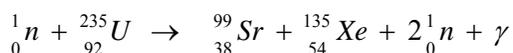


20 Un produit de fission agissant comme poison : le xénon

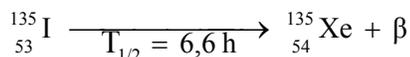
De nombreux produits de fission absorbent des neutrons. La plupart des sections efficaces d'absorption sont petites et ne sont pas importantes dans l'exploitation à court terme. Le xénon 135 possède une section efficace d'environ 3 000 000 barns, soit 4000 fois plus élevée que celle de l'uranium 235. En fait, chaque atome de xénon 135 absorbe autant de neutrons que 4000 atomes d'uranium 235. Environ 6,6 % de toutes les fissions produisent un nucléide de xénon 135, soit directement comme produit de fission, ou indirectement comme produit de filiation d'un produit de fission. Le xénon est un problème important dans nos réacteurs en raison de sa grande capacité d'absorption des neutrons et de son rendement élevé.

20.1 Production de xénon

Le xénon 135 est produit directement dans seulement 0,3 % de toutes les fissions d'uranium 235. L'exemple suivant est courant :



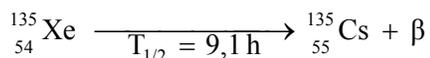
Le xénon 135 est essentiellement un produit de filiation d'un produit de fission, et est généré par la désintégration de l'iode, comme suit :



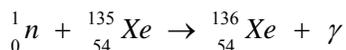
De l'iode 135 est produit dans 6,3 % des fissions d'uranium 235. Ainsi, la désintégration de l'iode représente environ 95 % de la production totale de xénon ($6,3/6,6 = 0,95$). L'iode 135 n'absorbe pas de neutrons.

20.2 Perte de xénon

Le xénon est éliminé du réacteur par désintégration, comme suit :



ou par absorption de neutrons (capture radiative) :



Le taux de combustion dépend du flux de neutron. Pour un réacteur CANDU exploité à pleine puissance, l'absorption des neutrons représente environ 90 % des pertes de xénon 135, et la désintégration représente seulement 10 % de ces pertes. Le césium 135 et le xénon 136 n'absorbent pas de neutrons.

20.3 Charge de xénon à l'équilibre

Il n'y a pas de xénon dans le combustible d'un réacteur qui est à l'arrêt depuis longtemps (ou qui n'a jamais été exploité). Le xénon s'accumule tranquillement jusqu'à un niveau d'équilibre, après le démarrage du réacteur. Le niveau d'équilibre dépend de la puissance du réacteur en régime permanent. La figure 20.1 illustre la charge de xénon en fonction du temps pour différents niveaux de puissance. Pour les réacteurs CANDU à pleine puissance, la charge de xénon s'accumule jusqu'à environ 28 mk de réactivité négative en 35 heures ou environ.

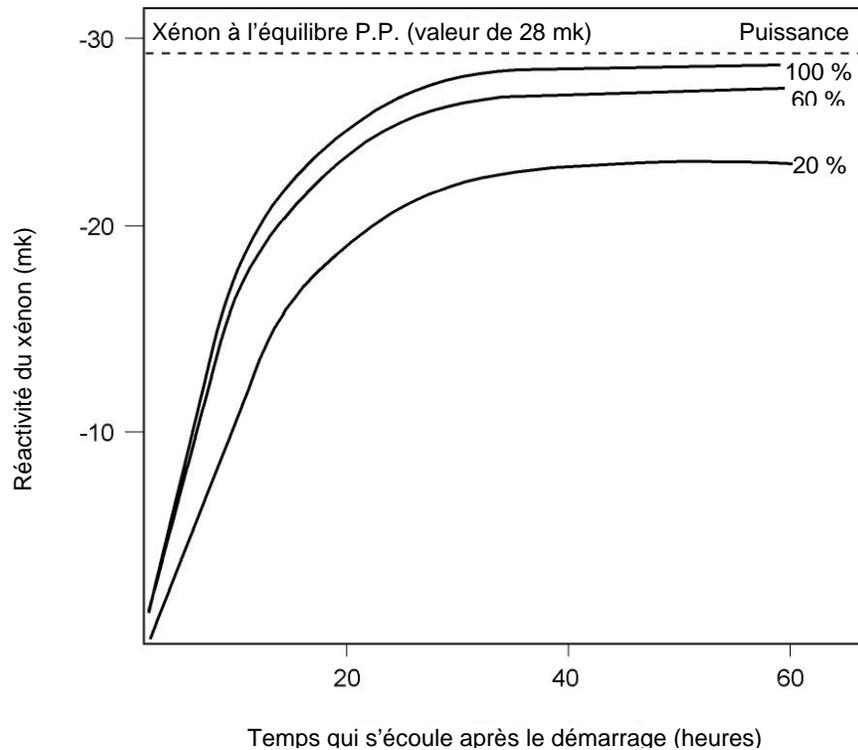


Figure 20.1
Accumulation de xénon jusqu'à l'équilibre

Cette réactivité négative (-28 mk) est toujours présente pendant l'exploitation normale constante, sauf durant les premières heures après le démarrage. La conception du réacteur comprend suffisamment de réactivité positive en excès pour compenser la charge normale de -28 mk.

Lorsque la charge de xénon normale n'est pas présente, les opérations doivent compenser la réactivité positive en excès avec des produits chimiques absorbeurs de neutron. Le poison soluble (bore ou gadolinium) est ajouté au modérateur pour compenser le xénon qui manque. À mesure que la concentration de xénon augmente, la combustion, ou l'épuration par échange d'ions élimine le poison.

20.4 Transitoires du xénon

Après avoir exploité le réacteur pendant environ 35 heures, le xénon est près de son niveau d'équilibre. Cela cause alors des problèmes seulement si la puissance du réacteur est modifiée. Par exemple, examinons ce qui se produit pour la production et la perte de xénon 135 immédiatement après un arrêt du réacteur (ou une réduction rapide de la puissance à 0 %).

a) Production :

- à cause de la fission (5 %) – arrête immédiatement
- à cause de la désintégration de l'iode (95 %) – continue

Résultat—à court terme, la majeure partie de la production continue.

b) Perte :

- par désintégration (10 %) - continue
- par absorption de neutrons (90 %) – arrête immédiatement.

Résultat—à court terme, la majeure partie de l'élimination s'arrête.

La conséquence d'une production continue sans élimination est une augmentation marquée de la concentration de xénon immédiatement après un arrêt. La figure 20.2 est un graphique qui représente la charge de xénon en fonction du temps après un arrêt à pleine puissance.

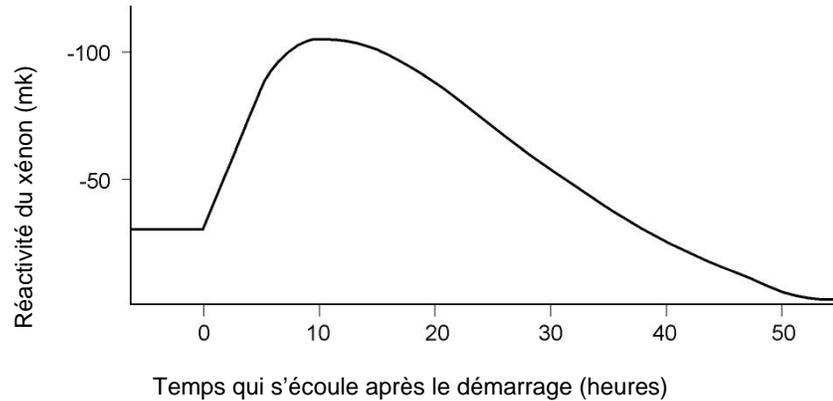


Figure 20.2
Comportement du xénon

À noter que la réactivité négative imputable aux pics de xénon environ 10 heures après une mise à l'arrêt total, à un niveau beaucoup plus élevé que la charge d'équilibre de 28 mk, est importante. Au pic du transitoire, la désintégration du xénon 135, qui a augmenté par ce qu'il y a davantage de xénon, correspond à la production de xénon par désintégration d'iode, qui a diminué parce qu'il y a maintenant moins d'iode. La désintégration de l'iode diminue continuellement, ce qui réduit la production de xénon. Lorsque le pic est passé, la désintégration du xénon dépasse la production et la courbe diminue graduellement vers un état normal et inférieur.

Toute réduction de puissance cause un pic de xénon transitoire. Plus la réduction de puissance est faible, plus le pic est faible et plus il se produit rapidement. Par exemple, pour une réduction de puissance de 100 % à 60 %, il y a encore une production en excès initial par rapport aux pertes, mais un flux de neutron important demeure pour effectuer la combustion du xénon. La hauteur du pic et sa durée sont réduites, et le pic survient plus tôt. La figure 20.3 comprend un écart de réactivité courant pour une réduction rapide de puissance (recul rapide de puissance) à 60 %.

Lors d'un accroissement de puissance après une exploitation régulière à faible puissance stable (disons de 60 % à 100 %), l'effet inverse se produit. Le xénon subit une combustion rapide alors que la production imputable à la désintégration de l'iode demeure faible. La réactivité augmente et le système de contrôle doit insérer de la réactivité négative pour compenser cette dernière. L'addition de poison au modérateur joue ce rôle.

20.5 Évitement et dépassement de l'empoisonnement

Le retrait des barres de compensation du cœur du réacteur contribue à ajouter de la réactivité positive, jusqu'à un maximum de 15 ou 20 mk, selon le type de réacteur. La réactivité positive en excès est requise pour maintenir l'exploitation du réacteur pendant les faibles transitoires du xénon. Comme l'indique la figure 20.3, les barres de compensation peuvent résister à un recul rapide de puissance allant jusqu'à 60 %.

Si la réactivité négative due au xénon dépasse la réactivité positive disponible des barres de compensation, le réacteur devient sous-critique et il n'existe aucun moyen de le redémarrer. On dit qu'il est empoisonné. La figure 20.3 illustre ce phénomène pour un arrêt à pleine puissance, d'un réacteur qui est empoisonné et qui ne peut pas être redémarré avant 35 heures ou environ après l'arrêt, lorsque le xénon se sera désintégré jusqu'au niveau d'équilibre près de -28 mk.

Le fait de maintenir la puissance du réacteur près de 60 % (ou plus) permet d'éviter un empoisonnement du réacteur. Il est important de constater que lors d'un arrêt des turbines, il peut être économique de maintenir le réacteur en état d'exploitation et de diriger la vapeur vers un condenseur (ou vers l'atmosphère). Nous appelons ce mode d'exploitation « évitement de l'empoisonnement ».

Trente-cinq à quarante minutes après un arrêt, la réactivité négative imputable au xénon dépasse la réactivité positive des barres de compensation (voir figure 20.3 à nouveau). Si le réacteur est démarré pendant cette période de 35 à 40 minutes qui est le temps de dépassement de l'empoisonnement et qu'il est amené en mode de puissance avant l'empoisonnement, le xénon subira une combustion rapide et là il pourra ainsi éviter l'empoisonnement.

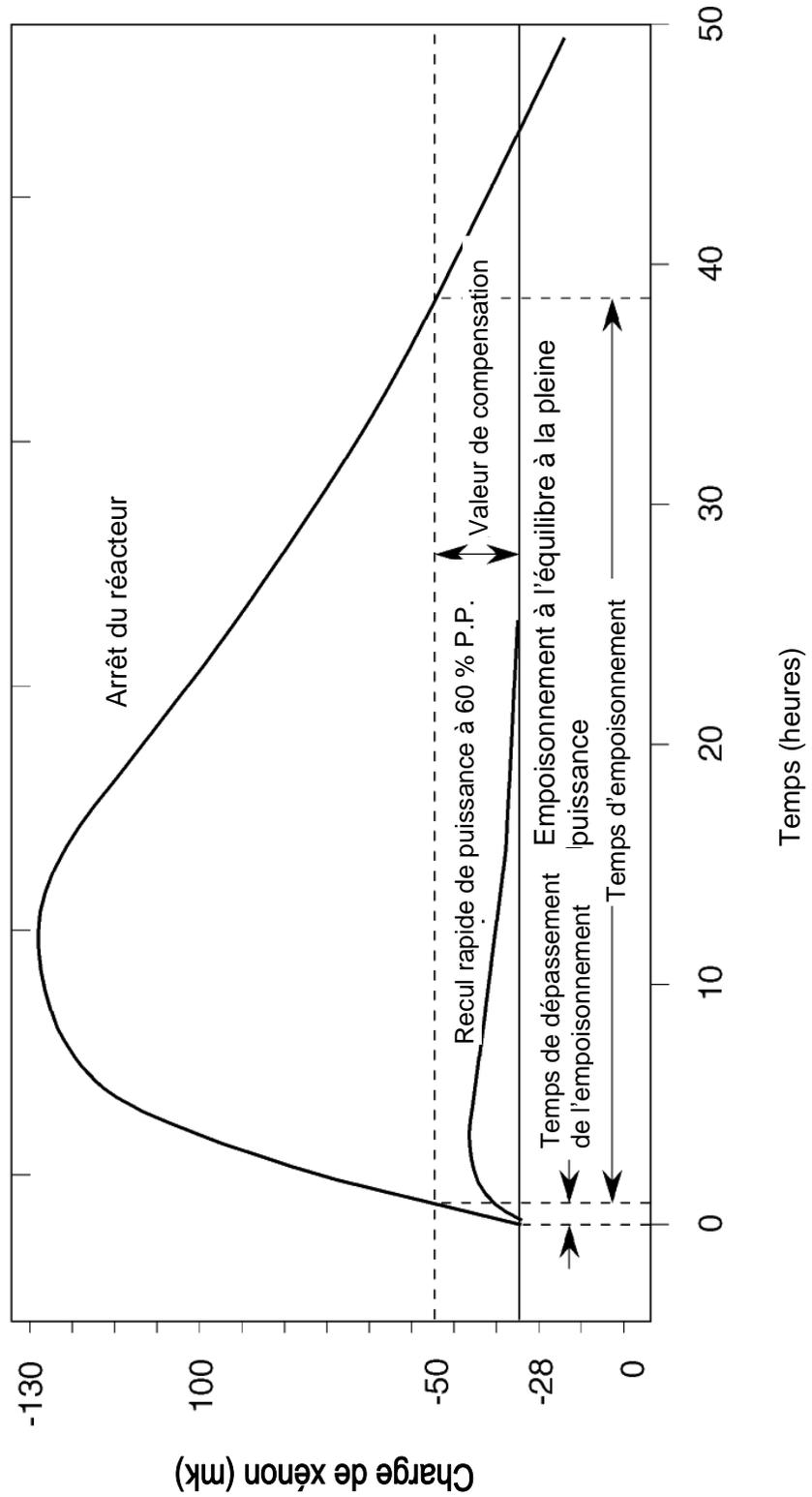


Figure 20.3
Réactivité du xénon transitoire

Le dépassement de l'empoisonnement est possible en principe et fait partie de la conception du réacteur, mais est rarement pratique. Avant de redémarrer le réacteur suite à un arrêt, il est important de déterminer la cause de l'arrêt et d'éliminer la défaillance. Un certain nombre de vérifications sont requises avant de déterminer si l'arrêt était un arrêt intempestif (c'est-à-dire un arrêt qui ne se produit pas en réponse à une défaillance réelle). Le personnel de la salle de commande doit prendre la décision de redémarrer environ 20 minutes après l'arrêt parce que les barres de compensation se retirent très lentement. Les réparations ou vérifications suite à un arrêt prennent habituellement plus de temps que cela. Des procédures de fonctionnement qui ne permettent pas aux opérateurs de « contrer l'empoisonnement » éliminent la tentation de prendre des raccourcis.

20.6 Autres effets

Dans un grand réacteur à flux élevé, le xénon peut causer une augmentation du flux dans une partie du réacteur, alors que le flux diminuera ailleurs. Plutôt que la forme de flux plane illustrée précédemment, des pics et des creux sont observés. Ce problème opérationnel sera discuté de manière plus approfondie dans d'autres chapitres.

20.7 Exercices

1. Illustrer le comportement du xénon lors d'un arrêt du réacteur qui fonctionnait à pleine puissance.
2. Expliquer pourquoi un empoisonnement par le xénon se produit.
3. Examiner la question de la production et de la perte de xénon, y compris l'importance relative de chacune d'elles dans les cas suivants :
 - a) au démarrage;
 - b) lors d'une diminution de puissance à partir de la pleine puissance stable;
 - c) lors d'une augmentation de puissance à partir de 60 % de puissance stable.
4. Quelles sont les caractéristiques du xénon 135 et de sa production qui en font un produit de fission parmi les plus importants au chapitre de ces effets sur la réactivité?

