

Étude sur l'Industrie Nucléaire au Canada

Préparée par le ministère de l'Industrie et
du Commerce, avec la collaboration de l'Énergie
Atomique du Canada Limitée et du ministère de
l'Énergie, des Mines et des Ressources.

Mars 1975



Industrie
et Commerce

Industry, Trade
and Commerce

ÉTUDE SUR L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE AU CANADA

Analyse de la capacité de l'ingénierie et de l'industrie manufacturière canadienne de répondre aux besoins du programme CANDU, sur les marchés intérieur et extérieur, jusqu'en 1983.

Préparée par le ministère de l'Industrie et du Commerce, avec la collaboration de l'Énergie Atomique du Canada, Limitée et du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.

Mars 1975

REMARQUES:

ON N'A PAS TENTÉ DANS CETTE ÉTUDE DE
PRÉVOIR LE TAUX D'INFLATION APPLICABLE
AUX BIENS ET SERVICES REQUIS POUR LA
CONSTRUCTION DE CENTRALES NUCLÉAIRES.
DANS TOUTE L'ÉTUDE LES DONNÉES SONT
EXPRIMÉES EN DOLLARS DE 1974.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>PAGE</u>
I. RÉSUMÉ	1.
II. OBJET ET PORTÉE DE L'ÉTUDE	3.
III. ÉLÉMENTS DE BASE D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE	5.
IV. PROGRAMME D'EXPANSION ÉLECTRONUCLÉAIRE AU CANADA	6.
V. STRUCTURE DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE	9.
VI. CARACTÉRISTIQUES ET EXIGENCES PARTICULIÈRES DE LA PRODUCTION NUCLÉAIRE	11.
VII. PARTICIPATION AU PROGRAMME NUCLÉAIRE	14.
VIII. ÉTUDE DE LA CAPACITÉ ACTUELLE ET DE LA CAPACITÉ PRÉVUE DES SECTEURS DE L'INGÉNIERIE ET DE LA FABRICATION	16.
A. Composants principaux du générateur de vapeur d'une centrale	17.
B. Composants principaux du système générateur d'électricité (PGS)	28.
C. Usines d'eau lourde	31.
D. Services d'ingénierie et d'ingénieurs-conseils	33.
IX. LIMITATIONS D'ORDRE GÉNÉRAL ET DESCRIPTION DES PROBLÈMES	34.
A. Limitations imputables à la pénurie de main-d'oeuvre qualifiée	34.
B. Manque de matériaux et de matériel	35.
C. Concurrence des entreprises étrangères	38.
D. Facteurs technologiques	39.
X. PARTICIPATION AU PROGRAMME D'EXPORTATION CANDU: CONDITIONS ET CONSÉQUENCES	40.
APPENDICE A. Commandes escomptées de réacteurs CANDU	42.

I. RÉSUMÉ

1. Le programme intérieur concernant les centrales CANDU, pour la période 1974-1983, prévoit l'installation de 43 réacteurs, dont six sont déjà en construction. La construction des autres devrait se faire, à raison de 4 réacteurs par an en moyenne, de 1975 à 1983, avec un plafond de six par an en 1983.

2. Ce programme pourrait créer une activité économique de quelque \$5 milliards, se répartissant comme suit: 2 milliards pour le matériel nucléaire; 2 milliards pour les installations électriques connexes, de type conventionnel, et 1 milliard pour les services d'ingénierie.

On s'attend, en outre, à ce que l'exportation de matériel et de services apporte \$1 milliard supplémentaire au Canada.

3. La production d'énergie nucléaire est assurée par une gamme variée d'entreprises, des grands fabricants de matériel lourd aux petites entreprises d'usinage de précision. Pour ces entreprises, la production de matériel destiné aux centrales nucléaires doit concurrencer, sur le plan de l'espace et des installations, celle des produits conventionnels.

Jusqu'à présent, les principaux producteurs de matériel nucléaire ont fourni plus de \$500 millions de composants dans le cadre du programme électronucléaire; 60% de cette production étaient destinés au générateur de vapeur des centrales nucléaires. On juge que l'industrie a atteint un niveau moyen de teneur canadienne de 75% sur ces produits.

Les principaux produits non disponibles au Canada ont été: des tuyaux et feuilles d'alliage spécial, des plaques d'acier inoxydable et d'acier au carbone, des grosses pièces de forge, des pièces destinées aux machines de chargement en combustible, ainsi que des instruments et commandes spéciaux.

4. L'ingénierie et l'industrie manufacturière canadiennes disposent du capital de connaissances voulu pour répondre aux exigences particulières du programme CANDU (qualité, fiabilité, aptitude à se conformer à des normes rigoureuses en matière de dimensions et de matériaux), besoins qui concernent surtout les générateurs de vapeur des centrales nucléaires.

5. L'industrie canadienne est actuellement en mesure de fournir les composantes nécessaires des générateurs de vapeur pour deux ou trois réacteurs par an; toutefois, pour satisfaire aux exigences du programme en question, ce chiffre devra atteindre six réacteurs par an.
6. La capacité actuelle de production des composants nécessaires aux générateurs de type conventionnel, au Canada et à l'étranger, peut répondre aux besoins du programme électronucléaire. Toutefois, la teneur canadienne dans la fabrication des turbo-alternateurs est faible; elle varie entre 20% et 50%. Pour augmenter cette teneur, il faudrait augmenter la capacité des usines productrices.
7. Afin d'augmenter la capacité des usines, pour répondre à l'ensemble des besoins du programme électronucléaire (générateurs de vapeur et générateurs d'électricité), on devra effectuer d'importantes immobilisations au cours des quatre prochaines années. Près de \$100 millions ont déjà été investis, ou sont sur le point de l'être, par les principaux producteurs. Il est probable, toutefois, que ces capitaux ne permettent pas de répondre aux besoins du programme. Les futurs investissements de l'industrie dans ce cadre seront fonction de la concurrence des importations et des coûts élevés en capital, que les produits conventionnels ne permettent pas d'amortir et qu'exige le respect des normes de qualité de la production nucléaire, ainsi que le développement des possibilités ou de la capacité de production nucléaire. En dernière analyse, les différentes usines augmenteront leur participation au programme de développement, dans la mesure où elles jugeront que le volume escompté de la demande leur permettra d'obtenir un rendement suffisant de leurs investissements.
8. Les exportations prévues dans le cadre du programme CANDU n'auront pas d'effet notable sur la capacité de l'industrie canadienne de répondre aux besoins intérieurs. Dans la plupart des cas, en effet, alors que l'exportation de réacteurs CANDU par le Canada à un pays donné, donnerait lieu, au début, à des commandes importantes de matériel canadien, le niveau de teneur canadienne de ce matériel diminuerait progressivement, au fur et à mesure que le client ajouterait des éléments produits par lui-même ou provenant d'autres pays que le Canada.
9. La construction de centrales nucléaires ira de pair avec l'installation d'usines d'eau lourde; dix usines de 400 tonnes chacune sont en cours de construction, ou prévues pour les dix prochaines années; le coût prévu du matériel et des services d'ingénierie serait de quelque \$800 millions. Le Canada est à même de les fournir.

II. OBJET ET PORTÉE DE L'ÉTUDE

La présente étude se fonde sur:

- A. La prévision des programmes de construction de centrales nucléaires au Canada et d'exportation de matériel nucléaire pour la prochaine décennie.

Cette prévision tient compte des besoins escomptés en énergie des commissions électriques des différentes provinces canadiennes, de la quantité disponible de ressources en hydro-électricité et en combustibles fossiles, ainsi que de l'incidence financière des programmes de construction de centrales nucléaires. Les estimations concernant le volume probable d'exportations reflètent la confiance récemment exprimée d'un certain nombre de pays dans le programme, ainsi que l'encouragement supplémentaire apporté par les contrats de vente, il y a peu de temps, à l'Argentine et à la Corée. On tient compte également des programmes de construction d'usines d'eau lourde, pour répondre aux besoins des centrales nucléaires.

- B. Une enquête portant sur plus de 60 entreprises directement concernées par la fourniture de matériel et de services aux centrales nucléaires, sur une base permanente, ou particulièrement aptes à remplir ces fonctions.

On a demandé à ces entreprises de donner des renseignements détaillés sur: leur capacité de production de matériel nucléaire; leur aptitude à faire face aux améliorations constantes de la technologie nucléaire; leur expérience en matière de production de matériel ou de fourniture de services aux centrales; les effets des fluctuations de la demande sur la production, compte tenu de leur capacité productive actuelle, de l'augmentation de cette capacité, et de leur volonté de créer des programmes de développement, pour répondre aux besoins croissants, ainsi que de leur aptitude à le faire; l'influence de la production de matériel nucléaire sur leur aptitude à satisfaire la demande des marchés industriels traditionnels; les quantités disponibles de matériel et de pièces; la rentabilité de la production nucléaire, et la mesure dans laquelle elles maintiendront leur intérêt pour ce domaine.

- C. Une évaluation générale de l'aptitude de l'industrie extractive canadienne à répondre aux besoins en matières de base du programme d'énergie nucléaire.

En raison des besoins particuliers de l'énergie nucléaire, la présente étude est surtout consacrée à la capacité productrice du Canada, dans la mesure où elle concerne la conception et la construction du générateur de vapeur d'une centrale nucléaire.

L'étude expose en outre les opinions et conclusions d'organismes privés et publics chargés d'examiner divers aspects des incidences, sur les plans de l'offre et de la demande, des progrès récents dans les domaines reliés à l'énergie et aux ressources.

III. ÉLÉMENTS DE BASE D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

Une centrale nucléaire comprend deux parties principales: le générateur de vapeur et le générateur d'électricité.

Le générateur de vapeur est l'unique élément constitutif d'une centrale nucléaire qui la différencie des centrales utilisant du charbon, du pétrole ou du gaz naturel pour produire de la vapeur. Dans une centrale nucléaire, la vapeur est obtenue en "brûlant" de l'uranium (c'est-à-dire par fission nucléaire). Ce système est l'élément de la filière CANDU qui illustre le caractère unique de la technologie canadienne.

La vapeur produite par ce générateur est injectée dans le générateur d'électricité, dont il actionne les turbo-alternateurs. Exception faite des différences sur le plan technique, et, en particulier, la taille et la vitesse de fonctionnement du matériel, le générateur d'électricité fonctionne comme une centrale conventionnelle; il comprend une turbine à vapeur, un générateur électrique et du matériel connexe.

La centrale nucléaire exige outre un matériel perfectionné, un travail de conception et de construction extrêmement important. Le programme de développement de l'énergie nucléaire au Canada comprend également un plan de construction d'usines d'eau lourde.

Tous les aspects précités sont examinés en détail par la présente étude.

IV. PROGRAMME D'EXPANSION ÉLECTRONUCLÉAIRE AU CANADA

Le ministère de l'Énergie, des Mines et Ressources, l'Énergie Atomique du Canada, Limitée, la Canadian Nuclear Association et d'autres organismes ont étudié l'accroissement de la production d'énergie nucléaire au Canada, ainsi que les possibilités d'exportation de cette énergie. Les prévisions, présentées sous forme de tableau à l'Appendice A, illustrent les informations les plus récentes concernant l'expansion électro-nucléaire durant la prochaine décennie. Le tableau 1 ci-dessous en donne un résumé. Les prévisions relatives au programme de construction de centrales nucléaires contenues dans cette étude ont pour but de fournir un cadre temporel ou un point de repère permettant d'évaluer les efforts exigés de l'ingénierie et de l'industrie manufacturière canadiennes, et d'apprécier leur aptitude à répondre aux besoins.

TABLEAU I

Début de l'application du projet de construction - nombre

	<u>de réacteurs CANDU</u>				<u>Étranger</u>
	<u>Canada</u>			<u>TOTAL</u>	
	<u>500 MW</u>	<u>600 MW⁽ⁱ⁾</u>	<u>750 MW⁽ⁱⁱ⁾</u>		<u>3⁽ⁱⁱⁱ⁾</u>
-----			3	3	-
1974	1	1	1	3	-
1975	1	1	1	3	1
1976	1	2	2	5	2
1977	1		2	3	2
1978			4	4	2
1979			3	3	1
1980			4	4	1
1981			4	4	1
1982			5	5	1
1983			6	6	1
				<u>43</u>	<u>12</u>

Remarques:

- (i) Les remarques concernant les réacteurs de 600 MW dans la présente étude s'appliquent également aux réacteurs de 500 MW.
- (ii) Lorsque les prévisions fournies par les commissions électriques n'indiquaient pas la puissance des installations, nous avons supposé qu'elle serait égale à 750 MW.
- (iii) Trois unités dont la construction a débuté avant 1974.

La puissance nucléaire installée du Canada s'élève actuellement à environ 2,500 MW; elle provient principalement d'une centrale nucléaire d'une capacité de 4 x 500 MW, exploitée à des fins commerciales, située à Pickering (Ontario), ainsi que de centrales plus petites, à Gentilly et Douglas Point. On estime qu'en 1984, la capacité de production des centrales nucléaires aura atteint environ 19,000 MW. On prévoit, pour l'an 2000, une capacité d'approximativement 100,000 à 130,000 MW, malgré un ralentissement prévu du rythme de construction de centrales nucléaires après 1984. La moitié environ de la capacité nucléaire escomptée répondra aux besoins en énergie de l'Ontario, et l'autre moitié se répartira comme suite: Québec, 30%; Ouest du Canada, 15%; et, enfin, Provinces maritimes, 5%.

Le programme concernant les centrales CANDU au Canada prévoit la construction de 43 réacteurs nucléaires, de 1974 à 1983. Six réacteurs sont actuellement en cours de construction (début des travaux en 1974 pour trois d'entre eux); de 1975 à 1983, on devrait construire en moyenne quatre réacteurs par an, avec un record de six unités en 1983. On estime que, durant cette période, le Canada devra peut-être fournir, outre les réacteurs prévus par le programme intérieur, du matériel et des services pour l'exportation, équivalant à un réacteur au moins par an.

Si, pour des raisons de commodité, on suppose qu'un réacteur de 750 MW coûte, en moyenne, quelque \$340 millions, et qu'un réacteur de 600 MW revient à quelque \$300 millions, (chiffres se basant sur les valeurs en cours pendant 1974) les frais de construction dans le cadre du programme intérieur, s'élèveraient à plus de 13 milliards de dollars, pour les seuls réacteurs commencés au cours des dix prochaines années. Le matériel nucléaire coûterait environ \$2 milliards, soit 15% de la somme précitée; le matériel conventionnel coûterait quelque \$2 milliards, et les services des ingénieurs et ingénieurs-conseil s'élèveraient à \$1 milliard. En d'autres termes, l'ingénierie et l'industrie manufacturière canadiennes apporteront quelque \$5 milliards au programme intérieur de construction de centrales nucléaires au cours des dix prochaines années. Les autres \$8 milliards correspondraient aux travaux proprement dits, aux imprévus, aux frais fixes, etc. On doit ajouter aux prévisions susmentionnées un chiffre de vente à l'exportation de \$1.3 milliard, représentant surtout la teneur canadienne du matériel et des services destinés à des projets étrangers, et évalués à quelque \$3 milliards.

Ce qui précède indique que l'industrie canadienne pourrait connaître durant les dix prochaines années un essor de l'ordre de quelque 6 à 7 milliards de dollars, ce qui représente sept à dix fois la valeur de l'industrie nucléaire canadienne au cours de la dernière décennie.

Par ailleurs, le matériel et les services nécessaires pour les usines d'eau lourde en construction ou prévues, coûteront environ \$800 millions durant les dix prochaines années (pour 10 usines de 400 tonnes de capacité).

V. STRUCTURE DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Soixante entreprises canadiennes environ fournissent les produits et services principaux nécessaires pour le programme électronucléaire CANDU. La participation de ces entreprises n'a cessé de s'accroître et elles ont développé certaines capacités afin de pouvoir répondre de manière permanente aux besoins du programme. Elles comptent, par ailleurs, sur des sous-traitants pour de l'usinage et pour obtenir des éléments spéciaux, des moulages et coulages lourds, ainsi que certains matériaux à forte teneur en alliage, ou rares.

Ces entreprises forment un groupe diversifié et fragmenté, qui va des fabricants de gros matériel lourd, aux petits ateliers mécaniques hautement spécialisés, et aux petites entreprises d'usinage de précision. Exception faite de quelques usines exclusivement consacrées aux produits nucléaires, la production de ce matériel est assurée par des usines conventionnelles, en même temps que la production normale.

La gamme de produits de ces entreprises comprend notamment: les machines industrielles d'usage général comme les pompes, soupapes, compresseurs; le matériel de transformation de l'énergie, comme les échangeurs de chaleur, les chaudières, cuves pressurisées, turbines, moteurs, moteurs électriques et générateurs; les machines industrielles spéciales, telles que les laminoirs, outils de travail des métaux, le matériel de traitement du pétrole et du gaz, le matériel destiné à la fabrication des pâtes et papiers, ainsi que le matériel employé pour l'exploitation minière, le forage et le traitement des minerais; le matériel de construction et les appareils de manutention des matériaux; et, enfin, divers instruments ainsi que le matériel de saisie des données et de contrôle.

Ces entreprises n'ont pas établi de cadre particulier d'organisation, en vue d'efforts concertés pour l'industrie nucléaire; elles se contentent de reconnaître qu'elles produisent toutes un matériel dont la réalisation exige beaucoup de soin et d'efforts ainsi que des connaissances hautement spécialisées. On entrevoit cependant une possibilité de collaboration, grâce à la Canadian Nuclear Association, qui groupe les fournisseurs de matériaux et d'équipement, les ingénieurs-conseil, les commissions électriques et autres organismes concernés par le programme électronucléaire.

La production annuelle combinée de ces entreprises s'élève à quelque 1 milliard de dollars; elles emploient 25,000 personnes environ, leurs usines occupent une superficie de plancher de quelque 11 millions de pi.ca. et comportent des installations ainsi qu'un

matériel représentant un investissement collectif de plus de \$400 millions. Dix pour cent de ces entreprises ont des livraisons annuelles de plus de \$50 millions et comptent plus de 1,000 employés chacune. Les petites entreprises, dont les livraisons annuelles sont inférieures à \$5 millions et comptant approximativement 100 employés chacune, représentent environ 30% du nombre total d'entreprises.

La plupart des entreprises (67%) se trouvent dans l'Ontario; les entreprises situées au Québec représentent 30% du total; cependant comme elles comprennent certaines des usines principales, leur part de production est la plus importante (40%). Quelques fournisseurs se situent dans les provinces de l'ouest.

Les ingénieurs-conseils canadiens ont acquis une expérience considérable dans le domaine de l'énergie nucléaire, particulièrement en ce qui a trait aux études de faisabilité, à la conception de systèmes conventionnels, à l'intégration des générateurs d'électricité au générateur de vapeur, à la conception et la construction des réacteurs d'essai et des éléments de ces derniers. Ils ont joué un rôle particulièrement important dans la conception et la construction proprement dite des usines d'eau lourde, tout en assurant les services d'ingénierie afférents.

Cependant, en accord avec les commissions électriques provinciales, c'est le gouvernement fédéral qui se charge, par l'entremise de l'EACL, des aspects très particuliers de la conception du générateur de vapeur des centrales nucléaires, en raison d'un besoin d'unification des travaux de recherche, de mise au point et d'ingénierie, ainsi que de la nécessité de disposer de moyens techniques et financiers puissants. Les sociétés d'ingénieurs-conseil canadiennes n'ont eu, à cet égard, qu'un rôle d'appoint, en grande partie, le gros du travail provenant de l'EACL. En outre, leur participation a été limitée du fait que les principaux projets, au pays, sont jusqu'à présent ceux des commissions électriques, notamment l'Ontario Hydro, qui ont depuis toujours assuré les services d'ingénierie pour les grandes étapes de leurs projets.

VI. CARACTÉRISTIQUES ET EXIGENCES PARTICULIÈRES
DE LA PRODUCTION NUCLEAIRE

L'un des avantages du programme de centrales CANDU vient de ce que la technologie qui s'y rapporte est à la portée et du ressort de l'industrie canadienne. Cela n'empêche cependant pas les producteurs canadiens de matériel nucléaire de se trouver aux prises avec des difficultés dues justement au caractère très particulier de l'énergie nucléaire. Ces problèmes concernent surtout la conception et la construction des générateurs de vapeur des centrales nucléaires.

Les difficultés en question s'expliquent comme suit:

- (i) Les centrales nucléaires doivent être munies de dispositifs spéciaux, comme les dispositifs de protection contre les rayonnements, ou de confinement de l'eau lourde, ce qui impose aux fabricants du matériel constituant ces dispositifs des normes extrêmement strictes (tolérance serrée en matière de dimensions; excellent rendement et emploi de matériaux rares ou difficiles à façonner).
- (ii) La technologie, purement canadienne, mais éloignée, dans une large mesure de l'expérience et de la compétence traditionnelles de l'industrie manufacturière, change et se renouvelle.
- (iii) Les services publics imposent des normes de plus en plus strictes quant à la construction de centrales nucléaires, en vue d'obtenir un rendement élevé de ces centrales, des composants et systèmes hautement fiables et nécessitant peu d'entretien.
- (iv) Le contrôle de la qualité est onéreux et ardu. Il implique notamment une inspection, des essais et des vérifications d'un niveau nettement supérieur, jusqu'à présent, à ceux qu'on effectue pour d'autres produits industriels.

Pour répondre aux exigences particulières de l'industrie nucléaire, les fabricants canadiens ont prévu des méthodes ou réalisé des installations ultra-modernes et perfectionnées. Citons notamment: des méthodes spéciales de travail; des installations réservées au contrôle et à la vérification de la qualité, ainsi qu'un personnel formé à cet effet; des locaux d'une propreté parfaite, pour la production de matériel nucléaire; une gamme variée d'appareils perfectionnés d'inspection, d'essai, de fabrication et de montage de ce matériel; la mise au point d'installations et d'appareils neufs ou plus nombreux pour le façonnage des alliages spéciaux et des

matériaux rares, afin d'atteindre des normes extrêmement élevées en matière de composants ou de matériaux, ou de fabriquer des pièces de dimensions particulièrement importantes selon une tolérance rigoureuse; des installations de soudage très perfectionnées, etc.

Vingt pour cent (20%) du coût total de fabrication des produits nucléaires sont absorbés, dans les différentes entreprises fabriquant ces produits, par le contrôle de leur qualité, proportion qui est en moyenne inférieure à 5% pour les produits conventionnels. Cet écart s'explique par: (a) l'achat et l'usage d'appareils d'essai et de vérification précis et perfectionnés; (b) la nécessité de donner une formation spéciale aux ingénieurs et aux techniciens chargés du contrôle de la qualité; (c) la nécessité d'une formation très poussée, en vue d'obtenir des soudeurs, des radiographes industriels et autres spécialistes extrêmement compétents et capables; (d) la rédaction des manuels et la conception des méthodes de contrôle de la qualité, ou leur modification pour répondre aux nouvelles spécifications; (e) un contrôle strict du travail des sous-traitants; (f) la participation à des comités des normes de la Canadian Nuclear Association, de l'Association canadienne de normalisation, ou de l'American Society of Mechanical Engineers, et une collaboration étroite avec l'EACL, ainsi que les commissions électriques, en vue d'établir des normes de contrôle de la qualité et de s'y conformer; (g) la nécessité de procéder constamment à des améliorations et des transformations techniques, et (h) le volume important de modifications nécessaires pour satisfaire aux normes nucléaires.

Bien que le gros du travail de recherche et de développement dans le domaine nucléaire, ait traditionnellement incombé à l'EACL, plusieurs fabricants et consultants y participent également, soit sous contrat de l'EACL pour certaines pièces, soit à leur propre compte, afin de résoudre certains problèmes techniques posés par l'adaptation de leurs produits aux normes nucléaires. Dans certains cas, les entreprises disposent déjà des moyens voulus pour se livrer à cette recherche et à ce développement; si ce n'est pas le cas, elles ont recours aux installations des sociétés mères. Toutefois, jusqu'à présent, les efforts déployés dans le domaine de la recherche et du développement nucléaires par la plupart des entreprises concernées ont été relativement faibles; ont fait exception à cet égard certaines grandes entreprises, qui ont mis au point des produits et des techniques très particuliers pour le système de génération

de vapeur. Les entreprises faisant l'objet de l'enquête ont déclaré avoir dépensé un total d'environ \$15 millions en efforts de recherche et de développement, au cours des cinq dernières années, les montants précités provenant de leurs propres caisses ou de celles de l'EACL, pour ce qui avait trait aux produits nucléaires.

En résumé, on estime que l'industrie canadienne est techniquement en mesure de répondre aux besoins actuels et prévisibles du programme d'énergie nucléaire canadien; elle peut en respecter les normes de qualité, de fiabilité, et peut, par ailleurs, fournir à l'EACL et aux services publics d'électricité des produits dont les dimensions et la composition sont soumis à des critères extrêmement rigoureux. Cela suppose le maintien et, dans certains cas, l'amélioration des échanges sur le plan de la technologie, entre l'EACL, les commissions électriques et le secteur industriel, particulièrement au niveau des fabricants dont les produits ne concernent pas, actuellement, l'énergie nucléaire, mais qui peuvent être appelés à convertir leur production, en raison de la demande croissante en énergie nucléaire.

VII. PARTICIPATION DE L'INDUSTRIE AU PROGRAMME NUCLÉAIRE

Jusqu'à présent, les principales entreprises de matériel nucléaire ont fourni, dans le cadre du programme dont il est question, plus de \$500 millions de matériel nucléaire, 60% de ce matériel étant destinés aux générateurs de vapeur des centrales nucléaires.

On estime que la teneur canadienne moyenne, pour ce matériel, était de 75%. Les principaux articles qu'on a dû importer comprenaient notamment: des tuyaux et des feuilles d'alliages spéciaux, certaines tailles précises d'acier inoxydable ou de plaques d'acier au carbone, et de tuyauterie, de grosses pièces de forge, certaines pièces de dispositifs de chargement de combustible, des éléments rotatifs et pièces extrêmement perfectionnées des turbo-alternateurs, ainsi que divers instruments et dispositifs de contrôle.

Le niveau de participation de l'industrie canadienne au domaine de l'énergie nucléaire, quoique particulièrement élevé par rapport aux années précédentes, n'exerce cependant pas en général de pression induite sur la capacité d'exploitation des entreprises, étant donné la souplesse que celles-ci peuvent apporter, en ajoutant un certain nombre d'équipes de travailleurs, en faisant davantage appel aux sous-traitants, en modifiant la gamme de produits, et attendu que, d'autre part, les ressources en main-d'oeuvre et en matériaux ont été généralement adéquates. L'industrie est néanmoins parfaitement consciente des nouveaux besoins en matière d'énergie nucléaire, qui augmentent très rapidement; elle se rend compte qu'on devra, à brève échéance, affecter au programme d'énergie nucléaire, sur une grande échelle, des ressources supplémentaires de production. Il n'est pas évident cependant, que l'industrie manufacturière dans son ensemble relève le défi, si l'on ne continue pas de lui fournir la motivation suffisante pour le faire.

Presque tous les fournisseurs spécialisés importants ont défini le type et l'étendue des aménagements nécessaires pour pouvoir atteindre des objectifs précis en matière de matériel nucléaire; ils sont disposés à consacrer des ressources financières et techniques substantielles à cet aménagement. Actuellement, les principales entreprises de ce secteur ont doré et déjà engagé nettement plus de \$100 millions de capitaux à cette fin, ou envisagent de le faire. Un certain nombre d'entre elles ont en outre défini quels autres produits nucléaires convenaient à leur capacité et à leur expérience, et se sont déclarées prêtes à améliorer leur rendement ou à l'augmenter, de manière à fournir

ces produits. Plusieurs entreprises cependant étaient beaucoup moins disposées à investir une quantité importante de ressources dans ce programme. Leurs réticences s'expliquent comme suit: (a) elles doivent satisfaire à une demande soutenue en produits conventionnels dont la fabrication est soumise à des normes beaucoup moins rigides; (b) la production nucléaire jusqu'à présent n'a assuré qu'un faible niveau de rentabilité, en raison du coût élevé du contrôle de la qualité et de l'absence de commandes de renouvellement; (c) leur avenir, quant à la production de matériel nucléaire, est loin d'être assuré; (d) ces entreprises ne disposent pas des ressources financières voulues pour atteindre le niveau de développement correspondant aux besoins prévus du programme électronucléaire, et l'évolution favorable de ce secteur de leur production est douteuse, ce qui les empêche de réserver les fonds voulus à l'expansion du capital.

VIII. ÉTUDE DE LA CAPACITÉ ACTUELLE ET DE LA CAPACITÉ PRÉVUE DES SECTEURS DE L'INGÉNIERIE ET DE LA FABRICATION

L'étude de la capacité actuelle et de la capacité prévue de production de l'industrie nucléaire nous donne une idée du volume de travail que les entreprises de ce secteur s'attendent à assurer, compte tenu de leur capacité actuelle de production et des améliorations qu'elles comptent y apporter. Dans un premier temps, nous examinons la capacité de ces entreprises de produire chacun des composants de base, ou groupes d'éléments constituant un ensemble de fabrication, ce qui nous permet de déterminer quels produits pourraient créer des "goulots d'étranglement" dans la comparaison entre la production actuelle et la production prévue, d'une part, et la demande probable, d'autre part. Nous avons particulièrement insisté sur les composants du système de génération de vapeur des centrales nucléaires, en raison de leur caractère unique et des problèmes particuliers que pose leur fabrication.

Afin d'évaluer l'équilibre probable entre la capacité de production et la demande dans les dix années à venir, nous avons dû faire certaines suppositions de base, que voici:

- (i) La conception de ce matériel nucléaire ne sera pas transformée au point d'empêcher l'industrie canadienne de répondre aux besoins techniques des centrales nucléaires.
- (ii) La demande en matériel nucléaire restera, au cours des dix prochaines années, dans les limites ci-dessous:
 - début des travaux de construction pour quatre unités (réacteurs) en moyenne par an, afin de répondre aux besoins intérieurs, et pour un réacteur destiné à l'exportation;
 - demande maximale annuelle de six réacteurs pour les besoins intérieurs et d'un réacteur pour l'exportation, en 1983 probablement.
- (iii) Les entreprises canadiennes pourront mettre en application leurs plans de développement, sur la base des prévisions actuelles concernant leurs ressources financières, techniques et physiques; elles n'auront pas à faire face à des difficultés insurmontables entraînées par une pénurie beaucoup plus marquée de matériel, un manque total de main-d'oeuvre, par l'approvisionnement à l'étranger, etc.

Pour des raisons de commodité, nous supposons également que si l'industrie canadienne peut augmenter sa capacité de production afin de produire, de manière continue, quelque six réacteurs par an, elle répondra à tous les besoins (et notamment aux besoins en exportations) durant les dix années à venir.

Notre étude de la capacité actuelle de production et de la capacité prévue couvre quatre domaines distincts: les composants principaux du générateur de vapeur, ceux du générateur d'électricité, les usines de production d'eau lourde, et, enfin, les services d'ingénierie et d'experts-conseil. Chaque domaine fait l'objet d'une rubrique spéciale.

A. Composants principaux d'un générateur de vapeur d'une centrale

Voici les principaux composants du générateur de vapeur d'une centrale nucléaire: les cuves équipées de boucliers axiaux et de tubes d'extrémité; les bouchons de blindage et de fermeture; les raccords d'extrémité; les générateurs de vapeur proprement dits; les collecteurs du réacteur; les tuyaux d'alimentation et les tubes de force; les échangeurs de chaleur; les machines de chargement et de manutention du combustible; les mécanismes de réactivité; les pompes, soupapes, installations de production du combustible nucléaire; moteurs à induction des pompes de caloportage, et, enfin, l'outillage et les dispositifs de contrôle. La valeur totale de tous ces composants atteint \$40 à \$45 millions par réacteur.

1. Cuves, boucliers axiaux et tubes d'extrémités

La cuve, munie de ses boucliers axiaux et de ses tubes d'extrémités, est le coeur du réacteur. Dans le cas de réacteurs nucléaires de 500 à 600 MW de puissance (comme ceux de Pickering et de Gentilly II), ces trois éléments constituent un ensemble d'une valeur de \$4 millions, dont une seule usine peut assurer la fabrication. On doit en outre construire un bouclier de béton, dont le coulage s'effectue sur le chantier même. Dans le cas des réacteurs de 750 MW de puissance, (comme le réacteur de Bruce), on ajoute à l'ensemble dont le montage se fait à l'usine un bouclier en acier au carbone, qui, avec la dimension plus grande du réacteur, ajoute un million de dollars au coût total de production de l'ensemble. Le montage de ce nouvel ensemble, à l'usine, et son transport vers le chantier de construction de la centrale constituent, à certains égards, un défi. Les délais sont normalement de 3 ans et demi.

Pour répondre aux besoins prévus en réacteurs nucléaires au Canada jusqu'en 1983, l'industrie devra en produire au moins quatre par an, et six en 1983. Elle devra en outre produire environ un ensemble de composants de réacteur par an, en vue de l'exportation.

Compte tenu des programmes prévus d'expansion, on s'attend à ce que la capacité de production de l'industrie canadienne lui permette de fournir six réacteurs par an, et de répondre, ce faisant, aux besoins fondamentaux du programme de construction prévu. L'industrie canadienne ne peut actuellement construire que quatre réacteurs de 600 MW ou deux réacteurs de 600 MW et deux autres de 750 MW; les programmes d'expansion entraîneraient donc une augmentation substantielle de sa capacité de production.

2. Bouchons de blindage et de fermeture, et raccords d'extrémités

Ces bouchons et raccords permettent d'atteindre les faisceaux de combustible du réacteur, de sceller les canaux; ils forment un bouclier de protection contre les émissions radioactives, et relient les canaux aux tuyaux d'alimentation. Un réacteur de type 600 MW a besoin de 800 bouchons et raccords environ (pièces de rechange comprises) et un réacteur de 750 MW, de 950 pièces, qui valent de \$2 à \$3 millions par réacteur, selon leur type. Il faut normalement d'un à deux ans pour les fabriquer.

Au cours de la prochaine décennie, on aura besoin de 4450 ensembles de pièces en moyenne (destinés à cinq réacteurs), et, aux maximum, de 6500 ensembles (destinés à sept réacteurs). D'après les estimations, l'industrie canadienne peut produire actuellement quelque 5850 bouchons de blindage, 4200 bouchons de fermeture et 2400 raccords d'extrémités par an. Les plans d'expansion devraient permettre d'augmenter la production de bouchons de blindage et de fermeture, qui passerait à 6975 et 5700 unités respectivement; il n'y a cependant pas encore de plan bien établi quant à la production de raccords, dont le chiffre resterait 2400 unités par an.

En résumé, il semble que la production des deux types de bouchons (bouchons de blindage et de fermeture) suffira au moins pour les six réacteurs prévus par an, nécessitant 5700 unités, si l'on met en application les plans d'expansion actuellement à l'étude. Cependant, en raison de la capacité limitée de fabrication de raccords, et de l'absence de plans d'expansion en ce qui concerne ce type de produit, il se peut

que l'industrie nucléaire canadienne puisse seulement répondre aux besoins de trois réacteurs par an. Pour éviter ce goulot d'étranglement, il faudrait que l'industrie puisse compter sur une quantité de commandes continue et suffisante pour justifier l'expansion des installations qui existent déjà ou la construction de nouvelles installations.

Les usines produisant ce matériel nucléaire ont des installations relativement petites et des ressources limitées; elles sont particulièrement exposées à la pénurie de matière première et à l'inflation. D'après elles, l'achat de matières premières par un organisme central serait très avantageux, dans la mesure où la matière première coûterait moins cher, la livraison de grandes quantités de matériau serait améliorée, et le montant de capitaux immobilisé pour l'achat de stock diminuerait.

3. Générateurs de vapeur nucléaire

Ces générateurs sont en fait des échangeurs de chaleur de grande capacité, qui transfèrent la chaleur du liquide de refroidissement des réacteurs (eau lourde) et fournissent de la vapeur (à partir de l'eau normale) pour faire tourner la turbine.

Les réacteurs de Bruce "A" (750 MW) comptaient huit générateurs, soudés sur le chantier par groupes de quatre aux collecteurs. Dorénavant, chaque réacteur disposera de quatre générateurs indépendants; le coût total de ces appareils sera de \$6 millions environ pour un réacteur de 750 MW et de \$4 millions pour un réacteur de 600 MW.

On estime la capacité actuelle de production de ces générateurs à huit unités (destinées à deux réacteurs) par an; elle devrait atteindre le chiffre record de 34 unités par an, si l'on effectue les travaux prévus d'expansion. Cela permettrait de répondre aux besoins prévus en générateurs au cours de la prochaine décennie. La demande maximale pour une année, quelle qu'elle soit, devrait être de sept réacteurs, ce qui correspond à un plafond de 28 générateurs par an.

4. Collecteurs, tuyaux d'alimentation et tubes de force

Ces différents composants assurent la liaison entre les générateurs et la cuve. L'eau lourde de caloportage contenue dans le générateur pénètre dans un collecteur relié par un certain nombre de tuyaux d'alimentation aux différents tubes de force de la cuve.

L'ensemble de collecteurs, tuyaux d'alimentation et tubes de force nécessaire pour un réacteur de 750 MW (du type de la centrale de Bruce), comprenant huit collecteurs, 900 tuyaux d'alimentation et 450 tubes de force respectivement, revient à environ \$4 millions. Il reviendrait à quelque \$3.5 millions pour un réacteur de 600 MW.

En général, le montage des collecteurs et des tuyaux d'alimentation d'une part et celui des tubes de force d'autre part, est confié à deux groupes différents d'entreprises.

(a) Collecteurs et tuyaux d'alimentation

Le montage des collecteurs et des tuyaux d'alimentation ne devrait poser aucun problème; il n'implique en effet que des opérations courantes de courbure, de soudage et de montage. Plusieurs entreprises ont la compétence et les installations voulues pour les effectuer. Exception faite des exigences rigoureuses concernant les essais, les vérifications et le contrôle de la qualité, la production de ces collecteurs et de ces tuyaux comporte le même genre d'opérations que la fabrication de cuves et de chaudières, pour lesquelles le Canada occupe une place importante sur le marché international. C'est normalement à un fournisseur principal qu'il incombe de monter en atelier, puis d'installer sur place des pièces qui peuvent être fabriquées par plusieurs usines.

La fabrication des collecteurs a été la source de bien des problèmes, si bien que le Canada a décidé d'en importer une certaine quantité. Toutefois, on augmente actuellement la capacité de production du Canada, à cet égard; cette augmentation devrait permettre à l'industrie canadienne de répondre aux besoins intérieurs futurs.

(b) Tubes de force

Le Canada produit actuellement une quantité de tubes de force finis suffisante pour répondre aux besoins d'un seul réacteur de 750 MW par an; les améliorations prévues devraient, toutefois, permettre de produire une quantité suffisante de tubes pour satisfaire toute la demande de l'industrie nucléaire.

Bien qu'il n'existe actuellement, au Canada, aucun fournisseur de tuyaux en alliage de zirconium, éléments les plus coûteux des tubes de force, on y installe des usines à cet effet.

5. Les échangeurs de chaleur

Le modérateur, les blindages et boucliers du réacteur, les machines de chargement et divers autres composants d'une centrale nucléaire normalement exploitée doivent être refroidis. De plus, à l'occasion d'arrêts d'urgence ou d'arrêts périodiques, il faut effectuer certaines opérations de refroidissement. En général, pour effectuer ces opérations de refroidissement on se sert de tubes et de gaines échangeurs de chaleur de dimensions moyennes et à des taux modérés de pression. La valeur économique totale des divers échangeurs de chaleur requis pour exploiter un réacteur CANDU de grande puissance (750 MW) se chiffre à environ \$1 million.

Alors que les exigences de qualité de fabrication desdits échangeurs sont plus sévères que pour la plupart des autres installations industrielles, les travaux d'usine que cela implique sont actuellement à la portée de plusieurs sociétés canadiennes. L'ensemble de ces sociétés et des ressources industrielles canadiennes suffit à satisfaire aux exigences prévues par le programme de construction de centrales nucléaires. On s'attend à ce que les offres de soumissions concurrentielles se maintiennent et que les commandes relatives au programme CANDU soient exécutées sans retards excessifs.

La fourniture de tubes pour lesdits échangeurs de chaleur continue à poser un problème. Ontario Hydro ayant établi la pratique de commander à l'avance et de stocker ce genre de tubes, il se pourrait qu'elle continue à le faire et que d'autres commissions électriques importantes en fassent autant.

6. Les machines de chargement et les télémanipulateurs de combustible

Les machines de chargement de combustible pour les réacteurs CANDU sont des organes très complexes conçus pour changer les grappes de combustible pendant que le réacteur est en marche. Cela signifie qu'il faut retirer les bouchons écrans ainsi que les barres de combustible au moyen de télémanipulateurs alors que les canaux et leurs joints contiennent de l'eau lourde chauffée et sous pression.

Les réacteurs de la gamme des 600 MW (Pickering & Gentilly II) ont besoin chacun de deux machines de chargement plus certaines machines en réserve selon le nombre de réacteurs de chaque centrale. Les centrales comprenant plusieurs réacteurs de 750 MW (comme à la centrale de Bruce) utilisent six machines

de chargement pour quatre réacteurs étant donné que, dans une même centrale, chaque machine peut être déplacée d'un réacteur à l'autre. Le coût de machines de chargement ainsi que de l'équipement connexe de manutention de combustible se monte à environ \$3 millions par réacteur de la catégorie des 750 MW et à \$2.5 millions par réacteur de la catégorie des 600 MW. Les délais de production sont de deux à trois ans.

Pour atteindre un niveau de capacité équivalent à celui de six réacteurs par an, niveau généralement considéré comme suffisant pour satisfaire aux exigences minimales du programme nucléaire, l'industrie canadienne devrait pouvoir fournir au moins 11 machines par an. En supposant que l'ensemble des réalisations annuelles en fait de réacteurs consiste en une combinaison probable de deux réacteurs de 600 MW et de 4 réacteurs de 750 MW, cela représente une demande d'environ cinq machines pour les réacteurs de 600 MW et de six machines pour les réacteurs de 750 MW. C'est sans trop de difficulté que l'industrie canadienne répondra, dans l'ensemble, aux besoins escomptés, grâce à une capacité de production programmée pour 9 machines pour réacteurs de 600 MW et de six machines pour réacteurs de 750 MW. Cependant, face aux commandes escomptées pour 1976 de 12 machines de chargement de combustible pour réacteurs de 600 MW et, pour 1983, de 9 machines pour réacteurs de 750 MW, un manque à produire est à prévoir. Afin de satisfaire de telles demandes éventuelles, il se pourrait que l'Énergie Atomique de Canada, Limitée (EACL), les commissions électriques et les entreprises concernées doivent prendre des dispositions conjointes dans les domaines de commandes à longue échéance et du stockage préventif en prévision de la demande des années de pointe.

Certains éléments des machines de chargement de combustible tels que les écrous de plomb des rotules de recirculation, devront être importés car on ne s'attend pas à ce qu'ils soient fabriqués ou disponibles au Canada en temps utile.

7. Mécanismes de réglage de la réactivité

Ces mécanismes consistent essentiellement en tubes d'entraînement de barres dont la fonction est d'introduire dans le coeur du réacteur ou d'en extraire des éléments de réactivité. Selon leur fonction spécifique, on peut désigner ces éléments sous les termes de barres de surréactivité, d'arrêt, barres absorbantes ou de réglage.

Les modèles actuels comportent l'utilisation d'environ 50 tubes de réactivité et entraînements par réacteur et leur coût s'élève à environ un million de dollars. Le système comporte aussi un certain nombre de plates-formes. L'évolution à venir des méthodes de réglage pourrait occasionner l'augmentation du nombre et du coût des mécanismes de réglage requis pour chaque réacteur.

Au cours de la prochaine décennie, la demande de ces mécanismes pourrait varier d'une moyenne annuelle de 250 jeux pour cinq réacteurs à un maximum de 350 jeux par an (pour sept réacteurs). On estime la capacité actuelle à 425 tubes, 100 entraînements et plates-formes desservant annuellement quatre réacteurs. Des plans d'expansion sont projetés pour augmenter la capacité annuelle de production à 500 tubes, 300 dispositifs d'entraînement et plates-formes pour desservir six réacteurs.

En se basant sur les expansions proposées des usines en cause, on prévoit que la capacité de production de l'industrie canadienne sera suffisante pour satisfaire à une demande annuelle d'au moins six réacteurs plus une marge pour satisfaire, si nécessaire, à de plus hauts niveaux de demande. La dépendance actuelle de fournisseurs étrangers de mécanismes spéciaux et d'alliage de zirconium pour les tubes pourrait se prolonger et causer des difficultés temporaires d'approvisionnement. Cependant, on prévoit que l'alliage de zirconium sera disponible au Canada vers la fin de 1975.

8. Pompes

Les plans normalisés du réacteur CANDU de 600 MW comprennent actuellement 16 pompes au total et au coût d'environ \$4 millions. Le besoin principal est de quatre pompes de caloportage de 9000 HP pour entraîner l'eau lourde à travers le coeur du réacteur, pour absorber la chaleur produite et la transférer aux échangeurs où elle transforme l'eau légère contenue dans le générateur en vapeur pour les turbines. Le fonctionnement du réacteur nécessite aussi deux pompes de 1000 HP pour le système de circulation du modérateur en tant que système secondaire destiné à régler le débit de production thermique du réacteur et évacuer l'excédent de chaleur. Une dizaine de pompes plus petites, de puissances variant de 10 à 250 HP, sont nécessaires pour assurer diverses fonctions auxiliaires.

Les pompes de caloportage destinées aux réacteurs de 750 MW doivent être plus puissantes (11,000 HP). Autrement, l'installation est analogue à celle en usage pour les réacteurs de 600 MW, avec des modifications plus ou moins importantes selon les variantes particulières aux centrales.

En ce qui concerne la capacité de production au Canada, seule la fabrication de pompes de caloportage de grande puissance pourrait poser quelques difficultés. Au cours de la prochaine décennie, on estime à 8 pompes de 9000 HP pour 2 réacteurs de 600 MW et à 12 pompes de 11000 HP pour 3 réacteurs de 750 MW la demande annuelle moyenne prévue. Cependant, on prévoit que deux périodes de demande de pointe pourraient se réaliser vers 1976 et vers 1983 dont l'une exigerait jusqu'à la fourniture de 20 pompes de 9000 HP et, l'autre, 24 pompes de 11000 HP.

La capacité actuelle de production d'entreprises canadiennes expérimentées dans la fabrication de pompes de caloportage de grande puissance est considérée comme adéquate à l'approvisionnement en pompes de puissances allant jusqu'à 11000 HP pour quatre réacteurs par an. En tenant compte des projets d'expansion, la capacité de production de l'industrie canadienne devrait augmenter jusqu'au niveau correspondant à sept réacteurs par an, et devrait pouvoir fournir la combinaison requise de types de réacteurs de 600 MW et de 750 MW.

Les prévisions relatives à la productivité à venir de l'industrie se basent sur le maintien des approvisionnements en grands moulages de qualité à l'épreuve d'applications nucléaires pour pompes de caloportage et représentant environ 25% du coût de pompes complètes. Dans les périodes où les quelques fonderies canadiennes capables de fournir lesdits moulages travaillent à plein rendement, nos fabricants de pompes doivent importer de l'étranger pour honorer les commandes.

En ce qui concerne les autres types de pompes utilisées pour les réacteurs, plusieurs fabricants de pompes établis au Canada ont, dans l'ensemble, la capacité de production et l'expérience nécessaires pour répondre à tous les besoins prévus.

9. Soupapes

L'installation d'un réacteur de 750 MW comporte un réseau de vannes et de soupapes de types et de dimensions diverses et d'une valeur approximative de \$1.3 million.

Le secteur industriel qui produit les soupapes pour les générateurs de vapeur a une capacité sélective de satisfaire aux normes de qualité requises. Néanmoins, les responsables de ce secteur estiment qu'il a, dès aujourd'hui les aptitudes techniques et physiques, ainsi que le potentiel de productivité suffisant (à condition qu'il soit approvisionné en moulages de qualité à l'épreuve d'applications nucléaires) pour répondre à tous les besoins prévus des futurs générateurs de vapeur. Cet état de chose devrait permettre d'augmenter considérablement la participation dudit secteur (robinetterie) au programme de construction de centrales nucléaires. Au Canada, l'approvisionnement en vannes et en soupapes était réduit, dans le passé, à la moitié environ de l'ensemble des besoins des générateurs de vapeur.

10. Fabrication du combustible

Les chargements en combustible des réacteurs CANDU consistent en grappes de tubes en zircaloy contenant des pastilles de bioxyde d'uranium (UO_2) présentement produites par deux fabricants de combustible au Canada qui utilisent de la poudre de bioxyde d'uranium provenant d'une raffinerie canadienne. En ce moment, les tubes en zircaloy proviennent de l'étranger.

Les coûts des combustibles finis sont élevés. Le coût du premier chargement de combustible pour la centrale de Bruce est d'approximativement \$28 millions et le coût du premier chargement pour la centrale de Pickering se montait à \$19 millions. Le bioxyde d'uranium utilisé par les fabricants de combustible compte pour environ la moitié desdits coûts.

Le bioxyde d'uranium (UO_2) s'obtient par affinage du minerai d'uranium naturel. Les fabricants compressent la poudre en pastilles frittées et les meulent pour leur donner leur forme cylindrique uniforme. Les pastilles sont alors placées dans des tubes et ceux-ci réunis en grappes ou faisceaux. Ces processus de fabrication comportent des opérations de grande précision telles que le brasage des espacements, le soudage des bouchons terminaux et des plaques tubulaires, ainsi que le dégraissage, le décapage et le rinçage des éléments métalliques. Pour assurer une qualité acceptable, il faut de nombreuses vérifications et inspections.

On estime que la capacité de production du Canada suffira à satisfaire aux besoins escomptés en combustible nucléaire.

La dépendance actuelle du Canada auprès des fournisseurs étrangers de produits en zirconium pourrait causer des difficultés temporaires, mais il est possible que l'on établisse de nouvelles sources canadiennes de ce matériau.

On estime que la capacité canadienne pour l'affinage est en mesure de réaliser une expansion suffisante pour fournir des quantités de bioxyde d'uranium (UO_2) adéquates pour satisfaire la demande des dix prochaines années. De plus, il se peut qu'à partir de 1980 environ, les autres mines d'uranium fournissent le bioxyde d'uranium (UO_2) sous sa forme raffinée.

11. Moteurs à induction pour pompes de caloportage et pompes des collecteurs des chaudières

Les pompes de caloportage pour un réacteur de 750 MW nécessitent un moteur de 11,000 HP. En se basant sur les demandes escomptées des marchés intérieur et extérieur, les besoins annuels ne dépasseraient pas le maximum de 24 moteurs de 11,000 HP, plus les pièces de rechange.

Actuellement, une seule entreprise canadienne a une capacité complète de production de ces moteurs, comprenant la compétence en ingénierie, les installations et les machines nécessaires à la production et l'expérience requise pour fournir des centrales nucléaires. Il faudrait installer ou développer d'autres usines canadiennes pour répondre à la totalité des besoins futurs en moteurs à induction sans faire appel aux fournisseurs étrangers. Certains indices permettent de conclure qu'on envisage de nouveaux investissements dans ce secteur industriel.

12. Systèmes de mesure, de réglage et de commandes

Compte tenu du fait que les techniciens ne peuvent pas se rendre dans de nombreux endroits d'un réacteur en marche et que, néanmoins, il faut y effectuer des réglages minutieux et y prendre des mesures très exactes, dans les centrales nucléaires, les systèmes de télécommandes, de mesure et de réglage à distance sont extrêmement complexes. Il s'agit surtout de détecteurs de pression, de radiation et de température qui convertissent les impulsions captées en signaux électriques, lesquels renseignent sur les conditions de fonctionnement des divers organes de la centrale. Des ordinateurs traitent ces signaux et transmettent à leur tour des signaux à l'appareillage d'alerte et de commande.

Le coût total des instruments et de l'appareillage en question atteint environ \$5 millions par réacteur. Étant donné la capacité restreinte du marché intérieur et le peu d'occasions de créer de nouvelles installations pour la fabrication de ces types d'appareils, il faudra continuer à en importer une partie considérable.

Actuellement, on produit au Canada certains appareils de détection de radiation. Mais les détecteurs de température et les détecteurs de pression en général doivent être importés pour la plupart. On produit également au Canada une gamme assez étendue d'équipements auxiliaires d'ordinateurs, quant aux ordinateurs principaux en service dans les centrales nucléaires, les entreprises canadiennes ne les fabriqueront pas encore pendant quelques années. Bien que nombre d'entreprises canadiennes soient capables de construire des ordinateurs, leurs modèles courants ne conviennent pas au service des centrales nucléaires. Cependant, l'ordinateur principal n'est qu'une petite partie de l'ensemble de l'installation électronique.

13. Autres types d'équipement

La fourniture d'autres composants du générateur de vapeur de centrale nucléaire ne pose, selon les prévisions, aucun problème particulier d'approvisionnement. On s'attend à ce que des soumissions concurrentielles pour la plupart de ces composants continuent à être faites et les commandes relatives aux générateurs de vapeur devraient être exécutées sans retards excessifs.

14. Résumé des perspectives d'approvisionnement en matériaux pour la construction de générateurs de vapeur

En résumé, il semble que l'industrie canadienne sera capable de faire face à tous les besoins essentiels à la construction de générateurs de vapeur pour centrales nucléaires dans le cadre d'un programme qui prévoit la construction de jusqu'à six réacteurs par an, mais à condition que l'expansion nécessaire des usines se réalise en temps utile. On pourrait éviter des manques à produire possibles si certains doutes concernant les perspectives de futurs débouchés économiques étaient résolus de façon à ce que les fabricants puissent être persuadés d'augmenter leur capacité de production au-delà des limites qu'il se sont fixées, ou encore pour obtenir que d'autres entreprises susceptibles de développer le degré de spécialisation et de compétence requis participent au programme de construction de centrales nucléaires. Dans certains cas, l'expansion projetée représente une augmentation de la capacité de production actuelle égale au triple (trois cent pour cent).

B. Les composants principaux du système générateur d'électricité (PGS)

Les divers organes qui constituent le générateur d'énergie électrique sont groupés dans un bâtiment adjacent à celui qui contient le générateur de vapeur du réacteur. Le système générateur de vapeur est isolé du réacteur au moyen de l'échangeur de chaleur intégré à ce générateur de vapeur. Ce degré d'isolation de l'activité de radiation du réacteur permet d'utiliser du matériel conventionnel dans le générateur d'énergie électrique, c'est-à-dire d'accepter pour la plupart des éléments de l'appareillage nécessaire, des normes de qualité plus courantes.

Les composants majeurs du système générateur d'énergie électrique comprennent: le group turbogénérateur, les condensateurs, les appareils de chauffage de l'eau d'alimentation et divers échangeurs de chaleur; des pompes et des soupapes ainsi qu'une variété d'appareils électriques tels que des transformateurs, l'appareillage de connexion, des petits moteurs, l'appareillage de télé-commande, etc. La valeur totale des composants du système PGS atteint approximativement de \$40 à \$45 millions par unité.

1. Les groupes turbogénérateurs (Groupes T-G)

La pression relativement basse qu'exerce la vapeur provenant du générateur du réacteur nécessite l'emploi de turbines très grandes. Ces turbines sont trop grandes pour être conçues en plusieurs sections distinctes pouvant être fabriquées respectivement en atelier, démontées pour leur transport et montées à nouveau à leur place définitive de fonctionnement. D'autre part, l'alternateur principal doit être complètement monté et mis à l'essai en atelier. Une fois que le stator a été monté, on ne peut pas le démonter pour le transporter. Les dimensions et le poids du stator nécessitent des véhicules spéciaux pour le transporter et des engins spéciaux de manutention pour le déplacer. On prévoit que les stators dont on aura besoin au cours de la prochaine décennie seront conçus pour être transportés par voie terrestre. Mais, les versions qui suivront seront probablement construites dans des usines situées en bordure de voies d'eau navigables pour permettre leur expédition par chalands.

La construction de groupes T-G comporte la fourniture de pièces forgées et moulées de grandes dimensions, faites de matériaux conformes à des normes spéciales et comprenant une forte proportion d'alliages résistants aux grandes chaleurs. En général, la turbine et l'alternateur sont fournis par la même entreprise en tant que groupe fonctionnel. Le prix d'un groupe

de la catégorie utilisée à Pickering ou Gentilly II est de \$28 millions, alors que chacun des groupes de grandes dimensions de la centrale de Bruce coûte environ \$33 millions.

Jusqu'à présent la production de turbo-alternateurs au Canada dépendait, dans une forte mesure, de la technologie étrangère et des importations de composants rotatifs et d'autres pièces d'une haute technicité. La capacité de production actuelle du marché intérieur dépasse les besoins correspondants à six réacteurs par an. Mais la teneur canadienne dans ce domaine n'est que de 20 à 50%. Pour augmenter considérablement cette teneur, les entreprises canadiennes devraient recourir à des programmes d'expansion qu'elles n'entreprendraient probablement qu'après avoir reçu des garanties de futurs débouchés économiques. Étant donné la forte demande actuelle de groupes T-G pour centrales nucléaires dans le monde entier, demande qui grève la capacité de production des principaux constructeurs internationaux, il ne conviendrait pas de se fier aux livraisons des constructeurs étrangers.

2. Condenseurs principaux

Chaque turbine à vapeur est dotée d'un condenseur dont le coût approche \$2 millions.

Les fabricants de condenseurs sont capables de satisfaire à toutes les exigences prévues au programme. Mais, la tubulure, qui constitue une forte proportion du matériel utilisé dans la construction des condenseurs, n'est pas produite au Canada. De plus, sur le marché international, les quantités disponibles de ce matériel sont aussi insuffisantes et les commissions électriques ont déjà passé des commandes à long terme et font le stockage des tubes avant de les distribuer aux constructeurs de condenseurs.

3. Réchauffeurs d'eau d'alimentation et divers échangeurs de chaleur

Le générateur d'électricité contient une variété de réchauffeurs et de refroidisseurs. Le train de chauffe de l'eau d'alimentation contient douze grands réchauffeurs d'une valeur d'environ un million de dollars.

La capacité de production combinée de plusieurs fournisseurs établis de ce matériel dépasse les besoins prévus.

4. Pompes

Les normes de qualité suivies dans la fabrication des pompes de générateurs d'électricité ne sont pas aussi sévères que celles observées pour les composants des générateurs de vapeur de centrales nucléaires. Les pompes de générateurs d'électricité comprennent les pompes de drainage du condensat, d'acheminement de l'eau, d'alimentation de la chaudière, d'eau de service à basse pression, d'eau de refroidissement du condenseur et les pompes d'alimentation auxiliaire de la chaudière. La valeur approximative de l'ensemble des pompes nécessaires à l'exploitation d'une centrale de 4 réacteurs de 750 MW atteint \$5 millions.

En prévision d'une augmentation considérable de la demande de pompes pour centrales nucléaires et usines de fabrication d'eau lourde dans un proche avenir, plusieurs entreprises ont récemment agrandi leurs installations. Il en résulte une capacité de production adéquate pour les pompes conventionnelles de toutes les centrales nucléaires projetées pour la prochaine décennie.

5. Soupapes

Les entreprises canadiennes qui fabriquent des soupapes ont une capacité de production adéquate pour toute la gamme des types et des dimensions de soupapes requises pour les générateurs d'électricité des centrales nucléaires projetées. Ce secteur industriel subit une sérieuse concurrence de la part de fournisseurs étrangers et, en général, le niveau de sa production est inférieur à sa capacité totale.

6. Appareils électriques

La plupart des appareils électriques requis dans les générateurs d'électricité des centrales nucléaires sont des modèles standard fabriqués par diverses entreprises de façon courante. Ces appareils tels que transformateurs, appareils de connexion, petits moteurs, et composants de centres de commande sont semblables à ceux utilisés dans les centrales électriques conventionnelles. On ne prévoit aucune difficulté d'approvisionnement dans ce domaine.

7. Autres composants de générateurs d'électricité

La plupart des autres composants et équipements de générateurs d'électricité de centrales nucléaires font partie

de l'inventaire des produits courants fabriqués par nombre d'entreprises. On ne prévoit aucune difficulté d'approvisionnement dans ce domaine.

8. Résumé des perspectives concernant les générateurs d'électricité

Alors que la fabrication des composants des générateurs de vapeur des centrales nucléaires nécessite une nouvelle technologie très raffinée et des normes de fabrication et de qualité très sévères ainsi que des garanties assorties, la production des composants des générateurs d'électricité ne pose pas les mêmes problèmes à l'industrie. Dans le cas des générateurs d'électricité, le degré d'isolation des radiations nucléaires permet d'utiliser des équipements conventionnels et d'accepter les normes conventionnelles de qualité pour la plupart des éléments et matériaux de construction utilisés. Dans ce domaine, on ne s'attend à aucune difficulté majeure puisqu'on considère qu'en général, les installations de production établies suffisent à répondre aux besoins du programme projeté de construction de centrales nucléaires.

Cependant, il se peut que l'on continue à se fier considérablement aux livraisons provenant de l'étranger, en ce qui concerne les composants majeurs des turbo-alternateurs, ce qui causerait certaines difficultés alors que les marchés mondiaux connaissent une forte demande de groupes T-G pour centrales nucléaires, demande qui grève la capacité de production des fournisseurs internationaux. L'augmentation de la teneur canadienne des composants de groupes T-G, bien au delà de la proportion de 20 à 50% obtenue jusqu'à présent, nécessiterait un agrandissement important des installations. Les entreprises concernées n'y consentiraient, dans une grande mesure, que si elles étaient assurées de futures commandes pour centrales nucléaires.

C. Usines d'eau lourde

La construction d'une unité de production d'eau lourde d'une capacité de 400 tonnes coûte environ \$200 millions (dollars de 1974) dont environ \$30 millions sont imputés aux services d'ingénierie et \$80 millions à l'achat de divers équipements. Pour répondre aux besoins prévus pour les marchés intérieur et étrangers, dix unités semblables de 400 tonnes sont soit en construction, soit projetées pour être construites au cours de la prochaine décennie à un coût total estimé à \$2 milliards.

Les composantes majeures d'une unité de 400 tonnes (usine de Bruce) comprennent:

- six tours d'enrichissement de hauteurs allant jusqu'à 275 pieds, 28.5 pi de diamètre et dont les parois peuvent atteindre 3.5 po d'épaisseur;
- quatre tours de finissage atteignant jusqu'à 172 pieds de hauteur, 10.6 pi de diamètre et dont les parois ont 9/16 po d'épaisseur;
- une torchère installée sur une tour de 475 pieds;
- 230 pompes de puissances variées allant jusqu'à 5000 HP;
- cinq compresseurs dont la puissance atteint jusqu'à 6900 HP;
- 45,000 soupapes;
- 250 échangeurs de chaleur;
- 175 réservoirs et récipients;
- 1000 tonnes d'acier de charpente;
- 600,000 pieds de tuyaux de divers diamètres allant de 3/8 po à 52 po.

On estime que les compétences combinées des sociétés canadiennes d'ingénieurs-conseils expérimentées dans la conception et la construction d'usines d'eau lourde sont adéquates pour répondre aux exigences d'ingénierie du programme de construction mentionné ci-dessus, ainsi que toutes demandes supplémentaires qui viendraient s'y ajouter.

On estime également que la capacité de production des entreprises canadiennes suffit à fournir le gros des machines et de l'équipement nécessaires à la réalisation du programme projeté de production d'eau lourde. Il faudra continuer à importer certains matériaux de base mais on ne s'attend pas à ce qu'une pénurie de ces matériaux sur les marchés mondiaux atteigne des proportions qui pourraient avoir des effets nuisibles sur ledit programme.

D. Services d'ingénierie de d'ingénieurs-conseils

La participation de sociétés canadiennes d'ingénieurs-conseils au programme CANDU a été surtout complémentaire au rôle important de l'EACL dans la conception de générateurs de vapeur de centrales nucléaires. Le rôle des sociétés canadiennes d'ingénieurs-conseils a été limité dans une certaine mesure parce que ce sont les commissions électriques, surtout Ontario Hydro jusqu'à présent, qui, traditionnellement, se chargent de leurs propres travaux de conception et d'ingénierie. Néanmoins, les ingénieurs-conseils canadiens ont acquis une expérience considérable et sont devenus experts en études de faisabilité, en conception de systèmes conventionnels, en plans d'intégration du générateur d'électricité et du générateur de vapeur, en conception de réacteurs de recherche et de composants. Le rôle des ingénieurs-conseils a été particulièrement important dans les travaux d'ingénierie, l'approvisionnement et la construction d'usines d'eau lourde.

Des \$60 millions en services d'ingénierie investis en une seule centrale de 600 MW, environ \$28 millions sont imputés à la participation d'entreprises privées dans les travaux d'ingénierie, de conception et de gestion des projets. De ce total, environ \$8 millions représentent le coût de l'intégration de générateurs de vapeurs conçus par l'EACL et de générateurs d'électricité conçus par les commissions électriques ou par les sociétés d'ingénieurs-conseils.

Le secteur privé dispose d'un corps considérable de compétences en ingénierie capable d'apporter le complément désiré aux activités de l'EACL et des commissions électriques dans les domaines de la conception, du développement de l'ingénierie et de la technologie de la construction de centrales nucléaires CANDU et d'usines d'eau lourde. L'expérience accumulée par les entreprises qui ont par le passé oeuvré aux projets nucléaires, ajoutée à la somme considérable des compétences d'autres sociétés importantes d'ingénieurs-conseils, pourrait soutenir une participation grandement accrue des entreprises canadiennes spécialisées en ingénierie et des ingénieurs-conseils canadiens à l'expansion future du programme de construction nucléaire et particulièrement, à l'effort de vente de réacteurs CANDU à l'étranger.

IX. LIMITATIONS D'ORDRE GÉNÉRAL & DESCRIPTION DES PROBLÈMES

Récemment, les marchés intérieurs et internationaux ont été caractérisés par des pénuries et des entraves persistantes dans nombre de secteurs industriels. Malgré une amélioration sensible dans plusieurs secteurs, de telles conditions sévissent encore dans le secteur des ressources et les secteurs reliés à l'énergie. Afin de se faire une certaine idée des incidences éventuelles desdites pénuries et entraves sur l'industrie nucléaire canadienne, il convient de les passer en revue.

A. Limitations imputables à la pénurie de main-d'oeuvre qualifiée

La question des ressources en main-d'oeuvre qualifiée, nécessaire à la réalisation du programme nucléaire, n'est pas du ressort de cette étude. Néanmoins, d'autres études révèlent que le manque de main-d'oeuvre convenablement formée pourrait devenir une entrave.

La qualification technique de la main-d'oeuvre employée aux travaux de nature nucléaire doit être d'un niveau supérieur à celui qui a cours dans d'autres secteurs industriels. Ces exigences sont dues aux mesures de sécurité très sévères, en raison des risques de radiation, aux normes de fabrication de très haute qualité, ainsi qu'à la compétence technique très élevée généralement requise dans le domaine nucléaire. Comme il s'agit d'une technologie nouvelle, on ne peut pas compter sur d'importantes ressources en personnel convenablement formé et expérimenté.

Pour effectuer les travaux d'ingénierie relatifs aux centrales nucléaires on peut compter sur des effectifs de 1500 techniciens et ingénieurs. A ce nombre, il convient d'ajouter les effectifs importants de techniciens et d'ingénieurs employés dans les usines du secteur manufacturier. Pour répondre aux exigences du programme en expansion, il faudra augmenter lesdits effectifs d'environ 40 pour cent au cours des deux prochaines années. Si l'on tient compte de la forte demande de compétences en ingénierie qui caractérise d'autres secteurs d'exploitation de ressources telles que les sables bitumineux, les mines, etc.. et la pénurie reconnue de techniciens correctement formés aux États-Unis et en Europe, pays où l'on recruterait normalement les compétences recherchées, il sera nécessaire de chercher à réaliser d'importantes économies du côté de l'ingénierie en prenant des mesures telles que la normalisation des calculs et des études, etc....

Jusqu'à présent, environ 3,500 personnes ont été engagées dans les projets de fabrication du programme de centrales nucléaires. On estime qu'en 1979, le programme de centrales nucléaires aura besoin,

dans les usines concernées, d'une main-d'oeuvre de près de 15,000 travailleurs affectés à la fabrication. Ces effectifs compteront bon nombre de soudeurs, d'opérateurs de machines et d'électriciens hautement qualifiés, de contrôleurs de la qualité et de techniciens qui travaillent avec des matériaux non conventionnels et doivent respecter les tolérances très étroites exigées par les normes de sécurité nucléaire. Il faut encore construire ou agrandir une grande partie des installations de production qui emploieront ces travailleurs. Ce qui signifie que, si les fabricants réalisent leurs projets d'expansion, la demande pour ces travailleurs spécialisés connaîtra une nette accélération.

Le manque de main-d'oeuvre qualifiée, qui sévira dans les entreprises engagées dans la construction d'installations nucléaires et dans l'exploitation de centrales nucléaires, ne concerne pas directement les secteurs de la fabrication et de l'ingénierie, sauf qu'il s'agit là encore de domaines où la demande est forte en personnel spécialisé, ce qui aura pour effet de réduire davantage la réserve de main-d'oeuvre qualifiée où les fabricants recrutent leurs effectifs.

B. Manque de matériaux et de matériel

Ce ne sont pas les quantités de matériaux requises par l'industrie des composants nucléaires qui la place dans une catégorie à part, en tant que majeure consommatrice de matériaux primaires et de composants non fabriqués, mais plutôt ses demandes inhabituelles de pièces de grandes dimensions telles que des pièces moulées et forgées, ses demandes de tolérances étroites, d'alliages spéciaux et de matériaux rares, de qualité très raffinée quant à la pureté. Une grande partie de ces matériaux peut-être obtenue de sources canadiennes, mais on se fie aussi largement aux importations, particulièrement en ce qui concerne certains composants d'alliage à haute teneur, ou certains tubes et tôles d'acier de dimensions spéciales mais pour lesquels la demande au Canada est insuffisante pour en justifier la production.

La description ci-dessus de la capacité canadienne de production des majeures composantes nucléaires se réfère aux problèmes spécifiques d'approvisionnement des fabricants concernés. Outre ces difficultés spécifiques, l'ensemble des secteurs industriels qui approvisionnent le programme nucléaire continuera à subir les effets de fluctuations mondiales dans la disponibilité d'acier et autres matériaux de base, fluctuations ressenties par tous les autres secteurs industriels. En général, cependant, les indices actuels portent à croire que les secteurs industriels en question seront capables de s'approvisionner en matériaux de base ou en composants essentiels. Néanmoins, selon la nature et l'ampleur de pénuries éventuelles de matériaux essentiels, il faudrait prendre des mesures préventives ou correctives afin d'assurer: a) le stockage préalable de matériaux

par une agence commune d'achats, comme cela se pratique déjà dans certains secteurs; b) l'augmentation de la capacité d'entreprises canadiennes de produire des pièces moulées et forgées qui satisfassent les normes sévères de qualité nucléaire; et c) l'établissement de nouvelles installations de production de certains composants qui, sans elles, ne pourraient être fabriqués économiquement au Canada, advenant l'interruption des livraisons de l'étranger.

Voici quelques exemples de domaines affectés par certains problèmes d'approvisionnement:

i) Acier

Il y a eu récemment une pénurie mondiale d'acier due à une forte demande ainsi qu'à l'insuffisance de la capacité de production des aciéries. Cependant, la sidérurgie canadienne augmente sa capacité de production aussi rapidement que possible et, à long terme, devrait être capable de répondre à la demande.

ii) Pièces moulées (d'acier inoxydable ou d'acier au carbone)

Chaque réacteur de 600 MW nécessite 680 soupapes comprenant des corps moulés en acier inoxydable et des pièces en acier au carbone. Sur cette quantité, environ 420 soupapes pesant au total 94 tonnes, doivent être de qualité "nucléaire". Des moulages de qualité "nucléaire" sont également requis pour 12 pompes intégrées au bâtiment du réacteur. Les corps de 4 de ces pompes sont en acier au carbone moulé et pèsent au total 20,000 livres; les corps de six de ces pompes pèsent 5,000 livres et deux sont en moulages d'acier inoxydable et pèsent 8,000 livres. Bien que nombre de fonderies canadiennes soient capables de faire des moulages de qualité "nucléaire", la sérieuse détérioration de leurs livraisons l'an passé a obligé des fabricants canadiens de soupapes et de pompes à s'adresser à des fournisseurs étrangers. Étant donné que ces pièces moulées sont essentielles à la fabrication des soupapes et des pompes, la pénurie de ce matériel pourrait constituer un goulot d'étranglement grave si cette pénurie devait continuer ou se présenter à nouveau. C'est donc un des domaines où les entreprises canadiennes devraient peut-être agrandir et améliorer leurs installations de production.

iii) Pièces forgées

Les générateurs de vapeur (quatre unités par réacteur) pour un réacteur de 600 MW contiennent chacun un tube fait d'une pièce moulée de 9 pi de diamètre, de 17 à 18 pouces d'épaisseur et pesant 35 tonnes. Étant donné que les entreprises canadiennes ne disposent

ni d'installations de coulage, ni de presses assez puissantes, récemment les commandes ont été placées à l'étranger. Dans ce secteur, les difficultés d'approvisionnement seraient probablement allégées par l'acquisition d'une presse suffisamment puissante et d'équipement auxiliaire nécessaire aux travaux de ces grandes dimensions.

iv) Tôle d'acier inoxydable

Pour assembler une cuve de réacteur de 600 MW, il faut environ 160 tonnes de tôles d'acier inoxydable d'épaisseurs variant de 3/4 po à 3 po. A cause des limitations d'épaisseurs maximales disponibles au Canada, ainsi que des dimensions maximales, jusqu'à présent, une partie des commandes a été fournie par les aciéries des États-Unis et de la Suède. On ne prévoit pas au Canada une demande suffisante pour justifier les investissements nécessaires à l'augmentation de notre capacité de production; mais il serait recommandable de constituer des stocks de ces tôles à répartir éventuellement entre nos fabricants, en cas de difficultés en approvisionnements provenant de l'étranger.

v) Tôles d'acier au carbone pour tours d'usines d'eau lourde

Pour construire une usine d'eau lourde d'un rendement de 400 tonnes, il faut quelque 14,000 tonnes de tôles d'acier au carbone d'épaisseurs allant jusqu'à 3½ pouces et pesant approximativement 8 tonnes métriques. On ne fabrique pas de tôles de cette description et de largeur adéquate au Canada, elles proviennent donc principalement de France, d'Allemagne et du Japon. Afin d'assurer des réserves de ce matériau en quantités suffisantes en cas de besoin, il serait opportun de les commander à l'avance et d'en constituer des stocks.

Des feuilles et des tubes en alliage de zirconium (zircaloy) sont des composants essentiels à la construction de coeurs de réacteurs CANDU. Il en faut en quantités relativement importantes ainsi que de trois catégories correspondant à trois fonctions différentes. La capacité de production des entreprises canadiennes dans ce secteur est actuellement très limitée, mais on construit de nouvelles usines à Arnprior (Ontario) pour y fabriquer des produits en alliage de zirconium, notamment des tubes en alliages spéciaux, des tubes-gaines de combustible et des tubes de force en alliage de zirconium, ainsi que des tubes d'alliages à haute teneur en nickel pour les échangeurs de chaleur et dont la livraison est prévue pour la fin de 1975. Ces mesures mettront fin à la dépendance actuelle de l'industrie canadienne qui doit importer ces matériaux.

C. Concurrence des entreprises étrangères

Jusqu'à présent, le programme de construction de centrales nucléaires CANDU s'est approvisionné autant que possible auprès d'entreprises canadiennes; les importations se sont surtout limitées à des produits qui ne sont pas fabriqués ou extraits au Canada. La forte proportion de la teneur canadienne est due, en grande partie, au fait que le système CANDU est particulier au Canada et que, tant l'EACL que les commissions électriques ont dû maintenir d'étroites relations de travail avec le secteur privé dans les domaines de la conception et du développement, ainsi que pour déterminer des normes et des spécifications appropriées. Puisque les principaux paramètres de conception sont déjà déterminés et que les composants sont de plus en plus normalisés, les fabricants canadiens seront davantage exposés à la concurrence accrue des importations.

L'analyse ci-dessus de la capacité de production des entreprises canadiennes révèle clairement que, dans un proche avenir, le secteur privé devra investir sur une grande échelle pour que l'industrie canadienne puisse répondre aux besoins futurs du programme de construction de centrales nucléaires. Pour la plupart, les investissements en question seront destinés à de nouvelles installations spécialisées qui ne pourraient être utilisées efficacement qu'à des fins nucléaires. Il est également évident que, dans de nombreux cas, les investissements projetés ne se feront que si les fabricants sont suffisamment assurés de recevoir des commandes futures justifiant le coût de l'expansion que cela implique. La concurrence sur le marché intérieur ne cause pas de souci majeur aux producteurs canadiens. Mais la perspective d'avoir à faire face à une sérieuse concurrence des prix de fournisseurs étrangers pourrait décourager certaines entreprises de faire les investissements voulus. Tout en admettant que l'industrie nucléaire canadienne jouit de certains avantages technologiques que lui confère la filière CANDU, de nombreuses entreprises internationales possèdent les ressources technologiques leur permettant d'accéder facilement au même niveau de compétence. De plus, elles sont avantagées par de plus grandes usines et des ressources financières plus importantes.

La filière CANDU constitue un nouveau domaine de raffinement technologique et de technologie de pointe capable d'élever l'industrie nucléaire canadienne à un niveau de compétence sans précédent. Cette technologie généreusement répartie dans tous les secteurs pertinents de l'industrie canadienne, grâce à une participation optimale au programme de construction nucléaire, procurera des retombées bénéfiques en termes de nouvelle capacité de soutenir la concurrence internationale dans d'autres secteurs de production. Au contraire, l'attitude qui

consisterait à dépendre des importations de composants pour le programme CANDU, signifierait graduellement le transfert à l'étranger d'un savoir-faire uniquement canadien. Il faudrait aussi tenir compte que l'envergure du programme de construction CANDU au Canada est suffisante pour constituer le fondement d'une industrie manufacturière grande et forte.

D. Facteurs technologiques

Les industriels canadiens ont fait preuve d'une aptitude remarquable à améliorer leur compétence technologique de façon conforme aux normes très élevées de la filière CANDU en termes de marges très étroites de tolérance, de qualité des matériaux, d'exigences dans les dimensions, de garantie de qualité, etc.

Pour une entreprise particulière, les coûts élevés de la mise en oeuvre de sa production au niveau requis de qualité nucléaire constituent sa préoccupation majeure, car l'investissement que cela implique ne peut être amorti que par des commandes de même nature, renouvelées au cours de plusieurs années. Dans de nombreux cas, les dépenses nécessaires à l'amélioration des standards d'une entreprise n'ont pas été compensées par des commandes suffisantes et régulièrement renouvelées; il en a résulté, pour les entreprises qui contribuent au programme nucléaire, une marge de bénéfices généralement mince. Les entreprises profondément engagées dans le programme nucléaire ont confiance dans la rentabilité éventuelle de leur participation. Néanmoins, il semble que certaines entreprises ont eu certaines hésitations à immobiliser des fonds et des ressources additionnels pour développer leur capacité technologique dans le domaine nucléaire, en raison de l'incertitude qu'elles éprouvaient quant aux probabilités d'obtenir des contrats à l'avenir. Dans quelques cas, l'attitude hésitante de ces entreprises a été encouragée par la forte demande de leurs produits conventionnels. C'est le cas, notamment, de certains sous-traitants tels que les fabricants de pièces moulées et forgées de grandes dimensions qui ont dû honorer de plains carnets de commandes de produits conventionnels plus faciles à fabriquer. De nouvelles discussions entre les gouvernements, les commissions électriques et l'industrie devraient servir à faire disparaître bon nombre d'hésitations à cet égard.

X. PARTICIPATION AU PROGRAMME D'EXPORTATION CANDU:

CONDITIONS ET CONSEQUENCES

Près des deux tiers du coût d'une centrale nucléaire sont absorbés par les travaux de génie civil et de construction sur l'emplacement de la centrale. Par conséquent, les exportations liées à la vente à l'étranger de la filière CANDU seront axées principalement sur les services d'ingénierie et les appareillages spéciaux. Néanmoins, une importante participation des entreprises canadiennes au programme d'exportation de la filière CANDU serait très avantageuse. Cela aiderait les entreprises à amortir leurs investissements consentis pour agrandir leurs installations et améliorer leur capacité de satisfaire aux normes de qualité nucléaire. La participation des entreprises audit programme permettrait aussi de combler des lacunes dans les commandes destinées aux réalisations nucléaires au Canada même. D'autre part, cette participation procurerait des avantages indirects en rehaussant le prestige international de l'industrie canadienne en sa qualité de fournisseur d'équipements de haute technicité, prestige qui contribuerait aux efforts de lancement d'autres équipements sur les marchés étrangers.

Les meilleures possibilités d'exportation proviendront de la fourniture de composants spéciaux pour les générateurs de vapeur et pour la fabrication desquels l'industrie canadienne jouit présentement d'une avance technologique. Les possibilités d'exportation d'appareillage de générateurs conventionnels d'électricité sont comparativement moindres puisque les capacités de production de ce genre d'appareillage sont largement réparties à l'étranger. Le programme d'exportation nucléaire devrait procurer aux sociétés canadiennes d'ingénieurs-conseils et d'ingénierie des occasions d'étendre leur influence à l'étranger en travaillant de concert avec l'EACL, car les services publics étrangers n'ont pas encore acquis l'expérience spécifique ou la qualité d'experts que possèdent quelques commissions électriques canadiennes en matière de conception et de construction de réacteurs CANDU.

La participation de l'industrie canadienne au programme d'exportation de la filière CANDU dépendra, dans une large mesure, de l'état des ressources technologiques et financières du pays acheteur. Les ventes d'équipement et de services aux pays en voie de développement dépendront de l'importance des crédits à l'exportation octroyés par le Canada. D'autres pays en voie de développement disposant de ressources financières importantes pourraient avoir une politique beaucoup plus indépendante en ce qui concerne l'achat à l'étranger d'équipement conventionnel et de certains composants de générateurs de vapeur. Il y aurait aussi des possibilités de vente de la filière CANDU à certains pays industrialisés qui n'ont pas encore

contracté d'obligations envers une technologie nucléaire qui leur soit propre. Quelques pays se trouvant dans cette situation pourraient produire par leurs propres moyens la plus grande partie de l'appareillage nécessaire ou la recevoir de fournisseurs traditionnels, ce sont donc des accords de fabrication nucléaire sous licence qui les intéressent davantage. Aux termes de tels accords, le Canada ne leur fournirait que le savoir-faire essentiel et certains appareillages hautement spécialisés. Ainsi, dans la plupart des cas, alors que l'exportation du système CANDU à un pays particulier pourrait comporter d'importance premières commandes d'équipements et de services canadiens, les exportations qui suivraient, à destination de ce pays, comporteraient une diminution progressive de leur teneur canadienne au fur et à mesure que le pays importateur produirait de plus en plus de composants ou en importerait de pays autres que le Canada.

L'octroi de crédits à l'exportation constitue le facteur prépondérant qui influencera directement la quantité de services d'ingénierie et d'équipements canadiens destinés à être exportés à l'occasion de ventes de la filière CANDU à l'étranger. Étant donné la persistance de besoins considérables de capitaux sur le marché intérieur, auxquels s'ajoutent des investissements d'environ \$300 millions pour chaque centrale nucléaire, il est improbable qu'on puisse financer l'exportation de la filière CANDU sur une grande échelle, sans détourner les ressources financières d'autres besoins des marchés intérieur et étrangers.

Si l'on tient compte des faits que l'on vient d'exposer, des exportations de réacteurs CANDU de l'ordre d'une unité par an en moyenne pendant la prochaine décennie semble être une prévision raisonnable. Un programme d'exportation de cette envergure n'aura pas d'effets appréciables sur la capacité de l'industrie canadienne de satisfaire aux demandes du marché intérieur.

COMMANDES ESCOMPTÉES DE RÉACTEURS CANDU

1974 - 83

CENTRALES NUCLÉAIRES AU CANADA

Durée de la construction et dates de mise en chantier

	<u>74</u>	<u>75</u>	<u>76</u>	<u>77</u>	<u>78</u>	<u>79</u>	<u>80</u>	<u>81</u>	<u>82</u>	<u>83</u>
<u>Bruce A</u>										
1 x 750 MWx									
1 x 750 MWx									
1 x 750 MWx									
1 x 750 MW	x.....x									
<u>Pickering B</u>										
1 x 500 MW	x.....x									
1 x 500 MW		x.....x								
1 x 500 MW			x.....x							
1 x 500 MW				x.....x						
<u>Bruce B</u>										
1 x 750 MW		x.....x								
1 x 750 MW			x.....x							
1 x 750 MW				x.....x						
1 x 750 MW					x.....x					
<u>Darlington</u>										
1 x 750 MW			x.....x							
1 x 750 MW				x.....x						
1 x 750 MW					x.....x					
1 x 750 MW						x.....x				
<u>Gentilly</u>										
1 x 600 MW (II)	x.....x									
1 x 600 MW (III)			x.....x							
<u>Nouveau-Brunswick</u>										
1 x 600 MW		x.....x								
1 x 600 MW			x.....x							

COMMANDES ESCOMPTÉES DE RÉACTEURS CANDU

1974 - 83

EXPORTATIONS

Durée de la construction et dates de mise en chantier

	<u>74</u>	<u>75</u>	<u>76</u>	<u>77</u>	<u>78</u>	<u>79</u>	<u>80</u>	<u>81</u>	<u>82</u>	<u>83</u>
Argentine										
1 x 600 MW		x.....								x
1 x 600 MW (Proposé)				x.....						x

Corée

1 x 600 MW			x.....							x
1 x 600 MW (Proposé)				x.....						x

Exportations escomptées

1 x 600 MW			x.....							x
1 x 600 MW				x.....						x
1 x 600 MW					x.....					x
1 x 600 MW						x.....				
1 x 600 MW							x.....			
1 x 600 MW								x.....		
1 x 600 MW									x.....	
1 x 600 MW										x.....
1 x 600 MW										

COMMANDES ESCOMPTEES DE REACTEURS CANDU

1974 - 83

USINES D'EAU LOURDE

Durée de la construction et dates de mise en chantier

<u>Gentilly</u>	<u>74</u>	<u>75</u>	<u>76</u>	<u>77</u>	<u>78</u>	<u>79</u>	<u>80</u>	<u>81</u>	<u>82</u>	<u>83</u>
1 x 400 Ton	x.....				x					
1 x 400 Ton		x.....								
<u>Commission électrique</u>										
<u>de l'Ontario</u>										
1 x 400 Ton	x.....									
1 x 400 Ton	x.....									
1 x 400 Ton		x.....								
1 x 400 Ton		x.....								
1 x 400 Ton		x.....								
1 x 400 Ton		x.....								
<u>Autres usines</u>										
<u>à venir (EACL)</u>										
1 x 400 Ton					x.....					
1 x 400 Ton						x.....				