

Fontenay-aux-Roses, le 21 juillet 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2020-00119

Objet ...	Réacteurs électronucléaires - Tous paliers - Instruction de la méthode 3D statique destinée à l'analyse des conséquences de l'accident de retrait incontrôlé d'une grappe, réacteur en puissance (R1GP)
Réf(s) ...	[1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2020-027477 du 7 mai 2020. [2] Lettre ASN - DGSNR/SD2/n° 0242/2006 du 22 septembre 2006.
Nbre de page(s)...	7

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné d'une part la nouvelle méthode développée par EDF pour l'étude de l'accident de retrait incontrôlé d'une grappe de contrôle lorsque le réacteur est en puissance (R1GP), d'autre part un exemple d'application pour les réacteurs du palier N4. Cette étude fait partie des conditions de fonctionnement de dimensionnement considérées dans les rapports de sûreté des réacteurs du parc électronucléaire d'EDF.

Contexte

Les grappes d'absorbant neutronique servent, par leur insertion plus ou moins profonde dans le cœur, au pilotage du réacteur. Les événements considérés dans l'étude du R1GP résultent du retrait incontrôlé d'une grappe par son mécanisme de commande, alors que le réacteur est en puissance. Ils ne peuvent se produire qu'à la suite d'un cumul de défaillances d'origine humaine, électrique ou mécanique. Compte tenu de la faible probabilité d'occurrence de chacune de ces défaillances, l'accident de R1GP est classé en catégorie 3¹.

Le retrait de la grappe conduit à une introduction de réactivité dans le cœur² et en conséquence à une augmentation localisée de la puissance et des températures du combustible et du modérateur, induisant un risque d'endommagement de la gaine des crayons de combustible

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses

Standard +33 (0)1 58 35 88 88

RCS Nanterre 8 440 546 018

¹ « Accident à fréquence très faible » (fréquence d'apparition annuelle par réacteur estimée entre 10⁻² et 10⁻⁴).

² La réactivité est une grandeur permettant d'évaluer l'écart du cœur par rapport à la criticité, qui correspond à la situation dans laquelle la création de neutrons par la réaction en chaîne est en équilibre avec la disparition des neutrons, maintenant ainsi le cœur à un niveau de réaction et de puissance constant. Introduire de la réactivité signifie donc augmenter le niveau de réaction, ce qui entraîne une augmentation de puissance.

suite à l'apparition de la crise d'ébullition, et un risque de fusion de pastilles de combustible. La démonstration de sûreté vise donc à vérifier le respect des critères relatifs à la tenue du combustible.

La démonstration de sûreté actuellement en vigueur repose sur deux étapes successives :

- la première consiste à définir par des calculs neutroniques tridimensionnels les données neutroniques spécifiques (DNS), qui correspondent aux valeurs pénalisantes des paramètres prépondérants dans le déroulement de l'accident. Dans le cas du R1GP, ces paramètres sont la réactivité introduite dans le cœur et les caractéristiques de la distribution de puissance dans le cœur après le retrait de la grappe ;
- la seconde consiste à réaliser des calculs modélisant le transitoire à l'échelle du circuit primaire. Dans ces calculs, le cœur est modélisé de façon simplifiée et découplée, en se basant sur les DNS définies à l'étape précédente.

Présentation de la nouvelle méthode d'étude du R1GP

La nouvelle méthode d'étude développée par EDF constitue une simplification par rapport à la méthode actuellement en vigueur : elle ne comporte qu'une étape de calculs neutroniques tridimensionnels (3D) statiques, les conditions thermohydrauliques étant définies par hypothèses, sans modélisation du circuit primaire. EDF justifie cette évolution vers une méthode statique par le caractère lent de l'insertion de réactivité due au retrait de grappe au cours du transitoire.

La nouvelle méthode couvre l'analyse de plusieurs phases de l'accident de R1GP :

- la phase court terme³ ;
- la phase long terme sans arrêt automatique du réacteur (AAR) ;
- la phase court terme avec cumul du manque de tension externe (MDTE).

Pour l'étude de la phase court terme sans cumul du MDTE, le calcul neutronique modélise la situation dans laquelle la grappe étudiée est totalement extraite du cœur. La puissance du cœur est augmentée de telle sorte que l'antiréactivité induite⁴ compense la réactivité insérée par le retrait de la grappe. Afin de prendre en compte certains effets⁵ non explicitement modélisés, l'antiréactivité à insérer dans le cœur est pénalisée. En conséquence, la puissance atteinte est légèrement augmentée.

La suppression du découplage entre les deux étapes de la méthode actuellement en vigueur impose la réalisation de nombreuses études de sensibilité afin d'identifier la configuration pénalisante. Notamment, le retrait de chacune des grappes initialement insérées, plusieurs niveaux et distributions de puissance ainsi que plusieurs niveaux d'épuisement du combustible sont étudiés explicitement.

³ La méthode supposant l'absence d'intervention d'automatisme ou de l'opérateur, la limite entre les phases court et long termes correspond ici à l'instant de retrait total de la grappe.

⁴ Afin d'assurer leur stabilité neutronique, les réacteurs d'EDF sont conçus de façon à ce que, en dehors des situations accidentelles exceptionnelles, une augmentation de puissance ou de température conduise à une diminution de la réactivité.

⁵ Les effets pris en compte par cette pénalisation sont par exemple l'incertitude liée au logiciel de calcul utilisé, les écarts de résultats entre différents logiciels de calcul, la différence des caractéristiques neutroniques entre le cœur modélisé lors de l'étude et le cœur réellement chargé lors de l'exploitation...

L'aggravant⁶ le plus pénalisant considéré dans cette méthode est l'absence de déclenchement de l'arrêt automatique du réacteur par le système de protection.

Contrairement à la démonstration de sûreté en vigueur, la nouvelle méthode vise à satisfaire des critères plus restrictifs que ceux applicables au R1GP. En effet, les critères vérifiés sont l'absence de crise d'ébullition et l'absence de fusion à cœur du combustible, associés aux conditions de fonctionnement de catégorie 2⁷, alors que le R1GP est une condition de fonctionnement de catégorie 3.

Les autres phases étudiées de l'accident sont toutes les deux basées sur les résultats de la phase court terme :

- la phase long terme en l'absence d'arrêt d'automatique du réacteur modélise le comportement du cœur du réacteur sur plusieurs heures en cas de R1GP non détecté par le système de protection, le cœur étant supposé être revenu à sa puissance nominale ;
- la phase court terme avec cumul du MDTE considère la baisse du débit du modérateur résultant de l'arrêt des pompes primaires lié à la coupure de leur alimentation électrique du fait du MDTE.

L'ASN souhaite connaître l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité sur le plan de la sûreté de la nouvelle méthode « R1GP 3D statique » proposée par EDF. Notamment, l'ASN souhaite connaître la position de l'IRSN sur les questions suivantes :

- « *les outils de calculs scientifiques utilisés sont-ils qualifiés et les choix de modélisation sont-ils validés pour l'étude de la condition de fonctionnement objet de l'analyse ?*
- *les scénarios retenus sont-ils enveloppes de l'ensemble des scénarios de la condition de fonctionnement étudiée ?*
- *les phénomènes physiques dominants ont-ils été correctement identifiés ?*
- *le cas échéant, les paramètres qui influencent ces phénomènes physiques ont-ils été correctement recensés et pénalisés ?*
- *existe-t-il des phénomènes physiques non modélisés explicitement justifiant l'application de majoration ?*
- *les modalités de prises en compte des incertitudes sont-elles acceptables ? »*

Analyse de l'IRSN

Principe de la nouvelle méthode

L'IRSN estime que la modélisation tridimensionnelle, statique et limitée au cœur retenue dans la nouvelle méthode, ainsi que les outils de calculs utilisés permettent de représenter correctement les phénomènes physiques dominants intervenant lors de l'accident de retrait incontrôlé d'une grappe en puissance, à savoir la réactivité introduite dans le cœur et la redistribution de puissance associée.

De plus, cette nouvelle méthode ne faisant pas appel aux spécificités d'un palier particulier, son applicabilité à l'ensemble des paliers du parc n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Justification des scénarios et des hypothèses retenus

⁶ De manière conservatrice, les études d'accident de dimensionnement prennent en compte la défaillance, indépendante de l'événement déclencheur de l'accident, d'un équipement important pour la sûreté sollicité pour ses effets bénéfiques lors de l'accident.

⁷ « Incidents de fréquence modérée » (fréquence d'apparition annuelle par réacteur supérieure à 10⁻²).

Pour une partie des paramètres, l'hypothèse à retenir⁸ a été déterminée au cours du développement de la méthode et reste la même à chaque application de la méthode. Pour les paramètres restants, l'hypothèse à retenir dépend de l'application et doit être déterminée au cas par cas par des études de sensibilité spécifiques.

L'IRSN estime que les études de sensibilité réalisées par EDF au cours de l'élaboration de la méthode, complétées par celles prévues lors de l'application, sont exhaustives et permettent d'identifier les paramètres dominants du transitoire et de justifier le caractère enveloppe du scénario retenu pour l'étude de la phase court terme sans cumul du MDTE, notamment pour ce qui concerne l'aggravant considéré.

Toutefois, l'IRSN estime que les justifications concernant le conservatisme de la transposition de ce cas à l'étude de la phase long terme en l'absence d'arrêt d'automatique du réacteur et à celle de la phase court terme avec cumul du MDTE devraient être complétées. Étant données les spécificités de ces différentes phases⁹, la possibilité que la situation pénalisante diffère légèrement entre la phase court terme sans cumul du MDTE et les autres phases de l'accident étudiées ne peut être écartée. Ces deux points font respectivement l'objet de la recommandation n° 1 présentée en annexe 1 de cet avis et de l'observation n° 1 présentée en annexe 2.

Pénalisation de la réactivité insérée dans le cœur

Si les phénomènes physiques dominants ont été correctement identifiés par EDF, l'IRSN estime que le mode de pénalisation retenu pour la réactivité insérée dans le cœur au cours de l'accident n'est pas satisfaisant. En effet, contrairement à ce qui est souvent considéré dans les études valorisant une modélisation tridimensionnelle du cœur, le mode de pénalisation retenu conduit à une augmentation homogène de la puissance dans le cœur, et non à une augmentation hétérogène induite par le retrait d'une seule grappe. EDF fait donc l'hypothèse que les effets pris en compte par cette pénalisation⁵ n'ont qu'un effet global sur le cœur, la distribution de puissance n'étant que très peu impactée. Cette hypothèse insuffisamment justifiée peut conduire à sous-évaluer le pic de puissance dans le cœur, et donc les risques de crise d'ébullition et de fusion du combustible.

Par conséquent, l'IRSN considère qu'EDF n'a pas démontré le caractère conservatif et la cohérence du mode de pénalisation de la réactivité insérée dans le cœur avec les spécificités du transitoire de R1GP et la modélisation tridimensionnelle retenue. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 présentée en annexe 1 de cet avis.

Application de la nouvelle méthode « R1GP 3D statique »

Enfin, EDF a fourni un exemple d'application de la méthode aux réacteurs du palier N4 sur un nombre limité de situations de fonctionnement.

L'IRSN constate que cette première application est incomplète et n'est pas totalement représentative d'une démonstration de sûreté valorisant la méthode. Elle ne répond donc pas pleinement à la demande de l'ASN formulée en référence [2] concernant les dossiers présentant une nouvelle méthode. Ce manque du dossier, partiellement comblé au cours de l'expertise, n'est cependant pas rédhibitoire dans le cas de la méthode « R1GP 3D statique » compte tenu de sa faible complexité.

Indépendamment des points faisant l'objet d'observations ou de recommandations, l'IRSN souligne que les recouplages introduits dans cette nouvelle méthode conduisent à une réduction importante des conservatismes propres à la méthode. Ainsi, cette méthode devient beaucoup plus sensible au conservatisme de chacune des hypothèses prise isolément. Compte tenu de l'incomplétude de la note d'application présentée, de la liberté laissée dans la note de

⁸ Typiquement, utiliser la valeur maximale ou minimale du paramètre.

⁹ Notamment, la phase long terme considère une puissance revenue à la puissance nominale, et la phase court terme avec cumul du MDTE considère un débit primaire abaissé.

méthode concernant une partie des hypothèses d'études et la définition de pénalités, des faibles marges affichées vis-à-vis des critères retenus dans l'exemple d'application, et de cette réduction des conservatismes propres à la méthode « R1GP 3D statique », l'IRSN estime qu'EDF devra particulièrement veiller à la bonne application de la méthode, et notamment à assurer le conservatisme de chacune des hypothèses retenues dans ses futures applications.

Conclusion

À l'issue de son expertise des éléments apportés par EDF, l'IRSN estime que la méthode « R1GP 3D statique » développée pour l'étude de l'accident de retrait incontrôlé d'une grappe de contrôle réacteur en puissance est acceptable, sous réserve de la prise en compte des recommandations et de l'observation figurant en annexe de cet avis.

Enfin, l'IRSN estime qu'EDF doit réviser le dossier de méthode « R1GP 3D statique » pour tenir compte des compléments nécessaires et refléter les éléments de description et de justification de la méthode transmis au cours de l'expertise.

Pour le Directeur général et par délégation,
Olivier DUBOIS
Directeur adjoint de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN n° 2020-00119 du 21 juillet 2020

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande qu'EDF justifie le caractère conservatif des cas retenus pour l'étude de la phase long terme de l'accident de retrait incontrôlé d'une grappe de contrôle en puissance avec la méthode « R1GP 3D statique ».

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre, dans la méthode « R1GP 3D statique », un mode de prise en compte des incertitudes, pénalités et provisions sur le poids de la grappe retirée et sur les contre-réactions conservatif et cohérent avec les phénomènes physiques dominants du transitoire de retrait incontrôlé d'une grappe de contrôle en puissance et avec l'aspect tridimensionnel de la méthode.

Annexe 2 à l'avis IRSN n° 2020-00119 du 21 juillet 2020

Observation de l'IRSN

Observation n° 1 :

L'IRSN estime qu'EDF devrait évaluer le risque de crise d'ébullition en prenant en compte le potentiel changement de configuration pénalisante associé à la diminution de débit entre la phase court terme sans cumul du MDTE et la phase court terme avec cumul du MDTE de l'étude d'accident de retrait incontrôlé d'une grappe de contrôle en puissance avec la méthode « R1GP 3D statique ».