

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
Faculté de droit et des sciences économiques

L'option nucléaire et les entreprises suisses

THÈSE

présentée à la Faculté de droit et des sciences économiques
de l'Université de Neuchâtel
pour obtenir le grade de docteur ès sciences économiques

par

CLAUDE MEYLAN



PETER LANG
Berne · Francfort/M. · New York
1983

Monsieur Claude Meylan est autorisé à imprimer sa thèse de doctorat
ès sciences économiques intitulée: «L'option nucléaire et les entreprises
suisses».

Il assume seul la responsabilité des opinions énoncées.

Neuchâtel, 17 décembre 1982

Le doyen
de la Faculté de droit
et des sciences économiques

Jean-Pierre Gern

© Editions Peter Lang SA, Berne 1983
Successeur des Editions
Herbert Lang & Cie SA, Berne

Tous droits réservés. Réimpression ou reproduction interdite par
n'importe quel procédé, notamment par microfilm, xérographie,
microfiche, microcarte, offset, etc.

Impression: Lang Druck SA, Liebefeld/Berne

L'option nucléaire et les entreprises suisses

A v a n t - p r o p o s

A la fin du présent travail, je tiens à remercier tout spécialement les rapporteurs, Messieurs les professeurs D. Maillat et R. Erbé, de leur collaboration, ainsi que Messieurs W. Züti (ancien directeur de l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs), M. Slégers (BBC), Madame L. Décosterd (+GF+), Messieurs U. Hochstrasser et J.M. Pictet (Office fédéral de l'éducation et de la science) de leur aimable accueil et des réponses qu'ils m'ont fournies.

Table des matières

Avant-propos

Table des matières

Liste des tableaux XII

Liste des schémas XIV

Abréviations courantes XIV

Introduction 15

Chapitre 1: Le développement d'un nouveau moyen de production d'énergie: l'émergence de l'industrie nucléaire suisse 25

1.1 Les premières recherches: 1945-1954 27

1.2 L'espoir: 1955-1964 35

1.2.1 La Conférence de Genève 35

1.2.2 Le développement des réacteurs aux Etats-Unis 37

1.2.3 Le programme britannique 39

1.2.4 Les travaux poursuivis en Suisse 39

1.3 Les relations internationales 60

1.4 L'abandon du développement d'un concept original de réacteur à eau lourde 68

Chapitre 2: Le passage de l'électromécanique suisse à l'électro-nucléaire - Situation en 1980 87

2.1 Concentration dans l'industrie électromécanique suisse 89

2.2 L'industrie électromécanique suisse et la concurrence internationale 92

2.2.1 L'évolution de la construction de gros matériel électrique par les six principaux pays fournisseurs 94

2.2.2	L'évolution des échanges internationaux	97
2.3	Le potentiel de l'industrie électro-nucléaire suisse .	100
2.3.1	La situation en 1980	101
2.3.2	La fonction ingénierie	106
Chapitre 3: Le développement du nucléaire dans le monde		117
3.1	L'électro-nucléaire	120
3.1.2	Les types de centrales nucléaires	126
3.1.3	Une analyse technico-économique: systèmes de réacteur et fournisseurs de centrales nucléaires	128
3.1.4	Le marché des sous-ensembles pour centrales nucléaires	134
3.2	Le positionnement des entreprises américaines et européennes de l'électro-nucléaire	145
3.3	Une analyse géo-politique du cycle du combustible	150
3.3.1	Les sources d'uranium	150
3.3.2	La conversion	156
3.3.3	L'enrichissement	157
3.3.4	La fabrication des éléments de combustible	161
3.3.5	Le retraitement	162
3.3.6	Le stockage des déchets	166
Chapitre 4: Les stratégies des entreprises suisses		167
4.1	L'échec de BBC sur le marché français	169
4.2	Le redéploiement de BBC	171
4.3	Le redéploiement de Sulzer	178
4.4	Le développement des réacteurs à haute température ...	187
4.4.1	Bref historique	187
4.4.2	1981: moment charnière dans le développement des réacteurs à haute température	189
4.4.3	La centrale THTR-300 de Hamm-Uentrop	190
4.4.4	Perspective des réacteurs à haute température	192
4.4.5	Le projet HMT	195
4.5	La participation des entreprises suisses et de l'IFR au développement des réacteurs surrégénérateurs	202

Chapitre 5: Les contraintes à l'expansion de l'industrie nucléaire suisse	207
5.1 L'Etat	212
5.2 L'opposition	215
5.3 La croissance	217
5.4 La non-prolifération	221
Chapitre 6: Un essai de prospective	233
6.1 Les commandes de centrales électro-nucléaires	236
6.2 Les conséquences du ralentissement de la demande	245
6.3 Les perspectives des fournisseurs de centrales nucléaires	249
6.4 Les perspectives des fournisseurs de turbogroupes	253
6.5 Autres éléments pour une prospective de l'industrie nucléaire suisse	256
Conclusion	257
Annexe	263
Bibliographie	267
Revue utilisées	272

Liste des tableaux

1	Centrales nucléaires en service ou en construction dans le monde occidental en 1964	54
2	Comparaison des centres européens de recherche en matière de réacteurs (état en 1965)	70
3	Effectif de l'Institut de recherches en matière de réacteurs	70
4	Dépenses à des fins de recherches, d'équipement et de formation dans les secteurs civil et militaire dans différents pays	75
5	Les marchés de l'industrie électro-nucléaire suisse jusqu'en 1966	78
6	Dépenses de la Confédération et de l'économie privée pour la recherche et le développement en matière de réacteurs	82
7	Comparaisons entre les développements de la filière à eau lourde dans divers pays	85
8	Part des turbogroupes pour centrales nucléaires dans le total des turbogroupes avec refroidissement à gaz et à liquides commandés à BBC (ou à ses licenciés)	93
9	Les principaux pays constructeurs de gros matériel électrique et leurs parts dans la fabrication de ce matériel	96
10	L'évolution de la part des pays constructeurs dans l'échange international	98
11	Les filières techniques de la sous-branche électro-nucléaire	105
12	Innovations et transferts	108
13	Commandes annuelles de centrales nucléaires dans le monde et par pays	122
14	Origine des commandes de centrales nucléaires par pays (état en 1980)	124
15	Structure par espace géo-politique des commandes reçues de centrales nucléaires (état en 1980)	125

16	Commandes et livraisons de centrales nucléaires par fournisseur	130
17	Commandes et livraisons de centrales nucléaires par fournisseur de réacteur (état: fin 1980)	133
18	Principaux fournisseurs de sous-ensembles pour centrales nucléaires selon l'origine du système	135
19	Le marché de BBC comme fournisseur de centrales nucléaires clé-en-main	140
20	Livraison de turbogroupes à vapeur pour centrales nucléaires par fournisseur et origine de la technologie	143
21	Les réserves d'uranium du monde occidental	153
22	Commandes de turbogroupes enregistrées par BBC en provenance de l'Amérique du Nord	175
23	Données concernant BBC	177
24	Données concernant le groupe Sulzer	181
25	Entrée des commandes par régions (Sulzer)	182
26	Les centrales nucléaires à haute température	189
27	Dépenses nettes de la Confédération pour la promotion et le développement de l'énergie atomique (1971-1981) .	201
28	Livraisons probables de centrales par fournisseur	239
29	Estimation des commandes de centrales nucléaires sur les marchés des fournisseurs du monde occidental durant la période 1982-1992	243
30	Livraisons attendues de turbogroupes à vapeur pour centrales nucléaires	254

Liste des schémas

1	Fournisseurs indigènes potentiels	103
2	Nombre de centrales nucléaires mises en service sur les principaux marchés du monde occidental	246

Abréviations courantes

ACF : Arrêté du Conseil fédéral

AF : Assemblée fédérale

Af : Arrêté fédéral

CF : Conseil fédéral

FF : Feuille fédérale

O : Ordonnance

SNA : Société nationale pour l'encouragement
de la technique atomique

I N T R O D U C T I O N

L'analyse de la diffusion de l'innovation constitue un axe privilégié de recherche en vue de déterminer les variables qui agissent sur le développement des entreprises; elle passe non seulement par l'étude des contraintes techniques et financières que rencontrent les entreprises dans leurs procès d'innovation, mais elle conduit aussi à reconnaître un certain nombre de variables de l'environnement comme frein ou comme stimulant du changement technologique.

Pour nous, l'environnement évoque un certain nombre de dimensions qui doivent être prises en considération dans l'étude du développement. Ainsi, chaque unité d'activité demande à être replacée dans son contexte: elle est à la fois une partie d'une structure (d'une filière, d'une firme, etc.) et un ensemble humain et matériel localement déterminé. L'environnement désigne alors tous les éléments qui agissent sur la capacité de valorisation des activités: les concurrents extérieurs, les politiques des gouvernements, l'évolution des marchés, etc.

Au niveau des contraintes techniques, on constate avec Salter (1960) que l'interdépendance des opérations d'une même entreprise pose des problèmes complexes d'harmonisation des capacités de production. Ces problèmes surgissent lorsqu'il s'agit d'introduire un nouvel équipement dans un établissement anciennement conçu comme un tout intégré. La structure du bâtiment, la résistance du sol au poids des machines ou les possibilités d'utilisation de matières premières et d'énergie peuvent empêcher de nouveaux investissements. L'ampleur et l'importance de cette complémentarité varient certainement d'une industrie à l'autre: dans les activités de première transformation, en amont des principaux processus industriels, l'harmonisation des capacités des équipements pose des problèmes plus aigus qu'en aval. Si la nouvelle machine est très performante, elle

risque d'être sous-utilisée et le coût unitaire de sa production pourrait être supérieur à celui de l'ancienne. D'une manière générale, un degré élevé de complémentarité entre les équipements décourage l'introduction de nouvelles techniques. Par conséquent, la comparaison entre coûts unitaires n'est pertinente qu'au niveau de l'établissement tout entier. Le remplacement n'est profitable que si l'accroissement du rendement monétaire dépasse à la fois le prix d'achat de la nouvelle machine et les frais d'installation que ce changement provoque. L'opportunité des nouveaux investissements doit être analysé autant que le progrès technique l'exigera. Dans presque tous les cas, le coût de remplacement sera plus élevé si la nouvelle machine doit s'adapter à des équipements anciens plutôt qu'à des nouveaux. Parfois, il sera même impossible d'harmoniser les nouvelles techniques avec l'appareil de production existant. Il faudra alors examiner la possibilité de construire une installation entièrement nouvelle.

Ce qui précède laisse à penser que des coûts de production différents doivent être enregistrés au niveau des unités d'un même segment indépendamment de leur taux de chargement ou de leur dimension.

Les installations les plus modernes emploient probablement des équipements dont la complémentarité est mieux assurée. Il est donc probable que les structures de production les plus anciennes ont une productivité plus faible et des coûts d'exploitation plus élevés vis-à-vis des nouveaux modes de production.

L'harmonisation des capacités de fabrication de processus successifs ou complémentaires, intégrés dans le même espace, requiert parfois un accroissement de la dimension de l'unité de production, pour autant que des rendements croissants soient prévus et que le marché s'y prête. L'augmentation constante des vitesses d'usinage est un élément d'explication de l'accroissement de la production des machines. Il y en a

d'autres, qui permettent de réduire les constantes techniques, tels que les systèmes de contrôle-commande ou les procédés de changement d'outil. Ainsi, une plus grande puissance est demandée aux machines anciennes, à la mesure de leur résistance et les machines nouvelles sont, pour des opérations identiques, plus lourdes, plus puissantes et plus performantes.

En-dessous d'une certaine dimension, les risques de sous-emploi ou de surcapacité sont élevés. L'exemple suivant le démontre¹.

Il est fréquent qu'une opération amont alimente une opération aval et une seule, de telle sorte que la demande de la seconde absorbe toute la production de la première. Admettons que l'opération amont dure une minute alors que l'opération aval, plus courte, comme c'est en principe le cas le plus général, dure 0,8 minute. En fonction du nombre de machines, les taux d'utilisation évoluent de la manière suivante:

Amont	1 machine	2 machines	3 machines	4 machines
	1 mn	2 mn	3 mn	4 mn
Aval	1 machine	2 machines	3 machines	5 machines
	0,8 mn	1,6 mn	2,4 mn	4 mn
Taux d'utilisation	80 %	80 %	80 %	100 %

Ainsi, tant que la demande anticipée potentielle n'incite pas l'entrepreneur à utiliser un multiple de 5 machines en aval, les machines en amont resteront-elles sous-utilisées.

1) Tiré de: —, Concentrations industrielles et productivités, Ministère de l'Industrie, Paris, 1977.

Il y a donc plusieurs seuils qui séparent le sous-emploi du matériel de la surcapacité. D'où l'importance d'un volume de fabrication suffisant pour atteindre un taux d'utilisation optimal de l'unité ou de l'entreprise.

Par analogie, cette règle s'applique au partage des activités de service à l'intérieur des entreprises industrielles, aux activités d'une région en autarcie, ainsi qu'au fractionnement d'une filière, d'une branche ou d'un secteur.

D'une manière générale, l'harmonisation de grandeurs discrètes concerne à la fois le nombre d'unités produites ou le temps des opérations, la production d'une machine ou celle d'un homme, l'activité d'un technicien ou celle d'un commerçant. Elle favorise les unités de production relativement importantes, ayant dépassé les seuils critiques d'utilisation optimale, mais n'implique pas nécessairement l'accroissement des capacités. Si nous excluons les cas où les liaisons entre opérations successives sont très étroites, - en particulier si l'opération aval ne peut être alimentée que par une opération amont spécifique -, ou si la matière ne supporte pas le transport ou le stockage, l'éclatement des moyens de production permet de reporter le problème du partage sur des sous-traitants.

Il n'en va pas de même pour les activités de service directement liées à l'industrie. Les moyens requis pour rester dans le peloton de tête des entreprises les plus progressives implique une dimension minimale de l'appareil de production, du chiffre d'affaires et du cash flow. Il ne s'agit plus alors d'harmoniser les capacités d'un même processus, mais d'optimiser l'usage de technologies différentes au regard d'un seuil de dimension des activités de service.

Dans cette lutte pour la maîtrise des fonctions tertiaires indispensables à l'aboutissement de toute innovation, la firme multinationale (FMN) est particulièrement avantagée (Floriot, 1978). Elle dispose de son propre système d'information scientifique et technique qui s'appuie sur des moyens matériels et humains adaptés aux conditions de la nouvelle division internationale du travail. Il est inter-connecté avec d'autres systèmes tels que des centres de recherche publics ou privés dans différents pays, d'autres industries, ainsi que des commissions nationales chargées d'élaborer les législations et réglementations. Ce système d'information assure la surveillance des conditions, - technologiques en particulier - de la mise en valeur des produits qui relèvent de leur domaine d'activité, une diffusion interne des données requises pour innover, ainsi que des recherches documentaires à la demande.

En se diversifiant dans des industries liées ou voisines, la FMN augmente les points où des innovations, nées d'un même ensemble de connaissances technologiques, peuvent être mis en application; elle étend ses propres possibilités de mettre en valeur les résultats de ses activités de R et D. Par ailleurs, la FMN réalise des économies d'échelle importantes en utilisant les mêmes connaissances technologiques en des lieux différents; elle peut accélérer le processus de diffusion de la connaissance technologique à son profit en intensifiant sa collaboration avec d'autres entreprises, voire en fusionnant avec elles. Enfin, la FMN répartit ses risques; elle peut maintenir son cash flow à un niveau élevé et alimenter de vastes programmes de R et D. Elle peut donc harmoniser la dimension de son appareil de production avec celle de ses activités de R et D et développer ainsi un effet de synergie propre à stimuler sa croissance.

L'effet que nous venons de décrire s'applique, par extension, aux autres activités tertiaires industrielles: le marketing, la formation et l'ingénierie. Ainsi, la FMN apparaît comme un système socio-technique complet qui tend à intégrer efficacement toutes les fonctions indispensables à la maîtrise et au succès du processus d'innovation.

Sur le même modèle, la structure des activités d'une région se traduit par des formes d'intégration des activités dominées par la recherche d'économies d'agglomération et par un mode de développement particulier.

Le plus souvent, les groupes d'agents ont tendance à n'observer que leur propre avance sur des lignes jugées avantageuses pour eux, si bien que le développement n'est pas conçu globalement. Cependant, la région remplit un rôle spécifique vis-à-vis de chacune des unités avec lesquelles elle est en relation: elle est "projet". Ce projet est la somme des orientations individuelles confrontées l'une à l'autre, chacune d'elles étant susceptible d'être modifiée lorsqu'une innovation est introduite. Mais le sens du développement peut aussi être le fruit d'une politique volontariste et normative qui fait converger les activités d'une région vers la satisfaction de fonctions et de besoins nouveaux. Le projet d'une région est donc plus ou moins déterminé par l'action des pouvoirs publics. Dans ce contexte, la fonction de ces derniers peut être aisément définie: ils doivent favoriser les effets de synergie et la création d'un ensemble cohérent d'activités, de telle manière qu'un certain nombre de besoins soient satisfaits d'une façon optimale.

L'intervention de l'Etat n'est pas nécessaire. Il importe toutefois de souligner qu'une unité d'activité ne peut pas, à elle seule, satisfaire une fonction de besoin. Elle y concourt, certes, mais c'est grâce à la

coordination des actions de plusieurs agents et de moyens divers, orientés d'une façon plus ou moins rigide vers un marché, qu'elle peut finalement se mettre en valeur. La proximité des unités autant que la convergence de leur développement devrait donc contribuer à l'adaptation de la région.

Cependant, il ne sert à rien de se voiler la face: le rôle des pouvoirs publics ne cesse de s'accroître et le protectionnisme gagne en extension. A ce jeu, les entreprises de petites nations pourraient être menacées dans leur existence. Non seulement leurs marchés d'exportation tendent à se fermer, mais il s'y crée de nouvelles capacités de production sous le couvert de multiples barrières aux échanges. Comme ces unités dépassent en général les possibilités d'absorption du marché indigène, à cause des problèmes d'harmonisation posés par l'intégration des activités, la concurrence ne manque pas de s'intensifier sur les marchés encore libre d'accès. C'est alors que nous avons voulu étudier les formes qu'a pris le changement d'une branche suisse pour s'adapter aux nouvelles conditions de production et d'échanges. Nous avons choisi l'industrie nucléaire par commodité: elle est représentée par un nombre relativement faible d'entreprises qui sont peut-être un peu plus disposées que d'autres à répandre des informations sur leur sujet. Il ne s'agit donc pas de la branche des moyens de production d'énergie. Tout au plus avons-nous donné quelques impressions concernant le développement de l'industrie électromécanique pour mieux préciser le rôle qu'a pris le nucléaire depuis le début des années 60.

Chapitre 1 :

Le développement d'un nouveau moyen de
production d'énergie : l'émergence de
l'industrie nucléaire suisse.

Introduction

Ce premier chapitre vise à montrer de quelle manière les agents économiques suisses se sont organisés pour développer un nouveau moyen de production d'énergie. En particulier, nous avons voulu donner quelques éléments du passage de l'industrie électromécanique à l'industrie nucléaire dans le contexte d'une concurrence internationale où le rôle de l'Etat est apparu comme déterminant.

L'aspect politique qui prévalut dans le développement de la technique des réacteurs nucléaires s'est tout d'abord traduit par un retard important des entreprises suisses vis-à-vis de leurs concurrentes américaines et britanniques en particulier, lesquelles bénéficièrent de subventions massives et d'un accès aisé à des données techniques couvertes par le secret militaire.

Il y eut aussi ce que l'on doit bien appeler une erreur de perspective : les entreprises suisses, autant en Suisse romande qu'en Suisse allemande, sous-estimèrent l'effort financier ainsi que l'ampleur des travaux de recherche et développement qui auraient permis d'accéder à la phase de commercialisation d'un type de réacteur de conception originale.

Enfin, le marché intérieur était bien trop étroit pour que les entreprises de l'industrie électromécanique suisses trouvent des partenaires prêts à les soutenir pour supporter avec elles, jusqu'au bout, les coûts et les risques considérables du développement entrepris.

Lorsque ces contraintes parurent évidentes et qu'une coopération internationale commença à s'instaurer, l'industrie américaine avait déjà effectué une percée décisive sur le marché européen.

1. Le développement d'un nouveau moyen de production d'énergie :
l'émergence de l'industrie nucléaire suisse.

1.1 Les premières recherches : 1945-1954

Malgré la politique du secret¹ qu'appliquèrent les Américains depuis le début de la guerre, les Soviétiques (29 août 1949) et les Anglais (3 octobre 1952) les rejoignirent assez rapidement dans la possession de l'arme atomique. L'espionnage ainsi que le passage de quelques savants de l'autre côté du rideau de fer comptèrent parmi les atouts des premiers, tandis que les seconds réussissaient à tirer profit de leur participation à la fabrication des premières bombes qui explosèrent aux Etats-Unis tout d'abord, puis au Japon sur les villes tristement célèbres de Hiroshima et de Nagasaki .

Les pays qui devaient ressentir le plus l'effet de cette politique des verrous sur l'uranium et les connaissances furent la France, la Norvège et la Suède, sans compter ceux qui, soit par découragement, soit par manque d'uranium, renoncèrent alors à se lancer dans l'aventure nucléaire.

Déjà bien avant la guerre, les instituts universitaires suisses s'étaient penchés sur les problèmes de physique nucléaire et les travaux qu'ils publièrent rencontrèrent la considération des milieux scientifiques étrangers. Durant le conflit mondial, la recherche suisse se trouva isolée et ne bénéficia pas du soutien de l'armée. Néanmoins, quelques études furent poursuivies et l'école polytechnique fédérale acquit un cyclotron, un multiplicateur de tension ainsi qu'un générateur de van de Graaf de 550 kilovolts.

1) La loi Mc Mahon (juillet 1946) n'autorisait que les échanges des données scientifiques de base sur l'énergie atomique.

Les recherches souffraient malgré tout d'un manque de moyens et aucune coordination n'existait entre les différents groupes d'étude. Faute de crédits, ceux-ci se trouvaient dans l'impossibilité de former un nombre suffisant de collaborateurs et de les engager avec un salaire raisonnable. Le Conseil fédéral décida alors d'instituer une commission de recherches scientifiques (1945)¹ destinée à faciliter les travaux urgents en physique nucléaire.

Peu après, il jugea nécessaire, sur la proposition du département militaire, la nomination d'une commission d'experts pour la coordination des recherches sur l'énergie atomique. Cette commission, instituée le 5 novembre 1945, et dont l'activité a été réglée par une ordonnance du Conseil fédéral du 8 juin 1946, eut pour tâche de répartir les travaux de recherche entre les différents groupes suisses et d'en déterminer les priorités. Il s'agissait surtout de poursuivre des études sur les ressources suisses en uranium et en thorium, de rechercher d'autres éléments fissiles, ainsi que d'élaborer des projets pour l'installation d'un éventuel centre suisse de recherches atomiques.

Le budget, pour 1946, de cette commission d'étude de l'énergie atomique fut fixé à Fr. 100.000.-. Mais des crédits spéciaux avaient déjà été prévus pour faciliter l'avancement des recherches². Il s'agissait, en particulier, de pouvoir engager rapidement les fonds susceptibles d'être utilisés pour la création d'un institut central des recherches atomiques. La construction d'un petit réacteur de puissance nulle avait aussi été envisagée.

1) Des crédits, prélevés sur ceux qui avaient été ouverts le 16 mars 1945 pour la création de possibilités de travail, ont été alloués à quelques savants.

2) Message du CF à l'AF concernant l'encouragement des recherches dans le domaine de l'énergie atomique (du 17.7.1946) in: FF 1946 II 903.

Alors que la commission suisse d'étude de l'énergie atomique veillait à l'exécution de l'arrêté fédéral du 18 décembre 1946, encourageant la recherche dans le domaine de l'énergie nucléaire, sous la direction du professeur P. Scherrer de l'école polytechnique fédérale, les milieux de l'économie privée entreprirent des études préliminaires en vue de l'installation d'un réacteur. Ainsi, la communauté de travail Brown Boveri & Cie S.A., Sulzer Frères S.A., Escher-Wyss S.A. proposa-t-elle un projet de réacteur à eau lourde dont les frais de construction avaient été estimés à 20 millions de francs.

En 1946 déjà, BBC avait envoyé trois physiciens¹ participer aux travaux des professeurs P. Scherrer et P. Huber. C'est même à partir de ce moment-là que la recherche concernant l'utilisation de l'énergie atomique devait véritablement démarrer dans notre pays (Lüscher, 1971).

L'année suivante, le professeur W. Traupel² rédigeait une pré-étude pour une centrale de 50 MWe. Il disposait alors de quelques données communiquées par le professeur P. Scherrer, à partir desquelles il examina la possibilité d'utiliser des métaux liquides (Pb) ou des gaz (He) comme caloporteurs.

Du côté de BBC, ce travail fut prolongé, si bien qu'au début de 1951, l'étude pour un projet de pile à eau lourde (P 1) se trouva achevée. Les données obtenues en provenance du laboratoire d'Argonne (Etats-Unis) et du centre de Kjeller (Norvège) confirmèrent les calculs déjà établis³.

1) W. Zünti, F. Alder et W. Hälg.

2) Payé en partie par le polytechnicum (2/3) et en partie par Sulzer Frères S.A. (1/3).

3) Cf. Arbeitsgemeinschaft Kernreaktor Brown Boveri, Escher-Wyss, Gebr. Sulzer, Rapports annuels.

C'est alors que se forma le "Groupe d'étude Energie Atomique" (mars 1951) en tant que communauté de travail entre les firmes Sulzer, BBC et Escher-Wyss. Il se fixa comme objectifs l'installation de réacteurs industriels de puissance ainsi que l'établissement d'une intense collaboration avec les milieux universitaires¹.

Au cours de la première séance de ce groupe, le professeur P. Scherrer recommanda vivement l'étude d'un réacteur à neutrons rapides et uranium enrichi. En effet, une première production d'électricité d'origine nucléaire venait d'avoir lieu à Arco (Etats-Unis) à partir d'un surrégénérateur². L'énergie produite avait été transmise, par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, à la vapeur d'une turbine de 100 kilowatts et avait fourni juste assez d'électricité pour éclairer le bâtiment abritant le réacteur (Goldschmidt, 1980, p. 256).

Malgré cette recommandation, le groupe préféra commencer l'étude d'un réacteur refroidi au gaz et modéré au graphite.

En septembre, les membres du groupe apprirent une heureuse nouvelle : à partir de 1952, il allait être possible d'obtenir de l'uranium et du graphite en quantité et qualité requises pour la construction et l'exploitation d'une centrale d'essais.

Sous la direction de J. Lalive d'Epinay (BBC), une étude pour un projet de réacteur refroidi au gaz carbonique et modéré au graphite fut aussitôt entreprise (P 2), mais l'échec des efforts en vue d'obtenir le matériel nécessaire³ conduisirent à son abandon.

1) Cf. Arbeitsgemeinschaft Kernreaktor Brown Boveri, Escher-Wyss, Gebr. Sulzer, Rapports annuels.

2) Le caloporteur était du sodium.

3) Les contacts qu'avait pris la commission d'étude de l'énergie atomique avec la France avaient laissé croire à la possibilité d'un engagement financier suisse pour l'exploitation des mines d'uranium du Limousin. Des considérations d'ordre politique empêchèrent la signature d'un quelconque accord.

Par ailleurs, le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA, France) s'engagea à livrer de l'uranium à la Suisse. Dès lors, la réalisation du projet P3 devenait possible.

Mais c'est la première conférence atomique internationale (Oslo, août 1953) qui fut l'événement le plus marquant de cette année-là. Consacrée entre autre aux réacteurs à eau lourde, elle intéressa plus immédiatement le Groupe d'étude Energie Atomique. Cette conférence fut à l'origine de la création d'une Société européenne de l'énergie atomique (1954) qui se fixa pour objectifs la promotion des échanges de connaissances et le développement des liens entre organismes de recherche.

C'est dans cette ambiance pleine d'espoirs que W. Boveri, président du conseil d'administration de BBC, tint sa conférence à l'assemblée générale de la société (16 juillet 1953). Il brossa un tableau des efforts accomplis jusqu'alors en vue de la commercialisation de réacteurs nucléaires, puis proposa une participation de la Confédération et de tous les milieux économiques à la construction du réacteur à eau lourde développé par le Groupe d'étude Energie Atomique (P3).

Le 12 février 1954, la commission d'étude fut saisie d'une proposition semblable visant à assurer le financement de ce projet et prévoyant la création d'une société. Le Conseil fédéral s'y rallia, estimant que les travaux poursuivis étaient d'intérêt général¹.

1) Message du CF à l'AF à l'appui d'un projet d'arrêté fédéral encourageant la construction et l'exploitation d'un réacteur atomique (du 2.11.1954) in: FF 1954 II 882.

En juillet 1952, la commission d'étude de l'énergie atomique proposa la construction d'un réacteur à eau lourde et de nouveaux travaux furent poursuivis¹. C'est alors que les membres du groupe constatèrent qu'ils manquaient de données et d'expérience concernant la technologie des réacteurs. Par conséquent, ils recommandèrent la construction d'une installation expérimentale pour les tests de matériaux.

En cours d'année, il fut décidé d'entreprendre la production d'eau lourde en Suisse. En effet, Sulzer s'était intéressé aux travaux du professeur Kuhn, à Bâle, lesquels concernaient la séparation des isotopes. Un équipement pilote devait fonctionner à partir de 1953.

Quelque temps plus tard, la commission industrielle pour l'énergie atomique prenait connaissance de l'étude pour un projet de réacteur à eau lourde (P 3) dont les frais de construction furent estimés à environ 20 millions de francs par la firme Motor-Columbus AG.

Les contacts avec les centres de recherche étrangers s'intensifièrent². Norvégiens et Néerlandais se déclarèrent prêts à envisager une collaboration dans le domaine des tests de matériaux et ouvrirent des possibilités de formation aux savants suisses dans le cadre du centre de Kjeller.

A cette époque, la construction d'une pile expérimentale de petite puissance travaillant à basse température, telle qu'elle avait été discutée dans le message du 17 juillet 1946 n'entraînait plus en ligne de compte. En effet, les Etats-Unis, le Canada et la Grande-Bretagne

1) Analyse mécanique, chimique et métallographique d'échantillons de graphite (BBC), d'aluminium (Sinter-aluminium-SAP de l'Aluminium Industrie AG) et d'uranium métallique (Sulzer); purification d'oxygène et d'uranium (Ciba); modélisation des rapports de flux air-eau autour des barres d'uranium (BBC).

2) Un chercheur suisse avait déjà pu accéder au Jeep (Joint Establishment Pile) de Kjeller (Norvège) en 1952.

avaient déjà communiqué un certain nombre de données suffisamment intéressantes, et la Norvège offrait à des physiciens suisses la possibilité de recueillir des expériences et d'effectuer des essais dans sa propre installation (le réacteur de Kjeller, en état de marche depuis 1951).

Le projet soumis aux autorités fédérales prévoyait la construction d'un réacteur de 10 MWe environ, fonctionnant à une température moyenne de 50°C. Quelque deux cents barreaux d'uranium (5 tonnes à 1,5 mio de francs), douze tonnes d'eau lourde (à 12 mio de francs), quarante tonnes de graphite et deux mille tonnes de béton devaient être utilisés.

L'eau lourde devait être produite en Suisse, au moins en partie, alors que des possibilités d'achat restaient ouvertes en Norvège (quoique à des prix très élevés). Chez Sulzer, les premiers appareils de rectification développés par le professeur Kuhn étaient en construction, tandis qu'un contrat avait déjà été passé avec l' "Entreprise de saccharification du bois" (Ems/Donat) portant sur la fourniture de quatre tonnes d'eau lourde (Lüscher, 1971).

Grâce au professeur P. Scherrer, le problème de l'approvisionnement en uranium allait aussi être résolu. Six tonnes de minerai congolais furent achetées aux Belges, tandis que les Anglais se chargeaient de sa transformation en uranium métallique. Ainsi, au début de 1954, les Suisses se trouvèrent en possession du combustible nécessaire à la réalisation d'un premier réacteur atomique. Par une curieuse ironie du sort, cet uranium ne fut jamais utilisé¹.

1) Cet uranium ne devait pas être employé à des fins militaires, mais sa livraison n'était pas munie d'une clause de contrôle. Au moment de la mise en marche du réacteur, un combustible de bien meilleure qualité avait été obtenu sans peine.

Ces obstacles franchis, les propositions de W. Boveri se traduisirent, le 1er mars 1955, par la création de la Réacteur S.A. (Würenlingen). Dans les quelques années qui suivirent, le développement des réacteurs en Suisse allait connaître ses épisodes les plus marquants.

Jusqu'en 1955, l'initiative privée avait donc prévalu dans cette course à la domestication de l'atome. Des contacts étroits s'étaient établis entre les instituts de recherche universitaires et l'industrie, tandis que l'Etat n'était intervenu que d'une façon très marginale. D'une manière générale, la recherche nucléaire suisse avait souffert de la politique du secret appliquée par les Anglo-Saxons et de l'embargo sur l'uranium, dans la mesure où elle ne put qu'entreprendre des travaux théoriques sur les réacteurs.

1.2 L'espoir: 1955-1964

En 1955 eut lieu la première conférence de Genève sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique. Elle fut à l'origine d'une période d'optimisme en ce qui concerne les perspectives de substitution du nucléaire aux autres sources d'énergie.

Anglais et Américains se lancèrent, avec une longueur d'avance sur leurs concurrents, dans la voie des réalisations industrielles, tandis que les Européens du continent s'engageaient dans une phase d'expérimentation.

En Suisse, le mouvement fut encore plus lent: les moyens, relativement modestes, dont on disposait alors, s'éparpillèrent sur trois projets concurrents. Les forces nationales se groupèrent ensuite au sein d'une société subventionnée par la Confédération.

1.2.1 La Conférence de Genève

Alors que la politique du secret pratiquée par les Américains avait manifestement échoué, un changement radical sembla s'amorcer lors du discours "Atoms for Peace" d'Eisenhower, tenu à l'Assemblée des Nations Unies en décembre 1953. L'année suivante (août 1954), la loi Mc Mahon était amendée en faveur des transferts de matériaux nucléaires et d'informations relatives à l'utilisation pacifique de

l'énergie atomique. Le premier pas vers l'abolition du secret devait être suivi par la fameuse Conférence de Genève (août 1955), sous l'égide des Nations Unies, et par une série de "déclassifications" des données secrètes détenues par les Américains.

De nombreuses informations scientifiques et techniques arrivèrent ainsi à la connaissance du monde entier, bien que, très souvent, elles aient revêtu un caractère suranné ou incomplet.

Vers le milieu des années 50, la production d'électricité était à ses débuts: une première centrale expérimentale de 5 MWe fut mise en marche à Obninsk¹ (U.R.S.S.) en 1954; elle fut suivie par la première centrale nucléaire industrielle au monde: Calder Hall² (Grande-Bretagne) en 1956 ainsi que par celle de Shippingport³ (Etats-Unis) en 1957.

A l'époque, seuls les Etats-Unis et l'U.R.S.S. avaient les capacités d'enrichissement assez importantes pour en détourner une fraction suffisante à des fins civiles. Ils pouvaient donc opter pour le développement de toutes les filières⁴ envisagées alors, tandis que les autres pays n'avaient que le choix entre les diverses variantes

1) A eau légère et uranium enrichi; modérateur: graphite.

2) Au gaz carbonique et uranium naturel; modérateur: graphite.

3) 60 MWe, uranium enrichi et eau pressurisée.

4) Le terme de filière désigne, dans ce contexte, un type de centrale ainsi que le cycle du combustible correspondant.

de réacteurs nucléaires à uranium naturel¹. Ces derniers, au nombre de dix², abandonnèrent tous leurs projets en cours de route, à l'exception du Canada et de la République fédérale d'Allemagne qui réussirent à atteindre le stade de la commercialisation.

1.2.2 Le développement des réacteurs aux Etats-Unis

Forts de leurs avantages dans les domaines de la séparation isotopique³ et de la propulsion sous-marine⁴, les Américains se lancèrent avant tout dans les filières à eau légère et uranium enrichi. Ils allaient donc bénéficier des recherches militaires et d'installations très coûteuses qu'ils n'étaient pas contraints d'amortir. De plus, l'expérience déjà acquise par les constructeurs de réacteurs (Westinghouse et General Electric) devait être pour beaucoup dans ce choix. Ces derniers allaient d'ailleurs conserver leur avance durant la période considérée, puisqu'ils équipèrent cinquante sous-marins atomiques, trois navires de guerre et un porte-avions de leurs réacteurs (63 en tout), sous l'égide de la division marine de l'U.S.A.E.C. La phase de la réalisation industrielle avait donc été atteinte et son lancement avait même été financé à cent pour cent par le budget fédéral.

Le rôle de l'U.S.A.E.C. ne se limita pas seulement au développement et au lancement des moteurs atomiques; cet organisme chercha aussi à promouvoir les centrales productrices d'électricité.

- 1) On considérait à l'époque deux filières principales à uranium naturel: celle à eau lourde et celle au graphite-gaz.
- 2) Grande-Bretagne, France, Norvège, Suède, Italie, République fédérale d'Allemagne, Inde, Suisse, Danemark, Canada.
- 3) L'enrichissement de l'uranium est une phase nécessaire à la fabrication de la bombe.
- 4) Le Nautilus avait été mis à l'eau en 1954.

L'amendement de la loi Mc Mahon (1954) devait permettre à l'industrie de construire et de posséder des centrales. Mais cette mesure n'allait pas avoir beaucoup de succès dans l'immédiat. Une législation ultérieure autorisa, en 1956, les producteurs d'électricité¹ à s'associer pour réaliser des centrales nucléaires.

Au début des années 60, plusieurs types de réacteurs avaient déjà été construits:

- les réacteurs de puissance expérimentaux, entièrement construits aux frais de l'U.S.A.E.C. (Shippingport);
- les réacteurs de puissance de démonstration (Dresden), construits en collaboration entre l'U.S.A.E.C., l'industrie et les producteurs d'électricité (tous privés).
- les réacteurs de puissance commerciaux (San Onofre) construits sans participation gouvernementale directe, mais avec de nombreux avantages financiers tels que des garanties dans le domaine des combustibles nucléaires et un remboursement des frais d'étude².

Ainsi que le remarque Goldschmidt (1980, p. 281), la politique de l'U.S.A.E.C. favorisait la libre concurrence, en mettant à disposition de tous les connaissances obtenues grâce aux fonds gouvernementaux par une firme donnée, celle-ci conservant les spécialistes formés et le savoir-faire acquis durant la phase de développement.

Malgré les facilités octroyées par le gouvernement, le marché national ne permettait pas d'absorber les capacités des producteurs de réacteurs. Ceux-ci se tournèrent alors vers l'extérieur, l'Europe en particulier, où les prix de l'électricité étaient bien supérieurs à ceux des réseaux américains³.

1) Aux Etats-Unis, les producteurs d'électricité sont des compagnies privées.

2) Cf. Goldschmidt, 1980, p. 281; les noms entre parenthèses sont ceux des premières centrales de chaque catégorie.

3) Tous les combustibles fossiles étaient bien moins chers aux Etats-Unis qu'en Europe.

1.2.3 Le programme britannique

C'est en 1956 que fut achevée la première centrale industrielle du monde (Calder Hall). Elle était destinée à satisfaire deux objectifs: la production d'électricité et celle de plutonium. Elle fut suivie par cinq autres centrales de même type (jusqu'en 1964), mais de puissance croissante. Les Anglais furent aussi les premiers du monde à décrocher un contrat prévoyant la fourniture d'une centrale industrielle à l'étranger¹.

En Grande-Bretagne, comme en France d'ailleurs, l'industrie nucléaire naissante put s'appuyer sur une organisation unifiée et nationalisée de la production d'électricité. En outre, le facteur risque lié au lancement de ce nouveau moyen de production d'électricité fut pris en charge par l'Etat, puisque la filière choisie servait aussi des visées militaires.

1.2.4 Les travaux poursuivis en Suisse

A la suite de la Conférence de Genève, le retard que la Suisse avait à rattraper était apparu clairement.

Bien que les milieux de l'économie et de la recherche scientifique ne soient pas restés inactifs durant les dix premières années qui succédèrent à la guerre, le montant de six millions de francs qui fut mis à la disposition de la commission d'étude pour l'énergie atomique durant les années 1946 à 1955 ne manque pas de paraître dérisoire. Il est vrai que, à défaut de pouvoir obtenir les matières fissiles nécessaires au fonctionnement d'un réacteur atomique expérimental suisse, cette commission ne put faire mieux que de stimuler la recherche et

1) 1958; Latina (Italie), graphite-gaz-uranium naturel.

octroyer une aide financière aux savants dans le domaine de la physique nucléaire¹.

Progressivement, l'Etat allait apporter un soutien plus grand au développement des réacteurs en Suisse.

Cela commença (janvier 1956) par la constitution au sein du Conseil fédéral d'une délégation spéciale pour les problèmes de l'énergie atomique, composée des chefs des départements concernés². M. Otto Zipfel fut nommé délégué aux questions atomiques afin d'assurer une parfaite coordination des projets provenant du monde scientifique, de l'économie et de l'administration ainsi qu'une étude rationnelle de tous les problèmes ayant trait à l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.

Mais l'économie privée ne cessa de conserver l'initiative.

Après que la commission d'étude ait obtenu de l'uranium (fin 1954), la Réacteur S.A. fut rapidement créée (1er mars 1955). Près de 140 entreprises³ souscrivirent à son capital-actions et s'engagèrent à des versements supplémentaires.

-
- 1) Seuls les Norvégiens prirent le risque de construire un réacteur sans en avoir le combustible; comme les Suisses allaient avoir accès au centre nouvellement créé à Kjeller, le retard pris sur les premiers restait faible.
 - 2) Département des transports et communications et de l'énergie, département politique et département de l'intérieur.
 - 3) En provenance de tous les milieux de l'économie: industrie des machines, électrotechnique, chimie, horlogerie, industrie métallurgique, banques, assurances, sociétés de financement, compagnies d'électricité.

Les buts fixés étaient les suivants:

- " a) la construction et l'exploitation de réacteurs d'essai pour la constitution des bases techniques et scientifiques indispensables à la construction et à l'exploitation d'un réacteur industriel qui produise de l'énergie, de même que pour des études pour le développement des machines et appareils y relatifs;
- " b) la transmission de données concernant la protection contre les émissions de radio-activité;
- " c) la fabrication de substances radio-actives et la vente à des utilisateurs pour des applications médicales, chimiques, agricoles, de même que pour d'autres buts et travaux..." (art. 2 des statuts).

Par l'arrêté fédéral du 21 décembre 1954, la Confédération s'engagea à participer pour un montant de cinq millions aux frais d'installation du réacteur, soit à raison d'un quart du prix budgeté. Elle devait aussi verser 1,8 million (au plus) pour les frais d'administration, de développement et d'exploitation avant la mise en activité du réacteur, ainsi que 5 millions au maximum pour les frais d'administration et d'exploitation durant les cinq premières années qui suivraient la fin des travaux d'installation. Au total, la contribution de la Confédération devait se limiter à 11,8 millions de francs; elle conservait, par ailleurs, la possibilité de participer au capital-actions.

Avec le temps, il se révéla que les dépenses pour l'extension du centre de recherche de Würenlingen dépassaient les possibilités de l'économie privée. Aussi, l'Assemblée fédérale se vit-elle obligée d'accorder, le 13 juin 1957, un crédit supplémentaire de 3,7 millions et le 19

mars 1958 un autre crédit de 4,5 millions¹. Ce dernier montant fut assorti de la condition d'une révision des rapports contractuels initiaux entre la Confédération et la Réacteur S.A. Cette exigence fut renouvelée lorsque fut examinée la requête présentée par la société, en automne 1957, en vue de l'obtention d'un nouveau crédit de 50 millions pour l'extension et l'exploitation des installations de Würenlingen au cours des années 1958 à 1962. A la suite de la demande de crédit formulée par la Réacteur S.A., 30 millions supplémentaires lui furent octroyés pour la poursuite de ses activités². A la fin décembre 1959, la Confédération avait donc versé 45 millions de francs à la société, tandis que les actionnaires arrivaient à une dépense de près de 22,2 millions³.

Avant le rattachement des installations de la Réacteur S.A. à l'école polytechnique fédérale et sa transformation en "Institut fédéral de recherche en matière de réacteurs"⁴ (1er mai 1960), un crédit de 10,2 millions lui fut encore alloué pour l'installation de deux laboratoires⁵.

-
- 1) Cf. message du CF à l'AF concernant l'encouragement de la recherche dans le domaine de l'énergie atomique et la formation de spécialistes (du 26.11.1957) in: FF 1957 II 1015.
 - 2) ACF du 2.9.1958; message du CF à l'AF concernant les nouvelles mesures à prendre en vue d'encourager la recherche dans le domaine de l'énergie atomique et la formation de spécialistes (du 11.7.1958) in: FF 1958 II 525.
 - 3) 1,8 mio pour la constitution du capital-actions; 13,4 mio à fonds perdus et 7,0 mio en nature non portés en compte et ne figurant pas à l'actif du bilan, soit 22,2 mio, desquels sont exclus 2,8 mio de prestations à fonds perdus garanties mais non versés.
 - 4) En fait, dans une première phase, seules les installations de la Réacteur S.A. furent transférées et la société subsista encore quelque temps.
 - 5) Cf. message du CF à l'AF concernant le transfert des installations de la Réacteur S.A. à un établissement rattaché à l'école polytechnique fédérale (du 1er janvier 1960) in: FF 1960 I 509.

Pour le soutien de la recherche atomique, la Confédération libéra, en 1958, une somme de 10,5 millions de francs¹.

Ce montant, à mettre en rapport avec les quelque dix millions déjà versés à la commission d'étude entre 1945 et 1957, témoigne d'une certaine prise de conscience en faveur du développement des réacteurs en Suisse. Quelque 40 millions de francs supplémentaires allaient encore être portés sur les comptes des années 1959 à 1962².

Tandis que la Réacteur S.A. se transformait en un centre de recherche appliquée, des groupements privés se constituèrent en vue de construire des prototypes de centrales atomiques: le "Consortium pour la construction d'une centrale atomique de recherche" (CONSORTIUM), l' "Energie Nucléaire S.A." (ENUSA) et "Suisatom S.A." (SUISATOM).

En juillet 1956, plusieurs entreprises importantes de Suisse allemande (Contraves S.A., Escher-Wyss S.A., la Fabrique de Machines Oerlikon et Sulzer Frères S.A.) formèrent une communauté de travail, dans laquelle fut aussi inclus le conseil de l'école polytechnique fédérale, afin d'élaborer un réacteur à tubes de pression modéré à l'eau lourde, lequel devait produire à la fois de l'électricité et de la chaleur pour le chauffage de ladite école. Par la suite, ce projet fut abandonné (1958). Mais les études concernant le projet de réacteur comme tel furent poursuivies par le "Consortium pour la construction d'une centrale atomique de recherche" qui s'était constitué entre-temps (1957) et auquel adhèrent, en plus des entre-

1) Cf. message du CF à l'AF concernant l'encouragement de la recherche dans le domaine de l'énergie atomique et la formation de spécialistes (du 26.11.1957) in: FF 1957 II 1015.

2) Cf. message du CF à l'AF concernant les nouvelles mesures à prendre en vue d'encourager la recherche dans le domaine de l'énergie atomique et la formation de spécialistes (du 11.7.1958) in: FF 1958 II 525.

prises déjà citées: Brown Boveri & Cie S.A., Landis & Gyr S.A., Sprecher & Schuh S.A. et Ed. Züblin & Co S.A.

Le Consortium s'était fixé comme objectifs la réalisation d'un prototype de réacteur de conception originale et la constitution d'une expérience suffisante pour s'imposer sur le marché mondial des réacteurs.

A partir des efforts déjà consentis par Sulzer, le Consortium élabore le projet d'un réacteur¹ d'une puissance de 6 MWe.

Le coût total du projet ne devait pas dépasser 55 millions de francs.

En Suisse romande, à l'instigation des professeurs Bonnard et Gardel, des entreprises industrielles et d'électricité constituèrent, le 10 août 1956, une communauté d'étude chargée de choisir un système de réacteurs qui offrit des possibilités de développement et d'adaptation aux conditions suisses. Cette communauté opta pour un système de réacteur à eau légère et uranium enrichi (type caverne). Le projet fut repris par ENUSA, fondée le 18 juillet 1957, avec pour objectifs la familiarisation avec la technique des réacteurs et l'acquisition de l'expérience nécessaire à l'exploitation d'un réacteur.

Cette société évaluait à 40 millions la dépense totale qu'occasionnerait la réalisation de son projet (réacteur de 5 MWe).

Le 19 juillet 1957, les quatre grands producteurs d'électricité nationaux (Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse S.A.; Forces Motrices Bernoises S.A.; Aar et Tessin, Société Anonyme d'Electricité S.A.; Energie de l'Ouest Suisse) fondèrent SUISATOM, à laquelle adhèrent

1) Uranium naturel-eau lourde à tubes de pression-type caverne. A la deuxième conférence de Genève (1958), les savants Haller et Fritsche, de Sulzer, présentèrent un projet analogue avec un système de chauffage à distance.

encore, par la suite, les entreprises d'électricité des villes de Bâle, Berne et Zürich, les Forces Motrices de Laufenburg, les Forces Motrices de la Suisse centrale, Elektro-Watt S.A. ainsi que les Chemins de fer fédéraux. Les objectifs poursuivis par SUISTATOM étaient différents de ceux des deux autres groupements. La société projetait l'achat d'un réacteur à eau bouillante et uranium enrichi (65 MWth / 20 MWe) à circuit direct et refroidissement naturel, en vue de rassembler des expériences sur l'exploitation économique d'un réacteur et de former le personnel nécessaire à son fonctionnement.

Seul le réacteur lui-même devait être acheté à l'étranger (auprès de la General Electric, Etats-Unis), tandis que toutes les autres parties (y compris la cuve) devaient être fabriquées en Suisse.

Le total des dépenses que devaient occasionner l'achat et la construction du réacteur furent évalués à 50 millions de francs. Les frais d'exploitation devaient être couverts par la vente de l'énergie produite à un prix adéquat.

Entre la fin de 1958 et le début de 1959, les trois groupements s'adressèrent au Conseil fédéral en vue d'obtenir une aide financière pour la réalisation de leurs projets. Plus tard, SUISTATOM retira sa demande à la suite d'une augmentation de son capital social (couverte par les Chemins de fer fédéraux). Ne restèrent donc en lice que les deux projets de la Suisse allemande et de la Suisse romande dont les coûts étaient évalués à 95 millions de francs suisses - plus une quinzaine de millions pour leur gestion pendant une période de cinq ans, plus cinq autres millions pour d'éventuels imprévus -.

Après une consultation d'experts, le Conseil fédéral reconnut que les dépenses et les risques liés au développement des réacteurs ne pouvaient être supportés exclusivement par l'économie et que, par conséquent, une subvention de la part de l'Etat s'imposait. Pour la première fois, l'aide de la Confédération dans la phase d'expérimentation d'un produit ne servant pas la défense nationale était admise. Cependant, la participation de la Confédération devait demeurer inférieure à la moitié des dépenses totales qui allaient être engagées pour la réalisation des projets de réacteurs. En outre, la subvention accordée pour surmonter des difficultés passagères devait être remboursée dès le succès de la phase commerciale.

Sous réserve d'un certain nombre de conditions, la Confédération se déclara prête¹ à aider l'industrie nucléaire suisse, alors en train de se constituer: il fallait que l'on veillât à une rigoureuse concentration de toutes les forces disponibles, que l'on évitât de s'engager dans des voies parallèles, que les entreprises collaborassent entre elles et avec le centre de Würenlingen (d'une manière aussi étroite que possible). Le message présenté à l'Assemblée fédérale le 26 janvier 1960 prévoyait aussi qu'une aide de la Confédération ne pouvait être octroyée à des entreprises isolées ou à des groupements régionaux (FF 1960 I 501). Il était donc recommandé aux milieux intéressés de se grouper en une organisation nationale commune qui garantît la diffusion aussi large que possible des connaissances et des expériences acquises, la Confédération se réservant le droit d'utiliser et de rendre accessibles à tous, dans l'intérêt général, les résultats des recherches obtenus grâce à son aide.

1) Cf. message concernant l'encouragement de la construction des réacteurs expérimentaux de puissance (du 26.1.1960) in: FF 1960 I 485.

Conformément au vœu exprimé par les autorités fédérales compétentes, les milieux intéressés au développement des réacteurs en Suisse se groupèrent, en juillet 1961, au sein de la Société nationale pour l'encouragement de la technique atomique (SNA). Dès lors, la Confédération pouvait libérer jusqu'à concurrence de la moitié des 70 millions prévus pour la réalisation de la première centrale nucléaire suisse d'essais à Lucens¹. En mars 1960², l'Assemblée fédérale avait déjà approuvé un crédit de 50 millions pour le soutien d'un tel projet, si bien que les travaux purent commencer très rapidement.

La SNA était une organisation faitière de caractère national et privé, groupant toutes les entreprises suisses s'intéressant au développement et à l'utilisation de l'énergie nucléaire en Suisse. Les actionnaires fondateurs³, avec l'aide de la Confédération⁴, s'étaient fixé les objectifs suivants:

- encouragement de la construction et essais de réacteurs de puissance et de centrales nucléaires expérimentales de construction suisse;
- réalisation du projet de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens.

1) W. Boveri se distancie de la SNA dès son origine et devait déclarer: "Nous avons déjà maintes fois signalé combien il était peu raisonnable de dépenser une somme de quelque 70 millions de francs pour réaliser une centrale atomique avec un type de réacteur dont la conception principale laisse apparaître une utilisation économique dans notre pays comme invraisemblable."

2) AF du 15 mars 1960 in: FF 1960 I 1250.

3) Enusa (1,0 mio du capital-actions), Suisatom (1,1 mio) et Therm-Atom (1,1 mio); auxquels devaient se joindre plus tard 25 autres actionnaires venant de milieux divers (banque, industrie, bâtiment, forces motrices, assurances, etc.).

4) Cf. NGA, Oktober 1969, p. 5.

Ainsi, la SNA voulait donner une impulsion à l'industrie suisse afin que celle-ci pût satisfaire les besoins en énergie. Par contre, elle ne s'engageait ni à garantir la compétitivité des produits nucléaires suisses sur les marchés mondiaux, ni à satisfaire l'approvisionnement en électricité de l'économie indigène en érigeant des centrales nucléaires.

Le but immédiat recherché par l'établissement d'un programme suisse de développement de réacteurs nucléaires était de permettre à l'industrie nationale (et aux bureaux d'ingénieurs) d'acquérir une expérience suffisamment étendue pour s'imposer comme des concurrents sérieux sur les marchés nucléaires et aussi de lui procurer une position d'interlocuteur valable dans ses négociations avec les partenaires étrangers.

Le second but était de poursuivre le développement d'un type original de réacteur pouvant convenir aux conditions de l'économie électrique suisse (les possibilités d'accroissement du parc d'usines hydrauliques semblaient alors réduites).

Enfin, le troisième but était de permettre au personnel d'exploitation de se familiariser avec l'utilisation et l'entretien des réacteurs de puissance.

Pour la construction d'une première centrale nucléaire d'essais, c'est finalement le projet de Therm-Atom¹ qui avait été retenu pour être réalisé à l'endroit prévu par Enusa. Au regard des faibles moyens financiers et du petit nombre de spécialistes à disposition, il était en effet impensable de poursuivre, comme cela était le cas aux Etats-Unis, le développement de plusieurs types de réacteurs à la fois.

1) En mars 1960, le Consortium se transforma en Therm-Atom S.A. Par la suite, les entreprises industrielles actionnaires de Enusa y entrèrent aussi. BBC ne participa pas à cette société en raison des liens déjà créés en République fédérale d'Allemagne (BBC - Krupp Reaktor GmbH).

Les constructeurs devaient renoncer à apporter trop d'innovations dans l'emploi du matériel ou dans la construction et allaient chercher à réaliser dans un délai raisonnable une installation exploitable. Ces contraintes n'allaient évidemment pas conduire à une production d'énergie aussi économique que possible, mais ne devaient pas empêcher la construction d'une centrale de conception originale, qui, partant d'éléments éprouvés, était susceptible d'être développée.

La solution adoptée sembla optimale à bien des égards. Ainsi, le réacteur projeté se prêtait à l'utilisation de plusieurs sortes de combustibles (métal ou oxyde). L'uranium naturel avait eu la préférence sur l'uranium enrichi, à cause des possibilités d'approvisionnement sur le marché mondial. En effet, il se trouve qu'à l'époque, le gouvernement américain disposait d'un monopole de fait sur les livraisons d'uranium enrichi¹. Par conséquent, les perspectives d'exportation de centrales à eau lourde et uranium naturel étaient plus favorables.

D'ailleurs, il était certain que les Américains pouvaient jouer sur le prix du combustible enrichi en raison de la double vocation de leurs installations et des frais déjà pris en charge par le budget militaire. L'utilisation d'uranium naturel pouvait donc s'avérer plus intéressante à la longue.

Seuls le graphite et l'eau lourde pouvaient entrer en ligne de compte en tant que modérateurs. Les Anglais s'étaient déjà décidés en faveur de la première solution (Calder Hall), tandis que le Canada et la Suède avaient opté pour la seconde. En Suisse, étant donné la construction en caverne qui était projetée pour des raisons de sécurité, le système à eau lourde l'emporta grâce à son volume plus faible et, partant, bien meilleur marché.

1) Les capacités des Anglais et des Soviétiques étaient destinées exclusivement au marché intérieur et essentiellement à des fins militaires.

Quant au choix du système de réacteur, ce fut la variante à tubes de pression qui fut choisie. Cette solution offrait plus de fiabilité que la variante à cuve de pression, par ailleurs difficile à réaliser techniquement.

Soulignons en dernier lieu l'intérêt d'une construction en caverne dans la perspective d'un chauffage à distance: d'une part, la centrale peut être rapprochée des agglomérations sans menacer la sécurité de la population et, d'autre part, le rendement de l'installation est considérablement amélioré grâce à la récupération d'une bonne partie de l'énergie perdue dans le réacteur¹.

Il se trouve aussi que le développement d'un réacteur à eau lourde et uranium naturel correspondait aux efforts entrepris jusque-là en vue de la maîtrise de la technique nucléaire par une partie de l'industrie suisse (Sulzer essentiellement). La construction du réacteur de recherche DIORIT à Würenlingen (une des variantes du P3 développée par le Groupe d'étude Energie Atomique) avait déjà permis à l'industrie d'acquérir une certaine expérience qui pouvait, elle aussi, être mise en valeur.

Le 1er juillet 1962, la centrale nucléaire expérimentale de Lucens commença à être édifiée. Therm-Atom S.A., issue de l'association des sociétés alémaniques et romandes intéressées à la livraison des composants pour centrales nucléaires, s'était alliée à trois bureaux

1) Le réacteur de Ägesta, en Suède, mis en service en 1964, fut déjà conçu pour la production combinée d'électricité et de chaleur.

d'ingénieurs¹ pour constituer la Communauté de travail Lucens (CTL). Cette dernière avait été mandatée par la SNA pour le projet, la direction des travaux, ainsi que les essais de la centrale. Elle remplissait donc la fonction classique d'un bureau d'ingénieurs. Son mandat n'incluait pas l'exploitation de l'ouvrage; celui-ci fut remis par la SNA, le 1er mars 1968, à la S.A. l'Energie de l'Ouest Suisse (EOS).

La liberté de manoeuvre de la Communauté de travail se révéla plus faible que dans le cadre d'un projet ordinaire. Le montage administratif qui avait été élaboré, conformément au vœu émis par les autorités fédérales, devait conduire à une certaine lourdeur dans les processus de décision. La collaboration étendue à tous les milieux concernés par le développement des réacteurs en Suisse, aussi justifiable qu'elle ait pu paraître, avait agi, en fait, comme un frein pour un certain nombre d'entreprises (Arbeitsgemeinschaft Lucens, 1969, p. 8).

La complexité de l'organisation pour la construction et le développement de la centrale de Lucens se reflète dans la répartition des travaux. Ainsi, la fonction d'ingénieur-conseil n'a pas seulement été remplie par quatre entreprises, encore devaient-elles collaborer avec Suisatom, Enusa et l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs. Le fournisseur avait été désigné lors de la fondation de la SNA: il s'agissait de Therm-Atom, qui réunissait près de deux douzaines de firmes qui devaient livrer la quasi totalité des composants de la centrale.

1) Bonnard & Gardel, ingénieurs-conseil, Lausanne; Elektro-Watt, Entreprises électriques et industrielles S.A. (avec sa filiale Atoelectra S.A.) Zürich; Société Générale pour l'Industrie, Genève.

Pour des raisons de politique régionale et financières, les travaux furent sousmissionnés et un consortium de trois firmes¹ se constitua pour effectuer le travail.

La première étape du programme, qui consistait à creuser et à bétonner les cavernes destinées à abriter le réacteur, les réserves de combustibles et la salle des machines, prit plus de temps que prévu, par suite du manque de main-d'oeuvre. C'est finalement avec un retard de quinze mois sur les prévisions initiales, en mars 1965, que les travaux de montage du réacteur purent commencer.

Pour procéder aux études de développement de réacteurs de puissance et à des comparaisons internationales, le conseil d'administration de la SNA nomma, en octobre 1962, une Commission des études de développement (CE). Celle-ci comprenait des spécialistes de la technique des réacteurs, à la tête desquels se trouva M. W. Zünti, directeur de l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs, les représentants des compagnies d'électricité, ainsi que des personnes occupant des positions élevées dans les bureaux d'ingénieurs et l'industrie. Adopté en juin 1962, un plan de travail - d'une envergure très limitée² - fut mis à exécution sous la direction de la commission.

En octobre 1963, le conseil d'administration de la SNA approuva un nouveau programme³, mieux adapté aux besoins, non sans difficulté d'ailleurs.

D'emblée, certaines compagnies d'électricité adoptèrent une attitude négative face à une demande de crédits supplémentaires qui leur avait été présentée en vue de financer l'extension des études pour le développement. Les compagnies concernées avaient fait savoir qu'elles

1) Ed. Züblin & Cie AG, Zürich; Losinger & Cie S.A., Lausanne; Conrad Zschokke S.A., Genève.

2) Une somme de 2 mio avait été mise à la disposition de la CE.

3) Le crédit accordé fut de 27 millions.

craignaient d'être sollicitées encore par la suite. Elles considéraient alors que les efforts entrepris dans le cadre de la SNA étaient profitables à l'industrie tout entière, et, partant, à l'ensemble de la collectivité.

L'Etat était donc tout désigné pour intervenir d'une façon plus engagée dans le financement du développement des réacteurs en Suisse¹.

Cet épisode, pour anodin qu'il puisse paraître, n'en était pas moins révélateur des divergences de vue entre industriels et "électriciens". Therm-Atom croyait encore pouvoir fournir les premières centrales nucléaires de puissance qui seraient commandées par l'économie énergétique, alors que, dans le même temps, les Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse S.A. considéraient une offre particulièrement favorable de Westinghouse en vue de satisfaire les besoins à venir en électricité.

La décision de construire une centrale atomique à Beznau² tomba le 5 décembre 1964; aucun des composants du réacteur ne devait être livré par l'industrie indigène. Dès cet instant, un certain découragement commença à peser sur l'avancement des travaux suisses, si bien que l'organisation laborieusement édiflée en vue de la réalisation d'une centrale prototype de puissance finit par se gripper.

Lorsque les Américains présentèrent leur offre aux Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse, il était clair qu'ils appliquaient une politique commerciale agressive: il faut dire qu'ils en avaient les moyens.

1) Cf. message du CF à l'AF concernant l'ouverture d'un crédit complémentaire visant à encourager la construction et l'exploitation de réacteurs expérimentaux de puissance (du 18.9.1964) in: FF 1964 II 773; ACF du 4 mars 1965 in: FF 1965 I 813.

2) Crédit: 325,5 millions de francs.

Tableau 1

CENTRALES NUCLEAIRES EN SERVICE OU EN CONSTRUCTION
DANS LE MONDE OCCIDENTAL EN 1964

<u>Nom</u>	<u>Pays</u>	<u>Type</u>	<u>Début de</u> <u>la</u> <u>construc.</u>	<u>Mise en</u> <u>service</u>	<u>Puissance</u> <u>nette (MWe)</u>
<u>I Prototypes¹</u>					
Shippingport	EU	PWR	1955	1957	60
Indian Point	EU	PWR	1956	1962	255
Bradwell	GB	GG	1957	1962	245
Berkeley	GB	GG	1957	1962	275
NPD 2	CON	HWR	1958	1962	20
Humboldt Bay 3	EU	BWR		1963	63
Big Rock Point	EU	BWR		1963	72
EDF - 1	F	GG	1957	1963	70
Windscale AGR	GB	AGR	1958	1963	27
Agesta ²	S	HWR	1957	1963	10 ²
Winfrith SGHWR	GB	HWR	1963	1967	92
<u>II Centrales de seconde génération</u>					
Dresden	EU	BWR	1957	1969	200
Yankee Atomic	EU	PWR	1957	1960	175
Latina ³	I	GG	1958	1963	200
SENN ⁴	I	BWR	1960	1964	150
SELNI ⁵	I	PWR	1961	1964	257
Hunterston	GB	GG	1957	1964	340
Trawsfynydd	GB	GG	1959	1965	390
EDF - 2	F	GG	1958	1965	200
Douglas Point	CON	HWR	1961	1965	203
Tokaï Mura	J	GG	1959	1966	157
EDF - 3	F	GG	1959	1967	480
Hinkley Point	GB	GG	1957	1965	430

<u>Nom</u>	<u>Pays</u>	<u>Type</u>	<u>Début de la construc.</u>	<u>Mise en service</u>	<u>Puissance nette (MWe)</u>
SENA, Chooz ⁵	F/B	PWR	1962	1967	305
KRB, Gundremmingen ⁴	RFA	BWR	1962	1966	237
Oungness	GB	GG	1960	1966	410
Oldbury	GB	GG	1962	1968	416
Sizewell	GB	GG	1961	1966	420
Marviken	S	HWR	1963		140
Wylfa	GB	GG	1964	1971	840
<u>III Centrales commerciales</u>					
San Onofre	EU	PWR	1964	1968	436
Haddam Neck	EU	PWR	1964	1968	575
Tarapur 1+2	INO	BWR	1964	1969	2x190
Oyster Creek	EU	BWR	1964	1969	650
Zorita	SP	PWR	1964	1968	153
Rajasthan - 1	INO	CHWR	1964	1972	207
Nine Mile Point	EU	BWR	1964	1969	625

Source: Nuclear Engineering, Supplément juillet-août 1980.

- 1) Calder Hall, Chapelcross (GB), G 1, G 2, G 3 (F) principalement destinées à la production de plutonium ne sont pas considérées comme des centrales prototypes.
- 2) Plus 55 MWth destinés au chauffage urbain.
- 3) Réplique de Bradwell, système TNPG (GB).
- 4) Réplique de Oresden, système GE (EU).
- 5) Réplique de Yankee, système West. (EU).

A la fin de 1964, l'industrie américaine avait fourni plus de soixante moteurs atomiques pour la flotte nationale dans le cadre d'un programme qui avait coûté environ trois milliards et demi de dollars. Westinghouse et General Electric se trouvaient donc équipés pour fabriquer des réacteurs que l'on pouvait désormais considérer comme éprouvés¹. Mais les débouchés à l'intérieur des Etats-Unis étaient limités en raison des coûts relativement bas de l'électricité. L'Europe au contraire allait être plus réceptive vis-à-vis de la nouvelle technologie, et cela d'autant plus que les Américains étaient prêts à accorder des garanties de prix et d'approvisionnement en matière de combustible et qu'ils pouvaient se permettre de vendre leurs installations au coût marginal².

O'une certaine manière, le programme militaire américain permit à la puissante industrie électromécanique nationale de s'imposer à l'étranger.

En 1964, quinze centrales nucléaires de 100 à 200 MWe avaient été construites dans le monde occidental. Huit d'entre elles étaient à uranium naturel, modérées au graphite et refroidies au gaz carbonique (six en Angleterre, une en France et une exportée en Italie par l'industrie britannique). Les sept autres étaient à uranium enrichi, refroidies à l'eau (trois aux Etats-Unis, deux exportées en Italie par l'industrie américaine, les deux autres en Union Soviétique)³.

Mais l'année 1964 marqua un tournant à la fois pour le développement des commandes de centrales (les Américains allaient remporter tous les contrats) et pour le programme de la SNA.

-
- 1) Même si les moteurs atomiques livrés pour la flotte américaine étaient d'une conception différente que les réacteurs de centrales.
 - 2) Cette option pouvait être nécessaire dans la mesure où la production d'électricité d'origine nucléaire n'était pas encore tout à fait compétitive avec celle d'origine thermique.
 - 3) Cf. tableau page suivante.

Tandis que les travaux de construction de la centrale expérimentale se poursuivaient à Lucens, les spécialistes de la commission des études de développement décidèrent l'examen de diverses variantes¹ de réacteurs à tubes de force modérés à l'eau lourde, en vue de la réalisation d'une centrale prototype de puissance.

Les entreprises intéressées ainsi que l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs entreprirent toute une série d'expériences qui servirent à l'élaboration d'avant-projets.

Parallèlement à ces efforts, des comparaisons entre centrales nucléaires offertes sur le marché avaient été établies en même temps que des rapports concernant l'adaptation aux conditions suisses des estimations étrangères.

Malheureusement, le programme établi par la Commission d'étude dut être réduit à plusieurs reprises à la demande de l'économie privée. Il importait en effet de ménager les fonds à disposition pour couvrir les dépassements du coût de construction de la centrale de Lucens. Le conseil d'administration de la SNA décida donc, en juin 1965, de limiter à 9,2 millions de francs la somme destinée aux études de développement. Par la suite, l'industrie se déclara prête à financer - de concert avec la Confédération et à parts égales - un budget de 5,2 millions de francs pour que les travaux en cours soient terminés².

Par manque de personnel, les études de développement souffrirent d'un certain retard et il fallut s'en rapporter de plus en plus aux travaux poursuivis à l'étranger.

1) Première variante: refroidissement par gaz, uranium métallique;
deuxième variante: refroidissement par gaz, oxyde d'uranium;
troisième variante: refroidissement à vapeur d'eau légère, oxyde d'uranium.

2) Cf. rapport du CF à l'AF concernant la politique suisse en matière de réacteurs (du 27.12.1966) in: FF 1967 I 204.

A la fin de 1963, les compagnies d'électricité laissèrent entendre que l'introduction de centrales atomiques en Suisse pourrait avoir lieu plus tôt que prévu¹, ce qui devait jeter une ombre sur la poursuite des études de développement.

Face à cette menace, Therm-Atom recommanda la concentration des travaux sur un seul projet de réacteur², de telle manière qu'un prototype de 100 MWe puisse être construit très rapidement.

Un programme à longue échéance fut adopté par le Conseil d'administration de la SNA (8.12.1964). Dans une première phase, les travaux de construction en cours devaient conduire à la mise en marche de la centrale d'essai de Lucens.

Au printemps, un choix devait être arrêté sur le concept à utiliser pour la réalisation d'une centrale prototype dont la mise en service était prévue pour 1972. Dans l'intervalle, la poursuite des travaux de développement aurait dû fournir les bases pour la construction d'une centrale de puissance.

En établissant ce programme, la Commission avait calculé son coût ainsi que le volume de personnel à mettre à disposition. Très vite, il fallut réviser les objectifs fixés et le budget pour des études de développement fut notablement réduit.

Trois variantes du réacteur à tubes de force modéré à l'eau lourde avaient été envisagées. L'une d'elles fut rapidement abandonnée. En effet, le coût de production du réacteur fonctionnant avec de l'ura-

1) Le président de la SNA avait fixé un but aux études de développement: "Im Jahre 1972 muss ein Atomkraftwerk von 200 bis 250 MWe schweizer Konstruktion, die aussichtsreich sein soll, der Bauherrschaft zum Leistungsbetrieb übergeben werden können."

2) Refroidissement au gaz, oxyde d'uranium enrobé d'acier.

nium métallique s'avéra trop élevé. Par ailleurs, les possibilités de faire progresser cette filière étaient bien minces. Aussi, les études de développement ne furent-elles poursuivies que pour les deux types de réacteurs alimentés par de l'oxyde d'uranium.

D'autres voies de recherche furent délaissées à cause des problèmes que posait le soudage du zirconium destiné à l'enrobage des éléments de combustible¹.

Alors que les moyens à disposition ne suffisaient déjà pas à couvrir l'ensemble des tâches fixées par le programme initial, il fallut étendre les travaux dans une autre direction après que l'entreprise Brown Boveri eut fait connaître, en mai 1966, son intention d'élaborer un projet de réacteur à haute température en se fondant sur la technique développée dans le cadre du projet Oragon de l'OCOE².

Durant l'année 1966, il fut décidé que les études de développement en cours devaient être terminées avant la fin de l'année suivante.

Sur la base d'un accord tripartite, le Commissariat français à l'énergie Atomique (CEA), la maison Siemens et l'entreprise Sulzer se proposèrent d'élaborer un avant-projet de centrale nucléaire prototype équipé d'un réacteur à eau lourde, refroidi au gaz, de 600 MWe. Le CEA examina une variante intégrée tandis que Therm-Atom se penchait sur la version à tubes de force.

-
- 1) La variante à oxyde d'uranium avec refroidissement à la vapeur d'eau légère surchauffée.
 - 2) Les premiers programmes de la commission des études de développement prévoyaient déjà l'étude de la filière à haute température mais, faute de spécialistes en nombre suffisant, les travaux entrepris furent interrompus.

1.3 Les relations internationales.

La faiblesse des moyens disponibles en Suisse, tant en matériel qu'en personnel, ne permettait certainement pas la poursuite d'un programme visant à l'autonomie totale en matière de développement des réacteurs. La Confédération reconnut très tôt la nécessité de coopérer avec l'étranger. Cette optique devait être vigoureusement soutenue par les initiatives du délégué aux questions de l'énergie atomique, le professeur U. Hochstrasser. Au cours des négociations qui eurent lieu, l'échange d'informations devait avoir la préférence. Il fallait donc choisir des partenaires dont les intérêts fussent semblables et qui poursuivissent, si possible, des objectifs identiques. Au besoin, des compensations financières devaient intervenir pour équilibrer les prestations. Malheureusement, les efforts entrepris en vue d'une collaboration internationale intense et efficace n'allaient pas rapporter tous les fruits que l'on pouvait en attendre.

Les autorités suisses, appuyées par les milieux de l'économie privée, allaient saisir toutes les opportunités qui se présentèrent. En 1953 déjà, la Suisse participa aux travaux du Conseil européen pour la recherche nucléaire¹ qui devint plus tard l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), dont les buts étaient de caractère purement scientifique. Par ailleurs, l'adhésion à la Société européenne pour l'énergie atomique (EAES) permit des échanges d'expériences et d'informations sur le plan industriel.

Il parut néanmoins nécessaire de compléter cette collaboration internationale, alors inexistante, par des accords bilatéraux. Les possibilités, légalisées par l'amendement de la loi Mc Mahon (1954), permirent d'accéder aux renseignements classifiés, d'acheter des matières fissiles et des équipements atomiques aux Etats-Unis et engagèrent la Suisse à approuver l'accord de coopération entre son gouvernement et celui des Etats-Unis pour l'utilisation pacifique de

1) En vertu de l'ACF du 30.9.1953.

l'énergie atomique¹. Notre pays devait ainsi pouvoir bénéficier de l'avance des travaux américains et de l'assurance d'obtenir le combustible nucléaire indispensable à la poursuite de son propre effort de développement. L'accord était pourvu d'une clause de contrôle, de telle manière que les avantages octroyés ne soient pas utilisés à des fins militaires.

A cette époque, seuls les Etats-Unis entraient en ligne de compte pour la livraison de réacteurs à eau légère et uranium enrichi ainsi que pour la fourniture du combustible correspondant: cet accord devait donc permettre de ménager toutes les possibilités de développement en matière de réacteurs nucléaires^{2/3}.

Des accords similaires furent conclus avec le Canada⁴, la France⁵, le Royaume-Uni⁶ et la Suède⁷. Les deux premiers, à la différence de l'accord conclu avec les Etats-Unis, n'impliquaient pas d'engagement précis quant à la nature et au volume des livraisons et ne contenaient aucune clause relative à l'échange d'informations "classifiées". En conséquence, ils ne comprenaient pas de disposition sur les mesures et règles de sécurité.

-
- 1) Cf. message du 31.7.1956 in: FF 1956 II 125; l'accord a été signé le 21.6.1956.
 - 2) Cf. Aufgaben und Ziele der schweizerischen Atomwirtschaft, Reaktor AG, Würenlingen, 13.11.1956.
 - 3) L'accord devait être amendé le 11.6.1960 en vue d'obtenir des matières fissiles en prêt, cf. FF 1960 II 586; cf. aussi le message du 19.7.1960 in: FF 1960 II 581.
 - 4) Accord de coopération avec le Canada (signé le 6.3.1958) in: FF 1958 I 962; cf. aussi le message du 22.4.1958 in: FF 1958 I 953.
 - 5) Accord de coopération avec la France (signé le 19.6.1957) in: FF 1958 I 959; cf. aussi le message du 22.4.1958 in: FF 1958 I 953.
 - 6) Accord de coopération avec le Royaume-Uni (signé le 11.8.1964) in: FF 1964 I 762; cf. aussi le message du 18.9.1964 in: FF 1964 II 757.
 - 7) Accord de coopération avec la Suède (signé le 14.2.1968) in: FF 1968 I 956.

L'accord avec le Royaume-Uni devait permettre à la Suisse de s'approvisionner ailleurs qu'aux Etats-Unis pour la livraison d'uranium enrichi et laissait ouverte la possibilité de retraiter les combustibles irradiés en Grande-Bretagne.

Ces accords-cadres ont en particulier permis de jeter les bases d'une collaboration étroite dans des projets spécifiques.

Dans le même ordre d'idées, la SNA avait conclu, avec l'appui de la Confédération, des arrangements avec diverses organisations étrangères (le CEA en France, l'Atomic Energy Authority en Grande-Bretagne, l'AB Atomenergi en Suède) qui développaient des réacteurs modérés à l'eau lourde.

La "United Kingdom Atomic Energy Authority" (UKAEA) disposait d'une bonne expérience dans le domaine des réacteurs graphite-gaz et développait, depuis 1957, un prototype de réacteur refroidi à la vapeur d'eau légère (Steam Generating Heavy Water Reactor: SGHWR)¹. Mais les échanges d'informations restèrent très limités en raison du manque d'intérêt que manifestèrent les Britanniques à l'égard du programme suisse, et surtout, des obligations que devait remplir l'UKAEA vis-à-vis de son industrie.

Les Suédois avaient développés une variante à cuve de pression avec un système de refroidissement à eau lourde (bouillante ou pressurisée). Leur programme ne recouvrait donc pas celui de la SNA, cela n'empêcha pas l'établissement de rapports fructueux, quoique dans des domaines limités (transmission de chaleur, corrosion, rayonnement).

1) Depuis 1968, une centrale expérimentale de 100 MWe fonctionne à Winfrith. Elle ne fut suivie d'aucune autre réalisation du même type.

Du côté des Français, il fallut compter avec une certaine réserve. Ils étaient engagés dans la filière graphite-gaz, comme les Britanniques, et construisaient, depuis 1963, une centrale prototype de 80 MWe (EL-4) équipée d'un réacteur à tubes de force, modéré à l'eau lourde et refroidi au gaz. Le CEA avait manifesté son intérêt pour Lucens, en tant qu'installation potentielle d'essai pour les combustibles développés dans le cadre du programme français.

Malgré tout, aucune coordination des travaux n'eut lieu avant 1966, date à laquelle un accord fut conclu entre le CEA, Siemens et Sulzer.

Ces partenaires projetaient de construire un prototype de réacteur à eau lourde et cherchèrent à déterminer le type qui pouvait le mieux convenir. Parallèlement aux études de développement, trois concepts furent donc examinés: deux variantes à oxyde d'uranium et refroidissement au gaz, l'une à cuve de pression, l'autre à tubes de force, ainsi qu'une variante avec système de refroidissement à l'eau lourde et cuve de pression. Cette dernière filière fut étudiée par Siemens d'une façon relativement indépendante. Le CEA et Sulzer/Therm-Atom préparaient chacun un avant-projet de la variante à tubes de force avec refroidissement au gaz et collaborèrent à la réalisation d'un autre avant-projet de la filière à cuve de pression et refroidissement au gaz.

Les Canadiens quant à eux s'étaient lancés dans le développement d'un type de réacteur à tubes de force, modéré et refroidi à l'eau lourde (CANDU). Ils avaient aussi étudié un concept avec système de refroidissement à l'eau légère bouillante (T-BLWR). Une collaboration, alors recherchée de part et d'autre, aurait donc fourni l'occasion d'un développement en commun du second concept. Mais le contrat ne fut jamais signé malgré les 4,25 millions de francs que la Confédération était prête à prendre en charge au titre de la contribution que

réclamaient les Canadiens¹. Therm-Atom hésita jusqu'en avril 1966 à s'engager dans la voie qui lui était ainsi ouverte, en raison des espoirs placés dans une collaboration probable entre Sulzer et Siemens. Lorsqu'en mai, le Conseil fédéral fut assuré de pouvoir signer le contrat sans craindre d'être désavoué, l'Atomic Energy of Canada Ltd² (AECL) déclara qu'elle n'était plus intéressée par une collaboration avec la Suisse (il est vrai que la construction de son prototype était déjà fort avancée et que, désormais, un apport extérieur pouvait difficilement être pris en considération).

Dans le but de diversifier les risques liés au développement des réacteurs, sans trop disperser les moyens engagés, la Suisse participa au projet Dragon de l'Agence européenne de l'énergie nucléaire³, pour se familiariser avec la technique des réacteurs à haute température refroidis au gaz. Il s'agissait en premier lieu de construire et d'exploiter un réacteur expérimental à Winfrith en Grande-Bretagne. Puis le programme fut étendu de telle manière que des informations permettant la mise au point d'un réacteur prototype puissent être recueillies.

La première réaction en chaîne put être réalisée en août 1964 et l'installation fonctionna à pleine puissance à partir d'avril 1966. Dix ans plus tard, après avoir rendu d'éminents services pour le développement d'une filière qui conserve des chances de commercialisation, en particulier en vue d'une utilisation comme source de chaleur pour la gazéification du charbon ou pour l'industrie métallurgique, le réacteur à haute température de Winfrith fut arrêté.

1) Le crédit fut approuvé en octobre 1965.

2) L'organisme étatique de développement canadien.

3) Cf. message du CF du 3.7.1959 in: FF 1959 II 57, ainsi que l'accord signé le 23.3.1959 in: FF 1959 II 65. L'ACF approuvant l'accord daté du 15.11.1959.

L'industrie suisse avait pris une part importante à ce succès¹; elle put aussi envoyer des spécialistes sur place pour participer aux travaux de développement.

La participation de la Suisse à l'entreprise commune Dragon devait effectivement assurer une solution de rechange aux travaux poursuivis dans le cadre de la SNA, dans la mesure où les entreprises intéressées au développement de cette filière² n'ont pas encore abandonné l'espoir de réaliser des centrales de puissance ou d'en fournir des composants essentiels au cas où ces dernières viendraient à être commercialisées.

La Suisse participa aussi au programme de recherches portant sur le réacteur à eau bouillante lourde construit à Halden (Norvège) par l'Institut norvégien de l'Energie atomique. Ce réacteur, initialement destiné à fournir de la vapeur à une usine de pâte à papier fut finalement placé sous la direction de l'Agence européenne de l'énergie nucléaire, au même titre que le projet Dragon.

Halden était une entreprise relativement modeste à laquelle la Suisse a témoigné un intérêt particulier, non seulement parce qu'elle pouvait avoir accès à une centrale déjà construite, mais aussi en raison du but qu'elle s'était fixé: développer des réacteurs à uranium naturel avec un minimum de moyens. La participation à cette entreprise s'avéra intéressante à plus d'un titre, notamment en ce qui concerne le comportement des éléments de combustible et la sécurité des centrales.

-
- 1) Elle avait livré une machine à charger et décharger le combustible (Charmilles), des soufflantes principales pour la circulation du gaz réfrigérant (BBC), un convertisseur de fréquence pour soufflantes, des instruments de surveillance pour la radiation, etc.
 - 2) BBC (turbine à gaz), Sulzer (échangeurs de chaleur), Alusuisse (tour de réfrigération sèche).

La Suisse participa encore à une troisième entreprise commune de l'OCDE, de caractère industriel et commercial: Eurochemic¹ (Mol, Belgique). Cette dernière devait permettre de rassembler des expériences dans le domaine du retraitement des éléments de combustible irradiés. Elle devait aussi conduire à la construction et à l'exploitation d'une usine et d'un laboratoire, à la mise au point de la technique et à la formation de spécialistes. L'usine fut achevée en 1966 et dut affronter dès son origine la concurrence des Britanniques, qui imposaient des prix très bas sur le marché du traitement des combustibles. Après avoir tenté d'accroître la dimension des installations de Mol, pour accéder à une situation financière plus saine, les membres associés à l'entreprise se trouvèrent divisés. Les deux principaux actionnaires, la République fédérale d'Allemagne et la France entreprirent en effet de s'opposer à la signature de contrats à long terme avec les exploitants des réacteurs dans le but de former, avec les Britanniques, un monopole du retraitement. Constituée en 1971, la United Reprocessors devait sonner le glas d'Eurochemic.

En 1974, l'usine cessa ses activités de retraitement mais des travaux concernant la gestion des déchets radioactifs accumulés sur le site furent poursuivis. Il n'est pas exclu qu'une société belge reprenne pour son compte l'exploitation des installations de Eurochemic, selon les termes d'une Convention signée avec l'Etat belge.

En définitive, la participation suisse à Eurochemic permit le traitement à un coût favorable des combustibles irradiés dans les réacteurs de Würenlingen et de Lucens, la formation de spécialistes de haut niveau ainsi que l'acquisition de connaissances en vue du

1) Cf. message du 15.7.1958 in: FF 1958 II 585; ACF du 3.10.1958; message du 1.3.1963 in: FF 1963 I 470; ACF du 6.6.1963; message du 4.9.1964 in: FF 1964 II 381; ACF du 4.3.1965; message du 16.9.1966 in: FF 1966 II 365; ACF du 2.3.1967 in: FF 1967 I 641.

stockage des déchets issus des centrales nucléaires suisses. Au regard des 18 millions de francs versés par la Confédération jusqu'en 1981 et des 9 millions investis dans le capital-actions de la société, les résultats obtenus peuvent sembler modestes puisque Eurochemic était l'une des possibilités les plus tangibles d'entamer le monopole du retraitement institué en Europe. Par ailleurs, le coût d'exploitation de ce genre d'installations était loin d'être stabilisé, ainsi que l'a relevé Goldschmidt (1980, p. 305), mais allait augmenter considérablement en peu de temps à cause de difficultés techniques et des protections accrues exigées pour la sûreté de telles usines et de leurs travailleurs.

1.4 L'abandon du développement d'un concept original de réacteur à eau lourde.

Après la phase de préparation des années 50, durant laquelle la recherche suisse s'organisa pour élaborer des projets de réacteurs, les années 60 furent marquées par la réalisation d'une centrale d'essai et par la construction en Suisse des premières centrales de puissance de conception américaine.

La politique du secret et le monopole de l'uranium qu'imposèrent les Anglo-Saxons au reste du monde occidental jusqu'en 1954 empêchèrent la concrétisation des plans élaborés jusqu'alors. Quand ces barrières tombèrent, un grand nombre d'entreprises suisses créèrent la Réacteur S.A., avec le soutien de la Confédération, en vue de développer un réacteur industriel à partir d'installations de recherche encore à édifier. Cette société se dota d'un premier réacteur de recherche, le SAPHIR¹, qui avait été exposé par l'USAEC à la première Conférence de Genève sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique. Tandis que cette installation était entièrement d'origine américaine, le second réacteur de recherche de l'actuel institut de Würenlingen, le OIORIT² fut construit et conçu pour une large part en Suisse. Utile à l'étude de matériaux sous irradiation et à la production de radioisotopes, ce réacteur entra en service en 1960. A peu près à la même époque, les installations et les laboratoires de Würenlingen furent repris par la Confédération, à la suite des difficultés de financement de la société. L'Institut fédéral de recherche en matière de réacteurs (IFR) devint une annexe de l'Ecole polytechnique fédérale de Zürich. Sous cette forme, il fut assez tôt doté de cellules à haute radioactivité et de boucles d'essai pour éléments de combus-

1) Réacteur du type piscine à uranium enrichi.

2) Réacteur modéré à l'eau lourde à uranium naturel.

tible, mais ses effectifs ne devaient pas croître beaucoup, à tel point qu'en 1965, il se trouvait à l'avant-dernière place des centres de recherche européens en ce qui concerne le nombre de personnes employées (cf. tableau page suivante). Si l'on admet que la taille critique d'un tel centre pour le développement d'un type de réacteur jusqu'à sa maturité commerciale se situait autour de 1.400 personnes - ainsi que le laisse supposer l'effectif de l'Institut suédois, le plus petit qui ait réussi à produire un concept original de centrale nucléaire¹ -, il y a lieu d'admettre que l'IFR n'avait, et de loin, pas la dimension requise.

L'IFR n'en joua pas moins un rôle important dans le développement de la technique suisse des réacteurs. En particulier, il contribua à la formation de nombreux spécialistes.

En même temps que l'industrie suisse construisait le OIORIT, elle élaborait les plans de la seconde étape qui devait être consacrée à la construction d'une centrale nucléaire expérimentale. Selon le voeu émis par la Confédération, les trois groupements qui s'étaient constitués dans la seconde moitié des années 50 se groupèrent au sein de la Société nationale pour l'encouragement de la technique atomique (SNA), fondée en 1961. De cette manière, ils purent toucher les subventions de la Confédération.

A l'époque de la constitution de la SNA, l'espoir était grand de pouvoir commercialiser des réacteurs de petite puissance vers le début des années 70. C'était peut-être une erreur de perspective dans la mesure où les grandes unités étrangères bénéficiaient d'un effet de dimension. Toujours est-il que l'industrie suisse se trouva

1) La contribution de l'industrie privée n'est pas prise en considération dans cette estimation.

Tableau 2

COMPARAISON DES CENTRES EUROPEENS DE RECHERCHE EN MATIERE
DE REACTEURS (ETAT EN 1965)

	<u>Effectifs</u>	<u>Budget</u> (mio FS)	<u>Investissements</u> (mio FS)
Belgique CEN, Mol	1230	52	296
Danemark AEC, Riso	729	26	100
Pays-Bas RCN, Petten	784	24 +	162 +
Norvège IFA, Kjeller	568	15	90
Autriche Seibersdorf	451	?	40
Suède A.B. Atomenergy, Studsvik	1415	119	260
Suisse IFR, Würenlingen	548	20	87
Espagne	1000	..	..
Allemagne	10.000 ¹	..	..
France CEA	11.000 ¹	..	..
Grande-Bretagne	40.000 ²	..	..

1) Etat en 1968

2) Etat en 1962

Source: W. Zünti, IFR

Tableau 3

EFFECTIF DE L'INSTITUT DE RECHERCHE EN MATIERE DE REACTEURS

<u>1961</u>	<u>1962</u>	<u>1963</u>	<u>1964</u>	<u>1965</u>	<u>1966</u>	<u>1967</u>	<u>1968</u>	<u>1969</u>	<u>1970</u>	<u>1971</u>
339	403	461	518	539	548	547	558	569	563	569
<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>	<u>1975</u>	<u>1976</u>	<u>1977</u>	<u>1978</u>				
591	501	593	570	569	572	570				

Source: comptes d'Etat.

dans l'impossibilité d'être compétitive au moment opportun. Lorsque Westinghouse présenta son offre aux Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse, les constructeurs n'avaient encore aucun projet de centrale prototype. Si bien que lorsque la première réaction en chaîne se produisit dans le réacteur expérimental de Lucens, en décembre 1966, une ombre planait déjà sur l'avenir de la SNA.

Compte tenu de ce qui précède, Sulzer avait demandé, en 1966, que les risques d'arrêt de la centrale soient couverts par la Confédération jusqu'à concurrence de 100 millions de francs, au cas où son projet trouverait preneur. Au début de la même année, BBC avait adressé une requête dans le même sens en annonçant son intention d'élaborer un projet de réacteur à haute température modéré au graphite pour mettre à profit sa participation à l'entreprise commune Dragon. Elle envisageait même de faire une offre s'y rapportant vers 1970.

Les opinions de l'économie privée divergeaient cependant à propos des autres dépenses supplémentaires liées à la réalisation d'une centrale prototype. Les actionnaires de Therm-Atom maintenaient qu'il leur était impossible d'assumer pareilles charges, notamment parce qu'elles ne devaient représenter qu'une partie des frais de développement permettant d'atteindre le niveau des principaux concurrents étrangers. De son côté, BBC était d'avis que l'aide de la Confédération devait porter uniquement sur l'octroi de la garantie mentionnée. Cette manière de voir correspondant mieux aux principes de politique économique appliqués en Suisse, les Autorités fédérales s'y rallièrent. A la suite de ce choix, le développement d'une conception propre de réacteur à eau lourde fut abandonnée. Sécheron liquida son département nucléaire en 1966 déjà. L'année suivante, Sulzer décidait de limiter son activité dans le domaine nucléaire à la livraison de composants de centrales.

Les Autorités fédérales s'étaient pourtant déclarées prêtes à accorder leur soutien pour la réalisation d'une (et une seule) centrale prototype. Cependant, une telle aide ne se justifiait, à leurs yeux, que si elle permettait d'ouvrir à l'industrie suisse des perspectives intéressantes. Tirant la leçon de l'expérience menée dans le cadre de la SNA, la Confédération avait réclamé la collaboration de tous les milieux intéressés au sein d'une organisation efficace¹. Mais le consensus entre sociétés industrielles ne fut pas trouvé: BBC ne voulut pas jouer le jeu de Sulzer et refusa de se joindre à la réalisation d'un prototype de réacteur à eau lourde².

Ces rapports expliquent bien la raison pour laquelle les entreprises industrielles de Therm-Atom abandonnèrent le développement de la technique suisse des réacteurs à eau lourde. Le courage leur manqua pour la poursuite d'une aventure qui leur avait déjà coûté fort cher. Par ailleurs, elles n'avaient sans doute pas l'assise financière de BBC et elles auraient dû pouvoir compter sur une aide massive de la Confédération³.

-
- 1) Cf. rapport du CF à l'AF concernant la politique suisse en matière de réacteurs (du 27.12.1966 in: FF 1967 I 204.
 - 2) Le réacteur était alors considéré comme la partie noble de la centrale (ce qui n'était pas le cas dix ans plus tôt): Sulzer se serait donc trouvé dans une position de force vis-à-vis de BBC, étant donné la répartition des tâches qui avait prévalu dans l'industrie nucléaire suisse. En effet, les contrats clé-en-main étaient signés par les constructeurs de réacteurs, alors que les turbiniers devenaient de simples sous-traitants.
 - 3) En guise d'hypothèse, on peut admettre que l'abandon du système de chauffage à distance (qui justifiait la construction en cave, de telle manière que la centrale soit à proximité des centres urbains), comme complément de la production d'électricité, avait été une erreur, d'une part parce que le rendement utile du réacteur aurait été augmenté, et, d'autre part, parce que cette solution devait pouvoir être commercialisée (Suédois et Français envisagent des réalisations dans ce sens dans les années 80). Il est vrai que les compagnies d'électricité s'étaient opposées très tôt à cette solution et que le prix du chauffage urbain n'était pas ce qu'il est actuellement.

Pourtant Sulzer Frères S.A. venait de s'associer avec le CEA et Siemens pour élaborer des projets portant sur une centrale nucléaire de 600 MWe (juin 1966). Toutefois, cette collaboration ne changeait rien aux problèmes financiers auxquels étaient confrontés les actionnaires de Therm-Atom.

De leur côté, les compagnies d'électricité s'étaient engagées à commander et à exploiter une centrale nucléaire de conception suisse (dès que les travaux de développement le permettraient) pour autant que son prix ne soit pas sensiblement plus élevé que celui d'une installation étrangère. Le fournisseur devait en outre être en mesure d'accorder les garanties usuelles en ce qui concerne les performances et la sécurité de l'exploitation¹. Les expériences enregistrées à l'époque (1966) avec les réacteurs prototypes étrangers laissaient apparaître une différence de 100 millions de francs entre le prix d'une centrale équipée d'un tel réacteur et celui d'une installation de type éprouvé, compte tenu des frais supplémentaires de développement². Il était d'autre part bien clair que l'élaboration du projet ainsi que la fabrication de nombreux composants d'un prototype seraient plus onéreux que pour une centrale de type industriel³.

Ainsi, la Suisse se retira-t-elle du cercle des 14 pays qui, à l'origine, s'étaient lancés dans le développement des types de réacteurs modérés à l'eau lourde⁴. Par rapport aux fonds qui ont été dépensés

1) Cf. rapport du CF à l'AF concernant la politique suisse en matière de réacteurs (du 27.12.1966) in: FF 1967 I 204.

2) La mise hors service de l'installation durant les transformations coûte en effet très cher au constructeur, étant donné les garanties qu'il doit fournir concernant la disponibilité de l'installation.

3) Cf. U. Hochstrasser "L'effort suisse dans le domaine nucléaire à la lumière des expériences étrangères" in: Tribune de Lausanne, 10.7.1967.

4) Canada, Grande-Bretagne, France, République fédérale d'Allemagne, Italie, Tchécoslovaquie, Inde, Japon, Etats-Unis, Danemark, Norvège, Espagne, Suisse. Les neufs premiers pays exploitaient ou construisaient un réacteur à eau lourde en 1969.

à l'étranger, les sommes consacrées par la Confédération et l'économie privée au développement de la technique nucléaire suisse sont restées faibles (cf. tableau page suivante). Les centrales américaines à eau légère et uranium enrichi ont d'ailleurs connu un succès commercial énorme qui ne devait laisser que peu de place aux autres filières.

Il se trouve aussi que les efforts déployés un peu partout dans le monde en vue de développer un type de réacteur à eau lourde ont été bien trop dispersés: des considérations économiques et politiques empêchèrent la réalisation d'une véritable collaboration internationale susceptible de faire pièce à la puissance industrielle américaine.

Mais tout n'était pas perdu pour l'industrie européenne et suisse en particulier.

Entre 1964 et 1966, la situation des producteurs américains avait considérablement changé. Au cours de la seule année 1966, 20 centrales nucléaires d'une puissance globale de 20.000 MWe avaient été commandées aux Etats-Unis. Ce déferlement amena les deux fournisseurs américains les plus importants à déclarer qu'ils ne pouvaient plus accepter de construire de nouvelles centrales destinées à être mises en service en 1970 et qu'ils ne s'intéressaient plus qu'aux commandes concernant des installations qui seraient exploitées après 1971¹. Ils ne devaient de toute façon pas tenir leurs délais, mais cela voulait dire que leurs capacités de production, de sous-utilisées qu'elles étaient en 1964, se trouvaient tout à coup débordées. Les Américains avaient donc un intérêt majeur à trouver ailleurs le potentiel industriel qui leur permettrait de faire sauter certains

1) Cf. rapport du CF à l'AF concernant la politique suisse en matière de réacteurs (du 27.12.1966) in: FF 1967 I 204.

Tableau 4

DEPENSES A DES FINS DE RECHERCHES, D'EQUIPEMENT ET DE FORMATION
DANS LES SECTEURS CIVIL ET MILITAIRE DANS DIFFERENTS PAYS
(EN MIO DE FS)¹

	1956	1956/7	1957	1957/8	1958
E.U.		7000		9000	
G.-B.		700		1000	
France	..		657		
Canada	86 ²				
Suède		..		57	
Suisse	..		..		20

Source: FF 1958 II 527

-
- 1) Les dépenses publiques considérées sont croissantes pour chacun des pays sur la période 1955-1960, sans que nous ayons pu présenter les chiffres correspondants.
- 2) Ce chiffre ne comprend que les dépenses effectuées au titre de la recherche fondamentale et n'inclut pas les dépenses des Etats provinciaux.

goulets d'étranglement et de satisfaire un marché offrant des perspectives aussi favorables. L'industrie suisse pouvait donc espérer participer à la construction de centrales nucléaires en livrant des composants de type classique (turbines, générateurs, pompes, échangeurs de chaleur, etc.). Cependant, il n'était pas certain qu'elle conserverait longtemps ces débouchés (en particulier si les Américains investissaient massivement pour éliminer la sous-traitance). Cette situation nouvelle n'était pas sans risques pour l'industrie électromécanique suisse, d'autant plus qu'elle pouvait aussi perdre ses marchés traditionnels (moteurs diesels pour la propulsion des navires et autres moyens de production d'énergie en particulier).

Mais l'idée de réaliser un réacteur nucléaire de conception suisse ne fut pas complètement écartée. Après que les entreprises de Therm-Atom aient jeté l'éponge, seul BBC resta en lice avec son projet de réacteur à haute température.

Le problème de l'intervention de la Confédération restait cependant posé. D'une part, les sommes qu'il fallait engager pour amener un type de centrale nucléaire à maturité industrielle dépassaient nettement les possibilités financières des seules entreprises suisses, et, d'autre part, les concurrents étrangers bénéficiaient de subventions importantes de la part de leur gouvernement (il convient encore de préciser que les Etats étrangers - à l'exception de la République fédérale d'Allemagne - s'étaient chacun dotés d'une organisation qui avait pour tâches de diriger les travaux et de fixer les objectifs à atteindre).

Il ne restait donc plus qu'une seule solution.

Après avoir estimé que l'économie suisse n'était probablement pas capable de suivre les progrès extrêmement rapides accomplis à l'étranger dans la technique des réacteurs, les Autorités fédérales furent amenées à préférer l'instauration d'une collaboration internationale susceptible d'ouvrir de meilleures perspectives pour notre industrie¹.

Le programme de l'IFR fut donc remanié pour être orienté vers des objectifs à long terme. Les installations de Würenlingen restèrent toutefois à la disposition de l'industrie, des compagnies d'électricité et des hautes écoles.

Malgré cette issue assez peu glorieuse, l'expérience de la SNA n'a pas été négative sous tous ses aspects. Elle a notamment permis la formation de spécialistes capables de participer au développement de tous les types de réacteurs, de maîtriser les problèmes de sécurité et de s'imposer comme des partenaires valables vis-à-vis de l'étranger.

Des problèmes de financement et d'attribution des responsabilités ont certainement marqué l'évolution de cette entreprise. Il a aussi fallu changer d'objectif en cours de route. Mais l'organisation, lourde et compliquée qui avait été montée n'a pas empêché un nombre non négligeable d'entreprises d'accéder à la technique des réacteurs. En outre, l'industrie suisse a témoigné d'une grande faculté d'adaptation en participant à la construction d'autres types de centrales que celles à eau lourde (cf. tableau page suivante). En 1966, elle partait donc bien dans la course à l'utilisation pacifique de l'atome.

1) Cf. U. Hochstrasser "L'effort suisse dans le domaine nucléaire à la lumière des expériences étrangères" in: Tribune de Lausanne du 10.7.1967, ainsi que U. Hochstrasser "Die schweizerischen Möglichkeiten auf dem Gebiete der Atomenergie" in: Schweizer Journal, Stäfa, 2.10.1967.

Tableau 5

LES MARCHES DE L'INDUSTRIE ELECTRO-NUCLEAIRE SUISSE JUQU'EN 1966

Pays	Date de commande	Date de mise en service	Nom	Type de réacteur, nb de réacteurs	MWe	Propriétaire	Opérateur	Fournisseur clé-en-main	Réacteur (système)
D	59	68	Jülich AVR	HTGR 1	13.2	AVR	AVR	BBC/Krupp	BBC/Krupp
GB	59	65	Trawsfynydd	Magnox 2	390	CEGB	CEGB	APC*	APC
CH	61	68	Lucens	GCGWR 1	8.5	SNA	EOS	Therm-Atom	Sulzer
F	62	71	Monts d'Arrée	GCHWR 1	70	CEA	CEA/EdF	CEA/EdF	CEA/Indatom
F	64	72	Bugey 1	G-G 1	545	EdF	EdF	CITRA	var.
F	65	74	Phénix	FBR 1	233	CEA/EdF	CEA/EdF	var.	CEA/GAAA/EdF
CH	65	69	Beznau 1	PWR 1	350	NOK	NOK	West./BBC	West.
CH	66	72	Mühleberg	BWR 1	320	BKW	BKW	BBC/GETSCO	GETSCO
CON	66	71	Gentilly 1	BLW (CANDU)	250	AECL	Hyd.-Q.	Hyd.-Q.	AECL

Source: Nuclear Engineering, Supplement, July 1981

Cuve du réacteur	Ingenierie	Coeur	Combustible	Générateur de vapeur	Turbines (nombre)
Krupp	BBC/Krupp	Sigri	UCC/Nukem	VKW	BBC 1
B&G	APC	FEL	BNFL	ICL	RW 4
Schliren	var.	Sulzer	CEA	Sulzer	Escher-Wyss
CAFL	Indatom	Sud Aviation	SICN	Sulzer	CEM 1
CITRA	EdF	CEA/Socaltra	CERCA	B.-A.	Rateau/J.-S. 2
C-L/ Neyrpic	CEA/GAAA/EdF	CI/CNIM	CEA	Stein	CEM 2
Schneider	Gibbs&Hill/BBC	West.	West.	BBC	BBC 2
ROM/ Sulzer	BBC/E&B/GETSCO	GESTCO	GETSCO	BBC	BBC 2
CVL	AECL/Hyd.-Q.	...	Can West.	B&G	BBC _M ¹

HTR	: réacteur à haute température
GCHWR	: réacteur refroidi au gaz modéré à l'eau lourde
G-G	: réacteur refroidi au gaz modéré au graphite
FBR	: réacteur surrégénérateur
PWR	: réacteur à eau légère pressurisée
BWR	: réacteur à eau légère bouillante
BLW	: réacteur refroidi à l'eau légère bouillante modéré à l'eau lourde
AECL	: Atomic Energy of Canada Ltd.
APC	: Atomic Power Construction (GB)
AVR	: Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (D)
B.-A	: Babcock & Wilcox (F)
BBC	: Brown Boveri & Cie (CH)
BKW	: Bernische Kraftwerke AG
BNFL	: British Nuclear Fuels Ltd.
B&W	: Babcock & Wilcox (EU)
CAFL	: Compagnie des Ateliers et Forges de la Loire (F)
CEA	: Commissariat à l'Energie Atomique (F)
CEGB	: Control Electricity Generating Board (GB)
CEM	: Compagnie Electro-Mécanique (filiale de BBC, F)
Cerca	: Cie pour l'étude et la réalisation de combustibles atomiques
Citra	: (F)
C-L	: Creusot-Loire (F)
CNIM	: Constr. Navales et Ind. de la Méd. (F)
CVL	: Canadian Vickers Ltd.
E&B	: Emch & Berger (CH)
EdF	: Electricité de France
EOS	: Electricité Ouest-Suisse
FEL	: Fairey Eng. Ltd. (GB)
GAAA	: Groupement Atomique Alsacienne Atlantique (F)
Getsco	: General Electric Technical Services (EU)
Hyd.-Q.	: Hydro Québec
ICL	: Internat. Combustion Ltd. (GB)
Indatom	
J.-S.	: Jeumont-Schneider (F)
Krupp	: (D)
Neyrpic	: (F)
NOK	: Nordostschweizerische Kraftwerke
Nukem	: Nuklear Chemie u. Metallurgie GmbH (D)
Rateau	: (F)
RDM	: Rotterdamsche Droogdok Mij (NL)
RW	: Richardsons Westgarth Ltd. (GB)
Schneider	: (F)
SICN	: Société ind. de combustibles nucl. (F)
Sigri	: (D)
SNA	: Société nationale pour l'encouragement de la technique industrielle (CH)
Socaltra	: (F)
Stein	: (F)
Sud Aviation	: (F)
Therm-Atom	: (CH)
UCC	: Union Carbide Corp. (EU)
VKW	: Vereinigte Kesselwerke AG (D)
West.	: Westinghouse El. Corp (EU)

D'une manière générale, on peut dire que l'aide financière de la Confédération consacrée à la recherche et au développement en matière de réacteurs n'a pas été inutile. Jusqu'à la fin de 1960, la Confédération a déjà dépensé près de 123 millions de francs dans le domaine nucléaire alors que l'économie privée a versé un peu plus de 32 millions sur le même compte. Durant la phase d'expérimentation, les investissements augmentent à 226 millions pour la Confédération et à 55 millions pour l'économie privée. Cet engagement tout à fait exceptionnel de la Confédération en faveur de l'industrie indigène (environ 75 % des dépenses totales) n'est toutefois pas comparable avec l'effort qui a été fourni à l'étranger (cf. tableau page suivante).

Ainsi, l'USAEC a engagé, jusqu'au 30 juin 1961, une somme de quelque 810 millions de francs pour le développement du seul réacteur à eau légère pressurisée, tandis que les dépenses de l'industrie et des compagnies d'électricité ont dépassé 190 millions¹.

Le développement du réacteur à eau légère bouillante a coûté bien moins cher en raison des expériences déjà acquises avec le type précédent. Les sommes investies n'en ont pas moins atteint près de 350 millions de francs jusqu'au milieu de 1961 (dont 244 millions pour la recherche et le développement).

Certes, la Suisse a bénéficié de l'avance des autres nations dans l'application pacifique de l'énergie nucléaire et la réalisation d'une collaboration internationale efficace lui aurait sans doute permis de maîtriser la technique des réacteurs pour moins d'un milliard, somme minimale qui semblait nécessaire, à l'époque, pour développer

1) Ces 190 millions de francs représentent le coût de la centrale Yankee.

Tableau 6

DEPENSES DE LA CONFEDERATION ET DE L'ECONOMIE PRIVEE
POUR LA RECHERCHE ET LE DEVELOPPEMENT EN MATIERE DE REACTEURS

(FS - VALEUR NOMINALE)

	1946 - 1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1946 - 1966
Délégué aux questions at.	753.564	155.919	190.840	322.266	412.106	344.727	405.542	(2.584.964)
Recherches scientifiques ¹	38.652.201	9.000.000	15.049.393	-	212.385	-	68.111	(62.982.098)
Recherches EPFZ	5.198.851	..	..	..	..	..	..	(5.198.851)
Reacteurs expérimentaux de puissance	-	2.000.000	4.500.000	5.000.000	3.000.000	6.000.000	5.400.000	(25.900.000)
Prêts pour projets de réacteurs ²	-	2.000.000	4.500.000	5.000.000	6.000.000	11.815.541	5.400.000	(34.715.541)
Agence atomique de l'OECE ³	135.215	-	-	-	-	-	-	(135.215)
Halden	1.413.086	599.627	381.522	549.593	423.737	216.744	216.411	(3.800.520)
Eurochemic	1.137.938	1.945.989	1.940.000	1.672.138	1.399.302	1.378.025	590.331	(10.063.723)
Oragon	1.115.059	1.314.131	2.050.076	1.448.473	1.999.410	1.099.911	905.110	(9.932.170)
IFR ⁴ (+Réacteur S.A.)	61.270.529	9.481.139	15.185.095	14.655.576	15.933.717	18.149.694	21.210.933	(155.886.683)
CERN ⁵	12.353.000	2.159.600	2.519.400	2.913.750	3.555.040	4.245.304	5.335.022	(33.081.116)
AIEA	770.482	282.324	261.251	326.193	343.003	351.380	329.085	(2.663.718)
Achat d'uranium pour Lucens et l'IFR	-	-	-	-	-	1.392.768	5.017.066	(1.894.534)
Association suisse pour l'énergie atomique	-	-	-	1.940	2.000	2.000	2.000	(7.940)

Atomic Industrial Forum	-	-	-	-	865	864	867	(2.596)
Total	122.799.925	28.938.729	46.577.577	31.889.729	33.281.565	44.996.958	40.355.186	(348.849.669)
Economie privée	32.200.000			env. 55.000.000				88.000.000
(env.) 155.000.000								
=====								
(env.) 437.000.000								
=====								

- 1) A partir de 1966: recherche en matière d'uranium et de réacteurs.
- 2) Les prêts ne seront jamais remboursés; cf. ACF du 15 mars 1960.
- 3) Après 1961, compris dans le budget OCDE de la Division du Commerce.
- 4) Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs; dépenses nettes.
- 5) Il n'a pas été tenu compte des prêts.

Sources: comptes d'Etat.

Tableau 7

COMPARAISON ENTRE LES DEVELOPPEMENTS
DE LA FILIERE A EAU LOURDE DANS DIVERS PAYS

	Inde	GB	Argentine	Canada	Italie	France	Suisse	Corée	Pakistan	Suède	RFA	Japon	CSSR
1962				CNPQ 2 (Rolphton) (22 MMe)									
1963													
1964													
1965				3:Whiteshell						Ågesta (10 MMe+ 55 MWh)	MZFR (52 MMe)		
1966						2:EL-4 (70 MMe)							
1967				C Douglas Point (206 MMe)	3:ESSOR								
1968		1:Winfrith (92 MMe)											
1969													
1970				1:Gentilly 1 (250 MMe)									
1971				C Pickering 1+2 (2x515 MMe)									
							2:Lucens (8,5 MMe)						

1972	C Pickering 3 (515 MWe)				2:Bohunice (104 MWe)
1973		1:CIENE (35 MWe)		2:KKI (106 MWe)	
1974	Atucha (320 MWe)	C Pickering 4 (515 MWe)		C Kanupp (125 MWe)	
1975	C Rajasthan (207 MWe)				
1977		C Bruce 1+2+3 (3x740 MWe)			1:Eugen (149 MWe)
1978		C Gentilly 2 (640 MWe)			
1979		C Bruce 4 (740 MWe)			
1980		C Point Lepreau (630 MWe)			
1981		C Cordoba (600 MWe)			
1982	Madras 1+2 (2x220 MWe)	C Pickering 5 (516 MWe)		C Wolsung (629 MWe)	
	Narora 1+2 (2x220 MWe)	C Pickering 6+7 (2x516 MWe)			

1: refroidis à l'eau légère

2: refroidis au gaz carbonique

3: refroidis au liquide organique

autres: refroidis à l'eau lourde (C:CANDU)

Source: Nuclear Engineering International, Supplement July 1981

un prototype de conception propre. Il n'en reste pas moins que l'économie suisse n'a jamais dépensé plus de Fr. 10.- par tête pour assurer sa place sur le marché des réacteurs, alors que le Canada y a engagé Fr. 13.- par tête chaque année et la Suède jusqu'à Fr. 23.-¹ (entre 1960 et 1965).

Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que Lucens soit arrivé bien en retard sur ses concurrents étrangers les plus directs (cf. tableau page suivante) et l'on comprend que les industriels de Therm-Atom n'aient plus été soutenus par la Confédération.

En guise de conclusion, il semble bien que l'économie suisse ait investi trop peu et trop tard dans la course à l'utilisation pacifique de l'énergie atomique. Si elle n'a pas su constituer un capital-risque suffisant au moment opportun, il faut l'attribuer en premier lieu aux divergences de vue qui opposèrent les principales entreprises de l'industrie électromécanique suisse.

Il ne nous est évidemment pas possible d'affirmer que les choix arrêtés à l'époque ont été erronés en raison même des tiraillements qui marquèrent le cours des activités de la SNA. Il est néanmoins certain que l'industrie électromécanique suisse s'est trouvée dépassée par la concurrence étrangère. Il ne lui resta donc plus qu'à s'imposer au niveau de certains sous-ensembles pour ne pas être écartée complètement d'un marché qui promettait beaucoup.

De nouvelles conditions aux échanges s'étaient instaurées au profit des fournisseurs de réacteurs américains, alors seuls en mesure de livrer le moyen de production d'énergie dominant de la branche électromécanique, à savoir: la centrale nucléaire à eau légère et uranium enrichi.

1) Cf. U. Hochstrasser, "Atomenergie - Wer baut die Reaktoren", 9 novembre 1965 (texte dactylographié).

Chapitre 2:

Le passage de l'électromécanique suisse à l'électro-nucléaire

- situation en 1980 -.

Introduction

Tandis que les entreprises membres de Therm-Atom perdaient tout espoir de commercialiser un type de réacteur à eau lourde, l'industrie électromécanique suisse amorça un important mouvement de concentration qui devait aboutir à une répartition des tâches et des marchés susceptibles de faire pièce à la concurrence étrangère. L'objectif poursuivi alors était de maintenir la production de tous les sous-ensembles de la branche en Suisse, malgré l'émergence de nouveaux producteurs dans les catégories des gros équipements pour centrales hydro-électriques.

Dans le domaine nucléaire, il s'était instauré une véritable dépendance des entreprises suisses vis-à-vis de leurs concurrentes américaines. Faute d'avoir pu développer un concept original de réacteur, elles auraient pu passer à côté d'un marché qui promettait de devenir le plus important de l'électromécanique. Mais elles réussirent à s'imposer comme des spécialistes au niveau de certains sous-ensembles de la centrale nucléaire et constituèrent un potentiel industriel non négligeable.

2.1 Concentration dans l'industrie électromécanique suisse

Lucens fut équipée d'une turbine Escher-Wyss, mais c'est BBC qui livra le turbogroupe de la première centrale nucléaire suisse de taille commerciale (Beznau). Il apparut alors clairement que Escher-Wyss ne pouvait pas s'imposer dans ce nouveau domaine d'activité. Face aux exigences du nouveau marché, alors en pleine expansion, une concentration des activités dans l'industrie électromécanique suisse devint même inéluctable.

Une étape importante dans la restructuration de l'industrie électromécanique suisse fut franchie en 1969, avec le rapprochement des entreprises BBC, Sulzer et Escher-Wyss, qui aboutit à la formation de la Brown-Boveri-Sulzer-Turbomaschinen AG (BST)¹. Cette nouvelle société se fixa pour buts le développement, la construction et la distribution de toutes les turbines à gaz et turbocompresseurs des trois entreprises et devait aboutir à l'élimination de la concurrence que se livraient encore les fabricants de turbines thermiques suisses.

Au cours de la même opération, BBC reprit le programme de fabrication de turbines à vapeur de Escher-Wyss et la Maschinenfabrik Oerlikon cessa d'exister². De son côté, Sulzer racheta les quelque 60 % des droits de vote qu'elle ne détenait pas encore dans Escher-Wyss³.

1) Vers la fin des années 50, un accord avait déjà été conclu entre la Maschinenfabrik Oerlikon et Escher-Wyss qui visait à leur rapprochement dans des domaines d'activité liés. La première n'avait jamais vraiment pu s'imposer comme "turbinier", mais elle avait développé un compresseur radial de haut rendement.

2) Elle avait déjà été absorbée par BBC en 1967.

3) Sulzer avait déjà acquis 40 % des droits de vote de cette entreprise en 1966.

La réorganisation compliquée qui suivit l'absorption de Escher-Wyss par Sulzer se concrétisa de la façon suivante:

- les installations hydrauliques continuèrent d'être produites chez Escher-Wyss étant donné sa position de chef de file sur les marchés mondiaux;
- à part les pompes d'accumulation, tous les autres types de pompe entrèrent dans le domaine d'activité de Sulzer;
- la production de turbines à vapeur de Escher-Wyss passa aux mains de BBC²;
- enfin, le département "cryogénie" fut repris par Sulzer qui disposait déjà d'une organisation spéciale dans ce domaine.

Après l'absorption de la Maschinenfabrik Oerlikon et la création de la BST, BBC achetait les Ateliers de Sécheron (Genève). En 1970, en effet, Sécheron se trouvait dans une situation financière précaire, en partie à cause de sur-capacités existant dans son principal domaine d'activité, à savoir: la production de transformateurs³.

En 1974, la BST fut dissoute: BBC devenait le seul producteur suisse de turbines à vapeur, de turbocompresseurs et de turbines à gaz d'une puissance supérieure à 20 MWe, tandis que Sulzer conservait la fabrication des turbocompresseurs et des turbines à gaz de puissance inférieure⁴.

1) Cf. NZZ, 6.6.1980.

2) Déjà bien avant la conclusion de l'accord avec Sulzer, Escher-Wyss avait recherché une coopération avec la Maschinenfabrik Oerlikon (qui fabriquait non seulement des turbocompresseurs, mais aussi des alternateurs) en vue de créer une division commune capable de livrer des turbogroupes complets, c'était là une des conditions du marché qui tendait à s'imposer et les moyens de Escher-Wyss étaient insuffisants dans une perspective à long terme.

3) Cette entreprise avait aussi de grosses difficultés à maintenir ses activités dans la construction de turbines et d'alternateurs pour centrales hydroélectriques.

4) Cf. W. Traupel, "Marksteine des schweizerischen Turbomaschinenbaues", in: NZZ, 18.2.1981, pp. 51/52.

A la suite de ce mouvement de concentration, que le développement du nucléaire et la concurrence internationale avaient impulsé¹, BBC était devenu le plus gros producteur de turbines à vapeur en Europe et Sulzer fut en mesure de développer une turbine à gaz qui est actuellement la plus moderne du monde².

Désormais, BBC était en mesure de livrer la quasi totalité des gros équipements pour centrales électriques, à l'exception des turbines hydrauliques. Pour ce dernier sous-ensemble, il ne restait en Suisse que Sulzer (par l'intermédiaire de ses filiales Escher-Wyss et Bell Maschinenfabrik), les Ateliers de construction mécanique de Vevey, les Ateliers des Charmilles ainsi que Georg Fischer³. Par ailleurs, Sulzer devenait le seul producteur capable de fournir le groupe turbo-alternateur hydraulique à partir de ses usines en Suisse.

Ainsi, le processus de concentration qui marqua l'industrie électromécanique suisse dans la seconde moitié des années 60 a certainement contribué à renforcer la capacité de concurrence des deux grands groupes que sont BBC et Sulzer. Il n'est donc pas étonnant de constater que ceux-ci ont constitué l'essentiel de l'industrie nucléaire suisse à côté de quelques entreprises encore indépendantes, actives dans le domaine des équipements pour centrales hydro-électriques.

1) Il s'agissait aussi de répartir le poids de la recherche sur une base plus large, d'éviter des investissements concurrents et de délimiter d'une façon rationnelle les programmes de production.

2) Cf. W. Traupel, "Marksteine des schweizerischen Turbomaschinenbaues", in der NZZ, 18.2.1981, pp. 51/52.

3) C'est en juin 1981 qu'intervint une autre étape importante dans le développement de l'industrie électromécanique suisse avec l'achat de la division hydraulique des Charmilles par les Ateliers de construction mécanique de Vevey.

2.2 L'industrie électromécanique suisse et la concurrence internationale

Dès 1964, le marché nucléaire était devenu l'un des plus gros débouchés de l'industrie électromécanique. Grâce aux travaux de développement entrepris, à leur présence multinationale et à leur avance technologique sur leurs principaux concurrents européens, les entreprises suisses se trouvèrent très tôt parmi les principaux fournisseurs de certains sous-ensembles d'une centrale nucléaire.

Entre 1956 et 1970, la part des turbogroupes pour centrales nucléaires dans le total des turbogroupes avec refroidissement à gaz et à liquides commandés à BBC (ou à ses licenciés) a passé de 7 % entre 1956 et 1960 à 4 % entre 1960 et 1965, puis à 12 % entre 1966 et 1970.

Dans une perspective historique plus large, l'engagement de BBC dans la production de turbogroupes pour centrales nucléaires allait revêtir une importance stratégique puisque la croissance de ce marché se révéla supérieure à la moyenne (cf. tableau page suivante).

D'une manière plus générale, l'évolution de la part qu'occupa la place industrielle suisse dans la construction de gros matériels électriques¹ pose bien le problème d'adaptation de l'industrie électromécanique suisse dans le nucléaire. En effet, face à l'émergence de nouveaux concurrents sur des marchés considérés jusqu'alors comme des chasses gardées, le maintien d'une position enviable dans

1) Le gros matériel électrique comprend les quatre sous-ensembles suivants: turboalternateurs (thermiques), turbines hydrauliques, alternateurs hydrauliques et transformateurs.

Tableau 8

PART DES TURBOGROUPE POUR CENTRALES NUCLEAIRES DANS LE TOTAL DES
TURBOGROUPE AVEC REFROIDISSEMENT A GAZ ET A LIQUIDES COMMANDES A
BBC (OU A SES LICENCIES).

Année de commande	(1) Turbogroupes pour centrales nucléaires (MVA)	(2) Turbogroupes: total (MVA)	(1) ÷ (2) x 100
1956		1867	
57		1626	
58		1450	
59	682	3054	$7 = \frac{682}{11138} \times 100$
1960		3141	
61		2387	
62		3086	$4 = \frac{456}{13568} \times 100$
63		1463	
64		1197	
65	456	5435	
66	676	4578	
67	1789	10009	
68		9325	$12 = \frac{5267}{46507} \times 100$
69	1002	9954	
1970	1800	12641	
71	2960	10181	
72		5773	
73	2817	9326	$32 = \frac{17907}{56756} \times 100$
74	9270	16716	
75	2860	14710	
76	3716	6621	
77	1200	5308	$38 = \frac{9320}{24557} \times 100$
78	4404	12628	
	32494	127820	

Source: liste de référence BBC, No CH-T 070125 b.

la branche des moyens de production d'énergie passait nécessairement par la conquête de nouveaux créneaux au niveau de certains sous-ensembles d'une centrale nucléaire.

2.2.1 L'évolution de la construction de gros matériel électrique par les six principaux pays fournisseurs.

De 1957 à 1969, les six principaux pays fournisseurs de gros matériel électrique ont livré entre 60 et 95 % des équipements installés dans le monde (en MWe). Leur part varie selon le sous-ensemble considéré, de même que dans le temps.

Part des six principaux fournisseurs en % de la puissance installée dans le monde

Groupe turboalternateur			Turbine hydraulique			Alternateur			Transformateur		
1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69
96.1	94.8	94.6	80.6	75.1	74.0	77.1	71.0	62.4	86.2	85.1	87.1

Source: A.J. Surrey/J.H. Chesshire, 1972

On remarque que la part des six principaux producteurs diminue au niveau des sous-ensembles "turbines hydrauliques" et "alternateurs pour centrales hydrauliques".

Pour les "groupes turbo-alternateurs thermiques", où la part des six est nettement prépondérante, on constate une certaine stabilité du ratio.

En ce qui concerne les transformateurs, la part des six reste, elle aussi, assez stable.

Si l'on examine l'évolution de la part de chaque pays dans la construction de gros matériel électrique, on constate un désengagement relatif des usines suisses dans la production de turbines hydrauliques, d'alternateurs pour centrales hydrauliques et de transformateurs, alors que leur part s'accroît pour les turboalternateurs à vapeur, quoique d'une façon relativement modeste (cf. tableau page suivante).

Dans les grandes lignes, on constate que la part des Etats-Unis est dominante dans chaque catégorie de sous-ensembles (à l'exception de turbines hydrauliques où le Japon est le premier producteur en fin de période).

Par ailleurs, le Japon s'engage dans chaque sous-ensemble avec succès (dans la catégorie des turboalternateurs thermiques, sa part diminue néanmoins légèrement entre les deux dernières périodes).

Le désengagement des six principaux constructeurs dans la production des équipements pour centrales hydrauliques a été compensé par l'accroissement de la part de pays tiers:

- dans la catégorie des turbines hydrauliques, la part de l'ensemble formé par la Suède, l'Espagne, l'Autriche et la Norvège passe de 13,65 % (1957-1960) à 22,04 % (1965-1969);
- dans la catégorie des alternateurs, la part des mêmes pays augmente de 14,05 % à 28,70 %.

L'évolution de la situation des producteurs italiens est atypique. Tout au plus, constate-t-on un désengagement dans la catégorie des turbines hydrauliques et un engagement du niveau du sous-ensemble "transformateurs".

Tableau 9

LES PRINCIPAUX PAYS CONSTRUCTEURS DE GROS MATERIEL ELECTRIQUE ET
LEURS PARTS DANS LA FABRICATION DE CE MATERIEL (EN % DE LA PUISSANCE INSTALLEE EN MW)

Pays constructeur	Turboalternateur à vapeur			Turbine hydraulique			Alternateur pour cent. hyd.			Transformateur (MVA)		
	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69
E.U.	58,28	44,38	48,18	23,92	21,98	20,66	27,67	25,21	23,25	46,13	40,67	48,91
G.B.	13,93	18,97	18,69	8,75	5,05	6,79	9,91	5,09	1,88	11,33	16,48	14,80
R.F.A.	12,11	12,69	9,40	7,99	6,09	6,30	8,40	11,34	5,16	10,33	9,92	6,93
Japon	3,97	10,56	9,07	11,96	16,93	23,66	12,10	13,37	18,77	6,75	9,23	10,27
Suisse	2,63	3,48	3,47	11,82	12,51	8,52	9,52	8,75	4,84	2,91	1,47	1,27
France	5,14	4,67	5,98	16,14	12,49	8,08	9,54	7,27	8,49	8,72	7,37	4,91
Italie	2,72	3,85	3,20	5,73	4,01	3,89	8,47	6,80	8,84	3,48	5,39	5,03
Suède	0,61	0,90	0,85	6,06	8,31	8,27	7,40	9,58	12,19	3,48	2,75	3,04
Pays-Bas	0,41	0,46	0,61	-	-	-	-	-	-	0,71	0,61	0,66
Espagne	-	-	0,46	2,73	3,53	4,21	0,77	3,07	6,08	-	-	-
Autriche	-	-	-	1,50	3,01	3,35	3,34	4,30	3,94	2,46	2,51	1,67
Belgique	0,14	-	-	-	-	-	0,27	0,56	-	1,88	1,75	1,30
Norvège	-	-	-	3,36	6,05	6,21	2,54	4,60	6,49	1,77	1,80	1,15

Sources: A.J. Surrey/J.H. Cheshire, The World Market for Electric Power Equipment, Science Policy Research Unit, University of Sussex, 1972; enquêtes sur l'équipement électrique, OCDE, 1965-70.

2.2.2 L'évolution des échanges internationaux.

En analysant le tableau de la page suivante, on constate qu'au niveau des exportations de gros matériel électrique, la part des Etats-Unis n'est dominante que pour la catégorie "turboalternateurs", alors qu'elle est très faible pour les turbines hydrauliques. Ce qui frappe surtout, c'est la percée du Japon qui devient premier exportateur mondial de turbines hydrauliques, d'alternateurs et de transformateurs.

Dans les catégories "turbines hydrauliques" et "alternateurs hydrauliques", le recul relatif des exportations des Etats-Unis, de la Grande-Bretagne, de la République fédérale d'Allemagne, de la Suisse et de la France est remplacé par la progression relative des exportations du Japon, de l'Italie et de la Suède.

En conclusion, au cours de la période considérée, la place industrielle suisse (en tant que lieu de production) perd de son importance dans l'électromécanique. A la fin des années 60, elle est solidement implantée dans la catégorie des turboalternateurs à vapeur, mais elle perd du terrain dans l'hydro-électrique. Au niveau des transformateurs, la position de l'industrie suisse (Sécheron) paraît instable¹.

Nous pensons donc avoir démontré que la concentration des forces dans l'industrie électromécanique suisse était la conséquence d'une concurrence étrangère accrue. Les investissements massifs des Japonais dans la production de gros équipements pour centrales hydro-électriques ainsi que ceux, plus modestes, de la Suède, de la Norvège, de l'Espagne et de l'Autriche n'ont pas manqué de créer des sur-capacités dans le domaine.

1) Le rachat de Sécheron par BBC améliorera cette situation au cours des années 70.

Tableau 10

L'EVOLUTION DE LA PART DES PAYS CONSTRUCTEURS DANS L'ECHANGE INTERNATIONAL
EXPORTATION DU PAYS (MM)/ EXPORTATIONS TOTALES (%)

Pays constructeur	Turboalternateur thermique			Turbine hydraulique			Alternateur pour cent. hyd.			Transformateur(MVA)		
	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69	1957-60	1961-64	1965-69
U.S.A.	28,49	32,03	23,70	3,54	6,10	3,53	10,01	9,68	6,61	8,45	16,34	8,98
G.B.	22,63	26,67	20,65	21,48	10,00	12,83	3,47	8,52	3,67	24,86	16,41	12,06
R.F.A.	27,92	15,77	19,77	16,66	14,71	10,16	29,38	26,03	10,44	15,35	7,35	10,93
JAPON	0,49	1,64	10,02	6,54	21,22	34,80	10,82	11,95	26,99	4,49	7,54	22,78
SUISSE	15,72	14,79	14,45	15,51	15,38	12,40	15,14	7,42	3,86	6,78	2,74	4,02
FRANCE	3,85	5,75	8,10	24,17	20,24	7,54	5,89	8,85	6,99	10,03	14,87	9,07
ITALIE	-	-	0,70	2,33	3,95	4,67	8,33	7,71	16,24	7,55	9,57	10,44
SUEDE	0,87	2,79	1,96	7,14	7,18	11,10	10,67	13,59	23,23	7,79	6,61	10,87
HOLLANDE	-	0,53	0,58	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,02
ESPAGNE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AUTRICHE	-	-	-	2,59	1,18	1,29	5,10	4,72	1,92	7,36	10,30	6,80
BELGIQUE	-	-	-	-	-	-	1,12	1,47	-	6,10	6,24	3,62
NORVEGE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,18	1,64	0,35

Source: cf. tableau précédent.

Les entreprises suisses paraissent avoir été très affectées par ce processus d'internationalisation, bien qu'il semble, au premier abord, que les deux grands de l'électromécanique suisse auraient pu maintenir leur engagement dans les catégories de gros équipement pour centrales hydro-électriques en déplaçant le centre de gravité de leurs activités à l'étranger.

Cependant, la percée japonaise indique clairement un déclin relatif des entreprises suisses, d'autant plus qu'elles n'ont pas non plus transféré leur technologie¹.

1) Il existait des rapports assez étroits entre constructeurs japonais et constructeurs étrangers. Des accords étaient intervenus entre General Electric et Toshiba, Westinghouse et Mitsubishi Electric (Melco), ainsi qu'entre Siemens et Fudji. Hitachi profita aussi de la technologie de General Electric.

2.3 Le potentiel de l'industrie électro-nucléaire suisse.

Après le recul enregistré dans l'hydro-électricité, l'industrie suisse semblait avoir réussi son entrée dans le nucléaire, dont le marché promettait d'être considérable. Mais de nouvelles conditions aux échanges s'étaient instaurées, lesquelles plaçaient les entreprises américaines General Electric et Westinghouse dans une position dominante. A l'étranger, Siemens, AEG et ASEA achetèrent des licences et réussirent assez vite à se libérer de leur tutelle technologique en développant des concepts et des normes propres pour la fabrication de leurs centrales nucléaires. C'est aussi la voie que voulaient suivre BBC et Suisatom vers la fin des années 50. Mais, ainsi que nous l'avons vu, il en fut bien autrement.

Une division du travail s'instaura rapidement entre les diverses entreprises suisses qui étaient en mesure de fournir des sous-ensembles de centrales nucléaires.

En particulier, BBC s'imposa comme l'unique fournisseur suisse de turbogroupes.

Dans un premier temps, cette entreprise chercha à placer les sous-ensembles dont elle s'était fait une spécialité et se diversifia dans une activité voisine en passant du thermique conventionnel au thermique nucléaire, autant pour rester à la pointe de la technologie que pour suivre l'évolution des marchés. Dans une seconde étape, elle s'engagea dans le développement d'une centrale nucléaire à haute température - essentiellement par l'intermédiaire de sa filiale en République fédérale d'Allemagne -, et acquit l'indépendance nécessaire à la fourniture de centrales nucléaires à eau légère et uranium enrichi en achetant la BBR (RFA).

De son côté, Sulzer avait livré très tôt des pompes pour le nucléaire et son expérience en métallurgie aussi bien qu'en mécanique lui permirent de fournir une bonne partie des composantes principales d'un réacteur nucléaire.

D'autres firmes réussirent à s'imposer comme fournisseurs de sous-ensembles, tels les Ateliers des Charmilles (machines de chargement et de déchargement du combustible), Rütschi (pompes) ainsi que les Ateliers de construction de Vevey (ponts polaires pour les centrales françaises).

Ainsi, le potentiel de l'industrie électro-nucléaire suisse se révéla non négligeable.

2.3.1 La situation en 1980

La liste des fournisseurs présentée dans l'annuaire nucléaire suisse de 1980¹ comprend un peu plus d'une centaine de noms.

On compte, en particulier, quatre grands bureaux d'ingénieurs, une dizaine de firmes qui fabriquent des composants lourds (constructions soudées, machines tournantes, aciers moulés, etc.), une quarantaine de firmes qui fournissent des équipements spéciaux (pompes, récipients, installations pour le traitement des eaux, etc.), une quinzaine de firmes qui se sont spécialisées dans l'électronique et l'instrumentation, sept sociétés de services (contrôle des matériaux, transport, assurances, etc.) ainsi que trois entreprises de construction.

1) Annuaire nucléaire suisse 1980/81, Association pour l'énergie atomique, Berne, 1980; interview de M. Slégers.

L'industrie suisse peut donc fabriquer la quasi totalité des composants d'une centrale à eau légère et uranium enrichi (cf. tableau page suivante, schéma tiré de Erdemli/Réal, 1974, p. 93). La plupart des services liés à la construction d'une centrale nucléaire peuvent aussi être fournis par des entreprises indigènes.

Au total, les entreprises suisses sont en mesure de livrer tous les composants, équipements et systèmes pour centrales nucléaires, allant des connecteurs (Lemo, Fischer) et soupapes aux plus grandes cuves de réacteurs (Sulzer) et aux turbogénérateurs les plus puissants (BBC)¹.

Tous les types de centrales nucléaires (à eau légère, à haute température, à eau lourde) peuvent être équipés de composants suisses et plusieurs firmes indigènes ont déjà livré du matériel pour des surrégénérateurs.

Par ailleurs, des installations diverses pour le cycle du combustible ainsi que pour la production de l'eau lourde peuvent également être livrées.

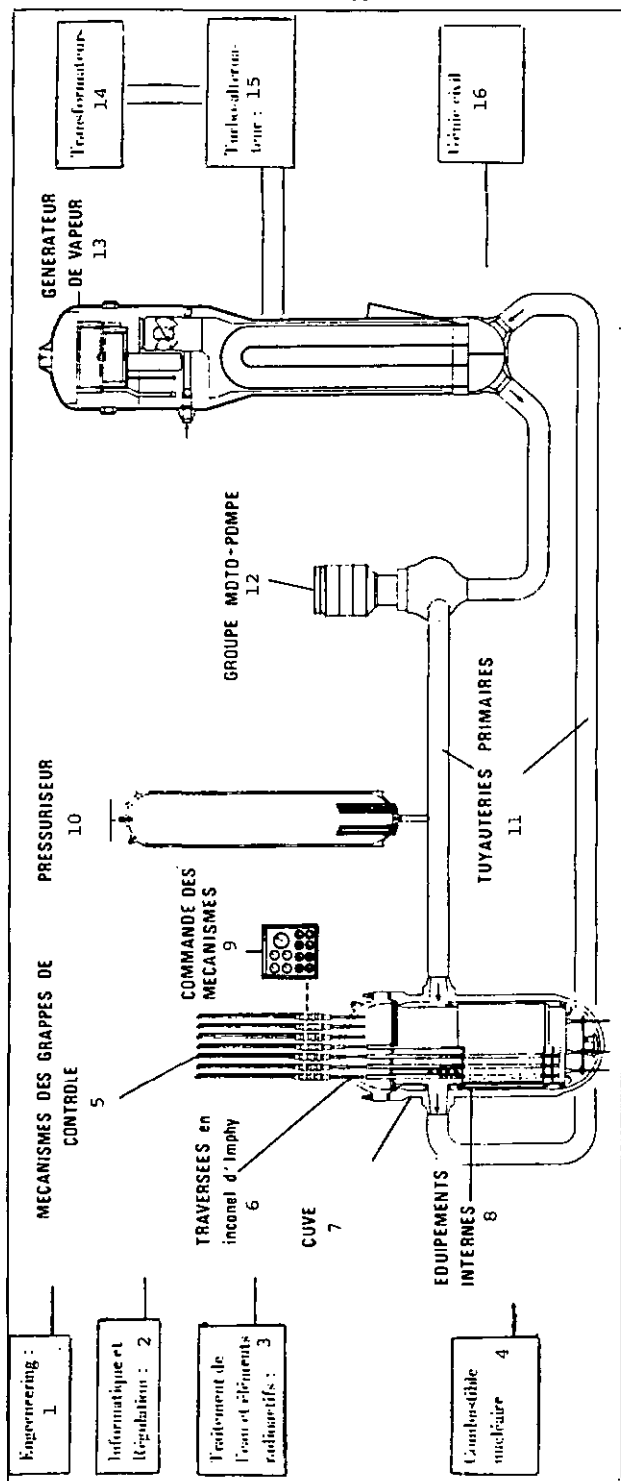
Finalement, on peut dire que seuls les éléments de combustible ne sont pas fabriqués en Suisse².

Ainsi, les firmes indigènes sont présentes tout au long des filières techniques de la sous-branche électro-nucléaire. Seules les industries intermédiaires qui participent à l'élaboration des métaux

1) Cf. Nuclex 78, "La qualité traditionnelle suisse dans la technique nucléaire", SVA, 1978.

2) Cf. Nuclex 78, op. cit.

Schéma 1: Fournisseurs indigènes (potentiels) pour une centrale à uranium enrichi et à eau légère pressurisée (PWR)



1) BBC (pour la partie secondaire de la centrale); 3) Christ, Chenap ; 7-8-10-13) Sulzer ; 14-15) BBC ; 12) Sulzer, Rüttschi ; 16) Losinger, Marti, Universal

(en particulier: la sidérurgie du fer et des métaux non ferreux ainsi que le laminage) semblent mal représentées (cf. tableau page suivante).

Au niveau de la première transformation, Georg Fischer (aciers moulés) ainsi que Sulzer (pièces en acier moulé, en fonte à graphite sphéroïdal, en métaux non ferreux et en fonte de précision) ont réussi à s'imposer comme des producteurs capables de répondre aux plus hautes exigences. Mais c'est surtout au niveau du travail des métaux (usinage, mécanique, robinetterie, tuyauterie) que l'industrie suisse est bien représentée grâce à un appareil de production très diversifié.

Enfin, les entreprises suisses ont surtout réussi à s'imposer comme fournisseurs de sous-ensembles et de spécialités des filières techniques de la sous-branche électro-nucléaire.

En ce qui concerne la construction électrique, c'est évidemment la présence de BBC qui frappe l'esprit.

La division du travail qui règne dans l'industrie électro-nucléaire suisse est tout à fait remarquable. Malgré cela, l'interdépendance des entreprises concernées n'est pas très importante, dans la mesure où elles exercent des activités de composition et de montage de produits d'origines diverses et qu'elles ne sont pas tenues de s'approvisionner auprès de fournisseurs indigènes.

Il apparaît enfin que l'industrie électro-nucléaire suisse est dominée par la présence de trois grandes entreprises: BBC, Sulzer et Georg Fischer¹.

1) Nous préférons laisser de côté pour l'instant Balzers (filiale de Oerlikon Buerle), Alusuisse ainsi que les grandes entreprises d'ingénieurs-conseil.

Tableau 11

LES FILIERES TECHNIQUES DE LA SOUS-BRANCHE ELECTRO-NUCLEAIRE

Sidéurgie du fer	Première transformation	Produits	Filières mécaniques	Sous-ensembles de produits	Construction électrique	Sous-ensembles
	Georg Fischer Sulzer	Tuyauterie: Sulzer Romag Alpha Zschokke W. Boa Pièces moulées: GF Sulzer Pièces forgées: Sulzer Zschokke	Alpha Buss Aluminium- Schweisswerk Ateliers de Vevey Geilinger Zschokke	Cuve: Sulzer Pressuriseurs: Sulzer Générateurs vapeur: Sulzer Pompes primaires: Rütschi Robinetterie: Bättig Sulzer Internes du réacteur: Sulzer Machines de chargement et de déchargement du combustible: Charmilles Ponts polaires: Vevey	BBC	Turbines: BBC Alternateurs: BBC Transformateurs: BBC Disjoncteurs: BBC Installations de production d'énergie de secours: BBC Sulzer

Source: Annuaire nucléaire suisse 1980/1981, Association suisse pour l'énergie atomique - ASPEA, Berne, 1980.

Celles-ci présentent plusieurs caractéristiques communes :

- elles ont leur centre de décision en Suisse et comptent parmi les principaux employeurs du pays;
- dans leur domaine d'activité, elles occupent une part importante du marché mondial et maîtrisent des technologies de pointe;
- elles fabriquent des produits pour divers types d'ensembles-marchandises de la branche des moyens de production d'énergie;
- elles ont acquis une grande expérience ainsi qu'une bonne image de marque dans la réalisation de centrales thermiques et s'adaptent facilement aux prescriptions aussi bien techniques que commerciales qui sont en vigueur dans la branche;
- elles ont vendu des licences pour tirer parti des marchés fermés;
- elles disposent d'une surface financière qui leur permet de développer de nouveaux produits et de conquérir de nouveaux marchés.

2.3.2 La fonction ingénierie¹

Grâce à leur capacité d'ingénierie et à leurs bonnes relations avec les centres de recherche, les entreprises de l'industrie électromécanique suisse réussirent à s'engager avec succès dans le domaine nucléaire. Très souvent, elles participèrent à la réalisation de centrales expérimentales et se distinguèrent par leur aptitude à concevoir et à gérer les normes productives, commerciales et financières les plus sévères qui soient.

1) D'une manière générale, cette fonction détermine le potentiel d'adaptation d'un appareil de production, dont la flexibilité est d'autant plus grande que les filières techniques peuvent déboucher sur des ensembles-marchandises différents. Elle conçoit les procédés et moyens de fabrication, établit les réseaux de sous-traitance, contrôle les travaux et planifie le développement des activités qu'elle coordonne. En particulier, elle agit comme interface entre la recherche et la production. Elle définit aussi les spécifications ainsi que les normes des sous-ensembles et des machines qui concourent à la réalisation de l'ensemble-marchandise.

Sans préjuger des développements ultérieurs de ce travail, il y a lieu de remarquer que ces entreprises n'ont pas eu à se lancer sur ce marché avec des produits entièrement nouveaux (cf. tableau page suivante). Elles ont surtout procédé à une extension de leurs activités traditionnelles à des domaines voisins. Mais cette règle souffre quelques exceptions: ainsi les Ateliers des Charmilles ont conçu une machine de chargement et de déchargement du combustible qui représente une innovation majeure; de même, Sulzer a développé un type original d'installation pour la production d'eau lourde.

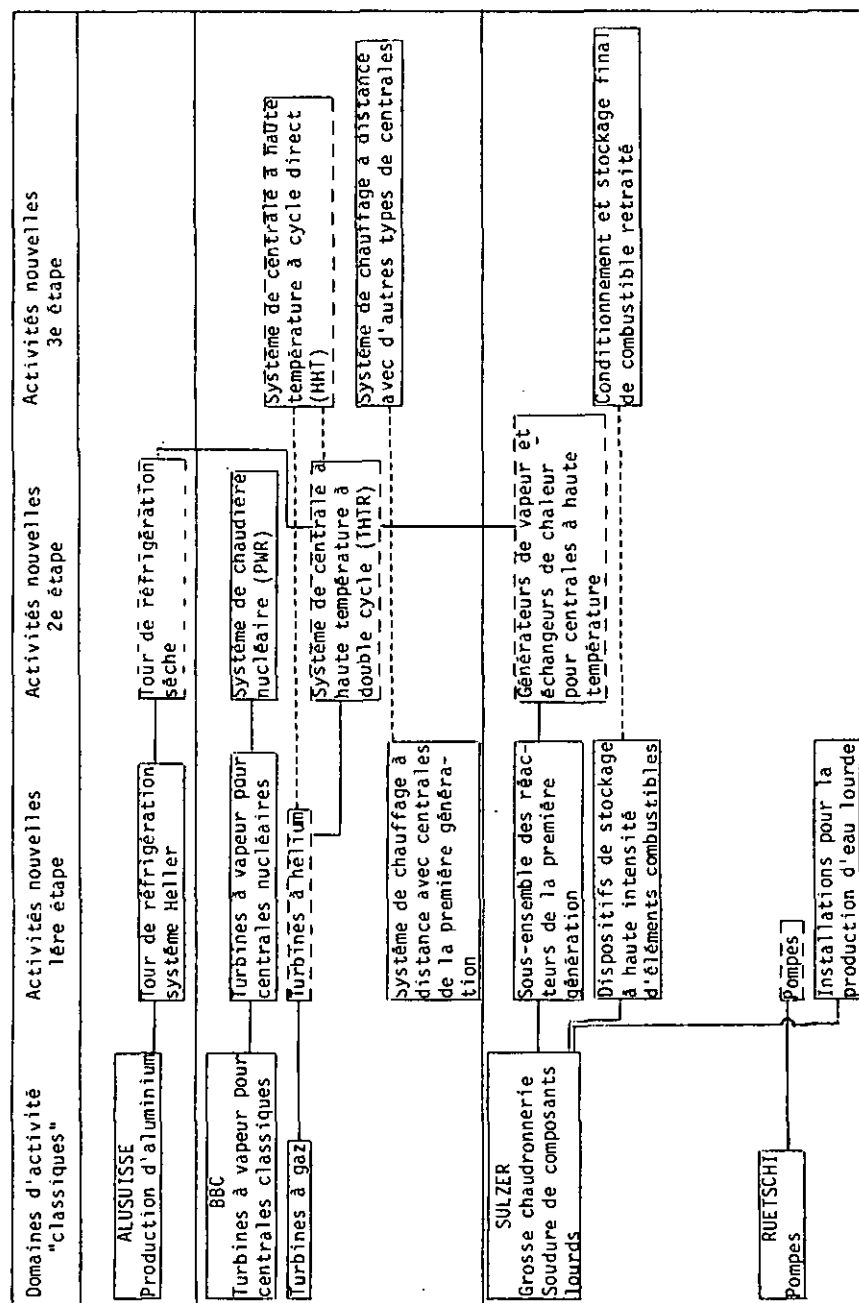
Ces exemples n'ôtent évidemment rien aux performances que représentent les autres engagements des entreprises suisses dans le nucléaire. En effet, celles-ci ont acquis de larges compétences dans des domaines aussi divers que l'analyse de système, la thermodynamique, les calculs physiques de matériaux et de flux, les tests de corrosion ainsi que les études de sécurité.

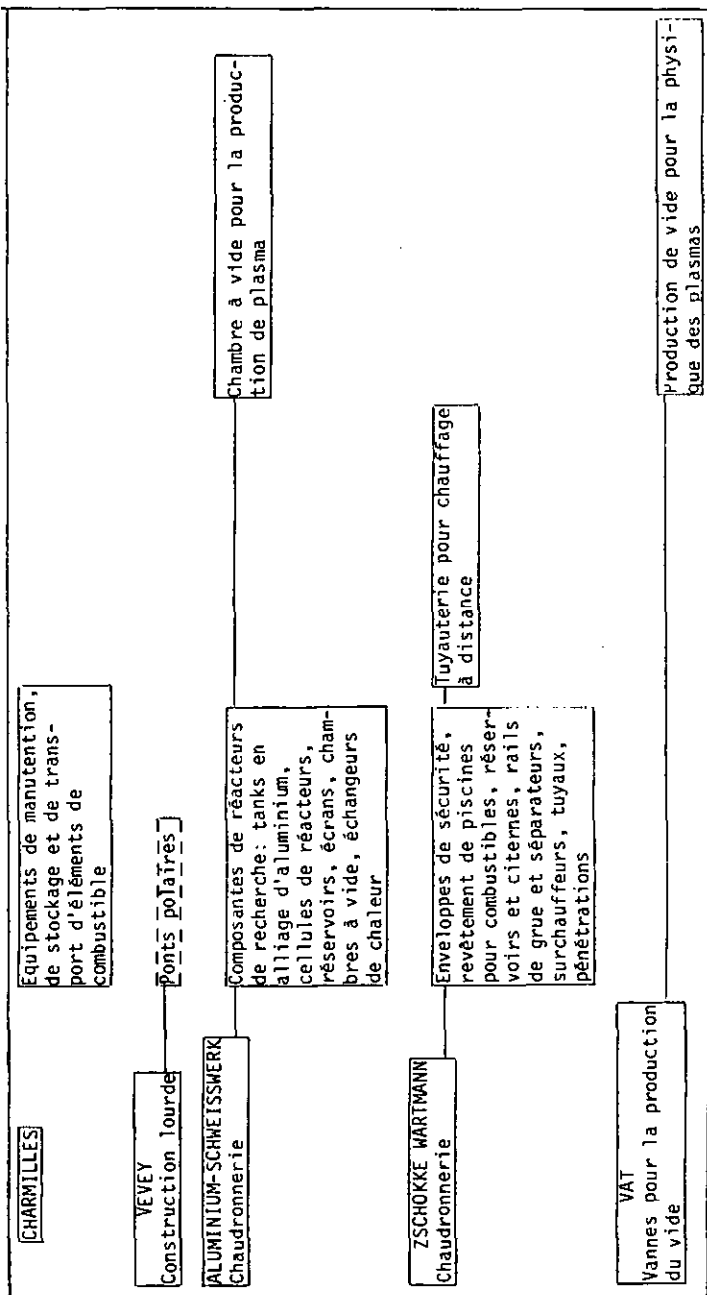
Bien qu'aucune des entreprises contactées dans le cadre de ce travail ne se soit spécialisée dans le nucléaire - ce marché a rarement dépassé 15 % de leur chiffre d'affaires -, elles sont néanmoins capables, en 1981, de fournir toutes les prestations de service nécessaires à la réalisation d'une centrale.

Ainsi, depuis l'absorption de la Babcock-Brown-Boveri Reaktor (BBR) en République fédérale d'Allemagne, BBC est en mesure de livrer des installations nucléaires clé-en-main.

Tableau 12

INNOVATIONS ET TRANSFERTS





— étape franchise en 1981; va de l'activité à partir de laquelle s'est faite l'innovation à l'activité nouvelle dans l'électro-nucléaire.

--- étape encore à franchir

□ production en Suisse

□ production transférée.

Par ailleurs, Elektrowatt Ingénieurs S.A.¹ (EWI) et Motor-Columbus Ingénieurs S.A.² (MC) couvrent la totalité des services d'ingénierie pour centrales et autres installations nucléaires, dépôts intermédiaires et finaux de déchets radioactifs, tels que des expertises techniques et écologiques; des études de factibilité, des évaluations de sites, des projets d'exécution et la direction des travaux, les analyses sismiques ainsi que les études de gestion du combustible (spécialité de EWI).

A côté de ces deux grandes entreprises d'ingénierie, d'autres, plus petites, ont acquis une certaine réputation au sein de l'industrie nucléaire. Ainsi, par exemple, Bonnard & Gardel Ingénieurs-Conseils S.A.³ (B&G) s'est engagée dans le développement des caissons de réacteurs en béton précontraint; à ce titre, elle a participé activement à la mise au point d'un sous-ensemble important des réacteurs à haute température.

La croissance de cette dernière entreprise a été remarquable sous bien des aspects.

B&G a été fondée en 1954 par deux ingénieurs civils: O. Bonnard et A. Gardel. Ce bureau d'études s'engagea très tôt dans le nucléaire et fut progressivement élargi par l'engagement d'ingénieurs civils et de physiciens, puis de mécaniciens et d'électriciens. C'est lui qui chercha à promouvoir l'énergie nucléaire en Suisse romande. Il réussit très vite à réunir toutes les entreprises de la région (Sécheron, Charmilles, Vevey, Cossonay, Gardy, Leclanché, etc.) en une Communauté d'intérêt pour l'énergie nucléaire qui fut à l'origine de Enusa.

1) En 1980, l'effectif de EWI était de près de 1100 personnes.

2) En 1980, MC comptait à peu près 500 ingénieurs, techniciens et dessinateurs à Baden.

3) L'entreprise comprenait 85 personnes en 1980.

B&G a donc exercé dès le départ des activités diversifiées et pluridisciplinaires, mais elle s'est rapidement engagée dans la technique nucléaire. Avant même qu'elle n'ait élaboré un avant-projet ainsi qu'un projet général d'une centrale expérimentale équipée d'un réacteur à eau bouillante (en association avec la Société Générale pour l'Industrie et le Bureau d'études des constructions de Sécheron, pour le compte de l'Enusa), elle avait déjà travaillé pour le CERN en tant qu'expert pour les fondations du synchrotron.

Dans le cadre de la SNA, B&G participa à la direction, aux études, à la construction et à l'exploitation de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens, tout comme EW. En particulier, B&G participa à la coordination des études de sécurité autant qu'à leur réalisation, présenta un projet et effectua les essais de l'enceinte de confinement. Ces activités contribuèrent au développement de B&G ainsi qu'à la formation de son personnel. L'entreprise s'ouvrit à une perspective plus large que celle de l'ingénieur civil traditionnel et commença à manifester un intérêt pour des mandats d'équipements. Pendant la phase d'études de Lucens, près de 80 % de son personnel était encore affecté aux activités poursuivies dans le cadre de la SNA.

Cette proportion tomba ensuite très vite.

Le nucléaire avait néanmoins été le catalyseur de cette entreprise: elle installa une filiale à Zürich (en 1966) pour entretenir des contacts plus étroits avec ses clients puis d'autres à Alger (en 1968) et à Vevey (en 1969).

Jusqu'à la fin des années soixante, B&G effectua encore d'autres études, notamment pour le compte de l'Euratom, de l'EdF, de l'UKAEA, du CEA, de la Public Power Corporation (Athènes) et de la Gulf General Atomics Europe (Zürich).

B&G s'est spécialement occupée des caissons en béton précontraint en développant des programmes de calcul pour l'analyse des contraintes et des déformations¹. Elle effectua aussi l'étude de l'adaptation d'une centrale SGHWR aux conditions de la Suisse ainsi qu'une évaluation des moyens à mettre en oeuvre pour satisfaire la demande en énergie électrique en Grèce (centrales nucléaires ou thermiques, études de sites, études de sécurité, etc.)².

D'une façon assez similaire à celle de B&G, les autres entreprises suisses d'ingénierie ont connu un développement rapide au cours de ces trente dernières années. Ainsi, en 1950, Elektrowatt comptait à peu près 200 personnes dont la majorité était composée d'hydro-électriciens.

EW et MC se sont engagés dans le nucléaire en participant aux travaux de la Réacteur S.A., puis à ceux de l'IFR. MC conduisit notamment les projets et constructions des installations SAPHIR et DIORIT après l'établissement des plans de détails par EW.

En 1958, EW évalua le potentiel de développement des réacteurs refroidis et modérés par des produits organiques sous mandat de l'Atomkraftwerk Studiengesellschaft de Stuttgart. Elle entreprit aussi les études préliminaires ainsi que l'évaluation du projet Villigen pour le compte de Suisatom AG.

1) Etudes d'avant-projets en collaboration avec les Sociétés d'Etudes et Equipements d'Entreprise (Paris) pour le compte de la SNA (1966). Calcul des contraintes et déformations d'un caisson en béton précontraint d'un réacteur BWR.

2) Prestations fournies en association avec EW.

De même, MC s'occupa de quelques mandats avant la création de la SNA: elle fut chargée d'installer un système de retraitement des fluides radio-actifs, un laboratoire de physique nucléaire ainsi qu'un hot-labor à Würenlingen (IFR).

Puis, avec la construction et l'exploitation de la Centrale expérimentale de Lucens, les entreprises d'ingénierie purent se "faire la main". EW prit la direction du projet et s'occupa plus particulièrement des travaux de génie civil; elle supervisa la construction des cavernes et projeta les systèmes de sécurité et d'élimination des déchets. C'est aussi elle qui recruta et forma le personnel d'exploitation.

C'est en 1965 que EW décida de regrouper tous ses départements techniques au sein d'une nouvelle filiale (EWI) dans laquelle fut créée une division centrales thermiques et nucléaires. A cette époque en effet, le marché des centrales hydro-électriques paraissait trop étroit dans une perspective à moyen terme.

Dans la première moitié des années 60, EW avait déjà exécuté un certain nombre de travaux de consultants pour le compte de diverses sociétés européennes. Il s'agissait alors de fournir des évaluations de sites, des analyses de coûts ainsi que des recommandations en matière de procédure (programmes de B&G, traitement de données, manipulation du combustible, etc.).

Mais ce n'est qu'à partir de 1967 environ que les activités des deux grandes entreprises suisses d'ingénierie se sont développées dans les domaines concernant les aménagements nucléaires.

Tout comme MC, EWI peut réunir des architectes, des urbanistes, des experts en circulation, des ingénieurs-civils, des ingénieurs en mécanique, des chimistes, des physiciens, des ingénieurs électriciens, des économistes, des écologistes, des sociologues, des financiers, des pédologues, des géologues, des ingénieurs agronomes, des informaticiens, ainsi que des ingénieurs en hydraulique, en fonction des différents projets et mandats qui lui sont confiés.

Pour l'exécution de travaux particulièrement importants, B&G, dont la dimension est relativement faible¹, collabore avec des spécialistes de disciplines complémentaires aux siennes ou à des sociétés amies. En outre, et dès son origine, la firme entretient des relations étroites avec les instituts de recherche de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, notamment à l'occasion d'essais sur modèles ou d'échanges d'expériences.

On constate qu'il n'y a pas, à proprement parler, de spécialiste de la technique nucléaire dans les entreprises d'ingénierie suisses. Mais EWI, MC et B&G sont en mesure de couvrir des domaines d'activités très diverses, qui dépassent la seule branche "moyens de production d'énergie". En effet, elles touchent aux domaines qui concernent les aménagements des terres et des eaux, la production et la distribution d'énergie, les transports et les communications ainsi que le génie civil et industriel.

A leurs débuts, les activités d'EWI et de MC étaient concentrées sur l'étude et la réalisation d'aménagements hydroélectriques en Suisse. Elles se sont ensuite considérablement diversifiées, autant sur le plan géographique que technique. Elles sont actuellement en mesure d'assumer la responsabilité qu'implique la réalisation de grands projets intégrés.

1) L'entreprise comprenait 2 personnes en 1954, 30 en 1959, 135 en 1975 et 85 en 1980.

Fait particulier, EWI a passé d'abord de l'hydroélectrique au nucléaire, et ensuite seulement du nucléaire aux aménagements thermiques classiques. Ceci démontre que l'expérience acquise dans le cadre de la SNA a été un levier pour le développement de cette entreprise.

Les deux grandes firmes d'ingénierie suisses ont aussi largement profité de l'expansion du marché des aménagements nucléaires. Leur stratégie a tout d'abord consisté à offrir des prestations de services non spécifiques au niveau des phases qui précèdent la construction d'une centrale; ensuite, elles ont voulu passer des activités de consultants à celles d'exécutants et des phases d'étude à la direction de projets.

Pour atteindre ces objectifs, il fallait qu'elles disposent d'un appui financier important.

EWI peut désormais être considérée comme maître d'oeuvre grâce au Crédit Suisse, l'une des trois grandes banques du pays. En effet, la centrale nucléaire de Leibstadt a été réalisée sur la base des spécifications et sous la direction d'EWI, qui, par ailleurs, a établi le projet détaillé et dirigé les travaux de tous les ouvrages et installations auxiliaires, tels que les systèmes de refroidissement et groupes électrogènes de secours.

L'Union de Banques Suisses a joué la carte de MC en reprenant près de 38 % du capital-actions détenus jusqu'alors par Alusuisse. MC serait le maître d'oeuvre de Kaiseraugst si la centrale venait à être réalisée.

Quant à B&G, l'expérience acquise dans le domaine des caissons en béton précontraint l'engagea, dès 1974, et après: quelques années d'inactivité dans le domaine nucléaire, sur une étude de la facti-

bilité technico-économique de certains équipements d'une centrale à haute température et cycle binaire (hélium-vapeur). L'entreprise déposa aussi un avant-projet concernant le caisson d'un réacteur en béton précontraint d'une centrale à haute température refroidi à l'hélium et à cycle direct (projet HHT), puis participa activement à toutes les études concernant le développement de ce dernier type de réacteur, soit pour le compte de l'IFR, soit pour celui de la Hochtemperatur-Reaktorbau (HRB) de Mannheim.

Au vu des nombreux mandats qui ont été confiés aux entreprises suisses d'ingénierie, on peut dire qu'elles ont acquis une grande expérience dans les domaines qui concernent les aménagements nucléaires. EWI et MC en particulier ont collaboré avec un bon nombre de producteurs de réacteurs et de turbogroupes du monde entier.

Si elles ne dépendent d'aucune entreprise industrielle, elles connaissent néanmoins un bon nombre de fournisseurs. Par ailleurs, elles ne dépendent d'aucune contrainte imposée par le seul gouvernement suisse: cela veut dire qu'elles peuvent conclure des contrats avec des pays tels que l'Afrique du Sud par exemple, ce qui n'est pas toujours le cas de leurs concurrents.

Il n'est pas étonnant que les entreprises suisses d'ingénierie ne soient pas arrivées à s'imposer comme ensembliers à l'étranger: les fournisseurs de réacteurs se sont chargés eux-mêmes de cette fonction. Cependant, elles ont fourni de nombreuses prestations de services en tant que consultants dans les phases qui précèdent la construction. Elles ont été particulièrement sollicitées lorsque des études préliminaires, des appels d'offres, des évaluations ou des négociations de contrats étaient en jeu.

En résumé, on peut dire que l'avènement du nucléaire s'est présenté comme une excellente opportunité pour les entreprises d'ingénierie suisses, la SNA ayant pu servir de tremplin. De là, elles ont su se diversifier et croître sur une base interdisciplinaire.

Chapitre 3:

Le développement du nucléaire dans le monde.

Introduction

L'industrie nucléaire apparaît comme un système complexe que l'on peut représenter schématiquement à l'aide de trois catégories principales d'activités:

- l'industrie électro-nucléaire, intéressée à la réalisation d'installations productrices d'énergie;
- l'industrie du cycle du combustible qui comprend l'extraction du minerai, la fabrication, le retraitement et le stockage du combustible;
- l'industrie des biens d'équipement pour aménagements nucléaires.

Dans ses applications commerciales, ce système complexe n'a eu pour but que de satisfaire la demande en énergie électrique¹, au moins jusque vers la fin des années 70. Depuis lors, l'utilisation de la chaleur résiduelle produite par les réacteurs a connu un regain d'intérêt².

Cela dit, personne n'oubliera que cette industrie est née d'un effort d'armement. Il n'est pas inutile d'ajouter qu'elle équipe aussi un grand nombre de navires de guerre.

D'une manière générale, on peut donc dire que l'industrie nucléaire ne recouvre pas des activités particulièrement versatiles susceptibles de se prêter à des économies d'échelle ou à des lignes de diversification majeures permettant de répartir les risques commerciaux. Dans ce sens, elle reste très sensible aux conditions qui influencent le développement de l'industrie électrique.

-
- 1) Abstraction faite d'une installation unique utilisée pour le dessalement de l'eau de mer en U.R.S.S. et de la réalisation de quelques navires nucléaires civils dont les coûts d'exploitation se sont révélés trop élevés.
 - 2) La centrale de Marviken, en Suède, a été la première à fournir à la fois de l'électricité et de la chaleur pour le chauffage à distance.

Il faut alors souligner que l'industrie nucléaire dépend de développements de techniques et de programmes d'aménagements conçus dans une perspective à long terme. La construction d'une centrale, depuis la commande jusqu'à la livraison peut en effet atteindre près de 12 ans, quoique ce délai puisse varier selon les pays et l'usage qui est fait des procédures d'autorisation.

C'est finalement à partir de cette structure et de la géo-politique de l'industrie nucléaire que nous avons voulu cerner les contours de l'engagement des entreprises suisses. Dans ce qui suit, nous proposons une étude purement quantitative du parc mondial des centrales électro-nucléaires et des commandes enregistrées au cours de ces dernières années. Nous avons voulu présenter une analyse géo-politique de la consommation et de la production de centrales autant que l'évolution des rapports entre fournisseurs et technologies.

3.1 L'électro-nucléaire

Au 1er janvier 1981, on dénombrait 584 centrales nucléaires dans le monde: 254 d'entre elles étaient en état de fonctionnement, 234 en construction et 96 en commande¹. Ce bilan comprend tous les types de centrales, qu'elles soient expérimentales, de démonstration ou commerciales. Bien entendu, ces chiffres doivent être considérés avec une grande réserve, étant donné l'incertitude qui pesait alors sur bon nombre de programmes nationaux. En effet, on pouvait tout aussi bien prendre les réalisations en cours pour des ruines et les projets annoncés pour des mirages.

Il existe une certaine interdépendance entre le type de réacteur et les caractéristiques du cycle du combustible. Ainsi, il y a plusieurs systèmes nucléaires² concurrents qui tendent à s'exclure les uns les autres, à l'échelle nationale tout au moins³. Au début des années 80, deux d'entre-eux s'affrontaient encore: le système des réacteurs à eau légère et uranium enrichi, promu à l'origine par les firmes Westinghouse et General Electric (quoique avec un type de centrale différent) et le système des réacteurs à eau lourde. Tous deux se sont finalement imposés aux dépens des réacteurs graphite-gaz développés par les Britanniques et les Français.

Des changements profonds sont susceptibles de modifier cette structure fondamentale de l'industrie nucléaire. En particulier, l'introduction de surrégénérateurs contribuerait à réduire notablement la demande en uranium par unité d'électricité produite. Il est aussi possible qu'un autre système nucléaire s'impose: celui des centrales dites à haute température.

1) Source: Atomwirtschaft, März 1981.

2) Nous avons choisi l'expression "système nucléaire" plutôt que celle de "filrière économique nucléaire" par pure commodité de langage.

3) On peut rappeler à ce propos que l'incapacité de l'industrie suisse à développer conjointement un type de réacteur à eau lourde et le combustible correspondant, faute de moyens financiers, a constitué l'une des causes qui empêchèrent Therm-Atom d'accéder au marché des centrales nucléaires clé-en-main.

3.1.1 Une analyse géo-politique de l'industrie électro-nucléaire

L'industrie électro-nucléaire a commencé à prendre son essor en Grande-Bretagne, dès le milieu des années 50, mais son développement à des fins essentiellement civiles n'est intervenu que près de dix ans plus tard. C'est alors que les commandes de centrales se sont littéralement envolées en même temps que s'exprimaient les premières craintes quant à l'avenir de l'approvisionnement énergétique du monde occidental. En 1967, ce n'est pas moins de 51 centrales nucléaires qui ont été commandées dans le monde¹ (cf. tableau page suivante).

Le record établi en 1967 a été égalé en 1973: la France et la République fédérale d'Allemagne en particulier réagirent vivement à la crise du pétrole. Au total, près de 130 centrales ont été commandées entre le 1er janvier 1973 et le 31 décembre 1975.

Le déclin enregistré dès le milieu des années 70 s'explique par la révision à la baisse des perspectives de consommation énergétique, par la dégradation des balances de paiements des pays industrialisés ainsi que par l'incertitude créée par des taux élevés d'inflation. Les effets de l'opposition qui s'était manifestée à l'égard des programmes d'équipement nucléaire et de l'accroissement des exigences en matière de qualité n'ont pas été moins importants.

Ce déclin a été particulièrement brutal aux Etats-Unis; il illustre bien le problème auquel a été confrontée l'industrie nucléaire occidentale. Cependant, on remarque que la France a constitué une exception majeure à cette tendance, avec un nombre de commandes croissant entre les deux moitiés des années 70.

1) Les données concernant l'U.R.S.S. n'ont pas été incluses dans notre analyse.

Tableau 13

COMMANDES ANNUELLES DE CENTRALES NUCLEAIRES DANS LE MONDE ET PAR PAYS

	1961	62	63	64	65	66	67	68	69	1970	71	72	73	74	75	76	77	78	79	1980
Egypte								1				1						1		
Argentine										1										
Bengla Desh									3					3	1					
Belgique																				
Brésil											1				1					
Bulgarie							2						2							
BRD	1			1		1	2	2	2	2	4	2	1	1	9		1			
ODR						1						1	2	2						
Finlande								1			1		1	1						
France	2	1		1	2					1	2	1	2	16	2	3	6	1	11	4
GB		1	1	1	2		4	2		2										4
Inde			3		2		1						2							
Iran											2									
Italie							1		1					2						
Japon					1	3	3	1	3	4	6	2			1	3		2		
Yougoslavie													1	1						
Canada	1			4	2	2	2	4					1		8			1		

Corée	1			1	1															2	2
Cuba																				1	
Luxembourg																				1	
Mexique																					
Pays-Bas																					
Autriche	1																				
Pakistan																					
Philippines																					
Pologne																					
Roumanie																					
Suède																					
Suisse																					
Espagne																					
Afrique du Sud																					
Taiwan																					
Tchécoslovaquie																					
Hongrie																					
E.U.	3	3	7	20	31	11	7	15	16	20	33	17	2	2	2	2	2	2	2	1	
Total (sans l'URSS)	4	5	8	21	25	51	17	25	27	35	36	51	50	32	15	10	10	18	8		

Sources: M. Kempken "Verzeichnis der Kernkraftwerke der Welt",
Atomwirtschaft, August/September 1980, pp. 467 ss.

Avec le recul, en 1980, on constate tout de même que la majorité des commandes de centrales nucléaires a été lancée aux Etats-Unis. L'U.R. S.S. occupe la seconde place, suivie par la France, la Grande-Bretagne, le Japon et la République fédérale d'Allemagne. La part de tous ces pays dans le marché mondial des centrales nucléaires a été d'un peu plus de 75 %.

Tableau 14

ORIGINE DES COMMANDES DE CENTRALES NUCLEAIRES PAR PAYS

(ETAT EN 1980)

Espace géo-politique	Nombre	%
Etats-Unis	198	33.9
U.R.S.S.	60	10.3
France	58	9.9
Grande-Bretagne	43	7.4
R.F.A.	29	5.0
Canada	26	4.5
Japon	34	5.8
Sous-total	448	76.7
Total (monde)	584	100.0

Source: Atomwirtschaft, März 1981, p. 216

Au total, les pays de l'Est ont représenté environ 16 % du marché mondial, tandis que le Tiers-Monde n'en constituait qu'un peu plus de 6 %.

En ce qui concerne les commandes reçues (les pays sont alors considérés comme producteurs), les Etats-Unis s'adjugent à nouveau la première place, suivis des pays de l'Est, de la France, de la Grande-Bretagne, de la République fédérale d'Allemagne et du Japon.

L'Inde est le seul pays producteur du Tiers-Monde.

Tableau 15

STRUCTURE PAR ESPACE GEO-POLITIQUE DES COMMANDES RECUES
DE CENTRALES NUCLEAIRES (ETAT EN 1980)

Espace géo-politique	Nombre	%
Etats-Unis	253	42.7
France	61	10.3
RFA	40	6.7
GB	44	7.4
Canada	32	5.4
Japon	25	4.2
Inde	4	0.7
Pays de l'Est	107	18.0
Divers	26	4.4
Total	592	100.0

Source: Atomwirtschaft, März 1981, p. 217

On déduit des deux tableaux qui précèdent que les Etats-Unis, l'U.R.S.S., la République fédérale d'Allemagne ainsi que le Canada ont été les seuls pays exportateurs nets de centrales nucléaires, alors que la France et le Japon sont restés dépendants de la technologie américaine.

Une autre catégorie est représentée par la Grande-Bretagne et la Suède. Ces derniers pays sont restés autonomes dans leur approvisionnement puisqu'ils ont pu développer assez tôt un concept original de réacteur. Mais, jusqu'en 1980, ils n'ont pas réussi à exporter plus de deux centrales.

3.1.2 Les types de centrales nucléaires

La technologie des centrales à eau légère et uranium enrichi, développée tout d'abord par Westinghouse et General Electric, s'est imposée un peu partout dans le monde. Près de 54 % des centrales commandées jusqu'en 1980 étaient à eau pressurisée et 22 % à eau bouillante. Ces parts s'établissaient respectivement à 42 % et 24 % des centrales en activité en 1980. Bien qu'en 1981, les Britanniques aient décidé de construire au moins une autre centrale de type AGR (Advanced Graphite Reactor), on peut cependant considérer que, parmi les centrales dites de la première génération (qui ont été commercialisées avant 1980), il n'y a plus guère que les centrales à eau légère et uranium enrichi et celles à eau lourde qui entrent encore en ligne de considération.

Ces dernières représentaient, en 1980, près de 7,5 % du parc mondial des centrales en activité; le rapport était du même ordre de grandeur en ce qui concerne les centrales commandées.

En 1980, les Canadiens, les Allemands et les Indiens étaient les seuls à pouvoir fournir des centrales à eau lourde. Mais à la fin de 1979, l'échec des négociations entre l'Atomic Energy of Canada (AECL) et le gouvernement argentin a traduit une modification des perspectives d'exportations de la technologie canadienne, au moins en ce qui concerne le nombre des pays clients. En effet, c'est la Kraftwerk Union (KWU, filiale de Siemens) qui a remporté la commande, malgré un devis de 50 % supérieur à celui de sa concurrente. Cette issue peut paraître d'autant plus surprenante que la République fédérale d'Allemagne ne pouvait pas garantir un approvisionnement à long terme en uranium alors que le Canada était fort bien placé pour le faire.

Le choix des Argentins ne peut avoir qu'une explication: les Canadiens avaient perdu de leur crédibilité en tant que fournisseurs de centrales nucléaires et de combustible. Les contrats qu'ils avaient unilatéralement rompus à la suite de l'explosion indienne ainsi que leurs exigences en matière de non-prolifération (lesquelles dépassaient largement le cadre du Traité) avaient contribué à l'instauration de ce climat de méfiance. Les négociations alors en cours avec le Japon, l'Italie, le Mexique, la Corée du Sud, la Colombie et la Yougoslavie ont sans doute échoué pour la même raison.

Malgré l'intérêt que peut représenter la mise en valeur de centrales à eau lourde, autant sur le plan économique que politique¹, il ne fait aucun doute que l'évolution des marchés de l'électro-nucléaire a consacré le triomphe de la technologie des centrales à eau légère et uranium enrichi.

En ce qui concerne les centrales de la seconde génération susceptibles de franchir la phase commerciale d'ici la fin des années 80, nous nous bornerons à mentionner ici que la centrale surrégénératrice de Creys-Malville devrait entrer en service en 1983. D'une puissance nette de 1200 MWe, cette unité de démonstration sera la première pièce à compléter le puzzle du système nucléaire mis en place en France, et, dans une certaine mesure, de l'industrie nucléaire européenne.

L'année suivante devrait aussi intervenir la livraison de la centrale à haute température de Hamm-Uentrop en République fédérale d'Allemagne, d'une puissance de 300 MWe.

1) Elles permettent non seulement aux exploitants de se passer d'installations d'enrichissement, elles se prêtent aussi à la production de plutonium et pourraient donc servir de vecteurs à la production de bombes atomiques.

3.1.3 Une analyse technico-économique: systèmes de réacteur et fournisseurs de centrales nucléaires.

Jusqu'en 1965, l'avance de General Electric et de Westinghouse n'était pas encore perceptible au niveau des commandes annoncées. Les Britanniques étaient en effet partis plus vite dans la course à l'utilisation pacifique de l'atome. Mais dès la période 1966-1970, la percée était manifeste. Elle conduisit à un renversement de la politique française et à l'abandon de la filière graphite-gaz par le gouvernement Pompidou; elle contribua aussi à l'étouffement de la quasi-totalité des programmes de développement des réacteurs à eau lourde.

En même temps qu'ils enregistraient une évolution particulièrement réjouissante de leur carnet de commandes, les deux grands de l'électro-nucléaire pratiquaient une politique de vente de leur licence, ce qui contribua à la diffusion de leur technologie en Europe et au Japon. Asea-Atom (Suède), AEG (République fédérale d'Allemagne), Toshiba et Hitachi (Japon) adoptèrent le système de réacteur à eau légère bouillante développé par General Electric, tandis que Siemens (RFA), Framatome (France) et Mitsubishi (Japon) choisissaient la filière des réacteurs à eau légère pressurisée mise au point par Westinghouse. Asea-Atom et Siemens (KWU) se libérèrent très tôt de leur bailleur de licence quoiqu'ils soient restés dépendants des Américains pour l'enrichissement de leur uranium.

Dans cette seconde moitié des années 60, Westinghouse et General Electric virent aussi émerger de nouveaux concurrents sur leur marché intérieur. Babcock & Wilcox et Combustion Engineering réussirent en effet à imposer leur propre concept de réacteur à eau légère pressurisée, tandis que des compagnies d'électricité (Duke) et d'ingénierie (Bechtel) devenaient des assembleurs à part entière.

Les années 1971 à 75 allaient encore souligner la suprématie des entreprises américaines: près de 60 % des commandes concernait leur système de réacteur (contre 55 % au cours de la période précédente). KWU, AECL et ASEA-Atom profitèrent aussi de l'expansion du marché de l'électro-nucléaire, alors que l'industrie britannique était laissée pour compte (cf. tableau page suivante).

Durant la période suivante, Framatome enregistra 37 commandes sur les 67 adressées dans le monde occidental (contre 171 entre 1971 et 1975). Le fournisseur français était alors le seul à connaître un accroissement de son volume de commandes grâce à la politique d'équipement pratiquée par l'Electricité de France (EdF). Par opposition, les autres producteurs durent encaisser le retournement brutal et durable de leur cycle du produit. Cas extrême: General Electric ne reçut plus une seule commande.

Au total, les principaux fournisseurs de centrales nucléaires ont enregistré 447 commandes jusqu'en 1980. Ce chiffre ne devrait toutefois pas correspondre à celui des réalisations prévues puisque des compagnies d'électricité, américaines pour la plupart, ont abandonné quelques-uns de leurs projets. La majorité des commandes, soit 250, concerne directement les quatre producteurs des Etats-Unis. Westinghouse en a obtenu 107 et General Electric 85. Mais Framatome, débarrassée de son bailleur de licence (Westinghouse), pouvait être considérée, en 1981, comme le fournisseur en passe de devenir l'un des deux plus grands, sinon le plus important de l'industrie électro-nucléaire du monde occidental.

Tableau 16

COMMANDES ET LIVRAISONS DE CENTRALES NUCLEAIRES PAR

		1951-55	1956-60	1961-65	1966-70
Etats-Unis:					
General Electric	A:	1	4	11	37
	B:	0	1	5	7
Westinghouse	A:	0	4	7	39
	B:	0	0	3	8
Babcock & Wilcox	A:	1	0	0	13
	B:	0	0	1	0
Combustion Engineering	A:	0	0	0	12
	B:	0	0	0	0
Total Etats-Unis	A:	2	8	18	101
	B:	0	1	9	15
France:					
Framatome	A:	1	3	2	3
	B:	0	2	2	3
RFA:					
KWU	A:	0	0	2	9
	B:	0	0	0	4
Canada:					
AECL	A:	0	2	3	7
	B:	0	1	0	1
Suède:					
ASEA-ATOM	A:	0	0	1	3
	B:	0	0	0	1
Grande-Bretagne:	A:	4	16	8	8
	B:	0	8	10	6
Japon:					
Mitsubishi	A:	0	0	0	4
	B:	0	0	0	0
Toshiba	A:	0	0	0	3
	B:	0	0	0	0
Hitachi	A:	0	0	0	1
	B:	0	0	0	0
Total monde occidental	A:	7	29	34	139
	B:	0	12	21	30

A: nombre de commandes annoncées

B: nombre de commandes honorées ou qui devraient l'être

Source:

Westinghouse, Nuclear Acceptance and Comparative Experience, Nuclear Engineering International, July 1981/1980/1979.

FOURNISSEUR

1971-75	1976-80	1981-85	1986-90	1991-95	Total
32	0	-	-	-	85
21	8	22	16	0	80
51	6	-	-	-	107
19	12	38	18	2	100
11	2	-	-	-	27
6	2	5	5	0	19
15	4	-	-	-	31
5	3	4	11	3	26
119	12	-	-	-	250
51	25	69	50	5	225
19	37	-	-	-	65
1	7	37	9	0	61
17	2	-	-	-	30
5	6	7	8	0	30
12	5	-	-	-	29
6	5	9	6	1	29
8	1	-	-	-	13
3	2	6	1	0	13
0	4	-	-	-	40
2	4	6	4	0	40
3	3	-	-	-	10
3	2	5	0	0	10
2	2	-	-	-	7
0	4	3	0	0	7
1	1	-	-	-	3
1	1	1	0	0	3
171	67	-	-	-	447
72	56	143	78	6	418

Les producteurs qui avaient déjà mis en service des installations nucléaires à l'étranger avant la fin de 1980 sont relativement peu nombreux. A cette date, AECL, General Electric, Westinghouse, TNPG, Asea-Atom et KWU avaient pu exporter leur technologie et mettre à terme leurs projets. A ce niveau, les exportations de AECL et TNPG sont néanmoins négligeables (cf. tableau page suivante).

En ce qui concerne les centrales en construction, Westinghouse, KWU et General Electric conservent le peloton de tête des exportateurs, suivis par Framatome (nouveau) qui remplace Asea-Atom et TNPG, et par AECL, cinquième et dernier exportateur par ordre d'importance.

Les commandes à l'exportation qui n'ont encore conduit à aucune réalisation ont été adressées à Westinghouse, KWU, General Electric et BBC/BBR¹. Mais il apparaît que ce dernier groupe n'a en réalité qu'une importance marginale en tant que fournisseur de centrales nucléaires de la première génération.

Ces données, qui sont à considérer avec une certaine réserve, laissent apparaître le rôle dominant de Westinghouse et de General Electric, ainsi que nous l'avons déjà constaté. Mais on voit aussi que KWU et Framatome ont entamé l'hégémonie nord-américaine sur les marchés d'exportation.

En 1980, les centrales de la seconde génération ne sont encore représentées que par quatre groupes de producteurs: General Atomic aux Etats-Unis et le consortium BBC/HRB/Nukem en République fédérale d'Allemagne pour les centrales à haute température d'une part, et, d'autre part, Novatome en France et Interatom en République fédérale d'Allemagne pour les surrégénérateurs.

1) la République fédérale d'Allemagne est alors considérée comme le pays d'origine de BBC/BBR.

COMMANDES ET LIVRAISONS DE CENTRALES NUCLEAIRES
PAR FOURNISSEUR DE REACTEUR (ETAT: FIN 1980)

Fournisseur (pays)	Type (2)	Mte net (nombre de centrales)									
		En exploitation					En construction				
		(1) I	X	I	X	I	(1) I	X	I	X	Total
AECL (Canada)	CANDU	5 516(11)	325(2)	6 256(10)	2 059(4)	3 800(5)	-	-	15 572(26)	2 354(6)	-
Industrie américaine:											
Babcock & Wilcox (B&W)	PWR	8 153(10)	-	8 959(9)	-	6 260(5)	-	-	23 372(24)	-	-
Combustion Engineering (CE)	PWR	6 320(8)	-	18 035(15)	-	8 740(7)	-	-	33 095(30)	-	-
General Electric (GE)	BWR	18 689(26)	4 100(12)	32 430(30)	6 092(7)	15 380(13)	927(1)	66 509(69)	11 119(20)	-	-
General Atomic (GA)	HTR	330(1)	-	-	-	-	-	-	330(1)	-	-
Westinghouse	PWR	20 075(27)	7 880(15)	41 605(38)	14 401(17)	7 460(8)	3 042(4)	69 140(73)	25 323(36)	-	-
ASEA (Suède)	BWR	2 920(5)	1 320(2)	3 920(4)	-	-	-	-	6 840(9)	1 320(2)	-
Industrie britannique:											
NPCC	AGR	2 500(4)	-	4 944(8)	-	-	-	-	7 444(12)	-	-
TP&G	GG-FBR	1 976(9)	200(1)	-	-	-	-	-	1 976(9)	200(1)	-
Autres	GG-O.O.	3 612(9)	-	1 250(2)	-	1 200(1)	-	-	6 062(22)	-	-
	AGR-PWR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dpt. AE (Inde)	CANDU	-	-	880(4)	-	-	-	-	880(4)	-	-
Industrie germano-suisse:											
BBK/HKB/NUKEM	HTR	-	-	300(1)	-	-	-	-	300(1)	-	-
BBC/BBR	PWR	-	-	1 225(1)	-	1 247(1)	1 247(1)	2 472(2)	2 472(2)	1 237(1)	-
INTERATOM	FBR	18(1)	-	280(1)	-	-	-	-	298(2)	-	-
Kraftwerk Union (KWU)	PWR/BWR/D ₂ O	8 587(12)	1 689(3)	10 126(8)	6 564(6)	3 264(3)	1 632(2)	21 977(23)	9 945(11)	-	-
Industrie française:											
Framatome	PWR	10 000(11)	-	26 055(26)	3 644(4)	12 650(11)	-	-	48 705(48)	3 644(4)	-
Novatome	FBR	-	-	1 200(1)	-	-	-	-	1 200(1)	-	-
Autres	GG, D ₂ O, FBR	2 575(8)	-	-	-	-	-	-	2 575(8)	-	-
Industrie italienne:											
Ansaldo	D ₂ O-BWR	840(1)	-	1 999(3)	-	-	-	-	2 839(4)	-	-
ElettroNucleare	PWR	-	-	-	-	1 960(2)	-	-	1 960(2)	-	-
Industrie japonaise:											
Ritachi	BWR	2 256(3)	-	1 067(1)	-	-	-	-	3 323(4)	-	-
Mitsubishi	PWR	4 407(7)	-	3 044(4)	-	-	-	-	7 451(11)	-	-
Toshiba	BWR	3 905(5)	-	4 770(5)	-	-	-	-	8 675(10)	-	-
Autres		710(3)	-	2 942(3)	-	2 265(3)	-	-	5 917(9)	-	-
Total		103 389(11)	15 514(35)	171 287(174)	32 730(38)	64 236(59)	6 908(8)	338 912(44)	55 152(81)	-	-
Industrie soviétique		14 245(34)	3 970(11)	13 260(14)	6 880(15)	13 000(12)	4 620(11)	40 505(60)	15 470(32)	-	-

Source: -, atw-schnellstatistik, Kernkraftwerke 1980, Atomwirtschaft, März 1981.

1) I: marché intérieur; X: exportations.

3.1.4 Le marché des sous-ensembles pour centrales nucléaires.

Les entreprises capables de fournir des installations clé-en-main, ainsi qu'un nombre limité de compagnies d'électricité, constituent toute la clientèle des producteurs de sous-ensembles pour centrales nucléaires. Mais dans la plupart des cas, les fournisseurs de systèmes sont aussi les producteurs des sous-ensembles principaux de la centrale (cf. tableau page suivante).

Ainsi, General Electric et Westinghouse livrent très souvent le coeur du réacteur, les générateurs de vapeur, le turbogroupe et le combustible, mais ils ont tendance à sous-traiter la partie métallurgique et, en particulier, la fabrication de la cuve. A l'inverse, Combustion-Engineering et Babcock & Wilcox produisent les sous-ensembles du réacteur et sous-traitent le turbogroupe à General Electric, Westinghouse, voire à BBC, Allis Chalmers ou General Electric Company.

Au Japon, la sous-traitance est beaucoup plus limitée: Mitsubishi, Hitachi et Toshiba ont tendance à produire tous les sous-ensembles eux-mêmes, aussi bien ceux du réacteur que ceux du turbogroupe.

En France, la construction de centrales est dominée par le groupe Empain-Schneider¹, dont les filiales Framatome et Creusot-Loire maîtrisent l'ensemble du cycle de fabrication, à l'exception de la construction des turbines, dont Alsthom-Atlantique a le monopole.

En République fédérale d'Allemagne, comme en France, le groupe qui livre les centrales clé-en-main réalise 35 à 40 % de l'ensemble-marchandise², mais KWU (filiale de Siemens), au contraire de Framatome

1) Paribas est entré en force dans le groupe Empain-Schneider au début de 1981, en rachetant près de 35 % de son capital-actions.

2) Cf. Réal, 1978, p. 176.

Tableau 18

PRINCIPAUX FOURNISSEURS DE SOUS-ENSEMBLES POUR CENTRALES

NUCLEAIRES SELON L'ORIGINE DU SYSTEME

Système de réacteur	Cuve	Coeur	Combustible	Générateurs de vapeur	Turbine
GE		GE	GE	(GE)	GE
West.		West.	West.	West.	West.
B&W	B&W	B&W	B&W	B&W	
C-E	C-E	C-E	C-E	C-E	
Frama	Frama	C-L/Frama	Frama/FBFC	Frama	Alsthom
KWU		Voest	RBU/KWU		KWU
AECL			CGE	B&W	H-P/CGE/BBC
Asea	Uddcomb	Asea	Asea		Stal-Laval
MHI	MHI	MHI	MHI	MHI	MHI
Toshiba	IHI	Toshiba	JNF		Toshiba
Hitachi	Hitachi	Hitachi	JNF		Hitachi

GE: General Electric

West: Westinghouse

B&W: Babcock&Wilcox

C-E: Combustion Engineering

Frama: Framatome

C-L: Creusot-Loire

H-P: Howden-Parsons

CGE: Canadian General Electric

MHI: Mitsubishi

JNF: Japan Nuclear Fuel

Source: Nuclear Engineering International, July Supplement 1981.

est surtout un "électricien": KWU fournit donc essentiellement le turbogroupe. Mais la principale différence entre les deux groupes ne tient pas tant à leur domaine d'intervention privilégié qu'à leur politique de sous-traitance. L'entreprise allemande s'approvisionne chez elle et à l'étranger en fonction de critères économiques, tels que la qualité, les prix et les délais, tandis que Framatome et Alsthom-Atlantique, qui fournissent ensemble près de 50 % de la valeur de la centrale, sous-traitent plus de 42 % de cette valeur en France et contraignent leurs rares fournisseurs étrangers à transférer leur technologie (Réa1, 1979).

L'aspiration à l'autarcie ainsi qu'un programme d'équipement ambitieux favorisent les investissements industriels et les économies d'échelle. L'intégration systématique des productions dans un cadre strictement national présente cependant des inconvénients: elle limite la concurrence et la pression sur les prix; en outre, elle a pour effet de rendre plus dépendante une économie entière vis-à-vis d'un seul marché. Les commandes groupées de l'EdF et le monopole confié aux entreprises Framatome et Alsthom-Atlantique ont bien permis la réalisation d'investissements importants et la réduction des délais de construction des centrales nucléaires françaises. Mais on peut déjà dire que des surcapacités ont été créées au niveau de certaines productions (grosse forge) et que si les exportations ne viennent pas prendre le relais du marché intérieur, des problèmes lancinants ne manqueront pas de se poser pour l'industrie électro-nucléaire indigène qui n'aura pas encore amorti ses structures de production.

En attendant, avec un carnet de commandes de centrales s'élevant à 45 milliards de francs français, le nucléaire représentait, en 1979, 20 % du chiffre d'affaires du groupe Empain-Schneider. En 1980, celui-ci enregistrait 150 filiales, 130.000 salariés et 40 milliards de chiffre d'affaires et se trouvait propulsé au second rang des fournisseurs de centrales du monde occidental.

La firme KWU n'avait pourtant rien à lui envier, sur le plan de la maîtrise technologique tout au moins. En effet, Framatome ne se libéra de son bailleur de licence, Westinghouse, qu'en 1981, alors que KWU, dès sa création, survenue en 1969, réussit à voler de ses propres ailes. Cependant, on ne retrouve pas en République fédérale d'Allemagne comme en France cette détermination dans la mise en place d'un projet global visant à la fois une certaine indépendance énergétique et la domination de tout un système économique.

Compte tenu du protectionnisme en vigueur sur la plupart des marchés de l'électro-nucléaire et des structures industrielles en présence, les producteurs qui n'ont pas réussi à mettre en valeur un système de centrale nucléaire ont évidemment eu beaucoup de peine à s'imposer, et cela d'autant plus que leur marché intérieur était de dimension relativement faible.

On peut alors se demander quelle a été la véritable importance des entreprises suisses au sein de l'industrie électro-nucléaire.

Il faut tout d'abord constater que les données concernant les livraisons et les commandes adressées aux fournisseurs de sous-ensembles de centrales ne sont pas cataloguées systématiquement. La revue "Nuclear Engineering International", la plus complète à ce sujet, distingue les fournisseurs du système de réacteur, les producteurs de cuves, du coeur, du combustible, des générateurs de vapeur et des turbines, ainsi que les entreprises de génie civil pour toutes les centrales en activité, en construction ou en commande du monde occidental.

Deux entreprises suisses apparaissent sur ces tabelles: Sulzer et BBC (y compris filiales).

Sulzer a fourni une fois une cuve pour la centrale de Tullnerfeld (Autriche) ainsi que les générateurs de vapeur pour la centrale de Mont d'Arrée E1-4 (France).

Sur le marché suisse, Sulzer est intervenue dans la livraison des cuves de Mühleberg, Leibstadt et Gösgen; la firme de Winterthur a aussi fourni le cœur du réacteur de Gösgen (et celui de Lucens), ainsi que le générateur de vapeur de Lucens.

Ces observations concernant les activités de Sulzer dans le domaine nucléaire ne traduisent cependant pas l'importance réelle du groupe: la liste de références de Sulzer est en effet bien remplie. Mais cette dernière comprend la fourniture d'autres produits que ceux retenus par la revue "Nuclear Engineering International" ainsi que les travaux de sous-traitance effectués par l'entreprise.

On constate alors que Sulzer a livré 134 générateurs de vapeur en Grande-Bretagne (centrales Oldbury, Dungeness B) en France (St Laurent 1 et 2, Brennilis), en Espagne (Vandellos) et en Suisse (Lucens) pour des centrales refroidies au gaz carbonique ainsi que les générateurs des centrales à haute température de Fort St Vrain (Etats-Unis) et de Hamm-Uentrop (République fédérale d'Allemagne). Sulzer s'est donc spécialisé dans les générateurs de vapeur pour centrales refroidies au gaz bien qu'elle ait aussi livré une unité pour le réacteur surrégénérateur de Cadarache (Rapsodie, France). Etant donné l'arrêt des programmes d'équipement français et anglais concernant les centrales graphite-gaz, Sulzer ne peut donc plus compter que sur le développement des réacteurs à haute température pour placer d'autres générateurs de vapeur.

Sulzer a aussi fourni quelques pressuriseurs (trois en Suisse, deux en République fédérale d'Allemagne), ainsi que des circuits primaires; mais elle s'est surtout imposée comme fournisseur de pompes, de tubes de guidage de barres de contrôle, d'installations de chauffage et de climatisation pour tout aménagement nucléaire, d'installations de réfrigération à basse température (liquéfacteur d'hélium et d'hydrogène) et d'installations à eau lourde.

Il se dégage de cette liste de référence de Sulzer que le groupe ne s'est pas tellement engagé dans la fourniture de composantes ou de sous-ensembles pour centrales à eau légère et uranium enrichi. Il a surtout pu s'imposer au niveau de certains sous-ensembles aux applications multiples (pompes, installations de chauffage et de climatisation, installations de réfrigération), et, il est intervenu beaucoup plus au niveau du développement et de la fabrication de composantes pour les réacteurs à haute température.

Le deuxième groupe qui apparaît dans les tabelles de la revue "Nuclear Engineering International" est représenté d'une façon plus complète: il s'agit de BBC. Cette firme s'est spécialisée dans la construction de turbogroupes pour centrales thermiques, et à ce titre, elle est intervenue comme partenaire dans la livraison de centrales nucléaires clé-en-main en Suisse et en Suède (cf. tableau page suivante). A ce niveau, son développement a néanmoins été plus marqué en République fédérale d'Allemagne, puisque c'est dans ce seul pays qu'elle a enfin réussi à s'imposer comme fournisseur de système, grâce à ses filiales BBC-Mannheim et BBR; elle apparaît en outre comme chef de file dans le domaine des centrales à haute température.

Tableau 19

LE MARCHE DE BBC COMME FOURNISSEUR DE CENTRALES NUCLEAIRES

CLE-EN-MAIN

Pays et nom de la centrale	Type ¹	Fournisseur clé-en-main	Maître d'oeuvre	MWe	Date de mise en service
République féd. d'Allemagne					
Jülich AVR	HTR	BBC/Krupp	BBC/Krupp	13.2	1968
Mülheim-Kärlich	PWR	BBC/BBR	BBC	1223	1985
Uentrop THTR	HTR	BBC/HRB/Nukem	BBC/HRB	296	1984
Neupotz 1	PWR	BBC/BBR	BBC	1246	1984
Neupotz 2	PWR	BBC/BBR	BBC	1246	??
Suède					
Barsebäck 1	BWR	ASEA-ATOM/ Stal-Laval/BBC	..	570	1975
Barsebäck 2	BWR	ASEA-ATOM/ Stal-Laval/BBC	..	570	1977
Suisse					
Beznau 1	PWR	West./BBC	Gibbs&Hill/BBC	350	1969
Mühleberg	BWR	BBC/GETSCO	BBC/E&B/GETSCO	320	1972
Beznau 2	PWR	West./BBC	Gibbs&Hill	350	1972
Leibstadt	BWR	BBC/GETSCO	BBC/Electrowatt	942	1983
Graben	BWR	BBC/GETSCO	BBC/GETSCO	1140	??

Source: Nuclear Engineering International, July, Supplement 1981.

- 1) HTR: à haute température
 PWR: à eau légère pressurisée
 BWR: à eau légère bouillante

En examinant la position de BBC comme fournisseur de turbogroupes à vapeur pour centrales nucléaires par rapport à ses concurrents du monde occidental, on remarque que le groupe a réussi à placer un nombre de sous-ensembles à peu près égal à celui des entreprises AEG, Siemens et KWU réunies. Cependant, si l'on prend en considération les licenciés de l'entreprise suisse, à savoir Stal-Laval (depuis 1969) et Alsthom-Atlantique (depuis 1976), force est de constater que son rayonnement technologique a été bien supérieur à celui de ses concurrents allemands.

Bien que KWU ait formé, en 1970 déjà, sur une base paritaire avec Allis-Chalmers, la société Allis-Chalmers Power System Inc. (ACPSI) en vue de commercialiser ses productions aux Etats-Unis, elle n'a pas réussi à prendre un nombre de commandes de turbogroupes supérieur à celui de BBC sur le marché nord-américain, loin de là. Le groupe suisse devrait en effet livrer treize unités au total - dont cinq au Canada -, contre cinq seulement pour ACPSI.

Mais BBC n'est pas seulement le principal fournisseur étranger de turbogroupes à vapeur pour centrales nucléaires en Amérique du Nord, elle entre aussi en concurrence directe avec KWU sur le marché allemand, profite encore des restes de sa présence sur le marché français, domine - indirectement - le marché scandinave et se réserve le marché suisse. Au total, on peut donc la considérer comme la troisième entreprise mondiale dans son principal domaine d'intervention, juste après General Electric et Westinghouse.

Cette position peut cependant s'apprécier d'une façon différente au cours du temps.

Alors que les entreprises britanniques remportaient l'essentiel des commandes qui furent attribuées au tout début de l'ère de l'utilisation pacifique de l'atome, BBC livrait ses premières unités par l'intermédiaire de son licencié Richardsons Westgarth Ltd¹; entre 1966 et 1970, elle s'imposait déjà comme un fournisseur important juste après les deux grands de l'électro-nucléaire américains. Mais de 1971 à 1980, il semble que le groupe ait connu quelques difficultés, notamment à cause des retards encourus dans la réalisation des installations qu'il devait équiper. Il en découle évidemment que les livraisons de BBC devraient être plus importantes au cours des périodes suivantes (cf. tableau page suivante).

Autant les livraisons de BBC auront été étalées dans le temps, autant celles de Alsthom-Atlantique auront été concentrées. Depuis 1976, l'entreprise française tend à prendre une importance considérable comme producteur de turbogroupes à vapeur pour centrales nucléaires, à tel point qu'elle se trouva propulsée au premier rang des fournisseurs du monde occidental avant 1981.

Par la suite, elle devrait conserver le peloton de tête, avec 23 livraisons prévues durant la période 1981-1985, mais ne manquera pas de subir la contraction du marché mondial vers la fin des années 80, en même temps que la quasi-totalité de ses concurrents. Seules les firmes General Electric, BBC et General Electric Company devraient encore avoir un nombre appréciable de commandes à honorer au cours de la période 1986-1990, la dernière d'entre-elles pouvant aussi compter avec le réamorçage du programme d'équipement britannique.

1) Il a été admis dans cette étude que la date de livraison des turbogroupes devait précéder de deux ans la fourniture de la centrale.

Tableau 20

LIVRAISONS DE TURBOGROUPE A VAPEUR POUR CENTRALES NUCLEAIRES

PAR FOURNISSEUR ET ORIGINE DE LA TECHNOLOGIE

	1956-60	1961-65	1966-70	1971-75	1976-80	1981-85	1986-90	1991-95	Total
General Electric	1	4	12	25	16	28	16	1	101
Hitachi			1	2	2	1			6
Toshiba				1	3	2			6
Total	1	4	13	26	21	31	16	1	113
Westinghouse	5	3	11	17	23	21	3		83
Mitsubishi			2	5	5	2			14
Total	5	3	13	22	28	23	3		97
KWU ¹⁾	1	2	6	8	5	9	3		34
ACPSI					2	2	1		5
Total	1	2	6	8	7	11	4		39
BBC		4 ²⁾	11	1	1	9	11		37
Stal-Laval			(2)	5	10	2			19
Alsthom-Atlantique		5	5	3	26	23	6		68
General Electric ³⁾		18	4	4	6	3	11		46
Parsons ⁴⁾	22	9	2	3	2	1	1		40
Total monde occidental	29	45	56	72	101	103	52	1	459

Source: Nuclear Engineering International, Supplement July 1981.

1) AEG-Siemens-KWU

2) Richardson Westgarth Ltd., Hartlepool (Grande-Bretagne)

3) Y compris English Electric

4) Et divers associés

En dernier lieu, il faut souligner que le groupe BBC a enregistré des commandes en Amérique du Nord essentiellement, et que, par ailleurs, elle ne semble pouvoir compter que sur les marchés de la République fédérale d'Allemagne et de la Suisse pour d'autres livraisons, surtout après les échecs rencontrés en Roumanie et en Corée. D'une façon générale, on ne peut toutefois pas dire que l'entreprise suisse ait été désavantagée sur le marché mondial des turbogroupes à vapeur parce qu'elle n'a pas su mettre en valeur un système propre de réacteur au bon moment.

La comparaison faite avec KWU va dans le sens de cette hypothèse.

Mais l'explication de ce phénomène doit être recherchée dans la configuration des forces en présence au sein de l'industrie électro-nucléaire qui donne BBC comme seule concurrente sérieuse à General Electric Company auprès des fournisseurs de systèmes qui ne sont pas des électriciens. Il aurait en effet été dangereux pour des firmes comme Babcock&Wilcox, Combustion Engineering ou AECL de n'avoir pour fournisseurs de turbogroupes que des entreprises capables de produire tous les sous-ensembles essentiels d'une centrale nucléaire.

3.2 Le positionnement des entreprises américaines et européennes de l'électro-nucléaire.

Les entreprises américaines Westinghouse et General Electric, après avoir éclipsé l'industrie électro-nucléaire britannique, cherchèrent à maintenir leur hégémonie sur les marchés du monde occidental en même temps qu'elles proposaient leur technologie en Europe et au Japon.

Dès 1962, Westinghouse envisageait la constitution d'une industrie transnationale européenne pour mettre en valeur son système nucléaire; elle tenta vainement de réaliser son projet jusque vers la fin des années 60. Cependant, après l'émancipation de Siemens et la création de la KWU, soit en 1969, Westinghouse dut abandonner ses ambitions.

General Electric relança l'idée d'une industrie électro-nucléaire européenne en 1973. Mais son principal licencié, la CGE (France), ne disposait pas des capacités qui lui auraient permis de fournir les cuves et les générateurs de vapeur. Dès lors, Framatome, qui était en mesure de fournir tous les sous-ensembles du réacteur (avec Creusot-Loire), eut la préférence, l'Electricité de France ayant choisi les producteurs de ses centrales nucléaires dans l'optique d'une autonomie énergétique et industrielle française.

A quelques occasions, les deux firmes américaines participèrent au capital-actions des entreprises auxquelles elles cédèrent leur licence: Westinghouse prit une part de 45 % dans Framatome (qui fut ramenée à 15 % en 1976), une autre de 60 % dans les ACEC (Belgique) tandis que General Electric acquérait 11,7 % de A.E.G. et 12 % de Toshiba.

En outre, Westinghouse et General Electric mirent en place, avec leurs partenaires, des sociétés productrices d'éléments de combustible. Ainsi, Westinghouse prit des parts minoritaires dans FBFC et Eurofuel en France et dans d'autres sociétés au Japon et en Espagne. General Electric devait intervenir de la même manière en République fédérale d'Allemagne et en Inde.

Dans les pays en voie de développement ou dans les pays industrialisés de faible dimension, les firmes américaines vendirent leur technologie, tout ou partie de la centrale, ainsi que les éléments de combustible fabriqués aux Etats-Unis.

En 1977, Westinghouse possédait encore 15 % du capital-actions de Framatome, une part non négligeable dans les ACEC ainsi que dans les sociétés de fabrication du combustible. Mais General Electric s'était déjà retirée de AEG.

Quatre ans plus tard, Framatome s'était libérée totalement de Westinghouse et n'eut plus à soumettre ses exportations de centrales à une autorisation préalable des Américains. Désormais, l'entreprise française pouvait être qualifiée comme étant l'une des plus importantes de l'industrie électro-nucléaire du monde occidental. Mais malgré l'émergence des firmes européennes KWU, ASEA et Framatome, les entreprises d'Outre-Atlantique dominaient encore la fabrication des éléments de combustible. Par ailleurs, c'est la technologie de Westinghouse que les Britanniques envisageaient d'utiliser pour réamorcer leur programme d'équipement en centrales électriques dans le courant des années 80.

On peut donc résumer l'évolution des principales entreprises de l'électro-nucléaire en deux tableaux.

Au début des années 70, on avait:

- General Electric, Westinghouse, KWU et ASEA qui fabriquaient tous les gros équipements de centrales électriques (à l'exception des turbines hydrauliques) et qui disposaient de leur propre technologie nucléaire¹; elles étaient aussi en mesure de fournir le combustible correspondant au type de centrale nucléaire qu'elles avaient développé;
- Hitachi, Toshiba, Mitsubishi, CGE et Finmeccanica, licenciés des deux grandes entreprises américaines, qui pouvaient aussi fournir tous les gros équipements pour centrales électriques, y compris des sous-ensembles du réacteur nucléaire;
- le groupe Empain-Schneider (avec sa filiale Framatome, licenciée de Westinghouse), qui était à même de fabriquer tous les sous-ensembles du réacteur nucléaire;
- BBC, qui couvrait la totalité de la construction électrique (non compris la fabrication de turbines hydrauliques), mais qui ne fournissait pas de réacteur nucléaire;
- General Electric Company, capable de produire tous les gros équipements pour centrales électriques, qui mettait en valeur une technologie indigène.

Erdémlí et Réal (1974, p. 223) en concluent que le produit-marchandise "centrale électrique" est l'un des facteurs de restructuration de ces firmes; ils constatent aussi que la plupart d'entre-elles cherchent à maîtriser l'ensemble de la construction électrique, de la production à l'utilisation de l'électricité, en passant par le transport de cette énergie, Framatome restant toutefois l'exception majeure à cette règle.

1) Stal-Laval, filiale de ASEA, est licenciée de BBC pour les turbo-groupes thermiques depuis 1969.

Les années 70 furent marquées par l'apparition de nouveaux fournisseurs de centrales nucléaires:

- aux Etats-Unis, Babcock&Wilcox ainsi que Combustion Engineering, tous deux métallurgistes¹, réussirent à mettre en valeur leur concept de réacteur et parvinrent à entamer les positions dominantes des deux "grands" de l'électromécanique sur leur propre marché d'origine;
- en France, Framatome (groupe Empain-Schneider) devint le fournisseur exclusif de l'EdF, tandis que Alsthom-Atlantique (groupe CGE) se voyait attribuer le monopole de la construction électrique; en 1981, Framatome se débarrassa de son bailleur de licence (Westinghouse). Au même moment, son partenaire tentait d'en faire autant avec BBC;
- au Canada, AECL réussit à percer avec ses centrales à eau lourde, sans toutefois disposer de l'infrastructure industrielle qui lui aurait permis de couvrir toute la construction électrique;
- en République fédérale d'Allemagne, BBC s'aligna sur le schéma d'intégration des activités suivi par les grandes compagnies de l'industrie électromécanique, en absorbant, par étapes, la firme Babcock-Brown-Boveri Reaktor (BBR); en outre, elle poursuit le développement de plusieurs concepts de réacteurs à haute température.

Cette nouvelle constellation des forces en présence au sein de l'industrie électro-nucléaire contribua au développement du marché des électriciens qui, d'une manière ou d'une autre, rencontrèrent des difficultés à mettre en valeur leur propre système nucléaire. Il s'agit essentiellement des firmes BBC et General Electric Company, qui trouvèrent en Babcock&Wilcox ou AECL des partenaires tout désignés pour leur expansion. Par contre, BBC dut abandonner la division turbogroupes

1) Il y a deux types de firmes qui fournissent des centrales nucléaires: celles qui ont une origine de métallurgistes et qui fabriquent plutôt les éléments du réacteur et celles qui sont des électriciens et qui construisent plutôt les turbogroupes. Dans les deux cas, ces firmes disposent des capacités d'ingénierie et d'une surface financière critiques pour réaliser leurs projets.

de sa filiale de France, la CEM, au profit de Alsthom-Atlantique; elle se trouva donc écartée d'un marché important alors qu'elle aurait pu prétendre à une collaboration active au succès rencontré par Framatome.

3.3 Une analyse géo-politique du cycle du combustible

L'industrie électro-nucléaire ne recouvre qu'une partie de l'industrie nucléaire. La maîtrise du cycle du combustible n'est donc pas sans effet sur le développement de l'utilisation pacifique de l'atome. Pendant longtemps, les Etats-Unis conservèrent la propriété industrielle de la technologie de la plupart des centrales du monde occidental ainsi que le monopole de l'uranium enrichi pour leur alimentation. Dans l'un et l'autre de ces domaines, ils allaient néanmoins perdre leur avantage comme ils avaient perdu leur influence sur les ressources mondiales d'uranium. Ils furent même dépassés par les Européens au niveau du retraitement, stade stratégique pour l'entrée dans l'économie du plutonium.

3.3.1 Les sources d'uranium

Jusqu'à la guerre, la production mondiale d'uranium émanait essentiellement du Congo belge et ne dépassait pas 8000 tonnes par an. Les activités de prospection et d'exploitation des gisements s'accroissaient par la suite considérablement et, en 1959, la production dépassait 33.000 tonnes (Ministère de l'Industrie, 1979, p. 45); elle provenait en quasi totalité de six pays: les Etats-Unis, le Canada, l'Afrique du Sud (90 % à eux trois), l'Australie, la France et le Congo belge. Jusqu'à cette époque, les prix mondiaux de l'uranium étaient restés très élevés, la demande ayant essentiellement correspondu à l'accroissement des besoins militaires.

Un certain tassement se manifesta alors et l'industrie de l'uranium marqua le pas jusqu'en 1967, date à laquelle la production tomba à 16.000 tonnes. Une reprise fut enregistrée vers la fin des années 60, au moment où le Canada et les Etats-Unis constituèrent des stocks en vue du développement de l'électro-nucléaire. Mais ce n'est qu'à partir de 1975 que la production mondiale d'uranium a véritablement démarré: elle atteignit 23.000 tonnes en 1976 et 27.000 tonnes en 1977.

Dès la crise du pétrole, les prix de l'uranium connurent une progression rapide, particulièrement ceux concernant des livraisons immédiates. Cette hausse se fit aux dépens de Westinghouse qui avait imprudemment garanti à ses clients un prix moyen de \$ 9.50 par livre, et cela jusqu'aux années 90. Malheureusement, l'entreprise américaine ne s'était pas couverte à long terme auprès des compagnies minières indigènes¹.

Cette opération de promotion de centrales nucléaires se traduisit donc par des pertes énormes (dont le montant exact reste à définir) malgré la procédure judiciaire engagée contre les membres de l'Institut de l'uranium (fondé en juin 1975) et l'interruption des livraisons de combustible en septembre 1975. Au total, une trentaine de producteurs d'uranium furent accusés de manœuvres cartellaires, mais Westinghouse elle-même fut attaquée en justice par un nombre à peu près aussi élevé de compagnies d'électricité.

L'incident qui vient d'être décrit laisse émerger l'importance du marché de l'uranium pour les fournisseurs de centrales nucléaires.

1) Pour protéger les producteurs d'uranium nationaux suite à la diminution des besoins militaires, le gouvernement américain avait décidé de limiter à l'uranium national le droit d'enrichissement des consommateurs privés américains. Ce véritable embargo sur l'achat d'uranium étranger devait se prolonger jusqu'en 1977; la libéralisation complète du marché étant prévue pour 1983 (Goldschmidt, 1980, p. 382). Les effets de cet embargo se traduisirent aux Etats-Unis par le maintien d'un prix relativement élevé, et à l'étranger par une concurrence sauvage qui entraîna une baisse continue des prix.

Cependant, ce marché comporte un risque grave. On sait, en effet, que l'uranium n'est pas seulement utilisé comme combustible de réacteurs.

A la suite de l'explosion de la première bombe atomique indienne, en 1974, et malgré les contrôles de l'A.I.E.A., certains gouvernements commencèrent à peser d'une façon sensible sur les transactions commerciales. Le Canada en particulier exigea de ses clients des garanties spécifiques d'utilisation des matières nucléaires, lesquelles dépassaient celles convenues dans le cadre de l'A.I.E.A. et de l'Accord de Londres. Le Canada décida même de suspendre ses exportations à destination du Japon, des pays de la Communauté européenne et de la Suisse au début de 1977. Un accord conclu à la fin de 1977 a permis la reprise des livraisons vers le Japon et certains pays d'Europe, mais il n'en reste pas moins que ce type de mesure se révéla contre-productif en contribuant à l'instauration d'un climat de méfiance entre producteurs et acheteurs. Une telle attitude devait non seulement gêner les compagnies d'électricité, mais elle empêcha l'écoulement normal de la production des compagnies minières canadiennes (dont certaines sont en mains étrangères) et joua de mauvais tours au fournisseur national de centrales (AECL).

Selon une étude de l'Agence pour l'Energie Atomique (AEN) élaborée conjointement avec l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), la réduction de la demande en combustible nucléaire a passablement retardé la date d'une rupture d'approvisionnement: elle ne serait prévue, au plus tôt, que vers la fin de ce siècle.

L'étude mentionnée (AEN/AIEA, 1979) distingue les réserves raisonnablement assurées des ressources supplémentaires estimées en fonction de divers critères techniques et du coût d'extraction. Bien qu'entachée d'un certain arbitraire, la constitution des catégories n'en donne pas moins une bonne image des réserves d'uranium dans le monde occidental.

Tableau 21

LES RESERVES D'URANIUM DU MONDE OCCIDENTAL*

	Réserves (en milliers de tonnes) à un prix:									
	inférieur à 80 \$/kg		entre 80 \$/kg et 130 \$/kg				total			
	connues	%	estimées	%	connues	%	estimées	%	connues	%
Etats-Unis	531	28.7	773	52.2	177	23.9	385	39.7	708	27.3
Canada ¹	215	11.6	370	25.0	20	2.7	358	36.9	235	9.1
Afrique du Sud	247	13.4	54	3.6	144	19.5	85	8.8	391	15.1
Australie	290	15.7	47	3.2	9	1.2	6	0.6	299	11.5
Suède	0	0	0	0	301	40.7	3	0.3	301	11.6
Niger	160	8.6	53	3.6	0	0	0	0	160	6.2
Namibie	117	6.3	30	2.0	16	8.1	23	2.4	133	5.1
Brésil	74	4.0	90	6.1	0	0	0	0	74	2.9
France	40	2.2	26	1.8	16	8.1	20	2.1	55	2.1
Autres	176	9.5	37	2.5	57	7.7	90	9.3	234	9.0
Total	1850	100.0	1480	100.0	740	100.0	970	100.0	2590	100.0

* Sans l'URSS et les pays du bloc de l'Est et sans la Chine.

Source: AEN/AIEA, 1979.

1) A un prix inférieur à 125 can \$/kg et à un prix inférieur à 175 can \$/kg.

Ce tableau montre l'importance des quatre principaux pays que sont les Etats-Unis, le Canada, l'Afrique du Sud et l'Australie par rapport aux réserves comptables en uranium. Ils possèdent à eux seuls près de 70 % des réserves connues aux conditions les plus favorables et 84 % des réserves estimées à ces mêmes conditions. Les Etats-Unis et le Canada disposent encore de plus de 70 % des réserves estimées à des prix oscillant entre 80 et 130 \$/kg tandis que la Suède détiendrait près de 40 % des réserves connues dans cette même marge de prix¹.

Près de 63 % de l'uranium contenu dans des gisements connus se trouverait dans les quatre principaux pays déjà mentionnés. En ce qui concerne le total des réserves estimées, les Etats-Unis et le Canada disposeraient de 77 % des réserves du monde occidental.

On constate aussi que la majeure partie des réserves connues ou estimées du monde occidental se situe dans les pays industrialisés. La géographie des gisements d'uranium n'a donc rien à voir avec celle du pétrole.

Au niveau des groupes de producteurs², le leader mondial est sans conteste la société Rio Tinto (RTZ), firme minière multinationale ayant son siège en Grande-Bretagne. Elle possède des mines d'uranium au Canada, en Australie, aux Etats-Unis et en Namibie.

La COGEMA³ française semble être la deuxième société productrice du monde de par le contrôle qu'elle exerce sur l'essentiel des réserves métropolitaines et grâce à son accès privilégié dans les mines du Niger et du Gabon.

1) La perspective de leur exploitation est peu probable étant donné certaines difficultés techniques et l'opposition des écologistes.

2) Cf. Réal, 1978, pp. 110-112.

3) En 1976, l'organisme public français pour l'énergie atomique, le CEA, a érigé son ancienne direction des productions en une filiale de droit privé: la COGEMA, dont il détient la totalité du capital-actions.

Avec la CFP, Kong Trieu¹ et surtout les groupes IMETAL² et PUK³, la France contrôlerait près de 10 % des réserves d'uranium naturel du monde occidental. Encore faut-il souligner que la France ne peut assurer son approvisionnement que grâce à son influence politique sur des républiques de l'uranium que sont, à des degrés divers, le Niger, le Gabon, le Centrafrique ou le Tchad. Mentionnons enfin que les investissements français à l'étranger pour le développement et l'exploitation de gisements d'uranium se font en général avec des participations étrangères privées: au Niger, les Allemands participent à SOMAIR et à DJAPO⁴, les Espagnols et les Japonais à COMINAK, les Italiens à SOMAIR, tandis qu'en Centrafrique, les Suisses participent à URCA⁵.

A part cela, la réalité géopolitique recouvre à peu près la réalité économique du marché de l'uranium. Les producteurs des Etats-Unis, du Canada, de l'Afrique du Sud et de l'Australie sont aussi des détenteurs importants de mines d'uranium. Mais le rôle que chacun d'eux sera amené à jouer dans l'avenir ne manquera pas de varier en fonction de l'épuisement des gisements et de l'évolution de la demande.

-
- 1) Du groupe Empain-Schneider.
 - 2) Le groupe IMETAL, contrôlé par les banques d'affaires de SUEZ et Rotschild (et indirectement par le gouvernement français après 1981) contrôle lui-même PENNAROYA, MOKTA et la CFMU.
 - 3) Le groupe PUK est associé à la CFP dans MINATOME.
 - 4) L'approvisionnement en uranium naturel de la République fédérale d'Allemagne est l'affaire de deux firmes: la Uranerzbergbau (U.E.B.G.) - contrôlée par la compagnie d'électricité RWE - et l'Uranengesellschaft (U.G.) - détenue à parts égales par la Metallgesellschaft, Steag (avec pour principal actionnaire RWE) et VEBA (propriété de l'Etat allemand) -. Ces firmes ne couvrent qu'une portion relativement faible des besoins nationaux et ne disposent que de réserves infimes sur leur territoire national.
 - 5) Le capital-actions de cette société est détenu à raison de 1/3 par le Centrafrique, 1/3 par l'Alsace et 1/3, à parts égales, par la COGEMA et la CFMU.

Les prévisions concernant l'évolution de la puissance nucléaire installée servent de point de départ pour le calcul des besoins en combustible. D'après les résultats de l'INFCE¹, la demande en uranium peut être évaluée avec une assez grande précision jusqu'en 1990, compte tenu des données techniques² et de la durée de vie des installations qui sont en état de fonctionner au moment des calculs. Après 1990, les prévisions sont plus aléatoires et dépendent des technologies qui seront mises en oeuvre.

Si l'on admet que l'économie du plutonium ne se réalisera pas d'ici l'an 2000, la demande cumulée d'uranium correspondrait à un peu plus de deux millions de tonnes, soit à un montant inférieur aux ressources raisonnablement assurées à un prix inférieur à 130 \$/kg d'uranium.

Dans l'hypothèse la plus favorable, correspondant à une croissance faible de la puissance installée, au retraitement de l'uranium et du plutonium et à la réalisation d'un nombre maximal de surrégénérateurs, la consommation cumulée ne devrait pas dépasser 1,5 million de tonnes en l'an 2000.

O'ici la fin de ce siècle, l'approvisionnement en uranium ne devrait donc pas poser de problème et l'on peut déjà dire que l'approvisionnement en uranium sera possible jusqu'en l'an 2010.

3.3.2 La conversion

La conversion est un procédé chimique qui permet d'obtenir des produits de pureté nucléaire qui servent soit à la fabrication des éléments de combustibles pour réacteurs à uranium naturel, soit à l'alimentation des usines d'enrichissement.

1) International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (cf. 5.4.)

2) Les besoins relatifs à chaque étape du cycle du combustible peuvent être déterminés d'une façon précise en fonction d'une estimation de la demande de combustible.

Cinq firmes seulement assurent la fabrication d'hexafluorure d'uranium dans le monde non communiste; il s'agit de Allied Chemical (Etats-Unis), de COMURHEX¹ (France), de BNFL (Grande-Bretagne), de Eldorado Nuclear (Canada) ainsi que de Kerr Mac Gee (Etats-Unis). En 1980, elles disposaient d'une capacité de 43.700 tonnes environ qui devrait être portée à 62.700 tonnes vers le milieu des années 80. Jusqu'à présent, le prix de la conversion est resté relativement bas étant donné l'excédent des capacités installées.

3.3.3 L'enrichissement

C'est l'une des étapes les plus importantes du cycle du combustible. L'histoire de la séparation isotopique est liée au prodigieux effort militaire accompli aux Etats-Unis. Ceux-ci choisirent très rapidement le procédé de la diffusion gazeuse et parvinrent en 1955 à la réalisation d'un complexe industriel capable de produire 17 millions d'UTS² par an. Jusqu'en 1968, les Etats-Unis conservèrent le monopole de l'enrichissement à des fins civiles dans le monde occidental. Mais l'U.R.S.S., la Grande-Bretagne, puis plus tard la France et la Chine ont aussi construit des usines de taille plus modeste mais toutes fondées sur le procédé de la diffusion gazeuse.

Après la détente américano-soviétique intervenue en 1964, les capacités d'enrichissement installées aux Etats-Unis furent en grande partie sous-utilisées. Le gouvernement américain décida alors de renoncer au monopole des matériaux fissiles concentrés et d'en autoriser³ la propriété privée. Les compagnies d'électricité sans dis-

1) Le capital de COMURHEX est détenu par la SCUP (PUK) pour 51 %, la COGEMA pour 39 % et IMETAL pour 10 %.

2) UTS: unité de travail de séparation. Il faut environ 100.000 UTS pour alimenter une centrale de 1000 MWe pendant 1 an.

3) Cette autorisation se transforma en obligation dès 1973, après une période transitoire.

crimination d'origine se virent octroyer de la même façon la possibilité de négocier des contrats d'enrichissement à partir de leur propre uranium. Les pays étrangers accédèrent ainsi au droit de faire enrichir leur propre uranium naturel dans les usines américaines aux mêmes conditions financières que les compagnies d'électricité des Etats-Unis, c'est-à-dire à des prix fixés unilatéralement par le gouvernement américain à un niveau relativement bas¹ (Goldschmidt, 1980, p. 382).

Dès lors, les compagnies d'électricité purent enrichir leur propre uranium et en conserver la propriété. L'exportation de l'uranium enrichi et son retraitement après irradiation restèrent néanmoins soumis à l'approbation de Washington.

Tout avait donc été prévu pour faciliter la pénétration des centrales à eau légère et uranium enrichi sur les marchés occidentaux et pour renforcer le contrôle des Etats-Unis sur l'internationalisation de la technologie nucléaire.

Mais en 1968, le vice-président du Comité d'Etat soviétique pour l'énergie atomique annonça à l'AIEA que son pays était prêt à enrichir l'uranium jusqu'à une teneur de 5 % (Goldschmidt, 1980, p. 390). Deux ans plus tard, les commandes occidentales commencèrent à affluer: ce fut la première brèche dans le monopole américain.

Par ailleurs, le 5 mars 1970, le jour même de l'entrée en vigueur du T.N.P.², fut signé un accord entre la Grande-Bretagne, les Pays-Bas et la République fédérale d'Allemagne instituant les sociétés Urenco³

1) Les usines d'enrichissement étaient considérées comme amorties par le programme militaire.

2) Traité de Non-Prolifération (cf. annexe).

3) Urenco poursuit comme but la fourniture de services d'enrichissement.

et Centec¹. Cet accord devait conduire à la mise en service de deux petites usines d'enrichissement, l'une à Almelo, aux Pays-Bas, et l'autre à Capenhurst, en Angleterre².

Avec la crise du pétrole et l'accélération des programmes nucléaires dans le monde, des firmes belges, espagnoles, italiennes et suédoises ainsi que le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) décidèrent la création d'une usine d'enrichissement à Tricastin (France)³. Très tôt, les Suédois quittèrent la société nouvellement créée, dénommée EURODIF, tandis que des capitaux iraniens s'y plaçaient. La crainte d'une rupture d'approvisionnement et la volonté de briser le monopole américain avaient donné l'impulsion qui allait aboutir à l'indépendance européenne en matière d'enrichissement. En effet, c'est en 1979 que les premiers fûts d'uranium enrichi sortirent de l'usine.

Après que l'Iran ait remis en question sa participation dans EURODIF, l'Italie décida de limiter sa part de 25 % à 16 %. La COGEMA française qui participait directement, à raison de 27,8 % à la société, et indirectement - par l'intermédiaire de la Sofidif - à raison de 15 %, décida de combler la lacune laissée par l'Italie. La Sofidif, qui possède 25 % du capital de EURODIF, appartient à la COGEMA à raison de 60 % et à l'Iran à raison de 40 %.

En 1980, l'installation passa donc sous contrôle français, la Belgique et l'Espagne conservant leur part de 11,1 %.

-
- 1) Centec est responsable de la conception et de la réalisation des installations d'Urenco, elle est le centre de R&D des associés.
 - 2) Le procédé utilisé est celui de la centrifugation, dont la consommation d'électricité serait dix fois moindre que pour la diffusion gazeuse.
 - 3) En 1982, sa capacité devait être portée à 10,8 millions d'UT5.

Au début des années 80, Eurodif couvrait près d'un quart des besoins du monde occidental. Elle ouvrait aussi à l'Europe l'accès à une capacité autonome d'enrichissement¹.

Mais d'autres usines commencèrent à produire de l'uranium enrichi un peu partout dans le monde. En 1979, le Japon avait mis en service une installation pilote d'une capacité de 50 tonnes par année à partir d'un procédé de centrifugation. En 1981, c'était au tour de l'Afrique du Sud: grâce à un procédé de séparation par effet aérodynamique, elle avait réussi à produire de l'uranium enrichi à 45 % pour approvisionner son réacteur expérimental.

Par ailleurs, le Pakistan était en train de construire une usine d'enrichissement à partir de plans subtilisés par un ingénieur pakistanaï dans l'usine des Pays-Bas. Tout le matériel nécessaire aurait été acquis par la suite grâce à un réseau de sociétés qui se seraient approvisionnées librement sur le marché de divers pays occidentaux, dont la Suisse. Cette affaire ne fut pas sans effet pour notre pays, le gouvernement des Etats-Unis ayant fait savoir qu'il refuserait d'enrichir l'uranium destiné aux centrales suisses; il alla même jusqu'à refuser le transfert des combustibles irradiés à l'usine de retraitement de la Hague. Après l'élection de M. Reagan, le "malentendu" fut rapidement dissipé.

D'un point de vue économique, les besoins d'enrichissement devraient être assurés par les usines en service et en construction jusque vers la fin des années 80. Les plans pour de nouvelles usines laissent

1) Aux environs de 1990, 10 % de la capacité de Eurodif devrait être mise à la disposition de pays autres que les partenaires d'origine. Des accords ont été conclus avec la République fédérale d'Allemagne, le Japon et la Suisse.

espérer qu'il n'y aura pas de goulet d'étranglement jusqu'en 1995¹. De nouvelles capacités seraient donc à prévoir d'ici la fin du siècle. Une certaine souplesse peut être conservée en jouant sur les possibilités de substitution entre uranium naturel et travail de séparation isotopique. En effet, pour obtenir une quantité donnée d'uranium enrichi à une teneur fixée, la quantité d'uranium naturel nécessaire et le travail d'enrichissement correspondant varient en sens inverse lorsque l'on fait varier la teneur de rejet.

Dans l'avenir, on peut imaginer que les clients fixeront dans certaines limites la teneur de rejet un certain temps avant l'enrichissement, en tenant compte de leur approvisionnement en uranium et des conditions économiques, et que les enrichisseurs opéreront avec une teneur de rejet qui dépendra de leurs intérêts propres.

3.3.4 La fabrication des éléments de combustible

Les éléments de combustible doivent être particulièrement adaptés aux réacteurs qu'ils alimentent. Il n'est donc pas étonnant de constater que la quasi totalité des producteurs du monde occidental soient liés aux fournisseurs de centrales.

-
- 1) Pour le moment, la conversion et l'enrichissement de l'uranium destiné aux réacteurs allemands sont effectués à l'étranger. Cette situation devrait néanmoins changer d'ici le milieu des années 80, époque à laquelle l'usine d'enrichissement de Gronau devrait entrer en service. D'une capacité de 400.000 UTS, cette unité sera sans doute étendue par la suite; elle utilisera le procédé de la diffusion gazeuse développé par Urenco et sera exploitée par son propriétaire, la société Uranit, dont les actionnaires sont VEBA (40 %), Nukem (40 %) et Hoechst (20 %). La construction est assurée par la société Centec, dans laquelle les partenaires allemands -KWU et MAN- sont les principaux fournisseurs. Au Japon, une installation d'une capacité de 250 UTS devrait aussi être mise en service en 1986.

Aux Etats-Unis, les firmes General Electric, Westinghouse, Babcock & Wilcox, ainsi que Combustion Engineering tiennent le marché. Mais un fabricant indépendant, Exxon Nuclear a aussi réussi à s'imposer.

En République fédérale d'Allemagne, deux entreprises seulement, Nukem et KWU, sont directement impliquées dans la fabrication de l'élément combustible. Nukem appartient à la fois à Oegussa (45 %), RWE (25 %), Metallgesellschaft (10 %) et RTZ (10 %). Avec KWU, elle a fondé la Reaktor-Brennelement Union (60 % KWU, 40 % Nukem) pour la production d'éléments d'uranium; avec Alkem (60 % KWU, 40 % Nukem), pour la production d'éléments de combustible au plutonium. Par ailleurs, elle est l'unique actionnaire de Hobeg, laquelle fabrique des éléments de combustible pour réacteurs à haute température.

En France, la Franco-Belge de Fabrication de Combustible (FBFC), avec une participation majoritaire de EUROFUEL¹, approvisionne les centrales à eau légère pressurisée.

Les autres fabricants notables sur le plan mondial sont ASEA-Atom et les licenciés de General Electric et de Westinghouse au Japon.

3.3.5 Le retraitement

Le retraitement des combustibles irradiés a pour but la séparation des matières recyclables (plutonium et uranium), principalement des déchets radioactifs. Il présente un grand intérêt puisqu'il concerne à la fois la sûreté, l'utilisation des matières nucléaires et l'économie du cycle du combustible. Mais il fait aussi l'objet de controverses politiques, dont les enjeux commerciaux, stratégiques, de l'environnement et sociaux sont considérables.

1) Sont partenaires dans EUROFUEL: PUK (51 %), Westinghouse (35 %), Framatome (10 %) et Creusot-Loire (4 %).

Dans la mesure où les problèmes de mise en valeur de cette technologie peuvent avoir déterminé l'ampleur des commandes de réacteurs depuis la seconde moitié des années 70, il est important d'en esquisser un rapide bilan.

Le procédé purex, actuellement utilisé, a été développé tout d'abord à des fins militaires. Il permet aussi l'élimination de la plus grosse partie des radionucléides à vie longue en les recyclant dans les réacteurs nucléaires et limite la nécessité du stockage des déchets au cas des radio-éléments à vie courte.

En effet, les combustibles irradiés dans des réacteurs à eau ordinaire contiennent encore de l'uranium enrichi et du plutonium. Si on les recycle, les besoins en matières premières et en travail de séparation diminuent.

Bien que le plutonium soit une matière utilisable dans les réacteurs de la première génération, il est surtout considéré comme l'élément fissile indispensable au fonctionnement des surrégénérateurs. Ces derniers peuvent ensuite produire plus de plutonium qu'ils n'en consomment à partir de l'uranium appauvri rejeté par les usines d'enrichissement.

On comprend donc qu'il existe une complémentarité entre le cycle du combustible et les surrégénérateurs, la pénétration de ces derniers étant théoriquement limitée par la quantité de plutonium extraite des réacteurs.

Pour le moment, seule la France possède une usine commerciale de retraitement des combustibles oxydes (sortant des réacteurs à eau légère): il s'agit de l'UP2 à la Hague. Mise en service en 1966, elle a tout d'abord été utilisée pour le retraitement des combustibles provenant des réacteurs graphite-gaz. Plus tard, il lui a été adjoint

une installation permettant de retraiter les combustibles oxydes provenant des réacteurs à eau légère. Les premiers essais ont été effectués en 1976 et l'autorisation définitive du gouvernement en vue d'une exploitation commerciale est intervenue en 1978. Sa capacité de retraitement devrait atteindre 400 tonnes par an dès 1982. Une seconde tranche d'une capacité égale devrait être mise en service vers le milieu des années 80, tandis que des projets de construction des deux tranches de l'usine UP3 devraient porter de 800 à 1600 tonnes par an la capacité totale du complexe de la Hague avant 1990¹.

Il existe d'autres usines de retraitement des combustibles oxydes dans le monde: une installation d'une capacité de 35 tonnes par an fonctionne en République fédérale d'Allemagne (WAK, Karlsruhe) depuis 1970, une autre au Japon (Tokaï Mura²) depuis 1977.

Pour les combustibles des centrales graphite-gaz, la France dispose d'une usine de retraitement à Marcoule (UP 1), depuis 1958, d'une capacité de 800 à 1000 tonnes par an (l'usine de la Hague a aussi été construite en vue de retraiter des combustibles métalliques).

En Grande-Bretagne, une installation analogue a été mise en service en 1964, à laquelle a été adjoint une "tête" oxyde en 1969. Pour des raisons techniques, l'exploitation de cette nouvelle tranche a été arrêtée en 1973.

L'Europe - la France en particulier -, est donc bien placée au niveau du retraitement. En effet, la situation paraît bloquée aux Etats-Unis, en raison des difficultés technologiques rencontrées et des réglemen-

1) L'usine UP3 est financée par plusieurs pays avec lesquels la COGEMA a passé des contrats. Elle est donc principalement destinée à recevoir des combustibles étrangers. La construction devrait débuter en 1982.

2) Installation d'essais, tout comme celle de Karlsruhe, mais conçue par les Français.

mentations extrêmement sévères en matière de sécurité; par ailleurs, l'importance des réserves indigènes en uranium réduit l'attrait du retraitement.

Après l'élection du président Reagan, un net changement d'attitude s'est manifesté. Le retraitement commença à être perçu comme une nécessité à long terme.

Le Japon et la République fédérale d'Allemagne ont élaboré des projets qui, au cours de ces prochaines années, leur permettront de se libérer, en partie tout au moins, du monopole existant¹. En effet, en République fédérale d'Allemagne a été émise la crainte que la France ne profitât de sa position pour en tirer des avantages sur le marché des centrales nucléaires clé-en-main.

Ainsi, les options prises au début des années 80 pourraient marquer un revirement en faveur de l'industrie nucléaire toute entière. Cependant, de nombreux problèmes technologiques et juridiques sont encore à résoudre avant que le retraitement, et surtout les surrégénérateurs, ne viennent à s'imposer comme des éléments rationnels des systèmes nucléaires futurs.

1) La société DWK, réunissant une douzaine de compagnies d'électricité allemandes, qui est membre de la United Reprocessors, envisage la mise en service d'une usine de retraitement relativement importante (capacité: 350 tonnes par an) à Hessen, vers le début des années 90.

Au Japon, les plans pour une installation de 1200 tonnes par an sont déjà bien avancés et l'on compte avec une mise en service autour de 1990.

La Suisse est évidemment intéressée au retraitement des combustibles irradiés et au recyclage du plutonium¹. Ses besoins sont tout de même trop faibles pour justifier la réalisation d'une installation indigène de retraitement. Les compagnies d'électricité suisses propriétaires de centrales nucléaires ont donc conclu des contrats avec la COGEMA et la BNFL qui devraient couvrir entre 50 et 85 % de leurs besoins. Pour ce qui est des combustibles restant, un système de stockage devrait être prévu en Suisse.

3.3.6 Le stockage des déchets

C'est en avril 1978 que les compagnies d'électricité suisses ont signé avec la COGEMA un contrat portant sur le retraitement des combustibles irradiés provenant des centrales en service (8eznau I et II, Mühleberg) et de celles qui le seront au cours des prochaines années (Leibstadt, Kaiseraugst, Graben). Ensemble, elles entraîneraient la formation de quelque 12,5 m³ de déchets vitrifiés par année, soit à peu près 500 m³ durant les quarante années de leur activité. Ces déchets seront envoyés en Suisse après 1990 pour être stockés définitivement.

Pour accroître leur marge de manoeuvre, les compagnies d'électricité ont prévu des capacités de stockage des combustibles irradiés à proximité des centrales.

Les cavernes du réacteur expérimental de Lucens, vidée depuis quelque temps déjà, entreraient aussi en ligne de considération en cas de difficulté.

1) Elle a effectué des travaux de pionnier dans ce sens.

Chapitre 4:

Les stratégies des entreprises suisses.

Introduction

Pour l'essentiel, les entreprises de l'industrie nucléaire suisse sont restées des fournisseurs de composantes. Il y a plusieurs raisons à cela:

- a) le marché suisse s'est avéré trop étroit pour soutenir le développement et la mise en valeur d'un réacteur de conception originale;
- b) la firme BBC s'est engagée dans le développement d'un type de centrale qui n'a toujours pas franchi la phase de démonstration;
- c) les Américains ont pratiqué une politique commerciale incisive qui a contribué au découragement des entreprises réunies au sein de Therm-Atom.

BBC a néanmoins fourni les centrales de Beznau en collaboration avec Westinghouse ainsi que les centrales de Mühleberg et de Leibstadt¹ avec General Electric.

Dans le domaine de réacteurs à haute température, BBC a réalisé avec Krupp une installation expérimentale à Jülich et termine la construction d'une centrale de 300 MWe à Hamm-Uentrop² (République fédérale d'Allemagne). Le groupe prévoit aussi la livraison de ses premières centrales à eau légère pressurisée en 1984 (Neupotz 1) et 1985 (Mülheim-Kärlich) en République fédérale d'Allemagne.

1) La mise en service de cette centrale est prévue pour 1984.

2) Le THTR-300 (Thorium Hochtemperaturreaktor).

4.1 L'échec de BBC sur le marché français

BBC a pu mettre en valeur des turbogroupes pour centrales nucléaires dans plusieurs pays. La firme de Baden a reçu un nombre appréciable de commandes en provenance d'Amérique du Nord: une en 1967 (Donald Cook 2), deux en 1971 (Bellefonte 1 et 2), quatre en 1974 (Hartsville A-1/2 et B 1/2), deux en 1975 (Phipps Bend 1 et 2) et quatre en 1978 (Darlington 1 à 4, au Canada). Elle a aussi imposé sa technologie en Suède où sa licenciée, Stal-Laval, a enregistré quinze commandes.

C'est en France que BBC a pris le départ le plus prometteur. La Compagnie Electro-Mécanique (CEM), sa filiale, a livré les turbogroupes des centrales de Brennilis, de Bugey I (parties haute pression) et de Phenix (surrégénérateur), commandés en 1962, 1966 et 1969. Par la suite, entre 1974 et 1976, la CEM a reçu d'autres commandes pour les centrales de St Laurent-des-Eaux (III et IV), Doel IV et Tihange III (les deux en Belgique), ainsi que Chinon B 1. Mais la pression exercée par le gouvernement français en vue de compléter le dispositif industriel et technologique national dans le domaine nucléaire a conduit le groupe BBC à abandonner la fabrication de grosses machines dans sa filiale du Bourget. En 1977, ce domaine d'activité a été repris par Alsthom-Atlantique qui est ainsi devenu le seul producteur de turbogroupes pour centrales nucléaires en France. En contrepartie, la firme d'Outre-Jura s'est engagée à verser des royalties au groupe suisse sur toutes les turbines de plus de 100 MWe qu'elle produirait durant les quinze prochaines années, et cela, quelle que soit l'origine de la technologie mise en oeuvre.

Les choses n'en sont pas restées là. La volonté d'indépendance qui caractérise la politique nucléaire française s'est traduite par un nouveau coup d'éclat. Très rapidement, Alsthom-Atlantique s'est trouvée en mesure de proposer à l'EdF une nouvelle génération de turbogroupes de 1300 MWe sans le support de la technologie suisse. Durant l'année 1981, la firme française a donc tenté de renégocier l'accord conclu avec BBC.

En conclusion, on peut dire que le groupe suisse a été exclu d'un marché important, malgré son avance technologique¹. Cette annexion d'une grosse partie des activités de la CEM par Alsthom-Atlantique a non seulement posé de graves problèmes de restructuration², mais elle a aussi privé BBC d'une base industrielle non négligeable. De son côté, Alsthom-Atlantique a bénéficié d'un transfert de technologie et s'est imposée comme une concurrente sérieuse sur le marché mondial des turbogroupes à vapeur.

-
- 1) La CEM avait déjà réalisé un turbogroupe de 1300 MWe avant l'accord conclu avec Alsthom-Atlantique.
 - 2) En janvier 1981, à l'occasion d'une augmentation de capital, BBC a accru sa part dans la CEM de 39,2 % à 73,8 % pour mieux reprendre en main une société importante, mais dont les déficits sont devenus inquiétants.

4.2 Le redéploiement de BBC

A défaut de pouvoir poursuivre son effort de développement en France, BBC s'engagea d'une façon décisive en République fédérale d'Allemagne. Au début de 1978, la part minoritaire que détenait jusqu'alors BBC-Mannheim dans la Babcock-Brown Boveri Reaktor GmbH fut transformée en part majoritaire (60 % du capital-actions) avec l'appui financier de la maison-mère. Grâce à cette opération, BBC comptait bien assurer sa place au sein des fournisseurs de centrales nucléaires. L'accident survenu à Harrisburg dans une installation livrée par Babcock & Wilcox jeta une ombre sur ce projet, quoique la technologie mise en valeur en République fédérale d'Allemagne répondit à toutes les exigences de sûreté.

En 1980, BBC acquit le reste des actions de la Babcock-Brown Boveri Reaktor GmbH et changea la dénomination de cette nouvelle filiale en Brown Boveri Reaktor GmbH (BBR). Jusqu'à cette époque, le marché allemand des centrales nucléaires de la première génération était resté assez étroit pour le consortium BBC-BBR. Celui-ci avait enregistré deux commandes de la Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG (RWE), l'une en 1973 (Mülheim-Kärlich), l'autre en 1977 (Neupotz !). Ces deux centrales étaient en cours de réalisation en 1981, leur achèvement étant prévu vers le milieu des années 80.

Sur les marchés extérieurs, le consortium n'avait enregistré aucun succès, malgré l'espoir, un instant caressé, de réaliser une centrale au Luxembourg.

Dans son discours prononcé à l'Assemblée générale ordinaire de BBC, le 1er juin 1978, le président Franz Luterbacher brossa le tableau de la restructuration et de la consolidation de l'entreprise. Après avoir souligné que BBC se trouvait à un tournant, il dégaga les améliorations enregistrées:

- le cash flow du groupe avait passé, en sept ans, de 211 à 645 millions de FS et de 4,3 à 7,9 % du chiffre d'affaires;
- cette progression ne s'était pas faite aux dépens de l'avenir, puisque les dépenses de recherche et développement avaient passé, durant la même période, de 300 à 700 millions de FS;
- la liquidité du groupe se trouvait à un niveau satisfaisant - plus de 2 milliards de FS -.

BBC avait choisi deux grandes voies pour son développement:

- la première devait permettre le renforcement du pouvoir de marché du groupe en Amérique du Nord; il s'agissait, en particulier, d'éviter les problèmes de taux de change rencontrés depuis le début des années 70;
- la seconde visait à élargir les activités du groupe dans la branche des moyens de production et de distribution d'énergie, le premier pas effectué dans ce sens l'ayant été lors de l'accroissement de la participation de BBC dans la Babcock-Brown Boveri Reaktor GmbH. La conviction partagée à l'époque était que l'engagement de BBC sur le marché des centrales nucléaires, malgré les résistances rencontrées, était justifié dans une perspective à long terme.

A propos du premier point, on peut dire que l'extension des activités de BBC en Amérique du Nord prit de l'ampleur depuis 1977, avec l'achat de la division des turbines à gaz de la société Turbodyne Corp., à Minneapolis¹. Au milieu de 1978, BBC conclut un contrat de collaboration avec la société Gould Inc., à Rolling Meadows (distribution d'énergie), et elle acquit la Control System Industries Division (CSI), à Santa Clara (technique de contrôle/commande pour le transport et la distribu-

1) La Turbodyne Corp. était une licenciée de BBC depuis 1971.

tion de pétrole, de gaz et d'eau). Enfin, l'année 1979 fut marquée par la création de l'entreprise commune Gould-Brown Boveri et par l'acquisition¹ d'une part de 49 % au sein de la société Howden Canada Limited² (anciennement Howden-Parsons, fournisseur de la quasi-totalité des turbogroupes pour centrales nucléaires au Canada), à Scarborough dans l'Ontario.

Cette dernière participation s'inscrivait dans le prolongement des importantes commandes passées en 1978 par Ontario Hydro, portant sur la livraison de turbogroupes à vapeur pour les centrales nucléaires de Darlington (4 x 881 MWe) et la centrale à charbon d'Atikokan (2 x 250 MWe).

Lors de la conférence de presse annuelle de BBC, en mai 1979, fut présenté le Groupe d'Amérique du Nord, nouvellement créé, à la suite des opérations mentionnées ci-dessus.

Les Etats-Unis ont toujours représenté un marché important pour BBC, que ce soit sur le plan du volume, à titre de marché-test ou de marché de référence. Ainsi, au cours des années 70, la part du marché nord-américain a formé entre 3,5 % et 6,1 % du chiffre d'affaires de la firme, soit un marché d'exportation important, surtout dans la branche des moyens de production et de distribution d'énergie.

-
- 1) En mai 1979, il ne manquait que l'approbation des autorités canadiennes pour qu'elle soit effective.
 - 2) Cette filiale de la société britannique Howden Group Limited, à Glasgow, est spécialisée dans la fabrication d'éléments statiques de turbines à vapeur et elle assure le montage, la mise en service et l'entretien de turbogroupes complets.

Entre 1966 et 1978, près de 32 % des commandes de turbogroupes à gaz et à liquides enregistrées par BBC sont venues de l'Amérique du Nord; la part des commandes de turbogroupes pour centrales nucléaires en provenance de cette même région a représenté, à elle seule, 14,8 % du total des commandes de turbogroupes à gaz et à liquides, alors que la part des commandes de turbogroupes pour centrales nucléaires a compté pour un peu plus d'un quart (25,4 %) du volume global des commandes de turbogroupes à gaz et à liquides (cf. tableau page suivante).

Une évolution aussi favorable de la demande encouragea la création de sociétés de vente et d'administration ainsi que la mise en place d'ateliers d'entretien et de fabrication¹. Avec la dévalorisation du dollar et l'incertitude liée aux fluctuations de cette monnaie, la nécessité de s'implanter plus solidement sur le marché nord-américain apparut encore plus évidente. L'extension des activités de BBC dans cette région du monde fut également motivée par l'accroissement des exigences de la clientèle et par l'élargissement des mesures protectionnistes.

Soulignons enfin qu'en 1979, BBC manifesta l'intention d'élargir le programme de fabrication de la Brown Boveri Turbomachinery Inc., à St Cloud, dans le Minnesota (anciennement la division "turbines à gaz" de la Turbodyne Corp.), de telle manière que celui-ci comprenne la construction de turbines à gaz et de moyenne puissance à vapeur, ainsi que les machines électriques correspondantes. A côté de cela, la participation dans la société Howden-Brown Boveri venait renforcer la base industrielle de BBC en Amérique du Nord et permettre la fabrication de turbines à vapeur de grande puissance ainsi que la construction d'appareils de réchauffage et de condensation.

1) Le premier pas dans ce sens fut franchi en 1974 déjà, avec l'ouverture d'un important atelier de réparation dans la filiale de North Brunswick, au New Jersey (Brown Boveri Corp.) - comprenant une fosse de vitesse pour l'équilibrage et les essais de marche des rotors - pour turbines à vapeur et alternateurs des puissances les plus élevées.

Tableau 22

COMMANDES DE TURBOGROUPES ENREGISTREES PAR BBC EN PROVENANCE DE L'AMERIQUE DU NORD (MVA)*

Année de commande	avec refroidissement à gaz et à liquides					pour centrales nucléaires				
	B	Etats-Unis M	Canada 8	T ₁	T	T ₁ -T x100	Etats-Unis B	Canada 8	T ₂	T _N T ₂ -T _N x 100
1966	29		129	572	4578	12	1333		296	676
1967	4221		414	4221	10009	42			1333	1789
1968	2024	1262		3286	9325	35				
1969	4332	134		4466	9954	45				
1970		722	1902	2624	12641	21	1390		1390	1002
1971	2960			2960	10181	28	2960		2960	1800
1972	722	757		1479	5773	28				2960
1973	1444			1444	9376	15				2817
1974	7164			7164	16716	43	5720		5720	9270
1975	2860	620		3480	14710	24	2860		2860	2860
1976	1444			1444	6621	22				3716
1977					5308					1200
1978	944	1588	4944	7476	12628	59		4404	4404	4404
Total				40616	127820	32			18963	32494
										58

MVA : puissance apparente

B : BBC-Baden; M: BBC-Mannheim; P: Cie Electro-Mécanique-Le Bourget.

T₁ : commandes de turbogroupes avec refroidissement à gaz et à liquides en provenance de l'Amérique du Nord.

T : total des commandes de turbogroupes avec refroidissement à gaz et à liquides.

T₂ : commandes de turbogroupes pour centrales nucléaires en provenance de l'Amérique du Nord.

T_N : total des commandes de turbogroupes pour centrales nucléaires.

Les transferts d'activités de BBC en Amérique du Nord ne se limitèrent pas au domaine des moyens de production d'énergie: ils s'étendirent à la conversion et à la distribution d'électricité. Après l'accord passé en 1978 et la création de la société Gould-Brown Boveri, BBC acheta la participation de son partenaire en 1980. Le nom de la société fut aussitôt transformé en Brown Boveri Electric Inc. (BBE).

BBE est issue de l'Electrical Systems Group (ESG) qui appartenait à Gould. Spécialisée dans la fabrication et la distribution de matériels et d'installations à haute et moyenne tension, elle pouvait assurer des débouchés pour des composants-clés fabriqués en Suisse, ainsi que d'importants revenus sur licences.

En 1980, BBE comptait près de 3600 personnes et représentait près de 63 % de l'effectif du groupe BBC en Amérique du Nord¹. Cet engagement dans le domaine de la conversion et la distribution d'énergie a encore été renforcé par l'achat de Compuguard Inc., spécialisée dans l'optimisation de systèmes de chauffage, de climatisation, d'éclairage et de sécurité, ainsi que dans la distribution d'électricité à moyenne et basse tensions. Plus récemment (juin 1981), BBC projetait d'acquérir les activités de Gould Inc. au Canada et en Australie dans le domaine des installations à haute et moyenne tensions.

En conclusion, le groupe BBC a suivi une stratégie de redéploiement qui l'a conduite à transférer une partie de ses activités en Amérique du Nord. L'engagement dans le domaine des turbogroupes pour centrales nucléaires et de grande puissance est resté limité; il souligne surtout la volonté d'honorer les commandes déjà enregistrées et de s'imposer sur le marché de l'entretien. Par contre, la construction de turbines à gaz, la conversion, le transport et la distribution d'électricité ont canalisé une bonne partie des ressources de BBC.

1) L'effectif du groupe BBC en Amérique du Nord avait passé à 5700 personnes en 1980 contre 500 personnes environ au début des années 70.

Tableau 23

DONNEES CONERNANT B8C

Groupe	1978	1979 (en mio de FS)	1980
Commandes	9.643	8.835	10.484
variation en %	+4	-8	+19
Chiffre d'affaires	8.102	8.799	10.059
variation en %	-1	+9	+14
Cash flow	579	485	412
en % du CA	7.1	5.5	4.1
Recherche et Développement	746	795	898
Investissements	409	462	544
Nb. personnes	98.500	101.400	105.300
Suisse ¹ :			
Commandes	2.820	2.617	2.374
part des exportations	8.1	75	86
Chiffre d'affaires	2.499	2.712	2.965
variation en %	+10	+9	+9
Nb. personnes	21.211	22.088	21.757

Source: Rapport aux actionnaires

1) Maison-mère, y compris Micafil, Sécheron et Rollar.

4.3 Le redéploiement de Sulzer

Le groupe Sulzer, le deuxième de l'industrie nucléaire suisse, chercha aussi à développer ses activités à l'étranger. Cette politique s'imposait, étant donné les difficultés d'accès aux marchés les plus dynamiques, l'évolution des taux de change et la répartition géographique de l'emploi et de la production du groupe.

Sulzer exerçait l'essentiel de ses activités en Europe et près de 70 % de sa production en Suisse jusqu'à la seconde moitié des années 70. En 1975, près de 60 % du personnel du groupe travaillait en Suisse.

Des usines importantes étaient situées en République fédérale d'Allemagne (Escher Wyss Ravensburg, Sulzer-Escher Wyss Lindau, Sulzer Weise Bruchsal), en France (CCM Mantes), en Grande-Bretagne (Sulzer Leeds), en Italie (De Pretto Escher Wyss, Schio) ainsi qu'en Espagne (Sulzer Escher Wyss à Madrid et à Barcelone).

Depuis le milieu de 1977, la compétitivité des produits exportés de Suisse s'est considérablement détériorée en raison de l'appréciation considérable du FS par rapport au dollar et au DM ainsi que des coûts de production - de la main-d'oeuvre tout particulièrement -, plaçant les Etats-Unis dans une situation plus favorable que la place industrielle suisse.

Par ailleurs, des restrictions aux importations ainsi que les préférences accordées aux producteurs indigènes dans de nombreux pays ont constitué des obstacles croissants à la pénétration des produits étrangers les plus sophistiqués. La création ou l'extension des capacités de production à proximité de la demande est donc apparue indispensable au maintien sur le marché.

C'est ainsi que Sulzer décida d'agrandir ses capacités de production de pompes en Grande-Bretagne (remplacement de la fabrique de Leeds), au Brésil, en Afrique du Sud, en Espagne, aux Pays-Bas (projet) et au Mexique (projet). D'autre part, Sulzer créa une entreprise commune au Japon avec la firme Toyoda pour la fabrication de machines textiles, une nouvelle halle pour la production de machines à papier dans l'usine de Talleres Coghlan en Argentine ainsi qu'une nouvelle unité en Espagne pour la fabrication de turbines hydrauliques et d'installations frigorifiques.

Dès 1978, ces transferts prirent une autre orientation pour se concentrer en Amérique du Nord. En mars, Sulzer acquit une participation minoritaire dans l'entreprise d'électronique Camsco Inc., à Dallas (systèmes automatiques pour l'industrie textile principalement), puis, moins d'une année plus tard, le contrôle de cette même entreprise. Cette dernière opération fut suivie d'une collaboration avec Allis Chalmers pour la production de moteurs diesels puis d'une autre encore avec la firme canadienne Dominion Bridge Limited - du groupe Canadian-Pacific - pour la mise en valeur de la technologie hydraulique de Escher Wyss en Amérique du Nord¹.

L'intérêt d'une implantation aux Etats-Unis était aussi apparu évident dans d'autres domaines.

Ainsi, en décembre 1979, la filiale Escher Wyss à Ravensburg fonda une entreprise commune avec la Diamond International Corp. de New York. Cette nouvelle unité avait pour buts la fabrication et la vente de machines pour l'industrie du papier aux Etats-Unis et au Canada. Les établissements de la Manchester Machine Division du groupe Diamond (rebaptisée Escher Wyss Manchester), à Middletown en Ohio, employaient quelque 250

1) Cf. NZZ, 31.1.1980, p. 15.

personnes au moment de la création de l'entreprise commune, mais toutes les machines pour l'industrie du papier du programme Escher Wyss pouvaient y être fabriquées. Sur la base de cette entreprise, bien établie sur le marché américain, ainsi qu'à partir des capacités de recherche et développement de Escher Wyss et Sulzer, les partenaires prévoyaient un développement substantiel de la nouvelle firme en Amérique du Nord.

Poursuivant sur sa lancée, Sulzer décida de construire une fabrique de machines à tisser pour soutenir ses capacités de ventes, de services et de formation déjà présentes aux Etats-Unis.

En juillet 1981, le groupe Sulzer a aussi participé à la création d'une entreprise commune au Mexique pour la fabrication de turbines hydrauliques et d'équipements pour centrales hydro-électriques sous licences Escher Wyss.

Cet effort d'implantation Outre-Mer est favorable au rétablissement de la situation financière du groupe suisse.

L'érosion de la compétitivité de Sulzer s'est traduite par une diminution importante des entrées de commandes entre 1974 et 1978. Au niveau du groupe, celles-ci passèrent de 4,6 à 3,0 milliards de FS; pour les sociétés, elles régressèrent de 3,0 à 1,8 milliards de FS. Durant la même période, l'emploi du groupe diminua de près de 11 %, tandis que celui des sociétés suisses chutait de 7,5 %. Par ailleurs, des concessions sur les prix réduisirent les marges et le cash flow enregistra un recul important (cf. tableau page suivante).

Tableau 24

DONNEES CONCERNANT LE GROUPE SULZER

Groupe	1976	1977	1978	1979	1980
	(valeurs monétaires en mio de FS)				
Entrée des commandes	3.467	3.396	3.027	3.514	4.544
variation en %	-6	-2	-11	+16	+29
Etat des commandes	5.000	4.600	4.100	4.500	5.200
variation en %		-8	-11	+10	+16
Chiffre d'affaires	3.529	3.503	3.481	3.109	3.821
variation en %	+8	-1	-1	-11	+23
Cash flow	279	251	201	186	196
% du CA	7.9	7.2	5.8	6.0	5.1
Bénéfice	107	84	45	35	29
en % du CA	3.0	2.4	1.3	1.1	0.8
Investissements	153	113	136	120	167
R&D	123	128	133	144	154
Personnes	35.511	33.860	33.621	33.876	34.931
Maison-mère:					
Entrée des commandes	1.671	1.637	1.404	1.821	2.419
variation en %	-12	-2	-14	+30	+33
Etat des commandes	2.600	2.300	1.700	1.900	2.500
variation en %		-12	-26	+12	+32
Chiffre d'affaires	1.883	1.945	2.072	1.645	1.873
variation en %	+4	+3	+7	-21	+14
Personnes	20.349	19.695	19.845	19.784	20.183

Source: Rapports aux actionnaires

Tableau 25

ENTREE DES COMMANDES PAR REGIONS (SULZER)

	1976	1977	1978	1979
	(en mio de FS)			
Suisse	713	649	587	711
CEE	1.001	1.149	970	1.118
Reste de l'Europe	415	590	392	374
Amérique du Nord	335	311	140	337
Amérique Latine	180	238	306	381
Asie, Australie.	483	169	308	236
Afrique	340	290	324	357
Total	3.467	3.396	3.027	3.514
Suisse	20.6	19.1	19.4	20.2
CEE	28.9	33.8	32.0	31.8
Reste de l'Europe	12.0	17.4	13.0	10.6
Amérique du Nord	9.7	9.2	4.6	9.6
Amérique Latine	5.2	7.0	10.1	10.8
Asie, Australie	13.9	5.0	10.2	6.7
Afrique	9.8	8.5	10.7	10.2
	100.0	100.0	100.0	100.0

Source: Rapports aux actionnaires

Il semble que le groupe Sulzer ait atteint le creux de la vague en 1979. En 1980, le chiffre d'affaires et l'état des commandes se sont améliorés considérablement tandis que le cash flow connaissait un léger rétablissement. Il semble que l'évolution des taux de change et, surtout, les transferts d'activités et de technologies en Amérique commencent à produire leurs effets.

Dans le domaine des moyens de production d'énergie, le redéploiement de Sulzer a surtout été marqué par la création, en 1979, de l'entreprise commune Dominion Bridge Sulzer Limited¹ (anciennement la Lachine Division de la firme Dominion Bridge, avec 1400 personnes en 1979) et, la même année, par la conclusion d'un accord de fabrication de moteurs-diesel pour la propulsion de navires avec la firme Allis-Chalmers Corp.

Cette dernière opération a permis à Sulzer de franchir une étape importante sur le marché des Etats-Unis. Elle s'inscrivait en effet dans le cadre d'une relance de l'industrie navale américaine par la production des premiers moteurs-diesel indigènes grâce à des subventions importantes. Mais la propulsion de bateaux ne semblait pas être le seul champ d'application commercial intéressant: le marché des moteurs-diesel aux Etats-Unis promettait de s'étendre aux compagnies d'électricité aussi bien qu'aux entreprises industrielles. Ainsi, la firme Hoffmann-La Roche projetait-elle d'acquérir une installation fonctionnant au diesel pour approvisionner en électricité et en vapeur son usine du New Jersey. D'autres contrats étaient en négociation pour des centrales de même type en Floride. Enfin, Sulzer espérait aussi équiper les trains américains de ses moteurs-diesel².

1) La répartition du capital-actions s'est fait à raison de 51 % pour Dominion Bridge et 49 % pour Sulzer.

2) Cf. NZZ, 30/31.8.1980, pp. 17/18.

En 1980, l'accroissement des revenus sur licences a permis à Sulzer de réduire ses pertes dans le domaine des moteurs-diesel et des installations pour bateaux. L'implantation sur le marché nord-américain, au regard des perspectives très intéressantes qu'il présentait, n'en devenait donc que plus intéressante. L'année suivante, les négociations entamées avec Allis Chalmers n'avaient toujours pas abouti, mais un contrat de licence fut signé avec la Wankesha Engine Division de la firme Dresser Industries Inc. concernant la fabrication de moteurs-diesel à marche rapide¹.

Dans le domaine des turbines à gaz et des turbocompresseurs, la concurrence de firmes comme Solar aux Etats-Unis ou Ruston en Grande-Bretagne, qui fabriquent en grandes séries et déterminent les prix mondiaux, se révéla si dure que la production dut être abandonnée. L'effort porta alors, dès 1979, sur le développement de nouveaux produits qu'il était projeté de fabriquer et de vendre dans le cadre d'une collaboration avec une entreprise américaine si possible.

En 1981, l'avenir de la production de turbines à gaz chez Sulzer était encore très incertain, tandis que les turbocompresseurs continuaient à se vendre très mal.

En ce qui concerne l'électro-nucléaire de la première génération, la stratégie et le développement de Sulzer consista, après la réalisation de Lucens, à livrer des composants pour la partie primaire des centrales. L'essentiel de la production s'était toujours faite en Suisse. Mais les pompes furent fabriquées à l'étranger à l'exception de certains composants (corps de pompe, pièces forgées) qui sont demeurés la spécialité des usines suisses.

1) Cf. NZZ, 27.4.1981, p. 7.

Pour l'essentiel, Sulzer livra des composants et installations relevant de ses domaines d'activité traditionnels: pompes, compresseurs, installations de réfrigération, de chauffage, de climatisation, centrales-diesel pour la production de courant de secours, vannes, etc. A cause de cela, on peut dire que l'engagement de Sulzer dans le nucléaire resta limité. En effet, le groupe ne réussit pas à s'imposer sur ce marché comme il l'avait fait au niveau des autres moyens de production d'énergie. Le recul de l'électro-nucléaire lui est donc favorable dans la mesure où il tend à être compensé par les commandes de centrales-diesel et d'installations hydro-électriques correspondant aux spécialités du groupe. Au début des années 80, Sulzer était donc en train de prendre une revanche sur les producteurs General Electric et Westinghouse¹ en se plaçant sur les créneaux les plus dynamiques du marché nord-américain des moyens de production d'énergie.

Par ailleurs, Sulzer est l'un des principaux constructeurs de compresseurs d'air et d'oxygène pour les installations de fractionnement d'air qui sont utilisées, notamment, pour la gazéification du charbon. Le groupe est aussi en mesure de livrer des centrales à cycle combiné gaz-vapeur; cette position pourrait être intéressante si la combustion du charbon en lit fluidisé venait à répondre aux besoins du marché.

Enfin, Sulzer est aussi capable de livrer des compresseurs cryogéniques pour la liquéfaction du gaz ainsi que des installations pour le stockage et la distribution de ce gaz.

1) Sulzer n'avait pas accordé de licence sur la fabrication de moteurs-diesel à Westinghouse, malgré les négociations qui avaient été engagées entre les deux groupes avant l'accord passé avec Allis-Chalmers.

Ainsi, au moment où l'électro-nucléaire semble avoir été mis en veilleuse, Sulzer a l'espoir de se maintenir solidement dans la branche des moyens de production d'énergie.

Dans l'industrie nucléaire, le potentiel de Sulzer reste malgré tout important. Le groupe s'est vu confier par la CEDRA (Société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs) un mandat pour la réalisation d'une étude portant sur le conditionnement et le stockage final de combustibles non retraités. Il peut aussi trouver un débouché important dans la gestion des combustibles irradiés. Enfin, KWU, jusqu'alors le meilleur client de Sulzer dans le domaine de l'électro-nucléaire, se présente comme l'un des seuls groupes au monde à pouvoir s'aligner sur les quelques marchés encore en expansion; Sulzer peut donc espérer conserver sa place de sous-traitant sur le marché de l'électro-nucléaire de la première génération.

Mais Sulzer, tout comme BBC, n'a pas voulu se contenter de cette position relativement marginale au sein de l'industrie nucléaire mondiale et s'est engagée, dès le début des années 70, dans le développement de composants-clés pour un système de réacteur à haute température, dit de la seconde génération.

Cet engagement fait l'objet du point suivant.

4.4 Le développement des réacteurs à haute température

L'industrie électro-nucléaire suisse s'est engagée très tôt dans le développement d'un type de réacteur de conception originale qui devrait pouvoir s'imposer un jour grâce à des performances techniques supérieures à celles des réacteurs à eau légère. A partir de 1970, l'accent de ce développement s'est déplacé en République fédérale d'Allemagne, mais il n'en demeure pas moins qu'une poignée d'entreprises suisses ont fourni une contribution essentielle à la réalisation de la centrale THTR-300 (Thorium Hochtemperaturreaktor-300 MWe), à Hamm-Uentrop, ainsi qu'aux travaux couverts par le projet HHT (Hochtemperaturreaktor mit Helium-Turbine).

4.4.1 Bref historique

Les prédécesseurs des réacteurs à haute température étaient refroidis au gaz carbonique et modérés au graphite. La première centrale de ce type, Calder Hall, mise en service en 1956, fut en même temps la première centrale nucléaire de caractère commercial. Depuis lors, les Britanniques ont construit des centrales refroidies au gaz de type avancé (AGR) et la génération des réacteurs à haute température est arrivée au stade de prototype.

La première phase du développement des réacteurs à haute température fut franchie en 1964 déjà, avec la mise en service du Réacteur Expérimental Dragon (RED), dans le cadre d'une entreprise commune de l'OCOE. Dans la foulée suivirent les réacteurs d'essais de Peach Bottom (Etats-Unis) et de Jülich (République fédérale d'Allemagne).

Dans une seconde phase, la General Atomic (filiale de Gulf) ainsi que le consortium THTR - composé des firmes Brown Boveri & Cie AG, Mannheim, Brown Boveri/Krupp Reaktorbau GmbH, Köln (actuellement Hochttemperatur-Reaktorbau GmbH, Köln) et Nukem GmbH, Hanau - entreprirent chacun la réalisation d'un réacteur prototype de quelque 300 MWe.

Dès la première phase du développement des réacteurs à haute température, la contribution des entreprises suisses fut relativement importante. La part qu'elles prirent dans les contrats d'équipement du RED fut estimée à plus de 15 % des commandes placées hors du Royaume-Uni; elle comprenait, notamment, la machine de chargement et déchargement du combustible ainsi que les soufflantes à hélium du circuit primaire (Show, 1979, p. p. 244).

Par ailleurs, en 1961 déjà, BBC et Krupp décidèrent d'unir leurs efforts au sein de la Brown Boveri/Krupp Reaktorbau GmbH (BBK) pour développer un réacteur à haute température sous mandat de l'Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH (AVR) et construire une centrale nucléaire d'essais d'une puissance de 15 MWe, non loin de Jülich (République fédérale d'Allemagne).

Depuis la première connexion de cette centrale au réseau, vers la fin de 1967, l'exploitation de ce type de réacteur s'était révélée extrêmement fiable (Vollmer/Marnet, 1978, p. 31).

C'est pourquoi la firme BBK - rebaptisée Hochttemperatur-Reaktorbau GmbH (HRB), en 1971, après le retrait de Krupp - élabora un projet de détails pour une centrale de même type de 300 MWe avec l'appui du Centre de recherche atomique de Jülich et le soutien financier de l'Euratom et du Bund.

Dans la seconde phase du développement des réacteurs à haute température, les entreprises suisses occupèrent une place importante. BBC entreprit la réalisation de la centrale THTR-300, à Hamm-Uentrop, et fabriqua la partie secondaire, les soufflantes à hélium ainsi que les barres du réacteur de cette même centrale. La firme Sulzer, quant à elle, livra les générateurs de vapeur (fabriqués en France) des prototypes américain et allemand.

Tableau 26

LES CENTRALES NUCLEAIRES A HAUTE TEMPERATURE

Oésignation	Site	Puissance (MWe)	Période d'exploitation
REO	Winfrith, GB	0	1964-1976
AVR	Jülich, RFA	15	dès 1967
PB	Peach Bottom, EU	42	1967-1974
FSV	Fort St Vrain, EU	300	1977
THTR-300	Hamm-Uentrop	300	1984

Source: Nuclear Engineering International, Supplement July 1981

4.4.2 1981: moment charnière dans le développement des réacteurs à haute température

Abstraction faite des travaux poursuivis aux Etats-Unis par la firme General Atomic, et, notamment, de la réalisation de la centrale prototype de Fort St Vrain, c'est en République fédérale d'Allemagne que le développement des réacteurs à haute température a été le plus conséquent. Parmi les différents projets en cours en 1981, la plupart avec l'appui de partenaires suisses, celui qui a retenu la plus haute attention semble près d'aboutir. Ainsi, l'achèvement de la centrale THTR-300 est

prévu pour 1984 et la construction d'une centrale à haute température de démonstration devrait être entreprise aussitôt après. Cette seconde étape doit encore faire l'objet d'une décision officielle.

Jusqu'en 1979, c'est le concept de réacteur à cycle direct avec turbine à hélium (HHT) qui a été considéré comme le plus prometteur en raison des avantages techniques qu'il présentait et de son potentiel de développement. Il apparut néanmoins que les travaux poursuivis jusqu'alors ne permettaient pas d'accéder à la phase de démonstration dans un avenir suffisamment proche. C'est pourquoi des études furent entamées en République fédérale d'Allemagne en vue de réaliser une centrale à haute température à deux cycles, de conception "classique" (proche de celle du THTR-300), avec turbine à vapeur de grande puissance et production combinée de chaleur pour la gazéification du charbon.

Cette ouverture s'est avérée nécessaire pour dépasser l'étape des réacteurs prototypes dans la mesure où il s'agissait de concrétiser l'effort de toute une génération de chercheurs et de consolider l'acquis pour une éventuelle mise en valeur à l'échelle industrielle.

4.4.3 La centrale THTR-300 de Hamm-Uentrop

L'expérience acquise à Jülich (AVR) et à Winfrith (REO) permit à BBC de devenir le chef de file européen dans le domaine des réacteurs à haute température.

En effet, c'est en juillet 1970 que la Hochtemperatur-Kernkraftwerk

Gesellschaft¹ (HKG) chargea le consortium THTR de construire une centrale à Hamm-Uentrop.

Deux ans après la signature du contrat, soit en 1973, la German Gulf Oil Company (actuellement General Atomic) acquit les 45 % des actions de la Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH (HRB), BBC conservant les 55 % restant. A peu près en même temps, HRB prit une licence sur le réacteur à haute température développé par Gulf en échange de la licence sur le réacteur THTR avec éléments de combustible sphéroïdaux.

Une autre entreprise - GHT² (RFA) - prit aussi la licence de HRB.

Mais l'expérience acquise par BBC (par l'intermédiaire de sa participation dans BBK et HRB) restait unique. La réalisation des centrales AVR et THTR-300 lui donnait un avantage certain dans le domaine des réacteurs à haute température et témoignait de son avance technologique.

Le concept de réacteur à haute température avec combustible sphéroïdal (Kugelhaufenreaktor) s'était déjà révélé pleinement satisfaisant avec l'exploitation, depuis la fin de 1967, de la centrale d'essais AVR.

1) Les compagnies d'électricité suivantes en font partie: Gemeinschaftskraftwerk Weser GmbH, Veltheim; Kommunales Elektrizitätswerk Mark AG, Hagen; Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Dortmund; Gemeinschaftswerk Hattinger GmbH, Attingen; Stadtwerke Aachen AG, Aachen; Stadtwerke Bremen AG, Bremen.

Elles se chargent du financement du projet et bénéficient des subventions du Bund et du Land Nordrhein-Westfalen pour la construction de la centrale THTR-300.

2) GHT est une filiale à 100 % de Interatom; Interatom est une filiale à 100 % de KWU. GHT (Gesellschaft für Hochtemperaturreaktor-Technik mbh) s'est surtout intéressée au développement d'une installation nucléaire prototype pour la production de chaleur et la gazéification du charbon (PNP, 500 MWth).

Cette dernière avait démontré que l'énergie nucléaire pouvait être utilisée à proximité des centres industriels sans danger pour l'environnement¹.

La réalisation de la centrale THTR-300 s'inscrivait dans la suite logique des travaux effectués dans le cadre du développement des réacteurs à haute température. En 1981, les composants essentiels du réacteur étaient approuvés, fabriqués et montés. L'expérience acquise dans la réalisation et la procédure d'autorisation permettait donc, d'ores et déjà, d'envisager d'autres projets sur la même base. A la même époque, la partie secondaire de la centrale se trouvait passablement avancée, tandis que la tour de refroidissement sèche était terminée.

Il est à relever qu'au cours de la procédure d'autorisation, l'interruption totale du système de refroidissement avait été examinée; il s'était alors avéré que ni les composants du réacteur, ni l'environnement n'étaient atteints plusieurs heures après l'arrêt du circuit (Baust/Wittchow, 1981, p. 146).

4.4.4 Perspectives pour les réacteurs à-haute température

Pour que les avantages techniques de ce type de réacteur se traduisent en succès commercial, il faudrait que les fournisseurs de composants puissent être compétitifs et profiter d'effets d'expérience grâce à un

1) Le site de la centrale THTR se trouve dans une région à forte densité de population. Une tour de refroidissement sèche est utilisée en lieu et place d'une construction classique et limite considérablement les effets de la centrale sur l'environnement. En particulier, les rejets thermiques dans l'atmosphère de la centrale THTR-300 sont inférieurs de 25 % à ceux d'une centrale à eau légère pressurisée de même puissance et l'apport en eau nécessaire à son fonctionnement reste faible.

nombre raisonnable de commandes. En tout état de cause, les sous-traitants de HRB pour la réalisation de la centrale THTR-300 sont évidemment les mieux placés pour s'emparer du marché.

Le caisson du réacteur en béton précontraint a été fourni par Krupp (RFA), le liner (revêtement) par Steinmüller sous licence Whessoe (GB), les conduites blindées par Sulzer (CH) et Ferni (I). Sulzer a aussi livré les générateurs de vapeur (fabriqués en France). L'infrastructure métallique a été commandée à Creusot-Loire (F) et à Siempelkamp (RFA), celle en céramique à Péchiney/Vicarb (F). BBC a fourni les soufflantes à hélium, les barres du coeur ainsi que le dispositif moteur de ces barres. Enfin, l'isolation du liner a été commandée à Darchem (GB), les crayons-réfecteurs ont été livrés par GAAA (F), les mécanismes des barres de commandes du réflecteur par Novatome (F) (Hirschfelder, 1976, IV.1.1-7).

Au tout début des années 80, il fut prévu de faire suivre la mise en service du THTR-300 par la réalisation d'une installation nucléaire à haute température destinée à une production combinée d'électricité et de chaleur pour la gazéification du charbon. A cet effet, s'est constitué un groupe de promoteurs comprenant la Hochtemperaturreaktor-Gesellschaft (HRG) ainsi qu'un consortium formé de la Ruhrkohle AG et de la Ruhrgaz AG. Du côté des producteurs, les études et plans détaillés de cette installation de 67D MWe (2250 MWth) doivent être élaborés en commun par les firmes BBC/HRB, KWU/GHT et Nukem.

La construction de cette centrale est attendue à partir de 1986 et sa mise en service en 1992. L'expérience acquise avec le THTR-300 devrait permettre d'accélérer la procédure d'autorisation. Toutefois, c'est un autre combustible qui est envisagé - composé d'uranium faiblement enrichi et de plutonium -, sans que le passage au cycle uranium/thorium ne

soit définitivement rejeté¹. Il apparaît, en effet, qu'à long terme, la conversion élevée du thorium en uranium 233 (fissile) dans les réacteurs à haute température devrait permettre de ménager les ressources d'uranium 235 et devenir rentable².

Le développement des réacteurs à haute température pourrait aussi passer par la réalisation d'une installation à boucle unique avec turbine à hélium et récupération de chaleur pour la gazéification du charbon. Malgré les avantages de ce concept - construction compacte, rendement énergétique élevé, souplesse quant au choix du site, utilisation efficace de la chaleur pour le chauffage à distance -, des problèmes techniques ont empêché que le projet correspondant, dit HHT, ne soit pris en considération en vue d'une réalisation industrielle dans la seconde moitié des années 80.

-
- 1) Les problèmes de bouclage du cycle du combustible au thorium sont pour partie dans ce choix. En effet, le procédé Thorex appelle encore un effort considérable de recherche et développement. Depuis 1979, l'installation-pilote JUPITER fonctionne en République fédérale d'Allemagne; une autre, ITREC, est en service en Italie. Par ailleurs, il existe deux installations expérimentales - FIPS et PAMELA -, pour la solidification des déchets issus des réacteurs à haute température. Mais, pour le moment, seule une capacité de stockage intermédiaire des déchets radioactifs a été prévue pour l'équivalent d'une quinzaine d'années d'activité des centrales AVR et THTR-300. Enfin, il reste aussi beaucoup à faire pour la refabrication des éléments de combustible, si bien que le recyclage du combustible irradié dans les réacteurs à haute température pourrait ne pas être commercialisé avant l'an 2010 (IAEA, 1980, pp. 91 et ss).
 - 2) Le coût du cycle du combustible pour réacteurs à haute température peut déjà être inférieur de 30 % à celui des réacteurs à eau légère pressurisée (Kolb, 1978). Par ailleurs, les déchets nucléaires sont inférieurs de 35 à 40 % à ceux produits par une centrale à eau légère pressurisée de même puissance, ce qui réduit les frais de stockage autant que les besoins en uranium ou en thorium.

Il existe aussi un projet PNP (Prototypanlage für Nukleare Prozesswärme) destiné exclusivement à la gazéification du charbon à une température de 950°C. Le procédé envisagé nécessite encore des travaux de recherche et développement importants; il permettrait de réduire la consommation de charbon de l'ordre de 35 % et ne produirait que la moitié du gaz carbonique dégagé par une centrale classique¹.

Tous les projets mentionnés sont poursuivis en République fédérale d'Allemagne avec l'appui du Bund et du Land Nordrhein-Westfalen. Parmi ceux-ci, la Suisse a surtout été intéressée à la réalisation du THTR-300 ainsi qu'au projet HHT.

4.4.5 Le projet HHT

Le projet de réacteur à haute température avec turbine à hélium de grande puissance, dit HHT, débuta en 1972 avec le soutien du Ministère fédéral allemand de la recherche et de la technologie (BMFT). Les partenaires qui l'impulsèrent - BBC, HRB, Nukem et le Centre de recherche atomique de Jülich -, arrêtaient un programme d'études comprenant trois phases.

La première d'entre-elles devait conduire à l'évaluation des possibilités de développement d'une installation HHT de grande puissance. La seconde phase prévoyait la planification détaillée d'une centrale de démonstration ainsi que l'essai des composantes dans des conditions aussi proches que possible de l'exploitation. Enfin, la troisième phase devait correspondre à la réalisation de la première centrale HHT.

1) Cf. Kohlevergasung mit HTR-Prozessdampf, KFA-Jülich, 22.5.1979.

Etant donné l'intérêt porté par la Suisse, tant du point de vue industriel que sur le plan économique et politique, au projet HHT, une collaboration s'instaura avec la République fédérale d'Allemagne sur la base de l'arrêté du Conseil fédéral du 29 août 1973. Ainsi, après les travaux poursuivis dans le cadre de la SNA, la Suisse allait de nouveau participer pleinement au développement d'un type de réacteur atomique. Par la suite, la Suisse étendit sa collaboration, jusque là bilatérale, à deux autres partenaires. En effet, en février 1977, le Ministère fédéral allemand de la recherche et de la technologie (BMFT) et l'"Energy Research and Development Administration" des Etats-Unis (ERDA) signèrent un accord de coopération pour le développement de toutes les variantes de réacteurs refroidis au gaz (y compris les surré-générateurs).

Par l'arrêté du 2 novembre 1977, peu après l'adhésion du Commissariat français de l'énergie atomique, le Conseil fédéral approuva la signature de cet accord par l'Office fédéral de la science et de la recherche.

La base légale ainsi que les formes de la collaboration germano-suisse dans le domaine des réacteur à haute température furent rapportées dans les notes du Département fédéral de l'Intérieur au Conseil fédéral du 14 avril 1978, du 22 février 1979, du 8 août 1980 et du 27 mai 1981.

Dès la première phase, les partenaires industriels suisses qui participèrent au projet se trouvèrent chargés du développement de composantes importantes de la centrale. Il s'agissait des entreprises Alusuisse (tour de refroidissement sèche), BBC (turbines à gaz) et Sulzer (échangeurs de chaleur). Par ailleurs, des travaux importants furent confiés à la société Bonnard & Gardel pour la préparation du caisson en béton précontraint.

Les travaux poursuivis conduisirent à la présentation d'un projet de référence pour une centrale HHT d'une puissance de 1240 MWe. Cet événement, survenu à la fin de 1977 marqua l'achèvement de la première phase du projet. Sur la base d'une comparaison avec un projet de réacteur à haute température à deux cycles, il fut alors décidé de poursuivre le projet HHT en vue de réaliser une centrale de démonstration de 670 MWe.

Les principaux éléments qui déterminèrent ce choix furent les suivants:

- a) le HHT permet d'élever la température de l'hélium à 850°C , soit à un niveau plus élevé que dans le THTR. Par conséquent, le rendement énergétique de l'installation est plus élevé et la chaleur produite peut être utilisée avec beaucoup plus d'efficacité. Ainsi, le rendement global de la centrale peut s'élever à près de 80 %;
- b) les faibles rejets thermiques du HHT, qui tiennent à son rendement particulièrement élevés, permettent un refroidissement par tour sèche, ce qui introduit une grande liberté quant au choix du site;
- c) le développement du HHT permet d'acquérir des connaissances dans les domaines qui couvrent l'utilisation de la chaleur à des fins industrielles;
- d) l'installation HHT se présente sous une forme plus compacte que le THTR et permet de renoncer à une isolation thermique sur les parois du caisson, ce qui facilite les travaux éventuels de réparation;
- e) le système HHT offre des perspectives commerciales plus intéressantes que les réacteurs à eau légère.

Il était toutefois clair que le développement du concept HHT était lié à des risques techniques élevés. Au cours des travaux poursuivis depuis 1977, il était même devenu évident que ce concept ne pouvait pas être

retenu pour la réalisation d'une centrale de démonstration aussitôt après la construction et la mise en service du THTR-300¹. Il fut alors décidé que les travaux entrepris dans le cadre du projet HHT seraient interrompus à la fin de 1981, mais qu'en revanche des études seraient entreprises pour évaluer la factibilité ainsi que la procédure d'autorisation d'une centrale à haute température de grande puissance à deux cycles. Ce retournement fut motivé par le désir de prolonger le développement de ce type de réacteur jusqu'à sa maturité commerciale avant que le savoir accumulé par toute une génération de chercheurs ne se disperse.

Une décision concernant la poursuite des études pour la réalisation d'une centrale de démonstration à deux cycles destinée à la production d'électricité et de chaleur pourrait encore survenir. A la suite d'une lettre du secrétaire d'Etat Haunschild du 21 janvier 1980 au directeur de l'Office fédéral de la science et de la recherche, le professeur Hochstrasser, les partenaires suisses continuèrent à manifester leur intérêt à la poursuite de la collaboration avec la République fédérale d'Allemagne dans le domaine du développement des réacteurs à haute température. Il était toutefois prévu qu'une telle participation devrait faire l'objet d'une demande au Parlement pour le dégagement des crédits nécessaires².

Le Ministère fédéral allemand de la recherche et de la technologie (BMFT) n'a pas autorisé le passage à la seconde phase du projet HHT. Comme la majeure partie des problèmes que posait encore ce type de réacteur ne lui

1) Cf. Statusbericht du 31 octobre 1979.

2) Cf. rapport du Département fédéral de l'Intérieur au Conseil fédéral concernant la participation de la Suisse au programme de développement d'un réacteur à haute température de la République fédérale d'Allemagne, du 27 mai 1981.

étaient pas spécifiques¹, mais concernait tous les réacteurs de puissance avec éléments de combustible sphéroïdaux, ces problèmes allaient être traités dans le cadre d'un programme général de développement des réacteurs à haute température. En outre, les obstacles techniques majeurs, spécifiques au concept HHT devaient être examinés jusqu'à la fin de 1981², tandis que les producteurs et exploitants se penchaient sur la factibilité d'une centrale à deux cycles productrice d'électricité et de chaleur pour la gazéification du charbon. Une étude préliminaire était en cours en 1981, dont les résultats devaient être appréciés par la Hochttemperatur-Reaktorgesellschaft (HRG), la Ruhrgas AG et la Ruhrkohle AG, réunies au sein d'un consortium. Cette étude devrait fournir les bases d'une décision en vue de la réalisation d'une centrale de démonstration. En tout état de cause, il semble que le développement du concept HHT sera poursuivi en République fédérale d'Allemagne, quoique dans une perspective à long terme et avec un budget considérablement réduit.

Du côté suisse, en 1980, se créa une Communauté d'intérêt en vue de promouvoir le concept HHT. Elle comprenait les entreprises qui avaient déjà participé au programme germano-suisse ainsi que l'IFR. Par la suite, Motor-Columbus ainsi que Elektrowatt Ingénieurs proposèrent leur participation.

Ainsi, les perspectives de développement des réacteurs à haute température jusqu'à leur maturité commerciale dépendent pour une large part des décisions qui sont prises en République fédérale d'Allemagne. Mais

1) Cf. Statusbericht du 31 octobre 1979.

2) Il s'agissait essentiellement de tester des matériaux et des composants, notamment dans l'installation HHV (Hochttemperatur-Helium-Versuchsanlage), mise en service en 1980, ainsi que dans l'installation EVO avec turbine à hélium.

on peut d'ores et déjà dire que le financement des projets de réacteurs à haute température va rester le problème majeur des années 80.

La participation suisse au projet HHT s'est élevée à près de 43 millions de FS au cours de la première phase. L'essentiel de ce montant a été assumé par l'intermédiaire du budget de l'IFR (27 millions de FS); d'autre part, la Confédération a libéré une somme de 5 millions de FS pour la réalisation de l'installation HHV et elle a participé à raison de 90 % aux dépenses effectuées par l'industrie indigène (11 millions de FS). A titre de comparaison, le total des dépenses pour la première phase du projet HHT a atteint près de 290 millions de DM.

Entre 1973 et 1981, la Confédération a participé pour un peu plus de 72 millions de FS au développement des réacteurs à haute température. Cette somme représente une aide dérisoire et demeure très inférieure à celle qui a été versée en vue de la promotion d'un réacteur à eau lourde de conception suisse (cf. tableau page suivante).

4.5 La participation des entreprises suisses et de l'IFR au développement des réacteurs surrégénérateurs

Alors que l'engagement de quelques entreprises suisses dans le domaine des réacteurs à haute température a été remarquable, les travaux de développement des réacteurs surrégénérateurs, qui devraient permettre de réduire considérablement les besoins en uranium naturel dans une perspective à long terme, n'ont eu que de faibles répercussions sur les activités des entreprises suisses. La seule participation notable à la réalisation d'un projet de surrégénérateur a été la fourniture du turbogroupe de la centrale Phénix par la filiale française de BBC, la CEM. A part cela, pas grand chose. Toutefois, vers le milieu des années 60, lorsqu'il est apparu d'une façon évidente que la Suisse n'arriverait pas à développer par ses propres forces un type de réacteur nucléaire jusqu'à sa maturité commerciale, l'IFR a été confrontée à un grave problème de reconversion. Etant donné le faible potentiel de développement des réacteurs à eau légère, l'IFR a alors été chargée, par les arrêtés du Conseil fédéral du 28 novembre 1967 et 29 avril 1969, de collaborer au développement des surrégénérateurs refroidis au gaz. Par la suite, l'IFR s'est occupée notamment des carbures mixtes uranium-plutonium et de leurs propriétés comme combustible pour ces nouveaux types de réacteur. Elle a développé un procédé de fabrication d'un combustible en forme de micro-billes dont les modifications sous irradiation ont été étudiées dans des réacteurs de recherche européens. Les résultats prometteurs qui ont été obtenus ont encouragé l'IFR à négocier un accord avec le Département américain de l'Energie (DOE) pour d'ultimes essais dans le réacteur FFTF (Fast Flux Test Facility). Ainsi, il se pourrait que le combustible développé par l'IFR soit utilisé dans les futurs surrégénérateurs refroidis au gaz sur lesquels les Américains concentrent toute leur attention.

Mentionnons, à part cela, les études poursuivies à l'IFR dans les domaines de la physique des neutrons avec le réacteur expérimental de petite puissance Proteus avec boucle de sodium, ainsi que dans le domaine de la thermo-hydraulique de coeurs de réacteurs refroidis au gaz.

Ce programme de développement des surrégénérateurs, qui a constitué le centre de gravité des travaux de l'IFR entre 1968 et 1973, a été établi à longue échéance. Malgré l'intérêt qu'il a soulevé, il n'a pas permis aux entreprises suisses de participer à la mesure de leur ambition au développement et à la réalisation du premier réacteur surrégénérateur refroidi au sodium de dimension commerciale.

La centrale nucléaire de 1200 MWe, actuellement en construction à Creys-Malville, dénommée Super-Phénix, est prévue pour fournir de l'électricité et devrait servir de prototype pour les futurs réacteurs surrégénérateurs français.

Il est particulièrement intéressant de connaître l'organisation de ce projet international ainsi que ses conséquences sur l'attribution des commandes¹.

Alors que les premières études ont été poursuivies dans un cadre national, l'idée d'une coopération européenne dans le domaine des centrales à neutrons rapides se répandit à partir de 1968. Les discussions entamées alors entre les différentes compagnies d'électricité, avec le soutien de la CEE, ont conduit à la signature, en juillet 1971, par trois des principaux producteurs d'électricité européens - Electricité de France (EdF), Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL) et

Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk (RWE) -, d'une déclaration d'intention qui s'est concrétisée, en décembre 1973, par la signature d'une convention pour la construction de deux centrales de taille industrielle équipées de réacteurs surrégénérateurs, l'une en France, l'autre en République fédérale d'Allemagne.

Selon les termes de cette convention, se créèrent, en 1974, les sociétés ESK et NERSA. Cette dernière est maître d'oeuvre de la centrale de Creys-Malville. Participent à son capital EDF pour 51 %, ENEL pour 33 % et SBK pour 16 %. La société SBK (Schnellbrüter Kernkraftwerk-gesellschaft) s'est donc substituée à RWE dans NERSA. Créée à l'origine par des compagnies d'électricité allemande, belges et hollandaises pour la construction de la centrale SNR-300 à Kalkar (République fédérale d'Allemagne) elle a encore accueilli le British Central Electricity Generating Board (CEGB). SBK appartient désormais aux actionnaires suivants: RWE (68,85 %), Electro-Nucléaire (association de compagnies d'électricité belges; 14,75 %), SEP (association de compagnies d'électricité des Pays-Bas; 14,75 %) et CEGB (1,65 %).

Dans ESK, le pendant de NERSA, les participations de EDF et SBK sont inversées, de sorte que, globalement, les trois sociétés auraient chacune à peu près un tiers des deux centrales. Cette collaboration n'est pas seulement financière mais aussi technique, dans la mesure où les actionnaires en attendent, autant qu'un allègement des dépenses, une mise en commun de l'expérience acquise lors de la réalisation et de l'exploitation des installations. A cet effet, les partenaires sont représentés à tous les niveaux hiérarchiques et dans tous les départements de NERSA, dirigée par un directoire de trois membres: un Français, un Italien et un Allemand.

Cette organisation eut pour tâche d'attribuer les commandes d'équipements et les contrats de construction. Selon la Convention de 1973, ceux-ci devaient être attribués, dans toute la mesure du possible, à des entreprises sises dans les pays d'origine des membres de NERSA et d'après la participation au capital de la société.

Le cadre industriel en vue de la réalisation de la centrale de Creys-Malville n'a été constitué qu'en avril 1976, après la création de Novatome¹. Cette société a regroupé les équipes d'ingénieurs du CEA et de GAAA qui ont réalisé Rapsodie et Phénix, puis mené à bien les études de la chaudière nucléaire Superphénix dans le cadre de la société Cirna (filiale de Technicatome et de GAAA), avec la participation de la société italienne NIRA. Ainsi, Novatome a pu présenter très rapidement (juillet 1976) une offre pour la chaudière nucléaire, qui a été suivie par la commande notifiée par NERSA en mars 1977.

Pour le reste de la centrale, le choix des contractants et des fournisseurs a été effectué par NERSA, sur appel d'offres, en fonction des capacités techniques, des prix et du volume des commandes attribuées par pays d'origine des compagnies actionnaires de NERSA.

Conséquence de cette politique, la part des commandes reçues par des entreprises suisses a été relativement faible. Losinger a été sollicitée pour l'édification de la cuve du réacteur, tandis que la filiale allemande de Sulzer, l'entreprise Sulzer Weise, a livré des pompes d'alimentation pour le circuit eau-vapeur de la centrale².

Au niveau de la recherche et du développement, un important programme se poursuit au CEA, promoteur du système, et dans les installations

1) Dont la majorité des actions est détenue en dernière analyse par Creusot-Loire.

2) Cf. Nuclear Engineering International, June 1978.

spécialisée d'EDF. Par ailleurs, des accords de coopération scientifique et industrielle ont été signés entre partenaires européens:

- accords franco-allemands: CEA-GFK-Interatom, Novatome-INB¹;
- accords franco-italiens: CEA-CNEN, CEA-NIRA, association Novatome-Nira².

Force est de constater que les seules ouvertures que se soit ménagées la Suisse dans le domaine du développement des réacteurs surrégénérateurs sont bien étroites. Cette constatation est encore renforcée par le fait que ce type de centrale n'a pas la faveur aux Etats-Unis et que la réalisation du prototype de Clinch River se fait attendre.

Il faut aussi constater un fait marquant dans le développement et la commercialisation des centrales nucléaires, à savoir que les promoteurs, - les gouvernements par compagnies d'électricité interposés -, cherchent à attribuer le maximum de commandes aux entreprises nationales. Cette politique contribue à écarter les entreprises suisses de ces marchés. Le développement des surrégénérateurs et la réalisation de la centrale Super-Phénix n'ont servi qu'à illustrer cette nouvelle condition des échanges. Encore faut-il préciser que les Français, les Britanniques et les Allemands se sont engagés relativement tôt dans le développement des réacteurs surrégénérateurs sur une base essentiellement nationale, alors que la Suisse n'as pas voulu emprunter cette voie.

1) GFK: Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe.

Interatom: filiale à 100 % de KWU.

INB: Internationale Natrium Brüterreaktorbau (créée pour construire le SNR-300 à Kalkar) 70 % Interatom, 15 % Belgonucléaire, 15 % Novatome.

3) CNEN: Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare.

NIRA: Nucleare Italiana Reattori Avanzati; AMN (Finmeccanica) 65 %, AGIP Nucleare (ENI) 25 %, Franco Tosi 10 %.

Chapitre 5:

Les contraintes à l'expansion de l'industrie nucléaire suisse.

Introduction

L'industrie électro-nucléaire est très sensible aux variations de la demande et ses capacités de production sont souvent mal utilisées. Elle construit des unités en petit nombre, à grande échelle, avec de longs délais de réalisation et dépend de commandes continues. Face à un marché incertain, des activités de maintenance ainsi que la fabrication de combustibles permettent aux fournisseurs de réacteurs de compenser, en partie, les variations de revenus liées à la demande de centrales. Mais l'industrie électro-nucléaire ne peut véritablement survivre et se développer que si elle relève d'entreprises de grande dimension qui peuvent répartir les risques commerciaux sur un ensemble cohérent d'activités liées et voisines et si le réseau de leurs sous-traitants se maintient. Par analogie, les sous-traitants doivent aussi être en mesure de couvrir d'autres marchés que le nucléaire, sinon ils ont peu de chances de pouvoir conserver leur position. Enfin, les entreprises de l'industrie électro-nucléaire tendent à être rebutées par des réglementations particulièrement sévères qui exigent un énorme travail administratif et qui entraînent des coûts élevés en matière de contrôle de qualité.

En ce qui concerne la conversion, l'enrichissement, la fabrication d'éléments de combustible et la production d'eau lourde, les risques d'exploitation sont beaucoup plus limités tant du point de vue commercial que technologique. Ces activités dépendent du stock de centrales existantes et sont susceptibles de dégager un cash flow raisonnable. Par contre, le retraitement pose beaucoup plus de problèmes, malgré son intérêt de nature stratégique, parce que sa technologie n'a pas encore la maturité qui permettrait d'asseoir la crédibilité de l'industrie nucléaire tout entière.

Enfin, l'industrie des biens d'équipement est sans doute celle qui a le moins à craindre les problèmes du reste de l'industrie nucléaire puisqu'elle relève d'entreprises diversifiées pour lesquelles les ventes aux entreprises du cycle du combustible sont très occasionnelles¹. Le marché de cette industrie est d'ailleurs bien plus faible que celui de l'électro-nucléaire.

Selon Lönnroth/Walker (1979), le type de contrôle exercé par l'Etat sur la distribution d'électricité et sur l'industrie des moyens de production d'électricité s'est avéré déterminant dans la croissance du nucléaire. En particulier, les difficultés économiques et politiques qui sont apparues au cours des années 70 auraient eu beaucoup moins de répercussions défavorables sur l'industrie nucléaire des pays dans lesquels le gouvernement exerce un contrôle important. Les systèmes de type décentralisé auraient donc été désavantagés dans la mesure où les risques n'auraient pas pu être pris en charge par l'économie privée. Inversement, les systèmes de type centralisé auraient été plus aptes à promouvoir le nucléaire en raison de leur capacité à coordonner des activités très diverses dans une perspective à long terme.

En y regardant de plus près, on observe que la situation particulière de chaque pays a pu jouer un rôle tout aussi essentiel.

1) Si l'industrie nucléaire suisse est quasi absente de toutes les phases du cycle du combustible, elle est néanmoins relativement bien représentée dans le domaine de l'équipement pour le cycle du combustible.

Les entreprises suisses mentionnées dans l'Annuaire nucléaire (ASPEA, 1980) sont plutôt spécialisées dans les systèmes de filtration, d'évaporation et de ventilation; deux d'entre-elles sont engagées dans la technique du vide; on compte aussi deux entreprises d'ingénierie. Les principales d'entre-elles ont pour nom Balzers, Chemap, Cora, Luwa, VAT, Sulzer et Gattys Technique.

Ces entreprises ont plusieurs caractéristiques en commun:

- elles ne sont pas spécialisées dans la fourniture d'équipements pour le cycle du combustible;
- elles ont réuni une capacité d'ingénierie relativement importante;
- plus que toute autre entreprise, elles subissent des pressions de nature politique lorsque se présente un danger de prolifération.

Les options énergétiques qui ont été prises, - ou qui sont en voie de l'être -, se sont inspirées des nouvelles conditions du marché révélées par la première crise du pétrole; elles visent toutes à garantir un approvisionnement aussi sûr et bon marché que possible, compte tenu de l'évolution probable des réserves et de prix. En particulier, il s'est avéré nécessaire de recourir à d'autres sources d'énergie pour se libérer d'une dépendance par trop unilatérale.

Parmi les pays industrialisés du monde occidental, c'est en France que la nécessité d'un choix sans équivoque a été reconnue avec le plus de précocité. A côté des réflexions d'ordre économique, des motifs politiques ont joué un rôle majeur dans la décision prise. A partir de 1974, l'accent de la politique énergétique nationale a été placé sur le nucléaire. Cet engagement n'a véritablement commencé à porter ses fruits qu'à partir de 1979, bien que la première centrale commandée dans le cadre du nouveau programme par le gouvernement de Pierre Messmer soit entrée en service en 1977. Depuis lors, le rythme de construction annuel s'est établi entre 5000 et 6000 MWe, si bien que l'on peut estimer à quelque 40.000 MWe la capacité qui sera installée d'ici 1985¹.

Mais l'aspiration à une certaine indépendance énergétique n'a pas été le seul objectif de la France: tout a été entrepris pour que l'industrie nucléaire indigène atteigne l'autonomie la plus complète. C'est ainsi que le retard accumulé dans la construction de centrales a rapidement pu être comblé et que le cycle du combustible a complètement été intégré.

1) L'énergie nucléaire pourrait alors couvrir près de 50 % des besoins en électricité de la France.

En 1981, la production d'électricité d'origine nucléaire en France a augmenté de 67,8 % par rapport à l'année précédente. La même année, la production totale d'électricité d'origine nucléaire a atteint 97 milliards de KWh et elle a couvert près de 37 % de la demande.

Tandis que les premières centrales à eau légère pressurisée construites en France sont des applications fidèles des plans de Westinghouse, les installations de 1300 MWe correspondent à un développement propre de Framatome. Grâce aux moyens mis en oeuvre et à son monopole, le groupe Empain-Schneider a pu rompre les amarres avec son bailleur de licence dès le début de 1981. D'une façon analogue, Alsthom-Atlantique est devenu l'unique fournisseur de la salle des machines et le concepteur de nouveaux turbogroupes.

L'exemple français n'est pas unique. Il tend à se répéter au Japon; il a son pendant en Inde et dans les pays de l'Est. Toutefois, il revêt une importance particulière: à la politique d'intégration des filières techniques et de l'industrie nucléaire tout entière par l'économie française a correspondu un retrait de l'industrie suisse. Il apparaît alors qu'une avance technologique certaine ne suffit pas à garantir la position d'un producteur sur un marché donné.

D'autres contraintes ont pesé sur le développement de l'industrie nucléaire suisse. Il s'agit de l'opposition qui s'est manifestée à l'égard de cette nouvelle technologie, du ralentissement de la croissance économique et des pressions exercées en vue de limiter la prolifération des armements atomiques.

Tous ces aspects sont brièvement traités dans ce chapitre.

5.1 L'Etat

L'Etat exerce son influence sur l'industrie nucléaire au travers des biens qu'il gère et des moyens financiers qu'il libère, et, indirectement, par l'intermédiaire de la législation. Cette influence varie considérablement d'un pays à l'autre selon le degré de décentralisation des décisions et des activités.

Le capital public n'est pas particulièrement présent au niveau des fournisseurs de centrales. Cependant, ASEA-Atom appartient pour moitié à ASEA, tandis que AECL est la propriété du gouvernement fédéral canadien. En Grande-Bretagne, la Nuclear Power Corporation appartient à la fois à la General Electric Company, à la UK Atomic Energy Authority et à diverses autres firmes réunies au sein de la British Nuclear Associates. En France enfin, le groupe Empain-Schneider, - aux mains de Paribas depuis 1981, lui-même nationalisé la même année -, détient la majorité du capital-actions de Framatome.

Malgré ces interventions, dans tous les pays du monde occidental la sous-traitance à des entreprises privées est importante, spécialement en Suède et au Canada.

En général, les capacités d'enrichissement appartiennent à l'Etat en raison des énormes investissements qui sont nécessaires pour la réalisation d'une installation qui fonctionne à l'échelle industrielle. Par contre, la fabrication des éléments de combustible est très souvent privée, sauf en Grande-Bretagne et en Italie. Elle relève d'ailleurs en majeure partie des fournisseurs de centrales. Il y a toutefois quelques exceptions:

- a) en France, PUK, en voie d'être nationalisé, détient la majorité des actions dans la société Eurofuel;

- b) Exxon Nuclear, filiale de la puissante entreprise américaine, s'est aussi lancée sur ce marché;
- c) en Grande-Bretagne, la British Nuclear Fuel Ltd. est gérée par l'Etat.

La part prise par l'Etat dans l'industrie nucléaire n'a pas été sans conséquence sur les possibilités d'exportation des sous-traitants étrangers, voire même sur leur activité dans les pays clients. Mais les instruments privilégiés d'une stratégie nucléaire sont beaucoup plus la maîtrise par l'Etat de la production d'électricité et le contrôle des commandes d'équipement par l'organisme correspondant. C'est ainsi que la différence entre l'industrie électro-nucléaire française et son homologue britannique est essentielle: la première a été structurée par la compagnie nationale d'électricité (EdF) dès 1974, tandis que la seconde est restée divisée. Par ailleurs, la France a arrêté un programme d'équipement important qui a permis aux constructeurs d'investir en conséquence, alors qu'en Grande-Bretagne la manne pétrolière a favorisé le développement d'autres activités.

On peut alors distinguer trois catégories de pays (Lönnroth/Walker, 1979, p. 16):

- a) ceux dans lesquels la gestion du programme nucléaire est assurée par l'Etat (la France et l'URSS en sont des exemples);
- b) ceux dans lesquels les décisions sont centralisées, mais prises conjointement par l'Etat et par l'économie privée;
- c) enfin, ceux qui, comme les Etats-Unis, n'exercent qu'une fonction de réglementation et qui laissent à l'initiative privée le soin de commercialiser l'industrie nucléaire.

Les modes de répartition des risques découlant de ces diverses catégories de système ont conduit à des performances différentes. Là où la coordination des activités a correspondu à une politique d'intégration et de développement voulue par l'Etat central, l'industrie nucléaire s'est bien développée. Mais dans les pays où les risques ont été supportés essentiellement par des compagnies privées, l'industrie nucléaire a subi d'importants revers à cause d'une mauvaise coordination des activités et des perspectives défavorables qui sont apparues au cours des années 70.

Il apparaît donc que les systèmes décentralisés sont les moins aptes à satisfaire leurs besoins en électricité à un coût compétitif.

En République fédérale d'Allemagne, le gouvernement s'est découvert un nouvel intérêt pour le nucléaire en raison des préoccupations causées par la dégradation de la compétitivité de l'industrie indigène. En effet, le second "choc" du pétrole aurait été ressenti plus durement dans ce pays que chez ses voisins. A la fin de 1981, des entreprises de l'industrie chimique allemande se sont plaintes de leur situation: elles devraient payer leur électricité près de 25 % plus cher qu'en France. Le résultat fortement déficitaire de l'EdF pour cette année-là apporte un élément de réponse à leur préoccupation¹.

1) Après un résultat équilibré en 1980, la perte nette enregistrée par l'EdF a été de 4,3 mio de FF en 1981. D'après une déclaration du ministre Hervé (25 janvier 1982), une augmentation substantielle (probablement supérieure à 10 %) du tarif de l'électricité était envisagée pour l'année en cours.

5.2 L'opposition

La controverse nucléaire a contribué dès le milieu des années 70 à un accroissement considérable des coûts et des risques liés aux investissements d'équipement. Dans de nombreux pays, les procédures à suivre pour la réalisation de centrales ont été rallongées et les programmes nucléaires ont pris du retard. L'opposition s'est étendue à presque toutes les phases du cycle du combustible: l'exploitation de gisements d'uranium, le retraitement et, surtout, le stockage des déchets ont été violemment critiqués par de nombreux milieux¹.

L'efficacité de cette opposition a été d'autant plus grande que les décisions sont décentralisées: l'expansion de l'industrie nucléaire a souvent buté face aux prérogatives et à la volonté des pouvoirs locaux (Lönnroth/Walker, 1979).

Alors que la réglementation en matière de sécurité reste partout du ressort du gouvernement central, l'autorisation de site peut être délivrée soit par les gouvernements locaux ou provinciaux dans la majorité des cas, soit par le gouvernement central comme en France, en Grande-Bretagne ou en URSS.

Dans les pays où cette autorisation est octroyée par les pouvoirs locaux, il s'est avéré difficile de réaliser les investissements souhaités à cause de l'action déterminante d'une minorité de citoyens. Un conflit est alors apparu entre l'intérêt national et les aspirations des régions. Il s'est même étendu au point de retarder les travaux entrepris en vue du stockage des déchets.

1) Cf. D. Nelkin/M. Pollak, "L'impact de la contestation", in: Le Monde Diplomatique, septembre 1980.

Dans la mesure où l'industrie nucléaire suisse a trouvé ses principaux marchés dans les pays où les processus démocratiques sont les plus étendus et où l'Etat central a le moins d'emprise sur l'économie électrique, on peut dire que son développement a été particulièrement marqué par le mouvement anti-nucléaire.

5.3 La croissance

Depuis le début des années 70, l'évolution de la situation économique mondiale a été profondément marquée par un certain nombre de facteurs dépressifs: déséquilibre des paiements; excédent pétrolier; persistance des perturbations inflationnistes; remous sur le marché des changes; et enfin, problèmes structurels dans la plupart des pays industrialisés hautement développés. Ces facteurs ont contribué à l'instauration d'un climat d'incertitude qui a influencé les décisions des agents économiques. Il en est résulté un ralentissement de l'expansion du commerce et de l'industrie dans le monde. Dans les pays de l'Europe occidentale et de l'Amérique du Nord, le chômage est élevé et l'investissement ne progresse guère. A juste titre, on s'inquiète de la menace qui pèse sur le commerce international: des mesures protectionnistes soustraient au libéralisme une part de plus en plus importante des échanges. Par ailleurs, l'évolution démographique ne stimule plus l'activité économique comme c'était le cas auparavant.

La première hausse des prix du pétrole a entraîné des modifications importantes dans la répartition du revenu mondial, imposant un transfert de ressources des pays utilisateurs vers les pays producteurs. La balance des paiements courants des pays en voie de développement exportateurs de pétrole a passé de 3,5 milliards de dollars en moyenne, entre 1971 et 1973, à 68,0 milliards en 1974 (GATT, 1978, p. 8), créant de profonds déséquilibres extérieurs chez tous les pays clients. L'excédent pétrolier s'est ensuite contracté, sans que cette évolution n'ait véritablement résulté d'une nette tendance.

Entre 1973 et 1979, les pays excédentaires n'ont exercé aucune stimulation nette sur l'économie mondiale susceptible de compenser l'influence dépressive des politiques appliquées dans les pays à déficit.

En ce qui concerne les pays des régions industrielles qui ont réussi à dégager un excédent courant (République fédérale d'Allemagne, Japon, Suisse), le développement de leur demande interne s'est révélé insuffisant alors qu'ils n'étaient pas tenus d'adopter des politiques restrictives pour des raisons de balance de paiements. L'explication la plus plausible de cette évolution est fournie par l'effet de freinage qu'exercent sur la dépense globale l'expérience de l'inflation passée et la crainte de sa recrudescence (BRI, 1978, p. 7). En effet, des blocages au niveau de l'appareil de production et de certains segments des marchés du travail auraient pu entraver toute politique de stimulation globale et se traduire par une accélération de la hausse des prix.

De leur côté, les pays exportateurs de pétrole ont rapidement rencontré des limites dans leur capacité d'absorption. La plupart d'entre-eux ont été confrontés à une grave pénurie de main-d'oeuvre non qualifiée (Blackhurst/Marian/Tumlr, 1978, p. 26).

Les implications les plus immédiates des contraintes exercées par les déséquilibres des balances de paiements courants pour la politique économique des pays importateurs de pétrole auraient dû se traduire par de vigoureuses économies d'énergie et par l'établissement d'un programme de substitution.

Après la seconde flambée des prix du pétrole, ces impératifs sont devenus encore plus contraignants.

On sait maintenant que le rétablissement d'une croissance satisfaisante passe par l'application d'une politique énergétique et industrielle, à l'exemple de celle qui a été mise en oeuvre en France. En particulier, l'aspiration à l'autarcie dans le nucléaire trouve sa justification dans le besoin de limiter les effets négatifs d'un programme d'équipement conséquent sur la balance courante et de substituer l'uranium à l'usage des combustibles fossiles importés. Il est alors paradoxal de constater que, faute d'une unité de choix au niveau international, les

pays qui se rapprochent le plus du système centralisé rétablissent les conditions essentielles d'une autre croissance aux dépens de la liberté des échanges. Néanmoins, ils créent des capacités supplémentaires qui empêchent une utilisation plus efficiente des ateliers de production concurrents; à terme, ils risquent ainsi d'amplifier les problèmes structurels de l'économie mondiale si la demande continue à stagner.

Comme la croissance de la production industrielle, celle de la consommation d'électricité s'est nettement ralentie. Le fort accroissement de la consommation d'électricité qui a été de 9 % en moyenne annuelle entre 1965 et 1973 est dû au perfectionnement de l'éclairage, à la généralisation des appareils électriques et des installations à air conditionné. Le parc des centrales installées jusqu'à la première crise pétrolière s'est développé en fonction des prévisions faites à l'époque, basée sur le prolongement des tendances enregistrées. Depuis 1974, la croissance de la demande en électricité s'est considérablement ralentie et l'on constate une certaine saturation du marché dans les pays industrialisés. En outre, les utilisateurs d'électricité font des efforts pour réduire leur consommation et le rendement énergétique des produits et des processus a été considérablement amélioré. En revanche, le besoin d'électricité s'accroît sensiblement dans le domaine du chauffage et des pompes à chaleur; il n'est pas exclu que l'on assiste à des substitutions importantes entre moyens énergétiques. Ces changements sont déterminés par la disponibilité des moyens de production d'énergie et par leur élasticité-prix.

Les prévisions de la consommation d'électricité ont été revues à la baisse en raison des difficultés économiques rencontrées aux Etats-Unis ainsi que dans la plupart des pays d'Europe Occidentale. L'inflation est souvent avancée comme l'une des causes principales du ralentissement de la croissance. En effet, l'effort d'investissement porte essentiellement sur la rationalisation en réaction aux distorsions du rapport entre le coût de la main-d'oeuvre et celui du capital et un plus grand nombre de décisions d'investissement sont prises dans une optique à court terme.

La planification de la production centralisée de l'électricité est d'autant plus difficile à établir que le besoin d'énergie peut être couvert par d'autres moyens. Mais la volonté d'économiser les autres moyens énergétiques - et plus spécialement le mazout importé - favorise l'utilisation de l'électricité.

A cause des erreurs de prévision et de longs délais de livraison, les commandes de gros équipements électriques subissent des variations cycliques. C'est ainsi que, dès la seconde moitié des années 70, les commandes de centrales nucléaires ont enregistré un recul important, sans compter un nombre appréciable d'annulations et de suspension des travaux. On a aussi assisté à la recherche des économies d'échelle et à l'accroissement de la puissance des unités; les plus grandes d'entre-elles atteignent désormais une capacité de 1300 MWe.

Enfin, l'inflation joue un rôle important dans le développement des commandes: elle introduit une grande incertitude quant aux coûts et aux rendements attendus des investissements. La situation financière des compagnies d'électricité se serait déjà dégradée, spécialement aux Etats-Unis, en raison des restrictions apportées à l'accroissement du prix de l'électricité par les autorités compétentes, si bien qu'un soutien financier du gouvernement fédéral serait indispensable (Lönnroth/Walker, 1979, p. 32-34). Il en découle que seuls les Etats prêts à s'engager, financièrement et politiquement, pour suppléer aux difficultés que rencontre cette industrie sont capables de réduire leur dépendance énergétique d'une façon conséquente (Lönnroth/Walker, 1979, p. 38).

5.4 La non-prolifération

Les mesures adoptées par les pays détenteurs d'armes atomiques visant à limiter la prolifération agissent de diverses manières sur le développement de l'industrie nucléaire. Un climat de méfiance s'instaura à l'encontre des pays réfractaires au système des garanties de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (A.I.E.A.) et au traité de Non-Prolifération (TNP)¹. Avec la première explosion atomique de l'Inde en mai 1974, les Américains durcirent leur position; ils réussirent tout d'abord à convaincre la France de la nécessité de se conformer à la lettre au traité et à ses modalités d'application même si elle persistait à ne pas vouloir y adhérer. Du coup, la République fédérale d'Allemagne, le Japon et l'Italie signèrent le Traité, suivis par la Suisse, le 9 mars 1977. Par ailleurs, les Etats-Unis et le Canada cherchèrent à empêcher les pays dépourvus d'armes nucléaires d'avoir en leur possession des matières fissiles utilisables militairement ou des installations capables de les produire.

Le gouvernement canadien fut le premier à réagir: il chercha à faire admettre le principe du "consentement préalable" à toute extraction de plutonium à la formation duquel il aura participé de près ou de loin. Dès 1976, Ottawa dénonça ses accords avec les pays clients qui refusèrent son veto sur le retraitement. L'Inde et le Pakistan furent les premiers à en faire les frais. Puis, en 1977, les Canadiens mirent un embargo sur les exportations d'uranium à destination de la Communauté européenne pour protester contre la lenteur de la renégociation de son accord avec Euratom (Goldschmidt, 1980, p. 434).

La même année, les fournitures d'uranium canadien à la Suisse furent aussi interrompues, mais là où les pays membres de l'Euratom n'eurent à attendre qu'une année la reprise des livraisons, la Suisse dut s'engager dans de difficiles négociations portant sur l'adhésion à un pro-

tole annexé à l'accord de coopération entre les deux pays. Les Canadiens cherchèrent à faire admettre à la Suisse le principe du consentement préalable ainsi que leur droit de veto sur le transfert d'équipements pour le cycle du combustible, ce qui, évidemment, fut considéré comme une atteinte à la souveraineté de notre pays autant qu'à la liberté du commerce et de l'industrie. Par ailleurs, ces entraves parurent aller au-delà des règles générales de conduite qui furent négociées entre 1975 et 1978 à Londres.

En été 1974, tous les principaux fournisseurs nucléaires, à l'exception de la France, se mirent d'accord sur la "liste Zangger" comprenant les produits susceptibles d'être utilisés pour le développement d'explosifs nucléaires et dont les exportations devaient être soumises au contrôle de l'A.I.E.A. La consultation qui eut lieu à propos de cette liste en vue de compléter l'article III du TNP peut être considérée comme un préalable à la Conférence des fournisseurs tenue à Londres. L'impulsion de cette dernière rencontre trouva son expression formelle dans les déclarations finales de la Conférence de révision du TNP qui eut lieu à Genève en mai 1975. Ces déclarations, adoptées par consensus allaient dans le sens d'un contrôle plus sévère des exportations nucléaires (Muntzing, 1978, p. 221).

En janvier 1976, les participants de la Conférence de Londres, comprenant les quatre premières puissances nucléaires, le Canada, la République fédérale d'Allemagne, le Japon ainsi que huit autres pays, dont la Suisse, s'étaient mis d'accord sur de nombreux points concernant l'établissement d'un nouveau régime légal international allant au-delà des dispositions contenues dans le TNP. Les pays fournisseurs s'engagèrent à respecter dans leurs nouveaux accords de vente des "directives" précisant les garanties minimales à exiger des pays acheteurs; ils tombèrent d'accord sur l'application de restrictions au transfert de produits d'équipements et de technologies sensibles et s'engagèrent à encourager la création d'unités de retraitement et d'enrichissement

à l'échelle multinationale dans des régions stables politiquement. Finalement, les pays fournisseurs requérèrent des mesures de protection physique pour les transports de matériaux nucléaires. Ainsi, ces directives rendues publiques au début 1978 seulement, instaurent une discrimination au sein des pays dépourvus d'armes nucléaires entre les plus industrialisés possédant les technologies sensibles et susceptibles de les mettre en oeuvre, et les moins développés à qui ces étapes du cycle allaient théoriquement être interdites.

Conformément à ces dispositions, la Suisse adopta, le 17 mai 1978, une ordonnance sur les définitions et les autorisations dans le domaine de l'énergie atomique contenant la liste de base des produits et équipements sensibles destinés à être contrôlés lors de leur exportation.

Les Etats-Unis adoptèrent quant à eux, en 1976 déjà, un amendement à la loi sur l'assistance à l'étranger qui prévoyait la cessation de toute aide aux pays non soumis aux garanties totales de l'A.I.E.A. qui se doteraient d'installations d'enrichissement ou de retraitement. Ils emboîtèrent ainsi le pas aux Canadiens et cherchèrent à convaincre le reste du monde du bien-fondé de leur politique en conviant tous les pays intéressés à participer à un programme d'évaluation technique du cycle du combustible du point de vue de la non-prolifération, dit INFCE (IAEA/1980).

En mai 1977, le président Carter rendit officielle cette offre à la réunion des sept principaux pays fournisseurs à Londres.

Après de longs travaux, les conclusions des travaux, transmises au début de 1980, s'accordaient à reconnaître ce qu'on savait déjà, c'est-à-dire que l'économie du plutonium pouvait être une option intéressante et que les contrôles de l'A.I.E.A. étaient d'une importance fondamentale pour la limitation de la prolifération.

Avant même la publication des résultats de l'INFCE, le Congrès américain prit la décision d'entériner une nouvelle loi.

Le Nuclear Non-Proliferation Act, approuvé en février 1978¹, établissait un embargo sur les exportations nucléaires des Etats-Unis vers les pays réfractaires soit au TNP, soit aux garanties totales de l'A.I.E.A., ou ayant développé une technologie jugée proliférante par les Etats-Unis; en outre, le retraitement des combustibles enrichis aux Etats-Unis ou irradiés dans un réacteur de provenance américaine devait être soumis à un consentement préalable, les pays qui s'opposeraient à ce droit de veto des Etats-Unis risquant l'interruption des livraisons d'uranium enrichi.

Cette nouvelle législation impliquait une renégociation de l'accord U.S.A.-Euratom, conçu pour faciliter la pénétration des centrales à eau légère et uranium enrichi dans la Communauté et qui considérait l'ensemble des Etats-membres comme un territoire unique du point de vue des transferts nucléaires entre ceux-ci. Selon cet accord, l'autorisation de Washington n'était pas nécessaire pour le retraitement en France de combustibles d'origine américaine irradiés dans un autre pays d'Euratom (Goldschmidt, 1980, p. 435). Malgré la menace d'embargo sur les livraisons d'uranium enrichi, la Commission européenne ne céda pas et les Américains durent renoncer à leurs exigences.

Par rapport aux pays membres d'Euratom, la Suisse se trouva donc désavantagée puisqu'elle dut soumettre le transfert de ses combustibles irradiés à l'approbation des Etats-Unis.

1) Cf. Shapar/Stoiber, 1978, pp. 227 ss.

En effet, les Etats-Unis intervinrent en automne 1980 à Berne pour exprimer leurs protestations formelles concernant l'exportation de produits suisses de haute technologie qui avaient été utilisés au Pakistan pour la construction d'une usine d'enrichissement à quelque quarante kilomètres au Sud d'Islamabad; l'administration Carter manifesta son mécontentement à l'égard de la politique d'exportations nucléaires de la Suisse en suspendant son accord pour le transfert des combustibles irradiés à la Hague¹.

En mars de la même année, le Conseil fédéral avait déjà eu à s'exprimer sur ces exportations à destination du Pakistan en répondant à deux petites questions posées par les conseillers nationaux socialistes Andreas Gerwig et Hans Schmid qui craignaient que les livraisons suisses ne servent à la fabrication de bombes atomiques. Il leur fut répondu que la Suisse était partie du TNP et au "Club de Londres" et que, par conséquent, elle ne cherchait en aucune manière à enrourager la prolifération des armes nucléaires. Par ailleurs, les exportations à destination du Pakistan n'enfreignaient pas ces accords, pas plus que le contrat conclu avec Sulzer avec l'Argentine portant sur la livraison d'une installation de production d'eau lourde. En outre, le Conseil fédéral expliqua que les difficultés rencontrées dans l'approvisionnement de la Suisse en uranium naturel n'étaient pas liées à ces exportations litigieuses et que les Etats-Unis avaient un certain retard dans l'octroi de leur permis d'exportations des combustibles irradiés à destination de l'usine de retraitement de la Hague.

Du côté suisse, on s'était plu à admettre que le véritable motif du mécontentement exprimé par l'Administration Carter avait été lié à la forte résistance opposée par le Congrès à octroyer l'autorisation

1) Cf. IIZZ, 23.9.1980, p. 31.

d'exporter de l'uranium enrichi à destination de l'Inde pour les raisons que l'on sait¹⁾. La Maison Blanche aurait donc voulu démontrer par cette attitude qu'elle entendait poursuivre fermement sa politique en matière de non-prolifération.

Il n'en reste pas moins que les Américains reprochèrent aux Suisses de n'avoir pas respecté l'esprit des accords internationaux et qu'ils exigèrent un contrôle plus strict des exportations. A Berne, on demanda alors que la liste des produits et équipements sensibles soit renégociée dans un cadre multilatéral de telle manière que l'industrie suisse ne soit pas préteritée vis-à-vis de celle d'autres pays. Au demeurant, il faut souligner que les exportations d'uranium enrichi à destination de la Suisse n'avaient pas été interrompues.

Il est vrai que le Pakistan pourrait vouloir à tout prix réaliser sa bombe pour se prémunir de l'éventuelle volonté d'hégémonie de ses voisins Indiens et Soviétiques. Cette crainte est d'autant plus justifiée que le Pakistan n'est toujours pas partie du TNP, tout comme l'Inde d'ailleurs et quelques autres pays sis dans les points les plus chauds du globe.

En Suisse, on se demanda alors s'il ne fallait pas renoncer à exporter vers le Pakistan pour ne pas avoir à subir un embargo sur l'uranium américain. Pourtant, celui-ci n'aurait pas posé de trop grands problèmes puisque les centrales suisses disposaient de réserves de combustibles variant de 18 à 30 mois, ce qui aurait été amplement suffisant pour permettre de négocier des contrats avec d'autres partenaires.

1) Cf. NZZ, 23.9.1980, p. 31.

En ce qui concerne les combustibles irradiés, le veto américain sur le transfert n'aurait pas eu de conséquence fâcheuse à court terme, puisque les capacités de stockage intermédiaire étaient de six années. Les conséquences financières des éventuelles mesures de rétorsion des Américains auraient néanmoins été très importantes. Aussi, le bras de fer entre les Etats-Unis et la Suisse ne dura-t-il pas longtemps: à la fin de 1980, le Conseil fédéral fit savoir qu'il bloquerait "autant que possible" les exportations de matériels et de technologies à destination du Pakistan. Au début de mois de février de l'année suivante, la Suisse était autorisée à transférer des combustibles irradiés en vue de leur retraitement. Du côté suisse, on parla alors de toute cette affaire comme d'un malentendu, tandis que les Etats-Unis n'avaient jamais reconnu officiellement un lien quelconque entre les exportations nucléaires suisses et le retard apporté à l'octroi des autorisations de transfert des combustibles irradiés et de vente de plutonium à l'Italie.

Les Suisses ne furent pas les seuls à subir la "lenteur" de la procédure américaine. Alors que l'embargo de fournitures nucléaires vers les pays réfractaires au TNP ainsi qu'aux garanties totales de l'A.I.E.A. semblait être acquis, les Etats-Unis se virent confrontés à un grave dilemme lorsque l'Inde leur soumit deux demandes portant sur la livraison de deux lots de 19,9 tonnes d'uranium enrichi. En effet, l'application stricte de la politique de non-prolifération des armes nucléaires incluse dans le Nuclear Non-Proliferation Act aurait conduit les Indiens à s'approvisionner auprès de l'URSS. Les demandes adressées en septembre 1978 et en août 1979, bien que soutenues par la Maison Blanche, furent refusées par la Nuclear Regulatory Commission (NRC). A la suite de quoi le président Carter promulgua un décret octroyant les licences d'exportations; l'affaire passa ensuite devant le Congrès qui eut à se prononcer sur cette décision dans les 60 jours qui suivaient. Malgré un net rejet devant la Chambre des représentants, le Sénat se laissa

séduire par les arguments de l'Exécutif, si bien que l'uranium enrichi put enfin être exporté. Si tel n'avait pas été le cas, les Indiens se seraient considérés comme libres de leurs engagements vis-à-vis des Etats-Unis: ils se seraient sans doute approvisionnés auprès des Soviétiques et ils auraient pu retraiter les quelque 200 tonnes de combustibles déjà irradiés, issus de leur centrale à eau bouillante de Tarapur¹. Mais l'Inde, qui a toujours refusé les garanties totales de l'A.I.E.A., venait de démontrer que les Etats-Unis ne pouvaient pas maintenir leur embargo sur les fournitures nucléaires à destination de tous les pays réfractaires au TNP, surtout lorsqu'il s'agit de maintenir un minimum de contrôle sur les installations existantes.

En 1981, le contrôle de l'industrie nucléaire occidentale par les Etats-Unis, déjà battu en brèche par l'URSS dès le début des années 70, puis par les Européens avec URENCO et, surtout, Eurodif, tend à s'affaiblir en même temps que s'érode sa position de chef de file de l'enrichissement. Mais d'importants contrats sont encore en vigueur, lesquels donnent à Washington des droits sur les transferts des combustibles qu'ils ont livrés ou qui ont été irradiés dans les installations qu'ils ont fournies.

Par ailleurs, on constate une tendance à la généralisation du contrôle de la non-prolifération par la voie d'accords bilatéraux, renégociés ou non, conformément à la nouvelle politique inaugurée par le Canada. Ces nouvelles contraintes, qui se superposent à celles convenues dans un cadre multilatéral, introduisent une grande incertitude quant à l'avenir de l'énergie nucléaire dans les pays qui dépendent de la technologie américaine.

1) Soumise au contrôle de l'A.I.E.A. en vertu de l'accord de coopération conclu entre l'Inde et les Etats-Unis en 1963.

A cet égard, l'industrie nucléaire suisse est doublement concernée. D'une part, elle subit la pression exercée par les Canadiens qui refusent de lever l'embargo sur la fourniture d'uranium naturel et, d'autre part, elle doit soumettre aux autorités américaines ses demandes de retraitement et de vente de plutonium à des Etats tiers.

Pour le moment, il en est résulté des surcoûts d'exploitation pour les compagnies suisses d'électricité qui ont dû s'approvisionner d'urgence sur le marché mondial pour pouvoir enrichir leur uranium et faire fabriquer leurs barreaux de combustible dans les termes convenus contractuellement avec des compagnies étrangères. Par ailleurs, comme on l'a déjà vu, le prix de l'uranium a considérablement augmenté depuis 1973/1974, dates auxquelles les contrats rompus avaient été conclus à des prix fixes.

L'embargo canadien ne se justifie cependant que par la volonté de contrôler les exportations de matériaux, de biens et de technologies suisses. Outre les droits de consentement préalable et de veto, des garanties de sécurité complexes seraient exigées, lesquelles vont au-delà de ce qui a été convenu dans le cadre du TNP et de la Conférence de Londres. Cette situation est d'autant plus mal acceptée en Suisse que les Canadiens voudraient établir une discrimination de notre industrie; en 1978, les pays membres de l'Euratom ont en effet conclu avec Ottawa un nouvel accord de coopération qui leur réserve plus d'égards¹. On peut donc en déduire que les Canadiens cherchent à éliminer une concurrence gênante pour eux. Cette hypothèse tient d'autant mieux que Sulzer a remporté, en octobre 1979, la commande de l'Argentine portant sur la fourniture d'une installation de production d'eau lourde de près d'un demi milliard

1) Cf. NZZ, 23/24.6.1979, p. 17

de francs suisses face à une entreprise canadienne (Lummus) et une maison ouest-allemande (UHOE)¹.

Mais l'uranium du Canada n'est pas indispensable à la Suisse, quoique la situation ait pu paraître préoccupante à moyen et long terme. Il a alors été envisagé la signature d'un accord avec l'Australie pour garantir l'approvisionnement des centrales nucléaires suisses.

Ainsi que le souligne Goldschmidt (1980, pp. 443/444), la bataille mondiale de la non-prolifération reste inachevée; elle a sans doute ralenti l'effort nucléaire dans quelques pays du Tiers Monde, l'Inde en particulier, et elle a certainement contribué à la détérioration des relations entre Washington et les pays réfractaires au TNP.

L'industrie nucléaire suisse, qui ne bénéficie pas des avantages concédés à ses concurrentes de la Communauté européenne en vertu des accords bilatéraux conclus avec les Etats-Unis et le Canada apparaît comme l'une des victimes de la nouvelle politique prônée par ces deux derniers pays. Seuls les Français et les Allemands semblent s'être libérés de l'hégémonie nord-américaine en proposant à leurs clients à la fois la fourniture de centrales nucléaires et des installations couvrant le cycle du combustible. Mais les engagements qu'ils ont pris en souscrivant aux directives de Londres limitent considérablement leurs possibilités en terme de marchés. On peut alors se demander si, avec le déclin

1) L'installation, d'une capacité annuelle de 250 tonnes, devait être fabriquée en grande partie avec des composants suisses et construite sous le contrôle de Sulzer par des entreprises argentines. La production d'eau lourde devait débiter en 1984, sous le contrôle de l'A.I.E.A., pour couvrir la plus grande partie des besoins du programme argentin. Une petite installation d'une capacité de 2 à 3 tonnes a déjà été mise en service à partir de la technologie canadienne en 1981, essentiellement à des fins de formation; une seconde installation, d'une capacité de 80 tonnes par an devrait aussi être construite sur la même base, mais sans aide extérieure (NZZ, 26.2.1980, p. 17; NZZ, 15/16.3.1980, p. 19; NZZ, 26.3.1980, p. 19).

de l'industrie électro-nucléaire dans le monde occidental, ces Etats et leurs entreprises ne seraient pas tentés de transférer leurs technologies vers des pays qui ne font pas partie du club des fournisseurs, comme le Brésil (auquel la République fédérale d'Allemagne a déjà prêté assistance¹), l'Argentine² ou l'Irak, au risque de répéter l'erreur qu'ont déjà perpétrée les Français en vendant les plans d'une usine de retraitement au Pakistan alors qu'ils n'étaient pas encore engagés dans les négociations de Londres.

On risquerait alors de voir la philosophie de la non-prolifération mise en péril.

-
- 1) Cf. Laue/Nentwich, "Technology Transfer as a Precondition for Nuclear Power Plant Export", in: Problems associated with the Export of Nuclear Power Plants, A.I.E.A., Vienna, 1978, pp. 223 ss.
 - 2) L'Argentine et le Brésil se sont rapprochés, en 1980, pour entreprendre la construction de centrales nucléaires en régie propre. La coopération devrait aussi s'étendre aux domaines de l'extraction de l'uranium et du cycle du combustible. L'Argentine dispose déjà de technologies nucléaires, tandis que le Brésil serait en mesure de fabriquer les installations. Cette coopération serait un défi aux pays industrialisés qui refuseraient de leur mettre à disposition les technologies nucléaires correspondantes.

Chapitre 6:

Un essai de prospective

Introduction

L'épuisement du potentiel des réserves prouvées en pétrole oriente inéluctablement à la hausse des prix de cet agent énergétique. Cette tendance contraint à de sérieuses économies et favorise les substitutions. Cependant, avec les délais de mise en oeuvre de nouvelles technologies, le passage à une autre structure d'approvisionnement s'annonce long et difficile.

Même avec de vigoureuses mesures de conservation de l'énergie, la demande continue à s'accroître pour tous les agents énergétiques. La part du pétrole dans la croissance de l'offre globale d'énergie tend à se réduire, alors que celle du charbon et de l'énergie atomique progresse.

Les techniques les plus récentes qui ouvrent de nouvelles perspectives à l'utilisation accrue du charbon, - la combustion en lit fluidisé, la gazéification et la liquéfaction -, retiennent toute l'attention, mais les commandes dans ce domaine ne concernent encore que des installations pilotes et de démonstration. Les étapes les plus marquantes franchies jusqu'ici ont été la mise en valeur du projet SASOL en Afrique du Sud et le lancement d'un programme d'équipement¹ aux Etats-Unis avec le soutien financier du gouvernement fédéral. D'autres procédés d'ennoblissement du charbon sont développés en République fédérale d'Allemagne avec d'importantes contributions de l'Etat.

Mais avant que l'espoir placé dans une exploitation "propre" et rentable du charbon ne se concrétisent, les options prises sur l'énergie nucléaire permettent de cerner les transformations qui concernent l'horizon 1990. Il s'agit, tout au plus, d'inflexions et de réaména-

1) Le premier projet concerne une installation de gazéification qui doit être mise en service en 1984 par la Compagnie American Natural Resources. Le second a été mis sur pied par Exxon et Tosco pour la production de 500.000 barils de pétrole par jour à partir de 1985.

gements marginaux. En particulier, la relative précision accordée à la réalisation des programmes nucléaires au cours des quelque dix prochaines années laisse entrevoir le rôle futur de chaque fournisseur: d'après les taux d'utilisation attendus de leurs capacités de production, on est en mesure de cerner les problèmes auxquels ils ne manqueront pas d'être confrontés.

En revanche, l'an 2000, plus lointain, apparaît comme une période de transition dont les composantes sont encore à déterminer.

6.1 Les commandes de centrales électro-nucléaires

Il est nécessaire de soulager la demande d'hydrocarbures importés dans les pays industrialisés, non seulement pour des raisons de bonne règle de gestion de leurs intérêts (économie de devises, sécurité d'approvisionnement), mais aussi pour réserver le plus rapidement possible aux pays du Tiers-Monde une énergie rare qui leur est vitale. Le Tiers-Monde, moins que les zones industrialisées, ne peut se passer du pétrole: bien adaptée aux conditions de la demande dans bien des régions où cette dernière est faible et fractionnée, où l'habitat rural dispersé ne justifie pas l'implantation de moyens de production et de distribution d'électricité, cette énergie pourrait bien rester, pour longtemps encore, indispensable à la couverture des besoins. On constate aussi la disproportion énorme qu'il y a entre la consommation de pétrole des pays industrialisés et celle des pays en voie de développement: le rapport est de un à quatre. En plus, les premiers sont aussi les principaux fournisseurs de l'OPEP et constituent les marchés-refuges des pétro-dollars.

A priori, les pays industrialisés (les Etats-Unis en tête) sont donc mieux en mesure de réduire la pression à la hausse des prix du pétrole. Leur marge de manoeuvre est d'autant plus grande qu'ils gaspillent l'énergie et qu'ils peuvent utiliser d'autres ressources pour satisfaire la demande. En particulier, ils disposent du savoir-faire, de la technologie, des capitaux et des possibilités de contrôle qui leur permettent de substituer le nucléaire au pétrole. Les pays du Tiers-Monde sont par contre beaucoup plus démunis dans cette lutte contre la rareté: ils emploient des carburants et des engrais à base de pétrole qu'on ne saurait leur disputer.

Ainsi, le nucléaire apparaît non seulement comme un moyen d'aplanir les problèmes économiques dans les pays les plus riches, mais aussi comme une aide importante aux pays en voie de développement.

Avec le second choc pétrolier, ces considérations ont contribué à l'amorce d'une relance de l'industrie nucléaire: les signes d'une nouvelle détermination sont apparus dans la plupart des pays du monde.

La Suède la première a pu surmonter la polémique qui la divisait: le 23 mars 1980, la majorité des électeurs a voté pour la poursuite du programme nucléaire existant et la mise hors service de toutes les centrales indigènes en l'an 2010. De leur côté, la Grande-Bretagne et la République fédérale d'Allemagne ont enregistré leurs premières commandes depuis des années, tandis que le Japon s'est lancé dans la réalisation d'un important programme d'équipement.

En 1979, la situation a encore été catastrophique pour l'industrie nucléaire: huit nouvelles commandes ont été faites contre quatorze annulations. Le nombre des centrales connectées au réseau s'est néanmoins accru, passant de 227 à 233 unités (correspondant à des puissances installées de 103 et 119 GW). A la fin de 1980, vingt autres centrales sont en service (puissance totale: 136 GW); la croissance constatée est imputable à la France, à la Suède et à l'URSS uniquement. Le nombre des commandes enregistrées en cours d'année en République fédérale d'Allemagne (1), en France (8), en Grande-Bretagne (4), au Japon (4), en Espagne (1), en Corée (1) et en Chine (2) se monte à 21 unités (correspondant à quelque 20 GW supplémentaires).

C'est un net rétablissement qui s'est produit par rapport aux quatre années précédentes. Encore faut-il préciser que douze projets ont été annulés aux Etats-Unis (puissance prévue: 13 GW).

L'estimation des capacités installées en centrales nucléaires s'établit ainsi à 310 GW en 1985 et à 450 GW en 1990 (AIEA, 1981). La dernière valeur correspond, grosso modo, à la mise en service de 224 unités supplémentaires à partir de 1981 (cf. tableau page suivante). On peut d'ores et déjà dire que 880 et ASEA-Atom seront confrontés à d'importants problèmes de restructuration dès la seconde moitié des années 80.

Jusque vers 1990, les perspectives de la demande en centrales nucléaires sont globalement modestes et très variables de région à région.

En Europe occidentale, le nombre des commandes devrait être particulièrement faible. Elles sont prévues en Grande-Bretagne, en République fédérale d'Allemagne et en Italie. Des possibilités existent également aux Pays-Bas, en Irlande, au Portugal et en Suisse.

Le 18 décembre 1979, le Ministre de l'Energie britannique, M. David Howell, a communiqué à la Chambre des Communes les objectifs du Gouvernement concernant un nouveau programme nucléaire. Il a notamment annoncé qu'une centrale au moins serait commandée chaque année depuis 1982, et cela, jusqu'en 1992. Le nombre des réalisations devrait dépendre essentiellement des performances de l'industrie indigène et de l'évolution de la demande en électricité.

De leur côté, les compagnies d'électricité allemandes auraient certainement les ressources financières et un marché suffisamment large pour lancer d'autres commandes. Elles rencontrent cependant d'importants obstacles au cours des procédures d'autorisation en raison de la complexité des lois en vigueur et des recours lancés auprès des tribunaux. La situation est devenue si préoccupante que le Parlement a décidé, en mai 1981, la constitution d'une commission spéciale d'enquête sur le futur de l'énergie nucléaire en République fédérale d'Allemagne. Dans

Tableau 28

LIVRAISONS PROBABLES DE CENTRALES PAR FOURNISSEUR

	1981-85	1986-90	1991-95	Total
Etats-Unis				
General Electric	22	16	0	38
Westinghouse	38	18	2	58
Babcock & Wilcox	5	5	0	10
Combustion Eng.	4	11	3	18
Total				124
France				
Framatome	37	9	0	46
RFA				
KWU	7	8	0	15
BBC	3	0	0	3
Canada				
AECL	9	6	1	16
Suède				
ASEA-Atom	6	1	0	7
G.-B.				
	6	4	0	10
Japon				
Mitsubishi	5	0	0	5
Toshiba	3	0	0	3
Hitachi	1	0	0	1
Total monde occidental	146	78	6	230

Source: Nuclear Engineering International, July 1981.

un rapport intermédiaire, celle-ci aboutit à la conclusion que l'expansion du nucléaire devrait être poursuivie dans la mesure où il est nécessaire de maintenir les capacités industrielles correspondantes. Si le Parlement approuve cette manière de voir les choses, les commandes des compagnies d'électricité allemandes pourraient reprendre. En 1982, le défaut de capacité nucléaire installée en République fédérale d'Allemagne est estimé à quelque 10 GW.

Les commandes de nouvelles centrales pourraient aussi survenir en Italie. Le 4 décembre 1981, le CIPE (Comité Interministériel pour la Programmation Economique) a approuvé le programme de l'ENEL (organisme électrique national) qui prévoit la réalisation de plusieurs unités dans le Piémont, en Lombardie, ainsi que dans les Pouilles. Il faudra néanmoins compter avec une certaine résistance des Communes à accepter les nouvelles installations¹.

Si les perspectives des commandes de centrales nucléaires en Europe occidentale sont assez restreintes, celles en Amérique du Nord sont franchement mauvaises.

1) D'après la loi italienne, chaque Région, en accord avec les Communes intéressées et avec l'assistance technique du CNEN (Comité National pour l'Energie Nucléaire), doit prendre une décision, dans un délai de 60 jours, soit en approuvant la localisation choisie, soit en indiquant au moins deux autres zones susceptibles de recevoir des centrales nucléaires. L'ENEL transmet ensuite un rapport sur les zones proposées par les Régions au Ministère de l'Industrie, lequel, à son tour, demande à chaque Région de fixer l'emplacement de l'installation. Sans décision de la Région dans un délai de 150 jours à compter de la délibération du CIPE, le Gouvernement a la faculté de soumettre au Parlement un projet de loi pour la localisation de la centrale.

Aux Etats-Unis, en octobre 1981, l'Administration Reagan a publié ses conceptions en matière de politique nucléaire. Le nouveau président a levé l'interdiction du retraitement des combustibles irradiés en vigueur depuis 1977. Il a d'autre part déclaré ne plus vouloir s'opposer au retraitement civil dans les pays tiers pour autant qu'il ne présente aucun danger de prolifération. Enfin, le président Reagan s'est prononcé pour la réduction de la durée de mise en service des centrales nucléaires et pour une révision de la procédure d'octroi des licences. Mais la relance de l'industrie nucléaire aux Etats-Unis n'est pas sans poser certains problèmes: la licence d'exploitation accordée à la Pacific Gas and Electric Co (PG&E) pour la centrale de Diablo-Canyon en Californie a dû être retirée, peu après avoir été délivrée. On a en effet constaté que les plans présentés lors de la procédure d'autorisation ne correspondaient pas à l'installation concernée. Dans ces conditions, la crédibilité de l'industrie nucléaire indigène et des organes de contrôle gouvernementaux paraît sérieusement mise en doute. Il est alors possible que le Canada construise une ou deux centrales additionnelles sur son territoire pour approvisionner son voisin.

En Extrême-Orient, les perspectives sont radicalement différentes. Les Japonais ont arrêté un programme nucléaire ambitieux autant pour assurer une bonne partie de leurs besoins en électricité que leur indépendance au niveau du cycle du combustible. Ils ont en vue les commandes les plus importantes du monde (33 à 39 GW). A Taïwan, la réalisation de six centrales est attendue pour la période 1988-1993; entre temps devraient intervenir les commandes de douze unités supplémentaires. En Corée enfin, il est prévu d'installer quatre à six centrales de 1200 MWe en plus de celles qui sont en cours de réalisation. La capacité nucléaire devrait atteindre près de 11 GW en 1991¹.

1) Centrales à eau légère pressurisée uniquement.

O'une manière générale, la demande en provenance des pays en voie de développement va être relativement importante si l'on en croit les projets envisagés. La Roumanie désire réaliser seize centrales supplémentaires de type Candu jusqu'en l'an 2000; la Yougoslavie aimerait installer neuf autres unités à eau légère pressurisée pour la même échéance. L'Egypte devrait passer les commandes de huit installations auprès de Framatome, Westinghouse, KWU et NPC (deux unités auprès de chacun de ces fournisseurs) pour un total de 8 GW et l'Argentine a déjà fait savoir qu'elle commanderait trois centrales à eau lourde. Le Mexique, quant à lui, envisage la réalisation d'un programme nucléaire évalué à 30 milliards de dollars en 1982. Enfin, il n'est pas exclu que le Brésil, la Colombie, le Maroc, le Koweït et l'Afrique du Sud se décident pour quelques unités supplémentaires¹.

Au total, la demande potentielle de centrales nucléaires sur les marchés des fournisseurs du monde occidental ne devrait pas dépasser une douzaine de GW en moyenne annuelle au cours de la période 1982-1992.

1) Jusqu'à présent, il semble que la Chine ait voulu placer l'accent de sa politique énergétique dans l'exploitation de ses réserves de charbon; elle pourrait néanmoins gagner en importance comme producteur d'uranium.

Tableau 29

ESTIMATIONS DES COMMANDES DE CENTRALES NUCLEAIRES
SUR LES MARCHES DES FOURNISSEURS DU MONDE OCCIDENTAL
DURANT LA PERIODE 1982 - 1992 (GW/an)

Marchés	Années 70	1982-1992
Japon	1.7	3 - 4
Canada	1.0	0.5
Etats-Unis	12.0	0 - 1
France	3.4	0.5
République fédérale d'Allemagne	1.6	0.5- 1
Grande-Bretagne	0.4	1
Suède	0.4	0
Italie	.	0.5- 1
Autres	4.6	3 - 5
Total	25.1	9 -14

Il faut donc s'attendre à un net recul de la demande par rapport à la moyenne des commandes enregistrées au cours des années 70, d'autant plus que les objectifs fixés dans bien des pays paraissent difficiles à atteindre à cause des contraintes déjà mentionnées et, en particulier, d'une certaine permanence de l'opposition.

Durant ces prochaines années, la part des marchés d'exportation dans les commandes mondiales devrait s'accroître de manière sensible. Les possibilités d'absorption dans les pays susceptibles de lancer des programmes nucléaires sont néanmoins limitées, d'une part parce que chacun d'entre eux veut développer sa propre infrastructure industrielle, et, d'autre

part, parce que de sérieux problèmes de financement peuvent se poser. Enfin, la maîtrise du transfert de technologie est une chose délicate. Les fournisseurs de centrales nucléaires ne doivent pas seulement vendre un moyen de production d'énergie, ils doivent aussi offrir les services du cycle du combustible, une assistance technique ainsi qu'un programme de formation pour la main-d'oeuvre indigène. L'ouverture des nouveaux marchés peut donc prendre beaucoup de temps.

6.2 Les conséquences du ralentissement de la demande

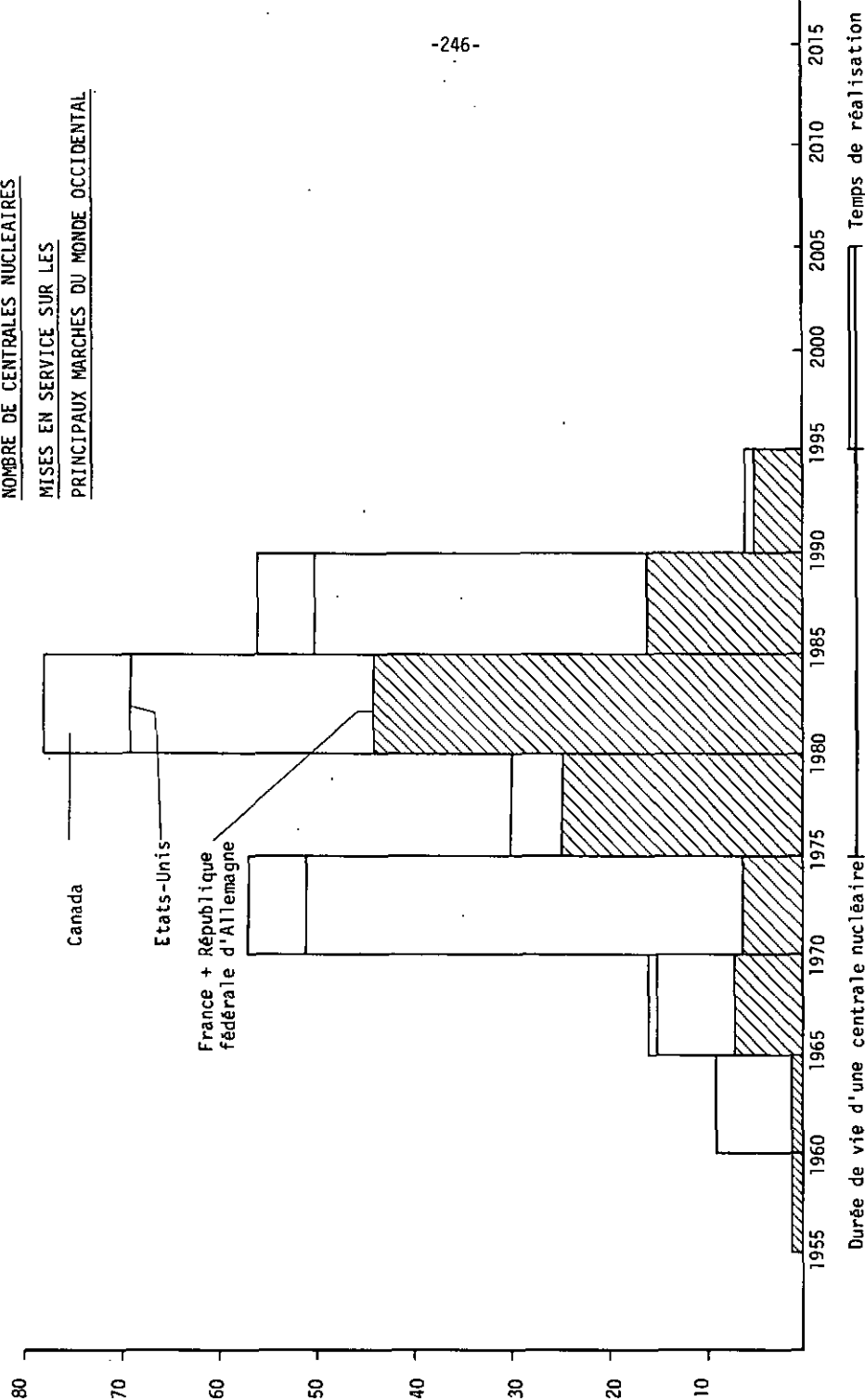
Le cycle des commandes de centrales nucléaires s'envole à partir de 1964; il atteint un sommet une dizaine d'années plus tard, puis fléchit rapidement pour toucher un creux dans la seconde moitié des années 70. Durant la période couverte par ce cycle, le nucléaire détermine la croissance de l'industrie électromécanique, la technologie mise en oeuvre étant considérée comme la plus rentable.

Avec un décalage de près de douze ans sur le cycle des commandes, le cycle correspondant au nombre des unités connectées au réseau devrait enregistrer un record entre 1980 et 1985. Plus tard, dans la première moitié des années 90, le besoin de remplacer les centrales en fin de course devrait se faire sentir: on peut alors s'attendre à une nouvelle explosion des commandes. Dans l'hypothèse retenue, il ne s'agit pourtant que de maintenir les capacités des centrales nucléaires au-delà de l'an 2000¹. Encore faut-il préciser que la reprise de la demande en moyens de production d'électricité ne correspondra pas forcément à une seconde expansion de l'industrie nucléaire. En effet, il est possible que d'autres technologies s'imposent d'ici là.

La perspective d'un changement profond à l'intérieur de la branche des moyens de production d'énergie n'est pas à exclure. Depuis la seconde moitié des années 70 déjà, quelques fournisseurs de centrales nucléaires sont confrontés à une grave pénurie de commandes. Les premiers signes d'une désintégration de l'appareil de production sont apparus sous la forme d'une baisse de la rentabilité, d'un relâchement dans le contrôle-qualité et d'une fuite des "cerveaux".

1) La durée de vie d'une centrale nucléaire ne devrait pas dépasser 30 ans.

NOMBRE DE CENTRALES NUCLEAIRES
MISES EN SERVICE SUR LES
PRINCIPAUX MARCHES DU MONDE OCCIDENTAL



Durée de vie d'une centrale nucléaire

Le principal problème auquel sont confrontés les fournisseurs de centrales nucléaires lorsque la demande est faible réside dans la difficulté à maintenir les capacités d'ingénierie. En admettant que la réalisation d'une centrale prenne dix ans, les groupes de projets sont typiquement engagés durant les deux à trois années qui suivent la commande; les travaux en usines sont effectués durant les quatre à cinq années intermédiaires, tandis que la période restante est utilisée pour la construction et l'assemblage sur le site. Autrement dit, les fluctuations de la demande de centrales affectent à un moment différent les diverses catégories de travailleurs et les capacités d'ingénierie sont les premières touchées par une baisse de la demande.

Le travail de bureau n'a cependant pas manqué à cause des problèmes techniques rencontrés lors de l'établissement des projets. Par ailleurs, des impératifs de sécurité ont conduit à reviser sans cesse certains systèmes de réacteurs et la législation est devenue plus complexe. Les activités de service et de maintenance ont aussi permis une utilisation plus efficiente des capacités d'ingénierie et même, dans certains cas, des ateliers (Lönnroth/Walker, 1979, pp. 75 ss.).

D'un point de vue plus financier que technique, les fournisseurs d'équipements nucléaires et les compagnies d'ingénierie impliqués dans le cycle du combustible sont favorisés par l'accroissement du nombre des centrales en activité. Mais si la fabrication des éléments de combustible et les opérations de stockage, en particulier, constituent de bons créneaux, ils ne sauraient pourtant suffire à la survie de l'industrie électro-nucléaire.

La recherche et développement rencontre aussi ses propres limites. Elle procure du travail aux ingénieurs, mais elle présente un risque élevé. En outre, les gouvernements sont de moins en moins enclins à promouvoir de nouveaux systèmes devant la persistance de l'opposition.

Dans certains cas, l'industrie électro-nucléaire peut être soutenue grâce au budget militaire. Les commandes de porte-avions et de sous-marins sont en effet susceptibles d'aider les entreprises en difficulté¹.

Dans l'ensemble, les travaux en cours, les problèmes techniques des centrales déjà installées, les nouvelles réglementations, les opérations de service et du cycle du combustible, les programmes militaires et la recherche et développement devraient permettre le maintien de l'industrie électro-nucléaire, bien qu'un redimensionnement paraisse inéluctable dans la plupart des pays du monde occidental.

1) Le 6 février 1982, la Maison Blanche a rendu public le projet de budget pour 1983. Celui-ci prévoit notamment la construction de deux porte-avions et de deux sous-marins à propulsion nucléaire, soit de dix réacteurs.

6.3 Les perspectives des fournisseurs de centrales nucléaires

Aux Etats-Unis, de nombreux sous-traitants ont déjà abandonné la partie. A lui seul, le coût du label de qualité délivré par l'ASME¹ est de nature à inciter les producteurs à quitter le marché du nucléaire. Comme il faut à peu près une année pour obtenir un nouveau certificat de producteur qualifié - à supposer que le personnel et les équipements soient encore à disposition -, le retrait observé revêt une importance toute particulière, non pas parce que le marché du nucléaire est vital pour les sous-traitants, mais parce que les fournisseurs de centrales pourraient bien ne plus être en mesure de satisfaire une reprise de la demande.

Au premier abord cependant, c'est en Suède que l'avenir de l'industrie électro-nucléaire paraît le plus compromis. En 1986, en effet, le groupe ASEA-Atom devrait avoir terminé la dernière centrale qui lui a été commandée et ses marchés traditionnels paraissent d'ores et déjà saturés. Il faut alors constater que les capacités de production de l'industrie suédoise sont plutôt faibles (1 à 2 GW/an)². ASEA-Atom a surtout investi dans la production d'éléments de combustible et compte beaucoup sur le développement des affaires dans ce domaine. Par ailleurs, le groupe devrait aussi participer à la réalisation d'un centre pour le stockage du combustible irradié sur le site d'Oskarshamn. Enfin, il envisage le transfert de sa technologie au Mexique et n'a pas perdu tout espoir de mettre en valeur son concept de réacteur urbain SECURE (400 MWth). De son côté, Uddcomb, le producteur de cuve, voit son avenir dans la manutention, le transport et le stockage des éléments de combustible³.

1) American Society of Mechanical Engineers; le label est à renouveler tous les trois ans.

2) Quoiqu'elle puisse équiper pour près de 90 % les centrales qu'elle construit.

3) En 1980, Uddcomb a reçu de France la commande de quatre barils de 80 tonnes pour le transport de combustible irradié.

Avec ASEA-Atom, les fournisseurs américains Babcock & Wilcox et General Electric sont les plus menacés. Ces derniers sont déjà confrontés à une désorganisation de leur réseau de sous-traitance et leur technologie n'est pas aussi efficace que celle de leurs concurrents¹. Cependant, ils ne peuvent quitter le marché sans encourir de gros risques financiers et commerciaux: les compagnies d'électricité avec lesquelles ils ont signé des contrats ne manqueraient pas d'exiger des réparations.

Si aucune nouvelle commande n'est lancée en Amérique du Nord d'ici la seconde moitié des années 80, Combustion Engineering, Westinghouse et AECL, éventuellement, seront confrontés à des problèmes de restructuration. La situation financière des compagnies d'électricité aux Etats-Unis devrait néanmoins s'améliorer avec l'augmentation (attendue) du prix de cette énergie². Par ailleurs, le budget militaire présenté par la Maison Blanche en février 1982 prévoit la construction de navires de guerre à propulsion nucléaire. Ces nouvelles orientations devraient être favorables au maintien de l'industrie des réacteurs aux Etats-Unis. Quant à l'entreprise canadienne AECL, son avenir dépend, pour une bonne partie, de la poursuite du programme roumain d'équipement. Son principal problème pourrait donc être à la fois d'ordre politique et financier. Mais sa technologie semble intéresser d'autres pays, comme le Mexique et le Koweït.

-
- 1) La centrale de Three Mile Island a été livrée par Babcock & Wilcox tandis que les unités fournies par General Electric ont un rendement inférieur à celui des centrales à eau légère pressurisée.
 - 2) Bien que le besoin de financement des compagnies d'électricité américaines soit énorme: le Edison Electric Institute, qui réunit leurs intérêts, est à la recherche de 327 milliards de dollars pour balancer les dépenses destinées au seul maintien du niveau des services existants jusqu'en 1990.

Au Japon et, dans une moindre mesure, en Grande-Bretagne et en Italie, les producteurs indigènes ont des raisons de croire à une expansion de leur activité au cours des années 80. KWU devrait aussi pouvoir se maintenir sans trop de peine grâce à de nouvelles commandes en République fédérale d'Allemagne et à ses perspectives en Amérique du Sud¹, en Espagne et en Egypte.

Framatome enfin, peut compter sur son marché intérieur jusque vers la seconde moitié des années 80: les dernières livraisons sont prévues pour 1988. Mais, malgré son émancipation technologique vis-à-vis de Westinghouse², l'entreprise française n'arrivera pas à s'engager sur les marchés extérieurs comme elle l'aurait souhaité. Jusqu'à présent, elle a remporté des commandes en Belgique, en Afrique du Sud, en Corée et en Chine³. Plus récemment, un accord de coopération a été signé avec l'Egypte, lequel prévoit la livraison de deux installations. Vu la situation, il y a lieu d'admettre que l'industrie électro-nucléaire française sera confrontée à un problème de sur-capacité dès la seconde moitié des années 80.

- 1) Elle s'est en tout cas octroyé un monopole en Argentine.
- 2) En 1981, un contrat de coopération a remplacé l'accord de licence conclu entre Framatome et Westinghouse. Par ailleurs, les Américains ont abandonné leur participation dans l'entreprise française. Dès cette date, la France a pratiquement les mains libres pour exporter ses centrales nucléaires là où elle le veut, puisque le veto des Américains ne peut plus lui être opposé.
- 3) Les deux commandes enregistrées en Iran ont été annulées.

Remarquons enfin que les firmes Westinghouse, AECL, Framatome et KWU devraient s'attribuer l'essentiel, sinon la totalité, des commandes à l'exportation. Une phase cruciale est déjà entamée, durant laquelle la concurrence restera acharnée pour la conquête des nouveaux marchés. Certes, l'industrie électro-nucléaire devrait pouvoir se maintenir, mais, tandis qu'elle se développera en Amérique du Sud, en Extrême-Orient et dans les pays de l'Est (y compris la Yougoslavie), un réajustement des capacités paraît inéluctable en Europe occidentale et en Amérique du Nord.

L'avenir de BBC en tant que fournisseur de centrales nucléaires est suspendu aux décisions qui seront prises en République fédérale d'Allemagne. Au niveau des systèmes de la première génération, il est possible que le groupe soit éliminé du marché. Par contre, la mise en service de la centrale à haute température de Hamm-Uentrop ainsi qu'une attitude bienveillante des pouvoirs publics, tant en République fédérale d'Allemagne qu'en Suisse, permettraient d'envisager la commercialisation de cette technologie lors de la reprise des commandes de centrales dans le monde occidental.

6.4 Les perspectives des fournisseurs de turbogroupes

En ce qui concerne l'évolution attendue des livraisons de turbogroupes pour centrales nucléaires¹, on remarque que General Electric jouit d'une situation dominante: la firme américaine prévoit la livraison de 45 unités, dont 16 entre 1986 et 1990. Par ailleurs, c'est elle qui devrait participer à l'équipement des centrales canadiennes en Roumanie. Westinghouse, sa concurrente, a un carnet de commandes moins bien rempli (24 unités) et devrait être confrontée à des capacités de production nettement excédentaires dans la seconde moitié des années 80.

Les perspectives de KWU ne sont pas trop défavorables si l'on admet la réouverture du marché allemand. Néanmoins, l'entreprise pourrait entrer dans une période difficile à partir de 1985.

La situation du groupe BBC semble relativement favorable. Cela est dû à la diffusion de sa technologie². Mais Stal-Laval, son licencié en Suède, aura sans doute livré ses derniers turbogroupes pour centrales nucléaires en 1985 et Howden-Parsons produira les unités commandées au Canada. Par ailleurs, Alsthom-Atlantique a développé sa propre technologie pour la fabrication des turbines et générateurs de toutes

1) Cf. Nuclear Engineering International, Supplement July 1981; il a été admis un décalage de deux ans entre la date prévue de la mise en service des centrales et la fourniture des turbogroupes.

2) Il est implanté en Suisse, en République fédérale d'Allemagne et aux Etats-Unis (cf. chapitre 4). Il a aussi des licenciés en Suède, en France et dans les pays de l'Est. Il n'a toutefois pas réussi à prendre pied en Extrême-Orient (Corée).

Tableau 30

LIVRAISONS ATTENUES DE TURBOGROUPES A VAPEUR
POUR CENTRALES NUCLEAIRES

	Capacité installée (MW)	1981-85	1986-90	1991-95	Total
General Electric		28	16	1	45
Hitachi		1			1
Toshiba		2			2
Total	28.000	31	16	1	48
Westinghouse		21	3		24
Mitsubishi		2			2
Total	20.000	23	3		26
KWU	8.000	9	3		12
ACPSI		2	1		3
Total	8.000	11	4		15
BBC	8.000	9	11		20
Stal-Laval	1.500	2			2
Alsthom	8.000	23	6		29
General El. Cy	5.000	3	11		14
Total	86.500 ¹	102	51	1	154

Sources: Nuclear Engineering International, Supplement July 1981; BBC
pour les capacités installées.

1) Total des capacités installées dans le monde: 120-130.000 MWe.

les centrales nucléaires françaises¹. Enfin, le groupe suisse n'a pas réussi à s'imposer au bon moment sur le marché des installations clé-en-main. Par la force des choses, BBC aurait donc tendance à se dégager de la production de gros turbogroupes à vapeur et à se transformer en entreprise de service.

A l'inverse, les années 80 devraient être une période d'engagement pour la firme britannique General Electric Company qui profitera de la reprise des commandes sur son marché intérieur.

Quant à Alsthom-Atlantique, on peut dire que ses perspectives dans le domaine des turbogroupes pour centrales nucléaires sont largement déterminées par les commandes de l'EdF et par les possibilités d'exportation de Framatome.

1) Jusqu'en 1981, onze turbines de 1300 MWe ont été commandées à Alsthom-Atlantique sur la base de la technologie développée par BBC. Par ailleurs, 9 des 33 turbogroupes de 900 à 1000 MWe commandés à Alsthom-Atlantique par l'EdF ont été construits, en tout ou en partie, avec la technique BBC. Depuis 1977, l'entreprise française reste liée à BBC par un contrat de licence qui prévoit le versement de redevances pour toutes les unités qu'elle produit, et cela, jusqu'en 1992.

6.5 Autres éléments pour une prospective de l'industrie nucléaire suisse

D'une manière générale, les nouvelles perspectives du marché de l'électro-nucléaire ne sont pas trop défavorables à l'industrie suisse. D'une part, elle devrait pouvoir compter avec la commande d'une centrale supplémentaire sur son marché intérieur, et, d'autre part, son principal marché extérieur, à savoir la République fédérale d'Allemagne, pourrait enregistrer un rythme de croisière non négligeable. En outre, la présence des entreprises suisses dans les pays qui ont des projets pour de nouvelles centrales nucléaires revêt une importance stratégique et les perspectives de KWU et de AECL à l'étranger offrent des possibilités intéressantes¹. Enfin, des travaux importants ont déjà été entrepris en Suisse en vue du stockage des éléments de combustible. L'inconnue majeure de ce tableau, somme toute modeste, se résume aux chances de succès des réacteurs à haute température. Si, d'aventure, cette technologie atteignait la maturité commerciale et que son transfert pouvait être effectué, le marché du nucléaire pourrait tout à coup devenir le plus important de l'industrie électromécanique suisse. En la matière toutefois, une grande réserve est de mise.

1) Il s'agit notamment des pompes, des vannes et pièces de robinetterie, des parties internes des réacteurs à eau lourde et de pièces de tuyauterie.

C O N C L U S I O N

Durant la seconde moitié des années 70, l'industrie électro-nucléaire a enregistré un volume de commandes particulièrement faible. La récession économique et l'augmentation des prix de l'énergie ont conduit à une révision des perspectives en matière de consommation d'électricité, tandis que la multiplication des contraintes juridiques et l'inflation décourageaient les investissements. Par ailleurs, l'opposition à l'industrie nucléaire a pris une nouvelle dimension devant la crainte de voir s'instaurer l'économie du plutonium. En Amérique du Nord en particulier, s'est manifesté un mouvement visant à limiter les risques de prolifération, lequel n'a pas manqué de ralentir la croissance du nucléaire dans le monde occidental. L'industrie française a été la seule à pouvoir se développer sans obstacle majeur grâce à l'étendue du contrôle de l'Etat sur la gestion des affaires économiques.

Depuis le second choc pétrolier, une nouvelle détermination est apparue dans les pays où les programmes nucléaires ont fait l'objet d'une vive controverse. En Suède, le choix a été très clair. Dans la plupart des autres pays européens, un consensus tend à s'établir, au niveau des instances politiques en tout cas. Aux Etats-Unis, l'administration Reagan s'est montrée favorable au développement du nucléaire et cherche à lever les hypothèques qui grèvent cette option. Il est donc fort probable que les prévisions concernant le nombre de centrales connectées au réseau durant ces prochaines années se réalisent: la capacité électro-nucléaire installée atteindrait alors près de 450 mio de KW en 1990.

Une vigoureuse reprise des commandes en gros moyens de production d'électricité n'est pas attendue avant une dizaine d'année, quoiqu'une mutation dans la structure de la consommation en énergies puisse se produire d'ici là. En attendant, la demande adressée aux fournisseurs de centrales nucléaires ne devrait pas dépasser 14 GW par an jusque vers la fin des années 80. La concurrence devrait donc s'intensifier et pourrait bien éliminer quelques fournisseurs. L'industrie électro-nucléaire devrait néanmoins subsister dans tous les pays, à l'exception de la Suède. Aux Etats-Unis, la période des vaches maigres devrait se prolonger autant que durera l'indigence financière des compagnies l'électricité. Les conditions sont par conséquent données pour qu'une substitution s'opère au niveau des capacités d'ingénierie. Déjà l'on prévoit que de nouvelles technologies vont franchir la phase de démonstration au cours des trois ou quatre prochaines années: il s'agit en particulier de la production combinée de chaleur et d'électricité à partir du diesel et des processus de liquéfaction et de gazéification du charbon. Mais l'exemple donné par l'industrie nucléaire britannique montre bien que le potentiel des activités dans un domaine de pointe peut être maintenu de longues années sans qu'aucune commande ne soit enregistrée. Une reprise des affaires dans l'électro-nucléaire n'est donc pas exclue, bien que, selon toute probabilité, elle doive rester confinée dans d'étroites limites: elle dépendra surtout des choix et des possibilités de la relève scientifique.

Avec le recul, l'industrie nucléaire suisse paraît s'être taillé une part relativement élevée du marché mondial, malgré les retards qu'elle a pris dans le développement de son propre concept de réacteur. Très tôt, son assise multinationale et sa technologie ont favorisé sa croissance. En République fédérale d'Allemagne, BBC a même réussi à s'imposer comme fournisseur de centrales nucléaires à eau légère pressurisée.

Cependant, dès la première moitié des années 70, l'industrie nucléaire suisse a été confrontée à la recrudescence du protectionnisme. Ce mouvement a été d'autant plus marqué que les compagnies d'électricité sont contrôlées par l'Etat. Il est alors apparu clairement que les entreprises suisses pouvaient être contraintes au transfert de leur technologie et à l'abandon du marché du nucléaire. Leurs perspectives ne sont pourtant pas mauvaises, et cela, pour plusieurs raisons:

- elles ont réussi à se maintenir solidement au niveau de certains créneaux secondaires (pompes notamment);
- la situation sur les quelques marchés encore libres des pays industrialisés s'améliore;
- la demande en équipements nucléaires se déplace vers des régions où l'appareil de production présente encore des lacunes;
- les groupes AECL et KWU, qui ont pratiqué une sous-traitance avantageuse pour les entreprises suisses, sont bien placés dans la lutte pour la conquête des marchés d'exportation;
- les principales entreprises suisses de l'électro-nucléaire ont uni leurs efforts pour le développement des centrales à haute température et sont en bonne position pour s'imposer sur ce marché d'avenir.

D'une façon plutôt surprenante, les formes que prend le déclin de l'industrie nucléaire dans le monde occidental sont favorables aux firmes suisses, d'une part parce qu'elles ont de bonnes chances de se maintenir sur ce marché et, d'autre part, parce que leur engagement dans les techniques concurrentes des systèmes nucléaires de la première génération est susceptible de les entraîner vers une nouvelle croissance. Ainsi, le groupe Sulzer est sur le point de mettre en service la première installation-diesel au monde pour la production combinée de chaleur et d'électricité. Financée par Hoffmann-La Roche et le Département

américain de l'Energie (DOE), cette unité a un rendement théorique de 87,2 %. Son moteur a été conçu pour être alimenté en huile lourde, mais il a été démontré que celui-ci pourrait aussi fonctionner d'une façon rentable avec un combustible liquide synthétique.

La technologie de Sulzer¹ a d'autant plus de chances de succès que, depuis le premier trimestre de 1981, une détente s'est manifestée sur le marché du pétrole. Les effets conjugués de l'épargne et de la substitution dans un contexte de croissance ralentie ont contribué à une réduction de la demande et à la diminution de la part des membres de l'OPEP dans l'approvisionnement énergétique du monde occidental.

Du côté de l'offre, la production globale de pétrole a déjà fléchi de 3,9 % en 1980; en 1981, elle a encore enregistré un recul de 6,5 %. La part de l'OPEP a diminué de 12 % en 1980 et de 16 % en 1981 pour atteindre successivement 43,8 % et 39,4 % de la production mondiale de pétrole (contre 53,5 % en 1973). Si l'Arabie Saoudite ne décide pas une limitation massive de sa production, une pression croissante devrait s'exercer sur les prix du pétrole. Le prix directeur réel de cet agent pourrait alors diminuer jusqu'en 1986 et se stabiliser par la suite.

Cette nouvelle situation, pour réjouissante qu'elle puisse paraître, pose néanmoins quelques problèmes: la baisse du prix du pétrole contraint les producteurs d'énergie à repousser, voire même à abandonner leurs projets d'investissements. En particulier, des compagnies pétrolières ont revu leur programme de dépenses à cause des nouvelles prévisions concernant le prix du pétrole. Les installations de production de combustible synthétique sont en effet moins attrayantes si le coût des énergies non renouvelables ne s'accroît pas².

1) Déjà largement mise en oeuvre pour la propulsion navale.

2) On estime que la production de pétrole synthétique coûte 20 à 40 \$ par baril (1980) comparé à 1 à 3 \$ pour le pétrole du Moyen-Orient et 5 à 20 \$ pour le pétrole de la Mer du Nord.

Ainsi, le renvoi des projets de centrales pour la production de combustible synthétique ne fait que prolonger la dépendance du monde occidental vis-à-vis de l'offre de pétrole brut. A cet égard, la vulnérabilité des économies libérales pourrait donc se traduire par une nouvelle crise. Mais le monde dispose désormais d'opportunités technologiques nombreuses qui permettent d'envisager l'avenir avec une certaine sérénité.

En dernier lieu, on constate que l'axiome de la réussite dans l'industrie nucléaire, celui de la plus grande intégration possible des activités, tel qu'il a été posé en France tout particulièrement, ne pouvait conduire qu'à une intervention plus limitée des producteurs suisses dans ce domaine. Pourtant, la reprise du cycle du besoin en moyens de production d'énergie devrait se traduire par une structure de l'approvisionnement beaucoup plus diversifiée que par le passé. Les sphères de la concurrence s'étendraient donc à d'autres technologies et à d'autres marchés. Dans le cadre de ces hypothèses, la vocation mondialiste des entreprises de l'électromécanique suisse et les réponses qu'elles sont en mesure d'apporter à n'importe quelle évolution de la demande devraient leur permettre de se maintenir et de se développer au sein de la branche.

Wädenswil, le 7 mars 1982.

A N N E X E

L'A.I.E.A. et le T.N.P.

Le système de garanties de l'A.I.E.A. a pour but de vérifier le respect de l'engagement de non-utilisation militaire de l'assistance reçue; il s'est substitué aux contrôles des fournisseurs, institués sur une base bilatérale. Le projet de statuts fut soumis, en octobre 1956, à une conférence plénière tenue au siège des Nations Unies, à New York, qui permit la création de l'A.I.E.A. et de son système de garanties. Cette dernière institution vit le jour en 1958, mais son système de contrôle ne put véritablement être mis sur pied qu'en 1963, l'U.R.S.S. s'y ralliant après cinq années d'hostilité.

Le Traité de Non-Prolifération (TNP) fut ouvert à l'adhésion de tous les pays du monde, le 1er juillet 1968, après sa signature par les trois puissances dépositaires: l'U.R.S.S., les Etats-Unis et le Royaume-Uni. Il avait pour but principal de limiter le nombre des pays dotés de l'arme nucléaire à ceux qui ont fabriqué une telle arme ou tout autre dispositif nucléaire explosif avant le 1er janvier 1967, à savoir: l'U.R.S.S., les Etats-Unis, la Grande-Bretagne, la Chine et la France (art. IX, al. 3).

Les Etats non dotés d'armes nucléaires, parties au Traité, s'engagent à accepter le système des garanties de l'A.I.E.A. à seule fin de vérifier que l'énergie nucléaire n'est pas détournée de son utilisation pacifique. Ces garanties s'appliquent à toutes les matières et activités nucléaires, sur leur territoire ou ailleurs, qui sont sous leur contrôle (art. III, al. 1).

De plus, tout Etat partie du Traité s'engage à ne pas fournir de matières nucléaires et d'équipements spécialement conçus pour le traitement, l'utilisation, ou la production d'uranium 235 et de plutonium à un Etat non doté d'armes nucléaires quel qu'il soit, à moins que ces matières et produits ne soient soumis aux garanties de l'A.I.E.A. (art. III, al. 2).

En contre-partie, toutes les parties au Traité s'engagent à faciliter le transfert de connaissances, de matières et d'équipements ainsi qu'à contribuer à la coopération internationale, en particulier vis-à-vis du Tiers Monde (art. IV). Dans le même article, il est spécifié qu'aucune des dispositions du Traité ne sera interprétée comme portant atteinte au droit inaliénable de toutes les parties au Traité de développer la recherche de la production et l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. Cette disposition allait permettre à la République fédérale d'Allemagne et au Japon en particulier de se lancer dans les étapes du cycle du combustible.

Le Traité entra en vigueur le 5 mars 1970, ratifié par les Etats-Unis, l'U.R.S.S., le Royaume-Uni et quarante Etats non nucléaires.

En 1981, plus de quarante Etats n'avaient pas encore adhéré au Traité, parmi lesquels la France, l'Inde, le Pakistan, la République d'Afrique du Sud, Israël, l'Espagne, l'Argentine, le Brésil, le Chili, l'Indonésie, le Vietnam, l'Algérie et l'Arabie Saoudite.

B I B L I O G R A P H I E

Agence de l'OCOE pour l'énergie nucléaire (AEN)/Agence Internationale de l'énergie atomique (AIEA), Ressources, production et demande d'uranium, Paris, 1979 (bi-annuel).

Agence Internationale de l'Energie (AIE), Le charbon vapeur, Perspectives jusqu'à l'an 2000, OCDE, Paris, 1978.

Association suisse pour l'énergie atomique (ASPEA), Aussichten der verschiedenen Reaktorsysteme, Informationstagung, Bern, Januar 1976.

—, Nuclex 78, Berne, 1978.

—, Etat actuel et perspectives de l'énergie nucléaire en Europe occidentale, Conférence des journées d'information, Berne, mars 1980.

—, Annuaire nucléaire suisse, Berne, 1980/1981.

—, Rapports annuels, Berne.

Arbeitsgemeinschaft Kernreaktor Brown Boveri, Escher Wyss, Gebr. Sulzer, Rapports annuels 1951-1955.

Arbeitsgemeinschaft Lucens, Versuchsatomkraftwerk Lucens, Schlussbericht, Mai 1969.

Aubert J.-F., Exposé des institutions politiques de la Suisse à partir de quelques affaires controversées, Payot, Lausanne, 1978 (chap. IV: les centrales nucléaires).

Banque des règlements internationaux (BRI), Rapport annuel, Bâle.

Baust E./Wittchow G., "Der Hochtemperaturreaktor - Ergebnisse und Perspektiven", in: Atomwirtschaft, März 1981, p. 144 ss.

BBC, Weichenstellen, Ein Beitrag zum besseren Verständnis des Energieproblems, März 1978.

Blackhurst R./Marian N./Tumir J., Ajustement, commerce et croissance dans les pays développés et les pays en voie de développement, GATT, Etude sur le commerce international, n° 6, Accord Général sur les Tarifs Douaniers et le Commerce, Genève, septembre 1978.

Boublil A., Le socialisme industriel, Economie en liberté, PUF, 1977.

Czakainski M., Die Marketing-Konzeption von Kernkraftwerk-Herstellern, R. Oldenburg, München, 1980.

Damian M., Nucléaire: la crise dans la production et la crise dans la société, Rapport pour l'observatoire des structures industrielles du ministère de l'industrie, IREP, Développement, Grenoble, 1979.

Erdemli H./Réal B., Le processus d'internationalisation dans la sidérurgie et les industries mécaniques et électriques, tome 3, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut de Recherche économique et de planification, octobre 1974.

Exxon, World Energy Outlook, Exxon Background Series (annuel).

Floriot J.L., "Les PME face au développement technologique des firmes multinationales", La Revue de l'Entreprise N°19, juillet-août 1978, pp. 38-45.

Garriba S./Vaccà S., "Analysis of New Trends in the International Transfer of Nuclear Technologies", in: Problems associated with the Export of Nuclear Power Plant, Proceedings of a Symposium, IAEA, Vienna, 6-10 March 1978.

GATT, Le commerce international, Accord Général sur les Tarifs Douaniers et le Commerce, Genève (annuel).

Goldschmidt B., Le complexe atomique, Fayard, Paris, 1980.

Grandchamp F., Le cycle du combustible des réacteurs à eau légère, Office d'électricité de la Suisse romande, Lausanne, mai 1980.

Hirschfelder G., "Der Entwicklungsstand von Kernkraftwerken mit Hochtemperaturreaktoren", in: ASPEA 1976, IV.1.1-1.-8.

Hochstrasser U., "Atomenenergie - Wer baut die Reaktoren", 9.11.1965 (texte dactylographié).

—, "L'effort suisse dans le domaine nucléaire à la lumière des expériences étrangères" in: Tribune de Lausanne, 10.7.1967.

—, "Die schweizerischen Möglichkeiten auf dem Gebiete der Atomenergie" in: Schweizer Journal, Stäfa, 2.10.1967.

International Atomic Energy Agency (IAEA), Problems Associated with the Export of Nuclear Power Plant, Proceedings of a Symposium, Vienna, 6-10 March 1978.

—, Advanced Fuel Cycle and Reactor Concepts, Report of INFCE Working Group 8, Vienna, 1980.

International Monetary Fund, Annual Report, Washington D.C.

Jantsch E., La prévision technologique, OCDE, Paris, 1967.

Kolb M., Studie über die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung mit Hochtemperaturreaktoren, KFA, Jü1-1527, August 1978.

Laue H.-J./Nentwich D., "Technology Transfer as a Precondition for Nuclear Power Plant Export" in: IAEA, 1978.

Lesourd O. (Ed.), Guide International de l'énergie nucléaire, Paris (annuel).

Lönnroth M./Walker W., The Viability of the Civil Nuclear Industry, International Consultative Group on Nuclear Energy, The Rockefeller Foundation, New York/The Royal Institute of International Affairs, London, 1979.

Lüscher D., Atomenergie in der Schweiz und bei Gebr. Sulzer AG, 1946-1970, Note interne Sulzer, TA-1008, 8.6.1971.

Ministère de l'Industrie, Le cycle du combustible nucléaire, La Documentation française, Paris, 1979.

—, Concentrations industrielles et productivités, La Documentation française, Paris, 1977

Muntzing L.M., "International Legal and Political Issues Associated with the Export/Import of Nuclear Power Plants" in: IAEA, 1978.

Nabseth L./Ray G.F., The Diffusion of New Industrial Processes: an International Study, Cambridge University Press, 1974.

Nationale Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik, Bericht über die Tätigkeit der NGA in den Jahren 1961 bis 1968, Bern, Oktober 1969.

—, Kommission für Entwicklungsstudien, Schlussbericht und Schlussabrechnung, Bern, März 1969.

Nelkin D./Pollak M., "L'impact de la contestation" in: Le Monde Diplomatique, septembre 1980.

Perrin J./Réal B., L'industrie des biens d'équipement mécanique et l'engineering en France et en Allemagne de l'Ouest, tome 2, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut de recherche économique et de planification, Novembre 1976.

Réal B., La structuration de l'industrie nucléaire: le cas de la France et de la RFA, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut de recherche économique et de planification, novembre 1978.

Report on World Energy Demand, Conservation Commission of the World Energy Conference (WEC), London, 15 August 1977.

Report of the Workshop on Alternative Energy Strategies (WAES), Energy: Global Prospects 1985-2000, MC Graw Hill, New York, 1977.

Salter W.E.G., Productivity and Technical Change, Cambridge University Press, 1960.

Shapar H.K./Stoiber C.R., "The Role of the USNRC in Power Reactor Exports" in: IAEA, 1978.

Shaw E., The Three Virtues, A History of the Dragon Project, DECD High Temperature Reactor Project, (Dragon) 1959-1976, First Consolidated Draft Text, September 1979.

Société Helvétique des sciences naturelles (SHSN), Rapports sur l'énergie nucléaire, Berne, 1981.

Surrey A.J./Cheshire J.H., The World Market for Electric Power Equipment, Science Policy Research Unit, University of Sussex, 1972.

Traupel W., "Marksteine des schweizerischen Turbomaschinenbaues" in: NZZ, 18.2.1981, pp. 51/52.

Vollmer/Marnet, "Zehn Jahre AVR-Stromerzeugung", Atomwirtschaft-Atomtechnik 23, Januar 1978, p. 33 ss.

Westinghouse, Nuclear Market Acceptance and Comparative Experience, 1979.

RevueS utilisées:

Atomwirtschaft

Business Week

Enerpresse

Financial Times

Le Monde Diplomatique

Neue Zürcher Zeitung

Nuclear Engineering International

Nuclear News

Nucleonics Week

Schweizer Journal, Stäfa

Tribune de Lausanne.