

## **24 Injection d'urgence de caloporteur et confinement**

### **24.1 Introduction**

Chaque réacteur CANDU possède quatre systèmes spéciaux de sûreté. Nous avons vu les deux systèmes d'arrêt d'urgence, le SAU#1 et le SAU#2. Dans ce chapitre, nous allons voir le système de refroidissement d'urgence du cœur par injection (SRUCI) et le système de confinement. La conception de centrale comprend ces quatre systèmes spéciaux de sûreté en vue de protéger le public contre une fuite de rayonnement nocive.

Pendant l'exploitation normale, cinq barrières se dressent entre la source principale de rayonnement et le public. Les pastilles de combustible céramique contiennent environ 95 % des produits de fission. La gaine de combustible contient l'inventaire des produits de fission libres. Le circuit caloporteur contient les produits de fission provenant du combustible défectueux.

Le système de confinement est la quatrième barrière contre les fuites de rayonnement. Il a pour but de constituer une enveloppe et de la protéger afin d'empêcher les fuites de matières radioactives hors du circuit caloporteur. Cela limite l'exposition du public à la radioactivité dans les cas où les trois premières barrières ne sont plus efficaces.

La cinquième barrière protégeant le public contre l'exposition au rayonnement est la zone d'exclusion de 1 km autour de chaque cœur de réacteur. Cette zone permet aux matières radioactives qui se sont échappées du système de confinement de se diluer dans l'environnement.

Ces cinq barrières protègent le public lorsque la puissance du réacteur est contrôlée, lorsque le combustible est refroidi et que le rayonnement est contenu.

L'arrêt rapide du réacteur protège les trois premières barrières (pastilles, gaine et conduites). Lors de la plupart des excursions de puissance, une réduction rapide de la puissance atteint rapidement le niveau de sortie de chaleur du combustible et en assure le refroidissement. Cela limite la quantité de vapeur générée. Cela empêche la pression du circuit de compromettre le fonctionnement des conduites. Le combustible demeure humide et ne rejette pas de produits de fission.

Lors de certains accidents, il y a rejet de produits de fission. Dans ces accidents, un arrêt rapide du réacteur limite la défaillance du

combustible et les fuites de rayonnement. Ces rejets limités aident les deux barrières finales, soit le confinement et la dilution, à faire un travail efficace.

Le système de refroidissement d'urgence du cœur par injection (SRUCI) protège le combustible et la limite du circuit caloporteur lorsque le refroidissement normal subit une défaillance. Il a pour but de remplir le circuit caloporteur et de le maintenir plein après un accident dû à la perte de réfrigérant primaire (APRP). Cela constitue un autre trajet pour le flux de chaleur qui élimine la chaleur de désintégration.

Le système de refroidissement d'urgence du cœur par injection et le système de confinement doivent fonctionner dans des conditions causées par un accident dû à la perte de caloporteur. Avant de décrire ce système, voici une brève description de ce qui se produit lors d'un APRP.

Le caloporteur s'échappe du circuit caloporteur s'il y a rupture des conduites, ou des garnitures de pompe. Il existe plusieurs types de rupture.

Lorsqu'il s'agit d'une petite brèche du CC, l'équipement de régulation de la pression maintient la pression du circuit caloporteur à un niveau normal. On peut dire qu'il y a fuite. Le système de récupération du D<sub>2</sub>O est conçu pour gérer les fuites. Lors d'un accident dû à la perte de caloporteur, la pression du circuit caloporteur diminue inévitablement.

En voici un exemple. Le 1<sup>er</sup> août 1983, un peu avant midi, le tube de force G16 de la tranche 2 à Pickering-A s'est soudainement fendu. La pression dans l'espace annulaire a fait éclater des soufflets de l'espace annulaire. Le caloporteur s'est échappé lentement plus loin que le palier lisse, par la brèche dans les soufflets.

Moins d'une heure et demie après la rupture du tube de force, les opérateurs ont mis à l'arrêt le réacteur, refroidi le caloporteur et réduit sa pression. Les opérateurs ont contrôlé la réduction de pression CC durant ce temps. Les opérateurs ont géré une mise à l'arrêt contrôlée, en utilisant le D<sub>2</sub>O de réserve provenant des autres tranches. Aucun des systèmes spéciaux de sûreté n'a été requis. S'ils avaient laissé le système sans surveillance, la pression aurait diminué graduellement naturellement et les systèmes spéciaux de sûreté auraient fonctionné.

Cet exemple de perte de caloporteur est presque un cas limite qui distingue un APRP d'une fuite. La pression ne pouvait pas être

maintenue élevée et aurait diminué naturellement, comme lors d'un APRP. Toutefois, comme la pression a diminué lentement, les opérateurs ont été en mesure de la contrôler, comme lorsqu'il s'agit d'une fuite.

Lors d'un APRP, la faible pression produit de la vapeur dans le circuit caloporteur. Si cet état persiste, le combustible subit une défaillance et rejette des produits de fission par la brèche. Une rupture importante de conduite (par exemple, un collecteur de réacteur ou une conduite d'aspiration de pompe) crée des conditions de refroidissement difficiles et la plupart des défaillances de combustible s'y rattachent. Lors de ces accidents, une certaine quantité de caloporteur suit un débit inverse et se propage vers la faible pression à la brèche. Selon la taille de la brèche et son emplacement, le débit caloporteur s'arrête brièvement dans certains canaux.

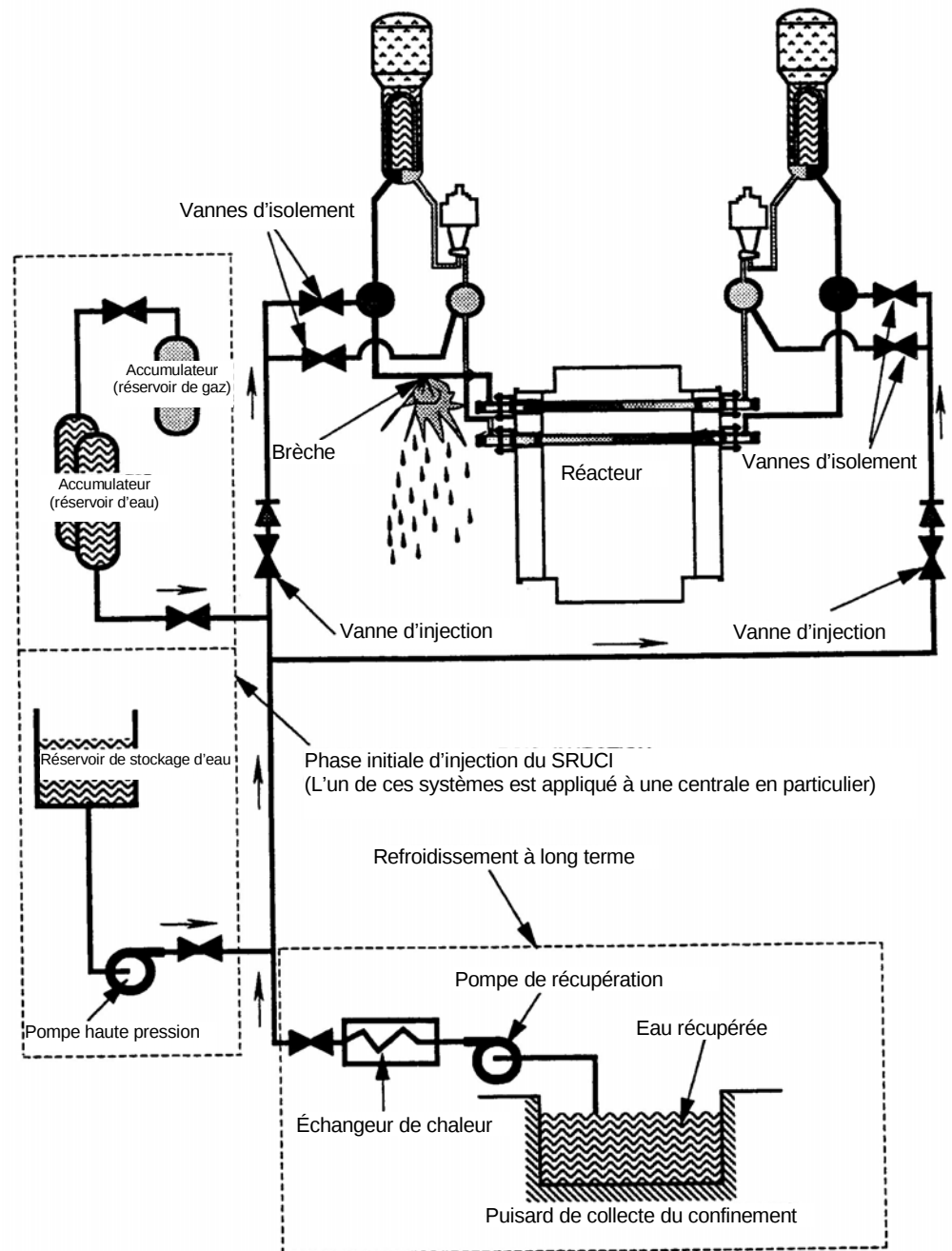
Le refroidissement d'urgence limite les rejets, ce qui aide à maintenir l'efficacité des deux barrières finales. Lors d'un APRP dû à une petite brèche, un arrêt rapide et le fonctionnement du SRUCI permettent d'éviter la défaillance du combustible.

#### **24.2 Notions principales**

- Quatre systèmes spéciaux de sûreté protègent le public contre une fuite de rayonnement accidentelle. Ce sont le SAU#1, le SAU#2, le SRUCI et le confinement.
- La mise à l'arrêt rapide du réacteur amène la sortie de chaleur à un niveau équivalent au refroidissement disponible, ce qui protège les trois premières barrières contre les fuites de rayonnement. Ces barrières sont les pastilles de combustible, la gaine du combustible et la limite de pression du circuit caloporteur.
- La mise à l'arrêt rapide aide également les deux dernières barrières (le système de confinement et la zone d'exclusion), en limitant la quantité de matières radioactives rejetées.
- Lors d'un accident dû à la perte de caloporteur (APRP), la pression du circuit caloporteur diminue. La vapeur produite dans le circuit caloporteur compromet le refroidissement du combustible. Lors des ruptures importantes, des produits de fission s'échappent dans le confinement.
- Le but du système de refroidissement d'urgence du cœur par injection (SRUCI) consiste à remplir le circuit caloporteur

après un APRP et de le maintenir plein. Cela constitue un autre trajet pour le flux de chaleur qui permet d'évacuer la chaleur de désintégration.

- Le but du système de confinement est de créer une enveloppe qu'il protège afin de limiter les fuites de rayonnement dans l'environnement.



**Figure 24.1**  
**Schéma simplifié du système de refroidissement d'urgence du cœur par injection**

### 24.3 Injection de caloporteur d'urgence

Lors d'un APRP, les conditions dans le cœur du réacteur ou le circuit caloporteur déclenchent les systèmes d'arrêt d'urgence. Le système de refroidissement d'urgence du cœur par injection (SRUCI) peut éliminer la chaleur de désintégration, mais pas la chaleur de fission. S'il n'y a pas de mise à l'arrêt, la vapeur haute pression dans le cœur risque d'empêcher le fonctionnement efficace des dispositifs d'injection d'eau de refroidissement d'urgence. L'évacuation de la chaleur sera inadéquate et de nombreux éléments de combustible subiront une défaillance.

La figure 24.1 illustre l'équipement principal d'un système de refroidissement d'urgence du cœur par injection. Dans une centrale à plusieurs tranches, un système unique protège toutes les tranches. La figure 24.1 illustre l'injection d'eau de refroidissement dans une seule tranche. Certaines centrales utilisent la pression de gaz pour forcer le  $H_2O$  provenant des réservoirs vers le réacteur. Certaines centrales utilisent des pompes haute pression pour l'injection haute pression.

La faible pression du CC, simultanément avec un deuxième paramètre déclenche automatiquement le système de refroidissement d'urgence par injection. L'utilisation de deux paramètres pour amorcer le système permet d'éviter des injections intempestives. Le SRUCI émet un signal qui ouvre les vannes d'isolement (également appelées vannes d'injection) de la tranche touchée. Ces vannes séparent le  $H_2O$  du SRUCI du  $D_2O$  du caloporteur. Le signal raccorde également la source haute pression qui force l'eau ordinaire dans les collecteurs d'entrée et de sortie du réacteur. L'injection débute lorsque la pression du CC est inférieure à la pression d'injection du SRUCI.

Le SRUCI injecte de l'eau ordinaire parce que le  $D_2O$  est trop coûteux pour une urgence qui pourrait peut-être ne jamais se produire. Après un APRP, l'accroissement de la teneur isotopique du caloporteur doit être l'un des problèmes nécessitant une solution avant que la tranche soit ramenée à l'exploitation.

Les systèmes de RUCI (refroidissement d'urgence du cœur par injection) des différentes centrales sont différents. En fait, il existe deux noms pour décrire ces systèmes dans les centrales : le RUCI et le SRUC pour le refroidissement d'urgence du cœur.

#### 24.3.1 APRP dû à une petite brèche

Lors d'un accident de perte de caloporteur dû à une petite brèche, la pression du circuit caloporteur diminue lentement parce que le taux de fuite est lent. Le caloporteur commence à bouillir et les canaux de

combustible se remplissent graduellement de vapeur. Pendant que le caloporteur bout, la pression du circuit diminue seulement si la température baisse.

Pour que l'injection démarre rapidement, il faut évacuer la chaleur hors du circuit. De grandes vannes sur les générateurs de vapeur s'ouvrent automatiquement pour rejeter de la vapeur, ce qui réduit la température des générateurs de vapeur. L'opérateur peut ouvrir les vannes de purge de vapeur à partir de la salle de commande qui elles ne s'ouvrent pas automatiquement. Le refroidissement d'urgence des générateurs de vapeur cause un transfert rapide de chaleur depuis le caloporteur vers l'eau des générateurs de vapeur. Cela réduit rapidement la température du circuit caloporteur ainsi que sa pression et l'injection débute. De l'eau froide remplit le circuit et réhumidifie le combustible. Les pompes principales du circuit caloporteur font circuler le mélange de  $H_2O$  et de  $D_2O$  vers les générateurs de vapeur, ce qui élimine la majeure partie de la chaleur de désintégration.

Une certaine quantité de vapeur et de l'eau chaude s'échappe par la brèche. Cette eau est recueillie par le puisard de récupération du SRUCI. Au besoin, les pompes de récupération retournent cette eau vers le circuit pour le maintenir plein. Les échangeurs de chaleur de récupération refroidissent l'eau avant de la retourner dans le CC.

#### 24.3.2 L'APRP grave

Lors d'un grave accident de perte de caloporteur, la principale source froide est la grande quantité d'eau chaude et de vapeur qui s'échappe par la brèche. La pression et la température du circuit caloporteur diminuent rapidement avec ou sans refroidissement d'urgence des générateurs de vapeur.

La brèche est le point de pression le plus faible du système. Le caloporteur se déplace des collecteurs d'entrée et des collecteurs de sortie vers la brèche. L'eau injectée aux collecteurs passe par-dessus le combustible chaud et l'humidifie à nouveau. Un mélange d'eau ordinaire et d'eau lourde et de vapeur s'échappe par la brèche.

Pour le refroidissement du combustible à long terme, l'opérateur crée une boucle de refroidissement fermée. La boucle comprend des conduites du circuit caloporteur, un puisard de récupération, des pompes de récupération et des échangeurs de chaleur de récupération. L'eau refroidit le combustible et se déverse de la brèche vers le plancher de confinement. L'eau chaude est recueillie par le puisard de récupération. Les pompes de récupération retournent l'eau récupérée vers les collecteurs du réacteur par les échangeurs de chaleur qui la

refroidissent. Cette boucle de refroidissement peut fonctionner pendant une durée indéfinie.

Lors d'une brèche importante, le CC se refroidit plus rapidement que les générateurs de vapeur. Le refroidissement d'urgence empêche les générateurs de vapeur d'évacuer de la chaleur additionnelle dans le circuit caloporteur.

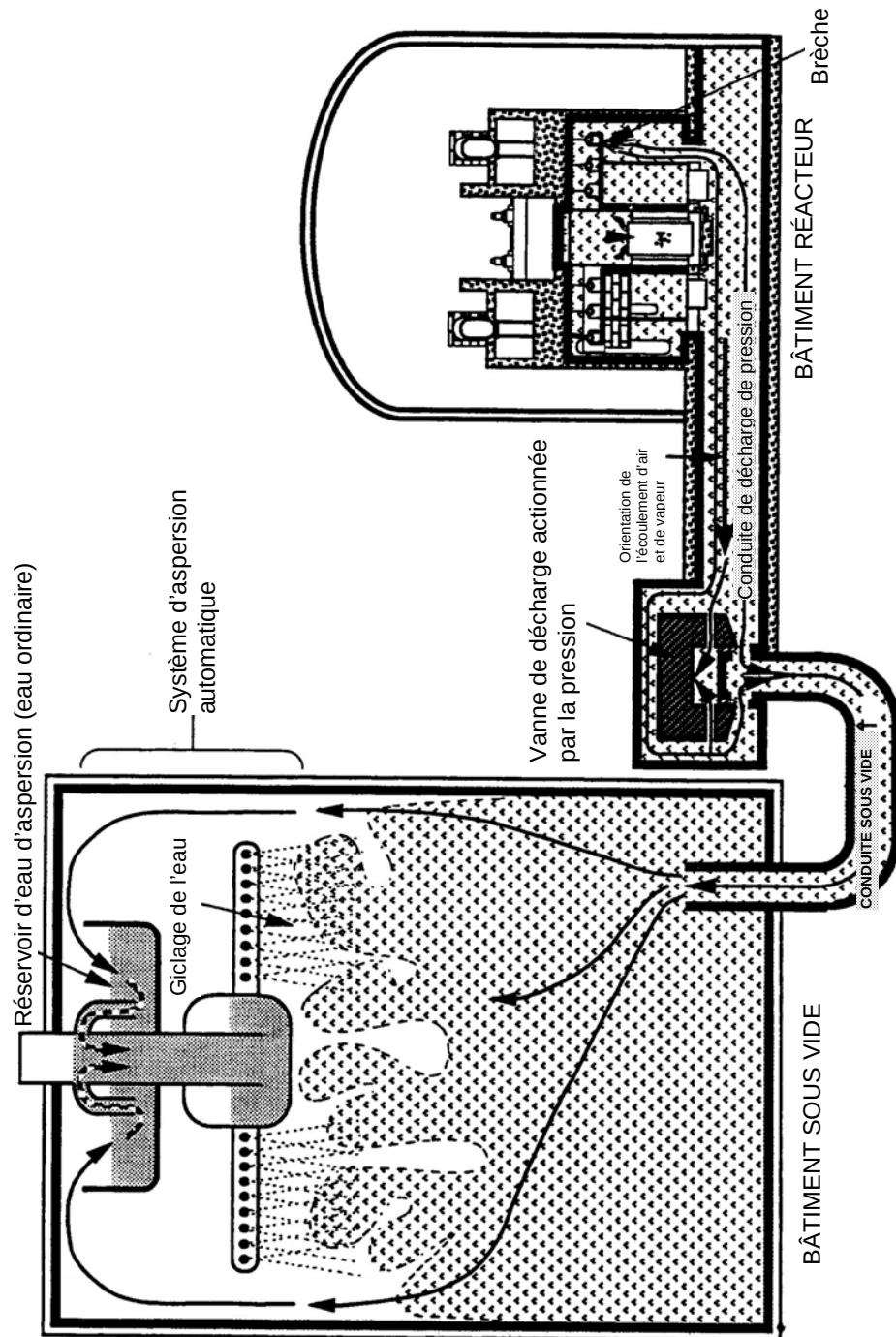
Les réservoirs d'approvisionnement d'eau haute pression peuvent se vider avant que l'eau se soit accumulée dans les puisards de récupération. Pour éviter cela, un approvisionnement d'eau basse pression injecte de l'eau lorsque l'injection haute pression se termine et avant que la récupération commence. L'approvisionnement basse pression comprend des pompes de récupération, de l'eau tirée d'un réservoir de stockage d'urgence et le système pompe cette eau vers les collecteurs du réacteur.

#### **24.4 Notions principales**

- Le SAU#1 ou le SAU#2 ferme le réacteur lors d'un APRP. Cela permet au SRUCI de fonctionner efficacement.
- L'équipement SRUCI comprend un approvisionnement d'eau haute pression, un approvisionnement d'eau basse pression, un système de récupération et des vannes d'isolement/d'injection.
- La pression du gaz fournit l'injection haute pression aux collecteurs du réacteur dans certaines centrales. D'autres centrales utilisent des pompes haute pression.
- L'approvisionnement d'eau basse pression vers les collecteurs utilise des pompes de récupération, qui récupèrent l'eau tirée d'un réservoir de stockage d'urgence.
- Pour le refroidissement à long terme, des pompes de récupération amènent l'eau vers les collecteurs à partir d'un puisard de récupération en passant par des échangeurs de chaleur de récupération.
- Le fonctionnement du SRUCI débute automatiquement lorsque le CC subit une défaillance. Le signal du SRUCI ouvre les vannes d'isolement/d'injection et les vannes qui raccordent la source haute pression.
- Lorsque le système SRUCI se déclenche, de grandes vannes de vapeur sur les générateurs de vapeur s'ouvrent

automatiquement pour amorcer le refroidissement d'urgence. Cela est particulièrement important lorsqu'il s'agit d'un APRP dû à une petite brèche, où les générateurs de vapeur constituent la principale source froide. La brèche est la principale source froide lors d'un APRP grave.

- L'opérateur de salle de commande peut amorcer le fonctionnement du SRUCI et le refroidissement d'urgence à partir de la salle de commande si ces derniers ne se sont pas déclenchés automatiquement.



**Figure 24.2**  
**Concept du confinement sous vide**

## 24.5 Confinement

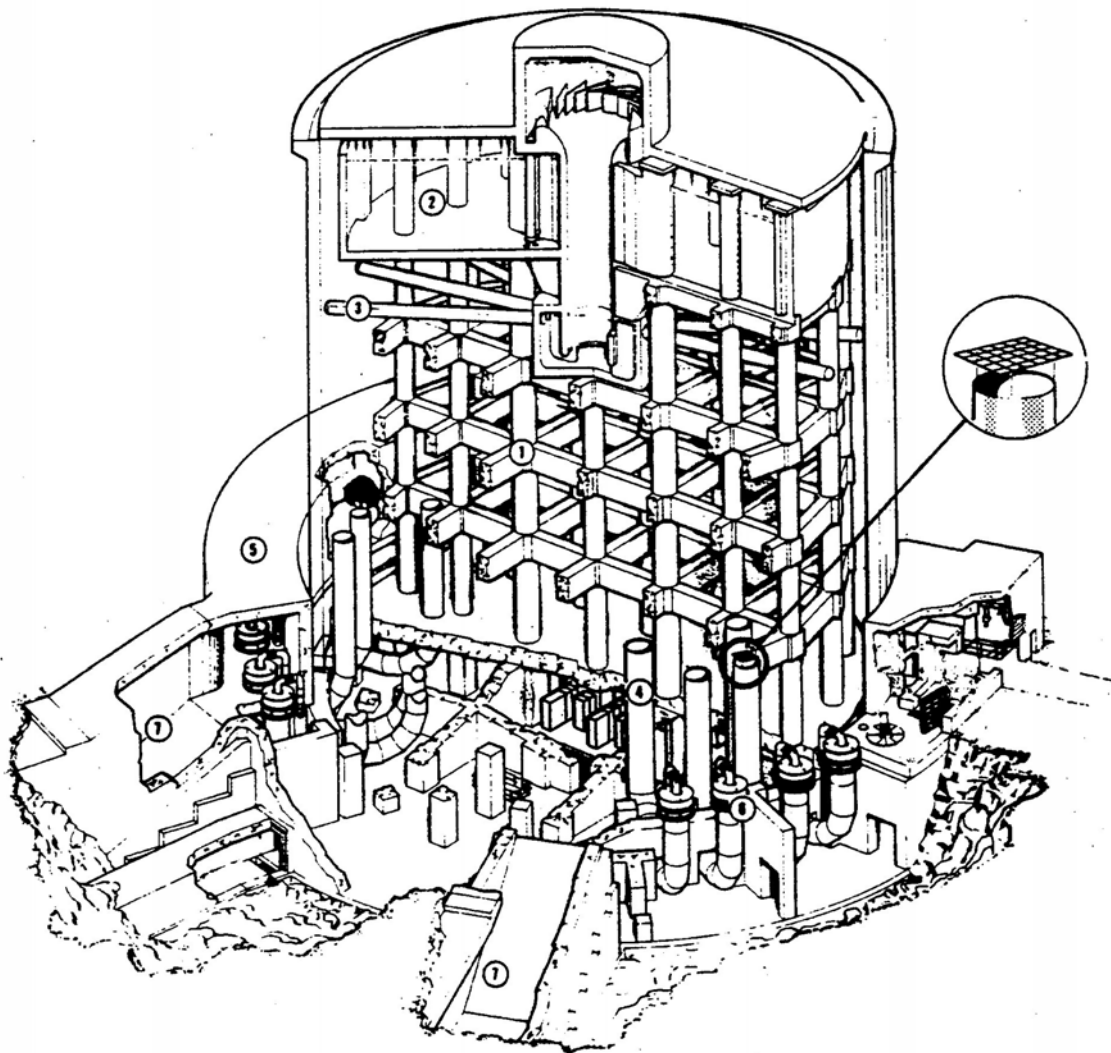
Le système de confinement est en réalité composé d'un groupe de systèmes. D'abord, il y a l'enveloppe elle-même. Elle entoure tous les systèmes nucléaires qui risquent de rejeter des rayonnements. Lors du signal indiquant qu'un APRP s'est produit, l'enveloppe se referme. En fait, les ouvertures de l'enveloppe se ferment pour éviter que des matières radioactives ne s'échappent. Il existe différents dissipateurs d'énergie qui protègent l'enveloppe contre la surpression. Un système d'aspersion condense la vapeur et refroidit l'atmosphère du confinement. Des refroidisseurs d'air évacuent la chaleur. Un système de décharge d'air pur peut être utilisé pour filtrer et décharger l'air, ce qui permet une décharge de la haute pression dans le bâtiment.

Il existe deux types de système de confinement différents pour les réacteurs CANDU : le système de confinement à suppression de pression et le système de confinement à pression négative.

Les centrales à une seule tranche utilisent un système de confinement à suppression de pression (figure 24.6). La structure du confinement, qui est le bâtiment réacteur, respecte les normes du code sur les chaudières et appareils sous pression. Son taux de fuite sous pression est très faible.

Les tranches dans une centrale à plusieurs tranches partagent le bâtiment sous vide. Le bâtiment sous vide fait partie du système de confinement à pression négative. La figure 24.2 illustre un bâtiment sous vide et un bâtiment réacteur qui font tous deux partie de l'enveloppe de confinement. Après un APRP, la pression à l'intérieur de l'enveloppe est inférieure à la pression atmosphérique, ce qui permet d'éviter les fuites.

Le système à pression négative et le système à suppression de pression limitent tous deux les fuites de rayonnement dans l'environnement et le public. Le coût du confinement à pression négative est raisonnable, lorsque plusieurs tranches partagent un bâtiment sous vide. Le confinement à suppression de pression exige un renforcement de chaque tranche. Il est moins coûteux qu'un bâtiment sous vide pour une seule tranche. Il est cependant moins rentable pour une centrale à plusieurs tranches.

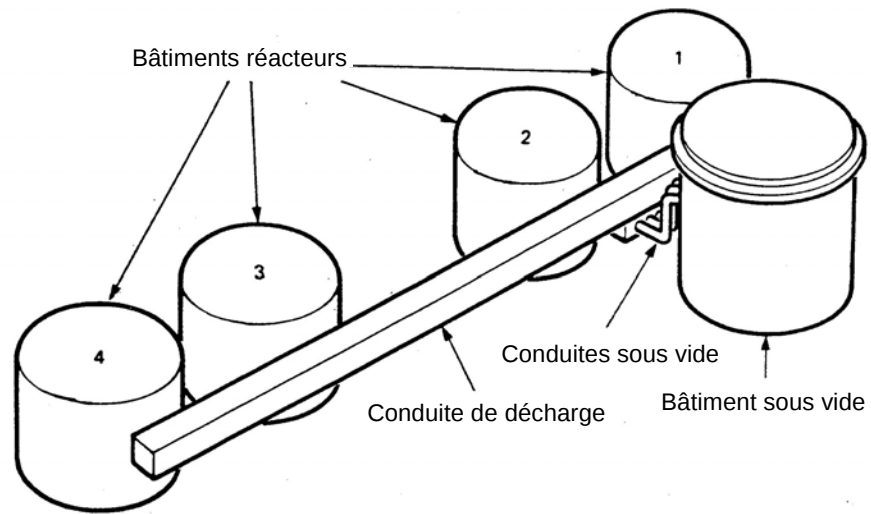


- 1 Structure interne
- 2 Réservoir de stockage de l'eau de secours
- 3 Collecteurs de distribution et d'aspersion
- 4 Conduite sous vide
- 5 Collecteur de soupape
- 6 Vanne de décharge
- 7 Conduite de décharge

**Figure 24.3**  
**Bâtiment sous vide, vannes de décharge et dispositif d'aspersion**

#### 24.5.1 Confinement à pression négative

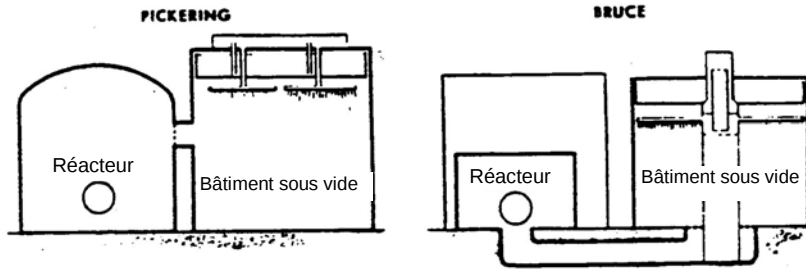
La figure 24.4 illustre une conduite à décharge raccordant quatre tranches à un bâtiment sous vide par le biais de conduites sous vide. (La conduite de décharge est située dans le bâtiment réacteur du côté des vannes de décharge. Les conduites sous vide sont situées dans le bâtiment sous vide, du côté de ces vannes.) Dans certaines centrales, les conduites de raccord sont souterraines et ne sont pas visibles. La figure 24.3 illustre cette disposition, avec les vannes de décharge dans un collecteur de soupape entourant le bâtiment sous vide.



**Figure 24.4**  
**Confinement d'une centrale à plusieurs tranches**

Certaines centrales dotées de systèmes de confinement à pression négative mettent le plus d'équipement possible à l'intérieur de l'enveloppe de confinement. Cela permet de réduire le nombre d'orifices, mais donne lieu à un plus grand volume de confinement. Un grand volume de confinement nécessite un grand bâtiment sous vide.

D'autres centrales placent le plus d'équipement possible à l'extérieur du confinement. Cela permet d'avoir un meilleur accès à l'équipement et réduit le volume de confinement. Cela permet également d'augmenter le nombre d'orifices du confinement où il pourrait y avoir des fuites de rayonnement. La figure 24.5 illustre ces différences.



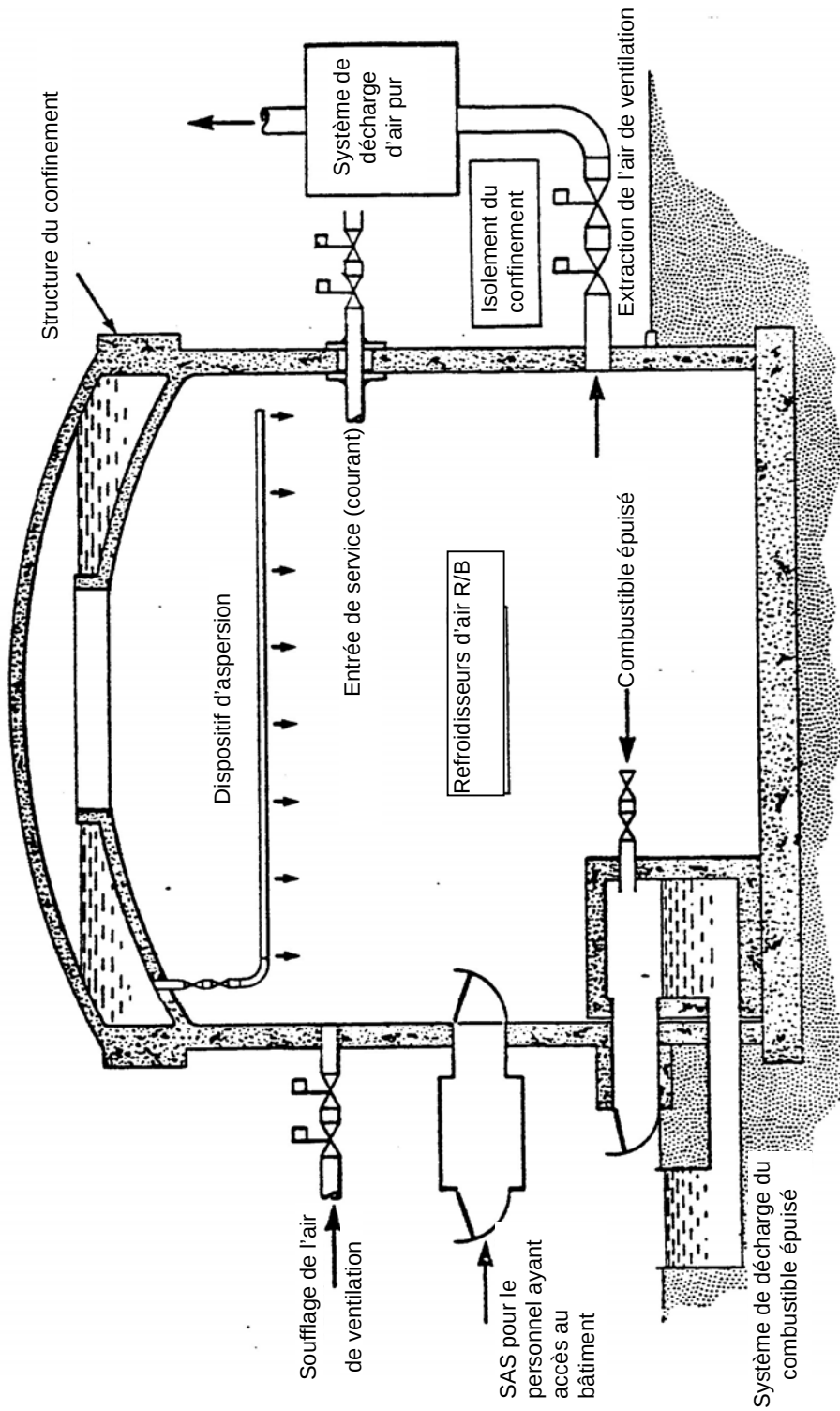
**Figure 24.5**

**Taille du confinement pour les centrales de Pickering et de Bruce**

Lors d'un APRP, la pression à l'intérieur du confinement augmente. La pression élevée soulève les vannes de décharge qui raccordent la conduite de décharge au bâtiment sous vide par les conduites sous vide. L'air chauffé et la vapeur s'échappent dans le bâtiment sous vide à faible pression. La pression accrue fait entrer l'eau dans les collecteurs d'aspersion en provenance du réservoir d'aspersion. Les dispositifs d'aspersion refroidissent l'air et condensent la vapeur. En une minute ou deux, la pression à l'intérieur du confinement est encore plus faible que la pression extérieure.

La pression élevée associée à l'accident fait ouvrir les vannes de décharge et déclenche l'aspersion. Dès le signal indiquant un APRP, l'enveloppe de confinement se ferme et ferme le système qui aspire le vide dans le bâtiment sous vide.

En plus des vannes qui sont ouvertes par la pression d'un APRP, il y a de grandes et de petites vannes de contrôle qui modulent la pression à long terme.



**Figure 24.6**  
**Système de confinement à suppression de pression**

#### 24.6 Confinement à suppression de pression

La figure 24.6 illustre un système de confinement à suppression de pression. Les murs du bâtiment réacteur sont en béton armé revêtu de résine époxy. Le taux de fuite de cette structure est faible si la pression n'augmente pas trop.

Le réservoir d'eau d'aspersion est situé au-dessus du bâtiment réacteur. Un signal indiquant un APRP referme la structure du confinement et ouvre les vannes d'aspersion. L'aspersion élimine la chaleur et condense la vapeur. Cela permet d'abaisser la pression et de maintenir le taux de fuite à un faible niveau.

#### 24.7 Notions principales

- Le système de confinement comprend un groupe de systèmes. D'abord, il y a l'enveloppe du confinement et le système qui la referme. Ensuite, il y a les dissipateurs d'énergie (l'aspersion, les refroidisseurs d'air et la décharge d'air pur) qui protègent l'enveloppe contre les dommages.
- Le système de confinement à pression négative et le système de confinement à suppression de pression protègent tous deux le public contre les fuites de rayonnement. Les centrales à une seule tranche utilisent un système à suppression de pression. Les centrales à plusieurs tranches utilisent pour leur part un système de confinement avec bâtiment sous vide.
- Le confinement à pression négative utilise un bâtiment sous vide. La décharge de pression dans les bâtiments sous vide se conjugue à l'aspersion pour faire baisser la pression. À l'intérieur de l'enveloppe de confinement, la pression devient vite inférieure à la pression atmosphérique. Cela fait cesser les fuites de rayonnement dans l'environnement.
- Le confinement à suppression de pression utilise une structure en ciment armé avec revêtement. Cette structure possède un faible taux de fuite lorsqu'elle est sous pression. L'aspersion l'aide à maintenir un taux de fuite faible.
- Dans le cas du confinement à pression négative, la pression associée à l'APRP ouvre les vannes de décharge et déclenche l'aspersion. Le signal indiquant un APRP entraîne la fermeture de l'enveloppe et ferme le système sous vide.
- Dans le cas du confinement à suppression de pression, le signal indiquant un APRP déclenche la fermeture et l'aspersion.

## 24.8 Exercices

1. Quels sont les quatre systèmes spéciaux de sûreté?
2. Comment la mise à l'arrêt rapide du réacteur :
  - a. aide-t-elle le système de refroidissement d'urgence du cœur par injection à jouer son rôle?
  - b. aide-t-elle le système de confinement à jouer son rôle?
3. Décrire comment le système de refroidissement d'urgence du cœur par injection permet d'éviter la fuite de rayonnement dans l'environnement.
4. Énumérer les différents systèmes qui composent le système de confinement.
5. Décrire la manière dont chaque système mentionné précédemment aide à protéger le public contre l'exposition au rayonnement.
6. Préciser les grandes différences qui existent entre le système de confinement d'un bâtiment sous vide et le système de confinement à suppression de pression.
7. Donner un aperçu de la réponse immédiate du système de refroidissement d'urgence du cœur par injection et du système de confinement en cas d'APRP grave.
8. Décrire la réponse à long terme du système de refroidissement d'urgence du cœur par injection en cas d'APRP.

