

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS
POUR LES REACTEURS NUCLEAIRES**

**AVIS RELATIF AUX ETUDES D'ACCIDENTS MENEES DANS LE CADRE
DU QUATRIEME REEXAMEN PERIODIQUE DES REACTEURS DE
1300 MWE (RP4 1300)**

Réunion tenue à Montrouge et en visioconférence les 4 et 5 décembre 2024

I

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), notifiée par lettre CODEP-DCN-2024-060885 du 7 novembre 2024, le groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) s'est réuni les 4 et 5 décembre 2024 pour examiner les études d'accidents associées au quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe (RP4 1300) exploités par Électricité de France (EDF) ainsi que les situations accidentelles susceptibles de survenir dans les piscines d'entreposage des assemblages de combustible de ces réacteurs et lors de la manutention de ces assemblages de combustible.

Au cours de cette réunion, les membres du GPR ont pris connaissance de l'expertise réalisée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la base du dossier transmis par EDF, des éléments complémentaires qu'il a recueillis au cours de l'expertise et des engagements afférents pris par EDF. Ils ont par ailleurs entendu les explications et les commentaires présentés en séance par EDF.

II

Le groupe permanent a, conformément à la saisine précitée, examiné les études d'accidents sans fusion du cœur réalisées par EDF dans le cadre du réexamen RP4 1300. Dans ce cadre, l'ASN a demandé que le groupe permanent examine en particulier :

- *« le corps d'hypothèses ainsi que les codes et méthodes utilisés dans les études de sûreté ;*
- *les reprises d'études d'accidents transmises par EDF : études d'accidents du domaine de dimensionnement et du domaine complémentaire, études de masses et énergies libérées dans l'enceinte de confinement, études des conséquences radiologiques (dans le domaine de dimensionnement et dans le domaine complémentaire), études justificatives particulières (interaction pastille-gaine, accident de perte de réfrigérant primaire, dilution inhérente) et études relatives aux surpressions à froid ;*
- *l'application par EDF d'un ensemble de nouveaux référentiels : référentiel d'évaluation des conséquences radiologiques, référentiel de l'accident de perte de réfrigérant primaire, démarche du domaine complémentaire rénové pour identifier les dispositions complémentaires. En particulier, [l'ASN] souhaite disposer de [l'avis du GPR], pour les études du domaine complémentaire rénové, sur le risque d'effet falaise en lien avec les délais d'action de la conduite accidentelle ;*
- *la démarche adoptée pour la démonstration de sûreté des recharges permettant notamment de couvrir la variabilité des plans de chargement ;*
- *les réponses apportées par EDF aux demandes de l'ASN formulées à la suite des séances du GPR sur les orientations du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe [...], notamment la prise en*

compte de l'état prévisible du combustible (conditionnement mécanique des crayons de combustible, déformation latérale des assemblages de combustible, crayons de combustible inétanches) et la couverture de la démonstration de sûreté pour l'ensemble des cycles de fonctionnement des réacteurs ;

- *les études relatives à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible, notamment celles issues de la transposition des conditions de fonctionnement de référence (PCC) du réacteur EPR de Flamanville ainsi que celles portant sur les situations de vidange de la piscine du bâtiment réacteur en état d'arrêt pour rechargement du réacteur (APR) et les situations susceptibles d'affecter les piscines du bâtiment combustible ou du bâtiment réacteur en cas de séisme du fait de la défaillance d'un équipement non classé sismique. »*

Pour ces différents sujets, le groupe permanent a notamment examiné les suites données par EDF aux demandes formulées par l'ASN dans les lettres référencées CODEP-DCN-2013-013464 du 28 juin 2013 et CODEP-DCN-2019-009228 du 11 décembre 2019 relatives respectivement au projet de prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de 40 ans et aux orientations du réexamen RP4 1300.

III

Corps d'hypothèses des études d'accidents

Le groupe permanent note que, à l'occasion du réexamen RP4 1300, EDF intègre dans la démonstration de sûreté une modification de la gestion de combustible mise en œuvre pour ces réacteurs, à savoir la possibilité d'utiliser des combustibles sous forme d'uranium de retraitement enrichi (URE) et des combustibles contenant un mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium (MOX), en plus des combustibles à base d'uranium naturel enrichi (UNE) utilisés dans la gestion GEMMES actuelle. Les études d'accidents réalisées couvrent un ensemble de plans de chargement prévisionnels avec ces combustibles, ce qui permettra à EDF de disposer d'une grande souplesse d'exploitation, notamment en termes de nature du combustible, de format des recharges de combustible et de durée du cycle d'irradiation.

De manière générale, le groupe permanent estime que les hypothèses retenues par EDF prennent correctement en compte l'état des connaissances, notamment certains phénomènes physiques relatifs au combustible, telle la déformation latérale des assemblages, les conclusions des expertises réalisées précédemment par l'IRSN ainsi que les nouveaux référentiels relatifs à l'accident de perte de réfrigérant primaire, aux conditions de fonctionnement complémentaires et à l'évaluation des conséquences radiologiques. De plus, EDF a résorbé les anomalies d'études identifiées avant le réexamen RP4 1300, ce qui est satisfaisant.

Le groupe permanent estime par ailleurs que les outils de calcul scientifique utilisés par EDF pour réaliser les études d'accidents conviennent dans le cadre des études réalisées pour le réexamen RP4 1300.

Le groupe permanent note que quelques études utilisent de nouvelles méthodes par rapport à celles mises en œuvre dans le cadre du réexamen RP4 900. Ces méthodes ont fait l'objet d'une instruction anticipée par l'ASN ou présentent des évolutions cohérentes avec les instructions réalisées depuis. Le groupe permanent estime que ces méthodes sont appliquées de manière satisfaisante dans les études associées au réexamen RP4 1300.

Le groupe permanent estime qu'EDF a démontré l'applicabilité de la corrélation de flux critique FC2002r aux assemblages de conception Framatome et a apporté la démonstration du bon comportement de ces assemblages dans les situations normales, incidentelles et accidentelles. Par ailleurs, en réponse à une prescription de l'ASN formulée dans le cadre du réexamen RP4 900, EDF s'est engagé à réaliser des campagnes d'essais de flux critique afin de valider l'utilisation de cette corrélation en présence de lames d'eau élargies résultant de la déformation latérale des assemblages. Le groupe permanent constate que, dans l'attente des enseignements de ces essais, EDF a appliqué, pour la prise en compte de l'élargissement des lames d'eau, la méthode mise en œuvre pour les études du réexamen RP4 900, ce qui n'appelle pas de remarque.

Par ailleurs, à partir du réexamen RP4 1300, EDF prévoit notamment l'ajout de quatre grappes d'arrêt pour assurer une meilleure maîtrise de la réactivité, nécessaire pour tenir compte de l'utilisation de combustible MOX.

Enfin, le groupe permanent constate que le délai de réalisation de certaines actions de conduite associées au domaine de fonctionnement complémentaire, dit « délai adapté », peut être supérieur au délai conventionnel retenu dans les études de la démonstration de sûreté. À cet égard, afin de montrer l'efficacité des dispositions complémentaires avec un haut niveau de couverture, conformément aux règles d'études, le groupe permanent estime qu'EDF doit réaliser les études des conditions de fonctionnement complémentaires en retenant le « délai adapté » si ce délai est supérieur au délai conventionnel. Dans ce cadre, s'agissant de la condition de fonctionnement complémentaire « APRP sans ISMP », pour laquelle le « délai adapté » évalué est voisin du délai de grâce, il considère qu'EDF doit rechercher des évolutions de conduite raisonnablement réalisables permettant d'augmenter l'écart entre ces deux délais.

Études des conditions de fonctionnement de dimensionnement

Le groupe permanent relève qu'EDF a mis à jour l'ensemble des études des conditions de fonctionnement de dimensionnement de 2ème, 3ème et 4ème catégories, ce qui est satisfaisant.

Le groupe permanent estime que les études d'EDF permettent, sous réserve de compléments qu'EDF s'est engagé à transmettre, de conclure au respect des critères de sûreté.

Le groupe permanent constate que deux anomalies d'études ont été déclarées par EDF en 2019 et 2021 concernant la démonstration de la maîtrise de la réactivité respectivement lors des phases à moyen terme (entre l'instant de l'arrêt automatique du réacteur et l'instant de la première action de l'opérateur) et à long terme (jusqu'à l'atteinte de l'état sûr) des accidents. Dans les deux cas, la démonstration s'avérait incomplète, voire inexistante, et un retour en criticité pouvait être observé pour de nombreux transitoires, dont certains en 2ème catégorie. À cet égard, EDF a prévu des modifications matérielles et de conduite. EDF a, par ailleurs, proposé des évolutions de méthodes d'étude ainsi qu'une démarche pour évaluer l'évolution de la réactivité du cœur tout au long du repli du réacteur vers l'état sûr, ce qui est satisfaisant.

Concernant les études d'accident de perte de réfrigérant primaire à la suite d'une brèche de taille intermédiaire (APRP-BI), le groupe permanent souligne que la méthode statistique mise en œuvre, dénommée « CathSBI », permet une analyse plus complète et plus systématique du comportement du réacteur en situation accidentelle que les méthodes déterministes utilisées auparavant. En revanche, certaines lacunes de validation de l'outil de calcul scientifique utilisé ont été identifiées, en particulier pour des phénomènes spécifiques aux réacteurs à quatre boucles de refroidissement ou encore lorsque les déformations des gaines de combustible deviennent importantes. Malgré ces réserves, compte tenu des conservatismes retenus, le groupe permanent estime acceptables ces études relatives à l'APRP-BI.

Par ailleurs, le groupe permanent rappelle que, dans le cadre du réexamen RP3 1300, EDF a engagé un plan d'actions visant à réduire les conséquences radiologiques d'une rupture d'un tube de générateur de vapeur (RTGV), en limitant, par des modifications matérielles et de conduite, les risques de sollicitation en eau et de blocage en position ouverte d'une soupape du circuit secondaire et ainsi les rejets d'eau liquide dans l'environnement. Le groupe permanent avait souligné l'amélioration de la sûreté apportée par la mise en œuvre de ce plan d'actions, mais avait estimé que des compléments méritaient d'être apportés. À l'issue de l'expertise réalisée dans le cadre du réexamen RP4 1300, le groupe permanent considère que les compléments transmis par EDF montrent que le risque de blocage d'une soupape du circuit secondaire par une sollicitation en eau après une RTGV est résiduel. Ainsi, le groupe permanent estime acceptable de ne plus considérer ce risque pour l'étude des conditions de fonctionnement.

Concernant les études des évolutions de pression et de température dans l'enceinte du bâtiment du réacteur en cas d'accident, le groupe permanent considère que la mise à jour de ces études est satisfaisante, sous réserve de compléments qu'EDF s'est engagé à fournir et de la confirmation que les matériels installés dans le cadre du réexamen RP4 1300 respectent les conditions de qualification aux conditions accidentelles, notamment ceux de faible épaisseur.

Enfin, le groupe permanent estime que la démarche retenue par EDF pour la démonstration de sûreté relative aux recharges de combustible, couvrant notamment la variabilité attendue des plans de chargement des cœurs, est satisfaisante.

Études des conditions de fonctionnement complémentaires

Le groupe permanent note qu'EDF a mis à jour la liste des dispositions complémentaires et l'ensemble des études des conditions de fonctionnement complémentaires selon la nouvelle démarche du domaine complémentaire rénové.

Concernant l'étude de la perte totale des alimentations électriques (H3) cumulée à la perte du groupe électrogène à moteur Diesel d'ultime secours (DUS), le groupe permanent souligne qu'il est nécessaire de s'assurer du maintien de la sous-criticité du cœur y compris après disparition complète du xénon. À l'issue de l'expertise, EDF a indiqué qu'il envisageait la suppression de cette situation du domaine complémentaire après la mise à jour de son étude probabiliste de sûreté de niveau 1 (EPS1) à l'état RP4 1300. Le groupe permanent considère que cette suppression, acceptable dans son principe, nécessitera au préalable une amélioration de la disponibilité et de la fiabilité des DUS des réacteurs de 1300 MWe telle que recommandée dans l'avis qu'il a émis à l'issue de sa réunion du 17 octobre 2024 consacrée au retour d'expérience des réacteurs d'EDF pour l'année 2022.

Concernant la condition de fonctionnement complémentaire « défaillance de cause commune des tableaux électriques secourus de tension 6,6 kV » (DCC-LH), le groupe permanent note qu'EDF a supprimé cette situation du domaine de fonctionnement complémentaire tout en maintenant les dispositions matérielles et de conduite associées et en conservant l'étude de ce risque dans les études EPS. Compte tenu de ce qui précède, le groupe permanent n'a pas de remarque à la suppression de la condition de fonctionnement complémentaire DCC-LH.

Les études des autres conditions de fonctionnement complémentaires présentées permettent de conclure au respect des critères de sûreté, sous réserve de compléments qu'EDF s'est engagé à transmettre. En outre, le groupe permanent note que l'instruction de la réponse à la demande de l'ASN consistant à pénaliser les modèles physiques des outils de calcul scientifique utilisés se poursuit. Pour les conditions de fonctionnement complémentaires déjà examinées par EDF dans le cadre de sa réponse à cette demande (études menées avec les délais conventionnels pour les actions des opérateurs), les incertitudes liées aux modèles physiques ont a priori une influence limitée sur les résultats des études.

Études justificatives particulières

EDF a présenté quatre études justificatives particulières relatives respectivement au phénomène d'interaction entre les pastilles et les gaines, à la rupture doublement débattue d'une tuyauterie

principale du circuit primaire, à la dilution inhérente à l'accident de perte de réfrigérant primaire pour des brèches de taille intermédiaire et à la rupture d'un tube de générateur de vapeur avec débordement forcé. Le groupe permanent considère ces études satisfaisantes.

Surpressions à froid

Le risque de rupture de la cuve du réacteur à la suite d'une surpression à froid doit être « pratiquement éliminé », c'est-à-dire rendu extrêmement improbable avec un haut degré de confiance. La prévention de ce risque pour les réacteurs de 1300 MWe repose sur la mise en œuvre des procédures de conduite par les opérateurs. Pour certaines situations de brèches affectant le circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA), alors qu'il est connecté au circuit primaire, le risque de surpression à froid est particulièrement sensible au délai de réalisation des actions par les opérateurs, ce qui rend difficile la démonstration d'une élimination pratique. Pour les autres réacteurs d'EDF, des dispositions matérielles spécifiques réduisent ce risque. Ainsi, le groupe permanent considère que, pour les réacteurs de 1300 MWe, EDF doit proposer des modifications visant à renforcer la protection contre les situations de surpression à froid dans les états du réacteur où le RRA est connecté. Il émet à cet égard la recommandation en annexe.

Études relatives à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible

Les études d'accidents relatives à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible comprennent les études de perte de refroidissement et de vidange accidentelle des piscines présentes dans le bâtiment du réacteur (piscine BR) et dans le bâtiment du combustible (piscine BK), ainsi que les études relatives aux incidents et accidents pouvant survenir lors de la manutention des assemblages de combustible. L'objectif de ces études est de s'assurer de la possibilité de ramener et de maintenir l'installation dans un état sûr à la suite d'un tel incident ou accident et de vérifier le caractère extrêmement improbable d'une fusion de combustible.

Ainsi, les études de perte de refroidissement et de vidange de la piscine BK réévaluent les séquences devant être traitées au titre du domaine complémentaire, transposent des transitoires accidentels de référence du réacteur EPR de Flamanville aux réacteurs de 1300 MWe et examinent de façon exhaustive les événements qui pourraient être induits par un séisme. Le groupe permanent souligne la complétude du travail réalisé par EDF. Toutefois, le groupe permanent considère qu'EDF doit porter une attention toute particulière aux actions d'exploitation et de surveillance permettant d'assurer la fonctionnalité du casse-siphon implanté sur la ligne de refoulement du circuit de refroidissement de la piscine BK.

S'agissant de l'étude des situations accidentelles de vidange spécifiques à l'arrêt pour rechargement, le groupe permanent note l'importance et la qualité des travaux réalisés par EDF, mais estime que des compléments sont nécessaires concernant la remise en position sûre d'un assemblage de combustible en cours de manutention dans la piscine BR, ce à quoi EDF s'est engagé.

Par ailleurs, le groupe permanent rappelle que l'état sûr visé pour les scénarios induisant une perte de refroidissement de la piscine BK est un refroidissement assuré par un circuit fermé sans ébullition de la piscine. EDF a montré que cet état peut être atteint et maintenu pour la quasi-totalité de ces scénarios. Pour les quelques cas où cet état ne peut pas être atteint (l'évacuation de la puissance est alors assurée par l'ébullition de l'eau de la piscine et un appoint d'eau), EDF a prévu de renforcer la prévention des événements qui pourraient en être à l'origine, ce qui est acceptable.

Pour ce qui concerne les risques associés à l'évacuation du combustible usé, les réacteurs de 1300 MWe du type P4 se distinguent de ceux du type P'4 par le fait que l'emballage de transport est manutentionné en hauteur pour pouvoir être placé dans la fosse de chargement de la piscine BK. Pour les réacteurs du type P'4, l'emballage est accosté sous cette fosse sans levage. Pour les réacteurs du type P4, le groupe permanent considère qu'EDF a justifié la résistance des structures de génie civil ainsi que l'absence de risque de criticité en cas de chute de l'emballage dans le bâtiment BK, ce qui est satisfaisant. Il note en outre qu'EDF s'est engagé, et ce pour l'ensemble des réacteurs de 1300 MWe, à s'assurer de la robustesse des dispositions mises en place pour prévenir l'occurrence et les conséquences d'une immobilisation prolongée d'un emballage chargé de combustible usé avant sa mise en configuration de transport. Par ailleurs, le groupe permanent a été informé de la mise en place d'un projet par EDF pour renforcer la sûreté des opérations de réception et d'évacuation du combustible. Il estime cette démarche satisfaisante et souhaite pouvoir en examiner les conclusions.

Évaluation des conséquences radiologiques

Le groupe permanent considère que la mise à jour des évaluations de conséquences radiologiques pour les accidents du domaine de dimensionnement, du domaine complémentaire et des études justificatives particulières permet de vérifier que l'objectif que s'est fixé EDF « de viser des conséquences radiologiques inférieures au seuil de mise en œuvre de mesures de protection des populations (prise de comprimés d'iode, mise à l'abri, évacuation) » est atteint.

IV

En conclusion, le groupe permanent souligne l'importance du travail réalisé par EDF dans le cadre du réexamen RP4 1300 pour reprendre l'intégralité des études d'accidents sans fusion du cœur, en tenant compte des combustibles UNE, URE et MOX.

Ainsi, sous réserve du respect des engagements pris par EDF et de la prise en compte du présent avis, dont la recommandation en annexe, le groupe permanent considère que les améliorations relatives aux accidents sans fusion du cœur dans le réacteur ainsi qu'à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible, prévues pour les réacteurs de 1300 MWe dans le cadre de leur quatrième réexamen périodique, permettront de répondre aux objectifs fixés par l'ASN.

ANNEXE

Recommandation

Le groupe permanent recommande qu'EDF propose des modifications visant à renforcer la protection du circuit primaire des réacteurs de 1300 MWe contre les situations de surpression à froid dans les états du réacteur où le circuit de refroidissement à l'arrêt est connecté.

Membres du GPR ayant participé à la rédaction de l'avis

M. CHARLES **Président**
M. SIDANER **Vice-président**

M. BIGOT
M. CHABOD
Mme DEGEYE
M. DEVOS
M. FRANCARD
M. FRESON
Mme HERVIOU
M. LORINO
M. MARIGNAC
M. MBONJO
M. MENAGE
M. NICAISE
Mme PICHEREAU
M. RAYMOND
M. ROCHWERGER
M. ROYER
M. SEKRI
Mme TOMBUYSES
M. VINCKE
M. VITTON