



Cahier technique de la vulnérabilité du bâti aux effets thermiques transitoires



INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Cadre du cahier pour les phénomènes thermiques transitoires

- Un guide de prescriptions techniques pour la résistance du bâti face à un aléa technologique thermique avec pour unique but la protection des personnes a été produit en septembre 2008 par LNE / EFECTIS France .
- Il n'est applicable qu'aux phénomènes continus.
- Les phénomènes thermiques en jeu dans les accidents industriels ne sont pas toujours continus.
- Or la durée d'un phénomène thermique peut avoir une influence considérable sur les effets qu'il aura sur les structures.
- L'INERIS a donc été missionné par le MEEDDAT pour produire un cahier technique pour les phénomènes thermiques transitoires.

Principes retenus pour l'approche sommaire de la vulnérabilité

• La protection des personnes ne nécessite **pas de travaux de renforcement**

Cas 1

• La protection des personnes peut être obtenue par la **réalisation de travaux ne nécessitant pas d'étude préalable**

Cas 2

• La protection des personnes peut être obtenue par la **réalisation de travaux nécessitant au préalable un diagnostic « simple »** par un bureau d'études « structures » généraliste

Cas 3

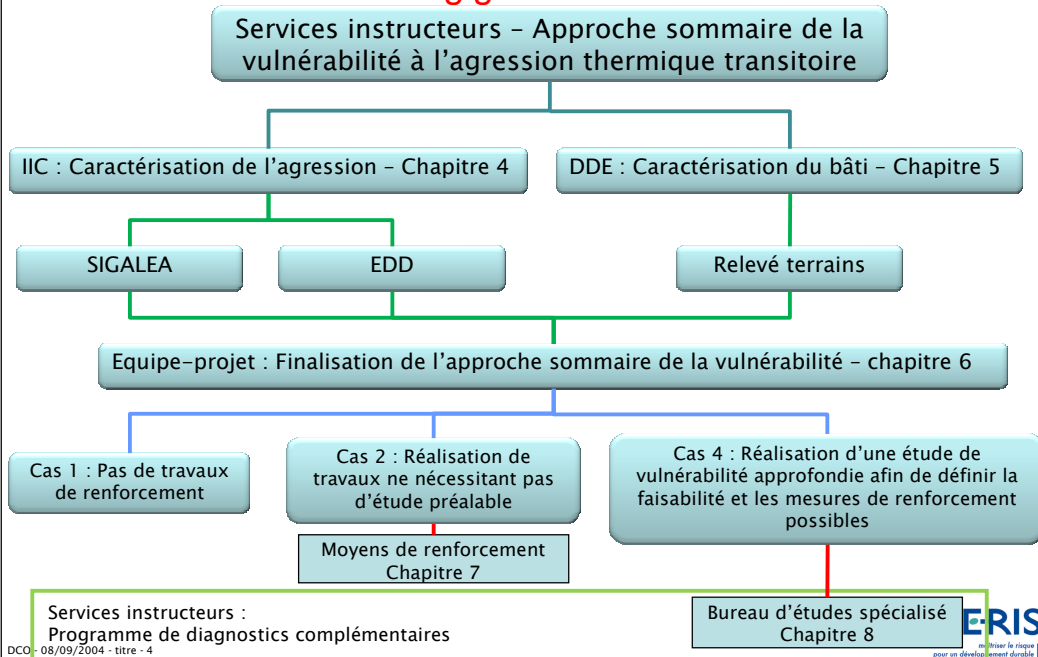
• La protection des personnes nécessite **la réalisation d'un diagnostic « poussé »** par un bureau d'études spécialisé afin de **définir la faisabilité et les mesures de renforcement possibles**

Cas 4

DCO - 08/09/2004 - titre - 3

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Logigramme



Pièces transmises aux DDE

- Résultats
 - SYNTHESE_INTENSITES_THERMIQUES_CONTINUS
 - SYNTHESE_INTENSITES_BOULES_DE_FEU
 - ENVELOPPES_DUREES_FEUX_DE_NUAGE
 - (SYNTHESE_INTENSITES_FEUX_DE_NUAGE)

Phénomènes transitoires

- Tous les phénomènes dont la durée est inférieure à 2 mn
- Phénomènes de type boule de feu
 - BLEVE ;
 - Boil-Over classique ou en couche mince ;
 - Pressurisation lente de bacs ;
- Phénomènes de type feu de nuage
 - UVCE ou Explosion de gaz ;
 - Feu éclair .

Notion de dose thermique

- Dose thermique : $\int_{t=0}^T [\phi(t)]^{\frac{4}{3}} \cdot dt$
- $\phi(t)$: flux incident en kW/m²
- t : temps d'exposition en seconde



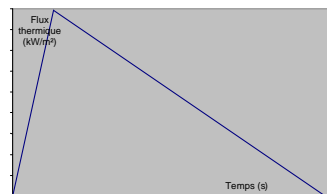
| Effet | Dose thermique [(kW/m ²) ^{4/3} .s] | Références |
|--|--|-------------------|
| Douleur | 85 - 129 | Gaz de France |
| | 92 | HSE |
| Seuil brûlure 1 ^{er} degré | 105 | HSE |
| Seuil brûlure 2 ^{ème} degré | 290 | HSE |
| Zone des dangers significatifs pour la vie humaine (blessures irréversibles) | 600 | Arrêté 25/09/2005 |
| Seuil brûlure 3 ^{ème} degré | 1000 | HSE |
| Zone des dangers graves pour la vie humaine (effets létaux) | 1000 | Arrêté 25/09/2005 |
| Zone des dangers très graves pour la vie humaine (effets létaux significatifs) | 1800 | Arrêté 25/09/2005 |

DCO - 08/09/2004 - titre - 7

ERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

BLEVE

- Boule de feu
- Explosion avec changement de phase
- Concerne les réservoirs de gaz liquéfiés
- Effets thermiques et effets de pression
- Effets en termes de dose thermique :
 - SELS : 1800 [(kW/m²)^{4/3}].s
 - SEL : 1000 [(kW/m²)^{4/3}].s
 - SEI : 600 [(kW/m²)^{4/3}].s



DCO - 08/09/2004 - titre - 8

ERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Boil over – Pressurisation de bac

- Boule de feu
- Boil over : phénomène de moussage résultant de la vaporisation d'eau liquide contenue dans des réservoirs atmosphériques en feu.
- Pressurisation : montée en pression lente par vaporisation du produit contenu dans un réservoir pris dans un feu enveloppant
- Effets thermiques
- Effets en termes de dose thermique :
 - SELS : $1800 [(kW/m^2)^{4/3}].s$
 - SEL : $1000 [(kW/m^2)^{4/3}].s$
 - SEI : $600 [(kW/m^2)^{4/3}].s$



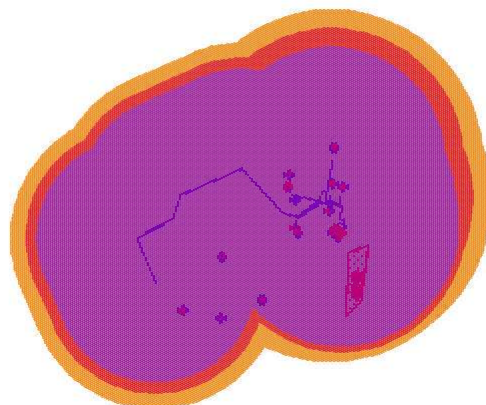
DCO - 08/09/2004 - titre - 9

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable



PPRT de () Enveloppes des intensités des effets thermiques à cinétique rapide continue

| Dangers | |
|---------|---------------|
| | significatifs |
| | graves |
| | très graves |



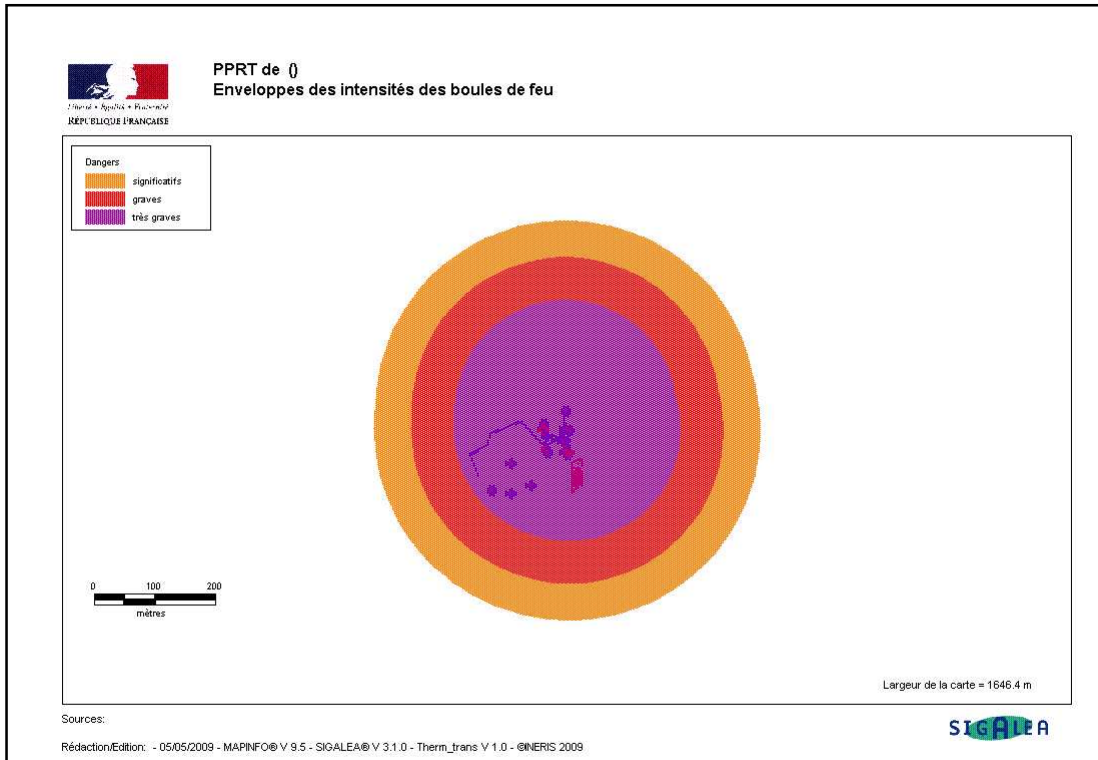
0 50 100
mètres

Largeur de la carte = 800,76 m

Sources:

Rédaction/Édition: - 05/05/2009 - MAPINFO® V 9.5 - SIGALEA® V 3.1.0 - Therm_trans V 1.0 - ©INERIS 2009

SIGALEA



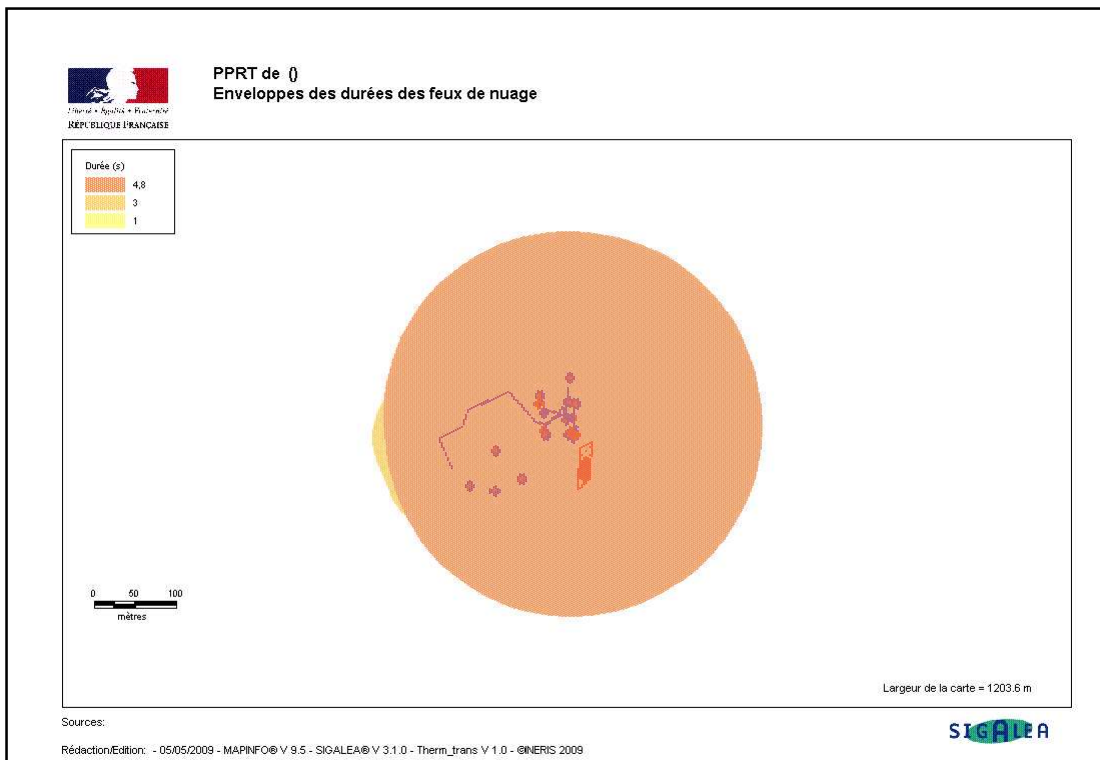
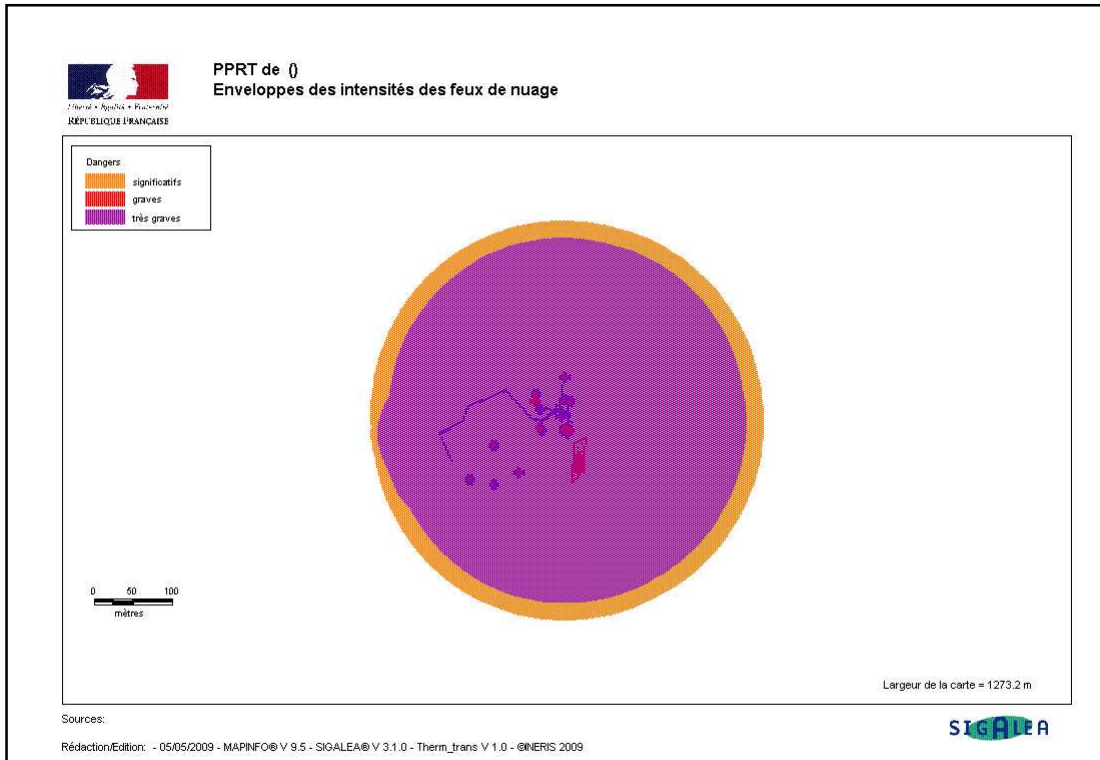
Explosion de gaz – Feu de nuage

- Feu éclair ou flash fire :
 - Inflammation non explosive d'un nuage ou d'un panache de vapeurs combustibles mélangés avec l'air. Effets thermiques dans le nuage
- Explosion de gaz ou UVCE :
 - Phénomène explosif dû à l'inflammation du nuage ou du panache de vapeurs combustibles. Effets thermiques et effets de pression
- SELS = SEL : distance à la LII (**Taille du nuage**)
- SEI : 1,1 x distance à la LII




DCO - 08/09/2004 - titre - 12







Cas hors des limites de l'étude

- Tous les phénomènes dont la durée est supérieure à 2 mn.
- Produits non référencés
- A traiter par une étude particulière

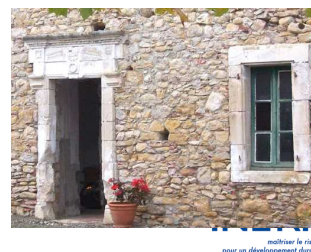
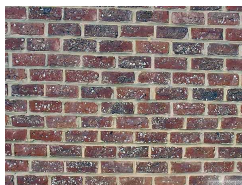


Classification en parties d'ouvrage

- Structures non métalliques
- Structures métalliques
- Structures translucides
- Éléments non-structuraux : couvertures petits et grands éléments
- Éléments non-structuraux : parements, enduit et menuiseries extérieures
- Structures particulières

Structures non métalliques

- Façades opaques lourdes
- Constituées de matériaux opaques peu conductifs thermiquement :
 - Béton
 - Maçonnerie
 - Pierres
 - Monomur
 - Parpaings
 - Terre ou torchis, sans paille apparente



maîtriser le risque
pour un développement durable

Facteurs de vulnérabilité

- Phénomènes de type boule de feu sous le SELS
 - Néant
- Phénomènes de type feu de nuage sous le SEL/SELS
 - Néant
- Phénomènes de type feu de nuage au dessus du SEL/SELS
 - Néant

Structures métalliques

- Façades en bardages ou panneaux métalliques (façades opaques légères)
- Structure porteuse métallique apparente



DCO - 08/09/2004 - titre - 19

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Facteurs de vulnérabilité

- Phénomènes de type boule de feu sous le SELS
 - Bardages et couvertures : Type de bardage
 - Nature des isolants (combustible / non-combustible) pour les bardages simples peau
 - Structure porteuse apparente : facteur de massivité
- Phénomènes de type feu de nuage sous le SEL/SELS
 - Néant
- Phénomènes de type feu de nuage au dessus du SEL/SELS
 - Type de bardage
 - Nature des isolants (combustible / non-combustible) pour les bardages simples peau
 - Structure porteuse apparente : facteur de massivité

DCO - 08/09/2004 - titre - 20

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Particularités des structures métalliques porteuses

Facteur de massivité des éléments porteurs apparents nus

- Traduit l'échauffement du profilé
- Risque de flambement



| IPE | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| IPE 80 A | 437 | 509 | 317 | 389 |
| IPE 80 | 369 | 429 | 270 | 330 |
| IPE A 100 | 389 | 452 | 286 | 349 |
| IPE 100 | 334 | 387 | 247 | 300 |
| IPE A 120 | 370 | 428 | 271 | 329 |
| IPE 120 | 311 | 360 | 230 | 279 |
| IPE A 140 | 354 | 409 | 260 | 314 |
| IPE 140 | 291 | 335 | 215 | 259 |
| IPE A 160 | 332 | 382 | 245 | 295 |
| IPE 160 | 269 | 310 | 200 | 241 |

DCO - 08/09/2004 - titre - 21

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Phénomènes de type boule de feu au-dessous du SELS



Phénomènes de type feu de nuage au-dessus du SEL/SELS

| Structure porteuse apparente métallique | |
|---|---------------------|
| Périmètre | ___ m |
| Section | ___ m ² |
| Facteur de massivité (calcul ou donnée constructeur) | ___ m ⁻¹ |

DCO - 08/09/2004 - titre - 22

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Phénomènes de type boule de feu au-dessous du SELS

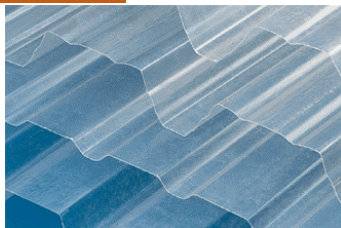


Phénomènes de type feu de nuage au-dessus du SEL/SELS

| Bardage métallique | |
|--------------------|---|
| Peau | Simple <input type="checkbox"/> Simple+isolant <input type="checkbox"/> Double <input type="checkbox"/> |
| Isolant | Combustible <input type="checkbox"/> Non combustible <input type="checkbox"/> Epaisseur ... cm |

Structures translucides

- Vitrages et châssis (portes et fenêtres)
- Éléments et façades transparentes en verre ou en matériaux polymères transparents (polycarbonate, polypropylène, PMMA, etc.)



Facteurs de vulnérabilité

- Phénomènes de type boule de feu sous le SELS
 - Matériau du châssis
- Phénomènes de type feu de nuage sous le SEL/SELS
 - Néant
- Phénomènes de type feu de nuage au dessus du SELS
 - Type de verre
 - Matériau châssis

Phénomènes de type boule de feu au-dessous du SELS

| Matériau du châssis | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Bois <input type="checkbox"/> | Aluminium <input type="checkbox"/> | Acier <input type="checkbox"/> | PVC <input type="checkbox"/> | Autre <input type="checkbox"/> |

Phénomènes de type feu de nuage au dessus du SEL/SELS

| Structure translucide | |
|-----------------------|---|
| Châssis | Bois <input type="checkbox"/> Aluminium <input type="checkbox"/> Acier <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/> |
| Nature de la surface | Monolithique <input type="checkbox"/> Durci <input type="checkbox"/> Trempé <input type="checkbox"/> Polymère <input type="checkbox"/> |

DCO - 08/09/2004 - titre - 27

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Couvertures petits et grands éléments

- Classiques : tuiles, ardoises et autres petits éléments non combustibles
- Dalles de béton (toitures terrasses)
- Toitures végétalisées
- Tôles métalliques ou en fibrociment



DCO - 08/09/2004 - titre - 28

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Facteurs de vulnérabilité

- Phénomènes de type boule de feu sous le SELS
 - Nature des matériaux
 - Nature de l'isolant (épaisseur, combustibilité) et mode de fixation de l'isolant pour couverture en petits éléments
 - Couvertures métalliques : idem façades opaques légères
- Phénomènes de type feu de nuage sous le SEL/SELS
 - Néant
- Phénomènes de type feu de nuage au dessus du SELS
 - Nature des matériaux
 - Petits éléments : Nature de l'isolant (épaisseur, combustibilité) et mode de fixation

Phénomènes de type boule de feu au-dessous du SELS



Phénomènes de type feu de nuage au-dessus du SEL/SELS

Couverture / Toiture

- Classique (tuile, ardoise et autres petits éléments non combustibles)
Béton Métallique Toiture végétalisée Fibrociment
Autres matériaux (combustibles)

Isolant pour couverture en petits éléments

- Epaisseur ___ cm Non combustible
Fixation solidaire avec la charpente

Parements, enduit, menuiseries extérieures



DCO - 08/09/2004 - titre - 31

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Facteurs de vulnérabilité

- Phénomènes de type boule de feu sous le SELS
 - Matériau : combustibilité
- Phénomènes de type feu de nuage sous le SEL/SELS
 - Néant
- Phénomènes de type feu de nuage au dessus du SELS
 - Matériau : combustibilité

DCO - 08/09/2004 - titre - 32

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Phénomènes de type boule de feu au-dessus du SEI



Phénomènes de type feu de nuage au-dessus du SEL/SELS

| |
|---|
| Matériau |
| Combustibilité <input type="checkbox"/> |

Synthèse des relevés terrains



Phénomènes de type boule de feu

| Seuil | Identification | Facteur de vulnérabilité |
|--|----------------|---|
| Structure non métallique | Matériaux | Néant |
| Structure métallique (bardages) | Matériaux | Si dose thermique >SEL Nature de l'isolant : épaisseur, combustibilité |
| Structure métallique porteuse apparente | Matériaux | Facteur de massiveté |
| Structures translucides | Matériaux | Matériau châssis |
| Éléments non-structuraux : couvertures petits et grands éléments | Matériaux | Nature des matériaux Nature de l'isolant : épaisseur, combustibilité et mode de fixation |
| Enduits, parements, menuiseries extérieures | Matériaux | Nature des matériaux |
| Structures particulières | Matériaux | Etude spécifique |

Synthèse des relevés terrains – Phénomènes de type feu de nuage

| FF/UVCE | SEI | SEL-SELS |
|--|-----|---|
| Structure non métallique | - | - |
| Structure métallique porteuse apparente | - | facteur de massivité |
| Bardage métallique (façade et toiture) | - | Carte de FF/UCVE >0,5 s : Type de bardage Nature des isolants (combustible / non-combustible) |
| Structures translucides et menuiseries extérieures | - | Type de verre Matériau châssis |
| Éléments non-structuraux : couvertures petits et grands éléments | - | Nature de la couverture Nature des isolants Mode de fixation si effets combinés |
| Structures particulières | - | Matériau |

DCO - 08/09/2004 - titre - 35



Éléments considérés

Habitabilité du bâti :

- Dose thermique interne < SEI
- Maintien des vitrages
- Température interne supportable
- Pas de production de fumées toxiques

Non-ruine de la structure porteuse :

- Résistance des structures aux effets thermiques
- Pas de flambement

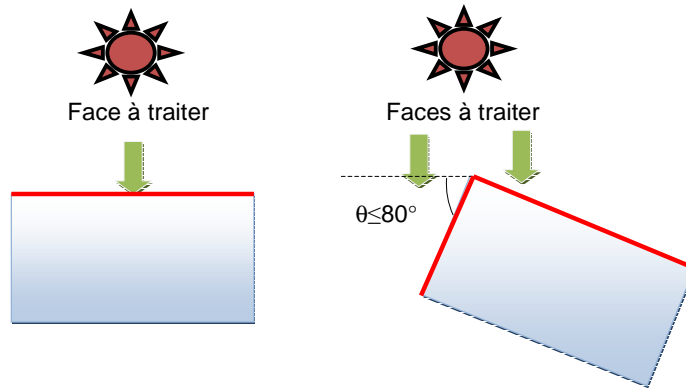
Non propagation d'incendie :

- Température interne non propagatrice du feu
- Température des menuiseries inférieure à la température d'inflammation

DCO - 08/09/2004 - titre - 36



Bâti soumis à une boule de feu : orientation des façades vis-à-vis du phénomène



- Prise en compte de la toiture supposée toujours exposée

DCO - 08/09/2004 - titre - 37

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Phénomènes de type boule de feu

| Seuil | 600 | 1000 | 1800 |
|--|--|--|---|
| Structure non métallique | Cas 1 | Cas 1 | Cas 1 [Intensité inférieure] Cas 4 |
| Structure métallique porteuse apparente | Cas 1 Cas 4 si massivité > 1500 | Cas 1 Cas 4 si massivité > 1500 | Cas 1 [Intensité inférieure] Cas 4 |
| Bardage métallique (façade toiture) et | Cas 1 | Cas 1 si double peau Cas 2 Isolant combustible Epaisseur isolant inférieure à 3 cm | Cas 1 [Intensité inférieure] Cas 4 |
| Structures translucides et menuiseries extérieures | Cas 2 Verre et polymère Châssis PVC Cas 1 : Châssis alu, bois | Cas 2 Verre et polymère Châssis PVC, Alu Cas 1 : châssis bois | Cas 4 Cas 1/2 [Intensité inférieure] |
| Éléments non-structuraux : couvertures petits et grands éléments | Cas 1 (sans surpression) Cas 2 (si effets combinés) Isolant combustible Isolant non solidaire | Cas 1 (sans surpression) Cas 2 (si effets combinés) Isolant combustible Isolant non solidaire | Cas 1 [Intensité inférieure] Cas 4 |
| Enduits, parements, menuiseries extérieures | Cas 1 si matériau non combustible Cas 2 sinon | Cas 1 si matériau non combustible Cas 2 sinon | |
| Structures particulières | Cas 4 | Cas 4 | Cas 4 |

Mesures de renforcement - Phénomènes de type boule de feu & bâti non soumis à de la surpression

- Seules parties vulnérables : vitrages et menuiseries
- Traitement en vue :
 - D'éviter que l'échauffement des châssis → chute des vitrages
 - D'éviter que la dose thermique pénétrante >SEI
- Moyens
 - Châssis aluminium entre 1000 et 1800 (kW/m²)^{4/3}.s et PVC entre 600 et 1800 (kW/m²)^{4/3}.s
 - Remplacement par des châssis en bois
 - Application de peintures adaptées
 - Vitrages
 - Ventelles
 - Mise en place de films filtrants
 - Remplacement par des verres adaptés

DCO - 08/09/2004 - titre - 39

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Mesures de renforcement – Phénomènes de type boule de feu & bâti soumis à de la surpression

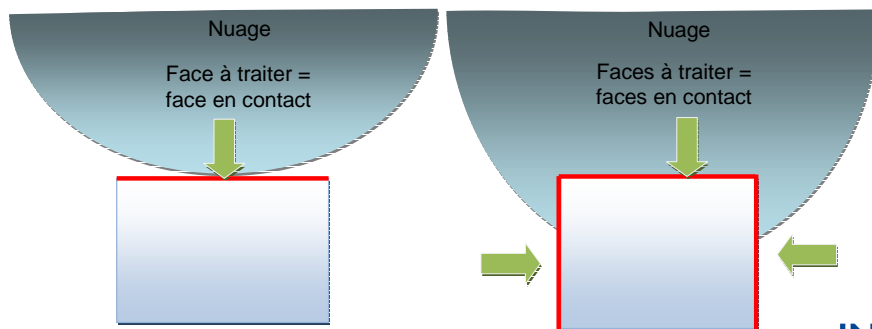
- Traitement préalable des structures à la surpression
- Vitrages
 - Emploi de verres résistants à la surpression et filtrant la dose thermique incidente
- Les éléments légers, de type panneaux en fibrociment ou en translucide, ne résistant pas à la surpression de bris de vitre :
 - remplacement par des éléments plus résistants, dans le respect des autres réglementations (désenfumage, code du travail...)
- Petits éléments :
 - Pas de retenue vis-à-vis des effets de surpression afin de soulager la charpente
 - Isolant en place derrière les petits éléments : écran thermique après leur envol
 - Isolant non combustible et fixé à la charpente de manière solidaire

DCO - 08/09/2004 - titre - 40

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

BÂTI SOUMIS À UN FEU DE NUAGE AU SEL / SELS

- Zone d'aléa $\geq F+$
- Zone de mesure foncière : délaissement ou expropriation résidentiel
- « Hors doctrine »
- Diagnostic simple
- Traitement préalable de la surpression (VCE)



DCO - 08/09/2004 - titre - 41

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Principes de l'approche sommaire de la vulnérabilité – Phénomène de type feu de nuage

| FF/UVCE | (SEL-SELS) |
|--|---|
| Structure non métallique | Cas 1 |
| Structure métallique porteuse apparente | Cas 4 si massivité > 1500 Cas 2 : facteur de massivité 250 & t > 10 s facteur de massivité 500 & t > 4,8 s facteur de massivité 800 & t > 3 s facteur de massivité 1500 & t > 1 s Cas 1 sinon |
| Bardage métallique (façade et toiture) | Cas 2 : Simple peau et t > 0,5 s Simple peau avec isolant combustible et t > 0,5 s Cas 1 sinon |
| Structures translucides et menuiseries extérieures | Cas 2 Si (verre non trempé et t > 1s) ou si (verre non durci, non trempé et t < 1s) Châssis PVC, Alu Cas 1 Verre : trempé ou (durci et t < 1s) Polymère Châssis bois |
| Éléments non-structuraux : couvertures petits et grands éléments | Cas 1 (sans surpression) Cas 2 (si effets combinés) |
| Structures particulières | Cas 4 |

DCO - 08/09/2004 - titre - 42

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Renforcements

- Pour les structures métalliques porteuses apparentes
 - Facteur de massiveté $> 250 \text{ m}^{-1}$: flocage ou habillage par plaque
- Bardage simple peau et simple peau avec isolant combustible
 - Phénomène de durée supérieure à 0,5 secondes : épaisseur d'isolant non combustible pour éviter que la température en face non exposée atteigne la température de propagation de l'incendie.
 - Pour les châssis
 - Remplacement par des châssis en bois ou application de peintures ou d'enduit adaptés
- Pour les vitrages
 - Eviter les contraintes thermiques de rupture
 - Verre durci : durée < 1 seconde
 - Verre trempé : durée > 1 seconde

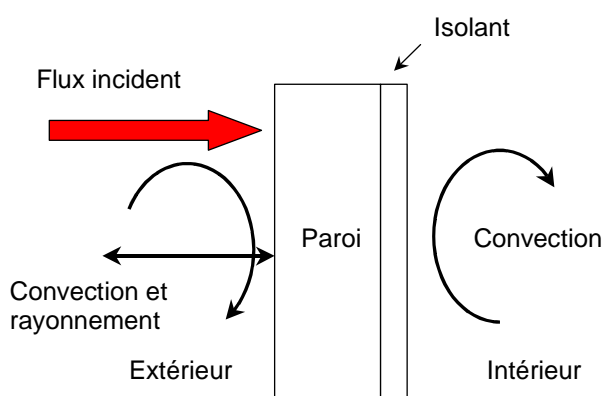
Cas 4 : étude de vulnérabilité approfondie

- Tout phénomène mettant en œuvre un produit non listé
- Tout phénomène de durée supérieure à deux minutes.
- Tout phénomène de type boule de feu produisant une dose supérieure à $1800 \text{ (kW/m}^2\text{)}^{4/3} \cdot \text{s}$.
- Tout phénomène produisant un flux instantané supérieur à 150 kW/m^2 .
- Toute structure ayant des éléments porteurs métalliques de facteur de massiveté supérieure à 1500 m^{-1} ;
- Toute structure répondant aux critères des structures particulières ou ne rentrant pas en compte dans la typologie proposée dans ce cahier.

Développement de l'étude de vulnérabilité approfondie

- Critères développés précédemment à prendre en compte :
 - Habitabilité du bâti :
 - Non-ruine de la structure porteuse :
 - Non propagation d'incendie :
- Orientation développée précédemment à prendre en compte
- Modèles :
 - Basés sur les Eurocodes, les phénomènes de type feu de nuage et de type boule de feu pour lesquels le bâti se trouverait pris dans la boule de feu
 - De type radiatif classique pour les phénomènes de type boule de feu

Modèle d'échange thermique (mur)



Modèle d'échange thermique (vitrage)

