



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

**Méthodes pour l'évaluation et la prévention
des risques accidentels
(DRA-006)**

Ω -4

**Modélisation d'un incendie affectant
un stockage de générateurs
d'aérosols**

Direction des Risques Accidentels

Septembre 2002

Ω-4

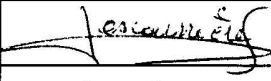

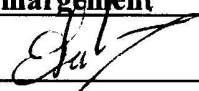

Modélisation d'un incendie affectant un stockage de générateurs d'aérosols

INERIS

Ce document comporte 57pages, hors annexes

DIRECTION DES RISQUES ACCIDENTELS

Septembre 2002

PAGE DE VALIDATION			
Ω-4 : INCENDIE DE GENERATEURS D'AEROSOLS			
Rédaction initiale			
Auteurs	Qualité	Date	Emargement
S. Descourrière	Ingénieur Unité EVAL	30/09/02	
E. Bernuchon	Responsable Programme	30/09/02	
Vérificateur final	Qualité	Date	Emargement
O. Salvi	Délégué Scientifique	30/9/2002	
Approbateur	Qualité	Date	Emargement
B. Faucher	Directeur DRA	30/9/2002	

Répertoire des modifications

Révision	Relecture	Application	Modifications
Projet	Décembre 2000		Création du document
Version 1	Septembre 2002	20/09/02	Rapport final version 1

PREAMBULE

Le présent document a été établi :

- au vu des données scientifiques et techniques disponibles ayant fait l'objet d'une publication reconnue ou d'un consensus entre experts,
- au vu du cadre légal, réglementaire ou normatif applicable.

Il s'agit de données et informations en vigueur à la date de l'édition du document, le 20 septembre 2002.

Le présent document comprend des propositions ou recommandations. Il n'a en aucun cas pour objectif de se substituer au pouvoir de décision du ou des gestionnaire(s) du risque ou d'être partie prenante.

TABLE DES MATIERES

1	OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION	10
1.1	Objectif	10
1.2	Domaine d'application.....	10
1.2.1	Rappel succinct sur le phénomène	10
1.2.2	Démarche observée.....	11
2	PRÉSENTATION GÉNÉRALE	12
2.1	Description générale du produit.....	12
2.2	Classement des générateurs d'aérosols au titre de la nomenclature ICPE	13
2.3	Classification des produits sous forme d'aérosols	14
2.4	Mode de conditionnement.....	16
2.5	Mode de stockage.....	16
3	DANGERS PRÉSENTÉS PAR LES PRODUITS	19
3.1	G.P.L.	19
3.1.1	Caractéristiques physico-chimiques moyennes	20
3.1.2	Fiches de données de sécurité	22
3.2	Diméthyléther	24
3.2.1	Principales caractéristiques physico-chimiques	24
3.2.2	Inflammabilité.....	25
3.2.3	Propriétés biologiques.....	25
3.3	Alcools	25
3.3.1	Caractéristiques physiques.....	25
3.3.2	Valeurs seuils de toxicité	26
4	ANALYSE D'ACCIDENTS	27
4.1	Accidents impliquant des générateurs d'aérosols	27
4.2	Conclusions	28
5	ESSAIS D'INCENDIE DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS	29
5.1	Aspects théoriques sur le phénomène.....	29
5.2	Présentation générale des essais de l'INERIS	29
5.2.1	Enseignements des essais préliminaires de l'INERIS	30
5.2.2	Enseignements des essais de l'INERIS sur une palette de générateurs d'aérosols	30
5.2.3	Enseignements des essais de l'INERIS sur plusieurs palettes de générateurs d'aérosols....	31
5.2.4	Synthèse des essais de l'INERIS sur les phénomènes	36

5.2.5	Synthèse des essais de l'INERIS sur les flux thermiques générés	36
5.2.6	Synthèse des essais de l'INERIS sur les projections de boîtiers.....	37
5.2.7	Synthèse des essais de l'INERIS sur le comportement des structures.....	38
5.3	Presentation générale des essais de FMRC.....	38
5.4	Interprétation des essais réalisés par l'INERIS.....	39
5.4.1	Démarche d'analyse des résultats des essais réalisés par l'INERIS.....	39
5.4.2	Interprétation des résultats des essais réalisés par l'INERIS	41
6	DÉFINITION DES SCÉNARIOS ET ESTIMATION DE LEURS CONSÉQUENCES	43
6.1	Définition des scénarios d'accidents à retenir	43
6.2	Modélisation du comportement d'un stockage de palettes de générateurs d'aérosols prises dans un incendie.....	44
6.3	Détermination des distances d'effets associées.....	45
6.4	Exemple d'application de la méthode	46
6.5	Toxicité des fumées de combustion.....	48
6.6	Projections	48
7	MESURES DE PRÉVENTION ET DE PROTECTION	49
7.1	Synthèse des textes réglementaires, normes et références.....	49
7.2	Elements de reflexion relatifs à la sécurité d'un stockage de générateurs d'aérosols .	49
7.2.1	Conception de la zone de stockage.....	49
7.2.2	Dimensionnement des dispositifs de prévention et de protection	50
7.2.3	Intervention sur un incendie	51
7.2.4	exploitation du stockage de générateurs d'aérosols.....	51
8	CONCLUSION	53
9	GLOSSAIRE	55
10	BIBLIOGRAPHIE	56
11	LISTE DES ANNEXES	57
1	ESSAIS PRÉLIMINAIRES SUR UN GÉNÉRATEUR D'AÉROSOLS .2	
2	ESSAIS PORTANT SUR UNE PALETTE DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE ET SUR UNE PALETTE DE DEODORANTS	3

2.1	Présentation des essais.....	3
2.2	Résultats des essais	3
2.3	Observations	8
2.4	Interprétation des essais	9
1	ESSAI PORTANT SUR TROIS PALETTES DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE	1
1.1	Présentation de l'essai	1
1.2	Observations et résultats	1
1.3	Interprétation de l'essai.....	2
2	ESSAI PORTANT SUR SIX PALETTES DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE	3
2.1	Présentation de l'essai	3
2.2	Observations et résultats	3
2.3	Interprétation de l'essai.....	4
3	ESSAI PORTANT SUR TROIS PALETTES DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS D'INSECTICIDE	5
3.1	Présentation de l'essai	5
3.2	Observations et résultats	5
3.3	Interprétation de l'essai.....	6
4	ESSAI PORTANT SUR SIX PALETTES DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS DE PRODUITS D'ENTRETIEN MÉNAGER	7
4.1	Présentation des essais.....	7
4.2	Observations et résultats	7
4.3	Interprétation de l'essai.....	8
5	ESSAI PORTANT SUR SIX PALETTES DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS DE DÉODORANT	9
5.1	Présentation de l'essai	9
5.2	Observations et résultats	9
5.3	Interprétation de l'essai.....	10

6	ESSAI PORTANT SUR NEUF PALETTES DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE	11
6.1	Présentation de l'essai	11
6.2	Observations et résultats	11
6.3	Interprétation de l'essai.....	12

1 OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION

1.1 OBJECTIF

Depuis l'année 2000, le Ministère chargé de l'Environnement (aujourd'hui Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, anciennement Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement) finance un programme d'études et de recherches, intitulé « Recueil des méthodes utilisées à l'INERIS dans le domaine des risques accidentels » (DRA-006).

L'objet de ce programme est de réaliser un recueil global formalisant l'expertise de l'INERIS dans le domaine des risques accidentels. Ce recueil sera constitué de différents rapports consacrés aux thèmes suivants :

- les phénomènes physiques impliqués en situation accidentelle (incendie, explosion, BLEVE...)
- l'analyse et la maîtrise des risques,
- les aspects méthodologiques pour la réalisation de prestations réglementaires (étude de dangers, analyse critique..)

Chacun de ces documents reçoit un identifiant propre du type « Ω -X » afin de faciliter le suivi des différentes versions éventuelles du document.

In fine, ces documents décrivant les méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels, constitueront un recueil des méthodes de travail de l'INERIS dans le domaine des risques accidentels.

1.2 DOMAINE D'APPLICATION

Le présent rapport, baptisé « Ω -4 », présente la démarche adoptée par l'INERIS pour l'étude des incendies susceptibles de se développer dans un stockage de générateurs d'aérosols.

Il s'inscrit dans une démarche de valorisation du savoir-faire de l'INERIS auprès des pouvoirs publics, des industriels et du public.

1.2.1 RAPPEL SUCCINCT SUR LE PHENOMENE

Les atomiseurs, ou générateurs d'aérosols, regroupent tous les produits conditionnés en boîtiers qui permettent la pulvérisation de leur contenu sous forme de fines gouttelettes. Les mousses et gels à raser conditionnés en boîtiers sont également rangés dans cette famille, car ils contiennent eux aussi un gaz propulseur.

L'usage des générateurs d'aérosols a fortement augmenté au cours des dernières années, aussi bien dans le domaine industriel que domestique et, dans ce dernier cas, pour des applications très diverses comme la cosmétique (laque capillaire, déodorant, etc) ou les produits d'entretien (insecticide, cire, peinture, etc).

Avant d'atteindre leur lieu d'utilisation, ces générateurs sont stockés et transportés, d'abord par le fabricant puis par le grossiste et enfin par le détaillant, sous des formes et des tailles de conditionnement qui peuvent varier au cours du processus de distribution, mais qui correspondent généralement à une quinzaine de caisses en carton, contenant chacune une à deux dizaines de générateurs, empilées sur une palette.

Un produit conditionné sous forme d'aérosol est constitué :

- d'une part, d'une base liquide contenant les produits actifs en solution dans un solvant (alcool éthylique, solvant aromatique ou autre),
- d'autre part, d'un gaz assurant la propulsion du produit (les G.P.L., qui regroupent le butane et le propane, le Diméthyléther (DME), qui ont remplacé les CFC ininflammables).

Le solvant est le plus souvent un liquide inflammable et le gaz propulseur est un gaz également inflammable.

Il y a donc lieu d'envisager l'occurrence d'un incendie dès lors qu'un entrepôt de stockage est susceptible de recevoir notamment des générateurs d'aérosols.

Quelques incendies se sont effectivement produits dans des entrepôts de stockage de générateurs d'aérosols, en France comme à l'étranger. Il a été constaté que ces incendies se caractérisent par une propagation du feu extrêmement rapide et un rayonnement intense.

L'extinction d'un tel incendie est donc particulièrement difficile.

L'objet de cette synthèse est de présenter quelques éléments de réflexion concernant la modélisation de scénarios d'incendie et la sécurité dans un stockage de générateurs d'aérosols.

1.2.2 DEMARCHE OBSERVEE

Après cette brève définition du domaine d'application, nous adopterons la démarche suivante pour l'étude du comportement de palettes de générateurs d'aérosols prises dans un incendie :

- chapitre 2 : présentation générale,
- chapitre 3 : dangers présentés par les produits,
- chapitre 4 : analyse d'accidents,
- chapitre 5 : essais d'incendie de générateurs d'aérosols,
- chapitre 6 : définition des scénarios et estimation de leurs conséquences,
- chapitre 7 : mesures de prévention et de protection.

2 PRESENTATION GENERALE

Les produits conditionnés sous forme de générateurs d'aérosol sont destinés à des usages très divers que ce soit dans le domaine domestique (cosmétique, entretien...) ou industriel. Il n'est donc pas question ici de décrire dans le détail les innombrables formulations existantes mais plutôt de définir quelques caractéristiques générales et représentatives de ce type de produits.

2.1 DESCRIPTION GENERALE DU PRODUIT

Les produits conditionnés sous forme d'aérosols sont principalement :

- les mousses et les gels de rasage,
- les produits d'hygiène corporelle (déodorant, laque pour cheveux, etc),
- les produits d'entretien domestique ou automobile (détergeant, insecticide, cire, peinture, etc).

Un produit conditionné sous forme d'aérosol est généralement constitué :

- d'une part, d'une base liquide contenant les produits actifs en solution dans un solvant,
- d'autre part, d'un gaz assurant la propulsion du produit.

Les générateurs d'aérosols traditionnels contiennent en général environ 60 % massique de gaz propulseur et 40 % massique de base alcoolique. Depuis le début des années 90, les formulations de certains produits conditionnés en générateurs d'aérosols contiennent une fraction importante (jusqu'à 95 % massique) de gaz propulseurs. De plus, le solvant de la base peut être aqueux ; on parle dans ce cas d'aérosols « light », sans alcool. Les mousses et gels de rasage sont le plus souvent des produits à base aqueuse contenant moins de 5 % de gaz propulseur.

Les produits actifs représentent en général entre 5 et 20 % massique de la base.

Dans le cas d'une base alcoolique, celle-ci est ainsi constituée, entre 80 % et 95 %, d'un solvant de type :

- alcool méthylique (méthanol : CH_3OH),
- alcool éthylique (éthanol : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$),
- alcool isopropylique (isopropanol : $(\text{CH}_3)_2\text{-CHOH}$).

Le gaz propulseur peut être constitué de :

- mélange de Propane et Butane (couramment appelés G.P.L) ; ces gaz peuvent être mélangés à un solvant, par exemple le n-pentane. La proportion de propane dans le mélange de G.P.L. varie entre 1 % et plus de 80 %,
- diméthyléther (DME) ou éther méthylique ou encore oxyde de méthyle (CH_3OCH_3).

A titre indicatif sont fournis ci-après des exemples de composition massique de produits divers, couramment rencontrés :

- produit d'entretien ménager : 61 % d'eau, 13 % de composés actifs et 36 % de gaz propulseur (hydrocarbure de type G.P.L ou DME),
- insecticide : 57 % d'eau, 6 % de solvants organiques et 36 % de gaz propulseur (hydrocarbure de type G.P.L ou DME),
- laque : 60 % de gaz propulseur (hydrocarbure de type G.P.L ou DME) et 38 % de solvant alcoolique,
- déodorant : 55 % de gaz propulseur (hydrocarbure de type G.P.L ou DME) et 42 % de solvant alcoolique.

Il est à noter que les informations données dans ce paragraphe sont à adapter si possible en fonction de chaque produit particulier.

2.2 CLASSEMENT DES GENERATEURS D'AEROSOLS AU TITRE DE LA NOMENCLATURE ICPE

A l'heure actuelle, il n'existe pas, pour le stockage de générateurs d'aérosols, de rubrique spécifique dans la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

Il est alors d'usage de se rapporter aux rubriques correspondant aux différents composés de la formulation d'un aérosol donné afin de déterminer le seuil de classement d'un stockage éventuel.

Ainsi, il convient de :

- déterminer d'une part les quantités totales de gaz propulseur et de se référer, le cas échéant, à la rubrique 1412 concernant les gaz inflammables liquéfiés,
- déterminer d'autre part les quantités des autres substances dangereuses contenues dans la formulation et de se reporter aux seuils des rubriques de la nomenclature associées (par exemple la rubrique 1432 relative aux liquides inflammables lorsque la base est de type alcoolique).

Un exemple fictif est présenté ci-dessous à titre d'illustration.

Prenons le cas d'un stockage de 200 t de générateurs d'aérosols avec la formulation massique suivante :

- 50 % de GPL en tant que gaz propulseur,
- 30 % d'éthanol en tant que solvant,
- le reste de la formulation (principes actifs...) est considéré comme non dangereux ou non classé.

La démarche pour déterminer le classement de ce stockage est synthétisée dans le tableau ci-dessous.

Produits	Quantité totale (t)	Rubrique correspondante	Seuils de la rubrique	Classement
GPL (propulseur)	50 % x 200 = 100 t	1412	AS : Q ≥ 200 t A : Q ≥ 50 t D : 6 ≤ Q < 50 t	Autorisation
Ethanol	30 % x 200 = 60 t soit environ 75 m ³	1432 cat.B	AS : Q ≥ 10.000t A : C _{éq} > 100 m ³ D : 10 ≤ C _{éq} ≤ 100 m ³	Déclaration

Tableau 1 : Exemple de classement d'un stockage de générateurs d'aérosols

Avec :

AS : Autorisation avec servitude d'utilité publique

A : Autorisation

D : Déclaration

Q : Quantité maximale présente dans l'installation (t)

C_{éq} : Capacité équivalente totale (m³) (voir définition de la rubrique 1432)

Ce principe de classement par ségrégation fictive des produits s'applique bien entendu également dans les règles de cumuls pour la détermination du seuil AS (décret n°99-1220 du 28/12/1999) et l'application de l'arrêté du 10 mai 2000.

Ainsi, dans l'exemple considéré, le stockage serait classé sous le régime de l'autorisation (A) et serait soumis à l'arrêté du 10 mai 2000 (paragraphe 1.2.1)

2.3 CLASSIFICATION DES PRODUITS SOUS FORME D'AEROSOLS

En tenant compte aussi bien des résultats d'essais en grandeur réelle, que d'essais d'inflammabilité de générateurs d'aérosols à petite échelle ou encore de mesures de chaleur de combustion, Factory Mutual ⁽¹⁾ a introduit une classification des formulations d'aérosols, qui a été reprise par le code NFPA 30B intitulé « Manufacture and storage of aerosol products » (1994 edition) et qui fait aujourd'hui référence.

Pour déterminer la classe d'une formulation, il convient de déterminer sa chaleur de combustion ΔH_{comb} à partir de la chaleur de combustion $(\Delta H_{comb})_i$ et de la fraction massique x_i de chacun de ses constituants inflammables :

$$\Delta H_{comb} = \sum x_i (\Delta H_{comb})_i$$

¹ Organisme d'assurance aux USA

Les valeurs de $(\Delta H_{comb})_i$ pour les constituants les plus courants des formulations des générateurs d'aérosols sont rassemblées dans le tableau A-1-7 du code 30B du NFPA (voir Annexe 1).

L'appartenance d'une formulation à l'une des trois classes est explicitée dans le Tableau 2.

Classe	Teneur massique en produits inflammables miscibles à l'eau	Teneur massique en produits inflammables non miscibles à l'eau	ΔH_{comb} (kJ/g)
1	inférieure à 25 %	inférieure à 25 %	Inférieure à 20
2	comprise entre 25 % et 100 %	comprise entre 25 % et 55 %	comprise entre 20 et 30
3	-	supérieure à 55 %	Supérieure à 30

Tableau 2: Classification des produits sous forme aérosols selon Factory Mutual

La proportion massique de gaz inflammable dans le boîtier aérosol a également une influence sur la classe de ce produit :

- si cette proportion est supérieure à 80 %, le produit appartient à la classe n°3,
- si cette proportion est supérieure à 50 %, il appartient à la classe supérieure par rapport à son classement initial relatif à la formulation de sa base.

La classe d'une formulation rend compte de la charge thermique associée à cette formulation. **Cette dernière est représentative de la vitesse de propagation d'un incendie dans un stockage, qui est d'autant plus grande que le numéro de la classe est élevé.**

Factory Mutual a de plus utilisé cette classification pour dimensionner les moyens d'extinction automatique dans un stockage de générateurs d'aérosols.

La classe 1 regroupe différents types de produits. On y trouve notamment les mousses (par exemple les mousses à raser ou les mousses cosmétiques), l'amidon pour le repassage, les produits d'entretien, certains insecticides, certains shampooings pour moquettes, certains déodorants d'atmosphère.

Ces produits, de par leur formulation, peuvent présenter un caractère inflammable, mais la proportion de produit ininflammable (d'eau en particulier) permet de ralentir la propagation d'un éventuel incendie.

Ainsi, on pourra retenir que les produits sous forme aérosol de classe 1 ne présentent pas de risque d'incendie accru par rapport aux mêmes produits conditionnés de façon standard à pression atmosphérique.

Les produits de classe 2 sont essentiellement des produits d'hygiène corporelle et de cosmétique (comme les déodorants, la laque pour cheveux, les antiseptiques) ainsi que certains produits pour cirer les meubles ou pour dégivrer.

Les produits de la classe 3 comprennent notamment des produits pour l'automobile (par exemple des nettoyeurs pour carburateurs, des lubrifiants), des produits domestiques

(comme les vernis pour meuble), des peintures, quelques insecticides et des antitranspirants à base d'huile.

Il est à noter que les exemples mentionnés ci-dessus pour chacune des trois classes sont donnés à titre indicatif : seule la formulation exacte du mélange conditionné en aérosol permet de déterminer la classe du produit.

2.4 MODE DE CONDITIONNEMENT

Les boîtiers générateurs d'aérosols sont généralement métalliques, soit en fer blanc, soit en aluminium ; leur capacité varie de 150 ml à 400 ml. Il est à noter que ce type de boîtier est normalement conçu pour résister à une pression interne maximale de l'ordre de quelques bars, cette pression étant définie plus précisément dans les textes réglementaires relatifs à ces produits.

Les générateurs sont stockés et transportés dans des conditionnements dont les formes et les tailles peuvent varier au cours du processus de distribution. Néanmoins, les générateurs d'aérosols sont généralement disposés dans des emballages en carton, souvent banderolés d'un film plastique, contenant une à deux dizaines de générateurs. Dans le cas de stockages industriels, ces boîtes sont empilées sur une palette normalisée, dont les dimensions en mètres sont de l'ordre de 1,00 x 0,80 x 1,00. Une palette peut contenir, à titre indicatif, 1 680 générateurs de 360 ml.

La composition moyenne approximative d'une palette de générateurs d'aérosols est la suivante :

- entre 200 et 500 kg de produit, comprenant le produit actif en solution dans de l'alcool et le mélange propulseur (soit environ 200 kg de G.P.L. pour des laques ou des déodorants),
- entre 50 et 85 kg de métal (30 à 50 grammes de fer ou aluminium par boîtier),
- 25 kg de bois pour la palette,
- 15 kg de carton,
- 8,5 kg de polypropylène (5 grammes par capot d'un boîtier),
- 250 g de polyéthylène ou de PVC pour le film de banderolage.

2.5 MODE DE STOCKAGE

L'entreposage industriel est généralement réalisé dans des entrepôts couverts sur une surface au sol de quelques milliers de m².

Il existe deux configurations possibles pour stocker les palettes :

- l'entreposage est effectué en palettes normalisées, disposées sur une ossature constituée de palettières métalliques sur plusieurs hauteurs. Chaque niveau de stockage est séparé d'une hauteur variant en général de 2,10 m à 2,20 m. Cette disposition a pour inconvénient « d'aérer le feu », favorisant ainsi un incendie rapide et violent par apport massif d'oxygène. Cependant, elle permet de lutter plus efficacement contre un départ d'incendie, en installant des niveaux intermédiaires de sprinklers entre chaque niveau de stockage ;

- les palettes sont empilées les unes sur les autres. Dans ce cas, le feu dispose de moins d'oxygène mais il n'est plus possible d'intervenir sur un départ d'incendie se déclarant au cœur du dépôt.

Les palettiens sont le plus souvent disposés selon les règles de l'art. Ils sont alors prévus pour être auto-stables et non reliés à des structures porteuses. Les palettiens peuvent être liaisonnés entre eux par leur dernier niveau de pose. De plus, ils sont normalement prévus pour s'effondrer sur eux-mêmes en cas de perte de leur résistance mécanique (due au feu, par exemple). Ainsi, s'ils ont été correctement agencés, ils ne doivent pas porter atteinte de manière grave aux structures avoisinantes, notamment les structures porteuses ou les murs coupe-feu.

Dans le cas de stockage en palettiens, la mise en place d'un plancher de bois (aggloméré) sur chaque niveau de stockage permet de limiter « l'effet cheminée » et la propagation verticale du feu, et confère au système d'extinction automatique une meilleure efficacité.

3 DANGERS PRESENTES PAR LES PRODUITS

Compte tenu d'une part de la nature inflammable du contenu des générateurs d'aérosols et aussi de certains éléments de leur conditionnement (carton, bois, matière plastique qui sont susceptibles de générer ou d'entretenir un feu), et d'autre part des quantités de gaz liquéfiés stockées relativement importantes, le stockage de générateurs d'aérosols présente un risque important d'incendie.

Dans ce chapitre sont succinctement présentés les produits G.P.L. (butane et propane), le diméthyléther et quelques solvants alcooliques (liquides inflammables), qui représentent les principaux produits inflammables intervenant dans la composition des produits en aérosols.

3.1 G.P.L.

Le Propane et le Butane appelés couramment G.P.L. sont des Gaz de Pétrole Liquéfiés. Ils font partie de la chaîne organique des alcanes (hydrocarbures saturés).

L'appellation G.P.L. est réservée à ces deux produits car ils sont les seuls, gazeux à pression atmosphérique et à 15°C, à pouvoir être liquéfiés sous une faible pression : 0,17 à 0,75 MPa (1,7 à 7,5 bar). Ils concentrent ainsi une réserve d'énergie importante sous un petit volume et pour un emballage plus léger que celui du type « gaz comprimés » : 23 à 26 litres de liquide représentant environ 645 MJ ou 180 kWh.

Les données qui suivent sont, pour partie, extraites du document « Recueil de la Réglementation » (édition 1989) du Comité Français du Butane et du Propane (CFBP).

Le Propane, C₃H₈, de formule chimique développée CH₃ - CH₂ - CH₃, a pour numéro :

- CAS n° 74 - 98 - 6,
- EEC n° 200 - 827 - 9,
- étiquetage n° 601 - 003 - 00 - 5.

Au niveau européen, il est classé F + (très inflammable : phrase de risques R 12).

Le Butane, C₄H₁₀, quant à lui, a pour formule chimique développée CH₃ - CH₂ - CH₂ - CH₃, et pour numéro :

- CAS n° 106 - 97 - 8,
- EEC n° 203 - 448 - 7,
- étiquetage n° 601 - 004 - 00 - 0.

Au niveau européen, il est classé F + (très inflammable : phrase de risques R 12).

Ces gaz sont incolores, mais selon les conditions météorologiques, ils peuvent donner lieu, près du point d'émission, à la formation d'un brouillard visible dû à la condensation de l'eau atmosphérique, suite au refroidissement des gaz entraîné par leur détente.

3.1.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES MOYENNES

Les caractéristiques physico-chimiques moyennes du butane et propane correspondent aux caractéristiques des produits commerciaux « classiques », et non aux produits purs comme on peut les trouver dans les boîtiers d'aérosols. Toutefois, les caractéristiques sont très voisines, voire identiques. Elles sont présentées dans le Tableau 3 ci-après.

CARACTÉRISTIQUES MOYENNES	BUTANE (commercial)	PROPANE (commercial)
Masse volumique - à l'état liquide à 15°C - à l'état gazeux à 15°C et 1013 mbar	0,58 kg/dm ³ 2,44 kg/m ³	0,51 kg/dm ³ (ou 513 kg/ m ³) 1,87 kg/m ³
Densité par rapport à l'air	2,07	1,54
Pouvoir calorifique supérieur - par kg - par m ³ à 15°C et 1013 mbar (gazeux)	49,4 MJ ou 13,7 kWh (11,8 th) 120,5 MJ ou 33,5 kWh (28,8 th)	49,8 MJ ou 13,8 kWh (11,9 th) 93,3 MJ ou 25,9 kWh (22,3 th)
Pouvoir calorifique inférieur : - par kg - par m ³ à 15°C et 1013 mbar (gazeux)	45,6 MJ ou 12,66 kWh (10,9 th) 109,6 MJ ou 30,45 kWh (26,2 th)	46 MJ ou 12,78 kWh (11,0 th) 85,3 MJ ou 23,7 kWh (20,4 th)
Limite d'inflammabilité dans l'air - inférieure - supérieure	1,8 % 8,8 %	2,4 % 9,3 %
Température d'auto inflammation dans l'air (mélange correspondant à une combustion complète)	525°C	535°C
Température maximum de la flamme dans l'air	1915°C	1920°C

Tableau 3 : Caractéristiques du Butane et du Propane composant les mélanges propulseurs en aérosol

Les G.P.L. sont :

- sans caractère toxique particulier,
- non corrosifs (mais dissolvent certaines substances telles que : huiles, graisses, vernis, caoutchouc naturel),
- très fluides tant à l'état liquide qu'à l'état gazeux.

Les courbes de tension de vapeur saturante des G.P.L. en fonction de la température sont présentées sur la Figure 1.

La détente d'un litre de GPL à 15°C et 1 bar génère environ 300 l de gaz.

Courbes de pression de vapeur saturante

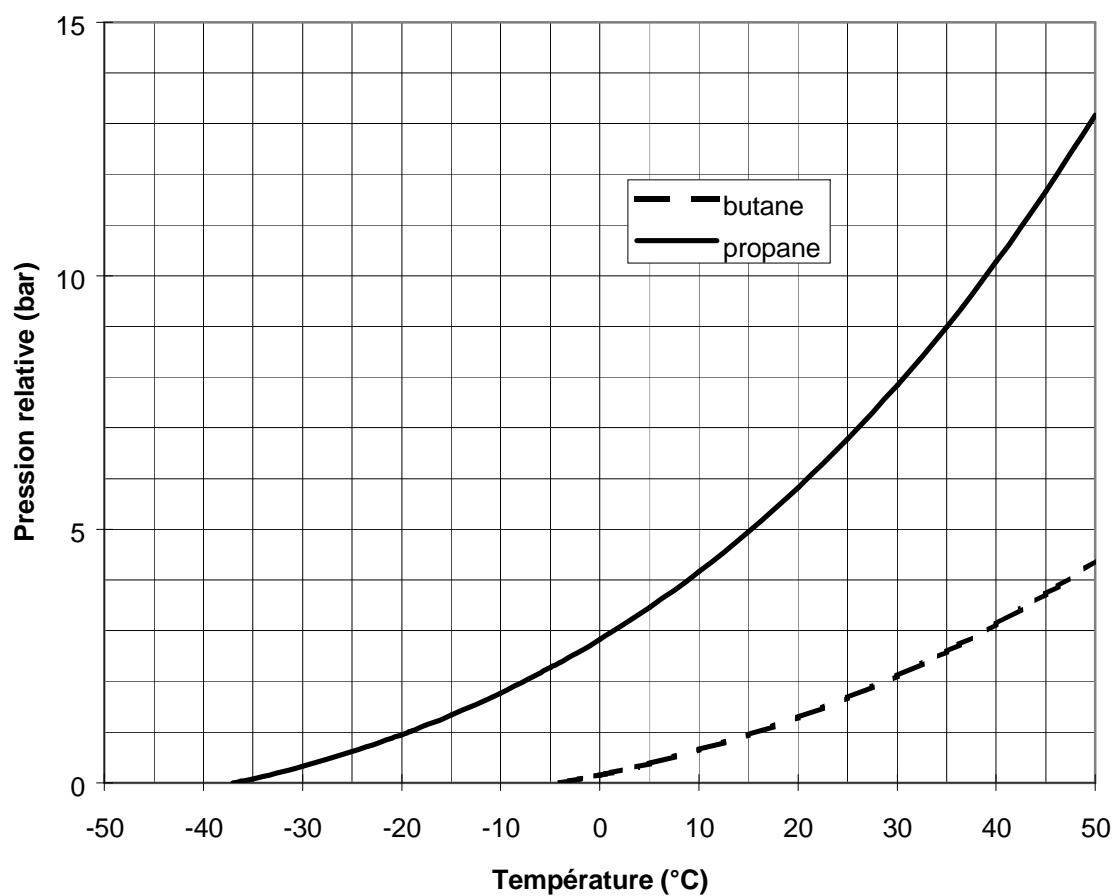


Figure 1 : courbes de tension de vapeur saturante des G.P.L.

3.1.2 FICHES DE DONNEES DE SECURITE

Les fiches de données de sécurité des G.P.L. sont présentées ci-dessous :

GAZ DE PETROLE LIQUEFIES	Fiche de données de Sécurité RISQUES SPECIFIQUES		
	Explosible <input type="checkbox"/>	Toxique <input type="checkbox"/>	Facilement inflammable <input type="checkbox"/>
	Comburant <input type="checkbox"/>	Nocif <input type="checkbox"/>	Inflammable <input type="checkbox"/>
	Corrosif <input type="checkbox"/>	Irritant <input type="checkbox"/>	Extrêmement inflammable <input type="checkbox"/>
<p>1. IDENTIFICATION</p> <ul style="list-style-type: none"> . Désignation commerciale : BUTANE - PROPANE - G.P.L. CARBURANT . Classe 2 - Selon règlement (RID, ADR, RTMD) . Fournisseur (voir cachet ci-dessus) <ul style="list-style-type: none"> - Service à contacter : . Types d'utilisation : Combustible - Carburant - Gaz propulseur - Intermédiaire pétrochimique. 			
<p>2. COMPOSITION</p> <ul style="list-style-type: none"> . Composants apportant un danger : mélanges d'hydrocarbures composés principalement de : Butanes/Butènes et/ou Propanes/Propènes 			
3. PROPRIETES PHYSIQUES	Butane commercial	Propane commercial	G.P.L. Carburant
État physique	Liquéfié/pressurisé	Liquéfié/pressurisé	Liquéfié/pressurisé
Température d'ébullition à 1013 mbar	< 0° C	< - 40° C	
Solubilité :			
Pression de vapeur relative à 15° C	1,7 bar	7,5 bar	3,4 bar
Masse volumique (état liquide à 15°C) (selon Arrêté du 3 septembre 1979)	≥ 0,559 kg/dm ³	≥ 0,502 kg/dm ³	≥ 0,530 kg/dm ³
Autres			
Densité par rapport à l'air (val moyennes)	2,07	1,54	1,80

4. STOCKAGE ET MANIPULATION

- . Précautions spéciales en cours de stockage et de manipulation :
 - Conserver le récipient dans un endroit bien ventilé
 - Tenir à l'écart de toute source d'ignition
 - Ne pas fumer
 - Éviter l'accumulation de charges électrostatiques.
- . Matériaux d'emballage :
 - bouteilles et réservoirs conformes à la réglementation.
- . Mesures individuelles de prévention et de protection :
 - En cas de risque de contact avec la phase liquide : port de gants et de lunettes recommandé.
- . Mesures après fuite ou déversement accidentel :
 - Fermer les robinets, évacuer les personnes, interdire toute source d'ignition notamment en évitant toute manœuvre d'interruption électrique sur le site, aérer largement.
- . Autres recommandations :

5. INFLAMMATION ET EXPLOSION

- . Point d'éclair : < - 50°C
- . Température d'auto-inflammation : > 400°C
- . Moyens d'extinction recommandés : extincteur à poudre
- . Mesures particulières de protection dans la lutte contre l'incendie :
 - dès le début de l'incendie :
 - éloigner du feu les récipients mobiles
 - refroidir par eau pulvérisée les réservoirs fixes, sans entraîner de risque d'exposition du personnel.
- . Autres recommandations :
 - Il est dangereux d'éteindre une flamme si on n'est pas en mesure d'arrêter rapidement la fuite.
 - Appeler les Services de Sécurité compétents.

6. RENSEIGNEMENTS TOXICOLOGIQUES

L'inhalation de vapeur de G.P.L. à concentration élevée peut entraîner des phénomènes de somnolence, ébriété, narcose, et dans les cas extrêmes, le coma (par manque d'oxygène).

7. MESURES DE PREMIERS SECOURS

- . Appeler un médecin, transporter le patient à l'air libre et le maintenir au repos.
- . En cas d'inflammation des vêtements, arroser la victime à l'aide d'eau.

8. PRECAUTIONS PARTICULIERES**9. INDICATIONS PARTICULIERES**

- . Les transvasements de G.P.L. hors de leur récipient sont interdits.
- . Toute opération de purge ou d'échantillonnage ne peut être réalisée que par un personnel spécialement formé.
- . Le contact cutané avec du G.P.L. en phase liquide entraîne une gelure par le froid.
- . La détection des fuites se fait avec de l'eau savonneuse ou des matériels appropriés

3.2 DIMETHYLETHER

Le Diméthyléther ou éther méthylique ou encore oxyde de méthyle est un gaz dans les conditions normales de pression et de température (15 °C et 760 mm Hg).

3.2.1 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Le diméthyléther (DME) est un produit incolore et inodore. Sa formule chimique est C_2H_6O ou $CH_3 - O - CH_3$. Sa masse molaire est de 46,069 g/mole, son point d'ébullition est à - 24,82°C. Sa chaleur spécifique est de 0,341 kcal.kg⁻¹.K⁻¹ (pour le gaz parfait à 25 °C).

Le Tableau 4 résume les principales caractéristiques physiques du DME.

<i>Température (°C)</i>	<i>Pression (bar)</i>	<i>Masse volumique (kg.m⁻³)</i>	
		<i>liquide</i>	<i>gaz</i>
- 24,82	1	734,7	2,34
0	2,56	698	5,75
15	4,24	674	9,18
50	11,30	612	24,95

Tableau 4 : Principales caractéristiques physiques du DME

Un litre de liquide libère 374 litres de gaz (détendu à 15 °C et 1 bar).

Le DME est soluble dans l'eau. La concentration de saturation est de 34 % en poids de DME dans l'eau.

Le DME présente un bon pouvoir solvant spécifique.

3.2.2 INFLAMMABILITE

Le DME est un produit très inflammable, son point éclair est de - 41°C. Il forme un mélange inflammable avec l'air (à température ambiante) dans l'intervalle de concentration suivant :

- Limite Inférieure d'Inflammabilité : 3,4 %,
- Limite Supérieure d'Inflammabilité : 26,7 %.

La chaleur de combustion du DME est de 28,8 MJ.kg⁻¹, et sa température d'autoinflammation est de 350 °C.

3.2.3 PROPRIETES BIOLOGIQUES

Le DME est un produit très peu toxique. A forte concentration, il présente un certain effet anesthésique.

3.3 ALCOOLS

Les alcools méthylique (méthanol), éthylique (éthanol), et isopropylique (isopropanol) sont susceptibles d'entrer dans la composition de la base pour les produits conditionnés sous forme aérosol. Ils ont pour formule chimique :

- méthanol : CH₃OH,
- éthanol : CH₃ CH₂OH,
- isopropanol : (CH₃)₂CHOH.

Ils sont liquides et incolores. Le méthanol et l'éthanol présentent une odeur plutôt agréable, alors que l'isopropanol se caractérise par une odeur plus âcre et déplaisante. Les trois produits sont solubles dans l'eau et dans la plupart des solvants organiques. Ils sont chimiquement stables.

3.3.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Leurs principales caractéristiques physiques sont présentées dans le Tableau 5.

	Méthanol	Ethanol	Isopropanol
Masse molaire (g/mole)	32,04	46,07	60,10
Point d'ébullition (°C)	64,5	78,5	82,4
Densité liquide	0,79	0,789	0,785
Densité vapeur (air = 1)	1,11	1,59	2,1
Point éclair (coupelle fermée) (°C)	12	12,8	12
Limite Inférieure d'Inflammation (% vol.)	6,0	3,3	2
Limite Supérieure d'Inflammation (% vol.)	36,5	19	12
Température d'autoinflammation (°C)	385	363	400

Tableau 5 : Principales caractéristiques physiques des alcools

3.3.2 VALEURS SEUILS DE TOXICITE

Pour ces trois produits, des valeurs seuils d'effets significatifs pour une exposition de 30 minutes sont proposées ci-dessous.

- D'après la note sur les seuils de toxicité émise par le Ministère de l'Environnement le 17 juillet 1996 :
 - méthanol : 25 000 ppm,
 - éthanol : pas d'informations,
 - isopropanol : 12 000 ppm.
- D'après les données provenant de la base de données tenue à jour par le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health – USA), consultée en mars 2000 :
 - méthanol : 6 000 ppm,
 - éthanol : 3 300 ppm,
 - isopropanol : 2 000 ppm.

4 ANALYSE D'ACCIDENTS

Ce chapitre analyse les accidents ayant impliqué des gaz inflammables liquéfiés ou des générateurs d'aérosols afin de dégager des mesures de prévention associées au stockage et à la manutention de ces produits. Les comptes-rendus succincts des accidents sont présentés en Annexe 2.

4.1 ACCIDENTS IMPLIQUANT DES GENERATEURS D'AEROSOLS

Depuis la fin des années 80, plusieurs incendies ont détruit des stockages de générateurs d'aérosols, tant en France qu'à l'étranger. Ainsi, du 1er janvier 1967 au 23 juin 1997, la banque de données ARIA du BARPI recense 28 événements qui concernent des incendies de stockages contenant des générateurs d'aérosols. Vingt trois sont survenus en France pour cinq accidents recensés à l'étranger (voir Annexe 2). La lecture de ces comptes-rendus fait apparaître le caractère relativement limité des conséquences de ces accidents en terme d'atteinte à l'environnement, si l'on excepte le cas des générateurs contenant des produits toxiques (phytosanitaires, peintures, etc), bien que certains de ces accidents aient quand même eu des conséquences autres que matérielles.

Un accident relativement récent, non recensé dans cette liste, a concerné le stockage d'une usine de conditionnement de générateurs d'aérosols, qui a été entièrement détruit début 1998 à Ringersburg en Allemagne. Le feu aurait débuté lors du chargement d'une palette de générateurs d'aérosols dans un camion. Le feu se serait ensuite propagé très rapidement aux locaux de stockages des générateurs. A défaut d'informations précises, cet accident n'est pas présenté en annexe.

La plupart des accidents se sont produits au cours de l'activité de stockage dans des entrepôts ou magasins de détail, où les produits et marchandises stockés n'étaient pas uniquement des générateurs d'aérosols. Tous ces incendies ont provoqué des dégâts matériels très importants (généralement la destruction complète des entrepôts) et ont également fait des victimes (2 morts et plus de 30 pompiers brûlés ou intoxiqués). Les intoxications sont, d'après les comptes-rendus succincts, consécutives à des feux impliquant des produits phytosanitaires.

Parmi les accidents les plus importants, nous relèverons l'incendie survenu le 8 avril 1994 à Zaandam aux Pays-bas, dans une installation de stockage et de remplissage de générateurs d'aérosols qui a été entièrement détruite. Un autre accident (non répertorié dans la liste présentée en Annexe 2) s'est produit le 18 avril 1995 à Le Meux (Oise), dans une installation de suremballage de générateurs d'aérosols, qui a également été entièrement détruite. Enfin, un troisième événement s'est produit le 4 avril 1996 en Egypte, détruisant 6 millions de générateurs et un entrepôt de produits pétrochimiques et faisant 23 blessés dont 17 pompiers.

La rapidité de la propagation des incendies dans les bâtiments incriminés, liée incontestablement à la nature des produits contenus dans les générateurs d'aérosols (gaz liquéfiés et alcools) est un élément caractéristique de ce type d'événement. En effet, les comptes-rendus détaillés d'accidents précisent que l'incendie se développe très rapidement à

tel point, par exemple, qu'un bâtiment de 6 000 m² a été totalement détruit en 20 minutes environ (Le Meux – 18 avril 1995).

Un autre aspect caractéristique de ce type d'accident est le mode de propagation de l'incendie, qui résulte en partie de la projection des générateurs d'aérosols. Les distances de projection peuvent être significatives et atteindre quelques dizaines de mètres (une distance d'une trentaine de mètres semble être le maximum observé).

Il semble également que plusieurs de ces incendies ont commencé par la perforation d'un ou plusieurs générateurs (par la fourche de l'engin utilisé pour la manutention des palettes) et par l'inflammation de la fuite de gaz résultant de cette perforation. Cette inflammation pourrait avoir comme origine par exemple soit le fonctionnement de l'engin de manutention soit le mécanisme même de la rupture du générateur (échauffement par frottement).

Dans deux cas au moins, le début de l'incendie a eu pour lieu la remorque d'un camion en cours de chargement ou déchargement ; le feu s'est ensuite propagé au local de stockage par projection de boîtiers.

4.2 CONCLUSIONS

Les accidents significatifs (entraînant des dommages importants) relatifs aux générateurs d'aérosols concernent presque exclusivement les zones de stockage de ces produits. Les mesures de sécurité issues de l'analyse des accidents significatifs sont de trois ordres :

- agir sur la zone en feu avec un agent extincteur et dès le début de l'incendie pour éviter l'embrasement généralisé du local (sprinklers, noyage du local avec de la mousse à haut foisonnement, etc),
- compartimenter ou isoler le local pour éviter ou limiter la propagation de l'incendie par la projection de générateurs d'aérosols en feu (local séparé et zone grillagée dans le grand bâtiment de stockage),
- limiter la dégradation (par chocs) des générateurs d'aérosols pendant l'activité de stockage (système de stockage et formation du personnel).

En conclusion de ce chapitre consacré au retour d'expérience et concernant les accidents impliquant les générateurs d'aérosols, les incendies ont montré des caractéristiques communes, à savoir :

- une propagation particulièrement rapide du feu,
- un flux thermique rayonné très intense,
- des conditions d'extinction particulièrement difficiles.

5 ESSAIS D'INCENDIE DE GENERATEURS D'AEROSOLS

5.1 ASPECTS THEORIQUES SUR LE PHENOMENE

Lorsqu'un générateur est chauffé dans un incendie, il donne lieu au phénomène de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, que l'on pourrait traduire par « vaporisation explosive d'un liquide surchauffé ») : sa pression interne augmente en même temps que la résistance mécanique de l'enveloppe diminue, jusqu'à atteindre la pression de rupture. Il se produit alors une vaporisation brutale des gaz propulseurs ainsi qu'une inflammation de ces gaz et éventuellement du ou des solvants inflammables contenus dans la formulation. Une boule de feu se développe alors à partir de son centre, situé à quelques mètres au-dessus de la position initiale du générateur.

Le diamètre et la durée de la boule de feu dépendent de la capacité du générateur d'aérosols, ainsi que de la proportion des produits inflammables (gaz propulseurs et solvants) contenus dans la formulation. Le flux thermique rayonné par une telle boule de feu participe à la propagation de l'incendie.

Au cours d'un BLEVE, la vaporisation rapide des gaz liquéfiés et la combustion non moins rapide de ces gaz en mélange avec l'air génèrent une onde de pression aérienne ; dans le cas d'un générateur, l'intensité de la surpression reste négligeable, de même que les effets produits par cette surpression.

Enfin, le phénomène de BLEVE s'accompagne de la projection des débris du générateur, qui peuvent également contribuer à la propagation de l'incendie.

Plusieurs types d'essais ont été réalisés à différentes échelles, par l'INERIS d'une part, et par les compagnies d'assurance américaines d'autre part, sous l'égide de Factory Mutual Research Corporation (FMRC).

5.2 PRESENTATION GENERALE DES ESSAIS DE L'INERIS

L'INERIS a réalisé depuis 1990 plusieurs essais portant sur le comportement d'un stockage de générateurs d'aérosols pris dans un feu :

- essai réalisé en 1991 sur un générateur de laque isolé,
- essais réalisés en 1991 sur une palette de laques puis un container de déodorants,
- essais réalisés entre 1999 et 2000 portant successivement sur :
 - trois palettes de laques,
 - six palettes de laques,
 - trois palettes d'insecticide,
 - six palettes de produits d'entretien ménager,
 - six palettes de déodorants,
 - neuf palettes de laques.

5.2.1 ENSEIGNEMENTS DES ESSAIS PRELIMINAIRES DE L'INERIS

Les essais préliminaires, réalisés à l'INERIS en 1991 pour caractériser le comportement au feu d'un générateur d'aérosols isolé (formulation de laque capillaire en boîtier de 300 à 400 ml), ont permis d'observer les phénomènes suivants :

- l'éclatement d'un générateur soumis à un feu de liquide inflammable intervient dans un délai de l'ordre de 1 à 2 minutes (ce délai dépend du mode d'inflammation adopté pour l'essai). Cet éclatement s'accompagne d'effets thermiques et mécaniques,
- les effets thermiques résultent de la combustion rapide du contenu du générateur, sous forme d'une boule de feu de 2 à 3 mètres de diamètre et qui ne dure qu'une fraction de seconde,
- les effets mécaniques se traduisent par la projection des fragments du générateur : en général, il y a production de deux fragments par arrachement du fond bombé ou du couvercle portant la valve,
- si le générateur éclate en position voisine de l'horizontale, le plus gros fragment est projeté à une trentaine de mètres, avec une vitesse initiale de 150 m/s environ,
- les valeurs maximales des flux thermiques ont été mesurées à quelques mètres du foyer et atteignent 13 W/cm^2 , soit 130 kW/m^2 .

Pour plus de précisions quant au déroulement de ces essais préliminaires, le lecteur pourra se reporter à la description fournie en **Erreur! Liaison incorrecte.**

5.2.2 ENSEIGNEMENTS DES ESSAIS DE L'INERIS SUR UNE PALETTE DE GENERATEURS D'AEROSOLS

Les essais, réalisés par l'INERIS en 1991 pour caractériser le comportement d'une palette contenant des générateurs d'aérosols prise dans un incendie (une palette de laques et une palette de déodorants ont été testées successivement), ont permis de mettre en évidence les phénomènes suivants :

- l'incendie résulte non seulement de la combustion des matériaux tels que le carton du container ou des caisses, le bois de la palette, la matière plastique du capuchon de chaque générateur ou encore du film de banderolage, mais surtout des produits inflammables qui sont libérés au cours des BLEVE successifs de la grande majorité des générateurs (une petite fraction, de 6 à 9 %, a été retrouvée intacte après chaque essai et n'a donc pas subi de BLEVE),
- au début de l'incendie, les BLEVE concernent des générateurs qui sont soumis au rayonnement du foyer initial (feu de carton) et ils surviennent de façon relativement espacée, de sorte qu'ils produisent des boules de feu dont le rayonnement n'est pas suffisant pour augmenter sensiblement leur fréquence,
- le BLEVE de chaque générateur projette aux alentours des générateurs intacts qui, tombant sur le sol plus ou moins loin de la palette, ne sont plus alors soumis qu'au rayonnement des boules de feu (l'empilement des générateurs dans les caisses de carton se détruit progressivement de l'extérieur vers l'intérieur),

- le développement du foyer initial augmente et la fréquence des BLEVE devient telle que ce foyer est surmonté d'une boule de feu quasi continue, dont le rayonnement devient suffisant pour provoquer le BLEVE des générateurs projetés aux alentours et encore intacts,
- le BLEVE de ces générateurs projetés accélère encore la cadence de l'ensemble des BLEVE et provoque une augmentation des dimensions de la boule de feu, qui finit par s'étendre à presque toute la surface au sol de la cage grillagée, ainsi que sur une hauteur nettement supérieure à 4 m, entraînant ainsi une augmentation de son rayonnement. Les dimensions du foyer alors observées étaient de l'ordre de 5 mètres pour ce qui concerne la hauteur de flamme et de 4 mètres pour la largeur et la longueur de la surface de flamme au sol,
- à son stade de développement maximal, l'incendie est donc essentiellement un feu de gaz et, bien que son extinction n'ait pas été tentée, il paraît a priori très difficile d'empêcher le phénomène de se poursuivre jusqu'à son extinction naturelle par défaut de produit combustible,
- entre le premier BLEVE et le moment où la fréquence des derniers BLEVE s'est nettement ralentie, il s'est écoulé moins de 5 minutes,
- En ce qui concerne les niveaux de température et de flux thermique atteints au cours de l'incendie, des valeurs de température supérieures à 1 200°C ont été mesurées dans certaines caisses, et des valeurs de flux maximales de l'ordre de 130 kW/m² ont été mesurées en bordure du foyer. Il s'agit de valeurs très élevées, qui peuvent expliquer en partie la grande rapidité avec laquelle un incendie se propage dans un stockage de générateurs d'aérosols.

Pour plus de précisions quant au déroulement de ces essais préliminaires, le lecteur pourra se reporter à la description fournie en **Erreur! Liaison incorrecte.**

5.2.3 ENSEIGNEMENTS DES ESSAIS DE L'INERIS SUR PLUSIEURS PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS

Les essais décrits dans ce document ont été réalisés par l'INERIS en partenariat avec le Comité Français des Aérosols (CFA) en 1999 et 2000. Ils avaient pour principal objectif de caractériser le comportement de plusieurs palettes contenant des générateurs d'aérosols prises dans un incendie. A cet effet, ils ont porté successivement sur :

- trois palettes de laques,
- six palettes de laques,
- trois palettes d'insecticide,
- six palettes de produits d'entretien ménager,
- six palettes de déodorants,
- neuf palettes de laques.

Le Tableau 7 présenté ci-après synthétise les essais réalisés par l'INERIS, en présentant, pour chacun d'entre eux :

- le nombre de palettes présentes,
- le produit contenu dans les boîtiers aérosols,
- la formulation du produit,
- la chaleur de combustion moyenne du produit,
- l'énergie représentée par le stockage (avec un poids moyen de 200 kg par palette),
- les dimensions caractéristiques du feu relevées au cours de l'essai, durant le régime maximal du feu (L représente la longueur du foyer en vue de face, l représente sa largeur en vue de profil, et H représente sa hauteur approximative),
- la durée de la phase principale de combustion,
- les flux thermiques radiatifs mesurés par différents capteurs.

Pour la clarté de l'exposé, la Figure 2 suivante présente, de manière schématique, l'implantation des capteurs dont il est question dans le Tableau 7 suivant. Les mesures réalisées par ces capteurs ont ensuite été interprétées afin de déterminer des valeurs plausibles de la puissance rayonnée par la flamme et de la géométrie de l'incendie.

La figure suivante n'a d'autre but que celui de situer les capteurs ayant servi de base à l'exploitation des mesures. Ainsi, notons que la face postérieure de la cage était composée d'un mur en parpaings pleins et que des capteurs étaient également disposés derrière ce mur.

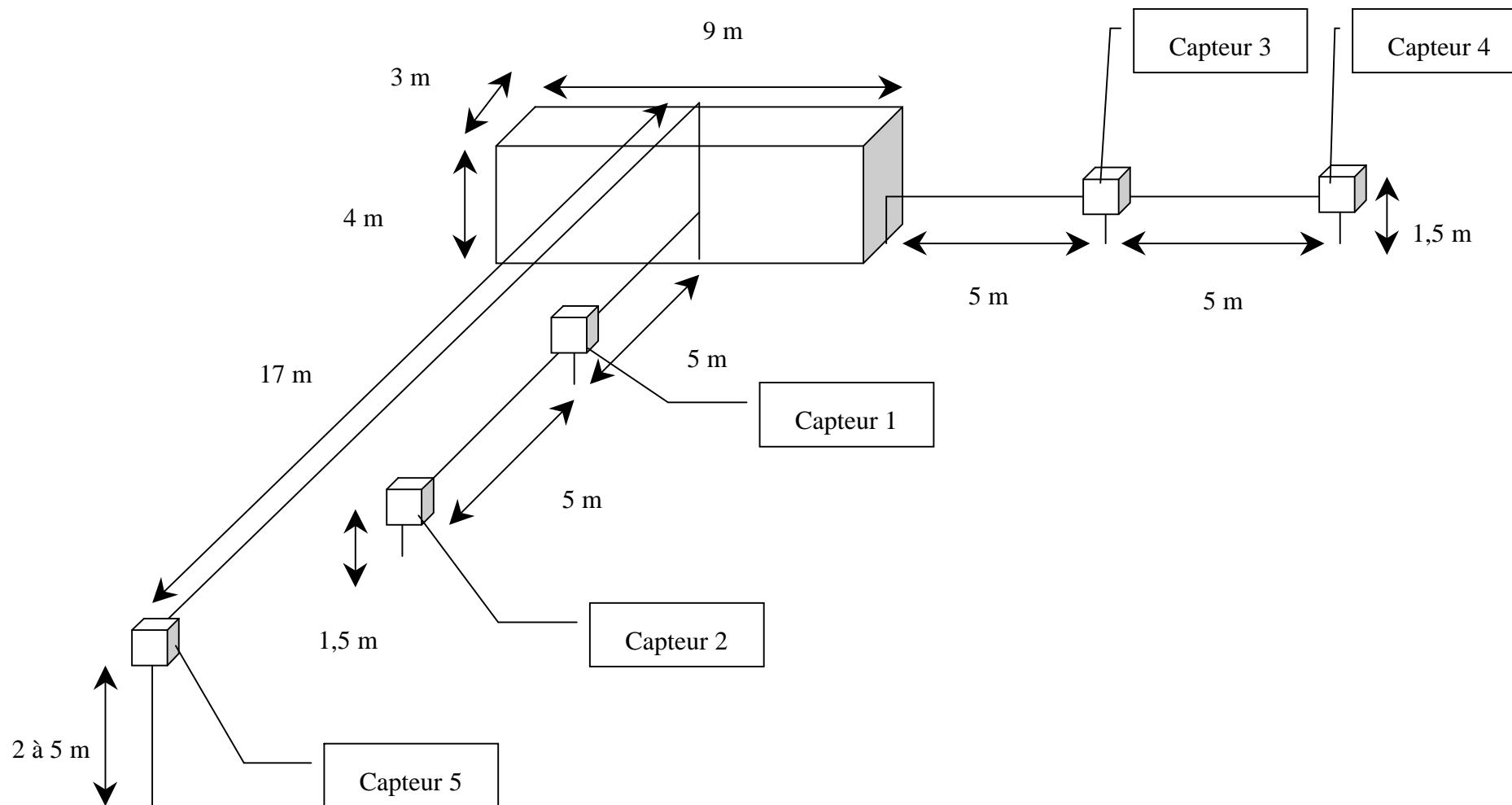


Figure 2 : Implantation des capteurs lors des essais réalisés par l'INERIS (campagne de 1999-2000)

Essai	Nbre de palettes	Produit	Formulation	Chaleur de comb (MJ/kg)	Energie de comb (MJ)	Classe FM	Dimension du feu (m ³)	Durée (s)	Flux thermiques moyens mesurés par les capteurs (kW/m ²)				
									Capt. 1	Capt. 2	Capt. 3	Capt. 4	Capt. 5
1	1	laque capillaire	Pas de données sur la composition du produit				L = 4 m l = 4 m H = 5 m	180	La disposition des capteurs pour cet essai ne correspond pas à celle des essais 2 à 7.				
2	3	laque capillaire	43 % de DME 17 % de pentane 38 % de base alcoolique	28,5	17 100	2	L = 10 m l = 5 m H = 8 m	200	25	10	20	-	6
3	6	laque capillaire	43 % de DME 17 % de pentane 38 % de base alcoolique	28,5	34 200	2	L = 12 m l = 6 m H = 10 m	250	-	18	-	12	13
4	3	insecticide	36 % de G.P.L. 57 % d'eau 6 % de solvants organiques	18	10 800	1	L = 6 m l = 3 m H = 6 m	240	18	4	-	-	-
5	6	produit d'entretien	61 % d'eau ? 13 % de composés actifs 7 % de butane	7,5 ?	9 000	1	Pas de feu auto-entretenu	Non défini	4	1,5	2	1	1,25
6	6	déodorant	42% d'alcool 55% de G.P.L. 3% de composés actifs	34 + alu ?	40 800	3	L = 15 m l = 5 m H = 15 m	270	70	30	30	20	15
7	9	laque capillaire	43 % de DME 17 % de pentane 38 % de base alcoolique	28,5	51 300	2	L = 15 m l = 6 m H = 16 m	240	-	40	70	20	20

Tableau 6 : Synthèse des essais de l'INERIS

Capteur 1 : face à l'enceinte, à 5 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 mètres environ
 Capteur 2 : face à l'enceinte, à 10 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 mètres environ
 Capteur 3 : à droite ou à gauche de l'enceinte, à 5 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 mètres environ
 Capteur 4 : à droite ou à gauche de l'enceinte, à 10 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 mètres environ
 Capteur 5 : face à l'enceinte, à 17 mètres du grillage, à une hauteur de 2 ou 5 mètres environ

Ces essais ont permis de mettre en évidence les phénomènes suivants :

- le **déroulement du feu** au sein d'un ensemble de plusieurs palettes a permis de mettre en évidence les mêmes étapes que pour le feu d'une seule palette, à savoir une succession d'éclatement de boîtiers avec formation d'une boule de feu, à une fréquence croissante puis décroissante, jusqu'à l'extinction naturelle par manque de produits combustibles,
- les **valeurs maximales de flux thermiques** atteints au cours de l'incendie, mesurées à quelques mètres du foyer, sont de l'ordre de :
 - 50 kW/m² pour les trois palettes de laque,
 - 55 kW/m² pour les six palettes de laque,
 - 16 kW/m² pour les trois palettes d'insecticide,
 - 90 kW/m² pour les six palettes de déodorant,
 - 60 kW/m² pour les neuf palettes de laque,

Notons qu'il s'agit là des valeurs maximales observées, correspondant à des pics mesurés sur d'une courte durée relativement à la durée de l'incendie. Les flux moyens représentatifs du rayonnement moyen de l'incendie sur toute la durée du phénomène sont reportés dans le Tableau 6 précédent.

- Le **grillage de protection** (maille losange de 50 mm) a été perforé en divers endroits au cours des essais qui ont impliqué des palettes de laque ou de déodorant,
- Les **boîtiers en aluminium** des déodorants semblent avoir participé à la combustion, car une bonne partie d'entre eux n'ont pas été retrouvés à la suite de l'essai,
- Au cours de l'essai concernant **les trois palettes d'insecticide, un dégagement significatif de suies** de combustion au-dessus des flammes a été observé, ainsi qu'un comportement de type feu de flaque au sol, a priori lié à l'épandage de l'insecticide contenu dans des boîtiers fuyards,
- Au cours de l'essai concernant **les trois palettes de produit d'entretien ménager**, il est apparu que le feu n'a pas développé une puissance suffisante pour s'auto-entretenir. En effet, il a été observé quelques BLEVE successifs, mais qui sont restés cependant trop espacés dans le temps pour que l'on assiste à l'emballement du feu. La contribution au feu des emballages (bois, cartons, plastiques) a été plus importante que celle des produits eux-mêmes.
- En définitive, **les flux mesurés à une distance donnée du foyer ont été d'autant plus importants que le potentiel calorifique** (produit de la quantité de générateurs présents par la chaleur de combustion de la formulation testée) **était lui-même élevé.**

De plus amples informations sur ces essais sont disponibles dans le compte-rendu (« Caractérisation du phénomène d'incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols », rapport INERIS final pour le Comité Français des Aérosols, en date de décembre 2000, rédigé par J. CHAINEAUX). Ces essais sont également décrits succinctement à l'**Erreur! Liaison incorrecte.**du présent rapport.

5.2.4 SYNTHÈSE DES ESSAIS DE L'INERIS SUR LES PHÉNOMÈNES

Une première analyse des résultats des essais menés par l'INERIS depuis le début de la campagne montre qu'un incendie se développant dans un stockage de générateurs d'aérosols se caractérise par un développement très rapide et par un rayonnement intense de la flamme : il se produit une succession de BLEVE individuels de chaque générateur qui donne lieu à l'apparition d'une boule de feu de faible diamètre au moment de l'éclatement de chaque boîtier, compte tenu des volumes unitaires mis en jeu.

Au plus fort de l'incendie, la cadence des BLEVE est telle qu'il s'en produit plusieurs quasi simultanément et la boule de feu résultante se présente sous la forme d'un mur de flammes dont les dimensions sont en proportion de cette cadence.

Il faut par ailleurs noter que chaque BLEVE donne lieu non seulement à la combustion du gaz inflammable liquéfié mais aussi à celle du liquide inflammable contenu dans la formulation, puisqu'on n'observe pas, dans la majorité des cas, de feu de nappe au sol. Un générateur d'aérosols éclate pour une pression voisine de 10 à 12 bar, qui est atteinte lorsque la température de son contenu est un peu supérieure à 50°C. Cette température est inférieure à la température d'ébullition de l'alcool éthylique, qui est le constituant principal du mélange de liquides inflammables présents dans la plupart des formulations. La combustion de ce liquide intervient donc en majeure partie après une dispersion de ce liquide sous forme de petites gouttelettes, plutôt qu'après une évaporation au même titre que celle des gaz liquéfiés. Il est néanmoins envisageable qu'une petite partie des liquides inflammables aient dépassé leur température d'ébullition au moment de l'éclatement et connaissent eux aussi le phénomène de vaporisation instantanée.

Le mur de flammes présente, pendant le régime maximal du feu, des caractéristiques géométriques relativement stables (longueur et hauteur) ainsi qu'une puissance rayonnée apparemment élevée.

Il s'agit d'un phénomène dont les effets doivent être évalués de façon spécifique ; en effet, ce phénomène ne se rapproche ni du BLEVE, associé généralement aux gaz inflammables liquéfiés (phénomène très intense et de très courte durée), ni du feu de nappe, associé généralement aux liquides inflammables (phénomène d'une intensité plus faible avec une hauteur de flammes et une durée plus importantes).

5.2.5 SYNTHÈSE DES ESSAIS DE L'INERIS SUR LES FLUX THERMIQUES GÉNÉRÉS

Les essais ont montré que l'importance des flux thermiques radiatifs générés par l'incendie d'un stockage de générateurs d'aérosols pouvaient être reliés au potentiel calorifique du stockage. Rappelons que ce potentiel calorifique peut être défini comme le produit de la quantité de produits présentes par la chaleur de combustion de la formulation.

Ainsi, les flux thermiques mesurés ont été d'autant plus élevés que le potentiel calorifique du stockage était élevé.

L'Annexe 5 de ce document présente, pour chaque capteur, la relation quasi-linéaire qui existe entre les flux radiatifs mesurés à une distance donnée du foyer et le potentiel calorifique du stockage.

5.2.6 SYNTHÈSE DES ESSAIS DE L'INERIS SUR LES PROJECTIONS DE BOÎTIERS

Au niveau du comportement des générateurs, on observe un phénomène quasi exclusif d'éclatement, qui est immédiatement suivi de la combustion des produits contenus dans chaque générateur, sous forme d'une boule de feu qui se développe au-dessus de l'endroit où se trouvait le générateur au moment de son éclatement, et de la projection des débris du générateur. Des différences apparaissent quant au mode de rupture et au nombre de débris, selon la nature du générateur :

- Dans le cas des générateurs en aluminium qui sont constitués de deux éléments seulement, la rupture peut concerner le sertissage de la valve, mais ce n'est pas la règle générale. Au contraire, le mode de rupture le plus fréquent se traduit par un véritable éclatement, avec déchirure du récipient et formation éventuelle de petits débris. En tout état de cause, la géométrie de ces débris est telle qu'il n'y a pas d'effet fusée.
- Dans le cas des générateurs en fer blanc qui sont constitués d'une virole, d'un fond et d'un dôme sertis, la rupture se traduit généralement par la rupture du sertissage entre d'une part la virole et, d'autre part soit le fond soit le dôme. Consécutivement à cette rupture se produit la vaporisation brutale des gaz liquéfiés et surchauffés contenus dans le générateur. Les forces de pression associées à cette vaporisation sont à l'origine de la projection des débris. Le débris constitué par le fond ou le dôme a une masse de quelques grammes et ne peut être projeté très loin.
Il en va différemment du second débris : sa forme de contenant favorise un effet de poussée analogue à celui qui est recherché pour la propulsion d'une fusée. Les distances de projection de ce second type de débris sont variables car elles dépendent fortement de l'angle que fait l'axe du générateur avec l'horizontale au moment de la rupture.

Il a pu être également observé que le boîtier, qu'il soit en fer ou en aluminium, se mette à fuir par le stem (système de propulsion) ou le sertissage par exemple : le gaz est libéré et s'enflamme avec un effet torche (un jet enflammé), voire un effet propulsé.

Certains générateurs peuvent également subir un choc mécanique, du fait de l'éclatement d'un générateur voisin. Ce choc a au moins pour effet de les projeter à une distance suffisante (10 à 20 m) pour les soustraire au rayonnement intense de la flamme, mais il peut aussi être suffisamment violent pour que leur paroi soit poinçonnée et qu'ils perdent leur contenu plus ou moins rapidement, sous la forme d'un jet de produit enflammé (gaz et/ou liquide).

Ainsi, l'incendie dans un stockage d'aérosols a pour effet de produire des projectiles qui sont susceptibles de présenter un caractère incendiaire, notamment dans la phase de développement du feu. Ce fait semble être confirmé par le retour d'expérience, qui montre que la vitesse de propagation du feu a été trop importante pour n'être due qu'au seul rayonnement thermique.

Cependant, lorsque l'incendie a atteint son régime maximal, il n'est pas aisé de définir si le vecteur principal de la propagation du feu est le rayonnement thermique ou les projectiles incendiaires ; les deux aspects participent certainement, à des degrés divers, à la propagation.

5.2.7 SYNTHÈSE DES ESSAIS DE L'INERIS SUR LE COMPORTEMENT DES STRUCTURES

Au niveau du comportement des structures, il est apparu que la partie inférieure du grillage a été plus sollicitée que la partie supérieure au cours des essais. Le mur, construit en parpaing plein, a bien résisté et a effectivement joué un rôle d'écran thermique, car les flux thermiques mesurés derrière ce mur ont été plus faibles que ceux qui ont été mesurés dans la direction opposée, sans mur.

Il est à noter cependant qu'un soutènement par des poutres, installé sur la face extérieure du mur, a été nécessaire afin d'assurer son maintien. Il est en effet apparu que les contraintes thermiques reçues lors des essais successifs ont entraîné une déformation significative de la structure.

5.3 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES ESSAIS DE FMRC

Des essais d'incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols ont été menés par le FMRC, afin de caractériser le dimensionnement de l'extinction.

Les essais réalisés par FMRC², au nombre de 50 environ, ont consisté à amorcer l'incendie de générateurs d'aérosols, stockés sur palettes (jusqu'à 24 palettes sur 3 niveaux) et contenant différentes formulations plus ou moins chargées en produits combustibles, afin d'étudier si l'installation de sprinklers qui équipait le stockage et qui était caractérisée par différentes densités, répartitions et débits d'eau des têtes de sprinklers, permettait d'éteindre l'incendie.

Ces essais ont permis de mettre en évidence que les caractéristiques de développement d'un incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols, de même que les caractéristiques des moyens nécessaires à son extinction, dépendent nettement de la formulation des produits contenus dans les générateurs.

² Loss prevention Data Sheet 7-29S (revised 1990) « Storage of aerosols products »,

Loss Prevention Technical Advisory Bulletin 7-29S (revised 1992) « Storage of aerosols products – ESRF protection »

En s'appuyant sur les résultats des essais, le FMRC propose :

- une classification des produits aérosols en 3 classes, selon la composition de la formulation en produits combustibles miscibles (alcool par exemple) ou non miscibles à l'eau (G.P.L. ou diméthyléther) ; cette classification est assortie d'une définition de chaque classe en fonction d'un paramètre simple de la formulation, à savoir sa chaleur de combustion exprimée en kJ/g (voir paragraphe 2.2),
- diverses recommandations pour la prévention et la protection contre l'incendie (y compris la protection par sprinklers) au cours des activités de fabrication et de stockage des générateurs d'aérosols, et dans ce dernier cas pour plusieurs dimensions d'installations de stockage, y compris celles des magasins de détail.

D'après les travaux américains, la protection par sprinklers semble efficace, à condition que la densité des têtes et le débit d'eau disponible soient suffisantes.

5.4 INTERPRETATION DES ESSAIS REALISES PAR L'INERIS

5.4.1 DEMARCHE D'ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS REALISES PAR L'INERIS

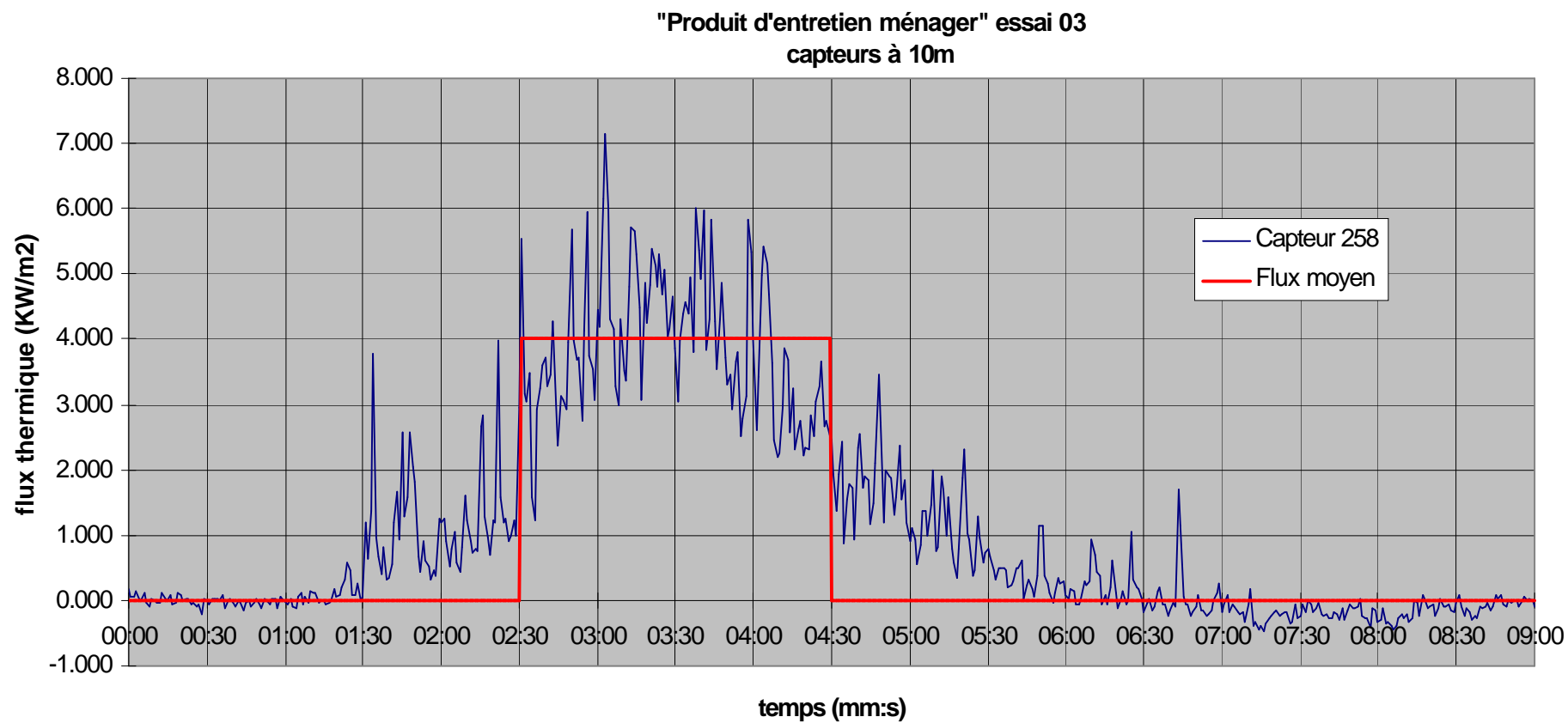
Les résultats des essais d'incendie de palettes d'aérosols réalisés à l'INERIS se présentent sous deux formes distinctes :

- d'une part, des enregistrements vidéo de l'incendie (en général, vue de face et vue de profil),
- d'autre part, des courbes traduisant le flux thermique radiatif instantané mesuré au cours du temps pour chacun des capteurs.

Les résultats des essais réalisés par l'INERIS ont été interprétés de façon à définir les hypothèses de base utiles à la modélisation d'un scénario d'incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols. La démarche d'interprétation des essais s'est déroulée en trois étapes :

1. détermination de la longueur, la largeur et la hauteur de flammes moyennes apparentes sur les enregistrements vidéo lors du régime maximal du feu,
2. détermination du flux moyen mesuré par chaque capteur, à partir de l'étude des courbes de flux,
3. détermination du pouvoir émissif supposé des flammes par utilisation d'un logiciel de calcul des flux thermiques radiatifs, en ajustant les flux calculés par la modélisation aux flux moyens mesurés au cours des essais. La distance entre le bord des flammes et la cible a été supposée égale à la distance entre le grillage et la cible. L'humidité relative a été prise égale à 70 %. Les calculs ont été menés grâce au logiciel FNAP, développé par l'INERIS pour son usage interne. Pour plus de précisions sur les modalités de calculs propres à cet outil, le lecteur pourra se reporter au document de l'INERIS intitulé : « Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006) - Ω-2 Feux de nappe ».

La figure ci-après représente le flux thermique radiatif instantané mesuré au cours du temps pour un capteur lors de l'un des essais, ainsi que le flux moyen retenu pour l'interprétation de cet essai.



L'Annexe 3 présente l'application de la démarche d'interprétation des résultats aux essais réalisés par l'INERIS en 1991 et portant sur une palette.

L'Annexe 4 présente l'application de la démarche d'interprétation des résultats aux essais réalisés par l'INERIS en 1999 et 2000 et portant sur plusieurs palettes.

La démarche présentée ci-avant a permis de déduire de chacun de ces essais un pouvoir émissif moyen expérimental des flammes.

5.4.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DES ESSAIS REALISES PAR L'INERIS

Le Tableau 7 synthétise les résultats qui ont été extrapolés à partir des mesures effectuées au cours des essais réalisés par l'INERIS, sur une ou plusieurs palettes de générateurs d'aérosols, en présentant, pour chacun d'entre eux :

- le nombre de palettes présentes,
- le produit contenu dans les boîtiers aérosols,
- la formulation du produit,
- le pouvoir émissif moyen de la flamme extrapolé à partir des données expérimentales (notamment les flux thermiques et les surfaces de flammes) selon la méthode présentée au paragraphe 5.4.1 précédent.

<i>Essai</i>	<i>Nbre de palettes</i>	<i>Produit</i>	<i>Formulation</i>	<i>Pouvoir émissif (kW/m²)</i>
1	1	laque capillaire	Pas de données sur la composition du produit	100
2	3	laque capillaire	43 % de DME 17 % de pentane 38 % de base alcoolique	80
3	6	laque capillaire	43 % de DME 17 % de pentane 38 % de base alcoolique	100
4	3	insecticide	36 % de G.P.L. 57 % d'eau 6 % de solvants organiques	70
5	6	produit d'entretien	61 % d'eau ? 13 % de composés actifs 7 % de butane	Non définie
6	6	déodorant	42% d'alcool 55% de G.P.L. 3% de composés actifs	100
7	9	laque capillaire	43 % de DME 17 % de pentane 38 % de base alcoolique	100

Tableau 7 : Synthèse de l'interprétation des essais de l'INERIS

Concernant le feu d'une palette de générateurs d'aérosols, les essais réalisés par l'INERIS permettent de retenir, au jour de la rédaction du présent document, les hypothèses suivantes :

- le flux de chaleur émis par la boule de feu a été estimé ; les interprétations des essais conduisent à retenir **une valeur moyenne de 70 à 100 kW/m²**, pour une propulsion au G.P.L. ou au DME,
- la hauteur des flammes au-dessus des palettes a été estimée à environ 5 m pour une palette, 8 mètres pour trois palettes et 10 mètres pour deux niveaux de trois palettes. Il semblerait que l'on puisse retenir, de façon plausible, **une hauteur d'une dizaine de mètres au-dessus du dernier niveau de stockage**,
- les dimensions au sol des flammes sont d'environ 4 à 6 mètres sur 10 à 15 mètres pour un stockage de trois à neuf palettes,
- aucune formation d'une phase liquide au sol n'a été observée durant les essais mettant en jeu des laques,
- l'incendie de palettes d'aérosols n'engendre pas de fumées épaisses. Les seules fumées visibles semblent provenir de la combustion du carton et des matériaux d'emballage,
- la durée du régime établi du feu, pour un stockage de trois à neuf palettes, est relativement constante, de l'ordre de 200 à 270 secondes.

Il est à noter que la méthode de détermination du pouvoir émissif présente une incertitude de l'ordre de 15 %. Plus précisément :

- la prise en compte d'une hauteur de flamme variant de 10 à 15 mètres, toutes choses étant égales par ailleurs, ne modifie pas de façon significative le pouvoir émissif déterminé par le calcul ;
- la prise en compte d'une longueur du mur de flamme variant de 9 à 15 mètres, toutes choses étant égales par ailleurs, entraîne une variation du pouvoir émissif déterminé par le calcul de l'ordre de 15 %.

6 DEFINITION DES SCENARIOS ET ESTIMATION DE LEURS CONSEQUENCES

6.1 DEFINITION DES SCENARIOS D'ACCIDENTS A RETENIR

Ce paragraphe a pour objet de définir, au vu des informations rapportées dans les chapitres précédents, les scénarios accidentels à retenir dans le cadre d'une démarche de type étude de dangers. Il est rappelé à ce niveau que les éléments présentés ici sont issus d'une approche forfaitaire, et qu'une analyse des risques est nécessaire pour la validation des scénarios accidentels.

On peut prévoir que si une palette ou un container de générateurs d'aérosols est exposé pendant une certaine durée à une source de chaleur suffisante, les matériaux soumis à cette source (emballage plastique, carton, bois) sont susceptibles de s'enflammer.

Les générateurs d'aérosols seront alors chauffés au point que leur pression intérieure dépassera leur pression de rupture et entraînera leur éclatement. Les gaz propulseurs s'enflammeront à leur tour, activant ainsi l'incendie.

Les effets mécaniques produits lors de l'éclatement pourront également favoriser la projection de débris et de liquides enflammés dans l'environnement du foyer initial.

Au vu du retour d'expérience, qui fait état d'une propagation très rapide d'un feu dans un stockage d'aérosols (ce qui a été confirmé par la majorité des essais de l'INERIS), le scénario retenu est le feu affectant toute la zone de stockage des boîtiers aérosols.

Au cas où l'incendie concerne un entrepôt contenant outre des générateurs d'aérosols, d'autres produits, il convient de retenir l'incendie affectant l'ensemble de l'entrepôt.

Les distances d'effets au sol retenues pour le scénario d'incendie affectant toute la surface de cet entrepôt correspondent alors aux distances résultant de la conjugaison des phénomènes d'incendie dans le stockage de générateurs d'aérosols d'une part, et dans le stockage des autres produits combustibles d'autre part.

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- la toiture du bâtiment s'est effondrée. Il ne reste que la structure porteuse en béton armé et les murs (ou le grillage) séparant le local spécifique au stockage des générateurs d'aérosols du reste de l'entrepôt (s'ils existent),
- les systèmes d'extinction automatique à eau ou à mousse ne permettent pas de maîtriser ou d'éteindre le foyer,
- les murs ou les parois coupe-feu, ainsi que les gages grillagées si elles existent, résistent aux sollicitations thermiques et mécaniques pendant la durée de l'incendie.

Pour que ces hypothèses soient valides, il convient de vérifier que :

- la structure porteuse présente un degré de stabilité au feu d'au moins une heure, le minimum requis étant une demi-heure,
- les palettières sont implantés selon les règles de l'art, c'est-à-dire sans liaison avec la structure porteuse et les murs séparatifs coupe-feu,
- les murs ou les parois coupe-feu sont de type coupe-feu au moins deux heures,
- les grillages ont été dimensionnés de façon à résister aux températures élevées ainsi qu'aux sollicitations mécaniques provoquées par la projection des boîtiers.

On envisagera également les scénarios complémentaires suivants, relatifs à l'activité de distribution de ce type d'entrepôts :

- un incendie de 30 palettes de générateurs d'aérosols sur le quai de chargement,
- un incendie d'un camion ou d'un wagon avec un chargement de 30 palettes de générateurs d'aérosols.

Le présent chapitre a pour objet, in fine, d'évaluer les conséquences d'accidents envisagés associées aux installations étudiées, en terme d'effets associés au rayonnement thermique consécutif à un incendie impliquant exclusivement des générateurs d'aérosols.

6.2 MODELISATION DU COMPORTEMENT D'UN STOCKAGE DE PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS PRISES DANS UN INCENDIE

Afin de modéliser les caractéristiques d'un feu dans une cellule de stockage de générateurs d'aérosols sur palettes, l'INERIS s'appuie sur deux aspects complémentaires :

- d'une part, les essais réalisés précédemment,
- d'autre part, une proposition de modélisation simple du phénomène.

Les essais réalisés par le FMRC et l'INERIS permettent de retenir plusieurs hypothèses quant à la modélisation des effets associés à un feu généralisé sur toute l'aire du local de stockage des générateurs d'aérosols propulsés au DME ou au G.P.L. :

- l'incendie donne lieu à l'apparition d'un mur de feu dont **la hauteur est égale à la hauteur maximale de stockage surmontée de dix mètres**,
- le **pouvoir émissif moyen a été considéré égal à 100 kW/m²**, soit l'ordre de grandeur le plus important déterminé sur la base des mesures réalisées lors des essais précédemment évoqués. Cette valeur est bien inférieure à la valeur moyenne généralement admise pour le pouvoir émissif de la boule de feu en cas de BLEVE qui est de l'ordre de 200 à 400 kW/m². En effet, lors d'un incendie de générateurs d'aérosols, les flux thermiques sont conditionnés à la fois par les flux thermiques associés aux BLEVE des générateurs (G.P.L. ou DME) et à ceux résultants de la combustion des hydrocarbures liquides. Pour ces derniers, les flux sont de l'ordre d'une trentaine de kW/m². La valeur moyenne de 100 kW/m² paraît donc représenter un ordre de grandeur réaliste.

Le Tableau 8, qui s'appuie à la fois sur les essais réalisés par l'INERIS et les propositions de modélisations, synthétise les hypothèses majorantes retenues pour modéliser un feu sur un stockage de palettes de générateurs d'aérosols propulsés au G.P.L. ou au DME, conformément aux scénarios présentés dans la partie précédente.

<i>Elément</i>	<i>Valeur retenue</i>	<i>Commentaires</i>
Non fonctionnement de l'extinction automatique	-	Pas d'extinction et développement du feu
Incendie affectant l'ensemble de la surface du local	-	Le local est considéré complètement rempli de palettes
Pouvoir émissif des flammes	100 kW/m²	Valeur moyenne maximale déterminée d'après les essais sur différentes formulations (incertitude de 15 %).
Hauteur de flammes	h stockage + 10 m	10 m : observations des essais (majorées avec un coefficient de sécurité)
Dimensions au sol du feu	Limite des murs coupe-feu ou des grillages	Pour les parois de type grillage ou mur coupe-feu : ces parois constituent une limite pour la géométrie du feu retenue.
	Longueur du stockage + 10 m	Pour les parois libres, on retient les dimensions du stockage au sol plus 10 m de part et d'autre.

Tableau 8 : Synthèse des hypothèses retenues par l'INERIS quant à la modélisation d'un incendie impliquant des palettes de générateurs d'aérosols propulsés au G.P.L. ou au DME

6.3 DETERMINATION DES DISTANCES D'EFFETS ASSOCIEES

Les calculs de l'INERIS pour la détermination des distances d'effets sont effectués selon les méthodes classiques utilisées pour l'évaluation des flux thermiques associés à des feux de nappe.

Les distances d'effets sont calculées pour des seuils classiques correspondant aux effets sur les structures, à l'apparition de la létalité, et à la limite des effets irréversibles.

Dans le cas d'une zone dévolue au stockage des générateurs d'aérosols dans un entrepôt contenant par ailleurs d'autres produits combustibles, il convient également d'envisager le scénario de feu affectant toute la surface de l'entrepôt en tenant compte de la contribution des générateurs d'aérosols et des autres produits combustibles. En effet, si un incendie se déclare dans le stockage de produits combustibles (hors aérosols), la propagation aux zones de stockage de générateurs d'aérosols ne peut a priori pas être exclue. Réciproquement, un incendie débutant dans la zone de stockage des générateurs d'aérosols peut se propager au reste de l'entrepôt.

Bien que la durée du feu impliquant les palettes de générateurs d'aérosols soit vraisemblablement suffisamment courte pour que les deux zones ne soient pas embrasées

simultanément, il n'est pas exclu qu'un observateur puisse se trouver soumis à la fois aux flux thermiques radiatifs associés à l'incendie des générateurs d'aérosols et à ceux associés au reste du stockage.

C'est pourquoi, dans une démarche majorante, on considérera l'incendie simultané des stockages d'aérosols et du stockage hors aérosols.

La démarche revient à considérer la somme des flux des deux surfaces de flammes (boîtiers aérosols d'une part, produits combustibles hors aérosols de l'autre) faisant face à la cible.

6.4 EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODE

A titre d'illustration, un exemple de modélisation des effets thermiques radiatifs d'un incendie impliquant un stockage de générateurs d'aérosols, effectué par l'INERIS, est présenté ci-dessous dans le Tableau 9.

Il considère un stockage de 2000 palettes de générateurs d'aérosols en entrepôt sur une hauteur de 10 mètres, en considérant une longueur de façade variant de 10 à 150 mètres. Par hypothèse, ce stockage représente l'équivalent de 200 t de gaz inflammables liquéfiés. Les distances d'effets sont calculées sur la médiatrice de la façade, en considérant successivement la présence puis l'absence d'une paroi susceptible de constituer un écran thermique au rayonnement des flammes (mur de type coupe-feu par exemple), cette paroi ayant une hauteur de 10 mètres.

Signalons que ces calculs ont été menés avec le logiciel FNAP, développé par l'INERIS pour son usage interne. C'est précisément cet outil qui a été utilisé pour l'extrapolation des mesures réalisées lors des essais afin d'estimer le pouvoir émissif de la flamme.

Les distances d'effets, à compter depuis la façade, sont données aux seuils des :

- 8 kW/m², valeur en deçà de laquelle la propagation du feu à une structure même non refroidie est considérée comme très improbable,
- 5 kW/m², correspondant à l'apparition des effets létaux,
- 3 kW/m², correspondant à l'apparition des effets irréversibles.

Longueur de la façade de l'entrepôt (mètres)	Distance (en mètres) au seuil des					
	8 kW/m ²		5 kW/m ²		3 kW/m ²	
	Avec écran	Sans écran	Avec écran	Sans écran	Avec écran	Sans écran
10	Non atteint	25	Non atteint	30	25	40
20	Non atteint	35	25	45	35	55
30	20	40	35	55	45	70
40	25	45	40	60	55	80
50	30	50	45	65	60	85
60	35	55	50	75	65	95
70	35	60	50	80	70	100
80	40	65	55	85	75	110
90	40	65	55	85	75	115
100	40	70	60	90	80	120
110	40	70	60	95	85	125
120	40	75	60	100	85	130
130	40	75	60	100	90	135
140	40	75	65	100	90	140
150	40	80	65	100	90	140

Tableau 9 : Rayonnement thermique. Distances d'effets calculées par l'INERIS

A titre d'illustration, il est possible de comparer ces ordres de grandeur avec ceux engendrés par le BLEVE d'une masse équivalente de GPL, soit 200 t de propane, dans une approche prudente.

Il apparaît alors, moyennant l'utilisation du modèle TRC (modèle de SHIELD), que les distances associées aux effets thermiques seraient de :

- 440 m pour ce qui concerne les effets létaux,
- 550 m pour ce qui concerne les effets irréversibles.

Pour effectuer ces calculs, les seuils de 1.000 et 600 (kW/m²)^{4/3}s ont été retenus respectivement pour l'apparition de la létalité et des brûlures significatives.

Par ailleurs, les effets de pression associés à ce phénomène seraient de l'ordre de :

- 105 m pour les effets létaux (140 mbar),
- 290 m pour les effets irréversibles (50 mbar).

En définitive, il apparaît que les effets thermiques associés à un feu de générateurs d'aérosols restent bien inférieurs à ceux d'un BLEVE impliquant une quantité équivalente de GPL.

6.5 TOXICITE DES FUMÉES DE COMBUSTION

Lors d'un incendie de boîtiers d'aérosols classiques, les produits toxiques susceptibles de se dégager sont essentiellement le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, le cyanure d'hydrogène et le chlorure d'hydrogène ..., produits issus de la combustion de la base, des G.P.L., du PVC, du carton et du bois contenu dans les palettes.

Pour les produits d'usage courant, il semble raisonnable de penser que les substances mises en jeu restent en définitive peu dangereuses ou en tout cas, en quantité suffisamment faible pour que les effets liés à leur toxicité soient limités.

De plus, au vu des débits de formation de ces gaz et surtout de l'effet diluant de la chaleur dégagée par l'incendie, la dispersion des fumées associées à ce type de stockage pourrait ne présenter que des risques d'agressions faibles pour l'environnement éloigné du foyer.

Pour autant, il convient de déterminer si possible la composition massique du produit, notamment en éléments C, Cl, N, P, S, F, Br, I, métaux, etc .. et ce particulièrement pour des produits susceptibles de conduire à la formation de gaz toxiques et de vérifier par le calcul que les effets au sol restent en effet limités.

Dans tous les cas, une intervention sur un incendie affectant un stockage de générateurs d'aérosols doit nécessiter une protection respiratoire et vestimentaire adaptée. Rappelons en effet que l'analyse des accidents passés fait état de difficultés d'intervention voire de blessures parmi les services de secours ou le personnel du site dues aux fumées de combustion. Il n'est cependant pas toujours possible, dans ces cas, de déterminer avec certitude la contribution particulière des générateurs d'aérosols, les incendies ayant souvent impliqué des types de produits différents.

6.6 PROJECTIONS

Le retour d'expérience et les essais réalisés à l'INERIS ont montré qu'un incendie dans un stockage de boîtiers aérosols est de nature à provoquer l'émission de projectiles (débris de boîtiers), dont certains peuvent présenter un caractère incendiaire.

Il est bien évidemment très complexe de prévoir de manière déterministe la taille, la vitesse, la direction d'émission et le point d'impact des projectiles susceptibles d'être émis.

L'INERIS propose donc, dans une approche forfaitaire, de retenir une distance de l'ordre d'une trentaine à une cinquantaine de mètres comme représentant une limite probable des projections de boîtiers enflammés, pour un stockage en entrepôt comprenant quelques milliers de palettes.

7 MESURES DE PREVENTION ET DE PROTECTION

7.1 SYNTHÈSE DES TEXTES RÉGLEMENTAIRES, NORMES ET RÉFÉRENCES

Le présent paragraphe s'attache à lister les normes et textes se rapportant au stockage de générateurs d'aérosols, et qui complètent les règles de l'art en la matière :

- Règles APSAD sur les ouvrages coupe-feu et les moyens de lutte contre l'incendie : l'APSAD classe le stockage de générateurs d'aérosols comme activité à « risque spécial ». Pour cette catégorie de risque, l'APSAD se refuse à émettre des recommandations et exige que chaque dossier lui soit présenté. Il n'existe donc pas de directives APSAD pour le stockage de produits conditionnés sous forme aérosol.
- Norme NFPA n°30B : Code for Manufacture and Storage of Aerosol Products,
- Recommandations du CEA (Comité Européen des Assurances),
- Recommandations du CFA (Comité Français des Aérosols).

Le paragraphe 2.2 précédent a montré que le classement des produits sous forme de générateurs d'aérosols s'effectuait par ségrégation fictive des produits contenues dans la formulation puis en se rapportant aux rubriques de la nomenclature correspondantes et notamment la rubrique 1412 concernant les gaz inflammables liquéfiés.

Il convient toutefois de souligner qu'il est souvent difficile voire impossible d'appliquer, à un stockage de générateurs d'aérosols, les recommandations des textes se rapportant à ces rubriques particulières.

7.2 ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION RELATIFS À LA SÉCURITÉ D'UN STOCKAGE DE GÉNÉRATEURS D'AÉROSOLS

L'INERIS, au vu des considérations développées dans les chapitres précédents, présente ci-après des mesures de prévention et de protection dont la mise en œuvre serait de nature à faire évoluer un stockage de générateurs d'aérosols en entrepôt vers plus de sécurité :

7.2.1 CONCEPTION DE LA ZONE DE STOCKAGE

- s'assurer de la conformité des installations avec les textes réglementaires et les normes cités au paragraphe précédent,
- compartimenter ou isoler le local pour éviter ou limiter la propagation de l'incendie par la projection de générateurs d'aérosols en feu (local séparé et zone grillagée dans le grand bâtiment de stockage),

7.2.2 DIMENSIONNEMENT DES DISPOSITIFS DE PREVENTION ET DE PROTECTION

- lutter contre les projections éventuelles.

Selon la nature du boîtier, on observe un éclatement ou un effet « fusée ». Afin de prévenir la propagation d'un éventuel incendie de la zone de stockage des boîtiers d'aérosols vers l'entrepôt, une solution consiste à mettre en œuvre un compartimentage grillagé vertical dans l'axe central des palettiers. Un tel grillage métallique, qui serait tendu entre le sol et la toiture de l'entrepôt, devra être :

- de mailles suffisamment serrées pour retenir les boîtiers projetés,
- suffisamment résistant et convenablement ancré.

Un tel grillage aura pour fonction de limiter les projections de générateurs d'aérosols enflammés vers d'autres palettes, de contribuer à limiter l'extension du sinistre et favoriser ainsi l'efficacité du système d'extinction automatique. La surface en feu pourrait alors être limitée au seul stockage des boîtiers d'aérosols. Il convient de plus de garder en mémoire une valeur minimale de 30 à 50 mètres environ autour des locaux de stockage des générateurs d'aérosols pour s'affranchir totalement des risques de propagation de l'incendie par projections de boîtiers enflammés en cas de dégradation du grillage.

- veiller à la tenue des structures au feu, qu'il s'agisse des murs, des palettiers ou des grillages :

Les murs doivent être, dans la mesure du possible, de type coupe-feu deux heures, notamment au vu de l'effet cheminée observé lors des essais réalisés à l'INERIS.

Factory Mutual préconise, dans le cas de stockage en palettiers, la mise en place d'un plancher de bois (aggloméré) sur chaque niveau de stockage. Cette disposition doit limiter « l'effet cheminée » et la propagation verticale du feu, et permettre une meilleure efficacité du système d'extinction automatique.

De façon générale, les palettiers métalliques résistent à des températures élevées (500°C et plus).

Il est envisageable de prévoir l'arrosage éventuel des murs des bâtiments proches de la cellule de stockage des générateurs d'aérosols.

- veiller à la tenue des structures aux contraintes mécaniques, qu'il s'agisse des murs, des palettiers ou des grillages,
- étudier les effets dominos, et notamment la propagation de l'incendie vers d'autres installations non protégées par un arrosage.
- veiller au dimensionnement des systèmes d'extinction automatique par mousse ou par eau (se référer par exemple la norme NFPA n°30B),
- prévoir une rétention au sol pour des générateurs contenant une forte proportion de liquides inflammables.

La surface en feu est susceptible d'augmenter si une phase liquide avec hydrocarbures surnageant se répand au sol. Il peut être envisagé de prévoir pour les liquides inflammables une rétention, par exemple en prévoyant un décaissé. A

noter que l'on n'a pas observé de phase liquide au sol durant les essais concernant des laques ou des déodorants.

7.2.3 INTERVENTION SUR UN INCENDIE

- agir sur la zone en feu avec un agent extincteur et dès le début de l'incendie, afin d'éviter l'embrasement généralisé du local (sprinklers, noyage du local avec de la mousse à haut foisonnement, etc),
- se protéger des effets toxiques et mécaniques en cas d'intervention : une intervention sur un incendie affectant le stockage des générateurs d'aérosols nécessite une protection respiratoire et vestimentaire adaptée (protection contre la chaleur et les fumées), ainsi qu'un casque (projections de boîtiers).

7.2.4 EXPLOITATION DU STOCKAGE DE GENERATEURS D'AEROSOLS

- veiller à la sécurité sur les zones de conditionnement et de manipulation des palettes.

Il est approprié de prendre des mesures visant à éviter qu'une cargaison de générateurs d'aérosols en transit ne soit impliquée dans un incendie affectant l'aire de chargement/déchargement ou de conditionnement de l'entrepôt (éloignement des quais et limitation de la quantité stockée par exemple). En cas d'incendie, une projection dans un camion pourrait enflammer son chargement.

Il conviendrait ainsi de prévoir des moyens, à disposition sur place, permettant une extinction rapide d'un feu se développant dans les zones de manipulation et de conditionnement de palettes. Il y aura lieu d'insister tout particulièrement sur les caractéristiques de disponibilité et de fiabilité de tels moyens, au prix, par exemple, de redondances adaptées.

Ces moyens d'intervention devront être disponibles, rapides, efficaces et adaptés à l'intervention dans des zones de manipulation de générateurs d'aérosols,

- limiter la dégradation (par chocs) des générateurs d'aérosols (système de stockage et formation du personnel),
- prévoir des formations spécifiques sur les produits conditionnés sous forme d'aérosols pour le personnel amené à les manipuler.

- veiller à la sécurité des engins de manutention :

Une inflammation peut survenir suite à un choc entraînant un percement et une étincelle, ou à la suite d'une erreur de manutention avec un engin de levage.

Diverses dispositions peuvent être envisagées sur les engins de manutention :

- fourches à bout arrondi,
 - longueur adaptée pour éviter le dépassement des fourches sous la palette,
 - matériau anti-étincelle (acier inoxydable, bronze, etc),
 - tresses anti-statiques reliant les engins au sol pour éviter les effets électrostatiques.
- Disposer les palettes de produits aérosols dans une zone spécifiquement dévolue à leur stockage, de préférence à l'écart des autres produits combustibles.

Ces remarques ont une valeur générale, et sont à adapter en fonction notamment de l'analyse de risques spécifique au cas étudié.

8 CONCLUSION

Le stockage de produits conditionnés sous forme de générateurs d'aérosols tels que les laques, les déodorants, les produits d'entretien ménager présente un risque vis-à-vis de l'incendie, de part la forte proportion de composés inflammables qu'ils présentent. Ce risque est à considérer dans le cadre d'une étude de dangers.

Le présent document a proposé une méthodologie visant à prendre en compte ce risque, à définir des scénarios accidentels, à évaluer leurs conséquences en terme d'effets thermiques radiatifs, et enfin à proposer des mesures de prévention et de protection adaptées à ce risque.

Cette méthodologie est basée notamment sur le retour d'expérience et les essais réalisés à l'INERIS au cours des dix dernières années.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- **un incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols se développe de façon très rapide selon plusieurs phases.** Une première phase de montée en puissance durant laquelle les éclatements individuels se succèdent de façon espacée, une phase de régime maximal durant lequel ces éclatements sont quasi-simultanés et une phase d'extinction
- on observe **un mur de flamme quasiment continu** au cours du régime maximal de l'incendie ;
- **des projectiles sont émis**, dont certains peuvent présenter un caractère incendiaire, dans une limite probable de l'ordre d'une cinquantaine de mètres ;
- certains produits, notamment ceux qui présentent une forte proportion d'eau, ne conduisent pas à l'établissement d'un incendie auto-entretenu ;
- **l'intensité des effets thermiques peut être relié au potentiel calorifique du stockage.** Plus ce dernier est important, plus les effets thermiques seront importants en cas d'incendie ;
- l'INERIS propose de retenir, pour les modélisations des effets thermiques du mur de flammes associé à ce type d'incendie, **un pouvoir émissif de l'ordre de 100 kW/m²**, ainsi qu'une **hauteur égale à la hauteur de stockage, majorée de dix mètres**. Ceci peut s'appliquer, dans une approche prudente, aux différentes formulations susceptibles de conduire à un embrasement généralisé,
- les systèmes d'extinction à eau ou à mousse doivent être dimensionnés de façon spécifique pour ces produits,
- **la présence d'une cage grillagée**, séparant le stockage des autres zones, peut permettre de limiter l'extension du sinistre par projections de boîtiers enflammés. Il doit être cependant correctement dimensionné pour résister aux contraintes mécaniques et thermiques qu'il pourrait subir. Rappelons que la partie basse du grillage est souvent la plus sollicitée,
- **un mur coupe-feu** permet non seulement de limiter l'extension par projection de boîtiers mais également par rayonnement thermique. Ce dernier point constitue un avantage indéniable par rapport à la présence d'une cage grillagée.

Nota Bene :

Le présent document fait état du savoir-faire de l'INERIS en l'état actuel des connaissances techniques et scientifiques sur le sujet. Ses conclusions pourront être modifiées en fonction d'éléments nouveaux qui pourraient être apportés par des travaux ultérieurs.

9 GLOSSAIRE

ARIA	:	base de données d'accidents du BARPI
APSAD	:	Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages
BARPI:		Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industriels du MATE
BLEVE	:	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
CEA	:	Comité Européen des Assurances
CFA	:	Comité Français des Aérosols
CFC	:	Chloro Fluoro Carbones, c'est à dire alcanes partiellement ou entièrement substitués par du chlore et du fluor
DME	:	DiMéthylEther
FMRC	:	Factory Mutual Research Corporation
G.P.L.	:	Gaz de Pétrole Liquéfié
ICPE	:	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IDLH	:	Immediately Dangerous for Life and Health
MATE	:	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
NFPA	:	National Fire Protection Association
NIOSH	:	National Institute for Occupational Safety and Health
PVC	:	PolyVinyl Chloride (polymère du Chlorure de Vinyle ou Chloroéthylène)

10 BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. CHAINEAUX
Eléments de caractérisation des risques incendie liés à l'activité de stockage des générateurs d'aérosol
Ministère de l'Environnement - Service de l'Environnement Industriel, Décembre 1996
- [2] J. CHAINEAUX
Essais d'incendie de générateurs d'aérosols stockés en caisses et essais sur palettes
Essais préliminaires et essais de palettes n°1 et n°2 (1991)
Compte-rendu INERIS référencé INERIS-EXP-JCn-JBr/CD F42 e/363 78-6587
- [3] J. CHAINEAUX
Aide à l'élaboration de règles de classement pour le stockage des aérosols
Rapports INERIS intermédiaire et final – 1997
- [4] J. CHAINEAUX
Caractérisation du phénomène d'incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols
Rapport INERIS final pour le Comité Français des Aérosols, décembre 2000
- [5] Loss Prevention Data Sheet 7-29S (revised 1990) " Storage of Aerosol Products "et Loss Prevention
Technical Advisory Bulletin 7-29S (1992) " Storage of Aerosol Products - ESFR Protection "
- [6] NFPA 30B " Code for the Manufacture and Storage of Aerosol Products " (1994)
Publication NFPA.
- [7] K.S. MUDAN et al. (1988)
Fire Hazard Calculation for Large Open Hydrocarbon Fires.
S2 Ch. 2-4.
SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 1st Ed, 1988.
- [8] K.S. MUDAN (1984)
Thermal radiation Hazards from Hydrocarbon pool fires.
Prog. Energy Comb. Sci., Vol 10, pp 59-80.
- [9] BABRAUSKAS (1983)
Estimating large pool fire burning rates
Fire Technology, vol 19, pp 251-261.
- [10] P. GONZALES (1992)
Une problématique du feu.
Rapport interne INERIS - 1992
- [11] J. HOFMANN : « Modeling of fire for risk assessment in petrochemical industries »
Heavy gas and risk assessment Symposium. Francfort 25-26/5/82.
- [12] MOORHOUSE and PRITCHARD (1971).
Thermal rad. hazards from large pool fires and fireballs - A litterature review
Inst. Chem. Eng. symp. series, 1971, pp 1-32.

11 LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb pages
Annexe 1	Tableau A-1-7 du code 30B de NFPA	4
Annexe 2	Accidents impliquant des générateurs d'aérosols	7
Annexe 3	Présentation et interprétation des résultats des essais menés en 1991	8
Annexe 4	Présentation et interprétation des résultats des essais menés en 1999 et 2000	12
Annexe 5	Etude de la relation entre les flux thermiques mesurés et les énergies disponibles pour les essais menés en 1999 et 2000	3

Annexe 1 :

Tableau A-1-7 du code 30B de NFPA

Le tableau présenté dans les pages suivantes est extrait de la norme NFPA n°30B, intitulée « Code for Manufacturing and Storage of Aerosols Products » (édition de 1994). Ce tableau est référencé « Table A-1-7 » dans cette norme. Il permet de déterminer la chaleur de combustion d'une préparation conditionnée sous forme de générateurs d'aérosols, afin d'établir sa classification.

Le tableau présente :

- en première et deuxième colonne, le nom chimique de la substance,
- en troisième colonne, le numéro CAS (Chemical Abstract Service Registration Number),
- en dernière colonne, la chaleur de combustion réelle, qui représente la quantité de chaleur dégagée, en kJ/g, quand la substance est oxydée de façon à former des produits finaux stables, y compris l'eau sous forme de vapeur, mesurée dans des conditions de feu réelles sous une atmosphère ambiante normale.

Les chaleurs de combustion théorique ainsi que les rendements de combustion, utilisés pour déterminer les chaleurs de combustion réelles listées dans ce tableau, sont disponibles dans la documentation de la NFPA.

La mention « a » dans la troisième colonne signifie que le matériau présente un point éclair supérieur à 260°C, dans les conditions de test définies par ASTM D92 (Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup), ou qu'il s'agit d'un matériau combustible solide. De tels matériaux interviennent très peu dans le cadre de l'inflammation de produits sous forme d'aérosols dans un incendie réel, en raison d'une combustion incomplète ou d'un comportement au feu peu significatif (par exemple, si la majorité des produits dégagés ne brûlent pas). De tels matériaux sont considérés comme « neutres » dans la détermination générale du niveau de classification d'un produit. Ils peuvent être ignorés, ou être affectés d'une chaleur de combustion de 0 kJ/g.

Ce tableau a été reproduit tel quel ci-après dans sa version anglaise. La première colonne a néanmoins été rajoutée afin de donner la signification française des noms de substances figurant originellement en anglais.

Nom traduit	Nom original Tableau A-1-7 du code 30B de NFPA	N° CAS	Chaleur de combustion ΔH_c en (kJ/g)
Acétone	Acetone	67-64-1	27.7
Résine acrylique	Acrylic Resin	-	a
	Alkyd Resin	-	a
Aluminium	Aluminium	7429-90-5a	-
Asphalte	Asphalt	8052-42-4	22.7
Sulfate de Baryum	Barium Sulfate	7727-43-7	0.0
Benzidine (jaune)	Benzidine (Yellow)	92-87-5	a
Butane	Butane	106-97-8	43.3
2-Butoxyethanol	2-Butoxyethanol	111-76-2	29.6
Phtalate de Benzyle et de Butyle	Butyl Benzyl Phtalate	85-68-7	31.5
Carbonate de Calcium	Calcium Carbonate	1317-65-3	0.0
Noir de charbon	Carbon Black	1333-86-4	a
Dioxyde de Carbone	Carbon Dioxide	124-38-9	0.0
1-Chloro-1, 1 - Difluoroethane (HCFC 142b)	1-Chloro-1, 1 - Difluoroethane (HCFC 142b)	75-68-3	3.3
Hydroxyde de Chrome	Chromium Hydroxyde	1308-14-1	0.0
Huile de Maïs	Corn Oil	8001-30-7	35.3
	Diacetone Alcohol	123-42-2	35.1
1,1-Dichloro-1- Difluoroethane	1,1-Dichloro-1- Difluoroethane	1717-00-6	2.9
Ether Monobutylique du diéthylenglycol	Diethylene Glycol Methyl Ether	112-34-5	33.0
1,1-Difluoroethane (HCFC 132a)	1,1-Difluoroethane (HCFC 132a)	75-37-6	6.3
1,2-Diméthoxyethane	1,2-Diméthoxyethane	110-71-4	25.9
Diméthylether	Dimethyl Ether	115-10-6	26.5
Monométhylether de di propylèneglycol	Dipropylene Glycol Methyl Ether	34590-94-8	32.2
Ethanol	Ethanol	64-17-5	24.7
Ethanol (95,6 % Azeotrope)	Ethanol (95,6 % Azeotrope)	64-17-5	23.6
2-Ethoxyethanol	2-Ethoxyethanol	110-80-5	25.9
Acétate de 2- ethoxyethyle	2-Ethoxyethyl Acetate	111-15-9	30.9

Nom traduit	Nom original Tableau A-1-7 du code 30B de NFPA	N° CAS	Chaleur de combustion ΔH_c en (kJ/g)
Ethyl 3- Ethoxypropionate	Ethyl 3- Ethoxypropionate	763-69-9	32.0
Ethylbenzene	Ethylbenzene	100-41-4	29.0
Ethylene-glycol	Ethylene Glycol	107-21-1	16.4
Ethylene Glycol Diacetate	Ethylene Glycol Diacetate	111-55-7	32.0
Graphite	Graphite	7782-42-5	a
Hexylene Glycol	Hexylene Glycol	107-41-5	28.5
Oxyde de fer	Iron Oxide	1309-37-1	0.0
Isobutane, see 2- Methylpropane	Isobutane, see 2- Methylpropane	-	-
Isobutanol	Isobutyl Alcohol	78-83-1	29.8
Acetate d'isopropyle	Isopropyl Acetate	108-21-4	25.5
Alcool isopropylique	Isopropyl Alcohol	67-63-0	27.4
Myristate d'isopropyle	Isopropyl Myristate	110-27-0	36.2
Palmitate d'isopropyle	Isopropyl Palmitate	142-91-6	37.2
	Kaolin Clay (Aluminium Silicate Hydroxide)	1332-58-7	0.0
Kérosène	Kerosene	8008-20-6	41.4
d-Limonene	d-Limonene	5989-27-5	39.8
Liquides non combustibles/ non inflammables	Liquids, Noncombustible/Nonfla mmable	-	0.0
Liquides ne contribuant pas	Liquids, Non contributory	-	a
Silicate de Magnésium (Talc)	Magnesium Silicate (Talc)	14807-96-6	0.0
Méthanol	Methanol	67-56-1	19.0
Acétate de l'éther monométhyle du propylène glycol	1-Methoxy-2-Propanol Acetate	108-65-6	30.9
Méthyléthylcétone	Methyl Ethyl Ketone	78-93-3	30.6
3-Méthyl 2-Butanone	Methyl Isopropyl Ketone	563-80-4	31.1
Méthyl n-amylcétone	Methyl n-Amyl Ketone	110-43-0	35.0
Dichlorométhane	Methylene Chloride	75-09-2	2.1
Isobutane	2-Methylpropane	75-28-5	42.8

Nom traduit	Nom original Tableau A-1-7 du code 30B de NFPA	N° CAS	Chaleur de combustion ΔH_c en (kJ/g)
Mica (Mica Silicate)	Mica (Mica Silicate)	12001-26-2	0.0
Huile minérale	Mineral Oil	8012-95-1	31.5
Huile minérale (Distillats de pétrole)	Mineral Spirits (Petroleum Distillate)	64742-47-8	41.2
Huile minérale (Distillats de pétrole)	Mineral Spirits (Petroleum Distillate)	64742-88-7	41.2
N,N-Diethyl-m- Toluamide (Deet)	N,N-Diethyl-m- Toluamide (Deet)	134-62-3	28.2
Acetate de n-Butyle	n-Butyl Acetate	123-86-4	27.6
n-Heptane	n-Heptane	142-82-5	41.0
n-Hexane	n-Hexane	110-54-3	41.1
n-Octyl Bicycloheptane Dicarboximide	n-Octyl Bicycloheptane Dicarboximide	113-48-4	30.0
Naphta (solvant STODDARD)	Naphta (High Flash)	8052-41-3	41.2
	Naphta (Petroleum Distillate)	8030-30-6	41.2
	Naphta, VM & P (Petroleum Distillate)	64742-95-6	41.2
	Naphta, VM & P (Petroleum Distillate)	64742-48-9	41.2
	Naphta, VM & P (Petroleum Distillate)	64742-94-5	41.2
Azote	Nitrogen	7727-37-9	0.0
Paraffine (cire)	Paraffin (Wax)	8002-74-2	a
Pentane	Pentane	109-66-0	41.9
Tetrachloroethylene	Perchloroethylene (Tetrachloroethylene)	127-18-4	a
Distillats de pétrole	Petroleum Distillate	64741-65-7	41.2
	Phtalocyanine Blue	147-14-8	a
	Phtalocyanine Green	1328-53-6	a
Butoxyde de Piperonyle	Piperonyl Butoxide	51-03-6	32.0
	Polyoxyethylene Sorbitan Oleate	9005-65-6	a
	Polyoxyethylene (20) Sorbitan Monolaurate	9005-64-5	a
Propane	Propane	74-98-6	44.0
Propyleneglycol	Propylene Glycol	57-55-6	20.5
2-Butanol	sec-Butyl Alcohol	78-92-2	39.9

Nom traduit	Nom original Tableau A-1-7 du code 30B de NFPA	N° CAS	Chaleur de combustion ΔH_c en (kJ/g)
	Silica (Crystalline)	-	0.0
	Silica, Amorphous Hydrated	7631-86-9	0.0
	Silicone Oil	63148-58-3	a
	Silicone Oil	63148-62-9	a
Solides non combustibles/non inflammables	Solids, Noncombustible/Nonflammable	-	0.0
Solides ne contribuant pas	Solids, Non contributory	-	a
	Sorbitan Monolaurate	1338-39-2	37.9
	Sorbitan Monopalmitate	26266-57-9	37.9
	Styrene Butadiene Rubber	25038-32-8	a
	Tin Oxide (Stannic Oxide)	18252-10-5	0.0
Dioxyde de Titane	Titanium Dioxide	13463-67-7	0.0
Toluène	Toluene	108-88-3	28.4
Triacétine	Triacetin	102-76-1	35.4
1,1,1-Trichloroethane	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	a
Trichloroethylene	Trichloroethylene	79-01-6	a
	1,2,4-Trimethylbenzene (Pseudocumene)	95-63-6	27.5
Eau	Water	7732-18-5	0.0
Xylène	Xylene	1330-20-7	27.4
Oxyde de Zinc	Zinc Oxide	1314-13-2	0.0

Annexe 2 :

Accidents impliquant des générateurs d'aérosols



Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques

Accidents impliquant des générateurs d'aérosol

Base de données ARIA

Etat au 31/12/96

SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL

BUREAU D'ANALYSE DES RISQUES ET DES POLLUTIONS INDUSTRIELLES

1. Méru (60 - 01/01/67)

Une cinquantaine d'employés d'une entreprise de conditionnement d'aérosols sont plus ou moins grièvement blessés lors d'un incendie dans leur établissement (jour et mois de l'accident non connus).

2. Villeurbanne (69-18/10/81)

Un feu d'origine accidentelle ou malveillante se déclare dans une droguerie en gros où sont notamment stockés en petit conditionnement 14 tonnes de chlorate de sodium et 33 000 litres de liquides inflammables (alcool, solvants, etc.). Des riverains donnent l'alerte à 1 h 20. De violentes explosions (perçues à 7 km) se produisent durant l'intervention. Des poutrelles en métal projetées entre 5 et 200 m (certaines par dessus un immeuble de 8 étages) font des victimes dans le public (1 mort, 5 blessés dont 1 grave). D'autres missiles sont projetés (boîtes métalliques de 5 kg, générateurs aérosols, etc.). Les pertes sont évaluées à 17 M.F. de stocks et 6 M.F. d'équipements (1981), 10 000 m² de locaux sont détruits. Une école et 150 appartements ont des vitres brisées.

3. Saint-Egrève (38 -08/03/84)

Dans une usine conditionnant des produits chimiques, un incendie se déclare dans le bâtiment réservé aux stockages des produits finis et des emballages. Environ 20 000 générateurs aérosols de produits inflammables, également à proximité, explosent sous l'effet de la chaleur. Les pompiers maîtrisent l'incendie et parviennent à protéger les autres bâtiments. Les locaux directement concernés par le sinistre sont inutilisables et encombrés par les générateurs éventrés. Les jours suivants, les produits sont évacués par des entreprises spécialisées dans le traitement des déchets. Le ruisseau, situé en contrebas de l'usine, est pollué par les eaux d'extinction chargées en mousse et en produits chimiques.

4. Etrépany (27 -15/03/88)

Un incendie se déclare dans une unité de fabrication de produits d'entretien (générateurs aérosols, etc.). Des émanations de produits toxiques se dégagent du site.

5. Tours (37 -24/07/88)

Dans un salon de coiffure, l'explosion de générateurs aérosols provoque un incendie qui se répand à l'ensemble d'un immeuble d'habitation. 15 personnes sont blessées lors de l'explosion et hospitalisées.

6. Royaume-Uni (02/11/88)

Dans un atelier d'emballage de générateurs de peinture en aérosol, une fuite d'acétone se produit dans un colis chargé sur un chariot élévateur. Un opérateur enflamme le produit en appuyant sur un commutateur électrique. L'incendie prend de l'importance et se propage à l'ensemble du site. 150 pompiers interviennent et font évacuer les habitants de deux rues voisines. L'incendie est contrôlé en 3 heures. Un mort et cinq blessés sont à déplorer. Plusieurs réservoirs de butane sont impliqués dans cet incendie (aucune précision disponible).

7. Saint Grève (38 - 03/10/89)

Un incendie se déclare dans un dépôt en sous-sol contenant 5 000 bouteilles de 750 cm³ d'aérosols (désodorisant, insecticides). 50 pompiers interviennent. Les rejets dans le sol sont analysés et les terres souillées enlevées.

8. Héry (89 - 05/01/90)

Un incendie se déclare dans un entrepôt d'une quincaillerie où sont stockées des bouteilles de gaz et des générateurs de peinture. Le magasin et le premier étage de l'immeuble sont entièrement détruits. Les dégâts matériels sont importants.

9. Paris 17^{ème} (75 - 27/03/90)

Une explosion puis un incendie se produisent dans un local servant de réserve aux bouteilles de gaz utilisées pour le conditionnement de parfums et de produits moussants en générateurs aérosols. Le gaz propulseur est un mélange propane/isobutane qui s'est accumulé dans le local après un refoulement lié à une défaillance de la purge de l'installation de remplissage des générateurs. Un chalumeau est à l'origine de l'allumage du nuage. 1 blessé brûlé aux mains, au visage et aux genoux est à déplorer.

10. Vannes (56 - 22/08/90)

Un incendie se déclare dans un magasin de bricolage. Le feu se propage à la faveur d'une série d'explosions de bouteilles de gaz et d'aérosols. Un pompier est intoxiqué par les gaz. Un foyer d'enfants situé à proximité du magasin est évacué par précaution. Les 3 000 m² du magasin sont entièrement détruits.

11. Lunéville (54 - 11/10/90)

Une explosion suivie d'un incendie se produisent dans un hangar destiné aux stockages d'aérosols appartenant à une société spécialisée dans la récupération et transformation des métaux. Le hangar est entièrement détruit. Un employé est grièvement brûlé.

12. Sens (89 - 16/07/91)

Un incendie suivi d'explosions se produit dans le rayon jardinage d'une grande surface. L'incendie très violent est alimenté par des produits très combustibles : alcool, essence, vernis, plastiques. Les explosions sont dues à des générateurs aérosols et des bouteilles de gaz. Un énorme panache de fumée noire est visible à 15 km. Plusieurs pompiers sont incommodés par les émanations.

13. Paris 18^{ème} (75 - 29/07/91)

Un incendie, des explosions et des déflagrations se produisent dans un entrepôt où sont stockés des matériels divers, des cartouches d'air comprimé et des générateurs de laque pour cheveux. Un épais nuage de fumée noire se dégage. 1 500 m² d'entrepôts sont détruits. 60 personnes sont évacuées. 16 sapeurs-pompiers légèrement intoxiqués sont examinés sur place.

14. Champniers (16 - 10/11/91)

A la suite d'explosions au rayon « briquets », le feu se propage dans un magasin occupant une surface de 800 m². Le magasin est entièrement détruit avec toutes les marchandises qu'il contenait. Des générateurs d'aérosols sont projetés à des dizaines de mètres. Une âcre odeur de fumée se dégage. Six personnes sont mises en chômage technique.

15. Villemeux (26 - 25/11/92)

Dans une usine conditionnant des huiles, des lubrifiants et des produits cosmétiques, un feu se déclare dans un atelier de préparation des mélanges injectés dans les aérosols. Des générateurs d'aérosols explosent en projetant des éclats. L'incendie détruit 1 000 m² sur 2 étages (ateliers, locaux administratifs, archives) et génère une épaisse fumée âcre visible à des km à la ronde. Les pompiers, dont l'un sera blessé, interviennent avec plus de 12 véhicules. Des riverains sont évacués. L'Eure est polluée sur plusieurs km ; deux communes sont privées d'eau. Deux employés transvasaient avec une pompe pneumatique de l'isohexane d'un réservoir vers une cuve de préparation alors qu'une plaque électrique chauffante était utilisée pour une autre préparation.

16. Nanterre (92 - 20/08/93)

Un incendie se déclare dans les entrepôts d'une entreprise de transport, stockant notamment des aérosols. Le feu se propage à dix sociétés voisines représentant une superficie totale de 2 500 m². 150 pompiers sont mobilisés. Les locaux, le matériel de bureau, les archives et autres documents sont totalement détruits. Deux pompiers sont légèrement blessés.

17. Volgre (89 - 30/08/93)

Sur l'autoroute A6, un incendie se déclare sur un camion transportant des générateurs aérosols et 5 tonnes de phytophosphate en sacs. Le déchargement est effectué par une entreprise spécialisée.

18. Aiguillon (47 - 17/11/93)

Un incendie se produit dans l'entrepôt de 700 m² d'une entreprise spécialisée dans la commercialisation de produits de droguerie. La combustion des matières plastiques, générateurs aérosols et papiers provoque un épais dégagement de fumée. 40 pompiers et une douzaine d'engins interviennent. Un périmètre de sécurité est établi et l'incendie est circonscrit en 3 heures environ. L'entrepôt et la totalité des stocks sont détruits. La circulation est fortement perturbée par le dégagement de fumée.

19. Le Pouzin (07 - 07/02/94)

Un incendie se déclare dans une grande surface de distribution de 800 m². Des ouvriers procèdent au tronçonnage des bardages métalliques. Les flammèches incandescentes atteignent un stock de papiers et cartons qui s'enflamme. L'incendie se propage aux marchandises situées à proximité (récipients aérosols, bols, huiles et peintures). Le bâtiment et son contenu (vêtements et aliments) sont totalement détruits et le coût des dommages est respectivement de 5 et 2 M.F. Seize employés sont mis en chômage technique. Aucune victime n'est à déplorer.

20. Pays Bas - Zaanstad (08/04/94)

Une série d'explosions fait 1 mort et 5 blessés graves parmi les employés d'une unité spécialisée dans le conditionnement de produits chimiques (remplissage de générateurs aérosols) occupant 55 personnes. L'un des blessés décède lors de son transport à l'hôpital. Les fumées (visibles à 20 km) génèrent des dépôts noirs sur plusieurs communes (60 véhicules endommagés) et les bureaux et habitations du voisinage sont évacués pendant l'intervention, qui dure 20 h (maîtrise en 2 h 30). L'origine du sinistre est liée au renversement d'un fût et à l'ignition de son contenu par une étincelle lors du passage d'un chariot élévateur. L'explosion de petits réservoirs de butane, propane et autres gaz inflammables a contribué à son extension rapide.

21. Vireux-Molhain (08 - 01/08/94)

Un incendie détruit une usine de conditionnement de générateurs aérosols. 50 pompiers parviennent à protéger 3 réservoirs de propane ainsi qu'un stockage de produits chimiques (trichloréthane et acide sulfurique). Les habitations sont évacuées durant les opérations de secours. L'incendie est finalement maîtrisé en 3 h, le matériel informatique ainsi que les archives ayant pu être sauvés. Les riverains évacués ont finalement pu regagner leur domicile.

22. Vireux-Molhain (08 - 06/08/94)

Un incendie détruit une usine de fabrication et de conditionnement de générateurs aérosols. Sur l'emplacement de l'usine subsistent 4 cuves dont l'une contient une dizaine de tonnes de propane. Cette cuve doit être vidangée et dégazée. Une remise en route partielle de l'entreprise devrait s'opérer dans les anciens locaux de l'entreprise en attendant la remise en état du site. Les dommages matériels internes et les pertes de production s'élèvent à 15,5 M.F.

23. Sarreguemines (57 - 10/11/94)

Une violente explosion se produit dans un broyeur de déchets implanté sur une décharge d'ordures ménagères. L'appareil est détruit et le bâtiment qui l'abritait est fortement endommagé (bardage soufflé, structure métallique à contrôler, etc). L'explosion peut avoir pour origine le broyage d'une quantité importante de générateurs aérosols provenant d'un supermarché. Les services de police et de déminage effectuent une enquête. Le fonctionnement de la décharge est interrompu durant la période de réparation et de réaménagement du broyeur ; cette dernière est estimée à 3 mois. Les déchets ménagers sont orientés sur un autre centre de traitement durant les travaux.

24. Grenay (38 - 03/05/95)

Un incendie suivi d'explosions détruisent les 800 m² d'une entreprise de conditionnement d'aérosols de dégrillage et de lubrification. Un énorme panache de fumée noire visible à plusieurs kilomètres se dégage. Des morceaux métalliques sont retrouvés à plus de 100 m. 1 ouvrier est légèrement brûlé par des flammes courant sur le sol. Les eaux d'extinction (300 m³) sont récupérées dans des bacs de rétention mais une partie s'infiltré dans les sols. Une CMIC et la DRIRE interviennent pour faire des prélèvements du sol. L'incendie s'est déclaré dans un atelier de mélange de produits inflammables. Aucune pollution n'est constatée mais 8 employés sont mis en chômage technique. Les emballages détériorés (bidons d'acides, etc) sont reconditionnés dans 2 fûts.

25. Saint-Ouen (93 - 25/02/96)

Un violent incendie d'origine inconnue se déclare dans un entrepôt d'outillage. De nombreuses bouteilles d'acétylène, d'oxygène et de générateurs aérosols explosent. 2 000 m² sont entièrement détruits. 140 pompiers de 12 casernes interviennent et évitent que le feu ne se propage à d'autres entrepôts contigus. Deux pompiers sont légèrement blessés au cours de l'intervention. Le coût de l'accident s'élève à 32 M.F.

26. Egypte - inconnu (04/05/96)

L'explosion puis l'incendie d'un dépôt de 6 millions de récipients aérosols insecticide blessent 6 employés et 17 pompiers.

27. Turquie - Kurttoy (29/04/97)

Dans une usine de conditionnement de récipients aérosols, une panne d'électricité survient. Au retour de l'énergie, une étincelle se produit et les lots de récipients aérosols explosent

successivement. L'encadrement ordonne l'évacuation ; les ouvriers paniquent et personne ne tente d'éteindre le feu. Les pompiers sont alertés. Le feu s'étend à la zone de stockage. Les stocks très importants donnent des flammes s'élevant à 5 m au-dessus du bâtiment. Un réservoir cylindrique de 10 t de butane dépourvu de système de refroidissement explose (BLEVE) 35 minutes plus tard, projetant la virole et les fonds à 20, 40 et 80 m. Les vitres sont brisées dans un rayon de 500 m et le flux thermique est ressenti à 250 m. L'incendie détruit 2 usines voisines.

28. Etats Unis - Elkart (23/06/97)

Une explosion ravage une usine de conditionnement en récipients aérosols, tuant 1 personne, 3 personnes hospitalisées et 59 ayant reçu des soins à l'hôpital. Du gaz toxique a été rejeté. La cause du sinistre n'est pas connue. Environ 2 500 personnes ont été évacuées dans un rayon de 2 km.

N° 2659 du 18/03/1991 - TALENCE (33)

74.4 - Publicité

A la suite d'un acte de malveillance, un incendie se déclare dans une entreprise spécialisée dans l'affichage longue conservation. Le dépôt de matériels (peinture, produits inflammables) et les ateliers de fabrication sont détruits par les flammes.

N° 3200 du 04/04/1991 - VOLVIC (63)

36.6 - Autres industries diverses

Un incendie détruit une fabrique de fleurs artificielles. Des détonations dues à des peintures et solvants se produisent lors de l'incendie.

N° 3337 du 28/05/1991 - SAINT-ANDRE-DE-CUBZAC (33)

36.1 - Fabrication de meubles

Un bidon de solvant explose au moment de son ouverture. Le feu se propage aux vêtements de l'ébéniste, puis dans l'atelier. L'ébéniste est grièvement brûlé au visage et aux mains. L'atelier de vernissage, de réserve de meubles d'acajou sont détruits par les flammes. Une grande partie de la toiture du bâtiment est endommagée par les flammes.

N° 3361 du 01/06/1991 - SENS (89)

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Un incendie se déclare dans un hangar de stockage de fûts de produits chimiques (dégraissants chimiques). Un épais nuage de fumée toxique se dégage. Les pompiers interviennent rapidement avec des moyens importants permettant de maîtriser l'incendie en 1 heure. La population est confinée à domicile pendant 3 heures. La CMIC Auxerre intervient.

N° 7767 du 05/07/1992 - SELLES (51)

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Dans un établissement produisant des peintures et vernis, un camion arrache lors d'une manoeuvre une vanne sur stockage de solvant.

N° 3809 du 25/08/1992 - GRAULHET (81)

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

Un incendie se déclare dans un entrepôt contenant 200 000 litres de solvants utilisés pour le traitement des peaux. Il engendre une série d'explosions et produit des flammes de 50 mètres de haut. De la fumée est visible à plus de 10 km. Des émanations toxiques sont émises dans l'atmosphère et des effluents se déversent dans la rivière LE DADOU. 170 pompiers, dont une CMIC, sont mobilisés. Un périmètre de sécurité de 500 mètres est mis en place et 5 fermes voisines sont évacuées. Des barrages sont installés sur le ruisseau. 5 000 litres de mousse sont répandus sur les cuves. 6 pompiers sont blessés dont 3 grièvement. Les dommages matériels s'élèvent à 1,5 MF.

N° 4416 du 06/04/1993 - MACHELEN (Belgique)

90.0 - Assainissement, voirie et gestion des déchets

Un incendie et des explosions se produisent dans une usine de fabrication de solvants d'une surface de 2 à 3 000 m². Le feu se propage en quelques secondes aux nombreuses cuves de produits chimiques. Des dizaines de maisons sont touchées par les flammes. Des boules de feu de 100 mètres de diamètre et une colonne de fumée de 100 mètres de haut se forment. Des fûts de solvants sont projetés à 50 mètres et des odeurs d'acétone se répandent dans l'air. La circulation ferroviaire, routière et aérienne sont perturbées et 60 personnes souffrant de difficultés respiratoires sont évacuées, une centaine de personnes sont évacuées. Douze ouvriers sont en chômage technique. L'usine automobile proche est arrêtée momentanément. Dégâts de 100 M BEF.

N° 5506 du 23/06/1994 - EVRY (91)

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Un incendie détruit un entrepôt de 2 300 m² appartenant à une entreprise spécialisée dans la fabrication de peintures et solvants. 95 000 litres de liquides inflammables (vernis, peintures, pâtes à bois, etc...) conditionnés en fûts de 0,75 à 5 litres sont détruits. Un hôtel situé à proximité est évacué durant les trois heures d'intervention des pompiers. Les bâtiments administratifs de 600 m² sont préservés. Les dommages matériels et les pertes de production s'élèvent à 21 MF.

N° 5518 du 29/06/1994 - BAZAS (33)

20.3 - Fabrication de charpentes et de menuiseries

Un feu d'origine criminelle se déclare dans un local de 36 m² d'une fabrique de portes isoplans, abritant 6 tonnes d'apprêt à 22% d'acétate de butyle et d'éthyle. 3,2 tonnes de diluant à 50% de benzène, 15 tonnes d'apprêt à l'alcool et 6 m³ de diluant à 40% de toluène. Les pompiers et une CMIC interviennent durant 2 heures. Un pompier est légèrement brûlé. Les 45 m³ d'eaux d'extinction déversés dans les fossés limitrophes sont contenus par des batardeaux avant de rejoindre la BEUVE. Une recherche de toluène et de benzène est effectuée dans les fossés sans succès. Un autre incendie malveillant avec effraction est combattu à quelques heures d'intervalle à Grignols dans la même zone industrielle. Les dommages et pertes d'exploitation sont évalués à 1,2 MF.

N°6108 du 01/08/1994 - Les HERBIERS (85)

36.1 - Fabrication de meubles

Un incendie se déclare dans une fabrique de meubles. Lors de l'installation d'une nouvelle machine dans un atelier de vernissage en fermeture annuelle, des étincelles provenant d'une ébarbeuse enflamment des bidons de solvants présents dans l'atelier. Les pompiers parviennent à circonscrire l'incendie à la zone touchée en s'aidant des murs de maçonnerie séparant les différents locaux. Toutefois, 2 000 des 6 000 m² de l'usine sont détruits. Le coût de l'accident s'élève à 21 MF.

N°2404 du 23/08/1994 - La CHAMBRE (73)

24.1 - Industrie chimique de base

Un feu se déclare dans un bâtiment de stockage de solvants dans une usine chimique. Le POI est déclenché et la voie SNCF voisine est interrompue durant 17 minutes. Les agents de sécurité internes maîtrisent rapidement l'incendie à l'aide de mousse. L'alerte dure 30 minutes ; les secours extérieurs déplacés n'auront pas à intervenir. Cent vingt mètres carrés de toiture et 250 m³ d'oxyde de méthyle sont détruits. Cet accident a pour origine une mauvaise appréciation de la durée de transvasement et le débordement de quelques dizaines de litres de solvant pour une part dans la cuvette de rétention du stockage et, une autre part, par ruissellement à proximité d'un point chaud (tuyauterie de vapeur). Aucun blessé n'est à déplorer.

N°5793 du 25/08/1994 - DOMBLANS (39)

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Dans une société de fabrication de peinture et vernis, un incendie se déclare dans un local de 100 m² où sont entreposés des fûts de solvants à retraiter. L'accident se produit alors qu'un cariste convoyait une palette de produits dans l'unité de stockage. L'incendie aurait été initié par le chariot élévateur lui-même. L'employé s'est extrait seul du local et a parcouru environ 120 à 150 mètres avant qu'un de ses collègues ne parvienne à éteindre ses vêtements en feu à l'aide d'une couverture. Grièvement brûlé au dos et au bras, il est hospitalisé dans un service spécialisé. Les pompiers se rendent maîtres du sinistre en 15 minutes et parviennent à récupérer les eaux d'extinction.

N°5967 du 11/11/1994 - TOMBLAINE (54)

15.8 - Autres industries alimentaires

Un incendie détruit la rotative de l'atelier d'imprimerie des emballages d'une usine de potages déshydratés. Cinq employés essaient de maîtriser les flammes apparues vers 7 h 15, mais l'incendie se propage rapidement à l'ensemble du bâtiment. Sous l'effet de la chaleur des bidons de solvants explosent et alimentent l'incendie. Les pompiers parviennent à le maîtriser au terme d'une heure de lutte. Cette annexe de la société est détruite et l'ensemble de la production est temporairement interrompue. Les dégâts matériels s'élèvent à 10 MF.

N°4219 DU 22/11/1994 - LIMAY (78)

90.0 - Assainissement, voirie et gestion des déchets

Un incendie détruit un entrepôt de 1 000 m² dans une usine de traitement de déchets industriels. Le sinistre concerne en particulier un parc à fûts (capacité unitaire inférieur à 1 000 litres) contenant des solvants divers (dégraissant automobiles, durcisseurs, produits phytosanitaires, etc ...). Une CMIC et 80 pompiers interviennent. L'incendie dure 2 heures mais aucune victime n'est à déplorer et les émissions atmosphériques mesurées dans l'environnement en sont pas toxiques. Aucune pollution des eaux n'est constatée, les eaux d'extinction incendie restant confinées dans un bassin prévu à cet effet. La chute d'un bidon de 30 litres, lors d'une opération de manutention, est à l'origine du sinistre.

N°5123 du 04/12/1994 - SAINTE-MARIE-AUX-MINES (68)

37.2 - Récupération de matières non métalliques recyclables

Dans une usine de recyclage de solvants, un incendie se déclare sur une cuve de 600 litres de solvant. Les pompiers le maîtrisent en 30 minutes.

N°6985 du 01/02/1995 - CHASSORS (16)

YY.0 - Activité indéterminée

Une étincelle produite par une disqureuse actionnée près d'un fût est à l'origine de l'incendie et de l'explosion d'un stock de solvant. Les secours protègent un entrepôt de pneus et deux ateliers voisins.

N°5602 du 28/02/1995 - ERSTEIN (67)

20.3 - Fabrication de charpentes et de menuiseries

Un incendie se déclare en milieu de matinée dans une menuiserie de 500 m² située en plein centre ville. Les 40 pompiers engagés, se doivent d'une part de protéger les habitations environnantes, et d'autre part de neutraliser un dépôt de solvants et d'hydrocarbures qui alimente l'incendie. Le feu est maîtrisé en début d'après-midi mais l'entreprise est totalement détruite. Les 22 employés sont en chômage technique.

N°7196 du 24/07/95 - BLOTZHEIM (68)

25.2 - Transformation des matières plastiques

Un incendie détruit 5 000 m² de locaux dans une usine spécialisée dans le moulage de pièces en matières plastiques. Un énorme panache de fumée noire est visible à des km à la ronde. Le sinistre est circonscrit en 2 heures par 80 pompiers. Un employé incommodé par les fumées est hospitalisé. Les dommages sont très importants, la toiture de l'établissement, la plus grande partie des stocks et l'essentiel des machines sont détruits. Les dommages matériels s'élèvent à 155 MF et 200 employés sont mis au chômage technique. Les eaux d'extinction évacuées dans des puits perdus sont analysées. L'origine de l'accident est un fût de solvant non étanche, un nuage de vapeur s'est enflammé au contact du matériel électrique.

N°7485 du 27/09/1995 - LES MUREAUX (78)

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Dans une usine retraitant des solvants de peinture, un violent incendie se déclare dans la nuit, au niveau d'une fosse enterrée de 15 000 litres, située sous un hangar à claire-voie et utilisée pour recevoir des diluants usagés livrés en petit conditionnement (30 litres). Des réservoirs aériens proches sont menacés. Le POI est déclenché et 100 pompiers (9 casernes) interviennent durant 30 minutes. Les dommages sont limités (fosse détruite). La présence d'un système de sécurité de type déluge n'a pu stopper le début d'incendie. Un pompier est blessé (entorse). Il n'y aura pas de chômage technique. Les eaux d'extinction et les émulseurs sont confinés dans une cuvette de rétention et aucune pollution n'est constatée. Un acte de malveillance n'est pas exclu.

N°8881 du 10/01/1996 - WASQUEHAL (59)

YY.0 - Activité indéterminée

Un déversement accidentel d'hydrocarbures et de solvant se produit à cause d'une accumulation d'égoutture due au nettoyage et dépotage des véhicules de l'entreprise. La MARQUE est polluée. Aucun traitement n'est installé sur le réseau d'égout pour la station de lavage, les eaux de voirie et les eaux sanitaires.

N°9996 du 22/04/1996 - MANTES-la-JOLIE (78)

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Un violent incendie initié par la foudre se déclare dans une usine spécialisée dans la fabrication de peinture pour l'industrie automobile. Un atelier d'une superficie de 300 m² contenant les stocks de peinture, solvants vernis et résines est détruit. Attisé par un vent violent, le feu se propage à une entreprise voisine.

N°8702 du 30/04/1996 - AUDINCOURT (25)

34.3 - Fabrication d'équipements automobiles

Un chariot élévateur perce un fût contenant un solvant non halogène utilisé pour nettoyer du matériel de peinture. Le solvant se déverse sur le sol puis dans le GLAND par l'intermédiaire d'un collecteur des eaux pluviales. Un regard du réseau des eaux pluviales est neutralisé. Un barrage est installé sur le cours d'eau et un produit absorbant est utilisé. Un procès-verbal est dressé à l'encontre de l'exploitant.

N°8908 du 18/05/1996 - VAULX-en-VELIN (69)

51.6 - Commerce de gros d'équipements industriels

Pour une raison inconnue, une explosion suivie d'un incendie se déclare sur des fûts de 200 litres de solvants stockés à l'extérieur d'un entrepôt. Il s'en suit un imposant panache de fumées et une odeur nauséabonde. L'incendie est attisé par un vent violent. Les flammes menacent 5 grosses cuves de solvant. Un poids lourd appartenant à une société voisine est touché par les flammes. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité et maîtrisent le sinistre en une heure. Des prélèvements sont effectués dans le sol et les égouts.

N°8983 du 30/05/1996 - AY (51)

17.5 - Autres industries textiles

Un incendie d'origine criminelle localisé simultanément en deux foyers distincts détruit l'entrepôt d'une usine textile de 1 000 m² abritant du tissu et de la moquette. L'alerte est donnée par un employé. La bouteille de gaz d'un chariot élévateur explose et projette un morceau de bardage métallique à 30 mètres. Des solvants et encres d'imprimerie également présents alimentent le feu. Le POI est déclenché au bout d'une heure. Une CMIC intervient. Une deuxième explosion d'origine inconnue se produit quatre heures plus tard. Un pompier et un employé sont légèrement intoxiqués. Les eaux d'extinction sont retenues dans une cuvette de rétention. L'accès au site est interdit devant le risque d'éboulement des murs et de la charpente. Des analyses air-eau sont effectuées.

N°9040 du 05/06/1996 - SURVILLIERS (95)

63.1 - Manutention et entreposage

Un incendie détruit un entrepôt de 200 m² abritant des fûts d'huile et solvant. Le feu se serait déclenché à la suite de la chute d'un fût de solvant et d'une étincelle. L'opérateur n'est que légèrement choqué.

N°10513 du 01/02/1997 - SANARY-sur-MER (83)

35.1 - Construction navale

Un incendie détruit en une demi-heure l'entrepôt de solvant d'un chantier naval. L'absence de prise d'eau à proximité oblige les secours à pomper l'eau dans la mer. Un pompier blessé au cours de l'intervention est hospitalisé. 45 employés sont mis en chômage technique.

N°10985 du 03/03/1997 - SAINT-LO (50)

73.1 - Recherche - développement en sciences physiques et naturelles

Dans un laboratoire départemental, un feu se déclare dans un local abritant des solvants et divers produits chimiques. Lors du sinistre, 30 employés sont évacués et 2 d'entre eux gravement brûlés sont hospitalisés.

N°11304 du 13/05/1997 - SAILLENARD (71)

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Dans une usine d'additifs chimiques pour le béton d'une superficie de 4 800 m², un solvant (mélange white spirit / MEC de point éclair : 0°C) s'enflamme au cours du remplissage de bidons de 30 litres par gravité. La cuve de fabrication et les bidons s'enflamment. Une superficie de 1 500 m² est incendiée. Un employé légèrement intoxiqué est hospitalisé. Un périmètre de sécurité de 1,5 km est mis en place. Une dizaine d'habitations sont évacuées. Une CMIC procède à des mesures de toxicité. Une expertise attribue l'accident à une décharge d'électricité statique créé par les vêtements de l'opérateur ; ce dernier avait constaté des décharges sans conséquence avant l'accident. Des mesures correctives sont proposées. Les produits chimiques polluent le TEUIL.

N°11605 du 01/06/1997 - SAINT-GREGOIRE (Canada)

36.1 - Fabrication de meubles

Une explosion survient dans une fabrique de meubles, blessant 8 des 30 employés, dont 5 gravement et détruisant 2 maisons voisines. Les vernis et solvants pourraient être à l'origine du sinistre.

N°10168 du 12/06/1997 - LA ROCHE-DE-DE-GLUN (26)

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

Dans un entrepôt abritant des solvants à incinérer dans centre extérieur, un feu se déclare en fin de pompage de fûts dans un camion-citerne. Les fûts étaient habituellement pompés hors du bâtiment mal ventilé. Le sinistre est dû à la chaleur, aux produits déversés sur le sol et aux vapeurs générées en quantités qui ont dû être allumées par un chariot ou l'électricité statique. D'importants moyens interviennent durant 4 heures. Trois personnes, l'une brûlée à 80 %, sont hospitalisées. Le voisinage est évacué et un captage d'eau potable est arrêté. Des prélèvements dans la nappe phréatique sont effectués par crainte d'une pollution due aux eaux d'extinction (250 m³). Le dépôt détruit (500 m² / 1 MF), dont l'activité est réduite, allait être abandonné.

N°13505 du 01/09/1998 - PIERRE BENITE (69)

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Un feu se déclare pour une raison inconnue dans un entrepôt de solvants. Sur 1 tonne de produits impliqués, 3 à 400 kg se déversent dans les égouts. Une cellule antipollution intervient pour limiter les écoulements et nettoyer les secteurs pollués. L'intervention dure 45 minutes. Une entreprise extérieure incinère les déchets liquides récupérés (5,5 tonnes d'un mélange eau et hydrocarbures) Aucune victime n'est à déplorer. Les dommages matériels sont évalués à 1 500 kF.

N°14555 du 20/10/1998 - La FARLEDE (83)

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Dans une entreprise de conditionnement de bombes aérosols, un fût de 200 litres de solvant s'enflamme spontanément et provoque un incendie qui détruit toute l'entreprise. Une importante fumée noire se dégage au-dessus de la zone industrielle. Les risques d'explosion, la toxicité des substances entreposées (solvants, bouteilles de gaz, cuve de fréon) et les fumées toxiques rendent l'intervention des pompiers difficile. Une cellule des risques technologiques et des risques radiologiques interviennent sur place. Les dommages matériels sont de 3,6 MF.

N°14421 du 21/11/1998 - BONS-EN-CHABLAIS (74)

31.2 - Fabrication de matériel de distribution et de commande électrique

Dans une usine de fabrication de composants électroniques, un incendie survient sur des fûts de déchets d'huile de coupe et de dégraissant stockés à l'extérieur. Plusieurs fûts explosent. La propagation du feu se produit à l'usine adjacente et se limite au stockage de quelques matériaux.

Annexe 3 :

Présentation et interprétation des essais menés en 1991



1 ESSAIS PRELIMINAIRES SUR UN GENERATEUR D'AEROSOLS

Des essais ont été réalisés à l'INERIS en 1991 pour caractériser le comportement au feu d'un générateur d'aérosols isolé, dont la capacité unitaire est de l'ordre de 300 à 400 ml. Il s'agit d'une formulation de laque capillaire (base alcoolique et G.P.L.). Ces essais constituaient la phase préliminaire de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols.

Les essais préliminaires ont permis d'observer les phénomènes suivants :

- l'éclatement d'un générateur soumis à un feu de liquide inflammable intervient dans un délai de l'ordre de 1 à 2 minutes (ce délai dépend du mode d'inflammation adopté pour l'essai). Cet éclatement s'accompagne d'effets thermiques et mécaniques,
- les effets thermiques résultent de la combustion rapide du contenu du générateur, sous forme d'une boule de feu de 2 à 3 mètres de diamètre et qui ne dure qu'une fraction de seconde,
- les effets mécaniques se traduisent par la projection des fragments du générateur : en général, il y a production de deux fragments par arrachement du fond bombé ou du couvercle portant la valve,
- si le générateur éclate en position voisine de l'horizontale, le plus gros fragment est projeté à une trentaine de mètres, avec une vitesse initiale de 150 m/s environ,
- les valeurs maximales des flux thermiques ont été mesurées à quelques mètres du foyer et atteignent 13 W/cm^2 , soit 130 kW/m^2 .

2 ESSAIS PORTANT SUR UNE PALETTE DE GENERATEURS D'AEROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE ET SUR UNE PALETTE DE DEODORANTS

Dans le cadre de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols, l'INERIS a réalisé en 1991 des essais en grandeur réelle portant sur le comportement d'une palette contenant des générateurs d'aérosols prise dans un incendie. Une palette de laques et une palette de déodorants ont été testées successivement.

2.1 PRESENTATION DES ESSAIS

Le premier essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols contenus dans des caisses de carton empilées et banderolées sur une palette (84 caisses à 20 générateurs par caisse, soit 1 680 générateurs de 360 ml d'une formulation de laque capillaire)

Le second essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols contenus dans un unique container en carton (1 m x 0,60 m x 0,88 m), posé sur une palette et contenant principalement 500 générateurs de 200 ml d'une formulation de déodorant corporel.

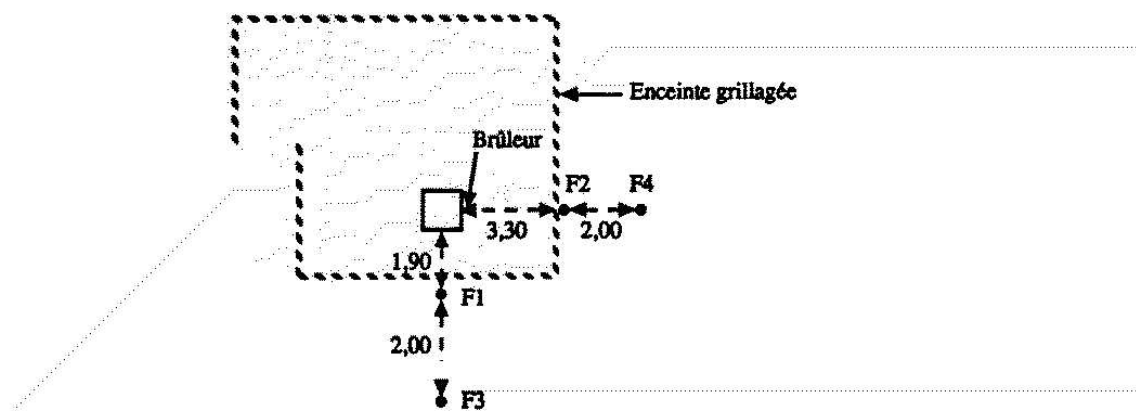
Les laques et les déodorants testés contiennent une base alcoolique propulsée au G.P.L.. La chaleur de combustion du produit n'a pas été déterminée.

Chaque palette est disposée au centre d'une cage parallélépipédique, grillagée sur chacune de ses cinq faces et de section carrée, de 8 m de côté et 4 m de hauteur. L'incendie a été allumé, pour le container, par un brûleur à gaz dont la flamme était dirigée vers la base d'une face, et pour la palette par un feu d'alcool allumé sous la face inférieure. L'évolution des températures à l'intérieur des caisses ou du container et des flux rayonnés autour du foyer a été mesurée et le déroulement de l'incendie a été filmé par caméra vidéo.

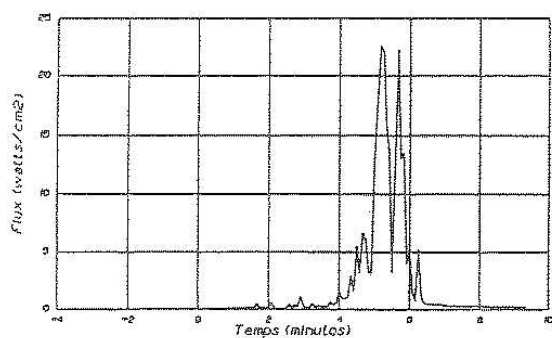
2.2 RESULTATS DES ESSAIS

Les deux pages ci-après présentent les résultats de l'essai d'incendie du container sur palette (500 générateurs de laque). Les deux pages suivantes présentent les résultats de l'essai d'incendie du stockage sur palette (1680 générateurs de déodorant).

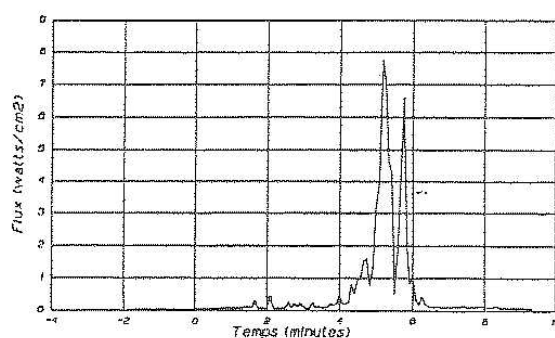
Figure 3 : Mesure des flux thermiques engendrés par l'incendie du container sur palette (500 générateurs + 112 sticks)



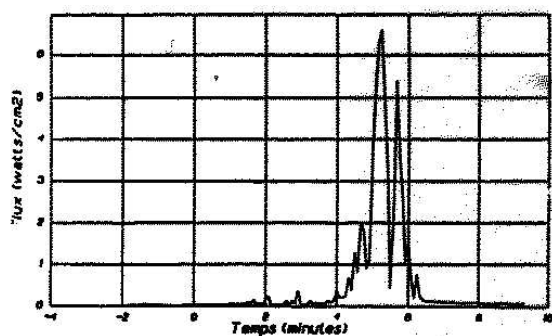
Implantation des fluxmètres (distances exprimées en mètre)



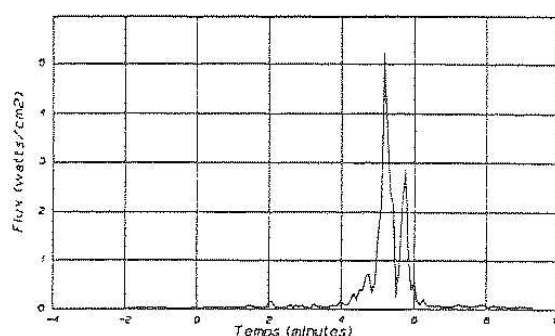
F1 (1,90 m du foyer)



F2 (3,30 m du foyer)



F3 (3,90 m du foyer)

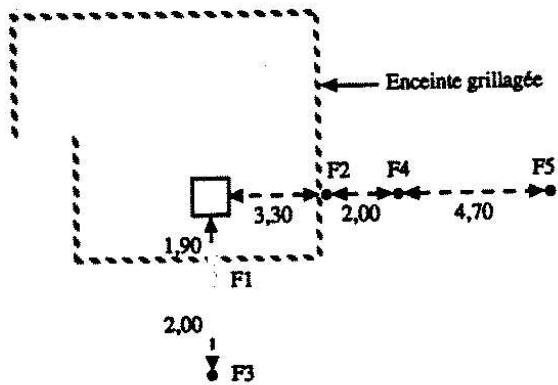


F4 (5,30 m du foyer)

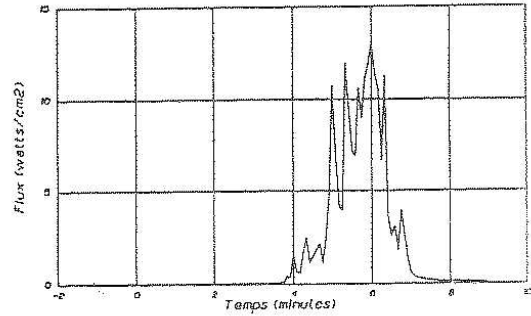
Principales phases d'évolution de l'incendie	Valeurs maximales des flux totaux émis (W/cm ²)					Observations
	1,90 (1)	3,30 (2)	3,90 (1)	5,30 (2)	distances du foyer (m)	
PHASE D'INITIALISATION ET DE DÉVELOPPEMENT RAPIDE DE L'INCENDIE (durée totale = 1 min 34 s)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
PHASE D'EMBRASEMENT GÉNÉRALISÉ durée totale = 4 min 39 s se répartissant comme suit :						
1 - Période d'éclatements successifs de générateurs à intervalles compris entre 1 s et 20 s (durée totale = 2 min 38 s)	1,2	0,5	0,4	0,2		Première série de 12 éclatements de générateurs précédant l'effondrement du container
2 - Période d'éclatements en cascade de générateurs à intervalles avoisinant 1 s (durée totale = 40 s)	10	3,5	3,8	1,6		Seconde série de 7 éclatements de générateurs suivant l'effondrement du container
3 - Période de puissance maximale de l'incendie (durée totale = 1 min 06 s)	22,6	7,7	6,6	5,3		
4 - Période de décroissance de l'intensité de l'incendie (durée totale = 15 s)	5,3	1,1	1,6	0,6		

Tableau 3 - Résultats des mesures de flux thermiques de l'essai n°1

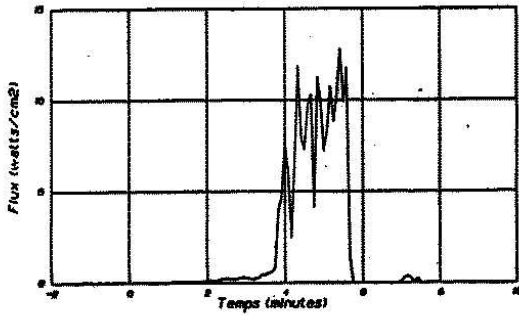
Figure 6 : Mesure des flux thermiques engendrés par l'incendie du stockage sur palette de 1680 générateurs



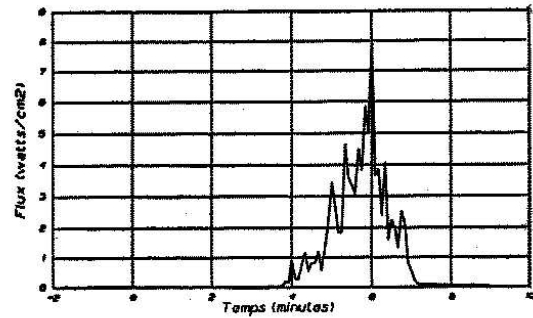
Implantation des fluxmètres (distances exprimées en mètre)



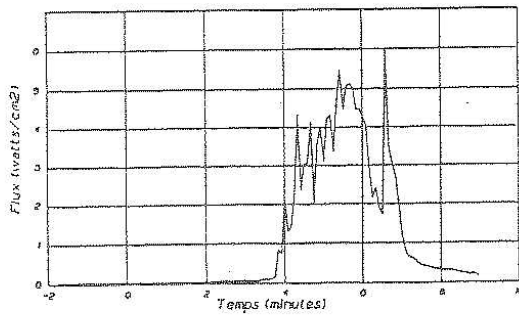
F2 (3,30 m du foyer)



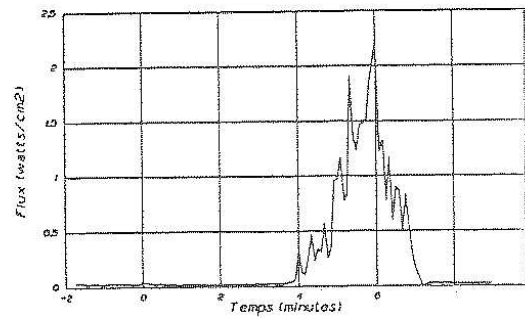
F1 (1,90 m du foyer)



F4 (5,30 m du foyer)



F3 (3,90 m du foyer)



F5 (10 m du foyer)

Principales phases d'évolution de l'incendie	Flux totaux (W/cm ²) distances du foyer						Températures maximales dans le stockage (°C)											
	1,90 m ⁽¹⁾	3,90 m ⁽²⁾	3,90 m ⁽¹⁾	5,90 m ⁽²⁾	10 m ⁽²⁾		A		B		C		D		E		F	
							TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	TC10	TC11	TC12
Phase d'initialisation de l'incendie (durée totale = 2 min 19 s)	< 0,11	-	-	-	-	-	75	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phase de développement rapide de l'incendie (durée totale = 1 min 24 s)	[0,17-0,5]	< 0,11	< 0,11	-	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phase d'embrasement généralisé durée totale = 3 min 30 s se répartissant comme suit :																		
1) éclatement en cascade de générateurs isolés (durée totale = 1 min 02 s)	[0,2-11,8]	[0,4 - 2,5]	[0,8 - 4,3]	[0,2 - 1,3]	[<0,1 - 0,6]		75	165	95	240	140	120	190	485	60	360	76	750
2) pleine puissance de l'incendie (durée totale = 2 min)	[11,2-12,8]	[10,7 - 13]	[4,2- 6,0]	[3,4- 8,4]	[1,2 - 2,2]		500	>1200	>1200	>1200	485	>1200	715	1200	1160	1095	>1200	1015
3) éclatement en cascade de générateurs isolés (durée totale = 28 s)	< 0,4	< 4	< 6	< 2,5	< 0,9		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) mesure réalisée sur un des cotés du stockage
(2) mesure réalisée sur un autre coté du stockage

2.3 OBSERVATIONS

Ces deux essais ont permis de mettre en évidence les étapes successives de la propagation d'un incendie affectant des générateurs d'aérosols :

- l'incendie résulte non seulement de la combustion des matériaux tels que le carton du container ou des caisses, le bois de la palette, la matière plastique du capuchon de chaque générateur ou encore du film de banderolage, mais surtout des produits inflammables qui sont libérés au cours des BLEVE successifs de la grande majorité des générateurs (une petite fraction, de 6 à 9 %, a été retrouvée intacte après chaque essai et n'a donc pas subi de BLEVE),
- au début de l'incendie, les BLEVE concernent des générateurs qui sont soumis au rayonnement du foyer initial (feu de carton) et ils surviennent de façon relativement espacée, de sorte qu'ils produisent des boules de feu dont le rayonnement n'est pas suffisant pour augmenter sensiblement leur fréquence,
- le BLEVE de chaque générateur projette aux alentours des générateurs intacts qui, tombant sur le sol plus ou moins loin de la palette, ne sont plus alors soumis qu'au rayonnement des boules de feu (l'empilement des générateurs dans les caisses de carton se détruit progressivement de l'extérieur vers l'intérieur),
- le développement du foyer initial augmente et la fréquence des BLEVE devient telle que ce foyer est surmonté d'une boule de feu quasi continue, dont le rayonnement devient suffisant pour provoquer le BLEVE des générateurs projetés aux alentours et encore intacts,
- le BLEVE de ces générateurs projetés accélère encore la cadence de l'ensemble des BLEVE et provoque une augmentation des dimensions de la boule de feu, qui finit par s'étendre à presque toute la surface au sol de la cage grillagée, ainsi que sur une hauteur nettement supérieure à 4 m, entraînant ainsi une augmentation de son rayonnement,
- à son stade de développement maximal, l'incendie est donc essentiellement un feu de gaz et, bien que son extinction n'ait pas été tentée, il paraît a priori très difficile d'empêcher le phénomène de se poursuivre jusqu'à son extinction naturelle par défaut de produit combustible, après le BLEVE de la quasi totalité des générateurs,
- entre le premier BLEVE et le moment où la fréquence des derniers BLEVE s'est nettement ralentie, il s'est écoulé moins de 5 minutes.

Les dimensions du foyer ont été observées au cours du régime maximal du feu :

- une hauteur de l'ordre de 5 mètres,
- une longueur (vue de face) de l'ordre de 4 mètres,
- une largeur (vue de profil) de l'ordre de 4 mètres.

En ce qui concerne les niveaux de température et de flux thermique atteints au cours de l'incendie, des valeurs de température supérieures à 1 200°C ont été mesurées dans certaines caisses, et des valeurs de flux maximales de l'ordre de 130 kW/m² ont été mesurées en bordure du foyer. Il s'agit de valeurs très élevées, qui peuvent expliquer en partie la grande rapidité avec laquelle un incendie se propage dans un stockage de générateurs d'aérosols.

2.4 INTERPRETATION DES ESSAIS

Les essais réalisés à l'INERIS ont été exploités afin de valider les modélisations concernant ce type d'incendie. La démarche d'analyse des résultats est présentée au paragraphe 5.4.

Concernant l'incendie d'une palette de générateurs d'aérosols propulsés au G.P.L., les dimensions retenues pour les essais réalisés sont une hauteur du mur de flamme de l'ordre de 5 mètres, une longueur de flammes de l'ordre de 4 mètres et une largeur de l'ordre de 4 mètres.

Ces dimensions, associées à un pouvoir émissif moyen des flammes de l'ordre de 100 kW/m², conduisent à des calculs de flux thermiques cohérents avec les mesures des capteurs (voir Tableau 10).

Capteurs	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du grand côté) en m	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du petit côté) en m	Hauteur du capteur en mètres	Flux moyen mesuré en kW/m ²	Flux calculé pour un pouvoir émissif de 100 kW/m ²
F2	0	-	1.5	100	100
F4	2	-	1.5	45	55
F5	7	-	1.5	12	8
F1	-	0	1.5	100	100
F3	-	2	1.5	40	50

Tableau 10 : Comparaison des mesures des essais et des calculs pour un pouvoir émissif moyen de 100 kW/m² (base alcoolique propulsée au G.P.L.)

Annexe 4 :

Présentation et interprétation des essais menés en 1999 et 2000

1 ESSAI PORTANT SUR TROIS PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE

Dans le cadre de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols, l'INERIS a réalisé en 1999 un essai en grandeur réelle, portant sur le comportement dans l'incendie de trois palettes accolées, contenant des générateurs d'aérosols de laque capillaire.

1.1 PRESENTATION DE L'ESSAI

Cet essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols contenus dans des caisses de carton empilées et banderolées sur trois palettes similaires disposées côte à côte (84 caisses à 20 générateurs par caisse, soit 1 680 générateurs de 360 ml par palette, d'une formulation de laque capillaire contenant 38 % de base alcoolique, 43 % de DME et 17 % de pentane). La chaleur de combustion du produit a été estimée à 28,5 MJ/kg.

Les palettes sont disposées au centre d'une cage parallélépipédique, grillagée sur chacune de ses 4 faces et de section rectangulaire, de 9 m de longueur, 3 m de largeur et 4,5 m de hauteur. L'incendie a été allumé par un feu d'alcool déclenché sous les palettes. L'évolution des flux rayonnés autour du foyer a été mesurée et le déroulement de l'incendie a été filmé par caméra vidéo.

1.2 OBSERVATIONS ET RESULTATS

Cet essai a permis de mettre en évidence les mêmes étapes successives de la propagation d'un incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols que pour les essais sur une seule palette.

Les dimensions du foyer ont été observées au cours du régime maximal du feu :

- Une hauteur de l'ordre de 8 mètres,
- Une longueur (vue de face) de l'ordre de 10 mètres,
- Une largeur (vue de profil) de l'ordre de 5 mètres.

En ce qui concerne les niveaux de flux thermiques atteints au cours de l'incendie, des valeurs maximales de l'ordre de 50 kW/m² ont été mesurées à quelques mètres du foyer.

1.3 INTERPRETATION DE L'ESSAI

Cet essai a été exploité afin de valider les modélisations concernant ce type d'incendie. La démarche d'analyse des résultats est présentée au paragraphe 5.4 du corps du rapport.

Concernant l'incendie de trois palettes de générateurs d'aérosols propulsés au DME, les dimensions retenues pour l'essai réalisé sont une hauteur du mur de flamme de l'ordre de 8 mètres, une longueur de l'ordre de 10 mètres et une largeur de l'ordre de 5 mètres.

Ces dimensions, associées à un pouvoir émissif moyen des flammes de l'ordre de 80 kW/m², conduisent à des calculs de flux thermiques cohérents avec les mesures des capteurs (voir Tableau 11).

Capteurs	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du grand côté) en mètres	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du petit côté) en mètre	Hauteur du capteur en mètres	Flux moyen mesuré en kW/m ²	Flux calculé pour un pouvoir émissif de 80 kW/m ²
254	5	-	1.2	25	30
106382	5	-	1.35	16 (saturation)	30
255	10	-	1.2	10	13
246	17	-	5	6	8
253	-	5	1.2	20	20
106381	-	5	1.35	17 (saturation)	20

Tableau 11 : Comparaison des mesures des essais et des calculs pour un pouvoir émissif moyen de 80 kW/m² (base alcoolique propulsée au DME)

2 ESSAI PORTANT SUR SIX PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE

Dans le cadre de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols, l'INERIS a réalisé en 1999 un essai en grandeur réelle, portant sur le comportement dans l'incendie de six palettes contenant des générateurs d'aérosols de laque capillaire.

2.1 PRESENTATION DE L'ESSAI

Cet essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols contenus dans des caisses de carton empilées et banderolées sur six palettes similaires (84 caisses à 20 générateurs par caisse, soit 1680 générateurs de 360 ml par palette, d'une formulation de laque capillaire contenant 38 % de base alcoolique, 43 % de DME et 17 % de pentane). La chaleur de combustion du produit a été estimée à 28,5 MJ/kg.

Les palettes sont disposées au centre d'une cage parallélépipédique, grillagée sur chacune de ses 4 faces et de section rectangulaire, de 9 m de longueur, 3 m de largeur et 4,5 m de hauteur. Les palettes sont disposées dans des casiers sur deux niveaux avec un vide de 40 cm environ. L'incendie a été allumé par un feu d'alcool déclenché sous les palettes. L'évolution des flux rayonnés autour du foyer a été mesurée et le déroulement de l'incendie a été filmé par caméra vidéo.

2.2 OBSERVATIONS ET RESULTATS

Cet essai a permis de mettre en évidence les mêmes étapes successives de la propagation d'un incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols que pour les essais précédents.

Les dimensions du foyer ont été observées au cours du régime maximal du feu :

- Une hauteur de l'ordre de 10 mètres,
- Une longueur (vue de face) de l'ordre de 12 mètres,
- Une largeur (vue de profil) de l'ordre de 6 mètres.

Le grillage de protection (maille losange de 50 mm) a été perforé en divers endroits.

En ce qui concerne les niveaux de flux thermique atteints au cours de l'incendie, des valeurs maximales de l'ordre de 55 kW/m² ont été mesurées à quelques mètres du foyer.

2.3 INTERPRETATION DE L'ESSAI

Cet essai a été exploité afin de valider les modélisations concernant ce type d'incendie. La démarche d'analyse des résultats est présentée au paragraphe 5.4.

Concernant l'incendie de six palettes de générateurs d'aérosols propulsés au DME, les dimensions retenues pour l'essai réalisé sont une hauteur du mur de flamme de l'ordre de 10 mètres, une longueur de l'ordre de 12 mètres et une largeur de l'ordre de 6 mètres.

Ces dimensions, associées à un pouvoir émissif moyen des flammes de l'ordre de 100 kW/m², conduisent à des calculs de flux thermiques cohérents avec les mesures des capteurs (voir Tableau 12).

Capteurs	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du grand côté) en mètres	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du petit côté) en mètre	Hauteur du capteur en mètres	Flux moyen mesuré en kW/m ²	Flux calculé pour un pouvoir émissif de 100 kW/m ²
255	10	-	1.5	18	21
106382	10	-	2.7	17 (saturation)	23
246	17	-	5	13	13
258	-	10	1.2	12	12

Tableau 12 : Comparaison des mesures des essais et des calculs pour un pouvoir émissif moyen de 100 kW/m² (base alcoolique propulsée au DME)

3 ESSAI PORTANT SUR TROIS PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS D'INSECTICIDE

Dans le cadre de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols, l'INERIS a réalisé en 1999 un essai d'incendie en vraie grandeur portant sur le comportement dans l'incendie de trois palettes contenant des générateurs d'aérosols d'insecticide.

3.1 PRESENTATION DE L'ESSAI

Cet essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols empilés et banderolés sur trois palettes similaires disposées côte à côte, soit 756 générateurs de 500 ml par palette, d'une formulation d'insecticide contenant 6 % de solvants organiques, 57 % d'eau, et 36 % de G.P.L. La chaleur de combustion du produit a été estimée à 18 MJ/kg. Les boîtiers sont en fer.

Les palettes sont disposées au centre d'une cage parallélépipédique, grillagée sur chacune de ses 4 faces et de section rectangulaire, de 9 m de longueur, 3 m de largeur et 4,5 m de hauteur. L'incendie a été allumé par un feu d'alcool déclenché sous les palettes. L'évolution des flux rayonnés autour du foyer a été mesurée et le déroulement de l'incendie a été filmé par caméra vidéo.

3.2 OBSERVATIONS ET RESULTATS

Cet essai a permis de mettre en évidence les mêmes étapes successives de la propagation d'un incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols que pour les essais précédents.

Les dimensions du foyer ont été observées au cours du régime maximal du feu :

- Une hauteur de l'ordre de 6 mètres,
- Une longueur (vue de face) de l'ordre de 6 mètres,
- Une largeur (vue de profil) de l'ordre de 3 mètres.

Par ailleurs, il a été observé un dégagement significatif de suies de combustion au-dessus des flammes, ainsi qu'un comportement de type feu de flaque au sol, a priori lié à l'épandage de l'insecticide contenu dans des boîtiers fuyards.

En ce qui concerne les niveaux de flux thermique atteints au cours de l'incendie, des valeurs maximales de l'ordre de 16 kW/m² ont été mesurées à quelques mètres du foyer.

3.3 INTERPRETATION DE L'ESSAI

Cet essai a été exploité afin de valider les modélisations concernant ce type d'incendie. La démarche d'analyse des résultats est présentée au paragraphe 5.4.

Concernant l'incendie de trois palettes de générateurs d'aérosols propulsés au G.P.L., les dimensions retenues pour l'essai réalisé sont une hauteur du mur de flamme de l'ordre de 6 mètres, une longueur de l'ordre de 6 mètres et une largeur de l'ordre de 3 mètres.

Ces dimensions, associées à un pouvoir émissif moyen des flammes de l'ordre de 70 kW/m², conduisent à des calculs de flux thermiques cohérents avec les mesures des capteurs (voir Tableau 13).

Capteurs	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du grand côté) en mètres	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du petit côté) en mètre	Hauteur du capteur en mètres	Flux moyen mesuré en kW/m ²	Flux calculé pour un pouvoir émissif de 70 kW/m ²
106381	5	-	1.35	18	18
258	10	-	1.5	4	6
255	10		1.5	4	6
283	22	5	6	0.4	1
960926	5	-	1.35	18	18
915660	10	-	1.5	5	6

Tableau 13 : Comparaison des mesures des essais et des calculs pour un pouvoir émissif moyen de 70 kW/m² (base aqueuse propulsée au G.P.L.)

4 ESSAI PORTANT SUR SIX PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS DE PRODUITS D'ENTRETIEN MENAGER

Dans le cadre de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols, l'INERIS a réalisé en 2000 un essai en grandeur réelle portant sur le comportement dans l'incendie de six palettes contenant des générateurs d'aérosols de produit d'entretien ménager.

4.1 PRESENTATION DES ESSAIS

Cet essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols contenus dans des caisses de carton empilées et banderolées sur six palettes similaires (1 200 générateurs de 500 ml par palette, soit 6 960 générateurs au total, d'une formulation de produit d'entretien ménager contenant en moyenne 61 % d'eau déminéralisée, 13 % de composés actifs combustibles et 17 % de butane). La chaleur de combustion du produit a été estimée à 7,5 MJ/kg.

Les palettes sont disposées au centre d'une cage parallélépipédique, grillagée sur chacune de ses 4 faces et de section rectangulaire, de 9 m de longueur, 3 m de largeur et 4,5 m de hauteur. Les palettes sont disposées dans des casiers sur deux niveaux avec un vide de 40 cm environ. L'incendie a été allumé par un feu d'alcool déclenché sous les palettes. L'évolution des flux rayonnés autour du foyer a été mesurée et le déroulement de l'incendie a été filmé par caméra vidéo.

4.2 OBSERVATIONS ET RESULTATS

Cet essai a permis de mettre en évidence que le feu n'a pas développé une puissance suffisante pour s'auto-entretenir. En effet, il a été observé quelques BLEVE successifs, mais qui sont restés cependant trop espacés dans le temps pour que l'on assiste à l'emballement du feu. La contribution au feu des emballages (bois, cartons, plastiques) a été plus importante que celle des produits eux-mêmes. Suite à ces constats, l'essai a été interrompu volontairement, ainsi une bonne partie des générateurs présents initialement n'ont pas brûlé. Le grillage de protection (maille losange de 50 mm) n'a pas été endommagé.

4.3 INTERPRETATION DE L'ESSAI

Les capteurs ont fourni les mesures suivantes (en moyenne) (voir Tableau 14) :

Capteurs	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du grand côté) en mètres	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du petit côté) en mètre	Hauteur du capteur en mètres	Flux moyen mesuré en kW/m ²
247	10	-	1,35	1,5
258	10	-	2	1,25
255	17	-	2	1,25
286	-	10	2	1
7295	-	5	1,35	2
7294	5	-	1,35	4

Tableau 14 : Mesures des essais (base aqueuse propulsée au G.P.L.)

Etant donnée la faible intensité du feu, une interprétation en terme de pouvoir émissif des flammes n'a pas été réalisée.

5 ESSAI PORTANT SUR SIX PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS DE DEODORANT

Dans le cadre de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols, l'INERIS a réalisé en 2000 un essai en grandeur réelle, portant sur le comportement dans l'incendie de six palettes contenant des générateurs d'aérosols de déodorant.

5.1 PRESENTATION DE L'ESSAI

Cet essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols contenus dans des caisses de carton empilées et banderolées sur six palettes similaires (1 728 générateurs de 200 ml par palette, d'une formulation de laque capillaire contenant 42 % d'alcool, 46 % de butane, 9 % de propane et 3 % de composés actifs). La chaleur de combustion du produit a été estimée à 34 MJ/kg.

Les palettes sont disposées au centre d'une cage parallélépipédique, grillagée sur chacune de ses 4 faces et de section rectangulaire, de 9 m de longueur, 3 m de largeur et 4,5 m de hauteur. Les palettes sont disposées dans des casiers sur deux niveaux avec un vide de 40 cm environ. L'incendie a été allumé par un feu d'alcool déclenché sous les palettes. L'évolution des flux rayonnés autour du foyer a été mesurée et le déroulement de l'incendie a été filmé par caméra vidéo.

5.2 OBSERVATIONS ET RESULTATS

Cet essai a permis de mettre en évidence les mêmes étapes successives de la propagation d'un incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols que pour les essais précédents.

Les dimensions du foyer ont été observées au cours du régime maximal du feu :

- Une hauteur de l'ordre de 15 mètres,
- Une longueur (vue de face) de l'ordre de 15 mètres,
- Une largeur (vue de profil) de l'ordre de 5 mètres.

Le grillage de protection (maille losange de 50 mm) a été perforé en divers endroits. Les boîtiers en aluminium semblent avoir participé à la combustion, car une bonne partie d'entre eux n'ont pas été retrouvés à la suite de l'essai.

En ce qui concerne les niveaux de flux thermique atteints au cours de l'incendie, des valeurs maximales de l'ordre de 90 kW/m² ont été mesurées à quelques mètres du foyer.

5.3 INTERPRETATION DE L'ESSAI

Cet essai a été exploité afin de valider les modélisations concernant ce type d'incendie. La démarche d'analyse des résultats est présentée au paragraphe 5.4.

Concernant l'incendie de six palettes de générateurs d'aérosols propulsés au G.P.L., les dimensions retenues pour l'essai réalisé sont une hauteur du mur de flamme de l'ordre de 15 mètres, une longueur de l'ordre de 15 mètres et une largeur de l'ordre de 5 mètres.

Ces dimensions, associées à un pouvoir émissif moyen des flammes de l'ordre de 100 kW/m², conduisent à des calculs de flux thermiques cohérents avec les mesures des capteurs (voir Tableau 15).

Capteurs	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du grand côté) en mètres	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du petit côté) en mètre	Hauteur du capteur en mètres	Flux moyen mesuré en kW/m ²	Flux calculé pour un pouvoir émissif de 100 kW/m ²
247	10	-	1,35	30	36
258	10	-	2	28	36
255	17	-	2	15	17
286	-	10	2	20	17
7301	-	5	1,35	30	60
7300	5	-	1,35	70	65

Tableau 15 : Comparaison des mesures des essais et des calculs pour un pouvoir émissif moyen de 100 kW/m² (base alcoolique propulsée au G.P.L.)

6 ESSAI PORTANT SUR NEUF PALETTES DE GENERATEURS D'AEROSOLS DE LAQUE CAPILLAIRE

Dans le cadre de la campagne d'essais visant à caractériser les incendies affectant un stockage de générateurs d'aérosols, l'INERIS a réalisé en 2000 un essai en grandeur réelle, portant sur le comportement dans l'incendie de neuf palettes contenant des générateurs d'aérosols de laque capillaire.

6.1 PRESENTATION DE L'ESSAI

Cet essai a consisté à suivre le développement de l'incendie de générateurs d'aérosols contenus dans des caisses de carton empilées et banderolées sur neuf palettes similaires (1 008 générateurs de 360 ml par palette, d'une formulation de laque capillaire contenant 38 % de base alcoolique, 43 % de DME et 17 % de pentane). La chaleur de combustion du produit a été estimée à 28,5 MJ/kg.

Les palettes sont disposées au centre d'une cage parallélépipédique, grillagée sur chacune de ses 4 faces et de section rectangulaire, de 9 m de longueur, 3 m de largeur et 4,5 m de hauteur. Les palettes sont disposées dans des casiers sur trois niveaux avec un vide de 40 cm environ. L'incendie a été allumé par un feu d'alcool déclenché sous les palettes. L'évolution des flux rayonnés autour du foyer a été mesurée et le déroulement de l'incendie a été filmé par caméra vidéo.

6.2 OBSERVATIONS ET RESULTATS

Cet essai ont permis de mettre en évidence les mêmes étapes successives de la propagation d'un incendie dans un stockage de générateurs d'aérosols que pour les essais précédents.

Les dimensions du foyer ont été observées au cours du régime maximal du feu :

- Une hauteur de l'ordre de 16 mètres,
- Une longueur (vue de face) de l'ordre de 15 mètres,
- Une largeur (vue de profil) de l'ordre de 6 mètres.

Le grillage de protection (maille losange de 50 mm) a été perforé en divers endroits.

En ce qui concerne les niveaux de flux thermique atteints au cours de l'incendie, des valeurs maximales de l'ordre de 60 kW/m² ont été mesurées à quelques mètres du foyer.

6.3 INTERPRETATION DE L'ESSAI

Cet essai a été exploité afin de valider les modélisations concernant ce type d'incendie. La démarche d'analyse des résultats est présentée au paragraphe 5.4.

Concernant l'incendie de neuf palettes de générateurs d'aérosols propulsés au DME, les dimensions retenues pour l'essai réalisé sont une hauteur du mur de flamme de l'ordre de 16 mètres, une longueur de l'ordre de 15 mètres et une largeur de l'ordre de 6 mètres.

Ces dimensions, associées à un pouvoir émissif moyen des flammes de l'ordre de 100 kW/m², conduisent à des calculs de flux thermiques cohérents avec les mesures des capteurs (voir Tableau 15).

Capteurs	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du grand côté) en mètres	Distance à partir du bord des flammes (médiatrice du petit côté) en mètres	Hauteur du capteur en mètres	Flux moyen mesuré en kW/m ²	Flux calculé pour un pouvoir émissif de 100 kW/m ²
148	10	-	1,35	40	40
255	17	-	2	20	20
286	-	10	2	20	20
7301	-	5	1,35	70	65

Tableau 16 : Comparaison des mesures des essais et des calculs pour un pouvoir émissif moyen de 100 kW/m² (base alcoolique propulsée au G.P.L.)

Annexe 5 :

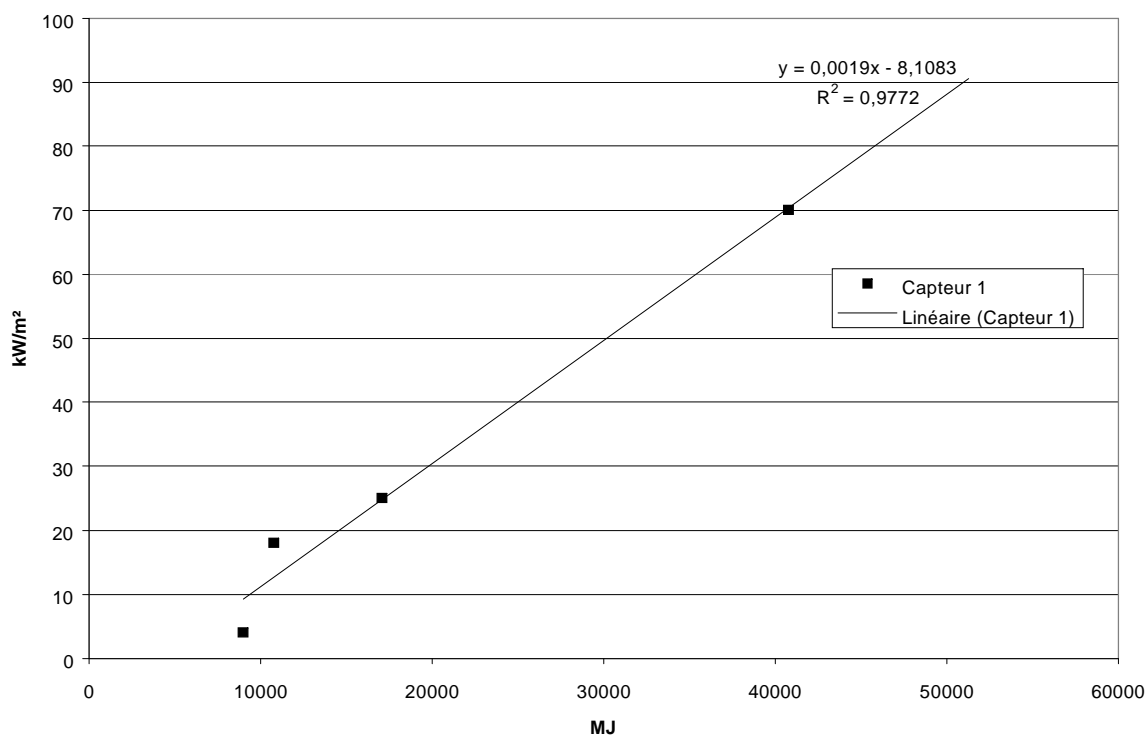
**Etude de la relation entre les flux thermiques
mesurés et les énergies disponibles pour les
essais menés en 1999 et 2000**

Les six essais d'incendie menés en 1999 et 2000 sur des palettes de générateurs d'aérosols ont été instrumentés de façon à mesurer le flux thermique en différents points fixes autour de l'enceinte grillagée abritant les palettes. Ces points sont repérés par le numéro des capteurs qui y ont été disposés :

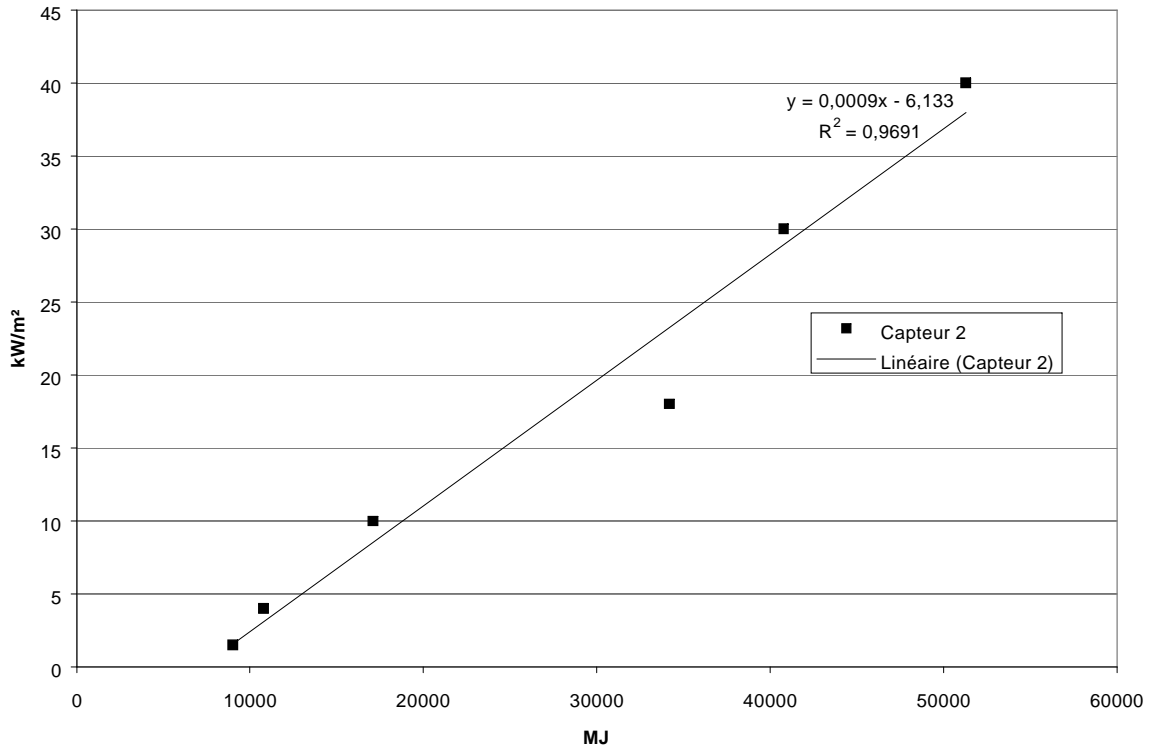
- Capteur 1 : face à l'enceinte, à 5 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 m environ,
- Capteur 2 : face à l'enceinte, à 10 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 m environ,
- Capteur 3 : à droite ou à gauche de l'enceinte, à 5 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 m environ,
- Capteur 4 : à droite ou à gauche de l'enceinte, à 10 mètres du grillage, à une hauteur de 1,50 m environ,
- Capteur 5 : face à l'enceinte, à 17 mètres du grillage, à une hauteur de 2 ou 5 m environ.

Pour chacun des capteurs repérés 1 à 5, une relation linéaire a pu être établie entre le flux thermique mesuré d'une part, et l'énergie disponible d'autre part, pour chacun des six essais. Les cinq graphes présentés ci-après traduisent cette relation.

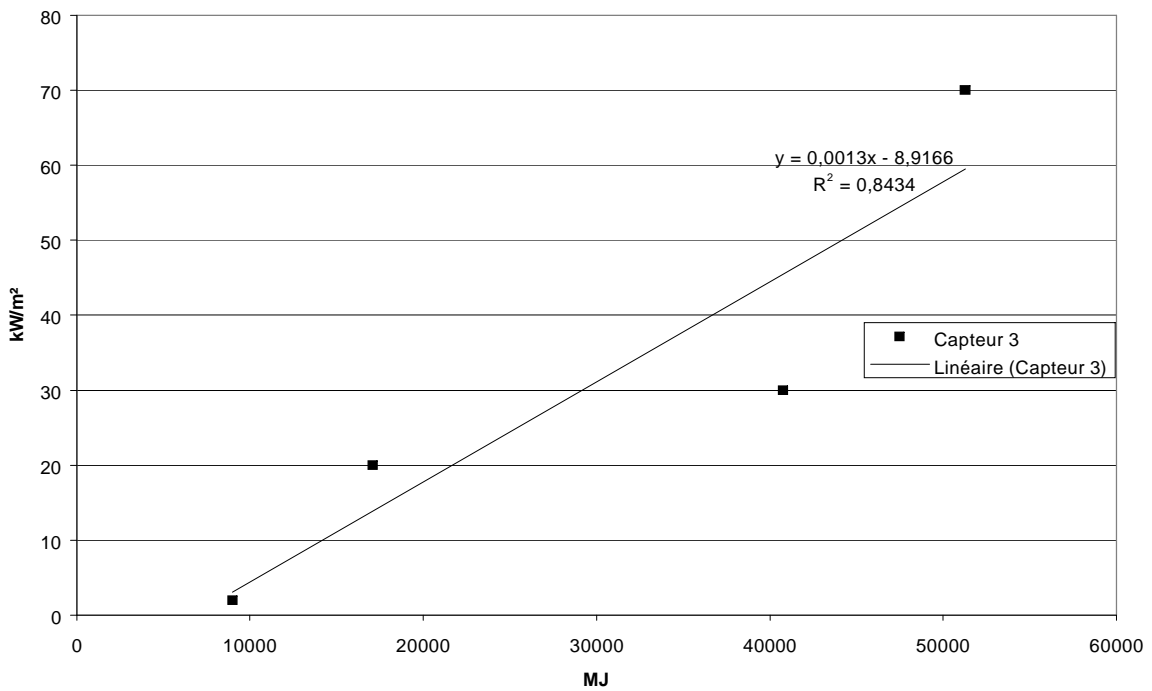
Flux mesurés par le capteur 1 en fonction de l'énergie



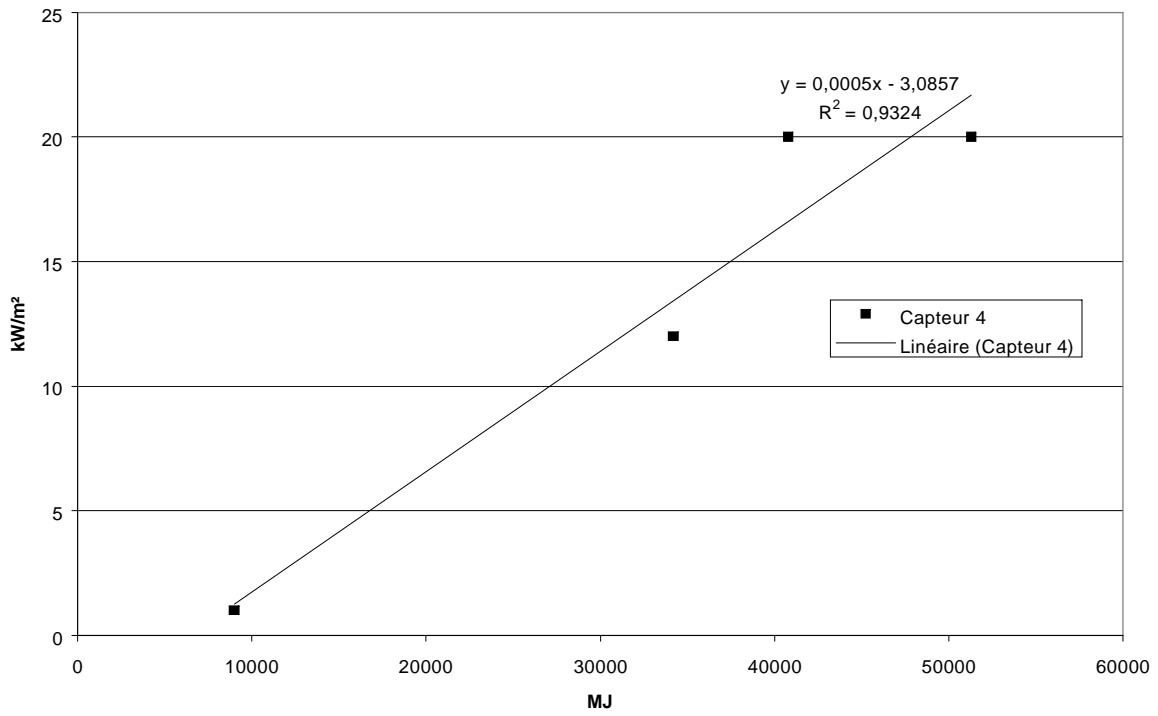
Flux mesurés par le capteur 2 en fonction de l'énergie



Flux mesurés par le capteur 3 en fonction de l'énergie



Flux mesurés par le capteur 4 en fonction de l'énergie



Flux mesurés par le capteur 5 en fonction de l'énergie

