



Complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression



Cadre du cahier

- Complément technique relatif à l'effet de surpression réalisé par le CSTB
 - Valable sur le bâti neuf
 - Difficilement utilisable sur du bâti ancien :
 - 17 critères de vulnérabilité pas toujours simples à établir
- Besoin d'un développement applicatif du cahier
- Réalisé par INERIS et CETE NC

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 « sommaire » 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

Logigramme

Services instructeurs – Approche sommaire de la vulnérabilité à l'agression thermique transitoire

IIC : Caractérisation de l'agression – Chapitre 4

DDE : Caractérisation du bâti – Chapitre 5

SIGALEA

EDD

Relevé terrains

Equipe-projet : Finalisation de l'approche sommaire de la vulnérabilité – chapitre 6

Cas 1 : Pas de travaux de renforcement

Cas 2 : Réalisation de travaux ne nécessitant pas d'étude préalable

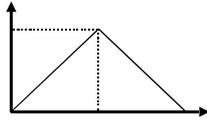
Cas 3 : Réalisation de travaux nécessitant un diagnostic sommaire préalable

Cas 4 : Réalisation d'une étude de vulnérabilité approfondie afin de définir la faisabilité et les mesures de renforcement possibles

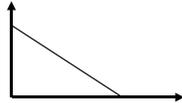
Moyens de renforcement
Chapitre 7

Agressions

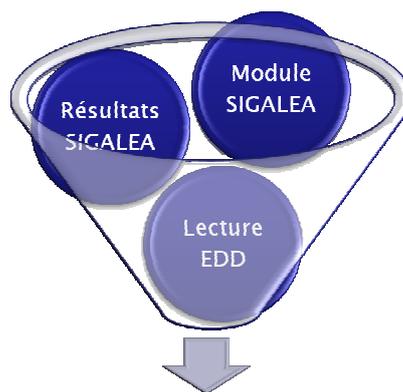
- Déflagration
 - La plupart des explosions gazeuses



- Détonation
 - Certaines explosions gazeuses
 - Les explosions de réservoir
 - Les BLEVEs
 - Les explosions de solides



Approche



Carte des zones de phénomènes dangereux d'explosion

Zones 50-140: zonage et rangs associés

Zones 50-140: orientations

Zones 20-50: zonage et rangs associés

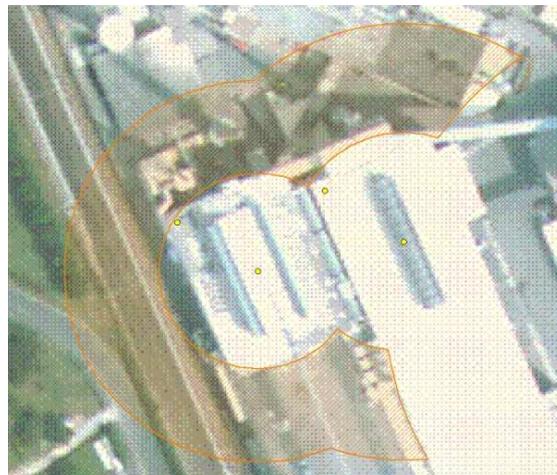
Cartes de zones de phénomènes dangereux d'explosion

- Zones 50-140: zonage et rangs associés



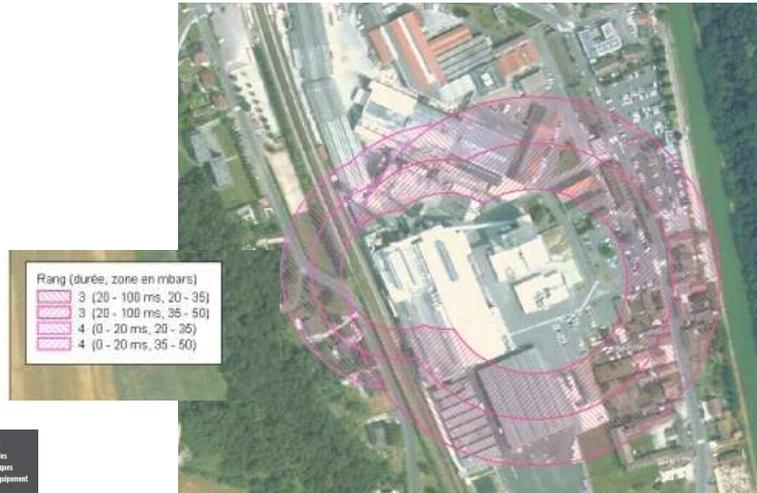
Cartes de zones de phénomènes dangereux d'explosion

- Zones 50-140: orientations: centres des phénomènes dangereux

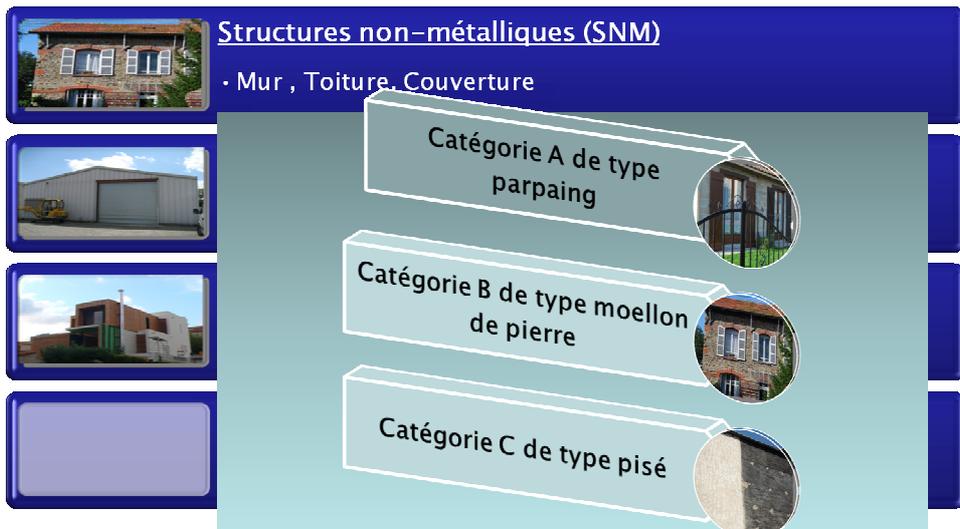


Cartes de zones de phénomènes dangereux d'explosion

- Zones 20–50: zonage et rangs associés. Zone à 35 mbar



Typologie bâtementaire



Tableaux des principes (1 / 2)

Intensité		Type de signal	> 140 mbar	50-140 mbar	20 - 50 mbar		
Caractéristiques du bâti					35-50 mbar	20 -35 mbar	
Structures non-métalliques ¹³ (hors charpente métallique)	Type de mur (catégorie)	Cat. A	Déflagration	Cas n°1	Cas n°1	Cas n°1	
			Onde de choc	Cas n°1 si t < 100 ms Cas n°3 si t > 100 ms			
		Cat. B	Déflagration	Cas n°2 ¹⁴ [Mesure permettant de faire face à une intensité moins importante]			Cas n°1 si t < 50 ms Cas n°3 si t > 50 ms
			Onde de choc	Cas n°3			
		Cat. C	Déflagration	Cas n°3			Cas n°3
			Onde de choc	Cas n°3			Cas n°3
	Toiture	Déflagration	Cas n°2 [Mesure permettant de faire face à une intensité moins importante]	Cas n°1 si t < 150 ms ou pente < 25° Cas n°2 si t > 150 ms et pente > 25°	Cas n°1		
		Onde de choc	Cas n°2 [Mesure permettant de faire face à une intensité moins importante]	Cas n°1 - si t < 100 ms et pente < 25° - si t < 20 ms et pente > 25° Cas n°2 : si t > 100 ms Cas n°3 : si 20 < t < 100 ms et pente > 25°	Cas n°1		
	Couverture Grands éléments	Pas de distinction en fonction du type de signal	Cas n°2 [Mesure permettant de faire face à une intensité moins importante]	Cas n°2	Cas n°2 Cas n°4 ¹⁵		

Tableaux des principes (2 / 2)

Intensité		Type de signal	> 140 mbar	50-140 mbar	20 - 50 mbar	
Caractéristiques du bâti					35-50 mbar	20 -35 mbar
Structures métalliques ¹⁶	Charpente et structure porteuse (hors panne)	Pas de distinction en fonction du type de signal	Cas n°4 [Mesures permettant de faire face à une intensité moins importante]	(Uniquement sur la charpente) Cas n°4 [Mesures permettant de faire face à une intensité moins importante]	Cas n°1 si largeur < 13 m et t < 20 ms Cas n°2 [Mesures permettant de faire face à une intensité moins importante] si l > 20m ou t > 150 ms Cas n°4 (uniquement sur la charpente) sur les autres cas	Cas n°1 si largeur < 13 m et t < 100 ms Cas n°2 [Mesures permettant de faire face à une intensité moins importante] si l > 20m ou t > 150 ms Cas n°4 (uniquement sur la charpente) sur les autres cas
	Panne et bardage	Pas de distinction en fonction du type de signal	Cas n°4 [Mesures permettant de faire face à une intensité moins importante]	Cas n°4 [Mesures permettant de faire face à une intensité moins importante]	Cas 2	
Structures particulières ¹⁷		Pas de distinction en fonction du type de signal	Cas n°4			
Vitrage + Châssis	Déflagration		Cas n°2	Cas n°2	Cas n°2	
	Onde de choc		[Mesure permettant de faire face à une intensité moins importante]	Cas n°2 [Mesure permettant de faire face à une intensité moins importante pour t > 50 ms]	Cas n°2	

Typologie bâtementaire



Structures non-métalliques (SNM) – Zone 50 – 140 mbar

- Mur , Toiture, Couverture



Structures métalliques (SM) – Identification



Structures particulières – Identification

- Bâti bois, SNM de type R+5 et plus, Etc.



Éléments translucides – Renforcement générique

- Fenêtre, Vitrine

Approche – Outils



- Données disponibles



- Fiches régionales



- Relevé terrain & Notice explicative

Données disponibles

Analyse des enjeux

Age du bâti

Agression

Fiches régionales: bâti ancien



Caractéristiques	Éléments recueillis
Dimensions du bâti	Rapport L/H : 1 sur 3.
Nombre d'étages	R+2 en encadrement avec combles aménagés.
Matériaux utilisés pour le gros oeuvre	Murs en moellons de marnes raidis par chaînages de pierre de taille (Catégorie 2)
Enduits	Enduits de chaux.
Type de charpente	Traditionnelle ou à la Mansart en bois.
Nature de la couverture et matériaux	Ardoises ou petites tuiles plates (Petits éléments).
Dimension et nature des ouvertures	Portes pleines couronnées d'imposte. Fenêtres vitrées à croisées en proportion, de 2 sur 3 ou de 2 sur 4.
Éléments complémentaires	Souches de cheminées en pierres.

Source: EDF

Relevé terrain – Structures non métalliques

- Uniquement en zone 50 - 140 mbar

Type de murs (Murs porteurs ou remplissages)	Type	Catégorie associée		
	Béton armé	A		
	Pierres de taille	A		
	Parpaings	A		
	Briques pleines	A		
	Briques creuses	B		
	Moellons	B		
	Torchis	C		
	Pisé	C		
	Bois	Etude spécifique		
	Mixte (Considérer la catégorie la plus pénalisante)	...		
	Vétuste	Non	-	
		Oui	C	

Relevé terrain – Structures non métalliques

- Uniquement en zone 50 - 140 mbar



Catégorie A

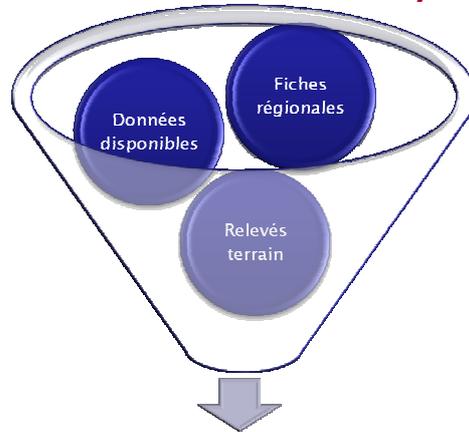


Catégorie B



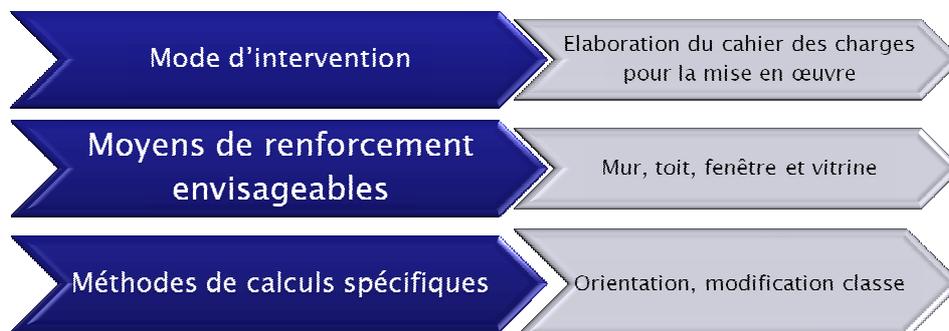
Catégorie C

Caractérisation des bâtis – Synthèse

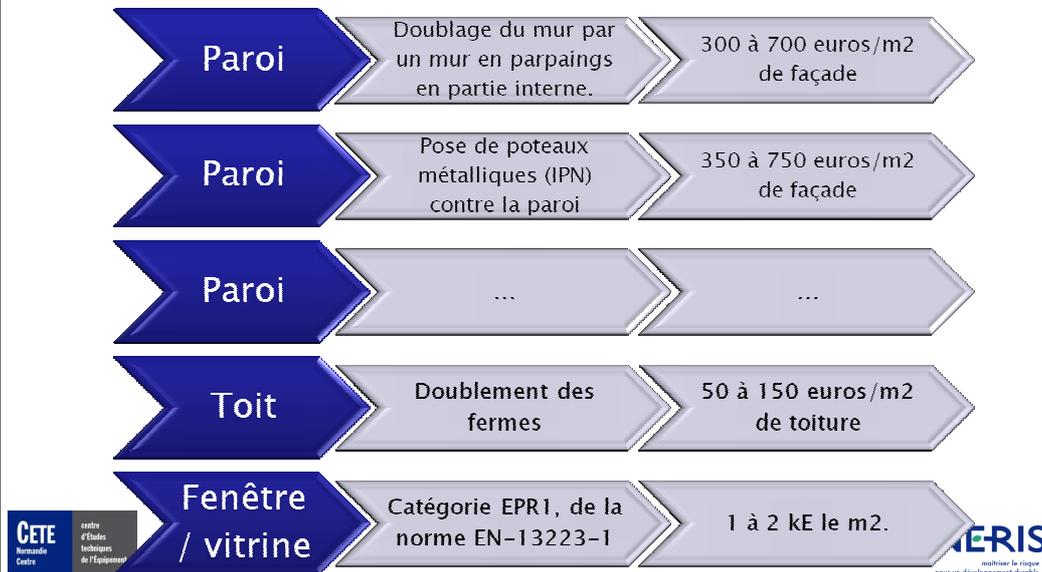


- Structures non-métalliques
 - Zone 50 – 140 mbar
 - Type de murs : Catégorie A, B, C
 - Toiture: Pente, type de charpente, type de couverture
- Structures métalliques
 - Identification
- Structures particulières
 - Identification

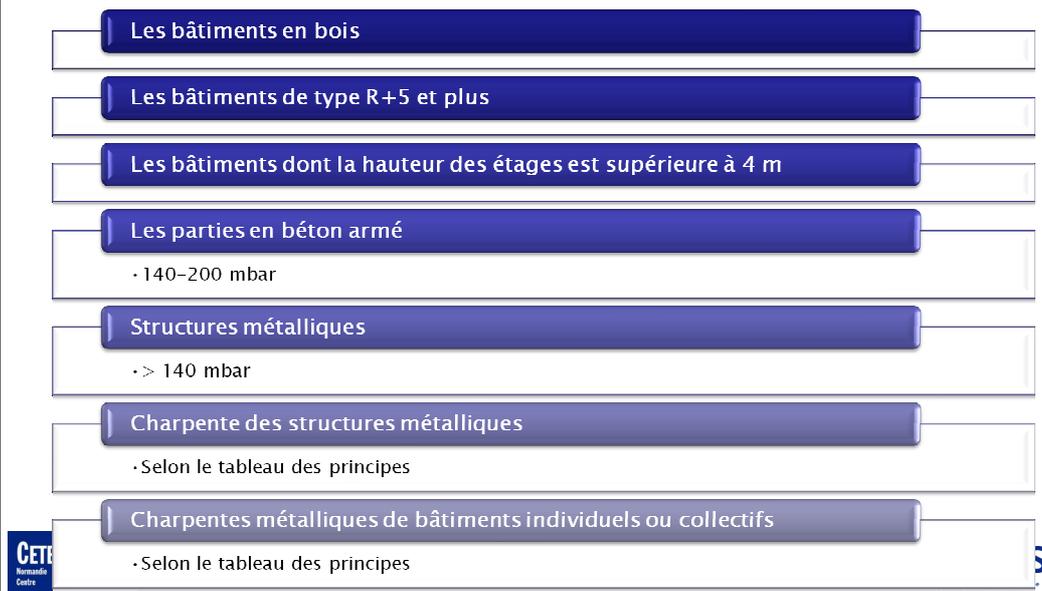
Diagnostic simple, BE structure (Cas 3)



Diagnostic simple, BE structure (Cas 3)

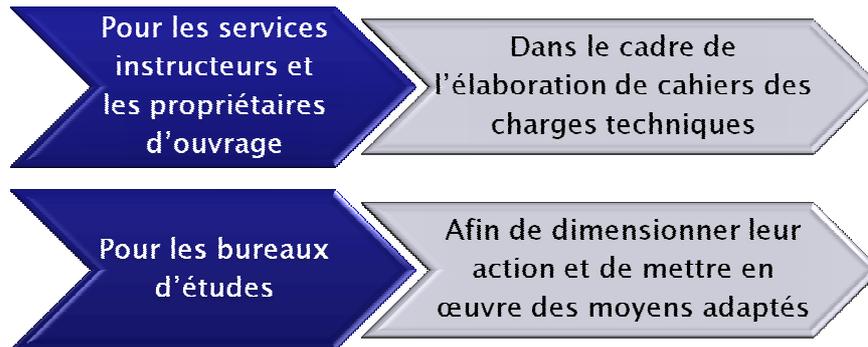


Diagnostic poussé, BE spécialisé (Cas 4)



Diagnostics

Les données du cahier applicatif seront utiles à la suite de l'approche sommaire de la vulnérabilité :



Diagnostics simples DDE/bureaux d'études.

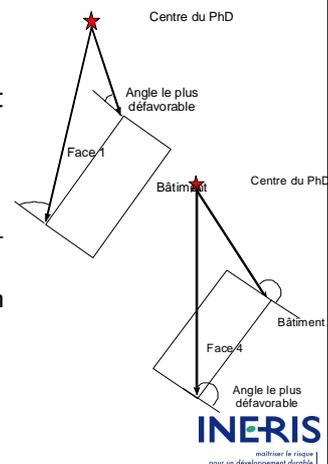
- Sur les zones 50–140 (prescriptions).
 - Diagnostic simple sur « structure non métallique » complémentaire à l'approche sommaire de la vulnérabilité (cas 3)
- Sur les zones 20–50 (recommandations sauf vitrages)
 - Diagnostic simple forfaitaire sur « structure métallique » et « non-métallique », travaux simples (cas 2).
- Sur les zones 140–200 (prescriptions)
 - Diagnostic simple forfaitaire sur « structure non métallique », travaux simples pour faire face à une intensité moins importante (cas 2).

Diagnostics simples: zone 50-140.

- Prise en compte:
 - de l'orientation des faces
 - de l'orientation de la toiture
- Donnée d'entrée nécessaire :
 - La zone considérée:
 - Intensité;
 - Type de signal;
 - Intervalle du temps d'application;
 - Cordonnées des centres des phénomènes
 - Les caractéristiques du bâtiment considéré (« structure non métallique »):
 - Catégorie des murs: A, B, C
 - Pente de la toiture

Diagnostics simples DDEA/bureaux d'étude.

- Orientation des façades de chacun des bâtiments.
 - Objectif: Affecter à chaque façade un numéro de face afin d'identifier les façades à renforcer
 - Démarche en 2 étapes:
1. Déterminer l'angle de chaque face par rapport au centre du phénomène retenu :
 - Calculer la valeur des 2 angles formés entre:
 - > la normale de la face
 - > le segment [centre du phénomène retenu - extrémité de la face]
 - Retenir l'angle le plus défavorable (le plus faible en valeur absolu)

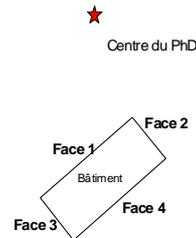


Diagnostics simples DDEA/bureaux d'étude.

- Orientation des façades de chacun des bâtiments.
 - Démarche (suite):

2. Affecter aux façades un numéro de face selon la règle suivante :

- **Face 1** angle compris entre 0 et 45 ;
- **Face 2** angle compris entre 45 et 90 ;
- **Face 3** angle compris entre 90 et 135 ;
- **Face 4** angle compris entre 135 et 180.



Règle: Lorsque l'étude doit prendre en compte deux centres de phénomènes, deux numéros de face peuvent alors être affectés à une même face. Le numéro de face le plus faible doit être retenu (Exemple: si une face est 1 et 3, le numéro de face 1 est retenu).

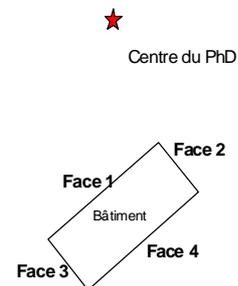
Diagnostics simples DDEA/bureaux d'étude.

- Orientation des façades: Diagnostic des faces à renforcer
 - Déflagration

Catégorie de bâtiment	Seuil de temps d'application	Faces à renforcer
B	> 50 ms	1
	> 150 ms	1, 2
C	> 0	1
	> 20 ms	1, 2
	> 1 s	1, 2, 3

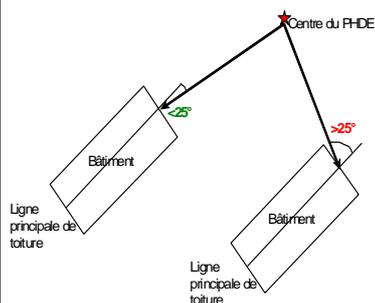
- Onde de choc

Catégorie de bâtiment	Seuil de temps d'application	Faces à renforcer
A	> 150 ms	1
B	> 0	1
	> 20 ms	1, 2
	> 500 ms	1, 2, 3
C	> 0	1, 2
	> 150 ms	1, 2, 3



Diagnostics simples DDEA/bureaux d'étude.

- Orientation de la toiture.
 - Objectif: contribuer au diagnostic des toitures de pente $> 25^\circ$.
 - Démarche:



1. Déterminer l'angle de la toiture par rapport aux centres des phénomènes retenus.
 - Retenir l'angle le plus grand en valeur absolu parmi les deux angles formés entre l'axe du faîtage et le segment [centre du phénomène retenu-extrémité de l'axe du faîtage]
2. Si cet angle est $< 25^\circ$ alors déclassement de la toiture en toiture de pente $< 25^\circ$.

Moyens de renforcement envisageables.

- Sur les zones 50–140 (prescriptions).
 - Façades/toitures/vitrages;
- Sur les zones 20–50 (recommandations sauf vitrages)
 - Structures métalliques/structures non métalliques.
- Sur les zones 140–200 et $>$ (prescriptions)
 - Structures non métalliques.

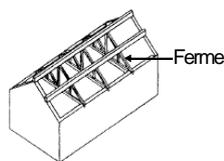
Sur les zones 50-140

- Façades: Moyens de renforcement envisageables et coût associé.
 - 6 Solutions techniques envisageables à condition de respecter les exigences précédentes:

Moyens de renforcement envisageables	Coût (/m2 de façade à renforcer)
1. Doublage du mur par un mur en parpaings en partie interne	300 à 700 euros
2. Réduction de la portée du mur par la pose de poteaux métalliques (IPN) contre la paroi à intervalles réguliers	350 à 750 euros
3. 2. + Remplissage en dur entre chaque poteau	400 à 800 euros
4. Traitement de la paroi par chemisage	300 à 700 euros
5. Renforcement par pose d'éléments en béton armé préfabriqué	400 à 800 euros
6. Renforcement au moyen de plaques en palplanches	550 à 950 euros

Sur les zones 50-140

- Toiture: Moyens de renforcement envisageables et coût associé.



Pente de toiture	Moyens de renforcement envisageables	Coût (/m ² de toiture à protéger)
< 25°	Pas de renforcement	Sans objet
> 25°	Toiture déclassable en toiture de pente < à 25°	Pas de renforcement
	Toiture non déclassable	Doublement des fermes
		50 à 150 euros

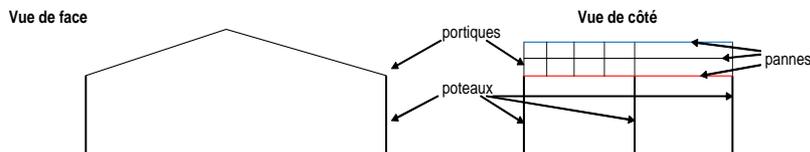
- Fenêtres/vitrages/ vitrines: Moyens de renforcement envisageables et coût associé.

Moyens de renforcement envisageables	Coût (/m2)
Remplacement des fenêtres par des fenêtres ou ensembles « châssis-vitres » certifiés EPR1 selon la norme EN-13223-1	1 à 2 KEuros (pose incluse)

Sur les zones 20-50

- Structures métalliques: Moyens de renforcement envisageables
 - Espacement entre pannes et portées des pannes

Espacement entre pannes	Moyens de renforcement envisageables
< 1 m	La distance entre portiques doit être < 6 m
< 2 m	La distance entre portiques doit être < 5 m
> 2 m	L'espacement entre pannes doit être ramené à 2 m et la distance entre portiques doit être < 5 m



Sur les zones 20-50

- Structures métalliques : Moyens de renforcement envisageables
 - Bardages de façades et couvertures: 4 stratégies

Moyens de renforcement envisageables	Coût
1. Augmentation du nombre de fixations	
2. Remplacement des éléments de bardages métalliques par du bardage respectant les caractéristiques suivantes: <ul style="list-style-type: none"> – inertie $1,54 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m}$; – surface $3,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{m}$ 	
3. Remplacement des éléments de bardages métalliques par des éléments suffisamment légers (type fibrociment) pour ne pas être à l'origine de graves blessures en cas de chute	
4. Réduction des portées des bardages (par réduction de l'espacement entre lisses): <ul style="list-style-type: none"> – Réduites à 1 m pour les faces ; – Au minimum de 1,75 m pour le toit 	

Sur les zones 20-50

- Structures métalliques : Moyens de renforcement envisageables
 - Bardages de façades et couvertures: 4 stratégies

Moyens de renforcement envisageables		Coût
1. Augmentation du nombre de fixations		
Nature de l'élément	Résistance / fixation	Nombre de fixations nécessaires par panneau
Couverture sèche	30 daN	40
Couverture étanchéité	600 daN	2
Bardage simple peau	30 daN	40
Bardage double peau	30 daN	40
Panneau sandwich	30 daN	40
Procédé de bardage en panneaux sandwichs Industrial W tôle - mousse de polyuréthane - tôle	150 daN	8
Panneau sandwich à parement en tôle d'acier galvanisée (pré-laquée ou non) et à âme isolante injectée en polyuréthane expansée au pentane	200 daN	6
Couverture en plaques nervurées métalliques de type HACIERCO	60 daN	20

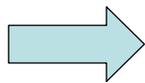
Sur les zones 20-50

- Structures métalliques : Moyens de renforcement envisageables
 - Bardages de façades et couvertures: 4 stratégies

Moyens de renforcement envisageables	Coût
1. Augmentation du nombre de fixations	
2. Remplacement des éléments de bardages métalliques par du bardage respectant les caractéristiques suivantes: <ul style="list-style-type: none"> – inertie $1,54 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m}$; – surface $3,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{m}$ 	
3. Remplacement des éléments de bardages métalliques par des éléments suffisamment légers (type fibrociment) pour ne pas être à l'origine de graves blessures en cas de chute	
4. Réduction des portées des bardages (par réduction de l'espacement entre lisses): <ul style="list-style-type: none"> – Réduites à 1 m pour les faces ; – Au minimum de 1,75 m pour le toit 	

Sur les zones 140–200

- Structures non métalliques: Moyens de renforcement envisageables
 - Renforcement de l'ensemble des façades
 - Renforcement de l'ensemble des toitures
 - Remplacement des vitrages

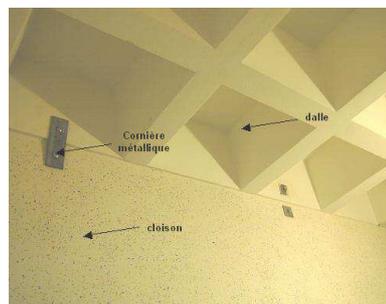


Se référer au moyens de renforcement envisagés pour la zone 50–140 mbar

- Ainsi moyens de renforcement envisagés
 - ne sont pas nécessairement suffisants pour protéger efficacement les personnes.
 - mais permettent de protéger les personnes face à un aléa inférieur

Sur toutes les zones: éléments non structuraux.

- Cloisons:
 - Risques de dislocation, d'effondrement
 - Moyens de renforcement envisageables:
 - Solidariser les cloisons aux murs porteurs par des cornières métalliques, des potelets en bois ou tout autre dispositif permettant d'assurer cette fonction



Sur toutes les zones: éléments non structuraux.

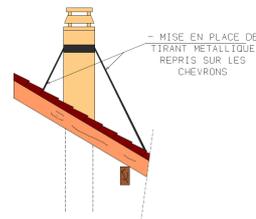
• Cloisons:

- Risques de dislocation, d'effondrement
- Moyens de renforcement envisageables:
 - Solidariser les cloisons aux murs porteurs par des cornières métalliques, des potelets en bois ou tout autre dispositif permettant d'assurer cette fonction
 - Pour les cloisons élancées géométriquement ($L > 4H$): Raidir dans le plan à l'aide d'éléments métalliques fixés en planchers attenants à la cloison
 - Découpler partiellement les cloisons du gros œuvre grâce à l'ajout de matériaux déformables (mastic, bandes résilientes,...) entre la cloison et les éléments structuraux.

Sur toutes les zones: éléments non structuraux.

• Cheminées

- Risque de chute pouvant occasionner des blessures
- Renforcer les cheminées d'une hauteur supérieure à 1,40 m
 - Exemple: haubanage de cheminée



• Couvertures

- Couvertures en tuiles à privilégier
- Déconseiller de solidariser les tuiles à la charpente (sauf exception technique liées à la prévention du risque sismique ou à la protection neige et vent)

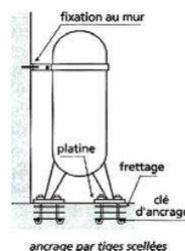
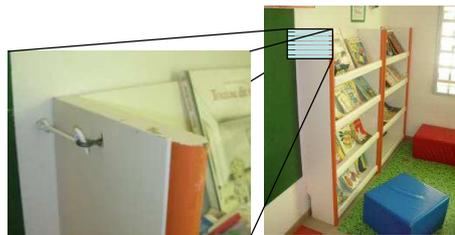
Sur toutes les zones: éléments non structuraux.

- Plafonds suspendus (ou faux-plafonds)
 - Risque de chute, d'effondrement pouvant entraîner des blessures graves et encombrer les sorties
 - Les plafonds suspendus doivent être conçu afin d'assurer sa stabilité et son intégrité en cas de déplacement du gros œuvre et de ne pas être à l'origine de la chute d'autres éléments
 - Privilégier des éléments légers (ex: dalles en fibre minérales ou grilles plastiques) aux panneaux lourds et fragiles
 - Privilégier une fixation des éléments par des vis ou des clips
 - Porter une attention particulière aux suspentes (nombre et répartition) et à leur fixation (par vis et non par simple scellement ou clouage)
 - Prévoir un jeu périphérique entre les parois et le plafond
 - Ne fixer aucun équipement lourd au plafond suspendu
 - ...



Sur toutes les zones: éléments non structuraux.

- Portes
 - Ouverture des portes vers l'extérieur des pièces recommandée
- Equipements lourds (armoires, chaudières, ...)
 - Risque de déplacement, basculement ou projection
 - Fixer ces équipements aux murs, planchers et cloisons par des systèmes adéquats (vis, boulons, chevilles)



Diagnostic poussé: Règle de traitement

Sélectionner les phénomènes dangereux les plus pénalisants pour les structures



Evaluer la réponse de la structure à ces phénomènes dangereux

Modélisation des signaux de pression

Prise en compte de l'interaction entre l'onde incidente et la structure au moyen de coefficients de réflexion

Analyser la stabilité globale de la structure sous l'effet du phénomène dangereux

Analyser la tenue élémentaire (par élément de façade, par vitrage ou par porte).

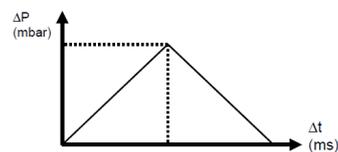
Diagnostic poussé: Règle de traitement

Evaluer la réponse de la structure à ces phénomènes dangereux

Modélisation des signaux de pression

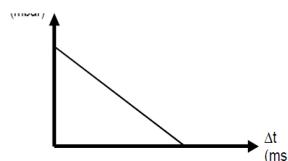
Déflagration:

- signal de forme triangulaire isocèle



Onde de choc:

- signal triangulaire rectangle



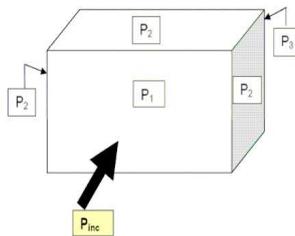
Diagnostic poussé: Règle de traitement

Evaluer la réponse de la structure à ces phénomènes dangereux

Prise en compte de l'interaction entre l'onde incidente et la structure au moyen de coefficients de réflexion

Logiciel spécifique ou utilisation des valeurs forfaitaires suivantes

P1 : pression sur la paroi exposée parallèle au front
P2 : pression sur la toiture ainsi que sur les parois perpendiculaire au front de Pression
P3 : pression sur la paroi postérieure
Pinc : pression incidente.



	Déflagration	Onde de choc
P1/Pinc	1.6	2.7
P2/Pinc	1	1.2
P3/Pinc	0.75	0.9

Avec extrapolation linéaire en fonction de l'angle réelle d'incidence

Diagnostic poussé: Règle de traitement

Evaluer la réponse de la structure à ces phénomènes dangereux

Analyser la tenue élémentaire (par élément de façade, par vitrage ou par porte).

Méthode analytique: Analogie masse-ressort associée soit à un:

- Calcul statique linéaire équivalent
- Calcul dynamique non linéaire

Méthode numérique:

- Logiciel EF ABAQUS, ANSYS, NASTRAN / ASTER, CAST3M
- Logiciel EF intégrant des codes et règles de conception (ROBOT, HERCULE, SICAP...).
- Logiciel de dynamique rapide AUTODYN, LS DYNA, ABAQUS EXPLICIT.

Guide: « Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-35). La résistance des structures aux actions accidentelles ».