

OPTIMISATION DES ETUDES EN RADIOPROTECTION POUR LE DIMENSIONNEMENT DES EMBALLAGES DE TRANSPORT ET D'ENTREPOSAGE DE MATIERES RADIOACTIVES

C. NICOLETTI, S. KITSOS, M. TARDY, G. MARCHAUD

AREVA TN
1, rue des Hérons - 78182 Montigny-le-Bretonneux (France)
camille.nicoletti@areva.com

I. INTRODUCTION

AREVA TN conçoit et fabrique des emballages de transport et d'entreposage pour tout type de matières radioactives. L'emballage permet d'assurer la sûreté et la sécurité de son contenu radioactif dans une des phases les plus critiques ; à savoir son transport sur la voie publique en dehors des Installations Nucléaires de Base (INB).

Les emballages sont en particulier conçus pour limiter les Débits de Dose Efficace (DDE) conformément aux prescriptions réglementaires de transport de matières radioactives [1]. En ce sens, les études de radioprotection contribuent très nettement au regard de l'optimisation et du dimensionnement des emballages de transport et d'entreposage. Elles en déterminent la masse, par ailleurs limitée par les moyens de manutention et de transport, et donc la capacité.

Le schéma de calculs utilisé pour ces études de radioprotection est qualifié par AREVA TN au moyen de benchmarks Calculs/Mesures réalisés autour d'emballages. Dans une démarche de sûreté, cette qualification a notamment pour objet de garantir la surestimation des DDE calculés par rapport aux DDE mesurés. Dans une démarche économique, cette surestimation doit toutefois rester limitée. L'utilisation d'un schéma de calculs précis est donc nécessaire.

Afin de garantir la précision recherchée, le schéma de calculs utilisé actuellement est basé sur l'utilisation du code ORIGEN ARP 6 [3] pour l'évaluation des termes sources et sur le code de Monte Carlo TRIPOLI 4.7 [2] pour la simulation du transport des particules en 3D à travers la protection biologique.

Le degré de précision recherché est également obtenu par une modélisation géométrique de plus en plus précise, réduisant ainsi le conservatisme lié aux simplifications correspondantes. Cette complexification géométrique des modèles, qui croît d'année en année, est rendue possible à la fois par l'augmentation de la puissance de calculs, mais aussi grâce à la mise en place au sein d'AREVA TN d'un outil de visualisation et de vérification, dénommé TRIAD dans le cadre de son usage interne.

Cet article présente, à travers quelques exemples, le degré de précision actuellement atteint.

II. IDENTIFICATION DES ZONES D'INTERET POUR LES CALCULS DE RADIOPROTECTION

Les emballages de transport et d'entreposage de combustibles usés ou de déchets (compactés ou non) sont généralement constitués des composants suivants :

- un aménagement interne où est disposé le contenu radioactif,
- une enceinte de confinement constituée d'un ensemble fond-virole en acier fermé à son extrémité par un bouchon vissé : cet ensemble constitue le principal blindage gamma,

- une épaisseur de matériau neutrophage (résine) en partie courante traversée soit par des conducteurs soit par des ailettes en cuivre permettant la dissipation thermique,
- des capots amortisseurs en partie axiale permettant de protéger des chocs mécaniques l'emballage et son contenu,
- des tourillons en acier en partie inférieure et supérieure de l'emballage permettant sa maintenance ou son arrimage.

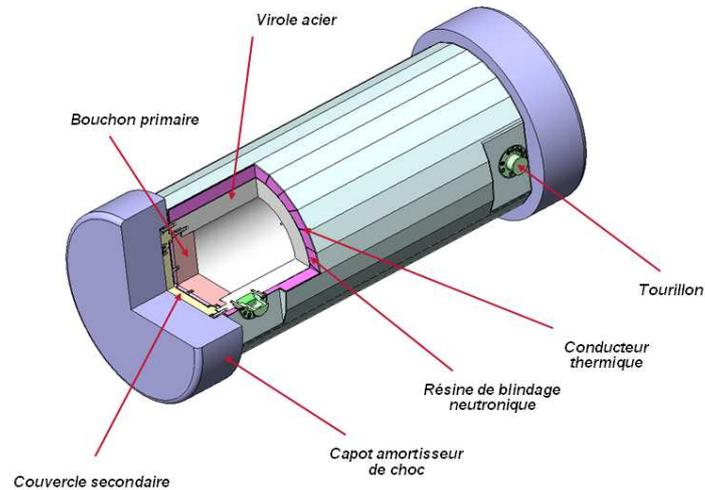


Figure 1 : Principaux composants d'un emballage

De manière générale, les études de radioprotection sont réalisées pour chaque emballage aux points d'intérêt pour s'assurer du respect des critères réglementaires fixés par l'AIEA [1] :

- au niveau de la partie courante de l'emballage,
- au niveau des tourillons,
- au niveau des capots inférieurs et supérieurs,
- au niveau des hétérogénéités propres à chaque emballage.

III. AMELIORATION DE LA PRECISION DES MODELES GEOMETRIQUES GRACE A L'UTILISATION DE L'OUTIL TRIAD

Les méthodes de calcul utilisées pour évaluer les DDE autour des emballages de transport de matières fissiles reposent principalement sur l'utilisation de la méthode Monte Carlo. Cela implique donc une modélisation géométrique 3D du colis (emballage et son contenu) à l'aide du code TRIPOLI 4.7 qui ne dispose pas d'outil (type CAO) permettant la création d'une géométrie. Ainsi, l'intégralité du modèle géométrique est définie de façon surfacique : chaque volume de la géométrie est délimité par plusieurs surfaces dont les équations et les caractéristiques ont été créées par l'utilisateur. L'emballage modélisé ainsi que les points de détection doivent être définis de manière convexe. Ainsi une attention particulière est apportée lors de la création du modèle pour garantir l'absence de « trou » ou d'enchevêtrement.

Dans une optique de sûreté, les études de radioprotection relatives aux emballages de transport et d'entreposage de matières fissiles étaient réalisées, dans le passé, avec un degré de conservatisme important dans les hypothèses de calcul et les modélisations géométriques. Les simplifications géométriques dans les modélisations étaient réalisées de manière à surestimer les DDE calculés autour des emballages.

Depuis quelques années, AREVA TN dispose d'un outil de visualisation 3D (TRIAD) permettant la création de modèles de plus en plus précis. Ce logiciel permet à l'utilisateur de visualiser et d'animer en 3 dimensions l'emballage et son environnement. Il est alors aisé de vérifier la cohérence du modèle grâce aux différents outils mis à disposition par TRIAD : apparition ou disparition des volumes, réalisation de coupes, affichage des cotes, tests d'enchevêtrement, etc.

IV. EXEMPLES DE MODELISATIONS GEOMETRIQUES FINES

L'utilisation du logiciel TRIAD a permis de développer des modèles géométriques de plus en plus précis particulièrement dans les zones d'intérêt où le DDE est maximal ou dans les zones de fortes hétérogénéités où le DDE varie fortement dans une même région.

Les exemples suivants mettent en évidence l'importance d'avoir une description précise de la géométrie d'un emballage et de son contenu.

IV.1 Zone tourillon

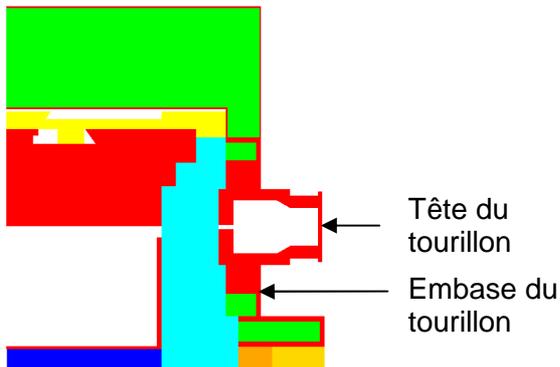


Figure 2 : Coupe axiale au niveau du tourillon haut

La manutention d'un emballage est réalisée à l'aide des tourillons (au nombre de 4 à 6) en acier à haute résistance mécanique. Ces organes de manutention et d'arrimage sont fixés au corps de l'emballage et sont conçus de façon à supporter la masse totale du colis. Ces zones sont systématiquement étudiées dans les études de radioprotection : elles sont souvent dimensionnantes en termes de DDE. De plus ces zones sont très fréquentées lors des phases de manutention : il est donc utile d'avoir une estimation précise des doses reçues par les opérateurs aux environs des tourillons.

Le tableau suivant présente les DDE obtenus au contact d'un emballage chargé de 12 assemblages combustibles REP UOX usés.

		DDE _{Neutron} (mSv/h)	DDE _{Gamma} (mSv/h)	DDE _{TOTAL} (mSv/h)
Radial mi-hauteur		0,130	0,071	0,201
Tourillon	Tête	0,410	0,046	0,456
	Embase	1,748	0,237	1,985

Tableau 1 : Synthèse des DDE obtenus au contact de la partie haute de l'emballage

Il est, par conséquent, nécessaire d'avoir une description géométrique précise de la région tourillon dans la modélisation géométrique afin de s'adapter à cette zone très hétérogène en termes de blindage.

IV.2 Zone radiale ou courante

La partie centrale de l'emballage, également appelée zone courante, peut être considérée comme étant homogène axialement et radialement. Toutefois quelques singularités peuvent être constatées comme la présence de conducteurs thermiques en cuivre traversant les blocs de résine et permettant l'évacuation de la puissance thermique. Seule une modélisation en 3D permet de prendre en compte ces hétérogénéités. Il est alors possible d'étudier l'impact de différents paramètres comme l'inclinaison des conducteurs.

Les écarts de DDE obtenus au contact de l'emballage pour les configurations avec des conducteurs thermiques droits ou obliques (avec un angle de 15°) sont compris entre -5% et +5%. Ainsi la modélisation fine de l'inclinaison des conducteurs thermiques a permis de conclure que l'angle d'inclinaison α , de façon globale, peu d'influence sur le DDE pour cet emballage. Il est donc préférable de considérer des conducteurs droits, plus faciles à fabriquer et plus efficaces pour l'évacuation de la puissance thermique.

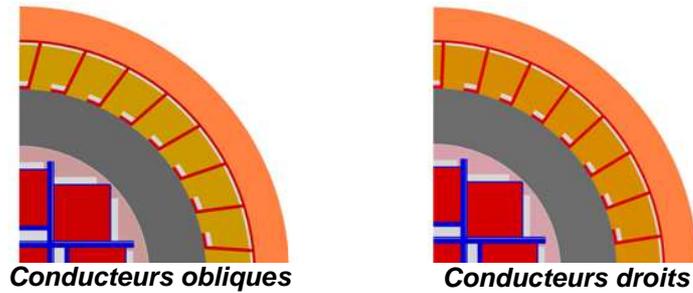


Figure 3 : Coupe radiale au niveau de la zone courante

IV.3 Calculs en exploitation

Lors de la conception d'un nouvel emballage, il est nécessaire d'étudier la problématique des phases de manutention et de chargement d'un emballage où la présence d'opérateurs à proximité d'emballages chargés requiert une attention particulière. En accord avec le principe ALARA, il est essentiel d'estimer de façon précise les doses reçues par les opérateurs lors des différentes phases d'opération.

Afin d'estimer la dose reçue par les opérateurs, la modélisation réaliste en 3D du colis est réalisée dans les conditions exactes d'opération. Une modélisation fine de l'emballage et de son environnement permet d'avoir une estimation au plus juste des DDE lors des opérations.

Dans l'exemple suivant, les DDE au niveau de la partie supérieure d'un emballage chargé d'un contenu homogène sont estimés pour 3 phases de manutention :

- Phase A : les couvercles primaire et secondaire sont présents. La cavité est sous air.
- Phase B : seul le couvercle primaire est présent. La cavité est sous air.
- Phase C : seul le couvercle primaire est présent. La cavité est sous eau.

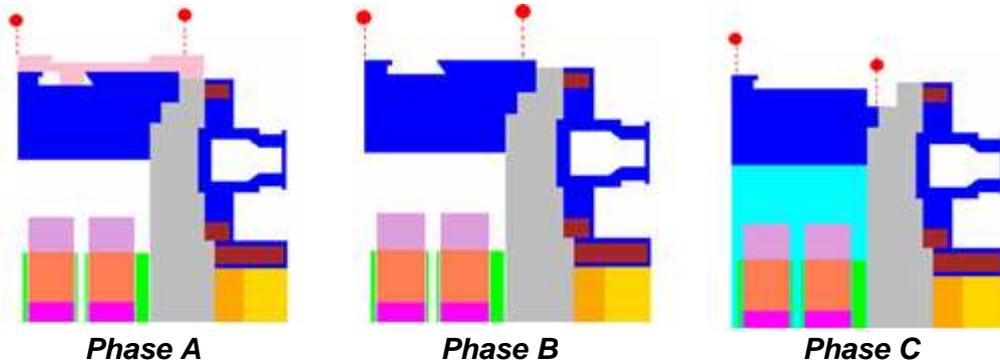


Figure 4 : Coupes axiales pour les 3 phases d'exploitation

Les DDE sont estimés au niveau des régions d'intervention de l'opérateur lors du chargement de l'emballage, c'est-à-dire à 50 cm des couvercles (primaire ou secondaire).

Emplacement des points de calculs	DDE _{TOTAL} (mSv/h)		
	Phase A	Phase B	Phase C
Centre du couvercle	0,316	0,568	0,015
Vis du couvercle	0,135	0,262	0,030

Tableau 2 : Synthèse des DDE à 50 cm de l'emballage pour les 3 phases d'exploitation

Le Tableau 2 montre qu'il y a, pour une même région d'intervention, de très grandes disparités entre les DDE obtenus pendant les différentes phases d'exploitation : il est donc essentiel d'avoir une description précise de la géométrie de l'emballage et de son contenu lors des opérations d'exploitation, afin d'établir la dose totale par opérateur lors du vissage du couvercle, de la vidange de la cavité, lors des différents contrôles d'étanchéité, etc.

V. CONCLUSIONS

L'amélioration constante de la précision des modèles géométriques pour les études de radioprotection permet d'avoir une connaissance précise de la répartition des DDE autour de l'emballage chargé de son contenu radioactif notamment dans les zones de fortes hétérogénéités.

Compte tenu du degré de précision des modèles actuellement réalisés, AREVA TN peut :

- maîtriser le degré de conservatisme associé aux simplifications géométriques,
- mieux prévoir les doses reçues par les opérateurs lors de chaque phase d'exploitation et ainsi optimiser certaines opérations pour diminuer la dose totale en accord avec le principe ALARA.

Cette complexification géométrique a été fortement favorisée par la mise en place, à AREVA TN, d'un outil de visualisation, dénommé TRIAD, qui permet à l'utilisateur d'animer en 3 dimensions l'emballage et son environnement afin de faciliter la vérification.

Afin d'aller encore plus loin dans la précision des modèles géométriques utilisés dans les études de radioprotection, la perspective pour AREVA TN est la création d'un outil de CAO pour l'élaboration de la géométrie implémentée dans le code de calcul TRIPOLI 4.7.

VI. REFERENCES

- [1] AIEA - Règlement de transport des matières radioactives. TS-R-1 Edition de 2009.
- [2] TRIPOLI-4 version 7 user guide ; SERMA/LTSD/RT/10-4941/A ; O. Petit, F.X. Hugot, F. Malvagi, J.C. Trama, S. Naury.
- [3] ORIGEN-ARP: Automatic rapid processing for spent fuel depletion, decay, and source term analysis ; ORNL/TM-2005/39, Version 6, Vol. I, Sect. D1 ; I.C. Gauld, S.M. Bowman, J.E. Horwedel.