GROUPE CNPP
Département Feu et Environnement
Route de la Chapelle Réanville
CD 64 - CS 22265
F 27950 SAINT MARCEL
Tél. 33 (0)2 32 53 64 33
Fax 33 (0)2 32 53 64 68

Prévention et maîtrise des risques

RAPPORT D'ETUDE N° CR 18 11143

Evaluation de l'intensité des conséquences de phénomènes accidentels dans le cadre de l'exploitation d'un Ecopôle dédié au transit-traitement de déchets dangereux et non dangereux – Plateforme Sud - Nantes (44)

DATE : 19 décembre 2018

CLIENT :
SUEZ RV OUEST

DEMANDE PAR :
SCE :
4, rue Viviani
CS 26220
44262 NANTES Cedex 2

CONTACT :
M. Gilles SAUVAGE
Tél : 02.51.17.29.29
Mail : gilles.sauvage@sce.fr

Le présent rapport comporte : 68 pages dont 34 pages d'Annexes.

Ce rapport ne peut être reproduit ou publié que dans sa forme intégrale. Le CNPP décline toute responsabilité en cas de reproduction ou de publication non conforme. Le CNPP se réserve le droit d'utiliser les enseignements qui résultent du présent document pour les inclure dans des travaux de synthèse ou d'intérêt général pouvant être publié par ses soins.

SOMMAIRE

1 CONTEXTE DE L'ETUDE 4

2 PH1 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DES 2 ALVEOLES BOIS DU STOCKAGE EXTERIEUR (STOCKS 317-318) 5

2.1 DONNEES D'ENTREE 5
2.2 HYPOTHESES DE MODELISATION 6
2.3 FLUX THERMIQUES RAYONNES 7
2.4 PH1 – SYNTHESE 9

3 PH2 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU STOCK CSR 11

3.1 DONNEES D'ENTREE 11
3.2 3.HYPOTHESES DE MODELISATION 13
3.3 FLUX THERMIQUES RAYONNES 14
3.4 PH2 – SYNTHESE 16

4 PH3 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU BATIMENT VALORISATION ET DES STOCKAGES DE BALLES (STOCKS 341-342-343) 18

4.1 DONNEES D'ENTREE 18
4.2 HYPOTHESES DE MODELISATION 20
4.3 FLUX THERMIQUES RAYONNES 20
4.4 PH3 – SYNTHESE 22

5 PH4 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DIB . 24

5.1 DONNEES D'ENTREE 24
5.1 HYPOTHESES DE MODELISATION 25
5.2 FLUX THERMIQUES RAYONNES 26
5.3 PH4 – SYNTHESE 28

6 PH5 : EFFETS TOXIQUES DES FUMEES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU BATIMENT VALORISATION ET DES STOCKAGES DE BALLES (STOCKS 341-342-343) 30

6.1 DONNEES D'ENTREES 30
6.2 HYPOTHESES DE MODELISATION 30
6.3 DISTANCES D'EFFETS TOXIQUES 31
6.4 PH5 –SYNTHESE 32

7 BIBLIOGRAPHIE 34

8 ANNEXES 35

8.1 ANNEXE 1 : GENERALITES SUR LES METHODES DE CALCUL 35
8.2 ANNEXE 2 : RESULTATS DE CALCUL 54

GLOSSAIRE

Principaux acronymes et sigles usités :	
APR	Analyse Préliminaire des Risques
CNPP	Centre National de Prévention et de Protection
CSR	Combustibles Solides de Récupération
DIB	Déchet Industriel banal
Flux[Lpmax]	Flux maximum reçu en limite de propriété (kW/m^2)
Fmax	Flux maximum reçu par une cible (kW/m^2)
NS	Non Significatif
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur (MJ/kg)
Ph	Phénomène (modélisé par le CNPP)
REI 120	Mur coupe-feu ayant les propriétés RE selon INERIS, avec une propriété supplémentaire de montée en température de la face externe. Pour un degré de 120 minutes, la température après 2 heures d'exposition à un feu normalisé devra être inférieure à 140 °C en moyenne et à 180 °C ponctuellement (température de face externe de la paroi)
R	Résistance mécanique de la paroi (et stabilité du mur) (min)
E	Etanchéité aux flammes et aux gaz chauds (min)
I	Isolation thermique (min)
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SER	Seuil des Effets Réversibles
SP	Seuil de perception
VTR	Valeur Toxicologique de Référence
Chimie :	
CO	Monoxyde de carbone
CO_2	Dioxyde de carbone
HCN	Cyanure d'Hydrogène
NO_2	Dioxyde d'azote
HCl	Chlorure d'Hydrogène
HBr	Bromure d'Hydrogène
SO_2	Dioxyde de Souffre
HF	Fluorure d'Hydrogène

1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La présente étude concerne le projet d'exploitation d'un Ecopôle dédié au transit-traitement de déchets dangereux et non dangereux implanté sur la commune de Nantes dans le département Loire-Atlantique (44). Elle concerne plus précisément la plateforme Sud de l'Ecopôle.

Cette étude traite les phénomènes dangereux suivants :

- ✓ ***Ph1*** : effets thermiques générés par l'incendie généralisé des 2 alvéoles bois du stockage extérieur (stocks 317-318) ;
- ✓ ***Ph2*** : effets thermiques générés par l'incendie généralisé du stock de Combustibles Solides de Récupération (CSR) ;
- ✓ ***Ph3*** : effets thermiques générés par l'incendie généralisé du bâtiment Valorisation et des stockages de balles (stocks 341-342-343) ;
- ✓ ***Ph4*** : effets thermiques générés par l'incendie généralisé du local Déchets Industriel Banal (DIB) ;
- ✓ ***Ph5*** : effets toxiques des fumées de l'incendie généralisé du bâtiment Valorisation et des stockages de balles (stocks 341-342-343).

La sélection des scénarios et le recueil des données ont été réalisés par SCE à l'issue de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR).

2 PH1 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DES 2 ALVEOLES BOIS DU STOCKAGE EXTERIEUR (STOCKS 317-318)

2.1 Données d'entrée

2.1.1 Localisation de la zone de stockage

La *Figure 1* localise les 2 alvéoles bois.

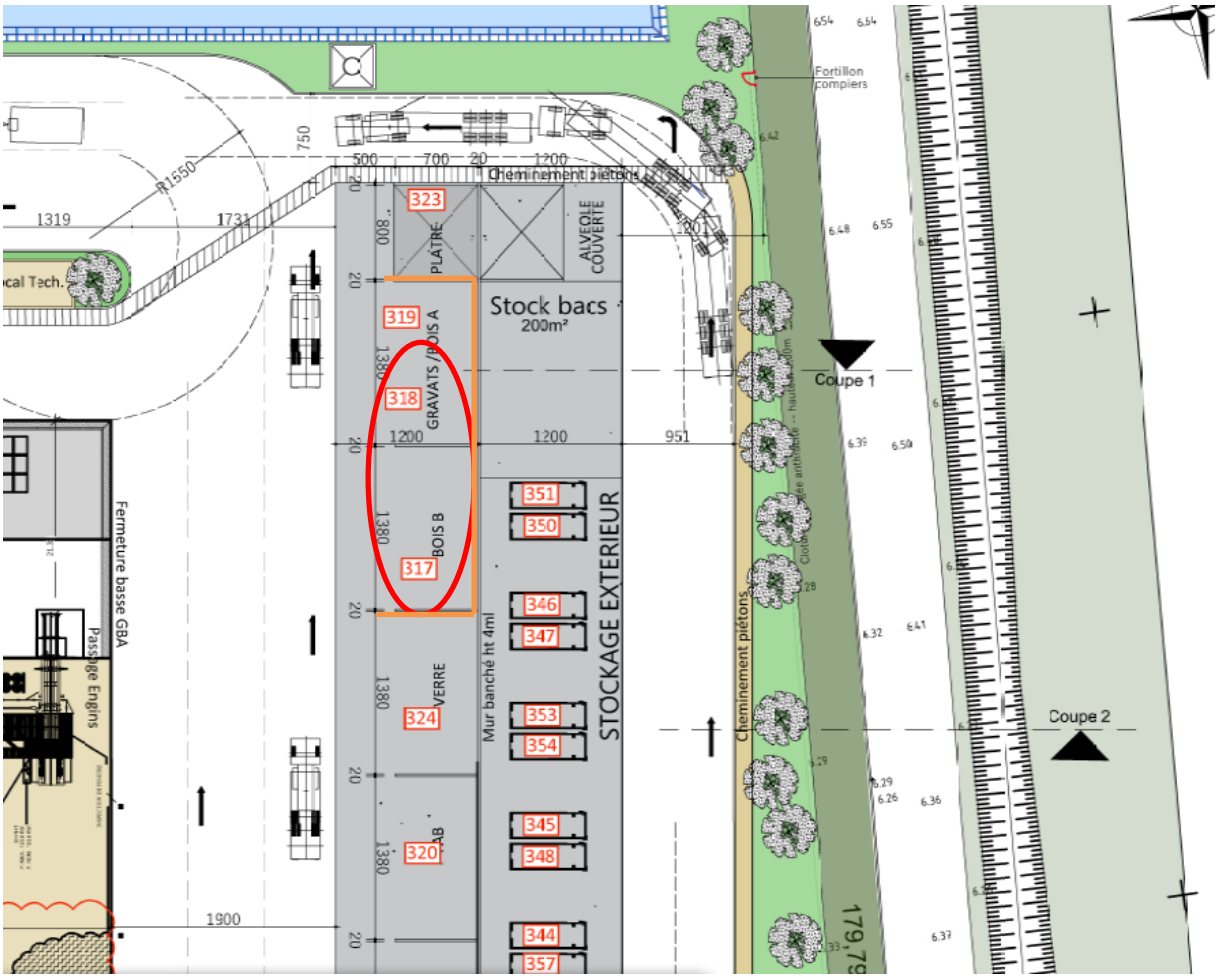


Figure 1 : vue sur les 2 alvéoles de stockage de bois (Bois B 317 et Bois A 318) entourées en rouge et les murs de délimitation des alvéoles de 4 m de hauteur (en orange)

2.1.2 Dimensions des alvéoles

- ✓ Surface : 170 m^2 environ ;
- ✓ Longueur totale : 28 m (longueur d'une alvéole : 14 m) ;
- ✓ Largeur : 12 m.

2.1.3 Caractéristiques des produits stockés

- ✓ Nature et quantité des produits stockés :
  - Alvéole 318 : bois palette type bois A – 200 m^3 / 24 tonnes (densité = 0,12 t/m^3) ;
  - Alvéole 317 : bois d'ameublement type bois B – 200 m^3 / 24 tonnes.
- ✓ Surface réelle de stockage pour chaque alvéole : 7 m × 8 soit 56 m^2 par alvéole ;
- ✓ Hauteur maximale de stockage : 3,5 m ;
- ✓ Mode de stockage : tas en vrac.

2.1.4 Environnement

2.1.4.1 Distances aux limites de propriété

Orientation	Distance entre les alvéoles et les limites de propriété les plus proches	Remarque
Nord	30 m	-
Est	25 m	-
Sud	Pas de limite de propriété à proximité	-
Ouest	Pas de limite de propriété à proximité	-

2.1.4.2 Distances aux cibles

Direction considérée	Bâtiment / Installation existante (e) considéré (e)	Distance minimum d'isolement (en m) par rapport à la zone considérée en feu
Nord	-	-
Est	-	-
Sud	-	-
Ouest	Zone de stockage de papiers sous auvent	19 m du bord de l'alvéole 24 m du stockage de bois en retrait par rapport aux bords de l'alvéole

- ✓ Présence de murs en béton d'une hauteur de 4 m sur les côtés Nord, Est et Sud.

2.2 Hypothèses de modélisation

2.2.1 Scénario retenu

Les hypothèses suivantes sont considérées :
- ✓ Incendie généralisé aux 2 alvéoles bois ;
- ✓ Absence de toute intervention ;
- ✓ Murs en béton de 4 m de hauteur non effondrés.

2.2.2 Modélisation du feu

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- ✓ Dimensions de la surface en feu : 16 m × 7 m ;
- ✓ Compte-tenu de la nature des produits susceptibles d'être stockés au sein des alvéoles considérées (bois palette de type A et bois d'ameublement de type B plus massif à quantités égales), un taux de pyrolyse moyen de 0,04 kg/m^2.s est retenu. Ce taux de pyrolyse prend en compte la présence de bois plein massif (taux de pyrolyse retenu : 0,017 kg/m^2.s) et de palettes (taux de pyrolyse retenu : 0,06 kg/m^2.s), ces valeurs de référence étant présentées dans le guide d'application de la méthode FLUMILOG [1] ;
- ✓ Sur la base de la surface en feu retenue, la hauteur de flamme de THOMAS calculée est de 13 m. Il est à noter que cette hauteur de flamme reste pénalisante au regard d'un feu de bâtiment (hauteur de flamme plafonnée à 2,5 fois la hauteur maximale de stockage pour des combustibles solides dans la méthode FLUMILOG [1]) ;
- ✓ Compte-tenu des dimensions de la surface en feu retenue, une émittance moyenne de flammes de 60 kW/m^2 est retenue (corrélation de MUDAN). Cette émittance prend en compte le gradient d'émittance du bas de la flamme (où celle-ci est de l'ordre de 120 kW/m^2) vers le haut, une flamme étant toujours plus émissive dans sa partie basse.

2.3 Flux thermiques rayonnés

2.3.1 Flux thermiques rayonnés au Nord ou au Sud

La hauteur de flamme est égale à 13 m et sa largeur à 7 m.
Les alvéoles de stockage sont délimitées par des murs en béton d'une hauteur de 4 m.
Un écran de 4 m est donc modélisé en partie basse de la flamme.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.1 (p.54)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	3 m
16 kW/m^2	5 m
8 kW/m^2	9 m
5 kW/m^2	13 m
3 kW/m^2	17 m

La limite de propriété Nord la plus proche est localisée à 30 m des alvéoles de stockage bois : le flux maximum reçu par une cible humaine à cette distance est de 1 kW/m^2.

La limite de propriété Sud est suffisamment éloignée pour que le flux thermique reçu en cette limite ne soit pas significatif.

2.3.2 Flux thermiques rayonnés à l'Est

La hauteur de flamme est égale à 13 m et sa largeur à 16 m.
Les alvéoles de stockage sont délimitées par des murs en béton d'une hauteur de 4 m.
Un écran de 4 m est donc modélisé en partie basse de la flamme.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.2 (p.55)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	7 m
16 kW/m^2	9 m
8 kW/m^2	14 m
5 kW/m^2	19 m
3 kW/m^2	25 m

La limite de propriété Est la plus proche est localisée à 25 m des alvéoles de stockage bois : le flux maximum reçu par une cible humaine à cette distance est de 3 kW/m^2.

2.3.3 Flux thermiques rayonnés à l'Ouest

La hauteur de flamme est égale à 13 m et sa largeur à 16 m.
Aucun écran ne fait obstacle à la flamme en partie basse.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.3 (p.56)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	11 m
16 kW/m^2	13 m
8 kW/m^2	19 m
5 kW/m^2	24 m
3 kW/m^2	31 m

La limite de propriété Ouest est suffisamment éloignée pour que le flux thermique reçu en cette limite ne soit pas significatif.

Le bâtiment de stockage de balles de papier sous auvent est localisé à 24 m du bord du stockage bois : le flux maximum reçu par le bâtiment est de 5 kW/m^2. A noter également que les balles de déchets sont éloignées de la façade du bâtiment, donc le flux reçu par ces stockages serait inférieur à 5 kW/m^2.

2.4 Ph1 – Synthèse

2.4.1 Tableau de synthèse

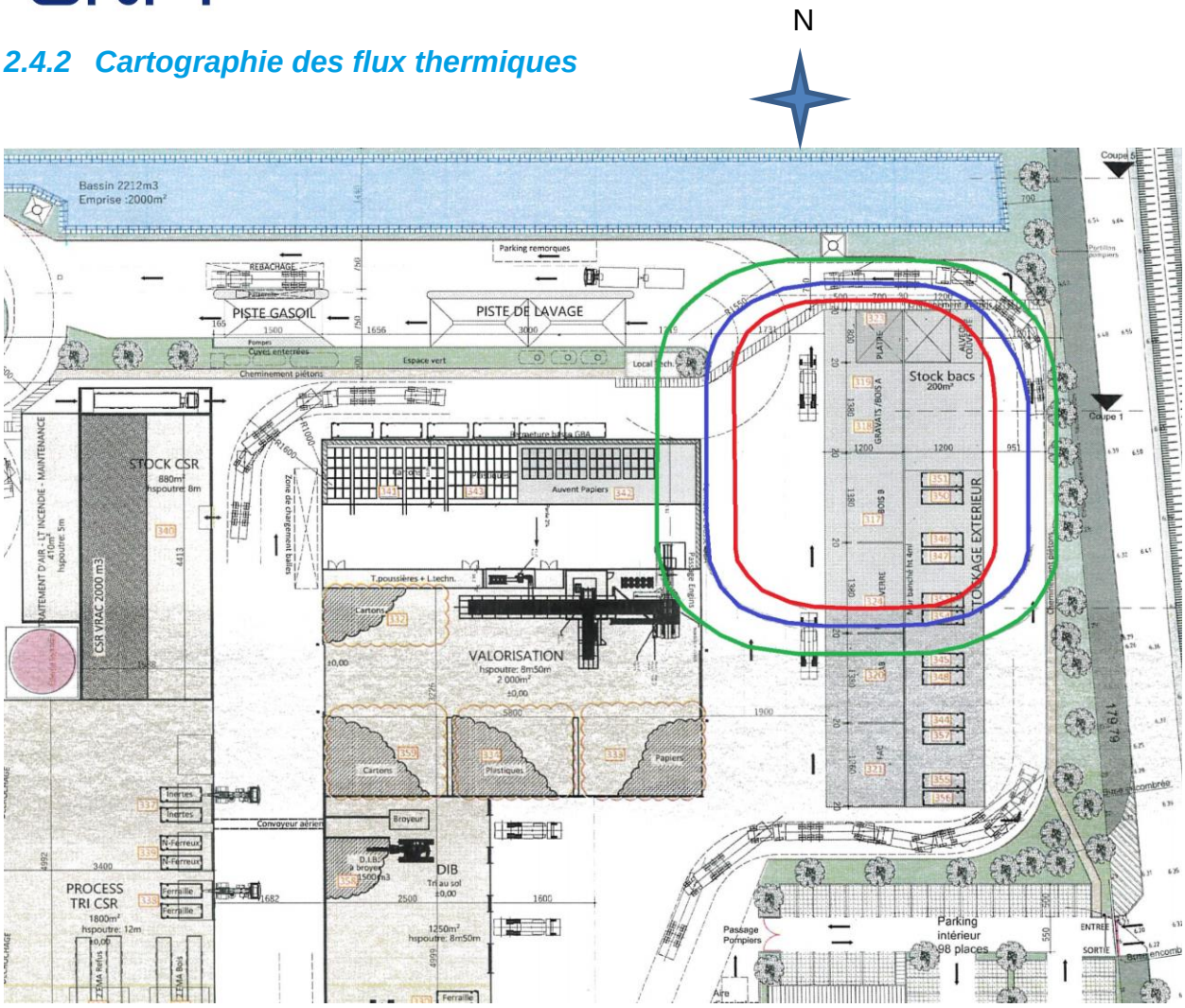
Le tableau page suivante récapitule les distances d'effets maximales dans chaque direction (distances indiquées depuis les bords de la surface considérée en feu, sur l'axe de la médiatrice de la façade considérée) pour une cible de 1,8 m :

Incendie des 2 alvéoles bois	**Nord**	**Est**	**Sud**	**Ouest**
D 8 kW/m² (m)	10 m (*)	14 m	10 m (*)	19 m
D 5 kW/m² (m)	13 m	19 m	13 m	24 m
D 3 kW/m² (m)	17 m	25 m	17 m	31 m
Limite de propriété la plus proche (m)	30 m	25 m	NS	NS
Flux $_{LP\text{-}Max}$ (kW/m²)	1 kW/m^2	3 kW/m^2	NS	NS
Remarques	-	-	-	Zone de stockage de papiers sous auvent à 24 m des bords du stockage bois. Fmax : 5 kW/m^2

NB : Fmax : flux maximum reçu par la cible identifiée
NS : non significatif
Flux$_{LP\text{-}max}$: flux maximum reçu en limite de propriété

(*) Dans l'environnement proche de la flamme, le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

2.4.2 Cartographie des flux thermiques



Ph1 : effets thermiques générés par l'incendie des alvéoles de stockage bois. Hcible=1,8 m

En rouge flux thermique à 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs
En bleu flux thermique à 5 kW/m², seuil des premiers effets létaux
En vert flux thermique à 3 kW/m², seuil des effets irréversibles

2.4.3 Conclusion

Pour ce scénario, les effets thermiques règlementaires à 8, 5 et 3 kW/m^2 restent cantonnés au sein des limites de propriété du site.
La zone de stockage de papiers sous auvent est distante à minima de 24 mètres des alvéoles bois : le flux maximum reçu par cette zone est de 5 kW/m^2. Ce flux est inférieur à 8 kW/m^2, le risque de propagation du feu par rayonnement thermique est donc écarté.

3 PH2 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU STOCK CSR

3.1 Données d'entrée

3.1.1 Localisation de la zone de stockage

La *Figure 2* localise le bâtiment de stockage de CSR dans son environnement.

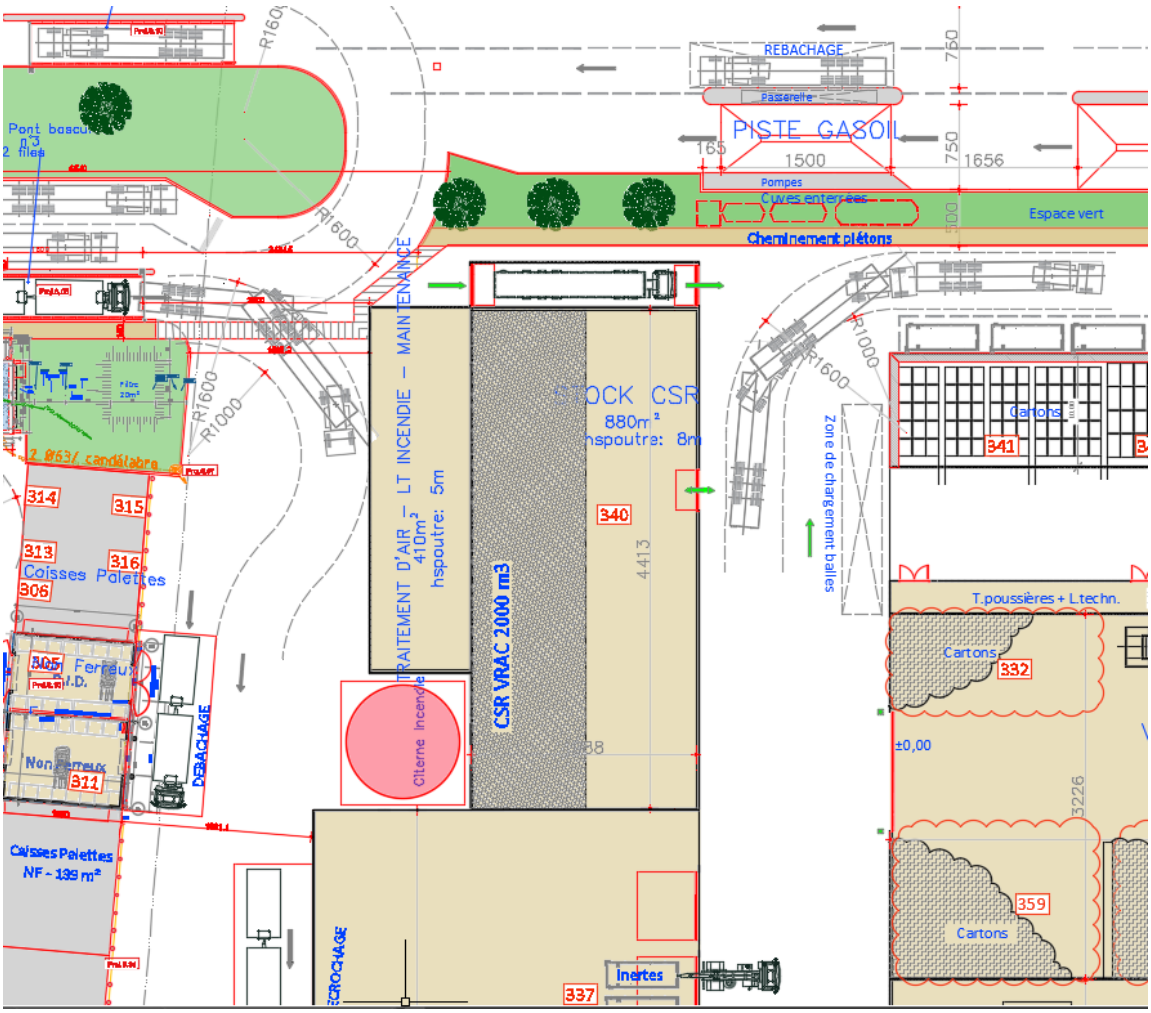


Figure 2 : vue sur le bâtiment de stockage de CSR

3.1.2 Dimensions du bâtiment

- ✓ Surface : 880 m^2 environ ;
- ✓ Longueur totale : 45 m ;
- ✓ Largeur : 20 m ;
- ✓ Hauteur : 8 m.

3.1.3 Dispositions constructives

- ✓ Structure : métallique ;
- ✓ Façades :
  - Nord, Sud, Ouest : soubassement béton sur une hauteur de 5 m surmonté par du bardage métallique ;
  - Est : bardage métallique ;
- ✓ Charpente : métallique ;
- ✓ Toiture : bacs acier.

La *Figure 3* localise l'emplacement des murs coupe-feu projetés :

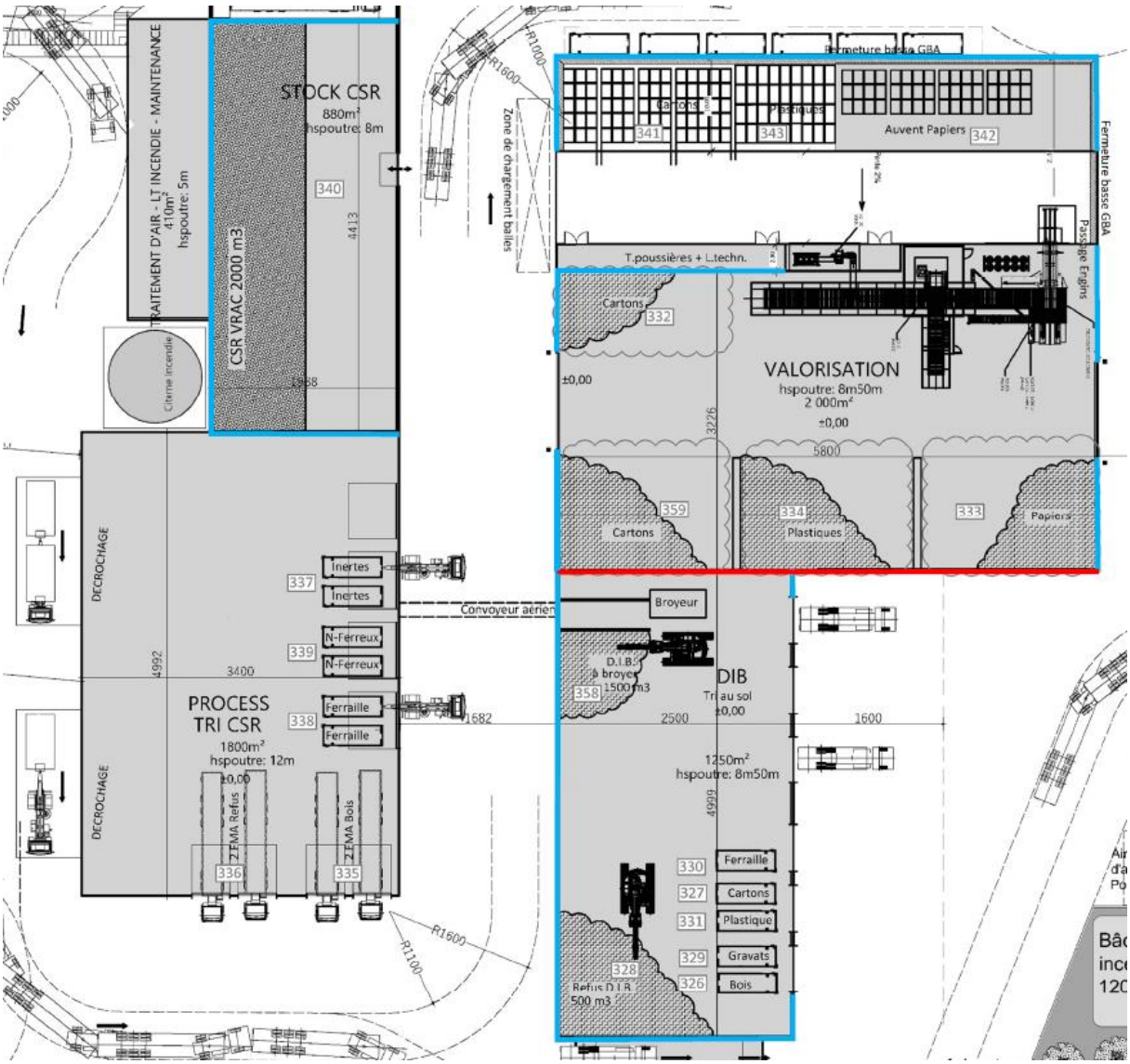


Figure 3 : vue sur l'emplacement des murs coupe-feu projetés. En bleu ! mur CF d'une hauteur de 5 m. En rouge mur CF toute hauteur

3.1.4 Caractéristiques des produits stockés

- ✓ Nature et quantité des produits stockés : CSR – 2000 m^3 / 400 tonnes (densité = 0,20 tonnes/m^3) ;
- ✓ Surface réelle de stockage : 45 m × 10 m soit 450 m^2 ;
- ✓ Hauteur maximale de stockage : 4 m ;
- ✓ Mode de stockage : tas en vrac.

3.1.5 Environnement

3.1.5.1 Distances aux limites de propriété

Orientation	Distance entre le stock CSR et les limites de propriété les plus proches	Remarque
Nord	> 40 m	-
Est	Pas de limite de propriété à proximité	-
Sud	Pas de limite de propriété à proximité	-
Ouest	Pas de limite de propriété à proximité	-

3.1.5.2 Distances aux cibles

Direction considérée	Bâtiment / Installation existante (e) considéré (e)	Distance minimum d'isolement (en m) par rapport à la zone considérée en feu
Nord	-	-
Est	Bâtiment Valorisation / Hcible = 8 m Stockage de balles cartons / Hcible = 3,3 m	17 m 27 m de la zone de stockage de CSR en retrait par rapport à la façade du bâtiment CSR
Sud	Bâtiment process Tri CSR	Accolé au bâtiment CSR
Ouest	Citerne incendie. Hauteur cible = 7 m	Accolée au bâtiment CSR

3.2 3.Hypothèses de modélisation

3.2.1 Scénario retenu

Les hypothèses suivantes sont considérées :

- ✓ Incendie généralisé du stock CSR ;
- ✓ Absence de toute intervention ;
- ✓ Bardages métalliques et toiture effondrée ;
- ✓ Soubassement béton de 5 m de hauteur non effondré.

3.2.2 Modélisation du feu

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- ✓ Dimensions de la surface en feu : 45 m × 10 m ;
- ✓ Compte-tenu de la nature des produits stockés (Combustible Solide de Récupération, préparé à partir de déchets combustibles divers dont bois, textiles, plastiques variés,

mousses, polystyrène, cartons, papiers, etc.), un taux de pyrolyse pénalisant de 0,03 kg/m^2.s est retenu ;

- ✓ Sur la base de la surface en feu retenue, la hauteur de flamme de THOMAS calculée est de 15 m. Compte tenu des dispositions constructives du bâtiment (dispositions influant sur la ventilation du foyer et donc la hauteur de flamme), on retient une hauteur de flamme réduite à 12 m ;
- ✓ Compte-tenu des dimensions de la surface en feu retenue, une émittance moyenne de flammes de 40 kW/m^2 est retenue (corrélation de MUDAN).

3.3 Flux thermiques rayonnés

3.3.1 Flux thermiques rayonnés au Nord ou au Sud

La hauteur de flamme est égale à 12 m et sa largeur à 10 m.
Les façades Nord et Sud du bâtiment CSR sont constituées d'un soubassement béton de 5 m de hauteur surmonté par du bardage métallique. Dans le cadre d'hypothèses pénalisantes, le bardage métallique est considéré comme intégralement effondré. Un écran sur une hauteur de 5 m est modélisé en partie basse des flammes.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.4 (p.57)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	Non atteint
16 kW/m^2	Non atteint
8 kW/m^2	6 m
5 kW/m^2	9 m
3 kW/m^2	13 m

La limite de propriété Nord la plus proche est localisée à une distance supérieure à 40 m du bâtiment CSR : le flux maximum reçu par une cible à cette distance est inférieur à 1 kW/m^2.

La limite de propriété Sud est suffisamment éloignée pour que le flux thermique reçu en cette limite ne soit pas significatif.

Au Sud du bâtiment CSR est accolé le bâtiment Tri Process CSR. Compte-tenu de l'absence de recoupement coupe-feu toute hauteur entre les 2 bâtiments, on ne peut exclure le risque de propagation du feu d'un bâtiment à l'autre, notamment par les fumées chaudes qui pourraient endommager voire détruire les machines susceptibles d'être présentes.

3.3.2 Flux thermiques rayonnés à l'Est

La hauteur de flamme est égale à 12 m et sa largeur à 45 m.
La façade Est du bâtiment CSR est constituée de bardage métallique sur l'ensemble de sa hauteur. Dans le cadre d'hypothèses pénalisantes aucun écran n'est considéré comme faisant obstacle à la flamme en partie basse.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.5 (p.58)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	9 m
16 kW/m^2	11 m
8 kW/m^2	19 m
5 kW/m^2	27 m
3 kW/m^2	36 m

La limite de propriété Est est suffisamment éloignée pour que le flux thermique reçu en cette limite ne soit pas significatif.

Le bâtiment abritant la Valorisation et le stockage de balles est localisé à 27 m de la zone de stockage de CSR. Le flux maximum reçu par ce bâtiment est de 5 kW/m^2.

3.3.3 Flux thermiques rayonnés à l'Ouest

La hauteur de flamme est égale à 12 m et sa largeur à 45 m.
La façade Ouest du bâtiment CSR est constituée d'un soubassement béton de 5 m de hauteur surmonté par du bardage métallique. Un écran sur une hauteur de 5 m est modélisé en partie basse des flammes.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.6 (p.59)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	Non atteint
16 kW/m^2	Non atteint
8 kW/m^2	11 m
5 kW/m^2	19 m
3 kW/m^2	27 m

La limite de propriété Ouest est suffisamment éloignée pour que le flux thermique reçu en cette limite ne soit pas significatif. La citerne incendie est accolée au bâtiment CSR : en cas d'incendie, et compte tenu de sa hauteur (7 m) le flux maximum reçu par la citerne est de 60 kW/m^2.

3.4 Ph2 – Synthèse

3.4.1 Tableau de synthèse

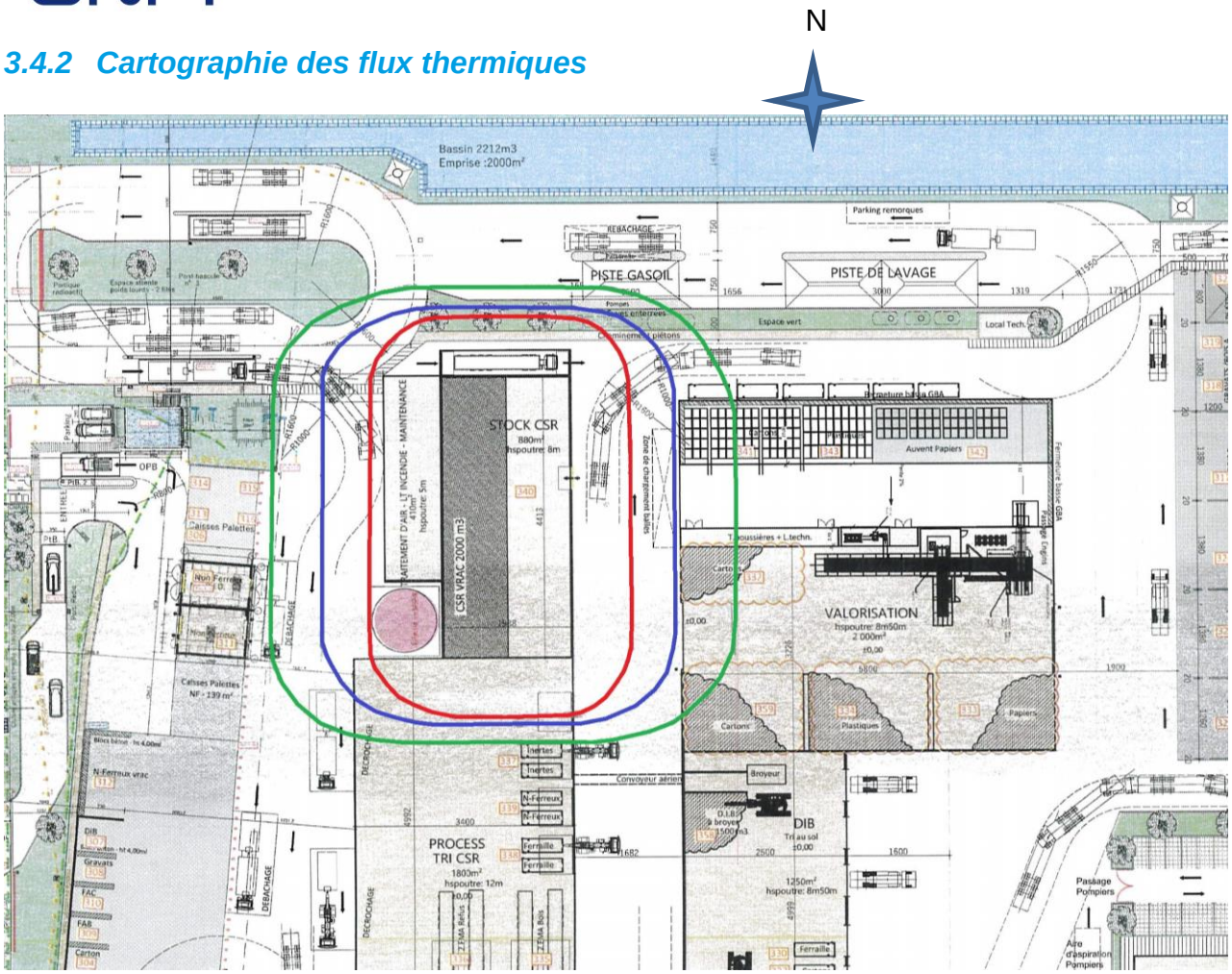
Le tableau page suivante récapitule les distances d'effets maximales dans chaque direction (distances indiquées depuis les bords de la surface considérée en feu, sur l'axe de la médiatrice de la façade considérée) pour une cible de 1,8 m :

Incendie du stock CSR	**Nord**	**Est**	**Sud**	**Ouest**
D 8 kW/m² (m)	10 m (*)	19 m	10 m (*)	11 m
D 5 kW/m² (m)	10 m (*)	27 m	10 m (*)	19 m
D 3 kW/m² (m)	13 m	36 m	13 m	27 m
Limite de propriété la plus proche (m)	> 40 m	NS	NS	NS
Flux $_{LP\text{-}Max}$ (kW/m²)	< 1 kW/m²	NS	NS	NS
Remarques	-	Bâtiment Valorisation et stockage balles à 27 m de la zone de stock CSR. Fmax : 5 kW/m²	Bâtiment Tri Process CSR accolé. Risque de propagation du feu non écarté en l'absence de recoupement coupe-feu	Citerne incendie accolée au bâtiment CSR. Fmax : 60 kW/m². Risque de détérioration de la cuve non exclu.

NB : Fmax : flux maximum reçu par la cible identifiée
NS : non significatif
$Flux_{LP\text{-}max}$: flux maximum reçu en limite de propriété

(*) Dans l'environnement proche de la flamme, le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

3.4.2 Cartographie des flux thermiques



Ph2 : effets thermiques générés par l'incendie du stock CSR. Hcible=1,8 m

En rouge flux thermique à 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs
En bleu flux thermique à 5 kW/m², seuil des premiers effets létaux
En vert flux thermique à 3 kW/m², seuil des effets irréversibles

3.4.3 Conclusion

Pour ce scénario, les effets thermiques réglementaires à 8, 5 et 3 kWm^2 restent cantonnés au sein des limites de propriété du site.
En l'absence de recoupement coupe-feu entre le bâtiment CSR et le bâtiment Tri Process CSR on ne peut exclure le risque de propagation du feu d'un bâtiment à l'autre, notamment par les fumées chaudes qui pourraient endommager voire détruire les installations/machines potentiellement présentes.
Le bâtiment Valorisation et le stockage de balles sont localisés à 27 m de la zone de stockage CSR : le flux maximum reçu par ces installations est de 5 kW/m^2. Le risque de propagation du feu par rayonnement thermique (effet domino) est donc écarté.
La citerne incendie est accolée au bâtiment CSR à l'Ouest : en cas de départ de feu non maîtrisé au sein du stock CSR, le flux maximum reçu par la citerne est de 60 kW/m^2 compte-tenu de sa hauteur et de son positionnement. Le risque de détérioration de la cuve n'est donc pas exclu.

4 PH3 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU BATIMENT VALORISATION ET DES STOCKAGES DE BALLES (STOCKS 341-342-343)

4.1 Données d'entrée

4.1.1 Localisation de la zone de stockage

La *Figure 4* localise le bâtiment Valorisation dans son environnement, et le stockage de balles au Nord du bâtiment Valorisation. Les 2 zones sont espacées d'une allée de 1 mètres.

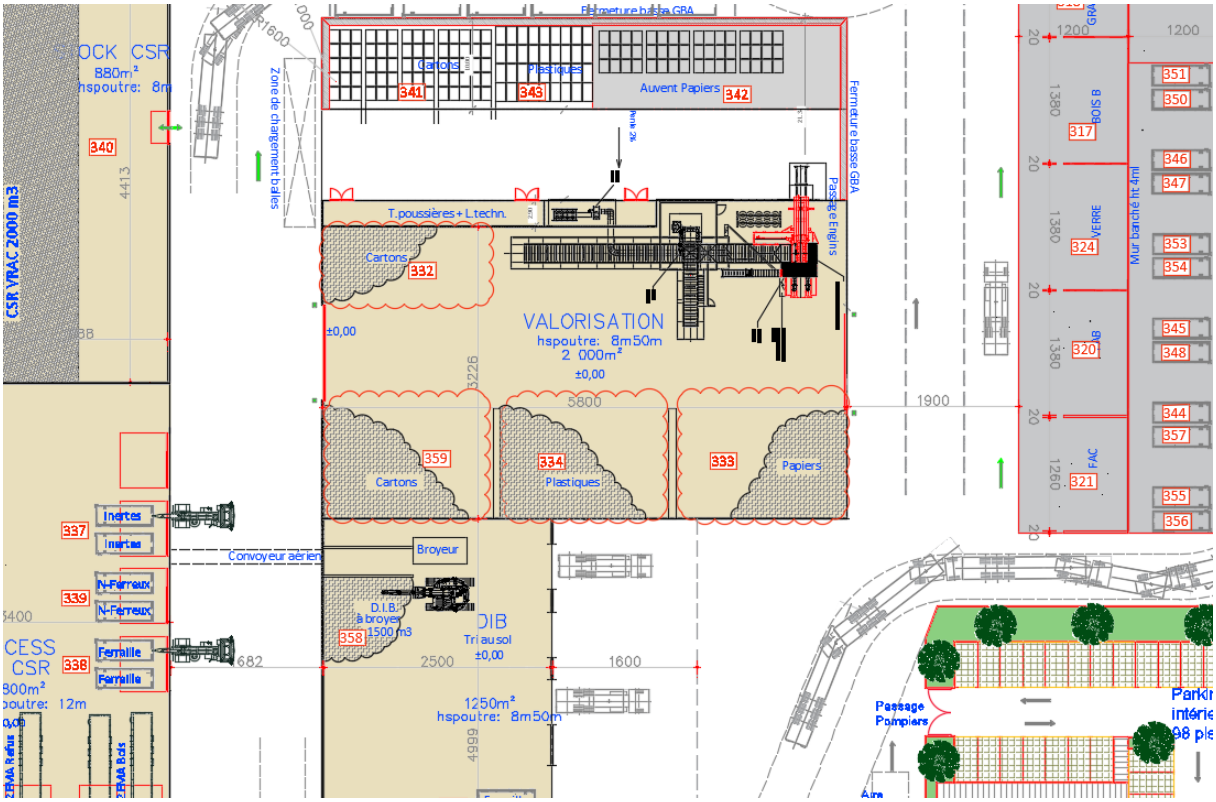


Figure 4 : vue sur le bâtiment Valorisation et le stockage de balles

4.1.2 Dimensions

4.1.2.1 Dimensions du bâtiment Valorisation

- ✓ Surface : 2000 m² environ ;
- ✓ Longueur totale : 58 m ;
- ✓ Largeur : 35 m ;
- ✓ Hauteur : 8 m.

4.1.2.2 Dimensions du stockage balles

- ✓ Surface : 580 m² environ ;

- ✓ Longueur totale : 58 m ;
- ✓ Largeur : 10 m.

4.1.3 Dispositions constructives

- ✓ Structure : métallique ;
- ✓ Façades :
  - Nord, Est et Ouest : soubassement béton sur une hauteur de 5 m surmonté par du bardage métallique au droit des stockages. Présence d'ouvertures ;
  - Sud : mur REI120 toute hauteur entre le bâtiment Valorisation et le local de stockage de DIB ;
- ✓ Charpente : métallique ;
- ✓ Toiture : bacs acier.

4.1.4 Caractéristiques des produits stockés

Alvéole	Nature des produits stockés	Volume	Longueur	Largeur	Hauteur de stockage	Surface de stockage	Densité	Quantité
332	Carton	300 m^3	10 m	9 m	3,5 m	86 m^2	0,07 t/m^3	21 t
359	Carton	600 m^3						
334	Plastiques	450 m^3	18 m	7 m	3,5 m	129 m^2	0,03 t/m^3	13,5 t
333	Papier	420 m^3	17 m	7 m	3,5 m	120 m^2	0,33 t/m^3	140 t
341	Balles Carton	600 m^3	18 m	10 m	3,3 m	182 m^2	0,50 t/m^3	300 t
342	Balles Papier	500 m^3	15 m	10 m	3,3 m	152 m^2	0,50 t/m^3	250 t
343	Balles Plastiques	400 m^3	12 m	10 m	3,3 m	121 m^2	0,47 t/m^3	188 t

- ✓ Mode de stockage : tas en vrac ou balles de déchets.

4.1.5 Environnement

4.1.5.1 Distances aux limites de propriété

Orientation	Distance entre le bâtiment Valorisation/stockage de balles et les limites de propriété les plus proches	Remarque
Nord	> 45 m	-
Est	Pas de limite de propriété à proximité	-
Sud	Pas de limite de propriété à proximité	Mur REI120 entre le bâtiment Valorisation et le local de stockage de DIB
Ouest	Pas de limite de propriété à proximité	-

4.1.5.2 Distances aux cibles

Direction considérée	Bâtiment / Installation existante (e) considéré (e)	Distance minimum d'isolement (en m) par rapport à la zone considérée en feu
Nord	-	-
Est	Alvéoles de stockage de déchets combustibles / Hcible = 3,5 m	19 m 24 m pour les stockages réels de bois
Sud	-	-
Ouest	Bâtiment CSR / Hcible = 8 m	17 m

4.2 Hypothèses de modélisation

4.2.1 Scénario retenu

Les hypothèses suivantes sont considérées :

- ✓ Incendie généralisé au bâtiment Valorisation et au stockage de balles de déchets au Nord : toutes les zones de stockage de matières combustibles sont considérées en feu simultanément ;
- ✓ Absence de toute intervention ;
- ✓ Bardages métalliques et toiture effondrée ;
- ✓ Soubassement béton de 5 m de hauteur non effondré ;
- ✓ Mur REI120 non effondré.

4.2.2 Modélisation du feu

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- ✓ La surface maximale d'occupation des déchets au sol est de l'ordre de 1000 m^2, ce qui représente moins de 50% de la surface totale du bâtiment/auvent. Pour la détermination des caractéristiques du feu, on retient une surface en feu fictive de dimensions 32 m × 32 m qui découlerait d'une hypothèse pénalisante que l'ensemble des combustibles seraient regroupés en un seul et même espace ;
- ✓ Compte-tenu de la nature des produits stockés (DIB) et du mode principal de stockage (vrac), un taux de pyrolyse pénalisant de 0,02 kg/m^2.s est retenu ;
- ✓ Sur la base de la surface en feu retenue, la hauteur de flamme de THOMAS calculée est de 19 m. Compte tenu des dispositions constructives du bâtiment (dispositions influant sur la ventilation du foyer et donc la hauteur de flamme), on retient une hauteur de flamme réduite à 16 m. Cette hauteur de flamme est appliquée à l'ensemble de la surface du bâtiment ;
- ✓ Compte-tenu des dimensions de la surface en feu retenue, une émittance moyenne de flammes de 25 kW/m^2 est retenue (corrélation de MUDAN).

4.3 Flux thermiques rayonnés

4.3.1 Flux thermiques rayonnés au Nord

La hauteur de flamme est égale à 16 m et sa largeur à 58 m.

La zone de stockage de balles est bordée par un mur de 5 m de hauteur. Un écran sur une hauteur de 5 m est modélisé en partie basse des flammes.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.7 (p.60)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m²	Non atteint
16 kW/m²	Non atteint
8 kW/m²	9 m
5 kW/m²	17 m
3 kW/m²	26 m

La limite de propriété Nord la plus proche est localisée à plus de 45 m. Le flux maximum reçu par une cible humaine à cette distance est de 1,5 kW/m².
NB : en l'absence de soubassement béton au Nord, aucun écran ne serait considéré comme faisant obstacle à la flamme et les zones d'effets à 20, 16, 8, 5 et 3 kW/m² seraient respectivement atteintes à 7, 9, 17, 24 et 35 m. Les zones d'effets réglementaires resteraient également contenues au sein des limites du site.

4.3.2 Flux thermiques rayonnés à l'Est ou à l'Ouest

La hauteur de flamme est égale à 16 m et sa largeur à 45 m (somme des largeurs du bâtiment Valorisation et de la zone de stockage balles).
Les façades Est et Ouest sont constituées de soubassement béton sur une hauteur de 5 m surmonté par du bardage métallique. Un écran sur une hauteur de 5 m est donc modélisé en partie basse des flammes. Il y a bien présence d'ouvertures mais il n'y a pas de stockage localisé au droit des ouvertures.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.8 (p.61)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m²	Non atteint
16 kW/m²	Non atteint
8 kW/m²	9 m
5 kW/m²	16 m
3 kW/m²	24 m

Les limites de propriété Est et Ouest sont suffisamment éloignées pour les flux thermiques reçus en ces limites ne soient pas significatifs.
Le bâtiment CSR est localisé à l'Ouest à 17 m. Le flux maximum reçu par ce bâtiment est de 5,5 kW/m².

Les alvéoles de stockage de bois sont localisées à 19 m à minima : le flux maximum reçu est de 4 kW/m^2.

4.3.3 Flux thermiques rayonnés au Sud

Un mur coupe-feu REI120 sépare le bâtiment Valorisation du local DIB. Il n'y a donc pas de flux thermique généré au sol à l'extérieur du bâtiment dans cette direction.

4.4 Ph3 – Synthèse

4.4.1 Tableau de synthèse

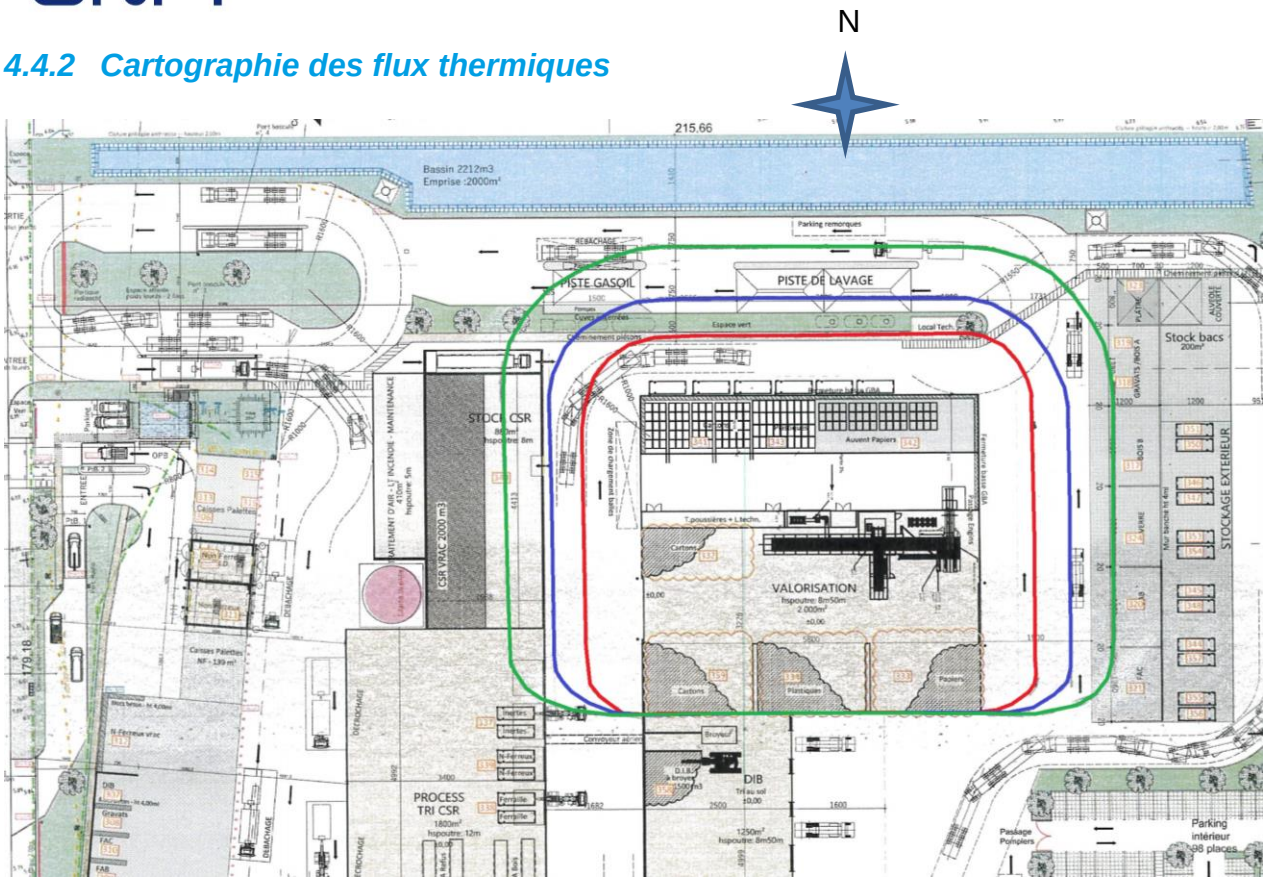
Le tableau page suivante récapitule les distances d'effets maximales dans chaque direction (distances indiquées depuis les bords de la surface considérée en feu, sur l'axe de la médiatrice de la façade considérée) pour une cible de 1,8 m :

Incendie généralisé du bâtiment Valorisation et stockage de balles de déchets	**Nord**	**Est**	**Sud**	**Ouest**
D 8 kW/m² (m)	10 m (*)	10 m (*)	-	10 m (*)
D 5 kW/m² (m)	17 m	16 m	-	16 m
D 3 kW/m² (m)	26 m	24 m	-	24 m
Limite de propriété la plus proche (m)	> 45 m	NS	-	NS
Flux $_{LP\text{-}Max}$ (kW/m²)	1,5 kW/m^2	NS	-	NS
Remarques	-	Alvéoles de stockage de bois à 19 m. Fmax : 4 kW/m^2	Mur REI120 entre le bâtiment Valorisation et le local DIB. Pas de flux thermique rayonné au niveau du sol à l'extérieur du bâtiment.	Bâtiment CSR à 17 m. Fmax : 5,5 kW/m^2

NB : Fmax : flux maximum reçu par la cible identifiée
NS : non significatif
Flux$_{LP\text{-}max}$: flux maximum reçu en limite de propriété

(*) Dans l'environnement proche de la flamme, le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

4.4.2 Cartographie des flux thermiques



Ph3 : effets thermiques générés par l'incendie généralisé du bâtiment Valorisation et du stockage de balles au Nord. Hcible=1,8 m

En rouge flux thermique à 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs
En bleu flux thermique à 5 kW/m², seuil des premiers effets létaux
En vert flux thermique à 3 kW/m², seuil des effets irréversibles

4.4.3 Conclusion

Pour ce scénario, les effets thermiques réglementaires à 8, 5 et 3 kWm^2 restent cantonnés au sein des limites de propriété du site.
Le bâtiment CSR est localisé au plus proche à 17 m du bâtiment Valorisation : compte-tenu du niveau de flux thermique reçu (inférieur à 8 kW/m^2), le risque de propagation du feu est écarté.
Les alvéoles de stockage de bois sont localisées au plus proche à 19 m : elles reçoivent un flux maximum de 4 kW/m^2. Le risque d'effet domino est également écarté.
.

5 PH4 : EFFETS THERMIQUES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU LOCAL DIB

5.1 Données d'entrée

5.1.1 Localisation de la zone de stockage

La *Figure 5* localise le local DIB dans son environnement.

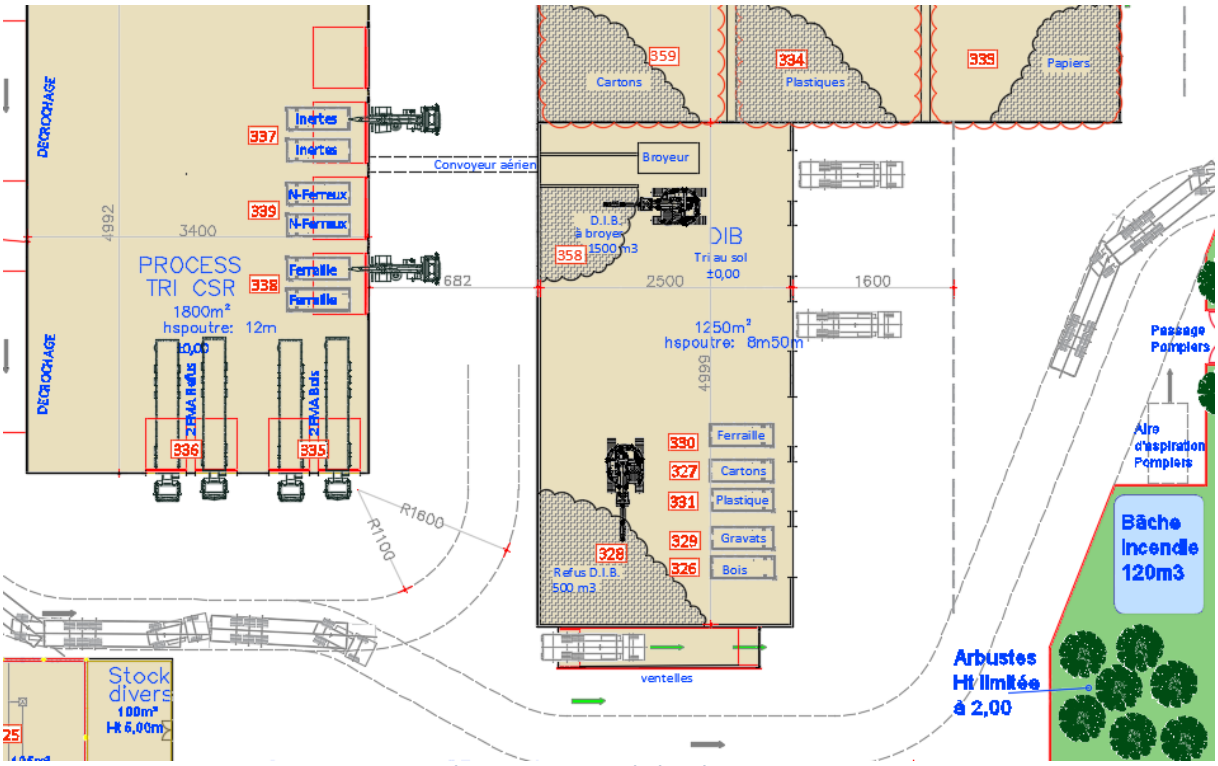


Figure 5 : vue sur le local DIB

5.1.2 Dimensions du bâtiment

- ✓ Surface : 1250 m^2 environ ;
- ✓ Longueur totale : 50 m ;
- ✓ Largeur : 25 m ;
- ✓ Hauteur : 8 m.

5.1.3 Dispositions constructives

- ✓ Structure : métallique ;
- ✓ Façades :
  - Nord : mur REI120 toute hauteur entre le bâtiment Valorisation et le local de stockage de DIB ;
  - Est : bardage métallique. Nombreuses ouvertures ;

- Sud et Ouest : soubassement béton sur une hauteur de 5 m surmonté par du bardage métallique au droit des stockages.

✓ Charpente : métallique ;
✓ Toiture : bacs acier.

5.1.4 Caractéristiques des produits stockés

Alvéole	Nature des produits stockés	Volume	Longueur	Largeur	Hauteur de stockage	Surface de stockage	Densité	Quantité
358	DIB à broyer	1500 m^3	24 m	14 m	4,5 m	333 m^2	0,15 t /m^3	225 t
328	DIB refus	500 m^3	13 m	11 m	3,5 m	143 m^2	0,15 t /m^3	75 t
327	Carton	Benne 30m^3	6 m	3 m	2 m	15 m^2	0,06 t/m^3	1,8 t
331	Plastiques	Benne 30m^3	6 m	3 m	2 m	15 m^2	0,03 t/m^3	0,9 t
326	Bois	Benne 30m^3	6 m	3 m	2 m	15 m^2	0,10 t / m^3	3 t

5.1.5 Environnement

5.1.5.1 Distances aux limites de propriété

Orientation	Distance entre le local DIB et les limites de propriété les plus proches	Remarque
Nord	Pas de limite de propriété à proximité	Mur REI120 entre le bâtiment Valorisation et le local de stockage de DIB
Est	Pas de limite de propriété à proximité	-
Sud	26 m	-
Ouest	Pas de limite de propriété à proximité	-

5.1.5.2 Distances aux cibles

Direction considérée	Bâtiment / Installation existante (e) considéré (e)	Distance minimum d'isolement (en m) par rapport à la zone considérée en feu
Nord	-	-
Est	-	-
Sud	-	-
Ouest	Bâtiment Process Tri CSR / Hcible = 12 m	17 m

5.1 Hypothèses de modélisation

5.1.1 Scénario retenu

Les hypothèses suivantes sont considérées :

✓ Incendie généralisé au local DIB ;
✓ Absence de toute intervention ;
✓ Bardages métalliques et toiture effondrée ;
✓ Soubassement béton de 5 m de hauteur non effondré ;
✓ Mur REI120 non effondré.

5.1.2 Modélisation du feu

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- ✓ La surface maximale de stockage des déchets au sol est de l'ordre de 500 m^2, ce qui représente moins de 50% de la surface totale du bâtiment. Pour la détermination des caractéristiques du feu, on retient une surface en feu fictive de dimensions 30 m × 30 m qui découlerait d'une hypothèse pénalisante que l'ensemble des combustibles seraient regroupés en un seul et même espace englobant également les zones de tri au sol) ;
- ✓ Compte-tenu de la nature des produits stockés (DIB), un taux de pyrolyse pénalisant de 0,02 kg/m^2.s est retenu ;
- ✓ Sur la base de la surface en feu retenue, la hauteur de flamme de THOMAS calculée est de 18 m. Compte tenu des dispositions constructives du bâtiment (dispositions influant sur la ventilation du foyer et donc la hauteur de flamme), on retient une hauteur de flamme réduite à 14 m. Cette hauteur de flamme est appliquée à l'ensemble de la surface du bâtiment ;
- ✓ Compte-tenu des dimensions de la surface en feu retenue, une émittance moyenne de flammes de 25 kW/m^2 est retenue (corrélation de MUDAN).

5.2 Flux thermiques rayonnés

5.2.1 Flux thermiques rayonnés au Nord

Un mur coupe-feu REI120 sépare le bâtiment Valorisation du local DIB. Il n'y a donc pas de flux thermique généré au sol à l'extérieur du bâtiment dans cette direction.

5.2.2 Flux thermiques rayonnés à l'Est

La hauteur de flamme est égale à 14 m et sa largeur à 50 m.
La façade Est du local DIB est constituée de bardage métallique sur l'ensemble de sa hauteur. Sont également présentes de nombreuses ouvertures. Dans le cadre d'hypothèses pénalisantes aucun écran n'est considéré comme faisant obstacle à la flamme en partie basse.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.9 (p.62)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	6 m
16 kW/m^2	8 m
8 kW/m^2	15 m
5 kW/m^2	22 m
3 kW/m^2	31 m

La limite de propriété Est est suffisamment éloignée pour que le flux thermique reçu à cette distance ne soit pas significatif.

5.2.3 Flux thermiques rayonnés au Sud

La hauteur de flamme est égale à 14 m et sa largeur à 25 m.
La façade Sud du local DIB est constituée de soubassement béton sur une hauteur de 5 m surmonté par du bardage métallique. Un écran sur une hauteur de 5 m est donc modélisé en partie basse des flammes.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.10 (p.63)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	Non atteint
16 kW/m^2	Non atteint
8 kW/m^2	6 m
5 kW/m^2	12 m
3 kW/m^2	18 m

La limite de propriété Sud la plus proche est localisée à 26 m. Le flux maximum reçu par une cible humaine à cette distance est de 2 kW/m^2.

5.2.4 Flux thermiques rayonnés à l'Ouest

La hauteur de flamme est égale à 14 m et sa largeur à 50 m.
La façade Ouest du local DIB est constituée de soubassement béton sur une hauteur de 5 m surmonté par du bardage métallique. Un écran sur une hauteur de 5 m est donc modélisé en partie basse des flammes.
Pour une cible de la taille d'une personne (1,8 m de hauteur), le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en *Annexe 2.11 (p.64)*. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m^2	Non atteint
16 kW/m^2	Non atteint
8 kW/m^2	7 m
5 kW/m^2	14 m
3 kW/m^2	22 m

La limite de propriété Ouest est suffisamment éloignée pour que le flux thermique reçu à cette distance ne soit pas significatif. Le bâtiment tri Process CSR est localisé à 17 m : le flux maximum reçu par ce bâtiment est de 5 kW/m^2.

5.3 Ph4 – Synthèse

5.3.1 Tableau de synthèse

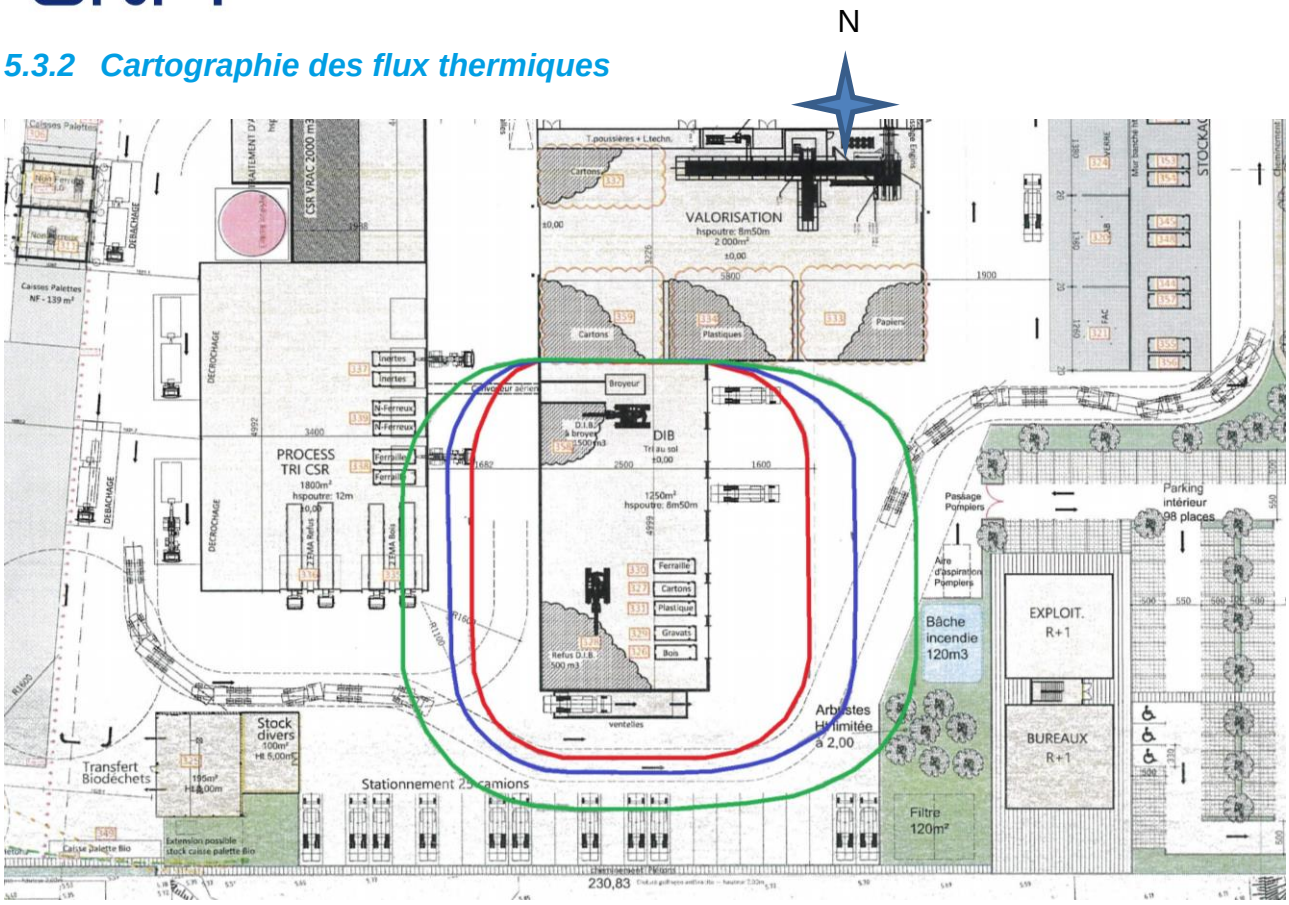
Le tableau page suivante récapitule les distances d'effets maximales dans chaque direction (distances indiquées depuis les bords de la surface considérée en feu, sur l'axe de la médiatrice de la façade considérée) pour une cible de 1,8 m :

Incendie du local DIB	**Nord**	**Est**	**Sud**	**Ouest**
D 8 kW/m² (m)	-	15 m	10 m (*)	10 m (*)
D 5 kW/m² (m)	-	22 m	12 m	14 m
D 3 kW/m² (m)	-	31 m	18 m	22 m
Limite de propriété la plus proche (m)	-	NS	26 m	NS
Flux $_{LP\text{-}Max}$ (kW/m²)	-	NS	2 kW/m²	NS
Remarques	Mur REI120 entre le bâtiment Valorisation et le local DIB. Pas de flux thermique rayonné au niveau du sol à l'extérieur du bâtiment.	-	-	Bâtiment Tri Process CSR à 17 m. Fmax : 5 kW/m².

NB : Fmax : flux maximum reçu par la cible identifiée
NS : non significatif
$Flux_{LP\text{-}max}$: flux maximum reçu en limite de propriété

(*) Dans l'environnement proche de la flamme, le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

5.3.2 Cartographie des flux thermiques



Ph4 : effets thermiques générés par l'incendie du local DIB. Hcible=1,8 m

En rouge flux thermique à 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs
En bleu flux thermique à 5 kW/m², seuil des premiers effets létaux
En vert flux thermique à 3 kW/m², seuil des effets irréversibles

5.3.3 Conclusion

Pour ce scénario, les effets thermiques réglementaires à 8, 5 et 3 kWm^2 restent cantonnés au sein des limites de propriété du site.
Le bâtiment Tri Process est localisé à l'Ouest au plus proche à 17 m. Le flux maximum reçu par ce bâtiment est de 5 kW/m^2. Le risque d'effet domino est donc écarté.
.

6 PH5 : EFFETS TOXIQUES DES FUMEES GENERES PAR L'INCENDIE GENERALISE DU BATIMENT VALORISATION ET DES STOCKAGES DE BALLES (STOCKS 341-342-343)

6.1 Données d'entrées

Identiques à celles présentées au paraphe **4.1**.

Pour rappel les caractéristiques des produits stockés sont les suivantes :

Alvéole	Nature des produits stockés	Volume	Longueur	Largeur	Hauteur de stockage	Surface de stockage	Densité	Quantité
332	Carton	300 m^3	10 m	9 m	3,5 m	86 m^2	0,07 t/m^3	21 t
359	Carton	600 m^3						
334	Plastiques	450 m^3	18 m	7 m	3,5 m	129 m^2	0,03 t/m^3	13,5 t
333	Papier	420 m^3	17 m	7 m	3,5 m	120 m^2	0,33 t/m^3	140 t
341	Balles Carton	600 m^3	18 m	10 m	3,3 m	182 m^2	0,50 t/m^3	300 t
342	Balles Papier	500 m^3	15 m	10 m	3,3 m	152 m^2	0,50 t/m^3	250 t
343	Balles Plastiques	400 m^3	12 m	10 m	3,3 m	121 m^2	0,47 t/m^3	188 t

6.2 Hypothèses de modélisation

6.2.1 Calcul de la puissance du foyer

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- ✓ La surface de la zone en feu considérée est égale à 1000 m^2, surface constituée par le cumul de l'ensemble des surfaces de stockage de matières combustibles ;
- ✓ La puissance de l'incendie est calculée avec :
  - Un taux de pyrolyse représentatif de la nature des produits susceptibles d'être présents sur les zones de stockage de 0,02 $kg/m^2.s$ (cf. § 4.2.2)
  - Un pouvoir calorifique inférieur de 25 MJ/kg, représentatif de la combustion des produits stockés (sur la base d'un PCI de 17MJ/kg pour les produits de type carton/papier et 40 MJ/kg pour les matières plastiques) ;
  - Un rendement de combustion d'environ 85 % ;

Dans le cadre de ces hypothèses, la puissance du feu à son paroxysme devrait atteindre environ 425 MW.

6.2.2 Taux de production caractéristiques de la combustion des produits

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- ✓ Les produits stockés au sein du bâtiment (en vrac ou en balles) sont essentiellement des matières plastiques diverses ainsi que des papiers/cartons ;
- ✓ Les plastiques habituels dégagent en brûlant, outre du CO_2 et de la vapeur d'eau, des suies, du CO et des imbrûlés[1] (molécules organiques plus ou moins complexes et

[1] Les substances organiques produisent dans le processus de pyrolyse et de combustion de très nombreux et divers imbrûlés organiques (molécules plus ou moins complexes et stables). Au niveau quantitatif, la production en imbrûlés est généralement exprimée en équivalent toluène. De même leur toxicité aiguë par inhalation est déterminée en se basant sur celle du toluène.

dégradées). Les taux de production en polluants mesurés pour les plastiques sont de l'ordre de 150 g de suies produites par kg de plastique brûlé, 75 g/kg pour le CO et les imbrûlés (référence : essais feu CNPP). Ces taux de production en substances potentiellement polluantes sont pénalisants au regard de ceux qui seraient dégagés par les autres matières stockées.

6.2.3 Calcul du débit de rejet pour chaque polluant

Le débit de rejet des substances polluantes dans l'atmosphère est conditionné par le taux de production au sol des différents polluants ainsi que la puissance du feu.
Les taux de production en substances polluantes présentés dans le tableau suivant sont représentatifs des hypothèses précédentes.

	Taux de production (g/kg)	Débit de rejet (g/s)
Suies	150	3000
CO	75	1500
Imbrûlés	75	1500
HCN	0	0
NO_2	0	0
HCl	0	0
HBr	0	0
SO_2	0	0
HF	0	0
Autre	0	0

6.2.4 Seuils de toxicité aigüe retenus

Les seuils de toxicité aiguë par inhalation retenus pour les substances polluantes classiques sont présentés dans les méthodes de calcul du CNPP (cf. **Annexe 1 (p.52)**).

Dans le cadre du dimensionnement de scénario incendie, on retient un temps d'exposition de 30 min pour le choix des seuils de toxicité aiguë.

6.3 Distances d'effets toxiques

6.3.1 Hauteurs de culmination du panache

Les hauteurs de culmination du panache dépendent de la vitesse du vent et de la puissance convective du foyer (la puissance convective représente 70 % de la puissance totale du foyer). On retient les valeurs suivantes :

- ✓ 250 m pour une vitesse de vent de 3 m/s ;
- ✓ 160 m pour une vitesse de vent de 5 m/s ;
- ✓ 60 m pour une vitesse de vent de 12 m/s.

6.3.2 Concentrations maximales au niveau du sol

Les résultats de la dispersion atmosphérique des fumées d'incendie par une modélisation gaussienne (concentrations maximales au niveau du sol) sont les suivants. Les fiches de résultats sont présentées en *Annexes 2.12 (p.65), 2.13 (p.66), 2.14 (p.67) et 2.15 (p.68).*

Concentration Maximale au niveau du sol (mg/m³)				
Polluants	**Vitesse vent 3 m/s Stabilité classe A**	**Vitesse vent 3 m/s Stabilité classe C**	**Vitesse vent 5 m/s Stabilité classe D**	**Vitesse vent 12 m/s Stabilité classe C**
Suies	2,90	1,28	1,19	7,09
CO	1,45	0,64	0,59	3,54
Imbrulés	1,45	0,64	0,59	3,54
HCN	0,00	0,00	0,00	0,00
NO_2	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl	0,00	0,00	0,00	0,00
HBr	0,00	0,00	0,00	0,00
SO_2	0,00	0,00	0,00	0,00
HF	0,00	0,00	0,00	0,00
Autre	0,00	0,00	0,00	0,00
Distance pour la Concentration Maximale (km)	0,5	3,0	6,0	0,6

6.3.3 Indice de toxicité

Le calcul de l'indice de toxicité par rapport aux seuils des effets irréversibles (SEI 30 min) donne les résultats suivants :

Conditions atmosphériques	Indice de toxicité
Vitesse du vent 3 m/s - Stabilité classe A	0,0011
Vitesse du vent 3 m/s - Stabilité classe C	0,0005
Vitesse du vent 5 m/s - Stabilité classe D	0,0004
Vitesse du vent 12 m/s - Stabilité classe C	0,0026

6.4 Ph5 –Synthèse

L'indice de toxicité est inférieur à 1. L'apparition d'effets irréversibles pour la santé est donc peu probable pour ce scénario incendie et ce même dans le cas d'hypothèses pénalisantes. Du point de vue de la toxicité de l'air au niveau du sol l'incendie ne conduirait pas à l'établissement de zone de danger.
Le moteur thermique de l'incendie est suffisant pour que le panache s'élève assez haut. Les fumées sont donc suffisamment diluées en retombant au sol. En revanche, l'évacuation du personnel présent à proximité immédiate du sinistre est indispensable car l'exposition aux fumées à leur source (non diluées) présente un risque pour la santé humaine. De même les équipes de secours doivent intervenir sous assistance respiratoire individuelle à proximité du sinistre.

Les fumées d'incendie diffèrent des gaz toxiques froids par le phénomène d'élévation initiale du panache. La puissance de l'incendie est dissipée à près de 70 % sous forme convective ; cette énergie constitue le moteur thermique des fumées.
La phase de dispersion atmosphérique proprement dite est donc essentiellement réalisée à quelques centaines de mètres d'altitude. En retombant au niveau du sol, les fumées sont fortement diluées. Les modèles de dispersion atmosphérique et le retour d'expérience des sinistres passés montrent qu'il est extrêmement rare qu'il faille considérer un rayon de danger correspondant à des effets toxiques en cas d'incendie.
Il en est de même pour la visibilité au niveau du sol en cas incendie : la perte de visibilité est généralement très faible voire nulle (sauf si le panache est rabattu par le vent directement au sol).
La perte de visibilité est liée à l'obscurcissement par les suies. Les suies subissent quasiment la même dispersion que les gaz. Leur concentration, quand elles retombent au niveau du sol, n'est pas suffisante pour provoquer une perte de visibilité.
La gêne la plus importante liée à la manifestation visuelle d'un incendie est généralement la distraction offerte aux automobilistes à la vue d'un imposant panache de fumées.

Groupe CNPP
Département Feu et Environnement
Direction R&D et Innovation
Directeur

Armelle MULLER
Signature électronique

7 BIBLIOGRAPHIE

[1] FLUMILOG, «Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt,» 2011.

[2] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Third Edition, National Fire Protection Association (Quincy, Massachusetts), Society of fire Protection Engineers (Bethesda, Maryland).

[3] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fire Hazard Calculations for Large. Open Hydrocarbon Fires, Graig L. Beyler, Hughes Associates, Fire Science and Engineering.

[4] Committee for the Prevention of Disasters, Yellow Book - Methods for the Calculation of Physical effects, Publication Sdu, Third edition 1997.

[5] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Heat Release Rates, Vytenis Babrauskas, Fire Science and Technology, Inc.

[6] MEEM, «Arrêté du 29/09/2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurence,de la cinétique,de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les EDD des installations soumises à autorisation».

8 ANNEXES

8.1 Annexe 1 : généralités sur les méthodes de calcul

8.1.1 Modélisation des flux thermiques rayonnés

8.1.1.1 Principe de modélisation

8.1.1.1.1 Scénario incendie

Les rayons de danger associés aux effets de flux thermiques sont alors déterminés dans le cadre d'un scénario incendie maximaliste :

- ✓ Les moyens actifs de protection incendie (sprinkler par ex.) sont considérés en situation d'échec. Les interventions du personnel ainsi que les moyens de secours sont également négligés ;
- ✓ L'incendie a atteint son paroxysme (embrasement généralisé des combustibles).

L'objectif des modélisations est de calculer les distances où sont atteints les seuils réglementaires de flux thermiques rayonnés à 20, 16, 8, 5 et 3 kW/m².

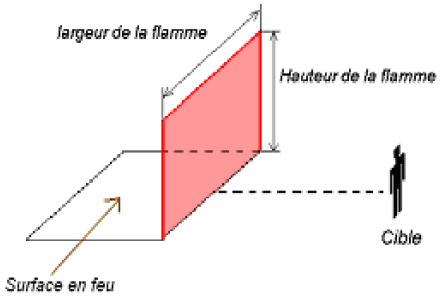
Pour les entrepôts, le scénario maximaliste correspond à la destruction quasi-totale par les flammes du bâtiment. Dans le cas des entrepôts à plusieurs cellules compartimentées par des murs coupe-feu, le dimensionnement est généralement réalisé pour une seule cellule en feu. La protection passive constituée par les murs coupe-feu qui isolent les cellules entre-elles est considérée suffisante pour éviter la propagation de l'incendie. Il appartient néanmoins à l'exploitant de garantir qu'une éventuelle porte coupe-feu entre deux cellules soit à même de se fermer correctement en cas d'incendie. Le scénario d'incendie généralisé à plusieurs ou à la totalité des cellules d'un entrepôt peut aussi être étudié, même s'il est moins probable.
Pour les feux d'hydrocarbures ou de liquides inflammables, le scénario maximaliste consiste généralement en un feu de flaque sur la surface de la cuvette de rétention.

Les méthodes de calcul utilisées par le CNPP sont documentées dans le SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [2]. La méthode de calcul a été développée par Mudan [3] ; elle constitue une synthèse des différents travaux expérimentaux et de modélisation sur des grands feux d'hydrocarbure.

8.1.1.1.2 Equation de base

Les flammes qui s'élèvent de la structure effondrée sont caractérisées par une hauteur et une largeur globale. La flamme est donc modélisée comme une surface rectangulaire plane qui rayonne une certaine puissance thermique devant elle – il s'agit du flux thermique rayonné.

Le flux thermique est ensuite calculé pour une cible se déplaçant devant la flamme, comme explicité sur le schéma suivant.



Le flux thermique reçu par une cible située en dehors de l'enveloppe des flammes est déterminé selon l'équation suivante :

$$\dot{q}'' = E.F_{12}.\tau$$

E	:	Puissance émissive moyenne à la surface de la flamme (kW/m²).
F_{12}	:	Facteur de forme.
τ	:	Transmissivité atmosphérique.

Cette équation est utilisée en supposant que la surface de flamme forme un rectangle devant la cible[2]. La largeur de flamme représente la largeur de la façade en feu.

8.1.1.1.3 Hauteur de flamme

Le calcul de la hauteur de flamme est basé sur une corrélation développée par Thomas. La hauteur moyenne des flammes de diffusion turbulentes (visibles) est donnée par la relation suivante :

$$\frac{H}{D} = 42.\left(\frac{\dot{m}''_{\infty}}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot D}}\right)^{0,61}$$

H	:	Hauteur de flamme de Thomas (m)
D	:	Diamètre équivalent pour la surface en feu (m)
$\dot{m}''_{\infty}$	:	Taux de pyrolyse par unité de surface en feu (kg/m².s)
ρ_a	:	Masse volumique de l'air ambiant (kg/m³)
g	:	Accélération gravitationnelle 9,8 m/s²

En présence de vent, la flamme est rabattue vers le sol. Ce phénomène n'est pas pris en compte ici.

[2] Différentes modélisations sont envisageables (flamme pyramidale, cylindrique, conique, etc.). Une configuration rectangulaire simple est retenue.

Le taux de pyrolyse d'un matériau représente sa « vitesse de combustion ». Il exprime la perte de masse de combustible par unité de temps et de surface.

Le calcul de la hauteur de flamme dépend donc de :

- ✓ La vitesse de combustion,
- ✓ Du diamètre équivalent du foyer. Le diamètre équivalent est proportionnel au rapport de la surface sur le périmètre de la zone en feu. A surface égale, la hauteur de flamme est maximale pour une surface de feu circulaire.

8.1.1.1.4 Facteur de forme

Le facteur de forme est calculé pour une cible située devant la flamme, quelle que soit sa hauteur par rapport au sol. Le facteur de forme maximum au niveau d'une cible est donné par la somme vectorielle des contributions verticales et horizontales.

$$F_{12,max} = \sqrt{F_{12,H}^2 + F_{12,V}^2}$$

Les expressions élémentaires du facteur de forme sont calculées à l'aide de corrélations géométriques.

8.1.1.1.5 Absorption atmosphérique

Le rayonnement émis est partiellement atténué par absorption et diffusion le long du trajet optique. Les principaux constituants atmosphériques qui sont susceptibles d'absorber le rayonnement sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone. La proportion de CO_2 est à peu près constante à environ 380 ppm. La proportion de vapeur d'eau varie fortement en fonction de la température et de l'humidité.

Une formule simple, proposée par Bagster et citée dans le Yellow Book du TNO [4] permet de calculer directement la transmissivité :

$$\tau = 2{,}02.\left(p'_w.x\right)^{-0.09}$$

p'_w	:	Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa)
x	:	Distance entre la surface émissive et la cible (m)

Pour les calculs d'atténuation, on retient généralement une température de 15 °C et une humidité relative de 70 %.

8.1.1.2 Données d'entrée

8.1.1.2.1 Taux de pyrolyse

Le taux de pyrolyse ($\dot{m}''$) représente une perte de masse de combustible par unité de temps et de surface sous l'effet du feu (la pyrolyse des matériaux dégage les gaz combustibles).

Les taux de pyrolyse des liquides inflammables sont bien connus ; généralement ils augmentent progressivement avec le diamètre équivalent du foyer jusqu'à une valeur maximale stabilisée :

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} . \left(1 - e^{-k.\beta.D}\right)$$

$\dot{m}''$	:	Taux de pyrolyse (kg/m².s)
$\dot{m}''_{\infty}$	:	Taux de pyrolyse infini (kg/m².s)
D	:	Diamètre équivalent du foyer (m)
$k.\beta$	:	Coefficient d'extinction (m^{-1})

Le tableau suivant présente quelques exemples de taux de pyrolyse pour des liquides inflammables [4] :

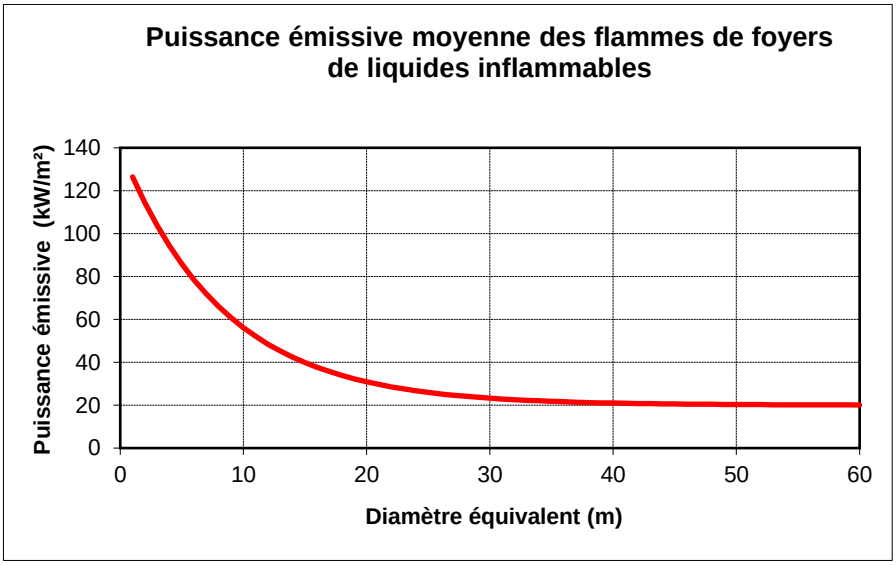
Liquides inflammables	$\dot{m}''_{\infty}$
Gaz liquéfiés	
GNL	0.078
GPL	0.099
Alcool	
Ethanol	0.029
Methanol	0.029
Combustibles organiques simples	
Butane	0.078
Benzene	0.085
Hexane	0.074
Heptane	0.101
Xylenes	0.090
Acetone	0.041
Dioxane	0.018
Diethyl ether	0.085
Produits pétroliers	
Essence	0.048
Gasoil	0.055
Kérosène	0.039
JP-4	0.051
JP-5	0.054
Huile	0.039
Fuel lourd	0.035
Pétrole brut	0.022

8.1.1.2.2 Puissance émissive ou émittance de flamme

Le rayonnement émis par une flamme dépend d'une part de ses dimensions (sa hauteur et sa largeur), d'autre part de sa puissance émissive encore appelée émittance.
La puissance émissive correspond à la quantité de puissance rayonnée par unité de surface de la flamme. Elle s'exprime en kW/m^2.
Elle est donnée par la corrélation suivante dite corrélation de Mudan :

$$E = E_{max}.e^{-s.D} + E_s.\left(1 - e^{-s.D}\right)$$

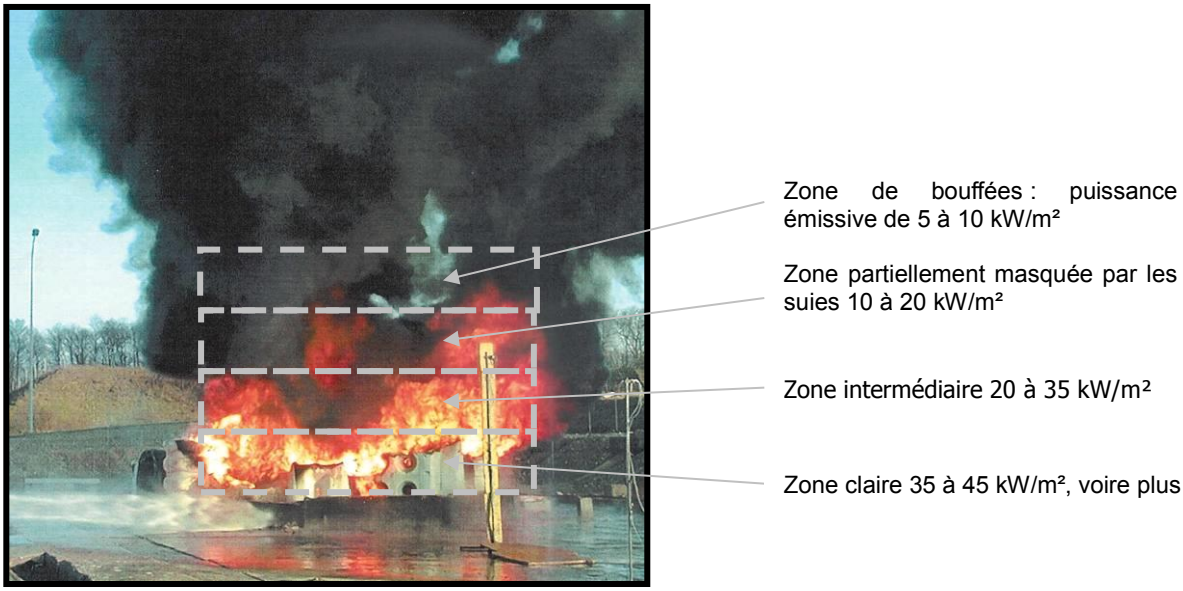
E_{max}	:	Puissance émissive d'un corps noir dans la flamme, 140 kW/m² (1000 °C)
s	:	Coefficient d'extinction, 0.12 m^{-1}
D	:	Diamètre équivalent (m)
E_s	:	Puissance émissive des fumées noires, 20 kW/m² (500 °C)



La puissance émissive moyennée sur la totalité de la hauteur de flamme est moins forte que les puissances émissives pouvant être atteintes localement. De plus, la puissance émissive moyenne diminue lorsque le diamètre du feu augmente à cause de la proéminence progressive des fumées noires hors de la flamme qui obscurcissent le rayonnement provenant des zones de combustion vive.

Quatre zones distinctes sont modélisées sur la partie visible de la flamme (au-dessus de l'écran masquant éventuellement la flamme dans sa partie basse) :

- ✓ Une zone claire, brillante et émissive au bas de la flamme,
- ✓ Une zone intermédiaire,
- ✓ Une zone particulièrement masquée par les suies,
- ✓ Une zone de fumées en partie haute, dans laquelle on observe périodiquement des « bouffées de flammes ».



Les zones claires correspondent à des températures affleurant les 800°C à 1000°C, alors que les zones noires témoignent de la présence de suies à une température inférieure à 600°C.

8.1.1.3 Particularités des incendies de bâtiments

8.1.1.3.1 Taux de pyrolyse des combustibles solides

Contrairement aux liquides, la combustion des solides (sauf pour le cas particulier des solides liquéfiables : polyéthylène, polypropylène, polystyrène, etc.) est réalisée par pyrolyse sur toutes les surfaces en feu du volume. La notion de taux de pyrolyse surfacique n'est donc pas directement adaptée pour les solides : la densité et la hauteur de stockage interviennent aussi pour fixer une puissance surfacique.
Pour les solides liquéfiables, des mesures de taux de pyrolyse ont été réalisées de la même façon que pour les feux de nappes d'hydrocarbures. Pour le polyméthylméthacrylate (PMMA), le polyéthylène et le polypropylène, le taux de pyrolyse $\dot{m}''_{\infty}$ est environ 0,02 à 0,04 kg/m².s.
En ce qui concerne les combustibles solides, on caractérise leur combustion par une puissance (kW) ou débit calorifique, qui est mesurable uniquement à l'aide d'une hotte calorimétrique[3].
Le débit calorifique Q (kW) s'exprime comme suit :

$$Q = h_c . \dot{m}$$

h_c	:	Chaleur de combustion efficace (kJ/kg)
$\dot{m}$	:	Vitesse de perte de masse (kg/s)

[3] Moyens expérimentaux disponibles au Laboratoire du Feu et de l'Environnement du CNPP.

Pour une combustion complète, la chaleur de combustion efficace est égale au pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un matériau. Cependant dans un incendie, la combustion est incomplète et les fumées transportent des gaz et aérosols encore combustibles : CO, imbrûlés organiques, suies, etc. Un coefficient de rendement de combustion est donc utilisé.

La chaleur de combustion efficace et la vitesse de perte de masse ne sont en général pas constantes au cours d'une combustion. La mesure directe du débit calorifique est donc nécessaire. Elle n'est cependant pas toujours possible, notamment pour les très grands feux ou les feux de bâtiment. C'est l'une des raisons pour lesquelles peu de données expérimentales ont été publiées à ce jour pour les grands feux de bâtiments ou d'entrepôts.

Pour les feux de solides, l'appréciation de la hauteur de flamme est réalisée :

- ✓ Soit en estimant le débit calorifique (par expérimentation ou à partir de données publiées dans la littérature, ex : stockage de palettes de bois).
- ✓ Soit par analogie avec les solides liquéfiables. On retient alors un taux de pyrolyse, généralement compris entre 0,01 et 0,03 kg/m^2.s et on applique la corrélation de Thomas pour le calcul de la hauteur de flamme.

Cette dernière méthode est généralement retenue pour les incendies de bâtiments ou d'entrepôts, en l'absence de données expérimentales.
La hauteur du combustible en feu n'est pas prise en compte. Cependant une nappe de plastique en feu sur la surface d'un bâtiment est considérée comme pénalisante par rapport à la plupart des chargements de combustibles habituels dans les entrepôts. On note par ailleurs que lors de la phase d'incendie généralisé, les stockages de grande hauteur sont susceptibles de s'effondrer, soit sous l'effet de leur propre poids (cas des palettiers), soit suite à l'effondrement de la toiture du bâtiment.

8.1.1.3.2 Ventilation du foyer

Par rapport à un feu en extérieur (solide ou liquide), un incendie de bâtiment est généralement fortement sous ventilé. La puissance du foyer dépend alors essentiellement des conditions aérauliques pour l'apport d'air frais et l'évacuation des fumées, plus ou moins indépendamment de la nature et de la quantité de combustibles en feu.

La ventilation d'un incendie d'entrepôt dépend essentiellement des dispositions constructives du bâtiment.

- ✓ Par exemple, une toiture en fibrociment est rapidement détruite au contact des flammes. Dans un tel bâtiment, un incendie n'est donc pas confiné par la toiture, l'alimentation en air frais et surtout l'évacuation des fumées s'en trouvent immédiatement facilitées.
- ✓ De même, dans un bâtiment ceinturé de murs coupe-feu, seule la couverture pourra s'abîmer, et contribuer à la ventilation du foyer. L'oxygénation optimale d'un foyer est réalisée avec une alimentation en air frais située en partie basse. De telles dispositions

constructives sont par conséquent peu favorables à un foyer de forte intensité, indépendamment du type de combustible.

Afin de faire tendre la hauteur de flamme calculée par la méthode de Thomas vers des valeurs réalistes constatées lors d'incendies, le CNPP a établi une corrélation basée sur des considérations aérauliques. Ainsi selon les dispositions constructives de l'entrepôt, l'aération du foyer se réalise plus ou moins bien. Ce phénomène est l'une des causes principales de la diminution constatée de la hauteur de flamme par rapport aux valeurs attendues par les corrélations théoriques.

Dans ce tableau, les dispositions constructives sont classées suivant leur conséquence sur la hauteur de flamme :

Murs	Toiture	Facteur d'ajustement
Coupe-feu	Pare flamme	35 % à 45 %
	Bacs acier avec isolation	
	Bacs acier	
Bardage double peau avec isolation	Bacs acier avec isolation	25 % à 35 %
	Bacs acier	
	Fibrociment	
Bardage simple	Bacs acier	15 % à 25 %
	Fibrociment	

8.1.1.3.3 Interactions entre le bâtiment et les flammes

Les dispositions constructives du bâtiment interviennent tout d'abord sur la ventilation du foyer. Elles peuvent aussi contribuer à masquer les flammes sur une partie de leur hauteur. C'est notamment le cas des murs stables au feu (pare-flamme ou coupe-feu) installés en périphérie et dans une moindre mesure des parois en bardage effondrées.

Parois stables au feu

Les murs réputés coupe-feu (conformément à l'arrêté du 22 mars 2004) sont considérés comme faisant office d'écran au rayonnement thermique sur toute leur hauteur, pendant la durée de l'incendie.

Parois en bardage

Suite à de nombreuses expertises après sinistres, CNPP a été amené à prendre en compte le bardage résiduel qui perdure après l'effondrement des entrepôts (dont les murs sont en bardages). En effet un bardage n'est jamais ruiné dans sa totalité, tant dans sa hauteur que dans sa longueur.

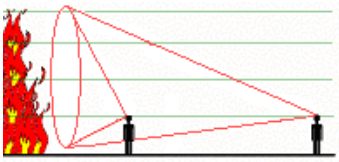
Dans le souci de réaliser des modélisations vraisemblables, ce phénomène est pris en compte en incluant un écran au rayonnement d'une hauteur généralement égale à un quart de la hauteur initiale du bâtiment pour un bardage simple peau et un tiers de la hauteur initiale pour un bardage double peau, sur toute la longueur de la flamme.

Vue de l'extérieur d'un entrepôt de lait en poudre.
(Structure métallique)
L'effondrement des bardages n'est pas total.

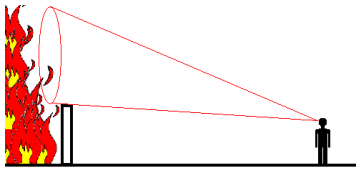
Facteur de forme

L'expression du facteur de forme tient compte :

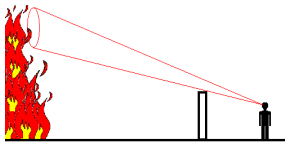
- ✓ De la présence éventuelle d'un écran en partie basse de la flamme (cas des parois stables au feu ou en bardage partiellement effondré).
- ✓ De la présence éventuelle d'un écran lointain, protégeant la cible par effet d'ombre. C'est notamment le cas des murs ou merlons arborisés installés en limite de propriété.



Facteur de forme en fonction de l'éloignement de la cible.



Ecran proche de la flamme. Efficacité de l'écran assez faible.



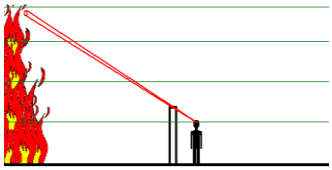
Ecran lointain (par exemple en limite de propriété). Bonne efficacité de l'écran.

Pour une cible qui n'est pas protégée par un écran, le flux reçu diminue quand la distance augmente.

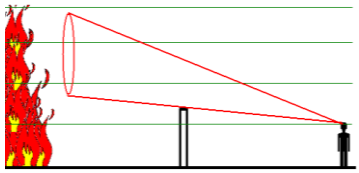
Pour une cible protégée par un écran, le flux reçu dépend de sa position par rapport à l'écran :

- ✓ L'angle de vue sous lequel la cible voit le feu est faible à proximité de l'écran.
- ✓ En s'éloignant de l'écran, la cible reçoit un flux thermique plus important qui atteint un maximum avant de décroître.

En effet, l'éloignement de la cible par rapport à la source du rayonnement compense les effets liés à la position de l'écran.



Cible proche de l'écran



Cible loin de l'écran

On retient en général une hauteur de cible de 1,8 m correspondant à la hauteur de la tête d'un homme.

8.1.1.4 Effets du rayonnement thermique

Les effets du rayonnement dépendent de la valeur du flux reçu, comme le montre le tableau suivant (pour une exposition sur une durée significative) :

Flux reçu (kW/m^2)	Effets du rayonnement thermique
0,7	Coup de soleil pour une exposition de très longue durée sans protection ni préparation.
1	Rayonnement solaire en zone tropicale.
1,5	Seuil maximum en continu pour des personnes non protégées.
2	Douleur en 1 minute. Exposition de 40 à 140 secondes, avec un temps moyen de 100 secondes, rougissement de la peau.
2,5	Les personnes normalement habillées, sans fragilités particulières, peuvent s'exposer plusieurs minutes en bougeant.
3	Exposition de 1 minute, début d'apparition de cloques sur les peaux très sensibles.
5	Cloques possibles pour des expositions de 20 à 90 secondes.
10	Douleur en 5 à 10 secondes. Brûlures du 2ème degré en 40 secondes. Pour une exposition de 50 secondes, 1 % de décès.
15	Pyrolyse de certains matériaux et début d'émission de vapeurs inflammables qui peuvent s'enflammer selon les circonstances (contacts de flammèches, brandons enflammés).
20	Tenue du béton plusieurs heures. La température atteint 100°C à 3 cm dans le béton en 45 minutes. Inflammation possible de certains plastiques.
25	Inflammation possible de certains bois secs.
30	Conditions de l'essai de réaction au feu (classement M), en présence d'une flamme pilote.
50	Brûlures immédiates et 1 % de décès après une exposition de 10 secondes.
100	La température atteint 100°C à 10 cm dans le béton en 3 heures.

Les valeurs de référence pour les installations classées sont les suivantes [6] :

- ✓ Effets sur les structures :
  - 5 kW/m², seuil des destructions de vitres significatives ;
  - 8 kW/m², seuil des effets domino et correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures ;
  - 16 kW/m², seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton ;
  - 20 kW/m², seuil de tenue du béton plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton ;
  - 200 kW/m², seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

- ✓ Effets sur l'homme :
  - 3 kW/m², seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
  - 5 kW/m², seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
  - 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

8.1.2 Modélisation des effets toxiques des fumées d'incendie

Le dimensionnement de la dispersion des fumées d'incendie se déroule en différentes étapes :

- ✓ Quantification de la nature et du débit des polluants émis dans les fumées ;
- ✓ Estimation de la hauteur du panache de fumées ;
- ✓ Etude de la dispersion atmosphérique des substances toxiques ;
- ✓ Analyse de la toxicité de l'air au niveau du sol en comparant les résultats de dispersion aux seuils de toxicité.

8.1.2.1 Composition des fumées

La combustion incomplète dans les incendies dégage de nombreux polluants présents dans les fumées. En plus du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau qui ne sont pas toxiques en tant que tels, les gaz dangereux les plus couramment rencontrés sont le monoxyde de carbone, l'acide cyanhydrique et chlorhydrique, l'anhydre sulfureux, et diverses substances organiques imbrûlées... Ces substances sont présentes dans les fumées soit sous forme gazeuse, soit sous forme liquide (dissoutes dans des gouttelettes d'eau ou sous forme d'aérosols) ou absorbés dans les particules de suies.

On caractérise la production et l'émission de fumées par un taux de production qui s'exprime en grammes de polluant émis par kg de combustible brûlé (g/kg). Les taux de production des différents polluants sont soit directement mesurés en laboratoire[4], soit estimés à partir de la composition chimique des produits de combustion.

Les substances organiques produisent dans le processus de pyrolyse et de combustion de très nombreux et divers imbrûlés organiques (molécules organiques plus moins complexes et stables). Au niveau quantitatif, la production en imbrûlés est exprimée en équivalent toluène. De même leur toxicité aiguë par inhalation est déterminée en se basant sur celle du toluène (une substance particulièrement toxique).

Le devenir des substances chimiques présentes dans les produits de combustion peut être estimé à priori selon les grandes lignes suivantes :

- ✓ Le chlore est dégagé sous forme d'acide chlorhydrique (pour quasiment 100 % de la proportion de chlore). De même que le fluor et le brome sont dégagés sous forme d'HF ou d'HBr ;
- ✓ Le soufre est dégagé sous forme de dioxyde de soufre (pour 100 %). Le trioxyde de soufre est formé à des températures plus élevées, de plus il est moins toxique ;
- ✓ La combustion de produits azotés dégage du diazote, de l'acide cyanhydrique et des oxydes d'azote (N_2, HCN, NO_x). Des essais (INERIS, CNPP) ont permis d'estimer leur proportion relative moyenne. On retient généralement un

[4] CNPP est à même de réaliser ce type de mesure, soit en four tubulaire, soit en continu lors d'essai en vraie grandeur.

dégagement de N_2 pour environ 60 % de la masse d'azote, d'acide cyanhydrique HCN (20 %) et d'oxydes d'azotes NO_x (environ 20 % du pourcentage massique, sous forme de NO_2, le plus toxique des oxydes d'azote) ;

- ✓ La plupart des minéraux sont oxydés sous une forme solide aux températures rencontrées dans les flammes. Il n'y a donc pas de dégagement de composés gazeux. C'est le cas du phosphore, zinc, cuivre, silicium, manganèse, calcium, baryum, titane, etc. Les oxydes ont généralement des températures d'ébullition ou de sublimation trop élevées (supérieures aux températures de flammes) pour être entraînés par les gaz de pyrolyse. On pourra par contre les retrouver dans les résidus d'incendie (cendres, eaux d'extinction).

Le débit de production des fumées (g/s de la substance considérée) suit la relation suivante :

$$q = \dot{m}.t_x$$

$\dot{m}$: Vitesse de perte de masse du combustible (kg/s)
t_x : Taux de production du polluant lors de la pyrolyse et de la combustion (g/kg)

8.1.2.2 Hauteur d'élévation du panache

Contrairement aux gaz froids, la dispersion des fumées d'incendie comprend deux phases :

- ✓ Le panache des fumées s'élève grâce au moteur thermique que constitue le feu ;
- ✓ Arrivé à sa hauteur de culmination, le panache se disperse dans l'atmosphère. Les polluants retombent progressivement vers le sol. Les différentes substances (suies, CO, imbrûlés, HCl, HCN, etc.) subissent le même processus de dispersion.

La hauteur d'élévation du panache de fumées peut s'exprimer sous cette forme :

$$h = k \frac{Q_c^{\,m}}{u^p}$$

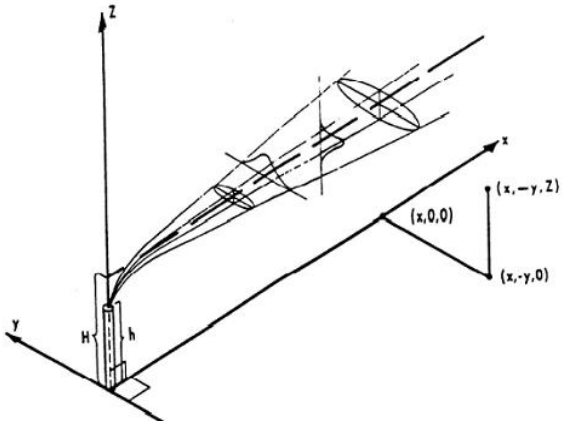
h : Hauteur moyenne d'élévation du panache (m)
k, m, p : Constantes semi-empiriques
Q_c : Puissance convective du foyer (MW)
u : Vitesse du vent au niveau du sol (m/s)

Concawe, Moses-Carson et Rauch ont proposés des corrélations pour différents types de foyer. Pour se placer dans le cadre d'hypothèses pénalisantes vis-à-vis de la dispersion, le CNPP retient toujours la hauteur d'élévation la plus faible de ces trois corrélations.

Ascension et dispersion d'un panache de fumées. Feu d'hydrocarbure du GESIP sur le site du CNPP.

8.1.2.3 Dispersion atmosphérique des fumées

Globalement les fumées s'élèvent parce qu'elles sont plus chaudes donc plus légères que l'air ambiant. En montant, elles se refroidissent parce qu'elles s'éloignent de la source chaude et parce qu'elles se diluent dans l'air ambiant. Lorsque la température des fumées est équivalente à celle de l'air ambiant : le panache cesse de s'élever. Commence alors l'étape de dispersion atmosphérique. Le panache se disperse sous le vent en s'étalant dans les trois directions de l'espace. La concentration en fumées de part et d'autre de l'axe du panache est supposée suivre une loi gaussienne. Un modèle de dispersion gaussienne est utilisé :



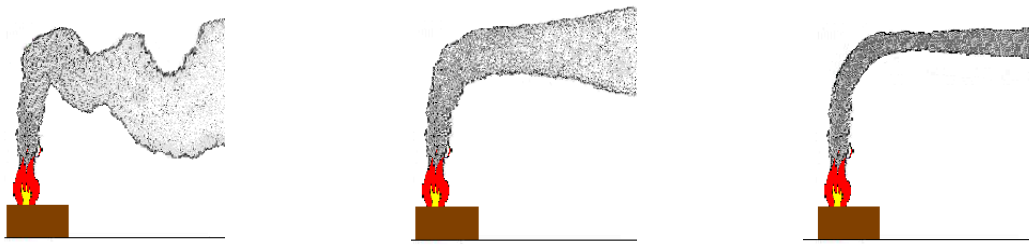
La concentration en fumées au niveau du sol et dans l'axe du panache suit l'expression suivante :

$$c(x, y_0, z_0) = \frac{q}{\pi.\sigma_y.\sigma_z.u} e^{-\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{h}{\sigma_z}\right)^2}$$

q	:	Débit de fumées (g/s)
h	:	Hauteur moyenne d'élévation du panache (m)
u	:	Vitesse du vent au niveau du sol (m/s)
σ_y, σ_z	:	Ecarts types de Pasquill = f (u, x, classes stabilité atmosphérique)

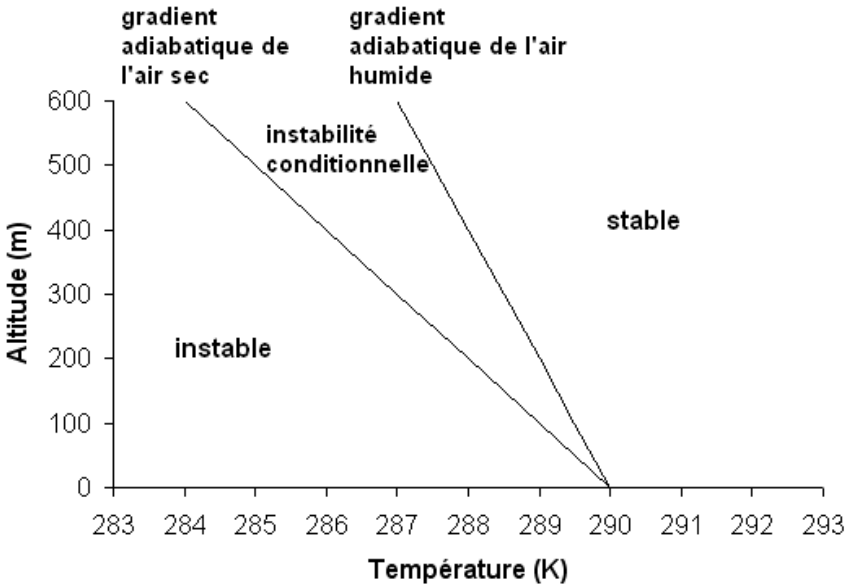
La dispersion des fumées dépend de la vitesse du vent (effet de dilution) et de la stabilité atmosphérique (effet de dispersion lié à la turbulence). Les classes de stabilité de Pasquill (repérées de A à F) modélisent un état de turbulence atmosphérique, dépendant des conditions météorologiques :

- ✓ La classe A correspond à une atmosphère très instable, c'est-à-dire à une bonne dispersion des polluants ;
- ✓ Au contraire, la classe F correspond à une atmosphère particulièrement stable, c'est à dire une faible dispersion des polluants.



Instable (A) Neutre (D) Stable (F)

La stabilité atmosphérique dépend du gradient local de température. Pour l'illustrer, imaginons une particule fluide (quantité infinitésimale de fumée) ayant un mouvement ascendant. Par un phénomène de détente (adiabatique), sa température va diminuer avec l'altitude. Lorsque la particule fluide présente la même température que l'air environnant, la stabilité atmosphérique est dite neutre : aucune force liée à une différence de densité (ou également de température) ne s'exerce sur la particule fluide. Si la température de la particule fluide est inférieure à celle de l'air environnant, s'exerce alors une force vers le bas : l'atmosphère est stable. Au contraire, si la température de la particule fluide est supérieure à celle de l'air environnant, la particule fluide est accélérée vers le haut : l'atmosphère est instable.



Un bilan thermique positif (rayonnement solaire sur le sol) engendre des conditions atmosphériques instables.
Un bilan thermique négatif (les surfaces au sol sont refroidies par rayonnement thermique vers le ciel) engendre des conditions stables. Le tableau suivant précise les classes de stabilité envisageables en fonction des conditions atmosphériques.

Vitesse du vent u (m/s)	Jour				Nuit		
Conditions météo	Rayonnement solaire incident			Couvert	Couvert	Modérément couverte	Claire
	Fort	Modéré	Faible				
	S > 60°	35°<S<60°	S < 35°	Nébulosité	Nébulosité		
	Par temps clair, nébulosité < 3/8			> 4/8	8/8	Entre 4/8 et 7/8	< 4/8
u < 2	A	A - B	B	D	D	F	F
2 < u < 3	A – B	B	C	D	D	E	F
3 < u < 5	B	B - C	C	D	D	D	E
5 < u < 6	C	C - D	D	D	D	D	D
u > 6	C	D	D	D	D	D	D

Nota :
- ✓ S : hauteur du soleil dans le ciel.
- ✓ La vitesse du vent est mesurée à une altitude de 10 m.

La dispersion atmosphérique des fumées d'incendie est étudiée pour 2 situations fréquentes:

- ✓ Vitesse du vent 3 m/s Stabilité classe C (légèrement instable)
- ✓ Vitesse du vent 5 m/s Stabilité classe D (neutre)

Ainsi que pour 2 situations pénalisantes du point de vue de la dispersion des fumées :

- ✓ Vitesse du vent 3 m/s (plutôt faible) Stabilité classe A (très instable)
- ✓ Vitesse du vent 12 m/s (plutôt fort) Stabilité classe C (légèrement instable)

Ces conditions atmosphériques modifient les valeurs des écarts-types σ_y, σ_z de Pasquill.

Limites du modèle
Les calculs de dispersion atmosphérique par la méthode gaussienne sont valables en considérant que le panache est établi. Les phases transitoires (établissement du panache par exemple) sont moins pénalisantes pour les concentrations au niveau du sol.

Le domaine de validité des calculs de dispersion est précisé ici :

- ✓ Les conditions atmosphériques sont homogènes (vent et stabilité uniformes) ;
- ✓ Le modèle gaussien n'est pas applicable pour les vents très faibles (< 1 m/s) ;

- ✓ Le modèle gaussien utilisé ne rend pas compte des effets de turbulence additionnelle au niveau du sol liés au relief, à la végétation et aux bâtiments. Cette restriction n'est pas pénalisante pour les fumées d'incendie, car le panache s'élève et la phase de dispersion s'effectue généralement à quelques centaines de mètres d'altitude ;
- ✓ Les résultats sont présentés pour l'incendie dans sa phase d'apogée. Ces résultats sont pénalisants par rapport aux phases de croissance et d'extinction du feu ;
- ✓ Un vent fort peut rabattre le panache de fumée vers le sol et pénaliser la toxicité de l'air sous le vent.

8.1.2.4 Toxicité aiguë par inhalation des fumées

Les seuils d'effets toxiques sont définis par arrêté ministériel [6], on considère les effets létaux, les effets irréversibles et les effets réversibles.

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour différentes substances sont proposées par différents organismes (INERIS, INRS, EPA, etc.). Le mode d'exposition aux fumées est aigu, par opposition aux expositions chroniques ou sub-chroniques, pour lesquelles sont définies d'autres seuils de référence. L'exposition aux fumées est réalisée par l'inhalation.

Les définitions suivantes sont proposées [6] :

- ✓ Le seuil des effets létaux (SEL) correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer une mortalité au sein de la population exposée ;
- ✓ Le seuil des effets irréversibles (SEI) correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle des effets irréversibles peuvent apparaître au sein de la population exposée ;
- ✓ Le seuil des effets réversibles (SER) correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle la population exposée peut présenter des effets réversibles ;
- ✓ Le seuil de perception (SP) correspond à la concentration entraînant la détection sensorielle de la substance chimique par la population exposée.
- ✓ Au sein de la population exposée, les sujets hypersensibles ne sont pas considérés (par exemple, les insuffisants respiratoires) ;
- ✓ Les effets létaux correspondent à la survenue de décès. Les effets irréversibles correspondent à la persistance dans le temps d'une atteinte lésionnelle ou fonctionnelle, directement consécutive à l'exposition. Les effets réversibles correspondent à un retour à l'état de santé antérieur à l'exposition.

Valeurs repères toxicologiques. Seuils de toxicité aiguë par inhalation (mg/m³).								
	CO	Imb.	HCN	NO_2	HCl	HBr	SO_2	HF
SEL								
20 min	5750	-	82,5	169	1013	-	2499	462
30 min	4830	22955	66	150	700	827	2252	309
60 min	3680	16935	45	132	358	397	1885	155
120 min	2645	-	ND	ND	ND	-	1578	ND
Référence	MTE	AEGL-3	INERIS Avril 2005	INERIS Mai / août 2004	INERIS Janvier 2003 / avril 2005	AEGL-3	INERIS Juin 2005	INERIS Août 2003 / Avril 2005
SEI								
20 min	2070	-	61	103	179	-	281	ND
30 min	1725	6020	55	94	119	165	250	164
60 min	920	4515	49	75	60	82	211	82
120 min	460	-	42	ND	ND	-	174	ND
Référence	MTE	AEGL-2	MTE	INERIS Mai / août 2004	INERIS Janvier 2003 / avril 2005	AEGL-2	INERIS Juin 2005	INERIS Août 2003 / Avril 2005
SER								
20 min	ND	-	-	-	-	-	-	-
30 min	ND	755	2,7	0,9	2,6	3,3	0,5	0,8
60 min	ND	755	2,2	0,9	2,6	3,3	0,5	0,8
120 min	ND	-	-	-	-	-	-	-
Référence	MTE	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-I	AEGL-1
SP								
	115000	ND	1,10	0,38	0,46	ND	2,6	0,03-2,46
Référence	MTE	-	INERIS Avril 2005	INERIS Mai / août 2004	INERIS Janvier 2003 / avril 2005	-	INERIS Juin 2005	INERIS Août 2003 / Avril 2005

Imb. : Imbrûlés. Le toluène est pris comme référence pour quantifier la toxicité des substances organiques imbrûlées.
ND : Valeur non disponible.

Publications de référence (présentées par ordre de priorité pour le choix des seuils de toxicité aigüe)

INERIS

Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère. Seuils de toxicité aiguë. Publication de l'INERIS et du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

MTE

Guide Courbes de Toxicité Aiguë par Inhalation. Publication du Ministère du Territoire et de l'Environnement, 1998.

AEGL

Acute Exposure Guideline Level. US Environmental Protection Agency.

Dans le cadre du dimensionnement de scénarios incendie, on retient généralement un temps d'exposition de 30 min pour le choix des seuils de toxicité aiguë. Il faut noter que ce temps ne correspond pas à la durée totale de l'incendie mais à une estimation basée sur les séquences de développement d'un incendie, des variations éventuelles de la météo, le temps de réaction d'une personne se trouvant dans le panache.

Les suies ont essentiellement un impact visuel. Elles peuvent néanmoins être susceptibles d'absorber et donc de véhiculer certaines substances. Les fumées sont composées de plusieurs polluants ; leurs effets vont au minimum se cumuler. Pour en rendre compte, nous utilisons la relation suivante, basée sur la notion d'indice de toxicité :

$$i_{toxSEL} = \Sigma \frac{C_i}{SEL_i}, \; i_{toxSEI} = \Sigma \frac{C_i}{SEI_i}, \; i_{toxSER} = \Sigma \frac{C_i}{SER_i}$$

C_i : Concentration d'une substance au niveau du sol (mg/m^3)
SE_i : Seuil d'effets de la substance (mg/m^3)

Ce mode de calcul ne permet pas de rendre compte des éventuelles synergies entre les effets physiologiques des différentes substances. En effet, on ne sait pas à ce jour comment les effets physiologiques invalidants de différents polluants se cumulent lorsqu'ils sont en présence simultanément (addition ou effet multiplicateur). Les résultats présentés doivent donc être interprétés avec prudence.

Si l'indice de toxicité (SEI) est inférieur à 1, alors l'air peut être respiré pendant au plus 30 min sans risquer d'effets irréversibles pour la santé. Du point de vue de la toxicité de l'air au niveau du sol, l'incendie ne conduit pas à l'établissement de zone de danger.

Si l'indice de toxicité (SEI) est supérieur à 1, alors des rayons de danger (effets irréversibles, et éventuellement effets létaux) doivent être associés au scénario de dispersion des fumées d'incendie. En fonction de la composition des différentes substances présentent dans les fumées, on peut définir une concentration en fumées correspondant aux effets irréversibles et une concentration de fumées correspondant aux effets létaux[5] :

$$\frac{1}{SEI_{fumées}} = \sum \frac{p_i}{SEI_i} \text{ et } \frac{1}{SEL_{fumées}} = \sum \frac{p_i}{SEL_i}$$

p_i : Proportion d'une substance dans les fumée d'incendie
SEI_i : Seuil des effets irréversibles de la substance (mg/m^3)
SEL_i : Seuil des effets létaux de la substance (mg/m^3)

Le rayon de danger correspond à la distance maximale au-delà de laquelle la concentration en fumées est inférieure au seuil considéré.

.

[5] Même remarque quant à la combinaison des effets physiologiques des différences substances. Ces seuils doivent être utilisés avec prudence.

8.2 Annexe 2 : résultats de calcul

Annexe n°2.1

Ph1- Incendie alvéoles bois
Flux thermique rayonné en direction Nord ou Sud

Hauteur de flamme (m) :	13,0
Largeur de flamme (m) :	7,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	4,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	1	12,8
	2	19,2
D 20 kW/m²	3	19,5
	4	17,6
D 16 kW/m²	5	15,2
	6	12,9
	7	10,9
	8	9,3
D 8 kW/m²	9	7,9
	10	6,8
	11	5,9
	12	5,1
D 5 kW/m²	13	4,5
	14	4,0
	15	3,5
	16	3,1
D 3 kW/m²	17	2,8
	18	2,5
	19	2,3
	20	2,1
	21	1,9
	22	1,7
	23	1,6
	24	1,5
	25	1,4
	26	1,3

Annexe n°2.2

Ph1- Incendie alvéoles bois
Flux thermique rayonné en direction Est

Hauteur de flamme (m) :	13,0
Largeur de flamme (m) :	16,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	4,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	1	15,4
	2	24,0
	3	25,9
	4	24,9
	5	22,9
	6	20,5
D 20 kW/m²	7	18,2
	8	16,1
D 16 kW/m²	9	14,2
	10	12,6
	11	11,2
	12	9,9
	13	8,9
D 8 kW/m²	14	7,9
	15	7,1
	16	6,5
	17	5,8
	18	5,3
D 5 kW/m²	19	4,8
	20	4,4
	21	4,1
	22	3,7
	23	3,5
	24	3,2
D 3 kW/m²	25	3,0
	26	2,8

Annexe n°2.3

Ph1- Incendie alvéoles bois
Flux thermique rayonné en direction Ouest

Hauteur de flamme (m) :	13,0
Largeur de flamme (m) :	16,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	0,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	2	102,5
	4	60,7
	6	40,5
	8	28,7
	10	21,2
D 20 kW/m²	11	18,4
	12	16,1
D 16 kW/m²	13	14,2
	14	12,5
	16	10,0
	18	8,1
D 8 kW/m²	19	7,4
	20	6,7
	22	5,6
D 5 kW/m²	24	4,8
	26	4,1
	28	3,5
	30	3,1
D 3 kW/m²	31	2,9
	32	2,7
	34	2,4
	36	2,2
	38	1,9
	40	1,7
	42	1,6
	44	1,4

Annexe n°2.4

Ph2- Incendie CSR
Flux thermique rayonné en direction Nord ou Sud

Hauteur de flamme (m) :	12,0
Largeur de flamme (m) :	10,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	5,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	1	4,7
	2	7,9
	3	9,0
	4	8,9
	5	8,3
D 8 kW/m²	6	7,4
	7	6,5
	8	5,7
D 5 kW/m²	9	5,0
	10	4,4
	11	3,9
	12	3,4
D 3 kW/m²	13	3,0
	14	2,7
	15	2,4
	16	2,1
	17	1,9
	18	1,8
	19	1,6
	20	1,4
	21	1,3
	22	1,2
	23	1,1
	24	1,0
	25	1,0
	26	0,9

Annexe n°2.5

Ph2- Incendie CSR
Flux thermique rayonné en direction Est

Hauteur de flamme (m) :	12,0
Largeur de flamme (m) :	45,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	0,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	2	64,3
	4	39,3
	6	27,9
	8	21,3
D 20 kW/m²	9	19,0
	10	17,0
D 16 kW/m²	11	15,4
	12	14,0
	14	11,7
	16	10,0
	18	8,6
D 8 kW/m²	19	8,0
	20	7,5
	22	6,5
	24	5,8
	26	5,1
D 5 kW/m²	27	4,8
	28	4,6
	30	4,1
	32	3,7
	34	3,3
D 3 kW/m²	36	3,0
	38	2,7
	40	2,5
	42	2,3
	44	2,1

Annexe n°2.6

Ph2- Incendie CSR
Flux thermique rayonné en direction Ouest

Hauteur de flamme (m) :	12,0		
Largeur de flamme (m) :	45,0		
Hauteur de la cible (m) :		1,8	7,0
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :		5,0	5,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)	Flux reçu (kW/m²)
	1	5,6	**59,4**
	2	9,6	45,0
	3	11,4	33,8
	4	11,9	26,5
	9	9,0	11,9
	10	8,4	10,6
D 8 kW/m²	11	7,8	9,5
	12	7,2	8,6
	13	6,7	7,8
	14	6,2	7,1
	15	5,8	6,5
D 5 kW/m²	19	4,4	4,8
	20	4,1	4,5
	21	3,9	4,2
	22	3,6	3,9
	23	3,4	3,6
D 3 kW/m²	27	2,7	2,8
	28	2,6	2,7
	29	2,4	2,5
	30	2,3	2,4
	31	2,2	2,3
	32	2,1	2,2
	33	2,0	2,1
	34	1,9	2,0
	35	1,8	1,9
	36	1,7	1,8

Annexe n°2.7

Ph3- Incendie Valorisation + balles
Flux thermique rayonné en direction Nord

Hauteur de flamme (m) :	16,0
Largeur de flamme (m) :	58,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	5,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	1	4,2
	2	7,4
	3	9,0
	4	9,6
	5	9,6
	6	9,3
	7	8,9
	8	8,5
D 8 kW/m²	9	8,0
	10	7,5
	11	7,0
	12	6,6
	13	6,2
	14	5,8
	15	5,5
	16	5,2
D 5 kW/m²	17	4,9
	18	4,6
	19	4,3
	20	4,1
	21	3,9
	22	3,7
	23	3,5
	24	3,3
	25	3,1
D 3 kW/m²	26	3,0

Annexe n°2.8

Ph3- Incendie Valorisation + balles
Flux thermique rayonné en direction Est ou Ouest

Hauteur de flamme (m) :	16,0
Largeur de flamme (m) :	45,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	5,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	1	4,2
	2	7,4
	3	8,9
	4	9,5
	5	9,5
	6	9,3
	7	8,8
	8	8,3
D 8 kW/m²	9	7,8
	10	7,3
	11	6,8
	12	6,4
	13	6,0
	14	5,6
	15	5,2
D 5 kW/m²	16	4,9
	17	4,6
	18	4,3
	19	4,1
	20	3,8
	21	3,6
	22	3,4
	23	3,2
D 3 kW/m²	24	3,0
	25	2,8
	26	2,7

Annexe n°2.9

Ph4- Incendie Local DIB
Flux thermique rayonné en direction Est

Hauteur de flamme (m) :	14,0
Largeur de flamme (m) :	50,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	0,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	2	43,6
	4	27,2
D 20 kW/m²	6	19,6
D 16 kW/m²	8	15,2
	10	12,3
	12	10,2
	14	8,6
D 8 kW/m²	15	8,0
	16	7,4
	18	6,4
	20	5,6
D 5 kW/m²	22	4,9
	24	4,4
	26	3,9
	28	3,5
	30	3,2
D 3 kW/m²	31	3,0
	33	2,7
	35	2,5
	37	2,3
	39	2,1
	41	1,9
	43	1,7
	45	1,6
	47	1,5
	49	1,4

Annexe n°2.10

Ph4- Incendie Local DIB
Flux thermique rayonné en direction Sud

Hauteur de flamme (m) :	14,0
Largeur de flamme (m) :	25,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	5,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	1	3,9
	2	6,8
	3	8,1
	4	8,5
	5	8,3
D 8 kW/m²	6	7,9
	7	7,4
	8	6,8
	9	6,2
	10	5,7
	11	5,2
D 5 kW/m²	12	4,8
	13	4,4
	14	4,0
	15	3,7
	16	3,4
	17	3,1
D 3 kW/m²	18	2,9
	19	2,6
	20	2,4
	21	2,3
	22	2,1
	23	2,0
	24	1,8
	25	1,7
	26	1,6

Annexe n°2.11

Ph4- Incendie Local DIB
Flux thermique rayonné en direction Ouest

Hauteur de flamme (m) :	14,0
Largeur de flamme (m) :	50,0
Hauteur de la cible (m) :	1,8
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	5,0

	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m²)
	1	4,0
	2	6,9
	3	8,3
	4	8,8
	5	8,7
	6	8,4
D 8 kW/m²	7	8,0
	8	7,5
	9	7,0
	10	6,6
	11	6,1
	12	5,7
	13	5,3
D 5 kW/m²	14	5,0
	15	4,7
	16	4,4
	17	4,1
	18	3,8
	19	3,6
	20	3,4
	21	3,2
D 3 kW/m²	22	3,0
	23	2,9
	24	2,7
	25	2,6
	26	2,4

Annexe 2.12. Dispersion atmosphérique des fumées d'incendie
Incendie généralisé du bâtiment Valorisation et du stockage de balles

Vitesse du vent (m/s) : 3
Classe de stabilité : a

Débit du rejet de suies (g/s) : 3000
Hauteur de culmination (m) : 260

distance à la source (km)	Concentration dans l'air au niveau du sol									
	Suies (mg/m^3)	**CO** (mg/m^3)	**Imb.** (mg/m^3)	**HCN** (mg/m^3)	**NO2** (mg/m^3)	**HCl** (mg/m^3)	**HBr** (mg/m^3)	**SO2** (mg/m^3)	**HF** (mg/m^3)	**As** (mg/m^3)
0,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,10	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,026	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,20	0,275	0,137	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,934	0,467	0,467	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,30	1,769	0,885	0,885	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,35	2,437	1,218	1,218	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,40	2,803	1,402	1,402	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,45	2,903	1,451	1,451	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,50	2,823	1,412	1,412	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,55	2,643	1,322	1,322	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,60	2,419	1,210	1,210	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,65	2,185	1,092	1,092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,70	1,958	0,979	0,979	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,75	1,749	0,874	0,874	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,80	1,559	0,780	0,780	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,85	1,391	0,695	0,695	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,90	1,242	0,621	0,621	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,95	1,111	0,556	0,556	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,997	0,498	0,498	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,05	0,896	0,448	0,448	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,10	0,808	0,404	0,404	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,15	0,730	0,365	0,365	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,20	0,661	0,331	0,331	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,25	0,601	0,301	0,301	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,30	0,547	0,274	0,274	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,35	0,500	0,250	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,40	0,458	0,229	0,229	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,45	0,420	0,210	0,210	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,50	0,386	0,193	0,193	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,55	0,356	0,178	0,178	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,60	0,329	0,164	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,65	0,304	0,152	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,70	0,282	0,141	0,141	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 2.13. Dispersion atmosphérique des fumées d'incendie
Incendie généralisé du bâtiment Valorisation et du stockage de balles

Vitesse du vent (m/s) : 3
Classe de stabilité : c

Débit du rejet de suies (g/s) : 3000
Hauteur de culmination (m) : 260

distance à la source (km)	Concentration dans l'air au niveau du sol									
	Suies (mg/m^3)	**CO** (mg/m^3)	**Imb.** (mg/m^3)	**HCN** (mg/m^3)	**NO2** (mg/m^3)	**HCl** (mg/m^3)	**HBr** (mg/m^3)	**SO2** (mg/m^3)	**HF** (mg/m^3)	**As** (mg/m^3)
0,50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,044	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,50	0,402	0,201	0,201	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,00	0,877	0,438	0,438	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,50	1,173	0,587	0,587	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,00	1,282	0,641	0,641	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,50	1,275	0,638	0,638	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,00	1,210	0,605	0,605	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,50	1,122	0,561	0,561	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5,00	1,028	0,514	0,514	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5,50	0,937	0,468	0,468	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,00	0,852	0,426	0,426	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,50	0,776	0,388	0,388	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,00	0,707	0,354	0,354	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,50	0,646	0,323	0,323	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,00	0,592	0,296	0,296	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,50	0,544	0,272	0,272	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9,00	0,501	0,251	0,251	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9,50	0,463	0,231	0,231	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,00	0,429	0,214	0,214	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,50	0,398	0,199	0,199	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11,00	0,371	0,185	0,185	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11,50	0,346	0,173	0,173	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12,00	0,324	0,162	0,162	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12,50	0,303	0,152	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13,00	0,285	0,143	0,143	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13,50	0,268	0,134	0,134	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14,00	0,253	0,126	0,126	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14,50	0,239	0,119	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15,00	0,226	0,113	0,113	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15,50	0,214	0,107	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16,00	0,203	0,102	0,102	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16,50	0,193	0,097	0,097	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17,00	0,184	0,092	0,092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 2.14. Dispersion atmosphérique des fumées d'incendie
Incendie généralisé du bâtiment Valorisation et du stockage de balles

Vitesse du vent (m/s) : 5
Classe de stabilité : d

Débit du rejet de suies (g/s) : 3000
Hauteur de culmination (m) : 150

distance à la source (km)	Concentration dans l'air au niveau du sol									
	Suies (mg/m³)	**CO** (mg/m³)	**Imb.** (mg/m³)	**HCN** (mg/m³)	**NO2** (mg/m³)	**HCl** (mg/m³)	**HBr** (mg/m³)	**SO2** (mg/m³)	**HF** (mg/m³)	**As** (mg/m³)
1,00	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,00	0,293	0,146	0,146	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,00	0,758	0,379	0,379	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,00	1,050	0,525	0,525	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5,00	1,170	0,585	0,585	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,00	1,187	0,593	0,593	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,00	1,152	0,576	0,576	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,00	1,094	0,547	0,547	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9,00	1,027	0,513	0,513	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,00	0,969	0,485	0,485	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11,00	0,897	0,448	0,448	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12,00	0,831	0,416	0,416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13,00	0,772	0,386	0,386	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14,00	0,719	0,360	0,360	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15,00	0,672	0,336	0,336	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16,00	0,629	0,315	0,315	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17,00	0,590	0,295	0,295	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18,00	0,555	0,278	0,278	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19,00	0,524	0,262	0,262	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20,00	0,495	0,247	0,247	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21,00	0,468	0,234	0,234	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22,00	0,444	0,222	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23,00	0,422	0,211	0,211	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24,00	0,402	0,201	0,201	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25,00	0,383	0,191	0,191	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26,00	0,366	0,183	0,183	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27,00	0,349	0,175	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
28,00	0,334	0,167	0,167	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29,00	0,321	0,160	0,160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
30,00	0,308	0,154	0,154	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
31,00	0,295	0,148	0,148	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
32,00	0,284	0,142	0,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
33,00	0,274	0,137	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
34,00	0,264	0,132	0,132	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 2.15. Dispersion atmosphérique des fumées d'incendie
Incendie généralisé du bâtiment Valorisation et du stockage de balles

Vitesse du vent (m/s) : 12
Classe de stabilité : c

Débit du rejet de suies (g/s) : 3000
Hauteur de culmination (m) : 60

distance à la source (km)	Concentration dans l'air au niveau du sol									
	Suies (mg/m³)	**CO** (mg/m³)	**Imb.** (mg/m³)	**HCN** (mg/m³)	**NO2** (mg/m³)	**HCl** (mg/m³)	**HBr** (mg/m³)	**SO2** (mg/m³)	**HF** (mg/m³)	**As** (mg/m³)
0,10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,20	0,329	0,164	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,30	2,457	1,228	1,228	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,40	5,029	2,515	2,515	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,50	6,563	3,282	3,282	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,60	7,089	3,545	3,545	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,70	7,010	3,505	3,505	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,80	6,633	3,316	3,316	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,90	6,138	3,069	3,069	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	5,618	2,809	2,809	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,10	5,117	2,559	2,559	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,20	4,655	2,328	2,328	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,30	4,237	2,118	2,118	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,40	3,863	1,932	1,932	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,50	3,530	1,765	1,765	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,60	3,235	1,617	1,617	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,70	2,972	1,486	1,486	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,80	2,739	1,369	1,369	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,90	2,531	1,265	1,265	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,00	2,345	1,172	1,172	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,10	2,178	1,089	1,089	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,20	2,028	1,014	1,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,30	1,893	0,947	0,947	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,40	1,771	0,885	0,885	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,50	1,660	0,830	0,830	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,60	1,560	0,780	0,780	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,70	1,468	0,734	0,734	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,80	1,384	0,692	0,692	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,90	1,307	0,654	0,654	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,00	1,237	0,619	0,619	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,10	1,172	0,586	0,586	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,20	1,112	0,556	0,556	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,30	1,057	0,529	0,529	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,40	1,006	0,503	0,503	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000