

Questions à réviser

Contrôle de la réactivité d'un cœur

1. Nature de la réserve de réactivité. Utilisation et dimensionnement.

En début de vie, un cœur de réacteur, sans les grappes de contrôle, a une réactivité positive appelée réserve de réactivité et notée ρ_R . Elle sert à compenser les antiréactivités introduites par les effets de température, les empoisonnements de certains produits de fission (xénon, samarium) et, bien entendu, l'usure du combustible.

Pour qu'un réacteur puisse fournir une puissance donnée P , pendant une durée donnée J (*valeurs imposées par l'utilisateur*), il faut que le cœur dispose donc d'une certaine réserve de réactivité en début de vie.

2. Nécessité de la réactivité vitale et durée d'exploitation.

En rassemblant toutes les conditions défavorables, il faut conserver la réactivité que le cœur doit compenser à tout moment pour pouvoir diverger. Celle-ci est négative lors d'un passage d'un état froid à un état chaud.

On appelle cette réactivité positive à garantir, la **réserve de réactivité vitale**, notée ρ_v :

$$\rho_v = - (\Delta\rho_m + \Delta\rho_u + \Delta\rho_x + \Delta\rho_g)$$

Cette réserve de réactivité vitale n'évolue pratiquement pas au cours du cycle. Le cœur doit être capable de fournir sa puissance maximale P , pendant J jours (exprimés en JEPP). Il faut donc que le combustible dispose, tout au long du cycle, d'une réserve de réactivité suffisante pour satisfaire à cette demande d'énergie.

3. Origine et importance de la reprise froid-chaud.

Elle est due aux effets de température nécessairement contre-réactifs. Dans le cas d'une reprise froid - chaud, la variation de température du modérateur (ΔT_m), comme du combustible (ΔT_u), est positive (*température finale - température initiale*). Lorsque la température de l'eau primaire (*caloporteur*) croît, elle introduit, par contre - réaction, une **antiréactivité** (*correspondant à l'effet MODERATEUR*) notée :

$$\Delta\rho_m = \alpha_m \cdot \Delta T_m$$

Dans tous les cœurs dont l'uranium est faiblement enrichi (enrichissement commercial inférieur à 5% en U235), lorsque la température du combustible croît par augmentation de la puissance dégagée dans le cœur, il apparaît de l'anti-réactivité non négligeable, c'est l'**effet DOPPLER** :

$$\Delta\rho_u = \alpha_u \cdot \Delta T_u$$

$\Delta\rho_m$ et $\Delta\rho_u$ sont des valeurs négatives (car α_m et α_u sont négatifs). Au total il faut s'attendre à plusieurs milliers de pcm.

4. Description des différents moyens de contrôle.

Les moyens de contrôle du cœur sont les suivants :

- les **grappes de commande** regroupées et manœuvrées selon **différents groupes**,
- **le bore soluble**,
- les **poisons consommables** (barreaux de gadolinium ou de silice borée) qui aident les grappes de contrôle en compensant la réactivité en diminution. Ils disparaissent au long de la vie du réacteur.

5. Justification des trois fonctions des moyens de contrôle.

Fonctions de sécurité

Le réacteur doit pouvoir être rendu sous-critique très rapidement et à tout moment de sa vie. L'arrêt par alarme se fait par la chute de toutes les grappes de contrôle, plus éventuellement par une injection de bore.

Fonction de compensation

Le rôle de compensation est de **maintenir le réacteur critique** vis à vis de la variation de réactivité dont la cause peut être l'usure du combustible ou un empoisonnement variable par les produits de fission, ou la disparition des noyaux de poisons consommables,

Fonction de régulation

Toute variation de puissance extraite, conduit, par des effets de contre-réactions de température, à une variation de la puissance neutronique fournie par le cœur : il y a autorégulation. Il peut être nécessaire dans certains cas (grande variation de puissance, démarrage), de manœuvrer les grappes de contrôle. La réponse du circuit de borication n'est pas assez rapide. Le primaire doit être maintenu dans le domaine de fonctionnement (*température et pression*) optimal de l'échangeur.

6. Exemples de transitoires normaux ou accidentels

On appelle transitoires des déplacements d'équilibre rapides du fait de perturbations brèves ou brutales de paramètres neutroniques ou thermodynamiques. L'équilibre est retourné généralement par les contre-réactions du modérateur ou Doppler qui assurent l'autostabilité du réacteur.

On peut donc envisager mouvements de grappes, dilution-apport de bore soluble, démarrage ou arrêt de pompage, modifications des extractions de vapeur au secondaire, tous transitoires d'exploitation normaux.

Les transitoires accidentels sont bien sûr plus violents et la sûreté exige de les étudier pour éviter des pertes de confinement par rupture de gaine ou de cuve : rupture du collecteur vapeur au secondaire, rupture de la liaison pressuriseur-cuve ou encore éjection de grappes par rupture de la soudure sur le couvercle de la cuve.

7. Méthode d'étude d'un transitoire.

Cela consiste à tracer l'évolution des différents paramètres thermodynamiques et de la réactivité au cours de la perturbation et à examiner les risques que comporte le transitoire. On commence par caractériser l'état initial et identifier la perturbation. Ensuite il faut identifier le paramètre qui subit le premier l'influence de la perturbation et qui va **déstabiliser l'ensemble des autres paramètres**. Il est important de bien différencier les paramètres qui subissent instantanément des effets de ceux qui réagissent avec retard, dû en particulier au temps de transit dans les circuits. Une fois déterminée l'évolution initiale de l'ensemble des paramètres de la centrale, il faut intégrer **l'influence des contre-réactions de températures** qui vont s'opposer à ces évolutions, et en principe **ramener automatiquement le système** vers un nouvel équilibre.

Il faut relier les évolutions initiales à l'état final pour obtenir la réponse globale à la perturbation. On s'intéresse alors aux **paramètres dont l'évolution peut présenter des risques** dans des conditions plus sévères (*augmentation des températures du cœur, excursion de puissance, pic de réactivité...*) et donc prendre comme objectif la tenue des barrières.

8. Différents types de grappes, avantages et inconvénients

Les **absorbants mobiles** sont en alliage d'argent, d'indium et de cadmium (AIC, respectivement à 80%, 15% et 5 %). Leur répartition dans le cœur répond à certaines exigences. Il est inutile de placer les grappes dans les régions à faible flux, la périphérie du cœur par exemple. Il serait aussi totalement inefficace de placer deux grappes de contrôle côte à côte (effet d'ombre).

On distingue **3 principaux types de grappes** :

- les **grappes d'arrêt** (fortement antiréactives, utilisées pour étouffer la réaction en chaîne et pour garantir à l'arrêt une réactivité totale suffisamment négative pour se prémunir de tout risque d'accident de réactivité,
- les **grappes de régulation de température** (fortement antiréactives, toujours un peu insérées dans le cœur),
- les **grappes de régulation de puissance** (peu antiréactives, rarement totalement extraites).

9. Mode de pilotage EdF. Pourquoi a-t-on supprimé les modes A et B ?

A l'origine, le " mode B " était un mode de pilotage NOIR.:

- 6 groupes de **8 grappes longues**
- **5 grappes courtes** pour le contrôle de l'axial offset.

Les grappes courtes, positionnées en partie centrale du cœur (*maximal de flux*), permettaient le contrôle parfait de l'axial offset. Les pics de puissance étaient mal contrôlés du fait de pincements de flux de part et d'autre de la partie centrale du cœur. Ces **pincements de flux** pouvaient occasionner à terme l'apparition d'oscillations Xénon et donc, des **pics de puissance importants** et une mauvaise utilisation du combustible.

Le **mode A** est un mode de pilotage NOIR. Il prévoit **l'interdiction d'utilisation de grappes courtes**, les pics de puissance sont ainsi évités, et un **temps de séjour limité** des grappes noires en position basse afin d'éviter l'apparition d'oscillations Xénon. Ce mode est peu souple et présente une incompatibilité du contrôle de l'axial offset avec les besoins de contrôle de la réactivité.

Les modes G et X (palier N4) utilisent des grappes grises et remplacent fonctionnellement les grappes courtes ainsi qu'un certain nombre de grappes noires. Les 8 à 12 crayons absorbants, plus des crayons "blancs" peu absorbants perturbent donc moins les répartitions de puissance.

Les grappes de commande sont manœuvrées par recouvrement, recouvrement plus élaboré pour le mode X du palier N4.

10. Oscillations xénon et axial-offset

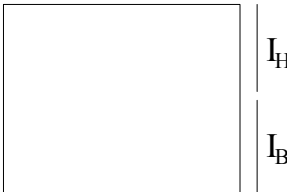
Toute baisse de flux entraîne - à court terme - une augmentation de la concentration du xénon et, de même, toute augmentation du flux entraîne une baisse du xénon. Il y a là un mécanisme de contreréaction par nature instable.

Supposons qu'une perturbation crée une petite baisse de flux dans une moitié du cœur, et une petite hausse dans l'autre moitié. Dans la première moitié, la baisse de flux induit une augmentation du xénon (moins absorbé), donc une baisse du

facteur de multiplication, accentuant la baisse du flux... Dans l'autre moitié, l'augmentation du flux peut, de la même façon, s'accroître. Le xénon est plus absorbé, donc l'antiréactivité qu'il apporte diminue... Si la baisse et l'augmentation se compensent sur tout le cœur, la puissance totale ne varie pas et, si seule cette puissance totale est surveillée, l'opérateur ne peut pas soupçonner le basculement qui s'enclenche et se développe. À la limite, toute la puissance serait libérée dans une seule moitié du cœur... et comme cette puissance se traduit par une montée locale en température du combustible, les températures qui y seraient atteintes dépasseraient certainement ce qui peut être toléré pour la tenue des gaines.

Un autre mécanisme vient contrecarrer le basculement que tend à créer l'effet xénon. C'est la migration des neutrons qui tend, au contraire, à uniformiser le flux entre les différentes zones du cœur. Si le cœur est petit, la migration joue efficacement et l'emporte, et tout basculement est spontanément étouffé. Si le cœur est grand au contraire, c'est l'effet xénon qui l'emporte et le basculement peut survenir. On dit alors qu'un tel réacteur est instable spatialement. Des oscillations peuvent survenir et entraîner des montées très importantes du flux dans une moitié du cœur.

Les **seules mesures accessibles à l'opérateur** sont les courants I_H et I_B des chambres longues disposées dans les moitiés supérieure et inférieure du cœur. Le déséquilibre axial de puissance ou " axial offset " s'écrit :

$$AO = \frac{I_H - I_B}{I_H + I_B}$$


L'opérateur surveille donc en fonction du pompage et de la puissance extraite cette valeur de l'axial-offset.

11. Diagramme de fonctionnement, contrôle de la puissance et axial-offset

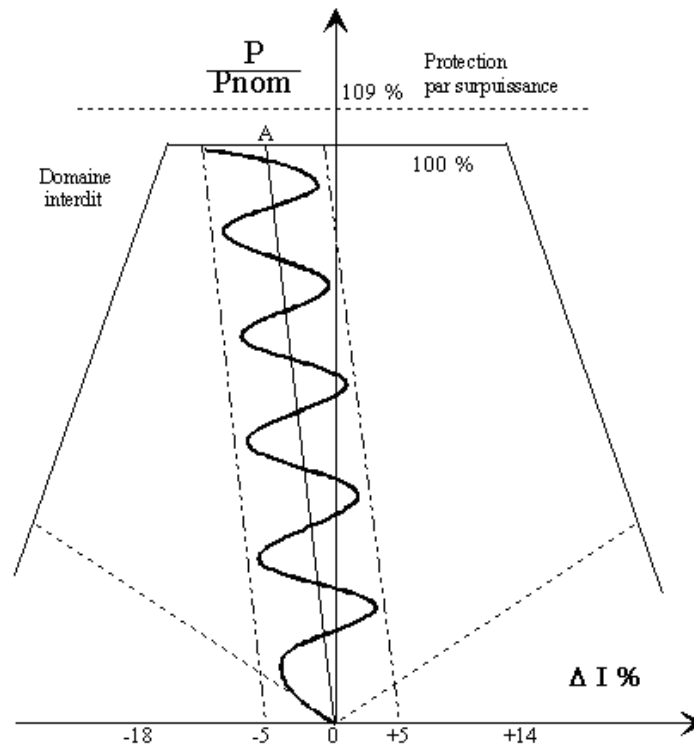
Il faut pouvoir expliquer le diagramme de la page suivante avec les raisonnements de la question précédente.

Afin d'éviter le développement d'oscillations Xénon on cherche à **peu déformer le flux**. Une condition nécessaire, bien que non suffisante, consiste à travailler à **déséquilibre axial AO constant**.

Conséquences : si $AO = cste$, et puisque $\Delta I = AO * P / P_{nom}$

- pour $P = P_{nom}$, $\Delta I = AO_{nom} = -7\%$ en début de cycle
- pour $P = 0$, $\Delta I = 0$.

On travaillera donc suivant la droite de fonctionnement OA sur la figure suivante. La protection doit également assurer une limitation en surpuissance (109%).



12. Sûreté : lignes de défense, dispositions et fonctions de sûreté

La **sûreté** regroupe l'ensemble des dispositions prises à tout les stades de la conception, de la construction, de l'exploitation et de l'arrêt des installations nucléaire pour protéger en toute circonstance l'homme et son environnement naturel contre la dispersion des produits radioactifs, c'est à dire **3 dispositions** :

- assurer le fonctionnement normal,
- prévenir les incidents et accidents,
- limiter les conséquences en cas d'incident ou d'accident.

La **défense en profondeur** consiste à prendre en compte de façon systématique les défaillances techniques, humaines ou organisationnelles et à s'en prémunir par des lignes de défense successives (**3 lignes de défense**) :

- la prévention,
- la surveillance ou la détection,
- les moyens d'action ou le traitement.

Pour **éviter la défaillance des barrières** ou pour limiter les conséquences de leurs défaillances, il faut respecter les 3 fonctions de sûreté suivantes (3 fonctions de sûreté) :

- contrôler la réactivité,
- contrôler le refroidissement du combustible,
- contrôler le confinement des produits radioactifs.