 125 MWe) et aux Indes (Rapp 1 : 200 mégawatts).

3° SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES DU PARC NUCLÉAIRE

Le parc nucléaire existant et commandé se présente comme suit :

Au Canada.

LIEU	APPELLATION	TYPE	EXPLOITANT	PUISSANCE électrique brute.	MISE en service.
Rolphon (Ontario).....	N. P. D.	Candu.	Ontario-Hydro.	25	1962
Douglas Point (Ontario).	Douglas Point.	Candu.	Ontario-Hydro.	218	1967
Trois-Rivières (Québec)..	Gentilly 1.	Eau lourde + eau bouillante.	Hydro-Québec.	266	1971
Pickering	Pickering A 1, A 2, A 3, A 4.	Candu.	Ontario-Hydro.	540	1971-1973
Pickering (Ontario)....	Pickering B 1, B 2, B 3, B 4.	Candu.	Ontario-Hydro.	540 × 4	1980-1982
Tiverton	Bruce A 1, A 2, A 3, A 4, B 1, B 2, B 3, B 4.	Candu.	Ontario-Hydro.	745 × 4	1976-1978
Trois-Rivières (Québec)..	Gentilly 2.	Candu.	Hydro-Québec.	600	1979
Point-Lepreau (Québec)..	Point-Lepreau.	Candu.	N. Brunswick.	600	1980
Darlington (Ontario)....	Darlington 1, 2, 3, 4.	Candu.	Ontario-Hydro.	300 × 4	1982-1984

A l'étranger.

PAYS ET LIEU	PUISSANCE électrique brute.	MISE EN SERVICE
Pakistan :		
Kanupp	137 MWe	1971
Inde :		
Rapp 1.....	220 MWe	1972
Rapp 2.....	200 MWe	1976
Map 1 et 2.....	220 MWe × 2	1977-1979
Narora 1 et 2.....	220 × 2	1981-1982
Argentine :		
Cordoba	600	1979
Atucha 2.....	600	1981
Corée :		
Naepo 1.....	630	1980
Naepo 2.....	630	»

Au total, la puissance nucléaire installée passera au Canada de 2 670 MWe aujourd'hui à plus de 15 000 MWe vers 1984.

Pour l'ensemble du monde, elle pourrait à la même époque s'élever à 19 000 MWe, pour les réacteurs utilisant la technique canadienne.

E. — Deux problèmes connexes : le combustible et l'eau lourde.

1° LE COMBUSTIBLE

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le combustible employé dans la filière Candu est le bioxyde d'uranium naturel UO_2 dont la fabrication ne suscite pas de difficultés particulières. En revanche, le zircaloy des gaines et des tubes de force est, jusqu'ici du moins, importé des Etats-Unis.

On ne peut parler aujourd'hui de cycle du combustible, les Canadiens se contentant pour l'instant de stocker en piscine les éléments irradiés. Cette solution ne peut cependant être valable à long terme, qu'on se place au point de vue économique ou à celui de la sûreté. Sur ce point, les Canadiens ne sont donc pas, on le voit, plus avancés que leurs voisins américains.

L'utilisation éventuelle d'uranium légèrement enrichi est écartée de façon presque systématique par la plupart des responsables canadiens du nucléaire, qu'il s'agisse des techniciens de l'E. A. C. L. ou d'Ontario-Hydro. Cependant, certains estiment que l'emploi d'un tel combustible est souhaitable et possible dans le cadre même de la technique Candu. Ils font valoir, en particulier, qu'il permettrait d'employer un caloporteur moins coûteux que l'eau lourde (liquide organique ou eau ordinaire) et d'améliorer le rendement thermique. Une autre solution étudiée par l'A. E. C. L. dans ses laboratoires de Chalk River consiste à « doper » le combustible en y incorporant une faible proportion (1/2 000) d'oxyde de plutonium, ce qui doublerait la production rapportée à la consommation d'uranium.

2° L'EAU LOURDE

Le problème de l'eau lourde (D^2O) n'est pas sans analogie avec celui de l'uranium 235. Il s'agit, en effet, d'un corps contenu dans l'eau dans la proportion de 0,148 pour mille.

Le procédé industriel de production d'eau lourde consiste donc à « enrichir » l'eau en D^2O .

La technique mise en œuvre à l'usine de Bruce, visitée par la délégation, utilise dans ce but l'affinité de l'hydrogène sulfureux pour l'eau lourde. On parvient ainsi à porter le taux de D^2O à 30 %, puis par distillation à 99,8 %. Il est intéressant de noter, à ce propos, que la vapeur nécessaire à l'opération est fournie directement par une petite centrale à eau lourde implantée à proximité.

La capacité nominale de production en service, en construction ou prévue au Canada se présente comme suit :

Usines d'eau lourde en production, en construction ou prévues au Canada.

PROVINCE	NOM	PROPRIETAIRE-OPERATEUR	CAPACITE nominale (kilogrammes-heure).	MISE en production.
Nouvelle-Ecosse	Glace Bay.....	A. E. C. L.	48,4	1975
Nouvelle-Ecosse	Port Hawkesbury..	A. E. C. L.	48,4	1970
Ontario	Bruce A.....	Ontario-Hydro.	98,7	1973
Ontario	Bruce B.....	Ontario-Hydro.	98,7	
Ontario	Bruce C.....	Ontario-Hydro.	98,7	1978-1979
Ontario	Bruce D.....	Ontario-Hydro.	98,7	1979
Québec	La Prade (Trois-Rivières)	A. E. C. L.	98,7	1978
		Total....	600	1980

L'importance de ce programme, qui vise à porter la production annuelle de 1 100 tonnes environ actuellement à 3 500 tonnes en 1980, s'explique par la grave pénurie dont le Canada a souffert dans ce domaine entre 1970 et 1972, pénurie qui l'a obligé à importer des quantités importantes d'eau lourde des Etats-Unis (900 tonnes), de Suède et même d'U. R. S. S. pour assurer la charge de ses propres centrales et alimenter ses clients étrangers.

Sur le stock de 2 650 tonnes dont disposait, en effet, le Canada au 1^{er} mars 1974, 750 kilogrammes seulement provenaient des usines de production nationales.

Pour apprécier les besoins futurs, on notera qu'il faut environ 920 kilogrammes de D²O par mégawatt nouveau installé, plus un certain complément annuel pour couvrir les fuites, les accidents imprévus et l'évaporation.

La mise en œuvre des premières unités de Bruce à partir de 1974 devrait permettre de faire désormais face à la demande.

Pour en revenir à l'analogie évoquée entre l'eau lourde et l'uranium enrichi, un récent bilan des besoins énergétiques comparés des centrales canadiennes (du type Pickering) et des réacteurs à eau légère, prenant en compte, d'une part, l'alimentation en eau

lourde, et, d'autre part, l'enrichissement de l'uranium, montre que la quantité d'électricité nécessaire est, pour 20 années de fonctionnement, dans le premier cas, de 6,18 millions de kilowatts/heure et, dans le second, de 5,6 millions de kilowatts/heure.

F. — Les données économiques.

Prix de revient du kilowatt/heure.

Il apparaît difficile d'apprécier de façon certaine le prix du kilowatt/heure fourni par les centrales nucléaires. Les seuls éléments dont nous disposons résultent de chiffres émanant de la société Ontario-Hydro établissant une comparaison (en dollars 1975) entre la centrale de Pickering et celle de Lambton alimentée au charbon :

	MILLE KILOWATTS/HEURE	
	Pickering.	Lambton.
Immobilisation	4,60	1,70
Exploitation et maintenance.....	1,10	0,96
Purification de l'eau lourde.....	0,35	»
Combustible	0,98	10,60
	(1) 7,03	(1) 13,26

(1) 1 dollar canadien = 4,49 F.

Comme on peut le constater, l'écart tient essentiellement au prix du combustible qui entre pour 14,5 % dans le prix du kilowatt/heure nucléaire et pour près de 80 % dans le kilowatt/heure « charbon ».

Le coût des centrales.

Concernant le prix des centrales, nous ne disposons pas de données officielles mais nous pouvons citer le prix consenti aux Coréens, en février 1975, soit 300 millions de dollars canadiens pour une centrale de 600 MW, plus 50 à 60 millions pour l'eau lourde.

G. — **Appréciation générale de la technique canadienne.**

Quiconque se rend, comme nous l'avons fait au Canada, et plus particulièrement dans l'Ontario, ne manque pas d'être frappé par la conviction affichée par les Canadiens de détenir la filière nucléaire la plus sûre et la plus économique.

Manifestement, les habitants de ce pays sont fiers d'avoir mis au point seuls *une technique nucléaire indépendante de celle des Etats-Unis, réalisée sans soutien militaire*. Ceci explique, notamment, que l'opposition à l'équipement nucléaire si active aux U. S. A. soit ici pratiquement nulle.

Mis à part cet aspect sentimental et le désir de s'affranchir, par principe, de l'influence de leur puissant voisin dans un domaine considéré comme essentiel, on peut retenir parmi les principales motivations canadiennes : l'existence de ressources importantes en uranium, l'orientation vers l'eau lourde des premières équipes de savants et de techniciens et la difficulté de réaliser avec des moyens industriels réduits l'appareillage lourd que nécessitent les autres types de réacteurs.

Par ailleurs, il est incontestable que le système canadien présente l'avantage d'être relativement économe d'uranium grâce à son très bon rendement neutronique *et de pouvoir être rechargé en marche* (comme nos centrales graphite gaz), ce qui lui assure *un coefficient de disponibilité et un facteur de charge exceptionnellement élevés*. De plus, la technique employée est souple à un double titre : possibilité de large gamme de puissances petites et moyennes et mise en œuvre éventuelle de combustible enrichi associé à l'eau ordinaire comme colporteur. On peut inscrire enfin, à son crédit, qu'il est bon plutonigène, mais ceci supposerait l'existence en aval d'une famille de réacteurs « rapides » susceptibles d'utiliser ce combustible.

Mais, à côté de ces qualités indéniables, le développement de cette filière rencontre de sérieuses difficultés d'ordre technique, économique et commercial.

Au point de vue technique, la fabrication d'un réacteur Candu est délicate et compliquée en raison, notamment, du grand nombre de tubes de force en zircaloy qu'il faut raccorder à des tuyaux en

acier. Ceci a été longtemps le point faible des réacteurs canadiens dont plusieurs, tels que celui de Douglas Point et une unité de Pickering, ont dû être arrêtés pendant de longs mois en raison de fuites d'eau lourde d'autant plus gênantes que ce fluide était pollué par la présence de tritium.

Sur le plan métallurgique, la visite que nous avons effectuée à la centrale de Bruce en cours de montage nous a permis de mesurer la complexité de l'appareillage à mettre en place. De ce fait, la réalisation de chaque chaudière ressort plus de l'artisanat que de la grande industrie et le prix de construction doit s'en ressentir. On peut donc douter de la possibilité d'atteindre par ce procédé, à des coûts acceptables, les puissances de l'ordre de 1 300 mégawatts vers lesquelles tendent les réacteurs à eau légère.

Mais la principale difficulté pour cette filière de déboucher au plan économique et commercial tient surtout à l'utilisation de l'eau lourde et au potentiel industriel canadien, certes non négligeable, mais relativement modeste à l'échelle mondiale.

La nécessité de recourir à l'eau lourde pose, en effet, en premier lieu, le problème du prix de revient de la fabrication de ce fluide. Or, il apparaît à peu près certain que le coût réel en est nettement plus important que les chiffres couramment avancés l'indiquent. Il serait, en tout cas, supérieur à 150 dollars canadiens le kilogramme et, peut-être, nettement plus élevés encore. Si l'utilisateur ou le contribuable canadien peuvent à la rigueur supporter, directement ou non, une telle surcharge financière, les clients étrangers se voient placer devant un choix difficile : soit accepter de dépendre totalement du Canada pour une fourniture indispensable au fonctionnement de leurs centrales, élément au prix incertain, soit se doter eux-mêmes d'usines d'eau lourde coûteuses et faisant appel à une technique délicate.

Force est de constater, en tout cas, qu'en dehors de quelques pays en voie de développement, aucune nation industrielle n'a, pour le moment du moins, adopté cette filière et ceci constitue peut-être l'élément décisif de la faiblesse de la technique canadienne. Nous sommes mieux en mesure que personne d'apprécier cette carence, car la difficulté de déboucher au plan international explique et justifie mieux que toute autre donnée, notre abandon de la filière graphite gaz, l'étroitesse de notre propre marché intérieur ne pouvant nous permettre de faire cavalier seul dans un domaine où seule la fabrication en grande série conduit à des prix compétitifs.

L'avenir nous dira si le Canada pourra continuer à faire reposer son effort nucléaire sur la seule filière Candu, mais certains experts de ce pays et non des moindres, estiment nécessaire d'envisager, dès aujourd'hui, l'emploi d'autres techniques bien que l'abondance des ressources énergétiques naturelles de ce pays, nucléaires ou non, ne pose pas le problème avec la même acuité que pour la France.

H. — Une tentative de collaboration nucléaire franco-canadienne : l'accord Canadif.

Le développement des centrales à eau légère entraîne un accroissement rapide de la demande d'uranium enrichi à laquelle les Etats-Unis, jusqu'ici principaux fournisseurs des pays « occidentaux », ne pourront eux-même faire face, à partir de 1983, avec leurs moyens actuels. C'est la menace de cette pénurie et le souci de la France d'assurer son indépendance dans un domaine aussi crucial qui a conduit notre pays à décider, en accord avec plusieurs partenaires étrangers associés dans Eurodif, la construction sur son sol d'une première usine d'enrichissement de 10 millions d'U. T. S. devant entrer progressivement en fonctionnement à partir de 1979. Mais les perspectives sont telles aujourd'hui que de nouveaux investissements doivent dès maintenant être envisagés, soit en Métropole, soit à l'extérieur. La première formule paraît naturellement la plus sûre mais il faut tenir compte de la consommation électrique importante entraînée par la technique de diffusion gazeuse, seule présentement fiable, que nous mettons en œuvre. Aussi le C. E. A. a-t-il étudié la possibilité de réaliser de telles installations dans des pays disposant encore d'un potentiel électrique important disponible et bon marché.

C'est dans cette optique qu'a été réalisé, le 25 juillet 1974, l'accord Canadif entre S. E. R. U. nucléaire, filiale canadienne du C. E. A., la Société d'équipement de la Baie James et la Canadian Pacific Investments, visant à la construction d'une usine d'enrichissement de l'uranium dans une région située aux confins Sud-Est de la baie d'Hudson où les ressources hydro-électriques sont très abondantes et les possibilités de consommation sur place très réduites.

Les chances de matérialiser cet accord sont difficiles à apprécier dans le contexte politique et économique actuel.

Les autorités de Québec n'ont pas, sur ce point, la même opinion que celles d'Ottawa. Mais depuis peu les deux gouvernements se sont mis d'accord pour examiner, ensemble, l'impact du projet Canadif sur l'économie du Québec et du Canada.

Au plan général, le fait de consommer de l'électricité pour enrichir l'uranium paraît à certains une sorte d' « hérésie » dans un pays qui fonde sa politique nucléaire sur l'utilisation de l'uranium naturel.

D'autres, même à Ottawa et surtout les financiers, commencent à s'intéresser à la plus-value que représente l'enrichissement, en particulier pour la balance commerciale.

En ce qui concerne le Québec, on entend tirer le meilleur parti des ressources naturelles de la province et, à ce titre, exporter de l'uranium enrichi peut paraître intéressant, surtout en utilisant sur place l'électricité abondante et bon marché, mais difficile et coûteuse à transporter à longue distance qu'on peut tirer de ressources hydrauliques abondantes. Une telle opération contribuerait, en outre, à la mise en valeur du Nord jusqu'ici pratiquement désertique. Tout dépendra, en définitive, de l'avenir de la filière Candu, de l'évolution des prix de l'uranium enrichi et des ressources en uranium de la région de la baie d'Hudson qui, selon certains indices, pourraient être importantes.

Enfin, il convient de tenir compte aussi de l'avenir du procédé d'enrichissement par ultracentrifugation étudié en Europe et aux Etats-Unis. Certains experts estiment, en effet, prématuré de s'engager dans la voie d'un procédé, certes éprouvé mais gros consommateur d'électricité, alors que le même service pourrait être rendu par une autre technique beaucoup moins gourmande en énergie (peut-être dix fois moins).

I. — Une entreprise gigantesque : le complexe hydro-électrique « La Grande ».

Depuis quelques années, les autorités québécoises poursuivent plus activement encore que par le passé l'aménagement de la partie septentrionale de leur province. C'est pour répondre à cet objectif qu'a été créée en 1971 la *Société d'aménagement de la baie James* chargée de la mise en valeur d'un vaste territoire de 350 000 kilomètres carrés, soit la surface totale de la Belgique, des Pays-Bas, de

l'Allemagne de l'Ouest et de la Suisse, s'étendant au Sud-Est de la baie d'Hudson du 49° au 55° parallèle, et dont la population n'atteint pas 30 000 habitants.

L'exploitation des ressources hydro-électriques de cette zone est confiée à la Société d'énergie de la baie James, filiale d'Hydro Québec, les aménagements complémentaires, notamment routiers et aéroportuaires, étant du ressort de la société d'aménagement.

Le complexe hydro-électrique qui a fait l'objet d'une étude d'ensemble de 1972 à 1974 comprend, en premier lieu, l'aménagement de la Grande Rivière, un des principaux cours d'eau de la région sur laquelle doivent être implantées quatre centrales d'une puissance totale installée de 10 000 mégawatts. A ces ouvrages s'ajouteront deux autres barrages, l'un sur la rivière Laforge, à l'Est, l'autre sur la rivière Eastman, au Sud, représentant une puissance complémentaire de 1 000 mégawatts.

Les caractéristiques principales de l'ouvrage dit L. G. 2 visité par la délégation se présentent comme suit :

Barrage (du type « poids ») :

Longueur : 2 835 mètres ;
Largeur à la base : 549 mètres ;
Hauteur : 174 mètres.

Centrale :

Puissance : 5 328 mégawatts ;
Chute nette : 140 mètres ;
Nombre de groupes : 16 × 333 mégawatts.

Salle des machines :

Hauteur : 48 mètres ;
Largeur : 25 mètres ;
Longueur : 480 mètres.

Le bief amont couvre une surface de 2 614 kilomètres carrés (1), la retenue d'eau étant de 19,5 milliards de mètres cubes.

La production attendue de cette seule installation est de 35 milliards de kilowatts/heure, l'ensemble des quatre centrales devant fournir 67 milliards de kilowatts/heure soit plus que la fourniture actuelle d'électricité de la province de Québec.

La mise en service des ouvrages s'échelonnera de 1980 (pour L. G. 2) à 1984 (pour L. G. 4).

(1) Soit, cinq fois la surface du lac Léman.

Le chantier de L. G. 2 est une véritable ville temporaire pouvant accueillir 5 000 travailleurs dans des maisons de bois dotées de tout le confort.

On trouve sur place tous les services individuels et communautaires, de la station de pompage à l'hôpital en passant par le cinéma, les magasins, la banque et la télévision retransmise par satellite. Un village spécial a été conçu à proximité pour les cadres mariés accompagnés de leur famille. Les enfants peuvent y poursuivre leurs études primaires ou secondaires dans une école.

Ce chantier, comme ceux des autres barrages, est relié à Montréal par la route (1 300 kilomètres) et par voie aérienne grâce à un aéroport doté d'une piste de 2 000 mètres.

Un tel complexe donne une idée des ressources énergétiques dont dispose le Canada mais aussi de l'activité des habitants de ce pays qui sont, rappelons-le, 23 millions sur un territoire de 10 millions de kilomètres carrés.

CONCLUSION

Au terme de cette longue étude dans laquelle nous nous sommes efforcés de regrouper l'ensemble des renseignements recueillis au cours de notre voyage, quelques observations essentielles nous paraissent devoir être rappelées.

Nous ferons d'abord deux remarques qui s'appliquent également aux Etats-Unis et au Canada.

En premier lieu, **aucun des deux pays visités ne connaît, au moins actuellement, une situation aussi difficile que la France au plan énergétique.** Aux Etats-Unis comme au Canada, le recours au nucléaire est donc nécessaire mais non vital à court terme, ces deux nations disposant encore, au-delà de la fin de ce siècle, sur leurs propres territoires, de ressources énergétiques importantes.

En second lieu, aux Etats-Unis surtout, mais au Canada également, *l'élément moteur essentiel de toute activité reste l'action des entreprises privées* raisonnant en termes de profit. Cette finalité ne favorise guère les actions d'ensemble et les projets à long terme, d'autant plus que les Anglo-Saxons sont plus pragmatiques que théoriciens. Ainsi avons-nous été surpris de certaines carences telles que l'absence de capacité de retraitement des combustibles ou de solution apportée au problème des déchets.

Mais, à côté de ces aspects communs, les deux pays diffèrent très nettement sur de nombreux points.

*

* *

Aux Etats-Unis, c'est d'abord *la dimension des entreprises et des programmes mis en jeu qui surprend le visiteur.* Ces moyens industriels à l'échelle d'un continent, s'appuyant sur un marché intérieur qui absorbe *près du quart de l'énergie mondiale,* sont nettement orientés vers la conquête de l'ensemble du monde « occidental ». On songe irrésistiblement à la place que les Etats-Unis ont ainsi occupée dans d'autres domaines tels que l'aéronautique ou l'informatique.

Autre fait à souligner en corrélation avec l'importance des équipements : *l'étroite imbrication entre la fabrication et les moyens de recherche*. Ainsi, le chercheur ne travaille pas en vase clos, mais vit au contact des ingénieurs et de l'équipe commerciale en gardant, comme l'on dit, « les pieds à terre ».

Au niveau gouvernemental, *le rôle croissant du Congrès se manifeste dans le nucléaire comme dans d'autres domaines*. Le Sénat participe à la nomination des dirigeants des organismes responsables, tandis que la Commission mixte paritaire atomique se fait l'interprète et même parfois l'aiguillon de l'opinion par ses auditions publiques. Le programme « Indépendance » élaboré par le Président Nixon et confirmé par son successeur a ainsi le plus grand mal à entrer en application.

En ce qui concerne *la contestation*, si souvent évoquée par la presse européenne, deux réflexions s'imposent :

— l'action des contestataires n'est généralement pas « sauvage » mais organisée dans un cadre légal au niveau fédéral ou à celui des Etats (pas d'attentats isolés) ;

— les contestataires se recrutent principalement dans les *grands centres* et des les *milieux « intellectuels »*. Ils sont largement minoritaires dans l'ensemble de la population (un récent sondage montre *qu'environ 25 % de personnes se disent délibérément hostiles à la construction des centrales nucléaires*). De plus, cette opposition apparaît pratiquement inexistante dans les populations vivant au voisinage des centrales (accroissement sensible du nombre des pêcheurs, par exemple).

On observera enfin qu'aucun Etat ne s'est encore opposé à la réalisation sur son sol d'installations nucléaires et n'a même imposé un moratoire.

Il semble qu'un très gros effort d'information soit fait par les industriels au niveau du public. On a pu constater notamment le souci des constructeurs de sensibiliser et de former leur personnel à ce problème et de favoriser la diffusion des connaissances générales de base dans la population.

Enfin, un des arguments développés actuellement avec le plus de force aux Etats-Unis pour soutenir le développement du programme électronucléaire est la relation entre la croissance de la

consommation énergétique d'un pays, son produit national brut et la situation sociale, présente et à venir, de ses travailleurs (niveau de vie, taux de chômage...).

Les conditions de construction des centrales diffèrent sensiblement de celles qui prévalent en France. En effet, dans la grande majorité des cas, la maîtrise d'œuvre appartient à un *architecte industriel* mandaté par la compagnie d'électricité utilisatrice alors qu'en France E. D. F. assume et coordonne l'ingénierie d'ensemble et la réalisation de ses propres ouvrages.

En ce qui concerne le *fonctionnement* des installations, leur disponibilité devra être améliorée ; ceci vise notamment les réacteurs les plus récents de puissance élevée (750 à 1 200 MWe) et démontre *la nécessité de l'effort de standardisation* qui doit être accompli. Il faut, d'ailleurs, reconnaître que les causes d'indisponibilité ne sont pas, pour la plupart, purement nucléaires mais affectent surtout les circuits, les générateurs de vapeur ou le turbo-alternateur. Ces incidents ont été jusqu'ici sans répercussion pour le milieu extérieur et **aucun accident mortel n'a été jusqu'ici enregistré pour cause d'irradiation**. Les études et expériences effectuées relatives à d'éventuelles répercussions sur l'environnement montrent d'ailleurs que les centrales nucléaires sont pratiquement sans effet sur la radio-activité ambiante.

L'incidence des rejets d'eau tiède tant redoutée pour l'écologie paraît limitée et il n'y a eu aucune réaction hostile, par exemple des agriculteurs ou des pêcheurs, à la suite de la mise en service d'un réacteur. Il est vrai que les Etats-Unis disposent de nombreux fleuves et rivières au débit très important, sans parler de leurs grands lacs. Les visites effectuées aux centrales de Zion, Dresden et North Anna nous ont montré différents types de refroidissement : la première utilise un circuit ouvert sur le lac Michigan, la seconde un circuit fermé, formé d'une rivière artificielle et complété par un système de jets d'eau, la dernière, deux lacs artificiels. L'utilisation de tours hautes de réfrigération à tirage naturel tend cependant à devenir la règle.

Au point de vue économique, il est incontestable que le coût d'investissement a beaucoup augmenté comme d'ailleurs celui du combustible. Mais cette hausse des charges pèse aussi sur l'exploitation des autres centrales thermiques et, sauf en certaines régions charbonnières, *le nucléaire reste largement compétitif*.

Enfin, la *répartition* des centrales en fonctionnement (55) et en construction (63) est très inégale suivant les Etats. Presque toutes ces installations sont situées à l'Est du Mississippi. Ainsi, dans certaines régions comme celle de Chicago, la part du nucléaire dans la production électrique atteint déjà 20 % (contre 8 % en moyenne).

Au total, si le programme nucléaire prend incontestablement du retard, *le volume des commandes reste considérable* et la puissance des réacteurs en fonctionnement sera sans doute dans dix ans trois fois supérieure à celle actuelle de l'E. D. F. (toutes sources d'énergie confondues). Il est donc erroné de prétendre, comme l'ont fait certains journalistes, que les Etats-Unis tournent le dos au « nucléaire ».

Ce qu'il est en revanche possible d'affirmer dès aujourd'hui, c'est que ce pays a aujourd'hui perdu en partie le bénéfice de l'avance technologique qu'il possédait dans ce domaine et qu'il lui faudra désormais compter sur le marché international avec la concurrence des autres grandes nations industrielles parmi lesquelles la France pourrait figurer en bonne place grâce, notamment, à l'avance, reconnue par tous aux Etats-Unis, qu'elle a prise en matière de réacteurs « rapides ».

*
* *

En ce qui concerne le **Canada**, l'action gouvernementale est, en dépit de ce que nous avons dit de la place des firmes privées, plus importante qu'aux Etats-Unis et ceci résulte du *caractère particulier de la filière Candu*.

Cette technique est, en effet, pour les Canadiens, *une affaire nationale* et une manifestation d'indépendance vis-à-vis des Etats-Unis. Ceci explique, en partie, la faiblesse du mouvement contestataire, les possibilités de pollution radioactive ou thermique apparaissant, par ailleurs, moins grandes dans un pays disposant d'immenses espaces à peu près déserts.

Cette *immensité du pays* doit être également prise en compte pour apprécier les besoins énergétiques actuels et à moyen terme propres à chaque province. En effet, la présence, dans l'Ouest, de riches gisements pétroliers et charbonniers et, au Québec, de ressources hydro-électriques encore substantielles, ne favorise pas dans ces régions l'expansion nucléaire dont le rôle est appelé au contraire à devenir prédominant dans l'active région industrielle de l'Ontario.

Quant à l'avenir de la filière Candu, nous dirons d'un mot que si cette technique apparaît fiable, présente d'incontestables qualités et constitue une solution valable pour le Canada, elle risque de rencontrer de grandes difficultés à déboucher à l'extérieur en raison des problèmes posés par l'alimentation en eau lourde et surtout de la faiblesse relative de la plateforme industrielle et financière qu'offre ce pays.

*

* *

Nous n'avions pas, en rédigeant ce rapport, d'autre ambition que d'apporter notre contribution à l'étude d'un problème qui préoccupe, à juste titre, la plupart de nos compatriotes. Certains y trouveront sans doute des raisons de faire confiance à l'énergie nucléaire, d'autres au contraire pourront y voir des motifs d'inquiétude mais nous souhaiterions, en terminant, que chacun soit conscient que *l'abondance et le bon marché des ressources en énergie conditionneront demain le niveau de vie des Français* et que nous devons, en tous cas, mettre tout en œuvre pour nous affranchir le plus possible dans ce domaine d'une dépendance extérieure économiquement et politiquement insupportable.