

## 13 Circuits auxiliaires du modérateur

### 13.1 Introduction

Le modérateur doit ralentir les neutrons et ne pas en absorber. Nous avons déjà vu comment les propriétés du modérateur permettent à celui-ci d'accomplir cette fonction. Ce chapitre décrit plusieurs systèmes qui appuient le fonctionnement du circuit du modérateur.

Dans la section précédente, on décrivait la chaleur causée par le ralentissement des neutrons rapides. Les changements de température provoquent une dilatation thermique et une contraction de l'eau lourde. La dilatation dans le circuit du modérateur rempli de liquide risque d'augmenter la pression dans la calandre, qui n'est pas une cuve sous pression. Un gaz de couverture, appelé gaz de couverture du modérateur, protège la structure de la calandre contre la haute pression. Dans ce chapitre, on décrit le circuit du gaz de couverture du modérateur.

Les neutrons rapides scindent les molécules d'eau qui les ralentissent. Les rayons gamma fragmentent également le  $D_2O$ . Les gaz  $D_2$  et  $O_2$  sont formés à partir de ces fragments. Le circuit du gaz couverture élimine ces gaz de la calandre, de sorte qu'ils ne peuvent pas s'accumuler et exploser. L'équipement du circuit du gaz de couverture regroupe les molécules de gaz, et les retourne à l'eau lourde par la suite.

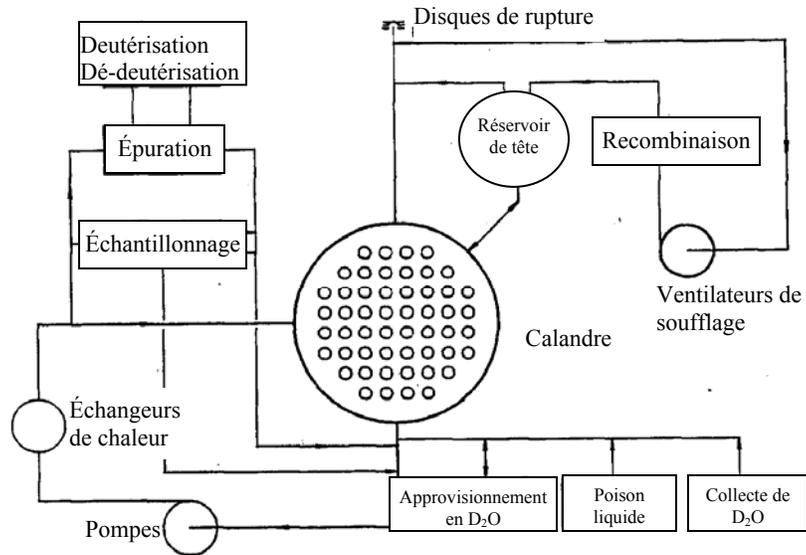
Le circuit du gaz de couverture maintient la pression à un niveau légèrement plus élevé que celle de l'atmosphère environnante. Cela permet d'éviter qu'il y ait des fuites d'air dans le circuit et que ce dernier soit contaminé. Le système de purification du modérateur élimine les contaminants chimiques et les produits de corrosion du modérateur.

L'air est composé à 78 % d'azote ( $N_2$ ), de 21 % d'oxygène ( $O_2$ ) et de 1 % d'argon (Ar) ainsi que de traces d'autres substances. Le  $O_2$  est corrosif. Le  $N_2$  rend le modérateur acide et l'argon devient radioactif.

Étant donné que le circuit est maintenu au-dessus de la pression atmosphérique, les fuites qui surviennent se font vers l'extérieur. Le circuit collecteur de  $D_2O$  recueille le  $D_2O$  qui s'échappe de l'équipement du modérateur et le retourne dans le circuit.

Nous savons qu'il est important que la teneur isotopique demeure élevée si l'on veut maintenir un faible taux d'absorption. La régulation du réacteur exige parfois des changements dans l'absorption des

neutrons. Le système d'injection de poison liquide ajoute des produits chimiques qui absorbent les neutrons et le système de purification du modérateur les enlève.



**Figure 13.1**  
**Circuit du modérateur et circuits auxiliaires**

La figure 13.1 illustre les liens entre les circuits auxiliaires et le circuit principal. À noter que la pression de la pompe du modérateur fournit un débit dans l'ensemble du circuit d'épuration.

La présence de trous dans les tubes des échangeurs de chaleur provoque des fuites de  $D_2O$  et de tritium dans l'eau de service. Il coûte moins cher d'identifier et de réparer les points de fuite que de baisser la teneur isotopique du modérateur en ajoutant de l'eau de service.

La figure 13.1 n'est pas un schéma réaliste. Les circuits diffèrent d'une centrale à l'autre. Par exemple, certaines centrales raccordent le circuit d'épuration en aval aux échangeurs de chaleur, en tirant parti du  $D_2O$  froid qu'il contient. D'autres centrales raccordent le circuit d'épuration à la décharge de pompe afin d'obtenir un meilleur débit, et comporte un échangeur de chaleur du circuit d'épuration distinct.

### 13.2 Notions principales

Dans le circuit du modérateur rempli d'eau lourde, sans gaz de couverture, la dilatation thermique risque d'augmenter la pression et d'endommager la calandre.

Le gaz de couverture maintenu à une pression supérieure à la pression atmosphérique permet à l'eau lourde et à l'hélium de s'échapper. Cependant, il empêche l'air de pénétrer et de contaminer le circuit.

Les neutrons rapides et les rayons gamma fragmentent les molécules d'eau. Cette réaction produit de l'hydrogène, du D<sub>2</sub> et de l'oxygène sous forme gazeuse qui risque de s'accumuler et d'exploser.

La commande du réacteur utilise des produits chimiques absorbeurs de neutron qui sont ajoutés et retirés du modérateur au besoin.

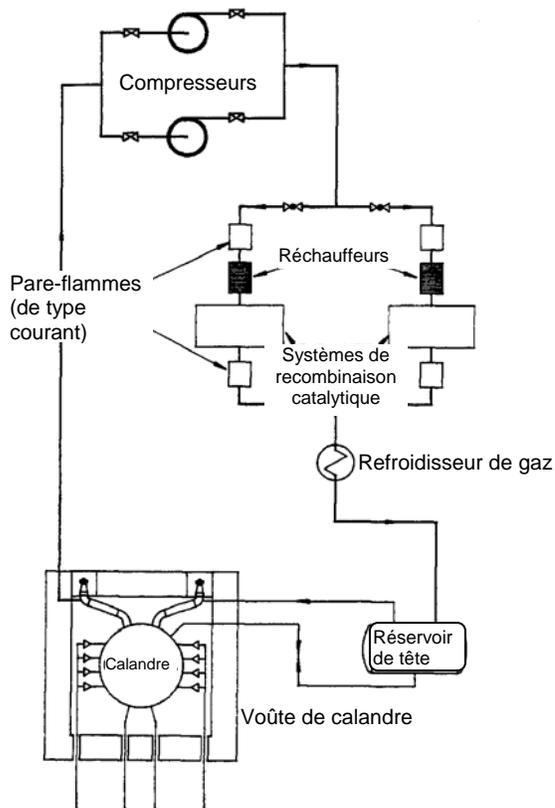
Les pompes principales du modérateur assurent un bon débit d'épuration.

### **13.3 Circuit du gaz de couverture du modérateur**

#### **13.3.1 Objectifs**

La figure 13.2 et le coin supérieur droit de la figure 13.1 illustrent le circuit du gaz de couverture. La figure 13.3 illustre l'aménagement d'un circuit doté d'un réservoir de drainage.

L'évacuation du modérateur hors du cœur du réacteur met fin à la réaction de fission en chaîne.



**Figure 13.2**  
**Circuit du gaz de couverture du modérateur pour un réacteur sans drainage du modérateur**

Le circuit du gaz de couverture du modérateur joue plusieurs rôles.

Le circuit du gaz de couverture contrôle la pression dans la calandre.

Le gaz de couverture agit comme un coussin au-dessus du modérateur. Il laisse place à la dilatation et à la contraction de l'eau lourde. Il absorbe également la pression transitoire élevée causée par le système d'arrêt d'urgence par injection de liquide.

Les disques de rupture protègent également la calandre contre la pression élevée. La figure 13.1 illustre ces disques.

Le gaz de couverture constitue une atmosphère non corrosive et non radioactive dans des parties du circuit qui ne sont pas remplies d'eau. Le gaz de couverture est constitué d'hélium.

Ce gaz est chimiquement inerte, et ses molécules ne sont pas dissociées par le bombardement du rayonnement; les neutrons ne peuvent pas le rendre radioactif.

L'hélium est, sous forme gazeuse, un bon conducteur de chaleur. Il refroidit les composants qui n'ont pas été refroidis par le modérateur. Le circuit du gaz de couverture élimine le D<sub>2</sub>O et le O<sub>2</sub> sous forme gazeuse de la calandre.

Les rayons gamma et les neutrons rapides fragmentent les molécules d'eau, processus appelé radiolyse.



Le mélange d'hydrogène et d'oxygène présente un danger d'explosion lorsque les gaz s'accumulent. L'oxygène entraîne la corrosion des composants du circuit.

### 13.3.2 Description

Les figures 13.2 et 13.3 illustrent plusieurs caractéristiques courantes. Nous allons les décrire d'abord, puis discuter des fonctions additionnelles du circuit du gaz de couverture du modérateur pour les réacteurs qui possèdent un dispositif de drainage du modérateur.

Les compresseurs d'hélium maintiennent la pression dans la lame d'air au-dessus de la calandre à environ 110 kPa (a). La pression est suffisamment élevée pour maintenir l'air à l'extérieur au point de pression le plus faible du circuit, à l'aspiration du compresseur.

Les compresseurs font également circuler le gaz de couverture dans le système de recombinaison.

Il ne faut pas confondre le système d'injection de poison liquide, qui est un système d'arrêt automatique, avec le système d'injection manuel de poison liquide décrit dans ce chapitre.

### 13.3.3 Système de recombinaison

Le système de recombinaison combine les produits de la radiolyse, soit le deutérium et l'oxygène sous forme gazeuse, de manière à produire du D<sub>2</sub>O. Le recombineur utilise un catalyseur qui permet une réaction chimique contrôlée avec de faibles niveaux de réactifs. Cela maintient les concentrations de D<sub>2</sub> et de O<sub>2</sub> dans le circuit suffisamment basses pour qu'il n'y ait pas d'explosion.

La réaction chimique entre l'hydrogène et l'oxygène produit de la chaleur. Cela maintient le catalyseur chaud et sec. Un petit échangeur de chaleur refroidit le gaz chaud.

Lorsque le circuit n'est pas utilisé, le catalyseur devient humide et ne peut pas être utilisé. Lors du redémarrage, le réchauffeur à l'entrée du

recombineur réchauffe le gaz de couverture, ce qui assèche le catalyseur.

Les pare-flammes à l'entrée et à la sortie permettent d'éviter la propagation des flammes qui pourraient se former dans le système de recombinaison.

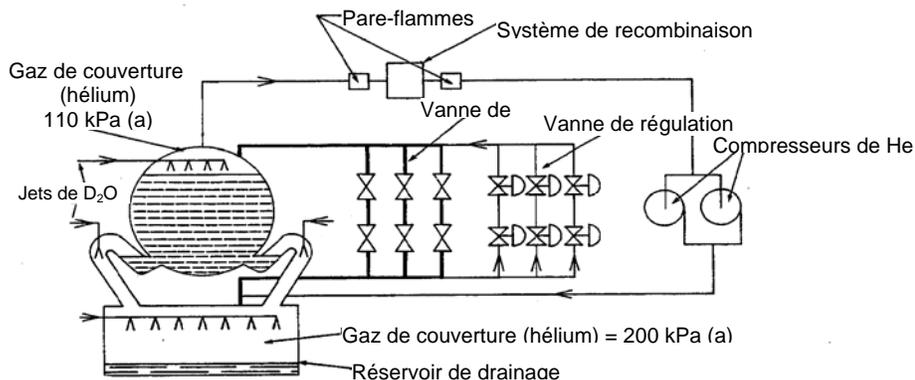
De petites conduites permettent de déplacer un échantillon de gaz de couverture en amont ou en aval du système de recombinaison. L'échantillon traverse un chromatographe en phase gazeuse.

Le chromatographe en phase gazeuse détermine les concentrations de  $O_2$ ,  $D_2$  et  $N_2$ . (La présence de  $N_2$  montre qu'il y a une fuite d'air dans le circuit). Si la concentration de deutérium est élevée, l'opérateur doit prendre des mesures particulières et mettre à l'arrêt le réacteur.

L'oxygène est corrosif et une certaine partie de ce gaz se combine avec d'autres éléments dans le système. Il est possible qu'il n'y ait pas assez d'oxygène dans le gaz de couverture pour qu'il y ait combinaison avec le  $D_2$ . Des conduites d'addition d'oxygène permettent d'ajouter de l'oxygène dans les systèmes de recombinaison, au besoin.

Une certaine quantité d'hélium s'échappe pendant le fonctionnement normal. Des cylindres à haute pression fournissent de l'hélium d'appoint au moyen d'une conduite d'addition d'hélium raccordée aux conduites dans le réservoir de tête.

Habituellement, la concentration des réactifs est faible et il n'y a pas de flamme. Cependant, certaines conditions d'exploitation pourraient augmenter la concentration de manière imprévue.



**Figure 13.3**  
**Circuit du gaz de couverture pour un réacteur avec réservoir de drainage**

À Pickering-A, le circuit du gaz de couverture fait partie du système d'arrêt d'urgence par drainage du modérateur.

Une défaillance du réacteur peut nécessiter une mise à l'arrêt rapide. Grâce au drainage du modérateur, le circuit du gaz de couverture draine le modérateur de la calandre, ce qui fait cesser de fonctionner le réacteur. Les sections à venir décrivent les systèmes d'arrêt d'urgence de protection du réacteur.

De grands anneaux de compression de liquide appliquent une pression d'environ 200 kPa(a) au réservoir de drainage. Les vannes de régulation ajustent la pression dans la lame de gaz au-dessus de la calandre. Une pression différentielle d'environ 100 kPa retient l'eau dans la calandre. Le modèle col-de-cygne des orifices de drainage permet à la pression du réservoir de drainage d'éviter que l'eau ne s'écoule dans le réservoir de drainage.

Pickering-A utilise 2 x 100 % compresseurs (un compresseur en marche et un compresseur de secours). Ces compresseurs puisent l'eau d'étanchéité dans le modérateur, car l'eau ordinaire diminuerait la teneur isotopique du D<sub>2</sub>O.

Six vannes de drainage déclenchent un arrêt du réacteur. Ces vannes, qui sont fermées durant l'exploitation normale, s'ouvrent rapidement en cas d'urgence. Cela permet d'égaliser la pression dans la calandre et dans le réservoir de drainage. Le modérateur s'écoule par les orifices de drainage jusque dans le réservoir de drainage, ce qui fait cesser le fonctionnement du réacteur.

À Pickering-A, le circuit du gaz de couverture aide à réguler la puissance du réacteur.

Le circuit du gaz de couverture à Pickering-A maintient et assure la régulation du niveau du modérateur dans la calandre. Le fait d'abaisser le niveau augmente la fuite de neutron en provenance du cœur, et cela réduit la puissance.

Six vannes de régulation contrôlent le niveau du modérateur en ajustant la pression dans le réservoir de drainage. La hauteur de l'eau lourde pouvant être supportée dépend de la pression dans le réservoir de drainage. Pour abaisser le niveau du modérateur, les vannes s'ouvrent davantage. Cela fait baisser la pression dans le réservoir de drainage. Pour faire monter le niveau du modérateur, les vannes se ferment un peu plus.

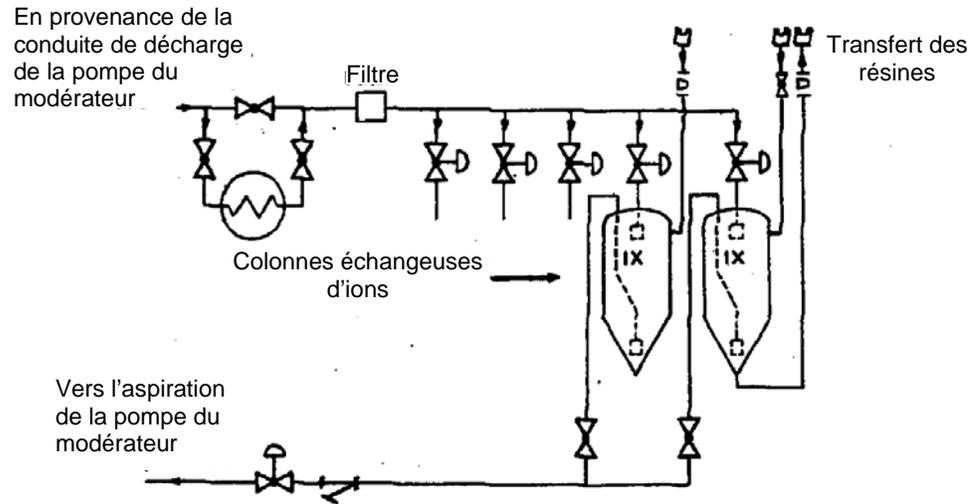
### 13.4 Notions principales

- Le gaz de couverture sert de coussin, et absorbe la pression élevée qui pourrait endommager la calandre. Les compresseurs d'hélium maintiennent la pression légèrement au-dessus de la pression atmosphérique.
- Le gaz de couverture (hélium) est chimiquement inerte; il n'est ni radioactif ni corrosif, dans les parties du circuit qui ne sont pas remplies d'eau.
- Le gaz de couverture élimine le  $O_2$  et le  $D_2$  de la calandre et les transporte vers le système de recombinaison. Les compresseurs font circuler le gaz de couverture.
- Le système de recombinaison convertit le  $O_2$  et le  $D_2$  en  $D_2O$ . La recombinaison produit habituellement beaucoup de chaleur. Des pare-flammes permettent d'éviter la propagation des flammes qui pourraient se former dans le système de recombinaison. Un échangeur de chaleur refroidit les gaz chauds à mesure qu'ils quittent le recombineur de chaleur.
- L'humidité permet d'éviter que le catalyseur accomplisse sa fonction. Si le catalyseur du recombineur devient humide, à force de ne pas être utilisé, un réchauffeur d'entrée réchauffe le gaz, ce qui assèche le catalyseur.
- Un réservoir de tête permet de maintenir un plein niveau dans la calandre du circuit sans drainage. Le gaz de couverture remplit les conduites au-dessus de la calandre. La figure 13.2 illustre le réservoir de tête et les conduites.
- Des échantillons de gaz de couverture sont analysés par chromatographie en phase gazeuse afin de déterminer les teneurs en  $O_2$ ,  $D_2$  et  $D_2O$ . S'il n'y a pas suffisamment de  $O_2$  pour le combiner avec le  $D_2$  disponible, il sera nécessaire d'ajouter de l'oxygène par les conduites d'addition d'oxygène.
- Il y a des fuites d'hélium en provenance du circuit, et des cylindres d'injection d'hélium haute pression le remplacent.
- À Pickering-A, le circuit du gaz de couverture fait partie des systèmes de contrôle du réacteur. Cela comprend la régulation de puissance et la mise à l'arrêt en cas d'urgence.

### 13.5 Circuit d'épuration du modérateur

#### 13.5.1 Objectif

La figure 13.4 illustre le circuit d'épuration. Le circuit d'épuration joue deux rôles. D'abord, il doit éliminer les produits de corrosion non solubles et solubles ainsi que d'autres impuretés provenant du modérateur. Deuxièmement, il doit éliminer les produits chimiques absorbants de neutrons non souhaitables (appelés poisons), utilisés pour la régulation du réacteur.



**Figure 13.4**  
**Circuit d'épuration du modérateur**

Les impuretés de type courant comprennent l'huile lubrifiante et les petites particules produites par l'usure.

Le circuit d'épuration doit maintenir le modérateur très propre pour plusieurs raisons. Les impuretés peuvent causer de la corrosion et de l'érosion. Certaines impuretés rendues radioactives par les neutrons posent un danger d'irradiation. Les impuretés augmentent les rejets gazeux de  $D_2$  et de  $O_2$  en provenance du modérateur.

#### 13.5.2 Description

Les colonnes échangeuses d'ions (IX) contiennent des résines chimiques qui éliminent les impuretés solubles. Plusieurs colonnes IX sont disposées en parallèle. Le débit d'épuration augmente si deux colonnes ou plus fonctionnent simultanément. L'opérateur peut faire entrer par une vanne des colonnes neuves qui remplaceront les colonnes épuisées. Un filtre élimine les particules non solubles. Les filtres sont placés avant les colonnes IX afin d'éviter que la résine IX

ne soit obstruée. En aval des colonnes IX, une crépine empêche la résine de pénétrer dans le circuit du modérateur.

Le refroidisseur d'épuration de la figure 13.4 fait baisser la température du modérateur avant le nettoyage. Une température élevée endommage la résine, ce qui cause un retour des impuretés piégées dans le circuit. Dans certaines centrales, ce refroidissement est assuré par les échangeurs de chaleur du circuit principal.

Les résines chimiques et les filtres concentrent les impuretés radioactives en les empêchant d'entrer dans le modérateur. Un blindage épais protège les travailleurs contre cet équipement.

Le remplacement des filtres ou des résines exige un soin exceptionnel à cause des dangers d'irradiation.

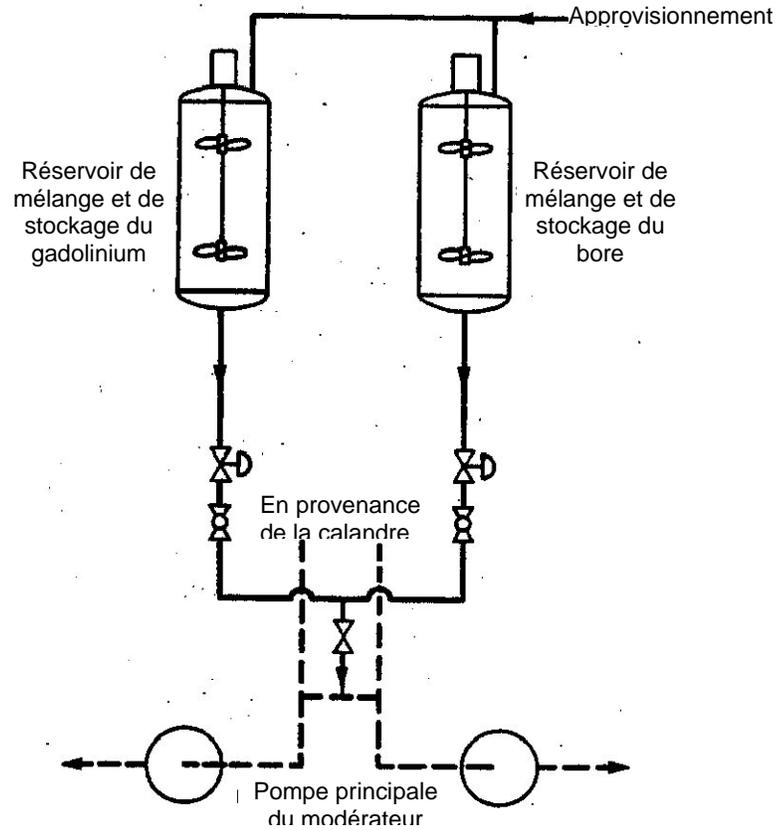
### **13.6 Notions principales**

- Le circuit d'épuration du modérateur joue essentiellement deux rôles. Il nettoie le modérateur et aide à réguler la quantité de poison neutronique.
- La pureté chimique élevée du modérateur réduit la corrosion, diminue les dangers associés aux substances devenues radioactives et réduit les rejets de  $D_2$  et de  $O_2$ .
- Les pompes de circulation du modérateur assurent un certain débit d'épuration.
- Avant l'épuration, le modérateur est refroidi. Dans certaines centrales, l'échangeur de chaleur du circuit principal joue ce rôle. Dans d'autres centrales, il y a un refroidisseur d'épuration distinct.
- Un filtre élimine les particules du modérateur et les colonnes échangeuses d'ions le nettoient. Une crépine permet d'éviter que les résines ne s'échappent dans le circuit principal.

### **13.7 Autres auxiliaires du modérateur**

#### **13.7.1 Système d'addition de poison liquide au modérateur**

Le bore et le gadolinium sont d'importants absorbeurs de neutron utilisés pour la régulation du réacteur. Le système d'addition de poison liquide ajoute des composés solubles de ces éléments au modérateur. La figure 13.5 illustre un système de type courant.



**Figure 13.5**  
**Système d'addition de poison liquide au modérateur**

Une pompe d'addition de poison fait entrer la solution choisie à l'aspiration de la pompe du modérateur, point de pression le plus faible du circuit principal. L'opérateur de salle de commande veille à la régulation de la pompe et des vannes d'addition. Du poison est ajouté pour le réglage de compensation du réacteur.

Certaines centrales ont recours à un dispositif d'alimentation par gravité plutôt qu'à une pompe.

L'addition n'est pas directement faite dans le modérateur, alors l'effet n'est pas immédiat. Après l'addition, le poison continue d'entrer dans le circuit suite à la rétention, dans les conduites.

### 13.7.2 Circuit de collecte du D<sub>2</sub>O (modérateur)

Le circuit de collecte du modérateur (D<sub>2</sub>O) recueille le modérateur aux points de fuite connus. Ceux-ci comprennent habituellement les joints de pompe, les garnitures et l'habillage des tiges des vannes.

Le circuit de collecte recueille également le drainage provenant des conduits d'éventage, des échangeurs de chaleur et des pompes. Les travailleurs qui procèdent à l'entretien drainent et aèrent les pompes ou les échangeurs de chaleur avant de les ouvrir en vue de l'entretien.

Le circuit de collecte est constitué de conduites raccordées aux points de collecte, et le liquide est drainé par gravité vers un réservoir de collecte. Des hublots de regard ou des débitmètres donnent une indication du débit de fuite à divers endroits. Une station d'échantillonnage est utilisée pour vérifier la teneur isotopique. Une pompe retourne le modérateur à teneur isotopique élevée et l'eau propre vers le circuit principal. Le D<sub>2</sub>O appauvri ou contenant des impuretés fera l'objet d'une augmentation de la teneur isotopique ou d'un nettoyage au besoin.

Un circuit de collecte en boucle fermée permet de réduire les pertes de D<sub>2</sub>O qui s'avèrent coûteuses. Il réduit également les rejets de tritium dans l'atmosphère de la centrale et diminue l'appauvrissement, car il restreint le mélange avec le H<sub>2</sub>O atmosphérique.

Il y a une figure dans les sections portant sur le circuit caloporteur qui illustre un système semblable de collecte des fuites de D<sub>2</sub>O dans le circuit caloporteur. Il existe deux systèmes de collecte distincts qui permettent d'éviter le mélange du caloporteur du circuit avec le modérateur.

### 13.7.3 Systèmes de refroidissement auxiliaires

Certaines centrales utilisent le modérateur pour refroidir certaines pièces d'équipement. Une brève description de ces installations de refroidissement auxiliaires est présentée dans ce qui suit.

### 13.7.4 Refroidissement des barres du mécanisme de contrôle de la réactivité

Les barres qui contrôlent le réacteur doivent être refroidies. Ces barres comprennent les barres de compensation, les barres de commande et les barres de sécurité. Leur fonction sera examinée plus loin. Des rayons gamma et des neutrons chauffent ces barres même lorsqu'elles sont hors du cœur. Certaines centrales refroidissent les barres retirées du cœur à l'aide d'un dispositif d'aspersion de modérateur. D'autres

centrales font circuler le gaz de couverture près de ces dispositifs pour les refroidir.

#### 13.7.5 Calandre, orifice de drainage et mécanisme de refroidissement par aspersion du réservoir de drainage (Pickering-A seulement)

La figure 13.3 illustre les buses d'aspersion de la calandre qui refroidissent la calandre exposée, les tubes de calandre et les tubes guides. La figure illustre des dispositifs d'aspersion semblables pour l'orifice de drainage et le réservoir de drainage. Les dispositifs d'aspersion fonctionnent en continu, lorsque le modérateur se trouve dans la calandre et lorsqu'il se trouve dans le réservoir de drainage.

Pendant le fonctionnement du réacteur, l'absorption des neutrons et des rayons gamma chauffent ces composants. Sans refroidissement, la contrainte thermique causerait une distorsion de l'équipement. Le refroidissement par aspersion se poursuit pendant la mise à l'arrêt, afin d'évacuer la chaleur produite par la désintégration gamma.

### 13.8 Notions principales

- Certaines pièces d'équipement mécanique (garnitures, joints, tiges de vanne) subissent inévitablement des fuites. Le circuit de collecte de D<sub>2</sub>O (modérateur) dirige ces fuites vers un réservoir de collecte, en le confinant de manière à ce qu'il n'entre pas en contact avec l'atmosphère environnante.
- Le circuit de collecte du D<sub>2</sub>O recueille également le drainage en provenance des pompes et des échangeurs de chaleur avant qu'ils ne soient ouverts pour l'entretien.
- Le mécanisme de contrôle de la puissance du réacteur comprend l'addition contrôlée manuelle de bore ou de gadolinium au modérateur grâce au système d'addition de poison.
- Certains réacteurs CANDU utilisent le modérateur pour refroidir les dispositifs de contrôle de la réactivité retirés du cœur et les composants de calandre. D'autres réacteurs CANDU utilisent les gaz de couverture pour les refroidir.

### 13.9 Exercices

1. Pourquoi utilise-t-on l'hélium comme gaz de couverture du modérateur?
2. Pourquoi une fuite dans le circuit principal du modérateur ou dans le circuit du gaz de couverture produit-elle un danger d'irradiation?
3. Quel est le rôle :
  - a) du système de recombinaison?
  - b) des pare-flammes?
  - c) du chromatographe en phase gazeuse?
4. Pourquoi le réchauffeur d'entrée du système de recombinaison n'est pas utilisé habituellement?
5. Nommer deux utilisations du circuit d'épuration du modérateur et décrire comment le circuit d'épuration accomplit ces fonctions.
6. Quels sont les problèmes qui surviennent lorsque le modérateur n'est pas propre?
7.
  - a) Quels sont les effets nocifs de l'oxygène sur les pièces du circuit du modérateur?
  - b) Pourquoi ajoute-t-on parfois de l'oxygène au gaz de couverture? Pourquoi ajoute-t-on de l'hélium?
8. Quelles sont les sources de chaleur dans les barres de contrôle de la réactivité, les tubes de calandre et l'enveloppe de calandre?
9. Décrire comment le système d'addition de poison est utilisé.
10. Expliquer pourquoi il est nécessaire de disposer d'un circuit de collecte du modérateur ( $D_2O$ ) et pourquoi on utilise un circuit en boucle fermée.
11. Quel est le rôle des crépines dans le circuit d'épuration?

