


AREVA TN NUCLEAR LOGISTICS OPERATIONS	CHAPTER 1.5 Caractéristiques de performance du colis	 AREVA
DOSSIER DE SURETE FLYING PIG		Identification DOS-17-00186914-050 Rev. 00 Page 1 / 13
	Préparé par _____ Date _____ Signature _____ Vérifié par _____ Date _____ Signature _____	

TN International

Table of contents

Statut de révision	2
1. Introduction	3
2. Description et définitions	3
3. Performances d'un point de vue mécanique	5
4. Performances d'un point de vue thermique	7
5. Performance d'un point de vue confinement	8
6. Performance d'un point de vue des débits d'équivalent de dose	10
7. Performances d'un point de vue sûreté-criticité	11
8. Conditions d'utilisation	12
9. Programme d'entretien périodique	12
10. Programme d'assurance qualité	12
11. Références	13

Statut de révision

Rev.	Date	Modifications	Préparé par / Vérifié par
00	Voir la 1 ^e page	Première émission	

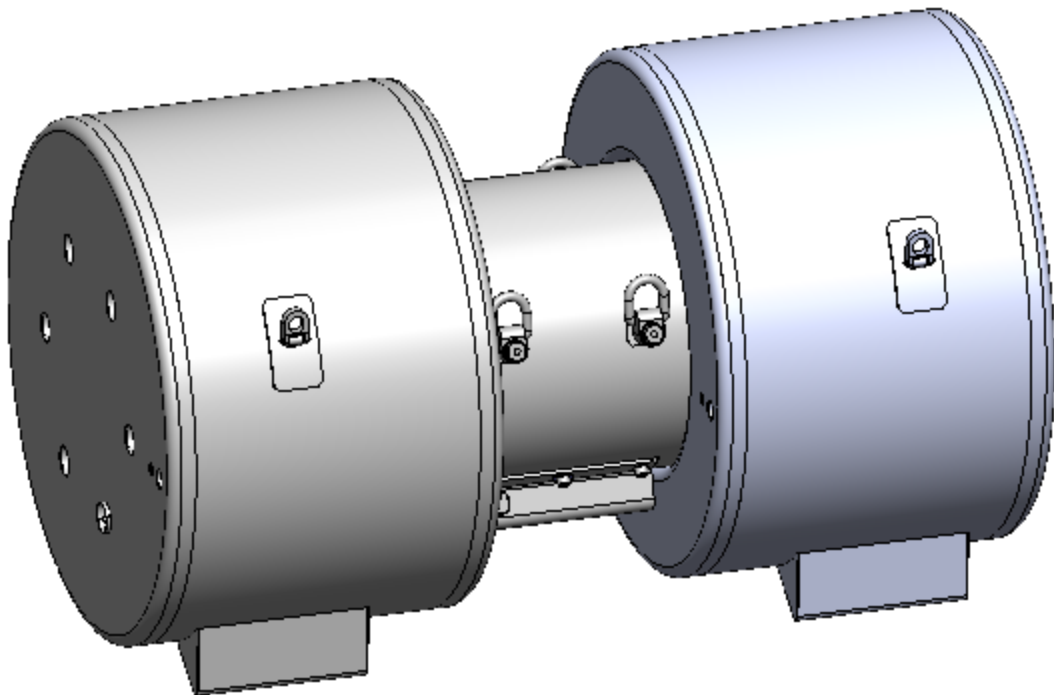
1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du modèle de colis FLYING PIG, destiné au transport de matière irradiée en tant que colis de type B(U) selon la réglementation <1>.

2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS

2.1. Description du colis

De forme générale cylindrique, le modèle de colis FLYING PIG est illustré sur la figure ci-dessous.



Les dimensions générales hors-tout du colis sont :

- Longueur hors tout : 1,85 m
- Diamètre hors tout : 1,10 m

Le colis FLYING PIG muni de son caisson est transportable en position horizontale par voies terrestres et/ou maritimes et/ou aériennes.

2.2. Description de l'emballage

Les principaux composants de l'emballage sont :

- Un corps en acier inoxydable forgé comportant une cavité interne. Les usinages en tête d'emballage permettent de recevoir le système de barillet et le système de fermeture de tête de l'emballage tandis que les usinages en fond d'emballage permettent de recevoir le système de pousoir, un orifice permettant la mise en dépression de la cavité et un système de fermeture du fond de l'emballage. Un orifice radial permet de recevoir le système de commande d'ouverture et de fermeture du barillet. Le corps de l'emballage est également équipé de quatre anneaux vissés sur le corps en partie courante qui forment les points de préhension pour la manutention et l'arrimage.

- Le système de barillet en acier inoxydable est équipé de deux axes permettant sa rotation. Le tambour du barillet est traversé par un orifice permettant, l'accès à la cavité. Un poussoir en acier inoxydable situé à l'intérieur de l'enceinte de confinement au fond de l'emballage assure la mise en place du contenu dans la cavité.
- Un système de fermeture composé des éléments suivants :
 - un couvercle en acier inoxydable positionné en tête de l'emballage permettant l'accès à la cavité pour le montage et la maintenance du barillet,
 - une tôle avant en acier inoxydable positionnée sur le couvercle et permettant l'accès à la cavité pour le chargement et le déchargement de la matière à transporter,
 - une tôle d'accès au poussoir en acier inoxydable, dite tôle arrière, positionnée en fond de l'emballage,
 - une tôle d'accès au raccord rapide en acier inoxydable, dite tôle AS (accès staubli), positionnée en fond de l'emballage,
 - une tôle d'accès à la commande de barillet en acier inoxydable, dite tôle CB (contrôle de barillet) positionnée radialement sur le corps de l'emballage.

Tous les éléments du système de fermeture (couvercle, tôle avant, tôle CB, tôle arrière et tôle AS) sont munis d'un système d'étanchéité constitué de deux joints toriques concentriques et muni d'un interjoint. Un orifice accédant à cet interjoint permet d'effectuer le test d'étanchéité. L'orifice est obturé par un bouchon muni d'un joint torique.
- Deux capots amortisseurs (en tête et en fond) protégeant le couvercle et le fond de l'emballage contre les chocs des conditions normales et accidentelles de transport. Ces capots sont constitués d'un capotage en acier inoxydable, rempli de matériaux amortisseurs. Les capots sont emboîtés sur le corps de l'emballage et maintenus en place par des vis. Les capots sont également munis d'une plaque épaisse anti-poinçonnement afin de protéger le couvercle lors des épreuves des conditions accidentelles de transport.

2.3. Description du contenu

L'emballage FLYING PIG permet le transport:

- d'échantillons de combustible irradiés ou d'éléments structurels de combustibles irradiés,
- d'échantillons de matière activée,
- de sources radioactives.

Si le contenu nécessite un conditionnement, celui-ci doit être en matière métallique et doit respecter les caractéristiques suivantes :

- le dimensionnel, en particulier le volume libre,
- la masse totale du chargement limitée à 20 kg.

L'aménagement interne du FLYING PIG est constitué par le conditionnement métallique destiné à recevoir le contenu et les éventuels systèmes de calage.

2.4. Enceinte de confinement

L'emballage FLYING PIG est constitué d'un corps épais dont l'ouverture est fermée par la barrière d'étanchéité décrite ci-dessous:

Corps épais

Le corps épais est constitué de la virole épaisse en acier inoxydable.

Barrière d'étanchéité

La barrière d'étanchéité est constituée par :

- le couvercle et son joint interne,

- la tape avant et son joint interne,
- la tape arrière et son joint interne,
- la tape AS et son joint interne,
- la tape CB et son joint interne.

2.5. Bilan des masses

Le tableau ci-dessous présente les masses maximales du contenu et du colis FLYING PIG en configuration de transport.

Élément	Masse (kg)
Masse maximale du contenu	20
Masse maximale du colis autorisé au transport	3000

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

3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE

3.1. Conditions de transport de routine

L'emballage est dimensionné pour être transporté par voies terrestres, maritimes ou aériennes.

Tenue aux accélérations

Le colis est conçu pour résister aux accélérations représentatives des conditions de transport de routine. Ces accélérations ne sont pas susceptibles d'engendrer des dommages au colis.

Tenue à la pression

Le corps épais, le couvercle et les tapes sont dimensionnés à une pression relative de 7 bars selon les règles de calcul du code ASME Division 1 Sous-section NB. Cette pression de dimensionnement est bien supérieure aux pressions pouvant être rencontrées en conditions réglementaires de transport.

La visserie du couvercle et des tapes résiste à une pression relative de 7 bars.

Les enceintes fermées composant les capots sont justifiées pour une pression de 0,04 bar relatif, compte tenu de la présence de soupapes de surpression tarées à cette pression, afin de résister aux différences de pression dues aux variations de pression atmosphérique et aux variations de température.

Arrimage et manutention

L'emballage est conçu pour être transporté horizontalement.

Le corps de l'emballage est équipé de 4 anneaux vissés au corps en partie courante et permettant de garantir la manutention et l'arrimage du colis à sa masse maximale.

L'emballage est arrimé horizontalement à l'aide de sangles attachées à ses anneaux et repose, via sa semelle, sur un châssis.

La résistance des anneaux de manutention du corps est démontrée par comparaison de l'effort résultant maximal avec leur charge maximale d'utilisation (CMU).

La résistance des filets et des taraudages associés à ces anneaux de manutention et leur tenue en fatigue sont démontrées en cohérence avec la maintenance de l'emballage.

3.2. Conditions normales de transport

Les analyses de sûreté étudient l'épreuve de chute libre de 1,2 m de hauteur compte tenu de la masse du colis.

Les épreuves d'aspersion et de pénétration sont sans impact sur la sûreté du colis compte tenu de la forme du colis, de la nature et des épaisseurs des matériaux du colis.

La forme du colis rendant l'emballage non gerbable, l'épreuve de gerbage n'est pas considérée.

Endommagements

L'effet des déformations des capots sur l'augmentation des débits d'équivalent de dose est pris en compte dans les analyses de radioprotection (cf. paragraphe 6.2)

Le comportement des capots amortisseurs en conditions normales de transport est couvert par leur comportement en conditions accidentelles de transport. Ceci permet de justifier le maintien de l'étanchéité de l'emballage à l'issue des épreuves des conditions normales de transport.

3.3. Conditions accidentelles de transport

L'ensemble des analyses de chute est réalisée en considérant une masse totale de colis de 3 tonnes.

Le corps épais et le couvercle sont constitués entièrement en acier inoxydable austénitique, le risque de rupture fragile à - 40 °C dans le matériau est écarté du fait de sa non-fragilité.

Hypothèses importantes pour l'étude

Conformément à la réglementation et compte tenu de la masse estimée du colis, l'emballage sera soumis aux effets des épreuves distinctes suivantes :

- chute de 9 m sur cible indéformable (voir article 727 a) de <1> avec prise en compte de l'impact différé du contenu ;
- chute de 1 m sur une barre de diamètre 150 mm (voir article 727 b) de <1>).

Ensemble des chutes étudiées

Toutes les configurations de chute libre de 9 m et de 1 mètre sur poinçon susceptibles de remettre en cause l'étanchéité de l'enveloppe de confinement, l'intégrité de la protection radiologique et thermique du colis sont étudiées.

Les chutes retenues pour les démonstrations de sûreté ont pour objectifs de :

- solliciter les composants assurant la protection thermique du colis de manière à ce que l'épreuve de feu succédant aux chutes maximise la température des composants du colis ;
- solliciter les composants assurant la protection radiologique du colis ;
- solliciter l'enceinte de confinement de l'emballage.

Méthode d'analyse

La démonstration du comportement de l'emballage FLYING PIG au cours des conditions de chutes de 9,0 m sur surface plane indéformable et 1,0 m sur poinçon repose sur des calculs numériques en considérant les caractéristiques des matériaux à -40 °C et aux températures maximales des conditions normales de transport.

La démarche de démonstration du comportement en chutes réglementaires du modèle de colis FLYING PIG par calculs éléments finis est justifiée par l'utilisation du code de calcul LS-DYNA3D.

Résultats de l'étude

Suite aux épreuves réglementaires des chutes en conditions accidentelles de transport, l'étanchéité du colis FLYING PIG est conservée.

Il est vérifié que les sollicitations dans les composants du système de fermeture du colis permettent de garantir le maintien de l'étanchéité pour toutes les configurations de chute.

De plus, il est vérifié que :

- les chutes de 1 m sur poinçon ne sont pas susceptibles de remettre en cause l'étanchéité du colis par analyse avec des modèles de colis ayant réalisés des essais de chute sur maquette ;
- les déformations dans les vis des capots permettent de garantir le maintien en place des capots et ainsi d'assurer leur rôle de protection thermique lors de l'épreuve de feu succédant aux épreuves de chutes libres.

4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE

4.1. En conditions de transport de routine

Les températures atteintes par le colis en conditions de transport de routine sont couvertes par celles atteintes en conditions normales de transport.

4.2. En conditions normales de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

La caractéristique utilisée dans cette étude est la puissance maximale du contenu.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

- la virole en acier, son épaisseur.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- le colis est transporté en position horizontale ;
- 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 de manière pénalisante 24h/24h.

Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à partir de modèles numériques à l'aide du logiciel I-DEAS interfacé avec le module TMG.

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 considérée est pénalisante. Elle est appliquée simultanément en tête, au milieu et au fond de la cavité ;
- les capots amortisseurs sont considérés adiabatiques. Seul le caisson anti-poinçonnement est modélisé.

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 les joints d'étanchéité.

4.3. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

- l'écrasement du capot,
- le poinçonnement du capot au droit de la tôle CB.

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 ;
- après feu, la température réglementaire de 38°C est appliquée et l'ensoleillement est conforme à la réglementation. Il est appliqué de manière pénalisante 24 heures sur 24.

Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à partir d'un modèle numérique à l'aide du logiciel I-DEAS interfacé avec le module TMG.

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 considérée est pénalisante. Elle est appliquée simultanément en tête, au milieu et au fond de la cavité ;
- les conditions initiales avant feu sont celles des conditions normales de transport ;
- le dispositif associé au barillet ainsi que les aménagements interne ou le contenu ne sont pas modélisés ;
- seul le caisson anti-poinçonnement des capots est modélisé. Les échanges thermiques sont possibles entre la plaque anti-poinçonnement et l'air ambiant.

Résultats de l'étude

La température atteinte par les joints de confinement lors des conditions accidentelles de transport est inférieure à leur 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.

5. PERFORMANCE D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT

Les critères réglementaires de relâchement d'activité sont vérifiés par calcul analytique en suivant la méthodologie décrite dans la norme ISO 12807. Cette étude tient compte :

- des fuites de gaz radioactif ;
- des fuites de particules aérosols radioactives.

5.1. En conditions de transport de routine

En conditions de transport de routine, la pression d'utilisation normale maximale (MNOP) est inférieure à 700 kPa et à la pression de dimensionnement de l'enceinte de confinement.

5.2. En conditions normales de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- le taux de fuite de la barrière d'étanchéité vérifié avant expédition ;

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

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- l'ensemble de la matière est susceptible de participer au relâchement d'activité dès les conditions normales de transport, de manière pénalisante ;
- la pression externe est de 0,6 bar compte tenu de la réglementation <1> ;
- les calculs sont réalisés en considérant le gaz de remplissage le plus pénalisant entre l'air et l'azote.

Méthode de calcul

Le respect des critères réglementaires de relâchement d'activité est garanti via un système d'inéquations portant sur les activités maximales admissibles des gaz radioactifs ayant un A_2 non infini et des aérosols.

La vérification est faite suivant la méthodologie suivante, en considérant les aménagements internes non étanches :

- calcul du débit de fuite lié au différentiel de pression entre la cavité de l'emballage et l'extérieur aux températures maximales des conditions normales de transport à partir du taux de fuite garanti avant expédition ;
- calcul des termes de l'inéquation à partir des activités des gaz radioactifs ayant un A_2 non infini et des aérosols générant individuellement un relâchement d'activité égal au critère réglementaire de $10^{-6} A_2/h$.

Résultats de l'étude

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

Le système d'inéquations définissant le contenu permet de garantir que le relâchement d'activité du colis reste inférieur au critère réglementaire de $10^{-6} A_2/h$.

5.3. En conditions accidentelles de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

La différence principale avec le calcul en conditions normales de transport est la suivante :

- les températures des gaz et des joints.

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.

Le système d'inéquations définissant le contenu permet de garantir que le relâchement d'activité du colis reste inférieur au critère réglementaire de $1 A_2/semaine$.

6. PERFORMANCE D'UN POINT DE VUE DES DEBITS D'EQUIVALENT 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 au contact du colis ne doit pas dépasser 2 mSv/h,
- conditions normales de transport (CNT) : pas d'augmentation de plus de 20 % de l'intensité de rayonnement maximale sur toute surface externe du colis,
- conditions accidentelles de transport (CAT) : 10 mSv/h à 1 m du colis.

Ces critères correspondent à un envoi sous utilisation exclusive telle que définie dans la réglementation <1>.

6.1. En conditions de transport de routine

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les sources de rayonnement du contenu radioactif sont limitées par la définition d'un système d'inéquations présenté dans la définition du contenu.

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 :

- la virole épaisse en acier.

Le blindage axial en tête est principalement constitué par :

- le système de barillet,
- le couvercle avant,
- la tôle avant.

Le blindage axial en fond est principalement constitué par :

- le poussoir,
- la virole forgée,
- la tôle arrière.

Hypothèses importantes pour l'étude

La modélisation de l'emballage est identique en CRT, CNT et CAT.

Les principales hypothèses sont les suivantes :

- les aménagements internes, les anneaux de levage et d'arrimage de l'emballage ainsi que les capots de tête et de fond ne sont pas modélisés,
- le système barillet est modélisé,
- la cavité de l'emballage est remplie d'air.

Une étude d'influence sur la géométrie de la source est réalisée afin de déterminer la géométrie la plus pénalisante-

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 et la bibliothèque de sections efficaces CEA V5.

L'intensité de rayonnement au contact du colis est déterminée via une inéquation établie pour garantir le respect des critères réglementaires de radioprotection.

L'inéquation repose sur la définition du contenu par un regroupement des isotopes du contenu en plusieurs groupes distincts, chaque groupe étant défini par une activité maximale admissible.

Résultats de l'étude

Le débit équivalent de dose pour un mélange de radionucléides est conforme aux critères réglementaires si l'inéquation suivante est vérifiée :

$$\sum \frac{A_i}{A_{max\ i}} \leq 1$$

Avec :

- A_i activité totale des radionuclides appartenant au groupe i ;
- $A_{max\ i}$ activité maximale admissible du groupe i .

6.2. En conditions normales de transport

Suite aux épreuves des conditions normales de transport, il n'y a pas de perte significative de blindage. Il n'y a donc pas d'augmentation notable des débits d'équivalent de dose à la surface du colis.

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.

6.3. En conditions accidentelles de transport

La méthodologie employée pour vérifier le respect des critères réglementaires en conditions accidentelles de transport est identique à celle présentée au § 6.1, en tenant compte de l'endommagement du colis suite aux épreuves représentatives des conditions accidentelles de transport.

Résultats de l'étude

Le débit équivalent de dose pour un mélange de radionucléides est conforme aux critères réglementaires si l'inéquation suivante est vérifiée :

$$\sum \frac{A_i}{A_{max\ i}} \leq 1$$

Avec :

- A_i activité totale des radionuclides appartenant au groupe i ;
- $A_{max\ i}$ activité maximale admissible du groupe i .

7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE

Le contenu transporté est :

- non fissile selon le paragraphe 222 de <1> ;
- fissile excepté de la classification « FISSILE » selon le paragraphe 417 de <1> ou
- fissile exempté selon les exigences des paragraphes 674 et 675 de <1>.

À ce titre, aucune démonstration de sous-criticité n'est effectuée.

8. CONDITIONS D'UTILISATION

L'emballage est conçu pour être chargé et déchargé horizontalement ou verticalement à sec.

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

- la matière radioactive chargée doit respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé ;
- la bonne fermeture (couple de serrage des vis) et le niveau d'étanchéité (taux de fuite) de tous les composants constituant la barrière d'étanchéité ;
- la mise en place des scellés ;
- la vérification de la non-contamination de l'emballage en conformité avec les limites réglementaires ;
- le contrôle des débits d'équivalent de dose autour du colis en conformité avec les limites réglementaires (vérification de l'inéquation relative aux débits d'équivalent de dose au contact du colis) ;
- la mise en place de l'étiquetage réglementaire.

9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE

Le programme d'entretien prévu au cours de l'utilisation de l'emballage est défini en fonction de deux types de périodicités suivant les composants importants pour la sûreté : le nombre de cycles de transport réalisés et la durée d'utilisation.

Le programme d'entretien comprend notamment :

- le remplacement des joints des barrières d'étanchéité pour une durée compatible avec leur durée de vie ;
- le contrôle de l'état des composants des systèmes vissés (barrière d'étanchéité et capots) afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté ;
- le contrôle et le remplacement le cas échéant des organes assurant la manutention du colis.

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 QUALITE

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. REFERENCES

- <1> Règlement de transport des matières radioactives, Agence Internationale de l'Énergie Atomique – Prescriptions, SSR-6, Edition 2012.

Les règles de conception et d'épreuves de l'édition 2012 du Règlement de l'AIEA englobent celles des règlements applicables suivants :

- 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 voies de navigation intérieures (ADN) ;
- Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG de l'OMI) ;
- Instructions techniques pour la sécurité du transport des marchandises dangereuses par voie aérienne (IT de l'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).