



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 14 septembre 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2020-00139

Objet : Réacteurs électronucléaires – EDF – Méthode « CDG rénovée » - Paliers 900, 1300 et 1450 MWe

Réf. : [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2020-028830 du 19 mai 2020.
[2] Avis IRSN n° 2020-00119 du 21 juillet 2020.
[3] Lettre ASN – DGSNR/SD2/n°0242/2006 du 22 septembre 2006.

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'incident de chute d'une ou plusieurs grappes de contrôle lorsque le réacteur est en puissance (CDG), d'autre part un exemple d'application pour les réacteurs de 1450 MWe (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 de CDG résultent d'une chute imprévue (causée par une défaillance ou un cumul de défaillances d'origine électrique ou mécanique) d'une ou plusieurs grappes d'un même sous-groupe dans le cœur¹ alors que le réacteur est en puissance. Cet incident est classé en condition de fonctionnement de catégorie 2².

Cet événement conduit à une insertion d'antiréactivité dans le cœur³, et en conséquence à une baisse de la puissance générée. À la suite de cette baisse, le système de régulation de la puissance et de la température du circuit primaire va ordonner l'extraction des groupes de régulation, ce qui va entraîner une augmentation de la

¹ Pour le pilotage du réacteur, les grappes sont regroupées en sous-groupes, composés de quatre grappes disposées en symétrie de révolution dans le cœur.

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

³ 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 l'antiréactivité signifie donc diminuer le niveau de réaction, ce qui entraîne une baisse de puissance.

MEMBRE DE
ETSON

puissance et de la température dans une configuration plus défavorable⁴, puisqu'une ou plusieurs grappes se trouvent totalement insérées dans le cœur, induisant un risque d'endommagement de la gaine des crayons de combustible, à la suite de l'apparition de la crise d'ébullition, et un risque de fusion de pastilles de combustible à cœur.

Les systèmes de protection des réacteurs du parc en exploitation pour lesquels la méthode rénovée est applicable (listés plus bas) disposent d'une branche dédiée à la détection de la CDG :

- si la chute est détectée, alors un arrêt automatique du réacteur (AAR) est déclenché, entraînant avec lui une baisse très rapide de la puissance générée dans le cœur et l'absence de risque d'endommagement du combustible ;
- dans le cas contraire, l'incident se poursuit, avec le risque d'endommagement précité.

La démonstration de sûreté en vigueur repose sur trois phases successives⁵ :

- une phase concernant le diagnostic de détection visant à déterminer les combinaisons de CDG détectées par le système de protection ;
- une phase d'évaluation de la variation du rapport de flux thermique critique (RFTC) au cours du transitoire consécutif à la CDG. Dans cette phase, une distinction est faite entre :
 - l'effet thermohydraulique causé par l'évolution des paramètres de la chaudière,
 - l'effet radial et axial causé par la perturbation de la distribution de puissance,
- une phase de vérification de l'absence de fusion à cœur⁶ des pastilles avec la même distinction que dans la phase précédente.

Présentation de la méthode rénovée d'étude du transitoire de CDG

La nouvelle méthode d'étude développée par EDF se situe dans la continuité de la méthode en vigueur, en particulier pour ses deux premières phases :

- la phase concernant le diagnostic de détection est reprise dans sa quasi-totalité ;
- la phase concernant l'évolution des paramètres thermohydrauliques au cours du transitoire est reprise largement dans son principe. Les évolutions notables répondent à un changement d'objectif consistant à déterminer les conditions thermohydrauliques⁷ pénalisantes pour une évaluation explicite des paramètres d'intérêt (RFTC et puissance linéique), et non plus de leurs variations.

En revanche, la troisième phase de cette méthode rénovée constitue une modification significative par rapport à la méthode en vigueur. Elle vise à vérifier de manière explicite le respect des critères associés aux conditions de fonctionnement de catégorie 2 : l'absence de crise d'ébullition et l'absence de fusion à cœur du combustible.

Cette phase comporte des calculs neutroniques tridimensionnels⁸ statiques : un grand nombre de configuration de cœur visant à couvrir le domaine de fonctionnement normal est généré, puis les cas de CDG non-détectés sont modélisés de façon explicite et les conditions thermohydrauliques sont reprises de la phase précédente. Une pénalisation de la réactivité du cœur est retenue afin d'assurer le conservatisme des calculs réalisés. En

⁴ La CDG entraîne une déformation de la distribution locale de puissance dans le cœur.

⁵ Si, pour une combinaison de CDG, la première phase conclut à la détection par le système de protection, alors les phases suivantes n'ont pas à être effectuées pour celle-ci.

⁶ Cette vérification s'effectue en principe avec un critère en puissance linéique.

⁷ À savoir la puissance, le débit primaire, la pression primaire et la température de l'eau en entrée du cœur.

⁸ À l'instar de la méthode « R1GP statique » (cf. l'avis IRSN dédié en référence [2]).

outre, des pénalités sont prises de manière déterministe afin de tenir compte des modèles perturbés d'exploitation des cœurs⁹. Les résultats ainsi obtenus sont comparés aux critères.

Enfin, une quatrième phase optionnelle est prévue dans le cas où les critères ne sont pas vérifiés : il s'agit alors de reprendre les deux précédentes phases afin de dimensionner le seuil des alarmes¹⁰ pour garantir *in fine* le respect des critères.

La sélection de l'aggravant¹¹ le plus pénalisant pour la méthode renouvelée, comme pour la méthode en vigueur, est réalisée selon le résultat du diagnostic de détection :

- soit la CDG n'est pas détectée à cause d'un aggravant, celui-ci est considéré pour tout le transitoire ;
- soit la CDG n'est pas détectée même sans aggravant, alors il convient de chercher l'aggravant le plus pénalisant vis-à-vis du transitoire consécutif à la CDG.

Tout comme la méthode en vigueur, la méthode renouvelée ne couvre que la phase comprise entre l'événement initiateur et les premières actions automatiques de protection. Par ailleurs, l'applicabilité de la méthode renouvelée pour les réacteurs du parc en exploitation est la suivante :

- s'agissant des réacteurs du palier 900 MWe, **seul le diagnostic de détection est applicable** ;
- s'agissant des réacteurs des paliers 1300 et 1450 MWe, la méthode est **entièrement applicable** ;

Cette méthode ne traite ni du cumul avec le manque de tension externe, ni des situations de bouchage de tubes de générateur de vapeur dissymétriques. Par ailleurs, elle ne s'applique pas aux réacteurs EPR FA3 et EPR2 en raison des particularités de leurs systèmes de protection.

L'ASN souhaite connaître l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité sur le plan de la sûreté de la nouvelle méthode « CDG renouvelée » élaborée 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 méthode renouvelée

À l'instar de la méthode d'étude en vigueur, les scénarios retenus dans la méthode renouvelée sont exhaustifs en ce qui concerne le diagnostic de détection (toutes les configurations de CDG sont étudiées) et enveloppes des conditions de fonctionnement pour le reste de l'étude, **ce que l'IRSN estime satisfaisant.**

⁹ Les modèles perturbés présentent trois situations distinctes : le suivi de charge et télé-régulation, le fonctionnement prolongé à puissance réduite, la présence d'un déséquilibre azimutal de la puissance du cœur.

¹⁰ L'objectif de ces alarmes est de contraindre le domaine de fonctionnement autorisé du réacteur afin d'éliminer les configurations de cœur défavorables vis-à-vis du transitoire considéré.

¹¹ De manière conservatrice, les études d'accident de dimensionnement prennent en compte la défaillance unique, indépendante de l'événement déclencheur de l'accident, d'un équipement important pour la sûreté sollicité pour ses effets bénéfiques lors de l'accident.

Concernant les deux premières phases de la méthode renouvelée, la reprise très large des hypothèses de la méthode en vigueur n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. En particulier, les choix de modélisation et les outils de calculs retenus pour ces phases sont à même de représenter correctement les phénomènes physiques dominants intervenant lors d'un transitoire de CDG (notamment la variation de réactivité du cœur et l'effet des régulations).

Au sujet de la vérification explicite des critères, principal apport de la méthode renouvelée, l'IRSN estime que la modélisation tridimensionnelle, statique et limitée au cœur retenue pour cette phase, ainsi que les outils de calculs utilisés permettent de représenter correctement les phénomènes se produisant dans le cœur lors d'un transitoire de CDG (à savoir la variation de la réactivité du cœur et la déformation de la distribution de puissance).

Enfin, étant donné que la dernière phase d'étude optionnelle, relative au dimensionnement des seuils des alarmes, consiste en une reprise légèrement modifiée des deux précédentes, l'IRSN ne formule aucune remarque à son sujet.

Pénalisation des phénomènes physiques dominants

Afin d'assurer le conservatisme nécessaire des études retenues dans la démonstration de sûreté, il convient de recenser et de pénaliser les phénomènes physiques dominants du transitoire. À ce sujet, l'IRSN note que :

- pour la phase de diagnostic de détection des CDG, les conservatismes de la méthode en vigueur sont conservés, ce qui est satisfaisant ;
- pour la phase de détermination des conditions thermohydrauliques pénalisantes, les principaux conservatismes sont conservés et les modifications d'hypothèses sont légitimes et conservatives au regard du changement d'objectif de cette phase ;
- pour la phase de vérification des critères, le conservatisme des conditions thermohydrauliques est assuré par la phase précédente. La pénalisation appliquée sur la réactivité cible pour tenir compte de l'incertitude du poids des grappes chutées vise à retenir la position des groupes de régulation de la température du circuit primaire la plus défavorable. Or cette pénalisation n'est pas de nature à assurer le conservatisme de la distribution de puissance. Au cours de l'expertise, EDF s'est engagé à compléter sa démonstration sur ce point. Cet engagement est rappelé en annexe ;
- la phase optionnelle de dimensionnement des seuils de surveillance en cas de non-respect des critères n'appelle pas de remarque particulière.

Prise dans son ensemble, l'IRSN souligne que la méthode d'étude renouvelée du transitoire de CDG comporte des découplages significatifs entre les différentes phases qui la composent (à l'instar de la méthode en vigueur). Ces découplages sont de nature à assurer son conservatisme global.

Application de la nouvelle méthode

EDF a fourni un exemple d'application de la méthode aux réacteurs de 1450 MWe (palier N4) sur le cycle d'équilibre de la gestion de combustible ALCADÉ à l'état technique VD2¹², limité aux deuxième et troisième phases de la méthode renouvelée. En particulier, le diagnostic de détection n'est pas repris car, selon EDF, les évolutions ont un impact modéré sur cette phase. Par ailleurs, le redimensionnement des seuils de surveillance pour cette gestion de combustible n'est pas nécessaire dans la mesure où les critères sont vérifiés à l'issue de la troisième phase.

Malgré ce périmètre limité, l'IRSN estime que cette première application est complète et représentative d'une démonstration de sûreté valorisant la méthode, notamment par la prise en compte des modèles perturbés d'exploitation des réacteurs. Elle répond donc pleinement à la demande de l'ASN formulée en référence [3] concernant les dossiers présentant une nouvelle méthode.

¹² Il s'agit de l'état technique des réacteurs 1450 MWe après leur deuxième visite décennale.

Conclusion

À l'issue de son expertise des éléments présentés par EDF, **l'IRSN estime que la méthode « CDG renouvelée »** développée pour l'étude de l'incident de chute d'une ou plusieurs grappes dans le cœur d'un réacteur en puissance **est acceptable**, sous réserve du complément d'étude auquel EDF s'est engagé rappelé en annexe.

Une fois ce complément d'étude réalisé, EDF devra mettre à jour le dossier de méthode pour prendre en compte les résultats obtenus, ainsi qu'intégrer l'ensemble des éléments de description et de justification de la méthode transmis au cours de l'expertise.

Pour le Directeur général et par délégation,
Hervé BODINEAU
Adjoint au Directeur de l'Expertise de Sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2020-00139 DU 14 SEPTEMBRE 2020

Engagement de l'exploitant

EDF a pris l'engagement suivant : « [EDF démontrera] *le conservatisme global de la phase d'évaluation des marges de la méthode CDG renouvelée par la réalisation d'un transitoire 3D cinétique* ».