

22 Contrôle du flux de neutron

Si rien n'était fait pour aplanir le flux dans nos réacteurs, on obtiendrait une forme du flux comme celle illustrée à la figure 22.1. Le flux comporterait un maximum dans le combustible du réacteur (où les neutrons proviennent de toutes les directions) et diminuerait vers les limites (où les neutrons s'échappent dans le blindage).

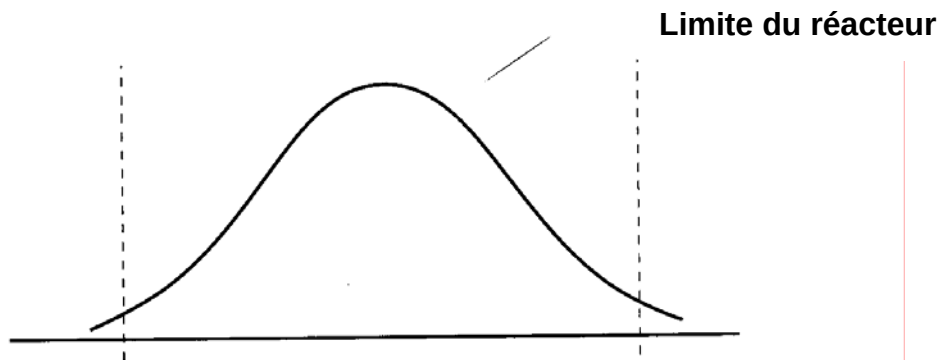


Figure 22.1
Distribution de la forme du flux non aplanie

Avec une distribution de ce type, le flux moyen est seulement d'environ 30 % du flux maximum. Le réacteur produirait 30 % de puissance qu'il pourrait normalement produire si toutes les grappes fonctionnaient à la même puissance que la grappe de combustible au centre du réacteur, qui fonctionne à la puissance maximale dans des limites de sûreté.

La distribution idéale du flux est parfaitement plane ($\phi_{\text{moyen}} = \phi_{\text{max}}$). Une distribution du flux parfaitement plane est impossible à atteindre, mais les réacteurs CANDU ont un flux moyen qui correspond à environ 60 % du flux maximum. Dans ce chapitre, nous verrons comment en arriver à cet aplanissement du flux.

L'augmentation du flux moyen sans augmentation du flux maximum comporte des avantages économiques importants sans compromettre l'exploitation sûre. Par exemple, sans flux aplani, la centrale nucléaire de Pickering produirait seulement la moitié de la puissance qu'elle

produit actuellement pour à peu près le même investissement de capitaux.

22.1 Réflecteurs

Nous avons vu précédemment l'utilisation des réflecteurs pour réduire les fuites, mais cela constitue seulement un avantage. Le réflecteur permet également d'aplanir la distribution du flux dans la direction radiale. La figure 22.2 illustre la distribution du flux dans un réacteur sans réflecteur et dans un réacteur avec réflecteur. Pour le même flux maximum (limité par le niveau de puissance maximum admissible du combustible), le réflecteur augmente le flux moyen en retournant les neutrons à la région de faible flux, près du bord du cœur.

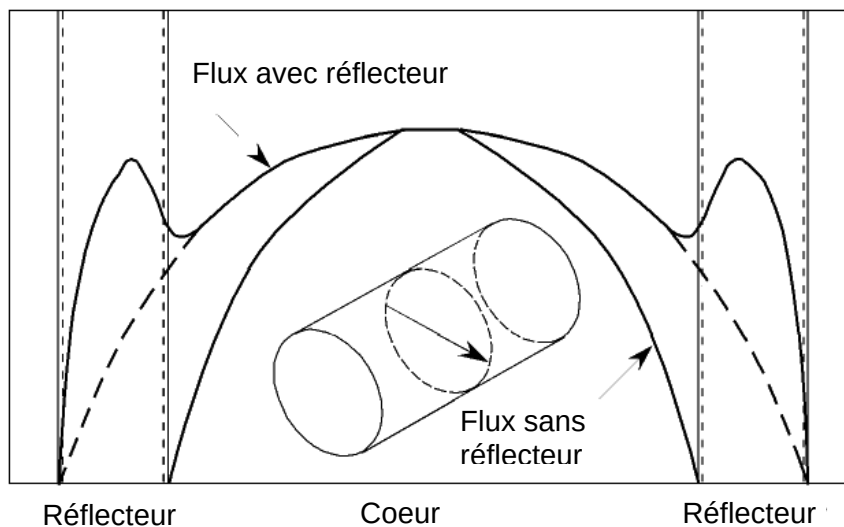


Figure 22.2
Effet de l'ajout d'un réflecteur

22.2 Chargement de combustible bidirectionnel

Le chargement de combustible des canaux de combustible adjacents dans des directions opposées a un effet d'aplanissement du flux dans la direction axiale. La figure 22.3 illustre ce phénomène.

Lorsque l'on recharge un canal de combustible, on ne change pas toutes les grappes de combustible, alors le combustible neuf (à l'extrémité du canal) génère davantage de neutrons que le combustible épuisé à la sortie. Le fait d'alterner la direction du chargement de combustible dans des canaux adjacents a pour effet d'augmenter le flux aux extrémités. L'importance de l'aplanissement dépend du nombre de grappes chargées lors de chaque chargement des canaux. Il est important d'aplanir le flux le moins possible.

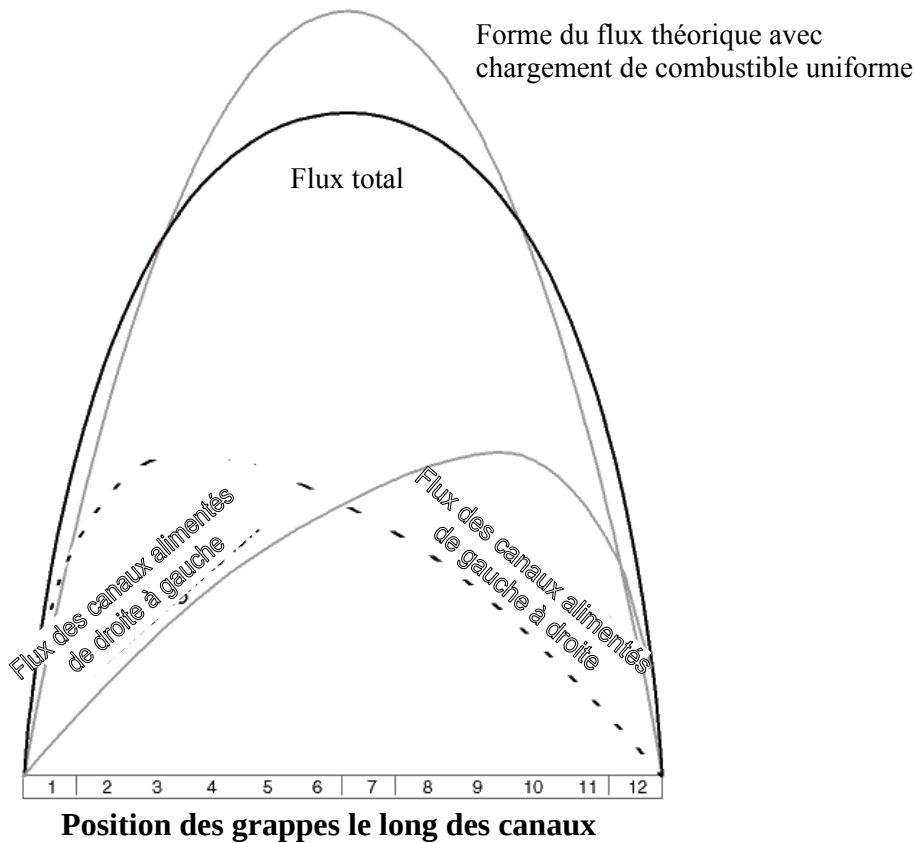


Figure 22.3
Effet du chargement de combustible bidirectionnel

22.3 Barres de compensation

La position normale des barres de compensation est d'être insérée entièrement dans les régions centrales du cœur. L'absorption de neutrons thermiques cause une dépression ou un « ajustement » du flux dans les directions radiales et axiales. La figure 22.4 illustre l'effet des barres de compensation sur la distribution du flux.
(Remarque : les réacteurs de Bruce-A ne possèdent pas de barres de compensation).

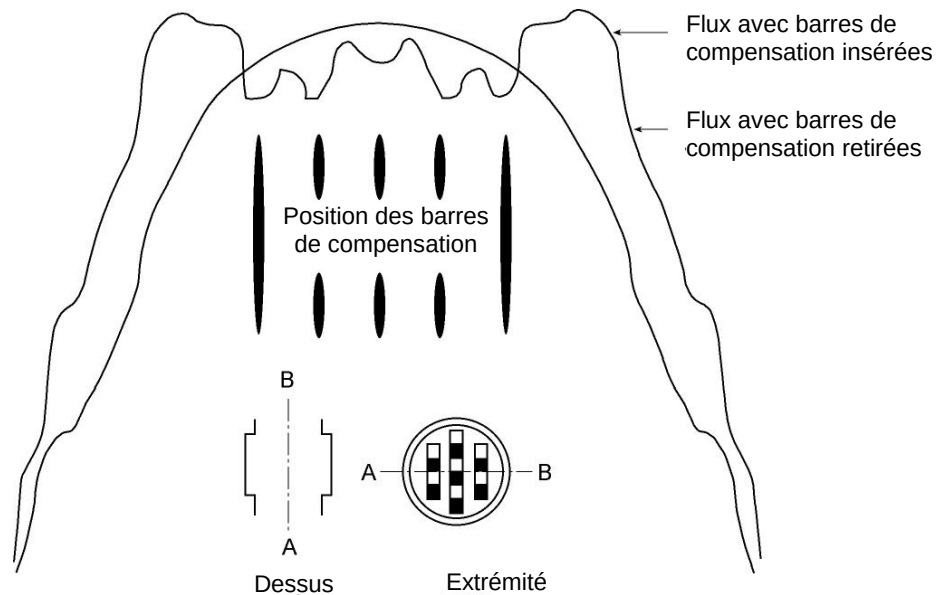


Figure 22.4
Effets des barres de compensation

L'aplanissement du flux grâce aux barres de compensation est plutôt efficace, mais il provoque une perte de combustion. L'utilisation des barres comporte des avantages au chapitre de la production d'énergie qui compensent largement le coût plus élevé en combustible.

Il existe peu de réacteurs CANDU qui utilisent le cobalt (cobalt 59) comme matériau absorbeur de neutrons dans les barres de compensation. Les barres de compensation sont remplacées périodiquement et le cobalt 60 est traité et commercialisé par MDS/NORDION. (Les barres de compensation qui ne sont pas utilisées pour la production de cobalt sont constituées d'acier inoxydable à absorption modérée de neutrons.)

22.4 Chargement de combustible différentiel

Le chargement de combustible différentiel signifie que les grappes dans les canaux centraux subissent une combustion moyenne plus élevée que les grappes situées dans les canaux extérieurs qui sont retirées après combustion incomplète. Par conséquent, les grappes du centre génèrent moins de neutrons issus de la fission, parce qu'elles contiennent moins de noyaux fissiles que les grappes extérieures. La figure 22.5 illustre cette méthode d'aplanissement du flux.

Ce sont là les principales méthodes d'aplanissement du flux choisies pour les réacteurs de Bruce A qui utilisaient anciennement des barres de dopage plutôt que des barres de compensation pour traiter

l'empoisonnement par le xénon. L'absorption additionnelle dans les produits de fission dans les grappes à combustion élevée au centre du cœur joue un rôle d'absorption dans les barres de compensation. Cela est plus efficace que d'utiliser des barres de compensation, mais il est nécessaire de procéder à des chargements de combustible additionnels dans les parties extérieures du cœur pour compenser la combustion élevée à l'intérieur du cœur et pour maintenir le réacteur à l'état critique.

Le chargement de combustible quotidien en marche est planifié par le responsable du chargement de combustible afin de maintenir une forme de flux plane optimale. Cela comprend le recours au chargement de combustible différentiel, bien que les réacteurs comportant des barres de compensation exigent moins de chargement différentiel pour obtenir les mêmes résultats.

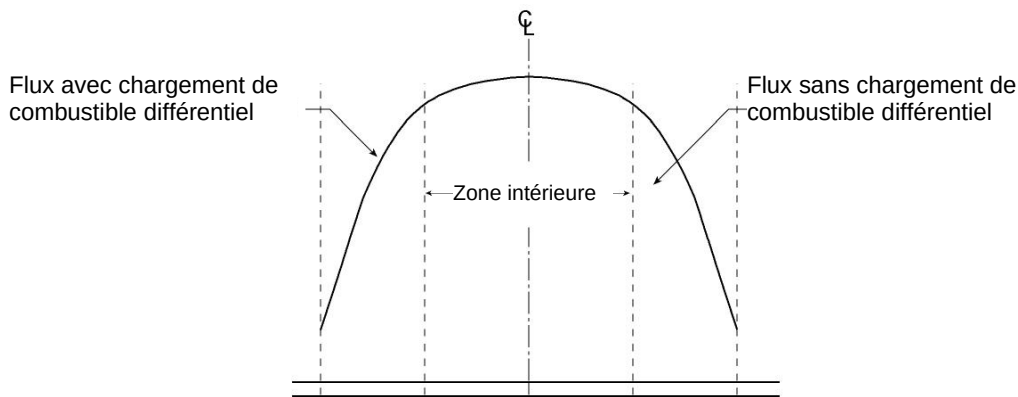


Figure 22.5
Effet du chargement de combustible différentiel

22.5 Oscillations du flux

Jusqu'ici, nous avons supposé que la distribution du flux est statique. Supposons maintenant que sans changer la puissance totale du réacteur, le flux soit augmenté dans une région du réacteur. Cela donne lieu habituellement à un rechargement de combustible dans un canal. Dans la région où le flux est plus élevé, le xénon subit une combustion plus rapide qu'avant le changement et sa concentration diminue. Cette diminution de la concentration de xénon cause une augmentation de la réactivité dans cette région, qui à son tour provoque une autre augmentation du flux. Cela peut donner lieu à une augmentation locale de la combustion de xénon, à une augmentation de la réactivité locale, à un flux plus élevé, et ainsi de suite.

Pendant ce temps, le système de commande essaie de maintenir la puissance brute constante de manière à ce que le flux loin des « points chauds » soit inférieur à ce qu'il était auparavant. Dans la région à faible flux, la concentration de xénon augmente à cause du taux de combustion plus faible, alors que l'iode continue de se désintégrer. Cette concentration accrue de xénon diminue la réactivité dans cette région, ce qui réduit le flux, provoquant à son tour une augmentation de la concentration de xénon, et ainsi de suite. Le flux thermique, et par conséquent la puissance, diminue dans cette région alors qu'il augmente dans une autre région, et la puissance totale du réacteur demeure constante.

Ces excursions de puissance locales ne se poursuivent pas indéfiniment. Dans la région de flux plus élevé, la production d'iode augmente. La production de xénon imputable à la désintégration de l'iode augmente graduellement et finit par réduire la réactivité. Le flux et la puissance diminuent éventuellement. De même, dans la région à faible flux, le xénon qui s'accumule se désintègre éventuellement, en augmentant la réactivité locale et en inversant le flux et la puissance transitoire dans cette région.

De cette manière, le flux et la puissance du réacteur peuvent osciller d'une région à une autre (d'une extrémité à l'autre, d'un côté à l'autre, du dessus vers le bas) à moins que des mesures soient prises pour les contrôler. Des calculs montrent que ces oscillations du xénon (également appelées basculements du flux) se répètent dans une période de 15 à 30 heures.

Étant donné que les oscillations du xénon se produisent à puissance globale constante, elles pourraient passer inaperçues si la distribution du flux n'était pas contrôlée à plusieurs points du réacteur. Ces oscillations constituent un danger pour l'exploitation sûre du réacteur. Elles peuvent provoquer des puissances de grappe ou de canal trop élevées.

L'un des objectifs du système de contrôle de zone liquide consiste à limiter ces oscillations. Il existe 14 compartiments d'eau ordinaire qui contrôlent la distribution de puissance dans 14 zones du réacteur. Chaque zone comporte deux détecteurs de flux qui surveillent la puissance moyenne à l'intérieur de la zone. L'ordinateur à commande numérique utilise les signaux afin d'ajuster les niveaux d'eau ordinaire dans chaque compartiment de contrôle de zone, de manière à maintenir la puissance dans chaque zone près de la moyenne.

Pour voir comment les zones d'eau ordinaire peuvent être utilisées, se reporter à la figure 22.6. Supposons qu'il y a seulement deux zones et qu'un basculement du flux se produit dans la zone 1 et que le flux dans la zone 2 diminue. En augmentant le niveau d'eau dans la zone 1 (compartiment de contrôle), davantage de neutrons sont absorbés. De même, en abaissant le niveau dans le compartiment de la zone 2, on réduit l'absorption de neutrons dans cette zone. Ainsi, les mesures prises dans les compartiments de contrôle de zone ramènent le flux à une distribution plane normale.

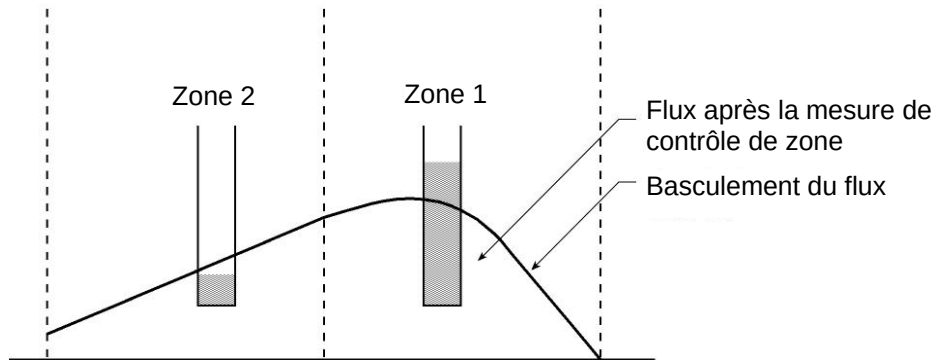


Figure 22.6
Système de contrôle de zone

22.6 Notions principales

- L'aplanissement du flux permet une meilleure distribution du flux dans l'ensemble du cœur.
- L'aplanissement du flux est effectué à la fois dans la direction radiale et dans la direction axiale dans le cœur.
- Les méthodes d'aplanissement du flux utilisées dans les réacteurs CANDU comprennent l'utilisation de réflecteurs, le chargement de combustible bidirectionnel, les barres de compensation, la combustion différentielle du combustible et les zones liquides.
- Les zones liquides sont dynamiques et amortissent les oscillations du flux causées par le xénon 135.

22.7 Exercices

1. Énumérer et décrire brièvement les cinq méthodes d'aplanissement du flux utilisées dans les réacteurs CANDU.
2. Pourquoi l'aplanissement du flux est-il souhaitable?
3. Expliquer comment les zones de contrôle de l'eau ordinaire sont utilisées pour éviter les oscillations du flux.