

## 14 Circuit caloporteur (CC)

### 14.1 Introduction

Les tubes de force qui contiennent du combustible traversent la calandre. De grandes pompes déplacent le caloporteur parmi ces canaux de combustible, évacuant la chaleur du combustible. Le caloporteur transporte la chaleur du coeur vers les générateurs de vapeur, qui la transforment en vapeur. Le caloporteur est le principal maillon de la chaîne d'évacuation de chaleur. Ce chapitre décrit le circuit caloporteur, y compris les canaux de combustible, les pompes et les générateurs de vapeur. Dans le chapitre suivant, on décrira plusieurs systèmes auxiliaires caloporteurs.

L'eau lourde (caloporteur) évacue la chaleur du combustible et la transfère aux générateurs de vapeur. Pendant l'exploitation normale, il s'agit d'une tâche unique, mais en réalité elle comporte deux fonctions distinctes :

- a) Le caloporteur (eau lourde) transfère la chaleur provenant du combustible vers les générateurs de vapeur. Il s'agit d'une étape essentielle menant à la production de vapeur et à la production d'énergie électrique.
- b) Le caloporteur (eau lourde) évacue la chaleur provenant du combustible. Cette tâche est extrêmement importante, que le réacteur produise ou non de la vapeur. Le fait de maintenir le combustible humide le protège. Sans refroidissement adéquat, le combustible subirait une défaillance, rejetant des matières radioactives dangereuses.

Les dangers d'irradiation dans le circuit caloporteur comprennent le tritium, l'azote 16 et l'oxygène 19 mentionnés précédemment pour ce qui concerne le modérateur.

Lorsque le réacteur est en marche, des neutrons génèrent de l'azote 16 et de l'oxygène 19. Leur rayonnement pénétrant empêche l'accès à l'équipement renfermant le fluide caloporteur lorsque le réacteur est en marche. Ils disparaissent rapidement après la mise à l'arrêt.

Le danger d'irradiation associé au tritium est toujours présent dans le caloporteur. Les rejets de tritium provenant du caloporteur sont plus courants que le tritium provenant du modérateur parce que le caloporteur est sous pression. La pression élevée fait en sorte que les petites fuites sont plus graves. Un circuit ouvert pour l'entretien présente également des dangers d'irradiation au tritium.

Le combustible défectueux rejette une grande variété de matières radioactives dangereuses dans le caloporteur. Certaines de ces matières, par exemple l'iode 131 sont des vapeurs qui produisent un danger d'irradiation autour de l'équipement ouvert. D'autres matières, par exemple le cobalt 60, se déposent sur les conduites du circuit. Ces matières émettent un rayonnement gamma pénétrant qui persiste lorsque le réacteur n'est pas en marche.

Le circuit caloporteur comporte deux dangers classiques que l'on ne retrouve pas dans le circuit du modérateur. Ce sont la pression élevée et la température élevée.

#### **14.2 Notions principales**

- Le caloporteur est le principal maillon de la chaîne d'évacuation de la chaleur.
- Le caloporteur transfère la chaleur vers les générateurs de vapeur afin de produire de la vapeur.
- Le caloporteur protège le combustible en le refroidissant. Cela permet d'éviter les défaillances de combustible massives et les rejets de matières radioactives.
- L'azote 16, l'oxygène 19 et le tritium comportent des dangers d'irradiation à la fois dans le caloporteur et dans le modérateur. Le caloporteur peut également contenir des produits de fission provenant du combustible défectueux.
- L'azote 16 et l'oxygène 19 comportent des dangers qui empêchent l'accès à l'équipement du CC lorsque le réacteur est en marche. Les dangers associés au tritium et aux produits de fission persistent après la mise à l'arrêt du réacteur.
- La température et la pression élevées sont des dangers classiques associés à l'équipement du CC.

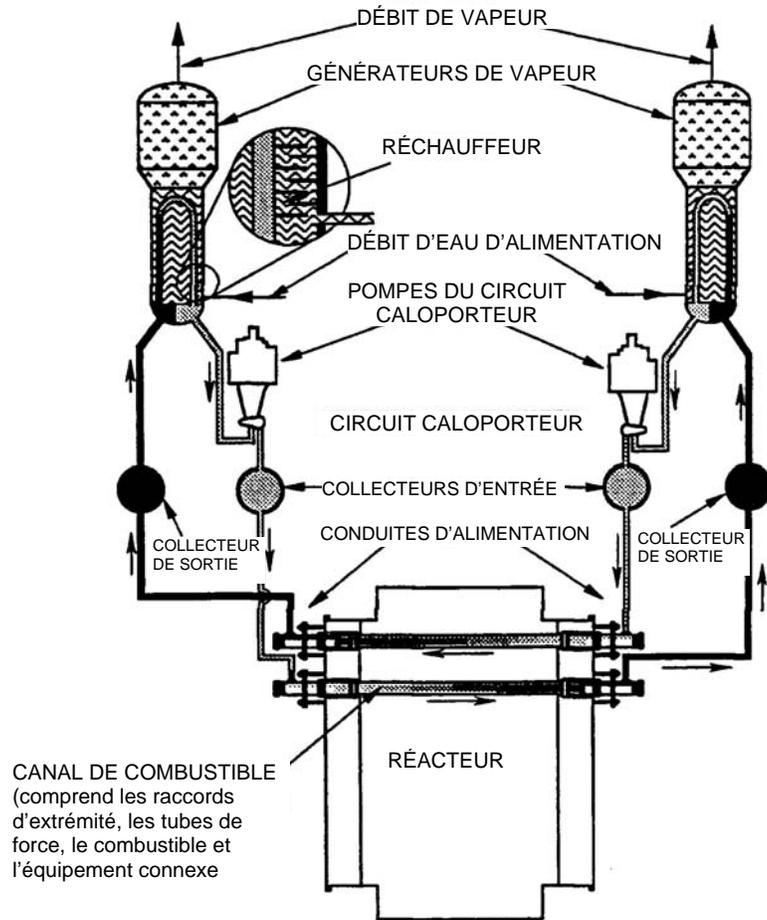
#### **14.3 Circuit caloporteur principal**

La figure 14.1 illustre un circuit caloporteur de type courant. Les principales pompes de circulation tirent le D<sub>2</sub>O refroidi des générateurs de vapeur et le pompent dans un collecteur d'entrée du réacteur. Le collecteur répartit le caloporteur dans les conduites d'alimentation vers les canaux de combustible individuels.

Les dépôts sont plus importants sur les surfaces plus froides, comme les sorties des générateurs de vapeur et les niveaux de rayonnement mesurés à ces endroits sont plus élevés.

Le caloporteur chaud quitte chaque canal de combustible par une conduite d'alimentation de sortie. Le collecteur de sortie recueille le caloporteur chaud provenant de ces conduites d'alimentation et le dirige vers les générateurs de vapeur. Le caloporteur chaud évacue sa chaleur aux parois des tubes des générateurs de vapeur. La figure 14.2, qui représente un générateur de vapeur de type courant, illustre les tubes des générateurs de vapeur.

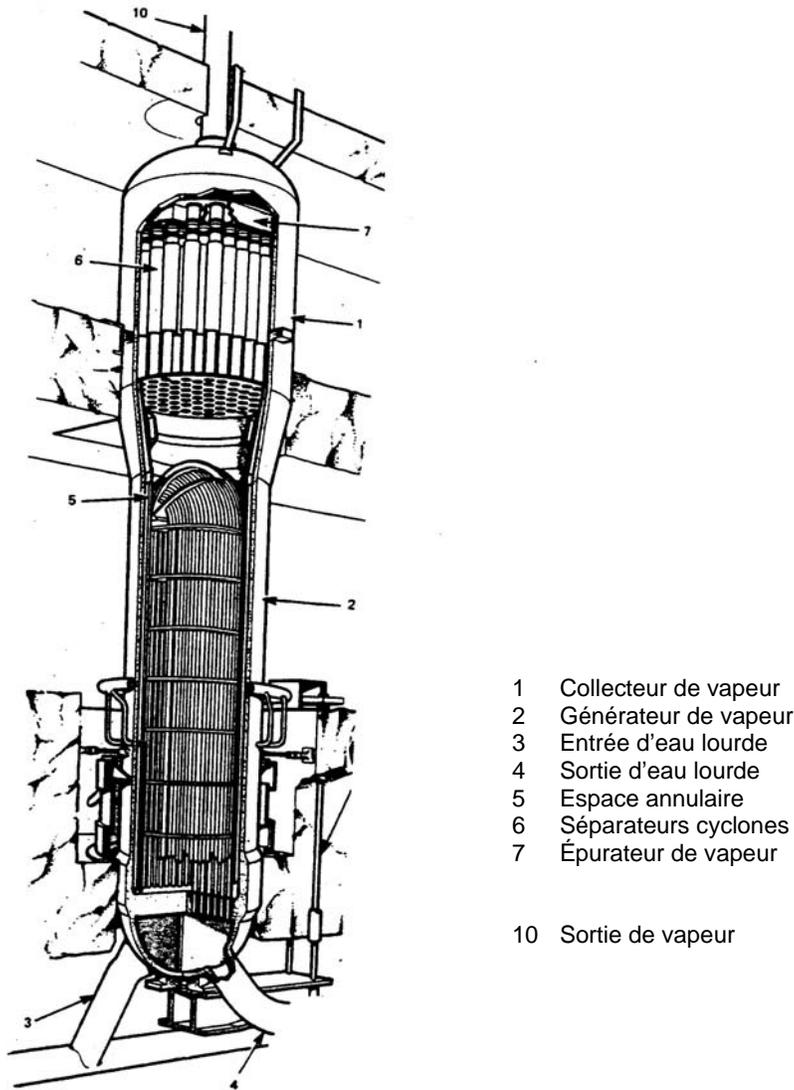
Cela complète la moitié du circuit illustré à la figure 14.2. Le caloporteur poursuit sa course de la sortie des générateurs de vapeur vers une seconde pompe. Un autre collecteur d'entrée, d'autres conduites d'alimentation et canaux de combustible ramènent le caloporteur vers le premier générateur de vapeur. Le modèle complet ressemble à un huit.



**Figure 14.1**  
**Circuit caloporteur**

Le circuit en huit comporte des entrées et des sorties à chaque extrémité du cœur. Le caloporteur s'écoule dans la direction opposée dans les canaux adjacents. Le débit caloporteur bidirectionnel maintient les deux faces du réacteur à la même température. Cela diminue la contrainte thermique sur les boucliers d'extrémité, la calandre et les tubes de calandre. Si la face d'un réacteur possédait seulement des sorties, elle fonctionnerait à une température supérieure d'environ 40 °C à celle de la face opposée, qui elle ne posséderait que des entrées.

Le générateur de vapeur produit de la vapeur à environ 250 °C pour la turbine. Le caloporteur pénètre dans le générateur de vapeur qui est légèrement plus chaud que lui, soit environ 300 °C. Sa température diminue d'environ 40 °C lorsqu'il passe dans le générateur de vapeur. Sa température s'élève à nouveau lorsqu'il traverse le cœur du réacteur.



**Figure 14.2**  
**Générateur de vapeur de type courant**

L'emplacement des pompes principales est le point le plus froid du circuit à la sortie du générateur de vapeur. L'emplacement de la pompe donne la plus grande marge possible contre la cavitation.

En bref, la cavitation est causée par une ébullition localisée au point de pression le plus faible (débit le plus élevé) dans le courant de fluide. Ce phénomène est immédiatement suivi d'une condensation rapide des bulles de vapeur sur le côté haute pression du rotor de la pompe. Une cavitation de pompe CC excessive réduit le débit de caloporteur et peut causer des dommages à cause des vibrations de la pompe. Si les

conditions du fluide se détériorent, la pompe pourrait se remplir de vapeur, arrêtant ainsi le débit de refroidissement vers le combustible.

Afin d'éviter que le  $D_2O$  à  $310\text{ }^\circ\text{C}$  n'entre en ébullition, la pression doit être d'environ  $10\text{ MPa}$  (c.-à-d. environ  $100$  atmosphères). Les pompes du circuit principal ne produisent pas cette pression; elles assurent le débit de caloporteur. Ces pompes génèrent suffisamment de pression pour compenser le frottement fluide dans les canaux de combustible et les tubes des générateurs de vapeur. Dans le prochain chapitre, on explique comment la pression élevée est produite et contrôlée.

#### **14.4 Notions principales**

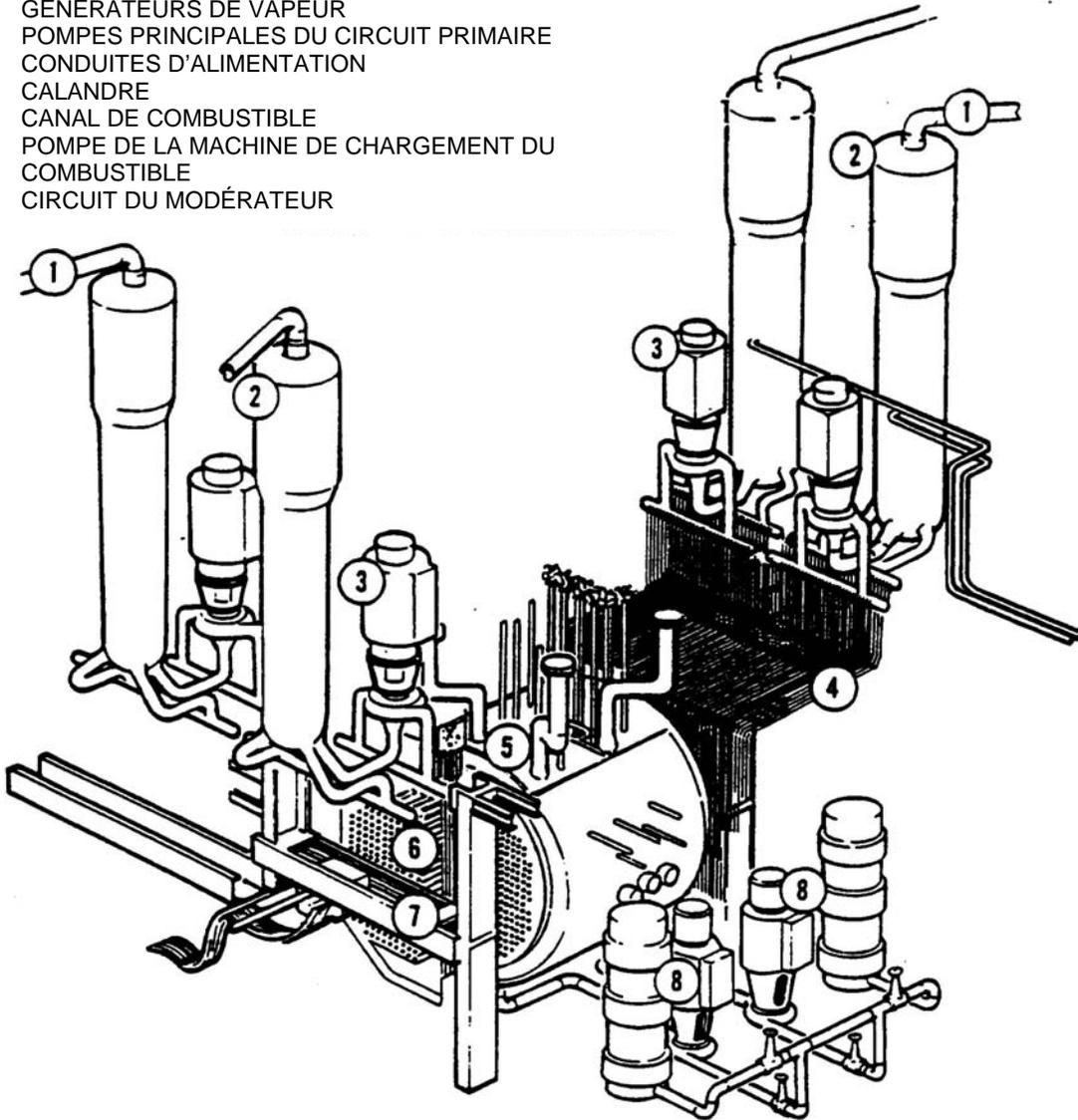
- Les pompes aux sorties des générateurs de vapeur déplacent le caloporteur au-dessus du combustible dans les tubes de force.
- Le circuit a la forme d'un huit symétrique avec les générateurs de vapeur, les pompes et les collecteurs à chaque extrémité du réacteur.
- Des conduites d'alimentation recueillent le caloporteur chaud provenant de chaque canal et l'amène à un collecteur de sortie. Le collecteur recueille le caloporteur chaud et l'amène vers un générateur de vapeur.
- Les collecteurs d'entrée recueillent le caloporteur amené par les pompes et le répartissent vers des canaux de combustible individuels par les conduites d'alimentation.
- L'emplacement de la pompe assure une marge de sûreté élevée contre la cavitation de pompe.
- L'écoulement bidirectionnel maintient des températures uniformes dans l'ensemble du cœur, réduisant ainsi la contrainte thermique sur les composants.

#### **14.5 Autres caractéristiques du circuit CC**

Avant de poursuivre cette section, localisez les générateurs de vapeur, les pompes principales et les conduites d'alimentation à la figure 14.3. La figure illustre les conduites d'alimentation à une extrémité du réacteur seulement. Dans le diagramme, les pompes du CC ont une décharge double et les générateurs de vapeur possèdent deux entrées. Il sera ainsi plus facile pour vous de distinguer les collecteurs d'entrée des collecteurs de sortie sur le diagramme.

Le circuit caloporteur CANDU n'est pas identique dans toutes les centrales. La description suivante est caractéristique des nouveaux CANDU.

- 1 CONDUITES D'ALIMENTATION EN VAPEUR PRINCIPALES
- 2 GÉNÉRATEURS DE VAPEUR
- 3 POMPES PRINCIPALES DU CIRCUIT PRIMAIRE
- 4 CONDUITES D'ALIMENTATION
- 5 CALANDRE
- 6 CANAL DE COMBUSTIBLE
- 7 POMPE DE LA MACHINE DE CHARGEMENT DU COMBUSTIBLE
- 8 CIRCUIT DU MODÉRATEUR



**Figure 14.3**

**Coeur du réacteur, collecteurs, pompes et générateurs de vapeur**

La figure 14.3 est une représentation d'un circuit caloporteur comportant deux boucles en huit. (Certaines centrales ne possèdent qu'une boucle simple). Chaque boucle fournit le caloporteur à la

moitié du cœur. On dénombre deux grandes pompes et deux grands générateurs de vapeur dans chaque boucle. Si une pompe de boucle subit une défaillance, l'exploitation peut se poursuivre à puissance réduite à l'aide d'une seule pompe.

Les grands générateurs de vapeur et les pompes ne sont pas toujours disponibles. Les anciennes centrales utilisent un plus grand nombre de générateurs de vapeur et de pompes, de taille plus petite. Cela comprend parfois les pompes ou les générateurs de vapeur de secours. Les modèles plus récents ne comprennent pas l'équipement de secours dans le CC principal. Cela permet de réaliser des économies.

Le refroidissement du combustible doit se poursuivre continuellement, même lorsque le réacteur est à l'arrêt. Sans refroidissement, la chaleur générée par la désintégration des produits de fission dans le combustible peut faire subir une défaillance au combustible, rejetant ensuite des produits de fission. Un circuit de refroidissement à l'arrêt refroidit le combustible lorsque les pompes principales ou les générateurs de vapeur sont soit non disponibles ou non requis. La taille des pompes de remplacement et les échangeurs de chaleur de rechange est adéquate pour évacuer la chaleur de désintégration.

L'aménagement diffère d'une centrale à une autre.

Une caractéristique commune à tous les CANDU est la hauteur des collecteurs et des générateurs de vapeur au-dessus du cœur du réacteur. Cela permet de refroidir le combustible par convection naturelle si les pompes principales et le refroidissement d'urgence ne sont pas disponibles. Par exemple, en cas de panne d'électricité, la convection naturelle serait la seule manière de refroidir le combustible.

La convection naturelle, appelée également thermosiphonage, ne produit pas de débit élevé. Elle ne permet pas d'évacuer la chaleur à pleine puissance, mais convient pour évacuer la chaleur de désintégration.

La convection naturelle se produit lorsque le D<sub>2</sub>O froid dans les tubes des générateurs de vapeur tombe par gravité dans le cœur. Il déplace le D<sub>2</sub>O chaud et moins dense qui entoure le combustible. Les générateurs de vapeur refroidissent le fluide en provenance des canaux de combustible, et celui-ci devient plus dense. Le liquide qui tombe dans le cœur se dilate lors du chauffage et devient moins dense. Le thermosiphonage continue tant que les générateurs de vapeur évacuent la chaleur.

La hauteur des collecteurs au-dessus du réacteur et la position des générateurs de vapeur au-dessus des collecteurs possèdent un autre avantage. Le personnel d'exploitation peut drainer le caloporteur au niveau des collecteurs, à condition qu'il soit froid et qu'il ne soit pas sous pression. Cela permet de drainer les générateurs de vapeur et les pompes avant l'entretien. Le circuit de refroidissement de la mise à l'arrêt refroidit le combustible lorsque le caloporteur n'atteint pas le niveau des pompes principales. (À Bruce, on appelle ce circuit le circuit de refroidissement d'entretien).

Il n'existe aucune vanne pour l'équipement isolant dans le circuit principal. Cela permet d'éliminer le coût des vannes, en réduisant les fuites d'eau lourde et réduit la dose de rayonnement reçue par le personnel de centrale. Les diminutions des fuites d'eau lourde permettent de réduire les fuites de tritium, et l'exposition du personnel qui procède à l'entretien des vannes est réduite.

Les premiers modèles, pour assurer la fiabilité, utilisaient des pompes et des générateurs de vapeur de secours. Des vannes d'isolement permettaient l'entretien de l'équipement.

#### **14.6 Notions principales**

- Un système de refroidissement d'urgence permet d'évacuer la chaleur de désintégration lorsque les autres méthodes de refroidissement du combustible ne sont pas disponibles. C'est particulièrement le cas lors de l'entretien des pompes ou des générateurs de vapeur.
- La position élevée des générateurs de vapeur donne lieu à une circulation par convection naturelle lorsque les pompes principales et que le refroidissement d'urgence ne sont pas disponibles. La convection naturelle (thermosiphonage) permet d'évacuer la chaleur de désintégration du combustible. Cette méthode est essentielle lorsque les autres méthodes de refroidissement du combustible ne fonctionnent plus.
- La hauteur des générateurs de vapeur et des pompes au-dessus du cœur du réacteur facilite leur entretien. Il n'est pas nécessaire de disposer de vannes d'isolement.

### 14.7 Exercices

1. Quelles sont les ressemblances et les différences entre les deux rôles du caloporteur?
2. Quels dangers sont présents dans le CC qui ne présentent pas de danger dans le circuit du modérateur?
3. Pourquoi les pompes du circuit caloporteur ont-elles leur fonction d'aspiration à la sortie du générateur de vapeur?
4. Pourquoi la disposition du circuit caloporteur comporte-t-elle des pompes et des générateurs de vapeur à chaque extrémité, avec un débit bidirectionnel dans le cœur?
5. Qu'est-ce que le thermosiphonage et quand est-ce nécessaire?
6. Quelle est la caractéristique du CC qui cause le phénomène du thermosiphonage?
7. Pourquoi les pompes et les échangeurs de chaleur du circuit de refroidissement d'urgence peuvent-elles être plus petites que les pompes principales et que les générateurs de vapeur?

