

Orano NPS DOSSIER DE SURETE TNUO₂	Diffusion limitée Orano CHAPITRE 1.5			 orano
	Préparation	Date	Signature	
	Vérification	Date	Signature	
Identification :		DOS-21-002656-007	Vers. 1.0	Page 1 / 17

Performances du colis

Sommaire

Performances du colis	1
État des révisions	2
1. Introduction	3
2. Descriptions et définitions	3
3. Performances d'un point de vue mécanique	6
4. Performances d'un point de vue thermique	9
5. Performances d'un point de vue confinement	11
6. Performances du point de vue des débits d'équivalent de dose	11
7. Performances d'un point de vue sûreté-criticité	13
8. Conditions d'utilisation	15
9. Programme d'entretien périodique	16
10. Programme d'assurance qualité	16
11. Références	17

État des révisions

Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
1.0	Cf. 1 ^{ère} page	Création du document	H. HILAIRE / E. DUBOSCLARD

1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du modèle de colis TN- UO_2 , destiné au transport de matières non irradiées en tant que colis de type IP-2 fissile ou A fissile selon les réglementations en référence <1>.

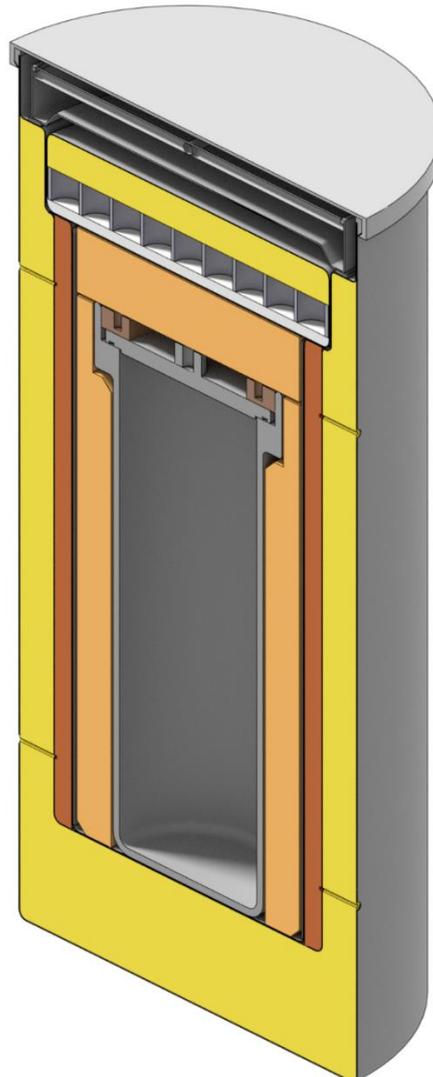
L'emballage TN- UO_2 est conçu pour le transport de matières uranifères et/ou de thorium non irradiés suivantes :

- un mélange U-Th-Si-C ;
- de l'uranium sous forme solide, sous une ou plusieurs des formes chimiques suivantes :
 - oxyde UO_2 ou U_3O_8 ,
 - fluorure UF_4 ,
 - métal.

2. Descriptions et définitions

2.1. Description du colis

De forme générale cylindrique, le modèle de colis TN- UO_2 est illustré sur la figure en coupe ci-dessous.



Les dimensions générales hors-tout du colis sont :

Hauteur nominale corps	802 mm
Hauteur maximale corps (avec coiffe)	808 (811) mm
Diamètre nominal corps (partie courante – hors coiffe)	380 mm
Diamètre maximal corps (avec coiffe)	393 (398) mm

Le colis TN-UO₂ est transportable en position verticale par voie terrestre et/ou maritime et/ou aérienne.

2.2. Description de l'emballage

L'emballage est principalement constitué des deux sous-ensembles suivants :

- le corps principal de l'emballage, constitué :
 - d'une paroi interne constituée d'une virole de résine neutrophage confinée entre deux tôles d'acier inoxydable et d'un fond plat,
 - d'une protection thermo-mécanique en mousse en fond et autour de la paroi interne,
 - d'une tôle externe cylindrique en acier inoxydable, munie d'un fond plat et de baïonnettes externes en tête,
 - d'un bouchon constitué d'une plaque de plâtre, d'un disque de renfort en aluminium et d'une galette de mousse, le tout encapsulé dans une tôle en acier inoxydable,
 - d'un couvercle en acier inoxydable muni d'un système baïonnette. Un joint de propreté est écrasé par le couvercle sur le plan de joint en tête du corps principal de l'emballage,
 - d'une coiffe de propreté optionnelle, permettant de protéger l'emballage en cas de stockage à l'extérieur. Elle peut être laissée en transport ;
- les aménagements internes, constitués :
 - d'une virole de renfort en acier inoxydable, plaquée contre la paroi interne du corps principal,
 - d'un système de calage en mousse, inséré dans la virole de renfort,
 - d'un conteneur interne, qui confine la matière fissile. Il est constitué d'un corps en acier inoxydable, fermé par un couvercle en acier inoxydable et équipé d'un joint élastomère, serré par une bague en cupro-aluminium.

L'emballage ne présente pas d'aspérités externes, ce qui permet une décontamination aisée.

L'emballage est transporté en position verticale.

Les emballages étant de faible encombrement, ils sont placés dans une cage où ils peuvent être groupés pour le transport et les opérations de manutention. Ils peuvent être également manutentionnés de manière indépendante.

2.3. Description du contenu

L'emballage TN-UO₂ permet le transport de matières radioactives dans le conteneur interne, en présence du calage et de la virole de renfort décrits dans le paragraphe 2.2.

Les contenus radioactifs non irradiés autorisés sont :

- un mélange uranium, thorium, silicium, carbone conditionné dans des boîtes métalliques (conditionnement primaire). Ce contenu est transportable dans un colis de type IP-2 fissile

ou de type A fissile. Le transport est autorisé en mode routier, ferroviaire, maritime et/ou aérien ;

- de l'uranium sous forme métal, oxyde ou fluorure. Ce contenu est transportable dans un colis de type IP-2 fissile ou de type A fissile. Le transport est autorisé en mode routier, ferroviaire et/ou maritime uniquement.

Les contenus autorisés limitent les paramètres importants pour la sûreté qui sont utilisés dans le dossier de sûreté, en particulier :

- la masse maximale de ^{235}U ;
- le taux d'enrichissement maximal en ^{235}U ;
- la masse maximale de contenu.

Un calage métallique est assuré, si besoin, pour garantir un jeu réduit dans la cavité du conteneur interne entre le bouchon et le conditionnement primaire ou les matières radioactives.

2.4. Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement du TN-UO₂ est assurée par le conteneur interne.

2.5. Système d'isolement

En cas de transport non-aérien, le système d'isolement est constitué par :

- la structure du corps principal, notamment la barrière neutrophage ;
- le conteneur interne ;
- le contenu et ses conditionnements.

En cas de transport aérien, le système d'isolement est défini par les masses maximales de contenu radioactif et des différents matériaux de l'emballage.

2.6. Bilan de masses

Le tableau ci-dessous présente les masses principales du colis et du contenu en configuration de transport :

Masse minimale du colis chargé	95,5 kg sans coiffe 95,9 kg avec coiffe
Masse maximale du colis chargé	112 kg sans coiffe 112,4 kg avec coiffe

La masse autorisée au transport est celle utilisée de façon générique dans les études de sûreté.

2.7. Mécanismes de vieillissement

Il est vérifié que, de par leur conception, leur entretien périodique et leurs conditions d'utilisation, l'emballage et ses aménagements internes peuvent être utilisés pour une durée de 50 années depuis la mise en service.

3. Performances d'un point de vue mécanique

3.1. Conditions de transport de routine

L'emballage est dimensionné pour être transporté par voie routière, maritime, aérienne ou ferroviaire (avec interdiction du triage à la bosse).

Tenue de l'enceinte de confinement :

La tenue mécanique de l'enceinte de confinement en conditions de transport de routine est vérifiée à partir des données d'entrée suivantes :

- la géométrie et les matériaux des différents composants ;
- la température de chaque composant. Les valeurs de température considérées sont conservatives vis-à-vis de celles déterminées dans l'analyse thermique en conditions de transport de routine ;
- les accélérations réglementaires en conditions de transport de routine ;
- la pression interne de design et la pression dans la cavité du conteneur interne.

Le corps, le couvercle et le fond du conteneur sont dimensionnés à une pression relative enveloppe de 7 bar. La tenue de l'assemblage vissé est également vérifiée.

Les jeux entre les différents éléments des aménagements internes sont suffisants pour éviter tout risque d'interaction mécanique en cas de dilatation thermique différentielle.

Tenue des organes de manutention et d'arrimage :

L'emballage est fait pour être transporté verticalement dans une cage de transport. L'arrimage est réalisé par le biais de la cage de transport, par des contacts transverses entre la virole de l'emballage TN-UO₂ et les traverses de la cage, notamment. En cas de transport aérien, un appui axial est également considéré au niveau des baïonnettes.

La manutention du colis est réalisée par l'intermédiaire de la virole externe de l'emballage, par le biais d'une pince de préhension.

L'impact des sollicitations dues aux conditions de transport de routine à l'interface entre le colis et la cage de transport est vérifié en considérant les accélérations réglementaires en conditions de transport de routine pour des chargements statiques. L'absence de risque de rupture liée à la fatigue est justifiée au regard des modes de sollicitations et des niveaux de contraintes.

L'impact des sollicitations dues aux conditions de transport de routine à l'interface entre le colis et la cage de transport est vérifié en considérant :

- les accélérations réglementaires en conditions de transport de routine ;
- des zones de contact minimales requises.

Ces sollicitations couvrent notamment le risque de dépose brutale lors d'une manutention individuelle d'un emballage.

Toutes les contraintes dans les éléments cités ci-dessus sont inférieures aux critères de dimensionnement.

Résistance de l'aménagement interne :

La résistance de l'aménagement interne aux sollicitations mécaniques et contraintes thermiques rencontrées en conditions de transport de routine, ainsi que sa libre dilatation dans la cavité sont vérifiées.

3.2. Conditions normales de transport

Les analyses de sûreté étudiant l'épreuve réglementaire de chute libre de 1,2 m de hauteur (conditions normales de transport) sont couvertes pour l'emballage par les analyses de sûreté à l'issue des épreuves de chutes de 9 m des conditions accidentelles de transport. Ceci permet de justifier le maintien l'absence de dispersion du contenu hors de l'enceinte de confinement.

Les valeurs de température considérées sont pénalisantes vis-à-vis de celles déterminées dans l'analyse thermique en conditions de transport de routine.

Les autres épreuves réglementaires (gerbage, aspersion et pénétration d'une barre) sont sans impact sur la sûreté du colis.

Endommagements

Les endommagements sont évalués de manière pénalisante à partir de ceux déterminés en conditions accidentelles de transport ou par évaluation analytique à partir de modèles simplifiés.

L'effet des déformations de l'emballage, et plus particulièrement de la mousse et du système de calage, sur l'augmentation des débits d'équivalent de dose est étudié au paragraphe 6.2.

3.3. Conditions accidentelles de transport

Ce paragraphe détaille les conséquences des épreuves réglementaires simulant les conditions accidentelles de transport applicables au modèle de colis TN-UO₂.

En particulier, dans la suite du paragraphe, l'ensemble des analyses de chute est réalisé en considérant une masse totale de colis de 112 kg (hors coiffe de propreté).

Conformément à la réglementation pour les colis contenant des matières fissiles, le colis doit subir le cumul des épreuves de chutes des conditions normales et accidentelles de transport. Ce cumul est pris en compte en rehaussant de 1,2 m la hauteur de chute libre de l'épreuve accidentelle (soit 10,2 m au lieu de 9 m).

Méthodologie de démonstration :

La stratégie de démonstration retenue est de démontrer le maintien de la matière dans l'enceinte de confinement de l'emballage au cours des chutes réglementaires par calculs, numériques et analytiques, et par similitude à des emballages ayant subi avec succès des essais de chutes.

Les tôles minces métalliques sont en acier inoxydable austénitique. Le risque de rupture fragile à - 40°C dans le matériau est donc écarté.

Les effets de l'impact différé ne sont pas étudiés du fait des jeux limités.

Les chutes de colis avec adjonction ne sont pas étudiées étant donné que la masse d'une cage de transport est inférieure à 10% de la masse totale des colis qu'elle contient.

Démarche :

Toutes les configurations possibles de chute libre de 9 mètres et de 1 mètre sur poinçon sont analysées, afin de sélectionner les cas de chutes pertinents à analyser et les méthodologies associées. De manière synthétique, il est retenu que :

- les chutes axiales et latérales de 9 m sont justifiées par calculs numériques ou analytiques ; Pour la chute latérale, un recalage numérique sur la chute d'un prototype est réalisée au préalable ;
- les chutes obliques sont justifiées par des essais de chute sur prototype et des comparaisons avec les chutes axiales et latérales ;
- le maintien du confinement, ainsi que l'absence de plastification des éléments du système de fermeture du conteneur interne, dans le cas de la chute axiale sur tête, sont justifiés par calculs numériques, analytiques, et par similitude avec l'emballage FS65 ;
- les chutes de 1 m sur poinçon sont justifiées par des essais de chute sur prototype.

Pour les justifications par calculs numériques, la justification du bon comportement de l'emballage en chutes est étayée :

- en chute latérale, par la comparaison à une chute sur un prototype d'emballage ;
- en chute axiale sur tête, par l'utilisation d'une modélisation pénalisante.

Les effets des variations des propriétés des matériaux en fonction de la plage de température et du vieillissement sont pris en compte.

Dans ce cadre, les calculs sont réalisés à l'aide du logiciel éléments finis LS-DYNA.

Résultats :

Suite aux épreuves réglementaires des chutes en conditions accidentelles de transport, le confinement de la matière radioactive dans le conteneur interne reste garanti, et ce pour toutes les configurations de chute.

Le modèle de calcul utilisé pour les démonstrations de chute latérale de 9 m a été validé au travers d'un recalage numérique des résultats de l'essai de chute réalisé sur un emballage tiré de la série de fabrication des TN- UO_2 .

Le recalage numérique a permis de mettre en évidence que les résultats de l'essai de chute étaient bien recalés et que le modèle numérique restait représentatif des sollicitations réelles subies par la maquette.

De plus, il est vérifié que :

- les chutes de 1 m sur poinçon ne sont pas susceptibles de remettre en cause le maintien de l'étanchéité du colis, ni la perforation des tôles externes, par analyse du comportement en chute de prototype ;
- la cavité du TN- UO_2 ne s'ouvre pas lors des séquences de chute. Cette vérification est faite par analyse du comportement des prototypes en chute.

La tenue de l'emballage lors d'une immersion sous 15 m d'eau pendant 8h est également justifiée en Annexe 2.1-C.

Conclusion :

Les analyses montrent que l'emballage résiste aux différentes conditions d'épreuve de chute sans subir de dommages susceptibles de nuire au confinement du contenu, à la capacité de protection thermique et au maintien de la sous-criticité du colis.

4. Performances d'un point de vue thermique

4.1. Conditions de transport de routine

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Le contenu est non irradié. Sa puissance thermique est donc négligeable.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques de l'emballage influant sur les études thermiques sont :

- l'épaisseur de mousse du corps de l'emballage ;
- l'épaisseur de mousse du calage.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- le colis est transporté en position verticale ;
- les transferts thermiques se font par conduction, convection et rayonnement ;
- la température extérieure est la température réglementaire de 38 °C ;
- l'ensoleillement réglementaire est appliqué suivant une périodicité 12h/24h.

Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à partir de modèles numériques à l'aide du code Thermal/Flow interfacé avec l'outil de pré/post-traitement NX/Simcenter.

Les principales hypothèses du modèle d'emballage sont :

- un demi-modèle est réalisé compte tenu de la symétrie du modèle d'emballage ;
- la puissance thermique du contenu est nulle ;
- le contenu n'est pas modélisé, réduisant ainsi l'inertie thermique de l'emballage ;
- le fond de l'emballage reposant sur le sol est considéré adiabatique.

Résultats de l'étude

Les températures maximales du colis sont utilisées dans les différentes parties du dossier de sûreté, notamment pour déterminer les caractéristiques mécaniques des composants pour l'analyse mécanique et pour déterminer la température des gaz de cavité pour l'analyse du confinement.

La température des composants sensibles à la température est compatible avec leur critère d'intégrité, en particulier pour le joint d'étanchéité du conteneur interne.

4.2. Conditions normales de transport

Les températures atteintes par le colis en conditions normales de transport sont couvertes par celles atteintes en conditions de routine de transport. Il est en effet justifié que les

endommagements déterminés au paragraphe 3.2 ne sont pas susceptibles de modifier significativement le comportement thermique de l'emballage en conditions normales de transport.

4.3. Conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les calculs tiennent compte du cumul pénalisant des endommagements suite aux chutes réglementaires, soit :

- l'écrasement de la tête de l'emballage ;
- l'écrasement de la mousse en périphérie et en fond de l'emballage ;
- le poinçonnement de la mousse au droit du plan de joint du conteneur interne ;
- l'écrasement du calage.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- application d'une température ambiante de 800 °C pendant 30 minutes autour du colis conformément à la réglementation ;
- application d'une convection forcée pendant la phase de feu de 10 W/m²/K, recommandée par la réglementation ;
- l'émissivité des flammes est de 0,9 et l'absorptivité des surfaces externes de 0,8, conformément à la réglementation ;
- après feu, la température réglementaire de 38°C est appliquée et l'ensoleillement est conforme à la réglementation.

Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à partir de modèles numériques à l'aide du code Thermal/Flow interfacé avec l'outil de pré/post-traitement NX/Simcenter.

Les principales hypothèses du modèle d'emballage sont :

- un demi-modèle est réalisé compte tenu de la symétrie du modèle d'emballage ;
- la puissance thermique du contenu est nulle ;
- le contenu n'est pas modélisé, réduisant ainsi l'inertie thermique de l'emballage ;
- les conditions initiales avant feu sont celles des conditions normales de transport ;
- les jeux considèrent un décentrage de l'emballage ;
- le colis est considéré en position verticale durant la phase de refroidissement.

Résultats de l'étude

La température atteinte par le joint de confinement lors des conditions accidentelles de transport est inférieure à sa température limite de bon fonctionnement.

La température maximale des gaz de cavité est déterminée et utilisée dans l'analyse de confinement des conditions accidentelles de transport.

L'analyse des températures des composants sensibles à la température, permet de conclure à l'absence de risques liés à la sûreté de l'emballage.

5. Performances d'un point de vue confinement

Ce paragraphe a pour but de présenter les justifications permettant de démontrer que la matière radioactive ne peut pas sortir de l'enceinte de confinement constituée par la cavité interne du conteneur. On vérifie donc que le couvercle reste plaqué sur le plan de joint, que la pression atteinte dans le conteneur est compatible avec la pression de dimensionnement, et que les matières transportées ne présentent pas de risques subsidiaires susceptible de faire augmenter la pression interne.

5.1. Conditions de transport de routine et normale de transport

En conditions de transport de routine et normales de transport, la pression d'utilisation normale maximale (MNOP) est inférieure à 700 kPa et à la pression de dimensionnement de l'enceinte de confinement, y compris en tenant compte d'une pression externe de 0,05 bar selon la réglementation <1>.

5.2. Conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- la pression de remplissage du colis ;
- les températures des gaz et du joint.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- la pression externe est de 0,6 bar compte tenu de la réglementation <1> ;
- les températures considérées pour le gaz et les joint sont pénalisantes par rapport à celles déterminées dans les études thermiques.

Résultats de l'étude

Lors des conditions accidentelles de transport, la pression maximale atteinte dans l'emballage est inférieure à la pression de dimensionnement de l'enceinte de confinement.

L'absence de dispersion de la matière radioactive hors de l'enceinte de confinement est justifiée par :

- l'absence de plastification du système de fermeture du conteneur interne ;
- le maintien d'une précharge résiduelle suffisante à l'issue des chutes ;
- un taux de compression minimal des joints suffisant.

La non-extrusion du joint est également vérifiée.

Tout risque pyrophorique est également écarté.

6. Performances du point de vue des débits d'équivalent de dose

Les critères retenus de débit d'équivalent de dose couvrant les conditions de transport sont les suivants :

- conditions de transport de routine (CTR) : l'intensité de rayonnement ne doit pas dépasser :
 - 2 mSv/h au contact du colis,
 - 0,1 mSv/h à 2 m du colis

- conditions normales de transport (CNT) : pas d'augmentation de plus de 20 % de l'intensité de rayonnement maximale sur toute surface externe du colis,

6.1. Conditions de transport de routine

Paramètres du contenu important pour l'étude

Les sources de rayonnement du contenu radioactif sont limitées par sa définition. On considère également un refroidissement pour tenir compte de l'apparition d'un équilibre séculaire.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

La protection contre les rayonnements est assurée par la nature et l'épaisseur des matériaux de l'emballage.

Le blindage radial est principalement formé par :

- l'épaisseur d'acier de la partie courante du conteneur interne.

Le blindage axial en tête est principalement constitué par :

- l'épaisseur d'acier du couvercle du conteneur interne.

Le blindage axial en fond est principalement constitué par :

- l'épaisseur d'acier du fond du conteneur interne.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses de modélisation sont :

- les éléments suivants sont remplacés par de l'air : l'intérieur du bouchon (mousse, disque aluminium, plâtre), la coiffe de propreté, la mousse du corps et de calage, le calage interne, la bague de serrage, le point de manutention du couvercle ;
- réduction pénalisante de l'épaisseur de résine neutrophage.

Méthode de calcul

Les calculs de sources sont réalisés avec le module ORIGEN-ARP 5.1 du système SCALE 6.

Les calculs de débit d'équivalent de dose sont réalisés avec le code de calcul TRIPOLI 4.7.

Résultat de l'étude

Le débit équivalent de dose est conforme aux critères réglementaires pour tous les contenus définis.

6.2. Conditions normales de transport

Les dommages consécutifs aux épreuves normales de transport sont évalués de manière pénalisante à partir de ceux déterminés à la suite des épreuves représentatives des conditions accidentelles de transport (voir § 3.2).

Hypothèses importantes pour l'étude

On considère le contenu comme une source ponctuelle pouvant se déplacer librement dans la cavité du conteneur interne.

Résultats

Il est justifié que l'intensité de rayonnement maximale au contact du colis n'augmente pas de plus de 20 % à l'issue des épreuves réglementaires des conditions normales de transport.

7. Performances d'un point de vue sûreté-criticité

La sûreté-criticité doit être assurée, suivant la réglementation, pour :

- le colis isolé en conditions de routine (c'est-à-dire tel que présenté au transport) ;
- le colis isolé en conditions normales de transport (c'est-à-dire résultant des épreuves réglementaires des conditions normales de transport) ;
- le colis isolé en condition normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport (c'est-à-dire résultant du cumul des épreuves des conditions normales et conditions accidentelles de transport) ;
- le transport aérien étant autorisé, pour un colis isolé, dans des conditions compatibles avec les épreuves spécifiques pour les colis du type C en supposant une réflexion par au moins 20 cm d'eau, mais sans pénétration d'eau ;
- un réseau de 5N colis (N étant le nombre permettant de définir la valeur du coefficient réglementaire – Criticality Safety Index CSI) en conditions normales de transport ;
- un réseau de 2N colis en conditions accidentelles de transport.

Le critère de sûreté-criticité utilisé est le suivant :

- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$ pour tous les cas de calcul ; toutes incertitudes comprises.

Codes de calcul :

L'étude a été réalisée avec le schéma de calcul APOLLO2-MORET4 (voie standard du formulaire CRISTAL) qui est basé sur l'utilisation de la bibliothèque CEA pour les milieux fissiles et les milieux de structure.

La bibliothèque CEA93 V6 est une bibliothèque de sections efficaces et effectives à 99 et 172 groupes d'énergie des neutrons qui a été élaborée à partir de l'évaluation européenne JEF2.2.

Le calcul se déroule en deux parties :

- l'étude du milieu fissile et des milieux de structure avec le code APOLLO2 ;
- le calcul du k_{eff} de l'emballage avec le code Monte-Carlo MORET4.B.4.

Une étude de qualification des schémas de calcul utilisé dans les démonstrations de sûreté criticité du modèle de colis TN-UO₂ a été réalisée.

7.1. Réseau de colis

Paramètres du contenu importants pour l'étude :

3 contenus sont modélisés :

- uranium, avec des quantités quelconques de plomb, de thorium, de silicium, de graphite et d'acier ;
- uranium, sous forme d'U métal, avec des quantités quelconques d'aluminium. Ce contenu couvre le cas de l'oxyde d'uranium et du tétrafluorure d'uranium (UF₄) ;
- oxyde d'uranium, avec des quantités quelconques d'aluminium. Ce contenu couvre le cas du tétrafluorure d'uranium (UF₄).

Hypothèses importantes pour l'étude :

- les conditions de réflexion totale sont appliquées sur toutes les faces externes d'un seul colis ;
- pour les contenus composés de complexes uranifères mélangés à des résidus, des hypothèses pénalisantes sur les matériaux réflecteurs du contenu et sur la forme chimique de la matière fissile sont retenues ;
- l'eau remplit tous les espaces vides du colis ;
- l'emballage est considéré endommagé :
 - le diamètre externe du colis tient des écrasements radiaux maximaux déterminés dans les études mécaniques,
 - des écrasement axiaux (tête et fond) pénalisants sont également considérés,
 - la mousse et le calage sont remplacés par un brouillard d'eau de densité pénalisante,
 - Les matériaux internes du bouchon sont remplacés par un brouillard d'eau de densité pénalisante,
 - 25% de l'épaisseur externe de la résine est remplacée par un brouillard d'eau de densité pénalisante.

Méthode de calcul :

La matière fissile est modélisée sous la forme d'un milieu homogène ou hétérogène suivant ce qui est le plus pénalisant pour les contenus étudiés. Le milieu fissile est modéré par de l'eau.

Résultats de l'étude :

La réactivité maximale obtenue pour un réseau infini de colis et en considérant une quantité d'eau illimitée est inférieure au critère de sûreté-criticité retenu, toutes incertitudes comprises, pour l'ensemble des contenus transportés dans l'emballage TN-UO₂.

L'indice de sûreté-criticité vaut CSI = 0.

7.2. Transport aérien

Paramètres du contenu importants pour l'étude :

1 contenu est modélisé :

- uranium, avec des quantités quelconques de plomb, de thorium, de silicium, de graphite et d'acier.

Hypothèses importantes pour l'étude :

- de manière enveloppe, le colis est considéré totalement ruiné, avec une géométrie pénalisante ;
- des masses enveloppes de l'ensemble des matériaux présents dans le colis sont considérées ;
- une couche réfléchissante de 20 cm d'eau tout autour du colis est modélisée.

Méthode de calcul :

La matière fissile est modélisée sous la forme d'un milieu homogène. Le milieu fissile est modéré par du CH₂.

Résultats de l'étude :

La réactivité maximale obtenue pour un colis isolé soumis aux épreuves requises pour un colis de type C est inférieure au critère de sûreté-criticité retenu, toutes incertitudes comprises, pour le contenu autorisé en transport aérien et transporté dans l'emballage TN-UO₂.

8. Conditions d'utilisation

L'emballage est conçu pour être chargé et déchargé en position verticale, à sec et être transporté dans des cages de transport.

Les analyses de sûreté décrites ci-avant nécessitent notamment d'exécuter les étapes et les vérifications des critères ci-dessous avant l'expédition du colis :

- la matière radioactive chargée doit respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies pour les contenus autorisés ;
- l'emballage doit être en conformité avec les contrôles périodiques à effectuer ;
- le contrôle des différents éléments de l'emballage afin de vérifier que les éventuels défauts sont en conformité avec les prescriptions du chapitre du dossier de sûreté concernant les spécifications relatives à l'emballage ;
- le contrôle de l'absence de corps étranger non autorisé dans l'emballage ;
- la vérification de la bonne position et de la bonne fermeture de tous les composants constituant l'enveloppe de confinement ;
- la vérification de la présence des éléments de calage du conteneur interne ;
- le contrôle des débits d'équivalent de dose autour du colis en conformité avec les limites réglementaires ;
- la vérification de la non-contamination de l'emballage en conformité avec les limites réglementaires ;
- la mesure des débits d'équivalent de dose à 1 m pour la détermination de l'indice de transport ;
- la vérification de la conformité réglementaire de l'étiquetage et du marquage des emballages ;
- l'arrimage des colis doit respecter les critères et les exigences du dossier de sûreté ;
- la vérification que le mode de transport est adapté à l'indice de transport, à l'indice de sûreté-criticité et à l'activité du contenu.

9. Programme d'entretien périodique

Le programme d'entretien prévu au cours de l'utilisation de l'emballage est défini avec une périodicité de cinq ans.

Le programme d'entretien comprend notamment :

- le remplacement du joint de l'enceinte de confinement pour une durée compatible avec sa durée de vie ;
- le contrôle de l'état des composants des systèmes de fermeture (conteneur interne et couvercle de l'emballage), afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté ;
- le contrôle et le remplacement le cas échéant du système de calage.

Tout emballage présentant un ou des composants ne satisfaisant pas aux critères spécifiés dans le programme d'entretien est mis hors service jusqu'à ce que l'action corrective appropriée soit effectuée.

Tout composant devenu non conforme peut être réparé ou accepté en l'état, si une analyse complémentaire démontre que cela ne remet pas en cause les conclusions du dossier de sûreté. Dans le cas contraire, le composant doit être remplacé.

10. Programme d'assurance qualité

Les réglementations de transport en vigueur à la date du présent document font obligation d'appliquer des programmes d'assurance de la qualité pour :

- la conception ;
- la fabrication et les épreuves ;
- l'utilisation ;
- la maintenance ;
- le transport ;

des colis de matières radioactives.

Ces activités sont réalisées par différents acteurs (concepteur, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, constructeurs, utilisateurs, expéditeurs, transporteurs, sociétés de maintenance...) qui doivent tous établir des programmes d'assurance de la qualité adaptés à celles-ci, et produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

11. Références

<1> Règlements applicables :

- Règlement de Transport des matières radioactives, Agence Internationale de l'Énergie Atomique – Prescriptions de sûreté particulières, n°SSR-6, édition de 2018
- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) ;
- Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID) ;
- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voie de navigation intérieures (ADN) ;
- Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG de l'Organisation Maritime Internationale) ;
- Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (IT-OACI) ;
- Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD) ;
- Arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires, division 411 du règlement annexé (arrêté RSN) ;
- Instruction du 26 juin 2008 relative aux règles techniques et procédures administratives applicables au transport commercial par aéronef et le règlement CE n°859/2008 du 20 août 2008 (EU-OPS-1) ;
- Règlement (UE) No 965/2012 de la Commission du 5 octobre 2012 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes conformément au règlement (CE) no 216/2008 du Parlement européen et du Conseil.