

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

FR 87 00 743

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY

CEA-COPE -- 8607

Service de Documentation

F91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

SI

IAEA-SM--286-192

PRESENTATION DE LA CONCEPTION, DES CALCULS ET ESSAIS SUR MAQUETTES,  
DE L'EMBALLAGE LR 56, DE TYPE B (U) f, DESTINE AUX TRANSPORTS  
D'EFFLUENTS LIQUIDES RADIOACTIFS

BELAUD, LECONNETABLE

CEA CEN Saclay, 91-Gif-sur-Yvette (France).  
IRDI

DASPET, TOMBINI

CEA Centre d'Etudes Scientifiques et Technique  
D'Aquitaine, Le Barp, 33-Belin-Beliet (France)

TANGUY

CEA CEN Fontenay-aux-Roses, 92 (France). IPSN

Communication présentée à : IAEA International symposium on the packaging  
and transport of radioactive materials (PATRAM 86)  
Davos (Switzerland)  
16-20 Jun 1986

**COLLOQUE INTERNATIONAL DE L'AIEA SUR  
L'EMBALLAGE ET LE TRANSPORT DES MATIERES RADIOACTIVES  
(PATRAM 86)**

Davos, Suisse, 16-20 juin 1986

IAEA-SM-286/192

**SUJET :**

RECHERCHE DEVELOPPEMENT SUR LA  
SURETE DES TRANSPORTS

**TITRE :**

. Présentation de la conception, des calculs et essais  
sur maquettes, de l'emballage LR 56, de type B (U) f,  
destiné aux transports d'effluents liquides radio-  
actifs.

**Auteurs du résumé analytique :**

MM. BELAUD (2), DASPET (1)

**Auteurs du mémoire combiné :**

MM. BELAUD (2), DASPET (1), TOMBINI (1), TANGUY (3),  
LECONNETABLE (2)

(1) CEA/CESTA - France

(2) CEA/CEN Saclay - France

(3) CEA/CEN FAR - France

---

*Ce polycopié reproduit le texte d'un mémoire qui sera présenté lors d'une réunion scientifique. Le texte en est provisoire et des changements de fond ou de détail pourront y être apportés avant publication. Il n'est communiqué qu'à la condition expresse de n'être cité ou reproduit sous sa forme actuelle dans aucun autre ouvrage. Les opinions et les thèses qui y sont avancées engagent uniquement la responsabilité des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles des gouvernements des Etats Membres désignants ou celles des organisations désignantes. En particulier, l'AIEA et les autres organisations ou organismes patronnant éventuellement la réunion ne peuvent être tenus responsables de tout ou partie du texte qui y est reproduit.*

---

COLLOQUE INTERNATIONAL DE L'AIEA SUR  
L'EMBALLAGE ET LE TRANSPORT DES MATIERES RADIOACTIVES  
(PATRAM 86)

Davos, SUISSE, 16/20 Juin 1986

TITRE : Présentation de la conception, des calculs et essais sur maquettes, de l'emballage LR 56, de type B (U) F, destiné aux transports d'effluents liquides radioactifs.

RESUME ANALYTIQUE

Les transports des effluents liquides acides radioactifs se font en véhicules-citerne, au sein des établissements du CEA.

Les nécessités d'exploitation nous ont conduits 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 ( $3 \cdot 10^4$  Ci). Cet emballage, de forme cylindrique, comprend :

- l'élément central qui sert d'enceinte de confinement à l'effluent liquide, assurant ainsi l'étanchéité vis-à-vis de l'environnement ;
- les éléments périphériques qui assurent une triple protection (mécanique, biologique et thermique) schéma page 4.

Cet emballage est fixé sur une remorque. Une cabine de commande lui est associée.

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.

La démonstration de la tenue de l'emballage LR 56 aux agressions imposées par le règlement, pour les conteneurs de type B (U) F, a été effectuée en deux étapes :

a/ au stade de la conception,

- . par des calculs par éléments finis destinés à évaluer la résistance du produit (chutes sur dalle plane, sur poinçon, incendie).

Le bureau d'études a été associé à ces calculs pour optimiser le dimensionnement de l'emballage et le choix des matériaux.

- . Par des essais sur maquette à l'échelle 1 d'un d'un puits d'accès à la cuve de confinement.

L'évolution du taux de fuite effectif, des joints toriques en viton, a été déterminée en fonction du temps et des températures atteintes dans les diverses situations envisageables, notamment les conditions accidentelles.

D'importantes variations dimensionnelles de ces joints ont été constatées, ainsi que l'apparition du phénomène d'extrusion, à des températures relativement basses.

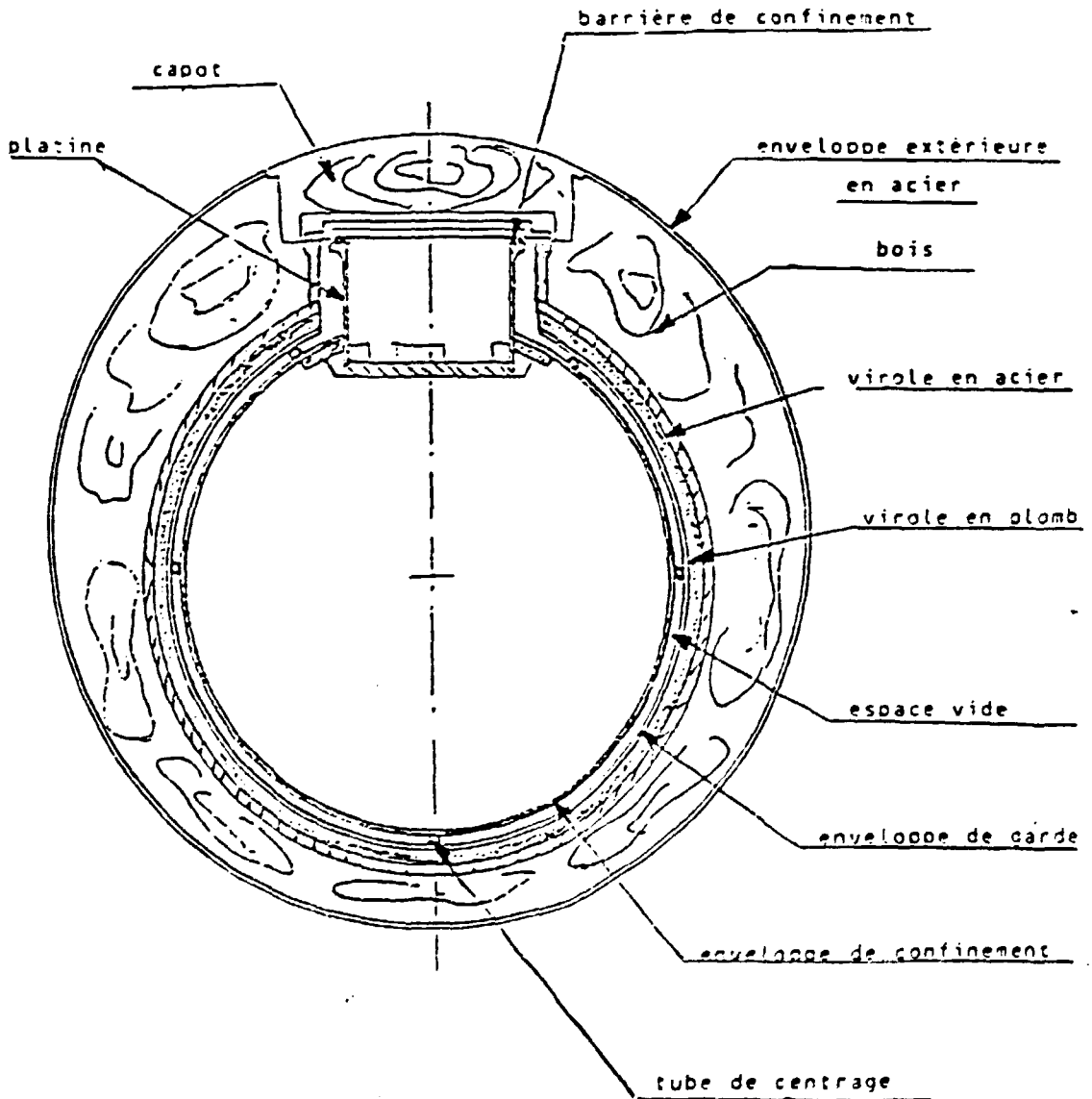
Ces phénomènes ont conduit à dessiner une nouvelle gorge permettant d'exploiter la déformation du joint et son changement d'état, pour offrir ainsi, une résistance croissante au passage du gaz, proportionnelle à la température.

Conditions de réalisation de ces essais :

- pression interne : 1 à 4 bars abs
- température des joints de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $+ 250^{\circ}\text{C}$ .

b/ Au stade de la qualification, par des essais de chutes réglementaires d'une maquette à l'échelle 1/3.

COUPE TRANSVERSALE  
DE L'EMBALLAGE



## 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 MECANIKES

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 au tableau I, 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, configuration 1.3, ont été calculées au moyen de la relation :

$$E_c = \int_0^{\Delta} \sigma_c S \delta d\delta \text{ où}$$

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

$S$  la section compactée

$\sigma_c$  la contrainte du palier de compactage du bois

$E_c$  l'énergie cinétique à absorber

$\delta$  écrasement courant.

<sup>1</sup> - HONDO II SAND 78-0422 - Sandria Laboratories Octobre 1978

et pour laquelle 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 tableau I, figure 2. 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 - 1,5 de la figure 1 du tableau I) ou lorsque l'erreur  $\epsilon$  sur la conservation de l'énergie :

$$\epsilon = \frac{E_i - (E_c - E_o) t}{E_i} \quad \text{où } E_i \text{ énergie initiale}$$

à l'instant t

$$\left\{ \begin{array}{l} E_c \text{ énergie cinétique} \\ E_o \text{ énergie de déformation} \end{array} \right.$$

devient trop importante ; et en particulier, lorsque la hauteur des mailles devient très faible ou lorsqu'elles sont trop distordues - cas 2, configurations 1,1 et 1,5 de la figure 1 du tableau I.

Les lois de comportement des matériaux sont de deux types :

- 1 - loi bilinaire 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.

Les variations des chutes calculées sont présentes tableau II, colonne 2 :

- maillage initial de la configuration 1,1 cas 1 du tableau I
- maillages déformés dans les autres cas.

Des exemples d'exploitation de ces configurations sont donnés tableau II, colonne 3.

#### 1-1.2. La suppression de l'enceinte de confinement

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

<sup>2</sup> Code EF.OSSAU Manuel d'utilisation CEA/CESTA/UC  
Mise à jour 03-86.

La contrainte équivalente doit rester inférieure à  $0,75 \sigma_R = 206 \text{ MPa}$ .

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 tableau I, figure 3 et ils montrent que la valeur limite n'est pas dépassée.

## 1-2. CALCULS THERMIQUES

Hyphothèse : 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.

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. Dimensions du modèle :

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

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



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 mn, sont donnés figure 4 du tableau I.

## 2 - ETUDE DU CONFINEMENT

### Essais sur maquette

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  $9,9 \cdot 10^{-4}$  lusec pour l'ensemble de l'emballage ou  $3,3 \cdot 10^{-4}$  lusec pour chacun des trois puits de la barrière de confinement.

La maquette 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 (Tf), dans les conditions suivantes :

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

### 2-1. RESULTATS EXPERIMENTAUX

A la suite des essais effectués, les joints en élastomère de chez DUPONT DE NEMOURS ont été retenus pour assurer l'étanchéité de l'emballage.

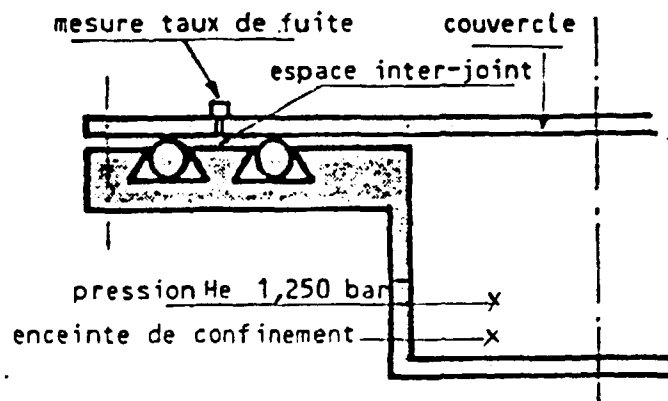
Caractéristiques : viton vert de dureté shore 70,  
référence 20471,  
section 8 mm.

Ces joints sont montés en gorges trapézoïdales.

Ils permettent d'obtenir les taux de fuite ci-après.

CARACTERISTIQUES DES JOINTS AU TEST He

TEMPERATURE D'ESSAI DU COUVERCLE PUIITS	PRESSIION D'HELIUM ENCEINTE CONFINEMENT en bar abs	TAUX DE FUITE en lusec
20/25°C	1,250	$1,9 \cdot 10^{-6}$
20/25°C	jusqu'à 4 bars	$4,2 \cdot 10^{-5}$
-40°C	1,250	$8 \cdot 10^{-7}$
+70°C	1,250	$5,3 \cdot 10^{-7}$
+90°C	1,250	$3 \cdot 10^{-4}$

REMARQUE

Avec ce type de joint, le taux de fuite a cru linéairement jusqu'à 230°C, limite de l'essai, courbe 1 du tableau III. Après refroidissement, le taux de fuite était de  $2,7 \cdot 10^{-5}$  lusec.

2-2. AUTRES RESULTATS EXPERIMENTAUX

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 :

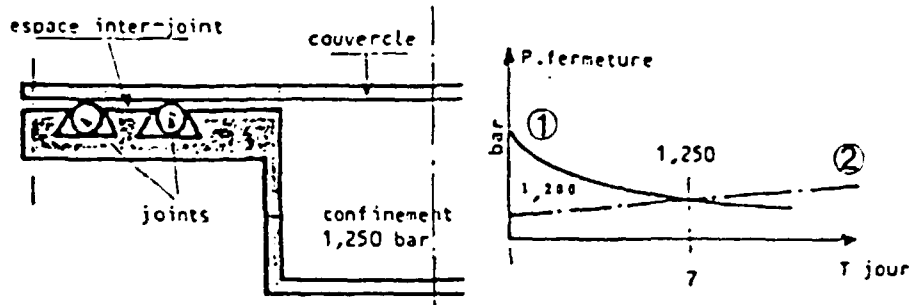
- les joints à section circulaire placés en gorge trapézoïdale présentent un taux de fuite élevé à croissance rapide, dès 70°C, courbe 2 du tableau III

- 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 du tableau III.

### 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, schéma ci-dessous.

La décroissance de cette pression est donnée 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  $0,007 \text{ bar.j}^{-1}$  pendant 7 jours, 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.

### C O N C L U S I O N

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

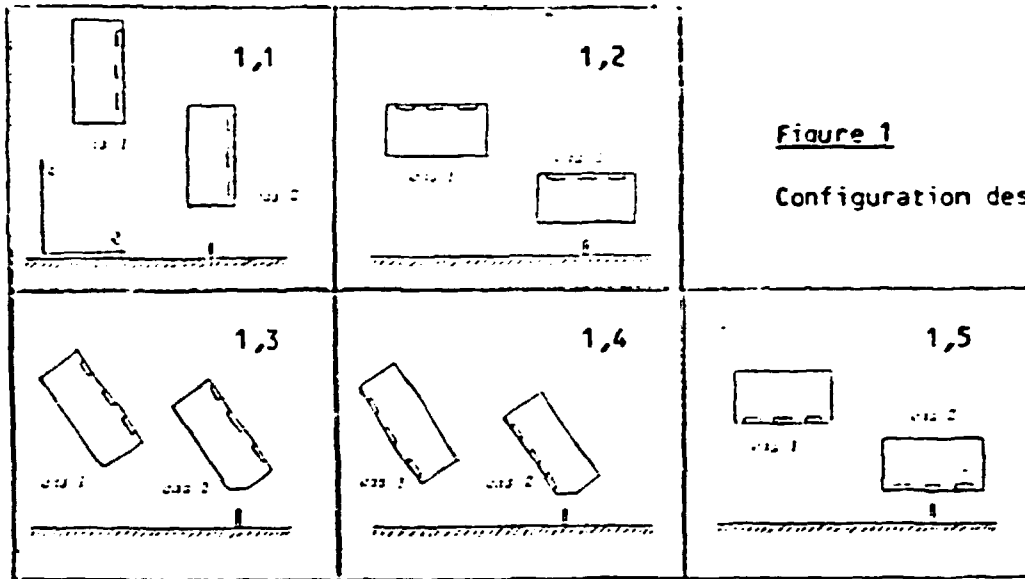


Figure 1

Configuration des chutes

Annexe IV-3.1 Récapitulatif des résultats d'impact

Configuration du calcul	Épaisseur initiale du bois dans la direction du CGC (mm)	Pénétration dans la direction du CGC chute de 9 m (cas I) (mm)	Épaisseur Résiduelle (mm)	Pénétration dans la direction du CGC poinçonnement (cas 2) (mm)	Épaisseur Résiduelle (mm)
I	150	10	140	110*	30
II	150	20*	136	110*	26
III	180*	220**	180	110*	50
V	150	40	110	70	80
Remarques	* Valeur min de l'épaisseur de bois (dans les coins opposés aux raines)	* Le calcul est en déformations planes. ** Calcul autre que éléments finis (cf annexe II-g)		* La déformation est très localisée on peut donc supposer que dans ces 2 cas la pénétration ne dépend pas de la géométrie "assez large" du point d'impact	

Figure 2

récapitulatif des résultats d'impacts

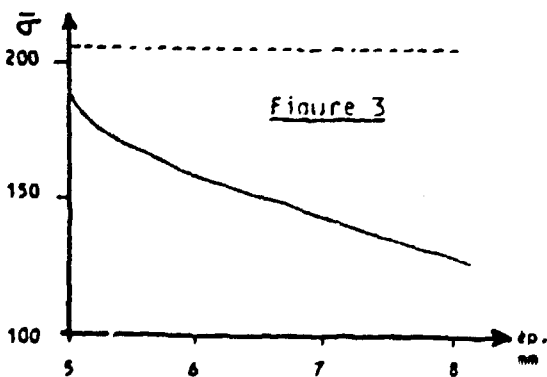


Figure 3

évolution de  $\bar{\sigma}$  en fonction de l'épaisseur de la tôle.

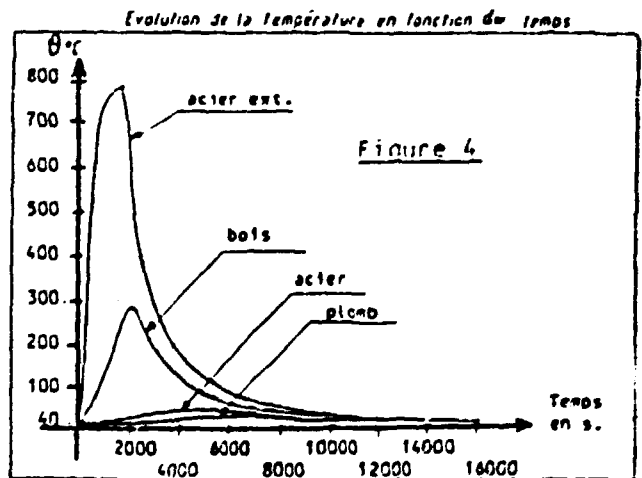


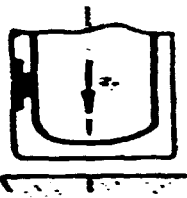
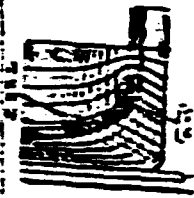
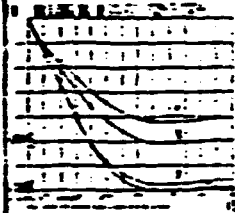
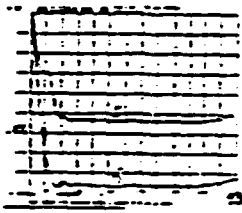

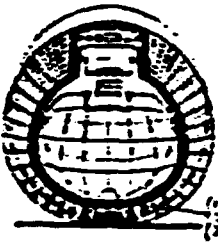
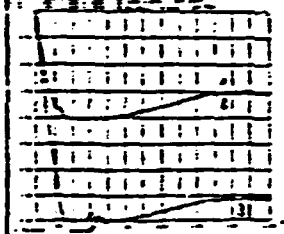
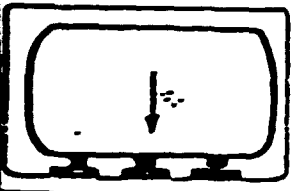
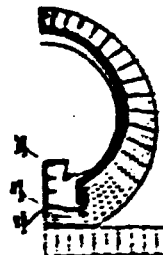

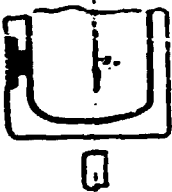

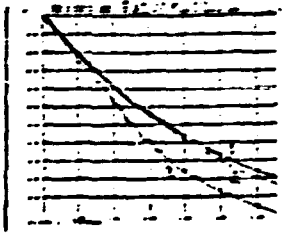
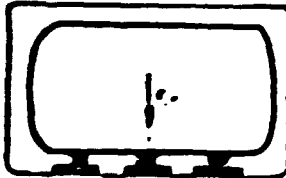

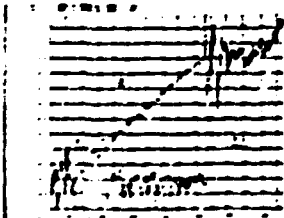
Figure 4

Evolution de la température en fonction du temps

**TABLEAU II**

**CALCULS MECANIQUES**

Chutes de 9 m et de 1 m sur poinçon

Configurations de chutes calculées (1)	Maillages initiaux et déformés (2)	Exemples d'exploitation (3)	
			
			<p>Evolution des déplacement en fonction du temps</p>
			
			
			<p>Evolution des vitesses en fonction du temps</p>

EVOLUTION DU TAUX DE FUITE (Tf)  
EN FONCTION  
DE LA TEMPERATURE

