



RAPPORT D'ESSAI N° PE 05 6992

Saint Marcel, le 25 janvier 2006

Demandé conjointement par :

SAINT GOBAIN EMBALLAGE
Les Miroirs
92 096 LA DEFENSE CEDEX

BSN GLASSPACK
64 Boulevard du 11 novembre 1918
69 611 VELLEURBANNE CEDEX

Objet : Essai feu de stockage en vraie grandeur de palettes de bouteilles de verre.

Date de l'essai : 21 décembre 2005

Le présent rapport comporte 14 pages et 16 annexes.



Sommaire

1	<i>Présentation et contexte de l'essai feu</i>	3
2	<i>Dispositif d'essai</i>	4
2.1	Hall d'essai	4
2.2	Configuration des palettes de bouteilles	4
2.3	Dispositif d'allumage	5
3	<i>Instrumentation</i>	6
3.1	Températures des flammes dans le stockage	6
3.2	Flux thermique rayonné par le feu	7
3.3	Enregistrements vidéo	8
4	<i>Essai</i>	9
4.1	Chronologie de l'essai / Constatations visuelles	9
4.2	Mesures	10
5	<i>Conclusions</i>	11
6	<i>Annexes</i>	15



1 Présentation et contexte de l'essai feu

Ce rapport présente les résultats d'un essai réalisé par le CNPP pour le compte de SAINT GOBAIN EMBALLAGE et BSN GLASSPACK afin de caractériser le comportement au feu des stockages de palettes de bouteilles de verre.

Trois types principaux de bouteilles sont fabriquées et stockées par les demandeurs :

Bouteilles champenoises 75 cl		Bouteilles bourguignonnes 75 cl		Bouteilles bière 25 cl	
palette bois	25 kg	palette bois	25 kg	palette bois	25 kg
plastique + carton	11 kg	plastique + carton	6 kg	plastique + carton	16 kg
verre	1040 kg	verre	503 kg	verre	588 kg
Potentiel calorifique : 0,6 MJ/kg		Potentiel calorifique : 1,0 MJ/kg		Potentiel calorifique : 1,2 MJ/kg	

Pour se placer dans le cadre d'hypothèses pénalisantes, on a retenu pour ces expérimentations les palettes de bouteilles de bière. Elles présentent le potentiel calorifique le plus élevé.

Sur site, les palettes sont stockées sur 3 niveaux au maximum. Afin de pouvoir observer le comportement d'un départ de feu sur une portion suffisante de stockage et les mécanismes de propagation, l'essai a été réalisé sur 18 palettes (3 × 2 rangées de palettes disposées sur 3 niveaux).

Les palettes livrées pour ces essais étaient composées d'une palette en bois, d'intercalaires en plastique (séparation entre les rangées de bouteilles) et housée d'un film étirable.



2 Dispositif d'essai

2.1 Hall d'essai

Les palettes sont installées à l'intérieur d'un hall d'essai feu clos dont les dimensions sont les suivantes :

- ✓ Longueur : 30 m
- ✓ Largeur : 20 m
- ✓ Hauteur : 24 m

Les fumées sont évacuées par des exutoires situés dans l'axe du stockage. Les amenées d'air sont contrôlées par l'ouverture des portes sur les faces latérales des parois (ouverture sur 0,5 à 1 m de hauteur).

2.2 Configuration des palettes de bouteilles

Le stockage des bouteilles en verre vide est constitué de 18 palettes installées sur trois niveaux. Les niveaux (repérés de 0 à 2 par la suite) sont constitués de six palettes juxtaposées en six colonnes (repérées de A à F). La disposition des palettes est présentée dans l'Annexe A1.

Le Tableau 1 indique les dimensions des palettes livrées au CNPP et utilisées pour chacun trois niveaux.

Niveau	Dimensions de la palette	Nombre de bouteilles / niveau
0	1000 × 1200 × 2400 mm bouteilles verre 25 cl	33 390
1	800 × 1200 mm × 2250 mm bouteilles verre 25 cl	29 640
2	800 × 1200 mm × 2250 mm bouteilles verre 25 cl	29 640
Total		92 670

Tableau 1



2.3 Dispositif d'allumage

L'allumage des palettes a été réalisé dans des conditions pénalisantes mais réalistes.

Un panneau de carton est utilisé pour mettre le feu aux palettes (double couche de carton ondulé fixée sur un paravent métallique). Dimensions du panneau de carton :

- ✓ Epaisseur de carton : 5 mm,
- ✓ Largeur de la bande de carton : 1405 mm,
- ✓ Hauteur de la bande de carton : 5 m,
- ✓ Orientation : Face Est, devant la colonne A et la moitié de la colonne B (voir Annexe A2 et A3),
- ✓ Le paravent est installé contre les colonnes de palettes de la face Est, avec un espace libre d'environ 200 mm.

Les flammes produites par le combustion du carton permettent de simuler l'effet de cheminée qui surviendrait en cas de départ de feu fort (d'origine volontaire ou accidentelle) entre deux rangées de palettes accolées. Entre les piles de stockage, l'effet de cheminée consiste en l'accélération des flammes vers le haut par un tirage aéraulique favorable. Cet effet est responsable de la propagation rapide des flammes vers le haut et la toiture dans les stockages de grande hauteur.

L'allumage du panneau de carton s'effectue par l'inflammation de deux allumeurs en coton imbibé d'essence disposés au centre du panneau carton vertical :

- ✓ Longueur d'une pelote de coton : 150 mm,
- ✓ Diamètre d'une pelote de coton : 80 m,
- ✓ Quantité d'essence par pelote : 320 ml,

Afin de limiter l'évaporation de l'essence, les pelotes sont ensachées dans un film polyéthylène. La mise à feu est assurée au moyen d'une torche imbibée d'heptane.

Afin d'éviter que le premier allumeur, disposé au niveau sol, ne s'éteigne du fait de la chute de bouteilles de verre, un second allumeur est installé au niveau de la palette du niveau 1, dans le même axe (cf. Annexe A3). Cet allumeur permet de mettre le feu à la palette bois A1.

Les pelotes sont disposées contre le panneau vertical :

- ✓ Sous la palette A0, au niveau 0.
- ✓ Sous la palette A1, au niveau 1.

Les deux allumeurs sont mis à feu avec un décalage de quelques secondes.

3 Instrumentation

L'ensemble de l'instrumentation est raccordée à un acquiiseur de données permettant le traitement, l'affichage et le stockage des mesures en temps réel.

3.1 Températures des flammes dans le stockage

L'objectif de ces mesures est de suivre la propagation du feu à l'intérieur de l'îlot de palettes. Les températures sont mesurées au niveau des palettes bois qui sont les meilleurs éléments combustibles du stockage. Par ailleurs, les volumes libres au niveau des palettes bois sont des zones privilégiées de propagation du feu. La température mesurée permet d'évaluer le niveau d'intensité local du feu.

Douze sondes de température sont centrées sous chaque palette des niveaux 1 et 2 ; quatre sondes sont également disposées à l'intersection de 8 éléments de stockage aux niveaux 1 et 2 (voir Tableaux 2 et 3 et Annexes A2 et A3).

Les sondes de température utilisées sont des thermocouples de type K à soudure nue de diamètre 0,5 mm.

Les palettes bois au niveau du sol (niveau 0) ne sont pas instrumentées.

Niveau 1

Désignation	Implantation des thermocouples
TA_1	Sous la palette A1, dans son axe.
TB_1	Sous la palette B1, dans son axe.
TC_1	Sous la palette C1, dans son axe.
TD_1	Sous la palette D1, dans son axe.
TE_1	Sous la palette E1, dans son axe.
TF_1	Sous la palette F1, dans son axe.
TG_1	A l'intersection des palettes A1, B1, D1, E1.
TH_1	A l'intersection des palettes B1, C1, E1, F1.

Tableau 2

Niveau 2

Désignation	Implantation des thermocouples
TA_2	Sous la palette A2, dans son axe.
TB_2	Sous la palette B2, dans son axe.
TC_2	Sous la palette C2, dans son axe.
TD_2	Sous la palette D2, dans son axe.
TE_2	Sous la palette E2, dans son axe.
TF_2	Sous la palette F2, dans son axe.
TG_2	A l'intersection des palettes A2, B2, D2, E2.
TH_2	A l'intersection des palettes B2, C2, E2, F2.

Tableau 3

3.2 Flux thermique rayonné par le feu

Trois fluxmètres permettent de suivre le niveau de rayonnement thermique produit par les flammes de cet essai feu. Le fluxmètre permet de mesurer le flux thermique total reçu par une cible. En réalité, le flux convectif reçu à quelques mètres est faible et le flux mesuré correspond au flux thermique rayonné par les flammes.

Les fluxmètres sont disposés dans l'axe des faces Sud, Ouest et Nord à mi hauteur du stockage (voir Tableau 4 et Annexe A2).

Désignation	Axe	Distance / îlot	Hauteur / sol
F1	Nord	3 m	3,45 m
F2	Ouest	3 m	3,45 m
F3	Sud	3 m	3,45 m

Tableau 4



3.3 Enregistrements vidéo

L'évolution du feu au cours de l'essai est enregistrée par 2 caméscopes :

- ✓ Caméra C1 : prise de vue en grand angle de la face Nord.
- ✓ Caméra C2 : prise de vue en grand angle des faces Sud / Ouest.

Le film de l'essai est joint sur un CD à ce rapport d'essai. Un dossier photographique est présenté en Annexes C1 à C8.



4 Essai

4.1 Chronologie de l'essai / Constatations visuelles

Essai feu réalisé le 21 décembre 2005 à 15 h.

Temps	Evénements
0' 00	Mise à feu des allumeurs en coton imbibé d'essence au niveau des palettes bois A0 et A1. Propagation du feu au panneau carton.
1' 20	Les flammes atteignent le sommet du panneau de carton.
1' 25	Eclats / chutes des premières bouteilles sous l'effet du fort rayonnement thermique lié à la combustion du panneau de carton.
2' 00	Flammes dans les palettes bois des 3 niveaux de la colonne A.
2' 15	Chutes continues de bouteilles / morceaux de verre sous l'effet du rayonnement thermique du panneau de carton en feu. Sous un tas de verre, l'allumeur situé au sol, au niveau de la palette bois A0 s'éteint.
4' 10	Fin de la combustion du panneau carton. La face exposée de la pile de palette est en feu, les palettes bois A1 et A2 sont en feu. Le feu commence à propager vers les autres palettes bois.
5' 30	Le feu se propage vers les colonnes D, B et E au niveau des palettes bois du niveau 1, et dans une moindre mesure au niveau 2 (bois). De plus, le feu se propage sur les faces latérales du stockage du haut vers le bas par la combustion du film plastique et la chute de gouttelettes enflammées.
6' 40	Le feu semble s'éteindre dans le bois de la palette A2, probablement à cause du flux de fumées qui s'intensifie au fur et à mesure de la perte de puissance du feu.
13' 00	Le feu progresse dans le bois de la palette D1 et voit sa puissance baisser localement au niveau du bois de la palette A1. Ce processus, caractéristique d'une propagation du feu de proche en proche, se répètera sur les autres palettes (inflammation des palettes voisines au niveau des palettes bois et arrêt de la combustion vive de la palette propagatrice du feu). Le film des faces latérales se consume petit à petit, en partant du niveau de la palette bois supérieure et en descendant petit à petit (chute de gouttelettes enflammées).
17' 00	Combustion vive du bois de la palette C1.
18' 00	D'après les scintillements visibles, on constate que le feu s'est propagé à l'intérieur de la palette A0, entre les bouteilles de bière, par la chute de gouttelettes enflammées dans les intercalaires plastique. De proche en proche, le plastique se consume uniquement si suffisamment d'air est disponible ; cela explique le scintillement. Ce processus se répètera pour les autres palettes, une fois le bois de la palette supérieur brûlé.



Temps	Evénements
23' 00	Le feu s'est propagé vers B1 et E1. Feu fort de la palette bois puis baisse de puissance locale.
28' 00	Combustion vive du bois de la palette F1.
30' 00	Combustion du film latéral des palettes F0 et C0. Combustion des intercalaires dans les palettes F0 et C0.
30' 40	Eloignement les flux mètres, qui reçoivent un signal de rayonnement thermique quasi nul, pour éviter l'effondrement de colonnes de palettes sur ces dispositifs de mesure.
38' 00	Ecartement des colonnes A et D de leur axe vertical. La colonne A s'appuie sur le paravent support du panneau carton à l'Est.
45' 00	Ecartement sensible des colonnes H et C de l'axe vertical.
46' 00	Chute de la colonne C.
50' 40	Chute de la colonne A. La colonne est déstabilisée par la combustion des palettes bois, et la perte de cohérence liée à la combustion des intercalaires.
52' 00	Chute de la colonne F.
52' 30	Chute de la colonne B.
59' 00	Début de l'extinction à la lance incendie (eau). Le jet bâton est préféré pour l'attaque du feu car il permet de rester éloigné des deux colonnes de palettes instables restées debout. L'extinction concerne principalement le bois des palettes. Pour que l'extinction soit totale, l'eau doit aussi pénétrer à l'intérieur des palettes, entre les bouteilles.
65' 00	Fin de l'extinction / Fin de l'essai.

4.2 Mesures

Voir courbes en Annexes B1 à B5.



5 Conclusions

Ces conclusions sont valables pour les palettes filmées de bouteilles de verre avec des intercalaires en plastique ou en carton.

Vulnérabilité à l'inflammation

Le film plastique périphérique est un élément vulnérable aux sources d'inflammation de faible puissance : sources électriques, travaux par points chauds mal protégés, actes d'imprudences. En brûlant le film plastique produit de courtes flammes et des gouttelettes enflammées. Sa combustion est peu énergétique. Il n'est pas certain que l'inflammation du film puisse systématiquement entretenir une combustion prolongée. Bien qu'aléatoire, l'extension d'un départ de feu de ce type demeure l'une des causes de départ de feu possible.

Un initiateur de plus forte puissance (chiffon imbibé d'essence, épandage de liquide inflammable, acte de malveillance, feu sur un pile voisine d'intercalaires ou de palettes) pourrait propager plus rapidement et certainement le feu à la palette bois. La combustion de la palette bois est nécessaire pour qu'un départ du feu se prolonge sur une palette de bouteilles.

Mode de propagation du feu

Le feu se propage préférentiellement par l'intermédiaire des palettes bois dans les îlots de stockage. Les palettes bois présentent l'inconvénient d'être de bons combustibles. Elles offrent au feu un espace semi-confiné et aéré, favorable à son essor. La combustion vive d'une palette bois dure pendant environ 5 minutes (*cf. niveaux de température de l'Annexe B1*). La combustion se prolonge ensuite sous forme de braises à une puissance plus limitée.

Etant disposées aux mêmes niveaux, la propagation entre les palettes bois est possible dans le plan horizontal. Le feu se propage de proche en proche, de palette en palette, à condition que la ventilation soit bonne. La propagation est donc plus rapide sur les côtés qu'à l'intérieur des îlots. Les flammes émises par une palette bois dans sa phase de combustion vive sont indispensables pour porter le combustible voisin jusqu'à sa température d'inflammation. *Ce phénomène a été observé lors de l'essai feu ; il est transcrit dans l'Annexe B1 pour les palettes bois du niveau 1.*

La propagation du feu dans le sens vertical ascendant est lente. Elle est réalisée par le cheminement des flammes et fumées entre les palettes (hauteur 2,4 m). La puissance du feu n'est cependant pas suffisante pour que les palettes bois des niveaux supérieurs soient portées à des températures compatibles avec leur inflammation (300 °C au moins). De plus la concentration en oxygène dans le panache des fumées du foyer est diminuée, ce qui est peu favorable. *Durant l'essai, la palette bois A2 a été portée à un niveau de température important pendant 3 min lors de la phase d'allumage du panneau de carton. Ensuite, il n'a pas été constaté de propagation du feu au second niveau à partir de cette palette (cf. Annexe B3). A partir de 43 min, les niveaux de température ont pu augmenter sensiblement (cf. Annexe B3 et B4) du fait de l'écartement des colonnes de palettes. Le passage des flammes et fumées ainsi que l'aération ont ainsi été facilités.*



On a par ailleurs constaté durant cet essai une propagation du feu dans le sens vertical descendant. Compte tenu du mode d'allumage sévère, de nombreuses bouteilles directement exposées aux flammes brillantes du panneau de carton (700 – 800 °C) se sont brisées ou sont tombées au niveau du sol. L'accumulation de ces bouteilles et éclats de verre a empêché le développement du feu dans la palette bois A0. Le feu s'est en revanche épanoui au niveau 1, non concerné par ce phénomène.

A partir des palettes bois du niveau 1, des gouttelettes plastique enflammées sont tombées à l'intérieur des palettes, entre les bouteilles. *Cela s'est constaté visuellement lors de l'essai par un scintillement dans les bouteilles des palettes du niveau 0.* Ce mode de propagation est lié à la chute de gouttelettes enflammées d'intercalaires. Initié au contact de la palette bois lors de sa combustion vive, ce phénomène se propage vers le bas de proche en proche. L'inflammation des gouttelettes plastiques est intermittente (gouttelettes peu énergétiques qui ne propagent pas systématiquement leur flamme plus bas). La combustion partielle mais progressive des intercalaires plastique et de la palette bois diminue la stabilité des colonnes de palettes ce qui explique leur effondrement après quelques dizaine de minutes.

Ce phénomène ne serait pas observé pour des intercalaires en carton (pas de gouttelettes enflammées).

Vitesse de propagation du feu

En l'absence de vent, la vitesse de propagation radiale du feu dans les palettes (dans le plan horizontal) est de l'ordre de 1 palette en 5 min, soit 1 m environ en 5 min (*cf. Annexe B1*). Cette vitesse de propagation est faible, en l'absence de vent. Elle pourrait être néanmoins significativement augmentée sous le vent, s'il souffle dans l'entrepôt « parapluie ».

Puissance du feu

La puissance globale d'un feu est une information intéressante car elle détermine l'évolution des paramètres quantifiables du feu : température des flammes et fumées en fonction de la hauteur, débit de fumées, quantité d'air entraînée, etc. En modélisation, c'est aussi une donnée d'entrée utile pour la description d'un scénario feu. Techniquement difficile à mettre en œuvre avec précision pour les essais feu en grandeur réelle, la mesure de la puissance du foyer n'a pas été réalisée ici. Néanmoins, il est possible d'estimer cette puissance (au moins en terme d'ordre de grandeur) sur la base de l'expérience et des constatations et mesures réalisées lors de l'essai.

L'expérience montre qu'une palette bois dégage une puissance thermique maximale environ égale à 300 kW. Les autres éléments combustibles (film et intercalaires) des palettes de bouteilles de verre libèrent une puissance qui peut être négligée en comparaison de la puissance thermique d'une palette bois.

On peut donc estimer que lors de l'essai, compte tenu du nombre réduit de palettes bois en feu simultanément, la puissance maximale du foyer ne devait pas dépasser environ 600 kW. Cette puissance est limitée par le manque de combustibles disponibles comme aliment du feu compte tenu de l'arrangement des palettes.



En cas de sinistre réel dans un entrepôt de stockage, la zone de feu fort resterait cantonnée à un nombre limité de palettes, se déplaçant petit à petit, au fur et à mesure de l'épuisement du combustible, comme cela a été observé lors de l'essai. La généralisation du feu à la totalité d'une surface de stockage est écartée, que ce soit pour des entrepôts fermés ou « parapluie ». On peut estimer que la puissance totale resterait inférieure à 1 MW.

En cas de vent fort, la vitesse de déplacement du feu dans l'entrepôt serait probablement augmentée, ainsi que la puissance du foyer. Néanmoins, le vent n'aurait pas ou peu d'effet sur la combustion à cœur dans un îlot de palettes.

Fumées

Les fumées émises sont grises avec une odeur de paraffine caractéristique de la combustion du polyéthylène du film et des intercalaires. La couleur grise est liée à la présence d'aérosols de combustion, la quantité de suies produites est faible (< 10 g de suies par kg de combustible brûlé).

Lors de l'essai, le débit d'air entraîné par le foyer était de l'ordre de 1 kg/s.

Effondrement des piles de palettes

Lors de l'essai, les premiers effondrements de piles de palettes ont eu lieu 45 min après la mise à feu. En cas de sinistre réel, cette durée pourrait être allongée si l'allumage était moins sévère ou raccourcie si le vent soufflait. On peut aussi supposer que pour les arrangements de palettes en forme de pyramide (4 palettes à la base de l'îlot, 3 ou 4 palettes au niveau central et 2 à 3 palettes au niveau supérieur), la tendance à l'effondrement des piles de palettes serait moindre, la stabilité étant meilleure.

On a constaté que l'effondrement des colonnes de palettes est lié à la déstabilisation des palettes supérieures après :

- ✓ *La combustion du bois de la palette du niveau 1.*
- ✓ *La combustion partielle des intercalaires du niveau 0. La cohérence de l'empilement des bouteilles est perturbée, entraînant la chute de bouteilles périphérique puis la déstabilisation des palettes supérieures.*

Après qu'une pile de palette se soit effondrée, la puissance du feu y est résiduelle. Sur les piles voisines restées debout, le feu peut être réactivé localement du fait d'une meilleure ventilation.



Flux thermiques rayonnés

Les enregistrements des flux mètres indiquent que la puissance thermique rayonnée par le feu est très faible. Ce flux est inférieur à 0,5 kW/m² à 3 m de l'îlot en feu, cf. Annexe B5.

Un feu sur ce type de stockage se manifeste essentiellement par des fumées, même si elles ne sont pas très chaudes. Les flammes produites sont trop petites et trop intermittentes pour être fortement émissives.

En cas d'incendie dans un entrepôt, les zones d'effets de flux thermiques rayonnés (à 8, 5, 3 kW/m²) ne dépasseraient pas quelques mètres devant la zone en feu, même dans le cas d'hypothèses très pénalisantes.

L'impact d'un tel incendie sur les structures et la toiture devrait être limité. On ne peut cependant exclure des effondrement locaux.

Extinction

L'extinction est réalisée à l'eau et ne présente pas de difficulté particulière, outre les risques d'effondrement de palettes et de bris de verre. L'extinction totale du feu nécessite de pouvoir mouiller l'intérieur des palettes effondrées et des tas de verre au sol.

La composition des eaux d'extinction a été étudiée spécifiquement par le CNPP. Ces analyses font l'objet d'un rapport distinct.



6 Annexes

- A1 : Dispositif d'essai**
- A2 & A3 : Implantation des mesures**
- B1 à B5 : Courbes enregistrées pendant l'essai**
- C1 à C8 : Dossier photographique**