

F.12 - APPROCHE DES FLUX THERMIQUES PAR LA METHODE FLUMILOG

F.12.1 - METHODOLOGIE

F.12.1.1 - PREAMBULE

Dans le domaine de l'entreposage et de la logistique, les retours d'expérience ont montré que l'incendie constitue le risque majeur, dont l'impact sur l'environnement est estimé par le calcul des flux thermiques qu'ils génèrent.

L'étude des flux thermiques a pour objectifs de caractériser les risques présentés par un incendie. Elle constitue donc la base à la mise en place des dispositifs de sécurité qui s'inscrivent dans une démarche de maîtrise des risques et de protection de la population et de l'environnement. Cette étude doit, par conséquent, s'appuyer sur des connaissances récentes, précises et adaptées au domaine de l'entreposage et de la logistique.

Dans ce cadre, le programme de recherche FLUMILOG a pour vocation de « renouveler les connaissances dans le domaine de la prévention du risque incendie au sein des plate-formes logistiques », en développant notamment une méthode de référence pour le calcul des distances associées aux effets des flux thermiques, fondée sur un modèle théorique (analyse bibliographique et identification des paramètres d'influence), confrontée et enrichie par des essais à différentes échelles.

Sur la base de cette méthode, un modèle numérique a été développé ; il s'applique aux entrepôts classés pour les rubriques n°1510, n°1511, n°1530, n°2662 et n°2663 de la nomenclature ICPE et plus globalement aux rubriques comportant des combustibles solides.

Pour répondre à une problématique récurrente de présence de liquides inflammables au sein de cellules de stockage, un nouveau module a été ajouté à la méthode Flumilog.

Dans ce qui suit, on s'attachera à décrire, de façon brève et en référence au document « FLUMILOG, description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt – Partie A », la méthode de calcul utilisée pour l'estimation des distances d'effets en fonction du temps.

On rappelle dans un premier temps les seuils et exigences réglementaires à respecter.

F.12.1.2 - CRITERES POUR L'ESTIMATION DES ZONES DE DANGER « FLUX THERMIQUE »

Le tableau suivant donne les effets en fonction du flux thermique reçu. Ces valeurs sont issues de l'annexe II de 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 de dangers des installations classées soumises à autorisation.

Effets sur	Seuils des	Flux en kW/m ² ((kW/m ²) ^{4/3})					
		3	5	8	16	20	200
Les structures	Destructions de vitres significatives		X				
	Effets domino ⁽¹⁾ et des dégâts graves sur les structures			X			
	Exposition prolongée des structures et des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton				X		
	Tenue du béton pendant plusieurs heures et des dégâts très graves sur les structures béton					X	
	Ruine du béton en quelques dizaines de minutes						X
L'homme	Effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	X					
	Effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine		X				
	Effets létaux significatifs délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine			X			

(1) Seuil à partir duquel les effets domino doivent être examinés. Une modulation est possible en fonction des matériaux et structures concernés.

Nota : Les seuils et effets en rouge sont ceux pris en compte dans la modélisation FLUMILOG

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques.

La maîtrise de l'urbanisation est basée sur la détermination de deux distances :

- La **distance Z1** correspondant aux **effets létaux en cas d'incendie**, soit **5 kW/m² pour les effets thermiques** et à la distance d'éloignement :
 - Des constructions à usage d'habitation ;
 - Des immeubles habités ou occupés par des tiers et des zones destinées à l'habitation, à l'exclusion des installations connexes à l'entrepôt ;
 - Des voies de circulation autres que celles nécessaires à la desserte ou à l'exploitation de l'entrepôt ;
- La **distance Z2** correspondant aux **effets irréversibles en cas d'incendie**, soit **3 kW/m² pour les effets thermiques** et à la distance d'éloignement :
 - Des immeubles de grande hauteur ;
 - Des établissements recevant du public ;
 - Des voies ferrées ouvertes au trafic de voyageurs ;
 - Des voies d'eau ou bassin, exceptés les bassin de rétention d'eau pluviales et de réserve d'eau incendie ;

- Page 3

La densité de flux thermique radiatif reçu par un élément extérieur à la flamme est donnée par l'équation suivante :

$$F = \alpha * f * E$$

Avec :

- F, la densité de flux thermique radiatif reçue par un élément extérieur (kW/m²) ;
- E, le pouvoir émissif de la flamme, c'est-à-dire la puissance rayonnée par unité de surface de flamme (kW/m²) ;
- f, facteur de vue (ou de forme) entre l'élément extérieur et la flamme qui traduit l'angle solide sous lequel la cible perçoit la flamme ;
- α , le coefficient d'atténuation atmosphérique, qui traduit l'absorption d'une partie du rayonnement émis par la flamme par l'air ambiant présent entre la surface radiante et la cible ; il est déterminé par la formule simplifiée de Bagster :

$$\alpha = 2.02 (p_w * d)^{-0.09}$$

Avec :

- d, la distance entre la flamme et la cible (m) ;
- p_w , la pression partielle d'eau dans l'air (Pa), donnée par l'équation suivante :

$$p_w = \gamma * 1.013 * 10^5 * e^{\left[\frac{14.4114 - (5328/T_{amb})}{T_{amb}} \right]}$$

Où :

- γ est le taux d'humidité dans l'air, pris à 70% ;
- T_a est la température ambiante, pris à 15°C ;

Au vu des éléments manquants, il convient maintenant de déterminer :

- La géométrie de la flamme qui intervient dans le calcul du facteur de forme ;
- L'émission de la flamme.

CARACTERISTIQUES DE LA FLAMME

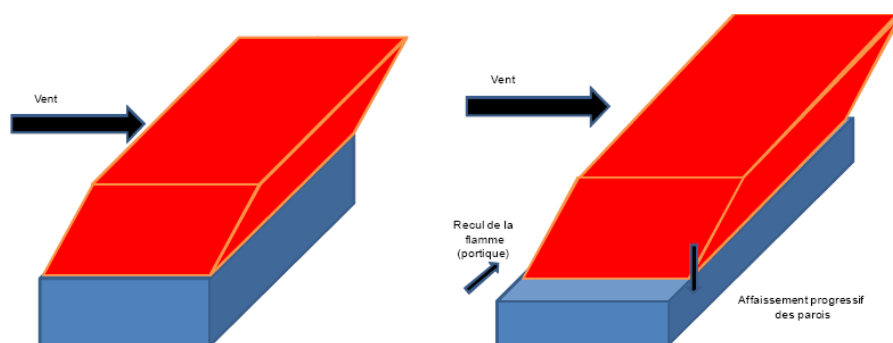
Les caractéristiques géométriques de la flamme générée par un incendie sont suivantes :

- La hauteur de la flamme, estimée à partir de la corrélation de Zukoski, avec une limite de 1,5 fois la hauteur maximale de stockage :

$$H_{\text{flamme}} = H_{\text{stockage}} + \min \left\{ 1,5 H_{\text{stockage}} ; \min \left[\left(\frac{P'_s}{223} \right)^2 ; 0,0026 (P'_s D)^{2/3} \right] \right\}$$

dans laquelle :

- H_{flamme} est la hauteur de flamme (m) ;
 - H_{stockage} est la hauteur de stockage (en m ; donnée d'entrée, fournie par l'exploitant) ;
 - D est le diamètre équivalent de la surface en feu (m) ;
 - P'_s est la puissance surfacique effective (kW/m²).
- La forme de la flamme, pris comme parallélépipédique et à émittance homogène, dans le modèle adopté (modèle de la flamme solide). L'effet du vent sur la géométrie de la flamme est pris en compte au travers la corrélation de Welker, qui fournit l'angle d'inclinaison de la flamme en fonction de la vitesse du vent. De façon générale, on retiendra que la flamme est toujours placée au niveau des parois.



Schématisme de l'influence du vent sur la forme de la flamme.

L'**émittance** correspond à la quantité de chaleur rayonnée par unité de surface de flamme et de temps. Le pouvoir émissif de la flamme est estimé à partir de la puissance participant au rayonnement (fraction de la puissance totale) rapportée à la surface enveloppante des flammes :

$$E_{\text{moy}} = \frac{\sigma_R \cdot P(t)}{S_{\text{flamme}}}$$

Avec :

- E, l'émittance moyenne de la flamme (kW/m²) ;
- P(t), la puissance dégagée par l'incendie à chaque instant (kW) ;
- S_{flammes}, la surface de flamme (m²) ;
- τ, la fraction radiative, estimée à partir des valeurs calculées pour les feux de grande taille, en se basant notamment sur la loi de Mudan ainsi que la corrélation de Thomas, validée pour les feux de grandes tailles, selon la formule suivante :

$$\sigma_R = \frac{(140.e^{-0.12.D} + 20.(1 - e^{-0.12.D})).336}{D^{0.305}.\Delta H.\dot{m}^{0.39} .(\rho.\sqrt{g})^{0.61}}$$

Dans laquelle :

- D est le diamètre équivalent (m) ;
- ΔH, la chaleur de combustion moyenne (kJ/kg) ;
- ρ, la masse volumique (kg/m³) ;
- g, l'accélération gravitationnelle (9,81 m/s²).

Ainsi, on note que l'émittance moyenne de la flamme est donc moins importante que les émittances locales en raison de la présence de suies qui obscurcissent les zones de combustion vives des flammes.

Par la suite, compte tenu de ces équations, il convient maintenant de déterminer les paramètres suivants :

- Ps', la puissance surfacique effective ou débit calorifique ;
- ΔH, la chaleur de combustion.
- P(t), la puissance dégagée par une incendie à chaque instant ;
- D, le diamètre équivalent ;

PUISSANCE THERMIQUE SURFACIQUE ET DUREE DE COMBUSTION

Ces paramètres dépendent de la composition des produits combustibles stockés.

La **puissance surfacique** est estimée à partir de la puissance thermique dégagée par l'incendie répartie sur les différentes faces de la palette en contact avec l'air. Celle-ci est estimée par l'équation suivante :

$$P_{palette} = V_{comb_palette} * S_{sol_palette} * \Delta H_{comb_palette} \vartheta - P_{absorbées}$$

Où :

- ϑ est le rendement de combustion (pris à 1 par défaut) ;
- $S_{sol_palette}$ est la surface au sol de la palette (donnée d'entrée) ;
- $P_{absorbée}$ est la puissance absorbée par les incombustibles :

$$P_{absorbées} = \frac{E_{absorbées}}{T_{combustion\ palette}}$$

Avec :

- $E_{absorbée}$, l'énergie absorbée par les produits incombustibles, fournie par la relation suivante :

$$E_{absorbées} = \left[\sum_{incomb\ i} M_{incomb_i} C_{incomb_i} \Delta T + \sum_{incomb\ i} M_{incomb_i} \Delta H_{incomb_i} \right] * C_{absorption}$$

Dans laquelle :

- M_{incomb_i} est la masse des produits incombustibles (donnée d'entrée) ;
- C_{incomb_i} , la capacité calorifique des incombustibles (donnée théorique, trouvée dans la littérature) ;
- ΔT , l'augmentation de température due à l'incendie (1000°C s'il n'y a pas de changement de phase et $T_{ebullition} - T_{amb}$ s'il y a changement de phase) ;
- ΔH_{incomb_i} , la chaleur de changement de phase pour l'incombustible i entre 20°C – 1000°C ; (elle peut être nulle s'il n'y a pas de changement de phase sur cette plage de température, comme pour l'acier ; ou correspondre à la chaleur latente de vaporisation comme pour l'eau ou à la chaleur de fusion pour l'aluminium) ;

➤ $C_{\text{absorption}}$, la part d'énergie réellement absorbée par les incombustibles ; par défaut, pris à 0,5 ;

- $T_{\text{combustion palette}}$, la durée de combustion d'une palette, qui permet d'estimer la surface totale en feu à chaque instant dans la cellule (en n'excluant les produits combustibles déjà brûlés) donnée par :

$$T_{\text{combustion palette}} = \frac{\sum_{\text{comb}_i} M_{\text{comb}_i}}{S_{\text{sol palette}} * V_{\text{comb palette}}} * (1 - F_{\text{résidu}})$$

- $V_{\text{comb palette}}$ est la vitesse de combustion moyenne surfacique :

$$V_{\text{comb palette}} = \frac{\sum_{\text{comb}_i} (M_{\text{comb}_i} - V_{\text{comb}_i})}{\sum_{\text{comb}_i} M_{\text{comb}_i}}$$

- $\Delta H_{\text{comb palette}}$, la chaleur de combustion moyenne, déterminée par la relation suivante :

$$\Delta H_{\text{comb palette}} = \frac{\sum_{\text{comb}_i} M_{\text{comb}_i} * \Delta H_{\text{comb}_i}}{\sum_{\text{comb}_i} M_{\text{comb}_i}}$$

avec :

- M_{comb_i} , la masse des combustibles (donnée d'entrée) ;
- ΔH_{comb_i} , la chaleur de combustion des combustibles (donnée d'entrée) ;
- V_{comb_i} , la vitesse de combustion moyenne surfacique des produits combustibles (donnée d'entrée).

A noter :

- Lorsque la palette contient une proportion importante de matériaux incombustibles, sa vitesse de combustion est réduite d'une part en raison de l'énergie produite par la combustion qui est absorbée par les matériaux incombustibles ($E_{\text{absorbée}}$) et d'autre part en raison de l'obstruction induite par la présence de ces matériaux incombustibles qui réduit la ventilation du foyer ;
- La présence importante d'air (non-compacité ; la compacité est définie comme le ratio entre le volume de matière solide ou liquide et le volume total de la palette) au sein de la palette favorise sa combustion, surtout si le combustible est divisé. Cependant, elle ne suffit pas à déterminer si la combustion va être accélérée ou pas par la présence d'air dans la palette ; en effet, il faudrait connaître également l'état de division du combustible, qui est difficile à connaître. Par conséquent, il a été choisi, de façon majorante, que cet état de division était favorable au développement de la combustion. (Le coefficient multiplicateur retenu est celui obtenu expérimentalement avec du combustible fortement divisé (palette de bois)).

Ainsi, pour finir, la puissance théorique calculée est donc corrigée en fonction de la compacité et est répartie sur toute la surface de la palettes (5 faces) ; on obtient alors la puissance surfacique dégagée.

PROPAGATION DE L'INCENDIE

Concernant la **puissance instantanée produite par l'incendie**, elle suit la relation suivante :

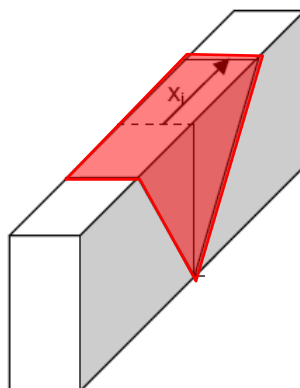
$$P(t) = S_{\text{feu_dev}}(t) * \sigma * P_{\text{surf_palette}} * C_{\text{ventilation}} + P_0$$

Où :

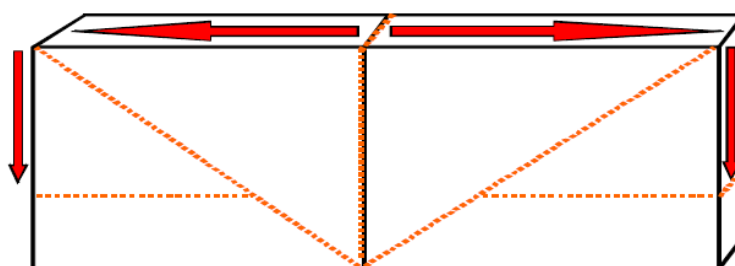
- $P(t)$ est la puissance libérée à chaque instant ;
- $P_{\text{surf_palette}}$ est la puissance libérée par unité de surface externe de la palette ;
- σ , le taux d'occupation du stockage (données d'entrée ; par défaut, fixé à 1) ;
- $S_{\text{feu_dev}}(t)$, la surface en feu à l'instant t donné, qui dépend de la vitesse de propagation du feu et de la quantité d'oxygène apporté à chaque instant. (propagation plus lente en cas d'insuffisance, puis augmentation dès l'apport d'oxygène) ; elle est calculée à l'aide des principes détaillés dans le document de référence « FLUMILOG, description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt – Partie A » ;
- $C_{\text{ventilation}}$, un coefficient réducteur dépendant de la ventilation, qui permet de prendre en compte l'effet de la ventilation sur la puissance libérée par une palette et sur sa durée de combustion ; il traduit la sous-alimentation en air, avant l'effondrement du toit : il limite ainsi l'accroissement de la surface en feu, augmente la durée de combustion et réduit la puissance surfacique. Il est compris entre 0 et 1 ;
- P_0 , la puissance dégagée lors des tous premiers instants de l'incendie depuis le départ de feu au sol jusqu'à ce que les flammes atteignent le haut du rack.

La propagation du feu dépend ainsi des dimensions, du mode de stockage, de la nature des combustibles et de la ventilation du foyer : à partir d'un point d'inflammation initial, on distingue :

- **Le développement du feu** (le même modèle est retenu pour un stockage rack et masse) :
 - L'allumage : le feu démarre et monte vers le sommet du rack , tout en s'élargissant (forme en V) ; la description de ce phénomène via une corrélation fournie la puissance initiale P_0 .



- L'extension du feu, jusqu'aux abords du rack ou de l'îlot de stockage, à une vitesse optimale de 3 m/min.
- La descente du front de flamme dans la masse de stockage, à une vitesse verticale optimale de 0,7 m/min.



Modèle de propagation d'un feu dans un rack ou un îlot de stockage masse.

- **La propagation du feu** entre les racks ou vers les îlots de stockage voisins, selon 2 modes :
 - Par rayonnement : au début de l'incendie, les fumées dégagées n'étant pas assez importantes (évacuation par le dispositif de désenfumage) et chaudes, la propagation se réalise par le rayonnement émis par les flammes. Le principe du calcul de la propagation du feu repose ainsi sur la détermination du flux reçu par les racks/îlots voisins à chaque instant en fonction de la surface en feu dans le rack initial ; si celui-ci reçoit un flux de 8 kW/m², il est considéré en feu.
 - Par Flash-over : l'incendie prenant de l'ampleur, les exutoires n'ont plus la capacité d'évacuer la quantité importante de gaz chauds produits ; ils s'accumulent au plafond, d'abord contenus dans les cantons, puis d'étendant progressivement, pour finir par impacter les deniers niveaux du stockage de combustible, provoquant leur embrasement. A partir de 250°C, on considère que l'inflammation du stockage par flash-over.

A noter que 2 situations au moins peuvent empêcher l'embrasement par flash-over :

- Si la puissance dégagée est insuffisante pour produire une couche chaude suffisamment épaisse et chaude

➤ Si la toiture présente une surface d'ouverture suffisante pour évacuer la chaleur produite. Ceci pourrait survenir notamment avec une toiture relativement fragile, du type fibrociment.

- **La propagation aux cellules adjacentes** est étudié en comparant la durée de l'incendie initiale aux performances REI des murs adjacents aux cellules.

Avec ces éléments, le facteur de forme peut être calculé selon le principe suivant (retenu parmi plusieurs, suite à des études de cas théoriques et réelles) : la cible considérée possédant une composante spatiale verticale et horizontale, la méthode consiste à retenir le maximum du flux reçu sur 2 faces opposées 2 à 2 et à calculer la norme de ces 3 flux.

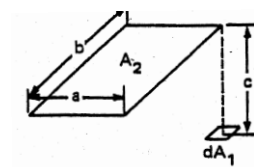
Les flux calculés et reçus par la cible sur ces 6 faces sont comparés par faces opposées ; Pour chaque face opposée, il est retenu le plus grand. Les 3 flux restants sont ensuite utilisés pour obtenir un ordre de grandeur du flux maximal qui serait observé pour une direction donnée qui ne correspond pas forcément à une des 6 faces où les flux sont estimés. Cette valeur est estimée sous la forme d'une norme de vecteur :

$$F = \sqrt{fh^2 + fv^2 + fl^2}$$

Les facteurs de forme sont calculés soit à partir des formules analytiques, soit à partir des d'un calcul intégral en fonction de la géométrie de la flamme à l'instant t, comme par exemple la formule suivante :

$$X = \frac{a}{c}$$

$$Y = \frac{b}{c}$$



$$F = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \left[\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right] + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \left[\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right] \right\}$$

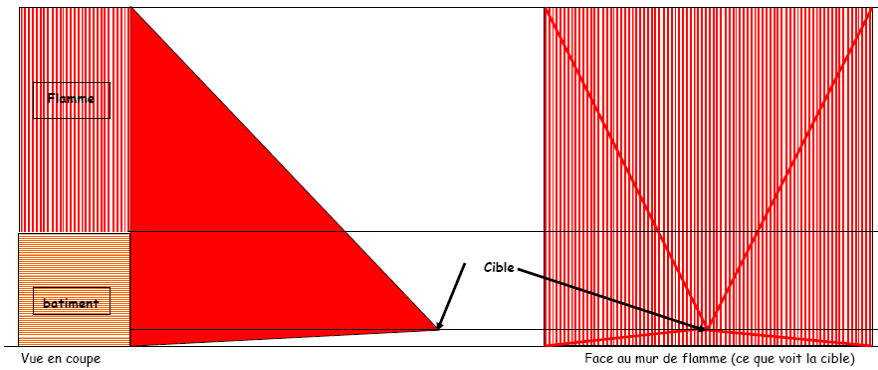
CALCUL DU FLUX RECU PAR LA CIBLE ET MISE EN PLACE D'ECRANS THERMIQUES

Aussi, avec ces éléments, il est possible de calculer à chaque instant le flux reçu en tout point de l'environnement et de les comparer aux seuils réglementaires.

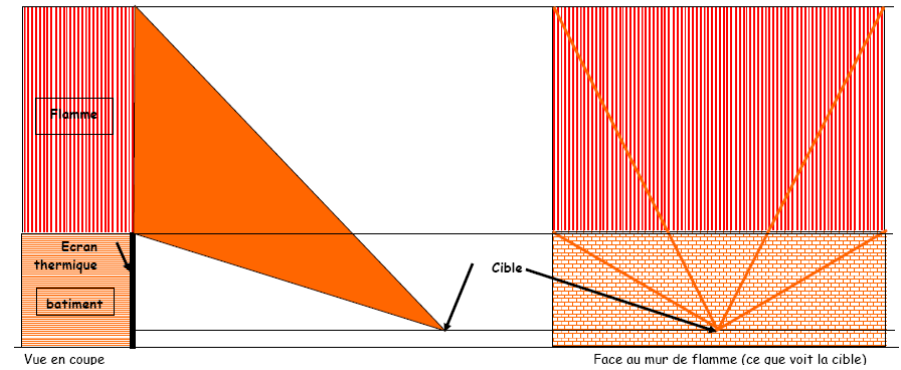
Dans le cas où les distances d'effets calculées ne sont pas conformes à la réglementation en vigueur, une des solutions possibles est la mise en place d'écrans thermiques (mur ou merlon). Le flux rayonné reçu par la cible est alors pris égal à celui reçu en l'absence d'écran thermique diminué de celui absorbé par l'écran assimilé à un corps noir.

Les schémas suivants visualisent ce que voit une cible suivant la présence ou non d'écran thermique.

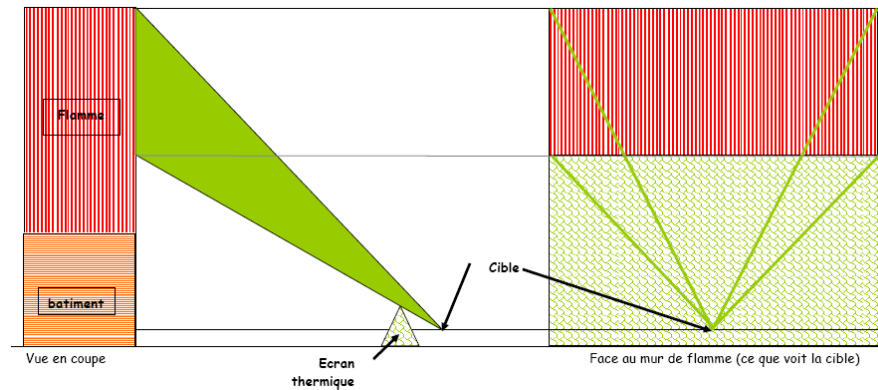
SANS ECRAN THERMIQUE



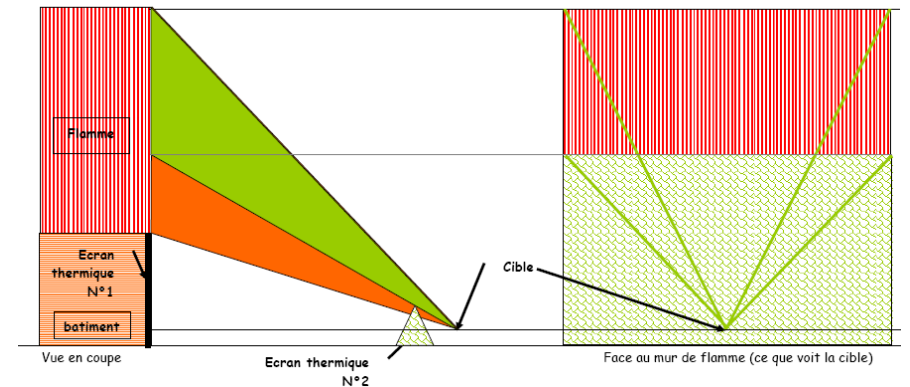
AVEC ECRAN THERMIQUE CONTRE LE MUR DE FLAMME



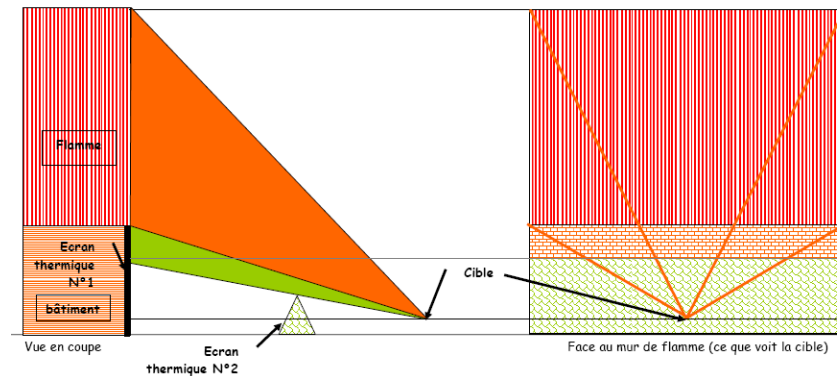
AVEC ECRAN THERMIQUE ELOIGNE DU MUR DE FLAMME



CAS OU LA PROTECTION PAR L'ECRAN THERMIQUE N°2 PRIME SUR CELLE DE L'ECRAN THERMIQUE N°1



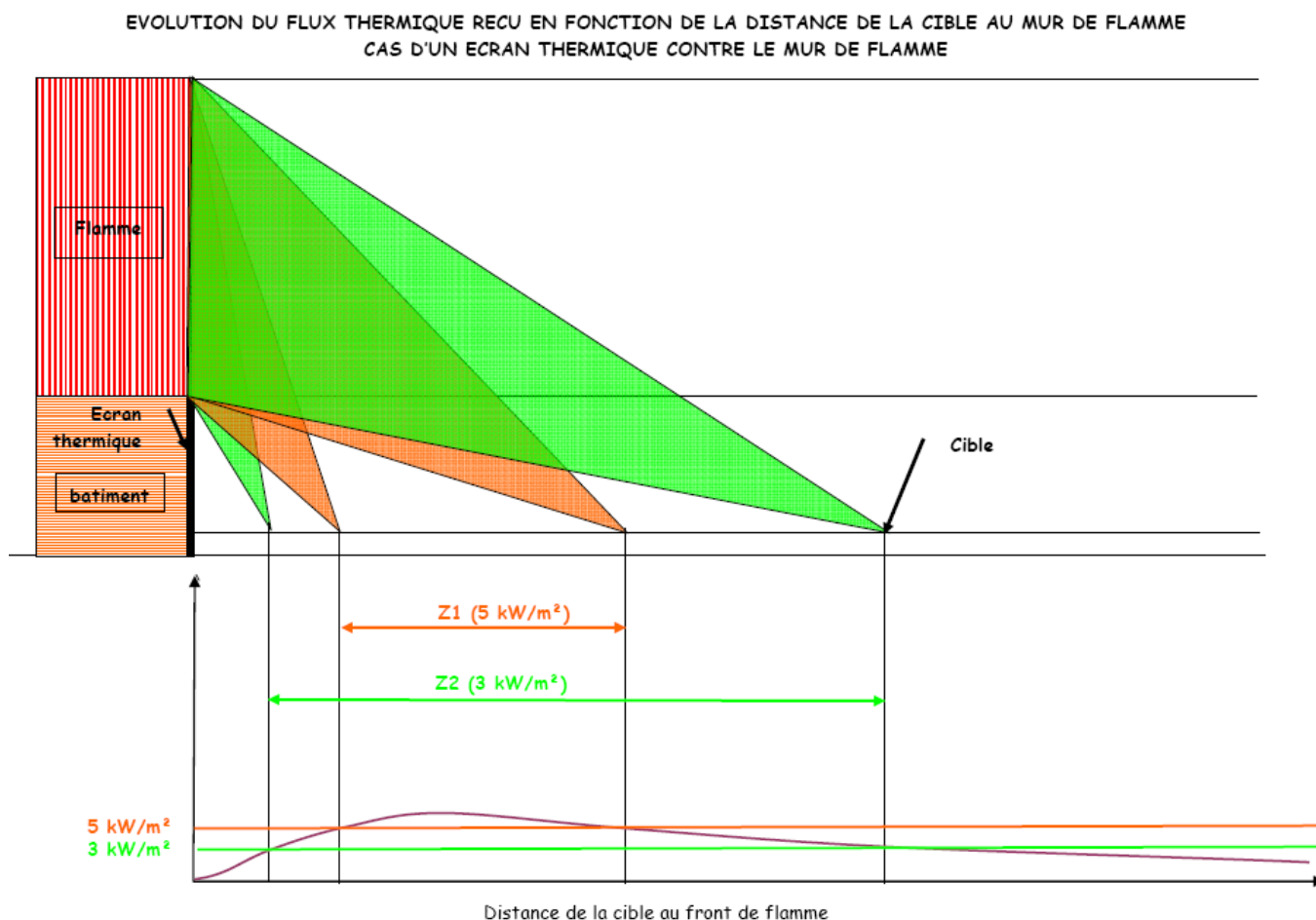
CAS OU LA PROTECTION PAR L'ECRAN THERMIQUE N°1 PRIME SUR CELLE DE L'ECRAN THERMIQUE N°2



Les écrans thermiques jouent d'autant mieux
leur rôle qu'ils sont placés loin de la source
et près de la cible.

La figure suivante permet de visualiser :

- L'évolution du flux thermique en présence d'un écran thermique, pour une cible à une distance « a » du bord de la surface en feu et se déplaçant perpendiculairement au front de flamme.
- Les zones à risque Z1 et Z2.



Les dispositions constructives des bâtiments d'entreposage influent dans le calcul des distances d'effets thermiques sur l'environnement en tant que constituant des écrans en partie basse des flammes.

Selon leurs caractéristiques, les parois sont susceptibles de masquer la flamme à l'environnement sur une certaine hauteur pendant une certaine durée, et donc de diminuer le flux reçu par la cible.

Les éléments constitutifs d'un mur qui déterminent son comportement tout au long de la sollicitation par l'incendie sont les suivants :

- Sa structure, caractérisée par sa durée de stabilité au feu sous incendie normalisé (notée R en minutes) ; il peut s'agir, de poteau acier ou encore béton.... ;

- Ses parois (bardage métallique simple ou double peau, panneaux sandwich....) qui sont caractérisées par :
 - Leur isolation thermique qui traduit la durée pendant laquelle l'environnement sera protégé de l'élévation de température due à l'incendie (notée I en minutes) ;
 - Leur étanchéité aux flammes et gaz, notée E ;
- Ses fixations qui assurent la liaison entre structure et paroi dont la durée d'efficacité est notée Y (en minutes).

Ainsi, pour rendre compte au mieux de la réalité, le modèle développé prend en compte ces caractéristiques ainsi que l'évolution du comportement du mur au cours de la sollicitation par les flammes (diminution progressive de la hauteur des parois...) : le modèle considère que la paroi s'effondre à une certaine vitesse, à partir de l'instant $t = \min [R ; Y]$, jusqu'à une certaine hauteur résiduelle, qui dépend de la ductibilité, et du système statique de la structure ainsi que du mode de ruine.

A noter que le retour d'expérience des essais FLUMILOG a mis en évidence que l'effondrement d'une paroi peut faire reculer le front de flammes (le coefficient de recouvrement dépendant de la structure de la toiture).

Pour conclure, la méthode développée permet de modéliser l'évolution et la cinétique de l'incendie depuis l'inflammation jusqu'à son extinction par épuisement du combustible. Elle prend en compte le rôle joué par la structure et les parois tout au long de l'incendie : d'une part lorsqu'elles peuvent limiter la puissance de l'incendie en raison d'un apport d'air réduit au niveau du foyer et d'autre part lorsqu'elles jouent le rôle d'écran thermique plus ou moins important au rayonnement avec une hauteur qui peut varier au cours du temps. Pour finir, elle est adaptée aux spécificités que présentent les entrepôts par la considération de l'influence de la composition, des conditions et des caractéristiques du stockage (type, niveaux de stockage...).

F.12.1.4 - LES DONNEES D'ENTREE

Dans cette partie, les paramètres nécessaires pour l'application de la méthode décrite précédemment seront listés ; pour chacun, on précisera leur utilité .

Grandeurs	Utilité dans la méthode
Données relatives aux dispositions consturctives des cellules	
Dimensions	<ul style="list-style-type: none">- Positionner l’incendie par rapport à l’environnement ;- Déterminer le volume d’oxygène disponible pour la combustion initiale.
Toitures	<ul style="list-style-type: none">- Déterminer d’une part la cinétique d’ouverture conduisant au passage des flammes ;- Déterminer le pouvoir couvrant en cas de chute du toit sur les produits combustibles et l’apport d’oxygène à l’incendie.
Parois	<ul style="list-style-type: none">- Connaître leur caractéristiques afin d’estimer leur éventuel rôle d’écran thermique, l’évolution de leur comportement tout au long de leur sollicitation par l’incendie, et leur pouvoir couvrant courant en cas d’effondrement ;
Données relatives au stockage	
Disposition	<ul style="list-style-type: none">- Déterminer le sens de propagation privilégié de l’incendie ;
Dimensions	<ul style="list-style-type: none">- Déterminer la compacité du stockage ;
Mode	<ul style="list-style-type: none">- Déterminer la configuration du stockage (impact sur la vitesse de propagation) ;- Déterminer le taux d’occupation au sol ;
Données relatives aux produits stockés	
Composition d’une palette type	<ul style="list-style-type: none">- Identifier des produits combustibles et incombustibles et de leurs masses (impact sur la vitesse, la durée de combustion et la puissance dégagée....) ;- Déterminer la puissance absorbée par les produits incombustibles.

F.12.2 - APPLICATION A L'ENTREPOT ETUDIE

1. Hypothèses concernant les murs REI

Pour des raisons de limites du logiciel FLUMILOG, les murs REI 120 constituant une séparation entre les cellules et certains locaux sociaux et techniques non pas été retenus dans ces modélisations.

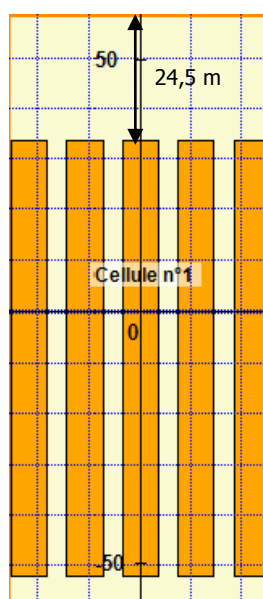
2. Hypothèses concernant le stockage

Dans le cadre des modélisations, il a été considéré un stockage maximal de produits 2662 dans les cellules, ces stockages étant ceux donnant les plus grandes distances d'effets thermiques. La durée de l'incendie est de l'ordre de 115 min.

La durée d'incendie d'un stockage 1510 est cependant supérieure à un incendie 2662. Il a donc été regardé si le scénario de propagation de l'incendie à 3 cellules 1510 donnait des flux thermiques plus importants. Ce n'est pas le cas.

Les marchandises seront stockées dans des racks à accumulation. Les travées pourront accueillir de 2 à 6 palettes en profondeur. Pour modéliser ce stockage il a été choisi sur FLUMILOG de rentrer 5 doubles rack de 7 m de large avec des palettes de 3 m de long pour 1,2 m de large qui représentent dans les faits des palettes de 1 m * 1,2 m non pas dans le sens de la longueur comme habituellement mais dans le sens de la largeur.

Cette configuration est majorante puisque sur les cellules C2 à C5 ceci donne une surface de stockage de 86,5m x 5m x 7m soit 3027 m² pour une surface de stockage de 2700 m² d'après le plan de rackage.



5 racks doubles
6 niveaux de stockage (R+5)
Hauteur de stockage maximale 12 m
Allée de 4 m
Palettes de 300 x 1200 x 1800 mm

3. Caractéristiques des cellules

	hypothèses
Dimension de toutes les cellules	Voir note de calcul pour chaque cellule
Hauteur de la cellule	13,70 m
Résistance au feu poutre/panne	60 min
Matériaux constituant la couverture	Métallique multicouche
Nombre d'exutoire ou % de désenfumage	2%
Caractéristiques des exutoires	3m x 2m
Paroi des cellules	Voir note de calcul pour chaque cellule
Nombre de porte de quai	Voir note de calcul pour chaque cellule
Murs séparatifs	Structure support : autostable Béton armé/cellulaire REI 120 Sauf entre C3 et C4 REI 240
Murs extérieurs (cellules 1 et 11)	Voir note de calcul pour chaque cellule
Nombre de niveau de stockage	6
Mode de stockage	Rack à accumulation
Longueur de stockage	Voir note de calcul pour chaque cellule
Déport alpha et beta	0,1 m
Hauteur maximum de stockage	12 m
Hauteur du canton	1 m
Nombre de rack	Voir note de calcul pour chaque cellule
Largeur rack	7 m
Palettes	3m*1m Hauteur : 1,8 m (palettes théoriques)

F.12.2.1 - RESULTATS

L'ensemble des fichiers de résultats est joint en annexe.

Il a été modélisé :

- L'incendie des cellules C0 à C6 contenant des produits 2662. L'incendie durant moins de 120 min, il n'a pas été retenu la propagation à 3 cellules ;
- L'incendie d'une cellule contenant des produits 1510 (C2). Cette modélisation donnant des flux thermiques moins importants que le stockage 2662 n'a pas été généralisée à l'ensemble des cellules. Elle a cependant permis de voir que la durée de l'incendie d'une cellule 1510 était supérieur à 120 min et donc de conclure à la nécessité d'envisager la propagation à 3 cellules de l'incendie en cas de stockage 1510 ;
- L'incendie généralisé aux cellules adjacentes avec stockage 1510, l'incendie d'une cellule 1510 durant environ 145 min. Ce scénario donne également des distances d'effets moins importantes que pour les modélisations des cellules 2662.

Les flux thermiques calculés pour chacune des cellules en considérant des conditions pénalisantes (majoration du stockage...), respectent les points suivants :

- Les zones de dangers Z0 et Z1 correspondant respectivement aux flux thermiques de 8 kW/m² et 5 kW/m² restent à l'intérieur des limites de propriété ;
- La zone de danger Z2 (3 kW/m²) impacte l'extérieur du site sur 20 mètres environ, sur toutes les façades sauf côté cour camion. Cependant, ces flux n'affectent pas d'ERP, d'IGH, de voies à grande circulation, ou de voies ferrées ouvertes aux voyageurs ou de zone fréquentée. En effet, les zones impactées correspondent à :
 - Des terrains non occupés au nord-est du site ;
 - La voie ferrée de desserte de LB2 au sud-est ;
 - La voie d'accès de LB 2 au sud-ouest.

Ces résultats sont aussi bien valables pour l'incendie d'une cellule de produits 2662, que pour l'incendie généralisé de 3 cellule 1510.

La **distance Z0** de **8 kW/m²** correspond au **seuil des effets domino et des dégâts graves sur les structures**.

La **zone Z0 de 8 kW/m²** reste à l'intérieur de la limite de propriété sur les scénarii d'un incendie d'une seule ou plusieurs cellules. Elle n'impacte ni cibles sensibles, ni installations pouvant aggraver notablement les effets.

Il est à noter que **les flux Z0 de 8 kW/m² n'atteignent pas non plus** :

- Le local de crise ;
- Le local sprinkleur et la réserve d'eau incendie ;
- Les poteaux incendie.

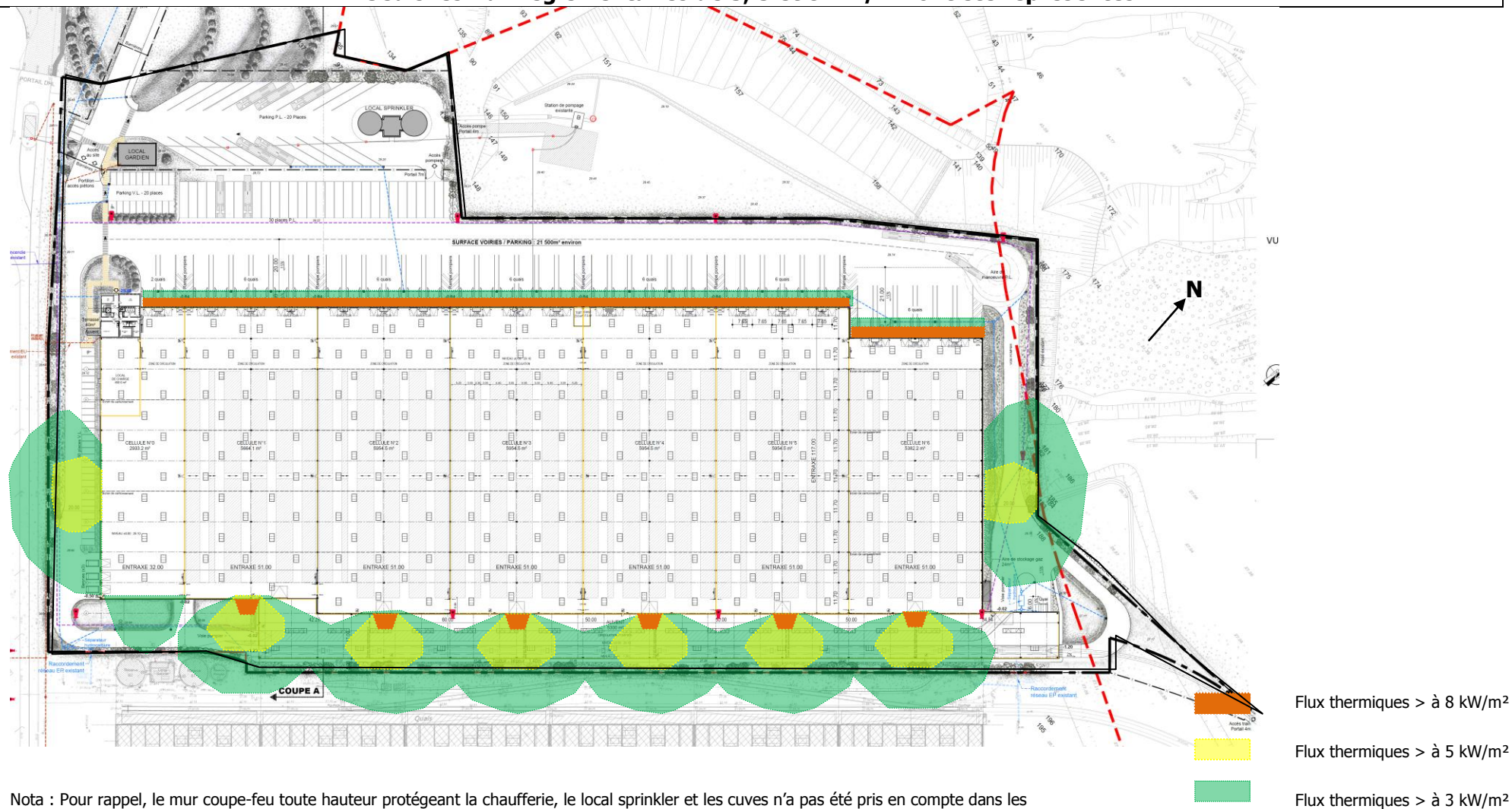
Les figures pages suivantes présentent la courbe enveloppe des flux thermiques.

SEUIL	DELIMITATION DE LA ZONE Bâtiment A
<i>SEI - Zone des dangers significatifs pour la vie humaine 3kW/m²</i>	
Au nord-est (façade C6)	40 m
Au nord-ouest (côté cour camion)	10 m*
Sud-ouest (façade C0)	32 m
Au sud-est (côté voie ferrée)	37 m
<i>SEL - Zone des dangers graves pour la vie humaine 5kW/m²</i>	
Au nord-est (façade C6)	20 m
Au nord-ouest (côté cour camion)	5 m*
Sud-ouest (façade C0)	19 m
Au sud-est (côté voie ferrée)	20 m
<i>SELS - Zone des dangers très graves pour la vie humaine – Effets dominos 8kW/m²</i>	
Au nord-est (façade C6)	Non atteint
Au nord-ouest (côté cour camion)	5 m*
Sud-ouest (façade C0)	Non atteint
Au sud-est (côté voie ferrée)	5 m

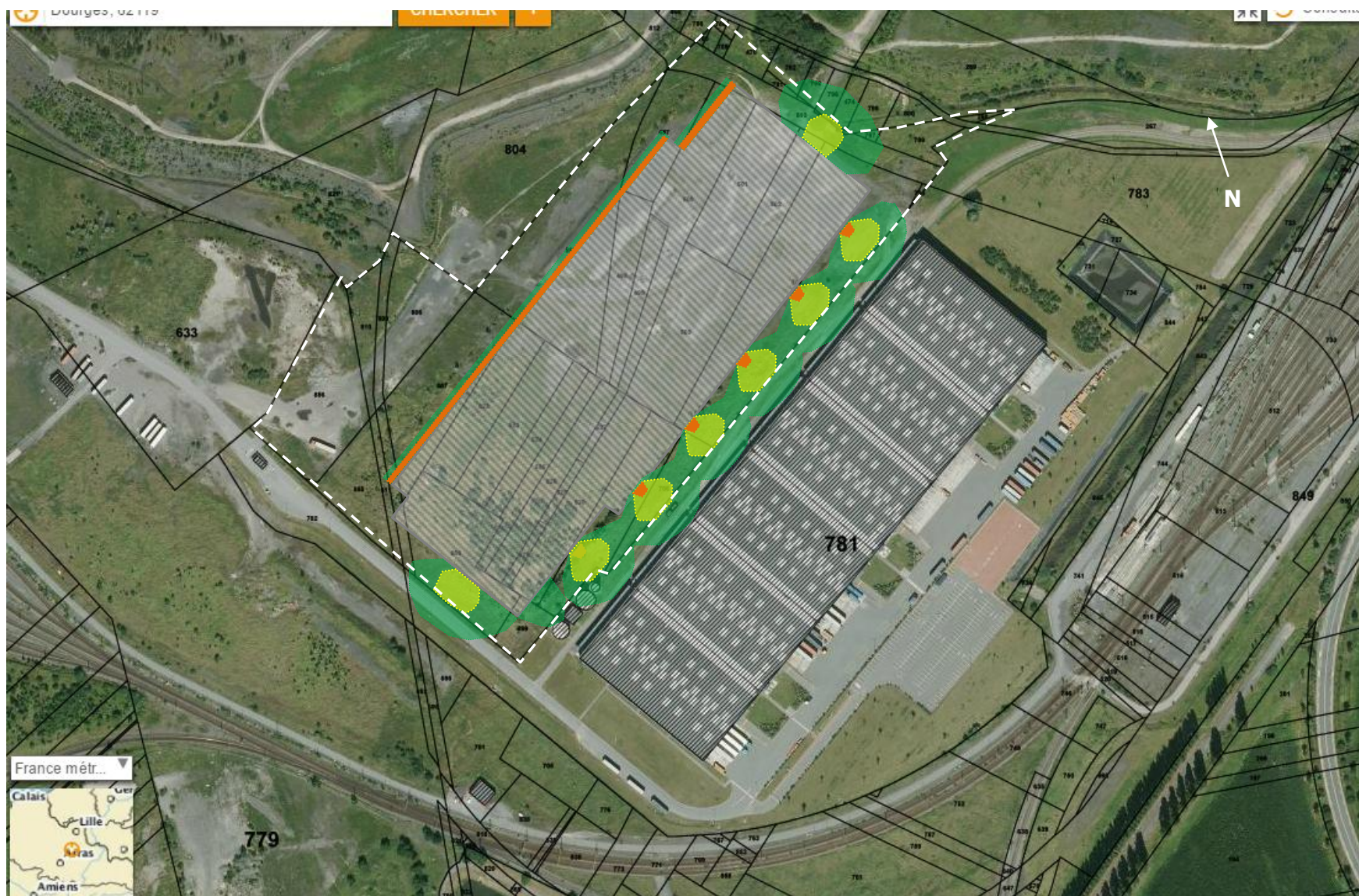
* Dans l'environnement proche de la flamme, le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé.

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 (source FLUMILOG).

COURBES ENVELOPPES DES FLUX THERMIQUES Seuls les flux réglementaires de 3, 5 et 8 kW/m² ont été représentés



Nota : Pour rappel, le mur coupe-feu toute hauteur protégeant la chaufferie, le local sprinkler et les cuves n'a pas été pris en compte dans les modélisations compte tenu des limites du logiciel FLUMILOG.



NOTES DE CALCUL FLUMILOG