

FICHE 3

ÉLÉMENTS POUR L'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DU BÂTI

Des travaux de renforcement sont souvent indispensables pour assurer la capacité du bâti à protéger les personnes. Afin de connaître la nature des travaux à réaliser, une analyse de la vulnérabilité du bâti face aux risques technologiques est nécessaire.

PRINCIPES

Il est proposé d'analyser la vulnérabilité de chaque partie d'ouvrage en fonction des effets auxquels ils sont exposés, en application des principes généraux de résistance des structures aux risques technologiques. **Pour chaque partie d'ouvrage vulnérable, des solutions de renforcement permettant au bâti de réduire la vulnérabilité des personnes sont définies.**

Les structures extérieures potentiellement vulnérables sont également identifiées. Il est conseillé de se concentrer sur les espaces extérieurs occupés de façon permanente, les cheminements pour la mise en sécurité des personnes et les points de rassemblement extérieurs.

LA VULNÉRABILITÉ DES PARTIES D'OUVRAGE EST DÉFINIE EN 4 CATÉGORIES :

→ CAS 1	Non vulnérable, pas de travaux de renforcement nécessaires
→ CAS 2	Vulnérable, travaux de renforcement nécessaires
→ CAS 3	Potentiellement vulnérable, nécessite un diagnostic simple selon une approche forfaitaire en application des guides existants
→ CAS 4	Potentiellement vulnérable, nécessite un diagnostic approfondi avec réalisation de calculs par un bureau d'études spécialisé

CARACTÉRISATION DU BÂTI

- structure porteuse maçonnerie ou en béton, en acier, autre type de structure
- façades : maçonneries ou en béton, en bardage
- toiture : charpente, couverture en petits ou grands éléments, toiture-terrasse
- ouvertures extérieures : menuiseries vitrées ou non
- éléments non structuraux intérieurs : faux plafonds, cloisons, équipements suspendus, etc.
- éléments non structuraux extérieurs : revêtement de façade, éléments singuliers de l'enveloppe du bâti, aménagements des espaces extérieurs
- équipements techniques, ventilation et système incendie en particulier.

Des travaux permettant de réduire la vulnérabilité des parties d'ouvrages sont proposés. Les ordres de grandeur des coûts, donnés à titre indicatif, sont issus de retours d'expériences sur des logements et peuvent donc être sous-estimés notamment pour de grands équipements. Pour certains travaux, il est par ailleurs difficile de donner des coûts unitaires, car ils sont en généralement intégrés dans un forfait pour une intervention complète.

POUR ALLER + LOIN

Afin de retenir un prestataire, un cahier des charges pour la réalisation des pré-diagnostic est disponible. Il peut être utile d'être accompagné par un bureau d'études pour approfondir les analyses. Dans certains cas, notamment lorsque l'intensité des effets est trop importante, cela est indispensable.

→ www.amaris-villes.org

Les éléments proposés ci-après font référence à un document ressource : le **Référentiel de travaux de prévention des risques technologiques dans l'habitat existant** réalisé par le Cerema et l'Inéris. Ce référentiel décrit les travaux de renforcement les plus courants pour les logements dont, nombre peuvent également s'appliquer aux équipements publics. Un renvoi est proposé vers les fiches de ce document disponible sur le site www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr

FICHE FICHE 3A EFFET DE SURPRESSION

L'analyse peut être menée dans les zones d'intensité 20 à 50 mbar et 50 à 140 mbar pour les bâtiments à structure maçonnée ou en béton (jusqu'à R+4) et pour les bâtiments en acier de plain-pied. Au-delà de 140 mbar et pour les autres types de structures, la réalisation d'un diagnostic approfondi par un professionnel est indispensable.

L'analyse de la vulnérabilité de la structure porteuse, des façades et de la toiture dépend du type de structure du bâti. Pour les autres parties d'ouvrage (menuiseries vitrées et éléments non structuraux), l'analyse est identique.

1. BÂTIMENTS À STRUCTURE MAÇONNÉE OU EN BÉTON

A. FAÇADES (MURS MAÇONNÉS OU EN BÉTON)

La vulnérabilité peut être approchée en fonction du type de maçonnerie, de son état, de la hauteur des étages et de la zone d'intensité dans laquelle se trouve l'équipement.

	HAUTEUR DES ÉTAGES	20-50 MBAR	50-140 MBAR
MURS DE COMPOSITION COURANTE (béton armé, parpaings, briques pleines ou pierre de taille) en bon état	< 3 m		
	3 à 4 m		
	> 4 m		
AUTRES TYPES DE MURS	< 4 m		
	> 4 m		

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Renforcement de la résistance mécanique des murs → fiche M.02 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Permet une réhabilitation des façades du bâtiment, voire une isolation par l'extérieur Travaux lourds, nécessitant l'intervention d'un bureau d'études en génie civil
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	300 à 900 €/m ² de façade à traiter

B. TOITURE

→ CHARPENTES TRADITIONNELLES EN BOIS

La résistance de ces charpentes est assurée en zone 20-50 mbar.

Dans la zone 50-140 mbar, elles sont potentiellement vulnérables notamment en fonction de leur inclinaison et de l'orientation du faîtage. Leur vulnérabilité peut être déterminée par un diagnostic simple.

	20-50 MBAR	50-140 MBAR
CHARPENTE TRADITIONNELLE OU EN FERMETTE EN BOIS		

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Renforcement de la résistance mécanique de la charpente → fiche C.04 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Travaux lourds, nécessitant l'intervention d'un bureau d'études en génie civil
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Doublement des fermes : 50 à 150 €/m ² de toiture à traiter

→ COUVERTURE

	20-50 MBAR	50-140 MBAR
PETITS ÉLÉMENTS <i>(tuiles, ardoises)</i>		
GRANDS ÉLÉMENTS <i>(bardage)</i>		
TOITURE-TERRASSE		

→ PETITS ÉLÉMENTS

Les éléments de couverture en petits éléments (type tuiles ou ardoises) sur charpente bois ne résistent pas aux effets de surpression en zone 20-50 mbar et 50-140 mbar, mais ils ne représentent pas un danger pour les personnes situées à l'intérieur du

bâtiment. Toutefois et sans préjudice des obligations techniques liées à la prévention du risque sismique ou à la protection neige et vent, il est déconseillé de solidariser les tuiles à la charpente pour éviter un chargement important de la charpente.

→ GRANDS ÉLÉMENTS

Les couvertures en grands éléments (de type bardage métallique ou fibre ciment) sont susceptibles d'être projetées et de causer des blessures graves, il faut donc renforcer leurs fixations ou les remplacer par un bardage plus résistant.

Concernant les éléments de couverture en fibrociment, s'agissant d'éléments légers, les risques de blessures sont limités et, par conséquent, les travaux de renforcement d'une telle couverture peuvent être moins prioritaires dans le cadre d'une hiérarchisation des travaux. Un point d'attention portera également sur la présence potentielle d'amiante.

DESCRIPTION	Remplacement ou renforcement mécanique →fiche C.03 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Permet une réhabilitation de la toiture, voire une isolation Nécessite de vérifier la capacité de la charpente à supporter la couverture
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	À définir au cas par cas Exemple de travaux - renforcement des fixations : 5 à 30 €/m ² de bardage métallique à traiter

→ TOITURE TERRASSE

En zone 20-50 mbar et 50-140 mbar, la capacité des toitures terrasse à protéger les personnes est assurée, qu'elles soient en béton ou en béton armé.

2. BÂTIMENTS EN ACIER DE PLAIN-PIED

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

	20-50 MBAR	50-140 MBAR
STRUCTURE PORTEUSE POTEAUX-POUTRES		
STRUCTURE COMPLEXE (treillis par exemple)		
BARDAGE MÉTALLIQUE		

Pour les structures porteuses poteaux-poutres des bâtiments en acier de plain-pied, il est possible, en connaissant les caractéristiques des profils en acier de la structure, de déterminer sa vulnérabilité par un diagnostic simple en s'appuyant sur le guide *Batirsûr*.

S'il s'agit d'une structure plus complexe (structure porteuse avec poutres treillis par exemple), il est nécessaire de faire réaliser une étude de vulnérabilité approfondie par un bureau d'études spécialisé en génie civil et risques technologiques.

Le guide *Batirsûr* permet également de traiter la vulnérabilité des façades en bardage métallique. Elles sont en général vulnérables dès la zone 20-50 mbar, en raison d'un nombre insuffisant de fixations.

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

→ STRUCTURE PORTEUSE POTEAUX/POUTRES

DESCRIPTION	Renforcement de la structure porteuse principale (portiques) et secondaire (lisses et pannes) : renforcement des assemblages, réduction de la portée des éléments ou des espacements entre éléments, etc.
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Travaux lourds, nécessitant l'intervention d'un bureau d'études en génie civil
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	À définir au cas par cas Exemples de travaux : > Ajout de poteaux métalliques : 150 à 500 €/ml de poteau > Ajout de portiques : 200 à 600 €/ml de portique

→ BARDAGE MÉTALLIQUE

DESCRIPTION	Renforcement des fixations de l'enveloppe
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	5 à 30 €/m ² de bardage métallique à traiter

DESCRIPTION	Remplacement du bardage existant par un bardage plus résistant
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Permet de rénover les façades et la couverture. Dans ce cas, il peut être utile de prévoir un bardage double-peau pour améliorer l'isolation thermique du bâtiment.
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	50 à 200 €/m ² de bardage à traiter

3. OUVERTURES EXTÉRIEURES (MENUISERIES VITRÉES)

Les menuiseries vitrées sont potentiellement vulnérables dès la zone 20-50 mbar.

La projection de bris de vitres constitue le principal risque de blessures sur les personnes en cas d'explosion. D'autres risques de blessures peuvent survenir en cas d'ouverture, d'arrachement et de projection des ouvrants ou des menuiseries.

Il faut donc distinguer la vulnérabilité :

- des panneaux vitrés
- des autres éléments de la menuiserie : châssis, mode d'ouverture, système de fermeture, fixations.

A. PANNEAUX VITRÉS

La vulnérabilité des panneaux vitrés dépend du type de vitrage (simple vitrage, double vitrage, verre feuilleté, etc.), de leurs dimensions, de leur orientation et de l'intensité à laquelle ils sont exposés.

	20-50 MBAR	50-140 MBAR
SIMPLE VITRAGE, POLYMÈRE (ex : polycarbonate), PAVÉS DE VERRE, VITRAUX		
DOUBLE VITRAGE VERRE FEUILLETÉ		

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Pose de film de sécurité anti-explosion Remplacement des panneaux vitrés → fiches Men.03 et Men.04 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Protection anti-effraction Protection solaire possible
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Pose d'un film de sécurité anti-explosion : 150 à 250 €/m ² de vitrage à traiter Remplacement d'un panneau vitré : > par un double vitrage feuilleté 4/Y*/44.2 : 125 à 400 €/m ² de vitrage à traiter > par un double vitrage feuilleté 44.2/Y*/22.2 : 700 à 800 €/m ² de vitrage à traiter

*Y désigne l'épaisseur de la lame d'air, généralement comprise entre 4 et 20 mm

B. AUTRES ÉLÉMENTS DES MENUISERIES VITRÉES

Les caractéristiques des châssis standards, leur système de fermeture et leur mode de pose sont généralement insuffisants pour assurer la protection des personnes, même en zone 20-50 mbar.

Les menuiseries vitrées dans leur ensemble peuvent donc être toutes considérées comme vulnérables en première approche.

- Sont particulièrement vulnérables : les fenêtres coulissantes, les sas d'entrée, les structures légères vitrées de type vérandas, les façades rideaux.
- Sont moins vulnérables : les châssis fixes, les fenêtres à ouverture vers l'extérieur, les fenêtres avec système de fermeture à renvoi d'angle, les fenêtres anti-effraction.

Les façades entièrement vitrées et les bandes filantes vitrées sont particulièrement sensibles à l'effet de surpression. Les châssis vitrés peuvent en effet se déformer et casser compte tenu des dimensions importantes de leurs tableaux, et de l'absence d'éléments rigides intermédiaires capables de reprendre les efforts en cas de phénomène de surpression.

Les sas d'entrée vitrés sont également fortement vulnérables. Les personnes qui pénètrent dans le bâtiment via ce sas au moment d'une explosion sont potentiellement exposées à un risque de blessures par bris de vitres, voire par l'effondrement du sas.

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Remplacement complet de la menuiserie → fiche Men.05 ou Men.06 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Permet d'améliorer l'isolation du bâtiment Attention à la ventilation, car le remplacement de fenêtres vétustes perméables par des fenêtres neuves étanches peut nécessiter l'installation ou la rénovation d'une ventilation mécanique. Le renforcement de la structure porteuse peut également être nécessaire si les menuiseries ne sont pas fixées dans de la maçonnerie (voir l'exemple des vérandas → fiche TP.01 du référentiel travaux).
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	1400 €/m ² de vitrage environ Remplacement complet d'une menuiserie vitrée (fenêtre standard) : > avec vitrage 4/Y*/4 : 1360 €/m ² de vitrage > avec vitrage 4/Y*/44.2 : 1440 €/m ² de vitrage

*Y désigne l'épaisseur de la lame d'air, généralement comprise entre 4 et 20 mm

C. HIÉRARCHISATION DES TRAVAUX SUR LES MENUISERIES VITRÉES

Pour les menuiseries vitrées, le traitement des panneaux vitrés est prioritaire mais seul le remplacement complet de la menuiserie permet de traiter tous les points de vulnérabilité.

Il est donc possible d'envisager plusieurs types de travaux en fonction des moyens disponibles :

- remplacement par des menuiseries adaptées : cette mesure permet de traiter la vulnérabilité des vitrages, du système de fermeture et des fixations des menuiseries dans la maçonnerie.
- ou à défaut, remplacement des panneaux vitrés vulnérables par des vitrages résistants à l'effet de surpression. Cette mesure permet de traiter uniquement la vulnérabilité des vitrages.
- ou à défaut, pose d'un film de sécurité anti-explosion sur les panneaux vitrés vulnérables. Cette mesure permet de traiter uniquement la vulnérabilité des vitrages ou au moins d'améliorer leurs performances post-rupture (retenir les bris de vitres).

D. CAS PARTICULIERS

Pour les sas d'entrée vitrés, vérandas et structures légères assimilées, la structure porteuse est potentiellement vulnérable, il faut donc envisager les travaux suivants :

- suppression ou déplacement de la structure
- ou à défaut, remplacement complet par un ouvrage maçonné et dont les menuiseries (portes) sont résistantes aux effets de surpression
- ou à défaut, remplacement des vitrages par des vitrages résistants aux effets de surpression et renforcement de la tenue mécanique de la structure existante
- ou à défaut, pose d'un film de sécurité anti-explosion sur les surfaces vitrées et renforcement de la tenue mécanique de la structure existante
- ou à défaut, pose d'un film de sécurité anti-explosion sur les surfaces vitrées. Cette mesure permet uniquement d'améliorer la résistance des vitrages, sans toutefois garantir une protection totale.

Pour les vitraux, il peut être envisagé de mettre en place un sur-vitrage feuilleté résistant en applique.

En cas d'effet toxique simultané, il est recommandé de privilégier le remplacement des menuiseries vitrées vulnérables à la pose d'un film de sécurité anti-explosion pour conserver l'intégrité de l'enveloppe du bâtiment et lui permettre ainsi d'assurer son rôle de première barrière de protection face à l'effet toxique.

4. ÉLÉMENTS NON STRUCTURAUX (INTÉRIEURS ET EXTÉRIEURS)

Les personnes situées à l'intérieur du bâtiment au moment d'une explosion sont potentiellement vulnérables à l'effondrement et à la chute d'objets. En effet, il est fréquent qu'une onde de pression induise une mise en mouvement globale de la structure, qui n'endommage pas les éléments porteurs mais entraîne la chute de plafonds et d'objets suspendus, d'équipements lourds, de vitrages intérieurs, ou la dislocation de cloisons légères par manque de solidarisation avec le gros œuvre.

Les personnes situées à l'extérieur des bâtiments au moment d'une explosion sont principalement exposées à l'envol d'éléments de structure. Pour une intensité inférieure ou égale à 50 mbar, l'onde de surpression ne cause pas à elle seule de blessures graves sur les personnes, ce qui peut être le cas pour une intensité supérieure.

Une attention particulière doit donc être portée aux éléments non structuraux susceptibles d'être projetés :

- sur les personnes
- sur les bâtiments générant ainsi des bris de vitres
- sur les voies d'accès, gênant ainsi l'accès des secours et l'évacuation.

Les principaux points de vulnérabilité identifiés sont :

- les fixations des suspentes des faux plafonds, des objets suspendus (luminaires, ventilo-convecteurs, etc.) et des équipements lourds (armoires, meubles, appareils, etc.), en priorité au niveau des lieux de présence ou de passage de personnes
- les cloisons de séparation situées à l'intérieur des bâtiments.

Les cheminées maçonnées d'une hauteur supérieure à 1,40 m peuvent également occasionner des blessures en cas d'effondrement sous l'effet de la surpression.

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Renforcement des fixations, déplacement, suppression Solidarisation des cloisons au gros œuvre par exemple par des cornières métalliques Haubanage ou suppression des cheminées
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Travaux similaires à ceux identifiés pour la prévention du risque sismique
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	A définir au cas par cas



EFFETS THERMIQUES

I. EFFET THERMIQUE CONTINU

L'analyse peut être menée dans les zones d'intensité 3 à 8 kW/m². Au-delà de 8 kW/m², la réalisation d'un diagnostic approfondi est indispensable. C'est également le cas pour les types de structure non cités dans le paragraphe ci-dessous. Jusqu'à 8 kW/m², les structures porteuses en acier, en béton ou en maçonnerie et en bois (massif ou lamellé collé) ne sont pas vulnérables.

A. FAÇADES

La vulnérabilité des façades est liée à leur capacité à limiter l'élévation de température dans le bâtiment. Elle dépend de leur nature, de leur épaisseur et de leur isolation.

	3-5 KW/M ²	5-8 KW/M ²
MURS EN MAÇONNERIE OU EN BÉTON D'ÉPAISSEUR COURANTE (15 À 20 CM)		
AUTRES TYPES DE MURS MAÇONNÉS		
FAÇADES OPAQUES LÉGÈRES NON ISOLÉES		
FAÇADES OPAQUES LÉGÈRES ISOLÉES		
FAÇADES COMPORTANT DES SURFACES VITRÉES IMPORTANTES		

Jusqu'à 8 kW/m², les murs opaques en maçonnerie ou en béton d'épaisseur courante (15 à 20 cm) permettent a minima d'assurer une protection des personnes face à l'élévation de la température au sein du bâtiment pendant une durée proche de 2 heures (110 minutes a minima), même en l'absence d'isolant.

Les murs isolés permettent de garantir des durées de protection plus longues selon le type d'isolant.

Les façades comprenant plus de 30 % de surface vitrée doivent faire l'objet d'un diagnostic approfondi.

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Isolation thermique des murs → fiche M.01 du référentiel travaux Isolation du bardage ou remplacement par du bardage double peau isolé
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Performance thermique du bâtiment Ravalement de façades dans le cas d'une isolation par l'extérieur
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Isolation par l'intérieur : 40 à 70 €/m ² de façade à traiter hors coûts induits Isolation par l'extérieur : 120 à 380 €/m ² de façade à traiter Remplacement d'un bardage par du bardage double peau isolé : 50 à 200 €/m ²

Les isolants les plus performants face à l'effet thermique continu sont les laines minérales (laine de verre ou laine de roche). Une épaisseur de 8 cm suffit dans la plupart des cas à assurer la protection des personnes.

B.TOITURE

Pour les toitures en pente avec couverture en petits ou grands éléments, comme pour les toitures-terrasses, la vulnérabilité dépend de la présence d'un isolant. Pour les toitures-terrasses, une protection mécanique (gravillons ou dalles) est nécessaire pour éviter l'inflammation du revêtement d'étanchéité.

	3-5 KW/M ²	5-8 KW/M ²
TOITURE NON ISOLÉE		
TOITURE ISOLÉE		

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Isolation thermique de la couverture →fiche C.01 ou C.02 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Performance thermique du bâtiment Réfection de toiture dans le cas d'une isolation par l'extérieur
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Isolation sous rampants : 45 à 120 €/m ² de toiture à traiter Isolation par sur-couverture : 80 à 100 €/m ² de toiture à traiter Isolation externe sous couverture : 140 à 200 €/m ² de toiture à traiter Isolation sur le plancher des combles : 15 à 30 €/m ²

DESCRIPTION	Isolation thermique de la toiture terrasse →fiche TT.01 du référentiel travaux Mise en place d'une protection mécanique
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Performance thermique du bâtiment Réfection de toiture
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Isolation externe : 100 à 200 €/m ² de toiture à traiter Isolation par sur-toiture : 150 à 300€/m ² de toiture à traiter Protection par gravillons : 10 à 20 €/m ² de toiture à traiter Protection par dalle : 50 à 75 €/m ² de toiture à traiter

Les isolants les plus performants face à l'effet thermique continu sont les laines minérales (laine de verre ou laine de roche). Une épaisseur de 10 cm suffit dans la plupart des cas à assurer la protection des personnes. Pour les combles non aménagés, l'isolation peut être posée sur le plancher.

C. OUVERTURES EXTÉRIURES (MENUISERIES)

La vulnérabilité des menuiseries vitrées dépend du type de vitrage et, pour des dimensions importantes, du type de châssis. Pour les portes, la vulnérabilité dépend de la présence d'une âme isolante ou de son épaisseur si elle est en bois massif.

	3-5 KW/M ²	5-8 KW/M ²
SIMPLE VITRAGE		
DOUBLE OU TRIPLE VITRAGE DE DIMENSIONS STANDARDS		
DOUBLE OU TRIPLE VITRAGE DE GRANDES DIMENSIONS - CHÂSSIS BOIS OU ACIER		
DOUBLE OU TRIPLE VITRAGE DE GRANDES DIMENSIONS - CHÂSSIS PVC OU ALU-INOX		
PORTE AVEC ÂME ISOLANTE EN LAINE MINÉRALE		
AUTRES TYPES DE PORTE		

Les doubles ou triples vitrages de dimensions standards sont ceux dont la surface unitaire de chaque panneau vitré est inférieure à 2 m² et la plus grande dimension inférieure à 2,20 m. Les grandes dimensions correspondent à une surface unitaire de panneau vitré supérieure à 2 m² ou de dimension supérieure à 2,20 m.

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Renforcement thermique ou occultation des menuiseries vitrées → fiches Men.01 et Men.02 du référentiel travaux Renforcement thermique des portes extérieures → fiche Port.01 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Performance thermique du bâtiment Réfection de menuiseries vétustes Attention à la ventilation, le remplacement de fenêtre vétustes perméables par des fenêtres neuves étanches peut nécessiter l'installation ou la rénovation d'une ventilation mécanique
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Remplacement : 1360 €/m ² de vitrage environ pour les menuiseries vitrées, 1800 € pour une porte d'entrée de dimension standard Occultation : à définir au cas par cas

D. ÉLÉMENTS NON STRUCTURAUX ET ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES EXTÉRIEURS

Pour les équipements techniques et les structures extérieures, il s'agit principalement de vérifier l'absence de matériaux inflammables directement exposés.

Il est recommandé également d'éviter les éventuels stockages en face exposée de produits inflammables.

Selon l'intensité à laquelle ils sont exposés, les revêtements de façades, et de façon plus générale tous les matériaux constituant l'enveloppe externe du bâtiment, doivent respecter un classement en réaction au feu minimal pour limiter leur inflammation. Ils doivent également respecter une température de dégradation critique des matériaux minimale pour éviter de produire des gaz toxiques ou inflammables et de produire des dégradations mécaniques pouvant entraîner la chute d'objets.

Flux	EXIGENCES MINIMALES DES MATÉRIAUX CONSTITUANT L'ENVELOPPE EXTERNE DU BÂTIMENT (REVÊTEMENT DE FAÇADE, GRILLES D'AÉRATION, ISOLANTS COMBUSTIBLES NON PROTÉGÉS EN FAÇADE, ÉQUIPEMENTS, ETC.).	
	CLASSEMENT EN RÉACTION AU FEU (EUROCLASSE)	TEMPÉRATURE DE DÉGRADATION THERMIQUE DES MATÉRIAUX
3-5 kW/m ²	MATÉRIAUX EXTÉRIEURS CLASSÉS AU MOINS C-s2 ; DO (M2 À DÉFAUT DE MARQUAGE CE)	MATÉRIAUX AYANT UNE TEMPÉRATURE DE DÉGRADATION SUPÉRIEURE À 200°C : → PET (POLYTÉRÉPHTHALATE D'ÉTHYLÈNE, PLASTIQUE DE TYPE POLYESTER SATURÉ) → PTFE (POLYTÉTRAFLUOROÉTHYLÈNE OU TÉFLON) → PIR (POLYISOCYANURATE) → TOUS TYPES DE BOIS, LAINES DE ROCHE, DE VERRE, PIERRE, BÉTON, AUTRES MATÉRIAUX APRÈS ESSAI
5-8 kW/m ²	MATÉRIAUX EXTÉRIEURS CLASSÉS AU MOINS B-s1 ; DO (M1 À DÉFAUT DE MARQUAGE CE)	MATÉRIAUX AYANT UNE TEMPÉRATURE DE DÉGRADATION SUPÉRIEURE À 280°C (PTFE, CERTAINS TYPES DE BOIS, LAINES DE ROCHE, DE VERRE, PIERRE, BÉTON, AUTRES MATÉRIAUX APRÈS ESSAI)

Tableau Matériaux de façade - effet thermique continu (Source : Guide de réalisation des diagnostics de la vulnérabilité de l'habitat existant face aux risques technologiques)

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Remplacement ou protection
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Ravalement de façades
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	A définir au cas par cas

Certains éléments singuliers font l'objet de prescriptions spécifiques listées dans le tableau ci-après.

	3-5 KW/M ²	5-8 KW/M ²
EXUTOIRE DE DÉSENFUMAGE		CAPOTAGE OPAQUE ALUMINIUM, INOX OU ACIER OU MISE EN PLACE D'UNE GRILLE MÉTALLIQUE À MAILLE FINE
LANTERNEAUX D'ÉCLAIRAGE ZÉNITHAL		OCCULTATION OU MISE EN PLACE D'UNE GRILLE MÉTALLIQUE À MAILLE FINE
TRAVERSÉE DE CÂBLES ET CANALISATION DE FLUIDES EN FAÇADE OU COUVERTURE	CALFEUTREMENT	CALFEUTREMENT ET CAPOTAGE DES CÂBLES AVEC DES MATÉRIAUX CLASSÉS A2 OU CÂBLES CR1
ÉQUIPEMENTS D'ÉVACUATION DES EAUX PLUVIALES		ZINC OU MATÉRIAUX CLASSÉS A1 RECOMMANDÉ
BOUCHE DE VENTILATION OU D'AÉRATION	GRILLE MÉTALLIQUE	GRILLE MÉTALLIQUE À MAILLE FINE
ÉQUIPEMENTS D'OCCULTATION DES BAIES (STORE EXTÉRIEUR, VOLET, ETC.).		BOIS MASSIF OU MÉTAL RECOMMANDÉ
BALCON ET TERRASSE POUR BÂTIMENT > R+1		LIMITER L'USAGE DE CES ESPACES ET ÉVITER LE STOCKAGE DE PRODUITS INFLAMMABLES

Les coûts de réalisation de ces travaux sont à estimer au cas par cas.

II. EFFET THERMIQUE TRANSITOIRE DE TYPE BOULE DE FEU

Pour l'effet thermique transitoire de type boule de feu, l'analyse peut être menée dans les zones d'intensité 600 à 1800 (kW/m²)^{4/3}.s. Au-delà, la réalisation d'un diagnostic approfondi est indispensable. C'est également le cas pour les types de structure non cités dans le paragraphe ci-dessous.

A. STRUCTURE PORTEUSE

Les structures porteuses non métalliques ne sont pas vulnérables.

Pour les structures porteuses métalliques apparentes, seuls les petits profilés non protégés, par exemple des racks, peuvent être vulnérables. Les bâtiments métalliques composés de profilés porteurs (IPE120 et supérieur notamment) ne sont donc pas vulnérables.

B. FAÇADES

Jusqu'à 1800 (kW/m²)^{4/3}.s, les murs extérieurs de maçonnerie ou en béton et les façades en bardage métallique permettent d'assurer une protection des personnes face à la boule de feu, même en l'absence d'isolant.

	600-1000 (KW/m ²) ^{4/3} .s	1000-1800 (KW/M ²) ^{4/3} .S
MURS DE MAÇONNERIE OU EN BÉTON		
BARDAGE MÉTALLIQUE		

C. TOITURE

TOITURE EN PENTE AVEC COUVERTURE EN PETITS OU GRANDS ÉLÉMENTS

Les couvertures peuvent être vulnérables uniquement en présence d'effets simultanés avec un effet de surpression, si l'interface entre l'extérieur et le dernier volume occupé est combustible ou ne résiste pas aux effets de surpression.

Une dalle béton ou la présence d'un isolant non combustible fixé solidairement à la structure suffit à assurer la protection des personnes.

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Isolation thermique de la couverture → fiche C.01 ou C.02 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Performance thermique du bâtiment Réfection de toiture dans le cas d'une isolation par l'extérieur Combustibilité des éléments situés au-dessus de l'isolation {écran de sous-toiture}
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Isolation sous rampants : 45 à 120 €/m ² de toiture à traiter Isolation par sur-couverture : 80 à 100 €/m ² de toiture à traiter Isolation externe sous couverture : 140 à 200 €/m ² de toiture à traiter Isolation sur le plancher des combles : 15 à 30 €/m ²

TOITURE-TERRASSE

Les toitures-terrasses ne sont pas vulnérables.

D. OUVERTURES EXTÉRIEURES (MENUISERIES)

La vulnérabilité des menuiseries vitrées dépend du type de vitrage et pour des dimensions importantes du type de châssis. Les portes pleines ne sont pas vulnérables à l'effet thermique transitoire.

	3-5 KW/m ²	5-8 KW/m ²
SIMPLE VITRAGE, POLYMÈRE		
DOUBLE OU TRIPLE VITRAGE DE DIMENSIONS STANDARDS		
DOUBLE OU TRIPLE VITRAGE DE GRANDES DIMENSIONS - CHÂSSIS BOIS OU ACIER		
DOUBLE OU TRIPLE VITRAGE DE GRANDES DIMENSIONS - CHÂSSIS PVC OU ALU-INOX		
PORTE PLEINE		

Les doubles ou triples vitrages de dimensions standards sont ceux dont la surface unitaire de chaque panneau vitré inférieure à 2 m² et plus grande dimension inférieure à 2,20 m.

Les doubles ou triples vitrages de grandes dimensions sont ceux dont la surface unitaire de panneau vitré supérieure à 2 m² ou dimension supérieure à 2,20 m.

MESURES DE RENFORCEMENT DES PARTIES D'OUVRAGES VULNÉRABLES

DESCRIPTION	Renforcement thermique ou occultation des menuiseries vitrées → fiches Men.01 et Men.02 du référentiel travaux
SYNERGIES / POINTS DE VIGILANCE	Performance thermique du bâtiment Réfection de menuiseries vétustes. Attention à la ventilation en cas de remplacement de fenêtres vétustes perméables par des fenêtres neuves étanches
ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT	Remplacement : 1360 €/m ² de vitrage environ pour les menuiseries vitrées Pose d'un film filtrant : 55 à 80 €/m ² Occultation : à définir au cas par cas

III. EFFET THERMIQUE TRANSITOIRE DE TYPE FEU DE NUAGE

A. ZONE D'INTENSITÉ MOYENNE (SEI-SEL)

En zone d'intensité moyenne d'un effet feu de nuage, le bâtiment n'est pas situé dans le nuage inflammable mais reste suffisamment près pour être exposé au rayonnement thermique dû à son explosion.

Dans cette zone, les bâtiments à structure maçonnée ou en béton et les bâtiments en acier ne sont pas vulnérables et per-

mettent d'assurer la protection des personnes. Seules les personnes situées à l'extérieur sont alors vulnérables.

Les autres types de bâtiment doivent faire l'objet d'une étude de vulnérabilité approfondie.

B. ZONE D'INTENSITÉ TRÈS GRAVE (> SEL)

En zone d'intensité très grave d'un effet feu de nuage, le bâtiment est situé dans le nuage inflammable. Pour l'ensemble du bâti, il convient donc de contrôler la perméabilité de la structure. Ce contrôle, réalisé de manière intuitive et visuelle, permet de s'assurer que les gaz pouvant générer un feu de nuage ne peuvent pas pénétrer facilement dans le bâti avant son inflammation. Si cette condition n'est pas respectée, toute mesure de renforcement

du bâti vis-à-vis d'une agression extérieure est inutile, le nuage pouvant s'enflammer à l'intérieur du bâtiment.

Une fois ce préalable pris en compte, la vulnérabilité du bâtiment peut être estimée par un diagnostic simple :

	INTENSITÉ TRÈS GRAVE (> SEL)	MESURE DE RENFORCEMENT
MURS DE MAÇONNERIE OU EN BÉTON		
STRUCTURE MÉTALLIQUE PORTEUSE APPARENTE		PROTECTION INCENDIE (FLOCAGE, PLAQUES)
BARDAGE MÉTALLIQUE (FAÇADE ET COUVERTURE)		ISOLATION
STRUCTURES TRANSLUCIDES		REMPLACEMENT DES MENUISERIES (CHÂSSIS BOIS ET VERRE DURCI OU TREMPÉ)
COUVERTURE - EN PRÉSENCE D'UN EFFET SIMULTANÉ DE SURPRESSION		ISOLATION
COUVERTURE - SANS EFFET SIMULTANÉ DE SURPRESSION		
ÉLÉMENTS NON STRUC- TURaux EXTÉRIEURS		REMPLACEMENT OU PROTECTION

FICHE FICHE 3C EFFET TOXIQUE

Pour l'effet toxique, la vulnérabilité d'un bâtiment dépend de sa perméabilité à l'air. Cette perméabilité est liée à sa conception, à son entretien, à son fonctionnement et à ses équipements techniques notamment ceux qui constituent des entrées d'air volontaires dans le bâtiment.

Les bâtiments devant être correctement ventilés (de façon naturelle ou mécanique) hors période de crise, ils sont en principe toujours vulnérables à l'effet toxique.

L'approche sommaire ne vise donc pas à déterminer au sens propre la vulnérabilité de l'équipement, mais plutôt à réaliser un diagnostic de confinement pour déterminer le potentiel de l'équipement pour la mise en œuvre d'un dispositif de confinement correctement dimensionné.

CE DIAGNOSTIC COMPREND :

- l'identification d'un local de confinement
- l'identification des systèmes de ventilation
- une modélisation de l'équipement pour déterminer l'objectif de perméabilité à l'air du local de confinement retenu. Elle nécessite l'intervention d'un bureau d'études formé à l'utilisation du logiciel Confine.
- une mesure de la perméabilité à l'air du local de confinement retenu et l'identification des principales fuites d'air. Elle nécessite l'intervention d'un mesureur formé, le matériel nécessaire pour cette mesure dépend du volume mesuré et son étanchéité à l'air.

EN L'ABSENCE D'ÉTUDE, IL FAUT PRÉVOIR A MINIMA :

- l'identification du local de confinement
- l'élaboration du plan de confinement
- un dispositif permettant l'arrêt et l'obturation des ventilations et le cas échéant des autres systèmes de transfert d'air.

Les principales fuites d'air « évidentes » du local de confinement, telles que les parties d'ouvrages vétustes ou dégradées par exemple, pourront ensuite être traitées mais seule une mesure de la perméabilité à l'air du local permet d'identifier avec précision les travaux à réaliser.

Une autre approche complémentaire peut consister à corriger les défauts de perméabilité au fur et à mesure des opérations d'entretien et de réhabilitation du bâtiment.

Dans tous les cas, les travaux sont à envisager dans le cadre d'une réflexion sur l'adéquation de la ventilation actuelle avant et après travaux.

Le référentiel travaux identifie les principaux travaux qui permettent de mettre en place un dispositif de confinement et d'améliorer l'étanchéité à l'air du local de confinement. Ils sont listés dans le tableau ci-après. La fiche Local-02 du référentiel travaux rappelle, par ailleurs, les grands principes du confinement.

TRAVAUX CONCERNANT L'ARRÊT INDISPENSABLE DES VENTILATIONS

FICHES	SYNERGIES ET POINTS DE VIGILANCE	ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT
EQUIP.01 VENTILATION - MISE EN PLACE D'UNE COMMANDE D'ARRÊT RAPIDE	Réhabilitation électrique Étanchéité à l'air des traversées de parois	→ 350 €
EQUIP.02 VENTILATION - RENDRE OBTURABLES LES GRILLES ET ENTRÉES D'AIR	Maintenir une ventilation normale du bâtiment hors situation de confinement Alimentation en air des appareils à combustion	→ 60 € /U
EQUIP.03 VENTILATION - MISE EN PLACE DE DISPOSITIFS DE FERMETURE AUTOMATIQUE SUR LES GAINES DE VENTILATION	Maintenir une ventilation normale du bâtiment hors situation de confinement	→ 135 € /U
EQUIP.04 VENTILATION - POSE D'UNE GRILLE OBTURABLE SUR LA PORTE D'ACCÈS AU LOCAL DE CONFINEMENT	Maintenir une ventilation normale du bâtiment hors situation de confinement	→ 75 €
EQUIP.05 ARRÊT ET DISPOSITIF OBTURABLE POUR LES HOTTES ET AUTRES SYSTÈMES DE FLUX D'AIR VOLONTAIRES	Maintenir un fonctionnement normal hors situation de confinement	-

TRAVAUX DE RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DU LOCAL DE CONFINEMENT

FICHES	SYNERGIES ET POINTS DE VIGILANCE	ORDRE DE GRANDEUR DU COÛT
MEN.07 MENUISERIES VITRÉES DU LOCAL DE CONFINEMENT - REMPACEMENT COMPLET - TOXIQUE	Performance thermique du bâtiment Rénovation	→ 1360 € /M ² de vitrage environ
MEN.08 MENUISERIES VITRÉES DU LOCAL DE CONFINEMENT - RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR	Performance thermique du bâtiment Entretien courant	→ 75 € /U
MEN.09 RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES FENÊTRES DE TOIT DU LOCAL DE CONFINEMENT	Performance thermique du bâtiment Entretien courant	→ 75 € /U
MEN.10 RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES COFFRES DE VOLETS ROULANTS DU LOCAL DE CONFINEMENT	Performance thermique du bâtiment Entretien courant	
PORT.02 PORTES ET TRAPPES DU LOCAL DE CONFINEMENT – RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR	Performance thermique du bâtiment Entretien courant Accessibilité (seuils de portes) Maintenance des trappes	Porte → 185 €
PORT.03 PORTE INTÉRIEURE DU LOCAL DE CONFINEMENT – CHANGEMENT DU BLOC PORTE	Rénovation Accessibilité (seuils de portes)	→ 345 €
PAR.02 COLMATAGE JOINTIF AUTOUR DES ÉLÉMENTS TRAVERSANTS OU ENCASTRÉS DANS LES PAROIS OU LES PLANCHERS DU LOCAL DE CONFINEMENT	Performance thermique du bâtiment Entretien courant	-
PAR.03 RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES PAROIS DU LOCAL DE CONFINEMENT	Performance thermique du bâtiment Entretien courant Traiter au préalable les parois humides	-
PAR.04 RÉALISATION D'UN PLAFOND ÉTANCHE DANS LE LOCAL DE CONFINEMENT	Performance thermique du bâtiment Rénovation Maintenance des réseaux situés au plafond du local	→ 100 € /m ²
PAR.05 RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES PLANCHERS DU LOCAL DE CONFINEMENT	Performance thermique du bâtiment Rénovation Poids du plancher, ressaut	-
ÉQUIP.06 RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES BOÎTIERS DE COMMANDES, PRISES ÉLECTRIQUES OU AUTRES DANS LE LOCAL DE CONFINEMENT	Performance thermique du bâtiment Réhabilitation électrique	→ 30 € /U

Globalement, il n'est pas simple d'estimer le coût de mise en place d'un dispositif de confinement, sans la réalisation d'un diagnostic de confinement, compte tenu de la taille et de la variété des bâtiments concernés.

Le Cerema a étudié en 2013 le coût de confinement de 20 bâtiments non résidentiels dont plusieurs équipements publics. Il ressort de cette étude un coût moyen de 226 € HT par mètre carré de surface de local de confinement. Cette moyenne cache cependant des disparités importantes. Dans 19 cas, les coûts s'échelonnent entre 20 et 480 € /m² et dans un seul cas, le coût est de 1000 € /m².