

## L'EMBALLAGE LR56 DE TYPE B(U)F DESTINE AU TRANSPORT D'EFFLUENTS LIQUIDES RADIOACTIFS

*Présentation de la conception, des calculs  
et des essais sur maquettes*

G. BELAUD\*, F. DASPET\*\*, M. TOMBINI\*\*,  
L. TANGUY\*\*\*, M. LECONNETABLE\*

\*CEA, Centre d'études nucléaires de Saclay,  
Saclay

\*\*CEA, Centre d'études scientifiques et techniques  
d'Aquitaine (CESTA),  
Bordeaux

\*\*\*CEA, Centre d'études nucléaires de Fontenay-aux-Roses,  
Fontenay-aux-Roses

France

### Abstract-Résumé

THE LR56 TYPE B(U)F PACKAGE FOR TRANSPORT OF LIQUID RADIOACTIVE  
EFFLUENTS: DESIGN, CALCULATIONS AND MOCK-UP TESTS.

At CEA establishments, acidic radioactive liquid effluents are transported in tank vehicles. Operational requirements led to the design of a Type B(U)F package with a useful capacity of 4000 L for maximum permissible activities of 110 TBq ( $3 \times 10^4$  Ci). This is a package of cylindrical form which includes (1) a central element serving to confine the liquid effluent and provide a seal vis-à-vis the environment, and (2) peripheral elements which provide triple protection — mechanical, biological and thermal. The design and fittings of the package were studied with a view to providing the operator with a maximum of safety while respecting the requirements and specifications of the regulations in force.

L'EMBALLAGE LR56 DE TYPE B(U)F DESTINE AU TRANSPORT D'EFFLUENTS LIQUIDES  
RADIOACTIFS: PRESENTATION DE LA CONCEPTION, DES CALCULS ET DES ESSAIS SUR  
MAQUETTES.

Au sein des établissements du CEA, les transports des effluents liquides acides radioactifs se font en véhicules-citernes. Les nécessités d'exploitation ont conduit à concevoir un emballage de type B(U)F d'une capacité utile de 4000 litres, dont le niveau d'activité maximale du contenu permis est de 110 TBq ( $3 \times 10^4$  Ci). Cet emballage, de forme cylindrique, comprend: 1) l'élément central qui sert d'enceinte de confinement à l'effluent liquide, assurant ainsi l'étanchéité vis-à-vis de l'environnement; et 2) les éléments périphériques qui assurent une triple protection (mécanique, biologique et thermique). La conception et l'équipement de l'emballage ont été étudiés pour assurer à l'exploitant le maximum de sécurité et respecter les exigences et spécifications des règlements en vigueur.

## 1. ETUDE DE COMPORTEMENT DE L'EMBALLAGE

Les calculs de comportements mécaniques et thermiques ont permis d'optimiser la structure de l'emballage au cours de la conception.

Diverses configurations d'essais ont été calculées pour déterminer, objectivement, l'agression la plus pénalisante pour l'emballage. Elles ont permis de déterminer l'orientation de la chute de la maquette au 1/3.

Ces calculs ont été effectués au moyen de codes par éléments finis, pour les géométries axisymétriques ou en déformation plane, et en considérant l'emballage à l'échelle 1.

### 1.1. Calculs mécaniques

Ils doivent démontrer que la résistance mécanique de l'emballage, au cours des chutes successives réglementaires de 9 m sur dalle indéformable et de 1 m sur poinçon, est suffisamment élevée pour maintenir l'intégrité de l'enceinte de confinement.

#### 1.1.1. Chutes

La conception cylindrique de l'emballage et la position des vannes dans les puits permettent de considérer cinq configurations de chutes et de poinçonnement, représentées à la figure 1.

Seules les configurations 1(1), 1(2) et 1(5) ont fait l'objet d'un calcul par éléments finis au moyen du code HONDO<sup>1</sup>.

Le poinçonnement a été prévu sur la zone la plus éprouvée par la chute de 9 m sur dalle.

Les chutes sur coins, dans la configuration 1(3), ont été calculées au moyen de la relation:

$$E_C = \int_0^{\Delta} \sigma_e S \delta d \delta \quad (1)$$

où:

$\Delta$ : écrasement de l'amortisseur (bois)

S: section compactée

$\sigma_e$ : contrainte du palier de compactage du bois

$E_C$ : énergie cinétique à absorber

$\delta$ : écrasement courant.

<sup>1</sup> HONDO II SAND 78-0422, Sandia Laboratories (octobre 1978).

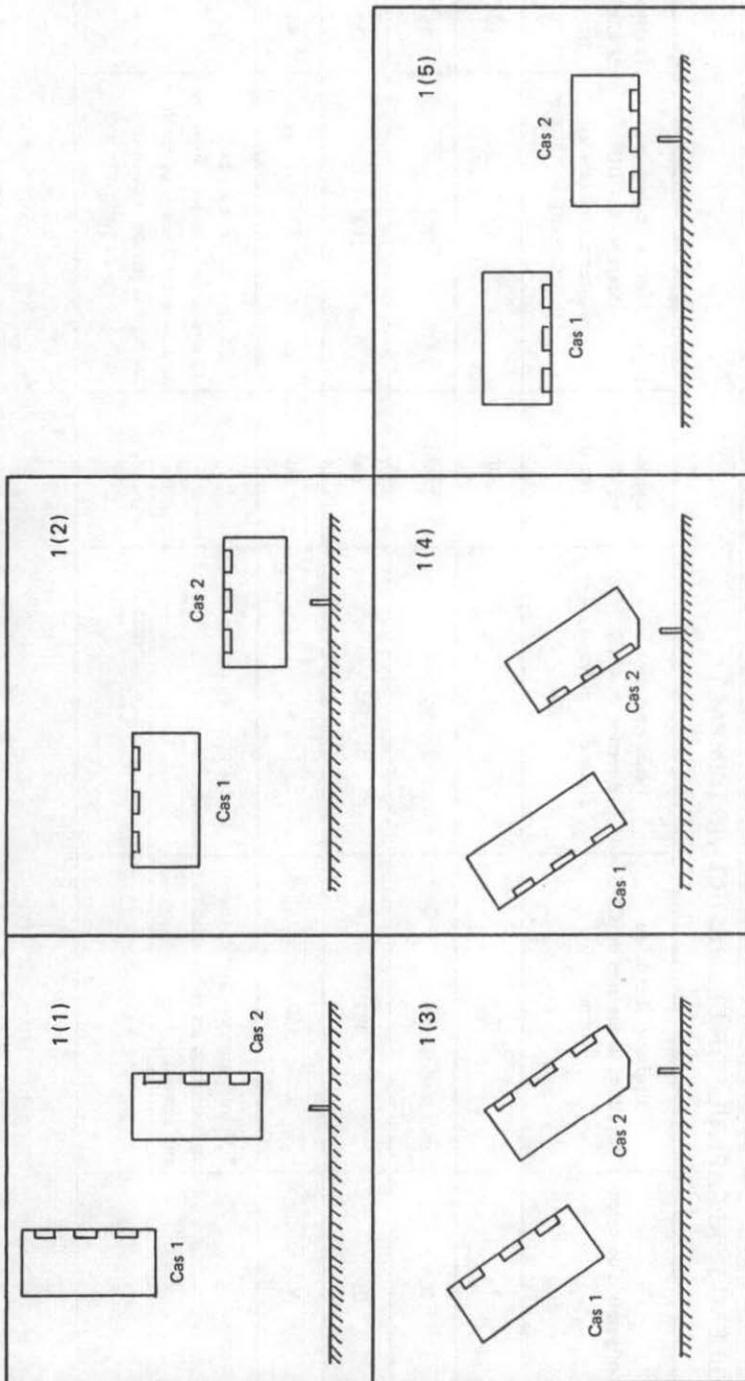
*FIG. 1. Configurations des chutes.*

TABLEAU I. RECAPITULATIF DES RESULTATS D'IMPACT

Configuration du calcul	Epaisseur initiale du bois dans la direction du CDG (mm)	Pénétration dans la direction du CDG chute de 9 m (cas 1) (mm)	Epaisseur résiduelle (mm)	Pénétration dans la direction du CDG poinçonnement (cas 2) (mm)	Epaisseur résiduelle (mm)
I	150	10	140	110 <sup>d</sup>	30
II	156	20 <sup>b</sup>	136	110 <sup>d</sup>	26
III	380 <sup>a</sup>	220 <sup>c</sup>	180	110 <sup>d</sup>	50
V	150	40	110	70	40
Remarques	<sup>a</sup> Valeur minimale de l'épaisseur de bois (dans les coins opposés aux vannes).	<sup>b</sup> Le calcul est en déformations planes. <sup>c</sup> Calcul autre qu'éléments finis.		<sup>d</sup> La déformation est très localisée; on peut donc supposer que dans ces 3 cas la pénétration ne dépend pas de la géométrie «assez loin» du point d'impact.	

Dans cette relation, il a été considéré que seul le bois absorbe l'énergie et que son épaisseur est telle que les effets restent localisés.

Les résultats obtenus pour les diverses configurations d'impact sont présentés dans le tableau I. L'épaisseur résiduelle du bois est le paramètre étudié. Les calculs par éléments finis ont donc été arrêtés lorsque toute l'énergie a été absorbée (cas 1 des configurations 1(1), 1(2) et 1(5) de la figure 1) ou lorsque l'erreur  $\epsilon$  sur la conservation de l'énergie, telle que:

$$\epsilon = \frac{E_i - (E_C - E_D) t}{E_i} \quad (2)$$

où:

$E_i$ : énergie initiale

$E_C$ : énergie cinétique à l'instant  $t$

$E_D$ : énergie de déformation

devient trop importante, en particulier lorsque la hauteur des mailles devient très faible ou lorsque celles-ci sont trop distordues (cas 2 dans les configurations 1(1) et 1(5) de la figure 1).

Les lois de comportement des matériaux sont de deux types:

- 1) Loi bilinéaire symétrique pour les aciers et la protection biologique en plomb.
- 2) Loi de compactage permettant de relier le changement de volume de maille à la pression exercée sur une maille par l'intermédiaire du second invariant des contraintes calculées au centre de la maille.

Elles correspondent aux lois de comportement 6 et 7 du code HONDO II.

### 1.1.2. La suppression de l'enceinte de confinement

L'étude de la suppression interne à 4,5 bar a été effectuée à l'aide d'un calcul paramétrique et du code OSSAU<sup>2</sup>.

La contrainte équivalente doit rester inférieure à  $0,75 \sigma_a = 206$  MPa.

Pour le calcul, on fait varier uniformément l'épaisseur de la tôle de l'enceinte de 5 à 8 mm.

Les résultats des calculs sont présentés dans la figure 2; ils montrent que la valeur limite n'est pas dépassée.

## 1.2. Calculs thermiques

Dans l'hypothèse où l'incendie succède aux deux chutes précédentes, il faut:

- déterminer l'élévation de la température du fluide contenu dans l'enceinte de confinement;
- vérifier le maintien de la protection biologique;
- démontrer la tenue des joints.

<sup>2</sup> Code EF.OSSAU, Manuel d'utilisation CEA/CESTA/UC (mise à jour mars 1986).

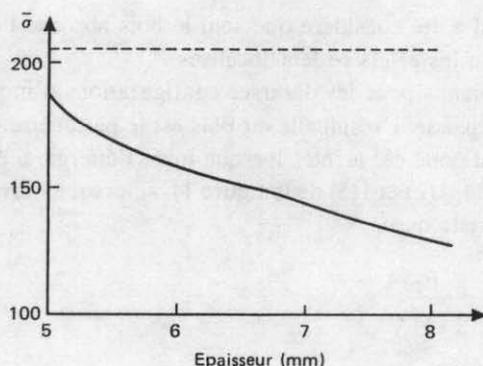


FIG. 2. Evolution de la contrainte équivalente en fonction de l'épaisseur de la tôle.

Le code AYOUS<sup>3</sup> de calcul thermique permet de résoudre l'équation de la chaleur en régime transitoire par la méthode des éléments finis.

L'emballage est représenté par un cylindre creux fermé aux deux extrémités. Les dimensions du modèle sont:

- diamètre extérieur: 1,914 m,
- hauteur hors tout: 3,314 m,
- volume utile: 4,5 m<sup>3</sup>,
- diamètre intérieur: 1,400 m,
- hauteur cuve intérieure: 2,800 m,
- volume de fluide: 4 m<sup>3</sup>.

Les calculs ont été effectués en considérant la nature et l'épaisseur des matériaux prévus pour l'emballage à l'échelle 1.

La température du fluide est déterminée à chaque pas de calcul en effectuant le bilan thermique des échanges de l'eau avec les parois de l'emballage.

Les conditions initiales dépendent du type d'environnement imposé (normal ou accidentel) et correspondent:

- à l'extérieur, à de l'air convectif d'émissivité égale à celle de la paroi de l'emballage;
- à l'intérieur, à de l'eau en équilibre thermodynamique.

Le problème de la pyrolyse du bois, lors des calculs de tenue au feu, n'a pas été pris en compte.

Du point de vue de la conduction, les résultats obtenus montrent que la température ne s'élève pas de plus de 1°C à l'intérieur de l'enceinte de confinement.

Les résultats des calculs, pour le cas de l'emballage intègre, soumis à un feu de 800°C pendant 30 min, sont donnés à la figure 3.

<sup>3</sup> Code EF AYOUS, Manuel d'utilisation CEA/CESTA/UC 251/82.

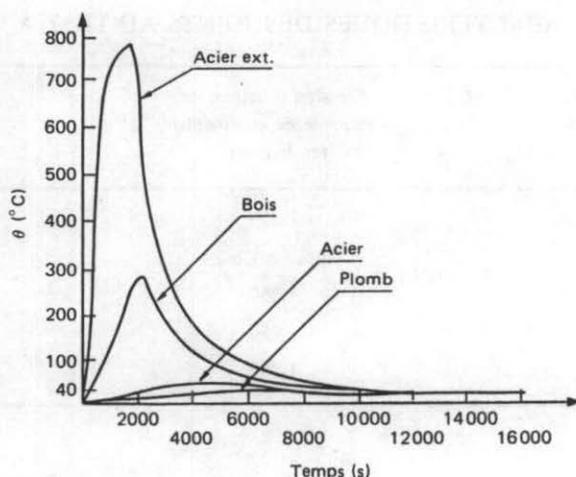


FIG. 3. Evolution de la température en fonction du temps.

## 2. ETUDE DU CONFINEMENT

Il résulte de l'application des différents articles du Règlement des transports de matières dangereuses (RTMD) que, dans le cas présent, le taux de fuite maximal admissible est de  $9,9 \times 10^{-4}$  lusec pour l'ensemble de l'emballage ou  $3,3 \times 10^{-4}$  lusec pour chacun des trois puits de la barrière de confinement.

La maquette à l'échelle 1 d'un des puits a permis d'étudier le comportement de différents types de joints et de formes de gorge, pour respecter le taux de fuite admissible ( $T_f$ ), dans les conditions suivantes:

- température normale d'utilisation de l'emballage, de  $-5^{\circ}\text{C}$  à  $+70^{\circ}\text{C}$ , couvercles et bouchons enlevés;
- température hivernale de  $-40^{\circ}\text{C}$ , couvercles et bouchons fermés;
- température accidentelle en cas d'incendie,  $70^{\circ}\text{C}$ , couvercles et bouchons en place;
- pression intérieure après immobilisation du véhicule pendant un an: 4 bar abs;
- pression à la fermeture du couvercle: 1,200 bar abs avec une évolution de  $0,007 \text{ bar} \cdot \text{d}^{-1}$  due à la radiolyse.

### 2.1. Résultats expérimentaux

A la suite des essais effectués, les joints en élastomère de Dupont De Nemours ont été retenus pour assurer l'étanchéité de l'emballage. Ils sont en viton vert de dureté shore 70, référence 20471, et d'une section de 8 mm.

TABLEAU II. CARACTERISTIQUES DES JOINTS AU TEST A L'HELIUM

Température d'essai du couvercle du puits	Pression d'hélium de l'enceinte de confinement (en bar abs)	Taux de fuite (en lusec)
20/25°C	1,250	$1,9 \times 10^{-6}$
20/25°C	jusqu'à 4 bar	$4,2 \times 10^{-5}$
-40°C	1,250	$8 \times 10^{-7}$
+70°C	1,250	$5,3 \times 10^{-7}$
+90°C	1,250	$3 \times 10^{-4}$

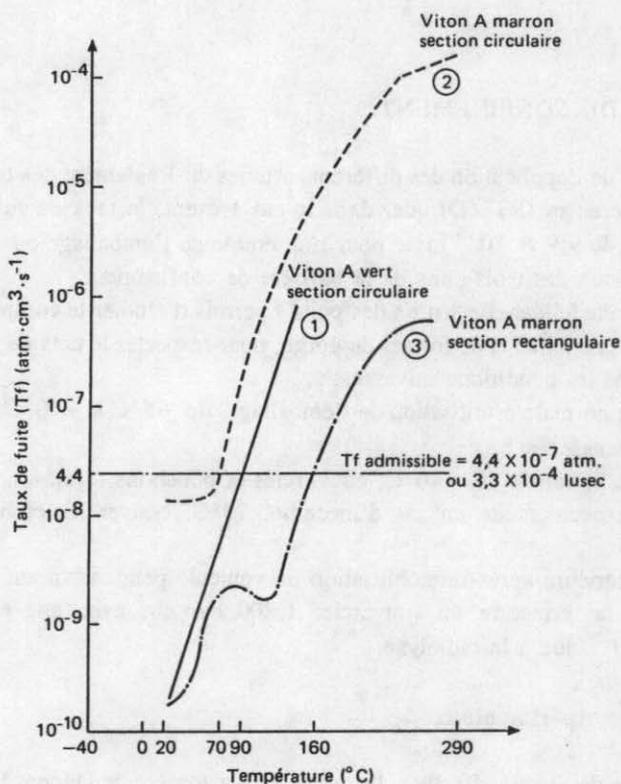


FIG. 4. Evolution du taux de fuite en fonction de la température.

Ces joints sont montés en gorges trapézoïdales.

Ils permettent d'obtenir les taux de fuite indiqués dans le tableau II.

Avec ce type de joint, le taux de fuite a crû linéairement jusqu'à 230°C, limite de l'essai (figure 4, courbe 1). Après refroidissement, le taux de fuite était de  $2,7 \times 10^{-5}$  lusec.

## 2.2. Autres résultats expérimentaux

Dans le cadre de l'étude du confinement, des essais d'étanchéité ont également été faits avec des joints en viton marron de dureté shore 50, dont la section était soit circulaire, soit rectangulaire.

Il apparaît que:

- les joints à section circulaire placés en gorge trapézoïdale présentent un taux de fuite élevé à croissance rapide, dès 70°C (courbe 2 de la figure 4);
- les joints à section rectangulaire placés en gorge, sans jeu de dilatation, ne donnent le même taux de fuite qu'à 160°C (courbe 3 de la figure 4).

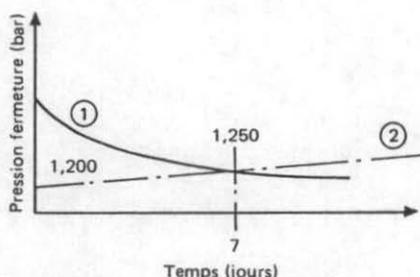


FIG. 5. Décroissance de la pression en fonction du temps.

## 2.3. Simulation d'exploitation normale

A la fermeture du couvercle, après remplissage de l'emballage, l'air de l'espace interjoint est comprimé à la suite de l'écrasement du joint.

La décroissance de cette pression est donnée, dans la figure 5, par la courbe 1, qui coupe la droite 2 après environ 7 jours.

Cette droite 2 représente l'augmentation de pression due à la radiolyse: 1,2 bar à la fermeture du couvercle plus  $0,007 \text{ bar} \cdot \text{d}^{-1}$  pendant 7 jours, ce qui fait environ 1,250 bar abs.

Cette période couvre la quasi-totalité des transports pendant laquelle le taux de fuite prend une valeur négative.

L'intérêt pratique de ce phénomène consiste à contrôler l'étanchéité des couvercles en temps réel. Chacun d'eux est équipé d'un capteur de pression à affichage numérique avec alarme à niveau bas, qui témoigne de leur étanchéité au moment de la fermeture.

### 3. TENUE DE L'EMBALLAGE AUX EPREUVES REGLEMENTAIRES

La maquette à l'échelle 1/3 a permis de vérifier le maintien de l'étanchéité de la barrière de confinement de l'emballage, à l'issue des chutes réglementaires.

Les amortisseurs mécaniques, bois et tube de calage, ont joué correctement leur rôle:

- l'enceinte de confinement intérieure s'est déplacée de 3 mm dans le sens de la chute;
- cette enceinte est pratiquement restée sur son axe longitudinal;
- le taux de fuite imposé a été respecté.

### CONCLUSION

Les résultats expérimentaux et les calculs démontrent le respect des exigences réglementaires relatives au relâchement admissible en situation normale et accidentelle.