



Efectis France

Espace technologique
L'orme des merisiers – Bâtiment Apollo
F-91913 Saint-Aubin
Tél : 33 (0)1 60 13 83 80/ Fax : 33 (0)1 60 13 70 80
www.efectis.com



Le progrès, une passion à partager
Laboratoire national de métrologie et d'essais

ZA de Trappes-Élancourt
29 avenue Roger Hennequin
F-78197 Trappes Cedex
Tél : 33 (0)1 30 69 10 00 / Fax : 33 (0)1 30 69 12 34
www.lne.fr

Service Ingénierie Incendie
Tél : +33 (0)1 60 13 83 82 / Fax : +33 (0)1 60 13 70 80
E-Mail : gildas.auguin@efectis.com

CEMATE - Division Comportement au Feu
Tél : +33 (0)1 30 69 12 48 / Fax : +33 (0)1 30 69 12 34
E-mail : eric.guillaume@lne.fr

N/Réf. :
Aff. 06-070
E – ING – 07/565c – GA/AR

N/Ref :
G100178/C672X08

Client demandeur

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
DIRECTION DE LA PREVENTION, DE LA POLLUTION ET DES RISQUES
Service de l'environnement industriel
Bureau des risques technologiques et des industries chimiques et pétrolières

Références et date du marché

Marché 0600164 du 13 décembre 2006

PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES TECHNOLOGIQUES

Guide de prescriptions techniques pour la résistance du bâti face à un aléa technologique thermique avec pour unique but la protection des personnes

Date : Juillet 2008

Indice de révision : C

Nombre de pages : 46

Auteurs :

Gildas Auguin (Efectis France)

Arnaud Rabilloud (Efectis France)

Eric Guillaume (LNE)

Tableau de révision

Version	Date	Modifications
A	Octobre 2007	Version originale
B	Décembre 2007	Intégration remarques Drire et CETE
C	Juillet 2008	Intégration remarques INERIS

SOMMAIRE

1	Présentation du guide	6
1.1	Contexte.....	6
1.2	Objet.....	6
1.3	Démarche.....	6
1.4	Limites du guide.....	7
2	Niveaux de sécurité et de protection du bâti.....	8
2.1	Niveau de sécurité « N1 ».....	8
2.2	Niveau de sécurité « N2 ».....	8
2.3	Niveau de sécurité « N3 ».....	9
2.4	Stratégie de mise en protection des bâtis.....	9
3	Caractérisation du bâtiment	10
4	Exigences de performances pour l'urbanisation future.....	13
4.1	Contraintes constructives en zone d'aléa M.....	13
4.2	Contraintes constructives en zone d'aléa M+.....	13
4.3	Contraintes constructives en zone d'aléa F.....	14
4.4	Contraintes constructives en zone d'aléa F+.....	14
5	Mise en protection et renforcement des bâtis existants	14
5.1	Méthodologie de protection du bâti.....	14
5.2	Diagnostic	16
5.3	Mise en sécurité de niveaux N1 et N2 : prescriptions techniques.....	16
5.4	Mise en sécurité de niveau N3 : la zone de mise à l'abri	17
6	Méthodologie alternative pour la caractérisation de la vulnérabilité du bâti.....	18
6.1	Principe	18
6.2	Méthodologie.....	18
6.3	Phase d'analyse.....	18
6.3.1	Phase n°1 : Caractérisation des effets thermiques.....	18
6.3.2	Phase n°2 : Description de l'ouvrage et caractérisation de l'enveloppe externe.....	20
6.3.3	Phase n°3 : Objectifs et critères.....	21
6.3.4	Phase n°4 : Vérification du niveau de protection du bâtiment.....	21
6.3.5	Phase n°5 : Vérification de l'atteinte des objectifs de sécurité	22
6.3.6	Phase n°6 : Mise en sécurité du bâtiment	22
7	Références.....	23
	ANNEXE A Fiches de caractérisation d'un bâtiment	24
	ANNEXE B Exigences en fonction du niveau d'intensité des effets thermiques	27
B.1	Exigences en termes d'isolation thermique et radiative de l'enveloppe externe	27
B.1.1	Façades opaques lourdes.....	27
B.1.2	Façades opaques légères.....	29
B.1.3	Couverture	30
B.1.4	Toiture	30
B.1.5	Menuiseries extérieures.....	31
B.2	Exigences en termes de non ruine du bâtiment	31
B.3	Exigences en termes de non propagation du feu	32

B.3.1	Performance en réaction au feu des matériaux de façades	32
B.3.2	Éléments singuliers de l'enveloppe externe	33

ANNEXE C Synthèses des prescriptions techniques de mise en protection du bâti existant face à un aléa thermique34

ANNEXE D Estimations économiques de la mise en protection38

D.1	Estimation économique des prescriptions techniques des façades opaques	38
D.2	Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des couvertures et toitures	40
D.3	Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des menuiseries extérieures.....	43

Liste des figures

Figure 3-1	: Exemples de parties d'ouvrages de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment type habitation à caractériser – a) sans façade légère – b) avec façade légère	11
Figure 3-2	: Exemples de parties d'ouvrages de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment type industriel à caractériser – a) sans façade légère – b) avec façade légère	12
Figure 5-1	: Logigramme de réduction de la vulnérabilité	15
Figure 5-2	: Schématisation de la définition d'un local de mise à l'abri : niveau de sécurité « N3 »	17
Figure 6-1	: Méthodologie d'analyse des effets thermiques sur l'enveloppe externe d'une construction	19

Liste des tableaux

Tableau 2-1	: Niveaux de sécurité de mise en protection du bâti et objectifs associés.....	8
Tableau 6-1	: Parties d'ouvrage à caractériser lors du relevé des matériaux.....	20
Tableau A-1	: Caractérisation des éléments de structure	24
Tableau A-2	: Caractérisation des façades opaques lourdes	24
Tableau A-3	: Caractérisation des façades opaques légères	24
Tableau A-4	: Caractérisation des couvertures et toitures	25
Tableau A-5	: Caractérisation des façades translucides	25
Tableau A-6	: Caractérisation des éléments singuliers.....	25
Tableau A-7	: Caractérisation des portes.....	26
Tableau A-8	: Caractérisation des occultants et contrevents.....	26
Tableau B-9	: Épaisseurs minimales de l'enveloppe extérieure des façades opaques lourdes en fonction de la nature de l'isolant pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m ² pour un phénomène continu permanent.....	27
Tableau B-10	: Épaisseurs minimales de l'enveloppe extérieure des façades opaques lourdes en fonction de la nature de l'isolant pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m ² pour un phénomène continu permanent d'une durée de 2h ou un phénomène instantané.....	28
Tableau B-11	: Épaisseurs minimales et nature de l'âme isolante et nature du revêtement pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m ² (phénomène continu ou instantané).....	29
Tableau B-12	: Épaisseur minimale d'isolant et nature de la charpente pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m ² (phénomène continu ou instantané)	30
Tableau B-13	: Épaisseur minimale d'isolant et nature de la protection pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m ² (phénomène continu ou instantané)	30
Tableau B-14	: Prescription sur les éléments de menuiseries extérieures pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m ²	31
Tableau B-15	: Prescriptions techniques pour les éléments de structures extérieures	31
Tableau B-16	: Exigences minimales des matériaux constituant l'enveloppe externe du bâtiment (phénomène continu ou instantané).....	32
Tableau B-17	: Prescriptions techniques pour les éléments singuliers de l'enveloppe externe	33
Tableau C-18	: Prescriptions techniques de protection pour les façades opaques lourdes et légères	34
Tableau C-19	: Prescriptions techniques de protection pour les couvertures et toitures.....	35
Tableau C-20	: Prescriptions techniques de protection pour les éléments de menuiseries extérieures	36
Tableau C-21	: Configuration d'écran thermique par bardage double et simple peau en fonction de l'intensité des effets thermiques	37

Tableau D-22 : Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des façades opaques	39
Tableau D-23 : Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des couvertures et toitures	42
Tableau D-24 : Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des menuiseries extérieures	46

1 PRÉSENTATION DU GUIDE

1.1 CONTEXTE

La catastrophe de Toulouse a mis en évidence l'insuffisance des dispositions existantes pour maîtriser l'urbanisation autour des installations susceptibles d'être à l'origine de risques technologiques.

Pour résorber les situations héritées du passé et après plus de dix ans d'application des textes réglementaires en vigueur, un bilan a été dressé à propos des risques technologiques. La loi « Risques » du 30 juillet 2003, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, a étendu le champ d'application des outils existants, et créé une nouvelle approche de la maîtrise de l'urbanisation autour des installations à risques soumises à autorisation avec servitudes, équivalentes aux installations dites « SEVESO seuil haut », et relevant de l'article L515.8 du code de l'environnement [1].

Le Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable (MEDAD) a mis en ligne, en décembre 2005, puis en octobre 2007 un « guide méthodologique pour l'élaboration des plans de prévention des risques technologiques » [4] qui explique la démarche à suivre.

Le plan de prévention des risques technologiques (PPRT) délimite autour des installations classées concernées, des zones à l'intérieur desquelles des prescriptions peuvent être imposées aux constructions existantes ou futures, dans le but de protéger les personnes.

Les plans particuliers d'intervention (PPI) déterminent, quant à eux, l'organisation des secours en cas d'accident technologique. Ils peuvent, entre autre, définir des principes de protection des populations qui peuvent être mis en œuvre à travers une adaptation du bâti.

Le ministère souhaite définir des compléments techniques pour les services instructeurs des PPRT (Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement et Directions Départementales de l'Équipement) et pour les services départementaux de secours et de protection civile, dont l'avis est demandé sur les objectifs de performance de résistance et de protection du bâti face à un aléa technologique thermique, dans le but de protéger les personnes et non les biens.

1.2 OBJET

Le présent guide s'inscrit dans cette démarche. Il a pour objet de proposer des prescriptions techniques de protection du bâti face à un aléa technologique thermique qui seront retenues dans le règlement du PPRT, ou qui seront imposées par les services de secours dans le cadre de l'élaboration des plans de secours, et de leur avis sur d'éventuelles constructions nouvelles en zones à risques.

Le guide s'appuie sur le rapport d'étude sur la « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti face à un phénomène dangereux technologique thermique » [3].

Ces deux documents ont été réalisés conjointement par la société Efectis France, laboratoire agréé en résistance au feu par le Ministère de l'Intérieur et le Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) agréé en réaction au feu par le Ministère de l'Intérieur, à partir de leurs bases de données respectives sur les matériaux et produits de la construction, leur connaissances de la réglementation et de la construction, et de leur compétences reconnus en matière de phénomènes dangereux thermiques.

1.3 DÉMARCHE

Le PPRT délimite autour des installations classées concernées des zones de vulnérabilité pour les bâtiments, c'est à dire des zones de bâtis ayant une sensibilité plus ou moins forte d'un enjeu à un aléa donné, l'enjeu étant la sécurité des personnes.

L'aléa est la probabilité qu'un phénomène dangereux produise, en un point donné du territoire, des effets d'une intensité physique définie et un temps déterminé. Les effets de l'aléa thermique sont traduits ici en termes de niveaux d'intensité de flux thermiques radiatifs et de cinétique.

Dans ce guide il s'agit alors de caractériser la vulnérabilité face aux effets thermiques produits par un phénomène dangereux et de fournir des prescriptions techniques pour la réduction de ces effets pour unique but la sécurité des personnes.

On propose alors à travers ce guide de :

- Indiquer la stratégie de renforcement du bâti face à un aléa technologique thermique en fonction de niveau de sécurité choisi ;
- Caractériser les parties d'ouvrages nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité, ce que l'on nommera le diagnostic
- Fournir des exigences constructives pour l'urbanisation future et des prescriptions techniques pour le renforcement du bâti existant en fonction du niveau de l'aléa ;
- Proposer une méthodologie alternative pour la caractérisation et la réduction de la vulnérabilité pour les aléas dont le niveau d'intensité de l'effet thermique est supérieur ou égal à 12 kW/m².

Il faut retenir que la caractérisation du bâti ne concerne qu'une description des parties d'ouvrages de l'enveloppe extérieure directement exposé aux flux radiatifs thermiques. Les effets de doses thermiques valables uniquement pour les personnes sont seulement pris en compte pour le cas des éléments translucides.

En outre, dans le cas d'une étude des effets de flux radiatifs sur le bâti, la probabilité d'occurrence ne peut être considérée. Ainsi, à chaque niveau d'aléa, on caractérise le bâti pour le niveau d'intensité de l'effet thermique maximal auquel il peut être soumis.

Enfin, si les effets de rayonnements thermiques compris entre 3 kW/m² et 12 kW/m² sur des bâtis ont pu être quantifiés pour définir des prescriptions techniques [3], il est par contre nécessaire de recourir à une étude spécifique pour des niveaux d'intensité d'effet thermique supérieurs.

1.4 LIMITES DU GUIDE

Le présent guide n'est pas un document qui à vocation à répondre à toutes les questions qui peuvent surgir lors de l'élaboration du PPRT et fournir toutes les solutions techniques de renforcement du bâti face à un aléa thermique. Il permet de fournir des pistes aux services instructeurs des PPRT, ainsi qu'une méthodologie pour la caractérisation de la réduction de la vulnérabilité.

Les effets combinés de plusieurs phénomènes dangereux n'ont pas été pris en compte dans cette étude. Les protections ont été dimensionnées pour le cas de phénomènes continus et instantanés.

Le guide fourni, pour la plupart des systèmes constructifs présents dans la construction en France une caractérisation fiable de leur comportement face à un aléa technologique thermique. Néanmoins, les futures modifications de la réglementation énergétique et thermique feront appel à de nouveaux types de matériaux « écologiquement durables » dont les caractéristiques thermiques et de tenue aux flux thermiques ne sont pas encore connues.

De même, pour les solutions techniques réalistes et réalisables indiquées dans ce guide, l'emploi de ces nouveaux matériaux n'a pu être envisagé.

Ce guide a été établi à l'aide de la caractérisation de produits et matériaux de construction conformes à la réglementation et qui ont fait l'objet d'essai en laboratoires agréés. Aussi, la mise en œuvre des systèmes constructifs de renforcement devra-elle être conforme aux normes en vigueur (Avis techniques, DTU, marquage,...).

Enfin, les estimations économiques qui sont indiquées dans ce guide, ne sont que des évaluations établies à partir de différents documents de référence en matière de réhabilitation et de travaux, et des données fournisseur à la date de rédaction de ce document.

2 NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET DE PROTECTION DU BÂTI

La stratégie de mise en protection des bâtiments face à un aléa thermique pour unique but la sécurité des personnes est fonction du niveau de sécurité choisi. On propose que 3 niveaux de sécurité associés à des objectifs de mise en protection du bâtiment pour la sécurité des personnes, puissent être mis en œuvre.

Ces niveaux de sécurité et les objectifs qui y sont associés, sont montrés dans le Tableau 2-1 ci-dessous, et détaillés ci-après.




Niveau de Sécurité	Objectifs	
1		Protection du bâtiment pour une durée permanente face à un aléa thermique issu d'un phénomène continu
2		Protection du bâtiment pour une durée de 2 h face à un aléa thermique issu d'un phénomène continu Protection du bâtiment pour une durée permanente face à un aléa thermique issu d'un phénomène instantané
3		Protection d'une zone de mise à l'abri pour une durée face à un aléa thermique issu d'un phénomène continu

Tableau 2-1 : Niveaux de sécurité de mise en protection du bâti et objectifs associés

2.1 NIVEAU DE SÉCURITÉ « N1 »

Il s'agit de mettre en œuvre une protection du bâtiment pour une durée de sollicitation illimitée de l'aléa thermique. Ce niveau de sécurité concerne toutes les parties d'ouvrages de l'enveloppe extérieure du bâti à protéger.

Ce niveau de protection est par définition adapté aux aléas thermiques issus de phénomènes dangereux continus, mais convient aussi aux phénomènes instantanés.

2.2 NIVEAU DE SÉCURITÉ « N2 »

Il s'agit dans un premier cas de mettre en œuvre une protection du bâtiment pour une durée de sollicitation de 2 h de l'aléa thermique.

Cette durée de 2h a été choisie dans une optique de plan de prévention et d'intervention. Ce délai est jugé suffisamment important pour permettre aux services d'intervention de mettre en sécurité les personnes ou de mettre fin au phénomène responsable de l'aléa thermique.

Ce niveau de protection concerne uniquement les façades opaques lourdes de l'enveloppe extérieure du bâti à protéger. La caractérisation des performances des autres parties d'ouvrages (façades opaques légères, couvertures et toitures, menuiseries extérieures) pour une durée de sollicitation de 2 h n'est pas considérée. En effet, l'étude de la « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti » [3] a montré que les effets d'un flux thermique radiatif sur les façades légères et les menuiseries extérieures sont bien plus immédiats pour ce type de partie d'ouvrage. En effet, ces éléments de faible massivité s'échauffent rapidement, et pour le cas des éléments translucides le flux incident est immédiatement transmis. Les caractéristiques définies pour l'état stationnaire, c'est-à-dire un niveau de sécurité N1, seront donc appliquées.

Ce niveau de protection concerne les aléas thermiques issus de phénomènes dangereux continus.

Pour le cas de phénomène instantané, le niveau de sécurité « N2 » permet de mettre en œuvre une protection du bâtiment pour une durée de sollicitation illimitée de l'aléa thermique.

Il est dans tous les cas, particulièrement adapté pour la mise en protection des bâtiments industriels de grands volumes.

2.3 NIVEAU DE SÉCURITÉ « N3 »

Il s'agit de mettre en œuvre une zone de mise à l'abri à l'intérieur du bâtiment pour une durée de sollicitation illimitée de l'aléa thermique.

La zone de mise à l'abri dans le bâtiment devra posséder un degré de performance en matière de résistance de niveau REI 60 (coupe-feu 1h) et des spécificités constructives.

En outre, le bâtiment enveloppe de cette zone de mise à l'abri devra présenter un niveau de sécurité « N1 » pour le niveau d'aléa inférieur assurant au moins une non propagation de l'incendie.

Ce niveau de protection est particulièrement adapté pour la mise en protection des personnes au sein de bâtiments d'habitation, voire d'établissements recevant du public, ne pouvant pas répondre aux exigences des niveaux de sécurité supérieurs « N2 » et « N1 ».

2.4 STRATÉGIE DE MISE EN PROTECTION DES BÂTIS

Une stratégie de mise en protection des bâtiments est alors proposée.

- ❑ Le niveau de sécurité « N1 » sera imposé aux bâtiments futurs et existants soumis à un aléa technologie thermique issu d'un phénomène continu ;
- ❑ Le niveau de sécurité « N2 » sera imposé :
 - aux bâtiments futurs soumis à un aléa technologie thermique issu d'un phénomène instantané ;
 - aux bâtiments existants soumis à un aléa technologie thermique issu d'un phénomène instantané ;
 - aux bâtiments industriels existants de grands volumes (hauteur sous plafond supérieure à 8 m) soumis à un aléa technologique thermique issu d'un phénomène continu ou instantané ;
 - aux bâtiments existants pour le cas où les prescriptions de niveau « N1 » ne sont pas réalisables et/ou dont le règlement du PPRT autorise un niveau « N2 » ;
- ❑ Le niveau de sécurité « N3 » sera imposé aux bâtiments existants ne pouvant mettre en œuvre les prescriptions techniques des exigences des niveaux de sécurité « N1 » ou « N2 », et/ou dont le règlement du PPRT autorise un niveau « N3 ».

Remarques : l'autorisation dans le règlement du PPRT d'une mise en protection d'un bâti pour un niveau de sécurité inférieur à l'exigence devra être établie lors de l'élaboration de la stratégie du PPRT. Il est rappelé que les niveaux de sécurité sont une mise en sécurité d'un même niveau d'aléa pour un objectif différent de sécurité.

3 CARACTÉRISATION DU BÂTIMENT

Dans la méthodologie de mise en protection de bâtiment, il est nécessaire de caractériser préalablement le bâtiment que l'on souhaite protéger.

Dans l'étude sur la « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti face à un phénomène dangereux technologique thermique » [3] plusieurs constats ont été mis en évidence, à savoir que :

- Il était difficile de dégager un niveau de protection des différents types de bâtis vis-à-vis d'une action thermique externe, sur la base des exigences réglementaires actuelles ;
- La description exhaustive de l'ensemble des procédés et matériaux utilisés dans le parc immobilier construit et à venir paraît sinon impossible, pour le moins peu pertinente ;
- Il n'est pas possible de dégager de typologie en fonction de la destination du bâtiment qui soit suffisamment pertinente pour définir des diagnostics-types par activité ou destination de bâtiments ;
- La mise en protection ne concerne que les éléments de l'enveloppe extérieure du bâti à protéger.

L'approche que nous suggérons prend appui sur un diagnostic qui pourra être réalisé par un technicien du bâtiment avec une identification visuelle sans sondage destructif possible et avec un accès restrictif et aléatoire des bâtiments étudiés. L'appréciation ne pourra alors être valablement fondée que sur une partie d'empirisme et de connaissance du domaine de la construction.

On propose alors un découpage simplifié de l'enveloppe extérieure du bâtiment à caractériser en six familles de partie d'ouvrages :

- Les éléments de structures** : il s'agit des poteaux et poutres visibles en façades
- Les façades opaques lourdes** : il s'agit plus communément de tous les types de mur en « dur »
- Les façades opaques légères** : il s'agit approximativement de tous les murs en bardage ou en panneaux rapportés
- Les couvertures/toitures** : toutes les parties d'ouvrages situées sur la partie supérieure du bâtiment
- Les éléments de menuiseries extérieures** : cette partie d'ouvrage est elle-même décomposée en sous parties : fenêtres et façades translucides, portes (faiblement vitrée) et occultants et contrevents ;
- Les éléments singuliers** : tous les équipements situés sur l'enveloppe extérieure du bâtiment

Il s'agira pour chaque partie de définir la nature du matériau et ses dimensions. On s'aidera pour l'établissement de ces caractéristiques des fiches de caractérisation fournies en ANNEXE A. Ces fiches permettent de définir les éléments nécessaires à relever pour le diagnostic de vulnérabilité. On montre Figure 3-1 et Figure 3-2, les types d'informations qui sont nécessaires à la caractérisation d'un bâtiment de type habitation et industriel.

Dans le cas où la visibilité du bâtiment est difficile, on pourra également s'aider du document de « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti face à un phénomène dangereux technologique thermique » [3] où il a été effectuée une analyse de la typologie des constructions les plus courantes. Les dimensions en fonction des types de matériaux y sont notamment indiquées. Dans tous les cas spécifiques, le diagnostiqueur devra se référer à ce document.

Remarques : Pour les façades-rideaux, les bardages rapportés sur mur porteur et mur double, il est nécessaire de caractériser la façade rapportée et la façade opaque porteuse à proprement parlé. Pour les portes dont la surface translucide est supérieure à 30% de leur surface totale, il est nécessaire de les considérer comme des façades translucides.

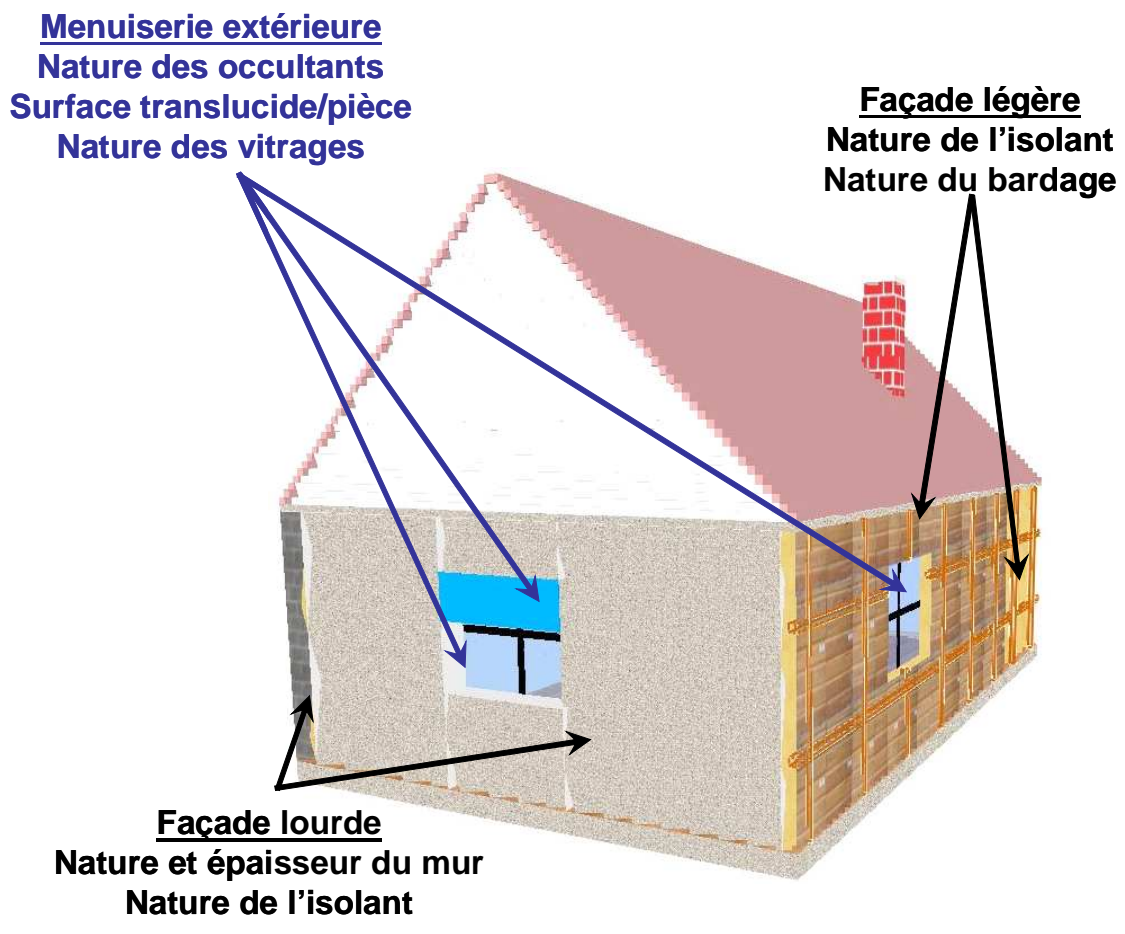
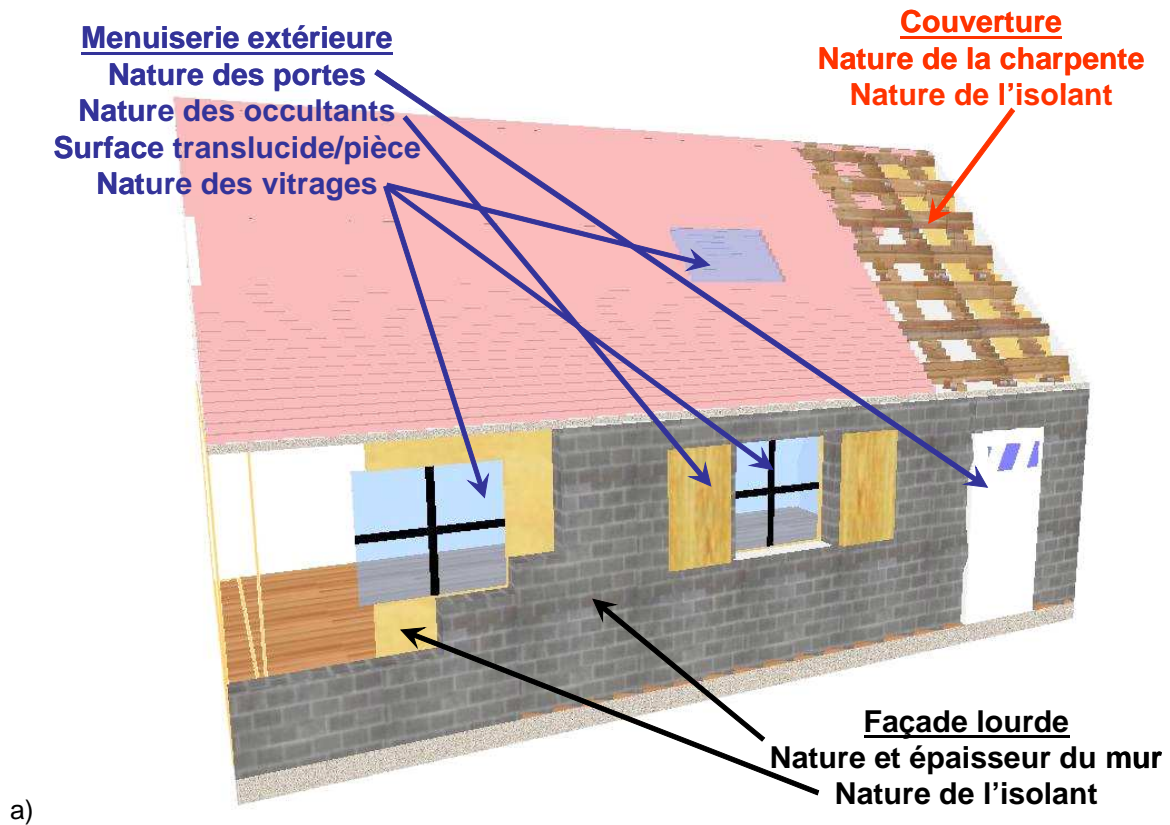


Figure 3-1 : Exemples de parties d'ouvrages de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment type habitation à caractériser – a) sans façade légère – b) avec façade légère

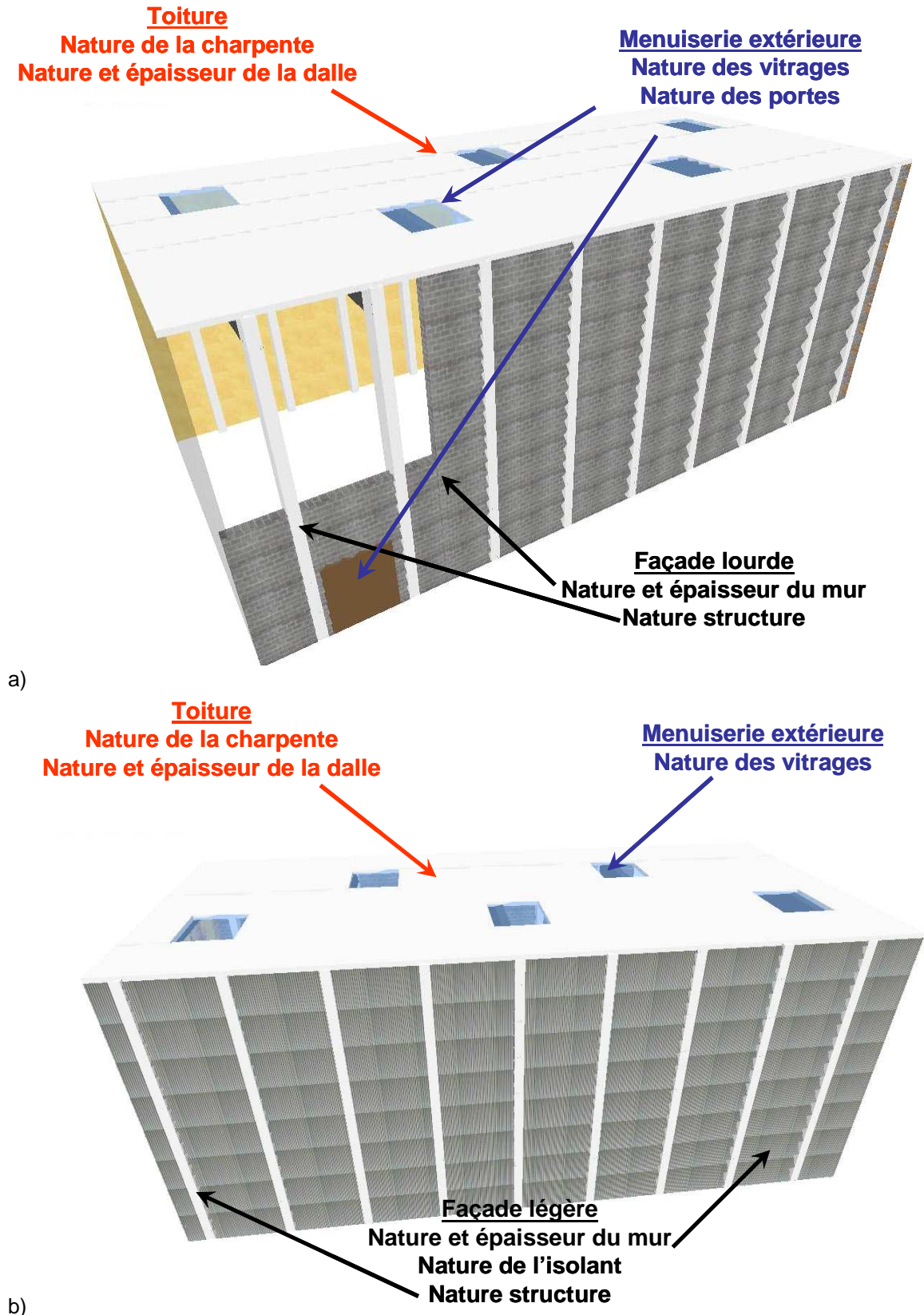


Figure 3-2 : Exemples de parties d'ouvrages de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment type industriel à caractériser – a) sans façade légère – b) avec façade légère

4 EXIGENCES DE PERFORMANCES POUR L'URBANISATION FUTURE

Ce paragraphe consiste à définir les contraintes constructives à respecter pour l'urbanisation future vis-à-vis de l'aléa thermique situé dans les zones d'aléa de M à F+ à partir d'exigences de performances des parties d'ouvrages du bâtiment, et à partir des exigences réglementaires telles qu'elles sont indiquées dans le guide méthodologique d'établissement d'un PPRT [4].

Les exigences de performances des parties d'ouvrages ont été établies à partir de la caractérisation de vulnérabilité du bâti en fonction du niveau d'intensité des effets thermiques [3]. Il s'agit d'exigences en termes de :

- Performances d'isolation thermique et radiative des systèmes constructifs constituant l'enveloppe externe des bâtiments afin de garantir :
 - o la non élévation de la température ambiante ;
 - o la limitation du rayonnement thermique à l'intérieur de l'ouvrage ;
- Non ruine des éléments de structure extérieurs directement exposés au flux radiatif, afin de garantir la stabilité de l'ouvrage ;
- Réaction au feu des matériaux constituant l'enveloppe externe et non dangerosité des éléments singuliers situés sur l'enveloppe externe afin de garantir une non propagation du feu à l'ouvrage ;

Les caractéristiques techniques des différentes parties d'ouvrages devant satisfaire ces exigences sont indiquées en ANNEXE B pour chaque niveau d'intensité correspondant aux zones d'aléa M à F+.

Le niveau de sécurité à adopter sera choisi par le règlement du PPRT.

4.1 CONTRAINTES CONSTRUCTIVES EN ZONE D'ALÉA M

Les constructions en zone d'aléa M sont susceptibles d'être exposées à un rayonnement thermique compris entre 3 kW/m² et 5 kW/m².

L'implantation de constructions nouvelles sur cette zone est donc possible sous réserve du respect des contraintes constructives définies en ANNEXE B pour un niveau d'intensité inférieure à 5 kW/m².

De plus, dans le but de limiter les contraintes sur cette zone en cas d'évacuation de la population par les pouvoirs publics, il est proposé d'interdire les types de construction¹ listés ci-dessous :

- Bâtiments d'habitation appartenant à la 3^{ème} et 4^{ème} famille ;
- Établissements Recevant du Public appartenant à la 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} catégorie ;
- Établissements Recevant du Public des types : U, R, J ;
- Les Immeubles de Grande Hauteur ;
- Les bâtiments d'activité tertiaire présentant une capacité d'accueil supérieure à 300 personnes.

4.2 CONTRAINTES CONSTRUCTIVES EN ZONE D'ALÉA M+

Les constructions en zone d'aléa M+ sont susceptibles d'être exposées à un rayonnement thermique compris entre 3 kW/m² et 8 kW/m².

L'implantation des constructions autorisées dans cette zone d'aléa selon le guide méthodologique [4], doit respecter les contraintes constructives définies en ANNEXE B pour un niveau d'intensité inférieur à 8 kW/m².

¹ Se référer à l'Annexe E du document [3] pour la classification des constructions par destination du bâtiment

4.3 CONTRAINTES CONSTRUCTIVES EN ZONE D'ALÉA F

Les constructions en zone d'aléa F sont susceptibles d'être exposées à un rayonnement thermique compris entre 5 kW/m² et 8 kW/m².

Les constructions nouvelles autorisées dans cette zone d'aléa [4], c'est-à-dire les établissements industriels et commerciaux, doivent respecter les contraintes constructives définies dans l'ANNEXE B pour un niveau d'intensité inférieur à 8 kW/m².

4.4 CONTRAINTES CONSTRUCTIVES EN ZONE D'ALÉA F+

Les constructions en zone d'aléa F+ sont susceptibles d'être exposées à un rayonnement thermique supérieur à 8 kW/m² correspondant à une zone de danger très grave.

Les bâtiments industriels seuls autorisés dans cette zone d'aléa devront répondre aux exigences définies dans l'ANNEXE B un niveau d'intensité inférieur à 12 kW/m².

Tout bâtiment souhaitant s'implanter dans cette zone où l'intensité serait supérieure à 12 kW/m², devront faire l'objet d'une étude spécifique de protection du bâtiment.

5 MISE EN PROTECTION ET RENFORCEMENT DES BÂTIS EXISTANTS

On propose de présenter la méthodologie de renforcement et de prescriptions techniques à retenir pour l'urbanisme existant situé dans les zones d'aléa thermique suivant de M à TF+ pour un phénomène dangereux induisant des effets thermiques d'intensité inférieure à 12 kW/m².

5.1 MÉTHODOLOGIE DE PROTECTION DU BÂTI

On montre Figure 5-1 le logigramme de réduction de la vulnérabilité du bâti qui résume la méthode d'analyse à mettre en œuvre pour évaluer les conséquences des effets thermiques sur l'enveloppe externe d'une construction et procéder à la mise en sécurité du bâtiment pour garantir l'intégrité physique des personnes situées à l'intérieur.

La réduction de la vulnérabilité s'articule en trois phases :

- La caractérisation du bâti ;
- Le ou les diagnostics par parties d'ouvrages ;
- Les prescriptions techniques.

La réduction de la vulnérabilité des façades opaques lourdes a été séparée de celle des autres parties d'ouvrage car elle peut nécessiter un diagnostic de niveau « N2 ». La réduction de la vulnérabilité des éléments de structure s'établira lors du diagnostic.

La démarche par partie d'ouvrage est la suivante :

- 1) **Diagnostic** :: il s'agit de vérifier que les parties d'ouvrage répondent aux exigences du niveau fixé par le règlement PPRT (cf. stratégie de mise en protection § 2.4)
- 2) **Solutions techniques** : déterminer des solutions techniques si la partie d'ouvrage ne répond pas aux exigences du niveau ;
- 3) **Analyse de faisabilité** : vérifier si la mise en œuvre technique, mais également économique, est fiable ;
- 4) **Alternative** : possibilité d'établir un diagnostic de niveau inférieur si le règlement PPRT l'autorise ;
 - a. **Diagnostic de niveau N2** : il s'agit de vérifier que les parties d'ouvrage répondent aux exigences du nouveau niveau considéré ;
 - b. **Prescription de niveau N3** : définition d'un local de mise à l'abri ;

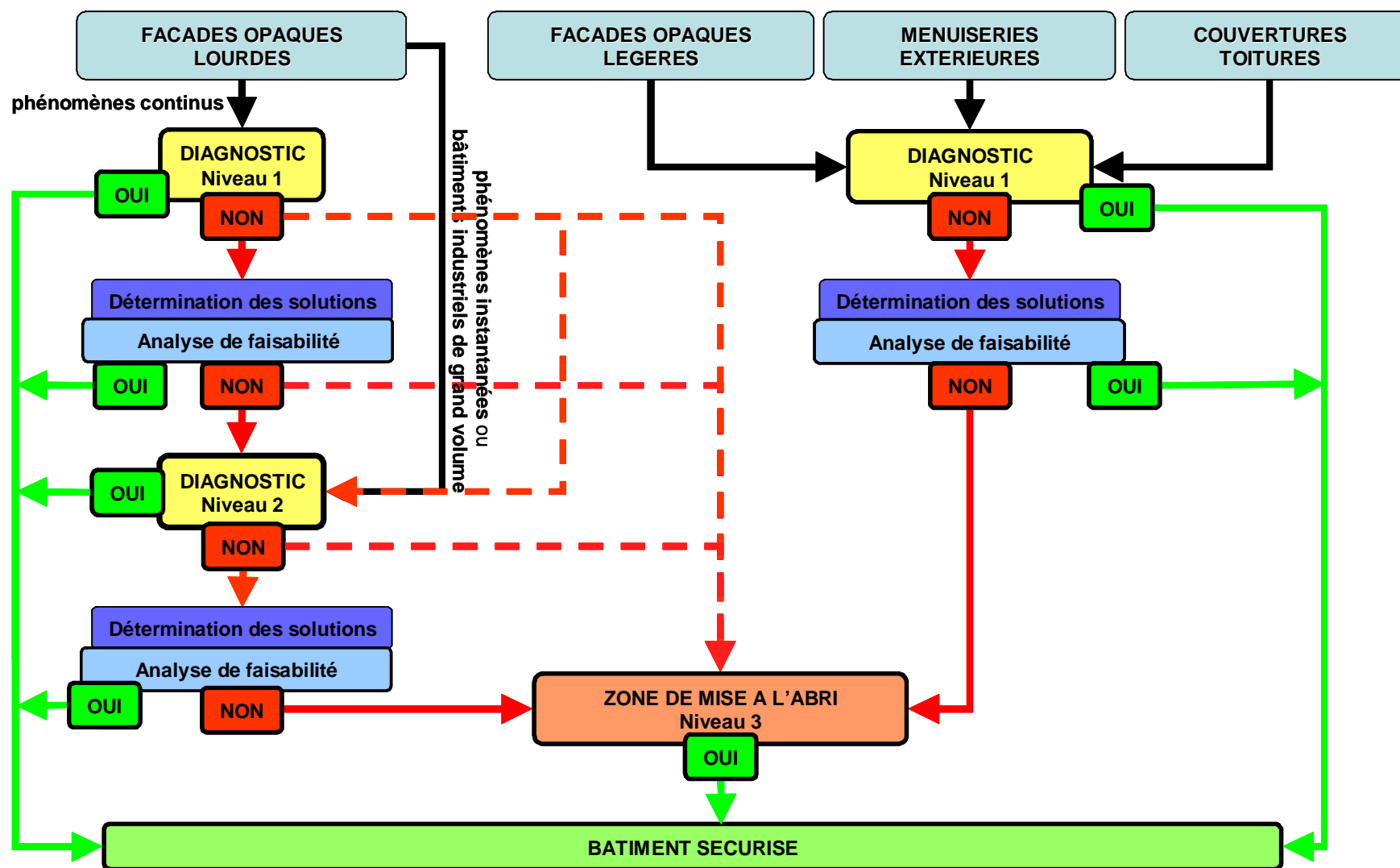


Figure 5-1 : Logigramme de réduction de la vulnérabilité

5.2 DIAGNOSTIC

Le diagnostic de chaque partie d'ouvrage consiste à déterminer si celle-ci répond aux exigences de performances en fonction de l'intensité du phénomène thermique incident. Il s'agit alors de faire référence aux exigences qui sont fixés pour l'urbanisation future en termes d'intensité de flux thermique (cf. ANNEXE B).

Ainsi pour le **diagnostic des façades opaques**, on fera référence au Tableau B-9 p.27 pour le critère d'isolation thermique pour un niveau de sécurité « N1 » et au Tableau B-10 p.28 pour un niveau de sécurité « N2 », ainsi qu'au Tableau B-16 p.32 pour le critère de non propagation du feu.

Pour le diagnostic des **façades opaques légères**, on vérifiera que la partie d'ouvrage à caractériser répond à l'intensité de flux thermique grâce au Tableau B-11 p.29, ainsi qu'au Tableau B-16 p.32 pour l'aspect réaction au feu.

Pour le diagnostic des **menuiseries extérieures**, on fera référence au Tableau B-14 p.31 pour les fenêtres et façades translucides et au Tableau B-14 p.31 pour les portes.

Pour le diagnostic des **couvertures et toitures**, on se reportera au Tableau B-12 p.30 et Tableau B-13 p.30 respectivement afin de déterminer si pour le flux incident considéré la partie d'ouvrage est performante.

Pour le diagnostic des **éléments de structures**, on vérifiera que la structure directement exposée répond aux exigences indiquées dans le Tableau B-15 p.31.

Pour les éléments singuliers de l'enveloppe extérieure, aucun diagnostic n'est nécessaire. Le relevé de ces éléments suffit.

5.3 MISE EN SÉCURITÉ DE NIVEAUX N1 ET N2 : PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

Pour la détermination des prescriptions techniques en fonction des parties d'ouvrages, il faut se référer aux tableaux fournis en ANNEXE C pour l'aspect technique et en ANNEXE D pour l'aspect économique. On pourra également se reporter au document sur la « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti face à un phénomène dangereux technologique thermique » [3] pour plus de précision sur les avantages et inconvénients de chaque solution, ainsi que sur la mise en œuvre.

On retiendra essentiellement pour ces prescriptions qu'elles sont de trois types pour les façades opaques lourdes :

- Soit une augmentation du mur existant : il s'agit de définir l'épaisseur de mur suffisante pour répondre au niveau d'intensité thermique incident ;
- Soit une augmentation du doublage isolant existant ou un remplacement par un isolant plus performant: il s'agit de définir l'épaisseur d'isolant suffisante pour répondre au niveau d'intensité thermique imposé ;
- Soit la mise en place d'un écran thermique : il s'agit de créer un réducteur du flux incident arrivant sur la façade opaque afin de se placer dans une situation d'aléa inférieure.

Les prescriptions pour les couvertures/toitures, les façades légères et les menuiseries extérieures sont généralement du même type :

- Soit un remplacement du système par un système répondant aux exigences de l'aléa souhaité ;
- Soit un renforcement du système existant par l'ajout de matériau isolant supplémentaire : comme toujours on se réfère aux tableaux pour l'urbanisation future ;
- Soit la mise en place d'une protection : il s'agit une fois encore d'une mise en place d'un écran thermique.

Pour les éléments singuliers, on s'appuiera sur les données du Tableau B-17 p.33 pour leur renforcement ou leur remplacement.

Concernant les coûts des prescriptions techniques de renforcement du bâti, on constate au travers des informations fournies dans l'ANNEXE D que ceux-ci varient essentiellement en fonction de la destination du bâtiment, mais malgré tout des solutions peu coûteuses, notamment celles basées sur l'isolation, sont économiquement possibles.

5.4 MISE EN SÉCURITÉ DE NIVEAU N3 : LA ZONE DE MISE À L'ABRI

Dans le cas où un diagnostic de niveau de sécurité « N3 » est nécessaire, il est indispensable de définir une zone de mise à l'abri. Cette zone devra répondre aux exigences suivantes :

- ❑ Se situer sur une face opposée à l'aléa : le local ne devra pas se situer sur une façade du bâtiment qui fait face au site présentant le risque ;
- ❑ Être un réel local d'habitation : il est nécessaire que dans le cas de phénomènes dangereux à cinétique lente, les personnes puissent y rester un certain temps. Une surface de 9 m² généralement employée dans la construction peut être retenue pour les habitations. Pour les autres destinations de bâtiments, un local avec une surface de 1 m²/personne apparaît suffisant ;
- ❑ Ne pas posséder une surface vitrée supérieure à 30% de la surface de son mur extérieur : pour des surfaces plus importantes l'apport d'une paroi à 60°C et d'une surface vitrée de 2,5 kW/m² tend à augmenter dangereusement le niveau température ambiante dans le local [3].
- ❑ Détenir un dispositif d'occultation non combustible de la fenêtre et ne pas posséder d'éléments traversant (grille d'aération, etc...) afin d'éviter la propagation du feu ;
- ❑ Présenter un degré de résistance au feu REI 60 sur toute l'enveloppe interne du local : un diagnostic spécifique de ce local sera donc à réaliser.
- ❑ Le bâtiment enveloppe de ce local de mise à l'abri devra présenter des performances permettant de répondre au moins au niveau d'aléa inférieur pour un niveau de sécurité N1.

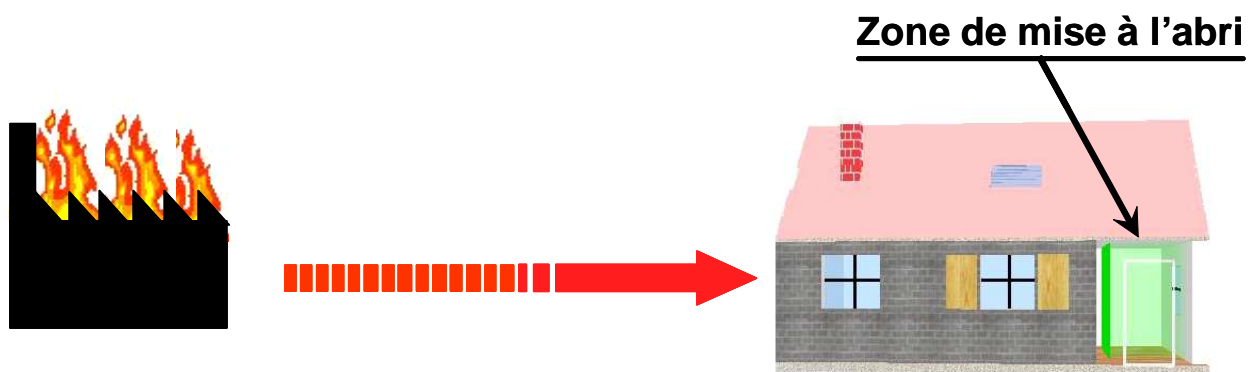


Figure 5-2 : Schématisation de la définition d'un local de mise à l'abri : niveau de sécurité « N3 »

6 MÉTHODOLOGIE ALTERNATIVE POUR LA CARACTÉRISATION DE LA VULNÉRABILITÉ DU BÂTI

6.1 PRINCIPE

La caractérisation de la performance des systèmes constructifs soumis à un aléa thermique [3], a montré que pour des flux supérieurs à 12 kW/m² des objectifs de performance en termes de règles constructives n'étaient pas envisageables sans effectuer une étude spécifique.

On propose alors une méthode alternative aux prescriptions descriptives définies précédemment. Cette alternative se base sur une étude spécifique du bâti afin de proposer des solutions constructives adaptées pour les zones TF et TF+ pouvant présenter des flux radiatifs incidents supérieurs à 12 kW/m².

Dans le cas de zones d'aléa où les solutions techniques de protection préconisées par la méthode de réduction de la vulnérabilité décrite au chapitre précédent ne peuvent être appliquées pour des raisons d'exploitation, les services chargés de l'élaboration du PPRT peuvent alors s'appuyer sur cette méthode alternative pour élaborer un cahier des charges pour une étude spécifique de réduction de la vulnérabilité.

La caractérisation des bâtiments tels que définie au chapitre 3 pourra préalablement être établie au moyen des fiches situées en ANNEXE A et ajoutée à ce cahier des charges.

6.2 MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, Efectis France a développé une méthodologie permettant d'apporter des réponses aux seuils critiques définis dans l'arrêté du 29 septembre 2005 [8].

Cette méthodologie élaborée dans le cadre de l'analyse sur plusieurs sites industriels SEVESO II consiste :

- D'une part, à caractériser la vulnérabilité d'un bâti vis-à-vis des cibles situées à l'intérieur des ouvrages, en cas d'aléa thermique externe ;
- Et d'autre part, de définir le cas échéant, un cahier des charges des prescriptions techniques des mesures de renforcement du bâti à mettre en œuvre pour garantir l'intégrité physique des cibles situées à l'intérieur.

Pour ce faire, il convient d'étudier :

- La réponse des éléments de construction constituant l'enveloppe externe du bâti ;
- L'influence directe et indirecte des effets thermiques et de surpression sur les équipements et les personnes situés à l'intérieur ;
- La mise en sécurité de l'ouvrage pour permettre le confinement des personnes et/ou d'éviter la propagation de l'incendie au bâtiment.

Le logigramme montré Figure 6-1 explicite les différentes phases d'analyse à mettre en œuvre.

6.3 PHASE D'ANALYSE

6.3.1 Phase n°1 : Caractérisation des effets thermiques

Cette phase d'analyse consiste à modéliser l'éclairement énergétique reçu par les différents éléments de l'enveloppe externe du bâti en termes d'intensité et de durée du phénomène. Plusieurs scénarios d'accidents sont à envisager, afin de prendre en compte l'ensemble des sollicitations thermiques externes susceptibles d'impacter l'enveloppe externe du bâti. La modélisation des actions thermiques reçues par les éléments de l'enveloppe externe du bâtiment, consiste à dissocier deux cas de figure :

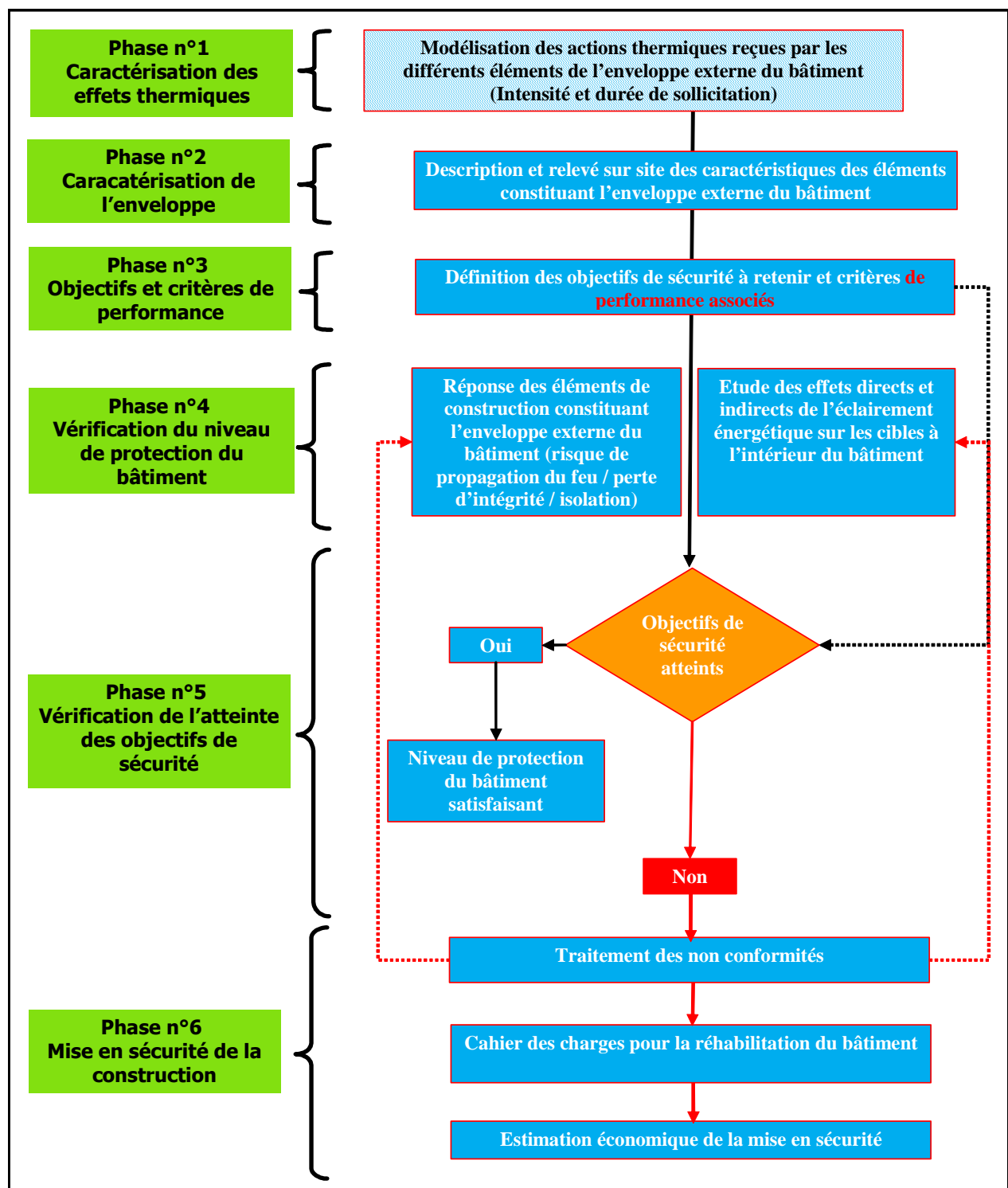


Figure 6-1 : Méthodologie d'analyse des effets thermiques sur l'enveloppe externe d'une construction

□ Élément directement au contact des flammes :

Dans ce cas, les actions thermiques appliquées prennent en compte les échanges convectifs et radiatifs. Quel que soit le type de feu, le flux entrant dans l'élément est la somme d'une composante convective et d'une composante radiative :

- Densité du flux entrant par convection : $\varphi_c = h (T_g - T_s)$ (W/m²),
- Densité du flux entrant par rayonnement : $\varphi_r = \varepsilon \sigma (T_g^4 - T_s^4)$ (W/m²),

où :

- σ : est la constante de Stefan Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$ W/m²/K⁴),
- T_s : température de la surface de l'élément chauffé (K),
- T_g : température des gaz (K)
- h : coefficient de convection à la surface de l'élément chauffé (W/m²/K),
- ε : coefficient d'échange résultant homogène à une émissivité (-).

□ Élément situé en dehors des flammes :

Dans le cas où l'élément est situé en dehors des flammes, le mode de transfert de chaleur est principalement radiatif, du fait des faibles échanges convectifs, qui sont essentiellement liés à la température de la paroi exposée.

L'éclairement énergétique reçu par les éléments de l'enveloppe d'un bâtiment situés hors des flammes prend en compte la géométrie et la position de la cible, ainsi que les écrans naturels limitant leur exposition.

6.3.2 Phase n°2 : Description de l'ouvrage et caractérisation de l'enveloppe externe

Cette phase d'analyse nécessite la réalisation d'un relevé sur site des matériaux et systèmes constructifs constituant l'enveloppe externe du bâti (Nature, épaisseur et mode de fixation ou de liaison des matériaux). Ce dernier doit être réalisé pour l'ensemble des parties de l'ouvrage listées dans le tableau ci-dessous.

Partie d'ouvrage	Sous-parties d'ouvrage
Façade	Paroi extérieure
	Isolation thermique et/ou acoustique
Couverture	Couverture
	Support de couverture
	Isolation thermique et/ou acoustique
Toiture	Étanchéité
	Support d'étanchéité
	Protection d'étanchéité
Éléments de structure	Charpente
	Éléments verticaux
Menuiseries extérieures	Châssis vitrés mobiles ou fixes en façade et couverture
	Portes
	Équipements d'occultation (volets, stores extérieurs, etc.)
Équipements	Bouche d'aération et/ou de ventilation
	Calfeutrement et traversées de câbles en façade ou couverture
	Exutoires de fumées
	Bandes d'éclairage zénithal
	Climatisation

Tableau 6-1 : Parties d'ouvrage à caractériser lors du relevé des matériaux

6.3.3 Phase n°3 : Objectifs et critères

Il s'agit dans le cadre de cette approche de définir les objectifs de sécurité à atteindre pour la protection des cibles situées à l'intérieur du bâtiment. Les objectifs s'appuient sur l'existence de critères de performances normalisés, ce qui permet de s'assurer que les objectifs sont atteints.

Les cibles à prendre en compte dans le cadre de cette approche sont :

- Les personnes ;
- Les matériaux combustibles (aménagement intérieur, produits stockés, etc.) ;
- Les équipements techniques ayant une fonction de sûreté de fonctionnement (Salle de contrôle, poste de commande, etc.) ;
- Les installations à risques pouvant conduire à la propagation du feu à l'intérieur du bâti (installations industrielles contenant des produits toxiques, inflammables, explosifs, etc.) ;

Les critères de performances à retenir pour les personnes en cas de confinement sont :

- Seuil critique des effets radiatifs pour les personnes en cas d'exposition prolongée ;
- Seuil critique des effets convectifs pour les personnes en cas d'exposition prolongée ;
- Seuil critique des effets conductifs pour les personnes ;

Les critères de performances à retenir pour les biens sont :

- Seuil critique de dégradation thermique pour les produits dangereux ;
- Seuil critique d'inflammation pour les matériaux combustibles (propagation du feu) ;
- Seuil critique de perte d'intégrité ou d'emballage pour les installations à risques ;
- Seuil critique de dysfonctionnement pour les équipements ayant une fonction de sûreté.

6.3.4 Phase n°4 : Vérification du niveau de protection du bâtiment

Cette phase consiste à caractériser la vulnérabilité de l'enveloppe externe du bâti en cas d'aléa thermique. Pour ce faire, il convient de vérifier :

- D'une part, la réponse des éléments constituant l'enveloppe externe du bâti (perte d'intégrité, inflammation, dégradation thermique) ;
- Et d'autre part, les effets directs et indirects du rayonnement thermique sur les cibles situées à l'intérieur du bâti.

Réponse des éléments constituant l'enveloppe externe du bâtiment

Cela consiste à étudier la réponse des éléments en terme de réaction et de résistance feu, à savoir : les risques de propagation du feu au bâtiment par l'inflammation des éléments constituant l'enveloppe externe du bâti, ou encore les risques de perte d'intégrité d'éléments de construction situés en façade et couverture (par exemple les châssis vitrés, les exutoires de désenfumage, etc.).

Cette étude doit être réalisée sur tous les produits directement exposés, ou susceptibles de se dégrader suite à un effet indirect (isolants combustibles en façade). Cette étude est réalisée tant sur l'enveloppe générale du bâtiment (façades, couverture ou toiture, structure porteuse) que sur les différents éléments singuliers (portes, exutoires, éléments fusibles, traversées de parois ou de toiture, etc.).

Il est bien entendu nécessaire de faire référence aux règles et normes en vigueur sur la caractérisation des différents produits de la construction utilisés, en particulier les essais de réaction et de résistance au feu réalisés par un laboratoire agréé par le ministère de l'intérieur.

Étude des effets directs et indirects sur les cibles situées à l'intérieur du bâti

Cela consiste à étudier les effets directs et indirects du flux thermique sur les produits, les équipements et les personnes situés à l'intérieur du bâtiment. Cela nécessite la réalisation de calculs de transfert thermique permettant de connaître :

- L'évolution de la température à l'intérieur du complexe (dégradation thermiques des isolants combustibles) et en face non exposée de l'enveloppe ;
- Le flux transmis au travers des éléments translucides ;
- Etc.

On entend par effets directs, le rayonnement thermique reçu par les cibles situées à l'intérieur du bâti au travers des éléments translucides en toiture (exutoires, lanterneaux, vitrage, verrières, etc.) ou en façade (vitrage, ouverture, bouche d'aération ou de ventilation, etc.). Les effets directs sont à évaluer en considérant l'atténuation du flux radiatif par l'élément et la position la plus défavorable des cibles (par exemple : cible humaine située à 2 m de hauteur, ou hauteur maximale d'un stockage, etc.).

On entend par effets indirects, le flux de chaleur convectif (élévation de la température ambiante du local) induit par l'échauffement de la face non exposée de l'enveloppe externe du bâti. Pour étudier les effets indirects du rayonnement thermique sur le personnel ou les matériaux, cela consiste à estimer le flux rayonné par les parois internes du local et l'élévation de la température de l'air ambiant dans les locaux.

6.3.5 Phase n°5 : Vérification de l'atteinte des objectifs de sécurité

Cette phase consiste à vérifier si les critères de performances définis lors de la phase n°3 sont atteints. Si jamais les critères de performances n'étaient pas satisfaits, il est nécessaire de procéder à la mise en sécurité du bâtiment en étudiant les non conformités.

6.3.6 Phase n°6 : Mise en sécurité du bâtiment

La phase de mise en sécurité du bâtiment, consiste à proposer et étudier des solutions de renforcement du bâti pour garantir la sécurité des cibles. Les solutions étudiées peuvent s'appuyer sur celles présentées dans le cadre de ce présent guide.

Les systèmes constructifs retenus, devront obligatoirement faire l'objet d'une étude de validation, afin de vérifier d'une part, leur comportement au feu et d'autre part, le respect des critères de performances associés aux objectifs de sécurité définis dans le cadre de l'étude.

La synthèse de cette phase consiste à rédiger un cahier des charges chiffré de la réhabilitation du bâtiment.

7 RÉFÉRENCES

- [1] Article L. 515-8 – Section 3 : Installations susceptibles de donner lieu à des servitudes d'utilité publique – Chapitre V : Dispositions particulières à certaines installations – Code de l'environnement
- [2] Article L. 515-15 – Section 6 : Installations soumises à un plan de prévention des risques technologiques – Chapitre V : Dispositions particulières à certaines installations – Code de l'environnement
- [3] « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti face à un phénomène dangereux technologique thermique ». Rapport E-ING-07/564 Efectis France/LNE, Novembre 2007.
- [4] Guide Méthodologique des PPRT - MEDAD Octobre 2007
- [5] Guide d'évaluation des travaux – Appartements et maisons individuelles – ANAH – 2004
- [6] Observatoire des coûts en travaux de réhabilitation – ANAH FFB – Tomes 1 et 2 – 2003-2004
- [7] Décret n° 2005-1130 du 7 septembre 2005 relatif aux plans de prévention des risques technologiques – Ministère de l'Écologie et du Développement Durable Journal Officiel du 9 septembre 2005.
- [8] Arrêté du 29 septembre 2005, relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation. Journal Officiel du 7 octobre 2005.

ANNEXE A FICHES DE CARACTÉRISATION D'UN BÂTIMENT

Éléments de structure directement exposés (poteau, poutre)					
Nature	Acier	<input type="checkbox"/>	Béton	<input type="checkbox"/>	Épaisseur (cm)
	Bois	<input type="checkbox"/>	Autre	<input type="checkbox"/>	

Tableau A-1 : Caractérisation des éléments de structure

Façade opaque lourde (paroi extérieure)						
Mur principal	Façade rideau	<input type="checkbox"/>	Mur double	<input type="checkbox"/>	Épaisseur (cm)	
	enduit plastique	<input type="checkbox"/>	enduit minéral	<input type="checkbox"/>		
	Brique pleine/perforée	<input type="checkbox"/>	Brique creuse	<input type="checkbox"/>	Bloc de terre cuite	<input type="checkbox"/>
	Bloc de béton plein/perforée	<input type="checkbox"/>	Bloc de béton creux (parpaing)	<input type="checkbox"/>	Bloc de béton cellulaire	<input type="checkbox"/>
	Béton banché/préfabriqué	<input type="checkbox"/>	Pierre naturelle (calcaire, grès,...)	<input type="checkbox"/>	Autres	<input type="checkbox"/>
Isolant	Polystyrène (PSE/PSX)	<input type="checkbox"/>	Laine verre/roche (LdV/LdR)	<input type="checkbox"/>	Polyuréthane (PUR/PIR)	<input type="checkbox"/>
	Aucun	<input type="checkbox"/>				

Tableau A-2 : Caractérisation des façades opaques lourdes

Façade opaque légère (paroi extérieure)						
Peau	Métal/Pierre/Ciment	<input type="checkbox"/>	Plastique (PVC)	<input type="checkbox"/>	Épaisseur (cm)	
Isolant	Polystyrène (PSE/PSX)	<input type="checkbox"/>	Laine verre/roche (LdV/LdR)	<input type="checkbox"/>	Polyuréthane (PUR/PIR)	<input type="checkbox"/>
	Aucun	<input type="checkbox"/>				

Tableau A-3 : Caractérisation des façades opaques légères

Couverture/Toiture				Épaisseur (cm)
Nature	Couverture <input type="checkbox"/>	Toiture <input type="checkbox"/>	Toiture protégée (dalle, gravillon,...) <input type="checkbox"/>	
Charpente	Bois <input type="checkbox"/>	Béton <input type="checkbox"/>	Métallique <input type="checkbox"/>	
	Autre <input type="checkbox"/>			
Isolant	Intérieur <input type="checkbox"/>	Extérieur <input type="checkbox"/>		
	Polystyrène (PSE/PSX) <input type="checkbox"/>	Laine verre/roche (LdV/LdR) <input type="checkbox"/>	Polyuréthane (PUR/PIR) <input type="checkbox"/>	
	Aucun <input type="checkbox"/>			

Tableau A-4 : Caractérisation des couvertures et toitures

Façade translucide (fenêtre, baie, lucarne, porte vitrée,...)				surf. transl/ surf. mur (%)
Châssis	Bois <input type="checkbox"/>	Plastique (PVC) <input type="checkbox"/>	Métallique <input type="checkbox"/>	
	Autre <input type="checkbox"/>			
Vitrage	Verrier <input type="checkbox"/>	Plastique <input type="checkbox"/>		
	Simple vitrage <input type="checkbox"/>	Double vitrage <input type="checkbox"/>	Double vitrage thermique <input type="checkbox"/>	

Tableau A-5 : Caractérisation des façades translucides

Éléments singuliers (hors occultant)			
Nature	Exutoire de désenfumage <input type="checkbox"/>	Lanterneau d'éclairage zénithal <input type="checkbox"/>	Traversée câbles et canalisation <input type="checkbox"/>
	Évacuation eaux de pluie <input type="checkbox"/>	Bouche de vent/aération <input type="checkbox"/>	Balcon et terrasse > R+1 <input type="checkbox"/>

Tableau A-6 : Caractérisation des éléments singuliers

Porte (faiblement vitrée)	
Nature	Bois <input type="checkbox"/> Plastique (PVC) <input type="checkbox"/> Métallique <input type="checkbox"/> Autre
Isolant	Polystyrène (PSE/PSX) <input type="checkbox"/> Laine verre/roche (LdV/LdR) <input type="checkbox"/> Polyuréthane (PUR/PIR) <input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/>

Tableau A-7 : Caractérisation des portes

Occultation et contrevent (volets, store, lamelles,...)	
Type	Intérieur <input type="checkbox"/> Extérieur <input type="checkbox"/> Volet <input type="checkbox"/> Store <input type="checkbox"/> Lamelle <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>
Nature	Bois <input type="checkbox"/> Plastique (PVC) <input type="checkbox"/> Métallique <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>

Tableau A-8 : Caractérisation des occultants et contrevents

ANNEXE B EXIGENCES EN FONCTION DU NIVEAU D'INTENSITÉ DES EFFETS THERMIQUES

B.1 EXIGENCES EN TERMES D'ISOLATION THERMIQUE ET RADIATIVE DE L'ENVELOPPE EXTERNE

B.1.1 Façades opaques lourdes

Pour les façades opaques lourdes, les objectifs de performance sont fixés en termes d'épaisseurs minimales de matériau principal du mur à mettre en œuvre en fonction de la nature de l'isolant.

	Niveau d'effet thermique :	< 3 kW/m ²				< 5 kW/m ²				< 8 kW/m ²				< 12 kW/m ²			
	Nature isolant	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR
Épaisseur minimale d'enveloppe (cm)	Pierre naturelle	40	20	20	20	50	23	20	20	70	50	40	20	80	60	50	40
	Brique pleine/perforée	34	12	9	9	-	19	15	9	-	-	34	19	-	-	-	23
	Brique creuse	-	20	15	15	-	18	15	15	-	-	33	18	-	-	-	28
	Bloc de terre cuite	15	15	15	15	20	20	15	15	22	25	20	15	30	25	20	15
	Bloc de béton plein/ perforée et banché	23	20	20	20	-	25	23	20	-	-	-	25	-	-	-	28
	Bloc de béton creux	23	20	20	20	-	23	20	20	-	-	-	20	-	-	-	20
	Bloc de béton cellulaire	10	7	5	5	15	10	5	5	20	20	15	7	25		20	10

Tableau B-9 : Épaisseurs minimales de l'enveloppe extérieure des façades opaques lourdes en fonction de la nature de l'isolant pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m² pour un phénomène continu permanent

	Niveau d'effet thermique :	< 3 kW/m ²				< 5 kW/m ²				< 8 kW/m ²				< 12 kW/m ²			
	Nature isolant	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR
Épaisseur minimale d'enveloppe (cm)	Pierre naturelle	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Brique pleine/perforée	9	9	9	9	12	9	9	9	15	12	9	9	15	12	12	9
	Brique creuse	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15
	Bloc de terre cuite	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	15
	Bloc de béton plein/ perforée et banché	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Bloc de béton creux	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	23	20	20	20
	Bloc de béton cellulaire	7	7	7	7	10	7	7	7	15	10	10	7	15	15	15	10

Tableau B-10 : Épaisseurs minimales de l'enveloppe extérieure des façades opaques lourdes en fonction de la nature de l'isolant pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m² pour un phénomène continu permanent d'une durée de 2h ou un phénomène instantané.

(-) : épaisseur à définir spécifiquement (cf. « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti » [3]

(PSE/PSX : polystyrène ; PUR/PIR : polyuréthane ; LDV/LDR : laine de verre et minérale)

B.1.2 Façades opaques légères

Pour les façades opaques légères, principalement des bardages, les règles constructives fixent des épaisseurs minimales de l'âme isolante, la nature de l'isolant et du revêtement en fonction du niveau de l'intensité.

Niveau d'effet thermique :		< 3 kW/m ²				< 5 kW/m ²				< 8 kW/m ²				< 12 kW/m ²			
Nature isolant		sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR	sans isolant	isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR
Épaisseur minimale d'isolant (cm)	Métal/Pierre/Ciment	-	4	3	3	-	-	3	5	-	-	-	8	-	-	-	10
	Bois	-	4	4	4	-	4	4	4	-	-	-	4	-	-	-	-
	Plastique	-	4	3	3	-	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau B-11 : Épaisseurs minimales et nature de l'âme isolante et nature du revêtement pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m² (phénomène continu ou instantané)

(-) : épaisseur à définir spécifiquement (cf. « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti » [3])
(PSE/PSX : polystyrène ; PUR/PIR : polyuréthane ; LDV/LDR : laine de verre et minérale)

B.1.3 Couverture

Pour la couverture, les règles constructives concernent, la nature de la charpente et de ses éléments et de l'épaisseur d'isolant, si des combles sont aménagés ou que la couverture donne directement sur un local avec des personnes.

		Charpente	Épaisseur minimale d'isolant* (cm)		
			isolant PSE/PSX	isolant PUR/PIR	isolant LDV/LDR
Niveau d'effet thermique	< 3 kW/m ²	bois/alu/acier/ béton	6	6	6
	< 5 kW/m ²	bois/acier/ béton		10	10
	< 8 kW/m ²	bois/acier/ béton			10
	< 12 kW/m ²	acier/béton			10

Tableau B-12 : Épaisseur minimale d'isolant et nature de la charpente pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m² (phénomène continu ou instantané)

(*) si présence directe de personnes sous couverture (combles aménagés)

B.1.4 Toiture

Comme pour la couverture, les objectifs de performances de la toiture sont liés à l'épaisseur d'isolant, mais aussi à la présence d'une protection mécanique. Pour le cas de flux supérieurs à 8 kW/m², la mise en place d'une toiture sèche doit être envisagée.

		Protection mécanique	Épaisseur minimale d'isolant (cm)	
			isolant PUR/PIR	isolant LDR
Niveau d'effet thermique	< 3 kW/m ²	NON	3	3
	< 5 kW/m ²	OUI	3	5
	< 8 kW/m ²	OUI		8
	< 12 kW/m ²	OUI		10*

Tableau B-13 : Épaisseur minimale d'isolant et nature de la protection pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m² (phénomène continu ou instantané)

(*) Mise en place d'une sur toiture avec isolation laine de roche ou d'une toiture béton d'épaisseur adaptée

B.1.5 Menuiseries extérieures

Pour les menuiseries extérieures, des règles constructives des fenêtres (châssis et vitrage), portes et occultations contrevents (volets extérieurs) sont fixés en fonction des performances à la déformation par gradients thermiques. Pour les portes, l'effet de l'âme isolante est important.

		Vitrage	Châssis	Occultation Contre-vent	Porte	
					Peau	âme isolante
Flux incident (kW/m ²) Dose incidente [(kW/m ²) ^{4/3} .s]	3 600	Double vitrage	PVC/Bois Alu- inox/Acier	PVC/Bois Métal	PVC/Bois Métal	sans PSE/PSX PUR/PIR LDV/LDR
	5 1000	Double vitrage	Bois Alu- inox/Acier	Bois/Métal	Bois/Métal	PUR/PIR LDV/LDR
	8 1800	Double vitrage	Bois inox/Acier	Bois/Métal	Bois/Métal	LDV/LDR
	12 -	Châssis vitré REI30		Métal	Porte REI30	

Tableau B-14 : Prescription sur les éléments de menuiseries extérieures pour des niveaux d'effets thermique de 3, 5, 8 et 12 kW/m²

Il faut noter la prescription d'éléments coupe-feu (REI60) pour des flux supérieurs à 8 kW/m².

B.2 EXIGENCES EN TERMES DE NON RUINE DU BÂTIMENT

Le tableau ci-dessous décrit les prescriptions techniques à retenir dans le règlement du PPRT pour les éléments de structures extérieures. Comme illustré dans l'Annexe H du document « Caractérisation de la vulnérabilité et réduction du bâti » [3], l'échauffement de la structure porteuse d'un bâtiment dépend principalement de la nature de son enveloppe externe qui la protège. Par conséquent, les prescriptions définies dans le tableau ci-dessous sont uniquement valables pour des éléments de structures extérieures directement exposés au rayonnement thermique.

Flux	Exigences minimales pour les structures extérieures (nature des éléments)
< 3 kW/m ²	Aluminium Acier non protégé Béton Bois massif et lamellé collé
< 5 kW/m ²	Aluminium Acier non protégé Béton Bois massif et lamellé collé
< 8 kW/m ²	Acier non protégé Béton Bois massif et lamellé collé
< 25 kW/m ²	Acier non protégé Béton
≥ 25 kW/m ²	Étude spécifique de résistance au feu

Tableau B-15 : Prescriptions techniques pour les éléments de structures extérieures

B.3 EXIGENCES EN TERMES DE NON PROPAGATION DU FEU

Au regard des analyses menées, le tableau ci-dessous décrit les prescriptions techniques à retenir en matière de réaction au feu dans le règlement du PPRT. Les recommandations proposées ci-dessous sont basées sur les tableaux des annexes D et E de l'étude de caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti » [3], et les exigences de flux thermique applicables. Elles sont reprises par zones dans le tableau de synthèse ci-dessous :

B.3.1 Performance en réaction au feu des matériaux de façades

Flux	Exigences minimales des matériaux constituant l'enveloppe externe du bâtiment (menuiseries extérieures – revêtements de façade – grilles d'aération – isolants combustibles non protégés en façade – Équipements d'occultation des baies)	
	Classement en réaction au feu ²	Température de dégradation thermique des matériaux ³
< 3 kW/m ²	Toutes classes de matériaux, sans restriction	Pas de recommandation complémentaire
< 5 kW/m ²	Matériaux extérieurs classés au moins C-s2 ; d0 ou M2 Classement conventionnel ou marquage CE (Euroclasse) ou classement M	Matériaux ayant une température de dégradation supérieure à 200°C PET, PTFE, PIR, Bois Laines de roche, de verre Pierre, béton Autres matériaux après essai
< 8 kW/m ²	Matériaux extérieurs classés au moins B-s1 ; d0 ou M1 Classement conventionnel ou marquage CE (Euroclasse) ou classement M	Matériaux ayant une température de dégradation supérieure à 280°C PTFE Laines de roche, de verre Pierre, béton Autres matériaux après essai
< 12 kW/m ²	Matériaux extérieurs classés au moins A2 ou M0 Classement conventionnel ou marquage CE (Euroclasse) ou classement M	Pas de dégagement de fumée significatif à 500°C Laines de roche, de verre Pierre, béton Autres matériaux après essai
≥ 12 kW/m ²	Matériaux extérieurs classés A1 Classement conventionnel ou marquage CE (Euroclasse)	Pas de recommandation complémentaire Matériaux minéraux

Tableau B-16 : Exigences minimales des matériaux constituant l'enveloppe externe du bâtiment (phénomène continu ou instantané).

² L'objectif de ce critère est de limiter l'inflammation, le dégagement de fumées en cas d'inflammation et la présence de gouttes si le matériau est thermofusible. Cet élément est disponible pour tous produits de construction circulant en Europe et bénéficiant du marquage CE (Euroclasse – Directive Produit de construction). A défaut de marquage CE pour une famille de produit, le classement M s'applique. Les classements conventionnels des produits classés A1 au sens de l'arrêté du 21 novembre 2001 et ceux des produits à base de bois au sens de l'arrêté du 13 août 2003 demeurent applicables

³ L'objectif de ce critère est de ne pas produire de gaz toxiques ou inflammables, ni de produire de dégradations mécaniques pouvant entraîner la chute d'objets. La température est bien inférieure à celle nécessaire à l'inflammation des matériaux considérés

B.3.2 Éléments singuliers de l'enveloppe externe

Éléments singuliers	Flux thermique incident				
	< 3 kW/m ²	< 5 kW/m ²	< 8 kW/m ²	< 12 kW/m ²	≥ 12 kW/m ²
Exutoire de désenfumage	Aucune restriction	Aucune restriction	Capotage opaque aluminium, inox ou acier <i>Ou</i> Mise en place d'une grille métallique à maille fine (réduction du facteur de vue – récupération des matières dégradées)	Exutoire de désenfumage avec capotage opaque acier + 10 mm d'isolant classé au minimum A2	Occultation des exutoires en couverture <i>Ou</i> Désenfumage naturel uniquement en façade non exposée <i>Ou</i> Système de désenfumage mécanique
Lanterneaux d'éclairage zénithal	Aucune restriction	Aucune restriction	Occultation <i>Ou</i> Mise en place d'une grille métallique à maille fine (réduction du facteur de vue – récupération des matières dégradées)	Occultation <i>Ou</i> Remplacement par exutoire de désenfumage avec capotage opaque acier + 20 mm d'isolant classé au minimum A2	Occultation
Traversé de câbles et canalisation de fluides en façade ou couverture	Aucune restriction	Calfeutrement des traversés de câbles et de fluide	Calfeutrement des traversés de câbles et de fluide + Capotage des câbles avec matériaux classés A2 <i>Ou</i> câbles CR1	Interdiction des câbles et canalisations de fluides dangereux (gaz, etc.) en façade exposée ou protection par capotage isolé avec matériaux classés A2 <i>Ou</i> câbles CR1	Interdiction des câbles et canalisations de fluides dangereux (gaz, etc.) en façade exposée <i>ou</i> protection par capotage isolé avec matériaux classés A2
Équipements d'évacuation des eaux pluviales	Aucune restriction	Aucune restriction	Zinc <i>Ou</i> Matériaux classés A1		
Bouche de ventilation ou d'aération	Aucune restriction	Grille métallique	Grille métallique à maille fine (facteur de trous <50%)	Interdiction des bouches d'aération et de ventilation en façade exposée <i>Ou</i> protection par capotage isolé avec matériaux A2	Interdiction des bouches d'aération et de ventilation en façade exposée <i>Ou</i> protection par capotage isolé avec matériaux A1
Équipements d'occultation des baies (store extérieurs – volet, etc.)	Aucune restriction	Aucune restriction	Équipements d'occultation métallique <i>ou</i> bois massif	Équipements d'occultation acier	
Balcon et terrasse pour bâtiment > R+1	Aucune restriction	Aucune restriction	Interdiction de balcons et terrasses en façades exposées		

Tableau B-17 : Prescriptions techniques pour les éléments singuliers de l'enveloppe externe

ANNEXE C SYNTHÈSES DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES DE MISE EN PROTECTION DU BÂTI EXISTANT FACE À UN ALÉA THERMIQUE

Le diagnostiqueur devra se référer aussi au document sur la « Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti face à un phénomène dangereux technologique thermique » [3] où les prescriptions y sont plus détaillées.

Solutions	Techniques	Tableaux de référence	Remarques
FAÇADES OPAQUES LOURDES			
1	Isolation par l'intérieur Augmentation de l'isolant existant ou remplacement par un isolant performant	Tableau B-9 p.27 pour niveau N1 Tableau B-10 p.28 pour niveau N2 + Tableau B-16 p.32	Si isolant existant inconnu alors enlèvement et nouvel isolant adapté à l'aléa
2	Isolation par extérieur Augmentation du mur existant avec le même matériau	Tableau B-9 p.27 pour niveau N1 Tableau B-10 p.28 pour niveau N2 + Tableau B-16 p.32	Nécessite de bien connaître Le matériau présent. La méthode non validée pour deux matériaux.
3	Écran thermique Mise en place d'un bardage simple ou double peau, déporté ou non	Tableau C-21 p.37 + Tableau B-16 p.32	Vérifier l'impact de ce système avec l'ouvrage
FAÇADES OPAQUES LEGERES			
1	Remplacement Mise en place d'une façade opaque légère performante et répondant aux exigences	Tableau B-11 p.29 + Tableau B-16 p.32	Pas de changement de la structure porteuse

Tableau C-18 : Prescriptions techniques de protection pour les façades opaques lourdes et légères

Solutions	Techniques	Tableaux de référence	Remarques
COUVERTURES			
1	Isolation par l'intérieur Augmentation de l'isolant existant ou remplacement par un isolant performant	Tableau B-12 p.30 + Tableau B-16 p.32	Ne convient pas si charpente en bois et intensité supérieure à 8 kW/m ²
2	Isolation par extérieur (« sarking ») Mise en place d'un isolant entre couverture et charpente	Tableau B-12 p.30 + Tableau B-16 p.32	S'assurer que les fixations de la couverture sont métalliques. Ne pas employer de pare-vapeur combustible
3	Sur couverture Système d'écran thermique identique aux façades opaques lourdes	Tableau C-21 p.37 + Tableau B-16 p.32	S'assurer que la structure porteuse de la sur-couverture est métallique.
TOITURES			
1	Remplacement Mise en place d'une toiture performante et répondant aux exigences (isolant)	Tableau B-13 p.30 + Tableau B-16 p.32	Convient pour les toitures légères
2	Sur toiture Système d'écran thermique identique aux façades opaques Lourdes avec une pente d'au moins 2% (toiture sèche)	Tableau C-21 p.37 + Tableau B-16 p.32	S'assurer que la structure porteuse de la sur-toiture est métallique
3	Protection mécanique Mise en place d'une protection par dalle, gravillon, terre végétalisée	Tableau B-9 p.27	Adapté pour les forts aléas et toitures lourdes

Tableau C-19 : Prescriptions techniques de protection pour les couvertures et toitures

Solutions	Techniques	Tableaux de référence	Remarques
PORTES			
1	Remplacement Mise en place d'une porte performante et répondant aux exigences	Tableau B-14 p.31 + Tableau B-16 p.32	Si intensité importante (>12 kW/m ²) alors porte coupe-feu
2	Déplacement Suppression de la porte et déplacement sur une face opposée à l'aléa		Adapté pour l'industrie
3	Écran thermique Système d'écran thermique identique aux façades opaques lourdes	Tableau C-21 p.37 + Tableau B-16 p.32	Écran forcément déporté
FENÊTRES ET FAÇADES TRANSLUCIDES			
1	Occultation permanente Mise en place d'une façade opaque répondant aux exigences du bâti futur (bardage/écran en extérieur ou comblement) Mise en place de contrevents ou occultants particuliers (volet à lamelles, casquette, écran déporté)	Tableau B-9 p.27 Tableau C-21 p.37 + Tableau B-16 p.32	Situation particulière : se référer à l'étude de la caractérisation et réduction de la vulnérabilité [3]
2	Occultation non permanente Mise en place de volets opaques extérieurs ou intérieurs, de stores extérieurs à lamelles pivotantes, de volets guillotine avec fermeture fusible	Tableau B-16 p.32	Adapté aux phénomènes à cinétique lente
3	Remplacement Mise en place d'une menuiserie performante et répondant aux exigences	Tableau B-14 p.31 + Tableau B-16 p.32	S'assurer que les surfaces vitrées sont inférieures à 30% de la surface du mur sollicité. Si intensité importante (>12 kW/m ²) alors vitrage coupe-feu

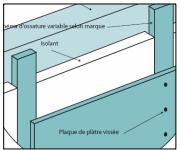
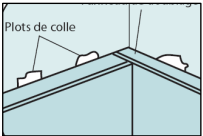
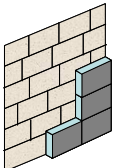
Tableau C-20 : Prescriptions techniques de protection pour les éléments de menuiseries extérieures

FLUX THERMIQUE (kW/m ²)		PAREMENTS INTÉRIEUR / EXTÉRIEUR		AME ISOLANTE	
INCIDENT	TRANSMIS	NATURE	ÉPAISSEUR (mm)	NATURE	ÉPAISSEUR (cm)
3	< 3	Bardage métallique	0,75	Polystyrène	3
5	< 3	Bardage métallique	0,75	Polyuréthane	3
8	< 3	Bardage métallique	0,75	Laine de verre	3
12	<3	Bardage métallique	0,75	Laine de roche	5
5	3	Bardage métallique	0,75	Polyuréthane	3
8	3	Bardage métallique	0,75	Laine de roche	3
12	3	Bardage métallique	0,75	Laine de roche	5
8	5	Bardage métallique	0,75	Laine de roche	3
12	5	Bardage métallique	0,75	Laine de roche	5
12	8	Bardage métallique	0,75	Laine de roche	5
3	< 3	Métal/Pierre/Bois/Ciment	0,75/5/15/5	-	-
5	3	Métal/Pierre/Bois/Ciment	0,75/5/15/5	-	-
8	5	Métal/Pierre/Ciment	0,75/5/15/5	-	-
12	8	Métal/Pierre/Ciment	0,75/5/15/5	-	-

Tableau C-21 : Configuration d'écran thermique par bardage double et simple peau en fonction de l'intensité des effets thermiques

ANNEXE D ESTIMATIONS ÉCONOMIQUES DE LA MISE EN PROTECTION

D.1 ESTIMATION ÉCONOMIQUE DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES DES FAÇADES OPAQUES

Nature du renforcement du bâti	Nature des travaux	Conditions d'exécution	Coût de la réalisation (HT)	Ratio du coût de la réalisation (HT)	Causes de variation du coût de réalisation	Durée moyenne des travaux
Isolation thermique interne visée sur ossature métallique 	<ul style="list-style-type: none"> Démontage et remontage des radiateurs Fourniture et pose d'une cloison de doublage de 140 m² (ossature + plaques de plâtre + Isolation par 80 à 100 mm PSE / LDV / LDR / PUR / PIR 	Maison individuelle 5 pièces R+1 Ou Appartement 5 pièces	7000 € à 9100 €	50 €/m ² à 65 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Conditions techniques rencontrées (canalisation /électricité) Etat des murs existants Épaisseurs et nature de l'isolation 	5 jours
Isolation thermique interne collé 	<ul style="list-style-type: none"> Démontage et remontage des radiateurs Fourniture et collage de 140 m² des plaques de plâtre + 80 mm de PSE + pare-vapeur 	Maison individuelle 5 pièces Ou Appartement 5 pièces	5600 € à 7000 €	40 €/m ² à 50 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Conditions techniques rencontrées (canalisation /électricité) Etat des murs existants Épaisseurs de l'isolant 	1 semaine
Isolation thermique externe par vêtture (habitation individuelle) 	<ul style="list-style-type: none"> Fourniture et pose d'une vêtture avec 80 mm d'isolant Surface traitée =245 m² 	Maison individuelle Ou Bâtiment R+1	28 175 € à 34 400 €	115 €/m ² à 140 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Conditions techniques rencontrées Épaisseurs et nature de l'isolant 	3 semaines

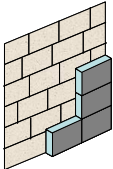
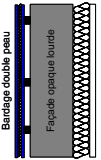
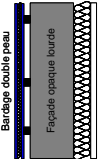

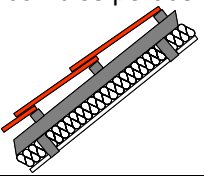
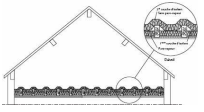
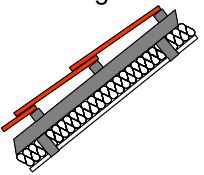
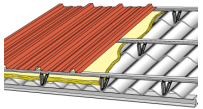
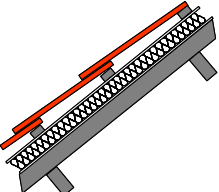
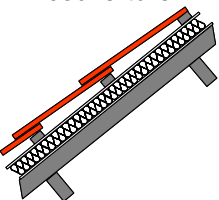
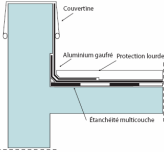
<p>Isolation thermique externe par vêtture (habitation collective)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Surface traitée =800 m² ▪ Fourniture et pose d'une vêtture avec 80 mm d'isolant ▪ Échafaudage 	<p>Immeuble R+5</p>	<p>110 000 € à 128 000 €</p>	<p>125 €/m² à 160 €/m²</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant ▪ Hauteur du bâtiment 	<p>5 semaines</p>
<p>Isolation thermique externe par bardage (habitation individuelle)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourniture et pose d'un bardage double peau sur façade lourde existante ▪ Surface traitée =245 m² ▪ 80 mm d'isolant 	<p>Maison individuelle Ou Bâtiment R+1</p>	<p>29 400 € à 36 750 €</p>	<p>120 €/m² à 150 €/m²</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant 	<p>3 semaines</p>
<p>Isolation thermique externe par bardage (habitation collective)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourniture et pose d'un bardage double peau sur façade lourde existante ▪ Surface traitée =800 m² ▪ 80 mm d'isolant ▪ Échafaudage 	<p>Immeuble R+5</p>	<p>120 000 € à 136 000 €</p>	<p>150 €/m² à 170 €/m²</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant ▪ Hauteur du bâtiment 	<p>6 semaines</p>
<p>Isolation par double un mur en maçonnerie</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construction d'un double mur en maçonnerie (épaisseur 20 cm) + Enduit ▪ Surface traitée = 100 m² 	<p>Maison individuelle Ou Bâtiment R+1</p>	<p>8 500 € à 10 000 €</p>	<p>85 €/m² à 100 €/m²</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant ▪ Hauteur du bâtiment 	<p>2 semaines</p>
<p>Remplacement de la façade légère d'un bâtiment par un bardage double peau ou panneaux sandwichs</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose et repose d'un bardage double peau avec 100 mm d'isolant ▪ Surface traitée =1000 m² 	<p>Bâtiment RdC</p>	<p>50 000 € à 80 000 €</p>	<p>50 €/m² à 80 €/m²</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant 	<p>3 semaines</p>

Tableau D-22 : Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des façades opaques

D.2 ESTIMATIONS ÉCONOMIQUES DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES DE MISE EN PROTECTION DES COUVERTURES ET TOITURES

Nature du renforcement du bâti	Nature des travaux	Conditions d'exécution	Coût de la réalisation (HT)	Ratio du coût de la réalisation (HT)	Causes de variation du coût de réalisation	Durée moyenne des travaux
Isolation thermique sous rampants de combles perdus 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nettoyage des chevrons ▪ Fourniture et pose des panneaux isolants + pattes de fixation ▪ Surface traitée = 100 m² ▪ Isolation par 150 mm LDV 	Habitation individuelle et collective Combles vides et accessibles	2500 € à 3000 €	25 €/m ² à 30 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (accessibilité) ▪ Etat des chevrons existants ▪ Épaisseurs et nature de l'isolation 	3 jours
Isolation thermique du plancher de combles perdus 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nettoyage du plancher ▪ Fourniture et pose de la laine de verre ▪ Surface traitée = 100 m² ▪ Isolation par 100 mm LDV 	Habitation individuelle et collective Combles vides et accessibles	1600 € à 2000 €	16 €/m ² à 20 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (accessibilité) ▪ Etat des chevrons existants ▪ Épaisseurs et nature de l'isolation 	2 jours
Isolation thermique sous rampants de combles aménageables 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nettoyage des chevrons ▪ Fourniture et pose des panneaux isolants + pattes de fixation + plaque de plâtre BA13 + pare vapeur ▪ Surface traitée = 100 m² ▪ Isolation par 150 mm LDV 	Habitation individuelle et collective Combles vides et accessibles	5000 € à 6500 €	50 €/m ² à 65 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (accessibilité) ▪ Etat des chevrons existants ▪ Épaisseurs et nature de l'isolation 	1 semaine
Isolation thermique externe par une Sur-couverture	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourniture et pose d'une sur couverture isolée ▪ Surface traitée = 130 m² 	Habitation individuelle et collective	8 500 € à 10 000 €	65 €/m ² à 77 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (accessibilité) ▪ Etat de la couverture 	1 semaines

	<ul style="list-style-type: none"> Isolation thermique sous toiture de 200 mm de laine minérale 				<ul style="list-style-type: none"> Épaisseurs de l'isolant 	
<p>Isolation externe sous la couverture (tuiles mécaniques)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Dépose et repose de la couverture en tuile mécanique Isolation thermique sous toiture de 200 mm de laine minérale Surface traitée = 130 m² 	Habitation individuelle et collective	6 600 € à 7 800 €	50 €/m ² à 60 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Conditions techniques rencontrées (accessibilité/nombre d'ouvertures/pente) Etat de la charpente et de la couverture Type d'échafaudage Bâchage durant les travaux Nature de l'isolant 	2 semaines
<p>Remplacement d'une couverture en tuiles mécaniques + Isolation externe sous couverture</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Dépose et repose de la couverture Isolation thermique sous toiture de 200 mm de laine minérale Surface traitée = 330 m² Étanchéité 	Habitation individuelle et collective	20 000 € à 26 500 €	60 €/m ² à 80 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Conditions techniques rencontrées (accessibilité/nombre d'ouvertures/pente) Etat de la charpente et de la couverture Type d'échafaudage Bâchage durant les travaux Nature de l'isolant 	4 semaines
<p>Isolation thermique externe d'une toiture terrasse</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Dépose + pose d'une étanchéité multicouche Surface traitée = 300 m² Isolation thermique de 90 mm 	Habitation collective R+5	31 500 € à 36 500 €	95 €/m ² à 110 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Conditions techniques rencontrées (accessibilité/hauteur/) Etat de la toiture Bâchage durant les travaux Nature de l'isolant 	1 semaine
<p>Isolation thermique externe d'une toiture isolée</p>	<ul style="list-style-type: none"> Installation d'une sur toiture isolée 	Habitation individuelle et	30 000 € à	230 €/m ² à	<ul style="list-style-type: none"> Conditions techniques rencontrées (accessibilité, 	1 semaine

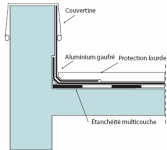
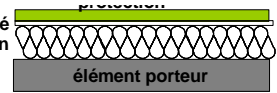
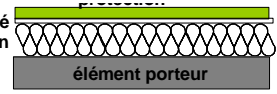








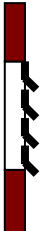
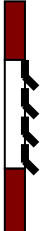
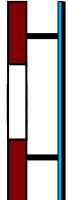
<p>Terrasse par une Sur-toiture</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Surface traitée =130 m² ▪ Isolation thermique sous toiture de 100 mm de laine minérale ▪ Fourniture et pose d'une charpente métallique + ossature support de couverture 	collective	40 000 €	308 €/m ²	<p>équipements sur la toiture terrasse)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Épaisseurs de l'isolant 	
<p>Protection rattachée de toiture par gravillon</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Surface traitée = 300m² ▪ Pose de 10 m³ de gravillon ▪ Installation de monte matériaux 	Habitation collective R+5	3 000 € à 4 000 €	10 €/m ² à 13 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (accessibilité/hauteur/) ▪ Etat de l'étanchéité 	1 semaines
<p>Protection rattachée de toiture par dalle</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Surface traitée = 300m² ▪ Fourniture et pose de dalles ▪ Installation de monte matériaux 	Habitation collective R+5	8 000 € à 12 000 €	26 €/m ² à 40 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (accessibilité/hauteur/) ▪ Etat de l'étanchéité 	2 semaines
<p>Remplacement de la couverture légère d'un bâtiment par couverture sèche isolée ou panneaux sandwichs</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose et repose d'une couverture isolée ▪ Surface traitée =1000 m² ▪ 100 mm d'isolant 	Bâtiment Rdc	50 000 € à 70 000 €	50 €/m ² à 70 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant ▪ Hauteur du bâtiment 	2 semaines

Tableau D-23 : Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des couvertures et toitures

D.3 ESTIMATIONS ÉCONOMIQUES DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES DE MISE EN PROTECTION DES MENUISERIES EXTÉRIEURES

Nature du renforcement du bâti	Nature des travaux	Conditions d'exécution	Coût de la réalisation (HT)	Ratio du coût de la réalisation (HT)	Causes de variation du coût de réalisation	Durée moyenne des travaux
Remplacement de fenêtres par des fenêtres isolantes en bois 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose et repose des menuiseries (ouvrant + dormant) ▪ 4 fenêtres type réhabilitation en bois pour baies de 1,00 x 1,75 m ▪ Double vitrage isolant (6/12/4) 	Habitation individuelle ou Immeuble R+5	3 600 € à 4 300 €	600 €/fenêtre à 800 €/fenêtre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Accessibilité 	2 jours
Remplacement de fenêtres par des fenêtres peu émissives en bois 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose et repose des menuiseries (ouvrant + dormant) ▪ 4 fenêtres type réhabilitation en bois pour baies de 1,00 x 1,75 m ▪ Vitrage peu émissif ou gaz (6/12/4) 	Habitation individuelle ou Immeuble R+5	4 200 € à 4 600 €	800 €/fenêtre à 1 000 €/fenêtre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Accessibilité 	2 jours
Remplacement d'une porte fenêtre par une porte fenêtre isolante en bois 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose et repose des menuiseries (ouvrant + dormant) ▪ 1 fenêtres type réhabilitation en bois de 2,15 x 1,20 m ▪ Double vitrage isolant (6/12/4) 	Habitation individuelle	900 € à 1 100 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Équipement 	2 jours
Installation de double vitrage sur fenêtres existantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose anciens vitrages ▪ Pose double vitrage sur 12 fenêtres en bois ▪ Joints 	Habitation individuelle 5 pièces R+1	3 300 € à 4 000 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Dimension et état des menuiseries 	4 jours

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Double vitrage isolant (6/12/4) équipé d'un cadre aluminium ▪ 4 fenêtres 1,40 x 1,45 m ▪ 4 fenêtres 0,60 x 0,95 m ▪ 2 fenêtres 0,40 x 0,45 m ▪ 2 portes fenêtres 1,80 x 2,15 m 					
<p>Remplacement de fenêtres par des fenêtres isolantes en PVC avec conservation du dormant</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose anciens vitrages ▪ Pose de 12 menuiseries type réhabilitation en PVC avec double vitrage (6/12/4) ▪ 4 fenêtres 1,40 x 1,45 m ▪ 4 fenêtres 0,60 x 0,95 m ▪ 2 fenêtres 0,40 x 0,45 m ▪ 2 portes fenêtres 1,80 x 2,15 m 	Habitation individuelle 5 pièces R+1	6 000 € à 7 300 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Dimension et état des menuiseries 	4 jours
<p>Installation d'une porte d'entrée en bois</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose de la porte actuelle ▪ Fourniture et pose d'un nouveau bloc-porte en bois 	Habitation individuelle 5 pièces R+1	1 000 € à 1 500 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Dimension 	2 jours
<p>Installation d'une porte d'entrée en bois pare-flammes ½ h</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose de la porte actuelle ▪ Fourniture et pose d'un bloc-porte Pare Flammes ½ h (E30) 	Habitation individuelle 5 pièces Rdc	1 100 € à 2 000 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Dimension 	2 jours
<p>Occultation des ouvrants par casquettes fixes isolées</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourniture et pose de 4 casquettes pour des fenêtres de 1,20 x 1,60 m 	Immeuble R+5	2 000 € à 2 500 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs de l'isolant et nature de la casquette 	5 jours

						
<p>Occultation des baies vitrées par brise soleil à lamelles fixes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourniture et pose d'un brise soleil non isolé à lamelle fixe ▪ Surface traitée =100 m² 	Bâtiment R+5	8 000 € à 10 000 €	80 €/m ² à 100 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant 	2 semaines
<p>Occultation des baies vitrées par brise soleil isolé à lamelles fixes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourniture et pose d'un brise soleil à lamelle fixe isolé ▪ Surface traitée =100 m² 	Bâtiment R+5	10 000 € à 14 000 €	100 €/m ² à 140 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant 	2 semaines
<p>Occultation des baies vitrées par écran déporté</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourniture et pose d'un écran déporté en métal déployé ▪ Surface traitée =100 m² 	Bâtiment R+5	13 000 € à 16 000 €	130 €/m ² à 160 €/m ²	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Épaisseurs et nature de l'isolant 	3 semaines
<p>Volets opaques extérieurs ou intérieurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Percement et raccord pour la pose des gonds 	Habitation individuelle	4 400 € à	400 €/Volets à 2 vantaux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées 	4 jours


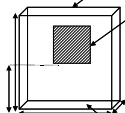
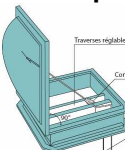
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pose de 10 volets pleins de 28 mm en sapin du nord ▪ 4 volets 2 vantaux 1,40 x 1,45 m ▪ 4 volets 1 vantail 0,60 x 0,95 m ▪ 2 volets 2 vantaux 1,80 x 2,15 m 	5 pièces R+1	5 300 €	à 600 €/ Volets à 2 vantaux	▪ Épaisseurs et nature des volets	
<p>Capotage d'équipement ou de bouche d'aération</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capotage d'une bouche d'aération ou d'une bouche de ventilation ▪ Fourniture et pose 	Habitation individuelle 5 pièces R+1	700 € à 860 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (accessibilité, hauteur, etc.) ▪ Dimension des ouvertures 	1 jour
<p>exutoires de désenfumage équipés d'un pyrodôme opaque métallique</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose d'un exutoire en couverture ▪ Fourniture et pose d'un exutoire de désenfumage naturel en couverture équipé d'un pyrodôme opaque 	Immeuble R+5	5 400 € à 6 500 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées (couverture, charpente, etc.) ▪ Isolation 	2 jours
<p>Installation d'un exutoire de désenfumage naturel en façade</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépose et comblement d'un exutoire en couverture ▪ Fourniture et pose d'un exutoire de désenfumage en façade non exposée 	Immeuble R+5	7 265 € à 8 500 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Accessibilité ▪ Équipement installé 	1 semaine
<p>Comblement de bouches d'aération en façade</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comblement de 3 bouches de ventilation en façade exposée + création de 3 bouches de ventilation en façade non exposée 	Habitation individuelle 5 pièces R+1	1 000 € à 1 500 €	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions techniques rencontrées ▪ Longueur des gaines de ventilation 	1 semaine

Tableau D-24 : Estimations économiques des prescriptions techniques de mise en protection des menuiseries extérieures