



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 29 janvier 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00010

**Objet :** Établissement Orano Recyclage de La Hague - INB n° 116 (UP3-A) et INB n° 117 (UP2-800)  
Réception, entreposage et traitement des combustibles MOX et UOX irradiés dans le réacteur expérimental à eau lourde FUGEN (Japan)

**Réf. :** [1] Lettre ASN CODEP-DRC-2023-030692 du 7 juin 2023.  
[2] Lettre ASN CODEP-DRC-2023-030637 du 7 juin 2023.

Par lettres citées en références [1] et [2], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les demandes de modifications notables soumises à autorisation, présentées par la société Orano Recyclage (dénommée Orano ci-après), qui concernent la réception, l'entreposage et le traitement, dans les usines UP2-800 (installation nucléaire de base (INB) n° 117) et UP3-A (INB n° 116) de l'établissement de La Hague, des assemblages combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX) et d'oxyde d'uranium (UOX) irradiés dans le réacteur japonais à eau lourde de type ATR (Advanced thermal reactor) dénommé FUGEN. Ces assemblages sont appelés « combustibles MOX FUGEN » et « combustibles UOX FUGEN » dans la suite de cet avis.

À l'appui de ses demandes, Orano présente les analyses de sûreté associées, les projets de modification des règles générales d'exploitation (RGE) et des rapports de sûreté des ateliers concernés, ainsi qu'une analyse de l'applicabilité, à ces combustibles, du système dit « EXPER » d'inventaire et d'expédition des déchets radioactifs après traitement dans les INB du site de La Hague de combustibles usés en provenance de l'étranger.

L'ASN demande à l'IRSN d'examiner les dispositions de maîtrise des risques, notamment ceux liés à la manutention et à la criticité, d'évaluer le caractère suffisant des essais intéressant la sûreté (EIS) et de lui faire part de toute remarque relative à l'applicabilité du système EXPER aux combustibles MOX FUGEN.

De l'évaluation des documents transmis, tenant compte des éléments de retour d'expérience disponibles et des informations apportées par Orano au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux éléments suivants.

### 1. PRÉSENTATION DES MODIFICATIONS

Orano prévoit de recevoir sur le site de La Hague les assemblages combustibles FUGEN à partir de 2024. Ces assemblages seront transportés en emballages de transport TN17 MAX JA, réceptionnés dans l'atelier de mise sur lorry (AML) et déchargés à sec dans l'atelier T0. Ils seront ensuite transférés et entreposés dans les piscines de La Hague. Leur traitement est prévu à partir de 2026 dans l'usine UP2-800. Les fûts de coques et embouts produits seront traités dans l'atelier de compactage des coques (ACC) de l'usine UP3-A ou éventuellement entreposés temporairement dans l'atelier d'entreposage des déchets solides D/E EDS de cette usine.

MEMBRE DE  
**ETSON**

### 1.1. CARACTÉRISTIQUES DES COMBUSTIBLES À TRAITER

Les différents types d'assemblages combustibles UOX FUGEN et MOX FUGEN sont de géométrie cylindrique de faible diamètre et comportent une trentaine de crayons combustibles dont le gainage est en alliage de zirconium. Ils présentent pour la plupart un taux de combustion faible et un temps de refroidissement important (jusqu'à 50 ans).

Pour analyser les risques liés à ces demandes, Orano définit deux combustibles de référence (un MOX FUGEN et un UOX FUGEN), dont les caractéristiques nucléaires après irradiation et refroidissement sont déterminées à l'aide du code d'évolution habituellement utilisé pour des combustibles à eau légère. À cet égard, il évalue l'incidence du type de réacteur (eau lourde ou eau légère) en comparant les caractéristiques nucléaires après irradiation d'un même combustible, calculées à partir de schémas de calcul d'évolution validés pour chaque type de réacteur. Il conclut que les conditions d'irradiation en réacteurs à eau lourde ou à eau légère d'un même combustible conduisent à des caractéristiques nucléaires quasiment équivalentes. **L'IRSN estime que les éléments de validation présentés par Orano sont acceptables et n'a pas de remarque sur les caractéristiques de combustibles MOX FUGEN et UOX FUGEN de référence déterminées par Orano.**

En outre, pour les combustibles MOX FUGEN, Orano considère, dans l'analyse des risques liés à la criticité, une insolubilité des grains de PuO<sub>2</sub> de 1 %, fondée sur des essais de solubilité de pastilles de combustible non irradiées. Cette valeur le conduit à restreindre la quantité de combustibles MOX FUGEN pouvant être traitée dans une même campagne. **La démonstration de sûreté-criticité étant réalisée en considérant cette limite, ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

### 1.2. INCIDENCE SUR LA RÉCEPTION, LE DÉCHARGEMENT ET L'ENTREPOSAGE

Les opérations de réception et de déchargement de l'emballage TN17 MAX JA sont identiques à celles autorisées pour l'emballage de transport TN17 MAX, dont les dimensions et masses des différents composants sont équivalentes. Toutefois, à la différence de l'emballage TN17 MAX, l'emballage TN17 MAX JA ne possède pas d'ailettes de refroidissement sur son pourtour. Ce point est examiné au § 2.3 du présent avis. Par ailleurs, certaines pièces d'accostage de l'emballage à la dalle de la cellule de déchargement de l'atelier T0 doivent être modifiées.

Enfin, les opérations de transfert des combustibles FUGEN en paniers d'entreposage, puis leur entreposage en piscines, sont identiques à celles habituellement réalisées. Orano a toutefois développé deux nouvelles pinces de préhension, l'une pour le pont de manutention d'éléments combustibles (PMEC), l'autre pour le pont basculeur, adaptées à la géométrie de la tête des combustibles FUGEN. Les exigences de sûreté et les essais associés à ces différents nouveaux éléments sont examinés au § 1.5.

### 1.3. INCIDENCE SUR LE PROCÉDÉ DE TRAITEMENT

Pour les combustibles FUGEN, Orano reconduit les mêmes adaptations du procédé mises en œuvre pour les précédentes campagnes de traitement des combustibles MOX provenant de l'étranger. Cela consiste à augmenter l'acidité de la solution d'attaque et la durée de la dissolution, ainsi qu'à empoisonner par du nitrate de gadolinium la solution de dissolution et celle du rinceur acide à embouts. Orano envisage trois schémas de dilution des solutions MOX FUGEN afin de respecter le domaine de fonctionnement des cycles d'extraction de l'atelier R2. Cet ajustement, qui consiste à baisser l'acidité et à diminuer le rapport Pu/U, pourra être réalisé par mélange avec des solutions de dissolution de combustibles UOX FUGEN, soit avec des solutions d'uranium de retraitement (URT), soit avec des solutions provenant de l'unité de redissolution du plutonium (URP).

Par ailleurs, en plus du schéma normal de traitement en ligne de déchets de structure dans l'ACC, Orano envisage un schéma optionnel comprenant une étape d'entreposage temporaire, pour une durée d'une année environ, dans l'atelier D/E EDS ; les fûts d'entreposage des coques sous eau (ECE) vides présents dans cet atelier seront recyclés pour le conditionnement et l'entreposage temporaire des coques et embouts FUGEN.

Les opérations liées à l'utilisation des fûts ECE seront réalisées dans la cellule d'entreposage de l'atelier R1, dans laquelle des équipements d'usinage, de soudage et de contrôle de non-contamination seront provisoirement installés à cet effet. Un tel dispositif a déjà été mis en place dans l'atelier T1 pour le traitement des chemises d'assemblages combustibles issus de réacteurs à eau bouillante (REB). À cet égard, **il appartient à Orano de s'appuyer sur le retour d'expérience des opérations réalisées sur les fûts ECE dans l'atelier T1 pour la mise en œuvre de ces opérations mécaniques dans l'atelier R1.**

#### **1.4. INCIDENCE SUR LES REJETS EN FONCTIONNEMENT NORMAL ET LES DÉCHETS**

Orano a évalué l'incidence du traitement des combustibles FUGEN sur les rejets liquides et gazeux de l'établissement de La Hague en considérant, de manière pénalisante, que l'ensemble de ces combustibles sera traité la même année. Il conclut que leur traitement ne conduira ni à une augmentation notable, ni à un dépassement des limites de rejet autorisées. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Orano a évalué les caractéristiques nucléaires de déchets de structure, constitués des coques, des embouts, des éclats et des fines, qui seront conditionnés dans des colis standards de déchets compactés (CSD-C), en s'appuyant sur les résultats d'études de contamination des coques MOX et UOX FUGEN, réalisées par l'Agence japonaise de l'énergie atomique. Il estime ainsi que les CSD-C produits seront conformes aux spécifications de production. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Concernant les déchets vitrifiés, constitués d'un mélange de solutions concentrées de produits de fission et de suspensions de fines, calciné, vitrifié et conditionné dans des colis standards de déchets vitrifiés CSD-V, Orano indique que l'activité des solutions de produits de fission et des fines issues de combustibles FUGEN est globalement inférieure à celle des déchets à vitrifier issus des combustibles usuellement traités. Sur cette base, il estime que les combustibles FUGEN ne modifieront pas de manière significative les caractéristiques nucléaires des mélanges à vitrifier. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

#### **1.5. ESSAIS INTÉRESSANT LA SÛRETÉ**

Orano a établi un programme d'essais intéressant la sûreté (EIS) pour les éléments importants pour la protection (EIP) modifiés ou nouvellement créés pour la réception et le traitement des combustibles FUGEN. En particulier, il réalisera des essais d'accostage et de connexion avec les pièces d'accostage spécifiques à l'emballage TN17 MAX JA afin de s'assurer de l'étanchéité entre la cellule et l'emballage accosté. En outre, il vérifiera le maintien de l'assemblage combustible par les pinces de manutention spécifiques aux combustibles FUGEN en situation incidentelle, notamment en cas de perte d'alimentation électrique ou de défaillance du contrôle-commande. Enfin, Orano vérifiera que la conception de la pince du pont basculeur rend possible un contrôle visuel par les opérateurs de l'état de verrouillage/déverrouillage des assemblages, et que les pinces du pont basculeur et du P MEC n'autorisent pas la saisie d'un combustible autre qu'un FUGEN.

**L'IRSN estime que le programme d'EIS prévu par Orano, relatif aux EIP modifiés ou créés dans le cadre de la présente modification, est satisfaisant.**

## **2. ANALYSE DES RISQUES**

Les caractéristiques nucléaires des combustibles MOX et UOX FUGEN de référence sont couvertes par celles des combustibles MOX et UOX autorisés. De plus, les opérations de réception, de déchargement, d'entreposage et de traitement des combustibles FUGEN ne nécessitent que quelques adaptations de procédé qui bénéficient d'un retour d'expérience d'opérations similaires déjà mises en œuvre dans les usines de La Hague. Dans ces conditions, la plupart des dispositions existantes de maîtrise des risques sont adaptées à la réception et au traitement des combustibles FUGEN. En complément, Orano a mené des analyses spécifiques concernant les risques liés à la manutention de l'emballage et des combustibles à l'aide des nouvelles pinces de préhension, l'incidence de l'absence d'aillette de l'emballage TN17 MAX JA sur la maîtrise des risques liés au dégagement thermique et la prévention des risques liés à la criticité.

## 2.1. RISQUES LIÉS À LA MANUTENTION ET FACTEURS ORGANISATIONNELS ET HUMAINS (FOH)

Orano reconduit, pour l'emballage TN17 MAX JA, les dispositions de prévention, de surveillance et de limitation des conséquences mises en place pour les opérations de manutention de l'emballage TN17 MAX, du fait de leur équivalence en termes de dimension et de masse. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Pour les opérations de manutention des assemblages combustibles FUGEN, Orano reconduit les moyens existants, à l'exception de pinces spécifiques développées pour leur manutention. En outre, il identifie, comme cause la plus probable d'une chute d'un assemblage combustible, un risque d'erreur humaine sur le choix de la pince adaptée. Aussi, pour Orano, l'identification des pinces spécifiques aux assemblages combustibles FUGEN constitue une activité sensible au titre des FOH. À cet égard, les exigences d'exploitation associées aux activités sensibles spécifiques aux combustibles FUGEN portent sur la formation et la sensibilisation des opérateurs, la mise en place de documentation opérationnelle spécifique adaptée, ainsi que sur une surveillance et un suivi renforcé de ces opérations sensibles. **Ceci est satisfaisant.**

Enfin, le dossier d'Orano ne comporte pas de justification du respect des exigences de conception liées à la stabilité en cas de séisme de l'ensemble emballage TN17 MAX JA - chariot et à la non-projectibilité des nouvelles pinces de manutention. **Il appartient à Orano d'apporter la justification de la conformité de ces équipements à leurs exigences de conception.**

## 2.2. RISQUES LIÉS AU DÉGAGEMENT THERMIQUE

À l'étape de leur mise à la position verticale avant déchargement, les emballages réceptionnés doivent satisfaire les contraintes liées à la température maximale admissible de la résine des joints et à celle de la surface de crayons combustibles. Pour l'emballage TN17 MAX JA, du fait de l'absence d'ailettes de refroidissement, Orano a vérifié le respect de ces conditions en considérant un agencement et des puissances thermiques maximales mises en jeu pour le transport de combustibles FUGEN. Il conclut que la température de la résine et la température maximale des gaines restent inférieures aux valeurs maximales autorisées. **Ceci est satisfaisant.**

## 2.3. PREVENTION DES RISQUES DE CRITICITÉ

Pour réaliser les études de criticité, Orano a défini des combustibles MOX et UOX FUGEN enveloppes des combustibles devant être reçus et traités et dont les caractéristiques d'enrichissement en  $^{235}\text{U}$ , de teneur en plutonium et d'isotopie du plutonium sont fixées dans le projet de RGE joint aux demandes d'autorisation de modification. **Ceci est satisfaisant.**

Pour les opérations de réception, de déchargement et d'entreposage en paniers des combustibles MOX et UOX FUGEN, Orano considère les mêmes configurations de fonctionnement normal et accidentel habituellement étudiées dans les ateliers T0 et piscines. Il a notamment justifié la sous-criticité de l'emballage et du puits de refroidissement en cas de chute et d'expansion d'un assemblage combustible respectivement dans l'alvéole de l'emballage et dans le puits. **Ces études n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

En revanche, les calculs présentés par Orano ne prennent pas en compte la présence de plusieurs assemblages combustibles conditionnés en bouteilles<sup>1</sup> dans un panier. À cet égard, l'IRSN relève que la configuration d'un panier contenant un unique assemblage en bouteille est sûre dans les conditions de réflexion neutronique totale par de l'eau et par du béton. En tout état de cause, **il appartient à Orano d'intégrer aux RGE des installations concernées, les dispositions adéquates afin de garantir qu'un assemblage combustible FUGEN mis en bouteille sera entreposé dans un panier qui lui sera dédié.**

---

<sup>1</sup> Les conteneurs semi-étanches dits « bouteilles » sont utilisés pour le conditionnement individuel d'assemblages combustibles détectés endommagés (non-étanches) en vue de leur entreposage en piscine.

À l'égard des opérations de traitement réalisées dans l'atelier R1, l'identification unitaire des combustibles FUGEN en amont du procédé repose sur leur reconnaissance visuelle, dont les modalités sont en cours de développement et de validation par Orano, ainsi que sur le détrompage par mesure du taux de combustion selon la méthode dite neutronique, devant faire l'objet d'un étalonnage préalable. Compte tenu du rôle déterminant des moyens d'identification des combustibles FUGEN pour leur attribuer un taux d'oxyde résiduel (TOR) maximal admissible adapté à la famille dont ils relèvent, ainsi que la concentration adaptée de gadolinium dans le dissolvant (détrompage UOX/MOX), **l'IRSN souligne l'importance des essais et étalonnages permettant de qualifier ces moyens.**

Compte tenu de la géométrie des combustibles FUGEN, Orano a réalisé une étude de faisabilité et d'optimisation de leur cisailage en présence du « kit de réduction » de la chambre de coupe développé à cet effet. Selon Orano, le régime de cisailage optimisé conduit à la formation d'un nombre limité de coques pincées et à l'absence de coques dites berlingotées<sup>2</sup>. Aussi, il ne s'attend pas à une augmentation anormale de la teneur en matière fissile résiduelle (MFR) des coques issues de ces combustibles. Il précise que, le cas échéant, les moyens du Contrôle nucléaire du procédé (CNP) permettraient de détecter une telle augmentation en amont de l'étape de conditionnement de déchets de structure. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Pour l'opération de dissolution, Orano reconduit, pour l'ensemble des combustibles FUGEN, les dispositions mises en œuvre pour les précédentes campagnes de traitement des combustibles MOX. La solution de dissolution est ainsi empoisonnée avec du nitrate de gadolinium à des concentrations permettant d'assurer la sous-criticité du dissolvant, chargé de combustible supposé non irradié à raison d'un AC MOX FUGEN par godet, et sans limitation de masse fissile par godet pour les combustibles UOX FUGEN. Orano prend en compte l'empoisonnement apporté par le gadolinium pour justifier la sous-criticité du rinceur acide à embouts en situation incidentelle. S'agissant de la trémie reliant la goulotte et les godets du dissolvant, qui n'est pas de géométrie sûre, Orano justifie que le poste de mesure actif surveillant cette zone permet de détecter un engorgement de coques FUGEN bien avant l'atteinte de la masse maximale admissible. Orano a complété ce dispositif par un protocole de surveillance renforcée. **Ceci est satisfaisant.**

S'agissant de l'étape de clarification à l'aide de la décanteuse pendulaire centrifuge, les démonstrations concernant les combustibles MOX FUGEN sont fondées sur un taux de plutonium non dissous enveloppe de 1 %, vérifié par des essais de solubilité sur le combustible non-irradié. Dans ces conditions, la masse d'insolubles susceptible de s'accumuler à l'issue d'une campagne de traitement reste inférieure à la masse maximale admissible. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Pour l'atelier R2, Orano reconduit, pour les combustibles FUGEN, les paramètres usuellement retenus pour le traitement des combustibles UOX dans le premier cycle d'extraction. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Enfin, le traitement des combustibles FUGEN n'a pas d'incidence sur la prévention des risques de criticité dans les autres ateliers concernés.

### **3. APPLICABILITÉ DU SYSTÈME EXPER AUX COMBUSTIBLES MOX FUGEN**

En 2007, Orano a conçu le système EXPER pour répondre à l'obligation, fixée par le code de l'environnement, d'assurer un suivi des entrées de combustibles et des sorties de déchets radioactifs à expédier, le but étant de garantir que les masses et les activités des substances radioactives introduites sur le territoire correspondent à celles des substances radioactives à expédier. Les substances radioactives comptabilisées sont les produits de fission (PF) issus du combustible irradié et les déchets de structure des assemblages. L'indicateur retenu pour

---

<sup>2</sup> Coques dont l'ouverture des deux côtés est quasi nulle à la suite d'écrasement pas la cisaille.

comptabiliser l'activité et la quantité de PF est la masse de néodyme (Nd). Cet élément est un produit de fissions dont les principaux isotopes sont stables et dont la quantité formée est proportionnelle à l'irradiation du combustible et à l'activité totale des PF. Il se retrouve entièrement dans les concentrats destinés à être vitrifiés. Cet indicateur permet donc de suivre à la fois l'activité et la masse des PF conditionnés en CSD-V.

Pour rappel, l'IRSN avait estimé que l'équivalence faite uniquement sur la masse de néodyme ne permettait pas de prendre correctement en compte l'augmentation d'activité alpha apportée par les actinides mineurs présents en plus grande quantité lors du traitement de combustibles MOX et incorporés dans le CSD-V. Orano avait alors défini des indicateurs de suivi complémentaires permettant de comparer la puissance thermique à long terme des colis produits, renvoyés à l'étranger et entreposés en France.

Pour les combustibles FUGEN, Orano a comparé, pour différents enrichissements en  $^{235}\text{U}$  (UOX FUGEN), teneurs en Pu (MOX FUGEN), taux de combustion et temps de refroidissement, les rapports [masse de Nd/activité du verre] à ceux obtenus pour des combustibles UOX et MOX REP théoriques dont les caractéristiques seraient dans la même gamme que les combustibles FUGEN. Il conclut à la validité de l'indicateur néodyme.

Par ailleurs, il précise que la puissance thermique estimée en 2100 de l'ensemble des combustibles FUGEN sera très faible en comparaison de celle des combustibles habituellement traités. Aussi, le traitement de combustibles FUGEN ne génère pas de dérive de l'indicateur complémentaire caractéristique de la puissance thermique à long terme.

Du fait de leur faible tonnage et de leur incidence en conséquence négligeable sur la puissance thermique globale à long terme de déchets vitrifiés conservés sur le territoire national, **l'IRSN estime acceptables les éléments présentés par Orano et n'a donc pas de remarque sur l'application du système EXPER aux déchets de structure conditionnés en CSD-C, issus des combustibles MOX FUGEN.**

## 4. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par Orano au cours de l'expertise, l'IRSN estime que les dispositions de maîtrise des risques associées aux opérations de réception, d'entreposage et de traitement de combustibles FUGEN dans les usines UP2-800 et UP3-A de l'établissement Orano Recyclage de La Hague sont acceptables.

En outre, l'IRSN considère satisfaisant le programme d'essais intéressant la sûreté prévu par Orano pour les éléments importants pour la protection modifiés ou créés dans le cadre de la présente modification.

Enfin, l'application du système d'inventaire et d'expédition de déchets après le traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dénommé « système EXPER » aux combustibles MOX FUGEN n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

**IRSN**  
**Le Directeur général**  
**Par délégation**  
**Anne-Cécile JOUVE**  
**Adjointe au Directeur de l'expertise de sûreté**