

Fontenay-aux-Roses, le 4 juillet 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2018-00182

Objet : Transport - Qualification du comportement thermique du modèle de colis UX-30

- Réf.
1. **Lettre ASN CODEP-DTS-2018-015649 du 29 mars 2018.**
 2. Règlement de transport de l'AIEA SSR-6 édition de 2012.
 3. Norme internationale ISO 7195 « Packaging of uranium hexafluoride for transport », septembre 2005.
 4. Norme américaine ANSI N14.1-2012 « Uranium Hexafluoride - Packagings for Transport » du 3 décembre 2012.
 5. Norme NF EN ISO 9453 « Alliages de brasage tendre - Compositions chimiques et- formes », octobre 2014.
 6. Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, AIEA Safety guide N°SSG-26, 2012 edition.

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 principes retenus par la société ORANO TN pour qualifier, par voie expérimentale, le comportement du modèle de colis UX-30 lors de l'épreuve de feu simulant les conditions accidentelles de transport, définie dans la réglementation citée en deuxième référence (800°C pendant 30 min).

1 CONTEXTE

Le modèle de colis UX-30 de forme générale cylindrique, composé de deux demi-coques, est destiné au transport d'un cylindre 30B contenant de l'hexafluorure d'uranium (UF₆) enrichi en uranium 235. Le transport de ce modèle de colis sur la voie publique, en tant que colis de type A pour matière fissile, est actuellement autorisé par l'ASN sous couvert d'un certificat d'agrément qui expire le 31 décembre 2019.

Dans le cadre de l'expertise des démonstrations de sûreté transmises en appui de la dernière demande d'agrément, objet d'un avis de l'IRSN en 2016, l'IRSN a estimé que les analyses relatives au comportement thermique du modèle de colis en conditions accidentelles de transport devaient être complétées. En effet, lors de l'essai de feu réalisé, les températures relevées au voisinage du spécimen utilisé ont été pour certaines zones significativement inférieures à 800°C. En outre, une brusque augmentation de la température de la vanne de remplissage du cylindre 30B a été observée une vingtaine de minutes après l'arrêt du feu. L'IRSN

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

considère que cette variation pourrait résulter de la circulation de gaz de pyrolyse issus de la dégradation thermique des blocs de mousse présents dans la structure des demi-coques constituant l'emballage UX-30. De ce fait, l'IRSN a estimé qu'il convenait de justifier que la production de ces gaz ne peut pas conduire à une augmentation de la température des composants du cylindre 30B (vanne et bouchon notamment) mettant en cause le niveau de sûreté du modèle de colis. Par la suite, l'ASN a demandé à la société ORANO TN de confirmer le maintien de l'étanchéité du cylindre 30B chargé dans l'emballage UX-30 à l'issue de l'épreuve réglementaire d'incendie.

En réponse, la société ORANO TN a transmis en mars 2018 la démarche retenue pour évaluer, par voie expérimentale, le comportement thermique du modèle de colis lors de cette épreuve. Le programme de ces essais sera défini par la société ORANO TN dans une seconde étape. De l'expertise des éléments transmis, au regard des exigences de la réglementation citée en deuxième référence, l'IRSN retient les points suivants.

2 DEMARCHE

La démarche de la société ORANO TN s'appuie sur la réalisation d'un essai de feu effectué avec un spécimen représentatif du modèle de colis. **L'IRSN estime que cette démarche satisfaisante.** Elle permettra d'évaluer les conséquences de phénomènes tels que la dégradation thermique des blocs de mousse présents dans l'emballage, qui sont difficilement appréhendables par voie numérique.

Pour rappel, cet essai doit prendre en compte les dommages associés aux chutes réglementaires simulant les conditions normales et accidentelles de transport. En outre, la température des composants du colis au début de l'incendie doit être définie en tenant compte des conditions d'ambiance des conditions normales de transport (température ambiante de 38°C et prise en compte de l'ensoleillement). À cet égard, la société ORANO TN :

- reproduira sur le spécimen utilisé les endommagements observés à l'issue des épreuves réglementaires de chutes ;
- préchauffe le spécimen afin que la température des composants corresponde à celle précitée.

Les endommagements simulés sur le spécimen et son préchauffage font l'objet des paragraphes 3 et 4 de l'avis.

À l'issue de l'essai, la société ORANO TN vérifiera que la température mesurée sur le cylindre ne peut pas conduire à une augmentation de sa pression interne susceptible de mettre en cause son étanchéité. Elle retient une température maximale admissible du cylindre de 121°C, issue de la norme citée en troisième référence. Cette température est celle conduisant, pour un cylindre plein, à une augmentation de pression dans la cavité susceptible de mettre en cause son étanchéité. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

Par ailleurs, la société ORANO TN vérifiera que le taux de fuite global du cylindre 30B chargé dans la cavité du spécimen est inférieur à $2 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à l'issue de l'essai de feu. Ce critère correspond à la somme des taux de fuite maximaux admissibles spécifiés dans la norme citée en troisième référence pour la vanne de remplissage et le bouchon de vidange des cylindres 30B ($10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour chaque organe), qui est retenue dans les démonstrations de sûreté (notamment pour déterminer le volume d'eau susceptible d'entrer dans le cylindre lors des épreuves d'immersion). **Ceci n'appelle pas de remarque.**

Enfin, les cylindres 30B sont conçus, fabriqués, utilisés et maintenus selon les exigences des normes citées en troisième et quatrième références. Ces normes indiquent en particulier que le filetage intérieur des corps de vanne et de bouchon doit être revêtu d'une couche à base d'étain (étamage), réalisé avec un alliage pour brasure étain-plomb conforme à la norme citée en cinquième référence. Selon cette norme, la température minimale de fusion des brasures composées de cet alliage est de 183°C. Aussi, l'IRSN considère qu'un critère de non dépassement de la

température de fusion de l'étamage de la vanne et du bouchon du cylindre 30B doit être retenu. En effet, au-delà de cette température, le revêtement du filetage de la vanne et du bouchon peut se dégrader et mettre en cause l'étanchéité du cylindre. Ceci fait l'objet de l'observation n° 1.1 de l'annexe 2 de l'avis.

3 REPRESENTATIVITE DU SPECIMEN D'ESSAI

3.1 Représentativité du contenu et du cylindre

Les cylindres 30B dits « vide » et « plein » peuvent contenir respectivement jusqu'à 11,34 kg de résidus solides uranifères, dénommés « pied de cuve », et entre 455 kg et 2 277 kg d'UF₆. Dans l'agrément délivré en France, de type A, l'uranium est uniquement de l'uranium naturel. Compte tenu de la composition isotopique de l'uranium transporté (au plus 5 % en ²³⁵U), les risques de criticité doivent être pris en compte (modèle de colis agréé pour matière fissile). À cet égard, pour les cylindres « pleins », la sous-criticité est justifiée en considérant une introduction limitée d'eau dans le cylindre, conduisant à des exigences de maintien de leur étanchéité pour toutes les conditions de transport.

La société ORANO TN retient pour l'essai un cylindre 30B contenant un lest d'une masse égale à 455 kg (masse minimale d'un cylindre plein). Ceci n'appelle pas de remarque dans le cas d'un colis de type A fissile. En effet, dans ce cas, une perte d'étanchéité de la vanne ou du bouchon à l'issue de l'épreuve de feu ne met pas en cause la prévention des risques de criticité, celle-ci étant assurée quelles que soient les conditions de modération dans le cylindre. Toutefois, la représentativité du lest utilisé ainsi que le caractère pénalisant de sa position dans le cylindre pendant l'essai de feu devront être justifiés dans le programme d'essai.

Par ailleurs, dans le cas du transport d'UF₆ dont l'uranium est issu du retraitement, autorisé pour le colis UX30 dans d'autres pays que la France et nécessitant un agrément de type B, des exigences de maintien du confinement du cylindre vide doivent être respectées conformément à la réglementation en deuxième référence. Dans ce cas, l'essai de feu devrait être réalisé avec un cylindre vide, cette configuration maximisant la température du cylindre. Aussi l'IRSN estime que la société ORANO TN devrait examiner la possibilité de réaliser l'essai de feu avec un cylindre vide. Ceci fait l'objet de l'observation n° 2.1 de l'annexe 2 de l'avis.

L'utilisation d'un cylindre vide pourrait conduire à dépasser le critère de 121°C retenu par la société ORANO TN pour la température du cylindre (cf. §2 de l'avis). Dans ce cas, elle devrait vérifier, par calculs, que la température maximale d'un cylindre 30B plein resterait inférieure à 121°C pendant l'essai de feu.

La société ORANO TN retient un cylindre 30B muni d'un bouchon à six pans creux. Toutefois, les cylindres 30B peuvent être équipés de bouchons à tête hexagonale ou à six pans creux, tel que spécifié dans la norme citée en quatrième référence et prochainement introduit dans celle citée en troisième référence. Le choix d'un bouchon à six pans creux, dont la longueur est inférieure à celle d'un bouchon à tête hexagonale, conduit à maximiser le jeu entre la surface interne de la coque et l'extrémité du bouchon. Ceci peut réduire les transferts thermiques vers le bouchon et donc minimiser la température maximale du bouchon atteinte lors de l'essai. De ce fait, l'IRSN recommande de réaliser l'essai de feu en utilisant un cylindre 30B muni d'un bouchon à tête hexagonale.

Enfin, la vanne et le bouchon du cylindre utilisé seront vissés, dans la mesure du possible, en considérant le nombre minimal de filets engagés spécifié dans les normes citées en troisième et quatrième références. Cette approche est recevable sur le principe, du fait qu'elle minimise les jeux entre les composants et les surfaces internes de la coque. Toutefois, l'IRSN estime que cela devrait constituer une exigence pour l'essai.

Les points précités font l'objet de la recommandation n° 1.1 de l'annexe 1 de l'avis.

3.2 Représentativité de l'emballage

L'emballage utilisé pour l'essai est un exemplaire du parc de coques UX-30 actuellement exploitées en France. **Ceci n'appelle pas de commentaire de principe.** À cet égard, l'IRSN estime que la société ORANO TN devrait retenir un emballage dont la densité des blocs de mousse se situe dans la plage inférieure des tolérances d'approvisionnement, afin de maximiser lors de l'incendie les transferts thermiques dans la structure de l'emballage. De même, les dimensions telles que construites des spécimens d'emballage et de cylindre utilisés devront conduire à minimiser les jeux axiaux internes. Les cas échéant, l'étude de l'influence de ces paramètres devra être réalisée *a posteriori*.

Des bandes en polymère sont fixées sur la surface interne des demi-coques. Ces bandes permettent de limiter, lors des transports, le glissement du cylindre dans la cavité de l'emballage. Elles peuvent modifier les transferts thermiques entre la surface interne de la coque et le cylindre 30B. De plus, elles sont susceptibles de se dégrader pendant l'essai, compte tenu des températures attendues. Les dégagements, visqueux ou gazeux, associés à cette dégradation pourraient augmenter les transferts thermiques vers le cylindre, voire produire des gaz inflammables ou explosifs. **Aussi, l'IRSN considère que la société ORANO TN devra justifier que les caractéristiques des bandes en polymères équipant le spécimen d'essai sont représentatives de celles équipant le parc d'emballages.**

La société ORANO TN calera lors de l'essai le cylindre 30B dans le fond de la cavité de la coque UX-30 côté bouchon. Ceci conduit de fait à maximiser le jeu entre la surface interne de la coque et la vanne de remplissage du cylindre, et donc à minimiser, lors de l'essai, la température de cette dernière. **La vanne étant l'élément le plus sensible, l'IRSN estime que la jupe du cylindre devra être placée en contact avec la surface interne de la coque côté vanne.**

Enfin, selon les schémas transmis par la société ORANO TN, la coque et le cylindre seront orientés à 180° par rapport à leur position de transport, la vanne du cylindre 30B sera ainsi placée vers le bas. **À cet égard, la coque UX-30 n'étant pas équipée d'un système écartant une rotation du cylindre 30B dans la cavité, l'IRSN estime que la vanne devra être positionnée au droit de l'ouverture du plan de joint des demi-coques (cf. § 3.3.3 de l'avis).**

Ces points font l'objet des recommandations n° 1.2 à 1.5 formulées en annexe 1 de l'avis.

Enfin, la surface externe du spécimen sera peinte en noir afin de garantir, conformément aux exigences de la réglementation citée en deuxième référence, un coefficient d'absorptivité des surfaces externes de l'emballage supérieur ou égal à 0,8 pendant l'essai de feu. **Ceci est satisfaisant.**

3.3 Endommagements simulés sur le spécimen d'essai

Le spécimen utilisé lors de l'essai de feu sera préalablement modifié afin de reproduire les endommagements du colis associés aux conditions normales et accidentelles de transport. À cet égard, les endommagements reproduits seront déterminés sur la base des séquences de chutes réalisées en 1983, 1995 et 2011, ainsi que de calculs tenant compte des demandes formulées par l'ASN à l'issue de la précédente demande de validation d'agrément du modèle de colis UX-30 (cf. § 3.3.1 de l'avis).

La société ORANO TN ne décrit pas l'approche qui sera retenue pour reproduire les endommagements sur le spécimen. **L'IRSN estime que cette approche devrait être présentée dans le programme d'essai. Ceci fait l'objet de la recommandation n° 4.1 présentée en annexe 1 de l'avis.**

3.3.1 Configurations de chute complémentaires

En réponse aux demandes de l'ASN, la société ORANO TN évaluera par calculs le comportement du colis lors :

- de chutes libres, d'une hauteur de 9 m, du colis en position inclinée avec un impact au droit de la vanne ou du bouchon du cylindre ;
- de chutes, d'une hauteur de 1 m, du colis sur poinçon avec un impact au droit de la zone endommagée à l'issue des chutes précédentes ;
- d'une chute libre du colis d'une hauteur de 10,2 m (cumul des hauteurs de chute associées aux conditions normales (1,2 m) et accidentelles (9 m) de transport). L'orientation du colis retenue maximisera les déformations de la tôle interne de la coque.

Ces études seront réalisées en considérant les caractéristiques mécaniques minimales de la mousse à la température maximale atteinte en conditions normales de transport.

La société ORANO TN ne détaille pas le processus de validation du modèle numérique développé et les hypothèses relatives au comportement des matériaux. **L'IRSN estime que ces points devront faire l'objet de compléments avant la réalisation de l'essai. Ils font l'objet de la recommandation n° 4.2 présentée en annexe 1 de l'avis.**

La société ORANO TN ne décrit pas précisément la position des endommagements qui seront reproduits. A cet égard, les endommagements du colis à l'issue de la chute sur poinçon maximisant l'écrasement des blocs de mousse au droit de la vanne du cylindre devront être considérés. Par ailleurs, les tôles d'une des demi-coques du spécimen n'étant pas déchirée, l'essai de feu permettra de vérifier si le nombre et la taille des bouchons fusibles présents sur la tôle externe de cette demi-coque sont suffisants pour évacuer les gaz issus de la combustion de la mousse. **Ces points font l'objet de la recommandation n° 4.3 présentée en annexe 1 de l'avis.**

3.3.2 Essais de caractérisation des blocs de mousse

Afin de répondre à une demande de l'ASN relative à la loi de comportement des blocs de mousse présents dans la structure de l'emballage, la société ORANO TN réalisera, sur la plage de températures réglementaire, des essais de compression sur des échantillons de mousse de même nuance que celle présente dans les emballages de série. Les échantillons seront positionnés dans un conformateur rigide. Les mesures seront réalisées, sous chargement quasi-statique, jusqu'à des taux d'écrasement de la mousse supérieurs à 50 %. **Sur le principe, la réalisation de ces essais est satisfaisante.** Toutefois, l'IRSN estime que ces essais devraient être réalisés en tenant compte des points suivants :

- des sollicitations en régime dynamique, représentatives de celles rencontrées lors des épreuves de chutes, devraient être simulées, le régime de sollicitation ayant une influence sur la loi de comportement ;
- le nombre d'échantillons testés devra être suffisant pour obtenir des résultats représentatifs ;
- plusieurs densités de mousse devront être testées afin de couvrir les tolérances d'approvisionnement ;
- les essais d'écrasement des échantillons devront être effectués jusqu'à l'atteinte du seuil de consolidation de la mousse, susceptible de dépasser 50 % ;
- les échantillons devront être en contact avec la surface interne du conformateur afin de reproduire le comportement de la mousse qui est coulée dans la structure de l'emballage. En effet, la présence d'un jeu entre les échantillons et le conformateur influe notablement sur la courbe de compression du matériau.

Ces points font l'objet de la recommandation n° 4.4 présentée en annexe 1 de l'avis.

3.3.3 Ouverture du plan de joint des demi-coques

L'ouverture du plan de joint des demi-coques reproduite par la société ORANO sur le spécimen utilisé lors de l'essai de feu correspondra à celle relevée lors des essais de chute réalisés en 2011 (16 mm) ou celle évaluée à partir des calculs numériques complémentaires présentés au paragraphe 3.3.1 de l'avis, suivant le cas le plus défavorable. Toutefois, une ouverture de 25,4 mm a été mesurée lors des essais de chute réalisés en 1995, à température ambiante. Aussi, l'IRSN estime que l'ouverture du plan de joint du spécimen devra correspondre à celle évaluée par calculs ou à 25,4 mm, suivant le cas le plus pénalisant. Dans ce cadre, il conviendra d'étudier la configuration d'une chute libre du colis en position quasi-horizontale à -40°C, qui est susceptible de conduire à l'ouverture maximale du plan de joint. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°4.3 présentée en annexe 1 de l'avis.**

Le dispositif d'écartement des demi-coques est en cours de définition, l'introduction d'une cale métallique au niveau du plan de joint étant envisagée. Pour compenser l'absence de système de fermeture des coques dans la zone de la cale, un cerclage métallique résistant au feu pourrait être positionné autour du spécimen. À cet égard, il conviendra que la société ORANO TN vérifie que le dispositif d'écartement retenu n'entrave pas la pénétration des flammes dans la cavité de l'emballage et la circulation d'air chaud autour du cylindre 30B. Par ailleurs, le dispositif additionnel ne devra pas bloquer le mouvement des demi-coques l'une par rapport à l'autre, l'ouverture du plan de joint étant susceptible d'évoluer pendant l'essai, du fait des phénomènes de dilatation thermique des composants. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°4.5 présentée en annexe 1 de l'avis.**

3.3.4 Déformation de la tôle interne de l'emballage

La société ORANO TN indique que la déformation de la tôle interne de la coque (12,7 mm), pour un jeu axial initial entre cette tôle et la vanne du cylindre de 25,4 mm, mise en évidence lors des essais de chute effectués en 1983, ne sera pas reproduite sur le spécimen utilisé. Elle considère en effet les échanges thermiques entre la tôle interne et la vanne par rayonnement du second ordre. Comme indiqué au paragraphe 3.2, l'IRSN recommande de positionner la vanne au droit de l'ouverture du plan de joint des demi-coques pendant l'essai. Dans cette configuration, la déformation de la tôle interne de l'emballage aura peu d'influence sur la température de la vanne.

4 ESSAI THERMIQUE

4.1 Conditions d'essai

4.1.1 Dispositif d'essai

Le dispositif d'essai est décrit par la société ORANO TN de façon succincte, le lieu de réalisation de l'essai n'étant à ce jour pas défini. Il sera décrit en détail dans le programme d'essai.

La société ORANO TN indique que des brûleurs à grandes flammes seront positionnés autour du spécimen. À cet égard, l'IRSN considère que la société ORANO TN devra s'appuyer sur le guide de l'AIEA cité en sixième référence pour définir le dispositif d'essai. Les recommandations de ce guide visent en effet à définir les conditions expérimentales garantissant un flux thermique transmis au spécimen au moins équivalent à celui d'un feu d'hydrocarbure en milieu ouvert. De plus, l'IRSN considère que la société ORANO TN devrait s'assurer que le dispositif expérimental utilisé garantit une épaisseur de flamme de l'ordre de 1 m autour du spécimen.

Lors de l'essai, réalisé en plein air, un système de paravents sera positionné autour du spécimen afin de minimiser les effets du vent. La vitesse de vent sera enregistrée pendant l'essai. À cet égard, il conviendra de s'assurer que

ces paravents ne modifient pas le taux de combustion du carburant utilisé ainsi que les écoulements d'air au voisinage du spécimen. De même, il devrait être vérifié que le bâti sur lequel le spécimen reposera n'entrave pas les échanges thermiques entre les flammes et ce dernier. Enfin, l'IRSN considère que tout moyen d'extinction des flammes par aspersion devra être proscrit. Ces derniers pourraient en effet modifier les échanges thermiques entre le milieu ambiant et les surfaces externes du spécimen. **Ces points font l'objet des observations n° 3.1 à 3.5 présentées en annexe 2 de l'avis.**

4.1.2 Conditions d'ambiance

Préalablement à l'essai de feu, un moyen de chauffage externe sera positionné autour du spécimen afin de reproduire le champ de températures atteint par le colis en conditions normales de transport.

Pour cette phase de préchauffage, la société ORANO TN retient comme critère la température atteinte sur la surface externe de la coque. La durée pendant laquelle cette température sera maintenue n'est cependant pas spécifiée, ce qui ne permet pas de s'assurer que la température des composants internes du colis aura atteint un régime permanent. De ce fait, l'IRSN estime que la société ORANO TN devrait également fixer un critère de température sur le cylindre 30B positionné dans la cavité du spécimen. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2.1 présentée en annexe 1 de l'avis.**

Par ailleurs, la société ORANO TN devra s'assurer que le délai entre la fin du chauffage et le début du feu ne conduit pas à des températures des composants du spécimen d'essai inférieures à celles associées aux conditions normales de transport. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 3.6 présentée en annexe 2 de l'avis.**

Enfin, la société ORANO TN estime que l'effet de l'ensoleillement réglementaire et de la température ambiante, égale à 38°C, pendant la phase de refroidissement du spécimen à l'issue des 30 minutes de feu, est négligeable. En effet, il considère que l'inertie thermique du spécimen est faible et que la température maximale du cylindre 30B sera atteinte à la fin du feu. L'IRSN estime toutefois que la température maximale du cylindre 30B pourrait être atteinte pendant la phase de refroidissement du fait de la poursuite de la combustion des gaz résultant de la pyrolyse de la mousse. Par conséquent, si les relevés de températures montrent que la température maximale du cylindre 30B est atteinte pendant la phase de refroidissement, cette température devra être corrigée *a posteriori* afin de prendre en compte les conditions d'ambiance réglementaires. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 3.7 présentée en annexe 2 de l'avis.**

4.2 Instrumentation

La société ORANO TN indique le nombre et la position des thermocouples qu'il envisage de fixer sur le spécimen. Les autres informations sur les thermocouples (type, mode de fixation, isolation...) seront précisées dans le programme d'essai. Pour l'IRSN, une attention particulière devra être apportée à la solution retenue pour la sortie des câbles du système d'instrumentation afin de ne pas perturber les transferts thermiques dans la structure du spécimen. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3.1 présentée en annexe 1 de l'avis.**

La société ORANO TN envisage de positionner quatre thermocouples autour de la virole externe du spécimen d'essai, afin de s'assurer que la température des flammes est supérieure ou égale à 800°C. Le nombre exact de thermocouples ainsi que leur distance par rapport à la surface externe du spécimen ne sont pas encore définis. Par ailleurs, la société ORANO TN ne mentionne pas la présence de thermocouples au droit de l'ouverture du plan de joint, ni aux extrémités de la coque notamment au droit de la vanne et du bouchon. **L'IRSN estime que des thermocouples d'ambiance devraient être ajoutés au niveau de ces zones.**

Par ailleurs, la société ORANO TN vérifiera que la température moyenne, mesurée par tous les thermocouples d'ambiance, est supérieure ou égale à 800°C pendant au moins 30 minutes. **Ceci n'est pas satisfaisant, la réglementation citée en deuxième référence spécifiant que la température des flammes doit être supérieure ou égale à 800°C en tout point de la surface externe du colis.**

Enfin, les thermocouples d'ambiance devraient être positionnés à une distance comprise entre 5 et 10 cm de la surface externe du spécimen afin de mesurer la température des flammes au voisinage de celui-ci en s'affranchissant des effets de bord.

Ces points font l'objet des recommandations n° 3.2 à 3.4 présentées en annexe 1 de l'avis.

Enfin, l'IRSN estime que la société ORANO TN devrait tenir compte dans la définition de l'instrumentation du cylindre 30B, qui sera précisée dans le programme d'essai, des points suivants :

- des thermocouples devraient être situés au niveau des jupes sur quatre génératrices espacées de 90°. Un thermocouple devra être positionné sur la génératrice située au droit de l'ouverture des coques ;
- trois thermocouples devraient être positionnés au voisinage direct de la vanne du cylindre 30B afin de palier une éventuelle défaillance de l'un des thermocouples. En outre, deux de ces thermocouples devraient être situés au plus près de l'étamage de la vanne ;
- deux thermocouples devraient être positionnés au voisinage direct du bouchon du cylindre 30B au plus près de l'étamage.

Ces points font l'objet de la recommandation n° 3.5 présentée en annexe 1 de l'avis.

5 CONCLUSION

En conclusion, l'IRSN estime que la démarche retenue par la société ORANO TN de réaliser un essai de feu afin de compléter l'étude du comportement thermique du modèle de colis UX-30 est satisfaisante.

L'IRSN estime que la société ORANO TN devra tenir compte des recommandations présentées en annexe 1 de l'avis, en amont du programme d'essai pour ce qui concerne les recommandations relatives aux endommagements simulés sur le spécimen d'essai, et dans l'élaboration de ce programme pour ce qui concerne les autres recommandations. À cet égard, compte tenu des éléments de définition de l'essai attendus dans le programme d'essai, l'IRSN estime que ce programme devra faire l'objet d'un examen.

Par ailleurs, la société ORANO TN devra tenir compte des observations présentées en annexe 2 de l'avis, notamment dans la définition de l'essai ou les analyses des résultats qui seront réalisées.

Pour le directeur général, par délégation

Igor LE BARS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'Avis IRSN n° 2018-00182 du 4 juillet 2018
Recommandations

Recommandations à prendre en compte dans le programme d'essai

1 Représentativité du spécimen d'essai

- 1.1 Utiliser un spécimen d'essai constitué d'un cylindre 30B équipé d'un bouchon à tête hexagonale. Le nombre minimal de filets de la vanne et du bouchon tel que spécifié dans les normes ISO 7195 de 2005 et ANSI N14.1-2012, devra être engagé dans le cylindre.
- 1.2 Utiliser lors de l'essai un emballage dont la densité des blocs de mousse se situe dans la plage inférieure des tolérances d'approvisionnement, ou étudier l'influence de ce paramètre *a posteriori*.
- 1.3 Afin de minimiser le jeu axial entre la vanne et la surface interne de l'emballage :
 - a. utiliser un spécimen d'emballage et de cylindre 30B dont les dimensions telles que construites minimisent les jeux axiaux internes ou étudier l'influence de ces jeux *a posteriori* ;
 - b. caler axialement la jupe du cylindre 30B en contact avec la surface interne de l'emballage côté vanne.
- 1.4 Justifier que les caractéristiques des bandes en polymères équipant le spécimen d'essai sont représentatives de celles équipant le parc d'emballages en termes de composition chimique, nombre et dimensions.
- 1.5 Positionner la vanne de remplissage du cylindre 30B au droit de l'ouverture du plan de joint des demi-coques, l'ensemble étant en vis-à-vis des flammes.

2 Conditions d'essai

- 2.1 Pour la phase préalable de chauffage du spécimen d'essai, fixer un critère de température sur le cylindre 30B positionné dans la cavité pour vérifier que la température du cylindre associée aux conditions normales de transport est atteinte.

3 Instrumentation

- 3.1 S'assurer que la solution retenue pour la sortie des câbles du système d'instrumentation ne perturbe pas les transferts thermiques dans la structure du spécimen.
- 3.2 Mettre des thermocouples d'ambiance au droit de l'ouverture du plan de joint ainsi que de la vanne et du bouchon du cylindre 30B.
- 3.3 Positionner les thermocouples d'ambiance à une distance comprise entre 5 et 10 cm de la surface externe du spécimen.
- 3.4 Vérifier que la température mesurée par chacun des thermocouples d'ambiance est supérieure ou égale à 800°C pendant au moins 30 minutes.
- 3.5 Compléter l'instrumentation du cylindre 30B en positionnant :
 - a. des thermocouples au niveau des jupes sur quatre génératrices espacées de 90°, un thermocouple étant positionné sur la génératrice située au droit de l'ouverture des coques ;
 - b. trois thermocouples au voisinage direct de la vanne de remplissage du cylindre, dont deux situés au plus près de l'étamage de la vanne ;
 - c. deux thermocouples au voisinage direct du bouchon de vidange du cylindre 30B au plus près de l'étamage.

Recommandations à prendre en compte en amont du programme d'essai

4 Endommagements retenu pour le spécimen d'essai

- 4.1 Présenter l'approche retenue pour reproduire les endommagements sur le spécimen d'essai.
- 4.2 Dans le cadre de l'étude du comportement mécanique du modèle de colis :
 - a. justifier les configurations de chute retenues pour la validation du modèle numérique ;
 - b. préciser les lois de comportement des matériaux utilisées pour modéliser les composants en acier et les blocs de mousse polyuréthane.
- 4.3 Pour les endommagements simulés sur le spécimen, prendre en compte les points suivants :
 - a. reproduire les dommages déterminés à l'issue des chutes libres, avec un impact au droit de la vanne et du bouchon du cylindre 30B, en tenant compte du cumul des épreuves de chutes simulant les conditions normales et accidentelles de transport ;
 - b. reproduire les endommagements du colis à l'issue de la chute, d'une hauteur de 1 m, sur poinçon au droit de la vanne du cylindre 30B ;
 - c. reproduire l'ouverture du plan de joint de la coque correspondant à celle évaluée numériquement ou à celle observée lors des essais de chute effectués en 1995 suivant le cas le plus pénalisant. Dans ce cadre, évaluer l'ouverture du plan de joint à l'issue d'une chute libre du colis en position quasi-horizontale à -40°C.
- 4.4 Réaliser les essais de compression de la mousse en considérant les points suivants :
 - a. simuler des sollicitations en régime dynamique, représentatives de celles rencontrées lors des épreuves de chute réglementaires ;
 - b. tester un nombre d'échantillons suffisant afin d'obtenir des résultats représentatifs ;
 - c. tester plusieurs densités de mousse sur la plage de températures réglementaires afin de couvrir les tolérances d'approvisionnement du matériau ;
 - d. effectuer les essais jusqu'à l'atteinte du seuil de consolidation de la mousse ;
 - e. placer les échantillons en contact avec la surface interne du conformateur utilisé.
- 4.5 Vérifier que le dispositif d'écartement des demi-coques du spécimen d'essai n'entrave pas la pénétration des flammes dans la cavité de l'emballage et la circulation d'air chaud autour du cylindre 30B. En outre, s'assurer que tout dispositif connexe utilisé ne bloque pas le mouvement des demi-coques l'une par rapport à l'autre.

Annexe 2 à l'Avis IRSN n° 2018-00182 du 4 juillet 2018

Observations

1 Critères à retenir lors de l'essai de feu

1.1 Retenir un critère de température maximale de la vanne et du bouchon égal à 183°C.

2 Représentativité du spécimen d'essai

2.1 Examiner la possibilité de réaliser l'essai de feu avec un cylindre vide. A défaut, justifier la représentativité du lest utilisé ainsi que le caractère pénalisant de sa position dans le cylindre pendant l'essai de feu.

3 Conditions d'essai

3.1 Vérifier que les conditions expérimentales garantissent un flux thermique transmis au spécimen au moins équivalent à celui d'un feu d'hydrocarbure en milieu ouvert dont les caractéristiques sont définies dans le guide SSG-26 de l'AIEA.

3.2 Vérifier que le dispositif expérimental utilisé garantit une épaisseur de flamme de l'ordre de 1 m autour du spécimen et placer des thermocouples permettant de vérifier l'épaisseur de flamme.

3.3 Vérifier que la présence de paravents ne met pas en cause le taux de combustion du carburant utilisé ainsi que les écoulements d'air au voisinage du spécimen.

3.4 Vérifier que le bâti sur lequel le spécimen reposera lors de l'essai n'entrave pas significativement les échanges thermiques entre les flammes et ce dernier.

3.5 Proscrire tout moyen d'extinction des flammes par aspersion.

3.6 Vérifier que le délai entre la fin du chauffage du spécimen et le début du feu ne conduit pas à des températures des composants du spécimen d'essai inférieures à celles associées aux conditions normales de transport.

3.7 Si la température maximale du cylindre 30B est atteinte pendant la phase de refroidissement, corriger cette température afin de prendre en compte les conditions d'ambiance réglementaires.