

# CEVA Santé animale

ZI Rue de Très le Bois  
22 600 LOUDEAC



## PROJET D'EXTENSION DE L'ENTREPOT DE STOCKAGE DES CONSOMMABLES

### EVALUATION DES FLUX THERMIQUES



**SIEGE SOCIAL**  
51, av. de l'Architecte Cordonnier  
BP 247  
**59019 LILLE CEDEX**  
Tél : 03.20.42.76.42  
Fax : 03.20.40.20.26

**IMPLANTATION REGIONALE**  
Agence de RENNES  
Av. de la Croix Verte  
**35653 LE RHEU CEDEX**  
Tél : 02.99.14.85.31  
Fax : 02.99.14.97.79

**SIEGE SOCIAL**  
10, avenue Ballastière  
**33 500 LIBOURNE**  
Tél : 05.57.55.40.40  
Fax : 05.57.55.41.98

**IMPLANTATION REGIONALE**  
ZI de Très le Bois  
**22 600 LOUDEAC**  
Tél : 02.96 66 85 40  
Fax : 02 96 66 85 45

Apave Nord-Ouest / Réf doc : 14472750 - Déclaration ICPE

Version	Etabli par	Date	Objet de la révision
	Corinne REVOLTE Ing.Ch.Aff. Env.		
1		23/01/2015	Première diffusion

# SOMMAIRE

<b>PREAMBULE.....</b>	<b>1</b>
<b>1 - GENERALITES SUR L'INCENDIE.....</b>	<b>1</b>
1.1 - FEU ET COMBUSTION.....	1
1.2 - INFLAMMATION.....	2
1.3 - EFFETS D'UN INCENDIE.....	2
1.3.1 - EFFETS THERMIQUES.....	2
1.3.2 - EMANATION DES FUMEEES.....	5
1.3.3 - EAUX D'EXTINCTION.....	5
<b>2 - EVALUATION DES FLUX THERMIQUES.....</b>	<b>6</b>
2.1 - METHODE D'EVALUATION DU RAYONNEMENT THERMIQUE D'UN FEU DE CUVETTE.....	6
2.2 - HYPOTHESE ET APPROXIMATIONS SUR LE PHENOMENE.....	7
2.2.1 - DETERMINATION DE LA RADIANCE DES FLAMMES ( $\phi_0$ ).....	7
2.2.2 - DEBIT MASSE SURFACIQUE DE COMBUSTION.....	7
2.2.3 - DIAMETRE EQUIVALENT.....	8
2.2.4 - SURFACE DU MUR DE FLAMME.....	8
2.2.5 - FLUX RESIDUEL EN FONCTION DE LA DISTANCE.....	8
2.3 - COMMENTAIRES SUR LA METHODOLOGIE.....	9
<b>3 - SCENARIO : INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DE STOCKAGE DES CONSOMMABLES APRES EXTENSION.....</b>	<b>10</b>
3.1 - GENERALITES SUR LES INCENDIES D'ENTREPOTS.....	10
3.2 - CONTEXTE.....	10
3.3 - HYPOTHESES.....	12
3.4 - CALCULS.....	14
3.5 - EVALUATION DES FLUX THERMIQUES EN CAS D'INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DE STOCKAGE DES CONSOMMABLES ET DES EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELS DANS LES CONDITIONS INITIALEMENT PREVUES.....	15
3.6 - EVALUATION DES FLUX THERMIQUES EN CAS D'INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DE STOCKAGE DES CONSOMMABLES ET DES EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELS TENANT COMPTE DES MESURES DE MAITRISE DES RISQUES.....	18
<b>4 - SYNTHESE.....</b>	<b>21</b>
<b>5 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>22</b>

# ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Intensité du flux thermique et type de conséquence (Préventive et Sécurité N°5 - août-septembre 1994) (d'après J. JARRY, Ministère de l'Environnement) .....	2
Tableau 2 : effets sur l'homme d'un incendie en fonction du flux thermique et de la durée d'exposition.....	3
Tableau 3 : Estimation du risque incendie dans le cas des entrepôts de pétrole (extrait de « Process Industry Hazards ; Accidental Release Assesment »Containment and Control I Ch E Symposium - Serie n° 47 - 1976) .....	4
Tableau 4 : distances aux pieds des murs à 1,5 m d'altitude pour les flux thermiques reçus en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension .....	15
Tableau 5 : distances aux pieds des murs à 1,5 m d'altitude pour les flux thermiques reçus en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension et avec murs coupe-feu de degré 2 h .....	18
Figure 1 : triangle du feu .....	1
Figure 2 : représentation des étapes de calcul des flux thermiques .....	6
Figure 3 : plan de localisation du projet et de la zone objet de l'étude .....	11
Plan 4 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension dans la configuration initialement prévu sans mur coupe-feu (1/200 <sup>ème</sup> ).....	16
Plan 5 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension dans la configuration initialement prévue sans mur coupe-feu (1/2 000 <sup>ème</sup> ).....	17
Plan 6 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension avec murs coupe-feu (1/200 <sup>ème</sup> ).....	19
Plan 7 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension dans la configuration initialement prévue sans mur coupe-feu (1/2 000 <sup>ème</sup> ).....	20

## PREAMBULE

Les outils méthodologiques pour la modélisation des effets thermiques de feu de gaz ou de liquides inflammables sont maintenant bien au point et font l'objet d'une littérature importante, étayée par des essais de validation en grandeur nature, comme en laboratoire.

## 1 - GENERALITES SUR L'INCENDIE

---

### 1.1 - FEU ET COMBUSTION

---

Un feu est un phénomène physico-chimique. Il est basé sur la réaction d'un combustible avec un comburant. Dans la grande majorité des cas, le comburant est de l'oxygène présent à 21% dans l'air. Pour que la réaction soit possible, une quantité d'énergie, appelée énergie d'activation doit être apportée (exemple de l'allumette sur le grattoir). Très souvent le phénomène de combustion est illustré par le triangle du feu.

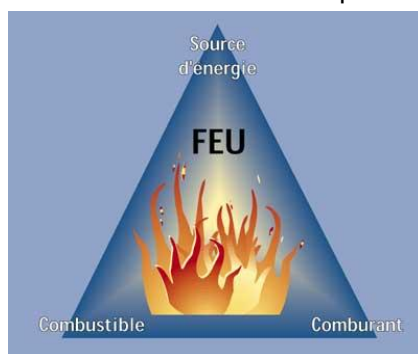


Figure 1 : triangle du feu

Un feu est caractérisé par le flux d'énergie qu'il dégage par unité de temps en Watts (J/s) ou par un débit calorifique (énergie par unité de temps et de masse) responsable des augmentations de température. Cette énergie dépend des caractéristiques et de la quantité de combustible et du comburant (oxygène) mis en jeu. La flamme qui est observée lors d'un feu représente la libération d'une certaine quantité de cette énergie par un rayonnement dans le domaine du visible.

Il y a 4 formes de propagation de l'énergie produite :

- la radiation ;
- la conduction ;
- la convection ;
- les brandons.

La radiation est l'émission d'ondes électromagnétiques qui transportent une partie de l'énergie. Cette énergie est proportionnelle à la puissance 4 de la température. C'est le transfert de chaleur prédominant dès lors que la température est supérieure à 400°C.

La convection est le transport de l'énergie par les mouvements de fluide. Ainsi, la couche limite thermique le long d'une paroi est en relation avec les variations de vitesse des particules à cette paroi (couche limite cinématique).

La conduction est le transfert de chaleur à travers les solides (murs, plafond, etc.). Le transfert d'énergie de cette manière est relié au gradient de température par la loi de Fourier.

Les brandons sont des petites flammellettes qui se dégagent des flammes principales d'un foyer.

La consommation d'oxygène (présent dans l'air) et la production de chaleur génère également d'autres phénomènes et en particulier un écoulement au-dessus de la source combustible qui constitue le panache. La température est plus importante et sous l'effet des forces d'Archimède, il y a une montée des produits de la réaction (fumées, gaz imbrûlés, suie) créant ainsi un mouvement d'entraînement d'air qui alimente le feu en oxygène.

## 1.2 - INFLAMMATION

Le combustible peut être initialement un liquide, un gaz ou un solide. Mais le phénomène de combustion s'effectue sur un produit à l'état gazeux ou sous forme de vapeurs. Pour que l'inflammation ait lieu, une condition nécessaire est que la concentration de gaz dans le mélange combustible-comburant soit comprise entre la limite inférieure et supérieure d'inflammabilité (respectivement LII et LSI).

Pour un solide, l'énergie calorifique apportée a ensuite pour rôle de porter le mélange à une température minimale appelée température d'auto-inflammation. Pour un liquide, on parlera de point éclair.

## 1.3 - EFFETS D'UN INCENDIE

Les conséquences associées à un feu de nappe sont essentiellement liées :

- au rayonnement thermique, sur l'homme et les équipements ;
- aux dégagements de fumées, particulièrement aux gaz toxiques qu'elles véhiculent, mais aussi à la diminution de la visibilité induite ;
- à la pollution des eaux ou des sols lie par exemple, au transport de substances dangereuses pour l'environnement via les eaux d'extinction.

### 1.3.1 - EFFETS THERMIQUES

Les flux thermiques dégagés par la combustion de matières peuvent engendrer à la fois :

- des brûlures « graves » pour les personnes ;
- des effets sur les structures pouvant conduire à l'effondrement de constructions.

Le tableau, ci-dessous, donne des indications sur les intensités des flux thermiques et les conséquences possibles.

Flux (kW/m <sup>2</sup> )	Conséquences
240	Rayonnement d'un feu intense (1150°C)
200	Ruine du béton par éclatement interne en quelques dizaines de minutes (200-300°C)
150	Rayonnement d'un feu moyen (1000°C)
100	Température de 100°C dans 10 cm de béton au bout de 3 heures
92	Rayonnement d'un feu faible
40	Ignition spontanée du bois en 40 s
36	Propagation probable du feu de réservoirs d'hydrocarbures même refroidis à l'eau
27	Ignition spontanée du bois entre 5 et 15 minutes
20	Tenue des ouvrages d'art en béton pendant plusieurs heures Inflammation possible des vêtements
12	Modification structurelle des fibres de type polyester
10	Modification structurelle de la laine ou du coton
9,5	Seuil de la douleur en 6 s, flux minimal léthal en 30 s
8	Début de la combustion spontanée du bois et des peintures
5	Intervention de personnes protégées avec des tenues ignifuges Bris de vitres sous l'effet thermique Flux minimal léthal pour 60 s Intervention rapide pour des personnes protégées (pompiers)
2,9	Flux minimal léthal en 120 s
1,5	Seuil de rayonnement continu pour des personnes non protégées (habillement normal)
1	Rayonnement solaire en zone équatoriale
0,7	Rougisement de la peau, brûlure en cas d'exposition prolongée

Tableau 1 : Intensité du flux thermique et type de conséquence (Préventive et Sécurité N°5 - août-septembre 1994) (d'après J. JARRY, Ministère de l'Environnement)

### 1.3.1.1 - Effets sur l'homme

D'une manière tout à fait générale, afin d'estimer les effets d'un phénomène physique dangereux sur l'homme ou l'environnement, il est nécessaire d'évaluer à la fois :

- l'intensité des conséquences du phénomène. Cette intensité peut par exemple s'exprimer en terme de concentration (ppm) pour ce qui concerne la dispersion de gaz toxiques ou de densité de flux thermiques pour des phénomènes de combustion (incendie, BLEVE...)
- la durée d'exposition, soit le temps pendant lequel la cible est exposée aux conséquences du phénomène dangereux.

Ces deux paramètres définissent ainsi la notion de dose, qui relie les effets d'un accident à une fonction de l'intensité des conséquences du phénomène et de la durée d'exposition.

A priori, dans le cas d'un feu d'entrepôt, la cible peut être exposée à des flux thermiques radiatifs pendant toute la durée de l'incendie. Toutefois, pour l'évaluation des effets d'un phénomène aussi long dans le temps, il est nécessaire en particulier d'estimer le temps de réaction des individus. L'hypothèse généralement prise en compte est une réaction des individus en 1 minute, durée certainement sous-évaluée pour certaines tranches d'âges. Ainsi, pour des feux qui perdurent, les personnes exposées ont en général la possibilité de trouver un abri ou un écran en moins d'une minute. C'est donc compte-tenu de ce temps d'exposition que les seuils sont retenus.

Le tableau, ci-dessous, fait une synthèse des données existantes corrélant l'effet sur l'homme et le temps d'exposition :

	Flux thermique	Durée d'exposition
Personnes non protégées en rayonnement (sans effet)	1,5 kW/m <sup>2</sup> (une belle journée d'été : 1,3 kW/m <sup>2</sup> )	en continu
Douleur	4 kW/m <sup>2</sup>	10 - 20 s
Formation de cloques	5 kW/m <sup>2</sup>	30 s
	10,5 kW/m <sup>2</sup>	10 - 12 s
Personnes non protégées en intervention rapide	5 kW/m <sup>2</sup>	-
Personnes protégées (habit d'intervention pour pompier)	8 kW/m <sup>2</sup>	-

Tableau 2 : effets sur l'homme d'un incendie en fonction du flux thermique et de la durée d'exposition

Pour les effets sur l'homme, les seuils retenus par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (arrêté du 29 septembre 2005) sont les suivants :

- 3 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie » ;
- 5 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement ;
- 8 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement.

### 1.3.1.2 - Effets sur les structures

#### a) Matériaux

Les effets thermiques sur les matériaux dépendent, tout comme les effets sur l'homme, de la durée d'exposition (on retrouve donc une notion de dose). Le phénomène d'inflammation, nécessite ainsi :

- soit des flux élevés ;
- soit des expositions prolongées.

Il peut ainsi être admis que les effets thermiques associés à des phénomènes de courte durée, comme la boule de feu, ne sont pas dangereux pour les équipements situés au-delà de la proximité immédiate. Cependant, d'autres effets sont, dans ce cas, à prendre en compte (surpressions, projectiles incendiaires...).

En revanche, le feu de nappe peut donner lieu à des effets sur les structures dans la mesure où sa durée peut être plus ou moins prolongée (de quelques minutes à plusieurs heures en général).

Outre ce facteur « temps » qui intervient de façon prépondérante, les autres paramètres à prendre en compte sont :

- la nature du matériau ;
- son pouvoir d'absorption ;
- son aptitude à former des produits volatils et inflammables lorsqu'il est chauffé ;
- la présence ou non de flammes ou flammèches qui pourraient enflammer ces vapeurs,

Il devient alors pratiquement impossible de donner des valeurs seuils de façon simple et univoque. La littérature propose cependant un certain nombre d'indications utiles sur les valeurs limites du flux incident, permettant ainsi d'appréhender le risque.

Quelques exemples extraits sont donnés à titre d'illustration :

« En limitant l'étendue de la nappe, la surface du feu peut être contrôlée. Si la hauteur et l'intensité des flammes peuvent être aussi estimées, le risque présenté par les radiations thermiques vis-à-vis d'objets voisins peut aussi être évalué. Les données disponibles, montrent que :

- le bois et le contreplaqué s'enflammeront spontanément, en quelques secondes, pour une intensité de rayonnement de  $5 \text{ W/cm}^2$  ;
- du coton s'enflammera spontanément, en quelques secondes, pour une intensité de rayonnement de  $4 \text{ W/cm}^2$  ;
- pour une valeur de  $3 \text{ W/cm}^2$  le bois s'enflammera après une exposition prolongée ;
- à des niveaux de radiations de  $1,25 \text{ W/cm}^2$ , les surfaces en celluloïd pourront être suffisamment chauffées pour que l'inflammation survienne en présence d'une flamme pilote.

## **b) Equipements**

Pour les réservoirs d'hydrocarbures des données issues d'auteurs proposant des distances minimales de séparation entre ces équipements sont disponibles.

<b>Entrepôts de pétrole</b>	<b>Flux thermique</b>
Propagation probable de l'incendie, même dans le cas de refroidissement des réservoirs menacés.	36 kW/m <sup>2</sup>
Propagation improbable lorsque le refroidissement est suffisant, c'est-à-dire si le maintien de l'équilibre thermique est assuré.	12 kW/m <sup>2</sup>
Propagation improbable du feu sans mesure de protection particulière.	8 kW/m <sup>2</sup>

Tableau 3 : Estimation du risque incendie dans le cas des entrepôts de pétrole (extrait de « Process Industry Hazards ; Accidental Release Assesment » Containment and Control I Ch E Symposium - Serie n° 47 - 1976)

Pour les effets sur les structures, les seuils retenus par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (arrêté du 29 septembre 2005) sont les suivants :

- 5 kW/m<sup>2</sup>, seuil des destructions de vitres significatives ;
- 8 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets domino<sup>1</sup> et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures ;
- 16 kW/m<sup>2</sup>, seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton ;
- 20 kW/m<sup>2</sup>, seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton ;
- 200 kW/m<sup>2</sup>, seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

Ainsi, la valeur de 8 kW/m<sup>2</sup> sera retenue comme valeur maximale du flux pouvant entraîner la propagation d'un incendie entre 2 bâtiments.

### **1.3.2 - EMANATION DES FUMÉES**

Les incendies mettent en œuvre des réactions chimiques nombreuses et complexes. Il est, donc, particulièrement difficile de déterminer, à priori, la nature et les quantités de substances toxiques formées par un feu. D'autre part, la composition élémentaire du combustible joue un rôle prépondérant, avec non seulement la forme de la molécule, ses fonctions chimiques, mais aussi la présence éventuelle d'éléments particuliers comme le chlore, le soufre, l'azote, l'oxygène, ...

D'autre part, les conditions dans lesquelles se déroule le feu, modifient les réactions chimiques de la flamme et changent totalement les substances formées. Parmi ces paramètres, à signaler, en particulier : la température, le flux thermique incident, le taux de comburant disponible qui dépend des conditions de ventilation ou, au contraire, du confinement. La combustion complète de la plupart des produits organiques conduit, théoriquement, à la formation de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et selon les atomes présents de N<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ... En l'absence totale d'oxygène, il y a pyrolyse avec apparition de carbone et d'une série complexe de produits de faible poids moléculaire.

Dans les conditions réelles d'incendie, il y a très rarement combustion complète en raison de la raréfaction de l'oxygène ; par conséquent, une partie du carbone apparaît sous forme de CO et une partie de l'azote sous forme d'HCN (acide cyanhydrique).

Les produits de pyrolyse et de combustion susceptibles de composer les fumées en cas d'incendie de bois sont :

- monoxyde de carbone ;
- dioxyde de carbone ;
- acide acétique
- hydrocarbures aliphatiques, cétones, alcools, hydrocarbures aromatiques, O<sub>2</sub>.

### **1.3.3 - EAUX D'EXTINCTION**

Les eaux déversées lors d'un incendie par les sapeurs-pompiers et par les systèmes d'extinction se chargeront de divers composants (résidus de combustion, ...).

---

<sup>1</sup> Seuil à partir duquel les effets domino doivent être examinés. Une modulation est possible en fonction des matériaux et structures concernés.



## 2 - EVALUATION DES FLUX THERMIQUES

### 2.1 - METHODE D'EVALUATION DU RAYONNEMENT THERMIQUE D'UN FEU DE CUVETTE

La détermination des effets d'un incendie relatif aux feux de cuvettes de rétention est réalisée de la façon suivante :

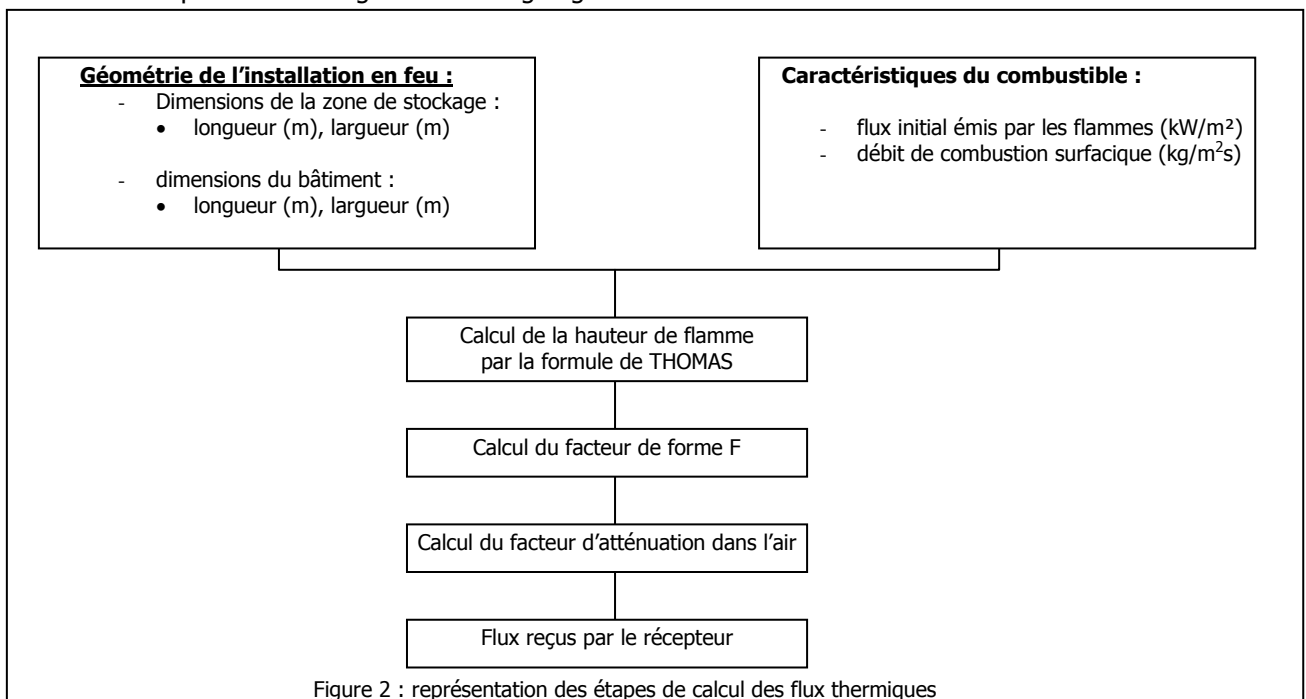
- à partir des données relatives à :
  - la géométrie du feu ;
  - les quantités de combustibles mises à jeu ;
  - le flux radiatif initial de la flamme ;
  - la vitesse de régression de la nappe ;
- on détermine les caractéristiques de l'incendie et ses effets, et en particulier, on calcule :
  - la hauteur de flamme ;
  - les effets en terme de flux thermiques reçus au niveau du sol en fonction de la distance d'approche par rapport au feu.

La méthode utilisée comprend :

- une partie des travaux de A. LANNOY (EDF Bulletin DER Série A n°4 - 1984) mise en formule par la D.R.I.R.E. Midi - Pyrénées et le CERCHAR. Elle est notamment calée sur l'analyse de l'accident de Port Edouard Herriot à LYON en 1987,
- une partie complémentaire qui tient compte :
  - des facteurs de forme en considérant l'implantation exacte des cuvettes, des réservoirs et des points d'observation. Elle a pour origine un modèle empirique du T.N.O (Organisme Néerlandais de Recherche Scientifique Appliquée) ;
  - d'un facteur d'atténuation du flux thermique dans l'air basé sur les travaux de LANNOY précité.

Les méthodes d'évaluation de la partie complémentaire sont également retenues par l'I.N.E.R.I.S.

Les différentes étapes du calcul figurent sur l'organigramme ci-dessous :



## 2.2 - HYPOTHESE ET APPROXIMATIONS SUR LE PHENOMENE

---

### 2.2.1 - DETERMINATION DE LA RADIANCE DES FLAMMES ( $\phi_0$ )

Le flux thermique initial ou le pouvoir émissif est déterminé à partir de la température de flamme.

La loi de STEFAN-BOLTZMANN pose une proportionnalité entre  $\phi_0$  et la température de flamme :

$$\phi_0 = k\sigma T^4$$

avec :

$\phi_0$  : Flux émis ( $\text{kW/m}^2$ ) (flux maximal) ;

$k$  : Coefficient d'émission du corps considéré (avec  $k = 0,9$  pour les flammes d'hydrocarbures liquides,  $k = 0,6$  pour les flammes de gaz) ;

$\sigma$  : Constante de STEFAN-BOLTZMANN ( $5,67 \cdot 10^{-11} \text{ kW/m}^2/\text{K}^4$ ) ;

$T$  : Température de la flamme ( $T = 1200 \text{ °K}$  pour les hydrocarbures liquides,  $T = 2000 \text{ °K}$  pour les GPL).

On retrouve dans la littérature quelques données de flux radiatif pour différents matériaux et composées :

- polypropylène :  $28 \text{ kW/m}^2$  (An introduction to fire dynamics, Dougal Drysdale, page 165, essais effectués par TEWARSON et PION sur un appareillage de laboratoire, 1976) ;
- PVC granulés :  $52,4 \text{ kW/m}^2$  (données Rhone Poulenc) ;
- feux d'hydrocarbures :  $30 \text{ kW/m}^2$ .

### 2.2.2 - DEBIT MASSE SURFACIQUE DE COMBUSTION

Le débit masse de combustion par unité de surface,  $m''$ , représente la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface de combustible au sol.

La vitesse de combustion d'un composé solide n'est pas constante et dépend du renouvellement d'air au voisinage de la flamme et des échanges thermiques avec le milieu ambiant. En effet, dans le cas des feux de solides, ce sont les produits de la décomposition thermique qui brûle.

D'une manière générale, le débit masse surfacique de combustion tend vers une valeur constante pour des diamètres de feux important.

Le débit masse surfacique de combustion est calculé à partir de paramètres dépendant de la substance combustible par l'équation suivante :

$$m'' = \rho v$$

avec :

$m''$  : débit masse surfacique de combustion ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ ) ;

$\rho$  : masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ ) ;

$v$  : vitesse de régression de la nappe ( $\text{m/s}$ ).

Pour des matières solides combustibles, la vitesse de combustion est donnée dans la littérature à  $0,5 \text{ mm/mn}$ .

Pour les matières solides entreposées sur le site, la masse volumique est évaluée à  $800 \text{ kg/m}^3$  en moyenne.

### Remarque :

Pour un feu non circulaire, la détermination du diamètre équivalent est réalisée en considérant les dimensions du stockage de matières comme étant égales à celles du bâtiment (Cf § 2.4).

Par contre, dans le cas des stockages n'occupant qu'une partie de la surface des bâtiments (zone de réception à l'intérieur de stockage), le débit masse surfacique de combustion est pondéré par le rapport de la surface de stockage sur la surface totale du bâtiment.

### **2.2.3 - DIAMETRE EQUIVALENT**

Pour un feu de cuvette ou de bâtiment non circulaire, le diamètre équivalent,  $D_{eq}$  peut être estimé par la formule suivante :

$$D_{eq} = \frac{4.S}{P}$$

avec :

$S$  : surface de la nappe (surface de la cuvette, du foyer) ;

$P$  : périmètre du foyer.

Il sera pris comme hypothèse que l'incendie occupe toute la surface de la cuvette ou du bâtiment.

### **2.2.4 - SURFACE DU MUR DE FLAMME**

La hauteur des murs de flamme est estimée à partir de la corrélation de THOMAS :

$$L = 42.D_{eq} \left( \frac{m''}{\rho_0 \sqrt{g.D_{eq}}} \right)^{0,61}$$

avec :

$L$  : hauteur de flamme (m) ;

$m''$  : débit masse surfacique de combustion ( $kg/m^2s$ ) ;

$\rho_0$  : densité de l'air ambiant (environ  $1,161 kg/m^3$  à  $20^\circ C$ ) ;

$g$  : accélération de la pesanteur ( $9,81 m/s^2$ ) ;

$D_{eq}$  : diamètre équivalent (m).

### **2.2.5 - FLUX RESIDUEL EN FONCTION DE LA DISTANCE**

L'estimation des flux reçus en fonction de la distance par rapport au mur de flamme s'écrit :

$$\phi_r = \phi_0.F.H$$

avec :

$\phi_r$  : flux reçu ( $kW/m^2$ ),

$\phi_0$  : flux émis ( $kW/m^2$ ),

$F$  : facteur forme,

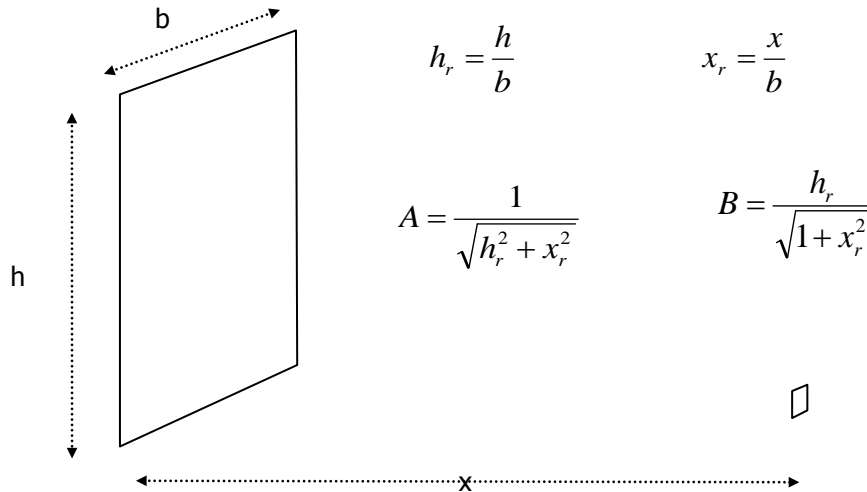
$H$  : effet atténuateur.

Nous supposons pour une cuvette ou un bâtiment dont les bords sont linéaires, que chaque surface de flamme est un rectangle de hauteur déterminée par la hauteur de flamme, et la largeur est définie par la dimension du bord de cuvette (ou diamètre équivalent).

**L'évaluation des facteurs de forme s'effectue de la manière suivante :**

Calcul des facteurs de forme pour un mur de flamme :

Le facteur de forme utile pour les calculs de rayonnement en cas d'incendie est le suivant :



$$F_v = \frac{1}{2\pi} \left[ h_r \cdot A \cdot \arctan(A) + \frac{B}{h_r} \cdot \arctan(B) \right] \qquad F_h = \frac{1}{2\pi} \left[ \arctan\left(\frac{1}{x_r}\right) - A \cdot x_r \cdot \arctan(A) \right]$$

Le facteur de forme maximum est obtenu pour  $F_{\max} = \sqrt{(F_v^2 + F_h^2)}$

Calcul de l'effet atténuateur :

Dans le phénomène incendie, seul le rayonnement sera pris en compte, la chaleur transmise par conduction et convection participant peu à l'échauffement des installations voisines.

Le flux thermique émis par les flammes va être, en partie, absorbé par la traversée d'une longueur donnée de l'atmosphère ambiante, principalement du fait de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone.

Cette humidité sera considérée égale à :  $w = 6 \text{ g/kg d'air}$ .

L'effet atténuateur sera calculé grâce au facteur H tel que  $H = 0,33 + 0,67 \exp(-0,0002 \cdot w \cdot d)$

avec  $d$  est la longueur traversée (en mètres). LANNOY ; DER-EDF ; série A - n°4 – 1984.

**2.3 - COMMENTAIRES SUR LA METHODOLOGIE**

Rappelons que cette méthode a d'abord été conçue pour des feux d'hydrocarbures et est appliquée aux stockages de matières combustibles par manque de données sur les feux de matières solides.

### **3 - SCENARIO : INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DE STOCKAGE DES CONSOMMABLES APRES EXTENSION**

---

#### **3.1 - GENERALITES SUR LES INCENDIES D'ENTREPOTS**

---

Sur la base d'une étude de synthèse établie par le BARPI pour l'activité H52.10 (Entreposage et stockage), 97% des accidents survenant sur des entrepôts de stockage de matières combustibles sont des incendies.

Les causes ne sont connues que dans 12 % des cas. Les actes de malveillance présentent une très forte proportion des causes connues et laissent à penser qu'ils participent pour beaucoup aux causes d'origine inconnue.

On peut considérer que :

- l'incendie se généralise à tout le stockage, sauf lorsqu'il y a présence de murs coupe-feu avec un refroidissement suffisant par arrosage des services de secours ;
- la durée de l'incendie s'étale entre 2 heures à plus de 10 heures ;
- les fumées d'incendie ne sont pas toxiques au niveau du sol, grâce à leur ascension sous l'effet de la chaleur de convection, mais elles pouvaient couvrir une surface très importante (visible à plusieurs km) ;
- l'absence de moyen en eau suffisant (bon dimensionnement des besoins en eau), de détection d'incendie, d'accès aux zones de stockage, est responsable d'une difficulté de maîtrise du feu et de son extension ;
- les charpentes métalliques se déforment et s'effondrent rapidement ;
- les non-conformités en matière de type de stockage (hauteur, produits mélangés, produits inadaptés), de dispositions constructives (pas d'exutoire, couverture bitumineuse, pas de détection incendie, sprinkler non adapté), sont responsables de l'aggravation et de l'extension du sinistre ;
- les dispositions constructives de type murs coupe-feu peuvent jouer un rôle essentiel, notamment pour limiter l'ampleur des dégâts.

#### **3.2 - CONTEXTE**

---

Le site CEVA de LOUDEAC est une entreprise spécialisée dans la fabrication de produits médicamenteux et de produits non pharmaceutiques pour animaux. Il s'agit d'un site soumis à Déclaration sous les rubriques 1111 1155 1432 1433-B 1510 2260 2685 de la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

Dans le cadre du ré-aménagement de l'atelier de maintenance et de l'extension des locaux techniques, la société CEVA envisage l'extension du local de stockage de consommables attenant au local de stockage des pièces détachées et à l'atelier de maintenance.

Cette extension de 73 m<sup>2</sup> portera la surface totale de ce local à 160 m<sup>2</sup>. L'extension ne se fera pas dans l'alignement de l'existant mais en décalé de manière à conserver une distance de 5 m de la limite de propriété la plus proche (côté hippodrome – limite Nord).

Dans la configuration actuelle, le local de stockage des consommables est équipé de parois en bardage simple peau isolé par des panneaux sandwich double face acier laqué avec âme polyuréthane. La toiture est en tôle ondulée à base de résine. L'extension sera construite, dans la configuration initialement prévue et sous réserve que les zones d'effets thermiques n'impactent pas de zone hors site, en bardage double peau avec doublage placoplatre et isolation laine de verre. La toiture sera en bac acier isolation laine de roche et étanchéité PVC.

Notre mission se limite à l'évaluation des flux thermiques consécutifs à un incendie généralisé du local de stockage de consommables après extension dans la configuration prévue initialement et dans la configuration intégrant des mesures compensatoires permettant de réduire ou de maintenir les zones d'effets thermiques sur le site, si nécessaire.



Figure 3 : plan de localisation du projet et de la zone objet de l'étude

Les produits en stock dans ce local sont et seront :

- Des étiquettes (en rouleaux)
- Des équipements de protection individuels : bouchons d'oreilles, casques anti-bruit, chaussures, surchaussures, blouses / combinaisons, charlottes, scaphandres, lunettes, masques, cartouches d'ARI, vestes de froid, batteries de cagoules ventilées)
- Des consommables d'imprimantes : rubans encreurs, cartouches d'encre, solvants
- Du papier pour imprimantes
- Des consommables divers : colles, rouleaux adhésif, distributeurs PVC, classeurs, pots plastiques et couvercles
- Des produits et du matériel d'entretien : balai, filtre aspirateur, brosses serpillère, raclette, lingette, éponges

Ces produits sont entreposés soit en vrac soit conditionnés dans des emballages plastiques puis en cartons entreposés sur des racks métalliques.

Le projet prévoit le remplacement des supports bois par des supports métalliques caillebotis.

### 3.3 - HYPOTHESES

---

Les hypothèses prises en compte sont les suivantes :

- **Surface du local après extension** : 160 m<sup>2</sup>
- **Local attenant** : Magasin de stockage de pièces détachées
- **Distance par rapport à la limite de propriété** la plus proche (Nord – côté hippodrome) :
  - o Existant : 2,5 m
  - o Extension : 5 m
- **Mode de stockage** : en rack
- **Nature des étagères** : métallique
- **Hauteur au faîtage** :
  - o Existant : 4,05 m
  - o Projet : 4,99 m
- **Hauteur sous pied de ferme** :
  - o Existant : 3,25 m
  - o Projet : 4,55 m
- **Hauteur de stockage** : 3 niveaux soit 3 m maximum
- **Matériaux de construction** :
  - o **Modélisation n°1** :
    - Existant :
      - Cloisons extérieures : bardage simple peau (M1)
      - Cloisons intérieures : panneaux sandwich double face acier laqué âme polyuréthane (Bs1d0FM)
      - Plafond : panneaux sandwich double face laqué âme polyuréthane (Bs1d0FM)
      - Toiture : tôle ondulée en résine (M1)
      - Sol : dalle béton revêtue de résine
      - Une charpente en acier galvanisé de classe M0 (=matériau incombustible)
    - Extension :
      - Cloison extérieures : bardage double peau avec isolation laine de verre (M1)
      - Cloisons intérieures : placoplâtre avec isolation laine de verre (M1)
      - Plafond : placoplâtre avec isolation laine de verre (M1)
      - Toiture : bac acier avec isolation laine de roche et étanchéité PVC
      - Sol : dalle béton nue

○ **Modélisation n°2 :**

▪ **Existant :**

- Cloison extérieures : Mur coupe-feu de degré 2 h dépassant de 1 m en toiture (4,25 m)
- Plafond : panneaux sandwich double face laqué âme polyuréthane (Bs1d0FM) + placoplatre coupe-feu de degré 2h sur une bande de 4 m de largeur depuis le mur mitoyen avec le local de stockage des pièces détachées
- Toiture : tôle ondulée en résine (M1)
- Sol : dalle béton revêtue de résine
- une charpente en acier galvanisé de classe M0 (=matériau incombustible)

▪ **Extension :**

- Cloison extérieures : Mur coupe-feu de degré 2 h dépassant de 1 m en toiture (5,5 m) et de 0,5 m latéralement
- Plafond : placoplatre avec isolation laine de verre (M1)
- Toiture : bac acier avec isolation laine de roche et étanchéité PVC
- Sol : dalle béton nue

- **Nature du stock :** étiquettes (en rouleaux), équipements de protection individuels : bouchons d'oreilles, casques anti-bruit, chaussures, sur-chaussures, blouses / combinaisons, charlottes, scaphandres, lunettes, masques, cartouches d'ARI, vestes de froid, batteries de cagoules ventilées), consommables d'imprimantes : rubans encreurs, cartouches d'encre, solvant jet, papier pour imprimantes, consommables divers : colles, rouleaux adhésif, distributeurs PVC, classeurs, pots plastiques et couvercles, produits et du matériel d'entretien : balai, filtre aspirateur, brosses serpillère, raclette, lingette, éponges. Après analyse des constituants principaux des stocks, il en ressort la répartition suivante :

Produit stocké	%
Equipements de protection en textile et conditionnés en carton	36,5%
Papier et étiquettes conditionnés en carton	24,0%
Plastique conditionnés en carton	32,0%
Liquides inflammables	7,5%



### 3.4 - CALCULS

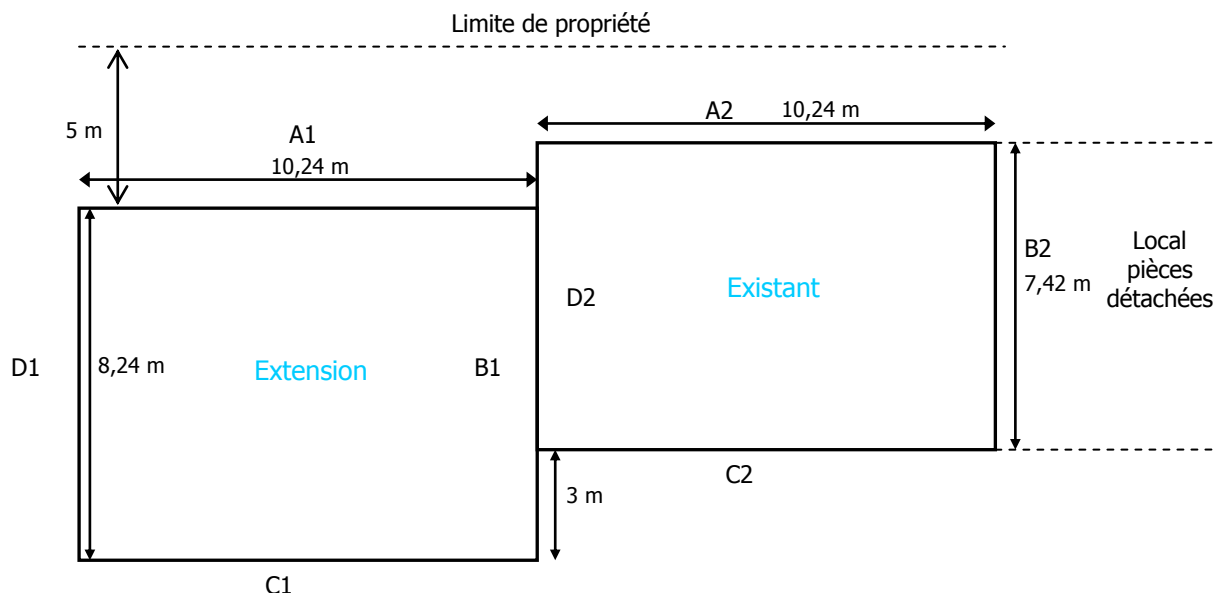
---

Sur la base de ces hypothèses, les valeurs des paramètres utilisés pour la modélisation sont :

- **Une hauteur de flamme calculée par la formule de Thomas et limitée à 1,5 fois la hauteur maximum de stockage sur la base des hypothèses suivantes :**
  - vitesse de régression de la nappe (pour les solides) : 3 m/min ( $8,3 \cdot 10^{-4}$  m/s – donnée rapport FLUMILOG INERIS);
  - masse volumique pondérée des matériaux combustibles divers : 760 kg/m<sup>3</sup> ;
  - vitesse de combustion : 40 g/m<sup>2</sup>/s (source : données FLUTHERM pondérées)
  - hauteur de flamme : 5,25 m (limité à 1,5 fois la hauteur maximum de stockage selon rapport INERIS FLUMILOG) ;
- **Chaleur de combustion retenue pour les matériaux combustibles en stock :** 32 MJ/kg (calculé en tenant compte de la répartition des différents types de matériaux combustibles, valeur pondérée) ;
- **Emittance des flammes retenue :** 30 kW/m<sup>2</sup> (source : rapport EFFECTIS Juillet 2008) ;
- **Taux d'atténuation atmosphérique** représente l'absorption du flux de rayonnement thermique par la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone contenus dans l'air des chambres froides) : 0,3 (température 15°C, humidité : 70%)
- **Dénivelé** entre le terrain de l'hippodrome et la dalle du local de stockage : +1 m

### 3.5 - EVALUATION DES FLUX THERMIQUES EN CAS D'INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DE STOCKAGE DES CONSOMMABLES ET DES EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELS DANS LES CONDITIONS INITIALEMENT PREVUES

Les caractéristiques du local de stockage objet de l'étude sont précisées sur la représentation schématique suivante :

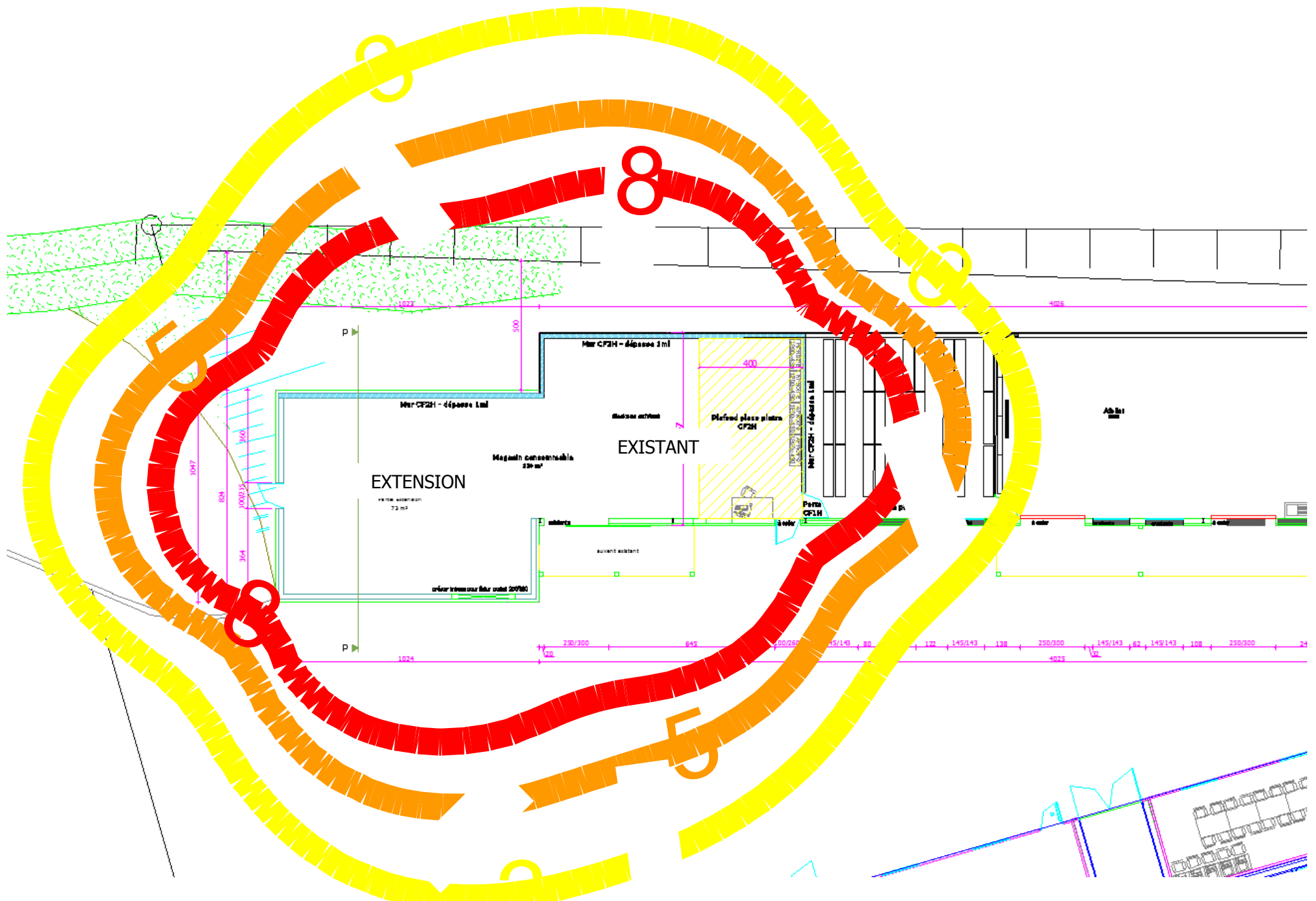


Les distances d'effets thermiques en cas d'incendie généralisé du local de stockage sont calculés pour la configuration ci-dessus et à partir des hypothèses et calculs détaillés aux paragraphes 3.3 et 3.4.

Les distances de flux thermiques, calculées en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et équipements de protection après extension, estimées en l'absence de paroi coupe-feu, sont données dans le tableau ci-après et tiennent compte du dénivelé de 1 m :

Incendie généralisé du local de stockage des consommables après extension	Irréversibles 3 kW/m <sup>2</sup>	Létaux 5 kW/m <sup>2</sup>	Létaux significatifs 8 kW/m <sup>2</sup>	Effets dominos 8 kW/m <sup>2</sup>
Distance selon l'axe médian du côté A1	11 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté B1	10 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté C1	11 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté D1	10 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté A2	11 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté B2	10 m	7 m	5 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté C2	11 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté D2	10 m	7 m	5 m	5 m
Distance cumulée selon l'axe médian du côté A	15 m	10 m	7 m	6 m
Distance cumulée selon l'axe médian du côté B	12 m	9 m	6 m	6 m
Distance cumulée selon l'axe médian du côté C	13 m	9 m	6 m	6 m
Distance cumulée selon l'axe médian du côté D	11 m	8 m	5 m	6 m

Tableau 4 : distances aux pieds des murs à 1,5 m d'altitude pour les flux thermiques reçus en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension



Plan 4 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension dans la configuration initialement prévu sans mur coupe-feu (1/200<sup>ème</sup>)



Plan 5 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension dans la configuration initialement prévue sans mur coupe-feu (1/2 000<sup>ème</sup>)

Dans la configuration initialement prévue, les flux thermiques consécutifs à un incendie généralisé du local de stockage des consommables et équipements de protection individuels après extension, et susceptibles de porter atteinte aux personnes (3, 5 et 8 kW/m<sup>2</sup>) dépassent la limite de propriété Nord du site et impactent une piste de l'hippodrome.

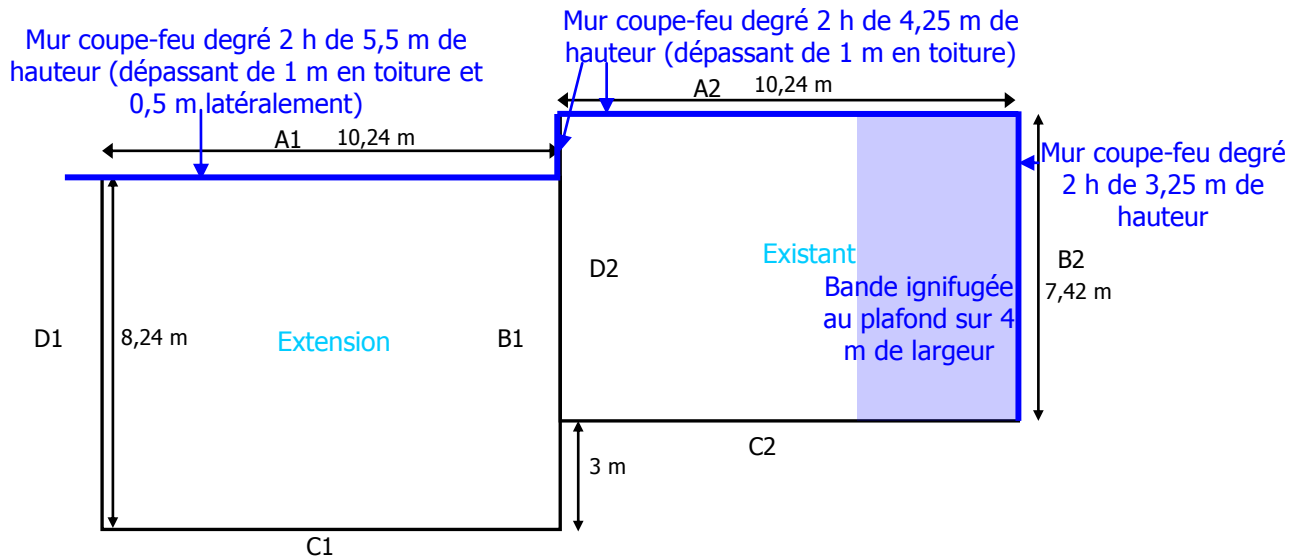
Les flux thermiques susceptibles de porter atteinte aux structures (8 kW/m<sup>2</sup>) impactent le local mitoyen (local pièces détachées). Un incendie risquerait de se propager à cet atelier et donc au stock de matériaux combustibles susceptibles d'être présents en petite quantité dans cet atelier.

Le dénivelé existant entre le niveau de la dalle du local et le niveau du sol de l'hippodrome et matérialisé par un merlon de terre de 1 m en limite de propriété n'est pas suffisant pour maintenir les flux thermiques sur le site.

Il est donc envisagé la mise en place d'un mur coupe-feu de 5,5 m de hauteur au niveau de la paroi Nord de l'extension (et dépassant de 0,5 m latéralement), d'un mur coupe-feu de 4,25 m de hauteur au niveau de la paroi Nord et d'un mur coupe-feu de 3,25 m de hauteur associée à une bande ignifugée au plafond sur une largeur de 4 m au niveau de la paroi Est (paroi mitoyenne avec le local de stockage de pièces détachées) de l'existant.

### 3.6 - EVALUATION DES FLUX THERMIQUES EN CAS D'INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DE STOCKAGE DES CONSOMMABLES ET DES EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELS TENANT COMPTE DES MESURES DE MAITRISE DES RISQUES

La représentation schématique tenant compte de mesures de maîtrise des risques permettant de contenir les flux thermiques sur le site est la suivante :

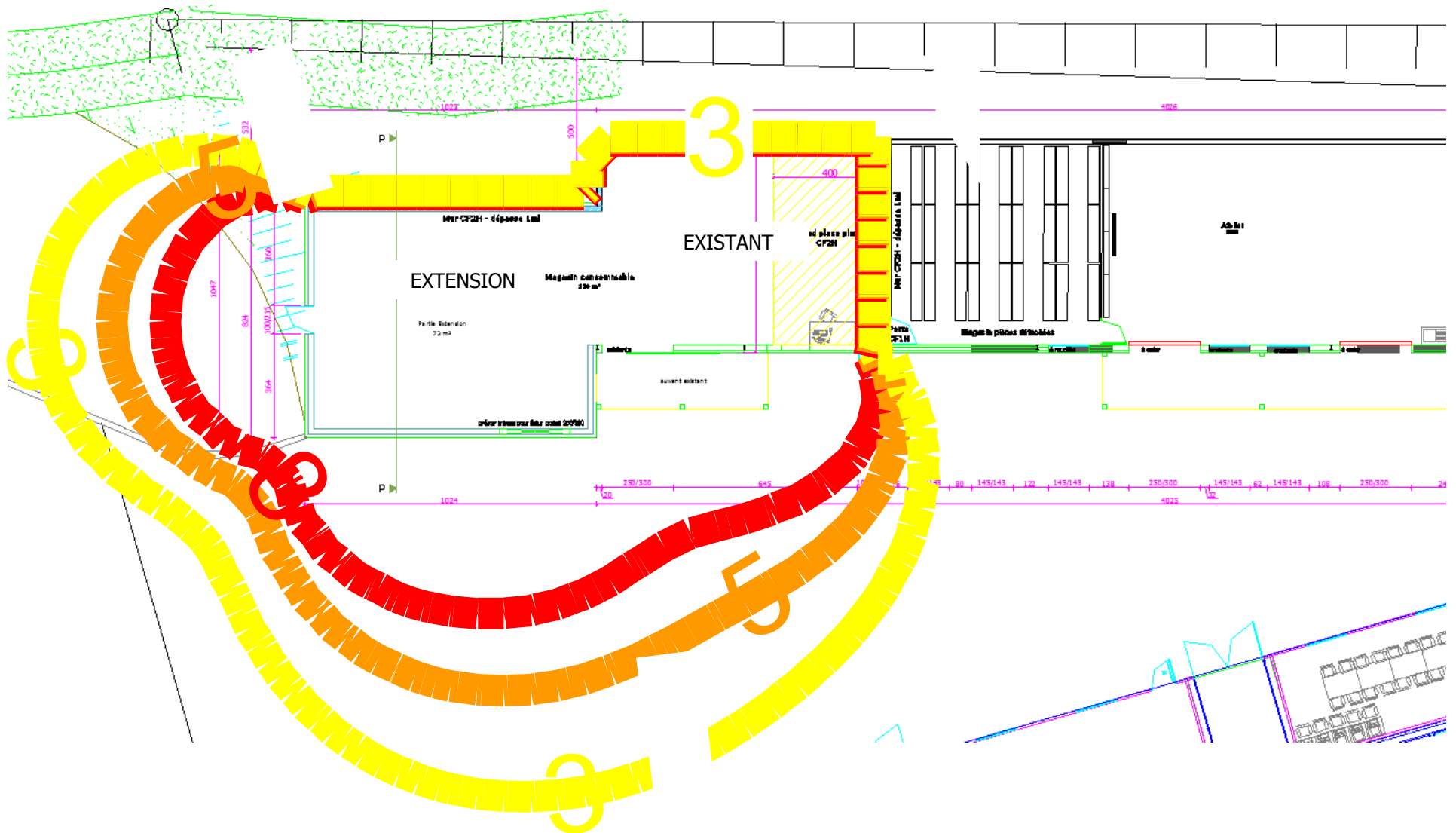


Les distances d'effets thermiques en cas d'incendie généralisé du local de stockage sont calculés pour la configuration ci-dessus et à partir des hypothèses et calculs détaillés aux paragraphes 3.3 et 3.4.

Les distances de flux thermiques, calculées en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et équipements de protection après extension, estimées en présence de parois coupe-feu, sont données dans le tableau ci-après et tiennent compte du dénivelé de 1 m :

Incendie généralisé du local de stockage des consommables après extension	Irréversibles	Létaux	Létaux significatifs	Effets dominos
	3 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>
Distance selon l'axe médian du côté A1	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Distance selon l'axe médian du côté B1	6 m	5 m	3 m	3 m
Distance selon l'axe médian du côté C1	11 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté D1	10 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté A2	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Distance selon l'axe médian du côté B2	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Distance selon l'axe médian du côté C2	11 m	8 m	6 m	5 m
Distance selon l'axe médian du côté D2	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Distance cumulée selon l'axe médian du côté A	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Distance cumulée selon l'axe médian du côté B	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Distance cumulée selon l'axe médian du côté C	13 m	9 m	6 m	6 m
Distance cumulée selon l'axe médian du côté D	8 m	5 m	4 m	4 m

Tableau 5 : distances aux pieds des murs à 1,5 m d'altitude pour les flux thermiques reçus en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension et avec murs coupe-feu de degré 2 h



Plan 6 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension avec murs coupe-feu (1/200ème)



Plan 7 : représentation des zones de flux thermiques à 1,5 m d'altitude en cas d'incendie généralisé du local de stockage des consommables et d'équipements de protection individuels après extension dans la configuration initialement prévue sans mur coupe-feu (1/2 000ème)

Dans cette configuration, les flux thermiques, conséquents à un incendie généralisé du local de stockage des consommables et équipements de protection individuels après extension, et susceptibles de porter atteinte aux personnes (3, 5 et 8 kW/m<sup>2</sup>) ne dépassent pas la limite de propriété Nord du site.

Les flux thermiques susceptibles de porter atteinte aux structures (8 kW/m<sup>2</sup>) n'impactent pas le local mitoyen (local pièces détachées) ni les bâtiments voisins : absence de risque de propagation aux ateliers et bâtiments voisins en cas d'incendie généralisé de ce local en présence de murs coupe-feu de degré 2 h et d'une bande ignifugée au plafond côté local pièces détachées.

## 4 - SYNTHÈSE

---

L'évaluation des distances liées aux valeurs seuils des effets dominos ( $8 \text{ kW/m}^2$ ) met en évidence :

- Le risque de propagation vers le local « pièces détachées » en l'absence de mesures de maîtrise des risques
- L'absence de risque de propagation d'un incendie généralisé du local de stockage des consommables et équipements de protection individuels vers les bâtiments voisins en l'absence de mesures de maîtrise des risques
- L'absence de risque de propagation d'un incendie généralisé vers le local « pièces détachées » en présence d'un mur coupe-feu de degré 2 h et d'une bande ignifugée au plafond d'une largeur de 4 m
- Afin de palier aux effets dominos potentiels consécutifs à un incendie généralisé de ce local de stockage, il conviendra d'éloigner les stocks de palettes bois et autres stocks de matériaux combustibles à plus de 6 m de la paroi Sud et de la façade Est du local après extension

L'évaluation des distances liées aux valeurs seuils des effets dangereux pour l'homme ( $3, 5$  et  $8 \text{ kW/m}^2$ ) met en évidence :

- Le risque pour les tiers susceptibles d'être présents sur la piste de l'hippodrome impactée par les flux thermiques supérieurs ou égaux à  $3 \text{ kW/m}^2$ , dans le cas où la paroi Nord du local de stockage n'est pas coupe-feu de degré 2 h
- L'absence de risque pour ces mêmes tiers en présence d'une paroi Nord coupe-feu de degré 2 h
- L'absence de risque pour les tiers environnants (habitations éloignées)



## 5 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- « Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre » - A. LANNOY (Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches - Série A - n°4 - 1984.
- « Guide d'intervention face au risque chimique » - Fédération Nationale des Sapeurs-Pompiers Français.
- « Guide pour la conception et l'exploitation de silos de stockage de produits agro-alimentaires vis-à-vis des risques d'explosion et d'incendie » - INERIS - Mai 2000.
- « Traité pratique de sécurité incendie » - CNPP.
- « Les mélanges explosifs » - INRS.
- « Yellow Book » - TNO (chap. 6) - 1992.
- « Guide méthodologique UFIP pour la réalisation des études des dangers en raffineries, stockages et dépôts de produits liquides et liquéfiés » - volume 1 - mai 2001.
- Base de données ARIA du BARPI (Bureau d'Analyses des Risques et Pollutions Accidentelles) : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>