

11 Structure d'un réacteur

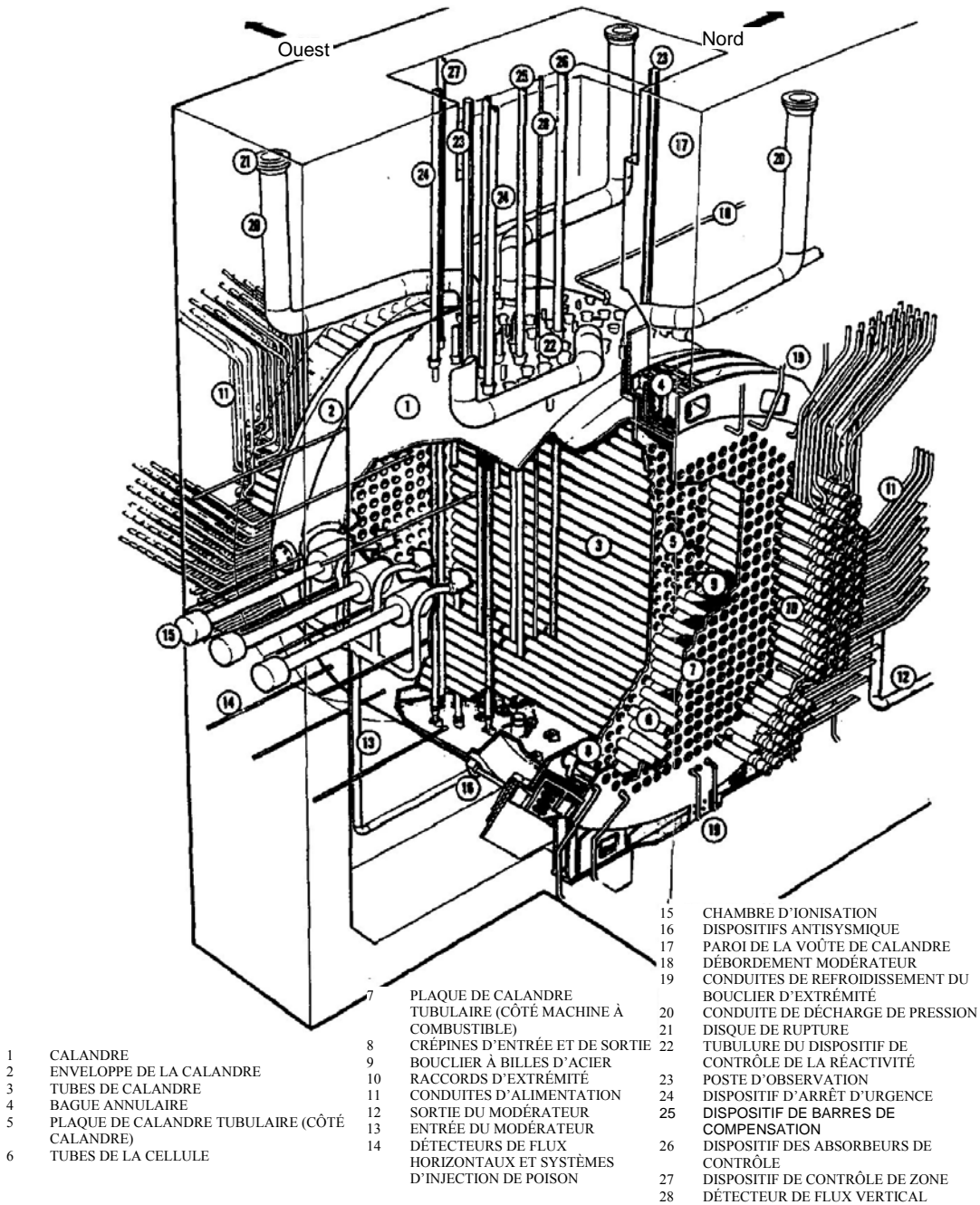


Figure 11.1
Cœur du réacteur CANDU

11.1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente certains choix effectués par les concepteurs de réacteur CANDU et explique comment on en est venu à cette conception. Vous devez comprendre les raisons expliquant la présence de certaines caractéristiques de conception, et connaître l'utilité des composants, ainsi que les localiser sur un schéma.

La figure 11.1 est un schéma détaillé du réacteur de Pickering-B. Des schémas simplifiés dans les prochaines pages illustrent les caractéristiques importantes des CANDU. N'hésitez pas à consulter la figure 11.1 de temps à autre pour vérifier la disposition des composants de réacteur. Avant de décrire la conception, nous allons examiner certains aspects clés de la physique du réacteur.

La scission (fission) des atomes dans le combustible de réacteur produit de la chaleur. Chaque watt de chaleur correspond à 30 milliards de fissions par seconde. Un grand nombre de neutrons thermiques bombardés par les atomes de combustible provoquent ces fissions. Les atomes fissiles sont des atomes qui peuvent être divisés par des neutrons thermiques.

Chacune de ces 30 milliards de fissions donne naissance à deux ou trois neutrons rapides et génère de la chaleur. La conception du réacteur est telle que le combustible génère des neutrons rapides qui peuvent s'en échapper. Les neutrons doivent être ralentis dans le modérateur (et non dans le combustible), puis retournent par la suite au combustible. Si le modérateur ou la structure absorbe trop de neutrons au cours du procédé, c'est la réaction en chaîne qui débute.

11.2 Composants clés du CANDU

Les composants clés d'un réacteur sont le combustible, le modérateur et le caloporteur. Le réacteur CANDU utilise un combustible à base de dioxyde d'uranium naturel ainsi qu'un modérateur (eau lourde) et un caloporteur (également de l'eau lourde). La figure 11.2 indique leur emplacement. Des grappes d'éléments de combustible minces permettent aux neutrons rapides de s'échapper facilement du combustible. Les canaux de combustible sont séparés par une distance d'environ 30 cm. Cette distance permet aux neutrons de perdre la majeure partie de leur énergie avant de revenir au combustible.

Les neutrons thermiques se déplacent lentement. Les réacteurs conçus pour fonctionner grâce aux neutrons thermiques portent le nom de réacteurs thermonucléaires. On les appelle également réacteurs thermiques.

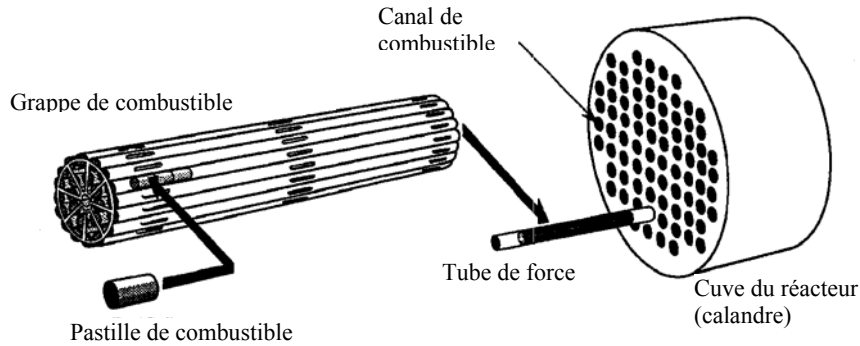


Figure 11.2
Répartition du combustible, du caloporteur et du modérateur
dans un réacteur CANDU

11.2.1 Combustible

La plupart des réacteurs commerciaux, y compris les réacteurs CANDU, utilisent un combustible au dioxyde d'uranium. Le réacteur CANDU est unique en ce sens qu'il utilise de l'uranium naturel. L'uranium naturel est constitué à 99,3 % d'uranium 238, qui n'est pas fissile et de 0,7 % d'uranium 235 fissile. La plupart des réacteurs utilisent un combustible enrichi avec 2 % à 4 % d'uranium 235. La probabilité d'une collision entre un neutron et un atome fissile est plus grande dans le combustible enrichi, ce qui permet d'entretenir une réaction en chaîne avec un nombre moins élevé de neutrons.

Les concepteurs canadiens ont mis au point un réacteur qui utilise efficacement les neutrons, et c'est pourquoi il peut utiliser de l'uranium naturel comme combustible. Un tel réacteur utilise efficacement le combustible, et le combustible est relativement peu coûteux. En outre, après la Deuxième Guerre mondiale, le Canada était l'un des rares pays possédant les connaissances relatives à la fabrication d'une bombe nucléaire. En choisissant une conception de réacteur qui n'exigeait pas l'enrichissement de l'uranium, les politiciens canadiens montraient qu'ils n'avaient pas l'intention de fabriquer des bombes.

La fabrication d'une bombe exige du plutonium ou de l'uranium hautement enrichi. Le premier réacteur commercial au monde, Calder Hall au Royaume-Uni, utilisait du plutonium de type militaire ainsi que de l'électricité. Un réacteur de sous-marin compact fonctionnant à l'uranium enrichi a été mis à l'échelle pour construire la première

centrale de production d'électricité américaine. Le réacteur CANDU a été conçu à des fins commerciales seulement.

11.2.2 Caloporteur

Dans un réacteur modéré à l'eau ordinaire, le modérateur sert également de caloporteur. L'eau sous forme liquide entre en contact avec le combustible chaud et devient alors très chaude. Elle doit demeurer liquide ou sinon, elle perd sa capacité à ralentir les neutrons. Le réacteur doit être exploité à haute pression afin d'éviter que le liquide chaud ne se transforme en vapeur. Cette méthode ne fonctionne pas très bien pour un réacteur qui utilise l'eau lourde comme modérateur.

Une grande quantité d'eau lourde est requise pour ralentir les neutrons. C'est pour cette raison que les réacteurs utilisant l'eau lourde comme modérateur sont très grands. Une grande cuve sous pression est difficile à construire et très coûteuse. Les concepteurs du premier réacteur CANDU ne réussissaient pas à trouver un fabricant canadien qui pouvait construire ce genre de cuve sous pression.

La conception d'un réacteur à tubes de force a permis de résoudre ce problème. La conception prévoit des circuits distincts pour le modérateur et le caloporteur. Examinons la figure 11.2. Les tubes de force qui sont disposés horizontalement dans le réacteur contiennent le combustible. Le caloporteur (eau lourde) à haute pression circule dans les tubes de force et au-dessus du combustible.

11.2.3 Modérateur

La concentration d'uranium 235 dans l'uranium naturel est faible, alors le nombre de neutrons qui bombardent le combustible doit être élevé. La conception d'un réacteur en fonction du combustible choisi doit permettre de réduire le plus possible les pertes de neutrons.

Les scientifiques canadiens savaient que le combustible au dioxyde d'uranium, utilisant de l'uranium naturel, nécessitait du D₂O comme modérateur. Tout autre modérateur aurait absorbé trop de neutrons. C'est ainsi que le réacteur CANDU (*Canadian Deuterium Uranium*) est né.

Une grande cuve comportant des centaines de canaux contient le modérateur. Cette cuve est appelée calandre. Elle mesure environ 6 mètres de longueur et 7 mètres de diamètre.

La calandre n'est pas une cuve sous pression. Le modérateur est refroidi de manière à ne pas entrer en ébullition et à ne pas exercer une

pression sur la structure. Les disques de rupture de calandre protègent la calandre contre toute surpression. La figure 11.1 illustre ces disques.

L'eau lourde absorbe un petit nombre de neutrons, mais n'est pas aussi efficace que l'eau ordinaire pour les ralentir. Pour la même puissance de sortie, un réacteur à l'eau lourde est plus grand qu'un réacteur utilisant l'eau ordinaire comme modérateur.

Les Canadiens, au cours de leur recherche pendant la guerre, sont devenus des experts dans le domaine de l'eau lourde.

11.3 Structure du cœur du réacteur

La conception d'un réacteur à tubes de force, comportant des circuits distincts pour le modérateur et le caloporteur, a nécessité des travaux de conception élaborés. Vous pouvez consulter les figures 11.3, 11.4 et 11.5 pour accompagner la description suivante.

Les figures 11.3 et 11.4 illustrent le modérateur et le caloporteur qui se présentent dans des circuits distincts séparés par deux tubes dans un espace en forme de beigne (espace annulaire). Les tubes de calandre, d'environ 6 mètres de longueur, sont les parois des canaux de la calandre. Les tubes de force, placés à l'intérieur des tubes de calandre, renferment chacun 12 ou 13 grappes de combustible. Le gaz contenu dans l'espace entre les tubes, appelé gaz annulaire, isole le modérateur froid du circuit caloporteur chaud.

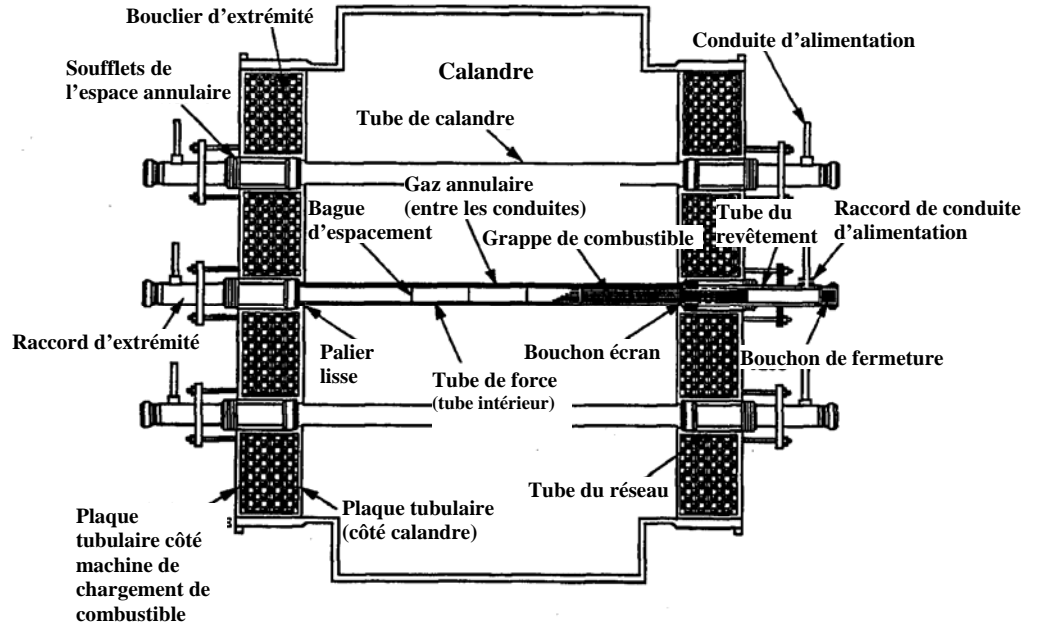


Figure 11.3
Schéma du cœur du réacteur

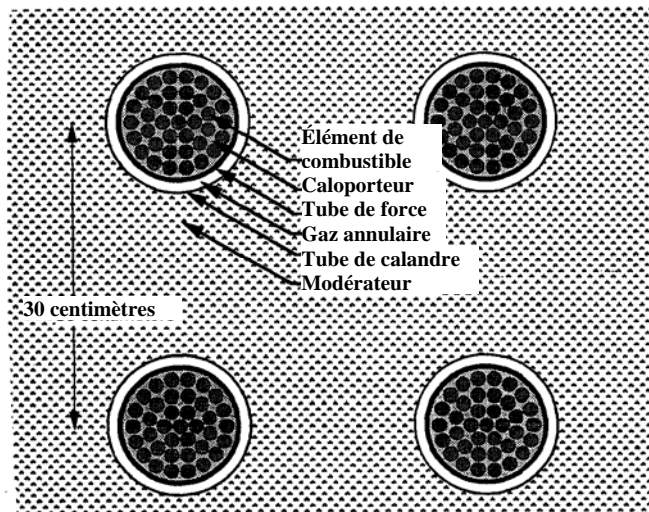


Figure 11.4
Réseau CANDU

Les parois des tubes de calandre et des tubes de force absorbent une faible quantité de neutrons qui les traversent. Ces tubes sont constitués d'un alliage de zirconium, métal qui absorbe moins de neutrons que d'autres métaux. Il est utilisé lorsque l'absorption des neutrons doit être faible. Les tubes du cœur du réacteur sont plutôt perméables aux neutrons, et le combustible est entouré de D_2O .

La figure 11.5 illustre plusieurs raccords. Les tubes de calandre sont attachés à la plaque tubulaire côté calandre (face intérieure plane de la calandre). Un joint laminé mécanique raccorde le tube en alliage de zirconium à la plaque tubulaire en acier inoxydable. De même, un joint laminé rattache chaque extrémité des tubes de force à un raccord d'extrémité en acier inoxydable. Les raccords d'extrémité soutiennent les tubes de force et permettent de les raccorder. Les joints laminés sont les seuls raccords directs avec les tubes en alliage de zirconium.

Le caloporteur (D_2O) à haute pression circule autour du combustible dans les tubes de force grâce à des conduites d'alimentation. Les raccords d'extrémité possèdent des connexions d'alimentation pour raccorder les conduites d'alimentation. Un bouchon de fermeture amovible se trouve au bout de chaque raccord d'extrémité. Chaque bouchon de fermeture est doté d'un sceau sous forme de disque métallique étanche à la pression.

COUPE SIMPLIFIÉE D'UN RACCORD D'EXTRÉMITÉ
LA TAILLE DE CERTAINS COMPOSANTS EST AUGMENTÉE
À DES FINS DE CLARTÉ

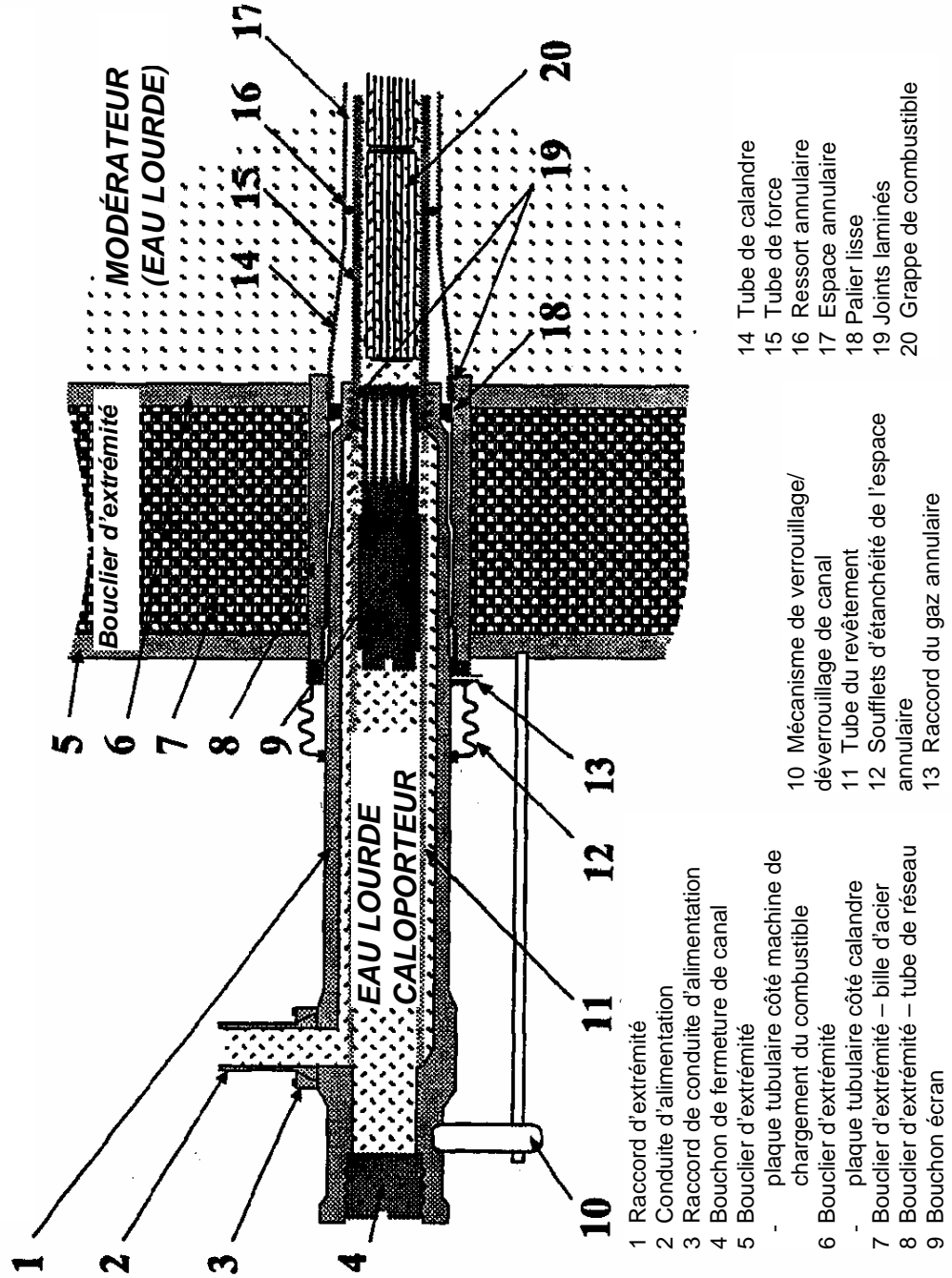


Figure 11.5
Raccord d'extrémité de type courant

Les raccords d'extrémité assurent un raccordement étanche à la pression avec les machines de chargement du combustible commandées à distance. Ces machines insèrent et retirent le combustible pendant le fonctionnement du réacteur. Un loquet à combustible dans le canal permet d'éviter que les grappes ne se déplacent, à moins qu'une machine de chargement du combustible fixe déloge le loquet.

Les raccords d'extrémité soutiennent les tubes de force aux extrémités. Les bagues d'espacement le long du tube de force permettent d'éviter tout contact avec les tubes de calandre.

Chaque raccord d'extrémité repose sur un palier lisse sur lequel il peut glisser.

Habituellement, l'une des extrémités du canal de combustible est fixée par des pinces et ne peut bouger, alors que l'autre extrémité est libre de tout mouvement. Ce mouvement permet la dilatation thermique et la contraction du tube de force. Il permet également d'accommoder le fluage des tubes de force.

Les figures 11.3 et 11.5 illustrent un joint souple, soit les soufflets d'étanchéité de l'espace annulaire, entre les raccords d'extrémité et la face du réacteur. Ce joint est souple et permet le mouvement du tube de force par rapport à la face du réacteur, tel que décrit précédemment.

Du dioxyde de carbone circule librement dans l'espace annulaire, grâce aux conduites rattachées aux soufflets. Ce gaz sert d'isolation entre le modérateur et les tubes de force. Le circuit du gaz annulaire permet le passage du gaz isolant, ce qui permet de contrôler les conditions entre les tubes. La détection de l'humidité dans le gaz peut permettre d'éviter une fuite du tube.

Le circuit du gaz annulaire a changé depuis sa première conception. À un certain moment, les espaces annulaires entre les tubes de calandre et les tubes de force étaient à l'air libre. Cela permettait d'isoler le modérateur du tube de force, mais comportait un certain nombre d'inconvénients. L'argon présent dans l'air devient radioactif, ce qui crée un danger d'irradiation. L'humidité et l'oxygène en excès dans l'air corrodent les tubes en alliage de zirconium.

11.4 Notions principales

- Le combustible CANDU est composé de dioxyde d'uranium utilisant l'uranium naturel. Les machines de chargement du combustible commandées à distance insèrent et enlèvent les

grappes de combustible aux raccords d'extrémité de chaque tube de force.

- Les machines de chargement du combustible se raccordent de manière étanche à l'extrémité du réacteur. Lorsque la machine de chargement du combustible n'est pas rattachée au réacteur, le canal de combustible est scellé par un bouchon de fermeture inséré dans le raccord d'extrémité.
- Le caloporteur (eau lourde) circule dans les tubes de force, au-dessus du combustible. Il entre et sort par les conduites d'alimentation fixées au raccord d'extrémité.
- Le chapelet de grappes dans le tube de force est maintenu en place par un loquet de combustible au raccord d'extrémité.
- Le modérateur (eau lourde) entoure les tubes de force renfermant le combustible. Le gaz annulaire d'isolement (dioxyde de carbone) sépare le tube de force chaud du modérateur froid.
- Le circuit du gaz annulaire permet de contrôler l'état des tubes et permet également de détecter les fuites des tubes.
- La calandre renferme le modérateur. Il s'agit d'un grand cylindre horizontal, fermé à l'extrémité plane par les plaques tubulaires côté calandre. Chaque plaque tubulaire possède une centaine d'ouvertures, situées à environ 30 centimètres les unes des autres dans un réseau carré. Les tubes de calandre permettent de sceller les ouvertures aux plaques tubulaires. Ils s'étendent d'une extrémité à l'autre, constituant des canaux dans la cuve.
- La calandre n'est pas une cuve sous pression. Elle est protégée contre la surpression par des disques de rupture de calandre.
- Les tubes de calandre en alliage de zirconium et les tubes de force permettent de réduire l'absorption des neutrons. Des joints laminés mécaniques raccordent les tubes en alliage de zirconium aux composants de réacteur en acier inoxydable :
 - a) les tubes de calandre sont raccordés à la plaque tubulaire côté calandre.
 - b) les tubes de force sont fixés aux raccords d'extrémité.

11.5 Avantages et inconvénients

Le combustible au dioxyde d'uranium naturel nécessite un modérateur à l'eau lourde. Les réacteurs qui utilisent l'eau lourde comme modérateur sont efficaces mais de grande taille. La conception des tubes de force a été élaborée de manière à éviter d'avoir à construire une cuve sous pression de grande taille. Cette conception possède des avantages dans les trois domaines suivants :

- a) Faible coût du chargement de combustible (discuté à la section précédente);
- b) Chargement de combustible en marche;
- c) Souplesse de la surveillance et de la commande du réacteur.

11.5.1 Chargement de combustible en marche

La capacité d'insérer et de retirer le combustible du réacteur en marche comporte plusieurs avantages qui n'existent pas avec les réacteurs alimentés par lots.

Les chiffres relatifs à la production d'électricité peuvent être maintenus à un niveau élevé parce qu'il n'y a pas de mise à l'arrêt de longue durée pour le rechargement de combustible. Ainsi, plus que tout autre facteur, cela permet de maintenir un taux de production élevé pour les nouveaux réacteurs CANDU, comparativement à tous les autres types.

Le combustible défectueux (combustible duquel des produits de fission peuvent s'échapper) peut être enlevé dès que l'on constate sa défaillance. Cela permet de réduire au minimum la dose de rayonnement au personnel de centrale.

La gestion détaillée du combustible est possible. Le chargement de combustible peut donner forme à la distribution de puissance dans l'ensemble du cœur. La combustion peut être optimisée.

La charge de combustible est répartie dans toute l'année plutôt que d'être l'objet d'un échéancier d'entretien lors des mises à l'arrêt.

Les réacteurs utilisant de l'uranium enrichi rejettent le combustible ayant des concentrations d'uranium 235 supérieures à celles du combustible CANDU neuf.

11.5.2 Souplesse de la surveillance et de la commande de réacteur

La calandre renferme divers instruments de surveillance et dispositifs de commande. La conception et le fonctionnement de ces dispositifs

est plus simple parce qu'ils ne fonctionnent pas dans un environnement chaud à haute pression. Par exemple, les barres qui absorbent des neutrons et qui sont utilisées lors de la mise à l'arrêt d'urgence n'ont pas à être insérées dans un cœur à haute pression.

Des canaux individuels peuvent être surveillés pour déterminer la température et les niveaux de rayonnement.

Il existe également certains inconvénients des réacteurs à eau lourde sous pression :

- a) L'eau lourde coûte cher;
- b) Le cœur est de grande taille et complexe;
- c) L'eau lourde absorbe peu de neutrons, mais lorsque c'est le cas, elle produit du tritium radioactif. Le tritium présente des dangers d'irradiation importants, qui contribuent souvent à plus de la moitié de la dose de rayonnement dans une centrale CANDU.

11.6 Notions principales

- Les réacteurs CANDU utilisent le combustible efficacement et ce combustible est relativement peu coûteux.
- Les chiffres de production pendant toute la durée de vie des réacteurs CANDU sont habituellement plus élevés que ceux de tout autre type de réacteur. Cela s'explique principalement par le fait que le chargement de combustible en marche permet d'exploiter en continu sans avoir besoin de mettre le réacteur à l'arrêt.
- La charge de combustible est plus facile à gérer lorsqu'elle est répartie sur toute l'année; cela constitue un autre avantage du chargement de combustible en marche.
- Une gestion détaillée du combustible est possible grâce au chargement de combustible en marche. Le combustible défectueux peut être localisé et retiré du réacteur. La combustion peut être optimisée. La distribution de puissance dans le réacteur peut être ajustée.
- Un modérateur à faible pression, circulant dans des tubes de force individuels, permet de surveiller et de contrôler avec souplesse le réacteur. Cela s'explique par le fait que les canaux individuels peuvent être surveillés et que les instruments et

dispositifs de contrôle dans la calandre n'ont pas à fonctionner dans un milieu chaud à haute pression.

11.7 Blindage

Le rayonnement a une incidence sur les travaux réalisés près du réacteur. Certaines pièces d'équipement sont accessibles lorsque le réacteur fonctionne. Cependant, d'autres équipements ne peuvent être approchés que lorsque le réacteur est à l'arrêt. L'équipement qui ne peut être approché est télécommandé.

Le blindage contre le rayonnement protège le personnel de centrale contre les rayonnements neutroniques et gamma intenses. Le blindage épais contre le rayonnement qui assure la protection des employés qui travaillent près du réacteur en marche porte le nom de blindage biologique. Le blindage qui assure la protection adéquate d'un réacteur mis à l'arrêt porte le nom de blindage d'arrêt. Le blindage qui absorbe de la chaleur porte le nom de blindage thermique.

11.7.1 Boucliers d'extrémité

Les travaux ne sont pas autorisés aux faces (extrémités planes) d'un réacteur en marche. Les boucliers d'extrémité assurent un blindage à l'arrêt seulement. L'épaisseur du blindage de la face du réacteur est d'environ 1 mètre. L'espace est limité en raison du fait qu'il faut recharger le réacteur. Les figures 11.1 et 11.5 illustrent le bouclier d'extrémité.

Les parois intérieures et extérieures du bouclier d'extrémité sont respectivement la plaque tubulaire côté calandre et la plaque tubulaire côté machine de chargement du combustible. Les tubes de calandre en alliage de zirconium prennent fin à la plaque tubulaire côté calandre. Les canaux sur l'ensemble du bouclier d'extrémité sont contenus dans des tubes de réseau en acier. Les tubes de réseau font partie du bouclier d'extrémité, comme les tubes de calandre font partie de la calandre.

Les boucliers d'extrémité, en plus d'assurer un blindage en cas de mise à l'arrêt, appuient le rôle du palier lisse. Le palier lisse repose sur un tube de réseau et, à son tour, soutient les raccords d'extrémité. On se rappellera que les raccords d'extrémité soutiennent les tubes de force qui maintiennent le combustible en place. La petite zone de contact du palier lisse limite le transfert thermique provenant du canal de combustible chaud vers le bouclier d'extrémité.

11.7.2 Face du réacteur

Des billes d'acier remplissent les boucliers d'extrémité. Les figures 11.1 et 11.5 illustrent les billes entre les plaques tubulaires. De l'eau ordinaire refroidit ces billes. (Le bouclier de Pickering-A possède des dalles en acier refroidies à l'eau plutôt que des billes). Le refroidissement permet d'éliminer la chaleur déposée par les neutrons et les rayons gamma. La petite zone de contact transfère également une certaine quantité de chaleur provenant des canaux de combustible chaud vers les boucliers d'extrémité.

Des panneaux amovibles d'isolation thermique sont placés sur les boucliers d'extrémité. Les raccords d'extrémité se fixent à l'isolation pour donner accès aux machines de chargement du combustible.

Les boucliers d'extrémité ne seraient pas utiles si le rayonnement pouvait s'écouler en provenance des extrémités des canaux de combustible. Le D₂O dans le raccord d'extrémité n'assure pas un blindage suffisant. À l'intérieur d'un canal de combustible, entre le bouchon de fermeture et le combustible se trouve un bouchon écran en acier inoxydable qui complète le blindage contre le rayonnement en fermant les trous dans le bouclier d'extrémité. La longueur du bouchon écran correspond à peu près à l'épaisseur du bouclier d'extrémité.

Le bouchon écran a également une incidence sur le débit caloporteur. À l'intérieur du raccord d'extrémité se trouve un tube de revêtement. Le débit provenant du raccord de la conduite d'alimentation vers le tube de force se trouve autour de l'extérieur du tube de revêtement. Des trous dans le tube de revêtement permettent au caloporteur de s'écouler dans le canal de combustible. La forme du bouchon écran oriente le débit harmonieusement dans le canal.

11.7.3 Blindage radial

Les boucliers d'extrémité sont semblables dans tous les réacteurs CANDU. Cependant, le blindage radial diffère d'un réacteur à l'autre.

La figure 11.6 illustre la disposition du blindage à Bruce et à Darlington. Un bouclier caisson en acier rempli d'eau ordinaire entoure la calandre. Ce bouclier caisson, comme les boucliers d'extrémité, assure un blindage en cas de mise à l'arrêt contre le rayonnement nucléaire. Il agit également à titre de blindage thermique en absorbant la chaleur provenant du rayonnement thermique.

La voûte du réacteur, enceinte à l'intérieur de laquelle se trouve le réacteur, possède des parois épaisses en béton. Cette enceinte, avec le

bouclier caisson et le bouclier d'extrémité, assure un blindage biologique complet sur tous les côtés du réacteur.

Pickering-A a été construit sans réservoir rempli d'eau. Les parois épaisses de la voûte en béton assurent un blindage biologique et thermique.

Les conduites de refroidissement, contenues dans les parois, protègent le béton contre la surchauffe.

Le compartiment situé sur le dessus du réservoir assure un blindage biologique à cet endroit.

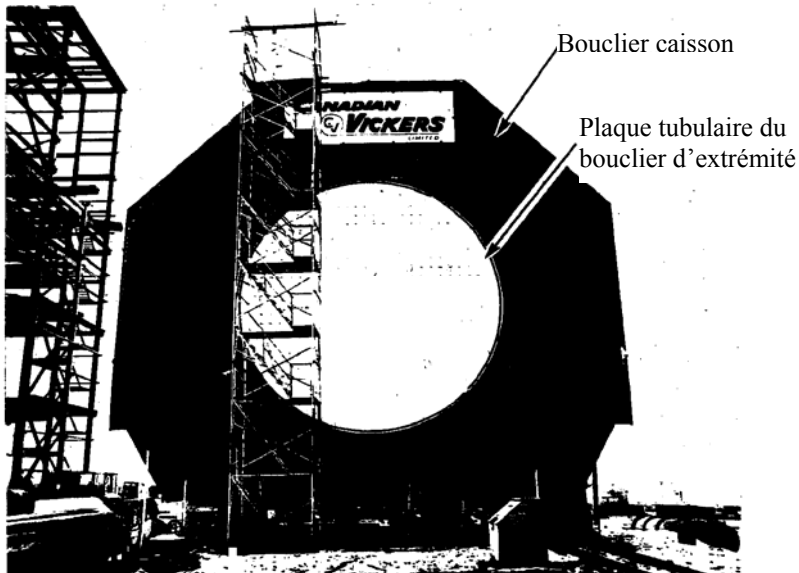


Figure 11.6
Calandre avec bouclier caisson (Bruce A)

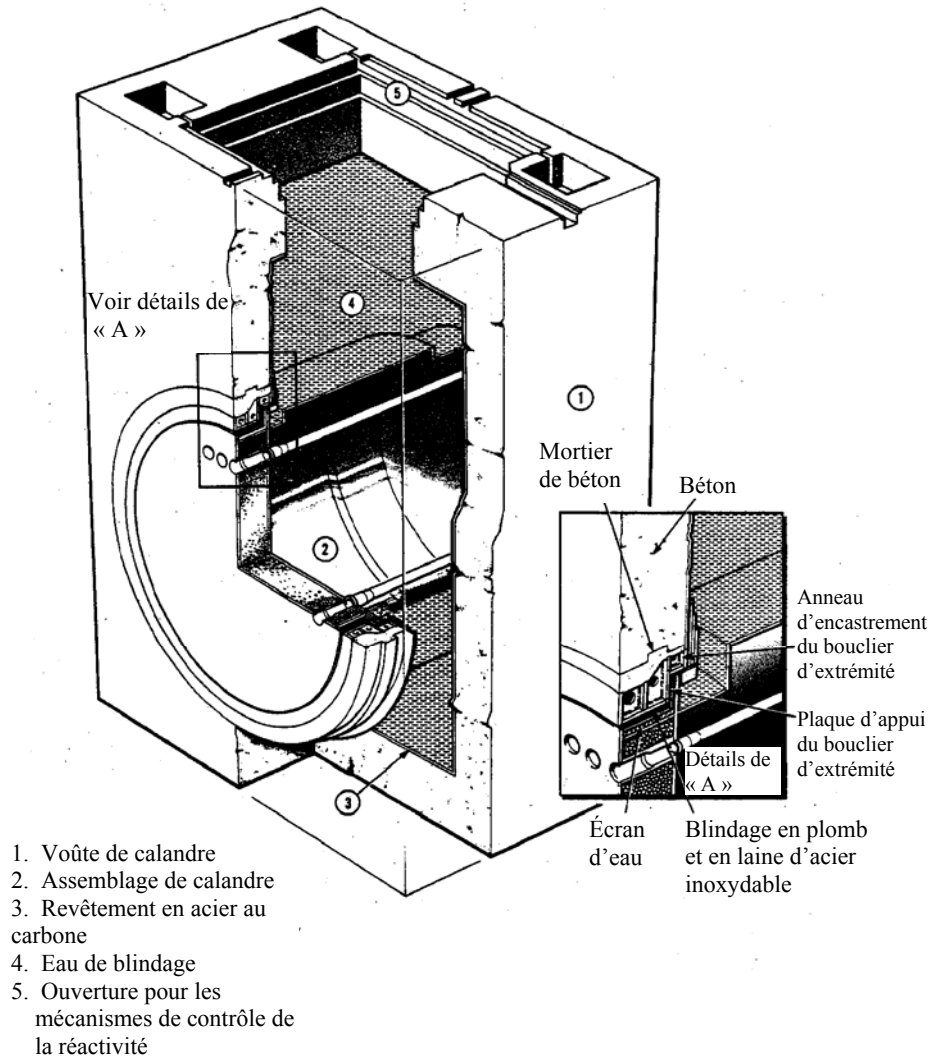


Figure 11.7
Voûte de calandre de Pickering-B

La figure 11.7 illustre l'aménagement de Pickering-B et la conception CANDU 600. La voûte de calandre (parfois appelée voûte du réacteur) supporte la calandre. Cette voûte est un réservoir en béton revêtu d'acier et rempli d'eau ordinaire. Elle assure un blindage thermique et biologique radial.

Dans cette conception, des voûtes pour les machines de chargement du combustible situées à chaque extrémité du réacteur logent les machines de chargement du combustible. Le blindage biologique sur la face du réacteur est un blindage combiné du bouclier d'extrémité et des parois de la voûte à machine de chargement du combustible.

- | | |
|---|--|
| 1. Collecteur de sortie du réacteur | 6. Face du bouclier d'extrémité de la calandre |
| 2. Collecteur d'entrée du réacteur | 7. Espaceurs des tubes |
| 3. Collecteur de sortie du réacteur | 8. Paliers de support |
| 4. Collecteur d'entrée du réacteur | 9. Passage |
| 5. Appuis supérieurs des tubes des conduites d'alimentation | 10. Raccords d'extrémité |

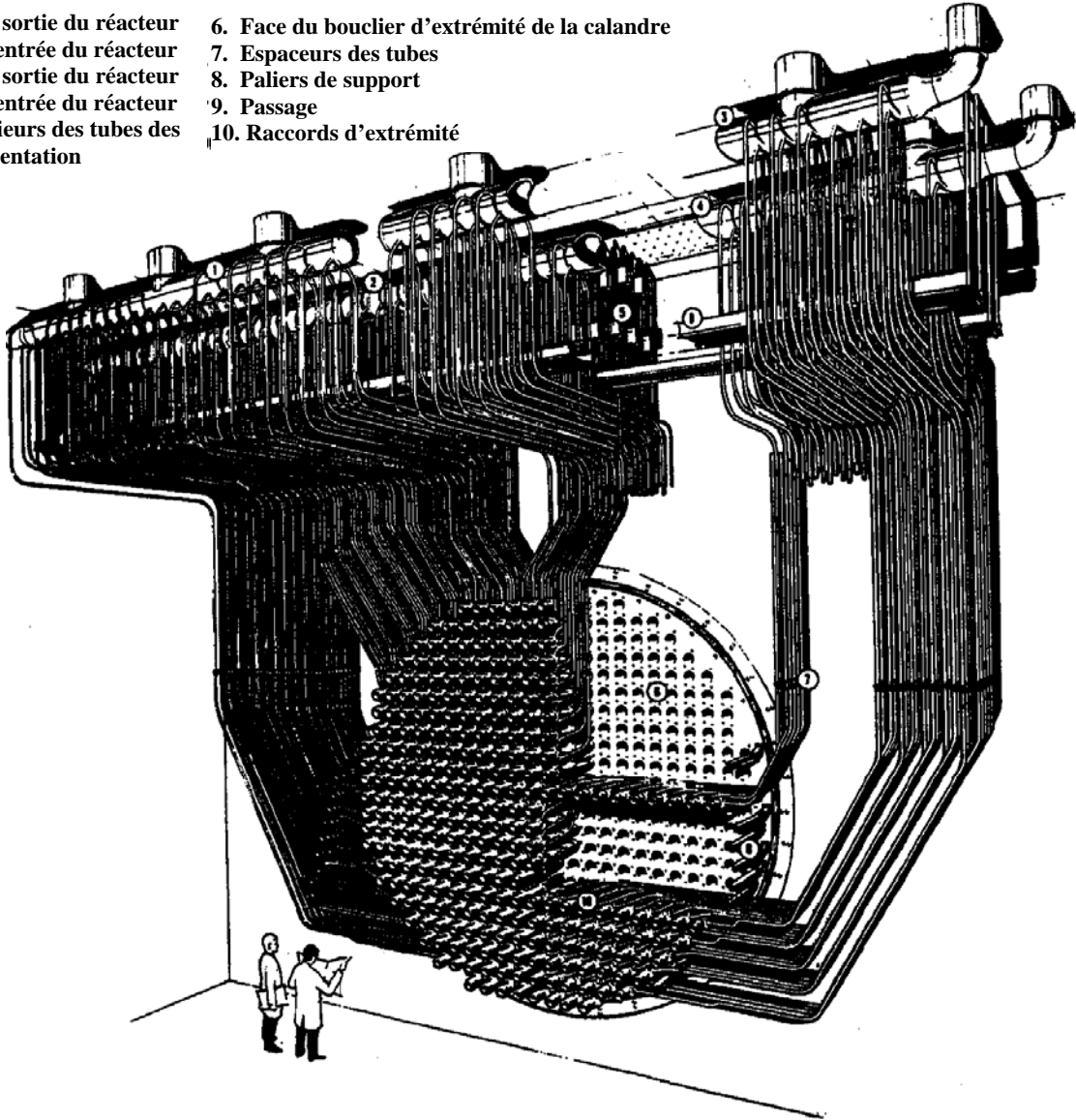


Figure 11.8
Conduites d'alimentation et collecteurs

11.8 Notions principales

- Tous les réacteurs CANDU possèdent des boucliers d'extrémité. Ces boucliers, avec les bouchons écrans dans les canaux de combustible, permettent de travailler sur la face du réacteur mis à l'arrêt.
- Certains réacteurs CANDU possèdent des cuves de blindage. Celles-ci permettent d'effectuer des travaux à l'intérieur de la voûte du réacteur mis à l'arrêt.
- Certains réacteurs CANDU possèdent une voûte de calandre remplie d'eau. Celle-ci permet d'effectuer des travaux autour du réacteur (mais pas sur la face) qu'il soit ou non mis à l'arrêt.
- Les boucliers d'extrémité, la cuve de blindage et la voûte de calandre assurent un blindage thermique et un blindage contre le rayonnement.
- Tous les réacteurs CANDU assurent un blindage biologique grâce à d'épaisses parois en béton. Dans chaque filière de réacteur, ce blindage est disposé différemment. Les travaux habituels sont effectués à l'extérieur du blindage biologique.

11.9 Exercices

1. Décrire les avantages des réacteurs à tubes de force, comparativement au réacteur à cuve sous pression.
2. Quel est le rôle des boucliers d'extrémité?
3. Expliquer le rôle du circuit du gaz annulaire.
4. Établir la distinction entre le bouchon écran et le bouchon de fermeture.
5. Quel est le rôle :
 - a) des raccords d'extrémité?
 - b) des disques de rupture de calandre?
 - c) des machines de chargement du combustible?
 - d) des loquets de combustible?
6. Décrire la forme, la taille et la structure de la calandre.
7. Quel est le combustible utilisé dans le cœur CANDU et comment est-il refroidi?

Exercice facultatif

8. Utiliser des crayons de couleur pour identifier les principaux composants de la figure 11.1. Identifier le plus grand nombre de composants possible. Préciser l'emplacement des composants qui ne sont pas illustrés. (Essayer de localiser les composants sans regarder les étiquettes sous la figure, mais les vérifier avant de les mettre en couleur.)

