

## **Synthèse du rapport de l'IRSN sur le nouveau référentiel d'étude de l'Accident par Perte de Réfrigérant Primaire**

L'Accident par Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) est provoqué par une brèche postulée d'une tuyauterie du circuit primaire. Cette brèche entraîne :

- une chute rapide de la pression dans le circuit primaire soumettant les structures internes de la cuve et les assemblages combustibles à des chargements mécaniques importants ;
- une perte d'inventaire en eau du circuit primaire et, dans certains cas, un découverture du cœur pouvant conduire à un endommagement du combustible.

Les études d'APRP sont réalisées notamment pour le dimensionnement du système d'injection de sécurité, des structures internes de la cuve, des assemblages combustibles, et de l'enveloppe.

Pour ce qui concerne les études relatives au comportement du combustible, le référentiel d'étude de l'APRP en vigueur en France pour les REP définit les exigences de sûreté relatives à ce transitoire. Il est issu de la réglementation américaine 10 CFR 50.46 (Code of Federal Regulations) de 1974, qui précise d'une part les critères de sûreté à respecter (température maximale des gaines de 1204 °C, taux d'oxydation maximal des gaines de 17%), d'autre part les tailles de brèches à retenir (jusqu'à la brèche guillotine doublement débattue).

Depuis 1974, les conditions d'exploitation des réacteurs et les combustibles utilisés ont évolué. De plus, le comportement du combustible en APRP a fait l'objet de programmes de recherche qui ont mis en évidence des phénomènes physiques non pris en compte dans la démonstration de sûreté actuelle. Dans ce contexte, il est apparu pertinent de s'interroger sur le besoin de faire évoluer le référentiel d'étude de l'APRP. Les orientations à retenir pour l'évolution du référentiel d'étude de l'APRP ont fait l'objet d'une analyse de l'IRSN, qui a été présentée lors d'une réunion du Groupe Permanent d'experts pour les Réacteurs nucléaires (GPR) en mai 2010. Depuis, EDF a développé un programme de travail pour définir ce nouveau référentiel et en prévoit une première application dans le cadre du réexamen associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe.

L'Autorité de Sûreté Nucléaire a souhaité recueillir l'avis du GPR sur le nouveau référentiel d'étude de l'APRP proposé par EDF, en particulier pour ce qui concerne le refroidissement du combustible. Les aspects autres que ceux liés au refroidissement du cœur seront abordés lors des réunions des GPR dédiées aux réexamens de sûreté des différents paliers.

En cas d'APRP, le refroidissement du cœur dépend non seulement de la capacité du système d'injection de sécurité à envoyer suffisamment d'eau pour refroidir le combustible, mais aussi de la tenue fonctionnelle des structures internes de la cuve et des assemblages combustibles. Dans le référentiel actuel, les études thermohydrauliques sont réalisées pour des brèches de toute taille (jusqu'à la guillotine doublement débattue) et de localisation quelconque. Au contraire, les analyses mécaniques, visant à vérifier la tenue des structures internes de la cuve et des assemblages combustibles, sont faites seulement pour les brèches conventionnelles à débattement limité, qui sont des brèches guillottes localisées à certains endroits du circuit primaire et limitées en taille par l'effet des dispositifs anti-débattement existants.

### Le nouveau référentiel de brèches retenu par EDF pour les études concernant le refroidissement du cœur

Dans le nouveau référentiel d'étude de l'APRP, applicable au parc de Réacteurs à eau sous pression (REP) en exploitation, EDF prévoit de retenir, pour les analyses mécaniques comme pour les études thermohydrauliques, des brèches guillottes conventionnelles à débattement limité. Leur taille maximale a été estimée en tenant compte des conditions de fonctionnement en prolongation de cycle. Compte tenu de la conception et du retour d'expérience concernant les dispositifs anti-débattement, l'IRSN estime cette évolution acceptable pour les analyses mécaniques. La taille et le temps d'ouverture de chaque brèche ont été déterminés sur la base de calculs dynamiques dont les résultats ont été pénalisés. L'IRSN estime ce nouveau référentiel de tailles de brèches et de temps d'ouverture acceptable, sous réserve de la réalisation d'études de sensibilité de la tenue des structures internes de la cuve et des assemblages combustibles à la taille des brèches et à leur temps d'ouverture afin de s'assurer de la robustesse du référentiel prévu par EDF.

En ce qui concerne le référentiel de brèches pour les études thermohydrauliques, l'IRSN souligne qu'EDF avait mis en avant lors du GPR de mai 2010 des gains pour la sûreté liés à l'adoption de brèches guillottes conventionnelles à débattement limité. Ces gains concernaient notamment la fiabilité des diesels de secours et un meilleur refroidissement du cœur en adaptant le remplissage des accumulateurs du système d'injection de sécurité.

A l'issue de son programme de travail, EDF a indiqué que, ces gains se révèlent modestes.

L'IRSN estime cette évolution acceptable pour les études thermohydrauliques, notamment compte tenu :

- de la conception et du retour d'expérience concernant les dispositifs anti-débattement,
- de la faible sensibilité des études de grosses brèches primaires aux caractéristiques du système d'injection de sécurité,

- des gains -même modestes- qui pourraient résulter de la mise en œuvre de ce nouveau référentiel.

Pour ce qui concerne les études menées au titre de la défense en profondeur, l'IRSN estime qu'EDF doit vérifier que la tenue des structures internes de la cuve et des assemblages combustibles permet d'assurer le refroidissement du cœur pour des tailles de brèches allant jusqu'à la brèche guillotine doublement débattue en branche chaude et en branche froide, et ceci en retenant des hypothèses réalistes.

Vis-à-vis de la démonstration de la tenue fonctionnelle des structures internes de la cuve en cas d'APRP, EDF a identifié les principaux mécanismes liés à l'irradiation susceptibles de modifier leur comportement et a prévu d'en tenir compte dans les dossiers d'analyse du comportement à venir. EDF tiendra également compte des conditions de fonctionnement en prolongation de cycle.

### **L'évolution des critères relatifs au comportement du combustible**

Pendant un transitoire d'APRP, deux modes de dégradation du combustible peuvent empêcher le bon refroidissement du cœur :

- lors du dénoyage du cœur, le gonflement et l'éclatement des gaines des crayons combustibles peuvent conduire au bouchage partiel des canaux thermohydrauliques des assemblages combustibles (mode ductile);
- après une phase d'oxydation à haute température en vapeur, les crayons sont soumis à des contraintes, importantes lors du renoyage du cœur par le système d'injection de sécurité, qui peuvent conduire à leur rupture (mode fragile).

Pour ce qui concerne le mode ductile, la démonstration actuelle, tout comme celle prévue par EDF dans le nouveau référentiel, consiste à vérifier par un calcul que la température maximale des gaines reste inférieure au critère de 1204°C. L'IRSN estime la démarche acceptable mais souligne que, compte tenu de la modélisation retenue (l'assemblage chaud est représenté par un seul crayon combustible), le logiciel utilisé par EDF pour ce calcul ne peut simuler ni l'effet des contacts entre les crayons, ni celui de l'étendue axiale du bouchage des canaux de fluide lié au gonflement des crayons ; en conséquence, l'IRSN estime indispensable que les effets défavorables du gonflement et de l'éclatement des gaines soient pris en compte de manière conservatrice dans la nouvelle méthode de calcul prévue par EDF.

Par ailleurs, certains essais ont montré qu'après rupture de gaines en mode ductile, des fragments de pastilles de combustible peuvent être dispersés dans le circuit primaire. Les éléments apportés par EDF visent à montrer que, compte tenu des gestions de combustible actuellement en vigueur sur le parc et des taux de combustion

maximaux associés, ce risque peut être écarté. L'IRSN estime néanmoins nécessaire qu'EDF poursuive l'analyse des résultats des programmes expérimentaux internationaux à ce sujet, notamment pour les combustibles de type MOX.

Pour ce qui concerne le mode fragile, EDF a estimé les chargements mécaniques additionnels susceptibles de se cumuler aux contraintes liées à la trempe. Sur ce point, l'IRSN estime la démarche d'EDF exhaustive et robuste. EDF prévoit de conserver la valeur du critère de température maximale de gaine fixée à 1204°C et, sur la base d'essais, de lui associer une limite de taux d'oxydation en transitoire dépendant de la teneur initiale du gainage en hydrogène. Compte tenu des réserves exprimées par l'IRSN sur la représentativité et la suffisance des essais en question, EDF a proposé de réduire la limite initialement prévue et d'apporter, d'ici à la première application de cette limite, des éléments de connaissance complémentaires en vue de confirmer sa validité, ce que l'IRSN estime acceptable.

Enfin, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF apporte des éléments de justification visant à montrer que la survenue d'un séisme affectant des gaines fragilisées après un APRP ne mettrait pas en cause le refroidissement du cœur à long terme.

#### **Principes de la méthode d'étude associée au nouveau référentiel :**

Pour les études des brèches du nouveau référentiel de l'APRP, EDF prévoit d'utiliser une nouvelle méthode dont les principes ont été exposés dans le dossier examiné et analysés par l'IRSN.

Les évolutions majeures par rapport à la méthode actuelle sont les suivantes :

- EDF prévoit d'utiliser un modèle multidimensionnel pour représenter le cœur du réacteur et l'espace annulaire de la cuve ainsi qu'un modèle représentatif de la géométrie des accumulateurs du système d'injection de sécurité ; l'IRSN estime qu'EDF devra apporter des éléments de validation de ces choix de modélisation de manière à montrer le conservatisme des études ;
- EDF prévoit de mettre en œuvre un traitement statistique des incertitudes affectant les paramètres d'entrée des études d'APRP ; ce traitement statistique devant permettre la détermination de valeurs conservatives du pic de température de gaine et de son taux d'oxydation. Si la méthode proposée par EDF constitue une amélioration compte tenu de sa capacité à prendre en compte l'ensemble des incertitudes ainsi que les effets couplés des paramètres, l'IRSN estime qu'EDF doit préserver certains cumuls déterministes d'incertitudes de façon à assurer une démonstration de sûreté conservative ;
- EDF prévoit de tenir compte dans sa méthode des phénomènes physiques mis en évidence par les travaux de recherche concernant les écoulements autour des zones bouchées dans le cœur du réacteur, le gonflement et les ruptures de gaines, le taux de bouchage des assemblages, l'oxydation des gaines et la « relocalisation » du combustible. En conclusion, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF complète son

dossier par des justifications du caractère représentatif des modèles retenus, ainsi que des essais sur lesquels ils sont fondés, par rapport aux phénomènes physiques intervenant pendant un APRP.

Par ailleurs, si la définition du nouveau référentiel de brèches en APRP proposé par EDF concerne le parc de REP actuellement en exploitation, l'IRSN estime que les questions relatives à la pertinence et à la suffisance des exigences et critères de sûreté et aux phénomènes physiques à prendre en compte dans la démonstration de sûreté relèvent en revanche de la prise en compte de l'état actuel des connaissances ; les conclusions correspondantes ont vocation à s'appliquer à terme non seulement au parc de REP actuellement en exploitation en France, mais également à l'EPR, voire à tout autre REP susceptible d'être construit et exploité.

Enfin, l'IRSN rappelle qu'une des conditions nécessaires au refroidissement à long terme du cœur est le bon fonctionnement de l'injection de sécurité en mode recirculation. L'IRSN estime que la démonstration complète du refroidissement du cœur en APRP à court, moyen et long termes devra être apportée dans le cadre des réexamens de sûreté des différents paliers du parc en exploitation.