

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS  
POUR LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES**

**Avis  
relatif aux études d'accidents du réacteur EPR Flamanville 3**

## I

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), notifiée par la lettre CODEP-DCN-2016-000774 du 8 février 2016, le groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires s'est réuni les 30 juin et 1er juillet 2016 pour examiner les études d'accident du rapport de sûreté (RDS) joint à la demande d'autorisation de mise en service (DMES) du réacteur EPR Flamanville 3.

## II

Au cours de cette réunion, les participants ont pris connaissance de l'analyse réalisée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la base du dossier transmis par Electricité de France (EDF) et des éléments complémentaires que l'IRSN a recueillis au cours de l'instruction.

Le groupe permanent a examiné :

- les études d'accident du RDS joint à la demande d'autorisation de mise en service (DMES), comprenant les études des conditions de fonctionnement de référence (PCC), les études des conditions de fonctionnement avec défaillances multiples (RRC-A), les études spécifiques, les études des conséquences radiologiques ;
- la gestion du combustible prévue par l'exploitant dans la DMES, notamment ses caractéristiques générales, la démarche de démonstration de sûreté des cœurs avant chaque rechargement de combustible, la variabilité des recharges envisagée ;
- les éléments relatifs au combustible présentés dans la DMES, portant principalement sur le combustible retenu, ses critères de conception, ses comportements mécanique et thermomécanique ;
- l'instrumentation du cœur et le système de protection (à l'exception de la qualification aux conditions accidentelles de ces matériels, examinée par ailleurs), en lien avec les actions de ces systèmes intervenant dans les études d'accident.

Dans le cadre de l'instruction technique, EDF a pris différents engagements, qu'il devra confirmer à l'Autorité de sûreté nucléaire.

## III

La démonstration de sûreté du réacteur EPR Flamanville 3 présentée dans le RDS joint à la DMES du réacteur est établie sur la base d'une démarche déterministe complétée par un éclairage probabiliste ; elle comporte différentes études d'accident. Ces dernières ont été réalisées avec des règles adaptées et s'appuient sur des méthodes, des logiciels de calcul, des hypothèses d'études et des critères d'acceptation. Elles doivent permettre de s'assurer du bon dimensionnement des systèmes de protection et de sauvegarde du réacteur, du caractère suffisant des dispositions prises pour limiter la fréquence de fusion du cœur due aux situations pouvant résulter de défaillances multiples, de l'adéquation des actions de conduite prévues dans les règles générales d'exploitation ainsi que d'apprécier le respect des objectifs de limitation des conséquences radiologiques fixés pour le réacteur dans les directives techniques.

Certaines méthodes utilisées pour les études d'accident du parc en exploitation ont été reconduites pour la démonstration de sûreté du réacteur EPR Flamanville 3 ; d'autres méthodes ont été adaptées pour tenir compte des spécificités du réacteur EPR Flamanville 3 ; des méthodes plus évoluées, privilégiant

Le recours à des calculs tridimensionnels (3D), ont été développées pour mieux représenter la physique des phénomènes qui peuvent se produire lors des situations considérées. Le groupe permanent estime que, à quelques exceptions près, l'utilisation de ces méthodes telle qu'elle est présentée dans le RDS est acceptable ; pour les cas faisant exception, les éléments transmis par EDF au cours de l'instruction mais non inclus à ce jour dans le RDS sont satisfaisants.

\*\*\*

Le groupe permanent souligne que la taille du cœur du réacteur et le taux de combustion maximal visé constituent des éléments pouvant avoir des conséquences en termes de déformations latérales des assemblages combustibles en fonctionnement normal. À ce stade, il estime que les dispositions de surveillance prévues par EDF à cet égard sont satisfaisantes.

Les effets neutroniques dus à la taille du cœur et au réflecteur lourd doivent être correctement appréciés ; EDF a apporté des éléments de validation des logiciels qu'il a utilisés à cette fin. Le groupe permanent note, à ce sujet, qu'une interprétation approfondie des résultats des essais physiques du premier démarrage sera menée pour vérifier la conformité du cœur et confirmer les incertitudes retenues.

\*\*\*

Le réacteur EPR Flamanville 3 dispose de systèmes spécifiques de mesure neutronique et notamment d'une instrumentation interne fixe utilisant des collectrons. Les mesures issues de ces collectrons permettront notamment d'estimer en continu, en tenant compte des incertitudes, certaines grandeurs intervenant dans la surveillance et la protection du réacteur, notamment la puissance linéique maximale du cœur et le rapport de flux thermique critique (RFTC) minimal dans le cœur.

Le groupe permanent note qu'EDF s'est engagé à apporter des éléments pour confirmer le conservatisme des valeurs de RFTC déterminées à l'aide des algorithmes utilisés. Par ailleurs, il souligne que les grandeurs estimées à partir des signaux des collectrons seront affectées d'une erreur de représentativité, due au fait que certains assemblages seulement seront équipés de collectrons ; EDF s'est engagé à revoir le mode de cumul de cette erreur avec les autres incertitudes de manière à le rendre conservatif pour le calcul des seuils de surveillance et de protection du réacteur. Enfin, le groupe permanent note qu'EDF réévaluera les incertitudes affectant la corrélation de flux critique utilisée afin que le taux de couverture visé pour ce qui concerne le risque de crise d'ébullition soit bien systématiquement atteint.

\*\*\*

Pour ce qui concerne la maîtrise de la réactivité du réacteur EPR Flamanville 3, le groupe permanent note que toutes les grappes de commande seront insérées dans le cœur dans les états d'arrêt, au contraire des réacteurs du parc en exploitation. Cependant, le groupe permanent estime que, compte tenu des dispositions spécifiques retenues pour le réacteur EPR Flamanville 3 permettant de prévenir le passage à l'état critique en cas d'insertion intempestive de réactivité dans les états d'arrêt, ce choix ne met pas en cause la maîtrise de la réactivité, moyennant le respect de concentrations en bore adéquates dans ces états.

Le groupe permanent souligne par ailleurs que plusieurs modifications bénéfiques visant à éviter, de manière automatique, un retour à des conditions critiques lors de certaines conditions de

fonctionnement PCC ont été décidées par EDF depuis la conception initiale (relèvement des insertions limites des grappes de régulation, signaux de démarrage automatique du système de borication de sécurité...); EDF doit néanmoins encore démontrer que les dispositions prises sont suffisantes.

\*\*\*

Différents types d'événements peuvent affecter la sûreté du réacteur EPR Flamanville 3 :

- les accidents de réactivité ;
- les accidents de refroidissement et d'échauffement ;
- les accidents de diminution du débit primaire ;
- les accidents de diminution ou d'augmentation de l'inventaire en eau du primaire.

L'objectif des études PCC est de vérifier que les seuils de surveillance et de protection du réacteur et les caractéristiques des systèmes de sauvegarde permettent d'assurer le respect des critères d'acceptation retenus. En plus des critères relatifs à la première barrière, gradués selon la catégorie de PCC considérée, les études relatives aux PCC de deuxième catégorie visent par ailleurs à montrer le maintien de l'intégrité du réservoir de décharge du pressuriseur (RDP), c'est-à-dire l'absence d'ouverture de ses disques de rupture, dans ces conditions.

Le groupe permanent note que les études PCC sont globalement conformes aux directives techniques pour ce qui concerne la prise en compte des actions des opérateurs et de la maintenance préventive.

Certaines études d'accident retiennent comme hypothèse un temps de chute des grappes augmenté du fait d'un séisme postulé. Le groupe permanent souligne l'importance de valider l'évaluation de ce temps de chute.

**S'agissant des accidents de réactivité**, le groupe permanent estime que les études d'EDF sont globalement satisfaisantes. Toutefois, l'étude de l'accident d'éjection de grappe comporte une évaluation du nombre de crayons combustibles susceptibles d'entrer en crise d'ébullition, dont le gainage pourrait être de ce fait endommagé. L'étude présentée aboutissant à un nombre de crayons en crise d'ébullition proche de la limite de découplage retenue (10 %) et la révision de la corrélation de flux critique pouvant aboutir à une révision à la hausse de ce nombre, le groupe permanent note qu'une étude révisée montrant le respect de la limite de découplage retenue pour l'étude des conséquences radiologiques et pour l'évaluation des doses utilisées pour la qualification des matériels sera fournie par EDF avant la mise en service du réacteur. Ceci pourra nécessiter des adaptations des insertions limites des groupes de grappes de pilotage.

**S'agissant des accidents de refroidissement et d'échauffement**, le groupe permanent estime que les études d'EDF sont globalement satisfaisantes. Toutefois, en l'état actuel, les études de rupture d'une tuyauterie de vapeur ne permettent pas, pour les cas d'accident se produisant en puissance avec cumul du manque de tension externe (MDTE), d'exclure que des crayons qui auraient pu être endommagés du fait de la crise d'ébullition concomitante à l'arrêt automatique du réacteur et à la perte de débit due au MDTE puissent ensuite être soumis à une excursion de puissance. À cet égard, le groupe permanent retient la recommandation n°1 de l'annexe au présent avis.

**S'agissant des accidents de diminution du débit primaire**, le groupe permanent estime que les études d'EDF sont satisfaisantes.

**S'agissant des accidents de diminution ou d'augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire**, le groupe permanent note que, pour les accidents de perte de réfrigérant primaire, des signaux spécifiques ont été définis pour déclencher le système d'injection de sécurité en cas d'accident survenant en état d'arrêt ; le fonctionnement de ce système permet alors d'assurer le refroidissement du cœur. En revanche, pour les accidents de perte de réfrigérant primaire survenant en puissance, EDF n'a pas tenu compte dans ses études du risque de rupture de gaines résultant du passage en crise d'ébullition au cours de la dépressurisation du circuit primaire. Cela conduit le groupe permanent à retenir la recommandation n°2 de l'annexe au présent avis. Un tel accident peut, par ailleurs, conduire, dans une phase ultérieure, à une dilution hétérogène du circuit primaire. EDF a fourni, au cours de l'instruction, des études reposant sur des hypothèses enveloppes qui justifient l'absence de dommage pour le combustible durant cette phase de l'accident. Le groupe permanent estime que ces éléments contribuent positivement à la démonstration de sûreté.

Pour ce qui concerne les ruptures de tubes de générateurs de vapeur (RTGV), les études de RTGV de 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> catégorie (avec respectivement un et deux tubes rompus) confirment que l'objectif d'absence de rejets liquides est bien atteint. Cependant, ce type d'accident conduit aussi à un écoulement d'un volume important d'eau non borée des générateurs de vapeur vers le circuit primaire ; à cet égard, EDF s'est engagé à vérifier le respect de la sous-criticité du cœur requise pour l'état d'arrêt sûr.

Enfin, pour montrer l'intégrité du réservoir de décharge du pressuriseur, EDF a tenu compte, dans certaines conditions de fonctionnement de deuxième catégorie, de l'effet bénéfique de la régulation de pression du pressuriseur, qui n'a pas le niveau de classement de sûreté normalement exigé pour cela. Le groupe permanent retient donc la recommandation n°3 de l'annexe au présent avis.

Le groupe permanent souligne que, d'ici à la mise en service du réacteur EPR Flamanville 3, certaines études et les déterminations de certains seuils de surveillance et de protection devront être modifiées pour compléter la démonstration de sûreté. EDF devra bien entendu tenir compte, dans les hypothèses des études, des modifications apportées à l'installation de sorte que les études soient cohérentes avec l'état réel de l'installation.

\*\*\*

L'objectif des études RRC-A est de vérifier que les dispositions RRC-A déterminées notamment sur la base des études probabilistes de sûreté (EPS) permettent bien l'atteinte de l'état final dans lequel les fonctions de sûreté sont assurées. Les études disponibles à ce stade, complétées par les engagements d'EDF, répondent à cet objectif. Le groupe permanent considère que ces éléments devront être consolidés à l'occasion de la mise à jour des séquences RRC-A et des dispositions associées sur la base de l'EPS d'exploitation, qui tiendra compte de l'état réel de l'installation.

\*\*\*

Une étude spécifique relative au cas d'une rupture guillotine doublement débattue d'une tuyauterie principale du circuit primaire est présentée dans le rapport de sûreté du réacteur EPR Flamanville 3. L'étude, menée avec des hypothèses adaptées compte tenu de l'exclusion de cet accident de la liste des PCC, montre que les caractéristiques du système d'injection de sécurité permettraient le refroidissement du cœur, ce qui répond aux exigences des directives techniques.

---

\*\*\*

Le groupe permanent considère que les résultats des calculs de conséquences radiologiques menés par EDF pour les conditions de fonctionnement PCC et RRC-A permettent de vérifier le respect des objectifs fixés pour le réacteur EPR Flamanville 3. L'introduction, dans l'EPS de niveau 2 de ce réacteur, de situations d'accident sans fusion du cœur complète ces évaluations.

\*\*\*

Le groupe permanent estime par ailleurs que la démarche retenue par EDF pour la démonstration de la sûreté des cœurs qui seront constitués lors des rechargements de combustible est adaptée. Cette démarche n'est toutefois applicable que pour les recharges qui ne présenteront que de faibles fluctuations par rapport aux recharges aujourd'hui prévues pour la gestion du combustible. Ainsi, certaines variations d'ores et déjà envisagées par EDF, non couvertes par la démonstration de sûreté présentée dans le RDS, nécessiteront des justifications particulières.

#### IV

Le groupe permanent souligne l'importance du travail réalisé par l'exploitant dans le domaine des études d'accident. Il estime en conclusion que les études PCC, RRC-A et les études spécifiques du rapport de sûreté du réacteur EPR Flamanville 3 sont satisfaisantes sous réserve de la prise en compte des recommandations jointes au présent avis et de la mise en œuvre des engagements pris par EDF, tout en notant qu'un travail significatif reste à réaliser, avant la mise en service, pour compléter la démonstration de sûreté de ce réacteur.

## ANNEXE

### Recommandations

#### **Recommandation n° 1 :**

Le groupe permanent recommande, pour les transitoires induits par une brèche dans le circuit secondaire, qu'EDF démontre, en vue de la mise en service du réacteur EPR Flamanville 3 :

- soit l'absence de retour en puissance en cas d'endommagement de crayons combustibles entrant en crise d'ébullition au moment de l'arrêt automatique du réacteur,
- soit l'absence d'endommagement des crayons combustibles entrant en crise d'ébullition au moment de l'arrêt automatique du réacteur en cas de retour en puissance ultérieur.

Le cas échéant, EDF mettra en œuvre des modifications matérielles ou d'exploitation.

#### **Recommandation n° 2 :**

Compte tenu du risque de crise d'ébullition affectant les crayons combustibles pendant la dépressurisation rapide du circuit primaire induite par une brèche de ce circuit, le groupe permanent recommande qu'EDF démontre, en préalable à la mise en service du réacteur EPR Flamanville 3, que le taux de rupture de gaine reste inférieur à la valeur de 10 % considérée dans l'évaluation des conséquences radiologiques et retenue pour la qualification des matériels.

#### **Recommandation n° 3 :**

Le groupe permanent recommande qu'EDF démontre que la non-prise en compte de la régulation de la pression primaire lors des transitoires :

- de perte de l'eau alimentaire normale du circuit secondaire ;
- de dysfonctionnement du circuit de contrôle volumétrique et chimique par augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire ;
- d'augmentation de la pression du circuit primaire en cas de réchauffement intempestif du pressuriseur ;

n'est pas de nature à mettre en cause l'intégrité du réservoir de décharge du pressuriseur. EDF adaptera en conséquence le scénario enveloppe présenté au titre des PCC-2 à l'échéance du « dossier de fin de démarrage ».