



PPRT – Les principes généraux

Les effets d'un phénomène dangereux et leur incidence sur les structures

Journée PPRT - CNFPT Marseille - 19 juin 2014

INERIS – Benjamin Le Roux



DRA-14-141792-06411A

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Effets d'un phénomène dangereux

- Un phénomène dangereux
 - source potentielle de dommages
 - libération d'énergie ou de substance produisant des effets d'une certaine intensité susceptibles d'infliger un dommage à des enjeux vulnérables (vivants ou matériels).
- Un accident industriel est susceptible d'engendrer 3 types d'effets:

Effet Thermique (INCENDIE)



PHENOMENES
DANGEREUX

Effet Surpression (EXPLOSION)



Effet Toxique (DISPERSION ATMOSPHERIQUE)



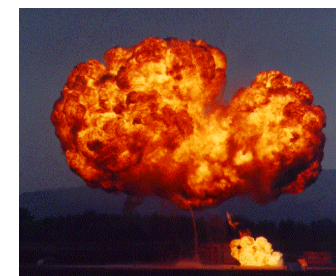
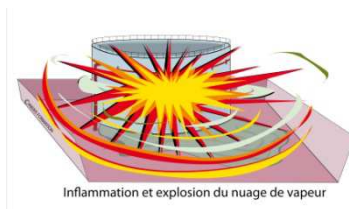
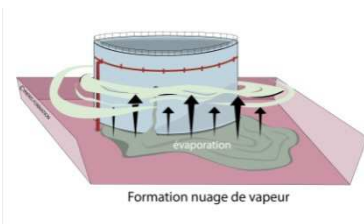
Effets de surpression

- Qu'est-ce que l'effets de surpression ?

- résulte d'une onde de pression provoquée par une explosion (effet de souffle)
- s'accompagne
 - de bruit (le boum de l'explosion)
 - et dans certains cas de flammes / boule de feu

- Quelques exemples:

- Explosion d'explosif
- Explosion d'un nuage de gaz inflammable (suite à une fuite)
- Explosion d'un réservoir de gaz liquéfié sous pression (BLEVE)

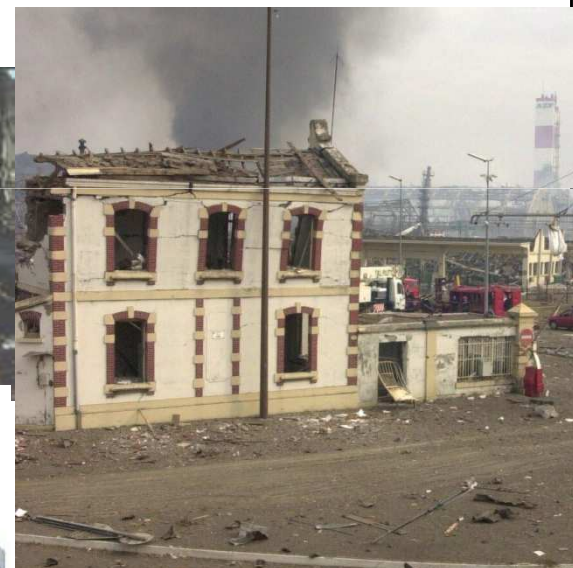


- Effet de surpression principalement caractérisé par son intensité : en mbar => diminue lorsqu'on s'éloigne du centre de l'explosion

Effets de surpression



- Conséquences / dommages potentiels sur les structures
 - Affaiblissement de la stabilité globale de la structure du bâtiment / effondrement d'une partie ou totalité du bâtiment
 - Endommagement / rupture de différentes parties d'un bâtiment: Murs, toiture, rupture des fenêtres



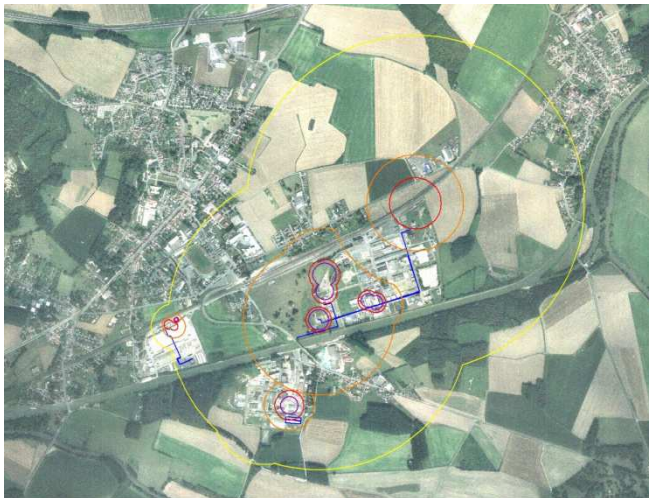
2-06411A

pour un développement durable

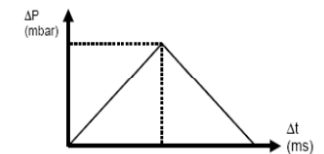
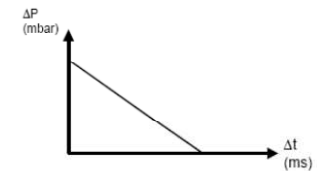
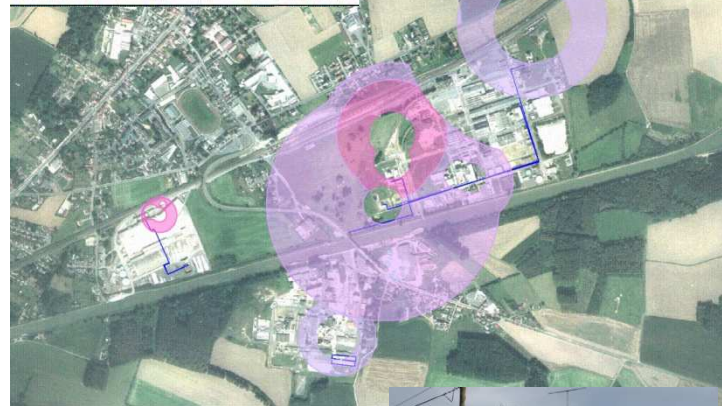
Effets de surpression



- Conséquences / dommages potentiels sur les structures:
 - dépend des caractéristiques de l'onde de surpression
 - Zone d'intensité de l'onde de surpression dans la quelle se trouve le bâtiment:
 - 20–50 mbar, 50–140 mbar, 140–200 mbar et > 200 mbar
 - La nature de l'explosion: onde de choc / déflagration
 - La durée de l'explosion



Rang (forme signal, durée)
4 (Onde de choc, 20 - 100 ms)
7 (Déflagration, 150 - 1000 ms)
8 (Déflagration, 50 - 150 ms)



- dépend du type de bâtiments et de ses caractéristiques bâtimementaires



DRA-14-141792-0641

pour un développement durable

Effets de surpression



- Conséquences sur les structures et sur l'homme
 - Quelques ordre de grandeur: – Seuils réglementaires (arrêté du 29 septembre 2005)

Intensité	Pour la vie humaine	Effets sur les bâtiments
20 mbar	Seuil des effets indirects par bris de vitre	Seuil de destruction significative des vitres
50 mbar	Seuil des effets irréversibles (SEI), délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »	Seuil des dégâts légers sur les structures
140 mbar	Seuil des effets létaux (SEL), délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine »	Seuil des dégâts graves
200 mbar	Seuil des effets létaux significatifs (SELS) délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine »	Seuil des effets domino

Effets de surpression



- Conséquences sur les structures et sur l'homme
 - Quelques ordre de grandeur – pour la vie humaine (1)

Surpression	Effets
2 à 3 mbar	grand bruit (143 dB), "boum" sonique
20 mbar	Blessures indirectes par bris de vitres
50 mbar	Seuils des effets irréversibles (par effets indirects)
140 mbar	Premiers effets létaux par effets indirects: 1% de létalité par effets indirects dans la population
200 mbar	Effets létaux par effets directs: potentiellement 1% de létalité par effets directs dans la population (Hémorragie pulmonaire)
340 –350 mbar	Effets directs: Probabilité de rupture des tympans = 1%

Effets de surpression



- Conséquences sur les structures et sur l'homme
 - Quelques ordre de grandeur – pour les structures (1)

Surpression	Effets
2 à 3 mbar	grand bruit (143 dB), "boum" sonique
20 mbar 50 mbar	destruction de 10 % des vitres destruction de 75% des vitres
140 mbar	Effondrement partiel des murs des maisons
160–200 mbar	Destruction à 50 % des maisons en briques
150–200 mbar	Murs en parpaings ou en béton non armé détruits

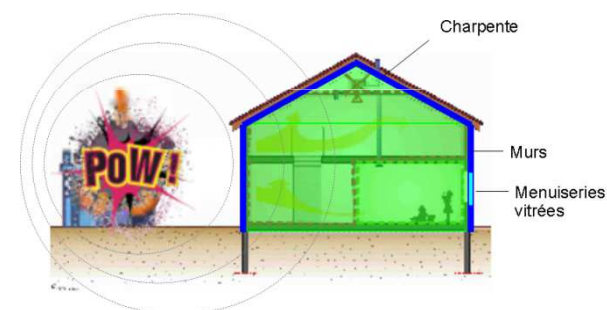


DRA-14-141792-001111

pour un développement durable

Effets de surpression

- Conséquences sur les structures et sur l'homme
 - **Bâtiment « métallique »** – Vulnérable dès la zone 20–50 mbar:
 - Vulnérabilité de l'enveloppe en bardage métallique, et potentiellement de la structure porteuse en acier
 - **Bâtiment type habitation individuelle:**
 - Zone 20–50 mbar:
 - fenêtres principaux éléments vulnérables
 - Zone 50–140 mbar:
 - Vulnérabilité des fenêtres, et dans certains cas certains murs et la charpente



Effets thermiques

- Qu'est-ce que l'effets thermique ?

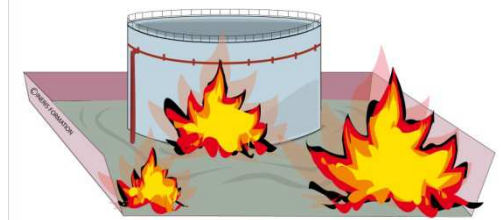
- Engendrés par la combustion d'un produit inflammable ou d'une explosion
- Quelques exemples:

Phénomènes dangereux	Site type
Les feux de nappe (liquide)	Dépôt d'hydrocarbures liquides
Les feux torches (gaz ou liquide) [fig. 9]	Raffinerie, dépôt de gaz de pétrole liquéfié
Les feux de solides (produits solides combustibles)	Entrepôt
Une explosion de gaz	Site comportant des liquides ou gaz inflammables
Le BLEVE	Dépôt et installation stockant des gaz liquéfiés inflammables

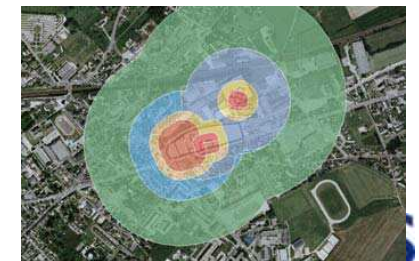
- On distingue :

- Les effets thermiques continus: durée > 2 min $\Rightarrow$ se caractérise par un **flux thermique** en (kW/m^2)
- Les effets thermiques transitoires: durée < 2 min $\Rightarrow$ se traduit par une **dose thermique** en ($([\text{kW}/\text{m}^2]^{4/3} \cdot \text{s})$)

- Les effets diminuent lorsqu'on s'éloigne du centre de l'accident

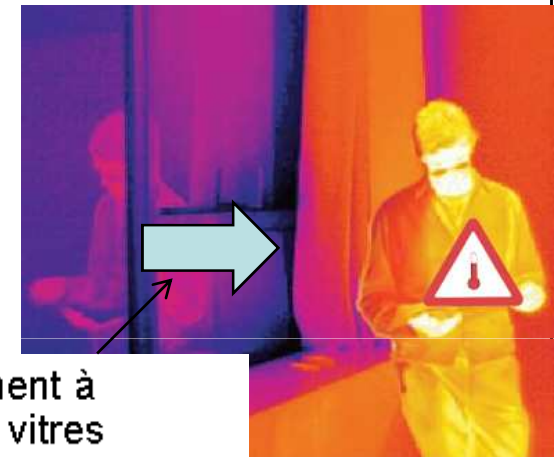
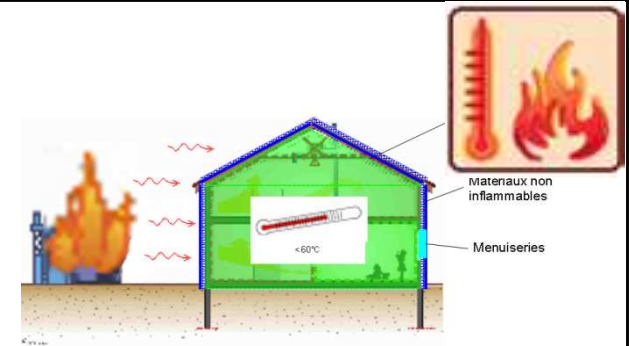


Inflammation des matières inflammables

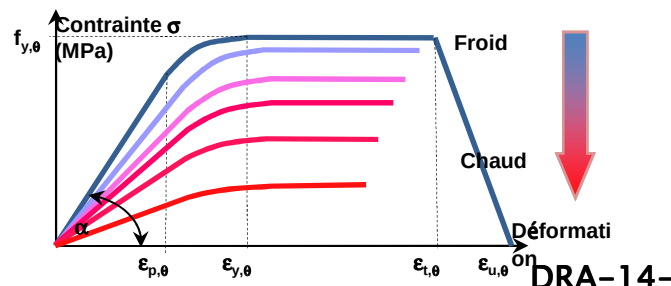


Effets thermiques

- Conséquences / dommages potentiels sur les structures et sur l'homme
 - Dégradation des conditions ambiantes intérieure du bâtiment:
 - Elevation de la température, rayonnement transmis pouvant être préjudiciable pour les occupants (accentué par la rupture possible des vitres)
⇒ hyperthermie (fièvre) , brûlures de la peau et des voies respiratoires
 - Intoxication causée par les fumées toxiques (dégradation des matériaux de construction)
 - Dégradation du bâti:
 - Propagation d'incendie
 - Affaiblissement / effondrement de la structure



Rayonnement à travers les vitres



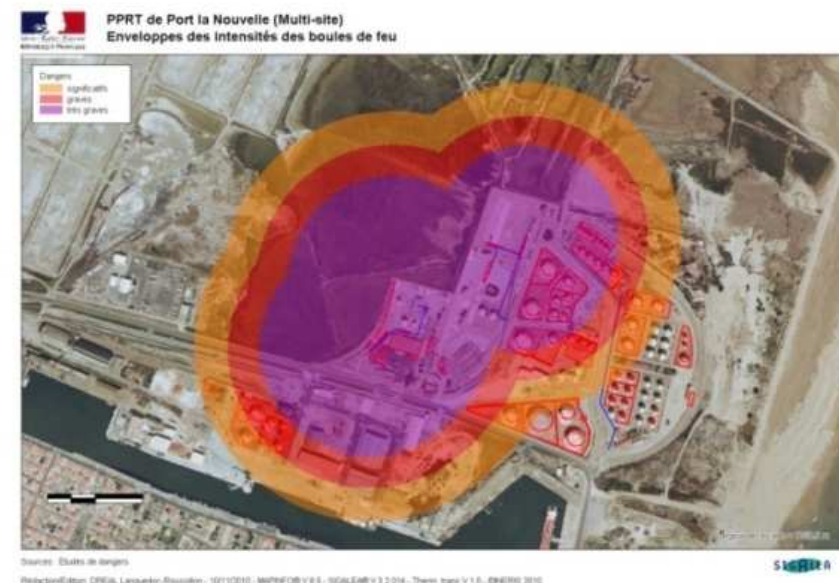
Effets thermiques



- Conséquences / dommages potentiels sur les structures:

- dépend des caractéristiques des effets thermiques
 - Nature: continu ou transitoire
 - Zone d'intensité

Continu	Transitoire
3–5 kW/m ²	600–1000 kW/m ²] ^{4/3} .s
5–8 kW/m ²	1000–1800 kW/m ²] ^{4/3} .s
> 8 kW/m ²	> 1800 kW/m ²] ^{4/3} .s



- dépend du type de bâtiment
 - de la nature et des caractéristiques des parties d'ouvrage constituant l'enveloppe extérieur du bâtiment



141792-

ERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Effets thermiques



- Conséquences sur les structures et sur l'homme

- Quelques ordre de grandeur: – Seuils réglementaires (arrêté du 29 septembre 2005)

- Pour la vie humaine:

- 3 kW/m² ou 600 [(kW/m²)^{4/3}].s: seuil des effets irréversibles (SEI), « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »
- 5 kW/m² ou 1 000 [(kW/m²)^{4/3}].s: seuil des premiers effets létaux (SEL), « zone des dangers graves pour la vie humaine »
- 8 kW/m² ou 1 800 [(kW/m²)^{4/3}].s: seuil des effets létaux significatifs (SELS), « zone des dangers très graves pour la vie humaine »

- Pour les structures:

- 5 kW/m² : seuil de destruction significative des vitres
- 8 kW/m²: seuil des effets dominos, seuil des dégâts graves
- 16 kW/m²: seuil des dégâts très graves
- 200 kW/m²: seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

Effets thermiques



- Conséquences sur les structures et sur l'homme
 - Quelques ordre de grandeur – pour la vie humaine (1)

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

Description	Flux thermique (kW/m ²)
Soleil à 12 h en été (Casablanca)	1
Apparition de brulures en moins d'une minute	3
Intervention possible pendant quelques minutes pour des urgences de personnel sans protection, mais avec vêtements appropriés. (API)	4,7
Seuil de létalité	5
Intervention possible pendant 1 minute pour des urgences de personnel sans protection, mais avec vêtements appropriés. (API)	6,3
Seuil admissible d'intervention en tenue ignifuge	8

Effets thermiques



- Conséquences sur les structures et sur l'homme
 - Quelques ordre de grandeur – pour les structures

Nature du dommage	Flux critique (kW/m ²)
Déformations conséquentes des éléments en matériaux synthétiques	2
Affaissement et rupture des vitres	4-5
Apparition d'un risque d'inflammation pour les matériaux combustibles (tels que le bois) en présence d'une source d'ignition	10
Inflammation de la végétation	10-12
Fonte des plastiques	12
Résistance supposée d'un immeuble normal	14
Flux limite de tenue des structures pour une exposition prolongée, hors structures en béton	16
Inflammation du diesel en 40 s	20
Déformations conséquentes de structures métalliques.	25
Inflammation spontanée du bois	25-30



Effets thermiques

- Conséquences sur les structures et sur l'homme

- Bâtiment de type habitation individuelle

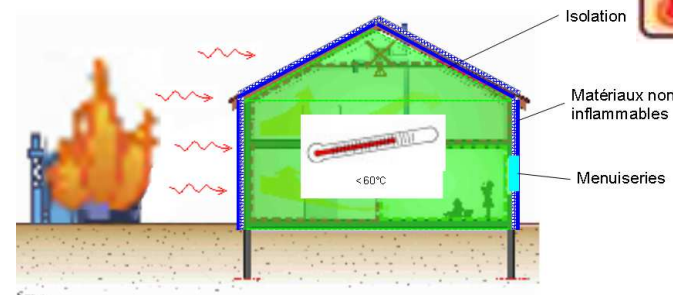
- Effets continus – Zone 3–8 kW/m²:

- Vulnérabilité des fenêtres avec simple vitrage, châssis PVC, aluminium [$> 5 \text{ Kw/m}^2$]
 - Murs et toiture potentiellement vulnérables en fonction de la nature et épaisseur de l'isolant

- Bâtiment industriel en acier:

- Effets continus – Zone 3 – 8 kW/m²:

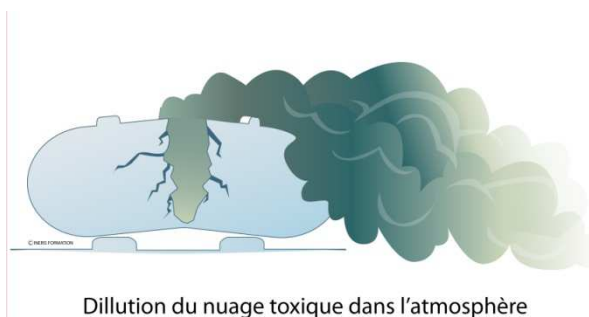
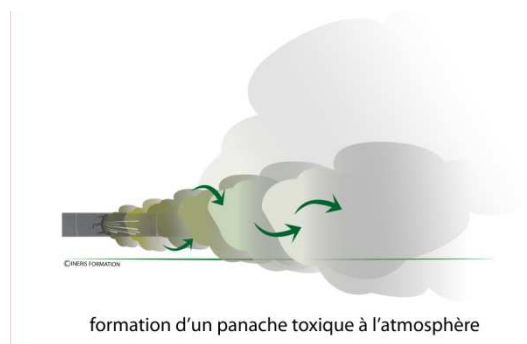
- Enveloppe en bardage métallique potentiellement vulnérables (fonction de l'épaisseur d'isolant)
 - Structure porteuse non apparente généralement non vulnérable



Effets toxiques



- Qu'est-ce que l'effet toxique ?
 - Est la conséquence du rejet accidentel de produit polluant sous forme de nuage gazeux consécutif par exemple à:
 - rupture d'une tuyauterie, destruction de réservoirs de stockage , incendie (fumées toxiques)



- Un nuage toxique rejeté dans l'atmosphère peut s'étendre et se déplacer sous l'effet des conditions météorologiques.



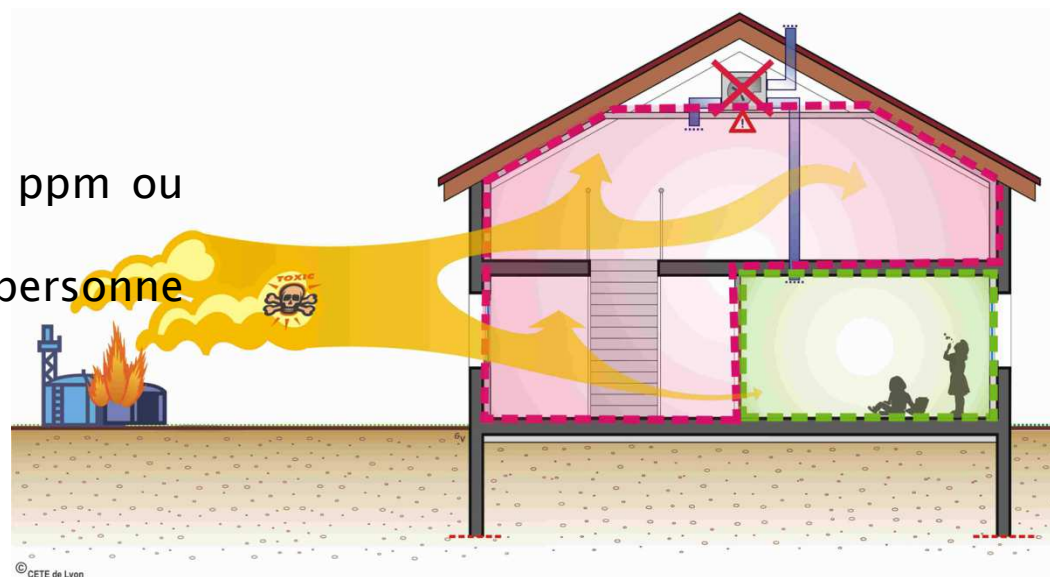
DRA-14-141792-06411A

Effets toxiques



• Conséquences sur les personnes

- Un nuage toxique aura un effet sur l'individu s'il atteint la zone ou l'environnement où il se trouve
- Le nuage pénètre dans les bâtiments sous l'effet notamment du vent, l'action de la ventilation, par toutes les ouvertures ou défauts d'étanchéité des constructions.
- Certains gaz toxiques n'ont pas d'odeur, la plupart ne se voit pas.
- Les effets toxiques sur l'être humain génèrent des risques directs sur les personnes par respiration d'un air pollué par un produit toxique : irritation des voies respiratoires, asphyxie, voire mortelle
- Les effets du polluant dépendent:
 - de la toxicité du produit
 - de sa concentration dans l'air: en ppm ou mg/m³
 - et de la durée pendant laquelle la personne y est exposée

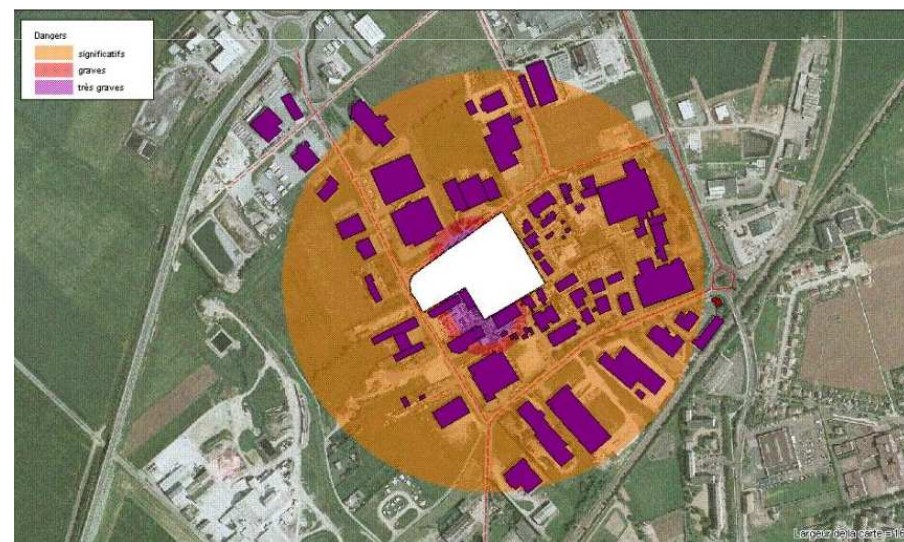
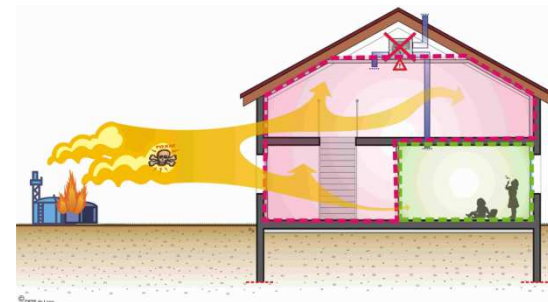


Effets toxiques

• Conséquences sur les personnes

- Pour chaque produits, trois seuils de toxicité aiguë (en ppm ou mg/m³ (concentration) sont identifiés par rapport à sa nocivité et en fonction de la durée d'exposition:
 - SEI: Seuil des effets irréversibles: *Seuil de concentration au-delà duquel des séquelles permanentes pourraient apparaître sur les personnes*
 - SPEL: Seuil des premiers effets létaux (ou CL1%)
 - SELS: Seuils des effets létaux significatifs (ou CL5%)

Seuils réglementaires (arrêté du 29 septembre 2005)



Effets toxiques

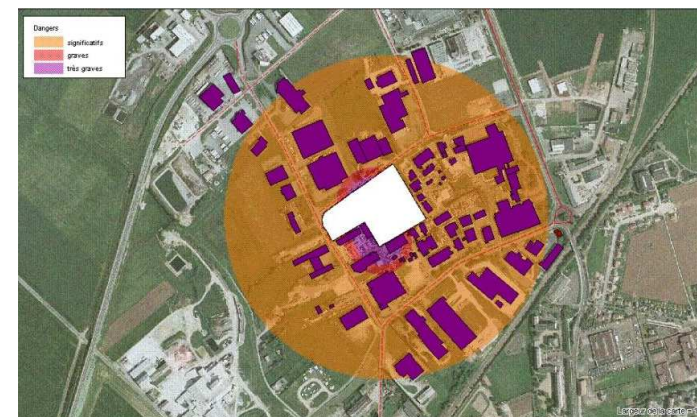
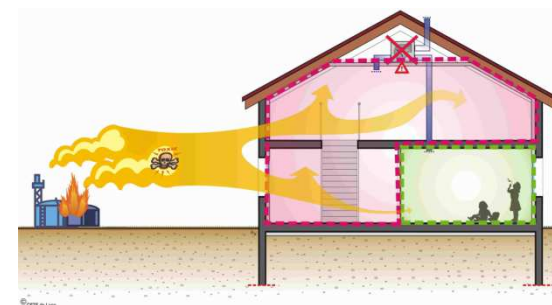
- Conséquences sur les personnes

- L'effet toxique est caractérisé par un **taux d'atténuation cible**:
 - Objectif de diminution de la concentration du nuage en produit toxique entre
 - l'extérieur
 - et l'intérieur de la pièce servant de confinement
- afin que les personnes ne soient pas exposées à des effets irréversibles

Objectif de performance sur l'atténuation A(%) : $A < A_{\max}$

$$\text{avec } A = \frac{C_{\text{int}}}{C_{\text{ext}}} \quad \text{et} \quad A_{\max} = \frac{SEI(2h)}{C_{\text{ext}}}$$

← 2h (durée du confinement)
← 1h (durée du nuage)



INERIS – CONTACTS

SIÈGE ET LABORATOIRES

Parc Technologique Alata - BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte
Tél. : 03 44 55 66 77 / Fax : 03 44 55 66 99 - E-mail : ineris@ineris.fr



<http://www.ineris.fr>

Résistance des structures

Benjamin LE-ROUX

Unité REST

Direction des Risques Accidentels

Tél + 33(0)2 48 48 40 32

E-mail : benjamin.le-roux@ineris.fr



Ingénierie du PPRT

Collectivités et aménageurs

- ☛ Aide à la création ou la modification de zones « SEVESO »
- ☛ Rendre le PPRT le moins « contraignant » possible
 - ☐ Optimisation des distances d'effets, des barrières de sécurité, du type d'aménagement bâtiementaire choisi (ERPs, activités, ...)
- ☛ Dimensionner au mieux les aléas, les choix industriels, les choix d'urbanisation
- ☛ Aide pour une participation effective à l'association et à la concertation
 - ☐ Comprendre les enjeux de chaque étape du PPRT
 - ☐ Aider à l'élaboration de propositions constructives et prenant en compte le développement du territoire

Constructeurs de moyens de protection

- ☛ Tester, évaluer et certifier de manière à rendre plus sûr le bâti environnant

Industriels/activités voulant s'implanter en zone PPRT

- ☛ Évaluation de la vulnérabilité des projets d'installation
- ☛ Aider à l'optimisation de la protection



INERIS

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

pour un développement durable



Ingénierie du PPRT

Les études de dangers:

L'INERIS réalise des études de dangers pour maîtriser les aléas

Les études de vulnérabilité:

L'INERIS évalue la vulnérabilité des bâtiments (activités, ERPs) à l'aléa

Les études de moyens de protection:

L'INERIS aide les constructeurs de moyens de protections à l'aléa (explosion, incendie...)

La concertation:

L'INERIS accompagne les acteurs du PPRT et définit des stratégies de concertation

Références:

L'INERIS établit des documents techniques de référence pour les PPRTs :

- ☛ Cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de suppression
- ☛ Cahier technique de la vulnérabilité du bâti aux effets thermiques transitoires
- ☛ Guide pratique « Fenêtres dans la zone 20-50 mbar - Effets de suppression, diagnostic et mesures de renforcement »
- ☛ Guide des pratiques d'association et de concertation dans le cadre des PPRT

Point de contact

INERIS

Mathieu REIMERINGER
Responsable de l'unité
Résistance des Structures
Direction des Risques Accidentels

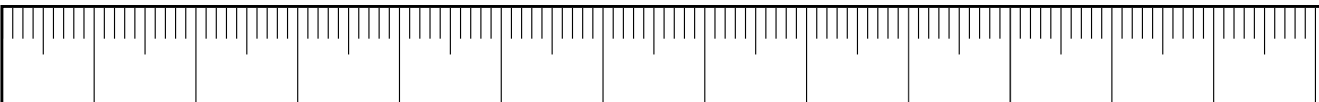
Parc Technologique Alata - BP 2 - F-60550 Verneuil-en-Halatte
Tél + 33(0)2 44 55 66 77 - Fax + 33(0)2 44 55 66 99
E-mail : mathieu.reimeringer@ineris.fr
Site internet : www.ineris.fr

INERIS
Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
pour un développement durable

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

DRA-14-141792-0620144

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable



DRA-14-141792-06411A