


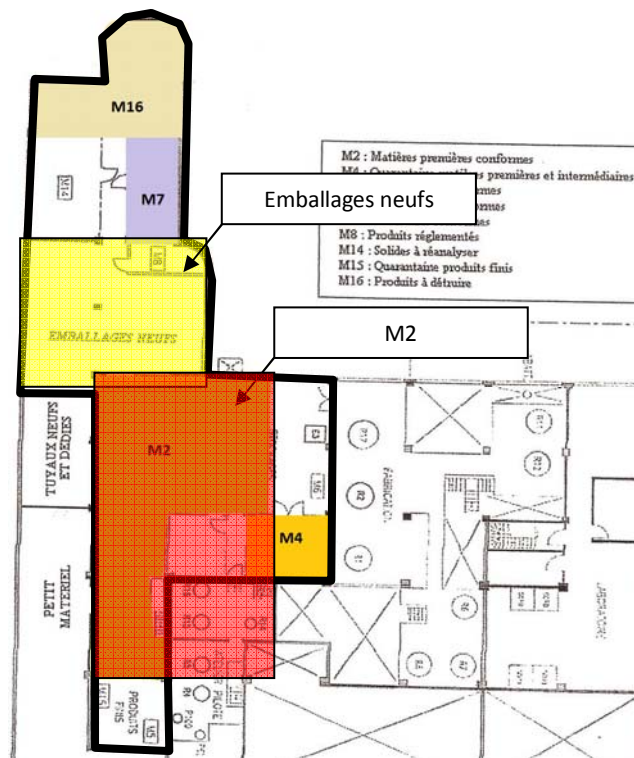
| | |
|---|---|
|  <p>anteagroup AGENCE Nord Est Métier Risques Industriels</p> | <p>Client : NORCHIM</p> <p>n° de l'affaire : PICP110136</p> <p>Intitulé de l'affaire : Modélisations dans le cadre de l'étude de dangers</p> |
| <p>Destinataires : GUERIN Risques Industriels</p> | |
| <p>Copies à :</p> <p>Objet : Modélisation n°3 – 3 incendies : Incendie de la zone emballages neufs seule, Incendie de la zone M2 seule, Incendie généralisée des zones emballage et M2 (effet domino)</p> | |

NOTE n° 3/5

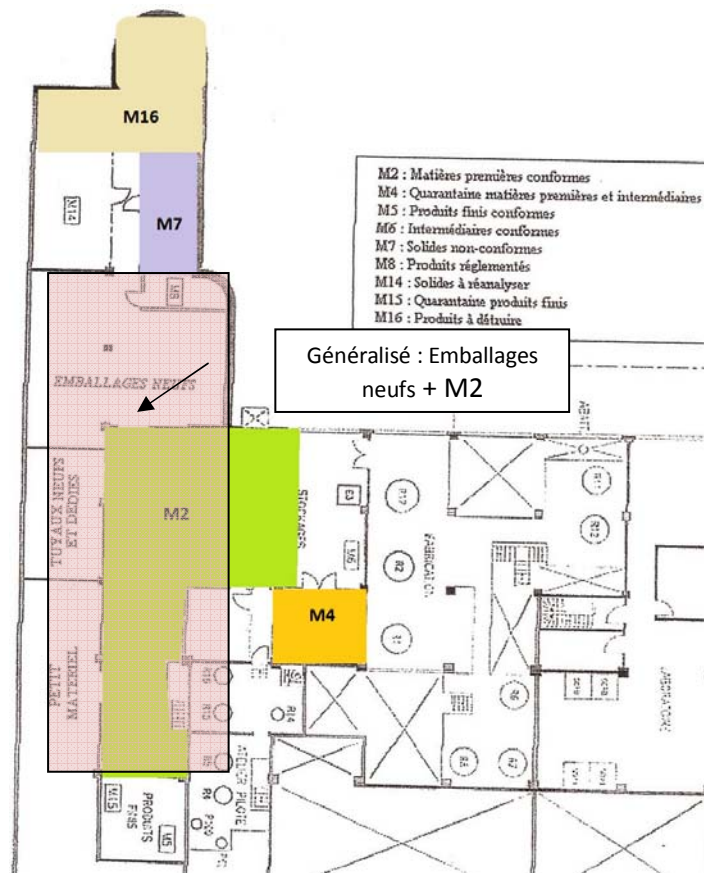
1. Données d'entrée

Les surfaces modélisées sont présentées sur les figures ci-après.

- **Incendie de la zone emballages neufs : 9 m x 9 m**
- **Incendie de la zone M2 : 21 m x 9 m**
- **Incendie généralisé des zones emballages et M2 (effet domino) : 30 m x 9 m**



GUERIN Risques Industriels
Modélisations pour l'étude de dangers du site NORCHIM (60)- n° A 63265/A



1.1 Incendie de la zone emballages neufs seule

Les produits stockés dans la zone des emballages neufs sont les suivants :

- Combustible - cartons d'emballage et fûts en kraft: 1 T max ;
- Combustibles - sacs en polyéthylène : 1 T max ;

Cette zone est située à l'étage. Le sol de l'étage se trouve environ à 4 m de hauteur. Les dimensions de la zone des emballages neufs sont les suivantes : 9*9*2.5 m/2 (toit en V)= 101 m³

Les caractéristiques constructives de cette zone sont les suivantes :

- piliers en béton,
- toit en briques et tuiles,
- murs en parpaing,
- sol en béton,

(Source : GUERIN Risques Industriels)

Les caractéristiques de combustion des différents produits présents sur la zone des emballages neufs sont les suivantes :

| Matériaux | Caractéristiques de combustion | | | |
|--|---|---|-----------------------------|---|
| | Vitesse de combustion (g/m ² /s) | Source | Pouvoir calorifique (MJ/kg) | Source |
| Bois/carton (cartons d'emballage et fûts en kraft) | 48 | INERIS DRA 2006-71838 Industrie papetière | 21,5 | INERIS DRA 2006-71838 Industrie papetière |
| Polyéthylène (sacs en PE) | 26 | NFPA SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2002 Edition | 46 | DRA-03 : Spécificités des entrepôts au regard de l'incendie, INERIS 2000 Centre national du recyclage |

Le tableau suivant présente les caractéristiques de combustion moyennes en fonction des différents produits présents sur cette zone :

| Produits | Proportion des produits sur la zone des emballages neufs (%) | Vitesse de combustion (g/m ² /s) | Chaleur de combustion : PCI (MJ/kg) | Vitesse de combustion moyenne calculée (g/m ² /s) | Chaleur de combustion moyenne calculée PCI (MJ/kg) |
|--|--|---|-------------------------------------|--|--|
| Bois/carton (cartons d'emballage et fûts en kraft) | 50 (1 t max) | 48 | 21,5 | 24 | 11 |
| Polyéthylène (sacs en PE) | 50 (1 t max) | 26 | 46 | 13 | 23 |
| Vitesse de combustion et émittance moyenne des produits présents sur la zone des emballages neufs | | | | 37,0 | 33,8 |

Cette zone étant constituée principalement de cartons et de polyéthylène, les conséquences de l'incendie de la zone des emballages neufs seront modélisées en retenant :

- une vitesse de combustion moyenne de 37,0 g/m²/s et,
- une chaleur de combustion moyenne de 33,8 MJ/kg.

1.2 Incendie de la zone M2 seule :

Les produits stockés dans la zone M2 sont les suivants :

- 1/3 de Combustible - palettes en bois : 1/3 de 1 T environ ;
- 1/3 Combustibles - palettes en plastique : 1/3 de 2 T ;
- Produits inflammables (majorité en poudre), assimilés à un liquide inflammable classique, type essence : 1 T max.

Cette zone est située à l'étage. Le sol de l'étage se trouve environ à 4 m de hauteur. Les dimensions de la zone M2 sont les suivantes : $4*21*4=336 \text{ m}^3 + 4*9*4=144 \text{ m}^3$

Les caractéristiques constructives de cette zone sont les suivantes :

- piliers en béton,
- plafond en béton,
- murs en parpaing,
- sol en béton.

Les caractéristiques de combustion des différents produits présents sur la zone M2 sont les suivantes :

| Matériaux | Caractéristiques de combustion | | | |
|---|---|---|-----------------------------|---|
| | Vitesse de combustion (g/m ² /s) | Source | Pouvoir calorifique (MJ/kg) | Source |
| Bois/carton (palette en bois) | 80 | INERIS DRA 2006-71838 Industrie papetière | 18,6 | INERIS DRA 2006-71838 Industrie papetière |
| Polyéthylène (palette en plastique) (1) | 26 | NFPA SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2002 Edition | 46 | DRA-03 : Spécificités des entrepôts au regard de l'incendie, INERIS 2000 Centre national du recyclage |
| Essence (produits inflammables) (2) | 55 | Guide du GTDLI, 2008 | 41,84 | Guide du GTDLI, 2008 |

(1) les caractéristiques de combustion des palettes en plastiques ont été assimilées de manière conservatrice à du polyéthylène (PE). Le PE étant le plastique ayant les plus fortes caractéristiques de combustion (notamment pour le PCI), ce qui représente une hypothèse majorante.

(2) les caractéristiques de combustion des produits inflammables ont été assimilées de manière conservatrice à de l'essence. L'essence étant l'un des produits inflammables ayant les plus fortes caractéristiques de combustion, ce qui représente une hypothèse majorante.

Le tableau suivant présente les caractéristiques de combustion moyennes en fonction des différents produits présents sur cette zone :

| Produits | Proportion des produits sur la zone M2 (%) | Vitesse de combustion (g/m ² /s) | Chaleur de combustion : PCI (MJ/kg) | Vitesse de combustion moyenne calculée (g/m ² /s) | Chaleur de combustion moyenne calculée PCI (MJ/kg) |
|--|--|---|-------------------------------------|--|--|
| Bois/carton (palette en bois) | 17 (1/3 de 1T) | 80 | 18,6 | 13 | 3 |
| Polyéthylène (palette en plastique) | 33 (1/3 de 1T) | 26 | 46 | 9 | 15 |
| Essence (produits inflammables) | 50 (1 t) | 55 | 43,7 | 28 | 21 |
| Vitesse de combustion et émittance moyenne des produits présents sur la zone M2 | | | | 49,5 | 39,4 |

Cette zone étant constituée principalement de bois, de plastiques et de produits inflammables, les conséquences de l'incendie de la zone M2 seront modélisées en retenant :

- une vitesse de combustion moyenne de 49,5 g/m²/s et,
- une chaleur de combustion moyenne de 39,4 MJ/kg.

1.3 Incendie généralisé des zones emballages neufs et M2 (effet domino)

Le tableau suivant présente les caractéristiques de combustion moyennes sur cette zone :

| Zone | Surface des zones (%) | Vitesse de combustion (g/m ² /s) | Chaleur de combustion : PCI (MJ/kg) | Vitesse de combustion moyenne calculée (g/m ² /s) | Chaleur de combustion moyenne calculée PCI (MJ/kg) |
|---|-----------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| Emballages neufs (9 x 9 = 81 m ²) | 40 | 37,0 | 33,8 | 15 | 14 |
| M2 (4 x 21 + 4 x 9 = 120 m ²) | 60 | 49,5 | 39,4 | 30 | 24 |
| Vitesse de combustion et émittance moyenne de l'incendie généralisé des zones emballage et M2 (effet domino) | | | | 44,5 | 37,1 |

L'incendie généralisé des zones emballages neufs et M2 (effet domino) sera modélisé en retenant :

- une vitesse de combustion moyenne de 44,5 g/m²/s et,
- une chaleur de combustion moyenne de 37,1 MJ/kg.

2. Seuils d'effets thermiques retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux

Les seuils retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux sont définis par l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif « à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études des dangers des installations classées soumises à autorisation ».

Les effets d'un incendie s'apprécient en termes de flux thermique reçu par une surface exposée. Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques pour les installations classées sont données ci-après, suivant que l'on analyse ces effets sur les personnes ou les biens :

| Effets prévisibles sur les structures | Effets prévisibles sur l'homme | Flux thermique (kW/m ²) |
|--|---|-------------------------------------|
| Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton | - | 20 |
| Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton | - | 16 |
| Seuil des effets domino et correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures | Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à la zone de dangers très graves pour la vie humaine | 8 |
| Seuil des destructions de vitres significatives | Seuil des premiers effets létaux (SEL) correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine | 5 |
| - | Seuil des effets irréversibles (SEI) correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine | 3 |

Tableau 1 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques pour les installations classées

Dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux, les distances associées aux seuils 8, 5, et 3 kW/m² sont calculées.

En ce qui concerne les distances d'effets consécutifs à une boule de feu ou à un phénomène de courte durée, les seuils pris en compte sont ceux correspondant aux doses thermiques reçues suivantes :

- 600 [(kW/m²)^{4/3}].s, seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
- 1 000 [(kW/m²)^{4/3}].s, seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
- 1 800 [(kW/m²)^{4/3}].s, seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

Ce type de phénomène étant de courte durée, aucun seuil correspondant aux effets dominos n'est considéré.

Par ailleurs, afin d'appréhender le risque lié à un flux thermique incident, la littérature propose à titre purement indicatif, une série de valeurs seuils conduisant à des effets physiques observables. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

| Flux (kW/m ²) | Effets |
|---------------------------|---|
| 0,7 | Coup de soleil |
| 1 | Rayonnement solaire en zone tropicale |
| 1,6 | Intensité radiative ne causant aucun inconfort pour des expositions prolongées |
| 3 | Critère du SEL pour les brûlures du 1 ^{er} degré sur une peau nue exposée 60 sec |
| 5 | Critère du SEL pour le risque léthal. Exposition de 60 sec sur une peau nue Bris de vitres |
| 8 | Critère du SELS pour le risque léthal. Début de la combustion spontanée du bois et des peintures Propagation du feu improbable sur des réservoirs non protégés Intervention possible avec tenue ignifuge |
| 9,5 | Seuil de douleur en 8 sec, brûlures du 2 nd degré après 20 sec |
| 12 | Propagation improbable du feu sur des réservoirs arrosés Seuil de l'effet domino par propagation |
| 12,5 | Fusion des tubes en plastique |
| 20 | Tenue du béton pendant plusieurs heures |
| 27 | Ignition spontanée du bois entre 5 et 15 mn |
| 36 | Dégâts aux équipements, stockages...même protégés par refroidissement |
| 92 | Rayonnement d'un feu faible (<850°C) |
| 100 | Température de 100°C atteinte dans 10 cm de béton au bout de 3 h |
| 150 | Rayonnement d'un feu moyen (1000°C) |
| 200 | Ruine du béton par éclatement interne en quelques dizaines de minutes (T° interne 200 à 300°C) |
| 250 | Valeur de la boule de feu d'un BLEVE |

(d'après ANDURAND-Ecole des Mines d'Alès et Michaëlis, guide UFIP des études de dangers)

Tableau 2 : Effets physiques observables pour des valeurs seuils types

3. Méthodes et moyens de calcul mis en application

3.1 CALCUL DES FLUX THERMIQUES GENERES PAR UN FEU DE COMBUSTIBLES SOLIDES

La modélisation des flux thermiques rayonnés par un feu de combustibles solides est réalisée par l'utilisation de l'outil de calcul « I.F.N.A.P. », développé par ANTEA (Incendie Feu de Nappe). Il est rappelé que le terme « feu de nappe », ou « feu de flaque », décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide.

I.F.N.A.P. permet l'étude des combustibles liquides mais aussi des combustibles solides susceptibles de se liquéfier sous l'effet de la chaleur (plastiques, bitumes,...) et les matières solides combustibles qui peuvent induire un feu de surface similaire à celui des feux de liquides.

Le modèle développé par ANTEA repose sur la considération d'une flamme solide à une zone. La flamme est assimilée à un volume opaque de géométrie simple dont les surfaces rayonnent uniformément. De fait il est supposé une température de flamme et une composition homogènes sur toute la hauteur de la flamme.

Le flux rayonné en un point extérieur à la flamme est donné par la formule générique :

$$\phi_R = \phi_0 \cdot F \cdot \tau_{air}$$

avec :

ϕ_R : Flux unitaire reçu par la cible (kW/m²)

ϕ_0 : Flux radiatif initial de la flamme ou pouvoir émissif de la flamme (kW/m²)

F : Facteur de forme fonction de la géométrie du feu et de l'orientation relative de la cible

τ_{air} : Transmissivité de l'air caractérisant la capacité d'atténuation du flux rayonné par absorption atmosphérique.

Dans I.F.N.A.P., le pouvoir émissif peut être estimé selon 2 approches. Une approche énergétique simple en considérant la puissance surfacique rayonnée par la flamme comme une fraction de la puissance totale libérée par la combustion (méthode du TNO). L'autre approche disponible est celle développée par MUDAN ET CROCE, qui intègre l'incidence de la production de suies.

La puissance surfacique rayonnée est déterminée via la connaissance de la surface de la nappe au sol en feu et de la hauteur de flamme. I.F.N.A.P. permet d'étudier tout type de surface de flaque : rectangulaire, circulaire, induite par un rejet continu ou suite à un éclatement de capacité. I.F.N.A.P. propose différentes corrélations pour le calcul de la hauteur de flamme : THOMAS, HESKESTAT, MOORHOUSE, ZUKOVSKI et COX & CHITTY.

Les facteurs de forme traduisent l'angle solide sous lequel la cible perçoit le rayonnement. Dans I.F.N.A.P., la flamme est assimilée à une forme géométrique simple (cylindre, polyèdre) : I.F.N.A.P. considère les cas facteurs de forme associés à cylindre droit et à un plan vertical.

Le facteur de transmissivité atmosphérique traduit le fait que les radiations émises sont en partie absorbées par l'air présent entre la surface radiante et la cible. I.F.N.A.P. propose 3 corrélations : LANNOY, BRZUSTOSWIKI & SOMMER, et LIHOU & MAUND.

Enfin, I.F.N.A.P. permet d'étudier les configurations définies par la présence d'un mur coupe-feu placé au droit de la surface au sol en feu, mais aussi pour un mur-coupe-feu éloigné de la surface au sol en feu.

Des tests de comparaison pour les feux de nappe ont été effectués entre la feuille de calcul I.F.N.A.P., et les résultats présentés sur le document de l'INERIS « *Etude de scénarios dangereux en station-service* ». Plus de 10 configurations ont été étudiées. Les résultats de ces comparaisons sont les suivants :

| Type d'écart | | Formules utilisées | Ecart* |
|---------------------|---------------|---|--------|
| Hauteur de flamme | Ecart minimum | Hauteur de flamme : Thomas | 2% |
| | Ecart moyen | | 6% |
| | Ecart maximum | | 18% |
| 3 kW/m ² | Ecart minimum | Hauteur de flamme : Thomas | 0% |
| | Ecart moyen | | 9% |
| | Ecart maximum | | 17% |
| 5 kW/m ² | Ecart minimum | Pouvoir émissif : Mudan et Croce | 0% |
| | Ecart moyen | | 10% |
| | Ecart maximum | | 23% |
| 8 kW/m ² | Ecart minimum | Transmissivité : Brzustowski et Sommer | / |
| | Ecart moyen | | / |
| | Ecart maximum | | / |

* : les écarts ne sont comptabilisés que si les seuils sont atteints

Des tests de comparaison pour les feux de solides ont été effectués entre la feuille de calcul I.F.N.A.P., et les résultats présentés sur le document de l'INERIS « *Analyse des risques associés à l'industrie papetière* ». 8 configurations ont été étudiées. Les résultats de ces comparaisons sont les suivants :

| Type d'écart | | Formules utilisées | Ecart* |
|---------------------|---------------|---|--------|
| Hauteur de flamme | Ecart minimum | Hauteur de flamme : Thomas | 0% |
| | Ecart moyen | | 1% |
| | Ecart maximum | | 8% |
| 3 kW/m ² | Ecart minimum | Hauteur de flamme : Thomas | 0% |
| | Ecart moyen | | 2% |
| | Ecart maximum | | 7% |
| 5 kW/m ² | Ecart minimum | Pouvoir émissif : Mudan et Croce | 0% |
| | Ecart moyen | | 4% |
| | Ecart maximum | | 9% |
| 8 kW/m ² | Ecart minimum | Transmissivité : Brzustowski et Sommer | 6% |
| | Ecart moyen | | 10% |
| | Ecart maximum | | 14% |

* : les écarts ne sont comptabilisés que si les seuils sont atteints

Afin de ne pas fausser les résultats sur le flux thermique, la formule de Thomas a été utilisée car l'INERIS a fait ces modélisations à partir de cette même formule. Ainsi, les différences notées pour la hauteur de flamme proviennent de la manière de calculer le diamètre équivalent.

Peu de divergences sont observées au niveau des écarts selon les dimensions des nappes. Par ailleurs, dans la grande majorité des cas, les résultats donnés par I.F.N.A.P. majoraient ceux donnés dans les documents de l'INERIS.

Ainsi, le peu de variations constatées entre les guides de l'INERIS et la méthode développée par ANTEA, et le caractère dimensionnant de l'outil, nous permettent de justifier de l'utilisation de la méthode caractérisée par ANTEA.

4. ZONES d'effet des phénomènes dangereux

Le tableau ci-dessous reprend les distances d'effets des phénomènes dangereux modélisés et les principales données intermédiaires.

| Phénomènes dangereux (PD) | | Principales hypothèses | Résultats intermédiaires | Effets ou dose thermiques | | |
|---------------------------|---|--|--|---------------------------|---------------------|---------------------|
| N° | Intitulé | | | 3 kW/m ² | 5 kW/m ² | 8 kW/m ² |
| 3 | Incendie de la zone emballages neufs | Dimensions de la zone : 9 m x 9 m modélisées Vitesse de combustion moyenne de 37,0 g/m ² /s et, Chaleur de combustion moyenne de 33,8 MJ/kg | Flux émissif : 14,3 kW/m ² Hauteur de flamme : 17,47 m | NA | NA | NA |
| | Incendie de la zone M2 | Dimensions de la zone : 21 m x 9 m modélisées (Dimensions réelles 4 x 21 + 4 x 9 = 120 m ²) Vitesse de combustion moyenne de 49,5 g/m ² /s et, Chaleur de combustion moyenne de 39,4 MJ/kg. | Flux émissif : 20,4 kW/m ² Hauteur de flamme : 29,73 m | 19 m /NA | NA | NA |
| | Incendie généralisé des zones emballage et M2 (effet domino) | Dimensions de la zone : 30 m x 9 m modélisées Vitesse de combustion moyenne de 44,5 g/m ² /s et, Chaleur de combustion moyenne de 37,1 MJ/kg. | Flux émissif : 15,6 kW/m ² Hauteur de flamme : 32,72 m | 19 m /NA | NA | NA |

Avec : NA : Non Atteint

(Les distances d1/d2 correspondent aux effets le long des médiatrices faisant face, respectivement, à la longueur et à la largeur du bâtiment en flammes).

Ces résultats sont obtenus pour une cible humaine placée à 1,50 m au niveau du sol, sans tenir compte des murs du stockage. L'absence d'effets létaux sur cette cible s'explique par la hauteur de l'incendie : celui-ci est modélisé à l'étage du bâtiment, soit à 4 m de haut par rapport au sol. Seul le flux de 3 kW/m² est ressenti au sol sur une zone de 19 m autour du bâtiment.

La prise en compte des murs en parpaings pour les deux zones ainsi que du toit en béton pour la zone M2, jouant le rôle d'un confinement coupe feu jusqu'à effondrement des structures, met en évidence une absence d'effets au sol dans toutes les configurations.