

LES PRINCIPES DE RENFORCEMENT DES BÂTIMENTS D'HABITATION EXISTANTS

Les principes de renforcement pour l'effet thermique

Les caractéristiques de l'effet thermique

L'effet thermique est généré par le rayonnement thermique d'un incendie ou une explosion. Il est qualifié de **continu** pour des phénomènes de plus de deux minutes (feux de nappe, feux de solides et jets enflammés) et se traduit par un flux thermique exprimé en kW/m^2 .

Il est qualifié de **transitoire** quand il dure moins de deux minutes (boule de feu et feu de nuage) et se traduit par une dose thermique exprimée en $[\text{kW/m}^2]^{4/3} \cdot \text{s}$.

On distingue 3 seuils réglementaires formant trois zones d'intensité :

Effet thermique continu	Effet thermique transitoire
3 kW/m^2	600 $[\text{kW/m}^2]^{4/3} \cdot \text{s}$
5 kW/m^2	1 000 $[\text{kW/m}^2]^{4/3} \cdot \text{s}$
8 kW/m^2	1 800 $[\text{kW/m}^2]^{4/3} \cdot \text{s}$

À titre indicatif,

- à midi, en été et sous l'équateur, le rayonnement solaire est de 1 kW/m^2 ;
- une dose thermique de $100 [\text{kW/m}^2]^{4/3} \cdot \text{s}$ correspond au seuil des brûlures au 1^{er} degré.

	Zone d'intensité	Principales mesures de renforcement bâtiment d'habitation individuelle (données à titre d'exemple)
Effet thermique continu	> à 8 kW/m^2 (très grave)	Une étude spécifique est nécessaire afin de définir précisément les mesures de renforcement.
	5 à 8 kW/m^2 (grave)	Renforcement de l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment (toiture, murs, vitrages) <i>ou</i> Aménagement d'un local de mise à l'abri. Dans tous les cas : Remplacement des matériaux extérieurs inflammables par des matériaux classés B-s1, d0 ou M1 et température de dégradation supérieure à 280°C.
	3 à 5 kW/m^2 (significatif)	Renforcement de l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment (toiture) <i>ou</i> Aménagement d'un local de mise à l'abri. Dans tous les cas : Remplacement des matériaux extérieurs inflammables par des matériaux classés C-s2, d0 ou M2 et température de dégradation supérieure à 200°C.
Effet thermique transitoire	> à 1 800 $(\text{kW/m}^2)^{4/3} \cdot \text{s}$ (très grave)	Une étude spécifique est nécessaire afin de définir précisément les mesures de renforcement.
	1 000 à 1 800 $(\text{kW/m}^2)^{4/3} \cdot \text{s}$ (grave)	Renforcement des vitrages par la pose d'un film filtrant ou remplacement par un double vitrage. Mise en place d'un isolant solidaire de la charpente si effet thermique combiné avec effet de surpression.
	600 à 1 000 $(\text{kW/m}^2)^{4/3} \cdot \text{s}$ (significatif)	Mise en place d'un isolant solidaire de la charpente si effet thermique combiné avec effet de surpression.

Les conséquences sur les personnes et les bâtiments

Une exposition des personnes peut conduire à des brûlures de la peau et des voies respiratoires pouvant provoquer des effets létaux sur les personnes.

Sous l'effet de la chaleur, la température à l'intérieur du bâtiment peut atteindre des niveaux critiques, les fenêtres peuvent se dégrader, les vitrages casser, un incendie peut se propager à l'intérieur du bâtiment. La structure du bâtiment peut aussi s'affaiblir et s'effondrer.

Les bâtiments, correctement dimensionnés, peuvent apporter une protection vis à vis de ces effets.

Les principes de renforcement en fonction de l'intensité de l'effet thermique

Il s'agit d'assurer la protection des personnes et donc, s'agissant du bâtiment, d'assurer : l'habitabilité (non élévation de la température), la résistance au feu (stabilité structurelle) et la réaction au feu (non inflammabilité et limitation de la propagation du feu).

Dans le cadre des PPRT, la méthodologie vis-à-vis des effets thermiques continus consiste à protéger les personnes situées à l'intérieur du bâtiment pour une durée de 2h :

- soit en s'assurant que l'enveloppe du bâtiment est suffisante ;
- soit en mettant à l'abri les personnes dans une pièce adaptée de l'habitation, appelée local de mise à l'abri.

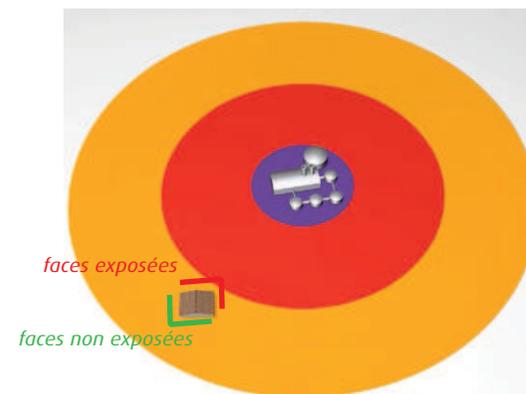
Dans tous les cas, il faudra également s'assurer que les façades exposées du bâtiment ne comportent pas de matériaux inflammables.

Les parties d'ouvrage à traiter pour définir les mesures de renforcement

Les parties d'ouvrage à traiter dépendent de l'orientation des façades du bâtiments.

Elles peuvent être regroupées selon les grandes catégories suivantes :

- murs : nature, épaisseur, isolation des murs ;
- toiture : couverture, isolation, épaisseur isolation ;
- menuiseries vitrées : type de châssis, type de vitrage ;
- portes : nature, isolation ;
- éléments non structuraux : matériaux.



Plus on s'éloigne du feu, plus l'intensité thermique s'atténue.

Le renforcement des faces dépend de leur orientation.

Par exemple pour les effets thermiques continus, seules la toiture et les façades "directement exposées" sont potentiellement susceptibles de faire l'objet de travaux de renforcement, les autres façades étant non vulnérables.

Les principes de renforcement pour l'effet de surpression

Les caractéristiques de l'effet de surpression

L'effet de surpression est généré par le souffle d'une explosion. Il est principalement caractérisé par son intensité (exprimé en mbar).

On distingue 4 seuils réglementaires : 20 mbar, 50 mbar, 140 mbar et 200 mbar, formant quatre zones d'intensité : 20-50 mbar, 50-140 mbar, 140-200 mbar et >200 mbar *.

Le type d'onde de surpression générée (déflagration et onde de choc) et sa durée sont également considérés. L'orientation du bâtiment par rapport à l'origine de l'explosion est également importante.

À titre indicatif, une surpression de 2-3 mbar correspond au « bang » supersonique.

(*) Des zonages plus fins sont néanmoins disponibles auprès des DREAL/DDT afin de déterminer les travaux au plus juste.

Zone d'intensité	Principales mesures de renforcement bâtiment d'habitation individuelle (données à titre d'exemple)
Zone d'intensité >200 mbar (très grave)	Une étude spécifique est nécessaire.
Zone d'intensité 140-200 mbar (grave)	
Zone d'intensité 50-140 mbar (significatif)	<p>Renforcement éventuel des murs de maçonnerie d'une ou plusieurs façades du bâtiment (fonction de la nature des parois).</p> <p>Renforcement éventuel de la charpente en bois par un doublage des fermes selon la pente de la toiture (> 25°) et l'orientation du bâtiment.</p> <p>Remplacement d'une couverture en grands éléments (fibrociment, bardage métallique) par une couverture en petits éléments (ardoises, tuiles).</p> <p>Remplacement des fenêtres (fenêtres avec double vitrage feuilleté 66.4/8/66.4, avec système de fermeture renforcé, châssis résistant, ou fenêtre EPR 1 suivant la norme EN 13123-1).</p>
Zone d'intensité 20-50 mbar (faible)	<p>Renforcement des fenêtres :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'un film de sécurité anti-explosion, remplacement des panneaux vitrés <p>Remplacement de la fenêtre (fenêtre avec double vitrage feuilleté 44.2/8/44.2, système de fermeture renforcé, châssis en bois, aluminium ou PVC (avec renfort métallique)).</p>

Les conséquences sur les personnes et les bâtiments

Les effets de l'onde de surpression dépendent de la zone d'intensité dans laquelle se trouve l'habitation. Les effets de la surpression sont principalement indirects, dus à la projection de débris des fenêtres et des vitres ou à l'effondrement d'une partie de la structure. Dans les zones d'intensité élevée (200 mbar), les effets peuvent être directs et provoquer des lésions aux tympans et aux poumons.

Les bâtiments correctement dimensionnés peuvent apporter une protection pour les personnes dans le bâtiment vis à vis de cet effet.

Les principes de renforcement en fonction de l'intensité de l'effet surpression

En zone 20-50 mbar, correspondant à des effets indirects par bris de vitres, le diagnostic de vulnérabilité des bâtiments de type habitation individuelle porte uniquement sur les menuiseries vitrées. L'objectif est d'en améliorer leur résistance mécanique.

En zone 50-140 mbar, correspondant à des dégâts légers à graves sur les structures, le diagnostic de vulnérabilité des bâtiments de type habitation individuelle porte sur l'ensemble du bâtiment. Il peut être nécessaire de renforcer les différentes parties du bâtiment (murs, charpente, fenêtres...) afin d'en améliorer leur résistance mécanique.

Les parties d'ouvrages à traiter pour définir les mesures de renforcement

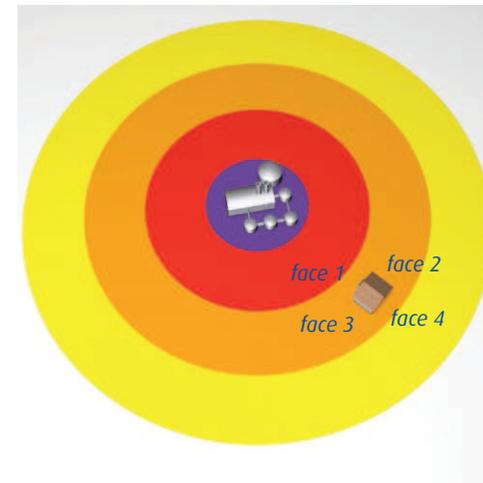
Pour les habitations individuelles en zone 20-50 mbar, les travaux de renforcement portent uniquement sur les menuiseries vitrées. Ils dépendent de l'orientation de chacune des façades du bâtiment.

En zone 50-140 mbar, les travaux de renforcement peuvent porter également dans certains cas sur les murs, la charpente et la couverture. Ils dépendent de :

- l'orientation du bâtiment par rapport au centre d'explosion. Celle-ci ayant une influence sur le niveau d'endommagement du bâtiment ;
- les caractéristiques des différentes parties d'ouvrage :
 - les murs de maçonnerie ou en béton : nature, hauteur ;
 - la charpente et la toiture : nature de la charpente, pente ;
 - les éléments de couverture : petits ou grands éléments ;
 - les menuiseries vitrées : type et dimension du vitrage, nature du châssis, système de fermeture, fixations dans le mur.

Rappel :

Les bâtiments à ossature métallique ou bois devront faire l'objet d'un diagnostic approfondi spécifique, et ne sont pas traités dans ce guide pour ce qui concerne leur renforcement structurel vis à vis de la surpression.



Plus on s'éloigne de l'explosion, plus l'intensité de l'onde s'atténue.

Elle s'exprime en millibars (mbar).

Le renforcement des faces dépend de leur orientation.

Les principes de renforcement pour l'effet toxique

Les caractéristiques de l'effet toxique

L'effet toxique est la conséquence du rejet accidentel de produit polluant sous forme de nuage gazeux, consécutif par exemple, à une rupture de tuyauterie, à la destruction de réservoir de stockage ou à un incendie. Il ne peut être qualifié indépendamment de la substance dispersée car les produits n'ont pas tous, à concentration égale, les mêmes effets sur l'être humain.

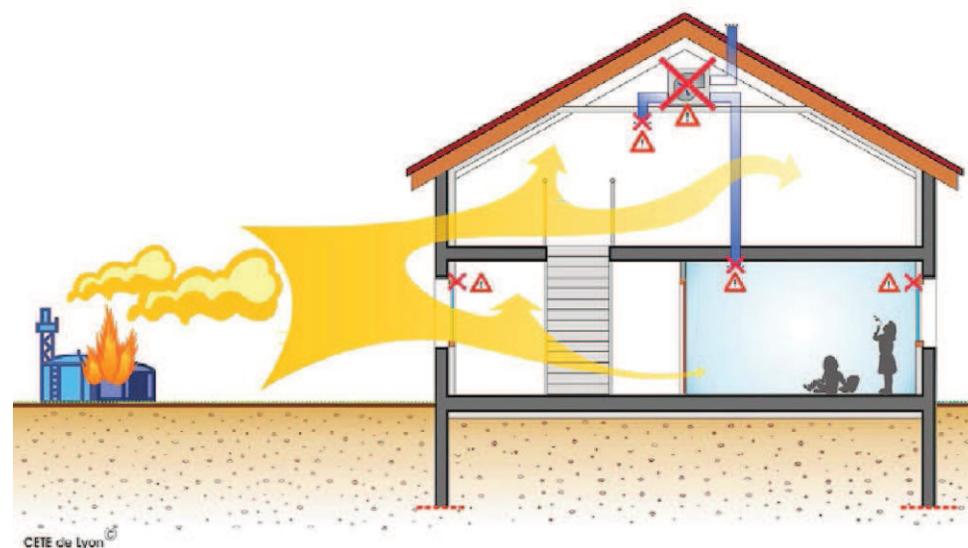
L'effet toxique est caractérisé par un taux d'atténuation qui représente l'objectif de diminution de la concentration du nuage en substances toxiques entre l'environnement extérieur et l'intérieur des locaux de confinement, afin que les personnes ne s'exposent pas à des effets irréversibles. Ce taux dépendra des produits concernés. Pour les bâtiments d'habitation, les PPRT traduisent cet objectif de diminution en un objectif de perméabilité à l'air maximale des locaux de confinement (n_{50} exprimé en vol/h).

A titre indicatif, pour un local de 25 m^3 (pièce de 10 m^2 environ), une perméabilité à l'air (n_{50}) de $0,6 \text{ vol/h}$ correspond à un $Q_{4\text{Pa-surf.}}$ de $0,07 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$, soit un trou dans la paroi de la taille d'une pièce de 2 €, et une perméabilité à l'air (n_{50}) de 8 vol/h correspond à $Q_{4\text{Pa-surf.}}$ de $0,89 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$, soit un trou dans la paroi d'une taille proche d'un billet de 5 €.

Les conséquences sur les personnes et les bâtiments

Un nuage toxique rejeté dans l'atmosphère peut s'étendre et se déplacer sous l'effet des conditions météorologiques. Il 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 et de l'action de la ventilation, par toutes les ouvertures et les défauts d'étanchéité des constructions.

Ses effets sur l'être humain dépendent de la toxicité des produits émis, de leur concentration dans l'air, et de la durée pendant laquelle la personne y est exposée.



Les principes de protection vis à vis de l'effet toxique

Le principe consiste à mettre à l'abri les personnes d'un logement, d'un ERP (établissement recevant du public), d'un bâtiment industriel ou de tout autre bâtiment dans un local « étanche à l'air » ou tout du moins « peu perméable à l'air » permettant de satisfaire le taux d'atténuation caractérisant l'effet toxique vis-à-vis duquel il faut se protéger, et ainsi de limiter les concentrations auxquelles les personnes sont exposées.

L'enveloppe du bâtiment est une première barrière à la pénétration du nuage toxique.

Les parties d'ouvrages à traiter pour définir les mesures de renforcement

Le confinement est la solution technique proposée dans les PPRT pour protéger les populations de l'aléa toxique. Mettre en œuvre une stratégie de confinement comporte plusieurs aspects :

1. Création d'un local de confinement de taille adaptée au nombre de personnes à protéger, dont la localisation dans le bâtiment sera choisie pour en optimiser l'efficacité ;
2. Renforcement de l'étanchéité à l'air du local de confinement adapté au phénomène le plus contraignant susceptible d'impacter le bâtiment ;
3. Mise en œuvre de dispositions techniques nécessaires à l'efficacité du confinement dans tout ou partie des logements, sas d'entrée, etc., notamment l'installation d'un système de coupure rapide des ventilations et de dispositifs d'obturation des entrées d'air ;
4. Mise en place de règles comportementales à respecter avant, pendant et après la crise.

Attention : Il faudra veiller à la pérennité des travaux de confinement dans la vie du bâtiment (trous supplémentaires dans les parois, seuils des portes, vieillissements des joints...).