

## 23 Mécanismes de contrôle de la réactivité

Le combustible devient défectueux s'il n'est pas maintenu humide. Le combustible peut également subir une défaillance s'il génère trop de puissance. Les mécanismes de contrôle de la réactivité contrôlent la puissance du réacteur. Dans ce chapitre, nous allons décrire les dispositifs de contrôle de la réactivité et la manière dont ils fonctionnent.

Les mécanismes de contrôle de la réactivité changent la valeur du facteur de multiplication des neutrons dans le cœur du réacteur. La plupart d'entre eux ont une incidence sur l'absorption parasite des neutrons thermiques dans le cœur. Lorsqu'un dispositif augmente l'absorption parasite dans un cœur, on dit qu'il ajoute de la réactivité négative. On dit des dispositifs qui diminuent l'absorption parasite qu'ils ajoutent de la réactivité.

Les mécanismes de contrôle de la réactivité sont des dispositifs qui augmentent ou diminuent les pertes de neutrons. La plupart de ces dispositifs absorbent des neutrons. Certains de ces dispositifs modifient le nombre de fuites de neutrons hors du cœur. La valeur de réactivité d'un dispositif dépend de sa capacité à modifier  $\Delta k$ . Le changement de la réactivité du cœur permet de contrôler la sortie de puissance du réacteur.

La production de puissance utilise des atomes fissiles dans le combustible. Cela diminue la réactivité du cœur. À court terme, une augmentation du nombre de neutrons peut compenser la perte d'atomes fissiles. Le remplacement du combustible épuisé par du combustible neuf permet de maintenir la réactivité à long terme du cœur. La production de puissance peut se poursuivre pendant une semaine sans rechargement de combustible.

Ces facteurs sont résumés au tableau 23.1. La combustion entraîne une lente diminution de la réactivité. Les autres facteurs changent la réactivité plus rapidement. Les changements de température peuvent modifier la réactivité en quelques secondes ou en quelques minutes. Les effets dits intermédiaires, peuvent changer la réactivité en plusieurs minutes. Ces écarts de réactivité, une fois démarrés, peuvent se poursuivre pendant plusieurs heures ou même plusieurs jours.

**Tableau 23.1 Facteurs causant des changements de  $\Delta k$  dans le cœur**

<b>Facteur</b>	<b>Temps requis pour un changement de <math>\Delta k</math></b>
Combustible; combustion	Long
Rechargement des canaux	Moyen
Changement du xénon suite à un changement de puissance	Moyen
Oscillations du flux	Moyen
Changement de température dans le cœur	Court

Les dispositifs de contrôle de la réactivité accomplissent deux fonctions générales :

- a) Réglage de la puissance du réacteur
- b) Protection du réacteur

Les mécanismes de contrôle de la réactivité qui accomplissent des fonctions de protection, également appelés systèmes d'arrêt, ont pour but de mettre le réacteur à l'arrêt rapidement en cas d'urgence. Chaque tranche possède deux systèmes d'arrêt indépendants. Cela permet de s'assurer que le réacteur sera mis à l'arrêt au besoin.

Les dispositifs de réglage de la puissance du réacteur permettent d'ajuster la réactivité de manière à maintenir la puissance du réacteur stable à la puissance de sortie exigée. Les dispositifs permettent également de répondre aux demandes de changement de puissance du réacteur. Cela pourrait être un changement de puissance requis pour compenser un changement de puissance de sortie électrique ou cela pourrait être une réduction de puissance requise parce que certains systèmes ne sont pas en mesure de gérer la chaleur produite par le réacteur.

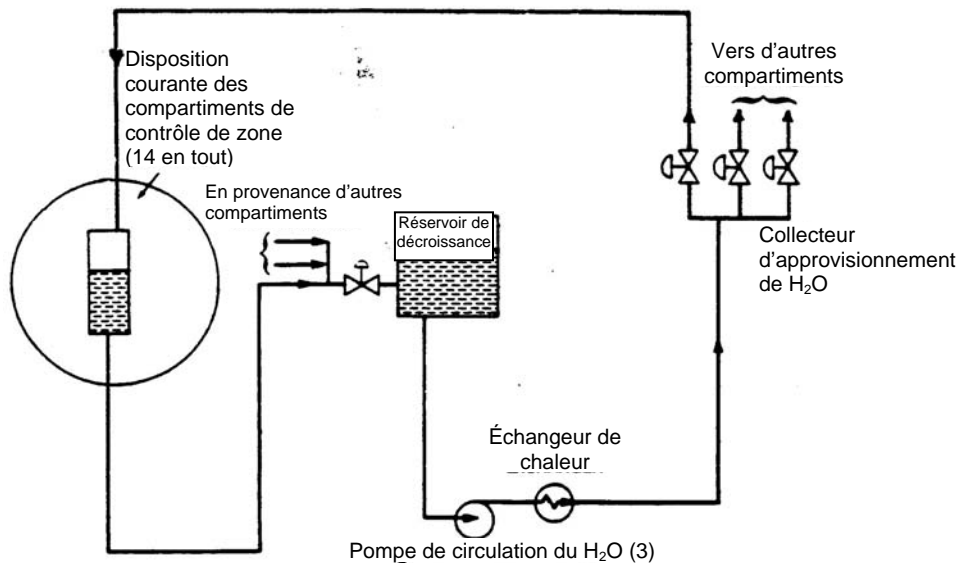
### 23.1 Notions principales

- Lorsque  $\Delta k$  (réactivité) est positif, la puissance du réacteur augmente. Lorsque  $\Delta k$  est négatif, la puissance du réacteur diminue.
- Le rechargement de combustible quotidien remplace la perte de réactivité par combustion, et permet de maintenir la réactivité à long terme dans le cœur.
- Certains mécanismes de contrôle de la réactivité permettent de mettre à l'arrêt rapidement le réacteur en cas d'urgence. Ces mécanismes servent à protéger le réacteur.
- Certains mécanismes de contrôle de la réactivité ajustent la réactivité de manière contrôlée afin de maintenir la puissance du réacteur à la puissance de sortie exigée. Ces dispositifs permettent de modifier la puissance du réacteur. Ils servent à la régulation de la puissance du réacteur.

### 23.2 Mécanismes de contrôle de la réactivité

#### 23.2.1 Contrôle fin de la réactivité

Le système de contrôle de zone liquide permet de contrôler  $k$  avec finesse dans le but de réguler la puissance du réacteur. Ce système maintient la puissance au seuil exigé ou la modifie de manière contrôlée. Il permet également de limiter les oscillations du flux.



**Figure 23.2**  
Système de contrôle de zone liquide (simplifié)

Il existe quatorze zones de contrôle dans un cœur CANDU. La figure 23.2 illustre la manière dont le système de contrôle de zone liquide contrôle la réactivité dans l'une de ces régions. Le compartiment d'eau ordinaire à niveaux variables se trouve près du centre de chaque zone. Des signaux provenant de l'ordinateur de commande permettent d'ajuster les vannes de contrôle du débit d'eau. Cela augmente ou diminue le niveau d'eau à partir de la position nominale qui est à moitié pleine. Le H<sub>2</sub>O absorbe des neutrons, ce qui élève le niveau d'eau dans un compartiment de zone et diminue la réactivité. La réactivité augmente lorsque le niveau d'eau baisse.

La puissance brute du réacteur est régulée en ajustant le niveau de H<sub>2</sub>O dans les quatorze compartiments de zone en même temps. L'ajustement indépendant des quatorze compartiments de zone permet d'atténuer les écarts locaux du flux. Cela est nécessaire pour amortir les oscillations du flux. Le cours sur la théorie nucléaire décrit les oscillations du flux.

### 23.2.2 Contrôle grossier de la réactivité

Le système de contrôle des zones liquides répond continuellement aux mesures de la puissance et fait de petits ajustements de la réactivité. Il ne peut pas effectuer des changements importants ou rapides de la réactivité. Il se remplit complètement ou se vide en essayant de répondre aux exigences de la réactivité.

Les barres absorbant des neutrons (barres de commande et barres de compensation) sont des dispositifs de contrôle de la réactivité qui permettent de modifier la réactivité de manière plus importante. Les ajustements du niveau du modérateur (utilisés à Pickering-A seulement) sont également des moyens permettant d'effectuer des ajustements contrôlés de la réactivité.

#### Barres de commande

Ces barres absorbant des neutrons sont constituées de tubes de cadmium gainés d'acier. Leur position normale est hors du cœur. Ils sont descendus dans le cœur afin de réduire la réactivité. (La réactivité augmente lorsqu'ils sont retirés du cœur).

La figure 23.4 illustre l'équipement des barres de commande. Un tube guide aligne les barres qui se déplacent entre les tubes de calandre dans le modérateur. Des câbles attachés au moteur permettent de soulever et d'abaisser les barres.

Ces barres permettent de réduire la réactivité afin de contrôler la puissance et de la porter à la valeur exigée lorsque les niveaux de zone

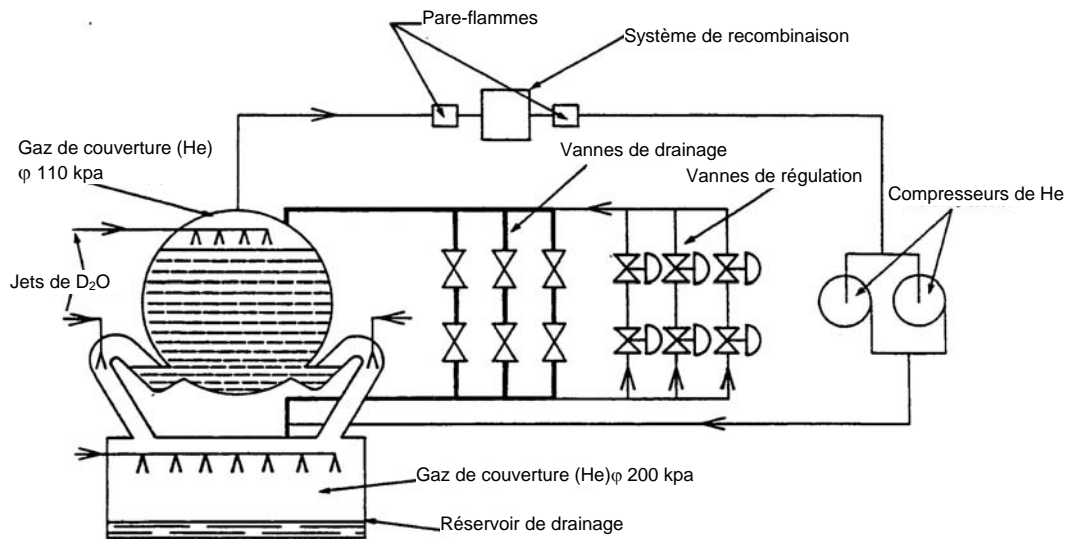
ne sont pas en mesure de le faire. Elles permettent également de réduire la puissance graduellement jusqu'à un niveau fixé d'avance lorsque certaines pièces d'équipement ont subi une défaillance.

En cas de défaillance grave, les barres sont insérées rapidement dans le cœur. Cette réduction rapide de puissance fait partie de la fonction de régulation normale de la puissance.

Des absorbeurs sont utilisés dans tous les réacteurs CANDU sauf dans les tranches de Pickering-A.

Contrôle du niveau du modérateur (Pickering-A seulement)

Le contrôle du niveau du modérateur fait partie du système de régulation dans les réservoirs de drainage. La figure 23.3 illustre les vannes de régulation et les vannes de drainage. La fuite de neutrons hors du cœur augmente à mesure que le niveau du modérateur baisse. Cela permet de réduire la puissance du réacteur. (La réactivité augmente à mesure que la calandre se remplit jusqu'à son niveau de fonctionnement normal).



**Figure 23.3**  
**Drainage du modérateur et contrôle du niveau à Pickering-A**

La notion du contrôle du niveau du modérateur et du drainage du modérateur a été vue précédemment. La pression dans le réservoir de drainage maintient le modérateur dans la calandre. Les vannes de régulation permettent d'ajuster le niveau du modérateur en contrôlant la différence de pression entre le réservoir de drainage et le dessus de

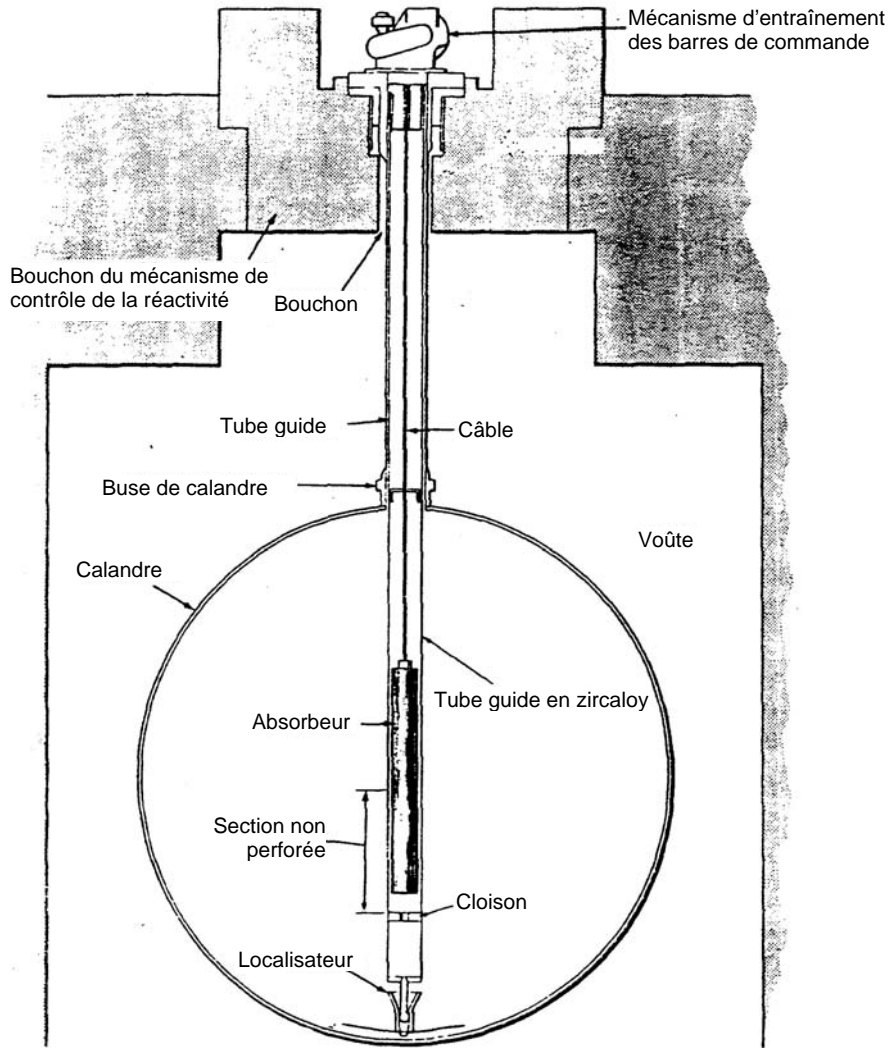
la calandre. Ceci permet de contrôler le débit d'eau lourde provenant de la calandre et se déversant dans le réservoir de drainage. (Les pompes, qui ne sont pas illustrées à la figure 23.3, retournent l'eau provenant du réservoir de drainage vers la calandre.)

#### Barres de compensation

Les barres de compensation sont des barres qui absorbent des neutrons et qui ressemblent aux barres de commande de la figure 23.4. Elles sont constituées de cobalt dans certaines centrales, et d'acier inoxydable dans d'autres. Le cobalt 59 stable absorbe des neutrons et devient du cobalt 60. Cet isotope radioactif du cobalt est utilisé à de nombreuses fins; traitement de certains cancers, équipement de stérilisation en médecine, irradiation des aliments et appareils à rayons X. La vente de cobalt compense partiellement le coût du combustible irradié qui résulte de l'absorption des neutrons dans les barres de compensation.

La position normale de ces barres est à l'intérieur du cœur. Dans leur position normale, les barres de compensation aplanissent le flux de neutrons en absorbant des neutrons dans la région centrale du cœur.

Une autre fonction des barres de compensation est qu'elles insèrent une réactivité positive lorsque le système de régulation du réacteur l'exige. Le retrait des barres de compensation hors du cœur retire les matériaux absorbants et ajoute de la réactivité positive. À l'origine, elles étaient conçues pour permettre d'éviter les pannes dues à l'empoisonnement en retirant les barres de compensation du cœur à mesure que le xénon s'accumulait.



**Figure 23.4**  
**Barres de commande, barres de compensation et barres d'arrêt**

Une grande insertion de réactivité positive est requise après une diminution de puissance importante. Les réductions de puissance augmentent la quantité de xénon absorbeur de neutrons dans le combustible. Le cours sur la théorie nucléaire décrit ces phénomènes transitoires du xénon. L'addition de réactivité positive en vue de compenser l'absorption par le xénon porte le nom de dépassement de l'empoisonnement par le xénon.

Tous les réacteurs CANDU sauf Bruce-A possède des ajusteurs. Bruce-A a été conçu pour utiliser des barres particulières afin de contrer le dépassement de l'empoisonnement par le xénon, mais celles-ci ne sont plus utilisées.

### 23.2.3 Réglages manuels et automatiques de la réactivité

Les positions des dispositifs de contrôle de la réactivité dans un réacteur qui fonctionne normalement sont : les barres de compensation insérées dans le cœur, la calandre pleine, les absorbeurs à l'extérieur du cœur et les compartiments de zone presque à moitié pleins. Le système de régulation demande aux dispositifs de régulation brute de fonctionner lorsque les niveaux des compartiments sont trop élevés ou trop faibles. La plupart de ces dispositifs répondent automatiquement.

Les opérateurs peuvent éviter des mouvements inutiles des dispositifs automatiques s'ils veillent à ce que les niveaux de zone ne s'écartent pas trop du niveau moyen de la plage de fonctionnement. Les opérateurs changent les niveaux de zone liquide indirectement en ajoutant manuellement des absorbeurs de neutrons au modérateur grâce au système d'addition de poison liquide, ou en enlevant des absorbeurs à l'aide du circuit d'épuration du modérateur. Par exemple, lorsque le système d'addition de poison liquide est utilisé pour ajouter du poison, le système de régulation maintient la puissance du réacteur stable en abaissant les niveaux de zone.

Une combinaison d'ajustement de concentration de poison et de chargement de combustible régulier permet de maintenir les niveaux de zone dans la plage de fonctionnement normal.

### 23.2.4 Systèmes d'arrêt automatique

Des instruments permettent de surveiller l'état du réacteur, notamment la pression du circuit caloporteur, la puissance du réacteur et le débit du caloporteur. Toutes mesures qui dénotent un risque possible d'endommagement du combustible, ou un autre état de fonctionnement non sûr, déclenche une mise à l'arrêt du réacteur. La mise à l'arrêt est un mécanisme de protection appelé arrêt du réacteur. L'arrêt survient automatiquement lorsqu'un paramètre de déclenchement (mesure) dépasse le seuil d'arrêt (limite d'exploitation sûre). L'opérateur peut arrêter manuellement le réacteur au besoin.

Les instruments et mécanismes des systèmes d'arrêt sont entièrement distincts des dispositifs utilisés pour la régulation de la puissance du réacteur. Les réacteurs CANDU possèdent deux systèmes d'arrêt distincts destinés à protéger le réacteur. Toutes les tranches utilisent des barres d'arrêt dans le système d'arrêt d'urgence 1 (SAU#1). Tous



les réacteurs CANDU, à l'exception de ceux de Pickering-A, utilisent le système d'arrêt d'urgence 2 (SAU#2) qui est un système d'injection de poison liquide. La figure 23.5 illustre ces deux systèmes courants. Pickering-A a recours au drainage du modérateur à titre de mécanisme de secours pour ses barres d'arrêt.

Figure 23.5

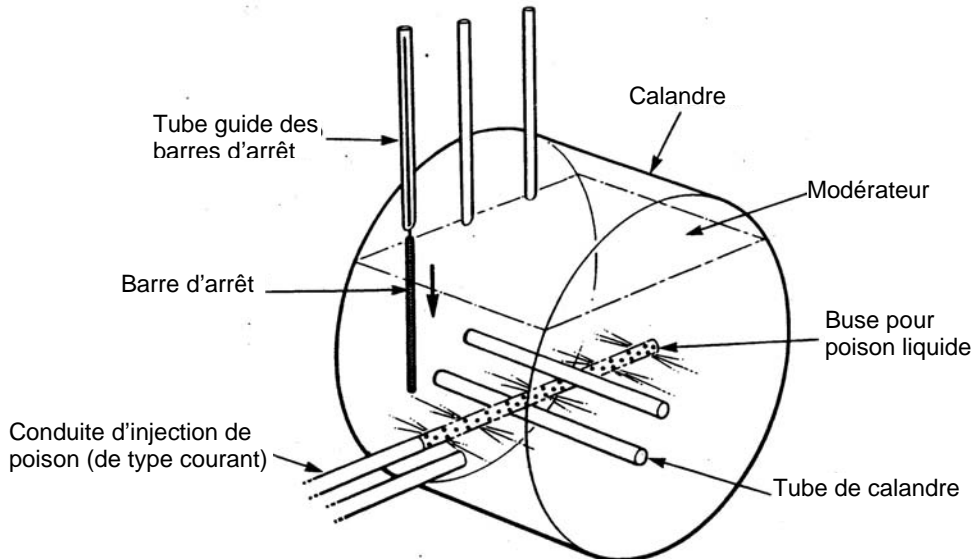


Schéma des barres d'arrêt et du système d'injection de poison liquide

#### *Barres d'arrêt*

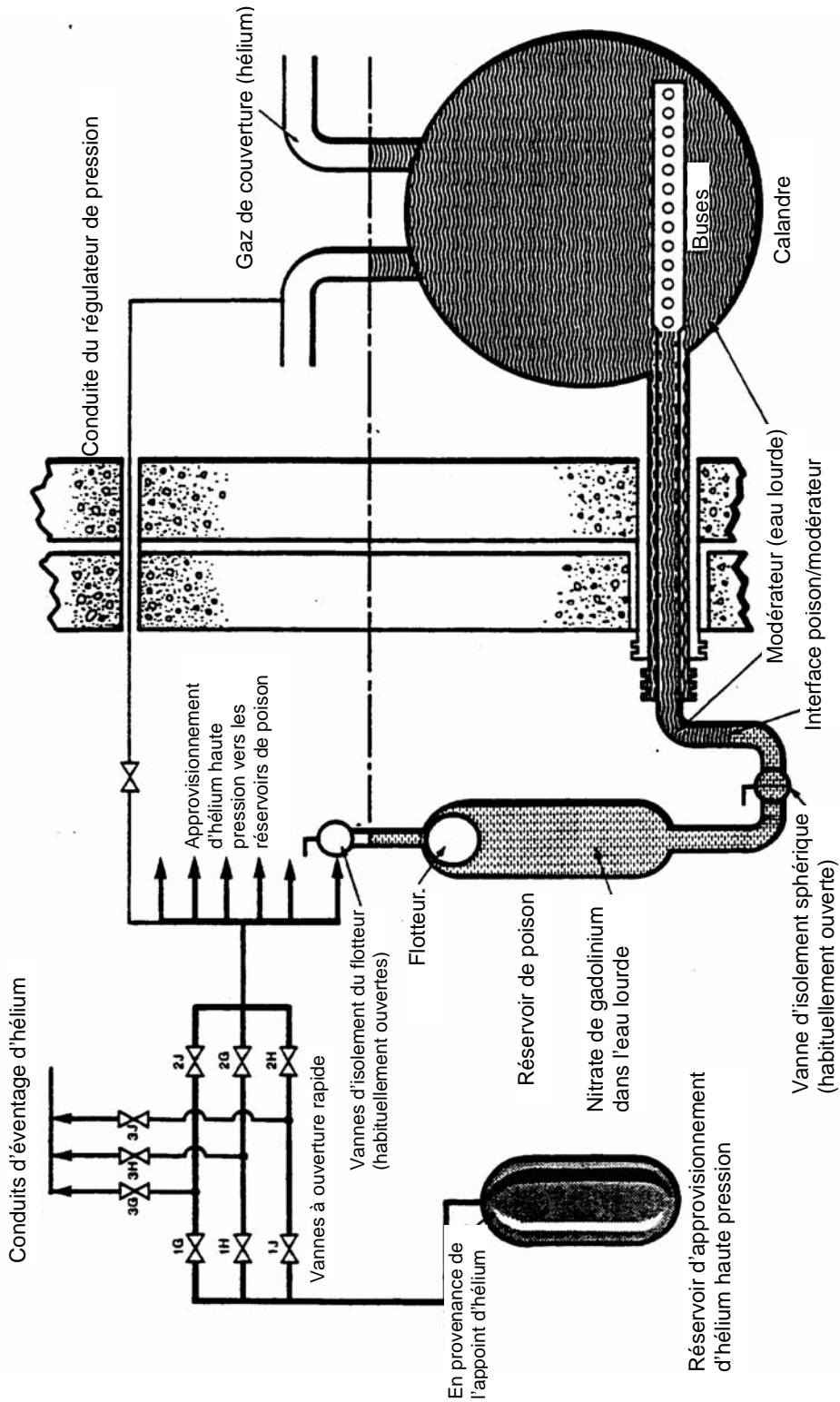
Les barres d'arrêt du SAU#1 sont des barres qui absorbent des neutrons, et qui sont presque identiques aux barres de commande de la figure 23.4. Un dispositif de serrage électromagnétique les maintient dans leur position normale, dans le tube guide au-dessus du cœur. Un arrêt du réacteur coupe l'électricité qui alimente les dispositifs de serrage. Les barres descendent alors dans le cœur en environ deux secondes. La plupart des centrales utilisent des barres d'arrêt à ressort et à action rapide.

#### *Système d'injection de poison liquide*

La figure 23.6 illustre le système d'injection de poison liquide (SAU#2). Le SAU#2 injecte automatiquement une grande quantité de poison absorbant de neutrons en quelques secondes. Il ne faut pas confondre ce système de protection avec le système d'addition de poison liquide, qui est utilisé pour effectuer de petites additions manuelles de poison.

Un signal indiquant l'arrêt du réacteur fait ouvrir les vannes à ouverture rapide illustrées à la figure 23.6. L'hélium à haute pression

fait sortir de force la solution de gadolinium hors des réservoirs de poison de manière à la déverser dans le modérateur. Le poison pénètre dans le modérateur par des tubes horizontaux, à raison de un tube par réservoir. Des buses dispersent le poison dans la calandre sur toute la longueur de chaque tube. À mesure que le réservoir se vide, une bille flottante surnage en suivant la surface de liquide et bloque la conduite de décharge. Cela permet d'éviter que l'hélium n'atteigne la calandre et que sa pression ne devienne trop élevée.



**Figure 23.6**  
Système d'injection de poison liquide

*Drainage du modérateur (Pickering-A seulement)*

La figure 23.3 illustre le système de drainage du modérateur, que nous avons vu dans un chapitre précédent. Lors d'un arrêt du réacteur, les grandes vannes de drainage s'ouvrent. Cela permet d'égaliser la pression dans la calandre et dans le réservoir de drainage. S'il n'y avait pas de pression dans le réservoir de drainage pour soutenir le modérateur, celui-ci tomberait dans les orifices de drainage vers le réservoir de drainage. À mesure que le niveau diminue, la fuite de neutrons augmente. S'il n'y avait pas de modérateur pour ralentir les neutrons rapides, ceux-ci s'échapperaient ou seraient absorbés sans causer de fission.

### 23.3 Principes de fonctionnement du mécanisme de contrôle de la réactivité

Le tableau 23.2 résume les principes sous-jacents à chacun des mécanismes de contrôle de la réactivité.

**Tableau 23.2 Principes de fonctionnement du réglage de la réactivité**

Principe de fonctionnement	Mécanisme de contrôle de la réactivité
Changement dans la quantité de matière fissile dans le cœur	Chargement de combustible
Ajustement des fuites de neutrons hors du cœur	Contrôle du niveau du modérateur
	Drainage du modérateur
Ajustement de l'absorption des neutrons dans le cœur	Contrôle de zone liquide
	Barres de commande
	Barres de compensation
	Barres d'arrêt
	Addition de poison liquide et épuration du modérateur
	Injection de poison liquide

### 23.4 Notions principales

- Le système de contrôle de zone liquide assure le réglage de la puissance du réacteur pendant l'exploitation normale. Il règle la sortie de puissance brute et aide à aplanir les fluctuations de puissance locale.
- La régulation efficace du réacteur nécessite parfois des changements de réactivité plus importants ou plus rapides que ce que le système de contrôle de zone liquide permet d'obtenir. Des barres de compensation permettent d'augmenter la réactivité. Des barres absorbantes (niveau du modérateur à Pickering-A) permettent de diminuer la réactivité.
- L'opérateur peut faire baisser les niveaux de zone indirectement en ajoutant des absorbeurs de neutrons grâce au système d'addition de poison. Le système de régulation, qui maintient automatiquement la puissance du réacteur à un niveau seuil, permet de faire baisser les niveaux de zone afin de maintenir la réactivité constante. De même, en enlevant le poison du modérateur, l'opérateur peut indirectement augmenter les niveaux de zone.
- Le personnel d'exploitation a recours au chargement de combustible, à l'enlèvement de poison (épuration) ou à l'addition de poison pour éviter que les niveaux de zone ne deviennent trop pleins ou trop vides.
- Des absorbeurs (ou niveau du modérateur) permettent de maintenir la puissance au niveau seuil lorsque les zones de liquide sont trop pleines pour le faire. Ils permettent également de réduire la puissance, soit par une réduction graduelle ou par une baisse soudaine.
- Les effets de la réactivité du xénon sont parfois trop importants pour le contrôle de zone liquide. Des barres de compensation permettent un dépassement de l'empoisonnement par le xénon. Les barres de compensation jouent également un autre rôle. Elles aplanissent le flux dans la région centrale du cœur.
- Les barres d'arrêt, le système d'injection de poison liquide et le drainage du modérateur (à Pickering-A) permettent d'effectuer une mise à l'arrêt rapide du réacteur en cas d'urgence.
- Des barres d'arrêt qui absorbent des neutrons sont insérées dans le cœur lorsqu'un signal de déclenchement coupe

l'alimentation des dispositifs de serrage. Ce système d'arrêt est le système d'arrêt d'urgence numéro un (SAU#1).

- L'hélium haute pression fait entrer de force une solution qui absorbe des neutrons dans le modérateur lorsque les vannes sont ouvertes entre le réservoir d'hélium et les réservoirs d'injection. Il s'agit du système d'arrêt d'urgence numéro deux (SAU#2).
- À Pickering-A, de grandes vannes de drainage s'ouvrent pour diminuer la pression dans le réservoir de drainage. Le modérateur ( $D_2O$ ) s'écoule hors du cœur vers le réservoir de drainage. Sans modérateur, les neutrons issus de la fission s'échapperaient hors du cœur, ou seraient absorbés sans causer de fission.

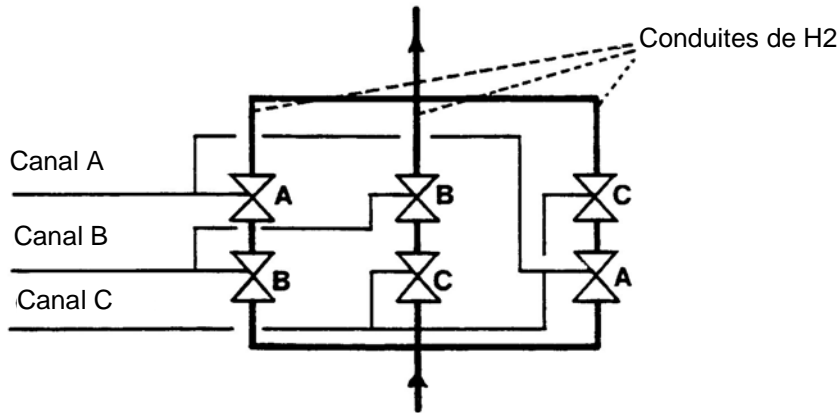
### **23.5 Système d'arrêt deux-sur-trois**

Les systèmes d'arrêt d'urgence doivent faire cesser le processus de fission rapidement en cas d'urgence. Le réacteur doit pouvoir être mis à l'arrêt au besoin, mais ne doit pas s'arrêter sans raison. Des arrêts intempestifs risquent d'être coûteux. Après de nombreux arrêts du SAU#1 et tous les arrêts du SAU#2, il est possible de redémarrer le réacteur dans les 35 à 40 heures qui suivent. Mis à part le coût de l'alimentation de remplacement, la réduction de puissance soudaine impose un dur labeur à l'équipement.

Les systèmes d'arrêt d'urgence sont constitués d'équipements très fiables. Des programmes d'entretien et des essais fréquents permettent de s'assurer que les systèmes d'arrêt fonctionnent correctement.

Une partie importante de la fiabilité de ce système est le mécanisme d'arrêt. La figure 23.7 illustre la séquence d'arrêt deux-sur-trois. La figure 23.3 (drainage du modérateur) et la figure 23.6 (système d'arrêt par injection de liquide) illustrent cette disposition de vannes. Des contacts électriques qui ouvrent les dispositifs de serrage en vue de déclencher le SAU#1 possèdent une disposition semblable.

Examinons le système d'arrêt de la figure 23.7. Il possède trois conduites d'hélium. Chaque conduite possède deux vannes en série. Trois canaux indépendants, appelés A, B et C envoient le signal d'arrêt aux vannes. Le signal A ouvre les deux vannes A, le signal B ouvre les deux vannes B et le signal C ouvre les deux vannes C.



**Figure 23.7**  
**Séquence d'arrêt courante**

Lors d'un arrêt normal, les trois canaux envoient simultanément des signaux d'arrêt. Toutes les vannes s'ouvrent. L'hélium s'écoule dans les trois conduites, ce qui cause un arrêt par injection de poison ou par drainage du modérateur.

Le système fonctionne également si seulement un ou deux conduites d'hélium s'ouvrent lors d'un arrêt. Pourquoi donc avoir trois conduites? Il existe trois raisons qui expliquent cette disposition de vannes illustrée à la figure 23.7.

- a) Il n'y a aucun arrêt du réacteur lors d'un signal intempestif dans un canal.

Supposons qu'un canal subit une défaillance, ce qui produirait un signal d'arrêt intempestif. Par exemple, une défaillance dans le transmetteur de signaux du canal A pourrait ouvrir les vannes du canal A. S'il n'y a qu'un ensemble de vannes ouvertes, l'hélium ne peut pas passer dans les trois conduites. Il n'y aura donc pas d'arrêt du réacteur.

Un arrêt inutile causé par ce type de défaillance d'équipement nécessite des défaillances simultanées dans les deux canaux pour qu'il y ait arrêt. Un équipement fiable est utilisé et est mis à l'essai et entretenu régulièrement. Pour cette raison, une défaillance unique est improbable. Le risque que deux canaux subissent simultanément des défaillances est extrêmement faible.

- b) Un arrêt survient même si un canal ne réussit pas à répondre à une situation d'arrêt réelle.

Lors d'un arrêt valide, si l'un des canaux ne réussit pas à transmettre un signal d'arrêt, le système fonctionne quand même. Par exemple, un transmetteur défectueux dans le canal A pourrait ne pas être en mesure d'envoyer un signal aux vannes du canal A. Les quatre autres vannes, actionnées par les signaux B et C, s'ouvriront. Le débit d'hélium dans la conduite en l'absence de vanne A ouvertes causera un arrêt du réacteur.

Encore une fois, l'équipement fiable est mis à l'essai et entretenu avec soin pour s'assurer qu'une défaillance unique soit improbable. Des défaillances simultanées dans deux canaux, qui pourraient rendre le système défectueux, sont extrêmement improbables.

Si un système d'arrêt subit une défaillance, l'autre système d'arrêt mettra à l'arrêt le réacteur. L'arrêt du réacteur en cas d'urgence réelle est presque certain.

c) Séquence d'arrêt « deux-sur-trois » permet d'effectuer l'entretien et les essais requis en cours d'exploitation sans perte de protection.

Un canal unique peut être mis à l'essai grâce à des mises à l'arrêt afin de savoir s'il fonctionne bien. Cela n'arrête pas le réacteur, en autant que les essais soient effectués sur un canal à la fois. Il n'y a pas de perte de paramètre de déclenchement en cas d'urgence réelle pendant les essais. Un signal d'arrêt dans un autre canal déclenchera le réacteur.

Il y a un risque accru de mise à l'arrêt inutile, causé par un arrêt intempestif dans un autre canal pendant les essais. Cela ne met pas en danger la sûreté du réacteur, mais demeure coûteux.

On peut effectuer un certain entretien en marche, un canal à la fois, lorsque le canal est à l'arrêt. Dans cet état, un signal d'arrêt sur l'un ou l'autre des autres canaux causera une mise à l'arrêt. Il n'y a pas de perte des paramètres de déclenchement si une urgence réelle survient pendant l'entretien. Encore une fois, il y a un risque accru de mise à l'arrêt inutile.

Il y a un avantage pour la sûreté si l'équipement qui subit une défaillance cause un signal d'arrêt d'un canal. L'équipement qui fonctionne en cas de défaillance est de l'équipement sûr en cas de défaillance. Par exemple, la défaillance d'un transmetteur du canal A en a) était celle d'un équipement sûr en cas de défaillance, parce que les vannes A se sont ouvertes. La défaillance d'un transmetteur dans l'exemple b) n'était pas un exemple d'équipement sûr en cas de



défaillance. On n'avait rien observé avant que le système soit requis, puis les vannes A ne se sont pas ouvertes.

Les systèmes de sûreté qui comportent des composantes sûres en cas de défaillance sont plus fiables. Supposons qu'une urgence réelle se produit, causant des conditions d'arrêt dans les trois canaux. Dans le premier exemple, comme le canal A s'est arrêté, un signal sur un deuxième canal arrêtera le réacteur. Dans le deuxième exemple, si le canal B ou le canal C ne s'arrête pas, le réacteur ne s'arrêtera pas.

Lorsqu'il s'agit d'équipement sûr en cas de défaillance, comme dans l'exemple a), il est habituellement évident qu'une défaillance est survenue. L'opérateur peut immédiatement ordonner que l'on procède à des réparations. Lorsque l'équipement subit une défaillance passive, comme dans l'exemple b), il est possible qu'on ne remarque pas la défaillance avant les essais courants. Dans l'intervalle, le système n'est pas fiable. Des essais fréquents visant à identifier les défaillances améliorent la fiabilité.

### **23.6 Notions principales**

- Dans un système d'arrêt deux-sur-trois, les dispositifs qui arrêtent le réacteur sont opérés par des signaux canalisés.
- Le dispositif d'arrêt et les signaux d'arrêt canalisés sont disposés de telle manière que deux signaux canalisés sur trois causeront un arrêt du réacteur.
- La défaillance d'une seule pièce d'équipement ne peut pas arrêter le réacteur. Deux ou trois arrêts de canaux sont requis pour un arrêt de réacteur. Cela limite le nombre d'arrêts inutiles.
- Une défaillance unique d'équipement ne peut pas empêcher le réacteur de s'arrêter. Les deux autres signaux d'arrêt de canal sont suffisants pour arrêter le réacteur.
- L'entretien et des essais du système d'arrêt d'urgence peuvent être effectués un canal à la fois sans perte des paramètres de déclenchement. Les dispositifs d'arrêt du réacteur sont activés dans le canal lors des essais ou de l'entretien. Tout autre signal d'arrêt des canaux arrêtera le réacteur.
- L'équipement du système d'arrêt d'urgence est très fiable. Un entretien adéquat permet d'assurer sa fiabilité de manière à ce que les défaillances simultanées d'équipement soient rares. Les

essais permettent d'identifier les défaillances uniques, alors l'entretien peut être effectué.

- Les composants sûrs en cas de défaillance sont des composants conçus pour fonctionner suite à une défaillance. Les systèmes de sûreté qui comportent de tels composants sont plus fiables. Il est plus probable que la défaillance soit remarquée immédiatement et corrigée rapidement, et pendant ce temps, le système continue à assurer la couverture complète des paramètres de déclenchement même si la défaillance n'a pas été trouvée et corrigée.

### 23.7 Exercices

1.
  - a) Nommer les deux rôles principaux des mécanismes de contrôle de la réactivité.
  - b) Nommer les deux grands principes de fonctionnement des mécanismes de contrôle de la réactivité.
2. Énumérer cinq causes des variations de réactivité autres que les mécanismes de contrôle de la réactivité. Classer les effets dans les catégories suivantes : long terme, moyen terme, ou court terme.
3. Dessiner un tableau dans lequel seront indiqués la fonction et le principe de fonctionnement de chacun des huit mécanismes de contrôle de la réactivité.
4. Nommer le mécanisme de contrôle de la réactivité utilisé particulièrement dans le cas d'un dépassement de l'empoisonnement par le xénon.
5. Donner trois raisons justifiant l'utilisation d'un système d'arrêt deux-sur-trois.
6. Décrire comment fonctionne la séquence logique d'arrêt (deux-sur-trois) servant à arrêter le réacteur :
  - a. Lorsque tout l'équipement du SAU fonctionne normalement;
  - b. Lorsqu'un canal ne s'arrête pas au moment requis.
7. Qu'est-ce qu'un dispositif sûr en cas de défaillance, et comment le fonctionnement d'un dispositif sûr en cas de défaillance dans un équipement de système de sûreté contribue-t-il à la sûreté du réacteur?