

Synthèse du rapport de l'IRSN sur les orientations à retenir en vue d'une évolution du référentiel d'étude du refroidissement du cœur suite à une fuite sur le circuit primaire d'un réacteur à eau sous pression

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a souhaité recueillir l'avis du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) sur les orientations à retenir en vue d'une évolution du référentiel d'étude du refroidissement du cœur suite à une fuite sur le circuit primaire d'un réacteur à eau sous pression. L'évaluation réalisée par l'IRSN au cours de l'instruction technique correspondante a été présentée à la réunion du GPR du 6 mai 2010.

L'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP)

L'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) est un accident pris en compte à la conception des Réacteurs à Eau sous Pression (REP) pour dimensionner certains composants importants du réacteur, notamment le système d'injection (d'eau) de sécurité (RIS), les composants mécaniques du circuit primaire et l'enceinte de confinement.

Lors d'un APRP, l'onde de décompression associée à l'ouverture de la brèche se propage dans le circuit primaire et soumet les structures internes de la cuve, les assemblages combustibles et les composants primaires à des efforts hydrauliques importants. Les contraintes mécaniques imposées aux internes de cuve et aux assemblages combustibles doivent rester limitées pour que la géométrie du cœur et des assemblages de combustible permette le refroidissement de ces derniers par les moyens de sauvegarde.

Par ailleurs, le transitoire d'APRP conduit à une dégradation de la gaine des crayons combustibles qui doit rester limitée pour que le combustible puisse être convenablement refroidi. Il faut noter qu'il existe deux modes possibles de dégradation :

- **le mode ductile**, qui concerne la phase de ballonnement/éclatement des gaines conduisant au bouchage partiel des canaux thermohydrauliques d'assemblage combustible,
- **le mode fragile** qui concerne la tenue mécanique de la gaine, soumise, après oxydation à haute température en phase vapeur, au choc thermique lors de la trempe et à de possibles sollicitations mécaniques additionnelles.

Le référentiel APRP actuel

Les exigences relatives à l'APRP définies par la réglementation américaine en 1974 (10 CFR (Code of Federal Regulations) 50.46), ont été retenues en France lors de la construction des premiers réacteurs de puissance sous licence Westinghouse. Cette réglementation précisait les critères de sûreté à vérifier pour l'ensemble du spectre de brèches (jusqu'à la brèche guillotine doublement débattue) et définissait par ailleurs les modèles d'évaluation acceptables pour la démonstration du dimensionnement de l'injection de sécurité. Dans les Rapports de sûreté français des réacteurs à eau sous pression, sont indiqués les principes de sûreté et leurs déclinaisons en exigences de sûreté pour chaque transitoire de dimensionnement.

Vis-à-vis de la première barrière qui est constituée par la gaine des crayons de combustible, les exigences de sûreté du référentiel APRP actuel portent, dans la phase court terme, sur la conservation d'une géométrie refroidissable (mode ductile) et sur la tenue de la gaine à la trempe (mode fragile). Le respect de ces exigences est assuré par des critères de découplage, qui sont des paramètres calculables et représentatifs au mieux des phénomènes physiques redoutés. Ils portent sur le taux d'oxydation totale de la gaine (ECR1) et la température maximale de gaine (PCT2).

Par ailleurs, il faut vérifier que les efforts hydrauliques qui s'exercent sur les équipements internes de cuve, qui supportent le cœur et canalisent le réfrigérant, et sur les assemblages de combustible, ne mettent pas en péril la stabilité, l'intégrité ou la fonction de ces structures qui permettent de maintenir la libre circulation du fluide et donc l'extraction de la puissance résiduelle générée dans le cœur.

Le contexte d'évolution du référentiel APRP

Dans le cadre de son approche « risk informed », la NRC a entrepris, à partir de 2001, une révision du code 10 CFR 50.46. La NRC propose de limiter la taille de brèche à retenir pour le domaine de dimensionnement de l'injection de sécurité à une taille de brèche dite de transition, au-delà de laquelle les exigences d'étude pourraient être relaxées en raison de la très faible probabilité d'occurrence attribuée à une taille de brèche supérieure à cette brèche de transition. Par ailleurs, la NRC a engagé une démarche de révision des critères de sûreté en ECR et PCT, en raison notamment des évolutions de matériaux de gainage et de l'augmentation des taux de combustion du combustible.

Dans ce contexte évolutif, il est apparu pertinent de s'interroger en France sur le besoin de faire évoluer le référentiel APRP utilisé depuis la conception des REP. C'est pourquoi l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a souhaité recueillir l'avis du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs

nucléaires (GPR) sur les orientations à retenir dans le cadre d'une révision du référentiel de sûreté actuel de l'APRP sur les thèmes suivants :

- les scénarios et règles d'études. En particulier, la proposition d'évolution de la taille maximale du spectre de brèche à considérer et du transitoire de référence à étudier dans la démonstration de sûreté, notamment pour vérifier le dimensionnement du système RIS ;
- la pertinence et la suffisance des exigences et critères de sûreté ou de découplage ;
- les phénomènes physiques à prendre en compte dans la démonstration de sûreté de l'accident de perte de réfrigérant primaire.

Orientations pour l'évolution du référentiel APRP en termes de scénarios et de règles d'études

L'IRSN considère que la démonstration du refroidissement pérenne du combustible en cas d'APRP nécessite d'une part l'analyse du comportement du combustible lors du transitoire de vidange et de renoyage du cœur, d'autre part l'analyse de la tenue des structures internes de cuve et de celle des assemblages combustibles. Pour des raisons historiques, ces deux analyses ont été découplées et sont réalisées pour des tailles de brèches différentes. L'IRSN estime que la démonstration de la conservation d'une géométrie refroidissable doit être apportée, dans ces deux types d'analyses, pour le même spectre de brèches, en tenant compte des conditions d'exploitation des tranches (y compris en prolongation de cycle) ainsi que de l'effet de l'irradiation sur le comportement des structures internes.

Dans le cadre d'une révision du référentiel APRP, EDF propose de faire évoluer d'une part la taille maximale de brèche retenue dans le dimensionnement en envisageant 4 scénarios distincts, d'autre part les règles d'étude associées à l'APRP :

1. Dans le scénario 1, EDF propose de mettre en cohérence les tailles et emplacements des brèches actuellement utilisées pour le dimensionnement du système RIS et de l'enceinte avec les ruptures à débattement limité actuellement considérées pour les analyses mécaniques. Ce scénario repose sur l'hypothèse d'absence de défaillance des dispositifs anti-débattement. Ces dispositifs installés pour limiter les effets mécaniques des brèches n'avaient pas été pris en compte pour limiter le débit à la brèche dans les études dédiées au comportement du combustible. Si ce scénario était retenu, l'IRSN estime nécessaire de montrer que la défaillance de ces dispositifs peut être exclue ;
2. Dans le scénario 2, EDF propose de définir une brèche dite d'interface (approche type Transition Break Size de la NRC), justifiée par une approche probabiliste selon laquelle la fréquence d'occurrence d'une brèche varierait en fonction de son diamètre. Cette brèche

d'interface serait utilisée pour le dimensionnement de l'IS et serait aussi retenue pour les études mécaniques. L'IRSN considère que cette approche probabiliste repose sur des hypothèses dont la validité n'est pas établie et estime par conséquent que ce scénario n'est pas recevable ;

3. Dans le scénario 3, EDF propose de retenir les brèches sur les piquages connectés au circuit primaire en démontrant l'exclusion du risque de rupture des tuyauteries primaires. L'IRSN estime qu'EDF ne pourra pas apporter une démonstration robuste d'« absence de risque de rupture » sur des réacteurs n'ayant pas bénéficié de cette démonstration à la conception et considère donc que ce scénario n'est pas recevable ;
4. Dans le scénario 4, EDF propose d'identifier les zones les plus sensibles au risque de rupture pour chaque palier. Le dimensionnement et les analyses mécaniques seraient alors basés sur la rupture de ces zones en tenant compte d'un débattement limité. L'IRSN estime qu'il est difficile de prévoir les modes de dégradations des tuyauteries dans la mesure où le retour d'expérience des ruptures de tuyauteries de ce type est par nature très limité, voire inexistant. L'IRSN considère donc que la mise en œuvre de ce scénario nécessiterait un investissement très important, sans garantie de réussite.

En conclusion, l'IRSN estime que le scénario 1 est le seul qui mériterait d'être approfondi dans le cadre de l'évolution du référentiel de l'étude de l'accident de perte de réfrigérant primaire.

EDF souhaite aussi faire évoluer les règles d'étude associées à l'étude de l'APRP :

1. en introduisant formellement dans le référentiel des études d'accident de dimensionnement la possibilité de recourir à des méthodes avancées basées sur une approche statistique sous réserve de la démonstration du caractère enveloppe des résultats obtenus et d'un fort taux de confiance associé. L'IRSN n'est pas opposé au recours à de telles méthodes mais souligne que le bien-fondé d'un traitement statistique des données d'entrée des études devrait être justifié pour chaque paramètre. Par ailleurs, l'IRSN estime que l'utilisation de méthodes où tous les paramètres feraient l'objet d'un traitement statistique nécessiterait la parfaite connaissance et simulation de tous les phénomènes rencontrés durant l'accident ;
2. en précisant l'application de la règle de l'aggravant unique à la défaillance du disjoncteur des groupes motopompes primaires (GMPP) lors d'un accident d'APRP avec arrêt automatique des GMPP. L'IRSN estime que l'approche proposée par EDF n'est pas acceptable et considère donc qu'EDF doit proposer d'autres solutions afin de garantir le respect des critères de sûreté en conformité avec les règles d'étude (APRP BI CYCLADES) ;
3. en supprimant l'hypothèse de cumul de l'APRP avec le manque de tension externe (MDTE) dû au séisme. L'IRSN considère que l'hypothèse de cumul MDTE dû au séisme est une règle

commune applicable à tous les accidents de catégorie 4 et qu'il n'y a donc pas lieu d'établir une règle spécifique pour l'APRP.

Orientations pour l'évolution du référentiel APRP en termes d'exigences de sûreté

L'exigence de conservation d'une géométrie refroidissable en mode ductile n'est associée à aucun critère spécifique. Dans le référentiel actuel, la démonstration du respect de cette exigence repose sur le seul respect des critères en termes d'épaisseur d'oxydation et température maximale de gaine définis à l'origine pour la tenue de la gaine en mode fragile. Par ailleurs, il faut souligner que cette exigence a été considérée comme satisfaite dans les analyses de sûreté dans la mesure où le taux de bouchage maximal calculé dans un assemblage REP était limité à 71 % (NUREG-630) et sur la base de résultats d'essais (FEBA et SEFLEX) qui concluaient qu'un assemblage bouché à 90 % restait refroidissable. Toutefois, depuis de nombreuses années, l'IRSN estime que cette approche doit être réexaminée compte tenu de l'approfondissement des connaissances et de l'augmentation des taux de combustion.

L'IRSN estime que deux approches peuvent être considérées pour démontrer le respect de cette exigence :

- la première consiste à démontrer la **refroidissabilité d'une zone de bouchage « enveloppe »** : il s'agit d'une démarche prédictive sur la base d'une comparaison de paramètres calculés, caractérisant cette zone de bouchage et sa thermohydraulique à un instant donné, à des limites de refroidissabilité issues d'essais paramétriques. Cette démarche présente un caractère « local »,
- la seconde consiste à démontrer le **refroidissement du cœur** en réalisant un calcul effectif d'un transitoire d'APRP jusqu'à l'atteinte d'un état sûr (le cœur a pu être refroidi).

L'IRSN considère plus raisonnable, en termes de faisabilité et de délai, d'adopter une approche basée sur le calcul du refroidissement du cœur pour démontrer le respect de l'exigence de conservation d'une géométrie refroidissable. L'IRSN rappelle cependant que le ballonnement-rupture des gaines et la formation de zones de bouchages en APRP résultent d'un ensemble complexe de phénomènes thermomécaniques couplés à la thermohydraulique. De plus, l'IRSN a noté que, dans le cadre d'une rénovation du référentiel de sûreté, le calcul du refroidissement du cœur resterait basé sur une modélisation thermomécanique 1D monocrayon du combustible (nécessairement assez simplifiée). Cette modélisation ne permet pas d'appréhender les conséquences des contacts entre crayons ballonnés, notamment les excursions de température au niveau des zones de contact. EDF considère que ces excursions de température restent locales. Or, l'IRSN n'exclut pas la possibilité de formation de zones de bouchage relativement coplanaires et

axialement étendues, qui pourraient ainsi conduire à des excursions de température potentiellement nombreuses et étendues à l'échelle d'un groupe de crayons. Le caractère local de ces excursions de température pourrait donc ne pas être avéré.

En conclusion, l'IRSN estime que démontrer l'exigence de sûreté liée au mode ductile sur la base d'un calcul de refroidissement du cœur est acceptable, sous réserve qu'EDF apporte de nouveaux éléments de connaissance permettant de s'assurer que les excursions de température ne sont pas susceptibles de remettre en cause la refroidissabilité du cœur.

L'exigence de sûreté en mode fragile porte, dans le référentiel APRP actuel, sur la tenue à la trempe du crayon combustible (sans application de contrainte mécanique additionnelle), sachant que les critères de sûreté d'application sont ceux énoncés dans le 10 CFR 50.46, qui sont basés historiquement sur la conservation d'une ductilité résiduelle post-trempe de la gaine.

L'IRSN tient à rappeler que lors des discussions du «ECCS Hearing » de 1973, le Regulatory Staff AEC avait été clairement réticent envers l'idée de négliger les chargements mécaniques additionnels qui pourraient s'appliquer au moment de la trempe ou en phase post-accidentelle. Il avait donc été considéré que les essais de trempe ne pouvaient être utilisés seuls dans le processus de décision réglementaire en raison de leur inaptitude à représenter ces chargements mécaniques. L'IRSN considère que les connaissances ont progressé aujourd'hui par rapport aux années 70, en termes d'identification des chargements mécaniques envisageables en phases de renoyage et post-accidentelle et de quantification de leurs conséquences. Aussi, l'IRSN estime qu'il convient de considérer les chargements additionnels susceptibles d'intervenir pendant la trempe (blocage partiel des crayons dans les grilles, arcure des crayons, ...).

Dans ce contexte, l'IRSN estime que l'exigence de refroidissabilité en mode fragile à retenir au titre de la démonstration de sûreté doit reposer sur la tenue structurelle de la gaine vierge et irradiée avec chargement mécanique additionnel qui intervient pendant la trempe. Les scénarios de refroidissement et de chargement mécanique associés aux essais seront établis de manière réaliste. L'indicateur de tenue structurelle de la gaine doit être défini sur la base de l'exclusion de la rupture franche du crayon.

L'évolution du référentiel APRP en termes de phénomènes physiques à prendre en compte

La démonstration du respect des exigences de sûreté en APRP s'appuie sur des calculs simulant les phénomènes physiques complexes intervenant lors de ces transitoires. Il est important que les phénomènes dominants soient identifiés et modélisés. L'IRSN considère que les phénomènes physiques (notamment le phénomène de relocalisation du combustible) et les paramètres thermohydrauliques à retenir dans le cadre de la rénovation du référentiel de sûreté APRP sont

désormais relativement bien identifiés mais que les modalités relatives à leur prise en compte restent à préciser.