



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

## Développement d'une méthodologie d'évaluation des effets thermiques et toxiques des incendies d'entrepôt




### DRA-03 : Spécificités des entrepôts au regard de l'incendie

Rapport intermédiaire

juin 2000

#### Personnes Ayant Participé à l'étude

André CARRAU, Emmanuel BERNUCHON, Sandrine DESCOURRIERE

	Nom	Qualité	Date	Visa
Rédacteur	André CARRAU	Ingénieur à la Direction des Risques Accidentels	8/06/00	
Vérificateur	Claude CWIKLINSKI	Délégué Appui Technique à l'Administration	9.6.00	
Approbateur	Didier GASTON	Directeur Adjoint à la Direction des Risques Accidentels	5.6.00	

## **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 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

<b>1. CONTEXTE, OBJECTIF ET DÉMARCHE.....</b>	<b>5</b>
1.1 PRÉAMBULE : RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES FEUX D'ENTREPÔT .....	5
1.1.1 <i>Intervention des sapeurs pompiers en France</i> .....	5
1.1.2 <i>Incendies et dommages aux Etats-Unis</i> .....	8
1.1.3 <i>Incendies et dommages sur le territoire britannique</i> .....	9
1.1.4 <i>Synthèse relative au développement et conséquences d'incendies dans un entrepôt</i> .....	10
1.2 OBJECTIF ET DÉMARCHE .....	11
<b>2. CHAPITRE PRÉLIMINAIRE RELATIF A L'ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES D'UN INCENDIE .....</b>	<b>13</b>
2.1 EFFETS THERMIQUES .....	13
2.1.1 <i>Géométrie de la flamme</i> .....	14
2.1.2 <i>Emissivité de la flamme</i> .....	15
2.2 EFFETS TOXIQUES .....	15
2.3 EFFETS SUR LA VISIBILITÉ.....	16
2.4 .....	16
2.5 EFFETS SUR LES STRUCTURES .....	16
2.6 POLLUTION DES EAUX.....	17
2.7 POLLUTION DES SOLS ET NAPPES PHRÉATIQUES .....	17
<b>3. GESTION ET ACTIVITÉS DU SITE DE STOCKAGE.....</b>	<b>18</b>
3.1 SITES DE STOCKAGE AU SEIN D'UNE USINE DE PRODUCTION .....	18
3.1.1 <i>Types de stockage</i> .....	18
3.1.2 <i>Management de la sécurité</i> .....	22
3.1.3 <i>Risques particuliers</i> .....	22
3.2 SITE DÉDIÉ SPÉCIFIQUEMENT AUX ACTIVITÉS DE STOCKAGE.....	23
3.2.1 <i>Les entrepôts réservés</i> .....	23
3.2.2 <i>Les entrepôts locatifs</i> .....	23
3.2.3 <i>Les plates-formes logistiques</i> .....	24
<b>4. MARCHANDISES STOCKÉES.....</b>	<b>28</b>
4.1 STOCKAGE DES MARCHANDISES .....	28
4.1.1 <i>Diversité des produits stockés</i> .....	28
4.1.2 <i>Evolution de la nature et des quantités des produits stockés dans l'entrepôt</i> .....	29
4.1.3 <i>Influence des produits d'emballage et de conditionnement</i> .....	29
4.2 NATURE DES MARCHANDISES .....	31
4.2.1 <i>Gaz</i> .....	31
4.2.2 <i>Produits conditionnés sous forme aérosol</i> .....	31
4.2.3 <i>Liquides</i> .....	32
4.2.4 <i>Solides combustibles</i> .....	35
4.3 PISTES POUR L'ÉLABORATION D'UNE CLASSIFICATION .....	46
4.3.1 <i>Approche Factory Mutual ([22])</i> .....	46
4.3.2 <i>Approche APSAD (Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurance Dommages)</i> .....	48
4.3.3 <i>Approche du Comité Européen des Assurances</i> .....	48
4.3.4 <i>Approche des sapeurs pompiers de Genève</i> .....	50
<b>5. MODALITÉS DE STOCKAGE ET CONCEPTION DE L'ENTREPÔT.....</b>	<b>51</b>
5.1 EMPRISE AU SOL .....	51
5.1.1 <i>Il est clair qu'une surface de stockage trop importante et non munie de compartimentage est un facteur propice à la propagation rapide d'un feu</i> .....	51
5.2 HAUTEUR .....	52
5.3 DISPOSITIONS DE STOCKAGE.....	53
5.3.1 <i>Stockage en masse</i> .....	53
5.3.2 <i>Stockage palettisé</i> .....	53
5.3.3 <i>Stockage en casiers (racks) ou palettiérs</i> .....	54

5.3.4	<i>Largeur des allées</i> .....	55
5.4	MODALITÉS DE CONSTRUCTION DE L'ENTREPÔT.....	56
5.4.1	<i>Structure de l'entrepôt</i> .....	56
5.4.2	<i>Toiture</i> .....	57
5.4.3	<i>Evolution de l'entrepôt</i> .....	57
<b>6.</b>	<b>MESURES DE PREVENTION ET DE PROTECTION</b> .....	<b>58</b>
6.1	MESURES PRÉVENTIVES.....	58
6.1.1	<i>Conformité</i> .....	58
6.1.2	<i>Malveillance</i> .....	58
6.1.3	<i>Quais et baies de chargement</i> .....	59
6.1.4	<i>Propreté et ordre dans l'entrepôt</i> .....	59
6.1.5	<i>Sources d'inflammation</i> .....	59
6.1.6	<i>Contrôle et maintenance des installations</i> .....	60
6.1.7	<i>Autres</i> .....	60
6.1.8	<i>Dispositions d'évacuation des personnels</i> .....	60
6.2	MESURES DE PRÉVENTION ET PROTECTION.....	63
6.2.1	<i>Réseau d'alerte et de détection contre l'incendie</i> .....	63
6.2.2	<i>Mesures de protection active</i> .....	64
6.2.3	<i>Protection passive</i> .....	68
6.3	DISPOSITIONS D'EXTINCTION ET D'INTERVENTION.....	71
6.3.1	<i>Intervention de secours</i> .....	71
6.3.2	<i>Réseau de sprinkleurs</i> .....	71
6.3.3	<i>Rétention des eaux d'extinction</i> .....	71
6.4	LOCAUX ANNEXES.....	72
6.4.1	<i>Locaux administratifs et bureaux</i> .....	72
6.4.2	<i>Chaufferie</i> .....	72
6.4.3	<i>Local de charge des batteries</i> .....	72
6.4.4	<i>Station service, cuve de fuel</i> .....	72

# 1. CONTEXTE, OBJECTIF ET DEMARCHE

## 1.1 Préambule : retour d'expérience sur les feux d'entrepôt

De nombreux incendies graves se produisent dans des entrepôts ou sur des aires de stockage alors que ceux-ci contiennent relativement peu d'équipements dangereux par rapport à des installations de production.

La plupart de ces incendies entraîne en général la ruine totale de l'installation concernée et les dégâts tant en terme économique que social se chiffrent en millions de francs.

Le désir de rationalisation et de rentabilité a conduit, ces vingt dernières années, la grande majorité des entreprises (spécialisées dans les activités de stockage ou non) à entreposer les marchandises sur des surfaces et des hauteurs toujours plus grandes. Par ailleurs, la généralisation de l'emploi des matières plastiques à l'ensemble des activités industrielles a considérablement modifié les risques d'incendies dans les zones de stockage.

Pour avoir une idée des risques inhérents aux activités de stockage, il peut être instructif d'effectuer une recherche bibliographique relativement aux accidents ayant impliqué ce type d'installations.

Les revues suivantes, concernant les problèmes de risque industriel, notamment en terme d'incendie, ont été consultées :

- Face au Risque,
- le Sapeur Pompier,
- Fire Prévention,
- NFPA journal.

Non exhaustive, cette recherche permet néanmoins de tirer quelques enseignements sur le comportement du feu et sur l'efficacité d'éventuels moyens de prévention et de protection.

### 1.1.1 Intervention des sapeurs pompiers en France

Dans Face au Risque ([1]), une étude statistique des interventions des sapeurs pompiers en 1996 a été effectuée.

Il en ressort que le nombre total de ces interventions s'est élevé à 3.232.200. Sur ce nombre, les incendies ont représenté (comme en 1995) environ 10 % des interventions (soit un peu plus de 300.000 interventions), ce qui les place en quatrième position, après les secours à victimes (38,1%), les sorties pour prévenir un accident (21,3 %) et les accidents de la circulation (12,2 %).

Le nombre total des incendies continue néanmoins à progresser (239.603 en 1986 contre 298.738 en 1995 et plus de 340.000 en 1996). La répartition des incendies en France en 1996 selon le domaine d'activité est représentée sur le tableau suivant.

Sièges des sinistres	Proportion en %
ERP	2
Habitations bureaux	17
Locaux industriels	2
Entrepôts, docks	2
Véhicules	11
Forêts Landes	21
Cheminées	13
Autres	32

Tableau 1 : Répartition des incendies en France en 1996 ([1])

Ces données ont permis de tirer les enseignements suivants :

- les incendies dans les ERP (Etablissement Recevant du Public) et les habitations ont diminué par rapport à 1995,
- les incendies de locaux industriels et d'entrepôts ont augmenté (7451 contre 5562 en 1995),
- les incendies de forêts et autres ont très fortement augmenté.

Le risque humain lié à l'activité d'entreposage existe bel et bien malgré un effectif d'exploitation souvent réduit, voire nul la nuit pendant laquelle se déroule la plupart des sinistres. A ce titre, sur 331 morts causés par un incendie, sept morts impliquent des entrepôts.

Siège des sinistres	Décès	Blessés graves	Blessés légers
ERP	24	24	242
Habitations, bureaux	193	295	2048
Locaux industriels	10	22	195
Entrepôts, docks	7	9	54
Véhicules	27	23	201
Forêts, broussailles	6	24	108
Cheminées	21	13	122
Autres	43	86	490
Totaux	331	496	3460

Tableau 2: Conséquences humaines ([1])

Le BARPI a recensé les interventions particulièrement difficiles qu'ont dû effectuer des pompiers ([2]) entre 1992 et 1997. Sur cette période près de 6000 événements accidentels liés à l'activité d'usines, d'ateliers, de dépôts, de chantiers, de carrières et d'élevages ont été recensés. Parmi eux, 3% simplement sont considérés comme ayant entraîné des difficultés particulièrement importantes d'intervention. Par contre, ces interventions ont provoqué 13 % des blessures constatées sur l'ensemble des personnes impliquées et 41 % des blessures des personnels de secours.

Les accidents répertoriés comme ayant entraîné des difficultés d'intervention sont majoritairement des rejets de produits dangereux et des incendies (68% des cas).

Il ressort de cette étude que :

- dans 45 % des cas, la pénibilité a été engendrée par la nécessité d'intervenir en milieu hostile principalement à cause de la présence de produits toxiques dispersés lors d'un accident ou formés pendant un incendie. La faible visibilité, fréquente lors d'incendies de matières plastiques a été mise en avant dans 8 % des cas pour expliquer les difficultés d'intervention,
- le développement imprévu ou rapide du sinistre est responsable de respectivement 12 et 9 % des interventions particulièrement difficiles. Selon le BARPI, l'insuffisance de cloisonnement ou l'utilisation de matériaux inadaptés est souvent à l'origine d'un développement important des incendies dans les entrepôts ou des bâtiments industriels de même conception,
- dans 16 % des cas, le grand nombre de personnes à protéger ou l'importance des biens ou des intérêts, ont motivé l'intervention malgré des conditions difficiles.
- dans 13 % des cas, les moyens en eau s'avèrent insuffisants pour intervenir dans de bonnes conditions,
- dans respectivement 6 et 3 % des cas, l'insuffisance d'informations concernant les produits et les installations a pénalisé l'intervention des secours.

Difficultés rencontrées lors de l'intervention	Proportion en %
Nécessité d'intervenir en milieu hostile	45
Importante protection des biens et équipements à assurer	16
Ressource en eau insuffisante ou difficile d'accès	13
Développement imprévu du sinistre	12
Difficultés d'accès à la zone sinistré	11
développement rapide du sinistre	9
Faible visibilité	8
Manque d'informations sur les produits en cause	6
Environnement nature particulièrement vulnérable	4
Conditions météorologiques défavorables	4
Manque d'informations sur les installations dangereuses	3
Difficultés d'accès à l'établissement	1
Absence de responsables de l'établissement	1
Destruction d'infrastructures publiques utiles à l'intervention	1

Tableau 3 : difficultés rencontrées lors d'interventions particulièrement difficiles ([2])

### 1.1.2 Incendies et dommages aux Etats-Unis

Le NFPA (National Fire Protection Association) Journal a recensé de son côté les incendies aux Etats-Unis en 1997 avec une estimation des dommages. Les résultats de cette analyse sont synthétisés dans les tableaux ci-dessous.

Type d'incendie	Nombre d'incendies			
	Nombre estimé	% du total	1997/96 (%)	1996/95
Bâtiments dont:	552.000	31	-4,6	+0.9
Bâtiments publics	15.000	0,8	-6,3	+3.2
Enseignement	7.500	0,4	-11,8	-5.5
Administration	8.500	0,5	0	0
Habitations	406.500	22,5	-5	0.6
Commerces, bureaux	27.000	1,5	-1,8	-3.5
Industrie	17.000	0,9	-0,9	0
<b>Entrepôt</b>	<b>36.500</b>	<b>2</b>	<b>-11</b>	<b>+5.1</b>
Autres	34.000	1,9	+9,7	+5.1
Transports routiers	377.000	21	-4,6	+2.3
Autres transports	20.000	1,1	+8,1	-9.8
Feux extérieurs entraînant des dommages (culture, stockage extérieur)	56.500	3,1	-9,6	+2.5
Feux de landes, broussailles	415.500	23,1	-19,3	+2.3
Feux de déchets	247.000	13,7	-1,6	-8.4
Autres	127.000	7,1	-17,8	+5.1
<b>Total</b>	<b>1.795.000</b>	<b>100</b>	<b>-9,1</b>	<b>+0.5</b>

Tableau 4: Incendies aux Etats-Unis en 1997 ([1],[6])

Type d'incendie	Montant des dommages			
	Montant estimé (MF)	% du total	1997/1996 (%)	1996/95
Bâtiments dont:	40.396	83,1	-10,7	+4.1
Bâtiments publics	1.864	3,8	-0,9	-1.8
Enseignement	331	0,7	-10,8	-22.6
Administration	142,5	0,07	+4,2	-22.6
Habitations	26.134,5	53,8	-7,6	+13.7
Commerces, bureaux	3.488	7,1	-8	-2.3
Industrie	4.121	8,5	-1,4	-41.3
<b>Entrepôt</b>	<b>3.289</b>	<b>6,8</b>	<b>-39,2</b>	<b>+33.7</b>
Autres	1.026	2,1	-12,2	+22.8
Transports routiers	6.179	12,7	-3	+10.3
Autres transports	1.054,5	2,2		+55.4
Feux extérieurs entraînant des dommages (culture, stockage extérieur)	564	1,2	+8,8	+18.2
Feux de landes, broussailles	-	-		
Feux de déchets	-	-		
Autres	399	0,8	+42,9	-29
<b>Total</b>	<b>48.592,5</b>	<b>100</b>	<b>-9,5</b>	

Tableau 5: estimation des dommages dus aux incendies aux Etats Unis en 1997 ([6])



Ainsi, en 1996, les incendies touchant les entrepôts aux Etats-Unis représentent 2 % des incendies déclarés sur le territoire tout comme ce qui a été observé en France.

Comparativement au reste des incendies, les incendies d'entrepôts sont relativement coûteux. Ainsi, un incendie touchant un entrepôt occasionne une dépense parmi les plus importantes.

### 1.1.3 Incendies et dommages sur le territoire britannique

Outre-Manche, le magazine Fire Prevention ([4])s'est livré à une étude comparable sur le territoire britannique pour l'année 1996.

Au niveau anglais, Fire Prevention publie régulièrement des études statistiques sur les incendies.

Le tableau suivant présente l'évolution du nombre de feux importants d'aire de stockage par rapport aux feux importants. Les feux importants sont à interpréter comme étant des feux entraînant des morts ou des feux occasionnant plus de 50000£ de perte.

	1993	1994	1995	1996	1997
Nombre de feux importants dans les zones de stockage	111	92	96	82	69
Perte totale dans les zones de stockage en £	71275482	31850538	46339977	40924250	59886378
Nombre total de feux importants	682	648	672	497	502
Perte totale des feux importants en £	210544110	213497806	283005871	184001780	202525918
% du nombre de feux importants des zones de stockage	16.7%	14.8%	14.8%	17%	14%
% des pertes occasionnées par les feux importants des zones de stockage	34.7%	15.3%	18.2%	22%	30%

*Tableau 6 Comparison of serious storage area fires with all serious fires 1993-1997*

Sur ces cinq dernières années, ce tableau montre que le nombre d'incendies et en particulier les incendies de zones de stockage a une tendance à diminuer.

Il ressort d'une étude détaillée sur les feux importants de l'année 1997 :

- si le nombre d'incendies recensés a augmenté, le nombre d'incendies ayant conduit à une perte financière supérieure à 500000 francs a diminué d'environ 15 % en un an alors que le coût associé a diminué d'environ 30 % dans la même période,
- dans à peu près un incendie sur deux, la cause du feu a été un acte de malveillance,
- 60% des incendies se déclarent pendant la nuit,
- 28 % des incendies concernent des zones de stockage en tout genre (silo, magasins, entrepôt, local) pour 35 % du coût que représente l'ensemble des incendies.

#### 1.1.4 Synthèse relative au développement et conséquences d'incendies dans un entrepôt

A partir de l'ensemble des données statistiques présentées ci-avant, il est possible de dresser une synthèse mettant en lumière les aspects importants des incendies d'entrepôt.

- (1) Les incendies d'entrepôt, s'ils ne représentent qu'une part relativement faible du nombre d'incendies déclarés sur un an toutes interventions confondues, sont des incendies généralement très coûteux, ce coût étant à la fois imputable à la destruction des marchandises et/ou à la cessation d'activité (perte d'exploitation).  
A ce sujet, il a été estimé que deux tiers des entreprises fortement touchées par un incendie disparaissent du marché dans les trois ans qui suivent le sinistre malgré la couverture des assurances.
- (2) Les actes de malveillance constituent la principale cause d'incendie.
- (3) Les entrepôts non protégés par un réseau d'extinction automatique et/ou des exutoires de fumées et de chaleur ont subi des dégâts importants. A l'inverse, les entrepôts protégés subissent des dégâts (éventuels) moindres.
- (4) Les grands entrepôts non compartimentés constituent un facteur aggravant en terme de propagation du sinistre et d'intervention des secours. Les entrepôts compartimentés ont généralement connu des sinistres moins importants.
- (5) Les structures métalliques qui ne possèdent pas une stabilité au feu véritable conduisent à des sinistres importants, assortis d'une grande difficulté d'intervention.
- (6) La présence de matières plastiques ou de liquides combustibles dans un entrepôt rend l'intervention difficile et occasionne des dégâts importants.
- (7) Généralement, le sinistre ne peut être endigué et les pompiers se contentent de protéger les stocks ou les installations voisines de l'incendie.

## 1.2 Objectif et démarche

La problématique des incendies dans les entrepôts est particulièrement vaste et, afin de cerner au mieux les phénomènes entrant en jeu, il semble indispensable de dresser un premier bilan des configurations usuelles des entrepôts à l'heure actuelle.

Dans un premier temps, un chapitre préliminaire est consacré aux méthodes générales d'évaluation des conséquences d'un incendie d'entrepôt que ce soit en terme d'effets thermiques ou d'effets toxiques. L'objet de ce chapitre est de récapituler les démarches utilisées de manière générale dans le cadre de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (rubrique 1510) pour évaluer l'impact d'un incendie d'entrepôt.

Les chapitres suivants sont consacrés à la rédaction d'une typologie des entrepôts et s'articuleront autour des points suivants :

1. **la gestion et les activités de l'entrepôt.**

L'entrepôt peut être dédié à des activités de stockage ou peut être englobé dans un site de production. Le risque incendie lié à ces activités est différent.

Dans le cadre d'un entrepôt intégré en amont ou en aval d'une activité les produits stockés sont généralement bien connus et ne varient pas beaucoup dans le temps.

Par contre dans le cadre d'un entrepôt locatif par exemple il y a une grande diversité de produits stockés ainsi qu'une importante fluctuation de ces produits au cours du temps.

2. **les produits stockés.**

Il est clair que le risque d'incendie et le déroulement de ce dernier est directement fonction des propriétés des produits concernés. De plus, il est également important, le cas échéant, de ne pas négliger la contribution des matériaux d'emballage et de conditionnement en terme de puissance thermique et de propagation d'un éventuel incendie.

Il est à noter que certains engrais ou matières dangereuses type phytosanitaires, dont le principal danger réside dans le fait qu'ils sont susceptibles de se décomposer et de libérer des substances toxiques, sont exclus de la présente étude.

3. **les modalités de stockage et la conception du bâtiment**, qui jouent essentiellement sur la propagation de l'incendie, mais aussi, par exemple, sur le nombre de personnes présentes dans l'entrepôt.

Il est à souligner que les stockages en réservoirs, cuves, etc... sont exclus de la présente étude. Il existe par ailleurs un certain nombre de documents traitant de ces modes de stockage particuliers.

4. **les mesures de protection et de prévention retenues.**

Ces différents paramètres influent fortement sur la probabilité d'occurrence et sur le développement du feu dans le bâtiment et permettent également d'apprécier les conséquences éventuelles d'un sinistre survenant dans l'installation concernée.

## 2. CHAPITRE PRELIMINAIRE RELATIF A L'EVALUATION DES CONSEQUENCES D'UN INCENDIE

Il convient de retenir, dans le cas classique, cinq grands types de conséquences liées au développement d'un incendie d'entrepôt :

- les effets thermiques (flux de chaleur reçu par une cible),
- les effets toxiques liés à la présence éventuelle de produits toxiques dans les fumées de combustion,
- les effets visuels : la présence des fumées diminue généralement fortement la visibilité dans l'entrepôt et éventuellement dans l'environnement proche du site,
- les effets sur les structures : les structures de l'entrepôt (structures métalliques généralement) sont susceptibles de se déformer et de s'effondrer sous l'effet de la chaleur,
- la pollution éventuelle des sols par les eaux d'extinction, chargées en produits toxiques pour l'environnement,
- la pollution des cours d'eaux voire des nappes phréatiques.

### 2.1 Effets thermiques

Il existe trois modes de transfert de la chaleur issue d'un incendie : la conduction, la convection et le rayonnement.

Compte tenu que le rayonnement est le mode prédominant de transfert thermique pour les feux de grande taille (c'est le mode qui donne en effet les distances d'effets les plus importantes dans cette configuration), la modélisation des effets thermiques d'un incendie d'entrepôt est généralement abordée sous l'optique du rayonnement. Toutefois, il convient de retenir que cette approche n'est valable qu'à partir d'une certaine distance des flammes. En effet, lorsque les cibles étudiées sont proches de l'incendie, il n'est plus possible de s'affranchir a priori des effets liés à la convection.

La démarche pour évaluer le flux reçu par rayonnement thermique par une cible faisant face à un mur de flamme s'appuie sur le modèle de la flamme solide, dans lequel on considère que la cible reçoit un flux de chaleur par rayonnement depuis un mur de flamme supposé plan.

Le flux thermique radiatif reçu est alors directement proportionnel au flux de chaleur rayonné par le mur de flamme, soit l'émissivité de ce mur de flammes :

$$\phi = \phi_0 \times F \times \tau$$

Avec  $\phi_0$ , l'émissivité de la flamme (kW/m<sup>2</sup>),  
 $F$ , le facteur de forme de la flamme, qui correspond à un simple calcul géométrique de l'angle solide sous lequel la cible perçoit le mur de flamme  
 $\tau$ , le coefficient d'atténuation atmosphérique, qui permet de prendre en compte l'absorption d'une partie de la chaleur rayonnée par les molécules à moment non dipolaire de l'air.

Les données indispensables pour appliquer le modèle de la flamme solide à un scénario d'incendie sont donc :

- la géométrie des flammes, c'est-à-dire la surface au sol et la hauteur,
- l'émissivité du mur de flammes.

Ce point fait l'objet d'une opération particulière du programme DRA-03.

## 2.1.1 Géométrie de la flamme

### 2.1.1.1 *Surface en feu au sol*

Dans les scénarios d'incendie généralisé (scénarios enveloppes), la surface au sol couverte par les flammes est généralement assimilée, dans les modélisations des études de danger, à la surface totale de la cellule affectée par un incendie. Certes, cette hypothèse est intuitivement majorante dans certains cas de feux de solides mais elle permet de prendre en compte l'éventuelle chute d'objets et de produits depuis les zones dédiées au stockage. Par ailleurs, il n'est pas exclu que les racks éventuels s'effondrent sous l'effet de la chaleur de l'incendie et qu'ainsi, la totalité des produits brûlent au sol. Dans une telle hypothèse, le feu peut alors être assimilé à un feu de nappe d'une surface égale à la surface totale de l'entrepôt. Ceci est encore plus vrai lorsque le stockage contient des liquides combustibles ou des solides liquéfiables combustibles.

### 2.1.1.2 *Hauteur de flammes*

La hauteur de flammes associée à un incendie est un élément fondamental de la modélisation des effets thermiques radiatifs associés à un incendie. En effet, le flux thermique reçu par rayonnement par une cible est directement fonction de la surface de flamme à laquelle cette cible est exposée.

C'est également l'un des paramètres les plus difficiles à évaluer.

Pour ce faire, il existe quelques corrélations empiriques qui ont été développées à partir d'essais.

La plupart de ces corrélations possèdent un domaine de validité réduit, que ce soit en terme de taille du feu ou de nature des produits combustibles (l'état de l'art ne dit rien ou presque sur les feux de solides autres que le bois).

Quelle que soit la corrélation choisie, la hauteur de flamme est fonction notamment du débit de masse surfacique ou taux de combustion. Ce paramètre, s'il est facile à appréhender pour un feu de nappe type hydrocarbures, est d'une signification beaucoup plus délicate pour des stockages fragmentés. Pour un certain nombre de produits des valeurs de taux de combustion peuvent se trouver dans la littérature.

Par ailleurs, dans le cas où ce taux de combustion est totalement inconnu ou si l'hypothèse selon laquelle les produits se retrouvent éparpillés au sol n'est pas justifiée, il peut être nécessaire de fixer a priori les hauteurs de flammes à partir d'observations, d'essais ou par retour d'expérience.

### 2.1.2 Emissivité de la flamme

L'émissivité d'une flamme est, tout comme la hauteur de flamme, un paramètre majeur de la modélisation et tout aussi difficile à déterminer.

L'émissivité peut être évaluée à partir d'essais réalisés sur les produits concernés. Toutefois, c'est un paramètre très difficile à mesurer directement.

Une approche simplifiée consiste, par exemple, à mesurer, lors d'essais en grand, le flux reçu par un ou plusieurs capteurs placés à la limite des flammes.

Il est également théoriquement possible de déterminer la valeur de l'émissivité grâce à la loi de STEFAN-BOLTZMANN qui relie le flux émis à la température. Ceci nécessite évidemment de connaître la température de flamme, ce qui est parfois plus difficile que de mesurer le flux émis. Par ailleurs, une telle démarche ne prend en compte la présence de particules dans les flammes qui abaissent le pouvoir émissif.

Enfin, certaines corrélations ont été établies dans le but d'estimer a priori la valeur de l'émissivité.

## 2.2 Effets toxiques

Les incendies présentent un danger de par le flux de chaleur qu'ils génèrent mais également de par la toxicité des fumées qu'ils sont susceptibles d'engendrer. Il est donc important de déterminer la quantité de produits toxiques présents dans le panache de fumée et d'étudier la dispersion de ce dernier.

La modélisation de ce phénomène est particulièrement complexe lorsque le milieu est confiné. L'écoulement de l'air et la dispersion des fumées peuvent être perturbés par la présence d'obstacles et suivre alors des chemins préférentiels vers des exutoires de désenfumage par exemple.

Ainsi, certains modèles informatiques sont spécialement dédiés à la modélisation de la dispersion des fumées dans un ou plusieurs locaux confinés. Outre la prise en compte des exutoires de chaleur et de fumées, certains logiciels commencent à modéliser la prise en compte de sprinklers dans le développement du feu dans le confinement.

Ces logiciels ont généralement été développés pour le milieu bâtimentaire. Ainsi, ils sont en principe adaptés pour modéliser des mouvements de fumées dans des locaux de taille modeste. Leur applicabilité à des grandes structures (entrepôt de grande surface) n'est pas garantie.

Toutefois, dans la mesure où, dans le cadre d'études de dangers ou d'analyses critiques, le but est de déterminer des distances d'effets enveloppe en supposant que les mesures de protection actives sont inefficaces, une modélisation relativement simple du phénomène peut être mise en œuvre. Cette modélisation ne prend donc en compte que les paramètres suivants :

- la nature et les quantités des produits stockés, pour évaluer les espèces éventuellement toxiques présentes dans les fumées de combustion, que ce soit en terme qualitatif ou quantitatif,
- le type de combustion (feu librement ventilé, feu sous-ventilé ...),
- la puissance de l'incendie qui va conditionner l'élévation du panache de fumées,
- le débit de formation des fumées, qui peut être déduit du taux de combustion,
- les conditions atmosphériques qui vont régir par la suite la dispersion dans l'atmosphère des fumées de combustion.

### **2.3 Effets sur la visibilité**

De par sa nature confinée, un entrepôt est bien entendu sujet à des problèmes importants de visibilité lors d'un incendie.

Des essais britanniques ont montré que, dans un entrepôt non muni d'exutoires, la visibilité lors d'un incendie se trouvait très rapidement réduite jusqu'à devenir pratiquement nulle au bout de quelques minutes seulement.

La visibilité est un élément déterminant dans les procédures d'évacuation du bâtiment. La perte de visibilité est notamment source de panique et de désorientation.

De plus, selon la nature des produits stockés, ce problème de visibilité peut s'étendre aux environs de l'entrepôt. Ainsi, il y a parfois lieu de considérer que les voies de communication avoisinantes (routes, autoroutes,...) soient atteintes par les fumées se dégageant de l'incendie.

### **2.4**

### **2.5 Effets sur les structures**

Tous les matériaux constituant les structures d'un bâtiment sont détruits ou altérés lorsqu'ils sont exposés à des températures supérieures à 600°C. A cette température :

- L'acier des charpentes métalliques perd 50% de sa résistance mécanique. Aussi, la structure métallique est soumise à d'importantes déformations et sa stabilité peut être remise en cause.
- Le béton subit des transformations chimiques irréversibles altérant ses caractéristiques mécaniques
- Le bois brûle. Il n'y a pas de déformation progressive mais rupture soudaine des éléments de charpente et perte instantanée de stabilité.



## 2.6 Pollution des eaux

Les importantes quantités d'eau déversées afin de maîtriser et d'éteindre un éventuel incendie se chargent progressivement en éléments issus de la dégradation, de la décomposition et de la combustion des produits contenus dans l'entrepôt.

Cette importante quantité de liquide est alors susceptible de contenir des espèces polluantes et nocives pour l'environnement selon la nature des produits stockés et de leur conditionnement. Il n'est pas a priori facile de déterminer avec précision cette quantité de produits dangereux qui dépend à la fois de la nature des produits stockés, des volumes déversés et donc des caractéristiques de l'extinction.

La caractérisation du terme source de cette pollution est donc généralement difficile à déterminer quantitativement.

En tout état de cause, ces eaux d'extinction polluées peuvent se déverser dans les rivières avoisinantes et entraîner des pollutions très importantes. Parmi les accidents passés on peut citer par exemple ([24]) :

- l'incendie des entrepôts de produits chimiques de Rhône Poulenc en 1985 qui a entraîné une pollution du Rhône sur 150 km,
- l'incendie des entrepôts de Sandoz à Bâle en 1985 qui a entraîné une pollution du Rhin et la mort de plus de 50000 poissons,
- l'incendie de la société Protex en 1988 qui a entraîné une pollution de 25 km de rivière et la privation d'eau pendant 6 jours à 20000 personnes,
- l'incendie des entrepôts de la SANE à Nancy en 1996 qui a entraîné une pollution des eaux fluviales puis de la Meurthe et de la Moselle occasionnant la mort d'une tonne et demi de poissons sur 1,5 km.

## 2.7 Pollution des sols et nappes phréatiques

Outre une pollution des rivières, ces eaux d'extinction polluées sont susceptibles de s'infiltrer et de contaminer le sol et éventuellement des aquifères situés à proximité.

Afin de limiter le risque de contamination du sous-sol par les eaux d'extinction, il est toutefois prévu de munir les entrepôts de zones de rétention étanches capables de confiner sur le site les eaux d'extinction. Ces eaux peuvent ensuite être purgées, éventuellement retraitées avant d'être rejetées dans le bassin d'orage ou le réseau d'épuration communal.

### 3. GESTION ET ACTIVITES DU SITE DE STOCKAGE

Comme cela a été précisé en introduction, le contexte et l'environnement d'un site de stockage peuvent être des renseignements pertinents en terme d'évaluation du risque d'incendie.

Une première distinction fondamentale peut être formulée entre les entrepôts ou sites de stockage au sein d'une usine de production dont l'activité principale n'est pas l'entreposage des produits et marchandises en lui-même et les entrepôts ou plates-formes logistiques dédiés exclusivement aux activités de stockage.

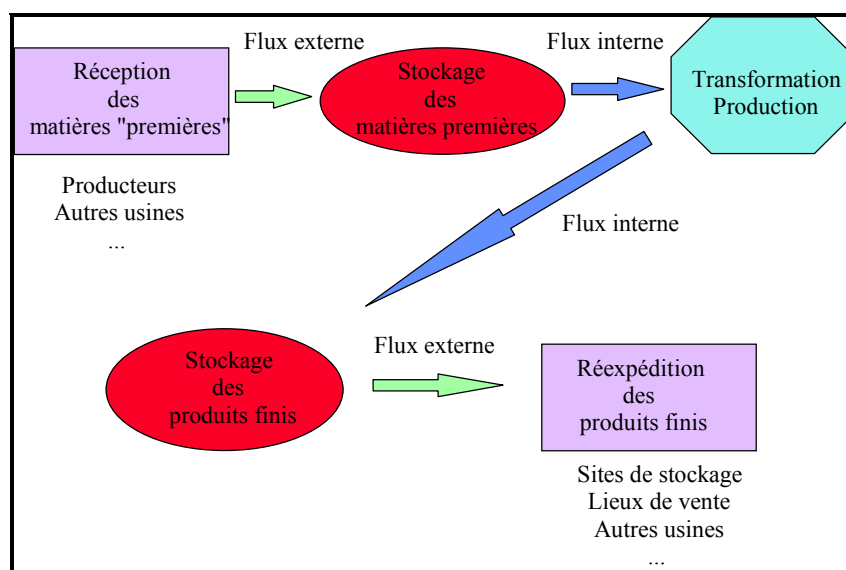
#### 3.1 Sites de stockage au sein d'une usine de production

##### 3.1.1 Types de stockage

Toute activité de fabrication ou de transformation implique la présence sur le site de stockages :

- de matières premières ou des matières en attente d'être traitées,
- de produits finis ou semi-finis.

L'activité globale de l'entreprise s'articule alors généralement selon le schéma suivant :



Il est toutefois clair que des zones de stockage peuvent apparaître entre deux unités de transformation successives sur des zones de stockage tampons par exemple. De même, les usines de production demandant de nombreuses sources d'énergie, il n'est pas exclu que ces sites comportent des stockages de liquides inflammables (fuel, essence,...). Il existe également des stockages provisoires pour mise en quarantaine de produits en cours de refroidissement (opérations de mûrissement).

Il est à noter que, dans le cadre de ce présent rapport, les ateliers d'emballage (filmage, ...) que l'on trouve en général dans les entrepôts logistiques ne sont pas considérés comme des

activités de transformation. Ainsi, un site de stockage possédant une simple installation d'emballage se rapportera aux critères relatifs aux sites dédiés exclusivement aux activités de stockage.

Il est important de prendre en considération le fait que les modalités de stockage des matières premières ou en attente d'être traitées peuvent être significativement différentes de celles mises en œuvre pour le stockage des produits finis. En tout état de cause, il n'est pas exclu que les propriétés d'inflammabilité, de combustibilité et de toxicité soient significativement différentes pour les matières premières et les produits finis.

Ainsi, il convient, dans le cas général, de considérer ces deux zones de stockage spécifiques différemment en terme de gestion du risque notamment.

#### *3.1.1.1 Stockage de matières premières ou de matières en attente d'être traitées*

La nature des matières premières est bien entendu fonction des produits finis désirés et du mode de transformation choisi. Malgré cette diversité, les matières premières sont généralement des produits de composition chimique simple, relativement bien connue. Il est donc généralement possible de déterminer le comportement de tels produits dans un incendie, pour peu que des données soient disponibles dans la littérature ou par des essais relativement simples.

D'un point de vue de la typologie des entrepôts de matières premières, l'expérience montre qu'en pratique on se trouve confronté à des situations très diverses voire évolutives sur un même site. Ainsi, les stockages peuvent ou ne pas être subdivisés par familles dans des bâtiments ou cellules différents selon :

- les propriétés dangereuses,
- l'état physique,
- la gélixivité ou non gélixivité des produits,
- le type d'utilisation (matières actives, adjuvants ...),
- le mode de conditionnement.

La difficulté de ce type d'entrepôt vis à vis du risque incendie repose également sur la grande diversité des produits qui peuvent être stockés (produits inflammables, produits toxiques ...).

Dans la mesure où, de manière générale, les matières premières sont des produits particulièrement réactifs, il y a lieu de s'assurer que des produits pouvant interagir dangereusement ne sont pas stockés à proximité les uns des autres. Ainsi, il est indispensable de stocker à part les produits incompatibles comme les acides et les bases par exemple.

Toutes les informations relatives aux matières premières sont généralement fournies dans les fiches de données de sécurité qui précisent entre autres, les incompatibilités, les risques inhérents aux produits, les précautions à prendre lors de leur utilisation ou de leur stockage...

Il tiendrait de la gageure de prétendre citer l'ensemble des méthodes de conditionnement utilisées pour stocker des matières premières. On pourra retenir :

- les cuves et les réservoirs en ce qui concerne les matières liquides ou gazeuses (ammoniac, chlore, liquides inflammables, ...), qui ne seront pas concernés par cette étude,

- les fûts et bidons en ce qui concerne les matières liquides ou gazeuses à stocker en quantités plus limitées,
- les stockages en tas pour les matériaux pulvérulents ou les produits massifs (poutres),
- les stockages en caisse pour les produits de volume limité, solides ou liquides ou gazeux conditionnés dans un emballage solide.

Par ailleurs, il est à noter qu'il est indispensable de prévoir des capacités de rétention pour retenir, en plus des eaux d'extinction, d'éventuelles fuites de liquides inflammables et/ou toxiques.

Lorsqu'il s'agit de produits déjà partiellement traités, les propriétés des combustibles potentiels peuvent s'avérer plus difficiles à déterminer avec précision.

### *3.1.1.2 Stockage des produits finis*

A l'inverse des stockages de matières premières, les stockages de produits finis présentent souvent une plus grande homogénéité. Dans une approche générale, il est en effet raisonnable de considérer qu'une usine est spécialisée dans la production de quelques références. Cette affirmation est bien sûre à moduler en fonction des activités des entreprises.

Ainsi, dans le domaine de la chimie fine, le nombre de références peut être relativement important et la nature de ces produits est susceptible de changer relativement fréquemment dans le temps.

En règle générale cependant, il est souvent possible de fragmenter, au moins de manière fictive, les stockages de produits finis en cellules contenant des produits ayant un comportement similaire lors d'un incendie.

La grande difficulté que présentent généralement les stockages de produits finis réside dans le fait qu'il s'agit le plus souvent de produits qui ont subi des traitements importants et qu'en conséquence, il peut s'avérer particulièrement difficile de déterminer de manière pertinente leurs propriétés en terme de comportement au feu que ce soit au niveau thermique ou toxique. La seule alternative valable semble alors d'effectuer des essais sur le type de produits spécifiques concernés.

En ce qui concerne les quantités de produits finis stockées, l'entreprise met en place, en règle générale, des systèmes de gestion des stocks afin de stocker la quantité la plus faible de produits possibles sur le site de fabrication et ceci sur des temps très courts. Pour la plupart des entreprises, le mode de gestion retenu est celui des flux tendus sauf effets saisonniers marqués. Les produits doivent généralement être transférés vers des sites de stockage distincts ou directement vers l'acheteur. Cette remarque trouve tout son sens notamment pour les grandes entreprises qui disposent de grands sites de stockage ou font appel à des stockeurs professionnels. En ce qui concerne les entreprises de plus petite importance, il est raisonnable de penser que leur unité de production ne leur permet pas de produire des produits en quantité très importante ce qui limite leur stock à une taille acceptable.

Les modalités de conditionnement sont bien entendu multiples mais il est possible de distinguer les grandes catégories suivantes :

- les fûts et bidons en ce qui concerne les matières liquides ou gazeuses à stocker en quantités plus limitées,
- les stockages en vrac pour les solides encombrants,
- les stockages en caisse pour les produits de volume limité, solides ou liquides ou gazeux conditionnés dans un emballage solide.

On remarque cependant, que dans de nombreux cas de dépôts de produits simplement combustibles, les produits finis sont solides ou conditionnés en emballage solide.

#### *3.1.1.3 Stockages tampons*

On désignera sous l'appellation de stockages tampons, les zones dans lesquelles les produits et les marchandises peuvent être stockés de manière temporaire entre deux phases successives de production ou afin de permettre aux produits de “reposer” ou de refroidir avant une phase de stockage plus permanente (phase de mûrissement des mousses polymériques par exemple). Ces stockages représentent en règle générale, par rapport au reste du stockage, des volumes relativement faibles, ceci d'autant plus que ce ne sont que des stockages temporaires. Toutefois, il peut arriver que ces stockages soient de volume très important en particulier lors d'activités à flux tendus.

Toutefois, il convient de rester vigilant quant à la protection de ces zones, particulièrement afin de prévenir les effets dominos dans l'usine. En effet, un stockage tampon peut représenter une charge de produits potentiellement combustibles susceptibles de constituer une source d'incendie et/ou de permettre la propagation d'un éventuel incendie entre plusieurs parties de l'usine.

Ainsi, pour entretenir un niveau de sécurité optimal dans l'ensemble du site, il peut être envisagé éventuellement de prévoir des emplacements spécifiquement dédiés à ces stockages tampons.

#### *3.1.1.4 Déchets*

Toute activité de fabrication ou de transformation implique la création d'un certain nombre de déchets que ce soit en terme de palettes usagées, de fûts à moitié vides ou totalement vides, ou d'effluents.

Ainsi, il y a lieu de considérer la gestion du stockage de ces résidus d'activités, dans la mesure où ces derniers peuvent constituer une source de combustibles souvent négligée et peuvent intervenir dans le développement et la propagation d'un éventuel sinistre au titre des effets dominos voire constituer la source d'inflammation.

Pour assurer un niveau de sécurité convenable, les mesures suivantes peuvent être envisagées :

- emplacements spécifiquement dédiés au stockage des déchets (par type de déchets par exemple),
- disposition de moyens manuels d'intervention à proximité des bennes ou des conteneurs à déchets,
- enlèvement régulier (à adapter en fonction du rythme de l'activité) des déchets,
- étude des incompatibilités de co-stockage.

Dans tous les cas, il conviendrait de disposer de bennes ou poubelles incombustibles, de capacités de rétention pour le stockage de fûts usagés de liquides et de prévoir des extincteurs à proximité des zones de collectes des déchets.

### 3.1.2 Management de la sécurité

L'activité au sein d'une usine de production est généralement contrôlée grâce à des règles de sécurité strictes en raison de la dangerosité de bon nombre d'installations industrielles, de transformation ou de fabrication. Il est clair que, dans ce type d'environnement, le personnel est généralement mieux formé aux consignes de sécurité et appréhende mieux les dangers liés aux produits ou aux production que le personnel travaillant dans un entrepôt locatif par exemple.

Ainsi, il est raisonnable de penser que les zones de stockage sur un tel site jouissent favorablement des répercussions de ces mesures prises pour l'ensemble du site.

De plus, il est à noter que les produits dans une usine sont a priori les mêmes durant de longues périodes d'exploitation, à l'exception de certaines activités comme la chimie.

### 3.1.3 Risques particuliers

Une usine de production comporte généralement de nombreux ateliers ou locaux annexes aux activités de stockage.

Dans la mesure où un certain nombre de ces installations peuvent présenter un risque d'accident significatif, il est indispensable de prendre en compte les effets dominos, à la fois en ce qui concerne :

- la propagation d'un incident depuis les zones de stockage vers les installations environnantes,
- la propagation d'un incendie depuis les locaux proches des zones de stockage vers ces dernières.

### 3.2 Site dédié spécifiquement aux activités de stockage

Les entrepôts dédiés spécifiquement aux activités de stockage ont énormément évolué ces dernières années.

Des contraintes de rationalisation et de rentabilité ont conduit un bon nombre d'entreprises, de taille généralement importante, à regrouper leurs activités de stockage sur un ou plusieurs sites spécialement prévus à cet effet. Ces sites sont généralement de taille significative (plusieurs hectares) et les cellules de stockage peuvent alors atteindre plusieurs milliers de m<sup>2</sup>, voire dépasser 10000 m<sup>2</sup>.

Dans ce cadre, on peut définir les grandes familles d'entrepôts :

- les entrepôts dits réservés,
- les entrepôts locatifs,
- les plates-formes logistiques.

Pour bien appréhender les risques, il est important d'identifier s'il s'agit d'un entrepôt appartenant à une entité industrielle particulière ou s'il s'agit d'un entrepôt de type locatif mono ou multi-clients.

#### 3.2.1 Les entrepôts réservés

**Les entrepôts réservés** désignent des entrepôts qui sont gérés par un industriel ou dont l'usage est réservé à une entreprise particulière.

Dans une telle configuration, il est probable que les types de produits entreposés présentent d'une part une certaine homogénéité et d'autre part une certaine continuité durant la durée d'exploitation.

Il peut s'agir d'entrepôts décentralisés, décentrés des activités de production. Ces entrepôts peuvent devenir des centres de distribution pour une région, pour un pays. Il s'agit donc d'entrepôts qui deviennent de plus en plus importants. Ils n'ont plus simplement une fonction d'entreposage mais deviennent également des centres de redistribution avec une possibilité d'activité telle que le reconditionnement. Le personnel présent sur le site a plutôt une culture industrielle et est plus sensible aux problèmes de sécurité.

#### 3.2.2 Les entrepôts locatifs.

**Les entrepôts locatifs** sont, à l'inverse des entrepôts dits réservés, loués à des tiers pour des durées plus ou moins longues. D'une période sur l'autre, il est donc particulièrement difficile de prédire le type de produits qui sera stocké sur le site, ceci d'autant plus que des parties d'un même site peuvent être louées à des entreprises différentes.

### 3.2.3 Les plates-formes logistiques

L'évolution des activités d'entreposage a fait se développer ces dernières années des entrepôts de type plates-formes logistiques. Ces grandes structures n'ont plus grand chose à voir avec les entrepôts "classiques". Ces plates-formes ne se limitent plus à des activités d'entreposage mais ont également des activités de distribution, de reconditionnement et sont donc le lieu d'une forte activité humaine. La tendance va également vers des structures de plus en plus importante avec des hauteurs de stockage de plus en plus élevées.

Elles présentent donc un risque important aussi bien en terme environnemental (par la nature diverse des produits qui sont stockés) qu'en terme de danger sur les vies humaines.

De ce fait, le parti a été pris d'identifier ce type d'entrepôt qui entre dans la catégorie des entrepôts locatifs voire des entrepôts réservés et de présenter plus en détail une plate-forme logistique type.

#### 3.2.3.1 *Présentation générale de l'activité*

Les plates-formes logistiques peuvent être exploitées par des sociétés dont le métier d'origine est le plus souvent le transport routier, ou par des sociétés financières, puisqu'il s'agit d'une activité dégageant une marge significative.

Elles fonctionnent en tant que prestataires de service auprès de clients, qui "louent" la gestion, la distribution et le reconditionnement de leurs produits.

Les produits sont pris en charge dans les usines de fabrication, les dépôts des grossistes ou les importateurs, puis sont entreposés dans la plate-forme pour une durée variable. En fonction de la demande, ils sont ensuite acheminés chez les négociants ou détaillants, ou dans d'autres entrepôts.

#### 3.2.3.2 *Implantation des plates-formes*

Les plates-formes logistiques sont localisées le plus souvent dans des zones industrielles ou des parc d'activités, à proximité des grands axes de communication (route nationale, autoroute et voie ferrée). Les sites sont desservis par la route et parfois par la voie ferrée.

#### 3.2.3.3 *Le personnel employé*

La manipulation des produits, leur échantillonnage et reconditionnement, ainsi que leur transport est assuré par du personnel qualifié. Par exemple, les engins de manutention sont conduits par des caristes professionnels.

L'activité humaine est très importante. Ainsi, par exemple, un site comptant une dizaine de cellules peut employer environ 500 personnes en temps normal voire nettement plus en période de forte activité, dont des chauffeurs affectés sur le site, des caristes, le personnel administratif et l'encadrement, et le personnel pour le conditionnement à façon.

Le personnel administratif travaille en horaire variable la journée, le personnel travaillant dans l'entrepôt peut travailler en horaire posté (2 x 8h ou 3 x 8h).



#### 3.2.3.4 Description des activités principales d'une plate-forme

Les trois activités principales d'une plate-forme sont les suivantes :

- fonction d'entreposage,
- fonction de distribution,
- fonction de transport routier.

La fonction d'entreposage est effectuée généralement au moyen de palettes normalisées en bois (ou plastiques) entreposées sur des palettiers métalliques comportant plusieurs hauteurs (typiquement 5 ou 6 hauteurs). Comme présenté plus loin, les hauteurs d'entreposage peuvent être beaucoup plus importantes. Dans des entrepôts automatisés des hauteurs de 30 mètres voire plus peuvent être atteintes.

Généralement, la durée de stockage est assez courte; la durée moyenne d'entreposage d'une palette est de l'ordre de 3 à 4 semaines. Les produits sont généralement contenus dans des emballages en carton. Enfin, les palettes et les cartons peuvent également être recouverts d'un film plastique. L'entreposage occupe en général plusieurs cellules de la plate-forme.

La fonction de distribution regroupe la préparation, le conditionnement et l'entreposage des commandes, ainsi que le reconditionnement, et les opérations des chargement et déchargement des camions.

L'activité de préparation des commandes consiste à préparer, conditionner et stocker des commandes spécifiques. Elle nécessite l'usage occasionnel d'allées de préparation, des zones spécifiques ou des quais de chargement.

L'activité de reconditionnement se rapporte exclusivement aux produits entreposés dans les entrepôts de stockage, et est réalisée dans des zones spécifiques. Dans ces zones, le stockage est de courte durée, avec des volumes générés faibles. Il s'agit notamment de conditionnement à façon dans des emballages spécifiques et d'opérations de fardelage consistant en l'emballage de produits sous film polyéthylène thermorétractable.

La fonction de transport engendre une rotation d'une centaine de palettes par quais. Elle génère ainsi un trafic de poids lourds importants (plusieurs centaines de camions par jour en entrée et en sortie), et peut être réalisée également par le rail lorsque l'embranchement fer est prévu.

#### 3.2.3.5 Nature des produits stockés

Les produits stockés sont conditionnés, emballés et palettisés.

Le client peut être un fabricant, qui dans ce cas fournit des produits que l'on peut regrouper de façon simple par gamme. Cependant, il peut s'agir également d'une chaîne de grande surface, pour laquelle les produits seront très divers.

Une des caractéristiques principales de l'activité est ainsi la diversité dans la nature des produits stockés : au sein d'un même entrepôt, et a fortiori d'une même plate-forme, les produits stockés peuvent être de nature extrêmement variée, couvrant l'ensemble de ce que l'on peut trouver dans une grande surface, dans un magasin spécialisé (sport, bricolage ...), ou dans tout commerce de produits de consommation courante.

De plus, les contrats qui sont passés avec les partenaires sont de durées diverses, et il existe une grande incertitude sur les prévisions quant aux partenaires futurs (et de fait sur la nature

des produits). Une autre caractéristique de l'activité est ainsi son caractère fluctuant : les produits stockés sont de nature extrêmement variable dans le temps.

### 3.2.3.6 *Gestion des stocks*

La gestion des activités d'entreposage, intégrant le transport, le stockage, le reconditionnement et la distribution, est assurée de manière informatisée. Cette gestion informatisée est interconnectée avec celles des usines de production et des autres entrepôts ou fournisseurs. La préparation des commandes, les inventaires périodiques, le suivi des dates de péremption, la gestion FIFO (First In, First Out), la répartition des références par catégories, ... nécessitent un suivi et un contrôle permanent du stock et de tous les mouvements de produits, palette par palette. Cette gestion intègre également une optimisation des mouvements d'entrée et de sortie, permettant de garantir une bonne uniformisation d'utilisation de tous les emplacements de la plate-forme selon une répartition aléatoire.

### 3.2.3.7 *Taille et conception de l'entrepôt*

L'aménagement extérieur d'une plate-forme est composé généralement des éléments suivants :

- poste de garde,
- parking,
- voie de circulation permettant de rejoindre les différents quais,
- voie périmétrale pour les pompiers,
- réserves aériennes d'eau pour la lutte contre l'incendie,
- espaces verts,
- rétention extérieure par décaissé, avec des regards pour l'évacuation des eaux pluviales et une vanne d'isolement.

L'aménagement intérieur peut être constitué par les bâtiments suivants :

- bureaux principaux et locaux sanitaires,
- cellules de stockage ou de reconditionnement rectangulaires et accolées les unes aux autres, dont les dimensions peuvent varier de 50 à 125 mètres, et comprenant un petit bureau intérieur,
- locaux techniques (chauffage par chaudière au gaz, climatisation par groupe froid, local électrique, charge, entretien et réparation des engins de manutention, contrôle des moyens de lutte incendie),
- garage (réparation et entretien des poids lourds),
- poste de distribution de fuel et gazole (ravitaillement des poids lourds).

Certaines cellules peuvent comporter des chambres froides (rangements mobiles ou gerbage) avec une isolation par mousse de polyuréthane, ou un étage partiel avec un accès par des escaliers.

Les hauteurs des entrepôts sont les suivantes :

- hauteur maximale de stockage dans les entrepôts de stockage, y compris les zones de quai : une douzaine de mètres,
- hauteur sous panne : de 12 à 15 m,
- hauteur sous toiture : de 15 à 20 m.

A titre purement indicatif, une plate-forme logistique comprenant une dizaine de cellules présente les caractéristiques suivantes :

- hauteur de stockage de 12m50,
- volume total des cellules de stockage et de reconditionnement de l'ordre de **1 000 000 m<sup>3</sup>**,
- nombre total de palettes de l'ordre de **125 000**,
- surface totale des cellules de stockage et de reconditionnement d'environ **80 000 m<sup>2</sup>**,
- surface totale de stockage au sol de l'ordre de **70 000 m<sup>2</sup>**.

De même, une palette type peut avoir les caractéristiques suivantes :

- un poids moyens de 500 kg répartie en 30 kg de bois, 1 à 20 kg de plastique d'emballage, 100 kg de carton et environ 350 kg de produits,
- un volume de 1 à 2 m<sup>3</sup>.

Il est évident que ces données sont à titre illustratifs et dépendent fortement du produit stocké.

Remarque :

Les plates-formes logistiques sont généralement des entrepôts ne possédant pas d'étages. Toutefois, certaines plates-formes comme des plate-formes pour la vente par correspondances peuvent être sur plusieurs niveaux. Généralement, ces entrepôts sont d'une hauteur inférieure à 8mètres afin d'éviter la contrainte du code de travail qui impose qu'au delà de cette hauteur une stabilité d'une heure au plancher. Toutefois, on peut rencontrer des édifices ayant par exemple 8 niveaux sur une hauteur de 20 mètres.

Ces plates-formes de vente par correspondance sont également caractérisées par une très forte activité humaine (plus de mille personnes peuvent s'y retrouver).

En conclusion, ces plates-formes logistiques présentent des risques importants du fait :

- de leur dimension très importante (et en particulier de leur hauteur de stockage),
- du fait de l'extrême diversité de produits stockés (plusieurs centaines de référence),
- du caractère très fluctuant des produits stockés qui entraîne souvent une méconnaissance des stocks à un instant donné surtout en terme de danger potentiel,
- de la très forte activité humaine, avec un personnel qui n'est pas toujours sensibilisé aux risques.

## 4. MARCHANDISES STOCKEES

### 4.1 Stockage des marchandises

La nature des marchandises stockées est un facteur primordial influençant le développement et les conséquences d'un éventuel incendie, et donc les mesures de protection et de prévention à mettre en œuvre.

Le chapitre 3 précédent, consacré à la gestion et aux activités du site de stockage, a permis de distinguer les matières premières des produits finis.

Pour mémoire, il convient de retenir que les stockages de matières premières comportent souvent de très nombreuses références, correspondant à des composés relativement simples, dont les propriétés au regard d'un incendie sont relativement accessibles.

En ce qui concerne les stockages de produits finis, les propriétés des marchandises sont beaucoup plus difficiles à déterminer car il s'agit de produits généralement complexes.

Outre les problèmes liés à la définition des propriétés d'un type de produit, il convient de retenir que les entrepôts, d'une manière générale, présentent les difficultés suivantes, quant à la modélisation des phénomènes d'incendie, pour la partie qui concerne la nature des marchandises stockées :

- une même cellule de stockage peut contenir des produits relativement différents en terme de comportement dans un incendie,
- la nature et les quantités des produits stockés sont susceptibles d'évoluer au cours de l'activité de l'entrepôt,
- les produits d'emballage et de conditionnement sont susceptibles de jouer un rôle non négligeable sur la phase d'inflammation, de propagation d'un éventuel incendie ainsi que sur ses conséquences.

Les paragraphes suivants sont consacrés aux trois difficultés précitées.

#### 4.1.1 Diversité des produits stockés

Lorsqu'un seul type de produit est stocké dans un entrepôt, il suffit de déterminer pour ce type de produit les propriétés inhérentes à son comportement dans un incendie et sa composition en terme d'éléments chimiques simples afin d'évaluer les conséquences éventuelles en terme d'effets thermiques et toxiques d'un incendie dans cette cellule.

Lorsque plusieurs références, pouvant avoir un comportement au feu significativement différent, sont stockées au sein d'une même cellule de stockage, la question est de savoir quelles sont les grandeurs caractéristiques à la fois en ce qui concerne les aspects thermiques et les aspects toxiques représentatives de l'ensemble du stockage.

Du fait de la très grande diversité de produits pouvant être stockés dans une cellule (plus de deux cents produits différents peuvent se trouver dans une plate-forme logistique), il est extrêmement complexe de caractériser le scénario d'incendie en vue d'une étude sur les effets thermiques et toxiques et donc de définir le scénario enveloppe.

#### 4.1.2 Evolution de la nature et des quantités des produits stockés dans l'entrepôt

Comme précisé dans le chapitre 3 précédent, le risque de voir la nature et les quantités des marchandises stockées évoluer dans un entrepôt est particulièrement sensible dans les entrepôts locatifs, où l'activité est essentiellement logistique.

A ce propos, Factory Mutual préconise une démarche majorante, consistant à retenir, pour l'évaluation des conséquences d'un éventuel incendie et le dimensionnement des mesures de protection, la quantité maximale de produits pouvant être stockée en considérant le produit le plus pénalisant que l'industriel envisage de stocker. Il est important de souligner que cette démarche est orientée vers le dimensionnement et la sûreté de fonctionnement du sprinklage et n'entre donc pas dans une démarche de protection pour l'environnement.

Elle a bien évidemment pour but de prévenir le cas majorant (au sens de l'efficacité du réseau de sprinklage) tout au long de l'activité de stockage. En effet, l'analyse d'accidents révèle que de nombreux feux d'entrepôts sont dus à un changement des produits stockés, comme par exemple, le remplacement de textiles coton par des textiles synthétiques (plus pénalisants en terme d'incendie), sans réajuster les moyens de protection mis en œuvre.

La connaissance des produits stockés est souvent difficile à obtenir puisque l'industriel lui-même n'a pas obligatoirement connaissance de l'état du stockage par anticipation sur plusieurs années à venir. Toutefois, il convient qu'il s'assure que les changements d'activité dans son ou ses entrepôts sont en adéquation avec les mesures de protection et les distances d'effets évaluées pour les activités antérieures.

#### 4.1.3 Influence des produits d'emballage et de conditionnement

La présence de palettes (bois ou plastiques), de cartons, de sacs, de films plastiques,... peut augmenter sensiblement la charge calorifique d'un stockage.

De plus, dans la plupart des cas, les incendies d'entrepôts débutent par l'inflammation de ces produits, qui jouent par ailleurs un rôle important sur la propagation d'un sinistre éventuel.

Les produits d'emballage et de conditionnement représentent généralement une faible proportion massique sur l'ensemble du stockage. Toutefois, dans le cadre de spécialités du type pesticides, cosmétiques, médicaments et même certains produits agroalimentaires ce n'est pas toujours le cas. Ainsi, dans le cas de pesticides, l'emballage peut constituer de 5 à 70 % du poids du produits.

Pour un incendie affectant un stockage de marchandises combustibles pleinement développé et généralisé, leur influence peut généralement être négligée. Dans le cas de matières peu ou pas combustibles, les matériaux d'emballage constituent a contrario un facteur de risque à ne pas négliger.

En résumé, il convient de retenir les points suivants :

- les produits d'emballage et de conditionnement peuvent jouer, lorsqu'ils sont facilement inflammables, un rôle significatif sur les phases d'inflammation et de propagation d'un incendie dans un stockage,
- lorsque l'incendie est pleinement généralisé et développé, la contribution des produits d'emballage et de conditionnement peuvent être négligeables. Toutefois, il convient de signaler que ces produits participent au rayonnement thermique et à la formation de gaz éventuellement toxiques (par exemple formation de HCl) au même titre que les produits eux mêmes. Dans ce cadre, il faut considérer le contenant et le contenu dans l'évaluation des effets,
- lorsque les marchandises stockées ne sont pas combustibles, il convient d'évaluer les conséquences d'un incendie des produits d'emballage et de conditionnement.

## 4.2 Nature des marchandises

Il n'est bien sûr pas question de lister ici l'ensemble des marchandises pouvant être stockées en entrepôt sur un site. L'objectif de ce paragraphe est de tenter définir de grandes familles de produits (liste non exhaustive) présentant un comportement au feu similaire.

### 4.2.1 Gaz

Le stockage de gaz n'entre pas dans la problématique des entrepôts.

En effet, hormis dans les entrepôts attenants à une usine de remplissage de bouteilles de gaz liquéfiés sous pression, de très faibles quantités de gaz sont stockées dans les entrepôts classiques. Un cas particulier concerne les entrepôts de stockage des aérosols qui contiennent effectivement des quantités significatives de gaz liquéfiés sous pression qui jouent le rôle de propulseur..

### 4.2.2 Produits conditionnés sous forme aérosol

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 gel à raser conditionnés en boîtiers sont rangées dans cette famille.

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 ... ) ou les produits d'entretien (insecticide, cire, peinture...).

Un produit 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 (des G.P.L. butane ou propane, le Diméthyléther (DME), qui ont remplacé les CFC ininflammables).

Le solvant est le plus souvent un liquide inflammable.

Le gaz propulseur est un gaz également inflammable.

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 ),
- d'autre part des quantités stockées de gaz liquéfiés (une palette peut contenir une masse totale de l'ordre de 160 kg de G.P.L. pour de la laque par exemple et de l'ordre de 5 kg seulement pour une palette de crème à raser, alors qu'un grand entrepôt de stockage peut contenir plusieurs centaines voire des milliers de palettes),

le stockage de générateurs d'aérosols présente un risque important d'incendie.

Les incendies de stockage d'aérosols ont généralement les caractéristiques suivantes :

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

Le retour d'expérience montre que 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 à mettre en œuvre peuvent être :

- agir sur la zone en feu avec un agent extincteur et dès le début de l'incendie pour éviter l'embrasement généralisé du local (sprinkleurs, noyage du local avec de la mousse à haut foisonnement ...),
- 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 (système de stockage et formation du personnel).

L'INERIS travaille actuellement sur la caractérisation des risques incendies de stockage d'aérosols ([9]).

#### 4.2.3 Liquides

Les produits liquides stockés en entrepôts sont très divers et peuvent posséder des propriétés physico-chimiques, notamment en terme de comportement dans un incendie, significativement différentes.

Pour plus de clarté, la présente étude considérera des grandes familles de produits en s'intéressant principalement les liquides inflammables.

La combustion de produits liquides ne concerne pas le liquide lui-même mais les vapeurs inflammables qu'il émet lorsqu'il est réchauffé. Autrement dit, pour qu'un liquide brûle, il faut notamment qu'il émette des vapeurs inflammables.

Pour bien comprendre le phénomène de combustion de liquides, il convient de retenir les définitions suivantes :

- le point d'éclair d'un liquide est la température la plus basse à laquelle il faut porter ce liquide pour que les vapeurs émises le soient en quantité suffisante pour s'enflammer au contact d'une flamme dans des conditions normalisées, mais insuffisante pour entretenir une combustion.
- le point d'inflammation d'un liquide est la température à laquelle il faut le porter pour que les vapeurs émises puissent être enflammées au contact d'une flamme et qu'elles le soient en quantité suffisante pour entretenir la combustion.
- le point d'auto-inflammation (ou point d'auto-ignition) d'un liquide est la température à laquelle il faut le porter pour que les vapeurs émises s'enflament spontanément si on le met en présence d'air, sans contact avec une flamme.

Il est à noter que ces paramètres dépendent notamment de la pression et la quantité d'oxygène disponible.

La valeur du point d'éclair est à la base du classement des liquides inflammables dans la plupart des réglementations nationales.



Ainsi, la réglementation française a défini dans, l'arrêté type n°253 relatif aux dépôts de liquides inflammables, les quatre catégories suivantes :

- . liquides particulièrement inflammables, oxyde d'éthyle; sulfure de carbone et tous les liquides dont le point éclair est inférieur à 0°C et dont la pression de vapeur à 35°C est supérieure à 0,1 MPa ou 1013 mbars,
- . liquides inflammables de la première catégorie dont le point éclair est inférieur à 55°C et qui ne répond pas à la définition des liquides particulièrement inflammables.

Les alcools de toute nature dont le titre est supérieur à 60° sont assimilés aux liquides inflammables de première catégorie,

- . liquides inflammables de la deuxième catégorie dont le point éclair est supérieur ou égal à 55°C et inférieur à 100°C, à l'exception des fuels (ou mazout) lourds. Les alcools de toute nature dont le titre est supérieur à 40°GL mais inférieur à 60°GL sont assimilés aux liquides inflammables de deuxième catégorie,
- . liquides peu inflammables : fuels (ou mazout) lourds tels qu'ils sont définis par les spécifications administratives.

A titre purement indicatif, la NFPA a retenu une classification similaire mais différente pour les liquides inflammables :

*Classe I :*

I-A : Liquides inflammables dont le point éclair se situe en dessous de 22,8°C et dont la température d'ébullition est inférieure à 37,8°C

I-B : Liquides inflammables dont le point éclair se situe en dessous de 22,8°C et dont la température d'ébullition est supérieur ou égal à 37,8°C

I-C : Liquides inflammables dont le point éclair se situe au dessus de 22,8°C et dont la température d'ébullition est inférieure à 37,8°C

*Classe II :* Liquides dont le point éclair se situe entre 22,8°C et 60°C,

*Classe III :*

III-A: Liquides dont le point éclair se situe entre 60°C et 93°C,

III-B : Liquides dont le point éclair est au-dessus de 93°C.

Il convient donc de retenir que le degré de risque que présente un liquide inflammable est fréquemment assimilé à la valeur du point d'éclair. En résumé, plus ce point d'éclair se situe bas dans l'échelle des températures, plus le risque associé d'occurrence d'inflammation est considéré comme important.

Il est en effet clair que, pour des liquides stockés à une température supérieure à leur point d'éclair, la vitesse de propagation de la flamme et le taux de combustion peuvent atteindre des grandeurs relativement importantes. A l'inverse, pour des liquides stockés à une température inférieure à celle de leur point d'éclair, il est nécessaire d'apporter une énergie plus importante pour chauffer le liquide et ainsi, les valeurs de vitesse de propagation de la flamme et du taux de combustion sont généralement sensiblement plus faibles.

A titre indicatif, le Tableau 7 présente des valeurs de points éclairs de quelques liquides inflammables courants.

Liquides	Point Eclair en °C
Essence	-40
Kérosène	-20
Gazole	+70
Acétone	-18
Ethanol	+13
Ether	-45

*Tableau 7 : Point éclairs de liquides inflammables courants.*

Afin de connaître les propriétés d'inflammabilité de liquides inflammables, Il est possible de se référer, entre autres, au site (<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsnfrn/nfrnsyn.html>).

A contrario, dans la rubrique 1510, on se méfiera des liquides ou produits solides facilement liquéfiables qui, bien que réputé difficilement inflammables ( au regard de leur point éclair) pourront être cause de développement violent d'incendie :

- par leur apport énergétique rapide (feu de nappe),
- par leur aptitude à propager l'incendie.

#### 4.2.4 Solides combustibles

La combustion des solides ne répond pas à des lois aussi précises que celles des gaz ou des liquides ([13]).

La combustion vive d'un corps solide est relativement complexe puisqu'elle se développe en trois stades qui sont les suivantes :

- la distillation (suite à pyrolyse),
- l'inflammation,
- l'incandescence.

En règle générale, à partir d'une température appelée température de distillation, un combustible solide émet des gaz et des vapeurs inflammables. Ces gaz et ces vapeurs s'enflammeront lorsque les conditions d'inflammation (concentration, température) seront atteintes et brûleront avec des flammes dont la température sera suffisamment élevée pour porter à incandescence le résidu solide de la combustion (braises par exemple).

Les matériaux tels que le bois ou autres matériaux cellulosiques émettent des gaz inflammables.

Pour les matériaux de synthèse, on peut repérer une température de décomposition à partir de laquelle il y a production de gaz inflammables. On voit alors une similitude avec une notion de points éclairés des liquides.

Certains matériaux brûlent en formant des braises. Il s'agit d'un mode de combustion particulier qui se produit directement depuis l'état solide : les braises peuvent se consumer très lentement, sans gros apport d'oxygène. Cela donne lieu à des feux couvants qui posent souvent de très gros problèmes d'extinction.

L'état de division du solide a une grande influence sur le déroulement de la combustion d'un même matériau. Plus la surface de contact entre le matériau et l'air est importante, plus vive sera la réaction de combustion, pouvant aller, dans le cas de poussières, jusqu'au phénomène de déflagration : c'est le cas de poussières très dangereuses comme la sciure de bois, la farine, le sucre, le charbon, etc... lorsqu'elles sont sous la forme de nuages.

On assiste parfois à des phénomènes de combustion spontanée pour certains matériaux qui peuvent être le siège, en ambiance ordinaire, d'une lente oxydation dégageant de la chaleur. Dans certains cas de stockage la dispersion de chaleur n'est pas suffisante pour refroidir le matériau et l'élévation de température peut conduire à l'inflammation. Ce phénomène peut avoir pour origine la fermentation de produits agricoles.

A titre illustratif, le tableau suivant des températures d'inflammation de quelques solides.

Solides	Température d'inflammation en °C
Bois	De 280 à 340
Charbon	250
Charbon de bois	De 250 à 350
Coton	450
Papier journal	185
Papier à lettres	360
Polyéthylène	350
Polystyrène	490
Polyamide	425
Mousses polyuréthanes	330

Tableau 8 : Température d'inflammation de quelques solides courants d'après [13]

Les paragraphes suivants sont consacrés à la présentation des caractéristiques de familles de produits solides combustibles, communément stockés en entrepôts. La liste de ces produits ne se veut bien entendu pas exhaustive mais permet dans une certaine mesure de recenser une bonne partie des marchandises stockées en entrepôts.

Les produits suivants peuvent être retenus, dans une première approche globale :

- produits cellulosiques (bois, papier,...),
- plastiques,
- textiles,
- caoutchouc,
- produits alimentaires.

#### *4.2.4.1 Produits cellulosiques*

Les produits cellulosiques regroupent une grande diversité de marchandises, par exemple :

- les produits en bois, type meubles, planches, poutres,...
- les produits de type papier, carton,
- les produits textiles non synthétiques, qui feront l'objet d'un paragraphe particulier.

Le point commun entre ces différents produits réside dans le fait qu'ils sont constitués essentiellement de cellulose, un polymère du glucose, de formule  $(C_6H_{10}O_5)_x$ .

Ainsi, les produits cellulosiques contiennent essentiellement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène avec un faible pourcentage d'azote (généralement moins de 1 %).

Cette composition implique que les effets en terme de toxicité à l'extérieur associés à un éventuel incendie de produits cellulosiques ont toutes les chances d'être négligeables devant les effets thermiques résultant de ce même incendie.

Il y a lieu toutefois de tempérer ce résultat car de nombreux produits cellulosiques subissent d'importants traitements, d'origine chimique par exemple, et il n'est pas exclu que ces additifs modifient de manière significative les propriétés en terme de toxicité mais aussi d'inflammabilité des produits cellulosiques.

En tout état de cause, l'INERIS note qu'une intervention sur un incendie de produits cellulosiques requiert un équipement vestimentaire et respiratoire adapté.

En ce qui concerne les propriétés d'inflammabilité et de combustibilité des produits cellulosiques, il y a lieu de retenir les points suivants :

- de manière générale, et sans préjuger des éventuels traitements qu'auraient pu subir ces produits, les produits cellulosiques sont des solides relativement inflammables, leur degré d'inflammabilité dépendant significativement de la compacité du stockage et de la réserve d'air disponible autour de ces produits.
- si le papier est réputé pour s'enflammer plus facilement que le bois, les masses de papier compactes, comme les livres, sont moins inflammables qu'une simple feuille puisqu'un plus grand volume peut être utilisé pour disperser la chaleur. Attention cependant aux grands rouleaux de papiers susceptibles de se "dérouler" au cours d'un incendie. Ils laissent alors une simple feuille de papier facilement inflammable et présentent ainsi un risque au feu important,
- l'inflammation de ces produits donne lieu à un incendie rayonnant et susceptible de se propager relativement rapidement,

- la chaleur de combustion des produits cellulosiques se situe généralement autour d'une vingtaine de MJ/kg.
- il n'existe a priori aucune contre-indication quant aux méthodes pour éteindre un feu de produits cellulosiques.

De plus, il est important de souligner qu'une grande majorité des entrepôts contient du bois sous forme de palettes. Outre le fait que ces palettes augmentent la charge calorifique du stockage, elles sont un facteur d'initiation et de propagation du sinistre particulièrement important.

En tout état de cause, le stockage, sur les sites d'entreposage, de palettes vides est un problème qui mérite toute l'attention de l'Industriel et des services de secours.

L'analyse d'accidents révèle en effet qu'un incendie de palettes vides en bois est particulièrement violent et rayonnant et est ainsi susceptible de se propager au reste de l'entrepôt. De plus, un stockage de palettes vides, facile à enflammer, est une proie idéale pour les actes de malveillance.

Ainsi, il est recommandé de stocker les palettes vides à l'extérieur de l'entrepôt si possible et dans tous les cas, éloignées du reste des marchandises

#### 4.2.4.2 Plastiques

Le lecteur pourra se reporter notamment aux références [14] et [15] pour plus de détails.

##### 4.2.4.2.1 Présentation

Les matériaux plastiques (ou "plastiques") sont constituées d'une résine ("polymère") additionnée ou non de composants auxiliaires. La synthèse de la résine est réalisée à partir de molécules de faible poids moléculaires ("monomères"). Les réactions chimiques mises en jeu dans la formation des macromolécules sont de trois types : polymérisation, polycondensation et polyaddition ([14]).

Les composants auxiliaires sont des constituants dont le rôle essentiel consiste :

- soit à conférer des caractéristiques particulières aux produits finis,
- soit à permettre la transformation de la matière plastique,
- soit encore à en abaisser le prix de revient.

Il s'agit de plastifiants, de charges, de colorants de catalyseurs, d'ignifugeants, de stabilisants, etc.

A température ambiante, les matières plastiques sont généralement considérées comme présentant peu de danger. Portée à température élevée, elles vont libérer des produits de dégradation, des adjuvants ou des monomères résiduels. La nature de ces émissions et leurs caractéristiques dépendent de nombreux facteurs (nature du polymère ou des additifs, apport énergétique, teneur en oxygène, etc.).

Les polymères plastiques peuvent être divisés principalement en trois catégories : les thermorides, les thermoplastiques et les élastomères.

Les élastomères constituent une famille particulière de "hauts polymères" et se distinguent des plastiques par des comportements différents du point de vue, en particulier, de leur rigidité, de leur déformabilité et de leur résilience. Les élastomères se caractérisent par leur

propriété élastique, comparable voire supérieure à celle du caoutchouc naturel. Les caractéristiques du point de vue incendie de ces polymères sont similaires à celles du caoutchouc qui seront abordés au paragraphe suivant.

Les thermorigides possèdent une forme rigide qui ne peut généralement être modifiée par la chaleur. Si toutefois, certains voient leur forme changer sous l'effet de la chaleur, ils ne peuvent recouvrir leur forme initiale sans un traitement préalable.

Les thermoplastiques sont thermoformables et peuvent être remodelés un certain nombre de fois sous l'effet de la chaleur et ne peuvent ainsi garder une forme rigide sous l'effet de la chaleur. On signalera que ces produits sont quasiment liquéfiables sous l'action de la chaleur.

Le Tableau 9 ci-dessous synthétise les différentes catégories de plastiques avec les grandes familles de produits leur appartenant ([15]).

<i><b>Thermorigides</b></i>	<i><b>Thermoplastiques</b></i>	<i><b>Elastomères</b></i>
Aminoplastes	Polyoléfines (polyéthylène, polypropylène,...)	Butadiène
Polyuréthanes	Polyvinyliques	Butyl
Polyesters insaturés	Polyvinylique	Fluoroélastomères
phénoplastes	Polyvinyliques	Hypalon
Silicones	Polystyréniques	Isoprène
Résines époxydes	Acryliques et méthacryliques	Caoutchouc
Résines allyliques	Polyamides	Neoprène
Résines époxyvinylesters ou vinylesters	Polyesters linéaires	Nitrile
Alkydes	Polyéthers	Polysulfide
Polyurées	Polyfluoréthènes ou polyfluorés	Silicones
polyisocyanurate	Cellulosiques	uréthane
Polybenzimidazoles	polysulfure	
polydicyclopentadiène		

*Tableau 9 : Catégories de plastiques*

Les matières plastiques ont de multiples applications et il serait illusoire de prétendre citer de manière exhaustive l'ensemble des activités concernées par l'emploi des matières plastiques. De même, devant cette grande diversité de produits, il est complexe de décrire de manière pertinente et précise le comportement des matières plastiques dans un incendie.

Par ailleurs, les matières plastiques peuvent subir des traitements physiques ou chimiques afin d'améliorer, par exemple, leur résistance à la chaleur, ce qui rend toute démarche globale difficile.

#### 4.2.4.2.2 Caractéristiques des plastiques soumis à un incendie

Au même titre que toutes les matières organiques, naturelles ou synthétiques, les matières plastiques sont plus ou moins combustibles. Leur pouvoir calorifique peut être parfois très élevé ([15]).

Matières plastiques	Pouvoir calorifique supérieur (kJ/kg)
Polychlorure de vinyle (PVC)	15000 à 21700
Polyuréthanes (PUR)	23900 à 31000
Polyamides (PA)	19300 à 31000
Polystyrène (PS)	31700 à 41200
Polyéthylène (PE)	33900 à 46000

Tableau 10 Pouvoir calorifique de quelques matières plastiques

Le comportement au feu des plastiques dépend de divers facteurs :

- nature du polymère et des adjuvants ;
- structure : un matériau dense et compact brûle plus difficilement que la même matière à l'état divisé ou sous forme allégée ;
- conditions de la combustion : atmosphère ouverte ou fermée, riche en oxygène ou non.

La phase de combustion proprement est caractérisée par des phénomènes d'importance variable :

- diminution rapide des propriétés mécaniques ;
- dégagement de fumées et de suies, dégagement de gaz dangereux ; diminution de la concentration de l'oxygène de l'air des locaux ;
- augmentation de la température ambiante ;
- vitesse de propagation et hauteur des flammes ;
- formation de gouttes chaudes ou enflammées.

Les principaux gaz formés lors de la combustion sont :

- le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau
- le méthane et des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques.

Le monoxyde de carbone est très souvent le toxique majeur. Mais le danger supplémentaire apporté par les autres gaz de dégradation est loin d'être négligeable.

Pour les plastiques contenant des atomes de chlore, fluor, azote, soufre, il y a également formation :

- de chlorure d'hydrogène et d'hydrocarbures chlorés,
- de composés fluorés et de fluorure d'hydrogène
- d'ammoniac, de nitriles, de cyanogène, de cyanure d'hydrogène et d'oxydes d'azote
- de dioxyde de soufre, de sulfure d'hydrogène.

Un incendie de matières plastiques se caractérise également par un dégagement de fumées qui peut être important. Elles sont formées de fines particules solides et liquides en suspension dans le mélange des gaz de combustion. La presque totalité des particules solides des fumées est représentée par des suies qui provoquent l'opacité des fumées.

A titre indicatif, les produits de dégradation thermiques des plastiques sont présentées en annexe A.

#### 4.2.4.2.3 Classification

Il est clair qu'élaborer une classification des matières plastiques en terme d'incendie est particulièrement difficile.

La NFPA a proposé une classification des matières plastiques. Celle-ci est divisée en trois groupes :

- le groupe A comprend les matières plastiques ayant une chaleur de combustion très supérieure aux chaleurs de combustion des combustibles ordinaires et une vitesse de combustion supérieure au groupe B
- le groupe B comprend les matières plastiques ayant une chaleur de combustion supérieure aux chaleurs de combustion des combustibles ordinaires et une vitesse de combustion inférieure au groupe A
- le groupe C comprend les matières plastiques ayant une chaleur de combustion et une vitesse de combustion similaires à celles des combustibles ordinaires.

Cette classification regroupe donc les produits plastiques comme suit :

**Groupe A :**

ABS (acrylonitrile - butadiène - styrène copolymères),  
Acrylique,  
Acétal,  
EPDM (caoutchouc éthylène-propylène),  
Caoutchouc naturel expansé,  
Nitrile de caoutchouc,  
PET (polyester thermoplastique),  
Polybutadiène,  
Polycarbonate,  
Polyester élastomère,  
Polyéthylène;  
Polypropylène  
Polystyrène,  
Polyuréthane,  
PVC (quand très plastifié),  
SAN (acrylonitrile de styrène),  
SBR (caoutchouc de styrène-butadiène).

**Groupe B :**

Cellulosiques (acétate de cellulose, acétate de cellulose butyrate, éthyle de cellulose),  
Chloroprène,  
Fluoroplastiques (Copolymère à base d'éthylène),  
Caoutchouc naturel non expansé,  
Nylon,  
Silicones.

**Groupe C :**

Fluoroplastiques (PCTFE, PTFE),  
Mélamine,  
Phénoliques,  
PVC rigide ou peu plastifié,  
PVDC,  
PVF,  
PVDF,



Urée.

Il peut donc être instructif de se pencher un peu plus avant sur les produits du groupe A potentiellement les plus dangereux quant à leur comportement dans un incendie. D'autre part, sur la base de l'expérience de l'INERIS, il est à noter que bon nombre de ces produits du groupe A sont effectivement stockés ou présents de manière récurrente dans les entrepôts que ce soit au niveau des marchandises ou bien des matériaux d'emballage et de conditionnement. Les paragraphes suivants sont donc consacrés à une description sommaire, notamment en terme de caractéristiques au feu, de quelques produits récurrents et potentiellement à risque :

- le PVC,
- le PE (polyéthylène),
- le polystyrène,
- le polyuréthane.

*Les résines de vinyles* sont des thermoplastiques qui existent dans une gamme très étendue de polymères et copolymères. Les applications des vinyles sont donc diverses, des sièges automobile, rideaux de douche, aux bouteilles, adhésifs et disques en passant par le matériel médical.

*Le PVC* (polychlorure de vinyle) est utilisé sous sa forme rigide notamment dans le domaine de la construction et sous sa forme flexible pour toutes sortes de couvertures de produits.

Le PVC non plastifié fond sous l'effet de la chaleur en produisant des fumées blanches et en émettant dans l'atmosphère des quantités significatives de chlorure d'hydrogène (HCl).

En ce qui concerne le PVC plastifié, ses propriétés en terme d'incendie sont grandement déterminées par le plastifiant utilisé.

Sous sa forme classique, le PVC a une chaleur de combustion de l'ordre de 18 MJ/kg et lorsqu'il est sous forme de mousse, cette chaleur de combustion peut atteindre 23 MJ/kg.

*Le PE* (polyéthylène) est commercialisé sous trois formes : basse densité, densité moyenne et haute densité.

En conséquence, leur température de service varie entre 70°C pour les polyéthylènes de faible densité et 115°C pour les polyéthylènes de haute densité.

Compte tenu de ses bonnes propriétés mécaniques et d'isolation, le polyéthylène est fréquemment utilisé en tant que film, couverture, bouteilles ou pour les textiles.

Le polyéthylène ne présente pas, sauf traitement spécial, de risque particulier en terme de toxicité. Il possède par ailleurs une chaleur de combustion importante, de l'ordre de 45 MJ/kg.

*Le polystyrène non expansé* est un thermoplastique transparent dont les principales caractéristiques résident dans sa dureté, sa clarté, sa résistance mécanique et, en cas de traitement particulier, sa bonne résistance à la chaleur. Ainsi, le polystyrène est largement employé dans la fabrication des jouets, des articles de sport, d'articles audio-visuels (télé, radio) ainsi que dans le domaine de l'électronique.

*Le polystyrène expansé* est lui utilisé principalement pour ses propriétés mécaniques et d'utilisation, principalement dans le domaine de l'emballage.

Il est à noter que le polystyrène expansé est bien entendu plus inflammable que la variété non expansé de par la grande division au sein de sa structure.

Les deux espèces ont cependant des chaleurs de combustion sensiblement égales : 39,7 MJ/kg pour le polystyrène non expansé et 42 MJ/kg pour le polystyrène expansé.

A noter que, sauf traitement spécial, le polystyrène ne présente pas de risque particulier en terme de toxicité aigus mais est très fumigène.

*Le polyuréthane* peut se présenter sous deux grandes formes : en mousses ou élastomères.

Les mousses souples de polyuréthane sont largement utilisées pour la fabrication de rembourrage de lits, canapés, pour la fabrication d'éponges ou de jouets (peluches). Sous sa forme rigide, la mousse de polyuréthane est utilisée pour l'isolation des bâtiments.

Les incendies affectant des mousses de polyuréthane sont particulièrement chauds, difficiles à maîtriser et libèrent des quantités importantes de fumées denses et toxiques par libération de cyanure d'hydrogène. La chaleur de combustion des mousses de polyuréthane se situe autour de 25-30 MJ/kg.

#### 4.2.4.2.4 Enseignement

Il est possible de retenir de manière générale, les grands principes suivants concernant le comportement de stockage de matières plastiques affecté par un incendie :

- les composés gazeux qui sont émis doivent être considérés comme dangereux pour la santé : toxiques, corrosifs, irritants, allergisants, narcotiques etc. Ils peuvent par ailleurs être inflammables. La nature des gaz toxiques émis dans l'atmosphère est bien entendu fonction de la composition des plastiques. On retiendra par exemple qu'un incendie de PVC engendre la libération de chlorure d'hydrogène alors que la combustion de polyuréthane peut être à l'origine de la mise à l'atmosphère de cyanure d'hydrogène et d'oxydes d'azote notamment.
- la combustion de matières plastiques s'accompagne le plus souvent de grandes quantités de fumées noires, denses avec beaucoup de suie.
- les thermoplastiques, lorsqu'ils sont soumis à un incendie, ont tendance à fondre et à couler (et donc d'avoir un comportement de feux de nappe). Outre le fait que ce phénomène complique grandement l'intervention des services de secours, il constitue un facteur potentiel important de propagation du sinistre.
- bien que les matières plastiques ont tendance, en règle générale, à avoir une température d'inflammation supérieure à celle du bois, certains peuvent être facilement enflammés par une petite source de chaleur et brûlent alors rapidement. Dans de tels cas, il n'est pas exclu d'observer des vitesses de propagation nettement supérieures à celle du bois.

#### 4.2.4.3 Caoutchouc

Comme les matières plastiques, le caoutchouc peut revêtir différents aspects des formes souples et élastiques aux forme extrêmement rigides.

Le caoutchouc naturel est un constituant du latex et peut par différents procédés être mis sous forme de mousse ou encore de polymère thermorigide (vulcanisation).

Les caoutchoucs synthétiques ont été conçus pour approcher les caractéristiques élastiques du caoutchouc naturel et peuvent être également vulcanisés.

Il n'existe a priori pas de grandes différences en terme de combustibilité entre les caoutchoucs naturels et synthétiques, même si certains composés à base de silicone peuvent présenter une résistance au feu plus importante.

Les feux de caoutchouc se caractérisent par une odeur particulière et la production de fumées noires très denses. Par contre, comme le montre l'analyse d'accidents impliquant des stockages de produits en caoutchouc et plus particulièrement de pneus, les incendies de produits en caoutchouc sont particulièrement chauds, difficiles à contrôler et la production de fumées en quantité importante rend souvent l'intervention difficile.

#### 4.2.4.4 Textiles

Les matières textiles sont composés de fibres qui peuvent être soit d'origine naturelle soit synthétiques.

Le type de fibres naturelles le plus couramment utilisé dans l'industrie textile est le coton, qui est composé à plus de 90 % de cellulose. Le coton se comporte donc comme un produit cellulosique dans un incendie. Il convient donc de retenir que :

- le coton est relativement facile à enflammer, sa température d'inflammation se situant en général entre 200 et 400 °C environ,
- la vitesse de combustion peut être relativement importante et ceci d'autant plus que la plupart des fibres cellulosiques sont creuses, ce qui apporte une alimentation en oxygène du foyer non négligeable,
- la chaleur de combustion du coton est relativement du même ordre de grandeur que celle observée pour du bois,
- Les fumées de combustion ne contiennent pas d'espèces toxiques spécifiques sauf traitement chimique particulier, et sont composées en grande majorité, de dioxyde de carbone, de monoxyde de carbone et de vapeurs d'eau.

Les fibres protéiniques (laine,...) sont également communément utilisées dans l'industrie textile.

Elles possèdent généralement une structure plus complexe que le coton, à base de protéines avec un grand pourcentage d'azote. En conséquence, il s'agit de matériaux plus difficiles à enflammer que le coton, qui brûlent également plus lentement et un incendie affectant des fibres protéiques peut être relativement facile à éteindre.

La température d'inflammation de ces produits se situe généralement autour de 600°C.

Un incendie de fibres protéiques est toutefois susceptible de libérer des quantités non négligeables de produits toxiques, comme le cyanure d'hydrogène par exemple.

Les fibres synthétiques peuvent être divisées en deux catégories selon qu'elles sont totalement synthétiques ou seulement partiellement.

Certaines fibres sont en effet synthétisées à partir de la cellulose. c'est le cas notamment de la viscose, qui possède donc des propriétés incendie similaires à celles des fibres cellulosiques. De même, l'acétate de cellulose est obtenu par réaction de la cellulose avec de l'acide acétique. A l'inverse toutefois de la viscose, l'acétate de cellulose a tendance à fondre sous l'effet de la chaleur et possède un comportement au feu proche de celui des fibres thermoplastiques. La chaleur de combustion de l'acétate de cellulose se situe autour de 18 MJ/kg, soit une valeur proche de la chaleur de combustion de la cellulose.

En ce qui concerne les fibres totalement synthétiques, il est possible de distinguer deux familles principales :

- les matières acryliques,
- les matières thermoplastiques (polypropylène, nylon, oléfine).

Les matières acryliques carbonisent, rougissent et brûlent sous l'effet de la chaleur. Leur température d'inflammation est comprise entre 450°C et 550 °C et leur chaleur de combustion se situe autour d'une trentaine de MJ/kg par analogie avec l'acrylonitrile. Par ailleurs, un incendie affectant un stockage de matières acryliques conduit au rejet de produits toxiques dans les fumées de combustion, en particulier de cyanure d'hydrogène.

A l'inverse des matières acryliques, les matières thermoplastiques ont une certaine propension à fondre sous l'effet de la chaleur. Par rapport aux fibres cellulosiques, les fibres thermoplastiques sont généralement plus difficiles à enflammer (leur température d'inflammation se situe entre 450°C et 550°C). De plus, la vitesse de propagation des flammes résultant de leur inflammation est généralement peu importante et les feux de matières thermoplastiques ont tendance à couvrir des surfaces faibles ou moyennes et possèdent la caractéristique de s'éteindre d'eux-mêmes lorsque la source d'inflammation disparaît.

Toutefois, les matières thermoplastiques possèdent une chaleur de combustion relativement importante, de l'ordre de 30 MJ/kg pour le Nylon et de plus de 40 MJ/kg pour le polypropylène.

De plus, un incendie affectant un stockage de Nylon peut conduire au rejet de cyanure d'hydrogène dans les fumées de combustion.

Enfin, pour ce qui concerne les textiles, il y a lieu de considérer qu'un mélange moitié-moitié de fibres cellulosiques avec des fibres thermoplastiques a priori moins combustibles a des caractéristiques au feu plus proches de celles de fibres cellulosiques pures que de celles de fibres thermoplastiques.

#### 4.2.4.5 *Produits alimentaires*

Pour ce qui concerne d'éventuels incendie affectant des stockages de produits alimentaires, il y a lieu de distinguer les produits alimentaires secs (pâtes riz, semoule, margarine, chocolat,...) et les denrées périssables (viandes, primeurs,...)

Il apparaît en effet que les produits alimentaires secs solides de type pâtes, riz ou semoule peuvent engendrer des sinistres importants, de par leur faible teneur en eau et leur chaleur de combustion pouvant être importante, du même ordre de grandeur que celui du bois voire dans certains cas, supérieure (Tableau 11).

Les denrées périssables sont généralement présentes dans les entrepôts frigorifiques. Elles peuvent être divisées en trois groupes :

- les végétaux : semences, plantes vivantes, fruits (réfrigérés ou congelés), légumes (réfrigérés ou congelés), fleurs,
- les produits animaux : œufs, lait, viandes, volailles, poissons et autres produits de la pêche qui peuvent être réfrigérés ou congelés,

- les produits des industries agricoles et alimentaires : crèmes glacées, boissons, aliments préparés, produits laitiers, produits carnés.

Si ces produits frais sont plus ou moins combustibles et même si certains ont un pouvoir calorifique élevé ([14]), ils contiennent souvent une grande quantité d'eau. Ils conduisent donc en général à des sinistres aux conséquences moindres. Toutefois, leurs emballages, par contre, très secs, engendrent des feux couvants et ce n'est que tardivement, lors d'un embrasement générateur de températures élevées, qu'il y a participation du contenu proprement dit à la généralisation de l'incendie.

Il est à noter également que certains produits tels que les huiles végétales, le beurre ou la margarine ont un comportement similaire à des liquides inflammables quant à la violence de l'incendie.

Denrées	Pouvoir calorifique supérieur en MJ/kg	K <sup>1</sup>
Viande	25	1.25
Beurre	38	1.9
Saindoux, huiles végétales et graisses	40	2
Bacon	27	1.3
Margarine	31	1.6
Fromage	13	0.6
Confiture, miel	14	0.6
Céréales en grains, riz	17	0.8
Noix	29	1.4
Plantes séchées et fruits secs	15	0.7
Pain	10	0.5

Tableau 11 Pouvoir calorifique de certaines denrées alimentaires d'après [16]

#### 4.2.4.6 Remarque

Lorsque l'entrepôt contient des solides a priori non ou très peu combustibles, il est particulièrement important de considérer la charge calorifique des emballages, du conditionnement.

Par ailleurs, il est indispensable d'évaluer la quantité de produits toxiques qui peut être libérée dans l'atmosphère par décomposition de ces produits qui ne présentent pas de risque en terme d'effets thermiques.

---

<sup>1</sup> Le coefficient K est une donnée correspondant à la quantité de bois en kg ayant le même pouvoir calorifique (avec un PCS de 20 MJ/kg pour le bois) qu'un kg de produit considéré.

### 4.3 Pistes pour l'élaboration d'une classification

La ruine des entrepôts Sogaris (1987) est l'illustration parfaite de l'influence des emballages sur le risque d'incendie.

A l'origine du sinistre, on trouve un stockage de robinets en acier inoxydable, qui ne présente pas a priori un risque d'incendie élevé. La ruine a été causée simplement par l'inflammation des produits d'emballage et de conditionnement (polystyrène expansé, mousse de polyuréthane, cartons, filmage en plastique, palettes en bois, ...)

Ainsi, il est indispensable de prendre en compte la nature des matériaux d'emballage pour étudier la thématique incendie des entrepôts.

Dans le cadre d'une classification des marchandises au regard de l'incendie, il est important de raisonner sur la dangerosité des marchandises (emballées ou non) ainsi que sur l'adéquation marchandises/entrepôts.

La dangerosité des marchandises en terme de conséquence sur l'environnement peut être établie en particulier :

- au regard de la dangerosité quant aux effets thermiques (potentiel calorifique, vitesse de combustion),
- au regard de la dangerosité de la propagation du feu (produits liquides, liquéfiables ...),
- au regard de la dangerosité des fumées (toxique, opaque),
- marchandises granulaires et pulvérulentes.

Une réflexion pourrait être menée pour essayer de classer les marchandises entreposées.

Il existe différentes approches de classement à travers le monde. Ces classifications sont essentiellement établies non pas dans l'objectif de protéger l'environnement mais plutôt dans le but de dimensionner les moyens de protection. Toutefois, ces classifications sont intéressantes et certaines sont explicitées ci-après.

#### 4.3.1 Approche Factory Mutual ([22])

Factory Mutual a dressé la classification suivante mettant en relation la nature des marchandises et des emballages. Il est important de noter qu'elle a été établie dans le but de dimensionner les moyens de protection. La notion de risque environnemental n'est pas prise en compte.

La classification s'effectue selon la chaleur dégagée (kW) qui est fonction de la chaleur de combustion (KJ/Kg) et de la vitesse de combustion (kg/s). Elle est établie suivant quatre classes notées de 0 à 4.

La classe 3 est considérée comme la classe de référence. Celle-ci comprend des combustibles ordinaires comme le papier ou le bois dont la chaleur de combustion varie entre 14000 et 18000 J/Kg.

Les autres produits sont classés en déterminant leurs caractéristiques au feu par des essais de laboratoire et en les comparant aux caractéristiques de la classe 3.

Le classement d'une marchandise ne dépend pas seulement des caractéristiques au feu de la marchandise mais également de son emballage (quantité de plastique ou de carton servant à l'emballage) et de son mode de stockage :

- par exemple, si le pourcentage de plastique est supérieur à ceux indiqués pour la classe 4 le produit doit être assimilé à du plastique et l'instruction technique correspondante au plastique doit être appliquée.

- de même, dans le cas d'un stockage avec plus de 10% de marchandises considérées comme plastiques le stockage est assimilé à un stockage de plastiques. Dans ce cas, il est préconisé de séparer les marchandises "plastiques" des autres.
- en général une palette avec une marchandise déterminée et qui est entourée de plastique rétractile doit être classée à un niveau supérieur à celui de la marchandise considérée seule.

Classe	Description	Exemples
0	Produits incombustibles stockés dans des sacs, sur des palettes et non dans des racks	matériaux inertes en poudre ou granules, abrasifs, détergents en granule, ciment, oxyde de fer, minéraux, cendre de soude, chlorure de sodium, chlorure de calcium
1	Produits essentiellement non combustibles, en cartons légers ou sur palettes en bois	minéraux, céramiques Produits métalliques Produits de verre : miroir, bouteilles de verre vides ou pleine de liquide incombustible Aliments : fruits ou légumes en morceau dans, aliments congelés, viandes des fruits ou légumes frais dans des containers qui ne sont en plastiques
2	Produits de la classe I mais avec un emballage ou des conteneurs plus combustibles ou en plus grande quantité	Même produits que précédemment en cartons renforcés, en barils ou dans des boîtes
3	Produits combustibles emballés dans des matériaux ou des conteneurs combustibles sur des palettes en bois. Peuvent contenir une quantité de plastique limitée	Bois, papier, cuir, certains aliments
4	Produits de la classe I, II ou III qui contiennent dans le produit et son emballage moins de 25% en volume ou 15 % en masse de plastique. Au delà de ces quantités les produits doivent être considérés comme plastiques.	Machines à écrire, appareils photo...

Tableau 12 : Classification simplifiée des marchandises par Factory Mutual

Cette classification n'englobe pas les produits plastiques. Les plastiques font l'objet d'une classification particulière qui est présentée au paragraphe 4.2.4.2.

Remarque :

Ce type de classification se retrouve ailleurs. L'ITSEMAP (Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE) en Espagne a adopté par exemple la même démarche.

#### 4.3.2 Approche APSAD (Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurance Dommages)

De même, l'APSAD a édité sa propre classification dans le même ordre d'idée, dans le cadre de sa règle R1.

Les marchandises (sans emballages) sont classées en quatre classes, selon le degré de dangers qu'elles représentent (de la moins dangereuse à la plus dangereuse : F1, F2, F3, F4).

De même, les emballages sont répartis en quatre classes. (de la moins dangereuse à la plus dangereuse : E1, E2, E3, E4).

Le tableau croisé suivant donne alors la classe de danger correspondant aux produits stockés. Cette classe de danger permet ensuite de dimensionner les moyens de protection.

Emballages	E1	E2	E3	E4
Marchandises				
F1	RTD B1	RTD B2	RTD B3	RTD B4
F2	RTD B2	RTD B2	RTD B3	RTD B4
F3	RTD B3	RTD B3	RTD B3	RTD B4
F4	RTD B4	RTD B4	RTD B4	RTD B4

*Tableau 13: Abaque de calcul de la classe de risque*

#### 4.3.3 Approche du Comité Européen des Assurances

Toujours du côté des assurances, le CEA (Comité Européen des Assurances) propose une méthode d'évaluation des risques d'incendie pour les entrepôts de matières dangereuses.

A cette fin, le CEA a distingué 6 degrés de danger relativement aux marchandises stockées tout en précisant que la nature des emballages doit être prise en compte de manière appropriée.



Le Tableau 14 ci-dessous synthétise les critères de classification du CEA :

	Catégorie de danger	Degré de danger					
		1	2	3	4	5	6
Matières solides	F	S'enflamme très facilement et se consument très rapidement	S'enflamment et se consument rapidement	Facilement combustibles	Moyennement combustibles	Difficilement combustibles (feu d'appui nécessaire)	Non combustibles
Liquides		Point d'éclair < 21°C	Point d'éclair entre 21 et 55°C	Point d'éclair entre 55 et 100°C	Point d'éclair > 100°C	Difficilement combustibles (feu d'appui nécessaire)	Non combustibles
Gaz		Combustibles	-	-	-	Difficilement combustibles (feu d'appui nécessaire)	Non combustibles
Matières auto-inflammables	AF	Auto-infl même en petites qtés	Auto-infl slt en grandes qtés	-	-	-	-
Mat qui dégagent des gaz comb au contact de l'eau	HF	-	Toutes sauf AF				
Oxydants	O	Très forts	Forts	Faibles	-	-	-
Matières explosibles	E	Hautement explosibles	Explosibles	-	-	-	-

Tableau 14 : Degrés de danger d'incendie pour les matières dangereuses

Le CEA utilise en outre que cette classification pour dimensionner l'entrepôt de stockage, notamment en ce qui concerne les quantités à stocker par cellules et les capacités des bassins de rétention.

A cette fin, le CEA recoupe la précédente classification avec une classification prenant en compte la conception et les mesures de protection dont dispose l'entrepôt.

Cinq catégories de concept ont ainsi été distinguées :

- **K1 : Concept " construction "**  
Petits compartiments coupe-feu
- **K2 : Concept " surveillance "**  
Constitution de compartiments coupe-feu  
Installation de détection incendie automatique avec transmission automatique de l'alarme aux services de secours.
- **K3 : Concept " surveillance et sapeurs pompiers d'entreprise "**  
Constitution de compartiments coupe-feu  
Installation de détection incendie automatique avec transmission automatique de l'alarme aux sapeurs pompiers d'entreprise, prêts à intervenir en permanence.
- **K4 : Concept " installation d'extinction "**

Constitution de compartiments coupe-feu  
Installation d'extinction automatique avec transmission automatique de l'alarme aux services de secours.

- **K5 : Concept “ installation d’extinction et sapeurs pompiers d’entreprise ”**

Constitution de compartiments coupe-feu  
Installation d'extinction automatique avec transmission automatique de l'alarme aux sapeurs pompiers d'entreprise, prêts à intervenir en permanence.

#### 4.3.4 Approche des sapeurs pompiers de Genève

Enfin, les sapeurs-pompiers de Genève ont mis au point une documentation détaillée pour chaque substance dangereuse : le guide orange des sapeurs-pompiers genevois (guide SPG).

Dans ce guide, ils ont classé les substances selon l'importance des dangers relatifs aux critères suivants :

- santé (toxicité),
- feu,
- instabilité chimique à la chaleur,
- réaction avec l'eau,
- formation de mélanges explosifs à l'air.

Un code de 0 à 4 indique l'intensité du danger :

- 0 : Pas ou très peu dangereux,
- 1 : Peu dangereux,
- 2 : Dangereux,
- 3 : Très dangereux,
- 4 : Excessivement dangereux.

Remarque :

Il faut garder à l'esprit que ces classifications n'ont été établies que dans le but de dimensionner les moyens de protection. Les conséquences environnementales et en particulier les conséquences toxiques ne sont absolument pas pris dans l'établissement de ces classifications.

## 5. MODALITES DE STOCKAGE ET CONCEPTION DE L'ENTREPOT

Ce chapitre a pour but de recenser quelques uns des principes de construction des entrepôts. Il ne peut en aucun cas se substituer à une description technique des différents entrepôts, qui serait du ressort des concepteurs d'entrepôts.

Cette présentation est principalement basé sur les études et visites de site que l'INERIS a réalisées ; elle reste donc par nature partielle et subjective.

### 5.1 Emprise au sol

Il est clair que la quantité de produits stockés par unité de surface au sol est un élément déterminant influant sur le développement, la propagation et les conséquences d'un éventuel incendie.

En effet, une grande surface au sol est particulièrement pénalisante pour les raisons suivantes :

- une quantité importante de combustibles peut être soumise à l'incendie,
- les dimensions des flammes sont en conséquence importantes, que ce soit en terme de hauteur ou de longueur, dans le cas d'un incendie généralisé à toute la cellule de stockage,
- la propagation d'un incendie éventuel est facilitée, ceci d'autant plus que les systèmes d'extinction automatique sont dimensionnés pour protéger des surfaces au sol réduites (de l'ordre de 250 m<sup>2</sup>),
- dans la mesure où les trajets des engins de manutention à l'intérieur de la cellule peuvent s'avérer plus importants que ceux dans une cellule de taille réduite, la probabilité d'incident, notamment en ce qui concerne l'initiation d'un sinistre est accrue.

De plus, l'analyse d'accidents a mis en lumière que les entrepôts non compartimentés donnaient lieu le plus souvent à des interventions difficiles pour les services de secours.

5.1.1 Il est clair qu'une surface de stockage trop importante et non munie de compartimentage est un facteur propice à la propagation rapide d'un feu.

Il semble donc nécessaire de limiter la taille des cellules de stockage en compartimentant le stockage à l'aide de murs coupe-feu par exemple. L'utilité de cette disposition se justifie bien sûr par des considérations de type sécurité mais également par des considérations économiques en situation accidentelle; en limitant la propagation du sinistre, on peut limiter la quantité de produits touchés par l'incendie et réduire ainsi les pertes financières.

De plus, le compartimentage peut s'avérer indispensable pour séparer des produits à risque (en terme d'incendie) du reste d'un éventuel stockage.

Dans certains cas, des murs, coupe-feu ou non, peuvent être munis de dispositifs d'arrosage afin de leur conférer une stabilité au feu plus grande.

Cette protection demande des moyens en eau très importants, qui devront être distincts des réserves en eau du réseau de sprinklage. Elle ne présente une efficacité certaine que si cette disposition peut être mise en œuvre très précocement. Il est en effet particulièrement néfaste d'arroser un mur déjà chaud.

En conséquence, il convient de retenir que le compartimentage d'une grande cellule en cellules de taille plus réduite est généralement un facteur allant vers plus de sécurité. Cela peut permettre notamment de diminuer les éventuelles conséquences d'un sinistre en le cantonnant à une zone déterminée, dans la mesure du possible, et le plus souvent de préserver les zones de stockage voisines. L'efficacité du compartimentage et son intérêt sont bien entendu à relier au type de produits stockés, au mode de stockage et aux mesures de prévention et de protection par ailleurs mises en place.

Il est à noter qu'une étude faite par l'INERIS sur le compartimentage est en cours pour le compte du S.E.I

## 5.2 Hauteur

La tendance actuelle semble aller dans le sens de stockages de plus en plus haut. Ainsi, la hauteur des stockages conventionnels n'a cessé d'augmenter au cours des dix dernières années. Cette évolution, qui semble devoir se poursuivre (l'entrepôt du futur serait un entrepôt de grande hauteur), est possible notamment grâce aux progrès faits dans le domaine des engins de manutention. Ainsi, beaucoup d'entrepôts de grande hauteur sont maintenant dotés d'appareillages semi-automatiques (transstockeurs) ou complètement automatiques, ce qui réduit considérablement le nombre de personnes actives dans l'entrepôt en question. Dans ce type d'entrepôt, l'emplacement des lots est généralement déterminé de manière aléatoire (le logiciel de gestion recherche un emplacement vide).

La notion de grande hauteur pour un entrepôt semble toutefois difficile à définir clairement. Cette définition dépend en effet des considérations des différents organismes internationaux de sécurité. On considère toutefois qu'une hauteur dépassant 8 m dans un stockage peut être qualifiée de grande hauteur. Une hauteur de plus de 30 mètres peut également être observées dans les entrepôts à palettisation.

La hauteur de stockage est un paramètre particulièrement important qui conditionne le comportement du feu et le dimensionnement des moyens de protection.

Il est clair que plus la hauteur de stockage est importante, plus il sera difficile de lutter contre le feu. En effet, le feu a d'abord tendance à se développer verticalement grâce aux mouvements de convection. Une structure toute en hauteur est donc particulièrement pénalisante puisqu'elle soumet d'avantage de combustibles à la propagation du feu. A ce sujet, l'ANPI a relevé des vitesses de propagation verticale de flammes dans des racks de l'ordre de 10 à 40 m/min. ([10]).

La hauteur de stockage est ainsi l'un des paramètres retenus par la NFPA ou l'APSAAD par exemple pour dimensionner le réseau éventuel d'extinction automatique.

La hauteur de stockage intervient également en terme de stabilité du stockage. En effet, on convient aisément que plus la hauteur de stockage est importante, plus la stabilité de ce stockage sera difficile à assurer. En France par exemple, il est actuellement demandé aux exploitants de faire en sorte que leurs entrepôts soient stables au moins une demi-heure en cas d'incendie.

De plus, il est évident que limiter la hauteur de stockage peut diminuer les risques de chutes d'objets.

### 5.3 Dispositions de stockage

La façon dont le stockage est disposé est un facteur déterminant pour le risque incendie. La tendance actuelle combine l'apparition de produits de plus en plus dangereux à des entrepôts de plus en plus grands, des systèmes de manutention de plus en plus perfectionnées et des stockages de plus en plus haut.

#### 5.3.1 Stockage en masse

Les marchandises sont empilées les unes sur les autres. Ce type de stockage présente le moins de risque. En effet, la structure serrée limite les interstices et donc limite la circulation de l'air. De ce fait, il y aura moins d'oxygène pour alimenter le feu. Celui-ci ne peut se développer que sur les faces extérieures des empilements, là où les moyens de protection tels que les sprinkleurs peuvent intervenir efficacement.

Ce type de stockage doit être limité en hauteur pour des raisons de stabilité principalement et en taille pour qu'une fois l'incendie développé, les eaux d'extinction puissent gagner plus efficacement le foyer de l'incendie.

Au cours d'un incendie, les stockages en masse (comme ceux en palettes présentés ci-après) auront une tendance à s'écrouler. Cela aura l'avantage de diminuer la hauteur de l'incendie mais aura dans certains cas l'inconvénient de propager celui-ci latéralement.

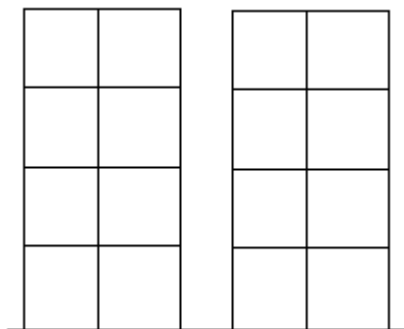


Figure 1 : stockage en masse

#### 5.3.2 Stockage palettisé

Dans le cas de stockage en palettes, les marchandises sont placées sur des palettes puis empilées les unes sur les autres. La présence de palettes est bien évidemment un avantage pratique du point de vue de la manutention.

Toutefois, dans ce type de stockage, on crée un espace d'air horizontal au niveau des palettes qui favorise la propagation d'un incendie à un endroit difficilement accessible par un réseau de sprinkleurs.

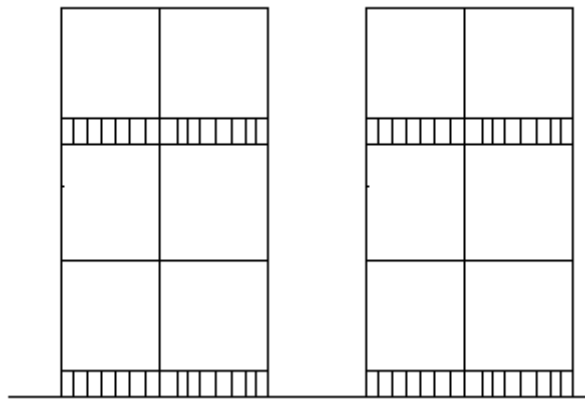


Figure 2 : stockage palettisé

### 5.3.3 Stockage en casiers (racks) ou palettiers

Enfin, dans un stockage en racks ou palettiers, les marchandises placées sur des palettes sont disposées dans des casiers métalliques sur plusieurs niveaux en fonction de la hauteur de stockage.

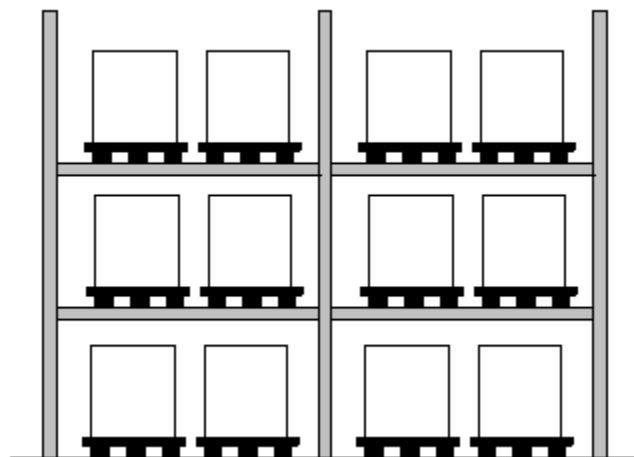


Figure 3 stockage en racks

Le stockage en rack pose un problème particulier en raison de leur stabilité, de la présence d'espaces horizontaux et verticaux importants et des hauteurs de stockage bien supérieures aux stockages en masse ou palettes.

Il s'agit donc de la disposition la plus défavorable en terme de propagation d'un incendie puisque l'air peut circuler facilement entre les casiers. L'ANPI note à ce sujet que la vitesse de propagation verticale dans des racks peut atteindre 10 à 40 m/min. Ainsi, un feu partant de la base des racks atteindrait le dernier niveau sous toiture en un temps très court de l'ordre de quelques minutes selon la configuration de l'entrepôt ([12]).

Par contre, cette disposition aérée permet de disposer entre les casiers des moyens de détection et d'intervention susceptibles de prévenir efficacement tout départ de feu dans le stockage.

De plus, les casiers métalliques peuvent permettre d'assurer un certain degré de stabilité empêchant les chutes d'objets et de marchandises.

Les stockages en racks peuvent être à une ou plusieurs rangées. Ces rangées peuvent être fixes ou amovibles.

L'utilisation de racks amovibles permet une meilleure gestion de l'espace de stockage. Toutefois, elle peut présenter un risque supplémentaire. En effet, en les déplaçant, on peut regrouper des casiers et ainsi constituer des rangées multiples avec des systèmes de protection qui ne seront plus adaptés

Ce type de stockage en racks ou palettiers est, désormais, le type de stockage le plus courant et se retrouve en particulier dans toutes les plates-formes logistiques. Il permet un stockage sur de grandes hauteurs avec une relative facilité de manutention, grâce notamment au développement des systèmes de stockage automatisés (transstockeurs, par exemple).

L'automatisation ou semi-automatique des moyens de levage et de roulage a permis d'atteindre des hauteurs très importantes (de l'ordre de 30 mètres).

Cette automatisation a l'avantage de diminuer significativement la présence humaine à l'intérieur de l'entrepôt. Ainsi, en cas de sinistre, peu de personnes doivent évacuer le bâtiment. Il y a lieu toutefois de tempérer cette affirmation. En effet, si le nombre de personnes est restreint, les conditions d'évacuation peuvent s'avérer difficiles, du fait principalement du caractère particulier des stockages nécessitant une automatisation. A titre d'exemple, l'évacuation de stockages de grande hauteur pour lesquels des transstockeurs semi-automatiques sont utilisés peut s'avérer problématique en cas de sinistre.

Il est à noter également que dans les entrepôts à palettisation les rayonnages peuvent souvent constituer la structure porteuse du toit et des parois. Les engins de manutention spécialement construits pour desservir de tels rayonnages font partie intégrante de la construction au même titre que les rayonnages.

#### 5.3.4 Largeur des allées

Dans tout stockage, il est indispensable de conserver des allées aussi larges et dégagées que possibles entre les rangées de marchandises. Ces rangées permettent entre autre une meilleure action des moyens d'intervention et une limitation de la propagation du sinistre. Ainsi, la NFPA détermine la largeur minimale des allées entre les rangées de marchandises en fonction de la protection sprinkleur disponible.

Dans la mesure du possible, ces allées ne doivent être encombrées par des palettes vides ou des marchandises entreposés temporairement, faute de quoi leur utilité se trouverait fortement réduite.

## 5.4 Modalités de construction de l'entrepôt

### 5.4.1 Structure de l'entrepôt

La réglementation française impose que la structure porteuse d'un entrepôt de plus de 2 étages ou plus de 10 mètres soit stable au feu au moins une demi-heure.

Il existe principalement trois types de construction pour la structure porteuse de l'entrepôt :

- la construction en béton,
- la construction métallique,
- la construction en bois (charpente classique ou lamellé-collé).

Il est clair que la solution de la construction en béton permet en principe de conférer une stabilité importante à l'entrepôt. Cependant, c'est également la solution la plus coûteuse. C'est pourquoi la structure métallique est encore couramment choisie. Elle présente le meilleur rapport qualité-prix. La construction est rapide et ne brûle pas. Toutefois, s'il est exposé à des températures supérieures à 600°C, l'acier se déforme rapidement (de l'ordre de 8 mm) et la structure risque de s'effondrer. Il est donc généralement retenu de protéger cette structure métallique afin de diminuer la vitesse d'échauffement de l'acier. Divers procédés peuvent être adoptés pour cela tels que la peinture intumescente, l'enrobage dans un mélange de fibres minérales et de perlite, enrobage en vermiculite, la mise en place de moyens de protection.

Enfin, il reste à mentionner qu'il existe encore des entrepôts dont la structure est constituée de bois. Le bois augmente bien entendu la charge calorifique à l'intérieur de l'entrepôt mais permet de lui conférer une plus grande stabilité que n'aurait pu lui conférer une ossature métallique.

Cependant, dans certains cas particuliers comme les cas de stockages de grande hauteur par exemple, l'unique solution de construction peut être précisément de permettre aux racks de supporter la toiture et d'assurer la stabilité de l'édifice.

Le bardage des façades extérieures peut être réalisés notamment par :

- Par un bardage simple peau constitué d'une tôle en acier
- Par des panneaux ou bacs " sandwich " composés de deux parements en tôle d'acier garnis d'un isolant (en polyuréthane, laine de roche ...).

Les façades extérieures peuvent également être réalisées en maçonnerie (béton, béton cellulaire, ...).



#### 5.4.2 Toiture

Le marché français est dominé à une grande majorité par le système du bac acier avec isolant fibreux et étanchéité bitumeuse ([20]).

Celui-ci consiste en une tôle d'acier recouverte d'un isolant (polyuréthane, laine de roche par exemple) et d'une couche isolante à base bitumeuse.

D'autres alternatives existent comme le panneau sandwich (tôle d'acier/mousse plastique/tôle d'acier), les toitures sèches ou les toitures en béton.

Cette thématique, faisant l'objet d'une étude propre à l'INERIS, ne sera pas davantage développée dans ce rapport.

#### 5.4.3 Evolution de l'entrepôt

Dans un même entrepôt, il est possible de trouver des produits de nature très différentes (générateurs d'aérosols, légumes et ordinateurs par exemple).

Il est important de noter que la nature et la répartition des produits sont susceptibles de changer durant l'exploitation. Ainsi, Factory Mutual recommande, pour l'établissement des moyens de protection, de raisonner sur le produit le plus pénalisant qu'il soit envisagé d'entreposer.

Il faudra bien sûr veiller à adapter les moyens de prévention et protection à la nouvelle disposition du stockage et/ou à la nouvelle nature des produits stockés.

Beaucoup d'incendies non maîtrisés sont en effet dus à un non-ajustement des moyens de protection vis-à-vis des modifications apportées au stockage.

Citons par exemple :

- un niveau de stockage supplémentaire est ajouté rendant ainsi les éventuels moyens d'extinction en toiture moins performants,
- un fabricant de vêtements passe du coton au synthétique, plus pénalisant en terme d'incendie,
- des matériaux d'emballage en papier sont remplacés par des matériaux en plastiques.

Depuis ces dernières années, les entrepôts ont également évolué dans leur activité. L'activité de stockage n'est plus la seule activité mais des activités telles que celles de préparation, de reconditionnement et de distributions se sont également au sein des entrepôts. Ces nouvelles activités sont source de dangers supplémentaires. Il convient donc de bien séparer les zones liées à ces nouvelles activités par des murs coupe-feu par exemple des zones de stockage proprement dites.

## 6. MESURES DE PREVENTION ET DE PROTECTION

Le but de ce chapitre n'est pas de donner une liste exhaustive des mesures à prendre dans un entrepôt en terme de prévention et de protection.

Les paragraphes à venir décrivent brièvement quelques principes qui permettent d'améliorer la sécurité dans un entrepôt.

### 6.1 Mesures préventives

#### 6.1.1 Conformité

Tout entrepôt doit répondre aux textes réglementaires régissant l'activité de ces installations.

Au nombre de ceux-ci , on peut citer l'Arrêté type n° 1510 (anciennement 183 ter), la circulaire du 04 février 87 ou le code du travail qui définissent les conditions générales d'exploitation d'un entrepôt.

Il faut ensuite veiller à prendre en compte les règles émises par les autorités en ce qui concerne le dépôt et le stockage de produits particuliers. Ainsi, il existe un certain nombre d'arrêtés pour les produits présentant un risque potentiel important, comme les liquides inflammables ou les gaz liquéfiés, par exemple.

De plus, il est évident que toute installation n'ayant pas un rapport direct avec l'activité de stockage en elle-même comme les installations électriques par exemple, doit répondre aux normes en vigueur.

#### 6.1.2 Malveillance

Les études statistiques révèlent que l'incendie volontaire constitue la principale cause des incendies d'entrepôts.

Les mesures de prévention les plus directes consistent à interdire le libre accès aux locaux notamment en dehors des heures de travail :

- clôturer le site sur toute sa périphérie,
- veiller à ce que la sécurité périmétrique, les murs, les barrières et les portes soient en bon état et entretenus régulièrement,
- renforcer la sécurité aux points d'accès du bâtiment (portes, fenêtres, vasistas),
- prévoir un bon éclairage des abords du bâtiment pour faciliter le repérage des intrus,
- surveiller de manière continue le site, par télésurveillance par exemple,
- munir le site d'un poste de gardiennage, de jour et éventuellement de nuit,
- disposer d'alarmes d'intrusion dans les locaux sensibles (locaux de sprinklage par exemple),
- limiter les accès au local de contrôle et aux vannes de sprinklage

Toutefois, il convient d'avoir à l'esprit que certaines mesures préventives telles que les trois premières décrites ci-dessus peuvent constituer, en contrepartie, une gêne en cas d'intervention des sapeurs pompiers hors des heures ouvrées.

Encore une fois, ces mesures ne sont pas exhaustives. Chaque industriel est libre de déterminer sa propre politique de surveillance contre la malveillance.

### 6.1.3 Quais et baies de chargement

Les quais et baies de chargement sont des endroits à haut risque tant pour l'incendie accidentel que pour l'incendie volontaire.

Afin de minimiser ce risque les mesures préventives suivantes peuvent être prises :

- utiliser les quais non comme lieu de stockage intermédiaire mais exclusivement à leur fin première. En fin de journée, aucune marchandise ni paquets doivent être laissés. En l'absence de division physique, séparer le quai de chargement de l'aire de stockage par un marquage au sol bien visible,
- n'ouvrir que les baies qui doivent être utilisées immédiatement, les fermer dès que les opérations sont terminées,
- informer les chauffeurs-livreurs de l'interdiction de fumer,
- éviter d'aménager des fenêtres donnant sur les baies de chargement,
- étendre les mesures de protection contre l'incendie concernant l'entrepôt aux quais et baies de chargement.

### 6.1.4 Propreté et ordre dans l'entrepôt

Le degré d'ordre et de propreté dans un entrepôt ne peut pas être pris en compte directement dans les modélisations; il n'en reste pas moins un facteur important de la sécurité.

En effet, il est souhaitable d'éviter toute accumulation de palettes ou de produits en dehors des zones de stockage qui pourrait entraver les allées, les chemins d'évacuation et dont l'extinction pourrait devenir problématique. Limiter cette implantation désordonnée de matières combustibles permet de plus de réduire les sources éventuelles d'inflammation et la propagation du sinistre à travers l'ensemble du stockage.

### 6.1.5 Sources d'inflammation

Il est clair que limiter les sources d'inflammation dans un stockage permet de réduire sensiblement le risque d'incendie au sein de cet entrepôt.

Pour mémoire, il peut être souhaitable :

- d'interdire strictement de fumer dans ces zones. Bien évidemment pour qu'une telle disposition soit susceptible d'être appliquée, il serait souhaitable de dédier une zone dédiée aux fumeurs, par exemple dans le local administratif.
- d'interdire l'introduction de liquides inflammables autres que ceux destinés à être stockés dans l'entrepôt (produits d'entretien,...)
- de mettre en place une procédure de permis de feu pour les travaux introduisant une source d'inflammation à proximité du stockage. Cette procédure devra être écrite, claire et connue des personnels,
- de vérifier que les entrepôts présentent toutes les garanties de sécurité nécessaires vis à vis des risques liés à la foudre. C'est ainsi qu'outre une mise à la terre des

installations, il conviendra notamment de vérifier l'équipotentialité des structures métalliques. Par ailleurs, l'industriel devra s'assurer de la conformité de ces installations avec les prescriptions de l'Arrêté Ministériel du 28 janvier 1993 relatif à la protection contre la foudre, ainsi que des circulaires qui s'y réfèrent.

Il est bien entendu nécessaire d'adapter ces mesures au type de produits stockés. Ainsi, pour des produits présentant un risque de sinistre important, des mesures complémentaires doivent être prises.

A titre d'exemple, en ce qui concerne le stockage de générateurs d'aérosols, il est généralement nécessaire de mettre en œuvre des mesures spécifiques, au nombre desquelles on peut retenir, à titre d'exemple:

- munir les fourches de bout arrondi pour éviter le percement des générateurs lors des activités de transport,
- adapter la longueur de ces fourches à la longueur des palettes pour éviter le risque de détérioration d'une palette voisine lors des activités de manutention,
- concevoir les fourches en bronze ou inox afin de limiter les étincelles lorsque ces dernières rencontrent un obstacle,
- équiper les engins de tresses anti-statiques par exemple pour éviter une inflammation déclenchée par l'électricité statique.

Par ailleurs, il est à noter que les stockages de palettes en bois peuvent d'une part être à l'origine d'incendies violents et particulièrement rayonnants et, d'autre part, constituer une cible privilégiée pour les actes de malveillance.

A ce dernier sujet, Factory Mutual propose quelques recommandations ([23]) sur les distances de séparation souhaitable entre des stockages de palettes vides et des murs de stockage incombustibles ainsi qu'entre des stockages de palettes en fonction de la taille de ces stockages. Ces données sont synthétisées dans le tableau suivant :

#### 6.1.6 Contrôle et maintenance des installations

Il paraît souhaitable que l'exploitant établisse des plans de contrôle et de maintenance préventive des équipements mis en œuvre, et plus particulièrement des équipements dévolus à la sécurité.

Ce contrôle approfondi doit être effectué régulièrement, à une fréquence à définir.

#### 6.1.7 Autres

Ces mesures préventives sont loin d'être exhaustives. Le lecteur pourra se référer notamment à [10] pour une description plus détaillée de ces différentes mesures.

#### 6.1.8 Dispositions d'évacuation des personnels

L'évacuation du personnel doit être une priorité en ce qui concerne les mesures de prévention et de protection.

Ainsi, on peut considérer le problème sous les trois aspects suivants :

- la précocité de la détection d'un éventuel incendie et de la transmission de l'alarme aux personnes concernées,
- les mesures de nature à limiter la vitesse de propagation du sinistre dans la cellule concernée,
- les dispositions de nature à faciliter l'évacuation des personnes.

#### *6.1.8.1 Précocité de la détection / Transmission de l'alarme*

L'évacuation du personnel dans de bonnes conditions de sécurité passe évidemment par une détection du danger précoce et la transmission rapide et à tous de cette information.

Ainsi, outre la redondance des moyens de détection évoquée au paragraphe précédent, il est souhaitable que l'alarme puisse être déclenchée grâce à une détection visuelle des opérateurs par l'intermédiaire par exemple de boutons d'alarme disposés de façon pertinente (à proximité des postes de travail par exemple) dans le stockage.

Cette alarme doit alors être relayée par des moyens sonores et/ou visuels de manière à ce que chaque opérateur soit averti du danger dans les plus brefs délais.

#### *6.1.8.2 Limitation de la propagation du sinistre*

On signalera ici que limiter la propagation d'un sinistre permet clairement de faciliter l'évacuation des personnes en évitant de les exposer à des effets trop importants et survenant de manière brutale.

Ce point est à observer plus particulièrement dans le cas de stockages pouvant engendrer des incendies violents et/ou un dégagement de fumées important. Les fumées, outre les effets potentiellement toxiques qu'elles impliquent, gênent l'évacuation en diminuant la visibilité et constituent un facteur de panique significatif.

#### *6.1.8.3 Dispositions de nature à faciliter l'évacuation des personnes*

Les dispositions qui seront évoquées dans ce paragraphe sont bien sûr complémentaires aux dispositions des deux paragraphes précédents.

Il est clair que le maintien de l'ordre dans l'entrepôt est un premier facteur qui favorise indéniablement l'évacuation des personnes.

Il est recommandé que tout opérateur dispose de deux voies de retraite au cas où l'une d'elles se trouverait entravée ou impraticable à cause du sinistre et qu'il se trouve toujours à moins de 50 m d'une issue de secours (réglementation ICPE n°1510 et circulaire du 04/02/87).

De plus, compte tenu de la diminution de la visibilité due aux fumées de combustion, de la nécessité d'opérer une évacuation rapide, il convient généralement :

- de baliser clairement les chemins d'évacuation au sol,
- d'installer, dans les grands entrepôts, des issues de secours à l'extrémité, si possible, de chacun des couloirs formés par les racks (recommandation de l'Association Nationale pour la Protection contre l'Incendie - La protection contre l'incendie des entrepôts - juin 1980, relativement à des entrepôts dont la longueur est supérieure à 70 m) ou tout du moins le plus d'issues de secours possible se rapprochant de cette configuration,
- de protéger l'accès aux issues de secours par des poteaux de sorte à ce que ces accès ne puissent être bloqués,
- d'installer exclusivement des portes anti-panique,
- d'effectuer régulièrement, à une périodicité à définir, des exercices d'évacuation chronométrés,
- d'adapter ces mesures à la dangerosité des zones de stockage.

## 6.2 Mesures de prévention et protection

Le risque est défini comme le produit de la probabilité qu'un accident arrive par la gravité de cet accident.

Les moyens de prévention visent à limiter la probabilité que l'incendie ne survienne alors que les moyens de protection visent à en limiter la gravité. Il existe deux sortes de protection : la protection active et la protection passive.

La première est mise en œuvre par les sprinkleurs, les extincteurs, les Robinets Incendie Armés (R.I.A) c'est-à-dire les premiers outils de lutte incendie. La seconde est assurée par certaines caractéristiques de construction des bâtiments, telles que constructions résistant au feu ou murs et coupe-feu, conçus pour limiter la propagation d'un incendie.

### 6.2.1 Réseau d'alerte et de détection contre l'incendie

La détection est l'étape première de toute action ultérieure d'évacuation ou d'intervention. Elle doit en principe combiner deux aspects. D'une part, le système de détection doit pouvoir donner l'alarme avec le plus de rapidité et d'exactitude possible. D'autre part, le système de détection ne doit pas engendrer de fausses alarmes, c'est-à-dire indiquer un feu alors qu'il n'y en a pas.

Il existe différents types de détections automatiques, par exemple :

- Par détecteurs thermiques (les plus utilisés sont à fonctionnement thermo-vélocimétrique) : ils réagissent pour une certaine valeur du gradient thermique et donc sont des détecteurs de chaleur,
- Par détection ionique (détection des fumées) : ils signalent les variations d'ionisation de l'air dans une cellule d'analyse, lorsque les gaz de combustion et les fumées y pénètrent,
- Par détection optique des flammes : ils font appel aux propriétés des cellules photo-électriques,
- Par détecteurs optiques de fumées : ils signalent les fumées visibles.

Ce système de détection peut également servir à mettre en action une installation fixe d'extinction automatique.

Les mesures de détection automatique ne doivent pas faire oublier que l'homme constitue également un moyen de détection de premier ordre.

Le personnel présent dans l'entrepôt doit pouvoir donner l'alerte en cas d'incendie. La meilleure solution consiste à installer des avertisseurs manuels connectés à un réseau d'alerte. C'est pourquoi l'entrepôt doit être muni de systèmes d'alarmes manuels à proximité des postes de travail par exemple. Ces avertisseurs seront situés par exemple aux postes de travail, dans les couloirs principaux et aux sorties.

Une autre solution consiste à déclencher l'alerte par téléphone. Dans ce cas, les numéros du système d'alerte de l'entreprise et des pompiers doivent être clairement indiqués sur les appareils téléphoniques.

L'alarme doit être relayée par un système sonore et éventuellement visuel à tous les membres du personnel du site. Les actions à entreprendre alors (par exemple, savoir si une action

d'extinction peut être envisagée) doivent être discutées au préalable avec les services de secours au sein d'un Plan d'Opération Interne (POI).

A noter qu'en général, les pompiers refusent souvent de gérer un transfert d'alarme automatique au poste de secours pour éviter tout déplacement inutile. Il faut également signaler que, même pour une intervention plus sérieuse, une première équipe de reconnaissance se déplacera pour évaluer par elle-même la gravité du sinistre.

L'exploitant doit s'assurer de la disponibilité et de la fiabilité des équipements de détection :

- il est bon qu'un entrepôt soit muni de différents moyens de détection basés sur des phénomènes physiques distincts comme, par exemple, la détection de fumées et la détection de chaleur,
- il faut entretenir régulièrement les systèmes afin de préserver leur fiabilité ;
- il faut placer les avertisseurs manuels, les détecteurs, les appareils d'alerte sonore de telle sorte qu'ils ne puissent être endommagés mécaniquement et si nécessaire il faut les protéger.

## 6.2.2 Mesures de protection active

Les mesures de protection active peuvent être de deux types : manuelle ou manuelle.

### 6.2.2.1 Mesures manuelles

Outre les mesures automatiques, les moyens manuels tels que les extincteurs, les Robinets d'Incendie Armés (R.I.A), ou poteaux d'incendie participent activement à la protection de l'entrepôt.

Il faut s'assurer qu'ils soient bien visibles, signalés, facilement accessibles. Il est également nécessaire de les entretenir régulièrement.

- Les extincteurs

Les extincteurs constituent, à l'inverse des RIA, une source d'extinction limitée. Leur utilisation doit être réservée à des feux localisés et modestes. Ils devront être clairement signalés et placés dans des endroits facilement accessibles. Dans le cas d'un petit entrepôt à faible activité humaine, il faut placer les extincteurs près des entrées. Dans le cas de grand entrepôt, ils seront placés à intervalles réguliers (tous les 30 à 35 mètres).

- les Robinets d'Incendie Armés (R.I.A)

Les R.I.A sont des installations de premier secours, destinées à être mise en œuvre dès l'alerte incendie.

Les R.I.A ont une action d'extinction. Leur action étant manuelle et non automatique, il est nécessaire d'avoir un personnel formé à leur utilisation.

Sachant que la portée d'un RIA est d'environ une trentaine de mètres, il faut veiller à implanter les RIA de façon à ce qu'un foyer, en tout point de l'entrepôt, puisse être attaqué et ceci dans deux directions différentes.

Les R.I.A ont un champ d'action plus élevé que les extincteurs.



- Les poteaux incendie

Ces installations sont généralement placés à l'extérieur des bâtiments et sont en principe laissés à la disposition des pompiers ou des équipes de deuxième intervention.

#### 6.2.2.2 Mesures automatiques

- Par réseau sprinkleur

La protection automatique contre l'incendie est assurée généralement par un réseau sprinkleur.

Un réseau sprinkleur est un ensemble de canalisations parcourant le stockage, munies de nombreuses têtes (ou vannes) chargées de libérer d'importantes quantités d'eau à l'endroit où se déclare un incendie. Chaque tête est en effet munie d'un fusible qui éclate à une température donnée.

Ainsi, lorsqu'un incendie débute dans un entrepôt, la chaleur dégagée atteint la ou les têtes de sprinkleurs ; ces dernières s'ouvrent et déversent ainsi rapidement de l'eau à l'endroit où le feu a été détecté. Seules les têtes proches du foyer d'incendie, s'ouvrent, ce qui réduit les dégâts causés par le feu et l'eau.

Il existe plusieurs types de sprinkleurs :

- les sprinkleurs " classiques " (diamètre d'ouverture de 15 ou 20 mm)
- les sprinkleurs à grosses gouttes, prévus pour déverser des quantités d'eau plus importantes que les installations classiques,
- les sprinkleurs ESFR (Early Suppression Fast Response). Contrairement aux autres sprinkleurs destinés à cantonner l'incendie, les ESFR sont prévus pour éteindre le feu en déversant le plus tôt possible de grandes quantités d'eau.

Le réseau sprinkleur est le moyen le plus efficace de lutter contre un départ d'incendie.

L'APSAD a fourni au mois de Juillet 1997 une analyse des fonctionnements d'installations de sprinkleurs dans 13 pays membres du Comité Européen des Assurances (CEA), dont la France, durant les années 1985 à 1994 ([17]).

Durant cette période, 1164 fonctionnements sur incendies ont été déclarés.

L'APSAD constate que :

- depuis 1987, le nombre de sprinkleurs ouverts par rapport au nombre d'incendies est à peu près identique chaque année,
- dans 75 % des cas, 5 têtes de sprinkleurs ou moins ont suffi pour maîtriser l'incendie
- dans 96 % des cas, 30 têtes de sprinkleurs ou moins se sont ouvertes pour juguler le sinistre.

L'APSAD rappelle qu'une installation est conçue pour assurer une densité d'eau minimum pour un nombre défini de sprinkleurs répartis uniformément sur la totalité d'une surface appelée " surface impliquée ". En fonction de la catégorie du risque, cette surface varie entre 150 et 300 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à un nombre de sprinkleurs en fonctionnement variant d'une dizaine à une trentaine. Par convention, on considère qu'une installation a fonctionné de

façon satisfaisante lorsque moins de 30 têtes se sont ouvertes, ce nombre correspondant à la surface impliquée moyenne.

Il demeure donc toujours un pourcentage d'échecs du système de l'ordre de 4 % dont les causes sont les suivantes :

- 50 % des cas sont imputables principalement à des erreurs humaines ou des actes de malveillance (fermeture de vannes,...),
- 25 % des cas sont imputables à une défaillance des sources d'eau (réserve vide, pompes hors d'usage,...)
- 25 % des cas sont imputables à un mauvais dimensionnement de l'installation (hauteur de stockage excessive, changement d'organisation du stockage, aggravation de la dangerosité des produits stockés).

Parallèlement, Factory Mutual souligne que les pertes financières ont été 6 fois plus important dans les locaux non sprinklés que dans les locaux sprinklés ([18]).

Néanmoins, il faut retenir quelques grands principes :

- à l'exception des sprinkleurs de type ESFR, un réseau de sprinkleurs n'est pas dimensionné pour éteindre un incendie mais simplement pour le circonscire à une zone restreinte, en attendant l'intervention des secours pour une extinction définitive,
- les installations sprinkleurs doivent pouvoir agir de façon ciblée sur le foyer de l'incendie. Si l'eau n'atteint pas le foyer, tout le réseau est inefficace. Ainsi, pour les stockages de grande hauteur, il est nécessaire d'installer des têtes de sprinkleurs entre les racks pour pouvoir atteindre le feu dans n'importe quelle partie du stockage,
- les installations sprinkleurs ne sont pas dimensionnées pour maîtriser un embrasement généralisé.

Le plus souvent, les sprinkleurs sont installés en toiture. Cependant, les nouveaux types de casiers ont rendu possible des stockages toujours plus haut. Dans ce cas, il est nécessaire d'installer des sprinkleurs à l'intérieur des casiers.

A titre d'exemple, Factory Mutual recommande l'installation de sprinkleurs dans les casiers pour des produits très dangereux stockés sur plus de 4,5 m de hauteur ([18]).

Les sprinkleurs en casiers sont conçus pour se déclencher à une température inférieure à celle des sprinkleurs en toiture pour pouvoir agir dès le départ de l'incendie.

Généralement, le réseau sprinkleur est mis sous eau pour une action immédiate dès l'ouverture d'une tête. Cependant, lorsque les canalisations sont susceptibles d'être soumises au gel, il peut être nécessaire de mettre le réseau sous air. Ceci implique le désavantage d'un temps de réponse plus long et d'un entretien plus coûteux.

A noter que pour les produits dangereux comme les générateurs d'aérosols ou les liquides inflammables par exemple, il peut être envisagé de doper l'eau de sprinklage avec un émulseur de type AFFF (Agent Formant un Film Flottant) dont l'action permet de circonscire plus efficacement l'incendie.

- Par déluge

Une installation " déluge " est une installation dont le réseau de protection est équipé de sprinkleurs ouverts.

L'invasion des canalisations du réseau de protection par l'eau est commandée soit manuellement, soit par une installation pilote de détection.

Les installations de ce type sont destinées à la protection de risques spéciaux, quand des incendies à développement rapides et intenses sont à craindre.

- Par rideaux d'eau

Un rideau d'eau est une installation de tuyauteries équipées de sprinklers ouverts, conçus pour projeter, automatiquement ou par commande manuelle, de l'eau sur un support à protéger contre l'exposition à un incendie.

- Par agent gazeux

Le principe consiste, par apport d'agent gazeux, à diminuer la teneur en oxygène et ainsi à éteindre l'incendie.

Les installations d'extinction automatique à gaz sont destinées à éteindre un début d'incendie au plus tard dans la minute qui suit le déclenchement.

Le gaz le plus utilisé est le dioxyde de carbone. De par son atteinte à la couche d'ozone, le halon est interdit de fabrication en France et son utilisation tend à disparaître. De nouveaux produits tels que l'Inergen, l'argonite ou le FM200 sont également utilisés.

Il faut signaler que cette technique impose l'injection du gaz dans le local entier qui doit bien sûr être étanche.

- Par mousse

Elle est réalisée par projection de mousse sur un foyer. Cela permet de former un manteau mousseux qui isole le combustible de l'air nécessaire à la combustion et favorise donc ainsi l'extinction.

L'extinction par mousse est peu utilisée dans le cadre des entrepôts. Elle est généralement destinée aux réservoirs d'hydrocarbures.

### 6.2.3 Protection passive

A l'inverse de la protection active, la protection passive ne permet pas d'agir directement sur un incendie. Il s'agit principalement de mesures constructives visant à réduire la propagation d'un éventuel incendie à tout l'entrepôt.

#### 6.2.3.1 Murs coupe-feu

Les murs coupe-feu sont généralement des murs en béton armé munis de fondations plus épaisses que la normale.

Un mur est dit coupe-feu s'il est capable, pendant un temps conséquent (degré coupe-feu deux ou quatre heures) par exemple :

- d'empêcher le passage des flammes,
- de stopper la propagation des fumées de combustion,
- d'enrayer la propagation de la chaleur par rayonnement.

Un mur coupe-feu doit être indépendant de la structure porteuse et éventuellement des racks. En résumé, ils doivent être auto-stables. Cette disposition permet de limiter toute détérioration du mur par l'effondrement de la structure ou des racks. Au cas où toutefois cette disposition serait impossible à mettre en œuvre, il est nécessaire de prévoir des systèmes permettant de désolidariser les murs coupe-feu de la structure ou des racks en cas d'incendie (attaches fusibles à la chaleur par exemple).

De plus, un mur coupe-feu doit obligatoirement dépasser de la toiture afin de pouvoir agir plus efficacement.

En conclusion, les murs coupe-feu permettent de créer des cellules de stockage de taille raisonnable et peuvent éviter de trop grandes surfaces de stockage. Cela permet de limiter la propagation du sinistre à tout l'entrepôt et crée un effet d'écran diminuant l'exposition des structures et des personnes au rayonnement des flammes.

Une disposition supplémentaire peut consister à prévoir des racks auto-stables le long des murs de l'entrepôt.

En cas d'ouverture dans les cloisons, les portes percées doivent présenter les mêmes qualité de résistance au feu que les cloisons et doivent pouvoir se fermer automatiquement, c'est-à-dire équipées d'un fusible ou d'un mécanisme activé par le système automatique de détection du feu afin de se fermer automatiquement en cas d'incendie. Il faut veiller à ce que l'embrasure de ces portes ne soit jamais obstruée.

De même, il est important de protéger tout autre type d'ouverture (par exemple ouverture pour passage de câbles) par du garnissage coupe-feu.

### 6.2.3.2 Exutoires de fumées et de chaleur

Les exutoires de la chaleur et des fumées sont des dispositifs permettant l'extraction des gaz chauds et des fumées d'un local en feu.

En cas d'incendie, les exutoires de fumées et de chaleur permettent :

- de protéger les accès et issues de secours contre l'envahissement par la fumée et de faciliter l'évacuation des occupants,
- l'intervention rapide et efficace des moyens de secours ;
- de limiter les risques d'explosions dus aux gaz de combustion,
- de diminuer les effets de chaleur sur les structures et sur les produits contenus dans les bâtiments.

La présence de ces ouvertures (généralement en toiture) et la présence de cantons étanches à la fumée permettent dans certaines conditions de limiter l'épaisseur de la couche de fumées et de gaz chauds à l'intérieur du bâtiment. De plus, ils permettent d'améliorer la visibilité en évacuant les fumées dans le cadre d'une intervention à l'intérieur de l'entrepôt. Ce rôle est particulièrement important dans la phase finale d'extinction, lorsque le feu est maîtrisé et qu'une intervention rapprochée est nécessaire.

Une installation d'exutoire ne sera efficace que si les exutoires et les entrées d'air sont déclenchées à temps et à bon escient en cas d'incendie et bien évidemment s'ils sont suffisamment dimensionnés.

Les exutoires peuvent être actionnés soit automatiquement soit manuellement.

Les commandes d'ouverture manuelle doivent être placées à l'extérieur en des endroits accessibles quel que soit l'incendie.

Il est indispensable d'adjoindre la possibilité d'ouverture manuelle à l'ouverture automatique.

Les exutoires de chaleur et de fumées ont été initialement conçus pour des installations ne disposant pas de réseaux de sprinklage. Dans ce cas, leur efficacité n'est pas à démontrer. Lors d'un incendie, les fumées chaudes montent jusqu'à qu'elles soient bloquées au plafond. Les exutoires permettent de les évacuer avec tous les avantages évoqués ci-dessus.

Par contre, en présence de sprinklage leur efficacité est remise en question. Factory Mutual ([19]) recommande en particulier de proscrire une activation automatique des exutoires. L'ouverture des exutoires doit se faire manuellement. Celle-ci doit avoir lieu après que le feu ait été contrôlé ou éteint. En effet, le passage de l'air chaud et des fumées à travers les événements entraîne une pénétration de l'air par d'autres issues qui vient ainsi alimenter le feu et augmenter la cinétique de combustion. Ceci entraîne une demande en eau de sprinklage supplémentaire. De plus cette eau en absorbant une partie de la chaleur dégagée diminue sensiblement la température des fumées et donc le débit sortant.

### 6.2.3.3 Ecrans de cantonnement

Les écrans de cantonnement sont des retombées sous la toiture qui permettent de piéger les fumées de combustion, ce qui a pour effet de limiter la propagation des fumées et de l'incendie, mais peut, en contrepartie, augmenter la charge des sprinkleurs dans la zone considérée.

Remarque :

Il apparaît donc que les dimensionnements du réseau de sprinklage, des exutoires et des écrans de cantonnement sont intimement liés. Il n'existe a priori aucune règle particulière quant à leurs implantations respectives. Il est simplement possible d'affirmer que les exutoires doivent se déclencher à une température supérieure à celle à laquelle se déclenchent les sprinkleurs, la tâche d'extinction du foyer étant primordiale.

A noter que des modélisations sont en cours pour définir une bonne coordination de ces trois moyens de protection ([21]).

## 6.3 Dispositions d'extinction et d'intervention

### 6.3.1 Intervention de secours

L'exploitant doit définir en collaboration avec les services de secours les mesures d'intervention lors d'un incident. Toutes les procédures devront être élaborées dans le cadre d'un Plan d'Opération Interne (POI) qui devra être clairement connu de tous.

### 6.3.2 Réseau de sprinkleurs

Le réseau de sprinkleur est le premier moyen de lutte contre l'incendie. Son dimensionnement doit être soumis à l'approbation d'organismes spécialisés comme l'APSAD (Assemblée Plénière des Assurances Dommages).

Afin de limiter les risques de défaillance de ce système, il peut être souhaitable :

- de surveiller l'ouverture des vannes à l'aide de capteurs,
- d'entretenir fréquemment le matériel,
- d'adapter le niveau de protection au niveau de danger, dans l'optique d'une évolution de l'entrepôt en terme de configuration ou de nature des produits stockés.

### 6.3.3 Rétention des eaux d'extinction

Afin d'éviter une pollution par les eaux d'extinction déversées pendant la durée de l'incendie et potentiellement chargées en produits polluants, il est indispensable de recueillir ces eaux dans des bassins de rétention sur le site.

Le volume de ces bassins est fonction bien évidemment de la durée potentielle d'un incendie et de la nature des produits stockés.

Ces bassins doivent être suffisamment dimensionner afin d'éviter tout débordement et ainsi une pollution des cours d'eaux voisins, du sol et des nappes souterraines dont les conséquences pourraient être dramatiques.

Il n'existe pas de règles bien définies quant au dimensionnement des bassins de rétention. L'arrête du 2 février 1998 précise que ce volume doit être déterminé au vu de l'étude de danger. En l'absence d'éléments justificatifs, un volume de 5 m<sup>3</sup> par tonne est demandé. Dans les faits, vu la quantité de produits stockés, il est difficile de mettre en œuvre cette préconisation.

Une approche empirique peut consister à calculer le volume d'eau utilisée pour une intervention de deux heures en considérant les différents moyens d'extinction présents sur le site (sprinklage, , R.I.A, poteaux à incendie ...) et recommander un volume de rétention au moins égal à ce volume en eau.

## 6.4 Locaux annexes

A proximité des entrepôts, on trouve généralement des locaux annexes sur le même site. Il peut s'agir de bureaux, de locaux techniques ou encore de locaux administratifs.

### 6.4.1 Locaux administratifs et bureaux

Ces locaux ne constituent pas a priori un danger potentiel pour le reste de l'entrepôt mais jouent au contraire le rôle de cible.

Il est préférable de les isoler (par la distance ou des murs coupe-feu) des zones de stockage. Ces locaux doivent être protégés au moins par des extincteurs et, si besoin est, par un réseau de sprinkleurs.

### 6.4.2 Chaufferie

La chaufferie peut constituer un élément sensible du site. En effet, les chaudières à gaz présentent un risque d'explosion significatif. Il est donc important d'étudier, en terme d'effets dominos, les conséquences d'un incendie sur la chaudière et inversement, les conséquences d'une explosion de la chaudière sur le reste de l'entrepôt.

### 6.4.3 Local de charge des batteries

La plupart des engins utilisés dans un entrepôt fonctionnent grâce à une batterie qui doit être rechargée périodiquement. Lors de cette recharge, des vapeurs d'hydrogène sont susceptibles d'être libérées et d'engendrer une atmosphère explosive. En terme d'effet domino, il faut donc veiller à prendre toutes les dispositions de protection et de prévention concernant ce local. Ce type de local est soumis à une réglementation spécifique.

### 6.4.4 Station service, cuve de fuel

Certaines installations sont munies de cuves de fuel comme réserve d'énergie ou de station service à l'usage des camions apportant et enlevant les marchandises stockées.

Il y a donc lieu de considérer l'incendie de ces deux sources de combustibles et d'évaluer leur conséquences sur le reste de l'entrepôt ou à l'inverse, d'étudier dans quelle mesure ces installations pourraient être soumises à un risque d'incendie.



## REFERENCES

- [1] Face au Risque n°349, Janvier 1999  
"Intervention des sapeurs pompiers"
- [2] Face au Risque n°345, Septembre 1998  
"BARPI: Interventions particulièrement difficiles"
- [3] Fire Prevention n°315, Décembre 1998
- [4] Fire Prevention n°318, March 99
- [5] NFPA Journal, Novembre/Décembre 1997
- [6] NFPA Journal, sept/october 98
- [7] "Flame Height", Bernard McCAFFREY, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, Section 1 Chapitre 8
- [8] "Burning Rates", Vytenis BABRAUSKAS, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, Section 2 Chapitre 1
- [9] "Eléments de caractérisation des risques incendie liés à l'activité de stockage des générateurs d'aérosol", J. CHAINEAUX, Ministère de l'Environnement - Service de l'Environnement Industriel, Décembre 1996
- [10] "La protection contre l'incendie des entrepôts", H. RAES, ANPI, Chapitre 2.3
- [11] " Le Stockage de Palettes vides ", Factory Mutual Engineering (1989)
- [12] "Entrepôts à palettisation", Feuille SPI UF6, Service de Prévention d'Incendie, édition 1982.
- [13] " Sécurité incendie ", Jean-Michel d'HOOP, Techniques de l'ingénieur.
- [14] " Produits de dégradation thermique des matières plastiques ", Cahiers de notes documentaires, Hygiène et sécurité du travail, n°174, 1999, INRS
- [15] " Nomenclature, classification et formules chimiques des polymères ", Cécile-Anne NAUDIN, Techniques de l'ingénieur, A3035-1
- [16] "La sécurité incendie dans les entrepôts frigorifiques", Institut International du Froid, 1987.
- [17] " Fonctionnement d'installations de sprinkleurs-Statistiques ", APSAD, Juillet 1997
- [18] " Les entrepôts aujourd'hui : gérer le changement ", Société d'ingénierie Factory Mutual, 1991

- [19] “ Smoke and Heat venting in Sprinklered Buildings ”, The Power of Prevention 1-10, The Factory Mutual resource collection cd-rom
- [20] “Toitures d’entrepôts industriels classés-Etude typologique”, CETE de l’Ouest, juillet 1999
- [21] "Sprinkler, Smoke and Heat Vent, Draft Curtain Interaction- Large Scale Experiments and Model Development", K. B. McGrattan, A. Hamins, D. Stroup, NISTIR 6196-1
- [22] "Commodity classification", Property Loss Prevention Data Sheets n°8-24, The Factory Mutual resource collection cd-rom
- [23] Property Loss Prevention Data Sheets n°8-24, The Factory Mutual resource collection cd-rom
- [24] "10 ans de retours d'expérience", R. Dosne, Face au Risque n°300, Février 1994.

**ANNEXE A**

**PRODUITS DE DECOMPOSITION THERMIQUES DES  
PLASTIQUES ([14])**

**TABLEAU V**  
**PRODUITS DE DÉGRADATION THERMIQUE DES COMPOSÉS THERMOPLASTIQUES**  
 Resulting products of thermal degradation of thermoplastics

Matières plastiques	Aux températures de mise en œuvre	En cas de pyrolyse ou de combustion
Polyéthylène	(150 à 300°C) À partir de 200°C : - Hydrocarbures aliphatiques saturés et insaturés légers (méthane, éthylène, butènes...) - Cétones (acétone, méthyléthylcétone...) - Aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine ...) - Acides gras volatils	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aliphatiques (méthane, hydrocarbures insaturés légers) et aromatiques
Polypropylène	(150 à 300°C) À partir de 200-250°C : - Hydrocarbures aliphatiques, principalement insaturés (éthylène, butènes...) - Aldéhydes (formaldéhyde, crotonaldéhyde,...) - Cétones (méthylcétone...) - Acides gras volatils	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aliphatiques (méthane, hydrocarbures insaturés légers) et aromatiques
Polychlorure de vinyle	(80-220°C) À partir de 175-200°C : - Chlorure d'hydrogène - Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (benzène et éventuellement : - Chlorure de vinyle résiduel - Aldéhydes (formaldéhyde, acroléine...) et/ou anhydride phtalique issus de la décomposition de certains plastifiants (phtalates...)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Chlorure d'hydrogène - Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (benzène...)
Polyalcool vinylique	(80-180°C) Éventuellement à partir de 170°C : - Éthers, en faibles quantités	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Acide acétique, lorsque le polymère final contient des groupements acétyle provenant des produits de départ - Hydrocarbures insaturés - Aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine ...)
Polyacétate de vinyle	À partir de 200°C : - Acide acétique et éventuellement : - Aldéhydes (acétaldéhyde, crotonaldéhyde) - Cétones (méthyléthylcétone) - Acétates de vinyle et d'éthyle	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures saturés et insaturés - Acide acétique
Polychlorure de vinylidène	(60-190°C) À partir de 185°C : - Chlorure d'hydrogène et éventuellement - Aldéhydes si présence de plastifiants	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Chlorure d'hydrogène - Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (benzène...)
Polystyrène	(160-320°C) À partir de 250°C : - Styrene et ses oligomères - Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (benzène, éthylbenzène, cumène) - Aldéhydes (benzaldéhyde ..)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (benzène, toluène, éthylbenzène, styrène)
Copolymères styréniques (SAN, ABS, MBS, SBS, SIS)	(170-260°C) À partir de 200°C : - Monomères (styrène, acrylonitrile, méthacrylate de méthyle) - Hydrocarbures aromatiques - Nitriles - Aldéhydes (acroléine)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aliphatiques - Monomères (styrène, acrylonitrile, méthacrylate de méthyle) et éventuellement - nitriles, ammoniac, cyanure d'hydrogène pour l'ABS et le SAN
Polyméthacrylate de méthyle	(100-240°C) À partir de 180°C : - Méthacrylate de méthyle	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Méthacrylate de méthyle - Hydrocarbures aliphatiques - Aldéhydes
Polyacrylonitrile	(Jusqu'à 250°C) À partir de 200°C : - Aldéhydes (acroléine) - Nitriles (acrylonitrile) - Hydrocarbures aliphatiques - Acrylates	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Cyanure d'hydrogène - Acrylonitrile - Ammoniac - Oxydes d'azote - Hydrocarbures aliphatiques

**TABLEAU VI**  
**PRODUITS DE DÉGRADATION THERMIQUE DES COMPOSÉS THERMOPLASTIQUES (SUITE)**  
 Resulting products of thermal degradation of thermoplastics

Matières plastiques	Aux températures de mise en œuvre	En cas de pyrolyse ou de combustion
Polyamides	(200 à 400°C) Jusqu'à 290-300°C : - Hydrocarbures aliphatiques - Aldéhydes (acétaldéhyde, acroléine, crotonaldéhyde, ...) - Nitriles (acrylonitrile, acétonitrile ...) - Cétones (acétone ...) en plus, vers 400°C : - Ammoniac	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Ammoniac - Cyanure d'hydrogène - Nitriles (acétonitrile, acrylonitrile, ...) - Aldéhydes
Polycarbonates	(220-330°C) À partir de 250°C : - Hydrocarbures aliphatiques insaturés et aromatiques (benzène, toluène ...) - Aldéhydes	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures (méthane, ...) - Bisphénol A
Acétate de cellulose	(130-250°C) À partir de 175°C : - Aldéhydes (formaldéhyde, acroléine, butyraldéhyde) et éventuellement : - Anhydride phtalique avec certains plastifiants (phtalates...)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Acide acétique - Acétaldéhyde - Acétone
Nitrate de cellulose	À partir de 40°C : - Oxydes d'azote - Hydrocarbures - Nitriles - Ammoniac - Cyanure d'hydrogène	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Oxydes d'azote - Hydrocarbures - Nitriles - Ammoniac - Cyanure d'hydrogène
Polyéthylène téréphtalate Polybutylène téréphtalate	(90-300°C) À partir de 270°C : - Aldéhydes (acétaldéhyde, acroléine ...) - Hydrocarbures aliphatiques (éthylène ...)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures - Aldéhydes - Bromure d'hydrogène, si présence de produits ignifugés bromés
Polytétrafluoroéthylène	(jusqu'à 440°C) À partir de 350°C : - Hydrocarbures fluorés, saturés et insaturés (tétrafluoroéthylène, hexafluoroéthane, hexafluoropropylène, octafluoroisobutylène, ...) - Hydrocarbures fluorés cycliques (octafluorocyclobutane, ...)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Fluorure d'hydrogène - Fluorure de carbonyle - Hydrocarbures fluorés, saturés et insaturés (tétrafluoroéthylène, hexafluoroéthane, hexafluoropropylène, octafluoroisobutylène) - Hydrocarbures fluorés cycliques (octafluorocyclobutane, ...)
Polychlorotrifluoroéthylène	(Jusqu'à 350°C) À partir de 280°C : - Composés chlorés et fluorés (chlorotrifluoroéthylène)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Fluorure de carbonyle - Composés chlorés et fluorés - Fluorure d'hydrogène - Chlorure d'hydrogène
Polyfluorure de vinylidène	(Jusqu'à 350°C) À partir de 300°C : - Fluorure d'hydrogène - Composés fluorés	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Fluorure d'hydrogène - Composés fluorés
Polyoxyméthylène	(170-230°C) À partir de 190°C : - Formaldéhyde - Méthylal - 1,3-Dioxolanne - Trioxanne	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures - Aldéhydes (formaldéhyde, méthylal, ...)
Polysulfones		- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Méthane - Dioxyde de soufre
Polysulfure de phénylène		- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Dioxyde de soufre - Sulfure d'hydrogène

**TABLEAU VI**  
**PRODUITS DE DÉGRADATION THERMIQUE DES COMPOSÉS OU PLASTIQUES THERMODURCISSABLES**  
 Resulting products of thermal degradation of thermorigid plastics

Matières plastiques	Aux températures de mise en œuvre	En cas de pyrolyse ou de combustion
Polyesters insaturés	- Styrène - Méthacrylate de méthyle et éventuellement: - Amines tertiaires (accélérateurs)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures - Ammoniac - Chlorure et bromure d'hydrogène, si présence de produits ignifugés halogénés
Résines de phénol-formaldéhyde	(jusqu'à 300°C) - Phénol - Formaldéhyde et éventuellement: - Ammoniac, si présence d'hexaméthylènetétramine	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aliphatiques (méthane) et aromatiques - Phénol
Résines d'urée-formaldéhyde	(jusqu'à 200°C) - Formaldéhyde - Ammoniac	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Ammoniac - Nitriles Cyanure d'hydrogène - Oxydes d'azote - Hydrocarbures aliphatiques légers (méthane, ...)
Résines de mélamine-formaldéhyde	(jusqu'à 180°C) - Formaldéhyde	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Cyanure d'hydrogène - Ammoniac - Hydrocarbures aliphatiques - Oxydes d'azote
Résines oléoglycérophtaliques		- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aromatiques - Aldéhydes (acroléine, ...)
Polyépoxydes	Lors du durcissement à chaud (température pouvant atteindre 240 °C) - Éthers glycidiques - Amines (triéthylènetétramine, ...)	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aliphatiques (méthane, éthylène, ...) - Hydrocarbures aromatiques légers (toluène, ...) - Aldéhydes (formaldéhyde, ...) - Acide formique
Polyimides		- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Cyanure d'hydrogène - Ammoniac - Hydrocarbures aromatiques - Oxydes d'azote
Polyuréthanes	(jusqu'à 250°C) - Isocyanates (monomères, prépolymères) - Amines - Cétones - Aldéhydes - Hydrocarbures légers	- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Oxydes d'azote - Ammoniac - Nitriles (acétonitrile, benzonitrile, acrylonitrile) - Cyanure d'hydrogène - Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques - Diisocyanates, leurs dimères et polymères - Chlorure d'hydrogène, bromure d'hydrogène ou produits phosphorés, si présence de produits ignifugés halogénés ou phosphorés
Polyorganosiloxanes		- Monoxyde de carbone - Dioxyde de carbone - Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques - Poussières de silice