



Fontenay-aux-Roses, le 12 juillet 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00110

Objet : Transport interne - EDF
Modification notable relative aux transferts inter-tranches (TIT) dans les CNPE des paliers P'4 et N4

Réf. : Lettre ASN CODEP-DTS-2022-026393 du 12 juillet 2022.

Par la lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la demande d'autorisation de modification notable présentée par la société Électricité de France (EDF, ci-après dénommée « l'exploitant ») portant sur le transport interne de combustibles irradiés dans les centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) des paliers P'4 et N4. Le transport interne, appelé transfert inter-tranches (TIT), est réalisé à l'aide d'un emballage TN 13/2.

L'ASN demande à l'IRSN d'examiner plus particulièrement d'une part l'influence de la diminution de la durée de refroidissement minimale du combustible en piscine de désactivation avant son transfert et l'influence de l'augmentation des conditions de températures ambiantes lors du transfert sur le refroidissement des assemblages combustibles transportés, d'autre part la pertinence de nouveaux critères d'étanchéité admissibles de l'emballage à respecter avant transfert.

De l'évaluation des documents présentés, tenant compte des informations complémentaires transmises par l'exploitant au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux éléments suivants.

1. PRESENTATION DES TRANSFERTS INTER-TRANCHES

Le TIT consiste à acheminer des assemblages combustibles irradiés et non ruptés entre deux bâtiments combustibles (BK) d'un CNPE *via* le réseau ferré interne. Cette opération permet notamment à l'exploitant d'un CNPE d'optimiser l'utilisation des assemblages combustibles présents sur le CNPE, et ainsi faire face à une éventuelle anomalie sur le combustible à recharger en réacteur en reconstituant une recharge à partir des réserves du site.

Pour les CNPE des paliers P'4 et N4, les trois derniers TIT ont eu lieu en 2001 sur le CNPE de Cattenom. Le transfert s'effectue à l'aide d'un emballage TN 13/2 rempli d'eau et installé verticalement dans le chariot du système DMK¹. Pour rappel, l'emballage TN 13/2 possède un certificat d'agrément de transport sur la voie publique valable jusqu'au 31 décembre 2027. Il est constitué de deux enveloppes de confinement, de forme cylindrique

¹ DMK : système regroupant les appareils et les engins de manutention du BK.

en acier forgé épais, équipées d'un système de fermeture. Les deux enveloppes de confinement comprennent chacune cinq orifices constitués de joints d'étanchéité. L'emballage TN 13/2 peut contenir au maximum douze assemblages combustibles irradiés de type REP 17 x 17 à base d'oxyde d'uranium. À la différence du TIT, le transport de ces assemblages sur la voie publique est réalisé à sec et à l'horizontal. Aussi, lors d'un TIT, l'emballage TN 13/2 est dans une situation non couverte par son agrément de transport sur la voie publique.

Les événements ultimes redoutés lors d'un TIT sont une dégradation du combustible à l'intérieur de l'emballage, ainsi qu'une dégradation des enveloppes de confinement de l'emballage. La configuration sous eau vise à limiter les contraintes thermiques sur les gaines des crayons combustibles. Par ailleurs, avant transfert, le taux de fuite de l'emballage est mesuré par l'exploitant. Les quatre principales étapes d'un TIT sont dans l'ordre :

- le chargement des éléments combustibles dans l'emballage rempli partiellement d'eau (jupe en eau sans circulation), cette étape se déroule dans le BK émetteur ;
- la fermeture de l'emballage, son contrôle d'étanchéité, les contrôles radiologiques avant sortie de zone contrôlée et la sortie du colis du BK émetteur (jupe en eau avec circulation d'eau) ;
- le transfert du colis à l'extérieur des BK (pas de circulation d'eau dans la jupe) ;
- l'arrivée du convoi dans le BK récepteur avec reprise de la circulation d'eau dans la jupe, puis le déchargement des assemblages dans la piscine du BK récepteur.

2. PRESENTATION DE LA MODIFICATION

La modification proposée par l'exploitant consiste à assouplir les conditions de réalisation des TIT, notamment en période estivale, et les critères d'étanchéité (taux de fuite) admissibles de l'emballage. À cet égard, l'exploitant envisage de :

- diminuer le temps minimal de refroidissement des assemblages combustibles avant un TIT ;
- augmenter les températures ambiantes maximales admissibles à l'intérieur du BK et à l'extérieur des bâtiments ;
- modifier le critère de taux de fuite à ne pas dépasser relatif aux cinq orifices de l'enveloppe de confinement secondaire de l'emballage².

Cette modification conduit de fait à une mise à jour du dossier de sûreté générique sur les transferts inter-tranches de combustibles irradiés pour les paliers P'4 et N4, ainsi que des règles générales d'exploitation (RGE) portant sur les « transports internes ». À cette occasion, l'exploitant apporte des éléments de réponse à une demande de l'ASN relative aux modalités de contrôle des critères de température à l'intérieur du BK.

3. INFLUENCE DE LA MODIFICATION SUR LE REFROIDISSEMENT DES ASSEMBLAGES COMBUSTIBLES DURANT UN TIT

Afin d'éviter, lors d'un TIT, tout risque de dégradation des caractéristiques mécanique et métallurgique des gaines des crayons combustibles dans un emballage TN 13/2, l'exploitant doit s'assurer d'une part que leur température ne dépasse pas leur température limite d'utilisation, d'autre part qu'il n'y a pas de risque dénoyage partiel ou total des crayons combustibles et par conséquent de perte de refroidissement. Ainsi, l'enjeu pour l'exploitant consiste à maîtriser, durant un TIT, la pression au sein de la cavité de l'emballage et les températures de l'eau et du ciel gazeux de la cavité dans l'emballage.

² Pour rappel, lors des TIT, l'enveloppe primaire de confinement de l'emballage TN 13/2 est au contact de l'eau, il n'est alors pas possible de mesurer un faible taux de fuite au niveau des orifices. Aussi, le critère de confinement retenu pour cette enveloppe primaire est l'absence d'eau au niveau de la seconde enveloppe de confinement.

Pour garantir la maîtrise de ces paramètres, l'exploitant indique que la puissance résiduelle totale des douze assemblages combustibles avant transfert doit être inférieure à la puissance maximale considérée lors de l'essai réalisé sur le CNPE de Penly en 1996, qui simulait un TIT « fictif » (*i.e.* sans assemblage combustible). Pour rappel, lors de cet essai, l'eau dans la cavité de l'emballage TN 13/2 n'avait pas atteint son point d'ébullition. Son déroulement comportait néanmoins des étapes distinctes de celles d'un TIT réel. Aussi, à l'époque, avant d'évaluer numériquement le refroidissement des assemblages combustibles durant un TIT réel, l'exploitant avait procédé à un recalage pour valider le modèle numérique utilisé. Ce recalage reprenait les différentes étapes de l'essai de Penly et montrait que la pression atteinte par la simulation numérique au sein du ciel gazeux était supérieure à celle relevée lors de l'essai, ce qui est conservatif. À l'issue de ce recalage, l'exploitant a alors retenu comme critères à ne pas dépasser la puissance résiduelle considérée lors de l'essai de Penly de 1996 et la pression maximale atteinte dans le ciel gazeux de la cavité de l'emballage lors de cet essai.

De manière opérationnelle, pour s'assurer du respect du critère précité de puissance résiduelle maximale admissible avant un TIT, l'exploitant doit estimer la puissance résiduelle totale des douze assemblages combustibles avant transfert, puis vérifier qu'elle est inférieure au critère. Il détermine cette puissance à l'aide du code de calcul dénommé « Outil de calculs de la date d'Évacuation (OCDE) ». Pour apporter des éléments de qualification de ce code, il s'est appuyé sur le guide n° 28 de l'ASN relatif à la qualification des outils de calculs scientifiques, en réalisant notamment un benchmark des résultats obtenus par ce code et ceux obtenus par le code de calcul DARWIN. Enfin, pour évaluer la puissance résiduelle, l'exploitant prend en compte les incertitudes liées à l'historique d'irradiation et aux données nucléaires. Il introduit également un coefficient de sécurité pour garantir une approche conservative afin de tenir compte de la dispersion des résultats quantifiée lors du benchmark.

L'IRSN estime que la démarche de l'exploitant, pour déterminer la puissance résiduelle des assemblages combustibles et s'assurer qu'elle est inférieure à la puissance résiduelle maximale admissible avant un TIT, est satisfaisante.

Cette démarche est valable quel que soit le temps de refroidissement minimal retenu. **Ainsi, la diminution de la durée de refroidissement minimale du combustible en piscine avant son transfert n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Afin de pouvoir élargir la période de réalisation d'un TIT dans l'année, l'exploitant demande d'augmenter d'une dizaine de degrés la température maximale de l'eau de la jupe et les températures ambiantes maximales à l'intérieur du BK et à l'extérieur des bâtiments par rapport aux valeurs précédemment retenues. En outre, il demande d'augmenter la température de l'eau dans l'emballage TN 13/2 en amont du transfert d'une vingtaine de degrés.

Pour vérifier le respect du critère de pression à l'intérieur de l'emballage avec ces nouvelles valeurs de températures ambiantes, l'exploitant a utilisé le code de calcul thermique précédemment retenu pour ce type d'étude. À l'exception des températures modifiées, la géométrie et les autres paramètres, notamment les durées des différentes étapes du TIT, restent inchangés. Pour rappel, le modèle numérique intègre la géométrie de l'emballage avec son chargement et ses éléments internes. Pour des raisons d'optimisation du maillage, les ailettes de l'emballage permettant la dissipation de la chaleur sont modélisées à partir de matériaux homogènes équivalents. Concernant les hypothèses d'études, le colis est soumis à un ensoleillement appliqué 24h/24h pour conserver un caractère pénalisant du modèle. Les hypothèses intègrent également un coefficient de conduction thermique de l'eau élevé afin de simuler la circulation de l'eau par thermosiphon au sein de la cavité de l'emballage. Les résultats obtenus pour cette nouvelle évaluation restent inférieurs au critère de pression défini. Aussi, pour l'exploitant, le TIT d'assemblages combustibles peut être réalisé sous les nouvelles conditions de températures ambiantes.

L'IRSN relève que la valeur du coefficient de conduction thermique de l'eau retenu par l'exploitant est une valeur forfaitaire prise historiquement sans justification particulière. L'exploitant indique néanmoins que la pression du ciel gazeux de la cavité est principalement pilotée par la température moyenne de l'eau, qui est peu sensible à

la valeur de conductivité de l'eau. En outre, l'exploitant retient, pour la température du ciel gazeux dans le modèle numérique, la température des parois dénoyées et non la température interne du ciel gazeux qui peut être sensiblement plus élevée. Cette température est mise à jour dans les schémas itératifs lors de la résolution des équations déterminant la valeur de pression du ciel gazeux. Enfin, l'exploitant obtient une pression du ciel gazeux proche du critère défini.

Pour l'IRSN, les différents points précités liés à la simulation pourraient conduire au dépassement de la pression retenue comme critère pour garantir l'absence d'ébullition de l'eau dans l'emballage. Néanmoins, compte tenu d'une part des hypothèses pénalisantes relatives au temps de transfert et à l'ensoleillement, d'autre part du caractère conservatif du modèle numérique utilisé par rapport à l'essai réalisé à Penly en 1996, l'IRSN estime que ces aspects ne sont pas de nature à mettre en cause les conclusions de la démonstration de sûreté présentée par l'exploitant. **Aussi, l'IRSN estime que les évolutions des conditions de températures ambiantes proposées par l'exploitant dans le cadre de la présente modification sont acceptables.**

Par ailleurs, conformément à une demande de l'ASN, l'exploitant indique que les températures ambiantes font l'objet d'un contrôle avant la réalisation du TIT. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

4. INFLUENCE DE LA MODIFICATION SUR LE CRITERE DE RELACHEMENT D'ACTIVITE AVANT TRANSFERT

Afin de rendre les mesures des taux de fuite avant transfert plus opérationnelles, l'exploitant envisage de ne plus retenir l'unique critère de taux de fuite à ne pas dépasser relatif aux cinq orifices de l'enveloppe de confinement secondaire de l'emballage. En lieu et place, il propose deux configurations pour lesquelles il définit des nouvelles valeurs de taux de fuite admissibles :

- une première configuration avec un critère de taux de fuite cumulé pour les trois orifices de tête et un autre critère cumulé pour les deux orifices de fond ;
- une seconde configuration avec un critère de taux de fuite cumulé pour les trois orifices de tête et un critère de taux de fuite par orifice de fond.

L'exploitant ajuste ces critères pour garantir, avant transfert, l'absence d'atteinte d'un relâchement d'activité supérieur au critère de $10^{-6} A_2^3/h$.

A l'instar des précédentes études de relâchement d'activité, l'exploitant prend en compte, dans la nouvelle étude, l'activité des radionucléides des assemblages combustibles, ainsi que l'activité du liquide présent dans l'emballage lors du TIT. À cet égard, l'exploitant considère comme précédemment une légère fraction de crayons ruptés. En outre, il retient de manière conservatrice que la totalité de l'activité des dépôts présents en surface des crayons est mise en suspension dans l'eau à l'issue du chargement. Ces particules (visibles pour la plupart) demeurent principalement en suspension. Il considère de manière forfaitaire que seulement 10 % se solubilisent. L'exploitant retient pour la température du ciel gazeux dans la cavité, pour la température des joints d'étanchéité des orifices, ainsi que pour le volume minimal de ciel résiduel dans la cavité, des valeurs égales ou enveloppes des valeurs maximales obtenues et calculées lors de l'évaluation du refroidissement des assemblages combustibles durant un TIT. La pression retenue dans la cavité est prise égale au critère de pression de l'essai mené en 1996, auquel est ajoutée la pression partielle des gaz relâchés par rupture de gaine. L'exploitant réalise les calculs de relâchement d'activité sous forme gazeuse, sous forme liquide et sous forme d'aérosol selon la norme ISO 12807, relative au contrôle d'étanchéité des colis de transport. En outre, l'exploitant prend en compte le relâchement d'activité des gaz de fission radioactifs par perméation. Cette méthode est appliquée à l'ensemble

³ 1 A₂ : quantité de matière radioactive qui induit, en conditions accidentelles de transport, une dose efficace de 50 mSv ou une dose équivalente de 150 mSv pour le cristallin ou une dose équivalente de 500 mSv sur la peau.

des joints ce qui permet d'en déduire le relâchement d'activité total. Ce dernier est principalement lié au relâchement d'activité sous forme liquide résultant presque exclusivement de l'activité liée aux dépôts surfaciques. L'exploitant obtient une activité totale très proche du critère admissible autorisé.

L'exploitant présente, dans la démonstration de sûreté, un nombre de crayons ruptés peu élevé, fondé sur le retour d'expérience. Celui-ci montre que les sollicitations rencontrées par les assemblages combustibles n'ont occasionné aucun dégagement gazeux de produits de fission. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.** Par ailleurs, l'exploitant retient un taux forfaitaire de « solubilisation » des dépôts. Il justifie le caractère pénalisant de ce taux par la durée d'entreposage des assemblages combustibles en piscine de désactivation, permettant une dissolution partielle des dépôts surfaciques activés. Le temps de réalisation d'un TIT étant largement inférieur à la durée d'entreposage en piscine, il estime que le taux de « solubilisation » des particules en suspension est très faible pendant un TIT. **Ces éléments n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Aussi, l'IRSN estime que les modifications portant sur les critères de taux de fuite à ne pas dépasser permettent de garantir le critère de relâchement d'activité (10^{-6} A₂/h) à respecter avant de réaliser le TIT.

5. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par EDF, l'IRSN estime que les modifications des durées de refroidissement minimal avant transfert et des conditions de températures lors du transfert, ainsi que la modification du critère de taux de fuite des orifices de l'emballage avant transfert, ne mettent pas en cause la sûreté des opérations de transferts inter-tranches dans les CNPE des paliers P'4 et N4 d'EDF.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté