

Monsieur le Directeur de la direction des centrales nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 20 février 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00027 DU 20 FÉVRIER 2026

Objet : EDF – REP – Utilisation de l'OCS GOTHIC en remplacement de l'OCS PAREO pour le calcul de la pression dans l'enceinte de confinement.

Référence : Saisine ASNR - CODEP-DCN-2025-022449 du 3 avril 2025.

Dans le cadre de la démonstration de sûreté des réacteurs nucléaires exploités par EDF, l'objectif des études définissant les évolutions de la pression et des températures dans l'enceinte de confinement du bâtiment réacteur (BR) est de déterminer, en cas de rupture de tuyauterie à haute énergie, la pression maximale atteinte dans l'enceinte de confinement, les conditions enveloppes de pression et de température vues par les matériels requis en situation accidentelle ainsi que la température de l'eau des puisards situés au fond de l'enceinte de confinement. Les évaluations réalisées utilisent, comme données d'entrée, les masses et énergies libérées (MEL) à la brèche, et sont menées avec un outil de calcul scientifique (OCS) dédié. EDF prévoit de remplacer l'OCS PAREO par l'OCS GOTHIC pour le calcul des évolutions temporelles de la pression et des températures dans le BR en situation accidentelle, dans les études qui seront réalisées dans le cadre du 5^{ème} réexamen des réacteurs de 900 MWe. Dans cet objectif, EDF a transmis, dans un premier temps, un dossier présentant la validation du nouvel OCS et la méthode de calcul associée pour le calcul de l'évolution de la pression dans l'enceinte.

Conformément à la saisine en référence, la Direction de l'expertise en sûreté de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) a examiné, pour les réacteurs de 900 MWe, l'acceptabilité de la nouvelle méthode de calcul de l'évolution de la pression dans l'enceinte avec l'OCS GOTHIC pour les deux accidents enveloppes¹ considérés pour le dimensionnement du BR et la définition des profils de qualification aux conditions accidentelles des matériels présents dans le BR. Dans ce cadre, l'analyse a notamment porté sur les enseignements tirés par EDF de la comparaison des simulations menées avec les deux outils. Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté a examiné la validation de la modélisation monovolume 0D² de l'enceinte retenue avec l'OCS GOTHIC ainsi que la suffisance de la correction apportée par EDF à la modélisation 0D pour prendre en compte les aspects liés aux effets tridimensionnels.

Le présent avis ne traite ni de l'évolution de la température de l'atmosphère de l'enceinte, ni de l'évolution de la température de l'eau des puisards. Ces aspects feront l'objet d'une expertise ultérieure.

De l'évaluation des documents transmis et des informations apportées par EDF au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les principaux éléments suivants.

¹ Les deux accidents considérés dans la présente analyse sont l'accident de perte de réfrigérant primaire consécutif à une rupture guillotine doublement débattue de la tuyauterie du circuit primaire (APRP 2A) et l'accident de rupture guillotine d'une tuyauterie vapeur à l'intérieur de l'enceinte de confinement (RTV 2A IE)

² L'enceinte de confinement d'un réacteur comporte de multiples compartiments. Une modélisation « monovolume 0D » représente l'ensemble de l'enceinte par un unique volume, sans représenter les différents compartiments. Cette modélisation donne uniquement accès à des grandeurs moyennes dans l'enceinte pour la pression et les températures, et ne donne pas accès aux vitesses dans le volume.

1. PRÉSENTATION SUCCINCTE DE L'OCS GOTHIC

L'OCS GOTHIC est un code de thermohydraulique enceinte généraliste et polyvalent et, selon EDF, à l'état de l'art dans le domaine de la thermohydraulique de l'enceinte de confinement. L'une des principales différences avec l'OCS actuellement utilisé réside dans la nature des modèles. L'OCS en vigueur s'appuie principalement sur des modèles simplifiés, fondés sur des corrélations empiriques ou sur des hypothèses simplificatrices pénalisantes. À l'inverse, l'OCS GOTHIC repose sur des modèles mécanistes plus réalistes, construits sur des bases théoriques, permettant une description explicite des mécanismes physiques gouvernant le phénomène analysé. Une autre différence majeure réside dans la capacité de l'OCS GOTHIC à réaliser des simulations selon deux échelles de modélisation complémentaires, d'une part, une approche 0D basée sur des modélisations monovolume ou multivolumes³ et, d'autre part, une approche en trois dimensions⁴ permettant une représentation spatiale un peu plus détaillée des phénomènes étudiés. Dans le présent dossier, les évaluations de la pression et des températures dans l'enceinte sont obtenues grâce à une modélisation monovolume 0D.

2. COMPARAISON DES SIMULATIONS RÉALISÉES PAR L'OCS EN VIGUEUR ET LE NOUVEL OCS SUR LES CAS DE RÉFÉRENCE

Comme préconisé en cas de changement d'OCS, EDF a réalisé des comparaisons entre les simulations menées avec l'OCS en vigueur (PAREO) et celles réalisées avec le nouvel OCS pour les deux accidents enveloppes considérés pour le dimensionnement du BR et la définition des profils de qualification pour les réacteurs de 900 MWe. Les études ont été menées dans le référentiel en vigueur pour le quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe. Les évolutions de la pression dans l'enceinte sont similaires pour les cas simulés. Il est à noter que, à court terme, le pic de pression évalué par le nouvel OCS est légèrement moins pénalisant, alors que, à moyen et long termes, les évolutions de la pression prédites par le nouvel OCS (avec la prise en compte de la correction prescrite par la méthode) sont plus pénalisantes que celles prédites par l'OCS PAREO.

3. VALIDATION DU NOUVEL OCS

La démarche suivie par EDF pour la validation de l'OCS GOTHIC repose de manière générale sur les préconisations du guide n° 28 de l'ASN relatif à la qualification des OCS utilisés dans la démonstration de sûreté. **Ceci est satisfaisant.**

En particulier, les éléments présentés par EDF relatifs à l'identification des phénomènes physiques et des paramètres influents au moyen d'une analyse PIRT⁵, ainsi qu'aux validations à effets séparés et intégrale réalisées sur des données expérimentales, sont jugés globalement satisfaisants, et permettent à la Direction de l'expertise en sûreté de conclure que **l'OCS GOTHIC est validé, pour la phase court terme, au regard de l'évaluation de l'évolution de la pression dans l'enceinte et du pic de pression.**

Toutefois, la Direction de l'expertise en sûreté souligne l'absence d'essai représentatif des évolutions de la pression à moyen et long termes pour les deux types d'accidents considérés. Cette absence de données est couverte par l'introduction d'une correction apportée à la modélisation monovolume 0D, décrite ci-dessous, et le caractère conservatif des évolutions de la pression prédites par le nouvel OCS (avec la prise en compte de cette correction) par rapport à celles prédites par l'OCS PAREO.

Par ailleurs, EDF n'a pas exploité les travaux de validation pour la quantification des incertitudes associées aux modèles physiques les plus influents et à la pression dans l'enceinte de confinement, dans la mesure où il considère suffisant le niveau de conservatisme de la méthode pour couvrir ces incertitudes, ce qui est permis par le guide n° 28. La suffisance du conservatisme est discutée ci-dessous.

³ La modélisation nommée « multivolumes 0D » représente les différents compartiments de l'enceinte par des volumes 0D connectés.

⁴ La modélisation 3D de l'OCS GOTHIC permet de mailler le volume étudié et de représenter, plus finement que la modélisation monovolume 0D, sa géométrie interne et les structures présentes au sein de ce volume. Ce type de représentation spatiale permet notamment d'évaluer les évolutions locales de la pression et des températures.

⁵ PIRT : Phenomena identification and ranking table.

4. CONSERVATISME DE LA MÉTHODE DE CALCUL RETENUE PAR EDF

Les simulations tridimensionnelles réalisées avec l'OCS GOTHIC prédisant des évolutions de pression plus élevées pour les phases à moyen et long termes que celles obtenues avec une modélisation monovolume 0D, EDF a défini une correction à apporter à la modélisation monovolume 0D. La Direction de l'expertise en sûreté ne peut pas se prononcer sur la suffisance de cette correction dans la mesure où la validation de la modélisation 3D n'est pas acquise à ce jour. Néanmoins, comme indiqué ci-dessus, la comparaison des simulations réalisées avec les OCS PAREO et GOTHIC montre que les simulations GOTHIC monovolumes 0D avec prise en compte de la correction sont enveloppes, pour les phases à moyen et long termes, des simulations PAREO pour les différents cas de référence. Ainsi, le passage à l'OCS GOTHIC ne devrait pas conduire à une dépénalisation des évolutions de la pression dans l'enceinte dans les phases moyen et long termes. **Dans ces conditions, la correction de la modélisation 0D retenue est jugée acceptable à ce stade.** À cet égard, EDF poursuit les travaux de validation de la modélisation 3D pour conforter la suffisance de la correction.

Toutefois, EDF ne prévoit pas d'appliquer la correction de la modélisation 0D pour l'étude des accidents de perte de réfrigérant primaire en branche chaude, en raison de la courte durée de ce transitoire pour lequel les phases à moyen et long termes ne sont pas simulées. **Si la Direction de l'expertise en sûreté estime l'argument recevable compte tenu de la spécificité de ce transitoire, elle estime préférable, afin d'assurer la cohérence et de limiter le risque d'anomalies d'études, d'étendre la correction à l'ensemble des transitoires étudiés.**

Par ailleurs, la correction n'a pas été établie sur le cas le plus pénalisant de l'accident de rupture de tuyauterie vapeur. Pour les futures applications, il appartiendra à EDF de vérifier la suffisance de la correction appliquée, en comparant les évolutions de la pression obtenues pour le cas pénalisant de l'accident de rupture de tuyauterie vapeur identifié sur la base des simulations GOTHIC, respectivement avec une modélisation monovolume 0D corrigée et avec une modélisation 3D.

EDF justifie l'absence de quantification des incertitudes relatives aux phénomènes physiques dominants par l'adoption d'une approche méthodologique introduisant des conservatismes additionnels à ceux déjà imposés par les règles d'étude, tels que la prise en compte d'un espace d'air entre le liner et le béton de l'enceinte de confinement sur toute la surface et l'absence de prise en compte des échanges en convection forcée entre l'atmosphère et les structures. Bien qu'EDF ait évalué la contribution de ces éléments au conservatisme global de la méthode, leur suffisance pour couvrir l'ensemble des incertitudes non considérées n'a pas été établie. Néanmoins, la validation de l'OCS GOTHIC est acquise à court terme. De plus, à moyen et long termes, les évolutions de la pression calculées par l'OCS GOTHIC dans les cas réacteur enveloppent celles prédites par l'OCS en vigueur. **Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté considère que la méthode de calcul de l'évolution de la pression dans l'enceinte de confinement avec l'OCS GOTHIC conduit à des évaluations enveloppes, malgré l'absence de quantification des incertitudes.**

5. CONCLUSION

À l'issue de son expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime acceptable le remplacement de l'OCS PAREO par l'OCS GOTHIC pour l'évaluation de l'évolution de la pression dans l'enceinte de confinement du bâtiment réacteur en situation accidentelle pour les réacteurs de 900 MWe.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté