

Exercices sur le contrôle de la réactivité

1. Révision générale, pilotage et usure

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 circonstances 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.

Evolution de la réactivité en puissance et lors des arrêts

Première constatation importante : **c'est à froid que le cœur est le plus réactif**. Il faut donc dimensionner les moyens de contrôle pour des situations soit d'arrêt froid (fonctionnement normal) soit lors de baisses brutales de la température (accident de dépressurisation, bouchon froid etc.) Toute montée en puissance donc en température du combustible entraîne grâce à l'effet Doppler, une baisse de réactivité : **effet contre-réactif**. Il faut donc veiller à conserver des contre-réactions (limiter la concentration en bore, maintenir des dispositifs d'arrêt d'urgence efficace).

Comportement du combustible selon l'usure

L'usure neutronique entraîne une **diminution de la réactivité** du fait du non renouvellement de la matière fissile. Cependant l'apparition de Pu risque de modifier les paramètres contre-réactifs (effets de spectre à 0.3 et 1 eV). L'usure technologique de la gaine menace la tenue de la première barrière : il faut donc **limiter le taux de combustion** pour éviter rupture de la gaine. On surveillera donc régulièrement l'usure (carte de flux mensuelles grâce aux tubes d'instrumentation et aux chambres d'irradiation).

Effet de l'usure et aplatissement du flux

Différents phénomènes sont concurrents :

- Usure du combustible plus importante au centre (flux maximal);
- Effet Doppler contribuant à l'abaissement du facteur de forme ;
- Non uniformité de la température du modérateur, diminuant localement la réactivité ;
- Empoisonnement Xénon plus important dans les zones de flux fort (*cinétique d'apparition du Xénon fonction du flux*).

Le flux se déforme donc selon deux extrêmes : usure et saturation en xénon. Selon ces situations le facteur de forme peut être très différent. L'évolution du combustible sous irradiation entraîne une **variation globale de la réactivité du cœur**.

Les **propriétés locales** varient, conditionnant la forme de la **courbe de puissance** spatiale.

Usure = basculement de puissance vers l'extérieur

L'**usure** du combustible lisse la répartition de la puissance entre les zones d'importances neutroniques différentes : dans un cœur à chargement uniforme, la **puissance relative de la région centrale**, la plus irradiée, **décroit** au profit de la **région périphérique**.

Doppler = abaissement du facteur de forme

L'effet **Doppler** altère la répartition spatiale lors du passage de la puissance nulle à pleine puissance, par introduction d'une **antiréactivité locale** d'autant plus importante que la puissance locale est plus élevée. Il en résulte un aplatissement de la distribution spatiale qui se traduit par une **baisse du facteur de forme de quelques pour-cent**.

Température modérateur = redistribution de puissance

La **non-uniformité des températures du modérateur** dans chaque canal du cœur conduit à des effets de **redistribution de la puissance**, spécifiques pour chaque type de réacteur.

Effet Xénon = aplatissement du flux et remontée des absorbants

L'empoisonnement par le xénon, qui comme l'effet Doppler croît avec la puissance, conduit aussi à un aplatissement spatial (*radial et axial*).

Quelque soit la répartition initiale du combustible dans le cœur, les **contre-réactions de puissance** - effet Doppler, effet Xénon, effet de température du modérateur - ont toujours tendance à **réduire l'importance d'un pic local de puissance**, il n'en est pas forcément de même avec l'effet d'usure.

Consignes générales de conduite du réacteur

Trois consignes :

- Limiter toute montée de réactivité supérieure à $\beta/2$ (surveillance de l'octavemètre) et automatiques de régulation ;
- Surveiller l'axial-offset susceptible de provoquer des oscillations xénon (on joue entre les grappes de régulation, les grappes de puissance et le bore dissous ;
- Revenir à l'état sûr en cas de problèmes...

Effets sur le pilotage et la disponibilité du cœur

Usure et empoisonnement xénon sont les deux éléments menaçant la disponibilité du cœur. Soit le xénon diminue fortement la réactivité, voire même empêche toute redivergence, soit il développe de fortes oscillations en cas d'appels ou de diminutions importants de puissance extraite. L'usure menaçant la tenue de la première barrière contraint à des rechargements réguliers (cycles de rechargement par 1/3 ou par 1/4). Enfin les appels de puissance normaux ou accidentels doivent être très surveillés, soit parce que les contre-réactions sont trop importantes (arrivée d'eau froide) soit parce qu'elles sont insuffisantes... d'où des contraintes sur la concentration en bore.

2. Inventaire des éléments influents sur la réactivité

3. Démarrage de pompe : transitoire de débit

Processus et dispositions mettant le système en équilibre

Le système est critique du fait des absorbants de contrôle (grappes de régulation et bore dissous). Il est maintenu en équilibre grâce aux contre-réactions, le cœur étant sous-modéré.

paramètre initiateur

identifier le paramètre qui subit le premier l'influence de la perturbation qui va déstabiliser l'ensemble des autres paramètres : c'est la température du modérateur qui arrive en bas du cœur du fait du démarrage de la boucle de pompage.

évaluer les contre-réactions en jeu

Influence des contre-réactions de températures : le cœur étant sous-modéré, l'eau froide apporte de la réactivité. Les neutrons vont donc augmenter en nombre dans un premier temps, la réactivité étant positive, les fissions augmentent, le combustible chauffe, et l'effet Doppler freine le tout. L'eau du secondaire et la pression du secondaire vont un peu varier du fait d'arrivée de puissance produite, sans augmentation de la puissance extraite. L'eau du primaire monte légèrement en température. Les deux contre-réactions se contrarient et le système revient à l'équilibre. Tant que l'arrivée d'eau froide n'est pas trop importante.

caractériser l'état final

le primaire étant très légèrement plus froid il faut vérifier si la variation n'excède pas 1.5°C sinon les grappes de régulation ou le bore sont modifiés

évolution globale et examen des risques

les paramètres dont l'évolution peut présenter des risques sont la réactivité puisque l'eau froide procure une montée de réactivité de 10 à 40 pcm par °C de baisse. On risque donc une augmentation des températures du cœur, une excursion locale de puissance, dus aux pics de réactivité locaux ou globaux.

Courbes d'évolution des paramètres du cœur

La courbe jointe propose une exemple de démarrage de pompe. La lecture se fait de droite à gauche...

Conséquences pour la sûreté

Au niveau de l'axial offset, pas d'effet particulier puisque il n'y a pas de mouvements d'absorbants, ni de borication. Le flux est modifié de manière pratiquement uniforme.

Le gradient de température dans le primaire est diminué, donc c'est bon pour la sûreté. Mais la montée de réactivité, si elle est trop importante, risque de faire monter très rapidement la température locale des crayons les plus chauds.

Au niveau du pressuriseur, si la pression du primaire augmente trop, on risque une ouverture des soupapes de régulation. Les douchettes de refroidissement vont entrer en fonctionnement pour réguler la pression.

En ce qui concerne l'octavemètre, une montée trop importante de la réactivité déclenche l'insertion de grappes de régulation selon des seuils variables.