

Fontenay-aux-Roses, le 27 septembre 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2017-00298

Objet : Transport - Prorogation des agréments des modèles de colis FCC3 et FCC4 chargés d'assemblages ou de crayons combustibles neufs

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-DTS-2016-050834 du 6 janvier 2017.
2. Règlement de transport de l'AIEA - N° SSR-6, édition 2012.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les demandes de prorogation d'agrément présentées par la société AREVA TN International pour les modèles de colis FCC3 et FCC4, en tant que colis de type IP-2 chargés de matières fissiles.

Ces demandes concernent le transport par voies routière, ferroviaires, maritimes et fluviales d'emballages FCC3 et FCC4 chargés d'assemblages combustibles ou de crayons combustibles non assemblés, à base d'oxyde d'uranium (UO₂) non irradiés.

De l'examen des analyses de sûreté présentées par le requérant, par rapport au règlement cité en deuxième référence, l'IRSN retient les points suivants.

1 DESCRIPTION DES COLIS

1.1 Description des emballages

Les emballages FCC3 et FCC4 sont constitués de deux coques hémicylindriques en acier, liées selon un plan horizontal par des boulons, d'un berceau métallique et d'un aménagement interne fixé au berceau par des boulons. Les modèles de colis FCC3 et FCC4 diffèrent par leur longueur.

L'aménagement interne délimite deux cavités pouvant accueillir chacune un assemblage ou une boîte à crayons. Les assemblages sont maintenus radialement et axialement dans leur cavité par des cales et des patins.

Enfin, deux dispositifs d'amortisseur de chocs, à base de blocs de bois, sont fixés aux extrémités de la coque à l'intérieur de celle-ci.

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses

Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre 8 440 546 018

1.2 Description des contenus

Les contenus sont, soit des assemblages combustibles destinés aux réacteurs à eau sous pression (type REP), soit des crayons combustibles de type REP non assemblés conditionnés dans des boîtes dites à crayons. Dans les deux cas, les pastilles combustibles sont constituées d'oxyde d'uranium. L'uranium, non irradié, peut être de l'uranium naturel enrichi (UNE) ou de l'uranium de retraitement enrichi (URE).

Le combustible UNE est une matière de faible activité spécifique de type II (LSA II) au sens du règlement cité en deuxième référence. Le combustible URE est une matière LSA III. Par conséquent, les agréments sollicités pour les colis FCC3 et FCC4 sont de type IP-2 chargés de matières fissiles. Ainsi, la réglementation précitée spécifie des exigences de sûreté (absence de dispersion, prévention des risques de criticité, maîtrise de l'augmentation des débits de doses notamment) pour les conditions normales de transport. Pour les conditions accidentelles de transport, les exigences de sûreté sont relatives à la prévention des risques de criticité.

2 MECANIQUE

2.1 Arrimage

Les colis sont arrimés sur leur moyen de transport à l'aide de sangles. Le requérant évalue les contraintes dans l'acier des coques pour les différentes configurations d'arrimage. Il conclut qu'une déformation plastique des colis due aux arrimages est exclue. Ceci n'appelle pas de commentaire de l'IRSN.

2.2 Comportement mécanique en conditions normales de transport

L'étude du comportement mécanique du modèle de colis en conditions normales de transport s'appuie sur les résultats des études réalisées pour les conditions accidentelles de transport, détaillés ci-après, ce qui est conservatif. Le requérant conclut que les exigences de sûreté spécifiées par la réglementation sont satisfaites. L'IRSN estime cette conclusion acquise, les déformations associées aux conditions normales de transport étant surévaluées par le requérant.

2.3 Comportement mécanique en conditions accidentelles de transport

L'étude du comportement mécanique des modèles de colis FCC3 et FCC4 en conditions accidentelles de transport est fondée, d'une part sur des essais de chute effectués avec des spécimens de chute chargés d'un assemblage et d'un lest, d'autre part sur des calculs (analytiques et numériques).

Par rapport à la précédente demande de prorogation, le requérant a complété cette étude sur les points suivants.

2.3.1 Tenue au cisaillement des vis de fermeture des coques en chute axiale

L'étude de la tenue des vis de fermeture des coques repose sur les essais de chute, qui ont été réalisés à une température proche de 20°C et sans cumuler des conditions normales et accidentelles de transport.

À cet égard, le requérant souligne que les caractéristiques mécaniques des vis retenues pour cette étude sont adaptés, selon la norme utilisée, jusqu'à des températures de 150°C. La température maximale en conditions normales de transport déterminée de manière pénalisante étant de 78°C, il estime que les résultats des essais de chute sont représentatifs pour la plage de température à considérer. Ce point n'appelle pas de commentaire.

À l'issue des chutes, toutes les vis liant les deux coques sont restées en place et ont été retirées sans difficulté. Seules quelques vis ont été légèrement tordues, au niveau des zones d'impact. Le requérant conclut que les vis ont été peu sollicitées lors des chutes effectuées. Aussi, il estime que le cumul de ces chutes avec une chute représentative des conditions normales de transport, d'une hauteur beaucoup plus faible, ne mettrait pas en cause les mesures déduites des essais.

L'IRSN considère que la légère torsion de certaines vis montre que celles-ci ont dépassé leur limite élastique. Or, les caractéristiques mécaniques des vis des spécimens utilisés lors des essais ne sont pas connues précisément. Aussi, il ne peut être exclu que ces vis présentent un meilleur comportement mécanique que celles de certains exemplaires d'emballages. En cas de rupture de vis, les coques pourraient se désolidariser, ce qui n'est pris en compte dans la démonstration de sûreté. À cet égard, l'IRSN relève que la démonstration de la prévention des risques de criticité en conditions accidentelles de transport présente des marges importantes, compte tenu de l'absence de rupture de vis de fermeture des coques, du maintien de la géométrie globale de l'aménagement interne et de l'absence de rupture des gaines des crayons à l'issue des essais de chute.

Nonobstant, l'IRSN estime que le requérant doit formellement justifier l'absence de désolidarisation des coques (par exemple en calculant les contraintes dans les vis de fermeture des coques) à l'issue de la séquence de chutes la plus pénalisante, en cumulant les conditions normales et accidentelles de transport à la température la plus pénalisante. **Ce point fait l'objet de la recommandation de l'annexe 1 à l'avis.**

2.3.2 Comportement des absorbeurs avec et sans grappes d'assemblage

Les essais de chute ont été effectués avec des assemblages sans grappes. Le requérant a vérifié que la présence de grappes ne modifie pas les conclusions des études. De plus, dans le cadre de la demande objet du présent avis, le requérant a complété ses études en mettant à jour la masse maximale suspendue (aménagement interne et contenu) et en tenant compte d'un éventuel impact décalé de cette masse.

Ces points n'appellent pas de commentaire de l'IRSN. En outre, la prise en compte d'un éventuel impact décalé améliore la robustesse de la démonstration.

2.3.3 Tenue mécanique des boîtes à crayons

Le requérant a inclus dans les dossiers de sûreté les démonstrations concernant la tenue mécanique des boîtes à crayons et des cales de maintien radial et axial des crayons. Ces justifications n'appellent pas de commentaire.

2.3.4 Tenue mécanique des assemblages et des crayons

Le requérant a complété l'analyse de la tenue mécanique des assemblages en prenant en compte les variations de température en conditions normales de transport, ce qui est satisfaisant sur le principe.

Pour la configuration d'une chute d'un mètre sur poinçon, il souligne que les marges de sécurité relatives à la tenue mécanique des assemblages sont importantes, et estime qu'elles couvrent les variations des endommagements attendues avec la température. De plus, le requérant a inclus dans les dossiers de sûreté une étude de la tenue mécanique des gaines des crayons en flexion en prenant en compte la vitesse de déformation des gaines et les températures minimale et maximale en conditions normales de transport. Il conclut que la tenue mécanique des gaines est assurée avec un coefficient de sécurité minimal de 1,6. En outre, le requérant spécifie, notamment dans les projets de certificats d'agrément, des caractéristiques mécaniques pour les gaines en cohérence avec les démonstrations réalisées. Ceci est satisfaisant.

3 THERMIQUE

Le requérant a complété l'analyse du comportement thermique du colis, notamment en conditions accidentelles de transport (épreuve de feu), en ajoutant :

- une évaluation par calcul numérique des températures des colis en conditions normales de transport ;
- une analyse des conséquences sur la température maximale des crayons combustibles d'une poursuite de la combustion du bois des absorbeurs après la fin de l'incendie ;
- des compléments sur le comportement des gaines des crayons.

L'IRSN estime ces compléments de la démonstration adaptés.

3.1 Comportement thermique en conditions normales de transport

Le requérant réévalue les températures maximales du colis en conditions normales de transport par calcul numérique, en utilisant un modèle à deux dimensions. Ces calculs et leurs résultats présentés n'appellent pas de commentaire de l'IRSN.

3.2 Température maximale atteinte par les crayons en conditions accidentelles de transport

Le requérant évalue les températures maximales des crayons des colis en conditions accidentelles de transport par calcul numérique en deux dimensions. Ces évaluations sont prises en compte pour étudier la tenue au fluage des crayons (cf. paragraphe 3.3 de l'avis). En cours d'instruction, le requérant a justifié la discrétisation spatiale retenue dans les calculs numériques.

Par ailleurs, il vérifie que la poursuite éventuelle de la combustion du bois des absorbeurs après la fin de l'épreuve thermique ne met pas les conclusions de l'étude thermique.

Ces études et les résultats obtenus n'appellent pas de commentaire de l'IRSN.

3.3 Fluage des gaines lors de l'épreuve de feu

Pour rappel, à partir d'essais de fluage à température constante, le requérant a élaboré des lois de comportement en fluage des gaines des crayons reliant la température, la pression, la vitesse de déformation et la contrainte dans les crayons au critère de rupture. Pour la présente demande de prorogation d'agrément, le requérant a fait des essais complémentaires, avec des rampes de températures et des gradients circonférentiels de température, pour conforter la validité de ces lois. À partir de ces lois et des calculs numériques de température des crayons en conditions accidentelles de transport, il évalue que le critère associé au fluage des crayons est respecté avec un coefficient de sécurité minimal de 4,3. Cette étude prend en compte la géométrie nominale des crayons.

Lors de l'instruction, le requérant a indiqué que les déformations des crayons à l'issue des chutes représentatives des conditions accidentelles de transport sont suffisamment faibles pour justifier cette hypothèse. À cet égard, l'IRSN considère que le requérant devrait formellement tenir compte des déformations géométriques maximales des gaines à l'issue des chutes représentatives des conditions accidentelles de transport. **Ceci fait l'objet de l'observation 1 de l'annexe 2 de l'avis.**

4 RADIOPROTECTION

Le requérant a évalué les débits de dose autour des colis dans toutes les conditions de transport. Ces évaluations montrent le respect des critères réglementaires avec des marges importantes. Ceci n'appelle pas de commentaire de l'IRSN.

5 SURETE-CRITICITE

Le requérant a complété les justifications présentées dans les dossiers de sûreté en tenant compte de l'augmentation de la section des cavités accueillant les contenus de l'emballage FCC4. Par ailleurs, il a formalisé les éléments de validation du schéma de calcul de criticité utilisé. L'IRSN considère ces compléments satisfaisants.

6 UTILISATION

Afin de répondre aux demandes de l'ASN formulées à l'issue de la précédente expertise des démonstrations de sûreté du colis FCC4, le requérant a inclus des contrôles supplémentaires dans les dossiers de sûreté des deux colis FCC3 et FCC4. La formalisation de ces contrôles est satisfaisante.

7 MAINTENANCE

Le requérant a ajouté des spécifications concernant les contrôles surfaciques des soudures. L'IRSN estime ces contrôles satisfaisants et considère qu'ils devraient également être appliqués aux colis FCC3. **Ceci fait l'objet de l'observation 2 de l'annexe 2 de l'avis.**

Par ailleurs, le requérant a transmis un bilan des opérations de maintenance effectuées sur les emballages FCC3 et FCC4 qui n'appelle pas de commentaire particulier de l'IRSN.

8 FABRICATION

Au cours de l'instruction, le requérant a précisé les conditions de mise en œuvre des blocs de bois lors des fabrications et les contrôles associés. L'IRSN considère que le requérant devrait inclure ces contrôles dans les dossiers de sûreté. **Ceci fait l'objet de l'observation 3.1 de l'annexe 2 de l'avis.**

Les vis de liaison entre les coques sont de classe 10.9. Les vis de classe élevée pouvant être fragilisées par leurs traitements de surface, l'IRSN estime que ces traitements doivent être réalisés suivant la norme NF ISO 9588. Le dossier de sûreté ne spécifie pas cette norme, mais une résilience minimale de ces vis. Aussi, l'IRSN estime que le requérant devrait vérifier que la spécification d'une résilience minimale limite le risque de rupture fragile, de manière équivalente à la norme NF ISO 9588. **Ceci fait l'objet de l'observation 3.2 de l'annexe 2 de l'avis.**

9 CONCLUSION

En conclusion, sur la base des dossiers de sûreté, des projets de certificat et des compléments transmis en cours d'instruction, l'IRSN considère que les modèles de colis FCC3 et FCC4 sont conformes aux prescriptions réglementaires applicables aux modèles de colis de type IP-2 chargés de matières fissiles.

Concernant les analyses réalisées, l'IRSN estime que le requérant devrait évaluer les contraintes dans les vis de fermeture des coques en conditions accidentelles de transport. Par ailleurs, il devrait tenir compte des observations formulées en annexe 2 au présent avis, qui visent à améliorer les démonstrations présentées dans les dossiers de sûreté.

Pour le directeur général, par délégation

Igor LE BARS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'Avis IRSN n° 2017-00298 du 27 septembre 2017
Recommandation pour la prochaine prorogation

Montrer l'absence de désolidarisation des coques (par exemple en calculant les contraintes dans les vis de fermeture des coques et en les comparant aux caractéristiques mécaniques de leur matériau) à l'issue de la séquence de chutes la plus pénalisante, en cumulant les conditions normales et accidentelles de transport à la température la plus pénalisante.

Annexe 2 à l'Avis IRSN n° 2017-00298 du 27 septembre 2017

Observations

1 Thermique

Effectuer de nouveaux calculs de tenue des gaines au fluage en considérant les déformations géométriques maximales des gaines à l'issue des chutes représentatives des conditions accidentelles de transport mesurées sur les prototypes d'essais et obtenues par calcul.

2 Maintenance

Réviser le dossier de sûreté du modèle de colis FCC3 afin d'intégrer les mises à jour concernant les instructions de maintenance, notamment pour celles qui concernent les contrôles surfaciques, telles que spécifiées pour les modèles de colis FCC4 version 1 série 400 et version 2.

3 Fabrication

- 3.1 Inclure la description des contrôles des caractéristiques mécaniques des blocs de balsa dans les dossiers de sûreté.
- 3.2 Vérifier que la spécification d'une résilience minimale des vis de classe 10.9 limite le risque de rupture fragile de façon équivalente à l'application de la norme NF ISO 9588 en fabrication.