

Monsieur le Chef de la Division de Caen

Fontenay-aux-Roses, le 16 juillet 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00078 DU 16 JUILLET 2026

Objet : Établissement Orano Recyclage de La Hague - INB n° 33 (Usine UP2-400) et INB n° 117 (Usine UP2-800)
Demande de modification notable soumise à autorisation - Envoi de concentrats de rinçage de l'atelier HAPF vers la cuve 4120-10 de l'atelier R2 et traitement dans les capacités évaporatoires NCPF

Référence : Lettre ASNR CODEP-CAE-2025-061704 du 6 octobre 2025

Par lettre citée en référence, la Division de Caen de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) sollicite l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR sur l'étude de corrosivité jointe à la demande de modification notable soumise à autorisation, présentée par Orano Recyclage (dénommé Orano ci-après). Cette demande concerne l'envoi de concentrats de rinçage de l'atelier « haute activité produits de fission » (HAPF) de l'installation nucléaire de base (INB) n° 33 (usine UP2-400) vers l'atelier R2 de l'INB n° 117 (usine UP2-800) pour leur traitement dans la nouvelle unité de concentration des produits de fission (NCPF) de l'atelier R2, dite « NCPF R2 ».

Cette étude de corrosivité est relative à l'impact des flux dits « HAPF », ainsi qu'à l'impact des effluents provenant du lavage des gaz des chaînes de vitrification de l'atelier R7 de l'INB n° 117.

La Division de Caen demande à la Direction de l'expertise en sûreté d'examiner la conclusion globale d'Orano de l'absence d'impact de ces flux sur la durée de vie des évaporateurs de l'unité NCPF R2 et de l'absence de mise en cause de l'intégrité des autres équipements traversés, l'exclusion de l'analyse des platinoïdes, ainsi que les justifications concernant l'absence d'impact des ions plutonium, neptunium, fluorures, chlorures, ferriques et chromates.

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

1. PRÉSENTATION DE LA MODIFICATION

Avant l'arrêt du traitement des combustibles irradiés dans l'usine UP2-400 en 2004, l'atelier HAPF permettait de concentrer et d'entreposer les solutions de produits de fission et les effluents liquides de l'usine. Par la suite et jusqu'à fin 2024, les évaporateurs de l'unité dite nouvelle concentration de produits de fission n° 1 (NCP1) de l'atelier HAPF ont été utilisés pour concentrer les effluents liquides à recycler provenant de la station de traitement de effluents (STE3) de l'INB n° 118, de l'atelier R7 de l'INB n° 117, ainsi que les effluents issus des opérations de démantèlement (DEM) de l'usine UP2-400. Dans le cadre de la prolongation du fonctionnement des évaporateurs NCP1 au-delà de 2024, Orano a limité leur utilisation à la concentration des effluents provenant des opérations de rinçage, en particulier des cuves de stockage de produits de fission (SPF) des ateliers SPF1, SPF2 et SPF3 de l'usine UP2-400. À cet égard, Orano prévoit que les effluents concentrés soient transférés, soit vers les cuves relais de l'atelier SPF3 pour être entreposés en attente de traitement dans l'atelier R7, soit vers l'atelier R2 pour être concentrés dans l'unité NCPF R2 (objet de la présente demande de modification). Toutefois, dans le cadre

de la mise en service actif (MSA) de l'unité NCPF R2, Orano n'ayant pas identifié le besoin de transférer des flux provenant des opérations de rinçages de l'ensemble HAPF, il a donc isolé la ligne permettant le transfert des concentrats entre les évaporateurs NCP1 et l'atelier R2. L'objet de la présente demande de modification d'Orano est de rétablir cette ligne de transfert.

Les flux HAPF transitent depuis les évaporateurs NCP1 jusqu'à l'atelier R2 via un caniveau, puis cheminent jusqu'aux évaporateurs de l'unité NCPF R2 via les mêmes équipements que ceux utilisés pour le transfert des flux occasionnels (FO) déjà autorisés dans le cadre de la MSA de l'unité NCPF R2. Pour mémoire, la majorité des FO proviennent des vidanges et des rinçages des équipements du procédé de l'atelier R2.

Dans l'étude de corrosivité jointe à la présente demande, Orano prend en compte, en plus des flux HAPF vers l'unité NCPF R2, les flux provenant du lavage des gaz des chaînes de vitrification de l'atelier R7 (flux R7). Le transfert des flux R7 vers l'unité NCPF R2, qui a fait l'objet en 2024 d'une modification soumise à déclaration d'Orano, sont transférés vers l'unité NCPF R2 uniquement lorsque l'évaporateur de l'atelier R7 est indisponible. L'examen de ces deux nouveaux flux HAPF et R7, qui s'ajoutent aux FO déjà traités dans l'unité NCPF R2, est présenté dans le paragraphe ci-après.

2. CARACTÉRISTIQUES DES NOUVEAUX FLUX S'AJOUTANT AUX FO

S'agissant des flux R7, Orano a établi leur composition moyenne à partir d'analyse de prélèvements de solution dans la cuve recevant les effluents issus du traitement des gaz des chaînes de vitrification. **Les caractéristiques retenues par Orano pour les flux R7 n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Pour ce qui concerne les flux HAPF, Orano s'appuie, pour déterminer la composition chimique des concentrats déjà produits, sur des résultats d'analyses chimiques des concentrats déjà entreposés dans des cuves des ateliers SPF et, pour les effluents de rinçage à venir, sur des hypothèses par élément chimique provenant de rinçages de l'unité NCP1. À cet égard, **la Direction de l'expertise en sûreté estime qu'Orano pourrait consolider sa connaissance des compositions chimiques des effluents en sortie de l'unité NCP1 au cours des premières campagnes de transfert des flux HAPF vers l'atelier R2.**

3. RISQUES LIÉS À LA CORROSION

Pour l'analyse des risques de corrosions généralisée et localisée, Orano prend en compte dans son étude d'une part les différents matériaux constitutifs des équipements traversés (cuves en acier 304L ou 316L, évaporateurs en Uranus S1N), d'autre part les différentes espèces présentes dans les flux HAPF et R7 susceptibles d'avoir une incidence sur les phénomènes de corrosion. Pour ces flux, Orano retient notamment les halogénures (chlorure et fluorure), le plutonium sous les formes Pu(IV) et Pu(VI), le neptunium sous les formes Np(V) et Np(VI), le fer sous sa forme ferrique Fe(III), le chrome sous les formes Cr(III) et Cr(VI), ainsi que les platinoïdes de types Ru, Rh, Pd.

Les réactifs de rinçage étant neutralisés avant transfert des flux vers l'atelier R2, Orano considère que les flux complémentaires sont de type « concentrats d'acide nitrique » et n'ont pas d'incidence sur la corrosion des équipements traversés. Il conclut que les flux HAPF ne mettent pas en cause l'intégrité des équipements traversés et n'ont donc pas d'impact sur la durée de vie des évaporateurs de l'unité NCPF R2. **Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les éléments présentés par Orano pour démontrer l'absence d'impact des réactifs de rinçages, des fluorures, du plutonium, des ions ferriques et des ions chromates sont satisfaisants.** En revanche, Orano n'a pas analysé les risques de corrosion dus à la formation de précipités et de dépôts, notamment de phosphate, élément présent en quantité significative dans les flux HAPF. Ce point est examiné au paragraphe 3.1 ci-après. Enfin, l'examen des différents éléments chimiques retenus par Orano est présenté dans le paragraphe 3.2 pour les chlorures et dans le paragraphe 3.3 pour le neptunium et les platinoïdes.

3.1. RISQUE DE PRÉCIPITATION ET FORMATION DE DÉPÔTS LIÉS AUX NOUVEAUX FO

Pour mémoire, les mesures d'épaisseurs des anciens évaporateurs CPF des ateliers R2 et T2 avaient mis en évidence des pertes d'épaisseur par corrosion plus élevées pour les évaporateurs CPF de l'atelier R2 par rapport à ceux de l'atelier T2. Orano avait indiqué, comme cause possible, la formation de dépôts plus importante dans les évaporateurs CPF de l'atelier R2, pouvant être liés aux effluents précédemment traités qui provenaient des ateliers R7 et HAPF. Ces dépôts auraient accéléré, par l'effet thermique, les cinétiques de corrosion des évaporateurs CPF de l'atelier R2. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les dépôts peuvent également modifier

la chimie locale, en présence de NOx, de platinoïdes, d'halogénures et d'ions oxydants, mais également dans des zones d'ébullition. **Ces conditions peuvent alors favoriser des mécanismes électrochimiques susceptibles d'accélérer la corrosion du matériau de façon localisée et sont difficilement détectables par les moyens de contrôle actuels.** À cet égard, Orano avait mis en place des rinçages basiques annuels à la soude pour dissoudre les éventuels dépôts, qu'il considère composés majoritairement de zirconium et de molybdène. Ces rinçages sont reconduits par Orano pour les évaporateurs de l'unité NCPF R2. Néanmoins, pour la présente demande de modification, Orano n'a pas analysé la corrosion localisée sous dépôt lié à l'apport supplémentaire de composés des flux de l'atelier HAPF. **Pour la Direction de l'expertise en sûreté, il est nécessaire d'évaluer ce risque compte tenu de la composition des flux occasionnels de l'atelier HAPF.**

S'agissant des flux HAPF, pour mémoire, ils sont riches en phosphates, ce qui n'est pas le cas pour les flux R7. Leur concentration dans les évaporateurs de l'unité NCPF R2 pourrait entraîner une précipitation importante de phosphates de zirconium (ZrP), ce précipité pouvant potentiellement devenir adhérent aux parois chauffantes de l'évaporateur. À cet égard, Orano précise que, la quantité de précipités de ZrP étant significativement plus faible que celle des dépôts de molybdate de zirconium (MoZr) susceptibles de se former dans les évaporateurs de l'unité NCPF R2, il privilégie l'utilisation de rinçages basiques. En outre, il considère que l'ajout de zirconium (Zr4+) dans les évaporateurs NCP1 permet de précipiter les phosphates avant l'arrivée du flux dans les évaporateurs de l'unité NCPF R2 et dans les cuves d'entreposage PF.

Or, le retour d'expérience montre que les précipités de type ZrP sont majoritaires dans certaines cuves de l'atelier HAPF et dans l'évaporateur de l'unité de Concentration des Effluents Haute Activité (CEHA) de l'atelier T2. Aussi, pour la Direction de l'expertise en sûreté, la masse de ZrP susceptible de former des dépôts ne pouvant être considérée comme négligeable, il ne peut être exclu qu'une partie des précipités en suspension puisse être entraînée jusque dans les évaporateurs de l'unité NCPF R2. Ainsi, bien que les flux HAPF soient beaucoup moins importants que les flux du procédé principal, ils pourraient potentiellement contribuer à une augmentation de plus de la moitié du volume de dépôt en ZrP dans les évaporateurs de l'unité NCPF R2. En outre, au vu du retour d'expérience des rinçages réalisés par Orano, **la Direction de l'expertise en sûreté souligne qu'un rinçage basique à la soude est peu efficace pour l'élimination des dépôts de ZrP.**

Pour rappel, la présence de dépôts localisés dans les évaporateurs pouvant être à l'origine d'une corrosion localisée, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) avait demandé à Orano de prendre des dispositions afin de pouvoir contrôler en service l'absence de dépôts localisés situés à l'intérieur des évaporateurs, telles que des inspections visuelles internes. En outre, dans l'objectif de limiter l'accumulation de dépôts dans ces évaporateurs, l'ASN avait demandé à Orano de présenter les dispositions retenues pour le rinçage des évaporateurs et pour le suivi de la composition des solutions de produits de fission et de rinçage afin de quantifier les dépôts et les produits de corrosion.

Dans ce cadre, à la conception de ces évaporateurs, en complément des parois comportant des marges en termes d'épaisseur, Orano avait prévu des dispositions de suivi en service, dont la possibilité de réaliser des investigations internes visuelles (par caméra) des évaporateurs, avec un endoscope vidéo en passant par un piquage situé sur le dôme de l'évaporateur et débouchant en partie haute du bouilleur. L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) avait estimé que ces dispositions étaient satisfaisantes sur le plan des principes.

Au regard de ces éléments et de l'évolution des caractéristiques des flux occasionnels liée au traitement des flux HAPF, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la présence de dépôts dans les évaporateurs est susceptible d'accélérer la corrosion des évaporateurs de l'unité NCPF R2.

Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'Orano contrôle l'absence de dépôts localisés à l'intérieur des évaporateurs de l'unité NCPF R2 de l'INB n° 117 après les campagnes de traitement d'effluents HAPF. Sur la base des résultats de ce suivi, notamment au regard des éventuels dépôts observés, Orano évaluera le caractère suffisant des stratégies de rinçage actuelles (cf. recommandation n° 1 formulée en annexe au présent avis d'expertise).

3.2. EFFETS DES CHLORURES

Les chlorures peuvent avoir un impact sur les mécanismes de corrosion, en particulier sur celui de la corrosion localisée par piqûration. Orano considère, en se fondant sur une loi d'inhibition, que le risque de piqûration est écarté par l'effet d'inhibition des nitrates dans tous les FO. Même si Orano n'a pas démontré formellement la

validité de la loi d'inhibition pour des milieux nitriques concentrés et à haute température, du fait de l'effet d'inhibiteur marqué des nitrates à l'égard de ce type de corrosion pour les aciers des équipements traversés, y compris en milieu acide nitrique concentré, **la Direction de l'expertise en sûreté convient du caractère négligeable du risque de corrosion par piqûration induite par les ions chlorures du flux HAPF.**

Par ailleurs, pour les cuves et les évaporateurs CPF, Orano considère que le risque de corrosion généralisée par les chlorures est maîtrisé compte tenu du retour d'expérience des mesures d'épaisseur réalisées sur différentes cuves contenant des solutions de produits de fission avant ou après concentration et par les conditions de fonctionnement (température et temps d'exposition à la solution). **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.** En revanche, pour les évaporateurs de l'unité NCPF R2, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la présence de chlorures, à la concentration estimée par Orano et à la température de fonctionnement des évaporateurs, est susceptible d'augmenter la vitesse de corrosion généralisée de l'Uranus S1N. À cet égard, Orano indique que l'inhibition de la corrosion par les chlorures serait garantie par la formation de complexes stables avec les ions ferriques dans une certaine proportion. La Direction de l'expertise en sûreté estime que cet argument n'est pas totalement satisfaisant du fait que la transposition des résultats d'essais présentés par Orano aux conditions d'exploitation n'est pas démontrée, les effets locaux liés aux parois sous flux thermiques, ainsi que la présence éventuelle de dépôt, n'ayant pas été pris en compte. Aussi, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que la limitation du risque de corrosion des évaporateurs de l'unité NCPF R2 par les chlorures repose en premier lieu sur l'absence de dépôts. Ce point est porté par la recommandation n° 1 formulée en annexe au présent avis d'expertise.**

3.3. EFFETS DES PRODUITS DE FISSION

Neptunium

Pour les cuves, Orano indique, sur la base d'essais dans une solution acide avec un simulant du neptunium, que les vitesses de corrosion sont négligeables. Même si Orano n'a pas justifié le caractère transposable des conditions d'essais aux effluents traités, **la Direction de l'expertise en sûreté convient que, au regard des conditions d'exploitation notamment d'une valeur de température inférieure à 60 °C, l'impact du neptunium sur la vitesse de corrosion devrait être limité.**

S'agissant des évaporateurs de l'unité NCPF R2, la température importante peut favoriser les cinétiques et la stabilité thermodynamique de certains éléments chimiques, tels que le neptunium à la valence +6 (Np(VI)), ce qui peut augmenter la vitesse de corrosion. À cet égard, Orano se fonde sur des essais réalisés, dans des conditions dites pénalisantes avec tout le neptunium à l'état Np(VI), et en déduit une vitesse de corrosion compatible avec la conception des évaporateurs de l'unité NCPF R2. La Direction de l'expertise en sûreté souligne que, dans les évaporateurs NCPF, notamment en phase de reflux total¹ où la concentration en acide nitreux est plus faible, le Np(VI) peut être cinétiquement persistant. En outre, d'après les données d'Orano, les flux HAPF conduiraient à une augmentation de la concentration de neptunium. Enfin, la Direction de l'expertise en sûreté estime qu'une faible concentration de neptunium, combinée avec la présence de dépôts, pourrait être à l'origine de l'accélération des phénomènes de corrosion observés dans les évaporateurs CPF de l'atelier R2. Aussi, pour la Direction de l'expertise en sûreté, le rôle du neptunium dans la corrosion des évaporateurs CPF ne peut être écarté. À cet égard, **la limitation de la formation de dépôts, portée par la recommandation n° 1 formulée en annexe au présent avis d'expertise, doit constituer un point d'attention particulier.**

Platinoïdes

Les platinoïdes (ruthénium, rhodium et palladium) peuvent être présents en solution sous formes solubles et insolubles. Le contact entre ces éléments et les aciers des cuves peut entraîner un décalage du potentiel de corrosion de l'acier. Parmi les platinoïdes, le ruthénium constitue l'élément le plus défavorable pour la corrosion.

Pour Orano, l'impact des platinoïdes issus des flux HAPF sur la corrosion des équipements non chauffés devrait rester modérés compte tenu des températures et du temps de passage des flux. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

¹ Le reflux total correspond à une phase en fin de cycle de concentration de l'évaporateur, de l'ordre de plusieurs heures, où toutes les vapeurs générées sont condensées, puis renvoyées intégralement dans le bouilleur, sans aucune sortie nette de distillat.

Dans les évaporateurs de l'unité NCPF R2, Orano estime que les flux HAPF pourraient conduire à une augmentation des platinoïdes qu'il considère négligeable. Bien que cet apport soit limité, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la présence de platinoïdes, en particulier le ruthénium sous forme de dioxyde de ruthénium précipité, peut exercer un effet catalytique susceptible d'accélérer certaines cinétiques de corrosion, notamment en cas d'incorporation dans des dépôts solides, tels que les phosphates de zirconium (ZrP). Ainsi, **pour la Direction de l'expertise en sûreté, la limitation de la formation de dépôts de ZrP apparaît nécessaire à l'égard du risque de corrosion. Ce point est porté par la recommandation n° 1 formulée en annexe au présent avis d'expertise.**

4. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés, en tenant compte des informations apportées par la société Orano Recyclage au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'étude de corrosivité d'Orano Recyclage, relative à la corrosion des équipements traversés par les concentrats de rinçage de l'atelier HAPF jusqu'à leur traitement dans les capacités évaporatoires NCPF, est convenable, sous réserve qu'Orano Recyclage prenne en compte la recommandation, formulée en annexe au présent avis d'expertise, relative au contrôle de l'absence de dépôts localisés à l'intérieur des évaporateurs de l'unité NCPF R2 de l'INB n° 117.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

ANNEXE

Recommandation de la Direction de l'expertise en sûreté

Recommandation n° 1

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'Orano contrôle l'absence de dépôts localisés à l'intérieur des évaporateurs de l'unité NCPF R2 de l'INB n° 117 après les campagnes de traitement d'effluents HAPF. Sur la base des résultats de ce suivi, notamment au regard des éventuels dépôts observés, Orano évaluera le caractère suffisant des stratégies de rinçage actuelles.