

Fontenay-aux-Roses, le 30 novembre 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2016-00368

Objet : Transport - Dossier d'options de sûreté - Nouveau modèle de colis FLYING PIG

- Réf.**
1. Lettre ASN CODEP-DTS-2016-029518 du 20 juillet 2016
 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 le dossier d'options de sûreté du nouveau modèle de colis, dénommé « FLYING PIG », présenté par la société AREVA TN. Ce dossier présente les options de démonstration retenues pour justifier la conformité de ce nouveau modèle de colis aux exigences applicables de la réglementation citée en deuxième référence.

En tant que colis de type B(U) pour matières non fissiles, fissiles exceptés ou fissiles exemptées, le modèle de colis FLYING PIG est destiné au transport sur la voie publique de faibles quantités de matières radioactives, sous diverses formes, par voies terrestre, maritime et aérienne. Ce modèle de colis vise à permettre à différents laboratoires de recherche situés en Europe et dans le reste du monde, d'expédier et de recevoir différents types d'échantillons de matières radioactives.

De l'expertise des options de sûreté réalisée par l'IRSN, il ressort les points importants ci-après.

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

Définition du modèle de colis

Définition de l'emballage

L'emballage FLYING PIG, de forme générale cylindrique, sera constitué d'un corps monobloc en acier inoxydable délimitant une cavité dans laquelle seront chargées les matières radioactives. Le système de fermeture de cette cavité sera composé d'un couvercle et de plusieurs tapes en acier inoxydable, destinées à obturer les orifices d'accès à la cavité, qui seront équipés de joints d'étanchéité en élastomère. Ces composants de fermeture de la cavité seront maintenus sur le corps de l'emballage au moyen de vis de fixation.

L'ensemble composé du corps, du couvercle et des tapes de fermeture des orifices munis de leurs joints d'étanchéité délimitera l'enveloppe de confinement du modèle de colis. Un système de barillet rotatif et un poussoir seront respectivement présents en partie supérieure et en fond de la cavité.

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

L'emballage sera également muni, à chacune de ces extrémités, de capots amortisseurs composés de blocs de bois confinés dans des tôles en acier inoxydable et d'un dispositif anti poinçonnement.

Les opérations de manutention et d'arrimage du modèle de colis seront réalisées au moyen de deux paires d'anneaux vissés sur deux génératrices du corps de l'emballage. Le corps de l'emballage sera également muni d'une semelle en acier inoxydable permettant la dépose et le calage du colis sur son châssis de transport.

L'IRSN relève qu'à ce stade, le requérant n'a pas identifié les options retenues en matière de caractéristiques mécaniques des vis de fixation assurant ou participant au maintien d'une fonction de sûreté du modèle de colis et des vis de fixation des anneaux destinés aux opérations de manutention et d'arrimage du colis. Au regard du retour d'expérience, l'IRSN souligne que les vis de classe de qualité élevée présentent un risque de fragilisation important résultant de la présence d'hydrogène. À ce titre, l'IRSN estime que le requérant devrait privilégier l'utilisation de vis de classe de qualité inférieure ou égale à 10.9 pour celles qui assurent ou qui participent à une fonction de sûreté et exclure l'utilisation des vis de classe de qualité 14.9. **En tout état de cause, l'IRSN estime que si le requérant prévoit d'utiliser des vis de classe de qualité supérieure ou égale à 12.9, il devra justifier l'absence de risque de rupture fragile de celles-ci en s'appuyant notamment sur les spécifications de fabrication et les modalités d'approvisionnement. Ceci fait l'objet de la recommandation 1.1 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Par ailleurs, le requérant n'a pas décrit les exigences retenues pour la réalisation des soudures qui seront réalisées entre les tôles externes des capots amortisseurs et leurs dispositifs anti-poinçonnement. Il n'a également pas décrit les dispositifs fusibles et leur système de fixation sur les tôles externes des capots amortisseurs. À cet égard, l'IRSN souligne qu'un défaut d'étanchéité de l'enveloppe externe des capots pourrait entraîner une variation des propriétés mécaniques et thermiques des blocs de bois, ce qui remettrait en cause les démonstrations de sûreté fondées sur les propriétés des blocs de bois garanties à l'issue des opérations de fabrication des emballages. Aussi, afin de garantir l'étanchéité des tôles externes des capots amortisseurs, l'IRSN estime que les soudures de liaison de ces tôles devraient être de type pleine pénétration conformément à un code de construction en considérant un niveau de qualité élevé. En tout état de cause, le requérant devra justifier les dispositions retenues pour atteindre cet objectif. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation 1.2 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Définition des contenus et des aménagements internes

La société AREVA TN indique que le modèle de colis FLYING PIG sera destiné au transport de sources radioactives sous diverses formes et d'échantillons de matières radioactives, irradiées ou non, provenant de pastilles, tronçons de crayons, plaques combustibles ou d'échantillons métalliques éventuellement sous forme pulvérulente ou enrobés dans un bloc de résine.

Les contenus transportés sont, selon la société AREVA TN, non fissiles, fissiles exceptés ou fissiles exemptés de démonstration de sûreté-criticité. La puissance thermique des contenus sera inférieure à 10 W. Pour le transport aérien, l'activité totale des contenus sera inférieure à 3 000 A₂. En outre, la présence de matières hydrogénées dans la cavité du modèle de colis sera autorisée et prise en compte dans les démonstrations de sûreté pour évaluer les risques associés.

En ce qui concerne les caractéristiques radiologiques des contenus, au regard des démonstrations de sûreté relatives à la radioprotection et au relâchement d'activités, le requérant prévoit de définir un système d'inéquations à vérifier par l'expéditeur en préalable au chargement du colis. Ce dernier aura la responsabilité de garantir le respect de paramètres tels que les activités maximales des radioéléments chargés dans la cavité qui se présenteront sous formes de gaz ou d'aérosols. L'IRSN considère que ce type de vérification avant expédition du colis nécessite de bien encadrer les dispositions opérationnelles prises par l'expéditeur du colis et les outils associés pour garantir la conformité des transports. À cet égard, la société AREVA TN devra définir et justifier les méthodes utilisées pour vérifier la conformité du contenu transporté au regard des hypothèses retenues dans les démonstrations de sûreté. **Ceci fait objet de la recommandation 2.1 présentées en annexe 1 au présent avis.** La pertinence des inéquations établies dans le cadre des démonstrations en matière de radioprotection est examinée ci-après.

Les contenus seront chargés dans la cavité de l'emballage en utilisant différents aménagements internes. Un dispositif de calage en matériau inerte est prévu, sans précision particulière sur les exigences relatives à ce système. En outre, le requérant précise dans son dossier d'options de sûreté que les risques liés à l'impact décalé du contenu sur la paroi interne de l'emballage seront pris en compte pour la configuration de chute libre du colis d'une hauteur de 9 m. À cet égard, l'IRSN estime que le requérant devra spécifier, dans le dossier de sûreté, les jeux internes dans la cavité du colis en considérant les tolérances dimensionnelles pénalisantes des composants de l'emballage, des aménagements internes, du système de calage et des contenus. **Ceci fait l'objet de l'observation 1.1 présentée en annexe 2 au présent avis.**

Pour ce qui concerne le transport des sources radioactives sous forme spéciale, l'IRSN tient à rappeler que si le requérant souhaite justifier le confinement des matières radioactives en se basant uniquement sur l'enveloppe externe de la source, il devra justifier que cette enveloppe peut assurer le confinement de la matière radioactive dans toutes les conditions de transport en tenant compte des sollicitations subies par l'enveloppe de la source chargée dans la cavité du colis.

Comportement mécanique du modèle de colis

Conditions de transport de routine

La tenue des organes d'arrimage et de manutention du colis sera évaluée, par calculs analytiques, en tenant compte des sollicitations mécaniques qui sont susceptibles d'être rencontrées dans les différents modes de transport envisagés (routier, ferroviaire, maritime et aérien). **Les sollicitations retenues n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Le requérant indique qu'il s'assurera que les contraintes équivalentes dans les composants du colis sollicités lors de ces opérations sont inférieures à la limite d'élasticité des matériaux qui les constituent. Au regard des conclusions présentées par le groupe de travail international dédié au dimensionnement des organes d'arrimage, l'IRSN considère que le requérant devrait justifier la tenue des organes d'arrimage et de manutention du colis en conditions de transport de routine en tenant compte d'un facteur de sécurité justifié qui permet de dégager des marges par rapport à la limite d'élasticité des matériaux. **Ce point fait l'objet de l'observation 2.1 présentée en annexe 2 au présent avis.**

Le dossier présente des éléments sur les exigences prévues concernant le dimensionnement des éléments vissés. Toutefois, la société AREVA TN ne présente pas d'éléments de justification du caractère pénalisant des coefficients de frottement et des incertitudes associées qui seront retenus dans ses analyses, en tenant compte notamment du type de lubrifiant utilisé, du diamètre et de l'état de surface des vis. En outre, AREVA TN ne présente pas d'élément sur le traitement de surface prévu pour les vis de fixation des éléments de fermeture de la cavité afin de démontrer que ce dernier ne sera pas susceptible de s'altérer sur toute la durée d'utilisation des vis. À cet égard, l'IRSN rappelle qu'un tel phénomène pourrait conduire à une diminution de l'effort de pré-serrage des vis susceptible de remettre en cause l'étanchéité du colis.

Pour l'IRSN, les couples de serrage appliqués aux éléments vissés, en intégrant des incertitudes associées aux moyens utilisés, devront garantir que :

- l'effort maximal résultant conduit à une contrainte équivalente dans les vis inférieure à 90 % de leur limite d'élasticité, tel que recommandé dans les codes de construction ;
- l'effort minimal résultant conduit à une contrainte équivalente dans les vis suffisante pour limiter les phénomènes d'auto-desserrage des composants, notamment pour ce qui concerne les vis de fixation des capots amortisseurs.

Ces points font l'objet des recommandations 3.1 et 3.2 présentées en annexe 1 au présent avis.

Conditions normales et accidentelles de transport

L'analyse du comportement mécanique du modèle de colis, à l'issue des épreuves réglementaires simulant les conditions normales et accidentelles de transport, reposera, d'une part sur des comparaisons avec les mesures relevées à l'issue d'essais de chute réalisés avec une maquette représentative du modèle de colis TN 106, d'autre part sur des calculs complémentaires.

Dans ce cadre, la société AREVA TN évaluera par calculs numériques, réalisés avec le code *LS-DYNA*, le comportement du modèle de colis à l'issue :

- de chutes libres du colis, d'une hauteur de 9 mètres, en tenant compte du phénomène d'impact décalé du contenu ;
- de chutes du colis, d'une hauteur de 1 mètre, sur un poinçon de diamètre 150 mm.

Les principaux objectifs de ces études consisteront à démontrer, d'une part la conservation de l'étanchéité de l'enveloppe de confinement, d'autre part le maintien des capots amortisseurs qui protégeront les joints d'étanchéité des composants de fermeture de l'enveloppe de confinement du colis lors de l'épreuve réglementaire de feu. Des critères généraux de respect de ces objectifs sont présentés pour les calculs numériques.

Le requérant indique que la modélisation du comportement mécanique du modèle de colis FLYING PIG sera dans un premier temps validée en se fondant sur des mesures relevées à l'issue de la campagne d'essais de chute réalisées avec une maquette représentative du modèle de colis TN 106 dont le concept de capot est proche de celui du modèle de colis FLYING PIG. À cet égard, l'IRSN note que les capots amortisseurs qui équipent le modèle de colis TN 106 diffèrent de ceux du modèle de colis étudié (essences des blocs de bois dans la partie inférieure, épaisseurs des blocs de bois dans la partie radiale des capots), ce qui pourrait entraîner des comportements différents lors des épreuves de chute. Par conséquent, l'IRSN estime que le requérant devra, pour justifier la qualification du modèle

numérique simulant le comportement mécanique du modèle de colis FLYING PIG dans les chutes libres d'une hauteur de 9 m, démontrer la pertinence et le caractère pénalisant de la démarche et des hypothèses retenues dans les calculs numériques. En outre, le caractère pénalisant des configurations de chute retenues pour qualifier le modèle numérique et évaluer le comportement mécanique du modèle de colis FLYING PIG devra être justifié. **Ceci fait l'objet de la recommandation 3.3 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Par ailleurs, le requérant prévoit d'évaluer uniquement par calculs numériques le comportement du colis à l'issue de l'épreuve réglementaire de chute sur poinçon. Au regard des niveaux d'endommagement habituellement attendus dans ces configurations (rupture des tôles externes et déformations plastiques élevées), l'IRSN considère que cette démarche est de nature à soulever de nombreux questionnements sur le respect des exigences réglementaires au regard des difficultés actuelles pour évaluer de manière fiable, par calculs numériques, les sollicitations rencontrées dans ces configurations. En tout état de cause, la société AREVA TN n'a pas justifié le caractère suffisant de cette option de démonstration. **Aussi, sans justification, l'IRSN estime que la position de la société AREVA TN de fonder sa démonstration pour ce type d'épreuves réglementaires uniquement sur des calculs numériques n'est pas satisfaisante.** Pour l'IRSN, la démonstration de la tenue mécanique du modèle de colis devrait s'appuyer sur des mesures réalisées à l'issue d'essais de chute dédiés. **Ceci fait l'objet de la recommandation 3.4 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Par ailleurs, la société AREVA TN précise que les études de l'influence de la présence du châssis de transport sur le comportement mécanique du colis seront présentées en complément du dossier de sûreté, **ce qui n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

Comportement thermique du modèle de colis

L'étude du comportement thermique du modèle de colis dans toutes les conditions de transport reposera sur des calculs numériques. Cette étude visera notamment à justifier l'intégrité des joints d'étanchéité qui équipent les composants de fermeture de la cavité du colis et la température des gaz présents dans la cavité du colis.

Les éléments présentés pour ce qui concerne les conditions normales de transport n'appellent pas de remarque particulière. L'évaluation des températures du colis en conditions accidentelles de transport sera réalisée en tenant compte des endommagements à l'issue des chutes qui seront également déterminés par calculs. Au regard des endommagements du colis à l'issue des épreuves de chute réglementaires, l'IRSN estime que la pertinence et le caractère pénalisant des hypothèses qui seront retenues pour ces calculs thermiques devront être justifiés. En outre, le requérant devra prendre en compte des conditions d'échanges thermiques pénalisantes entre les flammes et les zones endommagées du colis.

Le requérant n'indique pas que l'influence de la poursuite de la combustion du bois des capots à l'issue de l'épreuve de feu sera prise en compte. **L'IRSN estime que ce phénomène devra être étudié par le requérant.**

Ainsi, les démonstrations de sûreté relatives au comportement thermique du colis devront tenir compte des observations 3.1 à 3.3 mentionnées en annexe 2 au présent avis.

Radioprotection

L'évaluation de l'efficacité de la protection radiologique du colis reposera sur un système d'inéquations, à vérifier par l'expéditeur avant le chargement du colis sur la base des spectres d'énergie de rayonnement gamma et neutron du contenu, qui seront également déterminés par ce dernier. Cette démarche vise à permettre de garantir le respect des critères réglementaires d'intensité maximale de rayonnement au contact du colis en conditions de transport de routine et à une distance d'1 mètre du colis en considérant son état à l'issue des épreuves réglementaires simulant les conditions accidentelles de transport.

Cette démarche a été initialement développée pour les modèles de colis destinés au transport d'assemblages combustibles irradiés. À ce stade, le requérant n'a pas présenté d'éléments montrant que cette démarche est transposable aux différents types de contenus prévus d'être chargés dans le modèle de colis FLYING PIG.

Au regard de la définition des contenus présentées dans le dossier d'options de sûreté transmis par le requérant, l'IRSN note que ces derniers présentent une forte variabilité en termes de caractéristiques radiologiques (éléments combustibles irradiés ou non, sources diverses), physiques (formes oxydes ou métalliques) et dimensionnelles. Par conséquent, l'IRSN estime que la justification de la pertinence du système d'inéquations prévu par la société AREVA TN pourrait être très difficile à apporter. En effet, celle-ci nécessite de démontrer le caractère enveloppe des outils de calcul utilisés et la pertinence des hypothèses associées en tenant compte des différents types de matières radioactives et de garantir leur positionnement dans la cavité du colis afin d'évaluer précisément les zones du colis où seront atteintes les valeurs maximales d'intensité de rayonnement. Par conséquent, l'IRSN estime que le requérant devra justifier que la démarche retenue est adaptée et permet d'estimer de façon enveloppe les intensités maximales de rayonnement au contact et au voisinage du colis. **Ceci fait l'objet de la recommandation 4.1 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Enfin, le dossier transmis n'indique pas les dispositions prévues pour garantir le respect du critère réglementaire d'intensité maximale de rayonnement à une distance de 2 m du moyen de transport en conditions de transport de routine. **Ceci fait l'objet de l'observation 4.1 présentée en annexe 2 au présent avis.**

Confinement de la matière radioactive transportée

Comportement des joints de confinement

Le risque d'extrusion des joints d'étanchéité en élastomère qui équipent les composants de fermeture de l'enveloppe de confinement du colis sera étudié par le requérant en considérant leur température maximale atteinte en conditions normales et accidentelles de transport. À cet égard, la société AREVA TN vérifiera que les taux de remplissage des gorges destinées à accueillir ces joints restent inférieurs à 100 % dans toutes les conditions de transport, **ce qui est satisfaisant.**

Le dossier transmis ne précise pas qu'une évaluation du taux de compression minimale des joints d'étanchéité à basse température sera effectuée. L'IRSN estime que le requérant devra réaliser une telle analyse dans laquelle il prendra en compte les tolérances géométriques de fabrication des différents composants (joint, gorge, ouverture résiduelle du plan de joint...) ainsi qu'une valeur

justifiée de déformation rémanente à la compression des joints. **Ceci fait l'objet de la recommandation 5.1 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Relâchement d'activités

La société AREVA TN a prévu de démontrer le respect des critères réglementaires de relâchement d'activité du colis en conditions normales et accidentelles de transport en considérant notamment les activités maximales des radioéléments sous formes de gaz et d'aérosols pour les différents contenus visés, le taux de fuite du colis mesuré avant expédition et, pour les tronçons de combustibles irradiés, un taux de relâchement des gaz de fission inférieur à 100 % sans justification particulière.

L'IRSN estime que si le requérant prévoit d'utiliser dans ses calculs un taux de relâchement des gaz de fission retenus pour les matières fissiles irradiés inférieur à 100 %, il devra apporter des éléments de justification étayés. **Ceci fait l'objet de la recommandation 5.2 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Par ailleurs, le requérant n'a pas présenté la démarche prévue pour évaluer, lorsque cela est pertinent eu égard au contenu, le relâchement éventuel d'activité par perméation du tritium au travers des joints en élastomère. **Ce point fait l'objet de l'observation 5.1 présentée en annexe 2 au présent avis.**

Sûreté-criticité

Les contenus transportés par le modèle de colis FLYING PIG sont, selon la société AREVA TN, non fissiles, fissiles exceptés ou fissiles exemptés de démonstration de sûreté-criticité. Par conséquent, le requérant ne réalisera pas de démonstration visant à justifier la sous-criticité du modèle de colis. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Radiolyse

La définition des contenus, telle que présentée dans le dossier d'options de sûreté, indique la possibilité de charger dans la cavité du colis des matières hydrogénées sous réserve de justifier le caractère non explosible du ciel gazeux de la cavité du colis ou de disposer les matières dans un conditionnement métallique spécifique dont la tenue à une onde de pression en régime détonant est démontrée. Pour ce qui concerne la justification évoquée ci-dessus, l'IRSN rappelle qu'il existe une différence entre la limite inférieure d'inflammabilité et la limite inférieure d'explosivité et qu'en tout état de cause, le requérant devra retenir dans ses justifications la limite inférieure d'inflammabilité (LII) comme critère admissible.

Pour ce qui concerne la démonstration de la tenue à l'explosion du conditionnement, le requérant a indiqué qu'elle sera réalisée par calcul numérique. L'onde de pression appliquée reposera sur un profil de pressions issu des essais d'explosion présentés dans le cadre de l'expertise du modèle de colis RD 26. L'IRSN souligne que ce type de calculs est souvent complexe dans la mesure où il nécessite de maîtriser la composition du mélange gazeux et la localisation des points d'ignition possibles de l'explosion. En outre, la société AREVA TN devra justifier la transposition du profil de pressions retenu dans le cadre de l'étude de comportement du modèle de colis RD 26, au conditionnement métallique chargé dans la cavité du modèle de colis FLYING PIG.

Par conséquent, l'IRSN estime que la mise en œuvre d'une démarche visant à justifier, par calculs numériques, la tenue d'un conditionnement métallique à une onde de pression en régime détonant devra faire l'objet d'une justification particulière du requérant. **Ceci fait objet de la recommandation 6.1 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Par ailleurs, dans le cadre des justifications relatives aux risques de radiolyse, l'IRSN estime que le requérant devrait également tenir compte des conditions d'entreposage des contenus en préalable à l'opération de transport, notamment si celles-ci sont susceptibles de conduire à l'introduction d'eau dans le colis. **Ce point fait l'objet de l'observation 6.1 présentée en annexe 2 au présent avis.**

Autres risques

Le dossier d'options de sûreté indique la possibilité de transporter des matières pyrophoriques ainsi que des matières sous forme pulvérulente dans un conteneur métallique, sans toutefois préciser les options retenues pour la maîtrise des risques spécifiques liés à ces matières. L'IRSN estime que le requérant devra intégrer, dans le dossier de sûreté, les analyses qui permettent de démontrer que les risques spécifiques à ces matières ne sont pas de nature à remettre en cause le niveau de sûreté du colis. **Ceci fait objet de la recommandation 7.1 présentée en annexe 1 au présent avis.**

Conclusion

En conclusion, de l'expertise des options retenues par la société AREVA TN pour démontrer la conformité du nouveau modèle de colis FLYING PIG au regard des exigences réglementaires applicables au modèles de colis de type B(U), il apparaît que plusieurs options de démonstrations retenues par le requérant appellent des commentaires de l'IRSN.

En particulier, l'IRSN estime que l'approche retenue par le requérant, à ce stade, pour la démonstration de la tenue mécanique des composants du modèle de colis, qui repose principalement sur la réalisation de calculs numériques, n'est pas adaptée, eu égard aux difficultés de modélisation et aux incertitudes associées à la réalisation de certains calculs notamment ceux relatifs à la chute sur poinçon. L'IRSN estime que la démonstration de la tenue mécanique des composants d'un nouveau modèle de colis devrait s'appuyer sur des mesures réalisées à l'issue d'essais de chute dédiés qui permettent d'apprécier son comportement réel pour des épreuves réglementaires difficiles à modéliser.

En outre, pour garantir le respect des critères réglementaires d'intensité maximale de rayonnement, le requérant envisage d'étendre l'utilisation de méthodes qui reposent sur le respect d'inéquations à vérifier par l'expéditeur avant expédition du colis, qui ont été initialement développées pour le transport d'assemblages de combustibles irradiés. Eu égard à la grande diversité des contenus prévus, l'IRSN estime que ce système d'inéquations est susceptible d'être complexe à établir par le requérant et peut présenter des difficultés opérationnelles, susceptibles d'affecter le respect de la conformité des contenus. En tout état de cause, l'IRSN estime que le requérant devra justifier la méthodologie retenue visant à garantir que le contenu est conforme aux hypothèses retenues dans les démonstrations de sûreté.

Dans ce cadre, l'IRSN estime que le requérant devra tenir compte des recommandations formulées en annexe 1 au présent avis pour l'élaboration du dossier de sûreté du modèle de colis FLYING PIG. Par ailleurs, la société AREVA TN devrait prendre en compte également dans l'élaboration de ce dossier les observations présentées en annexe 2.

Pour le Directeur général et par délégation,
Jean-Paul DAUBARD,
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN n° 2016-00368 du 30 novembre 2016

**Recommandations de l'IRSN à prendre en compte dans le dossier de sûreté du modèle de colis
FLYING PIG**

1 Définition de l'emballage

- 1.1 Pour ce qui concerne les vis de fixation assurant ou participant au maintien d'une fonction de sûreté du modèle de colis et les vis de fixation des anneaux destinés aux opérations de manutention et d'arrimage du colis, justifier, en cas d'utilisation de vis de classe de qualité supérieure ou égale à 12.9, l'absence de risque de rupture fragile, en s'appuyant notamment sur les spécifications de fabrication et les modalités d'approvisionnement de ces vis.
- 1.2 Pour ce qui concerne les capots amortisseurs équipant le modèle de colis :
- a. justifier les dispositions retenues pour assurer l'étanchéité au niveau des soudures entre les tôles externes des capots amortisseurs et leurs dispositifs anti-poinçonnement, comme par exemple la réalisation de soudures de type pleine pénétration conformément à un code de construction en considérant un niveau de qualité élevé,
 - b. décrire la nature des dispositifs fusibles et leur système de fixation sur les tôles externes des capots amortisseurs.

2 Conformité des contenus

- 2.1 Définir et justifier les méthodes qui seront utilisées par l'expéditeur pour garantir que le contenu est conforme aux hypothèses retenues dans les démonstrations en matière de radioprotection et de relâchement d'activités du modèle de colis.

3 Comportement mécanique du modèle de colis

- 3.1 Concernant le dimensionnement des éléments vissés :
- a. justifier le caractère pénalisant du coefficient de frottement et des incertitudes associées qui seront retenus dans les analyses, qui devra tenir compte du type de lubrifiant utilisé, du diamètre et de l'état de surface des vis,
 - b. justifier que le traitement de surface prévu des vis de fixation des éléments de fermeture de la cavité est suffisant pour éviter sa détérioration sur toute la durée d'utilisation prévue des vis.
- 3.2 Définir des couples de serrage appliqués aux éléments vissés, en tenant compte des incertitudes associées aux moyens de serrage, qui permettent de garantir :
- a. un effort maximal résultant qui conduit à une contrainte équivalente dans les vis, inférieure à 90 % de leur limite d'élasticité, tel que recommandé dans les codes de construction ;
 - b. un effort minimal résultant qui conduit à une contrainte équivalente dans les vis suffisante pour limiter les phénomènes d'auto-desserrage des composants, notamment pour ce qui concerne les vis de fixation des capots amortisseurs.

- 3.3 Pour ce qui concerne les études du comportement mécanique du modèle de colis FLYING PIG dans les configurations de chutes libres du colis :
- a. démontrer la pertinence et le caractère pénalisant de la démarche et des hypothèses retenues dans les calculs numériques,
 - b. justifier le caractère pénalisant des configurations de chute retenues pour qualifier le modèle numérique et évaluer le comportement mécanique du modèle de colis FLYING PIG.
- 3.4 Pour ce qui concerne l'analyse du comportement mécanique du modèle de colis lors de l'épreuve de chute d'une hauteur de 1 mètre sur un poinçon, démontrer la tenue mécanique du colis sur la base notamment de mesures réalisées à l'issue d'essais de chute dédiés.
- 4 Radioprotection
- 4.1 Justifier que le système d'inéquations envisagé pour apporter la démonstration du respect des exigences réglementaires relatives aux intensités maximales de rayonnement au contact et au voisinage du colis FLYING PIG, est adapté pour tous les contenus susceptibles d'être transportés dans le modèle de colis. Dans ce cadre, justifier le caractère enveloppe des outils de calcul et le caractère enveloppe des hypothèses retenues pour tous les contenus et leur positionnement dans la cavité de l'emballage.
- 5 Confinement
- 5.1 Pour ce qui concerne le comportement des joints de confinement à basse température, présenter et justifier le taux de compression minimale des joints, en prenant en compte les tolérances géométriques de fabrication des différents composants (joint, gorge, ouverture résiduelle du plan de joint...) ainsi qu'une valeur justifiée de déformation rémanente à la compression des joints.
- 5.2 Justifier les taux de relâchement des gaz de fission retenus pour l'évaluation du relâchement d'activités du colis chargé de contenus constitués de tronçons de combustibles irradiés, dès lors que des valeurs inférieures à 100 % sont prise en compte.
- 6 Tenue mécanique du conditionnement métallique à une explosion en régime détonant
- 6.1 Justifier la transposition du profil de pressions, obtenu dans le cadre de l'étude de comportement du modèle de colis RD 26 en cas d'explosion, au conditionnement métallique chargé dans la cavité du modèle de colis FLYING PIG.
- 7 Autres risques
- 7.1 Intégrer les analyses des risques spécifiques associés au transport de matières pyrophoriques ou de matières sous forme pulvérulente justifiant qu'ils ne sont pas de nature à remettre en cause la sûreté du colis.

Annexe 2 à l'avis IRSN n° 2016-00368 du 30 novembre 2016

Observations de l'IRSN pour l'amélioration des démonstrations présentées dans le dossier de
sûreté du modèle de colis FLYING PIG

1 Définition des aménagements internes

- 1.1 Spécifier les jeux internes dans la cavité du colis en considérant les tolérances dimensionnelles pénalisantes des composants de l'emballage, des aménagements internes, du système de calage et des contenus.

2 Comportement mécanique du modèle de colis

- 2.1 Justifier la tenue des organes d'arrimage et de manutention du colis en conditions de transport de routine en appliquant au critère retenu, qui est associé à la limite d'élasticité des matériaux, un facteur de sécurité justifié.

3 Comportement thermique du modèle de colis

- 3.1 Justifier la pertinence et le caractère pénalisant des hypothèses retenues dans les analyses du comportement thermique du modèle de colis, en particulier les endommagements à l'issue des chutes simulant les conditions normales et accidentelles de transport.
- 3.2 Justifier la pertinence des conditions d'échanges thermiques entre les flammes et les zones endommagées du colis, en particulier le coefficient d'échange convectif entre les flammes et les zones endommagées.
- 3.3 Évaluer l'influence de la poursuite de la combustion du bois des capots à l'issue de l'épreuve de feu.

4 Radioprotection

- 4.1 Justifier le respect du critère réglementaire d'intensité maximale de rayonnement à une distance de 2 m du moyen de transport en conditions de transport de routine.

5 Confinement

- 5.1 Présenter et justifier la démarche retenue pour évaluer le relâchement d'activité par perméation du tritium au travers des joints en élastomère.

6 Radiolyse

- 6.1 Prendre en compte dans l'analyse des risques de radiolyse, l'introduction potentielle d'eau dans le colis liée aux conditions d'entreposage des contenus en préalable à l'opération de transport.