Liberté . Egalité . Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFET DE L'EURE

ARRÊTÉ PRÉFECTORAL PORTANT APPROBATION DU PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES TECHNOLOGIQUES POUR L'ÉTABLISSEMENT SNECMA À VERNON

LE PRÉFET DE L'EURE

Chevalier de la Légion d'Honneur
Chevalier de l'Ordre National du Mérite

VU le Code de l'environnement, notamment ses articles L.515-15 à L.515-25 ;

VU le Code de l'urbanisme, notamment ses articles L.211-1, L.230-1 et L.300.2 ;

VU la partie réglementaire du livre V du Code de l'environnement et notamment ses articles R.515-39 à R.515-50 relatifs aux plans de prévention des risques technologiques ;

VU le décret n° 2004-374 du 29 avril 2004 relatif aux pouvoirs des préfets, à l'organisation et à l'action des services de l'Etat dans les régions et départements ;

VU l'arrêté ministériel du 10 mai 2000 modifié relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées soumises à autorisation ;

VU l'arrêté ministériel 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 ;

VU la circulaire ministérielle du 26 avril 2005 relative aux comités locaux d'information et de concertation ;

VU l'arrêté préfectoral en date du 5 octobre 2011 actualisant les prescriptions relatives à la prévention des risques technologiques accidentels sur le site d'essais de la société SNECMA à Vernon ;

VU l'étude de dangers portant sur l'ensemble des installations du site d'essais de Vernon d'octobre 2006 et complétée en octobre 2007, juillet 2008 et janvier 2009 ;

VU le rapport de l'inspection des installations classées en date du 18 janvier 2008 établi en application de la circulaire du 3 octobre 2005 précitée proposant la liste des phénomènes dangereux à retenir pour le Plan de Prévention des Risques technologiques (PPRT) et le lancement de la procédure d'élaboration du PPRT ;

VU l'arrêté préfectoral du 18 avril 2006, portant création du comité local d'information et de concertation autour de l'établissement SNECMA à Vernon ;

VU l'arrêté préfectoral du 20 avril 2009, portant renouvellement et modification du comité local d'information et de concertation autour de l'établissement SNECMA à Vernon ;

VU la circulaire interministérielle du 27 juillet 2005 relatif au rôle des services de l'équipement dans les domaines de la prévention des risques technologiques et naturels ;

VU la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 ;

VU la circulaire ministérielle du 3 octobre 2005 relative à la mise en œuvre des plans de prévention des risques technologiques, et notamment son annexe 2 définissant les critères d'exclusion de certains phénomènes dangereux du PPRT ;

VU les avis des conseils municipaux suivants concernant la consultation préalable à l'arrêté préfectoral de prescription du PPRT :
- Bois-Jérôme-Saint-Ouen : avis favorable en date du 26 mai 2008,
- Giverny : réputé émis faute de délibération,
- Heubecourt-Haricourt : réputé émis faute de délibération,
- Panilleuse : avis favorable en date du 20 mai 2008,
- Pressagny-l'Orgueilleux : avis favorable en date du 15 mai 2008,
- Saint-Marcel : avis favorable en date du 30 mai 2008,
- Tilly : avis réservé en date du 24 avril 2008, évoquant l'incidence négative du PPRT sur les valeurs immobilières et les activités de la commune,
- Vernon : avis favorable en date du 04 juillet 2008.

VU l'arrêté préfectoral du 1er août 2008 prescrivant l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Technologiques pour l'établissement SNECMA à Vernon ;

VU les arrêtés préfectoraux de prorogation du délai d'instruction du PPRT de Vernon en dates du 29 janvier 2010, du 23 décembre 2010, du 21 novembre 2011 et du 7 mai 2012 ;

VU les avis des personnes et organismes associés lors de la consultation des POA du 10 juin 2011 au 31 août 2011, à savoir :
- commune de Vernon : par délibération en date du 28 juin 2011 : avis favorable sous réserve de l'agrandissement de la zone b1 du LRBA comme indiqué sur leur plan et d'autoriser la circulation des transports collectifs sur le VC1 en limite Est de SNECMA,
- DIRECCTE (Direction Régionale des Entreprises de la Concurrence, de la Consommation du Travail et de l'Emploi) : par courrier en date du 11/08/2011, avis favorable sur le projet de PPRT,
- Autres POA : avis favorable au projet de PPRT faute de s'être prononcés dans le délai réglementaire de 2 mois.

VU l'avis du CLIC en date du 24 juin 2011 sur le projet de PPRT avant enquête publique ;

VU la décision du président du tribunal administratif en date du 8 septembre 2011 portant désignation d'une commission d'enquête ;

VU l'arrêté préfectoral du 17 octobre 2011 prescrivant une enquête publique du 14 novembre 2011 au 16 décembre 2011 sur le projet de Plan de Prévention des Risques Technologiques sur les communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon ;

VU le rapport établi par la commission d'enquête et ses conclusions défavorables au projet en date du 15 février 2012 ;

VU le rapport de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Haute-Normandie et de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer de l'Eure en date du 16 août 2012;

VU les pièces du dossier ;

CONSIDÉRANT :

La politique de gestion du risque industriel en France ;

Qu'un Plan de Prévention des Risques Technologiques doit être réalisé pour chaque site SEVESO seuil haut dit "AS" au sens de la nomenclature des installations classées ;

Que l'établissement de la SNECMA à Vernon relève de la catégorie SEVESO seuil haut compte tenu du stockage et de l'emploi de 90 tonnes d'hydrogène classé sous la rubrique 1416 de la nomenclature des installations classées ;

Les risques identifiés au sein de l'établissement de la SNECMA relatifs au stockage et à l'emploi d'hydrogène ;

Que le site de la SNECMA à Vernon doit à ce titre faire l'objet d'un Plan de Prévention des Risques Technologiques ;

Les observations formulées au cours de l'enquête publique ;

L'avis des personnes et organismes associées à l'élaboration de ce PPRT ;

Les conclusions et l'avis de la commission d'enquête ;

La prise en compte des observations évoquées ci-dessus, notamment par l'ajustement des contours de la zone "b1" du sonage réglementaire, et l'amendement du cahier de recommandations en ce qui concerne les projets de construction d'établissement recevant du public ;

Que les modifications réalisées, ainsi que la raison de la non prise en compte de certaines observations ont été présentées dans une ultime réunion d'association des personnes et organismes associés à l'élaboration du PPRT, le 27 Juin 2012, sans soulever d'observations

Que ces modifications ne remettent pas en cause la nature du Plan de Prévention et ne nécessitent pas une nouvelle enquête publique ;

Sur proposition de M. le directeur de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Haute-Normandie et de Mme. la directrice de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer de l'Eure ;

ARRÊTE:

ARTICLE 1er :

Le Plan de Prévention des Risques Technologiques de l'établissement SNECMA de Vernon annexé au présent arrêté est approuvé.

ARTICLE 2 :

Ce plan vaut servitude d'utilité publique au sens de l'article L.126.1 du Code de l'urbanisme et devra être annexé au plan d'occupation des sols des communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon.

ARTICLE 3 :

Le Plan de Prévention des Risques Technologiques comprend :
- une note de présentation décrivant les installations ou stockages à l'origine des risques, la nature et l'intensité de ceux-ci et exposant les raisons qui ont conduit à délimiter le périmètre d'exposition aux risques ;

- des documents graphiques faisant apparaître le périmètre d'exposition aux risques et les zones et secteurs mentionnés respectivement aux articles L.515-15 et L.515-16 du Code de l'environnement ;
- un règlement comportant, en tant que de besoin, pour chaque zone ou secteur :
  - les mesures d'interdiction et les prescriptions mentionnées au I de l'article L. 515-16 du Code de l'environnement ;
  - l'instauration du droit de délaissement ou du droit de préemption ;
  - les mesures de protection des populations prévues au IV de l'article L. 515-16 du Code de l'environnement ;
- les recommandations tendant à renforcer la protection des populations formulées en application du V de l'article L. 515-16 du Code de l'environnement.

Le dossier sera tenu à disposition du public à la Préfecture de l'Eure ainsi qu'aux mairies de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon, aux jours et heures d'ouverture habituels des bureaux au public.
Le plan approuvé est également tenu à la disposition du public sur le site spinfos.fr.

ARTICLE 4 :

Le présent arrêté sera publié par voie d'affichage, par les communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon, pendant un mois minimum. Mention de cet affichage sera insérée, par les soins du Préfet dans les journaux suivants :
- le Paris Normandie ;
- le Démocrate vernonnais ;

Il sera publié au recueil des actes administratifs de l'État dans le département.

ARTICLE 5 :

Dans un délai de 2 mois à compter de la publication du présent arrêté, le présent arrêté pourra faire l'objet :
- soit d'un recours gracieux auprès du Préfet de l'Eure,
- soit d'un recours hiérarchique adressé au Ministre de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

Il peut également faire l'objet d'un recours contentieux auprès du tribunal administratif de Rouen :
- soit directement, en l'absence de recours gracieux ou hiérarchique dans le délai de 2 mois à compter de la plus tardive des mesures de publicité prévues à l'article 4 du présent arrêté,
- soit, à l'issue d'un recours gracieux ou hiérarchique dans les 2 mois à compter de la notification de la réponse obtenue de l'administration, ou au terme d'un silence gardé par celle-ci pendant 2 mois à compter de la réception de la demande.

ARTICLE 6 :

Le Secrétaire Général de la Préfecture, le Directeur Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Haute-Normandie, la Directrice Départementale des Territoires et de la Mer de l'Eure et les maires des communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté.

31 AOUT 2012

LE PRÉFET

Dominique SORAIN

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DE L'EURE

31 AOUT 2012
Le Préfet

Dominique SORAIN

PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES TECHNOLOGIQUES AUTOUR DE L'ENTREPRISE SNECMA

Communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon

Cahier de recommandations

Préambule

L'article L151-16 du Code de l'environnement prévoit :
« A l'intérieur du périmètre d'exposition aux risques, les plans de prévention des risques technologiques peuvent, en fonction du type de risque, de leur gravité, de leur probabilité et de leur cinétique :
(...)
V – Définir des recommandations tendant à renforcer la protection des populations face aux risques encourus et relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des voies de communication et des terrains de camping ou de stationnement de caravanes, pouvant être mises en œuvre par les propriétaires, exploitants et utilisateurs »

Ces recommandations, sans valeur contraignante, tendent à renforcer la protection des populations face aux risques encourus.

Recommandations relatives aux projets de constructions (y compris les extensions et changements de destination) d'établissements recevant du public :

En zone b1 :
Pour les établissements recevant du public de catégorie 3, le projet devra prendre en considération la mise en sécurité des personnes à l'extérieur des bâtiments, il est recommandé de s'assurer que les équipements extérieurs implantés ne sont pas de nature par leur localisation ou par leur fragilité à augmenter sensiblement les risques de blessures des personnes en cas d'accident.

En zone b2 :
Pour les établissements recevant du public de catégorie 2, le projet devra prendre en considération la mise en sécurité des personnes à l'extérieur des bâtiments, il est recommandé de s'assurer que les équipements extérieurs implantés ne sont pas de nature par leur localisation ou par leur fragilité à augmenter sensiblement les risques de blessures des personnes en cas d'accident.

En zone b3 :
Pour les établissements recevant du public de catégorie 1, le projet devra prendre en considération la mise en sécurité des personnes à l'extérieur des bâtiments, il est recommandé de s'assurer que les équipements extérieurs implantés ne sont pas de nature par leur localisation ou par leur fragilité à augmenter sensiblement les risques de blessures des personnes en cas d'accident.

Recommandations relatives aux biens existants

Pour les biens existants à la date d'approbation du PPRT et situés au sein des **zones r3 et b1**, il est recommandé d'entreprendre les travaux de réduction de la vulnérabilité pour assurer une protection face à un effet de surpression de niveau d'intensité de 140 mbar caractérisé à la source par **une onde choc, avec un temps d'application de 2100 millisecondes [ms]**.

Pour les biens existants à la date d'approbation du PPRT et situés au sein de la **zone b2**, il est recommandé d'entreprendre les travaux de réduction de la vulnérabilité pour assurer une protection face à un effet de surpression de niveau d'intensité de 50 mbar caractérisé à la source par **une onde choc, avec un temps d'application de 4400 millisecondes [ms]**. Cette recommandation doit conduire les propriétaires à porter une attention particulière à la stabilité des bâtiments à structure métallique, plus vulnérables que les autres bâtis en cas d'incident de surpression.

Pour les biens existants à la date d'approbation du PPRT et situés au sein de la **zone b3**, il est recommandé d'entreprendre les travaux de réduction de la vulnérabilité pour assurer une protection face à un effet de surpression de 35 mbar caractérisé à la source par une onde choc.

Recommandations relatives à l'utilisation ou à l'exploitation

1 – Information du personnel

Les communes et leurs regroupements s'attacheront à informer leur personnel, de la présence d'une zone à risques.

2 – Concernant le transport de matières dangereuses

Pour les voies publiques présentes dans les zones **r2, r3 et b1**, à l'exception de la RD181, un itinéraire alternatif sera recherché pour les transports autres que ceux desservant la zone.

3 – Concernant les transports collectifs :

Il est recommandé de ne pas créer de nouveaux abris bus à l'intérieur des **zones b1 et r3**. A l'occasion de réflexions globales sur les modifications d'itinéraire des lignes de bus sur le territoire de Vernon, Pressagny-l'Orgueilleux, Panilleuse, Tilly et Heubecourt-Haricourt il conviendra de s'interroger sur la pertinence et la performance des lignes traversant les **zones b1 et r3**, de manière, éventuellement, à modifier le tracé.

Néanmoins, les mesures prises ne devront pas dégrader l'accessibilité du site pour les personnes travaillant dans les zones à risque.

4 – Concernant l'utilisation des espaces ouverts au sein des zones r3 et b1

L'implantation de mobilier d'agrément ou d'équipements publics favorisant l'arrêt des usagers en nombre important est à éviter (ex : bancs, aire de pique-nique, etc...). Ils peuvent faire l'objet de mesures destinées à limiter les risques pour les personnes (ancrage au sol par exemple)

Une signalisation d'information, à destination des usagers, de l'existence d'un risque technologique, pourra être mise en place, par le propriétaire au niveau de chaque abris bus.

Une signalisation d'information, à destination des usagers, de l'existence d'un risque technologique, pourra être mise en place, par le propriétaire au niveau de l'entrée de chacun des espaces sportifs et de l'observatoire d'astronomie.

5 - Itinéraires en mode doux (piétons, vélos, cheval...) au sein des zones r3 et b1,

Une signalisation d'information, à destination des usagers, de l'existence d'un risque technologique, pourra être mise en place, par le gestionnaire, au niveau des entrées des itinéraires pédestres et/ou équestres et/ou cyclables. La signalisation pourra comprendre une mention relative à l'attitude à adopter, par les usagers, en cas d'alerte (déclenchement du PPI).

6 – Concernant l'organisation de rassemblements au sein des zones r1, r2, r3 et b1 :

Les restrictions imposées par le PPRT ne peuvent pas concerner une utilisation de l'espace qui se déroulerait sur un terrain nu, dépourvu de tout aménagement ou ouvrage préexistant à la date d'approbation du plan.
Toutefois, tout usage des terrains nu susceptibles d'aggraver sensiblement l'exposition aux risques des personnes est à éviter, telles :
- l'organisation de rassemblement ou manifestation de nature à exposer un public important,
- la circulation organisée des piétons ou des cyclistes en nombre important (par des pistes cyclables, des chemins de randonnées, des parcours sportifs, etc.).

L'usage des terrains nus (population et durée d'exposition aux risques) doit être adapté à l'intensité du risque.

7 – Implantation de structures temporaires

Il est souhaitable que les structures temporaires mises en place dans l'ensemble du périmètre d'exposition aux risques respectent les dispositions de construction de la zone où elles sont implantées.

ANNEXE C2 **26/10/2009**

INERIS- DRA-09-103218-11382D

Guide pratique

Fenêtres dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar, diagnostic et mesures de renforcement

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 5

2. MODES DE CONSTRUCTION, TYPOLOGIE DES FENETRES EN FRANCE 7

2.1 Eléments constituant une fenêtre 7

2.2 Les principaux modes d'ouverture 8

2.3 Les principaux types de pose 10

2.4 Les principaux types de vitrage 12

2.5 Les principaux types de verre 13

2.6 Les films de protection anti-fragment 14

3. ELEMENTS PRATIQUES POUR PROTEGER LES FENETRES 17

3.1 Introduction 17

3.2 Dimensions des panneaux vitrés 17

3.3 Règles simples a respecter sur les châssis, le système de fermeture 34

3.4 Fixation de la fenêtre dans le mur 38

4. EXEMPLE D'APPLICATION POUR LES BATIMENTS EXISTANTS : PROTECTION OFFERTE PAR UN DES TYPES DE FENETRES LES PLUS COURAMMENT RENCONTRES 43

5. REFERENCES 47

6. LISTES DES ANNEXES 49

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Dormant et ouvrants d'une fenêtre à ouverture à la française 7
Figure 2 : Paumelles, châssis mobile, parcloses et panneaux vitrés d'une fenêtre 7
Figure 3 : Illustration d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle 8
Figure 4 : Les principaux types d'ouverture des fenêtres en France 9
Figure 5 : Schéma de la pose en feuillure 10
Figure 6 : Schéma de la pose en tunnel 10
Figure 7 : Schéma d'une pose en applique 11
Figure 8 : Schéma d'un vitrage simple feuilleté de type 44.2 (à gauche) et 666.4 (à droite) 12
Figure 9 : Schéma d'un vitrage isolant double de type 4/16/4 (à gauche) et 44.2/12/4 (à droite) 12
Figure 10 : Fixation du film par simple adhérence 15
Figure 11 : Fixation chimique du film 15
Figure 12 : Fixation mécanique du film 16
Figure 13 : Types de vitrages étudiés 18
Figure 14 : Illustration des dimensions L et l d'un panneau vitré 18
Figure 15 : Signaux de surpression typiques 19
Figure 16 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion 19
Figure 17 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 20
Figure 18 : Configuration admissibles des panneaux vitrés de type 4/16/4 de dimensions 0.6 m x 1.1 m de fenêtres à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions hors tout standards : 1.40 m de large et de 1.25 m de haut 22
Figure 19 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/12/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 23
Figure 20 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/12/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 25
Figure 21 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/8/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 26
Figure 22 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 8/8/8 en verre trempé en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 28
Figure 23 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré muni d'un vitrage simple monolithique recuit de 4mm avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 31
Figure 24 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 32
Figure 25 : Exemple pour une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions tableaux h=1.25 m x l = 1.40 m 35
Figure 26 : Système de fermeture classique à crémone 3 points avec sortie de tringle (sans renvoi d'angle) d'une fenêtre à ouverture à la française 35
Figure 27 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française à deux vantaux munies d'un système de fermeture à sortie de tringle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50 41
Figure 28 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française avec système de fermeture à renvoi d'angle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50 41
Figure 29 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 1 d'une construction dans la zone 35-50 42
Figure 30 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 2, 3 et 4 d'une construction dans la zone 35-50 ou en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-35 42
Figure 31 : Tableau de la vulnérabilité dans la zone 20-50 mbar d'une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions h=1.25 m x l=1.40 m munie de panneaux vitrés de type 4/16/4 et d'un système de fermeture 3 points avec sortie de tringle 44
Figure 32 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion 53

Figure 33 : Angles retenus *54*
Figure 34. Affectation des numéros de faces *55*

1. INTRODUCTION

Dans le cas où un établissement à risques est à l'origine de phénomène dangereux d'explosion conduisant dans son environnement à des ondes de surpression d'intensité 20 à 50 mbar, le règlement du Plan de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) prescrit ou recommande, dans cette zone, la tenue des fenêtres standards des maisons individuelles ou bâtiments d'activité situés dans cette zone.

Ce document est à destination des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et professionnels de la construction. Il a pour objectif de les aider à mieux appréhender les demandes de travaux faites par les propriétaires dans le cadre de la mise en œuvre des prescriptions d'objectif de performance ou des recommandations du règlement du PPRT.

Il propose des éléments pratiques simples permettant de protéger les fenêtres des bâtis actuels ou futurs et ainsi garantir une protection efficace des personnes situées à l'intérieur des habitations dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar. Les mesures constructives proposées se veulent les moins onéreuses possibles.

Elaboré par l'INERIS, il se fonde sur des travaux tant théoriques que pratiques et complète un certain nombre de documents référencés en dernière page du présent rapport [1], [2], [3] et [4].

Il présente :

- Les principaux modes de constructions des fenêtres en France [Chap. 2] ;
- Des éléments pratiques pour garantir la tenue des fenêtres dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar [Chap. 3], afférents :
    - à la nature et aux dimensions des panneaux vitrés [Chap. 3.2] ;
    - à la nature du châssis, au système de fermeture et au mode de pose de la fenêtre [Chap. 3.3] ;
    - au mode de fixation de la fenêtre dans le mur [Chap. 3.4].
- Un exemple d'application dressant la protection offerte par un des types de fenêtres les plus couramment rencontrés dans l'habitat français.

2. MODES DE CONSTRUCTION, TYPOLOGIE DES FENETRES EN FRANCE

2.1 ELEMENTS CONSTITUANT UNE FENETRE

Une fenêtre est typiquement constituée des éléments suivants :

- le dormant : encadrement fixe de la fenêtre fixé au mur et sur lequel sont fixés les vantaux (cadre ouvrant) de la fenêtre ; Le dormant est aussi appelé le fixe, le bâti, ou le châssis dormant ;
- le cadre ouvrant **:** partie mobile de la fenêtre qui s'articule autour de paumelles ou gonds ; l'ouvrant est encore appelé le battant ou le vantail.

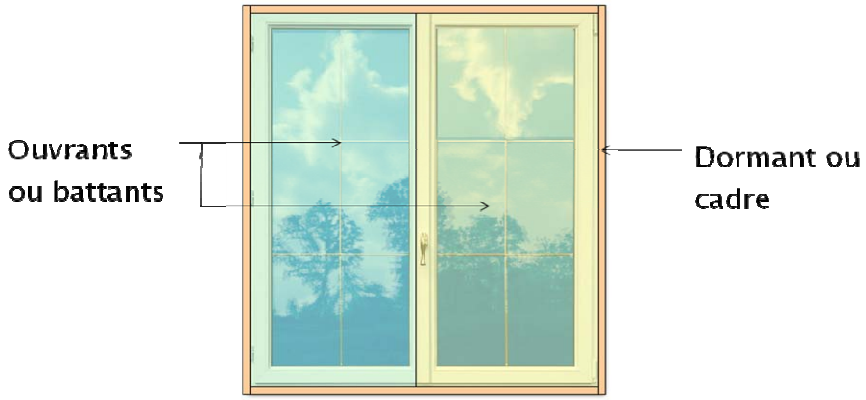


Figure 1 : Dormant et ouvrants d'une fenêtre à ouverture à la française

- les paumelles : organes constituées de 2 pièces métalliques mobiles qui assurent la fixation du battant sur le dormant en permettant la rotation du battant ;
- le vitrage proprement dit, encore appelé « panneau vitré » ;
- le châssis mobile : assemblage de montants (parties verticales) et de traverses (parties horizontales) qui encadre et maintien le vitrage ;
- les parcloses : pièces de petite section servant au maintien des vitrages ;

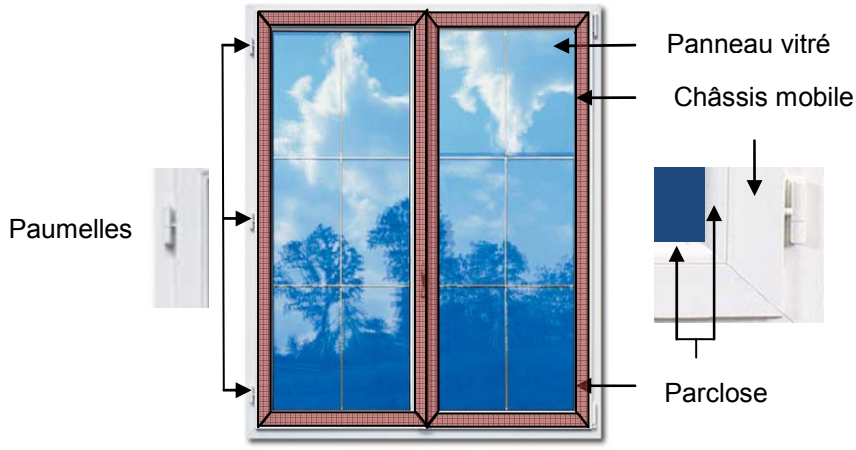


Figure 2 : Paumelles, châssis mobile, parcloses et panneaux vitrés d'une fenêtre

- sans oublier le système de fermeture ; Parmi les plus courants, peut être cité le système de fermeture à crémone avec sortie de tringle. Le verrouillage est assuré en partie basse et en haute par une gâche (pièce en métal ou en plastique) fixée au dormant et dans laquelle vient s'engager une tige métallique.

(1) système de fermeture centrale

(2) fermeture haute et basse :gâche recevant une tringle métallique

Figure 3 : Illustration d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle

2.2 LES PRINCIPAUX MODES D'OUVERTURE

Il existe une douzaine de types d'ouverture. On retiendra pour l'essentiel :

- L'ouverture à la française : l'ouverture se fait vers l'intérieur. Le nombre de battant peut varier de 1 à 2 ;
- L'ouverture à soufflet : l'ouverture se fait vers l'intérieur sur un axe horizontal, ce qui permet d'entrebâiller la fenêtre sur sa partie haute ;
- L'ouverture en oscillo-battant : la fenêtre s'ouvre de 2 façons :
  - « normalement » comme une fenêtre à battant, avec ouverture à la française ;
  - en soufflet sur un axe horizontal (fenêtre entrebâillée sur sa partie haute), ou bien sur un axe vertical ;
- L'ouverture coulissante : la fenêtre s'ouvre par glissement d'un vantail sur un autre ;
- L'ouverture basculante : la fenêtre s'ouvre en haut vers l'intérieur, en bas vers l'extérieur. En France, ce type d'ouverture est surtout utilisé pour les fenêtres de toit.

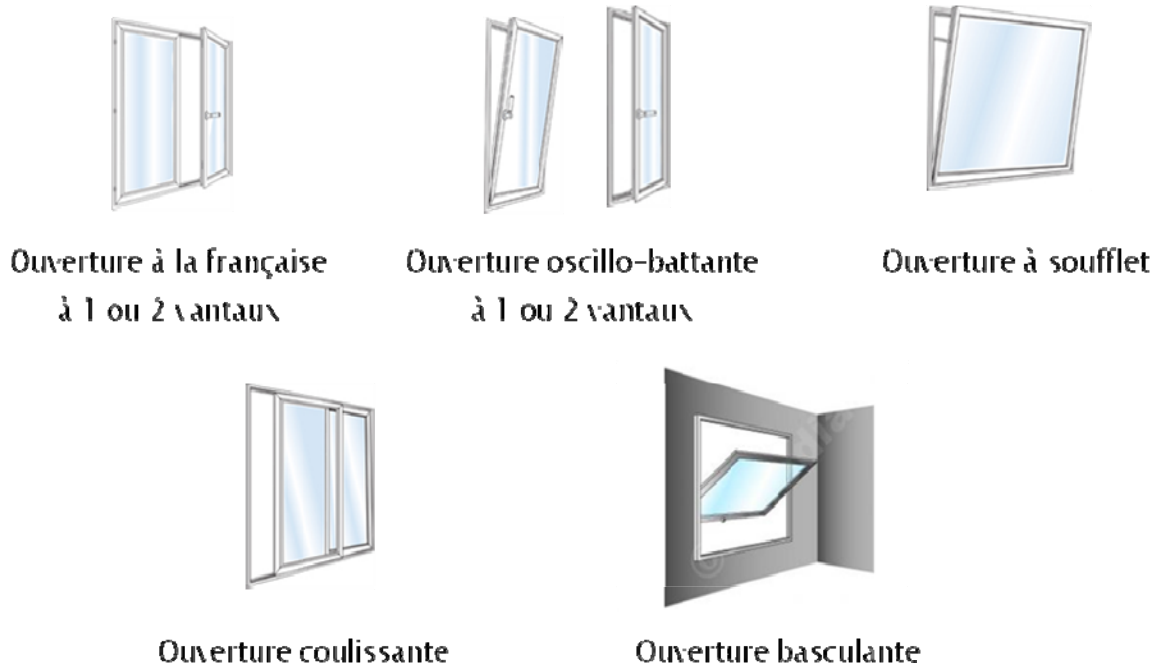


Figure 4 : Les principaux types d'ouverture des fenêtres en France

2.3 LES PRINCIPAUX TYPES DE POSE

Il existe trois grands types de pose :

- **La pose en feuillure** :

La fenêtre, plus grande que le tableau, vient se placer à l'intérieur de la feuillure de l'ancien bâti. Elle est scellée dans le mur par l'intermédiaire de pattes de scellement généralement disposées au niveau des organes de rotation et un ancrage sur la traverse haute et basse.

La pose en feuillure est utilisée pour les constructions neuves ou en rénovation pour le remplacement total d'une ancienne fenêtre par une nouvelle.

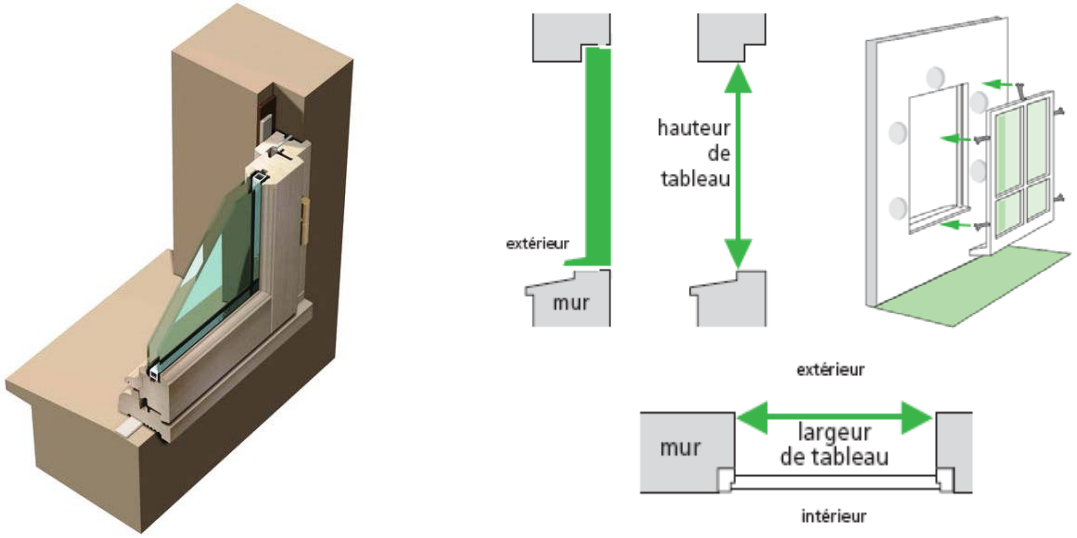


Figure 5 : Schéma de la pose en feuillure

- **La pose en tunnel** (ou encore appelée **pose en tableau**) :

La fenêtre est fixée dans l'épaisseur du mur par chevillage à travers l'huisserie. Les chevillages sont disposées au niveau des organes de rotation et en traverses hautes et basses. La dimension totale de la menuiserie est donc légèrement inférieure à la dimension de l'ouverture.

La pose en tunnel est utilisée pour les constructions neuves ou pour les rénovations, avec ou sans isolation.

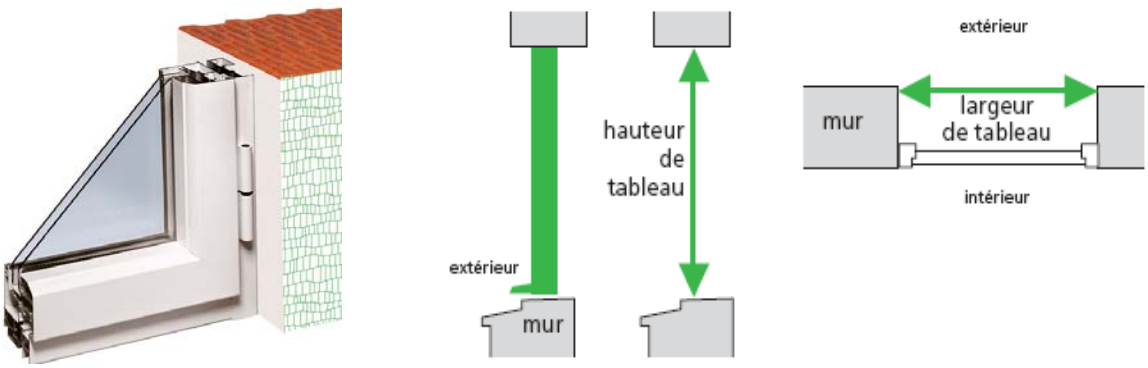


Figure 6 : Schéma de la pose en tunnel

- **La pose en applique** :

Comme son nom l'indique, la fenêtre vient s'appliquer sur le mur et est fixée à celui-ci par l'intermédiaire de pattes de fixation. Ces dernières sont disposée en priorité au voisinage des organes de rotation et des points de condamnation sur le dormant avec un écartement maximum entre les fixations de 80 cm et une à 10 cm de chaque angle. La menuiserie est plus grande que le tableau.

La pose en applique est utilisée pour les constructions neuves avec isolation intérieure ou en rénovation avec pose d'une isolation.

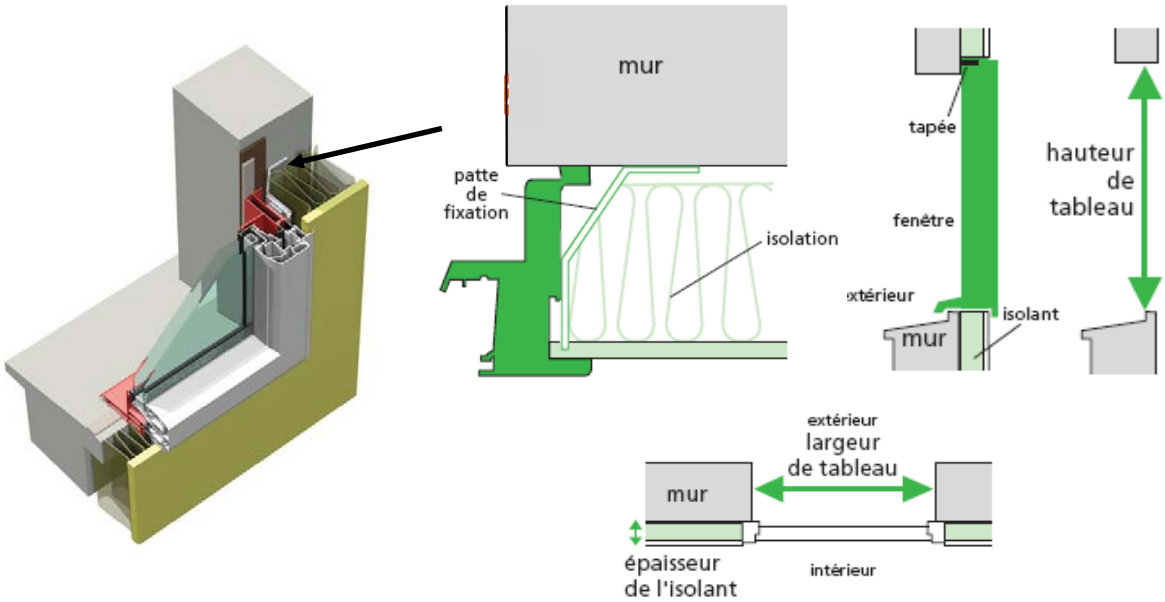


Figure 7 : Schéma d'une pose en applique

2.4 LES PRINCIPAUX TYPES DE VITRAGE

On peut distinguer trois grands types de vitrage :

- Vitrages simples monolithiques : constitués d'une seule feuille de verre ;
- Vitrages simples feuilletés : composés de 2 ou plusieurs feuilles de verre assemblées entre elles par un ou plusieurs films intercalaires en butyral de polyvinyle (PVB). Ces films de PVB permettent de retenir les fragments formés lors de la rupture du verre.

  Ils sont caractérisés par leur importante capacité d'allongement pouvant atteindre 240% (1 mètre de PVB peut s'allonger jusqu'à 2,40 m). Ces vitrages sont notés XX.Y. Le nombre de X donne le nombre de panneaux de verre utilisé dans l'assemblage. La valeur X indique (en mm) l'épaisseur. Le dernier chiffre Y, séparé des précédents par un point indique le nombre de couches de films PVB. Par exemple un vitrage feuilleté 44.2 sera constitué de deux panneaux de verre de 4 mm séparés par deux couches de film PVB.

Figure 8 : Schéma d'un vitrage simple feuilleté de type 44.2 (à gauche) et 666.4 (à droite)

- Vitrages isolants doubles : composés de deux vitrages qui peuvent être simples monolithiques ou simples feuilletés séparés par une lame d'air ou autre gaz (argon).

  Ces vitrages sont notés X/Y/Z. Les lettres X et Z indiquent l'épaisseur de chacun des composants verriers situés de part et d'autre de la lame d'isolant d'épaisseur Y (en mm). Par exemple un vitrage 4/16/4 est un vitrage constitué de deux vitrages simples monolithiques de 4mm séparés par une lame d'isolant de 16 mm. Un vitrage 44.2/12/4 est un vitrage composé d'un vitrage simple feuilleté de type 44.2, d'une lame d'air de 12 mm et d'un vitrage simple monolithique de 4 mm d'épaisseur.

  Il existe sur le même principe des vitrages triples isolants.

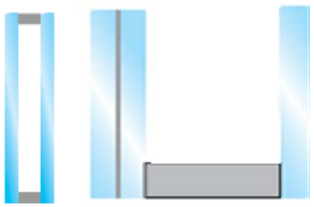


Figure 9 : Schéma d'un vitrage isolant double de type 4/16/4 (à gauche) et 44.2/12/4 (à droite)

2.5 LES PRINCIPAUX TYPES DE VERRE

Le type de verre le plus couramment rencontré est le verre recuit. Lorsqu'il se fragmente, ce type de verre forme de grands fragments, très coupants, pouvant causer de nombreuses blessures.

Il existe également deux grands autres types de verres :

- le verre trempé thermiquement : ce verre a subi un processus de trempe thermique modifiant ses propriétés de résistance mécanique. Le volume de verre est chauffé jusqu'à 700°C (température où les molécules peuvent se déplacer), puis refroidi très rapidement et uniformément à 300°C par des jets d'air froid. Les couches externes sont refroidies en premier. Quand les régions internes se contractent à leur tour, elles «tirent» sur la surface et **créent une tension résiduelle de compression**.

  Par ce processus, la résistance à la flexion du verre se trouve considérablement accrue : elle est 3 à 5 fois plus résistante qu'un verre recuit. Par ailleurs, lors de sa rupture, le verre présente la particularité de se fragmenter en une multitude de petits éclats.

- le verre semi-trempé ou durci : ce verre a également subi un traitement thermique visant à renforcer sa résistance mécanique. Son mode d'obtention est similaire à celui d'un verre trempé. Cependant la phase de refroidissement est plus lente.

  Par ce processus, la résistance du verre à la flexion se trouve accrue. Elle est comprise entre celle du verre recuit et du verre trempé. Cependant le mode de rupture de ce type de verre se rapproche davantage d'un verre recuit. Il se fragmente en effet en morceaux de grandes dimensions et très coupants.

2.6 LES FILMS DE PROTECTION ANTI-FRAGMENT

2.6.1 GENERALITES

Les films de sécurité plastiques plus communément appelés films de protection anti-fragment sont utilisés pour améliorer les performances post-rupture des vitrages. Ils sont appliqués sur les faces intérieures des fenêtres. Il existe sur le marché un grand nombre de produits. Ils peuvent être teintés ou non. Les films non teintés ont de faibles effets sur les caractéristiques optiques du vitrage (Ils maintiennent la totalité de la luminosité du vitrage). Ceux teintés peuvent améliorer les caractéristiques du vitrage actuel en terme de déperdition thermique notamment. La plupart est conçue pour bloquer les rayons UV.

Ils peuvent être monocouches ou multicouches dont l'épaisseur totale varie en général de 50 microns et 400 microns.

L'application d'un film de sécurité permet d'améliorer les performances post-rupture des vitrages :

- augmentation de la résistance du vitrage ; Lors de la rupture de la vitre soumise à une onde de surpression, les fragments de verre restent collés au film et ce dernier absorbe une grande partie de l'énergie par déformation élastique et plastique ;
- forte réduction de la formation de fragments ;
- diminution de la vitesse des fragments projetés ;
- réduction de la distance de projection les fragments ;

L'efficacité des films plastiques dépend notamment :

- des caractéristiques matériaux du film : résistance à la rupture, capacité d'élongation, résistance à l'élongation ;
- de l'épaisseur du film ; plus le film est épais est plus la protection qu'il offre augmente.
- du mode de pose du film ;

2.6.2 MODE DE POSE DES FILMS DE PROTECTION ANTI-FRAGMENT

Les films plastiques anti-fragment peuvent être classés en trois grandes catégories selon leur mode d'installation :

- Pose par simple adhérence au vitrage ;
- Installation par adhérence et fixation chimique au châssis ;
- Installation par adhérence et fixation mécanique au châssis ;

2.6.2.1 POSE PAR SIMPLE ADHERENCE

Ce mode d'installation du film de sécurité est la pose standard.

Le film est simplement posé sur le vitrage sans être fixé d'une quelconque manière au châssis. L'application de ce type de film doit au minimum couvrir la partie visible du vitrage de la fenêtre.

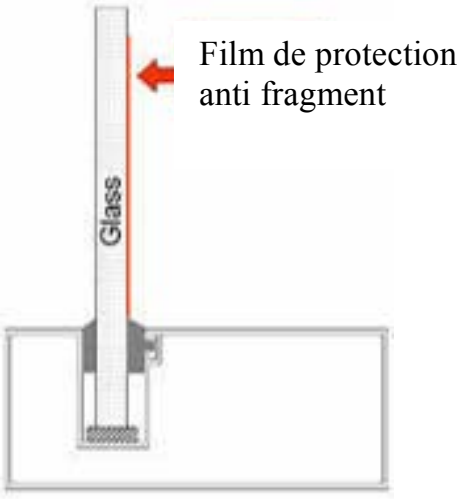


Figure 10 : Fixation du film par simple adhérence

2.6.2.2 SYSTEME DE FIXATION CHIMIQUE

Ce système de fixation aussi appelé fixation par enduit humide. Ce mode d'installation permet de fixer définitivement le film de protection au cadre de la vitre à l'aide d'un enduit structurel ou d'un adhésif en silicone. Le film de protection est tout d'abord appliqué au verre, et il est ensuite fixé au cadre du verre à l'aide d'un enduit structurel. L'enduit est appliqué aux quatre coins du film, comblant les orifices par où passe la lumière et faisant déborder le film du cadre afin de créer un lien chimique entre le film et le cadre.

Cette méthode est utilisée dans le but de renforcer la capacité de rétention d'éclats de verre du film. Il offre une protection plus grande que le système précédent. Cependant son coût est plus élevé, de l'ordre de 150 euros / m^2 hors pose.

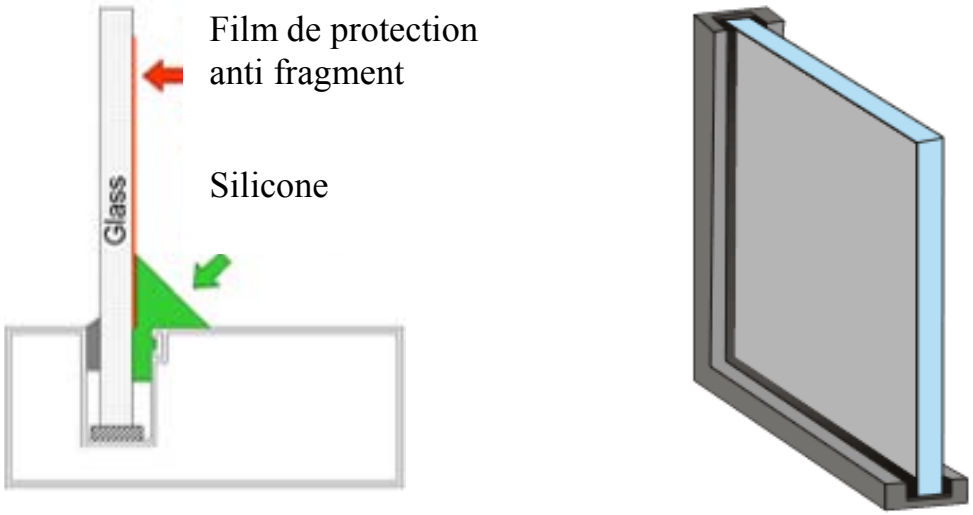


Figure 11 : Fixation chimique du film

2.6.2.3 SYSTEME DE FIXATION MECANIQUE

Ce type d'installation permet de fixer de manière mécanique le film au cadre de la vitre à l'aide d'un système de lattes métalliques. Le film de protection est appliqué au verre et dépasse le cadre de la vitre d'environ 2,5 cm. Une série de lattes métalliques est placée sur le film apposé et vissée au cadre de la vitre existant, ce qui permet de fixer définitivement le film au cadre. En fonction du type de rétention d'éclats de verre recherché, ce système mécanique peut être fixé sur un côté (bord supérieur), deux côtés ou sur les quatre côtés.

Ce système permet de diminuer la probabilité du vitrage à quitter le châssis. Il est plus efficace que les deux autres mais également beaucoup plus onéreux. Par ailleurs, il peut se révéler moins esthétique.

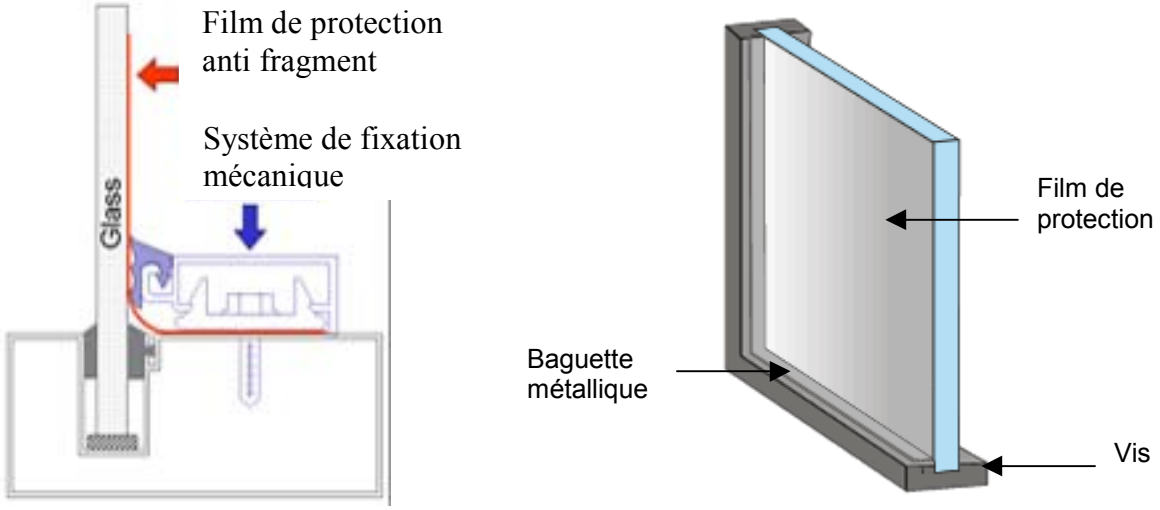


Figure 12 : Fixation mécanique du film

Toutes ces méthodes d'installation peuvent être utilisées sur des châssis en acier, en aluminium ou en bois. Sur les châssis en PVC seules sont possibles la pose par simple adhérence et la fixation chimique.

3. ELEMENTS PRATIQUES POUR PROTEGER LES FENETRES

3.1 INTRODUCTION

Afin de garantir la protection des personnes se trouvant à l'intérieur d'une habitation située dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar (appelé par la suite zone 20-50 mbar), la tenue des fenêtres dans une telle zone doit être assurée.

Pour ce faire, les panneaux vitrés constituant la fenêtre doivent être capables de résister à une onde de surpression de 20 à 50 mbar ou dans une moindre mesure de casser sans risque de blessure (les bris de vitre susceptibles d'être projetés étant retenus). Cependant, cela ne suffit pas. En effet, en cas d'ouverture de la fenêtre, les vantaux peuvent être arrachés et projetés à l'intérieur des habitations causant alors de graves blessures. De même, une fixation non adaptée du cadre de la fenêtre dans le mur peut amener la fenêtre à s'arracher du mur et à être projetée.

Ainsi, garantir la tenue d'une fenêtre dans la zone 20-50 mbar, nécessite une démarche en 3 étapes :

- définir les dimensions maximales admissibles de différents panneaux vitrés isolants doubles standards ou feuilleté afin de résister ou casser sans risque de blessure dans la zone 20-50 mbar. On trouvera les éléments correspondants au chapitre 3.2.
- définir la configuration du châssis admissible en tenant compte :
    - du matériau constituant le châssis (PVC, aluminium, bois) ;
    - du mode d'ouverture de la fenêtre (ouverture à la française, coulissant, …) ;
    - du système de fermeture de la fenêtre ;
    - du mode de pose ;

  On trouvera les éléments correspondants au chapitre 3.3.
- définir la configuration admissible du mode de fixation du châssis dans le mur (chapitre 3.4)

Ces règles définissent un ensemble d'éléments pratiques permettant de garantir la tenue des fenêtres et ainsi protéger efficacement les personnes.

3.2 DIMENSIONS DES PANNEAUX VITRES

Le comportement d'un panneau vitré face à une onde de surpression dépend notamment :

- des caractéristiques du vitrage proprement dit : vitrage isolant double « standard », vitrage isolant double feuilleté ;
- des caractéristiques géométriques du panneau vitré : longueur L, largeur l, épaisseur e ;

Les tableaux en figure 17 à 23 présentent pour 5 vitrages isolants doubles différents, les dimensions maximales du panneau vitré correspondant permettant :

- de résister à une onde de surpression incidente de 20 à 50 mbar ;
- ou dans une moindre mesure de protéger efficacement les personnes contre ces agressions en cassant sans risque de blessure.

Vitrage isolant double standard	**4/16/4**
Vitrages isolants doubles feuilletés	**44.2/12/4**
	4/12/44.2
	44.2/8/44.2
Vitrage sur mesure	**8/8/8**

Figure 13 : Types de vitrages étudiés

Les valeurs sont données pour des vitrages constitués de composants verriers en verre recuit (sauf pour le 8/8/8 où les composants sont en verre trempé). Elles sont cependant encore applicables de manière conservative si le verre considéré est un verre durci ou semi-trempé.

Les panneaux vitrés considérés sont des panneaux rectangulaires de longueur L (considérée par définition comme la plus grande des deux dimensions) et de largeur l (correspondant par définition à la plus petite des deux dimensions). De fait, le rapport des dimensions L/l est supérieur ou égal à 1.

Il est à noter que les dimensions du panneau vitré sont à distinguer de celles de la fenêtre puisque par exemple une fenêtre à ouverture à la française à 2 vantaux est composée de deux panneaux vitrés.

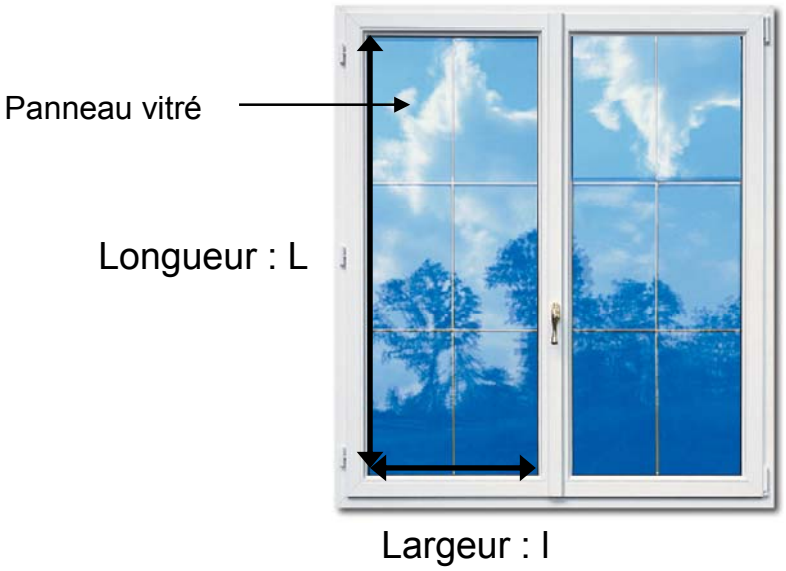
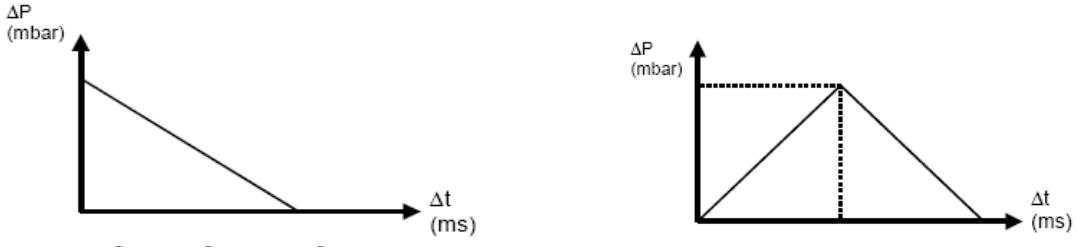


Figure 14 : Illustration des dimensions L et l d'un panneau vitré

Ces tableaux tiennent également compte :

- de la nature de l'onde de surpression générée par l'explosion : Le*« cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression » [3]* regroupe les phénomènes accidentels d'explosions en 6 catégories. Il est ici à retenir que selon le type de phénomènes, la nature du

produit mis en jeu, la masse ou le volume de produit retenu, deux régimes d'explosion sont à distinguer : le régime de déflagration et le régime de détonation (appelé par la suite onde de choc).



Onde de choc Déflagration

Figure 15 : Signaux de surpression typiques

- de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment. La zone réglementaire 20-50 mbar est en effet divisée en deux zones. Ainsi un bâtiment peut soit se trouver dans la zone 20-35 mbar soit dans la zone 35-50 mbar.
- de l'orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion repérée par un numéro : face 1 (la plus exposée), face 2, face 3 ou face 4 (la moins exposée). En effet, suivant leur orientation, les façades et donc les fenêtres sont plus ou moins exposées aux effets de l'explosion conduisant à différencier en fonction des faces les dimensions maximales des panneaux vitrés composant les fenêtres.

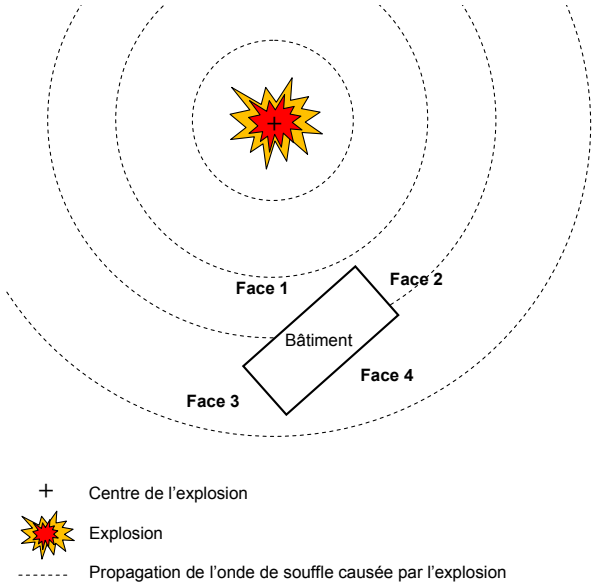


Figure 16 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion

L'attribution des numéros de face obéit à des règles précises spécifiées dans le *« cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression » [3]* et présentées en annexe 1.

Ainsi connaissant la nature de l'explosion, la zone dans laquelle se trouve le bâtiment et le numéro de face du bâtiment, le tableau donne en fonction du rapport L/l variant de 1 à 4 (1, 1.5, 2, 3 et 4) la largeur maximale (l) admissible du panneau vitré afin de résister ou casser sans risque de blessure.

3.2.1 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 4/16/4

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 4/16/4 permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.55	0.40	0.30	0.25	0.25
	Face 2		0.65	0.55	0.40	0.30	0.30
	Face 3		0.90	0.70	0.65	0.40	0.40
	Face 4		0.95	0.75	0.70	0.45	0.45
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.70	0.55	0.40	0.35	0.35
	Face 2		0.90	0.70	0.65	0.40	0.40
	Face 3		1.15	0.90	0.80	0.55	0.50
	Face 4		1.20	0.95	0.85	0.55	0.55

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.80	0.60	0.45	0.35	0.35
	Face 2		0.90	0.70	0.65	0.40	0.40
	Face 3		1.05	0.85	0.75	0.50	0.50
	Face 4		1.15	0.90	0.80	0.55	0.50
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.95	0.75	0.70	0.45	0.45
	Face 2		1.15	0.90	0.80	0.55	0.50
	Face 3		1.30	1.05	0.95	0.65	0.60
	Face 4		1.35	1.10	1.0	0.70	0.65

Figure 17 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application :

- Exemple n°1 :

Considérons un panneau vitré isolant double 4/16/4 de dimensions 0.20X0.60 m^2 en face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 d'une onde de choc.

Longueur : L=0.60 m

Largeur : l=0.20 m

Le rapport L/l est donc égal à 3.

D'après le premier tableau ci-dessus, un tel panneau vitré ne casse pas face à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar : la largeur du panneau vitré est en effet inférieure à la largeur maximale admissible pour un rapport L/l égale à 0.25 m.

Ainsi un tel panneau semble pouvoir protéger efficacement les personnes contre les blessures par bris de vitre.

- Exemple n°2 :

Considérons un panneau vitré isolant double 4/16/4 de dimensions 0.60X1.10 m^2. Ces dimensions sont typiquement celles des panneaux vitrés composant un des types de fenêtres les plus couramment rencontrés dans l'habitat français à savoir les fenêtres à ouverture à la française à 2 vantaux de 1.40 m de large et de 1.25 m de haut.

Ce panneau vitré est placé en face 1 d'une construction située en zone 35-50 d'une onde de choc.

Pour ce panneau vitré : Longueur=1.10 m,

Largeur=0.60 m

Le rapport L/l est égal à 1.83

La valeur du rapport L/l de 1.83 ne figurant pas dans le premier tableau, la valeur L/l à retenir est la valeur supérieure la proche figurant dans le tableau, soit L/l = 2.

Pour cette valeur de L/l=2, la largeur du panneau vitré est supérieure à 0.30 m, la largeur maximale admissible (l) afin de ne pas casser face à une onde de choc de surpression incidente de 35 à 50 mbar.
Le panneau vitré casse. Les personnes ne peuvent pas être efficacement protégées. En effet, les fragments formés lors de la rupture de ce type de vitrage même pour les niveaux de surpression considérés sont généralement de taille relativement importante et sont projetés avec des vitesses moyennes de l'ordre de 20 m/s, susceptibles d'engendrer des risques de blessures pour une personne située derrière la fenêtre.

Plus généralement, ces panneaux, situés sur les faces des constructions les plus exposées par rapport à l'explosion (face 1 et 2) ne résistent pas à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar. Seuls les panneaux, placés sur les faces 3 et 4 des constructions peuvent résister à de tels effets et donc protéger les personnes contre les blessures par bris de vitre.

De plus, dans la zone 20-35 d'une onde de choc ou dans la zone 35-50 d'une déflagration, seuls les panneaux placés en face 2, 3 ou 4 des constructions peuvent résister.

Dans la zone 20-35 d'une déflagration, les panneaux de toutes les faces des constructions peuvent résister et donc protéger les personnes contre les blessures par bris de vitre.

Zone	Nature de l'onde de surpression	Face du bâtiment sur laquelle est la fenêtre
Zone 35-50	Onde de choc	Face 3 et 4
	Déflagration	Face 2, 3 et 4
Zone 20-35	Onde de choc	Face 2, 3 et 4
	Déflagration	Face 1, 2, 3 et 4

Figure 18 : Configuration admissibles des panneaux vitrés de type 4/16/4 de dimensions 0.6 m x 1.1 m de fenêtres à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions hors tout standards : 1.40 m de large et de 1.25 m de haut

3.2.2 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 44.2/12/4, VERRE FEUILLETE 44.2 POSE COTE EXTERIEUR

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 44.2/12/4, le verre simple monolithique de 4 mm étant posé côté intérieur, permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.90	0.75	0.70	0.50	0.45
	Face 2		1.0	0.80	0.80	0.55	0.50
	Face 3		1.30	1.05	0.95	0.75	0.65
	Face 4		1.35	1.10	1.0	0.80	0.70
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.10	0.90	0.85	0.65	0.55
	Face 2		1.30	1.05	0.95	0.75	0.65
	Face 3		1.55	1.25	1.15	0.90	0.80
	Face 4		1.65	1.35	1.25	1.05	0.90

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.2	1.0	0.90	0.70	0.60
	Face 2		1.30	1.05	0.95	0.75	0.65
	Face 3		1.45	1.20	1.10	0.85	0.75
	Face 4		1.55	1.25	1.15	0.90	0.80
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.35	1.10	1.0	0.80	0.70
	Face 2		1.55	1.25	1.15	0.90	0.80
	Face 3		1.80	1.45	1.35	1.15	1.0
	Face 4		1.85	1.55	1.40	1.20	1.05

Figure 19 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/12/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application n°3 :

Considérons un panneau vitré isolant double 44.2/12/4 de dimensions identiques à celles de l'exemple n°2 : 0.60X1.10 m^2, en face 1 d'une habitation dans la zone 35-50 mbar d'une onde de choc.

La largeur du panneau vitré est inférieure à 0.70 m, la largeur maximale admissible (l) afin de ne pas casser face à une onde de choc dans la zone 35-50 mbar pour un rapport L/l=2.

Le panneau vitré ne casse pas. Il semble pouvoir protéger efficacement les personnes contre les blessures par bris de vitre.

3.2.3 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 4/12/44.2, VERRE FEUILLETE 44.2 POSE COTE INTERIEUR

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 4/12/44.2, le verre simple feuilleté 44.2 étant posé côté intérieur, permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.40	1.15	0.80	0.70	0.70
	Face 2		1.65	1.35	1.0	0.85	0.80
	Face 3		2.10	1.70	1.55	1.10	1.0
	Face 4		2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.70	1.35	1.05	0.85	0.80
	Face 2		1.95	1.60	1.45	1.0	0.95
	Face 3		2.40	1.95	1.80	1.30	1.20
	Face 4		2.50	2.05	1.90	1.40	1.25

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.85	1.50	1.40	0.95	0.90
	Face 2		2.10	1.70	1.55	1.10	1.0
	Face 3		2.35	1.90	1.75	1.25	1.15
	Face 4		2.50	2.05	1.90	1.40	1.25
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
	Face 2		2.40	1.95	1.80	1.30	1.20
	Face 3		2.70	2.25	2.10	1.60	1.40
	Face 4		2.80	2.35	2.20	1.70	1.50

Figure 20 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/12/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

3.2.4 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 44.2/8/44.2

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 44.2/8/44.2 permettant résister ou casser sans risque de blessure contre une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.80	1.45	1.20	0.90	0.85
	Face 2		2.10	1.70	1.55	1.10	1.0
	Face 3		2.65	2.20	2.0	1.50	1.35
	Face 4		2.70	2.25	2.05	1.60	1.40
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
	Face 2		2.50	2.05	1.85	1.40	1.25
	Face 3		3.15	2.55	2.30	2.10	1.65
	Face 4		3.25	2.65	2.40	2.20	1.75

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	2.35	1.95	1.80	1.30	1.15
	Face 2		2.65	2.20	2.0	1.50	1.35
	Face 3		3.05	2.50	2.25	2.0	1.60
	Face 4		3.25	2.65	2.40	2.20	1.75
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.70	2.25	2.05	1.60	1.40
	Face 2		3.15	2.55	2.30	2.10	1.65
	Face 3		3.40	2.85	2.60	2.40	1.95
	Face 4		3.50	3.0	2.75	2.50	2.05

Figure 21 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/8/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemples d'application n°4 :

Considérons un panneau vitré isolant double 44.2/8/44.2 de dimensions 0.60X1.80 m^2 en face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 d'une onde de choc.

Longueur : L=1.80 m

Largeur : l=0.6 m

Le rapport L/l est donc égal à 3.

D'après le tableau ci-dessous, un tel panneau vitré ne casse pas ou casse sans risque de blessure face à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar : la largeur du panneau vitré est en effet inférieure à la largeur maximale admissible égale à 0.90 m pour un rapport L/l de 3.

Ainsi un tel panneau semble pouvoir protéger efficacement les personnes contre les blessures par bris de vitre.

3.2.5 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 8/8/8 EN VERRE TREMPE

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 8/8/8, qui contrairement aux autres serait en verre trempé, permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.50	1.20	1.05	0.70	0.70
	Face 2		1.75	1.40	1.30	0.90	0.80
	Face 3		2.20	1.80	1.65	1.20	1.10
	Face 4		2.30	1.85	1.70	1.30	1.15
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.80	1.45	1.35	0.90	0.85
	Face 2		2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
	Face 3		2.60	2.15	1.95	1.75	1.40
	Face 4		2.75	2.25	2.0	1.80	1.45

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.95	1.60	1.45	1.0	0.95
	Face 2		2.15	1.75	1.60	1.20	1.05
	Face 3		2.45	2.0	1.85	1.55	1.25
	Face 4		2.60	2.15	1.95	1.75	1.40
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.30	1.85	1.70	1.30	1.15
	Face 2		2.60	2.15	1.95	1.75	1.40
	Face 3		2.90	2.40	2.15	1.80	1.65
	Face 4		3.0	2.50	2.20	1.85	1.70

Figure 22 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 8/8/8 en verre trempé en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application n°5 :

Considérons un panneau vitré isolant double 8/8/8 de dimensions identiques à celles de l'exemple n°1 : 0.60X1.80 m^2, placé en face 1 d'une construction située en zone 35-50 d'une onde de choc.

Pour ce panneau vitré, la largeur est de 0.6 m et le rapport L/l est égal à 3.

Pour cette valeur de L/l=3, la largeur du panneau vitré est inférieure à 0.7 m, la largeur maximale admissible (l) afin de ne pas casser face à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar.

Le panneau vitré ne casse donc pas. Il semble ainsi pouvoir protéger efficacement les personnes situées à l'intérieur de l'habitation contre les blessures par bris de vitre.

3.2.6 PANNEAUX VITRES MUNIS DE FILMS DE PROTECTION ANTI-FRAGMENT

Des films de sécurité appliqués sur des vitrages simples monolithiques ou des vitrages isolants doubles standards 4/16/4 peuvent, sous certaines conditions, garantir la protection des personnes à l'intérieur d'une habitation située dans la zone 20-50 mbar. En effet les films de sécurité peuvent améliorer les performances post-rupture des vitrages en réduisant significativement la projection des fragments formés lors de la rupture du vitrage (ceux-ci restant en grande majorité collés au film), et en maintenant le panneau vitré dans le cadre de la fenêtre.

Les préconisations suivantes sont à respecter :

- Les films de sécurité doivent être posés dans les règles de l'art par des professionnels.
- Parmi les trois principaux modes de pose, seules sont acceptées :
  - La pose par fixation mécanique : Ce type d'installation permet de fixer de manière mécanique le film au cadre de la vitre à l'aide d'un système de baguettes métalliques vissées au cadre de la vitre existant. Ce système doit permettre de fixer le film sur les quatre côtés.
  - La pose par fixation chimique : Ce mode d'installation permet de fixer le film de protection au cadre de la vitre à l'aide d'un enduit structurel ou d'un adhésif en silicone.
- Les films de sécurité doivent être des films de haute performance.

  Les films de sécurité pourront par exemple respecter les caractéristiques suivantes :

Elongation (%)	**> = 140 %**
Epaisseur x Contrainte à la rupture (MPa.m)	**> = 0.03**
Classement norme GSA[(1)]	**Minimum 3b**

[(1)]Cette recommandation s'applique pour un film testé dans les conditions suivantes :

- appliqué sur un vitrage monolithique recuit de 1.6 m x 1.3 m et de 6 mm d'épaisseur

- classé au minimum 3b lorsque cet ensemble est soumis à un signal triangulaire rectangle d'intensité 275 mbar et de 14 ms

Ce film est ainsi testé en accord avec le protocole et les spécifications de la norme GSA.

- Les dimensions maximales des panneaux vitrées doivent être conformes aux tableaux suivants :
  - Panneaux en vitrages simples monolithiques recuits de 4 mm d'épaisseur munis d'un film de protection anti-fragment

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.4	0.30	0.25	0.25	0.20
	Face 2		0.5	0.35	0.30	0.30	0.25
	Face 3		0.70	0.50	0.40	0.35	0.35
	Face 4		0.70	0.55	0.40	0.35	0.35
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.55	0.35	0.30	0.30	0.25
	Face 2		0.65	0.45	0.35	0.30	0.30
	Face 3		0.85	0.65	0.50	0.40	0.40
	Face 4		0.90	0.70	0.55	0.45	0.40

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.60	0.40	0.35	0.30	0.30
	Face 2		0.70	0.50	0.40	0.35	0.35
	Face 3		0.80	0.65	0.45	0.40	0.40
	Face 4		0.90	0.70	0.55	0.45	0.40
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.70	0.55	0.40	0.35	0.35
	Face 2		0.85	0.65	0.50	0.40	0.40
	Face 3		0.95	0.80	0.70	0.50	0.45
	Face 4		1.05	0.85	0.80	0.55	0.50

Figure 23 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré muni d'un vitrage simple monolithique recuit de 4mm avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

- Panneaux en double vitrage 4/16/4 munis d'un film de protection anti-fragment

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.85	0.70	0.65	0.50	0.45
	Face 2		1.0	0.85	0.75	0.60	0.55
	Face 3		1.25	1.0	0.95	0.75	0.65
	Face 4		1.30	1.05	0.95	0.80	0.70
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.0	0.85	0.80	0.60	0.55
	Face 2		1.20	0.95	0.90	0.70	0.65
	Face 3		1.45	1.20	1.10	1.0	0.80
	Face 4		1.50	1.20	1.15	1.0	0.85

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.10	0.90	0.85	0.65	0.60
	Face 2		1.25	1.0	0.95	0.75	0.65
	Face 3		1.40	1.15	1.05	0.95	0.75
	Face 4		1.50	1.20	1.15	1.0	0.85
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.30	1.05	0.95	0.80	0.70
	Face 2		1.45	1.20	1.10	1.0	0.80
	Face 3		1.65	1.35	1.20	1.05	0.95
	Face 4		1.75	1.45	1.25	1.10	1.0

Figure 24 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application n°6 :

Considérons un panneau vitré simple monolithique recuit de 4 mm d'épaisseur, de dimensions 0.60X1.10 m^2. Celui-ci est muni d'un film de protection anti-fragment posé par fixation chimique ou mécanique.

L'ensemble est supposé être en face 3 d'une construction située en zone 20-35 d'une onde de choc.

Pour ce panneau vitré : Longueur=1.10 m,

Largeur=0.60 m

Le rapport L/l est égal à 1.83

La valeur du rapport L/l de 1.83 ne figurant pas dans le premier tableau, la valeur L/l à retenir est la valeur supérieure la plus proche figurant dans le tableau, soit L/l = 2.

Pour cette valeur de L/l=2, la largeur du panneau vitré est supérieure à 0.50 m, la largeur maximale admissible (l) afin de casser sans risque de blessure face à une onde de choc de surpression incidente de 20-35 mbar.

En conséquence le panneau casse et un nombre important de fragments risque d'être projeté. Les personnes ne peuvent donc pas être efficacement protégées contre les blessures par bris de vitre.

Exemple d'application n°7 :

L'application de film de sécurité sur des panneaux vitrés isolants doubles de type 4/16/4, de dimensions 0.60X1.10m^2, en face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 mbar d'une onde de choc, permettrait résister ou casser sans risques de blessures par bris de vitre pour les personnes.

Le chapitre 3.2 s'est attaché à définir les dimensions maximales admissibles de différents panneaux vitrés isolants doubles standards ou feuilletés, ainsi que l'influence de la pose de film de protection anti-fragment afin de résister ou casser sans risque de blessure dans la zone 20-50. Cependant, garantir la tenue d'une fenêtre dans cette zone, c'est certes disposer de panneaux vitrés capables de résister à de telles intensités, mais également respecter des règles particulières quant aux :

- matériau constituant le châssis (PVC, aluminium, bois) ;
- mode d'ouverture de la fenêtre (ouverture à la française, coulissant, …) ;
- système de fermeture de la fenêtre ;
- mode de pose de la fenêtre (en applique, en tunnel, …).

3.3 REGLES SIMPLES A RESPECTER SUR LES CHASSIS, LE SYSTEME DE FERMETURE

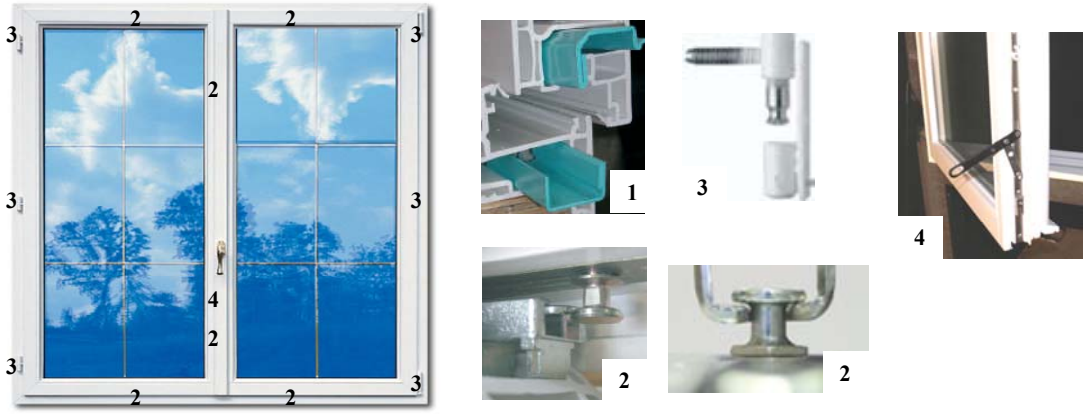
Les modes d'ouverture possibles de fenêtres sont très variés. Il en existe une douzaine. Il paraît alors difficile d'étudier chacun d'entre eux de manière exhaustive. Néanmoins l'INERIS a pris le parti de donner des recommandations qui s'appliquent sur l'ensemble de ceux-ci.

3.3.1 CHASSIS PVC

Dans la zone 20-50 mbar, l'utilisation de fenêtre en PVC doit être accompagnée d'une des mesures suivantes :

- Les panneaux vitrés sont montés sur châssis fixe. La fenêtre ne comporte pas d'ouvrant, le vitrage est monté dans le cadre de la fenêtre qui est fixé au mur ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'extérieur (comme l'ouverture à l'anglaise ou à l'italienne) ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'intérieur respectant au moins les préconisations suivantes :
  - Tout mode d'ouverture vers l'intérieur autre que l'ouverture à la française est à proscrire ;
  - Les fenêtres sont posées en applique, en feuillure ou en tunnel en respectant les préconisations données au chapitre 3.4 ;
  - Les traverses et montants du dormant et des châssis mobiles doivent être renforcés par des armatures en acier ;
  - Les fenêtres sont munies d'un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galets champignon. Les gâches sont fixées sur les éléments en PVC par l'intermédiaire de vis de longueur suffisante pour traverser la première épaisseur de PVC et le renfort métallique ;
  - Les paumelles sont munies d'un système anti-dégondage et doivent être vissées dans l'acier des dormants et des battants ;

- Le nombre de points (paumelles ou points de condamnation de type gâche métallique + galet champignon) liant les ouvrants au dormant de la fenêtre doit au moins être égal à $N= 6S_f$ où S_f est la surface totale de la fenêtre en m^2.



(1) Armature en acier, (2) Gâche métallique avec galet champignon, (3) Paumelle anti-dégondage

(4) Exemple de système de fermeture individuelle de l'ouvrant

Figure 25 : Exemple pour une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions tableaux h=1.25 m x l = 1.40 m

Les caractéristiques précitées sont classiquement celles d'une fenêtre retardataire d'effraction.

Quel que soit le mode de pose considéré, un système de fermeture à crémone, munie d'une tringle métallique sans renvoi d'angle s'enfonçant en partie haute et basse dans des gâches (voir Figure 26), ne permet de garantir le maintien de la fenêtre en position fermée. Les ouvrants peuvent alors être arrachés et projetés, causant potentiellement de graves blessures pour une personne située à quelques mètres derrière la fenêtre.

(1) système de fermeture centrale

(2) fermeture haute et basse sans renvoi d'angle :gâche recevant une tringle métallique

Figure 26 : Système de fermeture classique à crémone 3 points avec sortie de tringle (sans renvoi d'angle) d'une fenêtre à ouverture à la française

Ainsi les fenêtres à ouverture à la française constituées d'un châssis en PVC et d'un système de fermeture classique à crémone avec sortie de tringle (sans

renvoi d'angle) sont à proscrire, et ce quel que soit le mode de pose (tunnel, feuillure, applique). Elles ne permettent pas en effet de protéger efficacement les personnes se trouvant à l'intérieur des habitations dans la zone d'intensité 20-50.

3.3.2 CHASSIS ALUMINIUM

Dans la zone 20-50 mbar, l'utilisation de fenêtres en aluminium doit être accompagnée d'une des mesures suivantes :

- Les panneaux vitrés sont montés sur châssis fixe ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'extérieur (comme l'ouverture à l'anglaise ou à l'italienne) ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'intérieur respectant au moins les éléments de préconisation suivants :
  - Tout mode d'ouverture vers l'intérieur autre que l'ouverture à la française est à proscrire.
  - Les fenêtres doivent être posées en tunnel, en feuillure ou en applique en respectant les préconisations données au chapitre 3.4 ;
  - Les fenêtres sont munies d'un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galets champignon. Les gâches sont fixées sur les traverses du dormant par l'intermédiaire de vis de longueur suffisante pour traverser deux épaisseurs d'aluminium ;
  - Les paumelles sont munies d'un système anti-dégondage et doivent être vissées dans les dormants et les battants ;
  - Le nombre de points (paumelles ou points de condamnation de type gâche métallique + galet champignon) liant les ouvrants au dormant de la fenêtre doit au moins être égal à $N= 6S_f$ où S_f est la surface totale de la fenêtre en m^2.

Les fenêtres à ouverture à la française constituées d'un châssis en aluminium munies d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle sans renvoi d'angle, quel que soit le mode de pose considéré, ne semblent pas permettre de protéger efficacement les personnes se trouvant à l'intérieur des habitations dans la zone 20-50 mbar. Elles sont donc à proscrire.

3.3.3 CHASSIS BOIS

Dans la zone 20-50 mbar, l'utilisation de fenêtres en bois doit être accompagnée d'une des mesures suivantes :

- Les panneaux vitrés sont montés sur châssis fixe ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'extérieur (comme l'ouverture à l'anglaise ou à l'italienne) ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'intérieur respectant au moins les éléments de préconisation suivants :
  - Tout mode d'ouverture vers l'intérieur autre que l'ouverture à la française est à proscrire.

- Les fenêtres doivent être posées en tunnel, en feuillure ou en applique selon les préconisations données au chapitre 3.4 ;
- Si la fenêtre est posée en tunnel ou en feuillure :
  - le système de fermeture de la fenêtre peut être un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle sans renvoi d'angle. Il est recommandé l'utilisation de gâches métalliques fixées à l'intérieur des traverses du dormant par l'intermédiaire d'au moins deux vis de longueur suffisante capable de reprendre un effort de cisaillement égal à R = $1.05 \cdot 10^4 \times \frac{S_f}{N_p + 2}$ (en N) avec S_f : surface totale de la fenêtre (en m^2) et Np le nombre de paumelle de la fenêtre ;
  - Un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galet champignon est préférable. La gâche est fixée sur les éléments en bois par l'intermédiaire de vis de longueur suffisante ;
- Si la fenêtre est posée en applique, elle doit être munie d'un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galets champignon ;

  Le nombre de points (paumelles ou points de condamnation de type gâche métallique + galet champignon) liant les ouvrants au dormant de la fenêtre doit au moins être égal à $N= 6S_f$ où S_f est la surface totale de la fenêtre en m^2.

  Les fenêtres à ouverture à la française munies d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle sans renvoi d'angle, posées en applique, sont à proscrire dans la zone 20-50. Elles ne permettent pas de protéger efficacement les personnes se trouvant à l'intérieur des habitations.
- Les paumelles sont munies d'un système anti-dégondage et doivent être vissées dans les dormants et les battants.

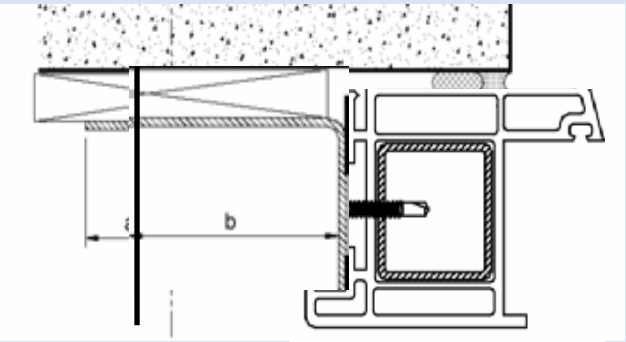
3.4 FIXATION DE LA FENETRE DANS LE MUR

Les tableaux suivant dressent les recommandations à respecter quant à la fixation dans le mur d'une fenêtre à ouverture à la française à doubles vantaux. Ces recommandations sont données en fonction de plusieurs paramètres :

- la zone dans laquelle se trouve le bâtiment :
  - zone 35-50 mbar ;
  - zone 20-35 mbar.
- l'orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion repérée par un numéro : face 1 (la plus exposée), face 2, face 3 ou face 4 (la moins exposée) ;
- le type de pose : en feuillure, en tunnel ou en applique.

3.4.1 ZONE 35-50 MBAR

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">Recommandations</th></tr>
<tr><th>Type de pose</th><th>Intitulés</th><th>Face 1</th><th>Face 2</th><th>Face 3 et 4</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Pose en feuillure</td><td>Emplacement des pattes de scellement principales</td><td colspan="3">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 pattes à la périphérie du dormant</td><td>25 cm</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Pose en tunnel</td><td>Emplacement des chevillages principaux</td><td colspan="3">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 chevillages à la périphérie du dormant</td><td>25 cm</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue des chevillages au cisaillement V_c (en N)</td><td colspan="3">$V_c > (C \times S_f) / N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de chevilles
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=2.1 \times 10^4$</td><td>$C=1.6 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">Recommandations</th></tr>
<tr><th>Type de pose</th><th>Intitulés</th><th>Face 1</th><th>Face 2</th><th>Face 3 et 4</th></tr>
<tr><td rowspan="7">Pose en applique</td><td>Emplacement des équerres de fixation principales</td><td colspan="3">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 équerres à la périphérie du dormant</td><td>25 cm</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td colspan="4">Les équerres de fixation doivent être fixées sur le dormant de la fenêtre par vissage direct. Les systèmes à clippage, clame ou à griffe sont à proscrire.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue au cisaillement des vis de fixation dans le dormant V_v</td><td colspan="3">$V_V > (C \times S_{f)})/ N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de vis
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=2.1 \times 10^4$</td><td>$C=1.6 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue à l’arrachement des chevillages dans le mur A_c (en N)</td><td colspan="3">$A_c > V_v*(1+1.5*b/a)$</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 

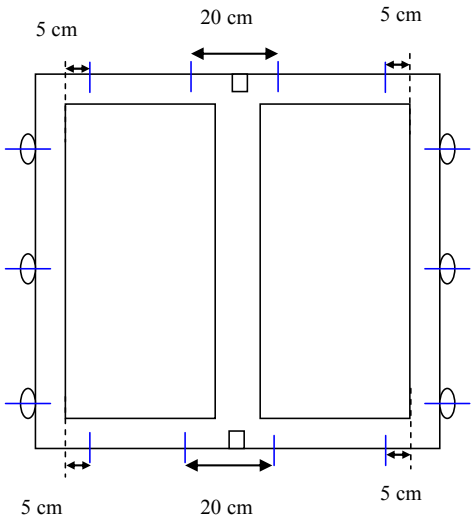
L’aile d’appui sur la structure porteuse est de dimension a+b
a : longueur entre l'axe de la vis et l'extrémité de la patte</td></tr>
</table>

3.4.2 ZONE 20-35 MBAR

<table>
<tr><th></th><th colspan="3">Recommandations</th></tr>
<tr><th>Type de pose</th><th>Intitulés</th><th>Face 1</th><th>Face 2, 3 et 4</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Pose en feuillure</td><td>Emplacement des pattes de scellement principales</td><td colspan="2">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 pattes à la périphérie du dormant</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Pose en tunnel</td><td>Emplacement des chevillages principaux</td><td colspan="2">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 chevillages à la périphérie du dormant</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue des chevillages au cisaillement V_c (en N)</td><td colspan="2">$V_c > (C \times S_{f)})/ N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de chevilles
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=1.3 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Pose en applique</td><td>Emplacement des équerres de fixation principales</td><td colspan="2">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 équerres à la périphérie du dormant</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td colspan="3">Les équerres de fixation doivent être fixées sur le dormant de la fenêtre par vissage direct. Les systèmes à clippage, clame ou à griffe sont à proscrire.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue au cisaillement des vis de fixation dans le dormant V_v</td><td colspan="2">$V_V > (C \times S_{f)})/ N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de vis
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=1.3 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
<tr><td>Tenue à l'arrachement des chevillages dans le mur A_c (en N)</td><td colspan="2">$A_c > V_v*(1+1.5*b/a)$</td></tr>
</table>

L'emplacement des fixations, quel que soit le mode de pose doit être conforme aux schémas suivants :

- Fenêtre munie d'un système de fermeture à sortie de tringle



Sur chacun des montants du dormant :

- Une fixation au niveau de chaque organe de rotation (paumelle) ;

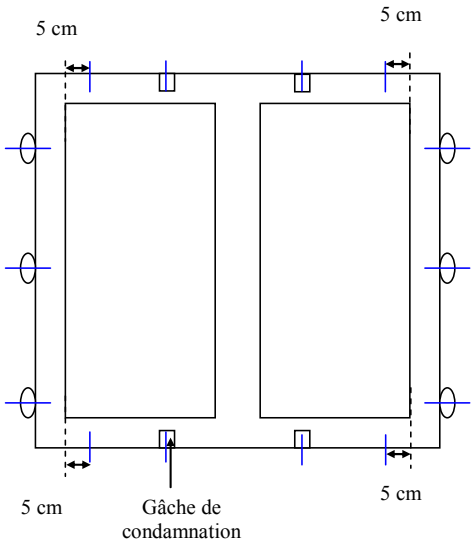
Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation de part et d'autre du meneau central et donc des points de condamnation sur le dormant : écartement maximale de 20 cm ;

Des équerres sont ensuite rajoutées, le cas échéant, afin de respecter la distance maximale permise

Figure 27 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française à deux vantaux munies d'un système de fermeture à sortie de tringle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50

- Fenêtre munie d'un système de fermeture à renvoi d'angle



Sur chacun des montants du dormant :

- Une fixation au niveau de chaque organe de rotation (paumelle) ;

Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation au voisinage de chaque gâche de condamnation

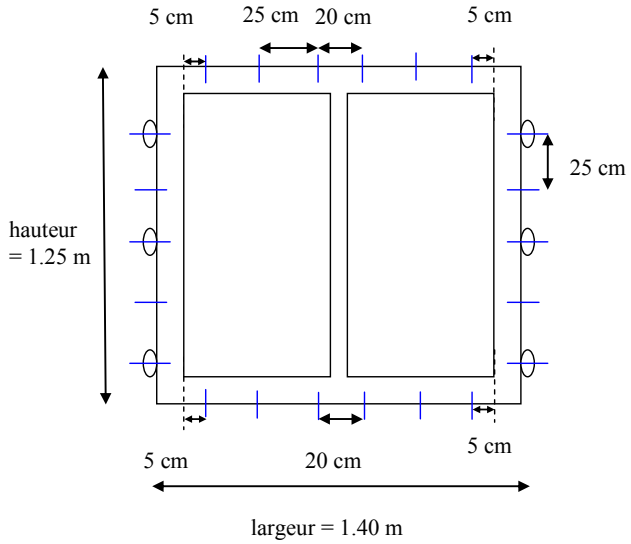
Des équerres sont ensuite rajoutées, le cas échéant, afin de respecter la distance maximale permise

Figure 28 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française avec système de fermeture à renvoi d'angle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50

Exemple d'application :

Emplacement des fixations d'une fenêtre à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m munie d'un système de fermeture à sortie de tringle

- En face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 :



Sur chacun des montants du dormant :

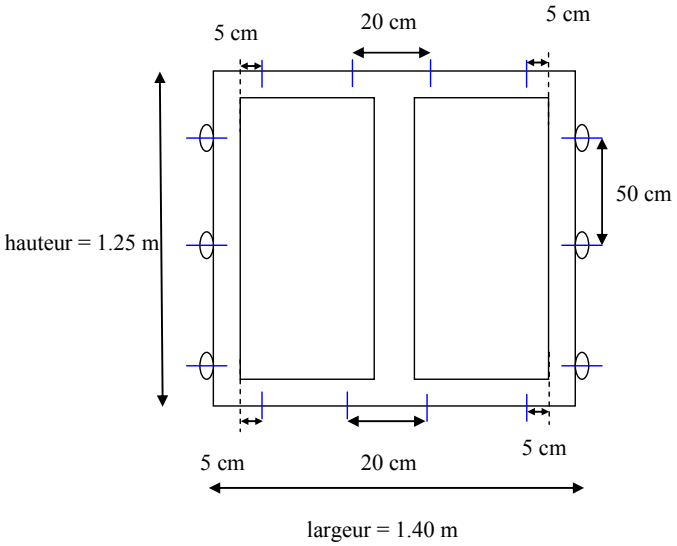
- Une fixation au niveau de chaque organe de rotation (paumelle)
- Une fixation à mi-distance entre deux paumelles consécutives ;

Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation de part et d'autre du meneau central et donc des points de condamnation sur le dormant : écartement de 20 cm ;
- 1 fixation entre les deux précédentes ;

Figure 29 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 1 d'une construction dans la zone 35-50

- En face 2 à 4 d'une construction située dans la zone 35-50 mbar ou en face 1 à 4 d'une construction située dans la zone 20-35 mbar :



Une patte au niveau de chaque organe de rotation (paumelle)

Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation de part et d'autre du meneau central et donc des points de condamnation sur le dormant : écartement de 20 cm ;

Figure 30 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 2, 3 et 4 d'une construction dans la zone 35-50 ou en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-35

4. EXEMPLE D'APPLICATION POUR LES BATIMENTS EXISTANTS : PROTECTION OFFERTE PAR UN DES TYPES DE FENETRES LES PLUS COURAMMENT RENCONTRES

Le chapitre suivant propose un exemple d'application. A partir des éléments pratiques du chapitre 3, le tableau en page suivante dresse la vulnérabilité dans la zone 20-50 mbar d'un des types de fenêtres les plus couramment rencontrés dans l'habitat français.

La fenêtre étudiée est :

- à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions hors tout : 1.40 m de large et de 1.25 m de haut ;
- constituée de panneaux vitrés de type 4/16/4 ;
- munie d'un système de fermeture classique 3 points à crémone avec sortie de tringle ;
- d'un nombre de paumelle égale à 6 (3 pour chaque ouvrant) ;
- d'un châssis en plastique, en aluminium ou en bois ;
- posée selon un des modes de pose suivants : feuillure, tunnel ou applique.

En fonction des différentes configurations que l'on peut rencontrer, la fenêtre est rangée dans une des quatre classes suivantes :

Cas A La protection des personnes nécessite de **renforcer le système de fermeture et la fixation de la fenêtre dans le mur** ;

Cas B La protection des personnes nécessite soit de **remplacer le système de fermeture et de renforcer la fixation de la fenêtre dans le mur**, soit de **remplacer la fenêtre** ;

Cas C La protection des personnes nécessite de **renforcer les panneaux vitrés, de renforcer le système de fermeture et la fixation de la fenêtre dans le mur** ;

Cas D La protection des personnes nécessite soit **de renforcer les panneaux vitrés, de remplacer le système de fermeture et de renforcer la fixation de la fenêtre dans le mur** soit de **remplacer la fenêtre** ;

Zone	Nature de l'onde de surpression	Nature du châssis	Type de pose	N° de face			
				Face 1	Face 2	Face 3	Face 4
Zone 35-50	Onde de choc	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas C**		**Cas A**	
			Applique	**Cas D**		**Cas B**	
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas D**		**Cas B**	
	Déflagration	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas C**	**Cas A**		
			Applique	**Cas D**	**Cas B**		
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas D**	**Cas B**		
Zone 20-35	Onde de choc	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas C**	**Cas A**		
			Applique	**Cas D**	**Cas B**		
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas D**	**Cas B**		
	Déflagration	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas A**			
			Applique	**Cas B**			
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas B**			

Figure 31 : Tableau de la vulnérabilité dans la zone 20-50 mbar d'une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions h=1.25 m x l=1.40 m munie de panneaux vitrés de type 4/16/4 et d'un système de fermeture 3 points avec sortie de tringle

Cas A : La protection des personnes nécessite les vérifications ou travaux de renforcement suivants :

- vérifier si la gâche du système de fermeture est une gâche métallique, et dans le cas contraire (de) la remplacer par une gâche métallique.
- remplacer les vis de fixation de la gâche au dormant par de 2 vis capables de reprendre un effort de cisaillement de 2300 N chacune ;
  D'après le chapitre 3.3.3, l'effort de cisaillement à reprendre par chacune des vis est en effet donné par : R = $1.05 \cdot 10^4 \times \frac{S_f}{N_p + 2}$ (en N).

  Pour la fenêtre considérée :
  - S_f= surface totale de la fenêtre(en m^2)= 1.40*1.25 m^2
  - N_p = le nombre de paumelle de la fenêtre = 6
- renforcer le système de fixation de la fenêtre posée en tunnel ou en feuillure selon les recommandations du chapitre 3.4.

Cas B : La protection des personnes nécessite les travaux de renforcement suivants :

- remplacer le système de fermeture de la fenêtre par un système de fermeture dit « retardataire d'effraction » respectant les recommandations du chapitre 3.3 ou (de) remplacer la fenêtre.
- renforcer le système de fixation de la fenêtre selon les recommandations du chapitre 3.4.

Cas C : La protection des personnes nécessite les vérifications ou travaux de renforcement suivants :

- renforcer les panneaux vitrés. Une solution envisageable est l'application de film de protection anti-fragment selon les recommandations du chapitre 3.2.6.
- vérifier si la gâche du système de fermeture est une gâche métallique, et dans le cas contraire (de) la remplacer par une gâche métallique.
- remplacer les vis de fixation de la gâche au dormant par de 2 vis capables de reprendre un effort de cisaillement de 2300 N chacune ;
- renforcer le système de fixation de la fenêtre posée selon les recommandations du chapitre 3.4.

Cas D : La protection des personnes nécessite les travaux de renforcement suivants :

- renforcer les panneaux vitrés. Une solution envisageable est l'application de film de protection anti-fragment selon les recommandations du chapitre 3.2.6.
- remplacer le système de fermeture de la fenêtre par un système de fermeture dit « retardataire d'effraction » respectant les recommandations du chapitre 3.3 ou (de) remplacer la fenêtre.
- renforcer le système de fixation de la fenêtre posée selon les recommandations du chapitre 3.4.

Dans chacun des cas, la réalisation de ces travaux de renforcement par un professionnel est fortement conseillée.

5. REFERENCES

[1] Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. Guide méthodologique « Plan de Prévention des Risques Technologiques ». 2005 version 1, 2007 version 2.

[2] CSTB. Complément technique relatif à l'effet de surpression. Recommandations et précautions en vue de réduire les risques. Référence 26005165. Mars 2008 version 2.

[3] INERIS, CETE Normandie-Centre, et al. Cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression. Décembre 2008.

[4] INERIS, Rapport d'étude, Etude de la vulnérabilité des fenêtres dans la zone de surpression d'intensité 20 à 50 mbar dans le cadre des PPRTs (Plans de Prévention des Risques Technologiques). Juillet 2009.

6. LISTES DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Orientation des façades d'un bâtiment par rapport au centre d'explosion : Attribution des numéros de face	4

ANNEXE 1 :

ORIENTATION DES FAÇADES D'UN BATIMENT PAR RAPPORT AU CENTRE D'EXPLOSION : ATTRIBUTION DES NUMEROS DE FACES

Considérons un bâtiment situé à l'intérieur de la zone de surpression d'intensité 20-50 mbar générée par une explosion. Suivant leur orientation par rapport au centre de cette explosion, les façades du bâtiment sont plus ou moins exposées aux effets de l'explosion. Afin de prendre en compte cet aspect, les façades des bâtiments sont repérées par un numéro : face 1 (la plus exposée), face 2, face 3 ou face 4 (la moins exposée).

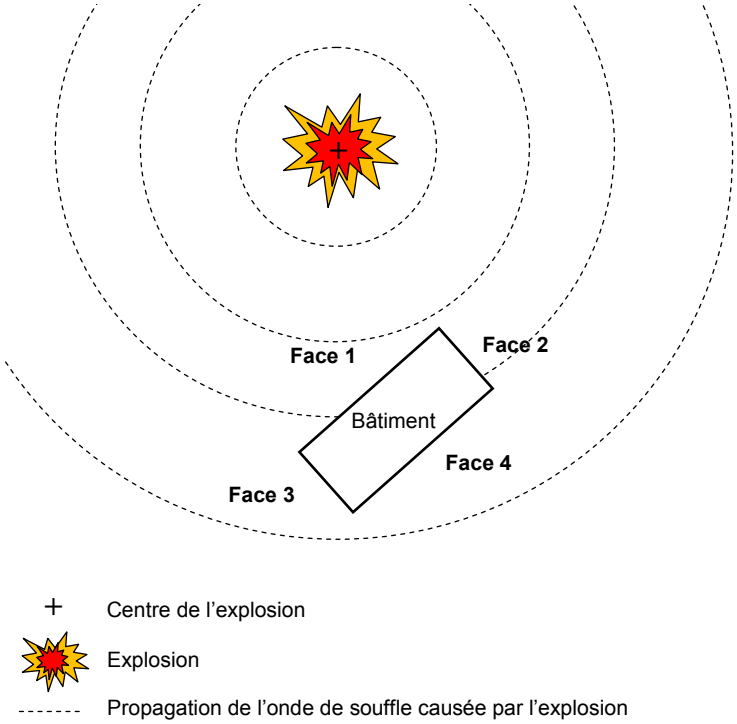


Figure 32 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion

L'attribution des numéros se fait selon une démarche en 3 étapes rappelés ci-dessous et tirées du *« cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression » [3]*.

- **Etape 1 : Relever toutes les faces du bâtiment**
- **Etape 2 : Pour chaque centre d'explosion retenu, déterminer l'angle de chaque face par rapport au centre d'explosion :**
  - Calculer la valeur des 2 angles formés entre:
    - la normale de la face
    - et le segment [centre du phénomène retenu-extrémité de la face] (en pratique, dans la majorité des cas il y a une différence seulement de quelques degrés).
  - Retenir l'angle le plus défavorable (le plus faible en valeur absolu)

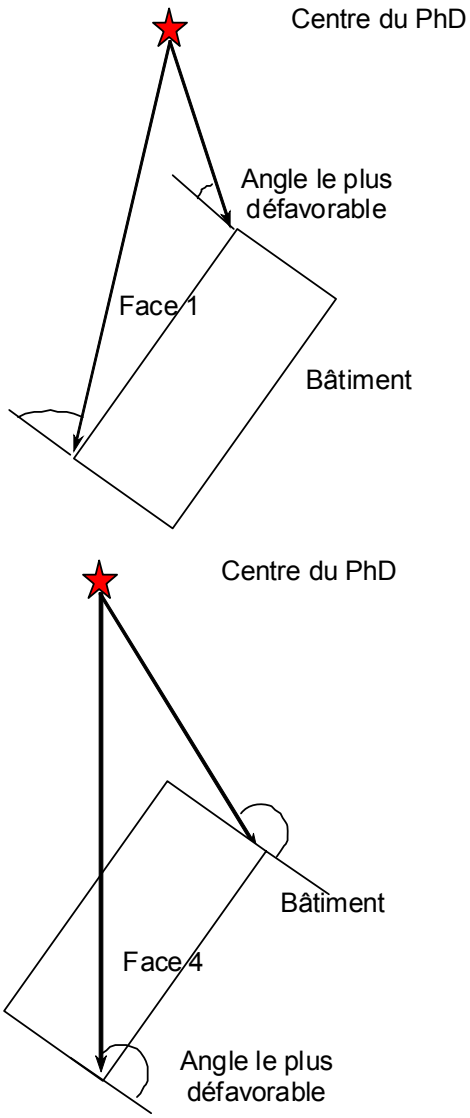


Figure 33 : Angles retenus

Etape 3 : Affecter aux faces un numéro de face selon la règle suivante :

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

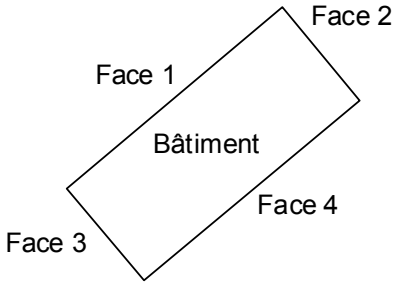


Figure 34. Affectation des numéros de faces

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

ANNEXE C2 **26/10/2009**

INERIS- DRA-09-103218-11382D

Guide pratique

Fenêtres dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar, diagnostic et mesures de renforcement

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 5

2. MODES DE CONSTRUCTION, TYPOLOGIE DES FENETRES EN FRANCE 7

2.1 Eléments constituant une fenêtre 7

2.2 Les principaux modes d'ouverture 8

2.3 Les principaux types de pose 10

2.4 Les principaux types de vitrage 12

2.5 Les principaux types de verre 13

2.6 Les films de protection anti-fragment 14

3. ELEMENTS PRATIQUES POUR PROTEGER LES FENETRES 17

3.1 Introduction 17

3.2 Dimensions des panneaux vitrés 17

3.3 Règles simples a respecter sur les châssis, le système de fermeture 34

3.4 Fixation de la fenêtre dans le mur 38

4. EXEMPLE D'APPLICATION POUR LES BATIMENTS EXISTANTS : PROTECTION OFFERTE PAR UN DES TYPES DE FENETRES LES PLUS COURAMMENT RENCONTRES 43

5. REFERENCES 47

6. LISTES DES ANNEXES 49

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Dormant et ouvrants d'une fenêtre à ouverture à la française 7
Figure 2 : Paumelles, châssis mobile, parcloses et panneaux vitrés d'une fenêtre 7
Figure 3 : Illustration d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle 8
Figure 4 : Les principaux types d'ouverture des fenêtres en France 9
Figure 5 : Schéma de la pose en feuillure 10
Figure 6 : Schéma de la pose en tunnel 10
Figure 7 : Schéma d'une pose en applique 11
Figure 8 : Schéma d'un vitrage simple feuilleté de type 44.2 (à gauche) et 666.4 (à droite) 12
Figure 9 : Schéma d'un vitrage isolant double de type 4/16/4 (à gauche) et 44.2/12/4 (à droite) 12
Figure 10 : Fixation du film par simple adhérence 15
Figure 11 : Fixation chimique du film 15
Figure 12 : Fixation mécanique du film 16
Figure 13 : Types de vitrages étudiés 18
Figure 14 : Illustration des dimensions L et l d'un panneau vitré 18
Figure 15 : Signaux de surpression typiques 19
Figure 16 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion 19
Figure 17 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 20
Figure 18 : Configuration admissibles des panneaux vitrés de type 4/16/4 de dimensions 0.6 m x 1.1 m de fenêtres à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions hors tout standards : 1.40 m de large et de 1.25 m de haut 22
Figure 19 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/12/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 23
Figure 20 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/12/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 25
Figure 21 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/8/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 26
Figure 22 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 8/8/8 en verre trempé en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 28
Figure 23 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré muni d'un vitrage simple monolithique recuit de 4mm avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 31
Figure 24 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l 32
Figure 25 : Exemple pour une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions tableaux h=1.25 m x l = 1.40 m 35
Figure 26 : Système de fermeture classique à crémone 3 points avec sortie de tringle (sans renvoi d'angle) d'une fenêtre à ouverture à la française 35
Figure 27 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française à deux vantaux munies d'un système de fermeture à sortie de tringle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50 41
Figure 28 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française avec système de fermeture à renvoi d'angle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50 41
Figure 29 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 1 d'une construction dans la zone 35-50 42
Figure 30 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 2, 3 et 4 d'une construction dans la zone 35-50 ou en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-35 42
Figure 31 : Tableau de la vulnérabilité dans la zone 20-50 mbar d'une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions h=1.25 m x l=1.40 m munie de panneaux vitrés de type 4/16/4 et d'un système de fermeture 3 points avec sortie de tringle 44
Figure 32 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion 53

Figure 33 : Angles retenus *54*
Figure 34. Affectation des numéros de faces *55*

1. INTRODUCTION

Dans le cas où un établissement à risques est à l'origine de phénomène dangereux d'explosion conduisant dans son environnement à des ondes de surpression d'intensité 20 à 50 mbar, le règlement du Plan de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) prescrit ou recommande, dans cette zone, la tenue des fenêtres standards des maisons individuelles ou bâtiments d'activité situés dans cette zone.

Ce document est à destination des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et professionnels de la construction. Il a pour objectif de les aider à mieux appréhender les demandes de travaux faites par les propriétaires dans le cadre de la mise en œuvre des prescriptions d'objectif de performance ou des recommandations du règlement du PPRT.

Il propose des éléments pratiques simples permettant de protéger les fenêtres des bâtis actuels ou futurs et ainsi garantir une protection efficace des personnes situées à l'intérieur des habitations dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar. Les mesures constructives proposées se veulent les moins onéreuses possibles.

Elaboré par l'INERIS, il se fonde sur des travaux tant théoriques que pratiques et complète un certain nombre de documents référencés en dernière page du présent rapport [1], [2], [3] et [4].

Il présente :

- Les principaux modes de constructions des fenêtres en France [Chap. 2] ;
- Des éléments pratiques pour garantir la tenue des fenêtres dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar [Chap. 3], afférents :
    - à la nature et aux dimensions des panneaux vitrés [Chap. 3.2] ;
    - à la nature du châssis, au système de fermeture et au mode de pose de la fenêtre [Chap. 3.3] ;
    - au mode de fixation de la fenêtre dans le mur [Chap. 3.4].
- Un exemple d'application dressant la protection offerte par un des types de fenêtres les plus couramment rencontrés dans l'habitat français.

2. MODES DE CONSTRUCTION, TYPOLOGIE DES FENETRES EN FRANCE

2.1 ELEMENTS CONSTITUANT UNE FENETRE

Une fenêtre est typiquement constituée des éléments suivants :

- le dormant : encadrement fixe de la fenêtre fixé au mur et sur lequel sont fixés les vantaux (cadre ouvrant) de la fenêtre ; Le dormant est aussi appelé le fixe, le bâti, ou le châssis dormant ;
- le cadre ouvrant **:** partie mobile de la fenêtre qui s'articule autour de paumelles ou gonds ; l'ouvrant est encore appelé le battant ou le vantail.

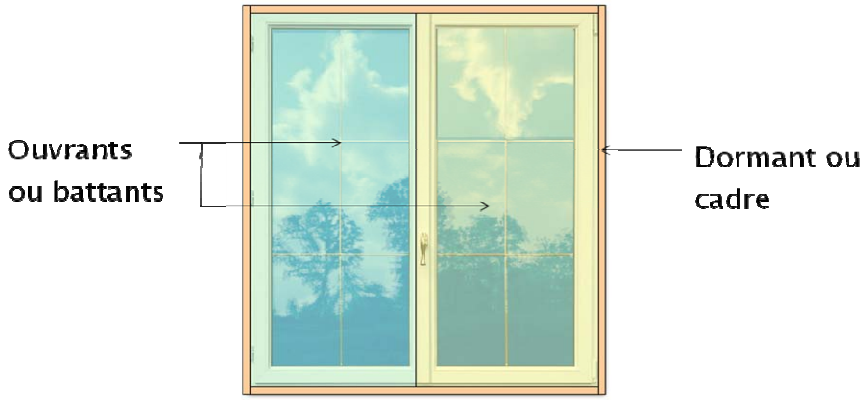


Figure 1 : Dormant et ouvrants d'une fenêtre à ouverture à la française

- les paumelles : organes constituées de 2 pièces métalliques mobiles qui assurent la fixation du battant sur le dormant en permettant la rotation du battant ;
- le vitrage proprement dit, encore appelé « panneau vitré » ;
- le châssis mobile : assemblage de montants (parties verticales) et de traverses (parties horizontales) qui encadre et maintien le vitrage ;
- les parcloses : pièces de petite section servant au maintien des vitrages ;

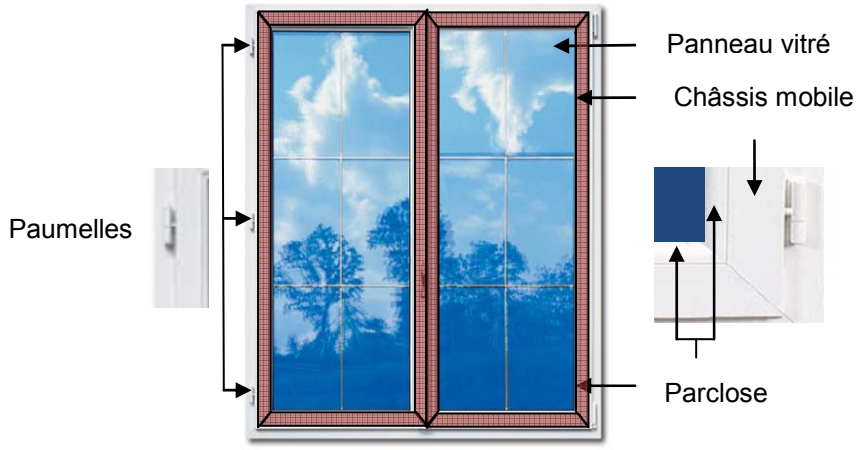


Figure 2 : Paumelles, châssis mobile, parcloses et panneaux vitrés d'une fenêtre

- sans oublier le système de fermeture ; Parmi les plus courants, peut être cité le système de fermeture à crémone avec sortie de tringle. Le verrouillage est assuré en partie basse et en haute par une gâche (pièce en métal ou en plastique) fixée au dormant et dans laquelle vient s'engager une tige métallique.

(1) système de fermeture centrale

(2) fermeture haute et basse :gâche recevant une tringle métallique

Figure 3 : Illustration d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle

2.2 LES PRINCIPAUX MODES D'OUVERTURE

Il existe une douzaine de types d'ouverture. On retiendra pour l'essentiel :

- L'ouverture à la française : l'ouverture se fait vers l'intérieur. Le nombre de battant peut varier de 1 à 2 ;
- L'ouverture à soufflet : l'ouverture se fait vers l'intérieur sur un axe horizontal, ce qui permet d'entrebâiller la fenêtre sur sa partie haute ;
- L'ouverture en oscillo-battant : la fenêtre s'ouvre de 2 façons :
  - « normalement » comme une fenêtre à battant, avec ouverture à la française ;
  - en soufflet sur un axe horizontal (fenêtre entrebâillée sur sa partie haute), ou bien sur un axe vertical ;
- L'ouverture coulissante : la fenêtre s'ouvre par glissement d'un vantail sur un autre ;
- L'ouverture basculante : la fenêtre s'ouvre en haut vers l'intérieur, en bas vers l'extérieur. En France, ce type d'ouverture est surtout utilisé pour les fenêtres de toit.

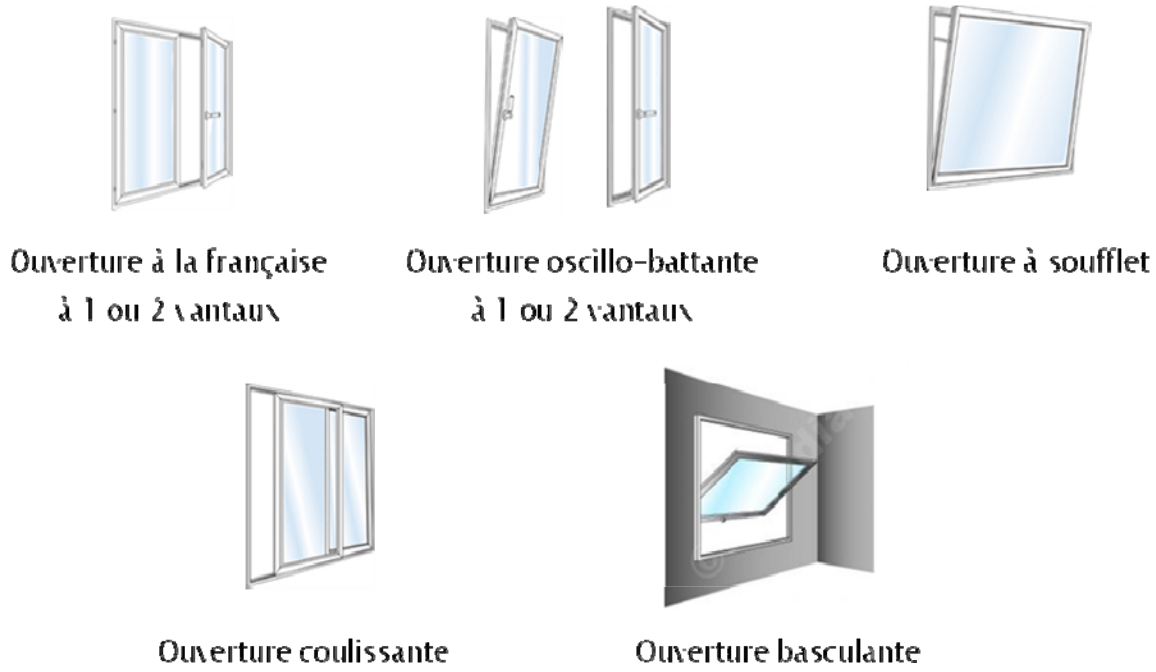


Figure 4 : Les principaux types d'ouverture des fenêtres en France

2.3 LES PRINCIPAUX TYPES DE POSE

Il existe trois grands types de pose :

- **La pose en feuillure** :

La fenêtre, plus grande que le tableau, vient se placer à l'intérieur de la feuillure de l'ancien bâti. Elle est scellée dans le mur par l'intermédiaire de pattes de scellement généralement disposées au niveau des organes de rotation et un ancrage sur la traverse haute et basse.

La pose en feuillure est utilisée pour les constructions neuves ou en rénovation pour le remplacement total d'une ancienne fenêtre par une nouvelle.

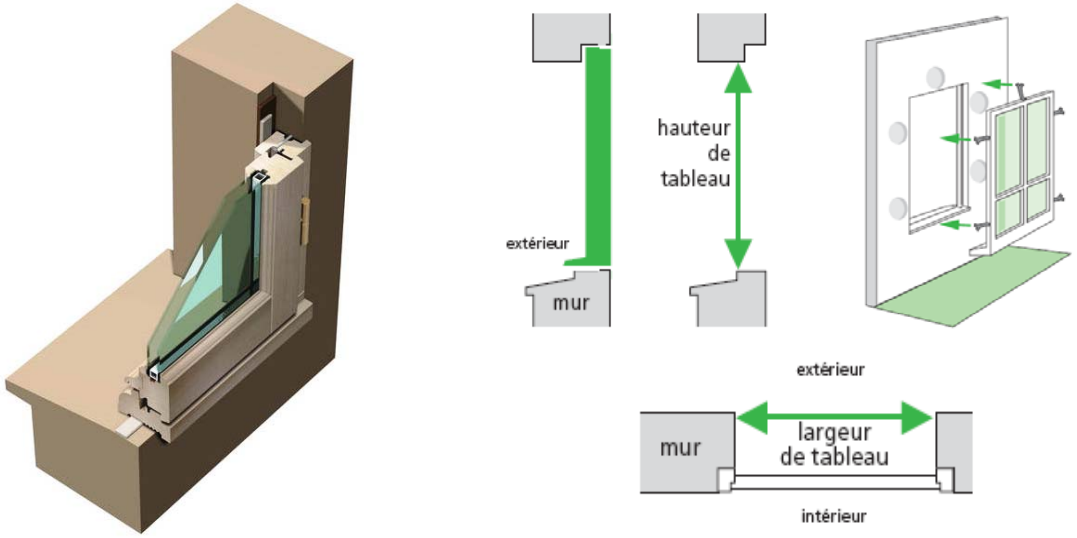


Figure 5 : Schéma de la pose en feuillure

- **La pose en tunnel** (ou encore appelée **pose en tableau**) :

La fenêtre est fixée dans l'épaisseur du mur par chevillage à travers l'huisserie. Les chevillages sont disposées au niveau des organes de rotation et en traverses hautes et basses. La dimension totale de la menuiserie est donc légèrement inférieure à la dimension de l'ouverture.

La pose en tunnel est utilisée pour les constructions neuves ou pour les rénovations, avec ou sans isolation.

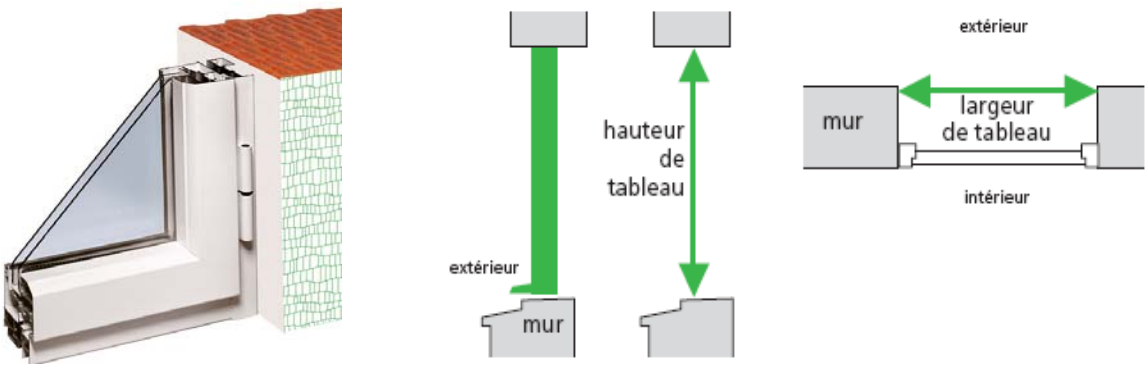


Figure 6 : Schéma de la pose en tunnel

- **La pose en applique** :

Comme son nom l'indique, la fenêtre vient s'appliquer sur le mur et est fixée à celui-ci par l'intermédiaire de pattes de fixation. Ces dernières sont disposée en priorité au voisinage des organes de rotation et des points de condamnation sur le dormant avec un écartement maximum entre les fixations de 80 cm et une à 10 cm de chaque angle. La menuiserie est plus grande que le tableau.

La pose en applique est utilisée pour les constructions neuves avec isolation intérieure ou en rénovation avec pose d'une isolation.

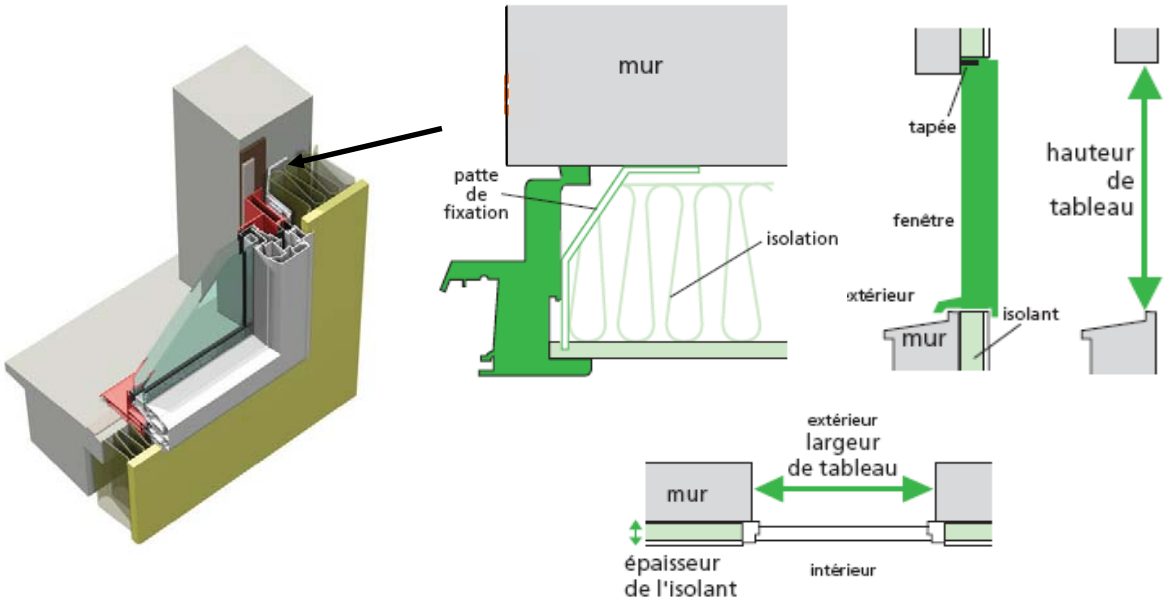


Figure 7 : Schéma d'une pose en applique

2.4 LES PRINCIPAUX TYPES DE VITRAGE

On peut distinguer trois grands types de vitrage :

- Vitrages simples monolithiques : constitués d'une seule feuille de verre ;
- Vitrages simples feuilletés : composés de 2 ou plusieurs feuilles de verre assemblées entre elles par un ou plusieurs films intercalaires en butyral de polyvinyle (PVB). Ces films de PVB permettent de retenir les fragments formés lors de la rupture du verre.

  Ils sont caractérisés par leur importante capacité d'allongement pouvant atteindre 240% (1 mètre de PVB peut s'allonger jusqu'à 2,40 m). Ces vitrages sont notés XX.Y. Le nombre de X donne le nombre de panneaux de verre utilisé dans l'assemblage. La valeur X indique (en mm) l'épaisseur. Le dernier chiffre Y, séparé des précédents par un point indique le nombre de couches de films PVB. Par exemple un vitrage feuilleté 44.2 sera constitué de deux panneaux de verre de 4 mm séparés par deux couches de film PVB.

Figure 8 : Schéma d'un vitrage simple feuilleté de type 44.2 (à gauche) et 666.4 (à droite)

- Vitrages isolants doubles : composés de deux vitrages qui peuvent être simples monolithiques ou simples feuilletés séparés par une lame d'air ou autre gaz (argon).

  Ces vitrages sont notés X/Y/Z. Les lettres X et Z indiquent l'épaisseur de chacun des composants verriers situés de part et d'autre de la lame d'isolant d'épaisseur Y (en mm). Par exemple un vitrage 4/16/4 est un vitrage constitué de deux vitrages simples monolithiques de 4mm séparés par une lame d'isolant de 16 mm. Un vitrage 44.2/12/4 est un vitrage composé d'un vitrage simple feuilleté de type 44.2, d'une lame d'air de 12 mm et d'un vitrage simple monolithique de 4 mm d'épaisseur.

  Il existe sur le même principe des vitrages triples isolants.

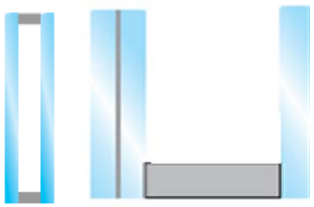


Figure 9 : Schéma d'un vitrage isolant double de type 4/16/4 (à gauche) et 44.2/12/4 (à droite)

2.5 LES PRINCIPAUX TYPES DE VERRE

Le type de verre le plus couramment rencontré est le verre recuit. Lorsqu'il se fragmente, ce type de verre forme de grands fragments, très coupants, pouvant causer de nombreuses blessures.

Il existe également deux grands autres types de verres :

- le verre trempé thermiquement : ce verre a subi un processus de trempe thermique modifiant ses propriétés de résistance mécanique. Le volume de verre est chauffé jusqu'à 700°C (température où les molécules peuvent se déplacer), puis refroidi très rapidement et uniformément à 300°C par des jets d'air froid. Les couches externes sont refroidies en premier. Quand les régions internes se contractent à leur tour, elles «tirent» sur la surface et **créent une tension résiduelle de compression**.

  Par ce processus, la résistance à la flexion du verre se trouve considérablement accrue : elle est 3 à 5 fois plus résistante qu'un verre recuit. Par ailleurs, lors de sa rupture, le verre présente la particularité de se fragmenter en une multitude de petits éclats.

- le verre semi-trempé ou durci : ce verre a également subi un traitement thermique visant à renforcer sa résistance mécanique. Son mode d'obtention est similaire à celui d'un verre trempé. Cependant la phase de refroidissement est plus lente.

  Par ce processus, la résistance du verre à la flexion se trouve accrue. Elle est comprise entre celle du verre recuit et du verre trempé. Cependant le mode de rupture de ce type de verre se rapproche davantage d'un verre recuit. Il se fragmente en effet en morceaux de grandes dimensions et très coupants.

2.6 LES FILMS DE PROTECTION ANTI-FRAGMENT

2.6.1 GENERALITES

Les films de sécurité plastiques plus communément appelés films de protection anti-fragment sont utilisés pour améliorer les performances post-rupture des vitrages. Ils sont appliqués sur les faces intérieures des fenêtres. Il existe sur le marché un grand nombre de produits. Ils peuvent être teintés ou non. Les films non teintés ont de faibles effets sur les caractéristiques optiques du vitrage (Ils maintiennent la totalité de la luminosité du vitrage). Ceux teintés peuvent améliorer les caractéristiques du vitrage actuel en terme de déperdition thermique notamment. La plupart est conçue pour bloquer les rayons UV.

Ils peuvent être monocouches ou multicouches dont l'épaisseur totale varie en général de 50 microns et 400 microns.

L'application d'un film de sécurité permet d'améliorer les performances post-rupture des vitrages :

- augmentation de la résistance du vitrage ; Lors de la rupture de la vitre soumise à une onde de surpression, les fragments de verre restent collés au film et ce dernier absorbe une grande partie de l'énergie par déformation élastique et plastique ;
- forte réduction de la formation de fragments ;
- diminution de la vitesse des fragments projetés ;
- réduction de la distance de projection les fragments ;

L'efficacité des films plastiques dépend notamment :

- des caractéristiques matériaux du film : résistance à la rupture, capacité d'élongation, résistance à l'élongation ;
- de l'épaisseur du film ; plus le film est épais est plus la protection qu'il offre augmente.
- du mode de pose du film ;

2.6.2 MODE DE POSE DES FILMS DE PROTECTION ANTI-FRAGMENT

Les films plastiques anti-fragment peuvent être classés en trois grandes catégories selon leur mode d'installation :

- Pose par simple adhérence au vitrage ;
- Installation par adhérence et fixation chimique au châssis ;
- Installation par adhérence et fixation mécanique au châssis ;

2.6.2.1 POSE PAR SIMPLE ADHERENCE

Ce mode d'installation du film de sécurité est la pose standard.

Le film est simplement posé sur le vitrage sans être fixé d'une quelconque manière au châssis. L'application de ce type de film doit au minimum couvrir la partie visible du vitrage de la fenêtre.

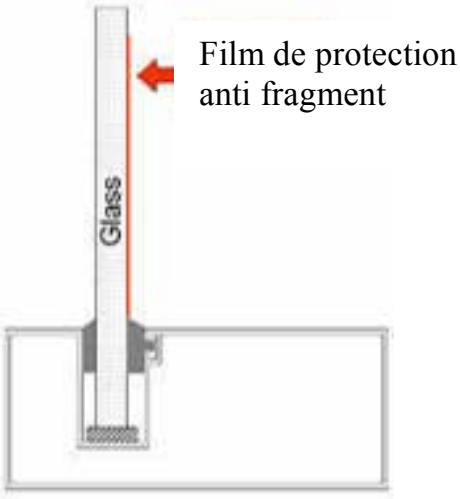


Figure 10 : Fixation du film par simple adhérence

2.6.2.2 SYSTEME DE FIXATION CHIMIQUE

Ce système de fixation aussi appelé fixation par enduit humide. Ce mode d'installation permet de fixer définitivement le film de protection au cadre de la vitre à l'aide d'un enduit structurel ou d'un adhésif en silicone. Le film de protection est tout d'abord appliqué au verre, et il est ensuite fixé au cadre du verre à l'aide d'un enduit structurel. L'enduit est appliqué aux quatre coins du film, comblant les orifices par où passe la lumière et faisant déborder le film du cadre afin de créer un lien chimique entre le film et le cadre.

Cette méthode est utilisée dans le but de renforcer la capacité de rétention d'éclats de verre du film. Il offre une protection plus grande que le système précédent. Cependant son coût est plus élevé, de l'ordre de 150 euros / m^2 hors pose.

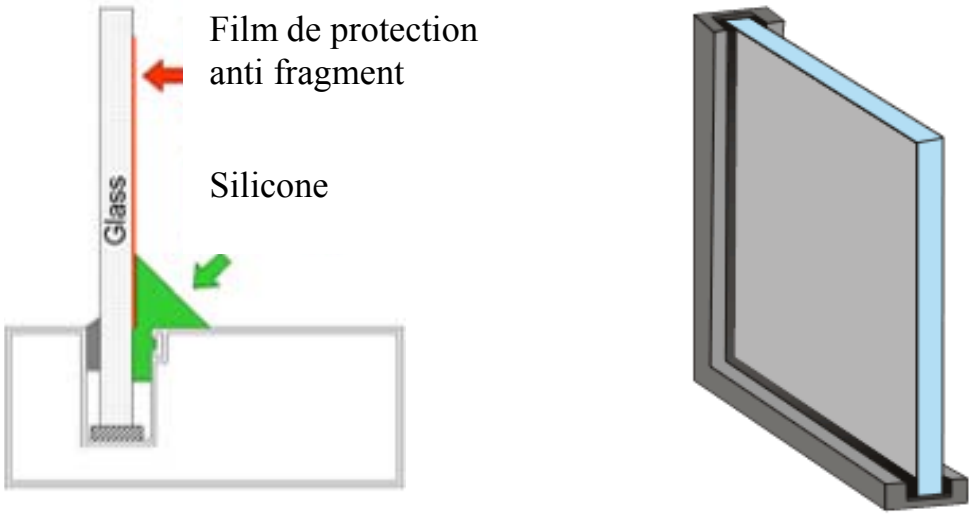


Figure 11 : Fixation chimique du film

2.6.2.3 SYSTEME DE FIXATION MECANIQUE

Ce type d'installation permet de fixer de manière mécanique le film au cadre de la vitre à l'aide d'un système de lattes métalliques. Le film de protection est appliqué au verre et dépasse le cadre de la vitre d'environ 2,5 cm. Une série de lattes métalliques est placée sur le film apposé et vissée au cadre de la vitre existant, ce qui permet de fixer définitivement le film au cadre. En fonction du type de rétention d'éclats de verre recherché, ce système mécanique peut être fixé sur un côté (bord supérieur), deux côtés ou sur les quatre côtés.

Ce système permet de diminuer la probabilité du vitrage à quitter le châssis. Il est plus efficace que les deux autres mais également beaucoup plus onéreux. Par ailleurs, il peut se révéler moins esthétique.

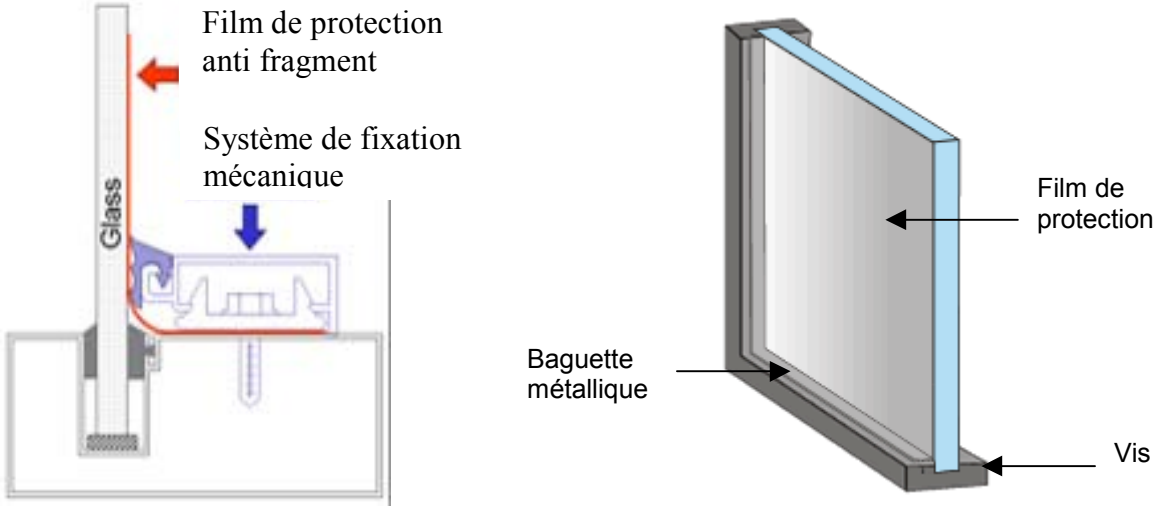


Figure 12 : Fixation mécanique du film

Toutes ces méthodes d'installation peuvent être utilisées sur des châssis en acier, en aluminium ou en bois. Sur les châssis en PVC seules sont possibles la pose par simple adhérence et la fixation chimique.

3. ELEMENTS PRATIQUES POUR PROTEGER LES FENETRES

3.1 INTRODUCTION

Afin de garantir la protection des personnes se trouvant à l'intérieur d'une habitation située dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar (appelé par la suite zone 20-50 mbar), la tenue des fenêtres dans une telle zone doit être assurée.

Pour ce faire, les panneaux vitrés constituant la fenêtre doivent être capables de résister à une onde de surpression de 20 à 50 mbar ou dans une moindre mesure de casser sans risque de blessure (les bris de vitre susceptibles d'être projetés étant retenus). Cependant, cela ne suffit pas. En effet, en cas d'ouverture de la fenêtre, les vantaux peuvent être arrachés et projetés à l'intérieur des habitations causant alors de graves blessures. De même, une fixation non adaptée du cadre de la fenêtre dans le mur peut amener la fenêtre à s'arracher du mur et à être projetée.

Ainsi, garantir la tenue d'une fenêtre dans la zone 20-50 mbar, nécessite une démarche en 3 étapes :

- définir les dimensions maximales admissibles de différents panneaux vitrés isolants doubles standards ou feuilleté afin de résister ou casser sans risque de blessure dans la zone 20-50 mbar. On trouvera les éléments correspondants au chapitre 3.2.
- définir la configuration du châssis admissible en tenant compte :
    - du matériau constituant le châssis (PVC, aluminium, bois) ;
    - du mode d'ouverture de la fenêtre (ouverture à la française, coulissant, …) ;
    - du système de fermeture de la fenêtre ;
    - du mode de pose ;

  On trouvera les éléments correspondants au chapitre 3.3.
- définir la configuration admissible du mode de fixation du châssis dans le mur (chapitre 3.4)

Ces règles définissent un ensemble d'éléments pratiques permettant de garantir la tenue des fenêtres et ainsi protéger efficacement les personnes.

3.2 DIMENSIONS DES PANNEAUX VITRES

Le comportement d'un panneau vitré face à une onde de surpression dépend notamment :

- des caractéristiques du vitrage proprement dit : vitrage isolant double « standard », vitrage isolant double feuilleté ;
- des caractéristiques géométriques du panneau vitré : longueur L, largeur l, épaisseur e ;

Les tableaux en figure 17 à 23 présentent pour 5 vitrages isolants doubles différents, les dimensions maximales du panneau vitré correspondant permettant :

- de résister à une onde de surpression incidente de 20 à 50 mbar ;
- ou dans une moindre mesure de protéger efficacement les personnes contre ces agressions en cassant sans risque de blessure.

Vitrage isolant double standard	**4/16/4**
Vitrages isolants doubles feuilletés	**44.2/12/4**
	4/12/44.2
	44.2/8/44.2
Vitrage sur mesure	**8/8/8**

Figure 13 : Types de vitrages étudiés

Les valeurs sont données pour des vitrages constitués de composants verriers en verre recuit (sauf pour le 8/8/8 où les composants sont en verre trempé). Elles sont cependant encore applicables de manière conservative si le verre considéré est un verre durci ou semi-trempé.

Les panneaux vitrés considérés sont des panneaux rectangulaires de longueur L (considérée par définition comme la plus grande des deux dimensions) et de largeur l (correspondant par définition à la plus petite des deux dimensions). De fait, le rapport des dimensions L/l est supérieur ou égal à 1.

Il est à noter que les dimensions du panneau vitré sont à distinguer de celles de la fenêtre puisque par exemple une fenêtre à ouverture à la française à 2 vantaux est composée de deux panneaux vitrés.

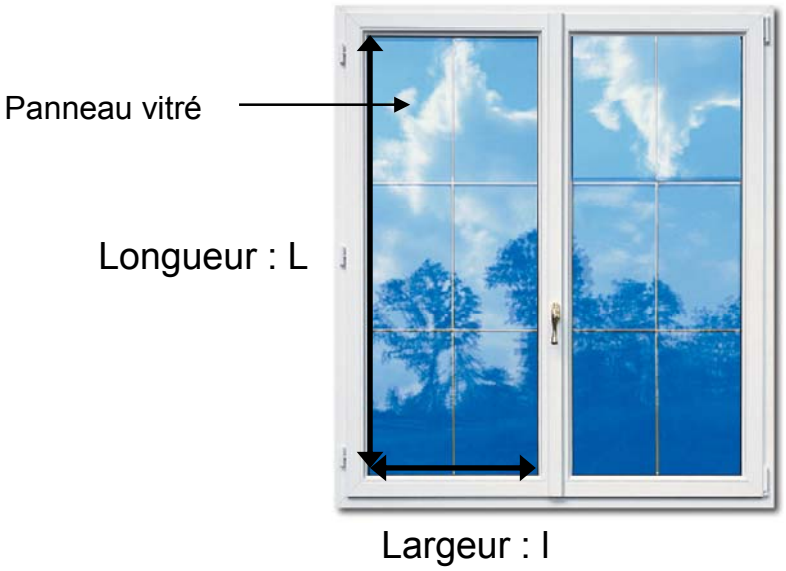
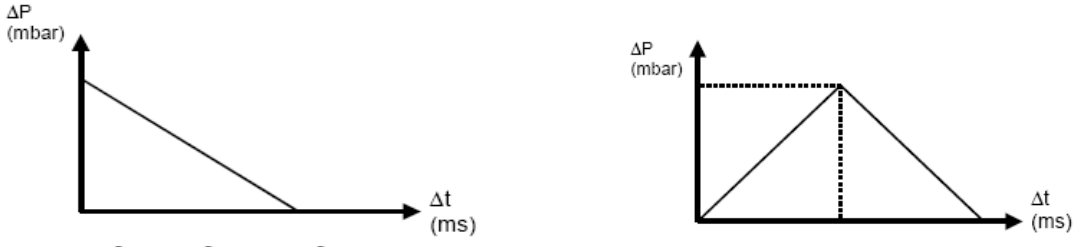


Figure 14 : Illustration des dimensions L et l d'un panneau vitré

Ces tableaux tiennent également compte :

- de la nature de l'onde de surpression générée par l'explosion : Le*« cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression » [3]* regroupe les phénomènes accidentels d'explosions en 6 catégories. Il est ici à retenir que selon le type de phénomènes, la nature du

produit mis en jeu, la masse ou le volume de produit retenu, deux régimes d'explosion sont à distinguer : le régime de déflagration et le régime de détonation (appelé par la suite onde de choc).



Onde de choc Déflagration

Figure 15 : Signaux de surpression typiques

- de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment. La zone réglementaire 20-50 mbar est en effet divisée en deux zones. Ainsi un bâtiment peut soit se trouver dans la zone 20-35 mbar soit dans la zone 35-50 mbar.
- de l'orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion repérée par un numéro : face 1 (la plus exposée), face 2, face 3 ou face 4 (la moins exposée). En effet, suivant leur orientation, les façades et donc les fenêtres sont plus ou moins exposées aux effets de l'explosion conduisant à différencier en fonction des faces les dimensions maximales des panneaux vitrés composant les fenêtres.

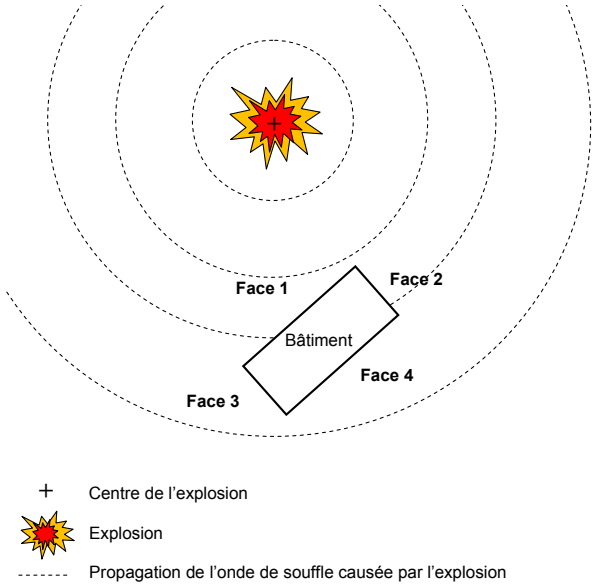


Figure 16 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion

L'attribution des numéros de face obéit à des règles précises spécifiées dans le *« cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression » [3]* et présentées en annexe 1.

Ainsi connaissant la nature de l'explosion, la zone dans laquelle se trouve le bâtiment et le numéro de face du bâtiment, le tableau donne en fonction du rapport L/l variant de 1 à 4 (1, 1.5, 2, 3 et 4) la largeur maximale (l) admissible du panneau vitré afin de résister ou casser sans risque de blessure.

3.2.1 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 4/16/4

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 4/16/4 permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.55	0.40	0.30	0.25	0.25
	Face 2		0.65	0.55	0.40	0.30	0.30
	Face 3		0.90	0.70	0.65	0.40	0.40
	Face 4		0.95	0.75	0.70	0.45	0.45
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.70	0.55	0.40	0.35	0.35
	Face 2		0.90	0.70	0.65	0.40	0.40
	Face 3		1.15	0.90	0.80	0.55	0.50
	Face 4		1.20	0.95	0.85	0.55	0.55

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.80	0.60	0.45	0.35	0.35
	Face 2		0.90	0.70	0.65	0.40	0.40
	Face 3		1.05	0.85	0.75	0.50	0.50
	Face 4		1.15	0.90	0.80	0.55	0.50
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.95	0.75	0.70	0.45	0.45
	Face 2		1.15	0.90	0.80	0.55	0.50
	Face 3		1.30	1.05	0.95	0.65	0.60
	Face 4		1.35	1.10	1.0	0.70	0.65

Figure 17 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application :

- Exemple n°1 :

Considérons un panneau vitré isolant double 4/16/4 de dimensions 0.20X0.60 m^2 en face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 d'une onde de choc.

Longueur : L=0.60 m

Largeur : l=0.20 m

Le rapport L/l est donc égal à 3.

D'après le premier tableau ci-dessus, un tel panneau vitré ne casse pas face à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar : la largeur du panneau vitré est en effet inférieure à la largeur maximale admissible pour un rapport L/l égale à 0.25 m.

Ainsi un tel panneau semble pouvoir protéger efficacement les personnes contre les blessures par bris de vitre.

- Exemple n°2 :

Considérons un panneau vitré isolant double 4/16/4 de dimensions 0.60X1.10 m^2. Ces dimensions sont typiquement celles des panneaux vitrés composant un des types de fenêtres les plus couramment rencontrés dans l'habitat français à savoir les fenêtres à ouverture à la française à 2 vantaux de 1.40 m de large et de 1.25 m de haut.

Ce panneau vitré est placé en face 1 d'une construction située en zone 35-50 d'une onde de choc.

Pour ce panneau vitré : Longueur=1.10 m,

Largeur=0.60 m

Le rapport L/l est égal à 1.83

La valeur du rapport L/l de 1.83 ne figurant pas dans le premier tableau, la valeur L/l à retenir est la valeur supérieure la proche figurant dans le tableau, soit L/l = 2.

Pour cette valeur de L/l=2, la largeur du panneau vitré est supérieure à 0.30 m, la largeur maximale admissible (l) afin de ne pas casser face à une onde de choc de surpression incidente de 35 à 50 mbar.
Le panneau vitré casse. Les personnes ne peuvent pas être efficacement protégées. En effet, les fragments formés lors de la rupture de ce type de vitrage même pour les niveaux de surpression considérés sont généralement de taille relativement importante et sont projetés avec des vitesses moyennes de l'ordre de 20 m/s, susceptibles d'engendrer des risques de blessures pour une personne située derrière la fenêtre.

Plus généralement, ces panneaux, situés sur les faces des constructions les plus exposées par rapport à l'explosion (face 1 et 2) ne résistent pas à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar. Seuls les panneaux, placés sur les faces 3 et 4 des constructions peuvent résister à de tels effets et donc protéger les personnes contre les blessures par bris de vitre.

De plus, dans la zone 20-35 d'une onde de choc ou dans la zone 35-50 d'une déflagration, seuls les panneaux placés en face 2, 3 ou 4 des constructions peuvent résister.

Dans la zone 20-35 d'une déflagration, les panneaux de toutes les faces des constructions peuvent résister et donc protéger les personnes contre les blessures par bris de vitre.

Zone	Nature de l'onde de surpression	Face du bâtiment sur laquelle est la fenêtre
Zone 35-50	Onde de choc	Face 3 et 4
	Déflagration	Face 2, 3 et 4
Zone 20-35	Onde de choc	Face 2, 3 et 4
	Déflagration	Face 1, 2, 3 et 4

Figure 18 : Configuration admissibles des panneaux vitrés de type 4/16/4 de dimensions 0.6 m x 1.1 m de fenêtres à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions hors tout standards : 1.40 m de large et de 1.25 m de haut

3.2.2 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 44.2/12/4, VERRE FEUILLETE 44.2 POSE COTE EXTERIEUR

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 44.2/12/4, le verre simple monolithique de 4 mm étant posé côté intérieur, permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.90	0.75	0.70	0.50	0.45
	Face 2		1.0	0.80	0.80	0.55	0.50
	Face 3		1.30	1.05	0.95	0.75	0.65
	Face 4		1.35	1.10	1.0	0.80	0.70
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.10	0.90	0.85	0.65	0.55
	Face 2		1.30	1.05	0.95	0.75	0.65
	Face 3		1.55	1.25	1.15	0.90	0.80
	Face 4		1.65	1.35	1.25	1.05	0.90

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.2	1.0	0.90	0.70	0.60
	Face 2		1.30	1.05	0.95	0.75	0.65
	Face 3		1.45	1.20	1.10	0.85	0.75
	Face 4		1.55	1.25	1.15	0.90	0.80
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.35	1.10	1.0	0.80	0.70
	Face 2		1.55	1.25	1.15	0.90	0.80
	Face 3		1.80	1.45	1.35	1.15	1.0
	Face 4		1.85	1.55	1.40	1.20	1.05

Figure 19 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/12/4 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application n°3 :

Considérons un panneau vitré isolant double 44.2/12/4 de dimensions identiques à celles de l'exemple n°2 : 0.60X1.10 m^2, en face 1 d'une habitation dans la zone 35-50 mbar d'une onde de choc.

La largeur du panneau vitré est inférieure à 0.70 m, la largeur maximale admissible (l) afin de ne pas casser face à une onde de choc dans la zone 35-50 mbar pour un rapport L/l=2.

Le panneau vitré ne casse pas. Il semble pouvoir protéger efficacement les personnes contre les blessures par bris de vitre.

3.2.3 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 4/12/44.2, VERRE FEUILLETE 44.2 POSE COTE INTERIEUR

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 4/12/44.2, le verre simple feuilleté 44.2 étant posé côté intérieur, permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.40	1.15	0.80	0.70	0.70
	Face 2		1.65	1.35	1.0	0.85	0.80
	Face 3		2.10	1.70	1.55	1.10	1.0
	Face 4		2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.70	1.35	1.05	0.85	0.80
	Face 2		1.95	1.60	1.45	1.0	0.95
	Face 3		2.40	1.95	1.80	1.30	1.20
	Face 4		2.50	2.05	1.90	1.40	1.25

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.85	1.50	1.40	0.95	0.90
	Face 2		2.10	1.70	1.55	1.10	1.0
	Face 3		2.35	1.90	1.75	1.25	1.15
	Face 4		2.50	2.05	1.90	1.40	1.25
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
	Face 2		2.40	1.95	1.80	1.30	1.20
	Face 3		2.70	2.25	2.10	1.60	1.40
	Face 4		2.80	2.35	2.20	1.70	1.50

Figure 20 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/12/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

3.2.4 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 44.2/8/44.2

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 44.2/8/44.2 permettant résister ou casser sans risque de blessure contre une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.80	1.45	1.20	0.90	0.85
	Face 2		2.10	1.70	1.55	1.10	1.0
	Face 3		2.65	2.20	2.0	1.50	1.35
	Face 4		2.70	2.25	2.05	1.60	1.40
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
	Face 2		2.50	2.05	1.85	1.40	1.25
	Face 3		3.15	2.55	2.30	2.10	1.65
	Face 4		3.25	2.65	2.40	2.20	1.75

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	2.35	1.95	1.80	1.30	1.15
	Face 2		2.65	2.20	2.0	1.50	1.35
	Face 3		3.05	2.50	2.25	2.0	1.60
	Face 4		3.25	2.65	2.40	2.20	1.75
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.70	2.25	2.05	1.60	1.40
	Face 2		3.15	2.55	2.30	2.10	1.65
	Face 3		3.40	2.85	2.60	2.40	1.95
	Face 4		3.50	3.0	2.75	2.50	2.05

Figure 21 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 44.2/8/44.2 en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemples d'application n°4 :

Considérons un panneau vitré isolant double 44.2/8/44.2 de dimensions 0.60X1.80 m^2 en face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 d'une onde de choc.

Longueur : L=1.80 m

Largeur : l=0.6 m

Le rapport L/l est donc égal à 3.

D'après le tableau ci-dessous, un tel panneau vitré ne casse pas ou casse sans risque de blessure face à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar : la largeur du panneau vitré est en effet inférieure à la largeur maximale admissible égale à 0.90 m pour un rapport L/l de 3.

Ainsi un tel panneau semble pouvoir protéger efficacement les personnes contre les blessures par bris de vitre.

3.2.5 PANNEAUX VITRES EN DOUBLE VITRAGE 8/8/8 EN VERRE TREMPE

Les tableaux suivant donnent les dimensions maximales admissibles d'un panneau vitré constitué d'un vitrage 8/8/8, qui contrairement aux autres serait en verre trempé, permettant de résister à une onde de choc ou une déflagration caractérisée par une surpression incidente de 20-35 mbar ou 35-50 mbar.

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.50	1.20	1.05	0.70	0.70
	Face 2		1.75	1.40	1.30	0.90	0.80
	Face 3		2.20	1.80	1.65	1.20	1.10
	Face 4		2.30	1.85	1.70	1.30	1.15
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.80	1.45	1.35	0.90	0.85
	Face 2		2.15	1.75	1.60	1.15	1.05
	Face 3		2.60	2.15	1.95	1.75	1.40
	Face 4		2.75	2.25	2.0	1.80	1.45

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.95	1.60	1.45	1.0	0.95
	Face 2		2.15	1.75	1.60	1.20	1.05
	Face 3		2.45	2.0	1.85	1.55	1.25
	Face 4		2.60	2.15	1.95	1.75	1.40
Zone 20-35	Face 1	l (m)	2.30	1.85	1.70	1.30	1.15
	Face 2		2.60	2.15	1.95	1.75	1.40
	Face 3		2.90	2.40	2.15	1.80	1.65
	Face 4		3.0	2.50	2.20	1.85	1.70

Figure 22 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 8/8/8 en verre trempé en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application n°5 :

Considérons un panneau vitré isolant double 8/8/8 de dimensions identiques à celles de l'exemple n°1 : 0.60X1.80 m^2, placé en face 1 d'une construction située en zone 35-50 d'une onde de choc.

Pour ce panneau vitré, la largeur est de 0.6 m et le rapport L/l est égal à 3.

Pour cette valeur de L/l=3, la largeur du panneau vitré est inférieure à 0.7 m, la largeur maximale admissible (l) afin de ne pas casser face à une onde de choc de surpression incidente de 35-50 mbar.

Le panneau vitré ne casse donc pas. Il semble ainsi pouvoir protéger efficacement les personnes situées à l'intérieur de l'habitation contre les blessures par bris de vitre.

3.2.6 PANNEAUX VITRES MUNIS DE FILMS DE PROTECTION ANTI-FRAGMENT

Des films de sécurité appliqués sur des vitrages simples monolithiques ou des vitrages isolants doubles standards 4/16/4 peuvent, sous certaines conditions, garantir la protection des personnes à l'intérieur d'une habitation située dans la zone 20-50 mbar. En effet les films de sécurité peuvent améliorer les performances post-rupture des vitrages en réduisant significativement la projection des fragments formés lors de la rupture du vitrage (ceux-ci restant en grande majorité collés au film), et en maintenant le panneau vitré dans le cadre de la fenêtre.

Les préconisations suivantes sont à respecter :

- Les films de sécurité doivent être posés dans les règles de l'art par des professionnels.
- Parmi les trois principaux modes de pose, seules sont acceptées :
  - La pose par fixation mécanique : Ce type d'installation permet de fixer de manière mécanique le film au cadre de la vitre à l'aide d'un système de baguettes métalliques vissées au cadre de la vitre existant. Ce système doit permettre de fixer le film sur les quatre côtés.
  - La pose par fixation chimique : Ce mode d'installation permet de fixer le film de protection au cadre de la vitre à l'aide d'un enduit structurel ou d'un adhésif en silicone.
- Les films de sécurité doivent être des films de haute performance.

  Les films de sécurité pourront par exemple respecter les caractéristiques suivantes :

Elongation (%)	**> = 140 %**
Epaisseur x Contrainte à la rupture (MPa.m)	**> = 0.03**
Classement norme GSA[(1)]	**Minimum 3b**

[(1)]Cette recommandation s'applique pour un film testé dans les conditions suivantes :

- appliqué sur un vitrage monolithique recuit de 1.6 m x 1.3 m et de 6 mm d'épaisseur

- classé au minimum 3b lorsque cet ensemble est soumis à un signal triangulaire rectangle d'intensité 275 mbar et de 14 ms

Ce film est ainsi testé en accord avec le protocole et les spécifications de la norme GSA.

- Les dimensions maximales des panneaux vitrées doivent être conformes aux tableaux suivants :
  - Panneaux en vitrages simples monolithiques recuits de 4 mm d'épaisseur munis d'un film de protection anti-fragment

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.4	0.30	0.25	0.25	0.20
	Face 2		0.5	0.35	0.30	0.30	0.25
	Face 3		0.70	0.50	0.40	0.35	0.35
	Face 4		0.70	0.55	0.40	0.35	0.35
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.55	0.35	0.30	0.30	0.25
	Face 2		0.65	0.45	0.35	0.30	0.30
	Face 3		0.85	0.65	0.50	0.40	0.40
	Face 4		0.90	0.70	0.55	0.45	0.40

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.60	0.40	0.35	0.30	0.30
	Face 2		0.70	0.50	0.40	0.35	0.35
	Face 3		0.80	0.65	0.45	0.40	0.40
	Face 4		0.90	0.70	0.55	0.45	0.40
Zone 20-35	Face 1	l (m)	0.70	0.55	0.40	0.35	0.35
	Face 2		0.85	0.65	0.50	0.40	0.40
	Face 3		0.95	0.80	0.70	0.50	0.45
	Face 4		1.05	0.85	0.80	0.55	0.50

Figure 23 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré muni d'un vitrage simple monolithique recuit de 4mm avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

- Panneaux en double vitrage 4/16/4 munis d'un film de protection anti-fragment

Onde de choc							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	0.85	0.70	0.65	0.50	0.45
	Face 2		1.0	0.85	0.75	0.60	0.55
	Face 3		1.25	1.0	0.95	0.75	0.65
	Face 4		1.30	1.05	0.95	0.80	0.70
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.0	0.85	0.80	0.60	0.55
	Face 2		1.20	0.95	0.90	0.70	0.65
	Face 3		1.45	1.20	1.10	1.0	0.80
	Face 4		1.50	1.20	1.15	1.0	0.85

Nota : L : longueur du panneau vitré, l : largeur du panneau vitré.

Déflagration							
Zone	N° de face	Largeur du panneau vitré	L/l				
			1	1.5	2	3	4
Zone 35-50	Face 1	l (m)	1.10	0.90	0.85	0.65	0.60
	Face 2		1.25	1.0	0.95	0.75	0.65
	Face 3		1.40	1.15	1.05	0.95	0.75
	Face 4		1.50	1.20	1.15	1.0	0.85
Zone 20-35	Face 1	l (m)	1.30	1.05	0.95	0.80	0.70
	Face 2		1.45	1.20	1.10	1.0	0.80
	Face 3		1.65	1.35	1.20	1.05	0.95
	Face 4		1.75	1.45	1.25	1.10	1.0

Figure 24 : Largeur maximale (l) d'un panneau vitré isolant double 4/16/4 avec film de sécurité en fonction de la nature de l'explosion, de la zone dans laquelle se trouve le bâtiment, de la face du bâtiment considérée et du rapport L/l

Exemple d'application n°6 :

Considérons un panneau vitré simple monolithique recuit de 4 mm d'épaisseur, de dimensions 0.60X1.10 m^2. Celui-ci est muni d'un film de protection anti-fragment posé par fixation chimique ou mécanique.

L'ensemble est supposé être en face 3 d'une construction située en zone 20-35 d'une onde de choc.

Pour ce panneau vitré : Longueur=1.10 m,

Largeur=0.60 m

Le rapport L/l est égal à 1.83

La valeur du rapport L/l de 1.83 ne figurant pas dans le premier tableau, la valeur L/l à retenir est la valeur supérieure la plus proche figurant dans le tableau, soit L/l = 2.

Pour cette valeur de L/l=2, la largeur du panneau vitré est supérieure à 0.50 m, la largeur maximale admissible (l) afin de casser sans risque de blessure face à une onde de choc de surpression incidente de 20-35 mbar.

En conséquence le panneau casse et un nombre important de fragments risque d'être projeté. Les personnes ne peuvent donc pas être efficacement protégées contre les blessures par bris de vitre.

Exemple d'application n°7 :

L'application de film de sécurité sur des panneaux vitrés isolants doubles de type 4/16/4, de dimensions 0.60X1.10m^2, en face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 mbar d'une onde de choc, permettrait résister ou casser sans risques de blessures par bris de vitre pour les personnes.

Le chapitre 3.2 s'est attaché à définir les dimensions maximales admissibles de différents panneaux vitrés isolants doubles standards ou feuilletés, ainsi que l'influence de la pose de film de protection anti-fragment afin de résister ou casser sans risque de blessure dans la zone 20-50. Cependant, garantir la tenue d'une fenêtre dans cette zone, c'est certes disposer de panneaux vitrés capables de résister à de telles intensités, mais également respecter des règles particulières quant aux :

- matériau constituant le châssis (PVC, aluminium, bois) ;
- mode d'ouverture de la fenêtre (ouverture à la française, coulissant, …) ;
- système de fermeture de la fenêtre ;
- mode de pose de la fenêtre (en applique, en tunnel, …).

3.3 REGLES SIMPLES A RESPECTER SUR LES CHASSIS, LE SYSTEME DE FERMETURE

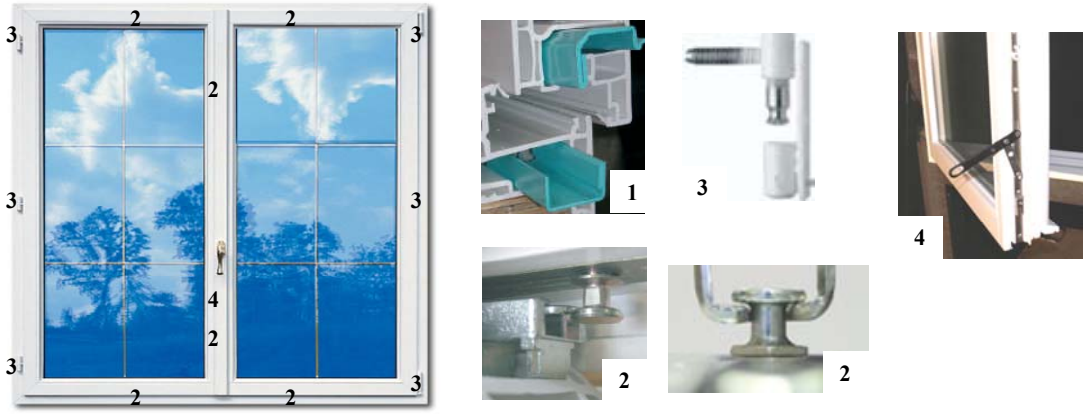
Les modes d'ouverture possibles de fenêtres sont très variés. Il en existe une douzaine. Il paraît alors difficile d'étudier chacun d'entre eux de manière exhaustive. Néanmoins l'INERIS a pris le parti de donner des recommandations qui s'appliquent sur l'ensemble de ceux-ci.

3.3.1 CHASSIS PVC

Dans la zone 20-50 mbar, l'utilisation de fenêtre en PVC doit être accompagnée d'une des mesures suivantes :

- Les panneaux vitrés sont montés sur châssis fixe. La fenêtre ne comporte pas d'ouvrant, le vitrage est monté dans le cadre de la fenêtre qui est fixé au mur ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'extérieur (comme l'ouverture à l'anglaise ou à l'italienne) ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'intérieur respectant au moins les préconisations suivantes :
  - Tout mode d'ouverture vers l'intérieur autre que l'ouverture à la française est à proscrire ;
  - Les fenêtres sont posées en applique, en feuillure ou en tunnel en respectant les préconisations données au chapitre 3.4 ;
  - Les traverses et montants du dormant et des châssis mobiles doivent être renforcés par des armatures en acier ;
  - Les fenêtres sont munies d'un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galets champignon. Les gâches sont fixées sur les éléments en PVC par l'intermédiaire de vis de longueur suffisante pour traverser la première épaisseur de PVC et le renfort métallique ;
  - Les paumelles sont munies d'un système anti-dégondage et doivent être vissées dans l'acier des dormants et des battants ;

- Le nombre de points (paumelles ou points de condamnation de type gâche métallique + galet champignon) liant les ouvrants au dormant de la fenêtre doit au moins être égal à $N= 6S_f$ où S_f est la surface totale de la fenêtre en m^2.



(1) Armature en acier, (2) Gâche métallique avec galet champignon, (3) Paumelle anti-dégondage

(4) Exemple de système de fermeture individuelle de l'ouvrant

Figure 25 : Exemple pour une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions tableaux h=1.25 m x l = 1.40 m

Les caractéristiques précitées sont classiquement celles d'une fenêtre retardataire d'effraction.

Quel que soit le mode de pose considéré, un système de fermeture à crémone, munie d'une tringle métallique sans renvoi d'angle s'enfonçant en partie haute et basse dans des gâches (voir Figure 26), ne permet de garantir le maintien de la fenêtre en position fermée. Les ouvrants peuvent alors être arrachés et projetés, causant potentiellement de graves blessures pour une personne située à quelques mètres derrière la fenêtre.

(1) système de fermeture centrale

(2) fermeture haute et basse sans renvoi d'angle :gâche recevant une tringle métallique

Figure 26 : Système de fermeture classique à crémone 3 points avec sortie de tringle (sans renvoi d'angle) d'une fenêtre à ouverture à la française

Ainsi les fenêtres à ouverture à la française constituées d'un châssis en PVC et d'un système de fermeture classique à crémone avec sortie de tringle (sans

renvoi d'angle) sont à proscrire, et ce quel que soit le mode de pose (tunnel, feuillure, applique). Elles ne permettent pas en effet de protéger efficacement les personnes se trouvant à l'intérieur des habitations dans la zone d'intensité 20-50.

3.3.2 CHASSIS ALUMINIUM

Dans la zone 20-50 mbar, l'utilisation de fenêtres en aluminium doit être accompagnée d'une des mesures suivantes :

- Les panneaux vitrés sont montés sur châssis fixe ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'extérieur (comme l'ouverture à l'anglaise ou à l'italienne) ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'intérieur respectant au moins les éléments de préconisation suivants :
  - Tout mode d'ouverture vers l'intérieur autre que l'ouverture à la française est à proscrire.
  - Les fenêtres doivent être posées en tunnel, en feuillure ou en applique en respectant les préconisations données au chapitre 3.4 ;
  - Les fenêtres sont munies d'un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galets champignon. Les gâches sont fixées sur les traverses du dormant par l'intermédiaire de vis de longueur suffisante pour traverser deux épaisseurs d'aluminium ;
  - Les paumelles sont munies d'un système anti-dégondage et doivent être vissées dans les dormants et les battants ;
  - Le nombre de points (paumelles ou points de condamnation de type gâche métallique + galet champignon) liant les ouvrants au dormant de la fenêtre doit au moins être égal à $N= 6S_f$ où S_f est la surface totale de la fenêtre en m^2.

Les fenêtres à ouverture à la française constituées d'un châssis en aluminium munies d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle sans renvoi d'angle, quel que soit le mode de pose considéré, ne semblent pas permettre de protéger efficacement les personnes se trouvant à l'intérieur des habitations dans la zone 20-50 mbar. Elles sont donc à proscrire.

3.3.3 CHASSIS BOIS

Dans la zone 20-50 mbar, l'utilisation de fenêtres en bois doit être accompagnée d'une des mesures suivantes :

- Les panneaux vitrés sont montés sur châssis fixe ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'extérieur (comme l'ouverture à l'anglaise ou à l'italienne) ;
- Les fenêtres sont munies d'ouvrants orientés vers l'intérieur respectant au moins les éléments de préconisation suivants :
  - Tout mode d'ouverture vers l'intérieur autre que l'ouverture à la française est à proscrire.

- Les fenêtres doivent être posées en tunnel, en feuillure ou en applique selon les préconisations données au chapitre 3.4 ;
- Si la fenêtre est posée en tunnel ou en feuillure :
  - le système de fermeture de la fenêtre peut être un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle sans renvoi d'angle. Il est recommandé l'utilisation de gâches métalliques fixées à l'intérieur des traverses du dormant par l'intermédiaire d'au moins deux vis de longueur suffisante capable de reprendre un effort de cisaillement égal à R = $1.05 \cdot 10^4 \times \frac{S_f}{N_p + 2}$ (en N) avec S_f : surface totale de la fenêtre (en m^2) et Np le nombre de paumelle de la fenêtre ;
  - Un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galet champignon est préférable. La gâche est fixée sur les éléments en bois par l'intermédiaire de vis de longueur suffisante ;
- Si la fenêtre est posée en applique, elle doit être munie d'un système de fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle constitué de gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galets champignon ;

  Le nombre de points (paumelles ou points de condamnation de type gâche métallique + galet champignon) liant les ouvrants au dormant de la fenêtre doit au moins être égal à $N= 6S_f$ où S_f est la surface totale de la fenêtre en m^2.

  Les fenêtres à ouverture à la française munies d'un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle sans renvoi d'angle, posées en applique, sont à proscrire dans la zone 20-50. Elles ne permettent pas de protéger efficacement les personnes se trouvant à l'intérieur des habitations.
- Les paumelles sont munies d'un système anti-dégondage et doivent être vissées dans les dormants et les battants.

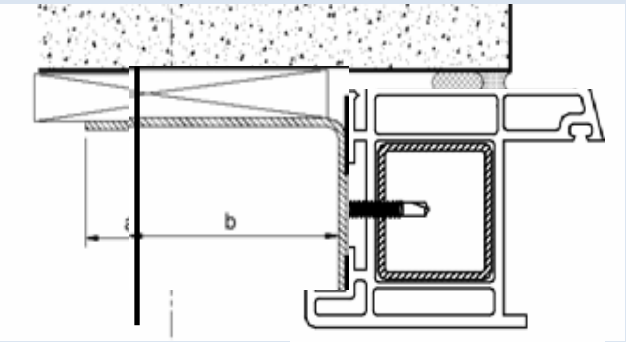
3.4 FIXATION DE LA FENETRE DANS LE MUR

Les tableaux suivant dressent les recommandations à respecter quant à la fixation dans le mur d'une fenêtre à ouverture à la française à doubles vantaux. Ces recommandations sont données en fonction de plusieurs paramètres :

- la zone dans laquelle se trouve le bâtiment :
  - zone 35-50 mbar ;
  - zone 20-35 mbar.
- l'orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion repérée par un numéro : face 1 (la plus exposée), face 2, face 3 ou face 4 (la moins exposée) ;
- le type de pose : en feuillure, en tunnel ou en applique.

3.4.1 ZONE 35-50 MBAR

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">Recommandations</th></tr>
<tr><th>Type de pose</th><th>Intitulés</th><th>Face 1</th><th>Face 2</th><th>Face 3 et 4</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Pose en feuillure</td><td>Emplacement des pattes de scellement principales</td><td colspan="3">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 pattes à la périphérie du dormant</td><td>25 cm</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Pose en tunnel</td><td>Emplacement des chevillages principaux</td><td colspan="3">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 chevillages à la périphérie du dormant</td><td>25 cm</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue des chevillages au cisaillement V_c (en N)</td><td colspan="3">$V_c > (C \times S_f) / N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de chevilles
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=2.1 \times 10^4$</td><td>$C=1.6 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">Recommandations</th></tr>
<tr><th>Type de pose</th><th>Intitulés</th><th>Face 1</th><th>Face 2</th><th>Face 3 et 4</th></tr>
<tr><td rowspan="7">Pose en applique</td><td>Emplacement des équerres de fixation principales</td><td colspan="3">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 équerres à la périphérie du dormant</td><td>25 cm</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td colspan="4">Les équerres de fixation doivent être fixées sur le dormant de la fenêtre par vissage direct. Les systèmes à clippage, clame ou à griffe sont à proscrire.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue au cisaillement des vis de fixation dans le dormant V_v</td><td colspan="3">$V_V > (C \times S_{f)})/ N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de vis
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=2.1 \times 10^4$</td><td>$C=1.6 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue à l’arrachement des chevillages dans le mur A_c (en N)</td><td colspan="3">$A_c > V_v*(1+1.5*b/a)$</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 

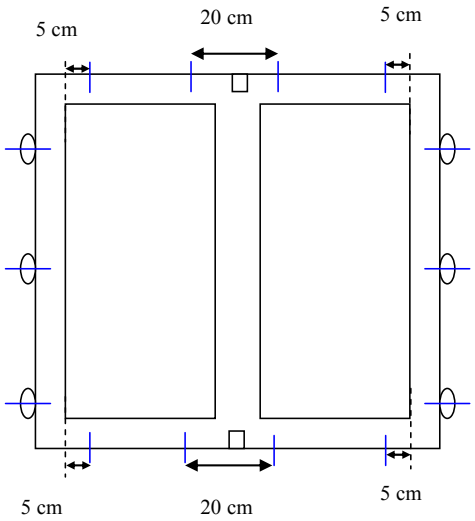
L’aile d’appui sur la structure porteuse est de dimension a+b
a : longueur entre l'axe de la vis et l'extrémité de la patte</td></tr>
</table>

3.4.2 ZONE 20-35 MBAR

<table>
<tr><th></th><th colspan="3">Recommandations</th></tr>
<tr><th>Type de pose</th><th>Intitulés</th><th>Face 1</th><th>Face 2, 3 et 4</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Pose en feuillure</td><td>Emplacement des pattes de scellement principales</td><td colspan="2">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 pattes à la périphérie du dormant</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Pose en tunnel</td><td>Emplacement des chevillages principaux</td><td colspan="2">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 chevillages à la périphérie du dormant</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue des chevillages au cisaillement V_c (en N)</td><td colspan="2">$V_c > (C \times S_{f)})/ N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de chevilles
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=1.3 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Pose en applique</td><td>Emplacement des équerres de fixation principales</td><td colspan="2">Figure 27 ou Figure 28</td></tr>
<tr><td>Distance maximale entre 2 équerres à la périphérie du dormant</td><td colspan="2">50 cm</td></tr>
<tr><td colspan="3">Les équerres de fixation doivent être fixées sur le dormant de la fenêtre par vissage direct. Les systèmes à clippage, clame ou à griffe sont à proscrire.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tenue au cisaillement des vis de fixation dans le dormant V_v</td><td colspan="2">$V_V > (C \times S_{f)})/ N_f$
avec S_f : surface de la fenêtre en m^2
N_f : nombre total de vis
C coefficient donné ci-dessous</td></tr>
<tr><td>$C=1.3 \times 10^4$</td><td>$C=1.0 \times 10^4$</td></tr>
<tr><td>Tenue à l'arrachement des chevillages dans le mur A_c (en N)</td><td colspan="2">$A_c > V_v*(1+1.5*b/a)$</td></tr>
</table>

L'emplacement des fixations, quel que soit le mode de pose doit être conforme aux schémas suivants :

- Fenêtre munie d'un système de fermeture à sortie de tringle



Sur chacun des montants du dormant :

- Une fixation au niveau de chaque organe de rotation (paumelle) ;

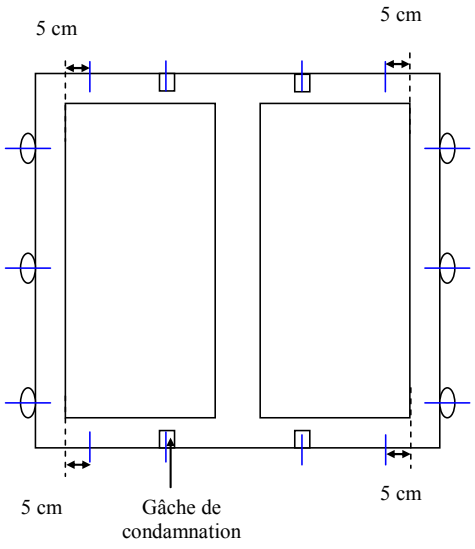
Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation de part et d'autre du meneau central et donc des points de condamnation sur le dormant : écartement maximale de 20 cm ;

Des équerres sont ensuite rajoutées, le cas échéant, afin de respecter la distance maximale permise

Figure 27 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française à deux vantaux munies d'un système de fermeture à sortie de tringle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50

- Fenêtre munie d'un système de fermeture à renvoi d'angle



Sur chacun des montants du dormant :

- Une fixation au niveau de chaque organe de rotation (paumelle) ;

Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation au voisinage de chaque gâche de condamnation

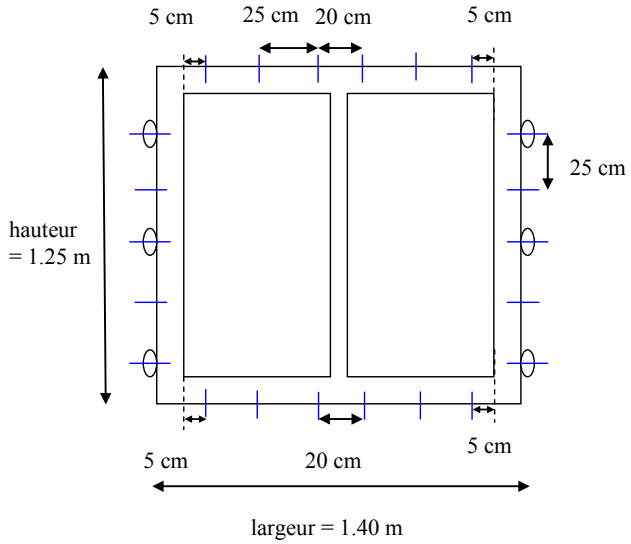
Des équerres sont ensuite rajoutées, le cas échéant, afin de respecter la distance maximale permise

Figure 28 : Disposition des fixations principales pour les fenêtres à ouverture à la française avec système de fermeture à renvoi d'angle en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-50

Exemple d'application :

Emplacement des fixations d'une fenêtre à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m munie d'un système de fermeture à sortie de tringle

- En face 1 d'une construction située dans la zone 35-50 :



Sur chacun des montants du dormant :

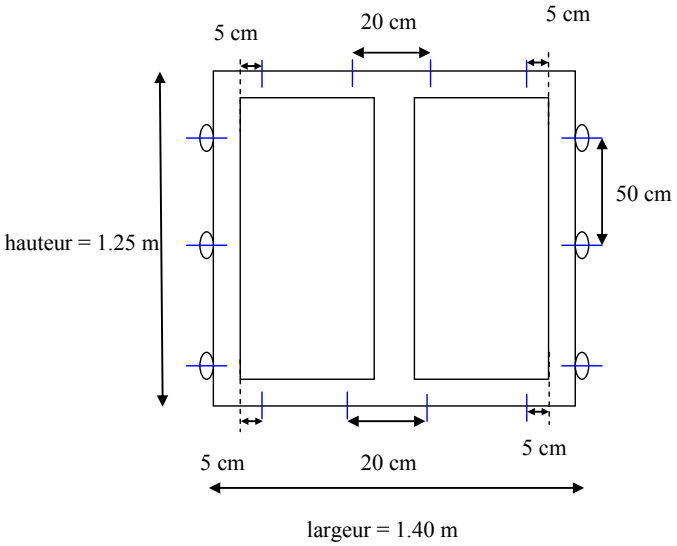
- Une fixation au niveau de chaque organe de rotation (paumelle)
- Une fixation à mi-distance entre deux paumelles consécutives ;

Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation de part et d'autre du meneau central et donc des points de condamnation sur le dormant : écartement de 20 cm ;
- 1 fixation entre les deux précédentes ;

Figure 29 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 1 d'une construction dans la zone 35-50

- En face 2 à 4 d'une construction située dans la zone 35-50 mbar ou en face 1 à 4 d'une construction située dans la zone 20-35 mbar :



Une patte au niveau de chaque organe de rotation (paumelle)

Sur la traverse haute et sur la pièce d'appui :

- 1 fixation entre 5 et 10 cm maximum du bord du fond de feuillure d'un angle du dormant
- 1 fixation de part et d'autre du meneau central et donc des points de condamnation sur le dormant : écartement de 20 cm ;

Figure 30 : Exemple de disposition des fixations pour une fenêtre à ouverture à la française de dimensions largeur = 1.40 m, hauteur = 1.25 m en face 2, 3 et 4 d'une construction dans la zone 35-50 ou en face 1 à 4 d'une construction dans la zone 20-35

4. EXEMPLE D'APPLICATION POUR LES BATIMENTS EXISTANTS : PROTECTION OFFERTE PAR UN DES TYPES DE FENETRES LES PLUS COURAMMENT RENCONTRES

Le chapitre suivant propose un exemple d'application. A partir des éléments pratiques du chapitre 3, le tableau en page suivante dresse la vulnérabilité dans la zone 20-50 mbar d'un des types de fenêtres les plus couramment rencontrés dans l'habitat français.

La fenêtre étudiée est :

- à ouverture à la française à 2 vantaux de dimensions hors tout : 1.40 m de large et de 1.25 m de haut ;
- constituée de panneaux vitrés de type 4/16/4 ;
- munie d'un système de fermeture classique 3 points à crémone avec sortie de tringle ;
- d'un nombre de paumelle égale à 6 (3 pour chaque ouvrant) ;
- d'un châssis en plastique, en aluminium ou en bois ;
- posée selon un des modes de pose suivants : feuillure, tunnel ou applique.

En fonction des différentes configurations que l'on peut rencontrer, la fenêtre est rangée dans une des quatre classes suivantes :

Cas A La protection des personnes nécessite de **renforcer le système de fermeture et la fixation de la fenêtre dans le mur** ;

Cas B La protection des personnes nécessite soit de **remplacer le système de fermeture et de renforcer la fixation de la fenêtre dans le mur**, soit de **remplacer la fenêtre** ;

Cas C La protection des personnes nécessite de **renforcer les panneaux vitrés, de renforcer le système de fermeture et la fixation de la fenêtre dans le mur** ;

Cas D La protection des personnes nécessite soit **de renforcer les panneaux vitrés, de remplacer le système de fermeture et de renforcer la fixation de la fenêtre dans le mur** soit de **remplacer la fenêtre** ;

Zone	Nature de l'onde de surpression	Nature du châssis	Type de pose	N° de face			
				Face 1	Face 2	Face 3	Face 4
Zone 35-50	Onde de choc	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas C**		**Cas A**	
			Applique	**Cas D**		**Cas B**	
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas D**		**Cas B**	
	Déflagration	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas C**	**Cas A**		
			Applique	**Cas D**	**Cas B**		
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas D**	**Cas B**		
Zone 20-35	Onde de choc	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas C**	**Cas A**		
			Applique	**Cas D**	**Cas B**		
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas D**	**Cas B**		
	Déflagration	Bois	Tunnel / feuillure	**Cas A**			
			Applique	**Cas B**			
		PVC Aluminium	Tunnel / feuillure/ applique	**Cas B**			

Figure 31 : Tableau de la vulnérabilité dans la zone 20-50 mbar d'une fenêtre à ouverture à la française à deux vantaux de dimensions h=1.25 m x l=1.40 m munie de panneaux vitrés de type 4/16/4 et d'un système de fermeture 3 points avec sortie de tringle

Cas A : La protection des personnes nécessite les vérifications ou travaux de renforcement suivants :

- vérifier si la gâche du système de fermeture est une gâche métallique, et dans le cas contraire (de) la remplacer par une gâche métallique.
- remplacer les vis de fixation de la gâche au dormant par de 2 vis capables de reprendre un effort de cisaillement de 2300 N chacune ;
  D'après le chapitre 3.3.3, l'effort de cisaillement à reprendre par chacune des vis est en effet donné par : R = $1.05 \cdot 10^4 \times \frac{S_f}{N_p + 2}$ (en N).

  Pour la fenêtre considérée :
  - S_f= surface totale de la fenêtre(en m^2)= 1.40*1.25 m^2
  - N_p = le nombre de paumelle de la fenêtre = 6
- renforcer le système de fixation de la fenêtre posée en tunnel ou en feuillure selon les recommandations du chapitre 3.4.

Cas B : La protection des personnes nécessite les travaux de renforcement suivants :

- remplacer le système de fermeture de la fenêtre par un système de fermeture dit « retardataire d'effraction » respectant les recommandations du chapitre 3.3 ou (de) remplacer la fenêtre.
- renforcer le système de fixation de la fenêtre selon les recommandations du chapitre 3.4.

Cas C : La protection des personnes nécessite les vérifications ou travaux de renforcement suivants :

- renforcer les panneaux vitrés. Une solution envisageable est l'application de film de protection anti-fragment selon les recommandations du chapitre 3.2.6.
- vérifier si la gâche du système de fermeture est une gâche métallique, et dans le cas contraire (de) la remplacer par une gâche métallique.
- remplacer les vis de fixation de la gâche au dormant par de 2 vis capables de reprendre un effort de cisaillement de 2300 N chacune ;
- renforcer le système de fixation de la fenêtre posée selon les recommandations du chapitre 3.4.

Cas D : La protection des personnes nécessite les travaux de renforcement suivants :

- renforcer les panneaux vitrés. Une solution envisageable est l'application de film de protection anti-fragment selon les recommandations du chapitre 3.2.6.
- remplacer le système de fermeture de la fenêtre par un système de fermeture dit « retardataire d'effraction » respectant les recommandations du chapitre 3.3 ou (de) remplacer la fenêtre.
- renforcer le système de fixation de la fenêtre posée selon les recommandations du chapitre 3.4.

Dans chacun des cas, la réalisation de ces travaux de renforcement par un professionnel est fortement conseillée.

5. REFERENCES

[1] Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. Guide méthodologique « Plan de Prévention des Risques Technologiques ». 2005 version 1, 2007 version 2.

[2] CSTB. Complément technique relatif à l'effet de surpression. Recommandations et précautions en vue de réduire les risques. Référence 26005165. Mars 2008 version 2.

[3] INERIS, CETE Normandie-Centre, et al. Cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression. Décembre 2008.

[4] INERIS, Rapport d'étude, Etude de la vulnérabilité des fenêtres dans la zone de surpression d'intensité 20 à 50 mbar dans le cadre des PPRTs (Plans de Prévention des Risques Technologiques). Juillet 2009.

6. LISTES DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Orientation des façades d'un bâtiment par rapport au centre d'explosion : Attribution des numéros de face	4

ANNEXE 1 :

ORIENTATION DES FAÇADES D'UN BATIMENT PAR RAPPORT AU CENTRE D'EXPLOSION : ATTRIBUTION DES NUMEROS DE FACES

Considérons un bâtiment situé à l'intérieur de la zone de surpression d'intensité 20-50 mbar générée par une explosion. Suivant leur orientation par rapport au centre de cette explosion, les façades du bâtiment sont plus ou moins exposées aux effets de l'explosion. Afin de prendre en compte cet aspect, les façades des bâtiments sont repérées par un numéro : face 1 (la plus exposée), face 2, face 3 ou face 4 (la moins exposée).

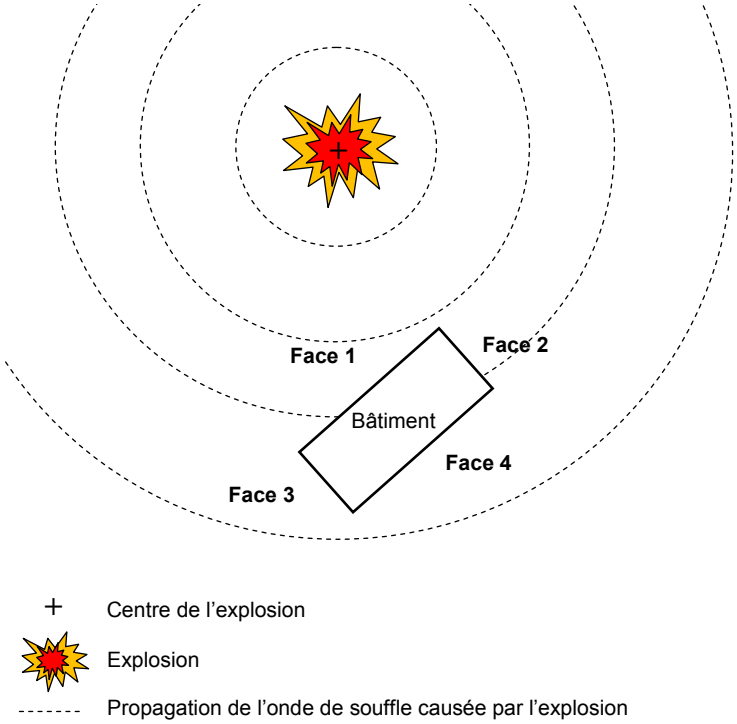


Figure 32 : Orientation des façades du bâtiment par rapport au centre de l'explosion

L'attribution des numéros se fait selon une démarche en 3 étapes rappelés ci-dessous et tirées du *« cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression » [3]*.

- **Etape 1 : Relever toutes les faces du bâtiment**
- **Etape 2 : Pour chaque centre d'explosion retenu, déterminer l'angle de chaque face par rapport au centre d'explosion :**
  - Calculer la valeur des 2 angles formés entre:
    - la normale de la face
    - et le segment [centre du phénomène retenu-extrémité de la face] (en pratique, dans la majorité des cas il y a une différence seulement de quelques degrés).
  - Retenir l'angle le plus défavorable (le plus faible en valeur absolu)

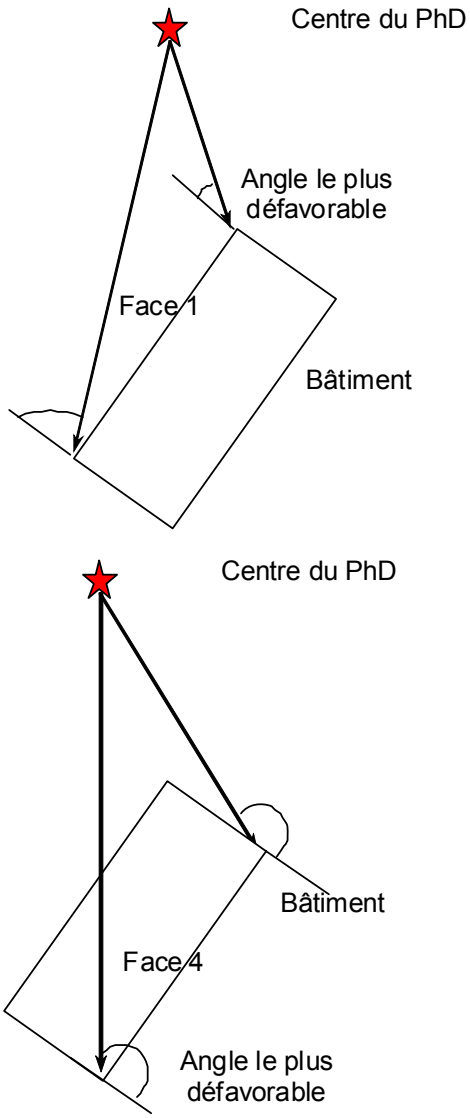


Figure 33 : Angles retenus

Etape 3 : Affecter aux faces un numéro de face selon la règle suivante :

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

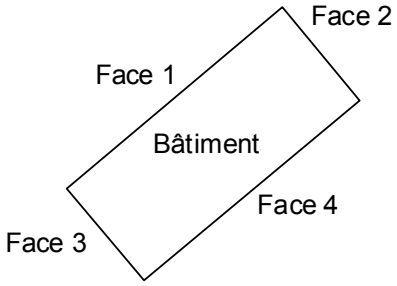


Figure 34. Affectation des numéros de faces

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

Guide PPRT

COMPLÉMENT TECHNIQUE RELATIF À L'EFFET DE SURPRESSION.

Recommandations et précautions en vue de réduire les risques

RAPPORT D'ÉTUDE

Demandeur de l'étude

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

DIRECTION DE LA PRÉVENTION DES POLLUTIONS ET DES RISQUES
Service de l'environnement industriel
Bureau des risques technologiques et des industries chimiques et pétrolières
20 avenue de Ségur
75302 PARIS 07 SP

Référence
26005165

Auteurs	Vérificateurs	Version	Date
Jean-Vivien HECK *Ménad CHENAF* **Ménad CHENAF**	*Ménad CHENAF* *Jean-Vivien HECK* **Jean-Vivien HECK**	*0* *1* **2**	*Juin 2007* *Novembre 2007* **Mars 2008**

Guide PPRT

COMPLÉMENT TECHNIQUE RELATIF À L'EFFET DE SURPRESSION.

Recommandations et précautions en vue de réduire les risques

RAPPORT D'ÉTUDE

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX. (33) 01 60 05 70 37 | SIRET 775 688 229 000 27 | **www.cstb.fr**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

SOMMAIRE

SOMMAIRE ---------- 3

1. INTRODUCTION : OBJET ET CONSTITUTION DU PRÉSENT DOCUMENT. UTILISATION PAR LES SERVICES INSTRUCTEURS. ---------- 6

2. COORDINATION PPRT-PPI ---------- 7

3. RAPPELS ET PRÉCISIONS SUR L'EFFET DE SURPRESSION. ---------- 8

3.1. Rappel sur les niveaux d'aléas du guide PPRT ---------- 8

3.2. Compléments sur les phénomènes de surpression ---------- 10
3.2.1. Déflagration ---------- 11
3.2.2. Détonation ---------- 11
3.2.3. Durées des signaux de montée en pression ---------- 12
3.2.4. Pondération des pressions sur les bâtiments ---------- 12
3.2.5. Combinaisons d'effets. ---------- 14

4. COMPORTEMENT DES STRUCTURES SOUMISES À UN EFFET DE SURPRESSION ---------- 15

4.1. Comportement des bâtiments vis-à-vis d'un effet de surpression. ---------- 15

4.2. Typologie de bâtiments à retenir pour les prescriptions ---------- 16

5. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES À APPLIQUER AUX CONSTRUCTIONS NOUVELLES POUVANT ÊTRE SOUMISES À UN EFFET DE SURPRESSION ---------- 20

5.1. Formes générales et dispositions des constructions. ---------- 20
5.1.1. Régularité en plan ---------- 20
5.1.2. Rapport des dimensions ---------- 21
5.1.3. Décrochements ---------- 21
5.1.4. Distribution des raideurs en plan ---------- 21
5.1.5. Ancrage des fondations ---------- 22
5.1.6. Rigidification de l'infrastructure ---------- 22
5.1.7. Conception des dallages sur terre-plein ---------- 22
5.1.8. Angle des toitures ---------- 22

5.2. Dispositions relatives au contreventement vertical. ---------- 22
5.2.1. Constitution des éléments de contreventement ---------- 22
5.2.2. Objectif de stabilité ---------- 23
5.2.3. Chaînage des murs de contreventement ---------- 23
5.2.4. Principe de dimensionnement du contreventement ---------- 23

5.3. Dispositions relatives au contreventement horizontal. ---------- 23
5.3.1. Conception des planchers ---------- 23
5.3.2. Chaînages des planchers ---------- 25

5.4. Dispositions relatives aux éléments constructifs autres que le contreventement. ---------- 26
5.4.1. Charpentes supports de couvertures ---------- 26
5.4.2. Couverture en petits éléments ---------- 26
5.4.3. Cheminées ---------- 27
5.4.4. Menuiseries ---------- 28

5.4.5. Vitrages ---- 28
5.4.6. Plafonds suspendus ---- 29

5.5. Éléments de surcoût pour le bâti neuf ---- 29

5.6. Récapitulatif : actions pratiques pour les préconisations en matière de bâti neuf ---- 30
5.6.1. Cas des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 50 à 140 hPa. ---- 30
5.6.2. Cas particulier des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 20 à 50 hPa (faibles pressions) appliquées sur les bâtiments de type 1. ---- 31
5.6.3. Cas des niveaux d'aléa supérieurs au niveau « Fai » ---- 31

6. CAS DU BÂTI EXISTANT : RENFORCEMENT PRÉVENTIF ---- 33

6.1. Position du problème ---- 33

6.2. Éléments de diagnostic ---- 33

6.3. Hiérarchisation des critères de diagnostic ---- 34

6.4. Degré d'analyse ---- 36

6.5. Récapitulatif : actions pratiques pour les préconisations en matière de bâti existant ---- 36
6.5.1. Cas des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 50 à 140 hPa. ---- 36
6.5.2. Cas particulier des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 20 à 50 hPa (faibles pressions) appliquées sur les bâtiments de type 1. ---- 36
6.5.3. Cas des niveaux d'aléa supérieurs au niveau « Fai » ---- 37

6.6. Éléments de surcoût pour le bâti existant ---- 37

7. CONCLUSIONS ---- 38

ANNEXE A : EFFETS MÉCANIQUES D'UNE SURPRESSION SUR UNE STRUCTURE - 39

1. Introduction ---- 39

2. Équation d'équilibre dynamique ---- 39

3. Vibrations libres – modes propres de vibration ---- 40

4. Orthogonalité des modes propres ---- 41

5. Écriture du problème de vibration sur la base modale ---- 41

6. Projection de la pression sur la base modale ---- 42

7. Vibrations de la poutre soumise au champ de pression dynamique uniforme p(t) ---- 43

8. Déplacement transversal maximal de la poutre soumise au champ de pression dynamique ---- 43

9. Spectre de déflagration ---- 44

10. Spectre de détonation ---- 49

11. Commentaires ---- 54

ANNEXE B : DIMENSIONNEMENT DES VITRAGES ---- 56

B.1 Exigence ---------- 56

B.2 Méthode de calcul ---------- 57
B.2.1 Cas des vitrages simples monolithiques ---------- 57
B.2.2 Cas des vitrages simples feuilletés ---------- 57
B.2.3 Cas des vitrages isolants, à composants monolithiques ou feuilletés ---------- 58

ANNEXE C : TECHNIQUES DE RENFORCEMENT DU BÂTI EXISTANT. ---------- 61

ANNEXE D : GLOSSAIRE ---------- 118

ANNEXE E : RÉFÉRENCES ---------- 119

1. INTRODUCTION : OBJET ET CONSTITUTION DU PRÉSENT DOCUMENT. UTILISATION PAR LES SERVICES INSTRUCTEURS.

Le présent document fait suite à un travail d'examen relatif à la manière dont l'effet de surpression pouvait être pris en compte, sur un plan pratique, dans le mécanisme d'élaboration et d'application des PPRT. Rappelons que les PPRT ont pour objectif la protection des personnes et non des biens.

En effet, les différents textes (notamment le Guide PPRT) traitant du sujet précisent surtout les **objectifs** attendus en matière de **sécurité des personnes**. Il était nécessaire, dans un souci d'efficacité de la règle prescrite, qu'un document traite des **actions techniques permettant d'atteindre les objectifs du PPRT**, en visant la simplicité de compréhension de la part des acteurs de terrain.

Néanmoins, s'agissant d'un complément technique, il n'a guère été possible de faire en sorte que le thème soit abordable par des acteurs **étrangers au secteur de la construction**. Ce document ne constitue donc pas une vulgarisation du sujet, mais une simplification de l'approche telle qu'elle pourrait être faite de manière classique (par exemple lorsque l'on étudie le comportement des ouvrages de bâtiments vis-à-vis d'agressions diverses : séisme, vent, feu, etc.).

Les auteurs ont veillé à rendre aussi simple que possible l'approche à adopter. Les méthodes développées sont issues de considérations qui sont pour la plupart explicitées dans le texte (notamment les annexes).

Le présent document commence par rappeler les définitions des niveaux d'aléas tels qu'ils figurent dans le Guide PPRT. Il présente ensuite les dispositions constructives à appliquer aux constructions nouvelles (chapitre 5), en donnant de nombreux schémas de ces dispositions. Il indique également des éléments de surcoût pour ce qui concerne la mise en œuvre de ces dispositions. Enfin, il fournit un récapitulatif en matière d'**actions pratiques pour les préconisations (paragraphe 5.6).**

La même démarche est suivie pour le bâti existant (chapitre 6), dans lequel le paragraphe **6.5** fournit un récapitulatif en matière d'**actions pratiques pour les préconisations**.

Les services instructeurs des PPRT auront donc à suivre les procédures données dans les paragraphes 5.6 et 6.5, respectivement pour le bâti neuf et pour le bâti existant, en s'aidant des développements donnés dans le présent rapport. Le but des procédures indiquées est de pouvoir améliorer le niveau de protection conféré aux personnes par les bâtiments, vis-à-vis des effets de surpression.

Enfin, des annexes clôturent ce document, de manière à ce que l'utilisateur puisse s'y référer au besoin, s'il souhaite mener des études plus précises et, donc, aboutir à des solutions optimisées en termes de coût.

2. COORDINATION PPRT-PPI

Le PPRT a pour objectif de protéger les populations du risque industriel par une maîtrise de l'urbanisation autour des sites à risques et la réduction de la vulnérabilité des enjeux exposés. A l'intérieur du périmètre d'exposition aux risques, le PPRT :

- réglemente la réalisation d'aménagements ou d'ouvrages, la construction ou l'extension des constructions existantes en les interdisant ou en les subordonnant au respect de prescriptions,
- prescrit des mesures de protection des populations face aux risques encourus, relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions régulièrement autorisées et devenues définitives (toutefois, il ne peut imposer que des aménagements « limités » dont le coût n'excède pas 10% de la valeur vénale ou estimée de ces biens)
- définit des recommandations tendant à renforcer la protection des populations face aux risques encourus.

Parmi les trois types d'effets (thermiques, toxiques et de surpression) pouvant être générés par un site industriel, l'effet de surpression présente la particularité d'être, dans la plupart des cas, soudain et sans signe annonciateur. Cette particularité rend toute protection active post-évènement assez secondaire. Il importe donc, au-delà de la réduction de l'aléa lui-même, assurer une protection efficace des personnes situées à l'intérieur des bâtiments. Cette protection ne peut être obtenue qu'à l'aide de dispositions particulières à adopter en matière de conception et d'exécution des bâtiments.

Le PPRT, c'est son rôle, édicte des prescriptions concernant le bâti. Le PPI, lui, prévoit l'organisation et l'intervention des secours lorsque les effets d'un accident peuvent dépasser les limites de l'enceinte de l'établissement générateur du sinistre. Ce PPI prescrit notamment les mesures d'information et de protection prévues au profit des populations et, le cas échéant, les schémas d'évacuation de celles-ci. Il peut donc proposer des règles de comportement à observer en cas d'accident. Des prescriptions relatives à la conception et à la réalisation du bâti, que l'on trouverait dans le PPRT, sont de nature à faciliter la tâche des services de secours, ces derniers étant plus efficaces et plus rapides lorsqu'ils interviennent dans des zones où les dégâts matériels sont limités, l'accessibilité aisée, et l'atteinte aux personnes réduite.

Compte tenu de cette influence du PPRT sur le PPI, une coordination indispensable est à envisager entre les deux plans. Par exemple, une prescription visant à assurer le non effondrement des composants structuraux est une prescription indispensable non seulement en raison des dégâts directs causés (risque de chute de charges lourdes sur les personnes), mais également parce le maintien en place des éléments structuraux (même fortement détériorés) ménage l'accessibilité aux services de secours (engins, équipements, etc.).

Il convient de noter qu'il n'existe pas, tant du point de vue réglementaire que normatif, de règles de construction nationales visant à garantir un bon comportement des structures face à un effet de surpression.

3. RAPPELS ET PRÉCISIONS SUR L'EFFET DE SURPRESSION.

3.1. Rappel sur les niveaux d'aléas du guide PPRT

L'identification d'un niveau d'aléa de surpression consiste à attribuer, en chaque point inclus dans le périmètre d'exposition aux risques, un des niveaux d'aléa définis ci-après, à partir du niveau d'intensité des effets attendus en ce point et du cumul des probabilités d'occurrence.

Pour ce qui concerne l'effet de surpression, deux types d'effets sont considérés : les **effets directs** sur l'homme, consistant en l'effet de la surpression proprement dite, et les effets sur les ouvrages, conduisant à des **effets indirects** sur l'homme (chute d'éléments d'ouvrages).

Pour ce qui concerne les effets directs, le guide PPRT associe une échelle donnant les niveaux d'aléas, consistant en le croisement d'une gravité de conséquences sur la vie humaine, et d'une probabilité d'occurrence. Le guide en question présente les niveaux d'aléa par type de conséquence sur les personnes, en prenant le niveau maximal d'intensité de l'effet de surpression dans le tableau suivant :

Niveau maximal d'intensité de l'effet de surpression sur les personnes, en un point donné	Très grave			Grave			Significatif			Indirect par bris de vitres	
Cumul des classes de probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux en un point donné	> D	5E à D	< 5E	> D	5E à D	< 5E	>D	5E à D	< 5E	> D	< D
Niveau d'aléa	TF+	TF	F+		F	M+		M	Fai		

Tab. 1 – Niveaux d'aléa et cumul des classes de probabilité

L'échelle des effets directs sur l'homme se développe à l'aide des définitions suivantes :

L'attribution d'un niveau d'aléa Très Fort + (noté TF^{+}) signifie que :

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet de surpression dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées très graves (c'est à dire que l'intensité de la surpression atteint ou dépasse 200 hPa) et dont le cumul des classes de probabilités d'occurrences des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est strictement supérieur à D.

L'attribution d'un niveau d'aléa Très Fort (noté TF) signifie que :

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées très graves (c'est à dire que l'intensité de la surpression atteint ou dépasse 200 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est compris entre D et 5 E.

L'attribution d'un niveau d'aléa Fort + (noté F^+) signifie que :

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées très graves (c'est à dire que l'intensité de la surpression atteint ou dépasse 200 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est strictement inférieur à 5E.

Ou

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées graves (c'est à dire que l'intensité de la surpression est comprise entre 140 hPa et 200 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est strictement supérieur à D.

L'attribution d'un niveau d'alea Fort (noté F) signifie que :

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées graves (c'est à dire que l'intensité de la surpression est comprise entre 140 hPa et 200 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est compris entre D et 5 E.

L'attribution d'un niveau d'aléa Moyen + (noté M^+) signifie que :

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées graves (c'est à dire que l'intensité de la surpression est comprise entre 140 hPa et 200 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau est strictement inférieur à 5E.

Ou

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées significatives (c'est à dire que l'intensité de la surpression est comprise entre 50 hPa et 140 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est strictement supérieur à D.

L'attribution d'un niveau d'aléa Moyen (noté M) signifie que :

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées significatives (c'est à dire que l'intensité de la surpression est comprise entre 50 hPa et 140 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est compris entre D et 5E.

L'attribution d'un niveau d'aléa Faible (noté Fai) signifie que :

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur la vie humaine sont jugées significatives (c'est à dire que l'intensité de la surpression est comprise entre 50 hPa et 140 hPa) et dont le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité est strictement inférieur à 5E.

  Ou

- Un point impacté est soumis potentiellement à un effet dont les conséquences sur l'homme est indirect par bris de vitres (c'est à dire que l'intensité de la surpression est comprise entre 20 hPa et 50 hPa), sans condition sur le cumul des classes de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux conduisant à cet effet et à ce niveau d'intensité.

Pour ce qui concerne les effets sur les ouvrages (conduisant à des effets indirects sur l'homme), le guide PPRT ne donne pas de précisions sur une classification des niveaux.

Néanmoins, si on se réfère au « Guide Technique relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées » publié par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, l'échelle de niveaux d'effets est donnée dans ce qui suit:

- **Surpression allant de 20 à 50 hPa** : destruction significative des vitres.
- **Surpression allant de 50 à 140 hPa** : dégâts légers sur les ouvrages.
- **Surpression allant de 140 à 200 hPa** : dégâts graves sur les ouvrages.
- **Surpression allant de 200 à 300 hPa** : effets domino.
- **Surpression allant au-delà de 300 hPa** : dégâts très graves sur les ouvrages.

On constate que cette dernière échelle se raccorde bien à la précédente, pour ce qui concerne les valeurs des intensités de surpression mises en jeu.

3.2. Compléments sur les phénomènes de surpression

Les phénomènes considérés dans le cadre du présent rapport consistent en la conséquence d'une explosion, dont l'effet physique est une propagation, depuis la zone de l'explosion, d'une onde de pression dans l'air. Cette propagation a lieu à une vitesse voisine de celle des ondes sonores (≈ 340 m/s dans les conditions normales).

La forme générale de cette onde dépend du type d'explosion considérée. On distingue deux formes d'ondes selon que l'explosion consiste en une déflagration ou une détonation.

3.2.1. Déflagration

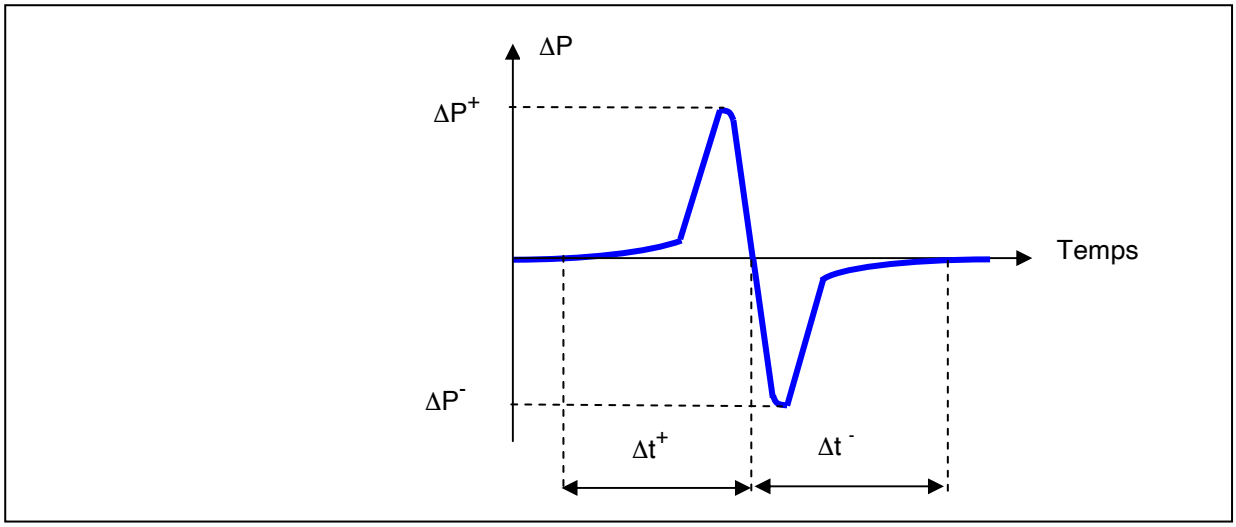


Fig.1 – Onde de pression engendrée au droit d'une **déflagration** à vitesse de flamme modérée

Il s'agit d'une explosion de violence modérée, dont les effets de surpression sont représentés en figure 1 :
On constate, sur la figure 1, que les vitesses de montée en pression sont quasiment les mêmes que celles de leur retour à zéro. Les deux phases positive et négative se présentent en homothétie inverse. Notons que ce profil de pression en fonction du temps n'est en théorie valable qu'en champ libre. L'existence d'un obstacle crée des phénomènes, notamment de réflexion, qui peuvent changer la forme précédente.

3.2.2. Détonation

La détonation se caractérise par une montée en pression quasi-instantanée et une décroissance plus longue se poursuivant en dépression. L'ordre de grandeur des durées est de quelques millisecondes. La figure 2 ci-dessous donne le profil d'évolution de la surpression dans le cas d'une détonation :

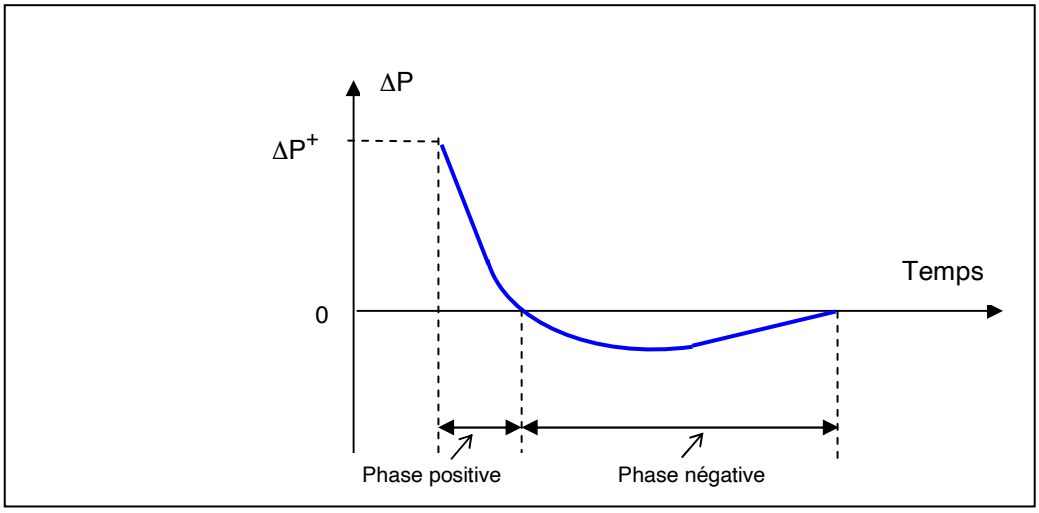


Fig.2 – Onde de pression engendrée au droit d'une **détonation** (onde de choc)

3.2.3. Durées des signaux de montée en pression

Selon l'INERIS, les durées des phases positives des signaux de pression sont données dans le tableau 2 ci-dessous, pour le cas des déflagrations et celui des détonations. Quatre cas sont retenus, dépendant notamment du type de substance combustible ou de phénomène dangereux mis en jeu :

	Déflagrations	**Détonations**
Cas 1	10 ms	1 ms
Cas 2	100 ms	10 ms
Cas 3	1 s	100 ms
Cas 4	10 s	-

Tab. 2 - Durées des signaux de montée en pression

Il est toutefois précisé par l'INERIS, selon une étude sur les durées de phénomènes dangereux effectuée par cet organisme, qu'il n'est pas possible d'affecter un intervalle de temps prédéfini à chaque phénomène, mais que l'on pouvait avoir un premier ordre de grandeur à confirmer par l'examen de dossiers d'études de dangers représentatifs. À l'heure actuelle, on retient les valeurs du tableau 2, faute d'avoir des données disponibles plus précises.

3.2.4. Pondération des pressions sur les bâtiments

Les pressions incidentes, telles qu'elles ont été définies précédemment, sont valables en champs libre. Elles sont significativement modifiées dès leur arrivée sur un obstacle et doivent donc être corrigées. Selon les conclusions d'une étude récente, les modifications des pressions incidentes sur un bâtiment peuvent être des majorations ou des atténuations, et dépendent essentiellement de l'orientation de la paroi considérée par rapport à la direction et au sens du front de pression.

Les coefficients pouvant être valablement considérés sont donnés dans la figure 3 ci-dessous :

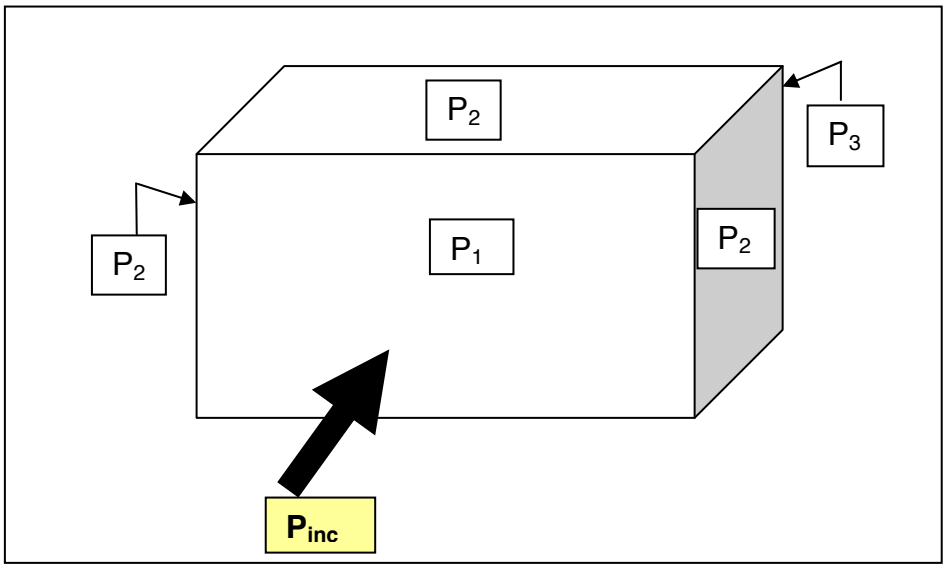


Fig. 3 - Coefficients d'atténuation et de majoration

- P_1 : pression sur la paroi exposée parallèle au front ;
- P_2 : pression sur la toiture ainsi que sur les parois perpendiculaire au front de pression ;
- P_3 : pression sur la paroi postérieure ;
- P_{inc} : pression incidente.

Les valeurs des pressions appliquées sur les parois sont données dans le tableau 3 ci-dessous, en fonction de la pression incidente. Deux cas de chargement sont à considérer successivement, et indépendamment l'un de l'autre:

	Cas de chargement n°1	**Cas de chargement n°2**
P_1 / P_{inc}	2,70	1,60
P_2 / P_{inc}	1,20	0,90
P_3 / P_{inc}	0,90	0,65

Tab. 3 – Coefficients de pondération de la pression incidente, sur les parois d'un bâtiment.

Cas des bâtiments inclinés par rapport au front d'onde

Les valeurs données dans le tableau 2 sont valable lorsque le bâtiment est de forme sensiblement parallélépipédique et qu'il possède une face parallèle au front d'onde. Lorsque le bâtiment est orienté différemment, il y a lieu d'introduire un coefficient supplémentaire multiplicatif des pressions, donné par les relations ci-dessous :

Cas de chargement n°1

$\varphi = 2,7 - (\alpha/60)$ pour les parois verticales les plus proches de l'arrivée du front d'onde.
$\varphi = 0,9 + (\alpha/300)$ pour les parois verticales les plus éloignées de l'arrivée du front d'onde.
$\varphi = 1,2$ pour la toiture.

Cas de chargement n°2

$\varphi = 1,6 - (\alpha/128,6)$ pour les parois verticales les plus proches de l'arrivée du front d'onde.
$\varphi = 0,65 + (\alpha/360)$ pour les parois verticales les plus éloignées de l'arrivée du front d'onde.
$\varphi = 0,9$ pour la toiture.

Dans ces expressions, α est exprimé en degré et représente la valeur absolue de l'angle de la paroi considérée avec le front d'onde.

3.2.5. Combinaisons d'effets.

3.2.5.1. Combinaison surpression-toxique

Les mesures vis-à-vis des effets toxiques consistent en des préconisations de confinement (maintien de perméabilité à l'air des portes et fenêtres).

Lorsqu'un effet toxique est à combiner avec un effet de surpression (en principe, ce dernier précède le rejet toxique), les zones de confinement doivent être conçues de manière à pouvoir offrir une zone de protection relative, dans l'attente de l'évolution de la situation de crise.

Néanmoins, il est établi que tout secteur impacté par un aléa toxique dont on sait, par l'analyse des phénomènes dangereux qui l'atteignent, que l'effet toxique est combiné avec un effet de surpression de plus de 20 hPa, ne peut pas faire l'objet d'une prescription de confinement. En effet, les vitrages courants, autres que blindés (qui sont des vitrages particuliers conformes à la norme EN 13541, et pouvant résister à une surpression allant jusqu'à 2500 hPa) ne résistent pas à un effet de surpression dont l'intensité dépasserait la valeur de 20 hPa.

3.2.5.2. Combinaison surpression-thermique

Un effet thermique (échauffement d'un matériau par rayonnement ou convection) a pour conséquence la chute de la capacité résistante de ces matériaux. Pour les vitrages, des éclatements sont fréquents, du fait des dilatations gênées. Il s'ensuit que le dimensionnement initial des éléments peut se révéler insuffisant si un effet de surpression a lieu après un effet thermique. Cette situation est particulièrement prononcée pour les vitrages pour lesquels les durées de tenue au feu sont de quelques minutes dans le cas général. Ces durées peuvent être allongées en utilisant des **vitrages spéciaux résistant au feu**, mais dont les coûts sont élevés comparativement à ceux des vitrages courants.

De même, la capacité d'un composant à résister à un effet thermique peut se trouver notablement diminuée dans le cas où ce composant aurait déjà subi une surpression ayant conduit à des sollicitations mécaniques élevées. Le risque peut être réduit dans ce cas en utilisant des vitrages qui sont à la fois résistants au feu et résistants mécaniquement.

En conséquence, la cinétique de combinaison doit être connue (quel effet a lieu avant l'autre ?) afin de définir convenablement les capacités résiduelles à opposer à la seconde action de la combinaison, compte tenu de l'affaiblissement occasionné par la première.

4. COMPORTEMENT DES STRUCTURES SOUMISES À UN EFFET DE SURPRESSION

4.1. Comportement des bâtiments vis-à-vis d'un effet de surpression.

Pour décrire le comportement des bâtiments vis-à-vis d'un effet de surpression, il est nécessaire de garder à l'esprit que ce comportement dépend de **trois** paramètres importants :

- la forme du signal de surpression,
- les formes générales et la raideur de la construction,
- l'orientation de la construction par rapport au front d'onde.

La forme du signal de surpression conditionnera la réponse de la structure dans la mesure où l'énergie communiquée par l'impulsion sera directement liée à l'intensité maximale et à la durée du signal.

Les formes générales et la raideur de la construction interviennent dans la mesure où il s'agit d'une action impulsionnelle mettant en jeu les caractéristiques dynamiques de la structure. Les réponses mécaniques seront donc liées aux accélérations instantanées occasionnées par le signal, et pour lesquelles la raideur et la forme de la construction sont les paramètres principaux.

Enfin, **l'orientation de la structure** par rapport au front d'onde aura une influence découlant directement de ce qui a été vu ci-dessus au paragraphe 2.2.1., consistant en ce que les pressions appliquées sur les différentes parois d'un ouvrage sont fonction de l'orientation des parois par rapport au front d'onde.

Pour ce qui concerne les **effets locaux des composants** (couvertures, fenêtres, vitrages, cheminées, balcons, garde-corps), les périodes propres locales étant bien inférieures à celles des structures dans leurs oscillations fondamentales, on peut légitimement considérer qu'il y a un découplage complet entre les réponses liées aux effets locaux et celles liées au comportement global de la structure.

Il faut préciser que le comportement mécanique des bâtiments concerne aussi bien les effets **directs** de l'effet de surpression que ses effets **indirects**. En effet :

- Les effets directs sont concernés dans la mesure où la protection conférée par l'enveloppe (murs, portes, fenêtres) permet, lorsqu'elle est convenablement conçue, de préserver les occupants des effets directs de surpression sur le corps.

- Les effets indirects interviennent par le fait que les composants d'ouvrages (éléments de l'enveloppe et de structure, mais également les autres éléments tels que les couvertures, les cheminées, les auvents, les garde-corps, etc.) peuvent constituer un risque pour les personnes en cas de projection de débris ou effondrement partiel ou total.

Dans le cadre de la présente étude, les deux effets direct et indirect sont pris en compte et les mesures préconisées visent tout à la fois :

- l'intégrité des éléments structuraux, en vue du non-effondrement, qu'il soit partiel ou total,

- la tenue des éléments non structuraux, en vue de leur maintien (non désolidarisation ou arrachement),

- la tenue de l'enveloppe, en vue de sa résistance mécanique de protection contre la surpression et de la limitation des effets de projection.

Les mesures de protection et de limitation du risque viseront successivement le cas des bâtiments neufs à construire, et celui des bâtiments existants à renforcer après diagnostic.

Dans tous les cas, les mesures présentées constitueront une protection de nature à rehausser le niveau de fiabilité des ouvrages et à diminuer le niveau de risque sur les personnes.

Notons toutefois que les mesures décrites dans le présent document ne pourront pas maintenir dans tous les cas l'intégrité totale de tous les éléments constitutifs des bâtiments, notamment pour les valeurs élevées de surpression. En effet, les considérations de faisabilité économique ont montré qu'au-delà de certains seuils de pression (en fonction du type de bâtiment), il serait illusoire de chercher à sécuriser les ouvrages.

4.2. Typologie de bâtiments à retenir pour les prescriptions

Les actions appliquées à une structure soumise à un effet de surpression dépendent :

- des valeurs des pics de pression et de la relation pression-temps de l'onde incidente (fig. 1 et 2 ci-dessus),
- des pressions dynamiques (fig.3 et tab.2).
- des raideurs de la structure et des composants de structure, mises en jeu.

Il a été vu dans ce qui précède l'influence qualitative des paramètres en question. Pour ce qui concerne le troisième paramètre (les raideurs) qui dépend de la configuration, de la conception générale, des dimensions, des masses, etc., la diversité des ouvrages et celle de leur configuration font qu'il a été choisi de mener l'étude sur une typologie de bâtiments représentant au mieux :

1. le domaine des raideurs rencontrées le plus communément dans le bâti français,
2. les configurations les plus fréquentes.

On peut retenir quatre types de bâtiments, définis par les figures 4 à 7.

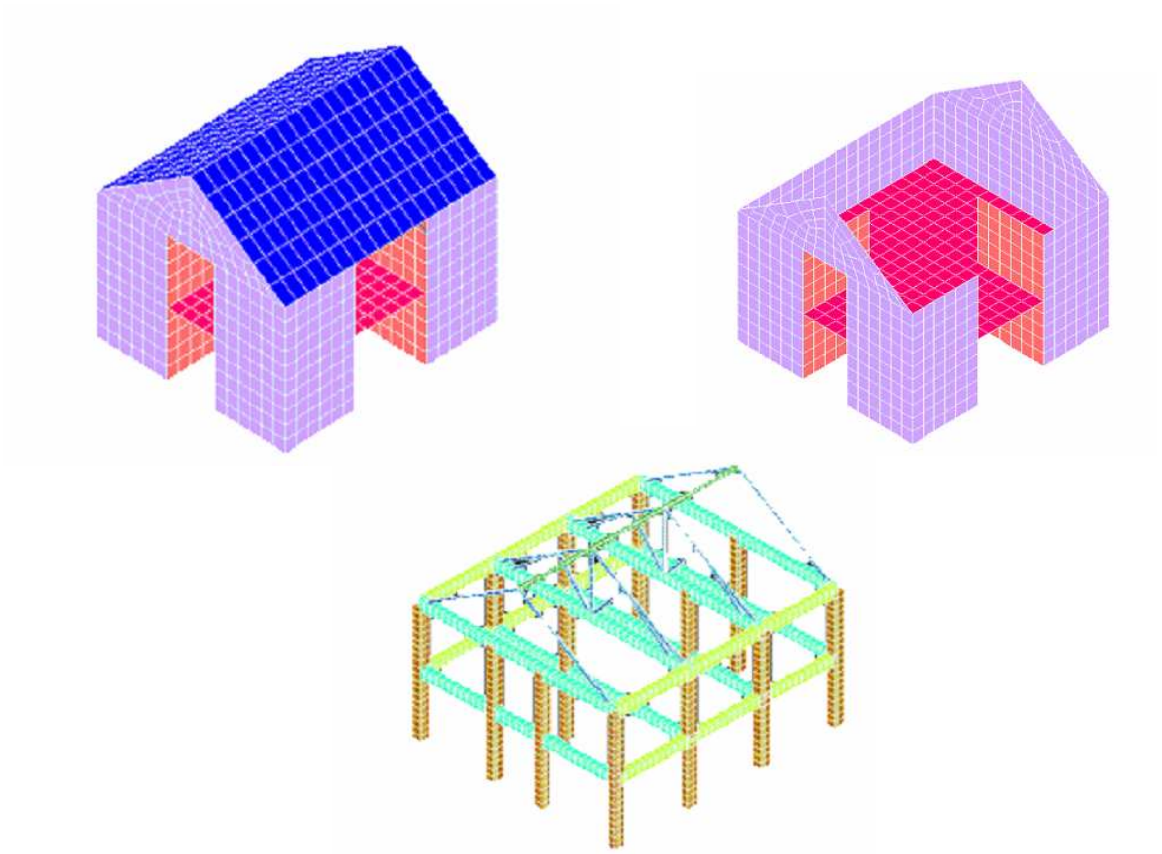


Fig. 4 : Type 1 - Maison individuelle de un ou deux niveaux, avec toiture sur charpente et contreventement par murs maçonnés chaînés.

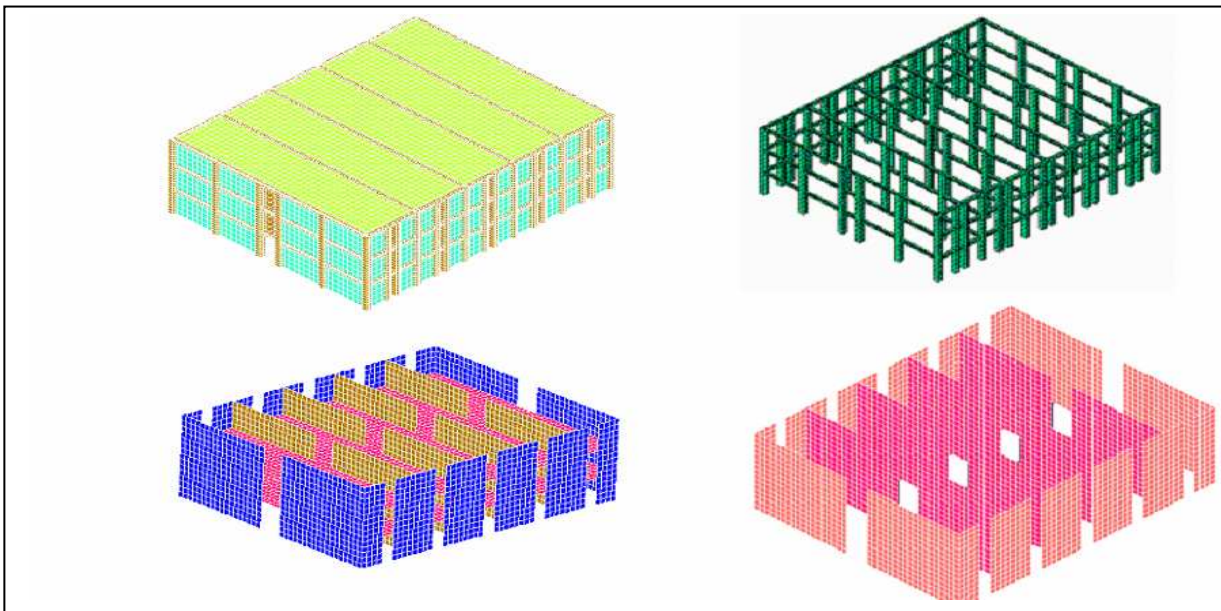


Fig. 5 : Type 2 - Bâtiment bas (quatre étages au maximum) à ossature béton armé (planchers et murs) à usage principalement d'habitations collectives ou de bureaux.

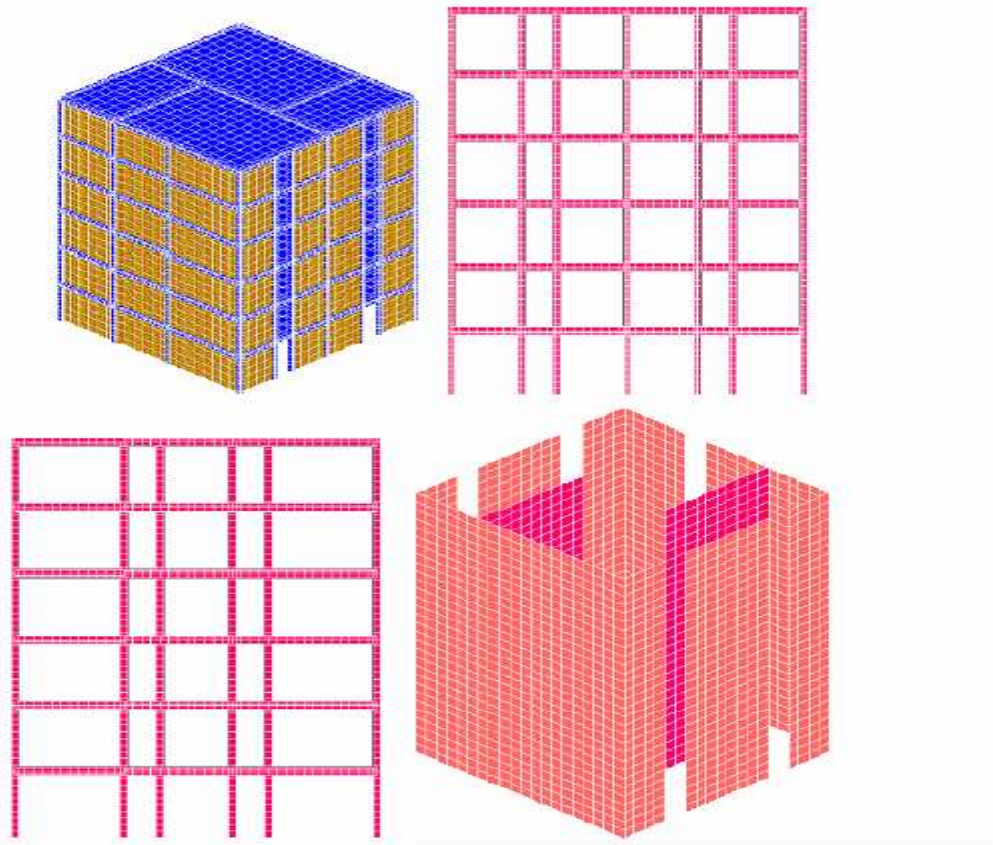


Fig. 6 : Type 3 - Bâtiment élancé (plus de quatre étages) à façade légère et planchers en béton, à usage principalement de bureaux.

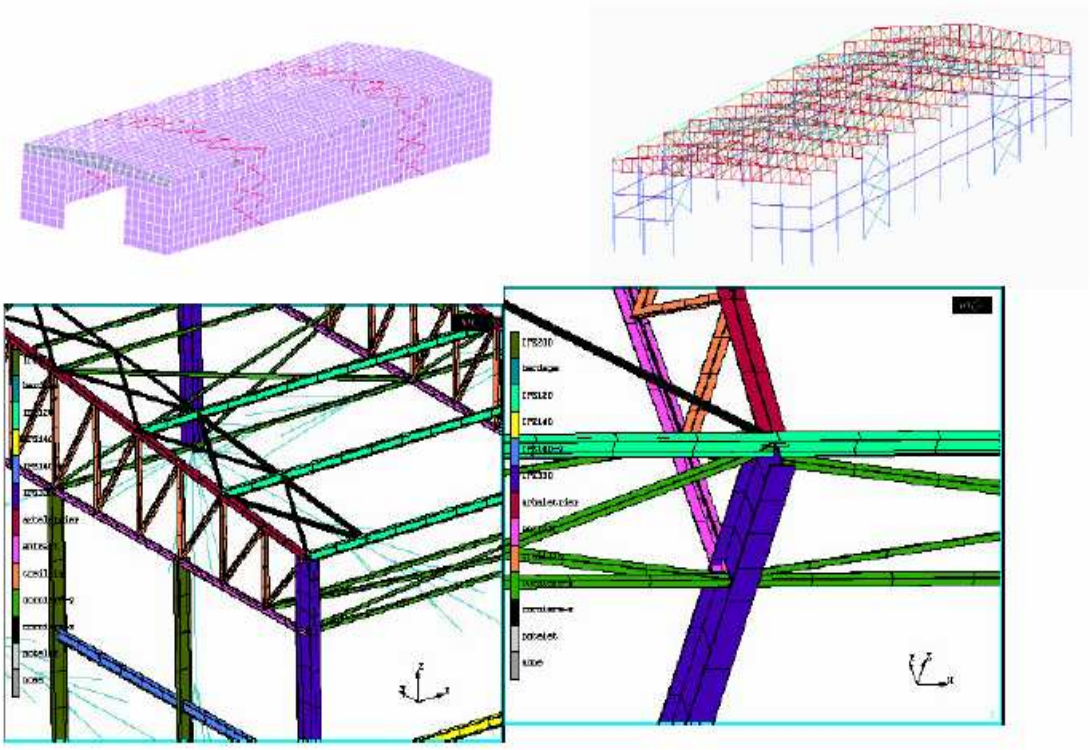


Fig. 7 : Type 4 : Bâtiment industriel comportant éventuellement une mezzanine partielle.

Ces quatre types diffèrent essentiellement par les raideurs qu'ils présentent vis-à-vis d'une sollicitation de nature dynamique et les réponses des structures de ces bâtiments vont dépendre des valeurs de ces raideurs.

Les prescriptions qu'il conviendra de mettre en place vont dépendre du type de bâtiment, couplé avec le type de surpression (essentiellement la durée et l'intensité attendues, pour le phénomène).

A titre d'ordre de grandeur, on peut retenir, pour les périodes propres de ces quatre types, les valeurs suivantes :

Type 1 : 0,05 s ≤ T ≤ 0,15 s.
Type 2 : 0,15 < T ≤ 0,6 s.
Type 3 : 0,6 < T ≤ 1,5 s.
Type 4 : T > 1,5 s.

Les quatre types ont été classés du plus raide au plus souple.

A noter que pour le type 1, la borne inférieure de 0,05 seconde vient de ce que, sur un plan pratique, on ne rencontrera pas de structure de bâtiment suffisamment raide pour que la période propre soit en-deçà de cette valeur (rappelons que plus une structure est raide, plus la période sera faible).

Ces valeurs de périodes ont été obtenues en calculant les réponses des structures concernées, avec un jeu de dimensions réalistes et courantes pour les types retenus. Ce sont donc des valeurs **pratiques** sur lesquelles il est possible développer une approche cohérente.

Les sollicitations appelées à se développer dépendent fortement des accélérations liées aux actions dynamiques appliquées lors d'un effet de surpression.

5. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES À APPLIQUER AUX CONSTRUCTIONS NOUVELLES POUVANT ÊTRE SOUMISES À UN EFFET DE SURPRESSION

Les dispositions qui suivent présentent une certaine similitude avec celles qui prévalent en construction parasismique. Ceci est dû au fait que, dans le cas de la surpression comme dans celui du séisme, les caractéristiques dynamiques sont mises à contribution et il est important de ne pas avoir des irrégularités trop prononcées, de manière à ne pas exciter des modes de déformations conduisant à des sollicitations ayant des formes trop différentes de celles constatées en service. On recherche donc, dans ces dispositions, à avoir des constructions dont les masses et les raideurs sont les mieux réparties possible, en modérant les excentrements et déséquilibres potentiels. Ceci permet d'obtenir des réponses dynamiques conduisant à des sollicitations bien réparties dans les éléments structuraux.

Notons que la similitude surpression/séisme s'arrête là. Il serait illusoire de rechercher par exemple à améliorer la ductilité des constructions dans le cas des surpressions, puisqu'il s'agit d'actions en forces imposées, sans modulation par plastification et perte de raideur comme c'est le cas pour le séisme (déplacements imposés).

5.1. Formes générales et dispositions des constructions.

5.1.1. Régularité en plan

Les constructions susceptibles d'être soumises à un effet de surpression doivent être de forme simple et compacte, sans angles saillants ni retraits importants (fig.8).

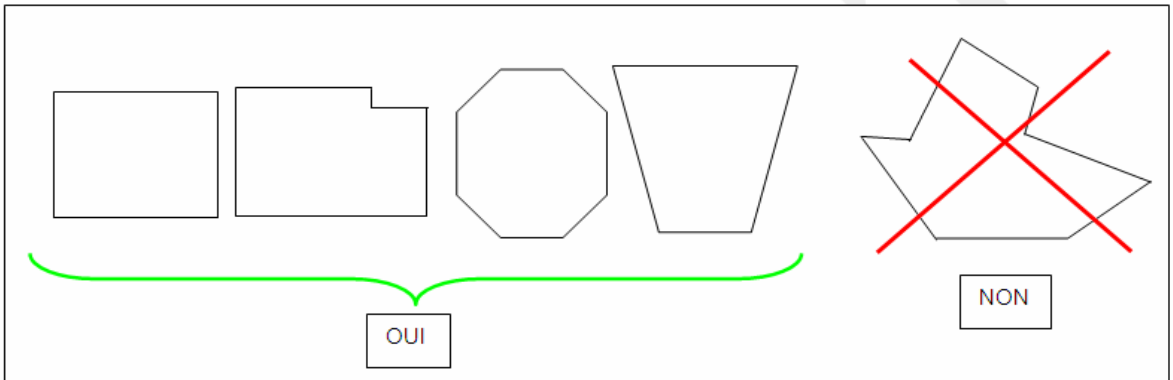


Fig.8 : Formes générales des constructions admissibles en zone de surpression

5.1.2. Rapport des dimensions

En plan, le rapport L/ℓ (longueur/largeur) doit être **inférieur à 1,5** (fig.9):

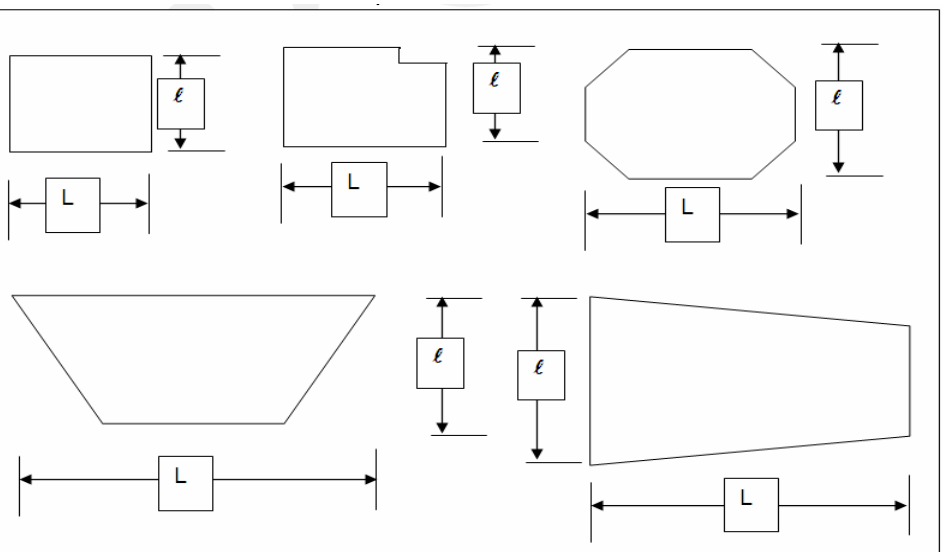


Fig.9 : Visualisation du rapport longueur/largeur pour quelques cas courants.

5.1.3. Décrochements

Les décrochements en plan ne doivent pas dépasser de plus de **5%** de la dimension qui leur est parallèle (fig.10) :

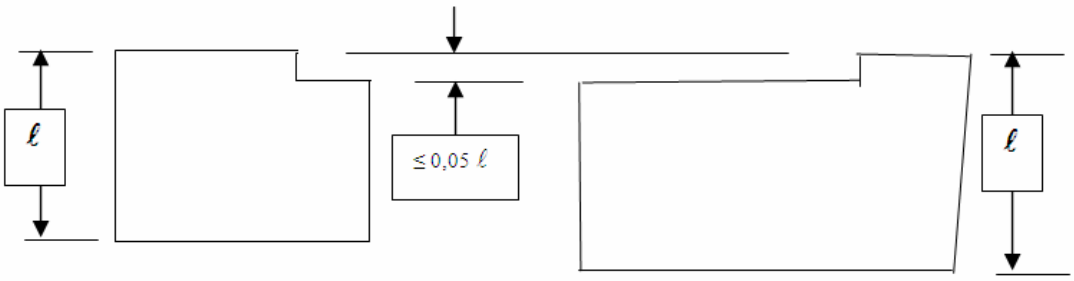


Fig. 10 : Schématisation des limites des décrochements en plan

5.1.4. Distribution des raideurs en plan

Les éléments raides (cages d'escaliers, murs d'échiffres) doivent être disposés de la manière la plus symétrique possible par rapport au centre de la construction. À titre d'ordre de grandeur, on peut retenir comme admissible une conception telle que l'excentrement

entre le centre de torsion et le centre des masses, pour chaque étage, **n'excède pas 5% de la plus grande dimension en plan du bâtiment**.

5.1.5. Ancrage des fondations

Dans le cas de fondations superficielles, celles-ci sont encastrées d'au minimum 50 cm dans le sol d'assise.

5.1.6. Rigidification de l'infrastructure

Un réseau de longrine doit rigidifier l'ensemble des semelles de fondations, **dans les deux directions principales** de la construction (fig.11).

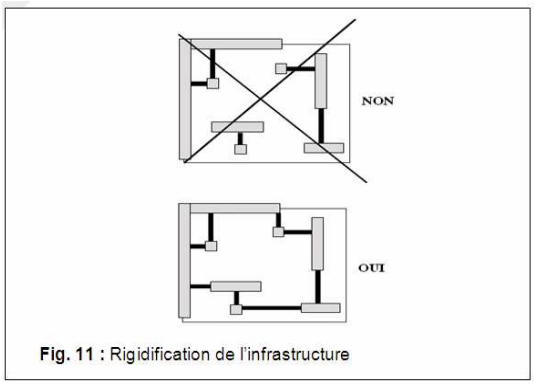


Fig. 11 : Rigidification de l'infrastructure

5.1.7. Conception des dallages sur terre-plein

Dans le cas d'un dallage sur terre-plein, il convient de retenir la solution dallage solidaire de manière à rigidifier l'infrastructure.

5.1.8. Angle des toitures

L'angle des toitures avec l'horizontale ne doit pas excéder 25°.

5.2. Dispositions relatives au contreventement vertical.

La conception des ouvrages doit être telle que les structures puissent assurer un contreventement (résistance aux actions latérales dans toutes les directions) défini de la manière suivante :

5.2.1. Constitution des éléments de contreventement

Les éléments de contreventement sont constitués exclusivement par les éléments suivants (plusieurs types peuvent être associés dans un même ouvrage, à condition de respecter la condition 5.1.4 ci-dessus, sur l'excentrement entre le centre de torsion et le centre des masses) :

- Voiles en béton armé,
- Murs en maçonnerie chaînée,
- Portiques autostables en béton armé,
- Palées de stabilité en acier.

5.2.2. Objectif de stabilité

La construction doit contenir au moins deux plans de stabilité distincts dans chacune de ses deux directions principales. La distance entre les deux plans extrêmes, dans une direction donnée, ne doit pas être inférieure à 0,7 fois la dimension du bâtiment, dans la direction considérée. De plus, la résistance des éléments de contreventement doit être telle que la fonction de portage des parties verticales (murs, poteaux ou montants) soient assurée lors de l'application de la surpression.

5.2.3. Chaînage des murs de contreventement

Dans le cas où le contreventement vertical est assuré par des murs, ceux-ci doivent comporter un chaînage périphérique formant ceinture à chaque étage (fig.12).

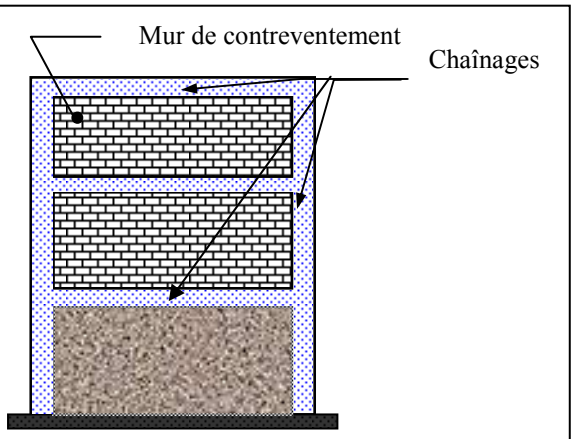


Fig. 12 : Contreventement par murs

5.2.4. Principe de dimensionnement du contreventement

Les actions à prendre en compte pour le dimensionnement du contreventement consistent en des pressions appliquées de manière statique sur les parois verticales extérieures des ouvrages. Ces pressions de calcul statique équivalent sont obtenues en multipliant les pressions pondérées appliquées sur les différentes faces du bâtiment (cf. § 2.2.4) par un coefficient dont le mode de calcul est donné en annexe A.

Pour le dimensionnement proprement dit, les actions liées à la surpression sont considérées comme des actions **accidentelles** et traitées comme telles dans les combinaisons d'action utilisées pour les calculs de dimensionnement.

5.3. Dispositions relatives au contreventement horizontal.

5.3.1. Conception des planchers

Tous les planchers doivent être suffisamment résistants vis-à-vis des sollicitations horizontales dans leur plan : leur conception doit rendre impossible la mise en parallélogramme et assurer la répartition convenable des charges dues à la surpression sur les pans de stabilité. Les planchers respectant cette prescription peuvent être des dalles en béton, nervurées ou non, ou des platelages en bois indéformables, dans lesquels les

trémies d'escalier sont disposées de telle sorte que les parties restantes ne puissent se déformer par flexion horizontale. Les planchers ne doivent comporter aucune ouverture en dehors des trémies d'escalier, ces dernières devant être disposées de manière à ce que, dans les deux directions du bâtiment, la raideur horizontale de la partie restante de plancher soit suffisante pour garantir l'impossibilité de mise en parallélogramme de tout ou partie du plancher.

Par ailleurs, l'analyse des réponses de bâtiments soumis à des effets de surpression montre que certains modes locaux de vibration peuvent être excités lors de l'application de l'action considérée, même si ces modes ne constituent pas le mode fondamental pour la structure entière. Le cas le plus critique est celui des faces extérieures perpendiculaires au front d'onde sur lesquelles la pression appliquée n'atteint pas sa valeur maximale en tous points au même moment. Le mode excité, dans ce cas précis, est un mode dit « de respiration », conduisant à des sollicitations de traction et/ou de compression dans les planchers[1] . Dans notre cas, ce problème peut être résolu en veillant à ce que tous les planchers soient conçus de manière à équilibrer une traction valant **100 KN/ml**.

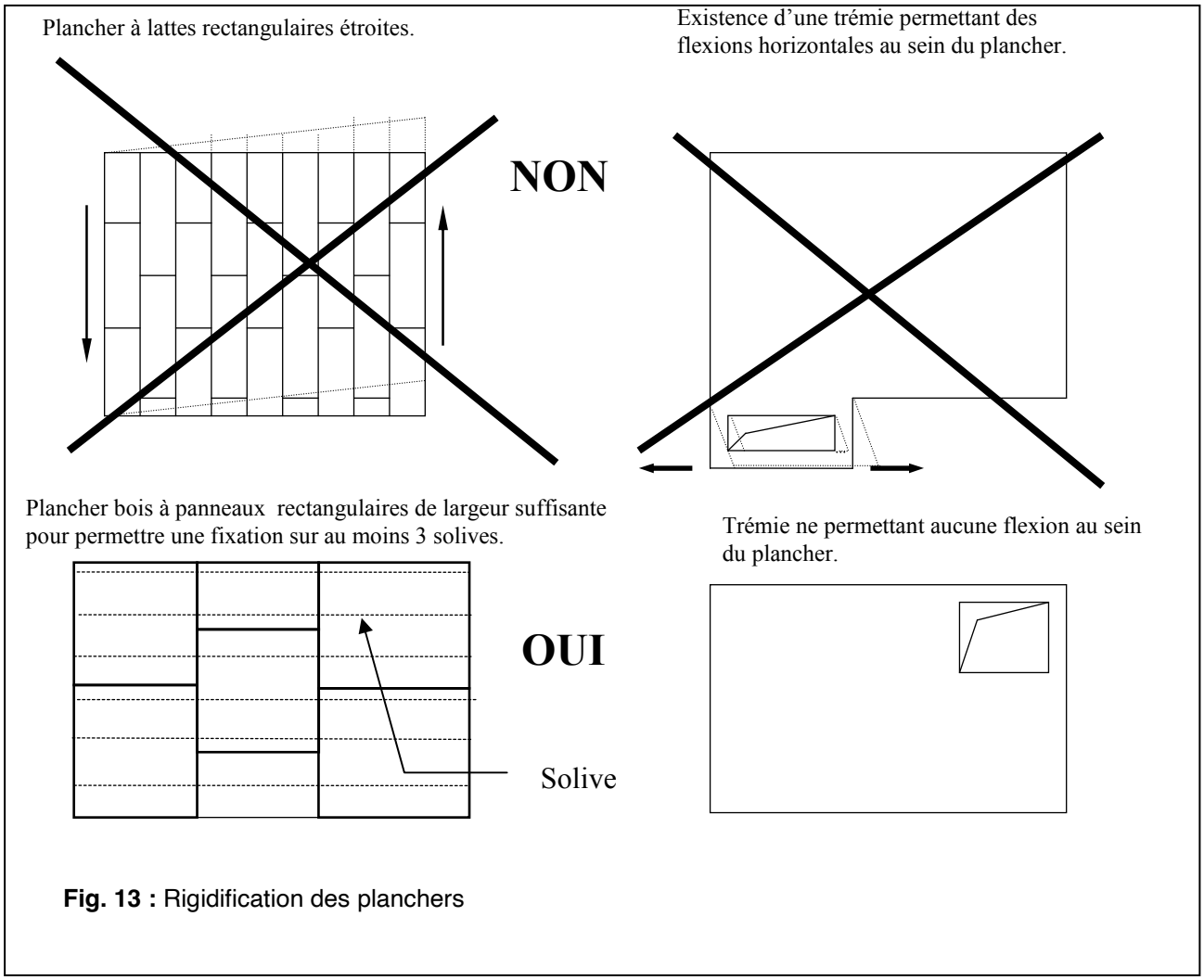


Fig. 13 : Rigidification des planchers

[1] *Ce phénomène est appréhendé dans l'approche parasismique des constructions lorsque l'on requiert une fonction dite « tirant-buton » du plancher.*

5.3.2. Chaînages des planchers

Des chaînages horizontaux doivent être prévus à toutes les jonctions entre éléments de planchers et éléments plans verticaux.

5.4. Dispositions relatives aux éléments constructifs autres que le contreventement.

5.4.1. Charpentes supports de couvertures

Norme P21-101 (juillet 1990) : Éléments industrialisés de charpente en bois - Spécifications (Indice de classement : P21-101)

Les charpentes support de couvertures doivent être liaisonnées au gros-œuvre de manière à équilibrer les charges de soulèvement dues à la surpression. Les ancrages utilisés doivent être dimensionnés pour une valeur de l'effort d'arrachement calculée au projet, majorée de 10% (Capacité = 1,10 x Force d'arrachement).

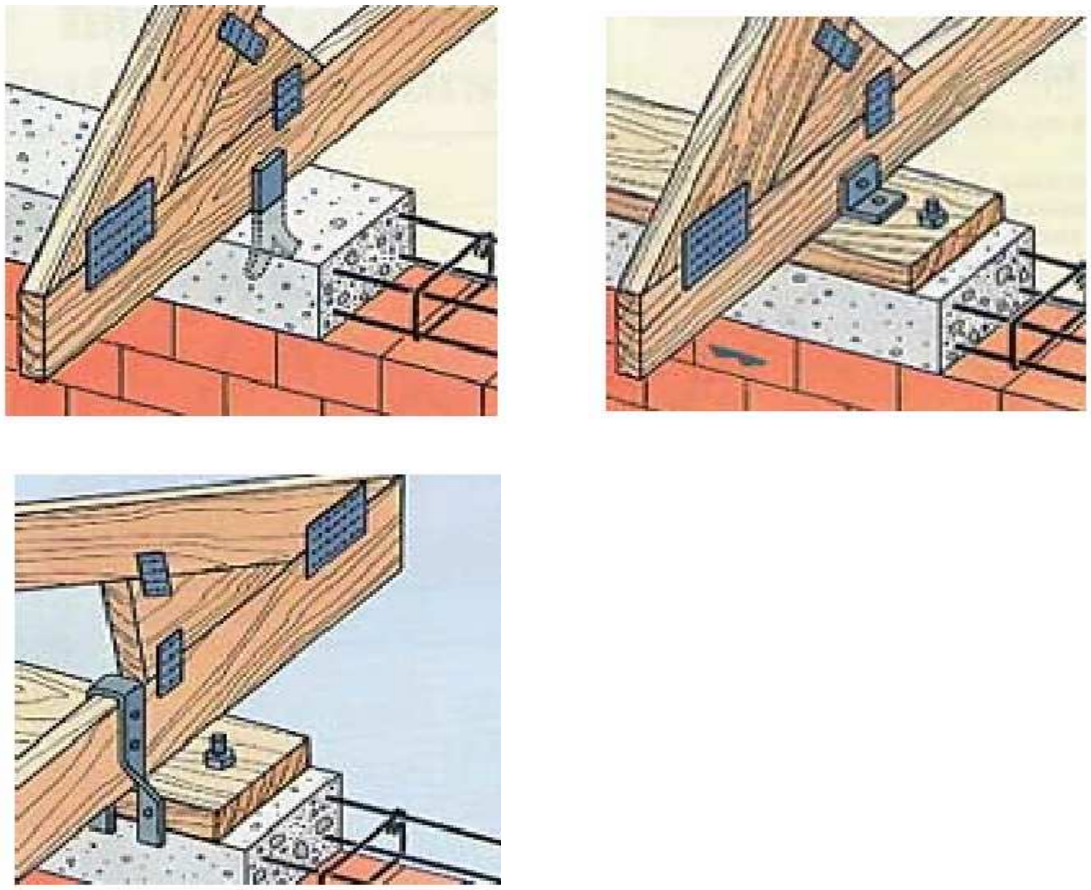


Fig. 14 : Exemples de fixations de support de couverture (ici des fermettes en bois) au gros-œuvre.

5.4.2. Couverture en petits éléments

Norme NF P31-301 (juillet 1985) : Tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement (Indice de classement : P31-301).
Norme NF P31-305 (juillet 1985) : Tuiles canal de terre cuite (Indice de classement : P31-305).

Les éléments de couverture doivent être fixés aux composants qui les supportent (chevrons, pannes, etc.). En pratique, tous les procédés de couvertures peuvent être fixés moyennant des dispositifs qui leur sont spécialement dédiés. A titre d'exemple, nous

pouvons citer explicitement le cas des tuiles à emboîtement qui représentent 80% de la part de marché des couvertures en tuiles. Pour simplifier le choix de l'accessoire de fixation à utiliser, il existe un système de fixation pouvant être mis en œuvre sur tous les types de tuiles à emboîtement :

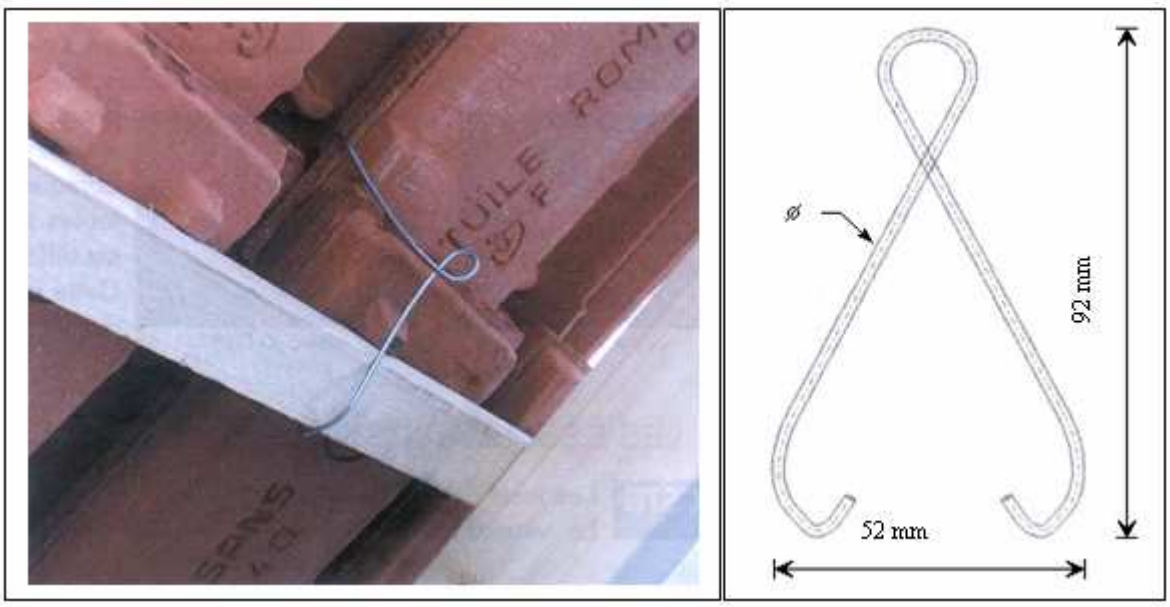


Fig. 15 : Crochet de fixation universel pour éléments de couverture.

5.4.3. Cheminées

NF EN 13084-1 (avril 2001) : Cheminées auto-portantes - Partie 1 : Exigences générales (2ème tirage avril 2005) (Indice de classement : P51-501)

Pour ce qui concerne les cheminées, les conduits maçonnés en petits éléments doivent comporter des appuis horizontaux à toutes les hauteurs d'étages ou tous les 2,5 m de hauteur. Ces appuis sont réalisés soit par la traversée de plancher, soit par des brides de fixation positionnées sur un mur de refend ou de pignon. Un dernier appui horizontal se fait au droit de la jonction entre la couverture et de la charpente. Afin d'éviter un cisaillement engendré par le déplacement de la couverture lors de son rôle de contreventement de la charpente, il faut positionner des éléments contreventement sur le pourtour du conduit, immédiatement à son contact.

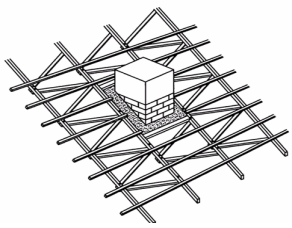


Fig. 16 : Disposition de maintien

5.4.4. Menuiseries

Norme NF P24-301 (août 1980) : Spécifications techniques des fenêtres, portes-fenêtres et châssis fixes métalliques (Indice de classement : P24-301)

Pour ce qui concerne les châssis menuisés, le critère de rigidité est très important, l'analyse des résultats de nombreux essais et l'examen de sinistres, effectués par le CSTB, a montré que :

- pour le cas des fenêtres en bois, une déformation importante de la menuiserie liée à des faibles sections de bois (vitrage simple), conduit à l'échappement du pêne, une ouverture des ouvrants et le bris des vitrages.

- pour le cas des fenêtres en aluminium (grandes dimensions, en simple vitrage et faibles inerties), des déformations importantes ont été constatées, mais sans échappement, du fait de la raideur plus faible et, donc, de la plus grande capacité à se déformer.

En conséquence, on peut légitimement, pour tous les châssis menuisés, retenir une approche par spectre de dimensionnement comme cela est fait pour les structures, c'est-à-dire que la charge statique de dimensionnement que l'on prend en compte sera la pression pondérée appliquée sur la façade ou pignon considéré, multipliée par le coefficient donné dans le tableau 3 (cf. 4.2.4).

Les garnitures d'étanchéité entre ouvrant et dormant, qui assurent la séparation entre les ambiances intérieure et extérieure, doivent être installées dans un même plan sur toute la périphérie. Les profilés doivent pouvoir être remplacés, être étanches au vent, à l'eau et être bloqués pour éviter tout déplacement.

La qualité des fixations de la quincaillerie liant le vantail au dormant doit être suffisante vis-à-vis des effets de surpression. Les types de fenêtres sollicitant le plus les quincailleries pour ce type de sollicitation et donc leur support, sont celles à vantaux pivotant autour d'une de leurs rives (fenêtres à 2 vantaux à la française ou à l'anglaise) et avec ancrage haut et bas au battement.

5.4.5. Vitrages

Norme NF DTU 39 P1-1 (octobre 2006) : Travaux de bâtiment - Travaux de vitrerie-miroiterie - Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques (Indice de classement : P78-201-1-1)

Pour ce qui concerne les vitrages, on se limitera à l'utilisation de verre trempé ou de verre durci, dont la fragmentation en cas de rupture se fait en petits éléments et, donc, présente un risque moindre pour les personnes. L'utilisation de doubles-vitrages (ou, mieux, de doubles-fenêtres) est fortement recommandée.

Il est également possible d'avoir recours à des **films de sécurité appliqués sur la surface intérieure de la vitre** afin de retenir les morceaux de verre. Des essais ont été réalisés sur des films de sécurité, ils se sont avérés efficaces pour réduire les risques.

De plus, sur un plan économique, il peut être utile de dimensionner les vitrages afin de prévoir le risque de rupture en cas de surpression modérée. Ceci peut se révéler particulièrement intéressant dans le cas d'aléas combinés surpression-toxique, en vue du choix de la méthode de confinement. On pourra se référer au besoin à la méthode décrite en annexe B, pour un tel dimensionnement.

5.4.6. Plafonds suspendus

NF P68-203-1 (DTU 58.1) (juillet 1993) : Plafonds suspendus - Travaux de mise en œuvre - Partie 1 : Cahier des clauses techniques (Indice de classement : P68-203-1)

La pratique habituelle consistant à poser des panneaux sur une ossature horizontale fixée par suspentes, sans fixations mécaniques entre panneaux et supports, ne permet pas d'empêcher le soulèvement des panneaux en cas de surpression intérieure. Ce soulèvement est susceptible de s'accompagner d'un mouvement latéral puis de la chute de panneaux (ce phénomène a été observé dans plusieurs sinistres dus à une surpression accidentelle). En conséquence, il est fortement recommandé de liaisonner mécaniquement les panneaux à l'ossature-support, dans le cas où une action de surpression est possible.

5.5. Éléments de surcoût pour le bâti neuf

Toutes les dispositions vues dans ce qui précède vont conduire évidemment à un surenchérissement du coût de l'ouvrage projeté. Toutefois, le surcoût induit par ces dispositions complémentaires peut être minimisé si les options sont prévues en amont du projet.

A titre d'ordre de grandeur, le tableau 4 ci-après fournit, en pourcentage du coût total de la construction hors-zone d'aléa de surpression, les surcoûts attendus, en fonction de la zone d'aléa et du type d'ouvrage. Ces chiffres :

- prennent en compte le fait que les dispositions ne visent que les composants de gros-œuvre, couvertures et menuiseries, qui constituent globalement 50 à 60 % du coût total d'un bâtiment,

- supposent que la conception générale (symétrie des raideurs, formes compactes, etc.) respecte les dispositions générales données dans ce qui précède.

Type de construction / Zone d'aléa	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
F+	30,0 %	25,0 %	23,0 %	20,0 %
F	20,0 %	18,0 %	16,0 %	15,0 %
M+	15,0 %	12,0 %	10,0 %	10,0 %
M	10,0 %	9,0 %	9,0 %	8,0 %
Fai	5,0 %	4,0 %	3,0 %	3,0 %

Tab. 4 – Ordre de grandeur des surcoûts de construction pour le bâti neuf.

5.6. Récapitulatif : actions pratiques pour les préconisations en matière de bâti neuf

5.6.1. Cas des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 50 à 140 hPa.

Pour le cas des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 50 à 140 hPa, des dispositions simples visant **quinze critères**, pour chacun des quatre types recensés, permettent d'obtenir un comportement satisfaisant des bâtiments. Les dispositions en question sont listées dans le tableau qui suit, et sont déclinés en fonction du type de bâtiment. Les dispositions indiquées renvoient le cas échéant aux différents paragraphes explicatifs du présent document :

N°	Critère de conception	**Bâtiment du type 1**	**Bâtiment du type 2**	**Bâtiment du type 3**	**Bâtiment du type 4**
1	Régularité en plan (§ 5.1.1)	Forme compacte sans angles saillants (voir schémas 5.1.1)	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
2	Rapport des dimensions (§ 5.1.2)	Valeur limite de $L/\ell = 1,5$	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
3	Décrochements (§ 5.1.3)	Valeur maximale = 5% de la dimension parallèle au décrochement	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
4	Distribution des raideurs en plan (§ 5.1.4)	Murs disposés approximativement symétriquement dans les deux directions (écart de symétrie inférieur à 5% vis-à-vis des dimensions).	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
5	Ancrage des fondations (§ 5.1.5)	Ancrage minimal de 50 cm dans le sol porteur.	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
6	Rigidification de l'infrastructure (§ 5.1.6)	Semelles de fondations liaisonnées dans les deux directions du bâtiment	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
7	Dallage sur terre-plein (§ 5.1.7)	Dallage de type solidaire (relié aux longrines et aux murs périphériques)	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
8	Inclinaisons des toitures (§ 5.1.8)	Angle maximal de la toiture = 25°.	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
9	**Contreventement vertical (§ 5.2)**	**Au minimum deux murs dans chacune des deux directions, espacés d'au moins 0,8 L (L = dimension du bâtiment perpendiculaire aux murs).**	**Contreventement par murs en béton ou maçonnerie chaînée, dans chacune des deux directions. Espacement maximal entre chaque mur = 4 m.**	**Contreventement par murs en béton ou maçonnerie chaînée, ou encore par portiques autostables, dans chacune des deux directions. Espacement maximal entre chaque plan de contreventement = 6 m**	**Contreventements par portiques, palées de stabilité ou refends en béton, dans les deux directions. Minimum : 2 plans de stabilité par direction, éloignés d'au moins 0,8 L (L = dimension du bâtiment perpendiculaire aux murs).**
10	Planchers (§ 5.3.1)	Plancher béton ou bois avec liaisons sur les murs.	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
11	Charpentes de couvertures (§ 5.4.1)	Charpentes liaisonnées au gros-œuvre. Couverture liaisonnée à la charpente.	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
12	Cheminées (5.4.3)	Appuis horizontaux à tous les étages. Blocage sur charpente.	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
13	Menuiseries et bardages (§ 5.4.4)	Retenir menuiseries PVC ou aluminium. Dispositions de liaisons au gros-œuvre conformes aux règles habituelles.	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
14	Plafonds suspendus (§ 5.4.6)	Fixation mécanique à prévoir pour tous les panneaux (pose en suspente interdite).	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1
15	Vitrages (§ 5.4.5)	Survitrages, doubles fenêtres ou film de sécurité à retenir.	Idem type 1	Idem type 1	Idem type 1

Tab. 5 – Critères de préconisations pour le bâti neuf

5.6.2. Cas particulier des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 20 à 50 hPa (faibles pressions) appliquées sur les bâtiments de type 1.

Pour le cas des **faibles pressions** (niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 20 à 50 hPa, sans condition sur le cumul des classes de probabilité d'occurrence), les bâtiments de type 1 (maison individuelle), construits de manière traditionnelle, sont réputés sécurisés sur le plan structural dès lors qu'ils respectent les critères 1, 9 et 15 du tableau ci-dessus, et c'est ce que démontrent les constats effectués après certains sinistres dûs à une surpression. L'expérience montre que pour ce type de bâtiments, dans la pratique, les critères 1 et 9 sont presque toujours respectés. Il restera alors à préconiser la sécurisation du vitrage, selon les méthodes données au § 5.4.5.

5.6.3. Cas des niveaux d'aléa supérieurs au niveau « Fai »

5.6.3.1. Principes

Pour les cas de niveaux d'aléas supérieurs au niveau « Fai », les préconisations doivent porter sur deux aspects :

a. le respect des critères **1 à 8** et **10 à 15**

b. la justification de la tenue du contreventement vertical (critère n°9) par le biais d'une **étude particulière**, en utilisant les principes décrits ci-dessous.

5.6.3.2. Modalités d'analyse du contreventement vertical

La justification de la tenue du contreventement est à effectuer classiquement, en considérant la surpression comme un ensemble d'actions horizontales appliquées statiquement sur les parois extérieures du bâtiment (ce type de calcul est identique à un calcul sous les effets du vent).

Les actions horizontales à prendre en compte se calculent conformément aux développements qui précèdent. La procédure est synthétisée ci-dessous :

1. La valeur de surpression en champs libre est donnée par l'étude de danger effectuée au préalable. Cette valeur correspond à la valeur P_{inc} (voir § 2.2.4 du présent document).

2. Calculer les pressions exercées sur les différentes parois du bâtiment en pondérant la valeur de P_{inc} par les coefficients donnés au tableau 3 (§ 2.2.4). Retenir les coefficients correspondant au cas de chargement n°1 en cas de détonation et ceux correspondant au cas n°2 en cas de déflagration.

3. Calculer la période fondamentale de vibration « T » du bâtiment (calcul modal), ou à défaut prendre les valeurs forfaitaires données au paragraphe 3.2 du présent document, selon le type du bâtiment (1 à 4).

4. Déterminer le coefficient d'amplification en fonction du rapport T/t_1 (t_1 : durée de la phase positive de l'action de surpression) à partir des courbes données à l'annexe A du présent document (utiliser les courbes du § 9 de cette annexe s'il s'agit d'une déflagration, et celles du § 10 s'il s'agit d'une détonation). Le tableau suivant fournit les

coefficients d'amplification enveloppes que l'on peut retenir en première approche, à défaut de les évaluer conformément à l'annexe A :

	Détonation			Déflagration			
	$t_1 \leq 1$ ms	1 ms < t_1 ≤ 10 ms	10 ms < t_1 ≤ 100 ms	$t_1 \leq 10$ ms	10 ms < t_1 ≤ 100 ms	100 ms < $t_1 \leq 1$ s	1 s < $t_1 \leq$ 10 s
Type 1	0,10	0,60	1,70	1,00	3,20	3,20	1,40
Type 2	0,10	0,20	1,40	0,10	3,20	3,20	1,50
Type 3	0,10	0,10	0,50	0,10	0,50	3,20	3,20
Type 4	0,10	0,10	0,20	0,10	0,25	3,2	3,20

Tab. 6 – Coefficients enveloppes d'amplification des actions de surpression

Il convient de noter que, dans le cas où la valeur de t_1 ne serait pas fournie par l'étude de danger, compte tenu de la forme des courbes donnant le coefficient d'amplification en fonction de T/t1, il ne serait pas sécuritaire de retenir pour la valeur du coefficient une autre valeur que la valeur maximale de la courbe (soit 3,20 pour la déflagration et 2,00 pour la détonation).

5. Effectuer un calcul du contreventement sous les actions des pressions finales obtenues sur chacune des faces du bâtiment. Les actions ainsi majorées sont prises en compte de manière statique pour le calcul (de la même manière que sont considérées les actions du vent).

6. CAS DU BÂTI EXISTANT : RENFORCEMENT PRÉVENTIF

6.1. Position du problème

Le cas particulier du bâti existant, plus spécifiquement celui de son renforcement préventif vis-à-vis d'une action accidentelle possible, ne peut pas être traité de manière aussi directe que celui, vu précédemment, du bâti neuf. En effet, **il faut au préalable effectuer un diagnostic de performances**, et reconnaître convenablement les structures en place, avant de décider quel seraient les types de renforcement les plus adaptées à l'ouvrage en question.

Il est donc nécessaire de faire effectuer un diagnostic de l'ouvrage, diagnostic pouvant se résumer à une consultation des plans d'exécution qui auraient été établis lors de la construction (lorsque ces plans existent encore). Ce diagnostic concernerait les points particulièrement sensibles aux effets de la surpression, points découlant de ceux examinés de manière détaillée au chapitre précédent concernant le bâti neuf. Le paragraphe 5.2 qui suit présente une grille de critères (**16 critères au total**) qui sont suffisants pour établir de manière fiable le niveau de vulnérabilité du bâtiment.

Il convient toutefois de noter que **le renforcement préventif ne doit pas être vu comme une mise à niveau exacte de la construction existante**. En effet, les coûts des opérations de renforcement est la plupart du temps tel qu'il doit conduire à effectuer un compromis entre ce qui est socialement acceptable en terme de risque et économiquement supportable.

Dans le paragraphe qui suit, il est présenté la manière dont le diagnostic doit être effectué et l'Annexe C décrit les techniques de renforcement les mieux maîtrisées, en indiquant dans quels cas elles sont utilisables.

6.2. Éléments de diagnostic

Le diagnostic doit s'attacher à recenser les points particuliers pouvant potentiellement mettre en cause la sécurité des personnes, en rapport avec la tenue des composants d'un bâtiment vis-à-vis d'un effet de surpression. Ces points ont d'ailleurs une relation directe avec ceux qui ont été vus dans le cas du bâti nouveau (cf. Chap.4).

L'expérience acquise dans les problèmes de renforcement conduit à recommander, dans le cadre d'une opération de diagnostic, l'établissement d'une fiche prédéfinie, qu'il convient de renseigner sur place. Cette fiche est proposée dans le tableau 3 ci-après, et comporte 16 critères dont le respect peut être vérifié par un examen visuel relativement simple ou, mieux, l'examen des plans établis lors de la construction.

L'attention est attirée sur le fait que le renforcement d'un bâtiment existant ne peut être envisagé avec une précision convenable et une pertinence recevable qu'à la condition que le diagnostic des performances initiales ait été établi correctement.

N°	CRITÈRES DE VÉRIFICATION	RÉSULTAT DU DIAGNOSTIC	
1	Rapport L/ℓ des dimensions	> 1,5 ☐	≤ 1,5 ☐
2	Présence de saillies en plan	Oui ☐	Non ☐
3	Quasi-symétrie des raideurs	Oui ☐	Non ☐
4	Ancrage des fondations	≥ 50 cm ☐	< 50 cm ☐
5	Présence de longrines	Oui ☐	Non ☐
6	Type de dallage	Flottant ☐	Solidaire ☐
7	Angle du toit	> 25° ☐	≤ 25° ☐
8	Nombre de plans de contreventement par direction	≥ 2 ☐	< 2 ☐
9	Chaînages des murs	Oui ☐	Non ☐
10	Trémies externes dans les planchers	Oui ☐	Non ☐
11	Chaînages dans les planchers	Oui ☐	Non ☐
12	Fixation de la charpente de couverture au gros-œuvre	Oui ☐	Non ☐
13	Fixation de la couverture à la charpente	Oui ☐	Non ☐
14	Calage rigide de la cheminée contre la toiture	Oui ☐	Non ☐
15	Étanchéité des menuiseries sur un seul plan	Oui ☐	Non ☐
16	Vitrage trempé ou durci	Oui ☐	Non ☐
17	Façades ou bardages rapportés	Oui ☐	Non ☐

Tab. 6 – Exemple de fiche de diagnostic

6.3. Hiérarchisation des critères de diagnostic

Une fois le diagnostic effectué et la fiche renseignée, il est utile d'opérer un **tri hiérarchisé** des critères, en termes de criticité vis-à-vis de la sécurité sous action de surpression. Par exemple, il est légitime d'affirmer que, sur l'exemple ci-dessus, le critère 9 présente un caractère plus critique que le critère 13. En effet, le non-respect du critère 9 peut conduire à l'effondrement du bâtiment alors que celui du critère 13 entraîne l'envol de la couverture. On

peut, sur la fiche du tableau 6, définir trois niveaux critiques nommés 1, 2 et 3, du plus critique au moins critique, et déclinés de la manière suivante (Tab.7) :

N°	CRITÈRES DE VÉRIFICATION	RÉSULTAT DU DIAGNOSTIC		COTATION : NIVEAU CRITIQUE
		Disposition favorable	Disposition défavorable	
1	Rapport L/ℓ des dimensions	≤ 1,5 ☐	> 1,5 ☐	2
2	Présence de saillies en plan	Non ☐	Oui ☐	2
3	Quasi-symétrie des raideurs	Oui ☐	Non ☐	1
4	Ancrage des fondations	≥ 50 cm ☐	< 50 cm ☐	1
5	Présence de longrines	Oui ☐	Non ☐	1
6	Type de dallage	Solidaire ☐	Flottant ☐	2
7	Inclinaison du toit	≤ 25° ☐	> 25° ☐	3
8	Nombre de plans de contreventement par direction	≥ 2 ☐	< 2 ☐	1
9	Chaînages des murs	Oui ☐	Non ☐	1
10	Trémies externes dans les planchers	Non ☐	Oui ☐	2
11	Chaînages dans les planchers	Oui ☐	Non ☐	1
12	Fixation de la charpente de couverture au gros-œuvre	Oui ☐	Non ☐	3
13	Fixation de la couverture à la charpente	Oui ☐	Non ☐	2
14	Calage rigide de la cheminée contre la toiture	Oui ☐	Non ☐	2
15	Étanchéité des menuiseries sur un seul plan	Oui ☐	Non ☐	3
16	Vitrage trempé ou durci, ou film de sécurité	Oui ☐	Non ☐	2
17	Façades ou bardages rapportés	Oui ☐	Non ☐	2

Tab. 7 – Illustration de la hiérarchisation des critères de diagnostic :
Niveau 1 : Désordres sévères, voire effondrement. Sécurité des personnes fortement compromise.
Niveau 2 : Désordres moyens. Sécurité des personnes moyennement compromise.
Niveau 3 : Désordres légers, peu d'impacts. Sécurité des personnes faiblement compromise.

Cette cotation permet de prioriser les actions de renforcement, en s'attachant par exemple à ne viser que les critères notés 1. Ceci va évidemment conduire à un niveau de sécurité inférieur à celui du bâti neuf pour lequel tous les critères auront été respectés, **mais on aura ainsi amélioré le niveau de sécurité par rapport à sa valeur initiale**. Ce compromis technico-économique en matière de bâti existant nous semble indispensable si l'on souhaite concilier sécurité et viabilité économique.

6.4. Degré d'analyse

Comme pour le bâti nouveau, il est possible pour l'analyse de recourir à une approche simplifiée ou à une approche fine. Le recours à un bureau d'études « structures », pour effectuer les analyses préalables alimentées par les éléments de diagnostic est recommandé afin d'apprécier convenablement le risque d'effondrement du bâtiment par insuffisance de contreventement ou vice dans la conception initiale. En revanche, il n'est pas déraisonnable de concéder une approche plus simple pour les éléments de second-œuvre (couverture, vitrage), en se bornant, par exemple, à une remise en état de manière à être en conformité avec les recommandations données au chapitre 4 (constructions nouvelles).

Toutefois, en matière de renforcement structural, les techniques disponibles sont globalement mal connues, sauf par quelques entreprises spécialisées. De ce fait, il semble utile de donner des éléments pouvant aider au choix et à la conception des renforcements. Des fiches descriptives de certaines techniques utilisées sont proposées en annexe C, et des informations relatives aux coûts induits sont données pour ces diverses techniques.

6.5. Récapitulatif : actions pratiques pour les préconisations en matière de bâti existant

Les préconisations en matière de bâti existant doivent obligatoirement s'appuyer, nous l'avons dit, sur la base d'un diagnostic préalable de performances. Ce diagnostic consiste à renseigner, pour tous les bâtiments situés dans le périmètre de l'étude relevant du PPRT, les fiches de diagnostic décrites en 5.2 et 5.3 ci-dessus. Une fois ces fiches remplies, les bâtiments présentant des défaillances de criticité pour certains critères doivent faire l'objet de travaux de renforcement visant les défaillances constatées.

6.5.1. Cas des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 50 à 140 hPa.

Dans ce cas, il est loisible de prescrire **des renforcements uniquement vis-à-vis des critères présentant le niveau 1 de criticité**, c'est-à-dire les critères 3, 4, 5, 8, 9 et 11 selon le tableau 7.

Il convient de noter que les travaux de renforcements sur existant relèvent de techniques délicates et nécessitent un savoir-faire spécifique. Les techniques décrites en annexe C du présent document sont parmi les plus maîtrisées, mais il nous paraît nécessaire que les travaux soient effectués par des entreprises du bâtiment.

6.5.2. Cas particulier des niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 20 à 50 hPa (faibles pressions) appliquées sur les bâtiments de type 1.

Pour le cas des **faibles pressions** (niveaux d'aléa « Fai » avec des pressions allant de 20 à 50 hPa, sans condition sur le cumul des classes de probabilité d'occurrence), les bâtiments de type 1 (maison individuelle), qui auraient été construits de manière traditionnelle, sont réputés sécurisés sur le plan structural dès lors qu'ils respectent les critères 1, 8 et 16 du tableau 7, et c'est ce que démontrent les constats effectués après sinistres de surpression.

L'expérience montre que pour ce type de bâtiments, dans la pratique, les critères 1 et 8 sont presque toujours respectés. Il restera alors à préconiser la sécurisation du vitrage, selon les méthodes données au § 5.4.5.

6.5.3. Cas des niveaux d'aléa supérieurs au niveau « Fai »

Dans ce cas, les renforcements à préconiser ne peuvent pas se limiter uniquement aux critères présentant le niveau 1 de criticité. Il est recommandé, notamment pour ce qui concerne l'aspect économique, de viser au minimum le niveau 2 afin d'assurer une sécurité convenable.
Comme pour le bâti neuf, dans le cas de niveaux d'aléa supérieurs au niveau « Fai », une analyse de la structure renforcée selon l'approche décrite en 4.6.2.2 ci-dessus est recommandée.

6.6. Éléments de surcoût pour le bâti existant

Compte tenu de la disparité du bâti existant et des insuffisances pouvant être constatées lors du diagnostic, il est difficile de donner des ordres de grandeur raisonnablement fiables du surcoût lié au renforcement dû à l'exposition à un aléa de surpression. En effet, les paramètres influents se révèlent très nombreux et il ne semble pas aisé de dégager une tendance claire en la matière. Néanmoins, on trouvera en annexe C (présentation des techniques de renforcement) des indications qualitatives sur les niveaux de difficultés et les nuisances occasionnées par les différentes techniques présentées. Ainsi, l'utilisateur pourra avoir une idée des surcoûts auxquels il pourra s'attendre lors d'une opération de renforcement.

On notera toutefois que les coûts de renforcement d'un bâtiment existant non conçu pour faire face à une action de surpression sont très significativement supérieurs aux surcoûts qui auraient été consentis lors de la construction de ce même bâtiment, vis-à-vis de cette même action.

7. CONCLUSIONS

A la lumière des développements de la présente étude, il est possible de formuler les conclusions suivantes :

- Les déflagrations peuvent conduire à des sollicitations plus sévères que celles dues aux détonations. En effet, le coefficient amplificateur peut atteindre la valeur de 3,25 pour le cas des déflagrations alors qu'il ne dépasse pas 2 pour celui des détonations.

- Dans ce qui précède, il a été considéré que les études de dangers fournissent certaines données de base servant à l'analyse des réponses de bâtiments. Ces données sont essentiellement le type d'action (déflagration ou détonation) ainsi que l'intensité des pics de pression. De telles données, cela a été vu dans cette étude, ne permettent pas d'effectuer un calcul précis des amplifications dynamiques de pression, les coefficients d'amplification devant tenir compte des durées de l'action. Il serait donc souhaitable, si on souhaite une analyse fine, plutôt que forfaitaire, de disposer des valeurs de durées d'actions. Ceci permettrait d'effectuer des lectures spectrales plutôt que de retenir les coefficients forfaitaires donnés au chapitre 4 (tab. 4).

- Le format de calcul ainsi que les dispositions constructives sont, dans leur esprit, assez voisins de ce qui se fait vis-à-vis des actions sismiques. Ceci est compréhensible dans la mesure où, dans le cas du séisme comme dans celui des surpressions, les actions ont un caractère dynamique très prononcé. Toutefois, les durées d'application pour chacun de ces deux types d'actions sont très différentes (très courtes pour les surpressions, beaucoup plus longues pour le séisme) et, surtout, les natures d'actions sont différentes : le séisme impose un déplacement, la surpression impose une pression. Ceci fait que, dans le cas des surpressions, les notions d'adaptation et de plastification ne sont pas à prendre en compte comme dans le cas du séisme par le biais d'un « coefficient de comportement », en raison du fait que les réponses maximales ont lieu dans des délais insuffisants pour mobiliser les adaptations. Néanmoins, les capacités de redistribution et de résistance sont recherchées dans les deux cas par des dispositions constructives assez voisines.

- Pour ce qui concerne le **bâti neuf**, les préconisations données au § 4.6 sont celles que les services instructeurs du PPRT pourront prescrire et dont ils pourront vérifier la bonne application. Pour ce qui concerne le **bâti existant**, il n'est évidemment pas possible de dégager des règles générales comme cela a été possible pour le bâti neuf. Néanmoins, le chapitre 5 du présent document fournit une approche méthodologique tant en matière de diagnostic qu'en matière de prescriptions de renforcements, sur la base d'une grille de reconnaissance. Il n'en demeure pas moins que, pour le bâti existant, les décisions finales ne peuvent être prises qu'au terme d'une analyse technique pertinente au cas par cas, effectuée par des personnes ou organismes compétents.

==========

Annexe A : Effets mécaniques d'une surpression sur une structure

1. Introduction

Cette annexe présente un calcul complet mené sur une structure suffisamment simple pour que toutes les étapes puissent être effectuées analytiquement et que l'on puisse ainsi au fil de celles-ci comprendre les similitudes et les divergences apparaissant vis-à-vis des calculs dynamiques.

La structure étudiée est soumise à une pression dynamique uniforme sur sa longueur. La méthode de résolution employée est la méthode modale temporelle qui consiste à écrire l'équation d'équilibre dynamique de la poutre sur la base formée par ses modes propres de vibration et à profiter de la propriété d'orthogonalité des modes pour formuler le problème sous une forme accessible aux méthodes de résolution analytiques ou semi-analytiques.

Pour faciliter les développements qui suivent, la structure modèle sera suffisamment simple pour ne pas donner lieu à un formalisme complexe (poutre en flexion).

L'étude de la structure nous amène à nous intéresser au comportement d'un oscillateur simple (correspondant ici au mode fondamental de la poutre) soumis à une **déflagration ou à une détonation**. De là, nous examinerons la réponse maximale de l'oscillateur en phase de surpression et en phase de dépression, afin d'établir des spectres d'explosion qui pourront servir, dans des études à venir, à traiter le problème par la méthode modale spectrale (analogue à l'approche utilisée dans les règles de calculs sismiques, par exemple).

Dans toutes les configurations d'explosion, la réponse maximale des éléments de structure est atteinte très rapidement et les forces d'amortissement n'ont pas le temps nécessaire pour absorber une énergie significative. Il est donc licite de négliger les phénomènes d'amortissement dans les développements qui suivent.

2. Équation d'équilibre dynamique

En négligeant les termes d'inertie en rotation et ceux de déformations de cisaillement (Bernoulli), ce qui est légitime dans la très grande majorité des cas, la formulation mathématique de l'équilibre dynamique en flexion d'une poutre en flexion conduit à l'équation différentielle aux dérivées partielles :

Eq 1. $$EI\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \rho S\ddot{v} = p(x,t)$$

Avec E, I, ρ, S respectivement les module, inertie, masse volumique et section droite de la poutre ; x et t les variables indépendantes correspondant à la position de la section et au temps ; p la pression dynamique (exprimée ici en force par unité de longueur) et v le déplacement transversal qui en résulte.

On adopte ici et dans la suite la notation classique : $\dot{v} = \frac{\partial v}{\partial t}$ et $\ddot{v} = \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$.

3. Vibrations libres – modes propres de vibration

Les vibrations libres de la poutre en flexion simple sont gouvernées par l'équation 1 dans laquelle les efforts extérieurs sont pris égaux à zéro (équation homogène) :

Eq 2. $$EI\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \rho S\ddot{v} = 0$$

Les solutions de l'équation 2 sont cherchées sous la forme : $v(x,t) = q(t)\phi(x)$. Soit en reportant dans 2 :

Eq 3. $$EIq\phi^{(4)} + \rho S\phi\ddot{q} = 0$$

De sorte que les variables peuvent être séparées :

Eq 4. $$\frac{\phi^{(4)}}{\phi} = -\frac{\rho S}{EI}\frac{\ddot{q}}{q}$$

Égaux pour tous *x* et *t*, ces termes sont nécessairement constants. En introduisant la variable adimensionnelle α, on peut donc encore écrire :

Eq 5. $$\frac{\phi^{(4)}}{\phi} = -\frac{\rho S}{EI}\frac{\ddot{q}}{q} = \frac{\alpha^4}{L^4}$$

Avec *L* la longueur de la poutre.

Posant $\omega^2 = \frac{\alpha^4}{L^4}\frac{EI}{\rho S}$, l'équation 5 conduit au système :

Eq 6. $$\begin{cases} \ddot{q}(t) + \omega^2 q(t) = 0 \\ \phi^{(4)}(x) - \frac{\alpha^4}{L^4}\phi(x) = 0 \end{cases}$$

La fonction du temps est l'équation différentielle régissant l'équilibre dynamique d'un oscillateur à 1 degré de liberté. La fonction d'espace admet la solution générale connue :

Eq 7. $$\phi(x) = A\sin\left(\alpha\frac{x}{L}\right) + B\cos\left(\alpha\frac{x}{L}\right) + C\sinh\left(\alpha\frac{x}{L}\right) + D\cosh\left(\alpha\frac{x}{L}\right)$$

Où les constantes A, B, C, D et la variable α dépendent des 4 conditions aux limites de la poutre (on obtient donc les modes à un coefficient multiplicateur près).
Dans le cas d'une poutre simplement appuyée, on constate tous calculs faits que $\alpha = n\pi$ convient pour tout *n* et que les modes propres de vibration adoptent la forme simple :

Eq 8. $$\phi_n(x) = A_n \sin\left(n\pi \frac{x}{L}\right)$$

Où les *An* sont arbitraires.
Les pulsations propres correspondantes sont :

Eq 9. $$\omega_n = \frac{n^2\pi^2}{L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho S}}$$

4. Orthogonalité des modes propres

Les modes propres donnés par l'équation 8 constituent une base orthogonale pour les déplacements transversaux de la poutre. Le résultat est connu et donc admis ici sans démonstration. Il est cependant nécessaire pour la suite de calculer la norme des modes propres.

Eq 10. $$\int_0^L \phi_n(x).\phi_n(x)dx = A_n^2 \int_0^L \sin^2\left(n\pi \frac{x}{L}\right)dx = \frac{L}{2}A_n^2$$

On constate que si l'on choisissait $A_n = \sqrt{\frac{2}{L}}$, les modes $\phi_n(x)$ formeraient une base orthonormée pour le produit scalaire canonique. Néanmoins, ce choix conduirait à des écritures inutilement lourdes et on préfère pour la suite choisir $A_n = 1$ pour tout *n*. Ce choix conduit à la propriété suivante du produit scalaire :

Eq 11. $$\int_0^L \phi_n(x).\phi_k(x)dx = \frac{L}{2}\delta_{nk}$$

où δ_{nk} est le symbole de Kronecker.

5. Écriture du problème de vibration sur la base modale

En décomposant le déplacement transversal et la pression sur la base des modes propres :

Eq 12. $$v(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} y_n(t)\phi_n(x) \quad \text{et} \quad p(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} z_n(t)\phi_n(x) \quad \text{avec} \quad \phi_n(x) = \sin\left(n\pi \frac{x}{L}\right)$$

L'équation 1 d'équilibre dynamique prend la forme :

Eq 13. $$EI\sum_{n=1}^{\infty} y_n(t)\phi_n^{(4)}(x) + \rho S\sum_{n=1}^{\infty} \ddot{y}_n(t)\phi_n(x) = \sum_{n=1}^{\infty} z_n(t)\phi_n(x)$$

Or, d'après l'équation 5 et la forme de α, on a : $\phi_n^{(4)}(x) = \left(\frac{n\pi}{L}\right)^4 \phi_n(x)$.

L'équation 13 peut donc encore s'écrire :

Eq 14. $$EI\sum_{n=1}^{\infty} y_n(t)\left(\frac{n\pi}{L}\right)^4 \phi_n(x) + \rho S\sum_{n=1}^{\infty} \ddot{y}_n(t)\phi_n(x) = \sum_{n=1}^{\infty} z_n(t)\phi_n(x)$$

L'expression du produit scalaire 11 montre que l'équation 14 est équivalente à :

Eq 15. $$EIy_n(t)\left(\frac{n\pi}{L}\right)^4 + \rho S\ddot{y}_n(t) = z_n(t) \text{ pour } n = 1, \infty$$

On constate donc que, sur la base modale, l'équation différentielle aux dérivées partielles d'origine est transformée en une infinité d'équations différentielles linéaires et du second ordre régissant l'équilibre dynamique d'oscillateurs découplés à 1 degré de liberté.

On réécrit ces équations sous la forme conventionnelle :

Eq 16. $$\ddot{y}_n(t) + \omega_n^2 y_n(t) = \frac{z_n(t)}{\rho S} \text{ pour } n = 1, \infty$$

La pulsation est telle que définie à l'équation 9.
On va dans la suite projeter la pression *p* sur la base modale pour définir les fonctions $z_n(t)$ et résoudre l'équation 16 pour en déduire les fonctions $y_n(t)$.

6. Projection de la pression sur la base modale

Les équations 11 et 12 engendrent l'égalité :

Eq 17. $$\int_0^L \phi_n(x).p(x,t)dx = \sum_{k=1}^{\infty} z_k(t)\int_0^L \phi_n(x).\phi_k(x)dx = \sum_{k=1}^{\infty} z_k(t)\frac{L}{2}\delta_{nk} = \frac{L}{2}z_n(t)$$

Les fonctions $z_n(t)$ sont donc définies par :

Eq 18. $$z_n(t) = \frac{2}{L}\int_0^L \phi_n(x).p(x,t)dx$$

Or, on considère que le champ de pression dynamique est uniforme sur la poutre : $p(x,t) = p(t)$. On obtient dans cette situation :

Eq 19. $$z_n(t) = \frac{2}{L} p(t) \int_0^L \phi_n(x) dx = \frac{2}{L} p(t) \int_0^L \sin\left(n\pi \frac{x}{L} \right) dx = \begin{cases} \frac{4p(t)}{n\pi} & \text{si } n \text{ est impair} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

7. Vibrations de la poutre soumise au champ de pression dynamique uniforme p(t)

L'équation 16 considérée avec $z_n(t) = 0$ est l'équation d'un oscillateur simple en vibrations libres (cf. équation 6). Or, avant que l'onde de pression ne la sollicite, la poutre est en équilibre statique. Donc, la solution en vibration libre est la solution triviale $y_n(t) = 0$.
Au bilan, les équations 12, 16 et 19 permettent de définir les vibrations transversales de la poutre soumise au champ de pression uniforme *p(t)* :

Eq 20. $$v(x,t) = \sum_{n=1,3,5\ldots} y_n(t) \sin\left(n\pi \frac{x}{L} \right) \quad \text{avec} \quad \ddot{y}_n(t) + \omega_n^2 y_n(t) = f_n(t)$$

Où $\omega_n = \frac{n^2\pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}}$ et $f_n(t) = \frac{4p(t)}{n\pi\rho S}$.

On constate que l'amplitude des harmoniques décroit comme $\frac{f_n(t)}{\omega_n^2}$, soit en $\frac{1}{n^5}$. Ainsi, bien qu'en toute théorie la solution exacte des vibrations soit une somme infinie, on constate qu'une excellente approximation (par valeur supérieure, ce qui va dans le sens de la sécurité) est obtenue en ne retenant que la première harmonique (la deuxième harmonique impaire, soit pour n=3, a une amplitude 243 fois moindre que celle de la première harmonique).

Finalement, la poutre se comporte comme un oscillateur simple dont la vibration est régie par l'équation :

Eq 21. $$v(x,t) \approx y(t) \sin\left(\pi \frac{x}{L} \right) \quad \text{avec} \quad \ddot{y}(t) + \omega^2 y(t) = f(t)$$

Où $\omega = \frac{\pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}}$ et $f(t) = \frac{4p(t)}{\pi\rho S}$.

8. Déplacement transversal maximal de la poutre soumise au champ de pression dynamique

L'équation 21 permet d'aboutir à une expression analytique explicite des vibrations de la poutre lorsque le signal de pression est suffisamment simple. Nous allons dans la suite définir cette expression en distinguant les deux formes d'onde de pression apparaissant en

cas de déflagration et de détonation. Delà, on s'intéressera à l'amplitude maximale des vibrations qui peut apparaître pendant la durée de l'impulsion ou pendant la phase de vibration libre après la fin de l'impulsion. Plus précisément, on s'intéressera au coefficient d'amplification dynamique *D*, rapport de l'amplitude maximale dynamique à l'amplitude maximale statique (valeur que l'on obtiendrait si le signal était suffisamment lent pour que les effets d'inertie deviennent négligeables). On constatera qu'en faisant un choix judicieux de deux formes d'onde de pression très proches des formes réelles correspondant à une déflagration ou à une détonation, on montrera que *D* ne dépend que du rapport $\tau = {t_1}/{T}$ de la durée de la phase positive de l'onde de pression à la période propre de la poutre. Les calculs présentés dans la suite feront apparaître ce rapport dans un souci de simplification des écritures mais les représentations de *D* sous forme graphique seront données en fonction de l'inverse de τ, soit en fonction du rapport ${T}/{t_1}$, pour permettre une lecture plus naturelle des graphes que l'on appellera spectre de déflagration, respectivement de détonation.

9. Spectre de déflagration

On constate que l'onde de pression engendrée par une déflagration a une forme très proche d'une période de sinusoïde. En notant *t1* la durée de la phase positive et *P* la pression de crête, l'onde de déflagration admet l'expression suivante :

Eq 22. $$p(t) = P\sin(\omega_1 t) \quad \text{avec} \quad \omega_1 = \frac{\pi}{t_1}$$

Nous considérons ainsi que le signal de surpression est conforme au schéma suivant :

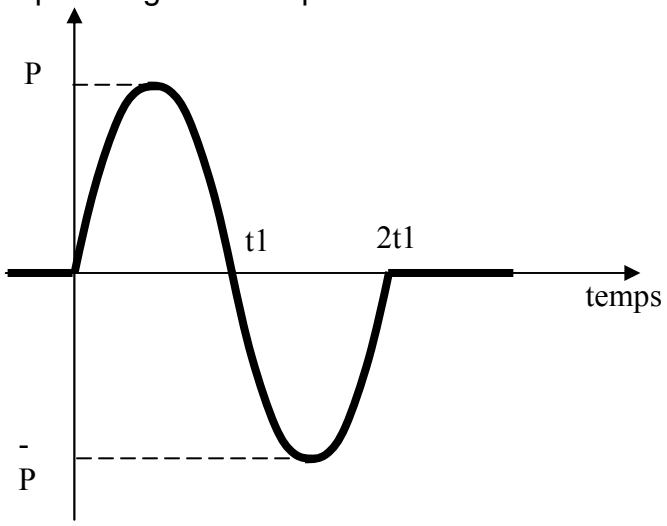


Illustration 1 - Onde de surpression engendrée par une déflagration

La fonction *f(t)* a naturellement la même forme.

<u>Réponse de la poutre sous sollicitation quasi-statique :</u>

Lorsque l'onde de surpression est suffisamment lente pour que les effets d'inertie ne se manifestent pas, la fonction $y(t)$ prend la forme simple :

Eq 23. $$y_{\text{statique}}(t) = \frac{f(t)}{\omega^2} = \frac{T^2 p(t)}{\pi^3 \rho S}$$

On obtient donc l'extremum suivant (positif ou négatif) :

Eq 24. $$y_{\text{stat}} = \frac{T^2 P}{\pi^3 \rho S}$$

Nous allons étudier à présent la réponse dynamique de la poutre apparaissant lorsque le signal est suffisamment rapide.

Réponse dynamique de la poutre pendant la durée de l'onde de pression :

Pendant la durée de l'onde de pression, soit pour $t \le 2t_1$, la fonction du temps $y(t)$ solution de l'équation différentielle 21 est de la forme :

Eq 25. $$y_{dyna}(t) = \underbrace{a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t)}_{\text{solution générale de l'équation homogène}} + \underbrace{\frac{4P}{\pi\rho S}\frac{1}{\omega^2 - \omega_1^2}\sin(\omega_1 t)}_{\text{solution particulière}}$$

La condition initiale de poutre en équilibre statique ($y(0) = \dot{y}(0) = 0$) entraine $a = 0$ et $b = -\frac{4P}{\pi\rho S}\frac{1}{\omega^2 - \omega_1^2}\frac{\omega_1}{\omega}$. En tenant compte de la relation $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (*T* est la période propre de la poutre), en introduisant l'expression de l'extremum obtenu en statique (équation 24) et en notant τ le rapport t_1/T, on obtient :

Eq 26. $$y_{dyna}(t) = y_{stat} \times \begin{cases} \frac{4\tau^2}{|4\tau^2 - 1|} g(t) \text{ si } \tau \neq 0{,}5 \\ h(t) \text{ si } \tau = 0{,}5 \text{ (résonance)} \end{cases}$$

Avec $g(t) = \left(\sin\frac{\pi t}{\tau T} - \frac{1}{2\tau}\sin\frac{2\pi t}{T}\right) \times signe(4\tau^2 - 1)$ et $h(t) = \frac{1}{2}\left(\sin\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi t}{T}\cos\frac{2\pi t}{T}\right)$.

Cherchons à présent, selon la valeur de τ, les valeurs maximale et minimale que prennent les fonctions $g(t)$ et $h(t)$ pour $t \le 2t_1$.

1er cas : $\tau < 0{,}5$ => $g(t) = -\left(\sin\frac{\pi t}{\tau T} - \frac{1}{2\tau}\sin\frac{2\pi t}{T}\right)$

Sa dérivée s'écrit $\dot{g}(t) = -\frac{\pi}{\tau T}\left(\cos\frac{\pi t}{\tau T} - \cos\frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{2\pi}{\tau T}\sin\left(\frac{\pi t}{2\tau T}(1 + 2\tau)\right)\sin\left(\frac{\pi t}{2\tau T}(1 - 2\tau)\right)$

Un extremum de *g* est obtenu quand sa dérivée s'annule.

Soit : $\dot{g}(t)=0 \Leftrightarrow \frac{t}{2\tau T}(1+2\tau)=n$ ou $\frac{t}{2\tau T}(1-2\tau)=n$ avec $n\in N*$

$n=0$ est sans intérêt car correspond à $t=0$, temps auquel la fonction $y(t)$ est nulle.

Pour $t \le 2t_1$, la première égalité admet $n=1$ pour unique solution, la deuxième égalité n'a pas de solution. On a donc : $\dot{g}(t)=0 \Leftrightarrow t=\frac{2\tau T}{1+2\tau}$. L'étude des variations de *g* montre qu'à cet instant la fonction atteint un maximum. Un autre point remarquable est à noter en $t=2t_1$ car si $\tau > 0{,}25$ alors $g(t)$ atteint un minimum qui peut être supérieur en valeur absolue au maximum précédent.

On obtient finalement : $g_{\max}=\frac{1}{2\tau}\sin\frac{4\pi\tau}{1+2\tau}-\sin\frac{2\pi}{1+2\tau}$ et $g_{\min}=\begin{cases}\frac{1}{2\tau}\sin(4\pi\tau) & \text{si } \tau>0{,}25\\ 0 & \text{sinon}\end{cases}$.

2ième cas : $\tau = 0{,}5$

La dérivée de $h(t)$ s'écrit $\dot{h}(t)=\frac{2\pi^2}{T^2}t\sin\frac{2\pi t}{T}$. Elle s'annule en $t=t_1$ et $t=2t_1$. On obtient alors : $h_{\max}=\frac{\pi}{2}$ et $h_{\min}=-\pi$.

3ième cas : $\tau > 0{,}5$ => $g(t)=\sin\frac{\pi t}{\tau T}-\frac{1}{2\tau}\sin\frac{2\pi t}{T}$

Sa dérivée s'écrit $\dot{g}(t)=\frac{\pi}{\tau T}\left(\cos\frac{\pi t}{\tau T}-\cos\frac{2\pi t}{T}\right)=\frac{2\pi}{\tau T}\sin\left(\frac{\pi t}{2\tau T}(1+2\tau)\right)\sin\left(\frac{\pi t}{2\tau T}(2\tau-1)\right)$

Elle s'annule maintenant quand $\frac{t}{2\tau T}(1+2\tau)=n$ ou $\frac{t}{2\tau T}(2\tau-1)=n$ avec $n\in N*$. L'étude des variations de *g* montre que seule la première condition correspond à des extrema absolus et que le maximum est atteint pour $n=\text{int}\left(0{,}5+\frac{2\tau+1}{4}\right)$ et le minimum pour $n=\text{int}\left(0{,}5+\frac{3(2\tau+1)}{4}\right)$. On obtient alors : $g_{\max}=\sin\frac{2\pi\,\text{int}\left(\frac{2\tau+3}{4}\right)}{1+2\tau}-\frac{1}{2\tau}\sin\frac{4\pi\tau\,\text{int}\left(\frac{2\tau+3}{4}\right)}{1+2\tau}$ et $g_{\min}=\sin\frac{2\pi\,\text{int}\left(\frac{6\tau+5}{4}\right)}{1+2\tau}-\frac{1}{2\tau}\sin\frac{4\pi\tau\,\text{int}\left(\frac{6\tau+5}{4}\right)}{1+2\tau}$.

Réponse de la poutre après passage de l'onde de pression :

A l'instant $t=2t_1$, la vibration de la poutre est définie par $y(2t_1)$ et $\dot{y}(2t_1)$ qui constituent les conditions initiales de la phase ultérieure pendant laquelle le mouvement de la poutre est régi par l'équation des vibrations libres : $\ddot{y}(t)+\omega^2 y(t)=0$. La réponse pour $t \ge 2t_1$ est alors donnée par :

Eq 27. $$y_{dyna}(t) = y(2t_1)\cos\left(\frac{2\pi}{T}(t-2t_1)\right) + \frac{\dot{y}(2t_1)T}{2\pi}\sin\left(\frac{2\pi}{T}(t-2t_1)\right)$$

La valeur maximale (et minimale en valeur absolue) de $y(t)$ pendant la phase de vibration libre est alors :

Eq 28. $$y_{dyna} = \sqrt{\left[y(2t_1)\right]^2 + \left[\frac{\dot{y}(2t_1)T}{2\pi}\right]^2}$$

Ainsi, en remplaçant $y(2t_1)$ et $\dot{y}(2t_1)$ par leurs valeurs respectives, on obtient :

Eq 29. $$y_{dyna} = y_{stat} \times \begin{cases} \dfrac{2\sqrt{2}\tau}{\left|4\tau^2-1\right|}\sqrt{1-\cos(4\pi\tau)} & \text{si } \tau \neq 0{,}5 \\ \pi & \text{si } \tau = 0{,}5 \end{cases}$$

Détermination du coefficient d'amplification dynamique :

On peut à présent écrire l'expression du coefficient d'amplification dynamique *D* en fonction du rapport $\tau = {t_1}/{T}$. Nous présentons dans la suite deux coefficients qui expriment les rapports en valeurs absolues des déplacements dynamiques aux déplacements statiques respectivement en surpression D^+ et en dépression D^-.

Pendant le passage de l'onde :

Eq 30. $$D^+ = \begin{cases} 0 \text{ si } \tau = 0 \\ \dfrac{4\tau^2}{\left|4\tau^2-1\right|}\left(\dfrac{1}{2\tau}\sin\dfrac{4\pi\tau}{1+2\tau} - \sin\dfrac{2\pi}{1+2\tau}\right) & \text{si } \tau < 0{,}5 \\ \dfrac{\pi}{2} \text{ si } \tau = 0{,}5 \\ \dfrac{4\tau^2}{\left|4\tau^2-1\right|}\left(\sin\dfrac{2\pi\,\mathrm{int}\left(\frac{2\tau+3}{4}\right)}{1+2\tau} - \dfrac{1}{2\tau}\sin\dfrac{4\pi\tau\,\mathrm{int}\left(\frac{2\tau+3}{4}\right)}{1+2\tau}\right) & \text{si } \tau > 0{,}5 \end{cases}$$

Eq 31.
$$D^- = -\begin{cases} 0 \text{ si } \tau \le 0{,}25 \\ \dfrac{4\tau^2}{\left|4\tau^2-1\right|}\dfrac{1}{2\tau}\sin(4\pi\tau) \text{ si } 0{,}25 < \tau < 0{,}5 \\ -\pi \text{ si } \tau = 0{,}5 \\ \dfrac{4\tau^2}{\left|4\tau^2-1\right|}\left(\sin\dfrac{2\pi\,\mathrm{int}\left(\dfrac{6\tau+5}{4}\right)}{1+2\tau} - \dfrac{1}{2\tau}\sin\dfrac{4\pi\tau\,\mathrm{int}\left(\dfrac{6\tau+5}{4}\right)}{1+2\tau}\right) \text{ si } \tau > 0{,}5 \end{cases}$$

Après le passage de l'onde :

Eq 32.
$$D^+ = D^- = \begin{cases} \dfrac{2\sqrt{2}\tau}{\left|4\tau^2-1\right|}\sqrt{1-\cos(4\pi\tau)} \text{ si } \tau \ne 0{,}5 \\ \pi \text{ si } \tau = 0{,}5 \end{cases}$$

On obtient ainsi les graphes suivants présentés dans des repères semi-logarithmiques pour être exploitables sur une large gamme du rapport T/t_1 :

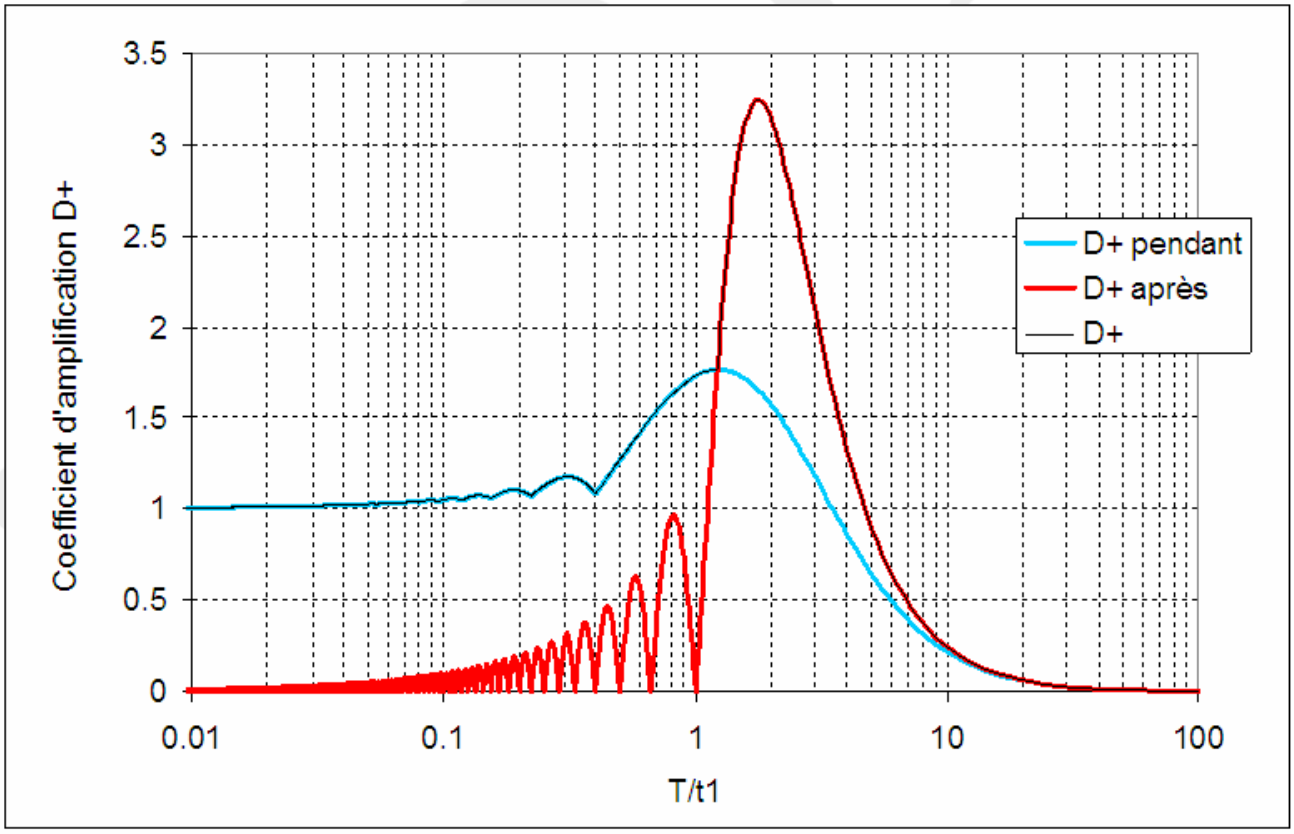


Illustration 2 - Spectre de déflagration en surpression

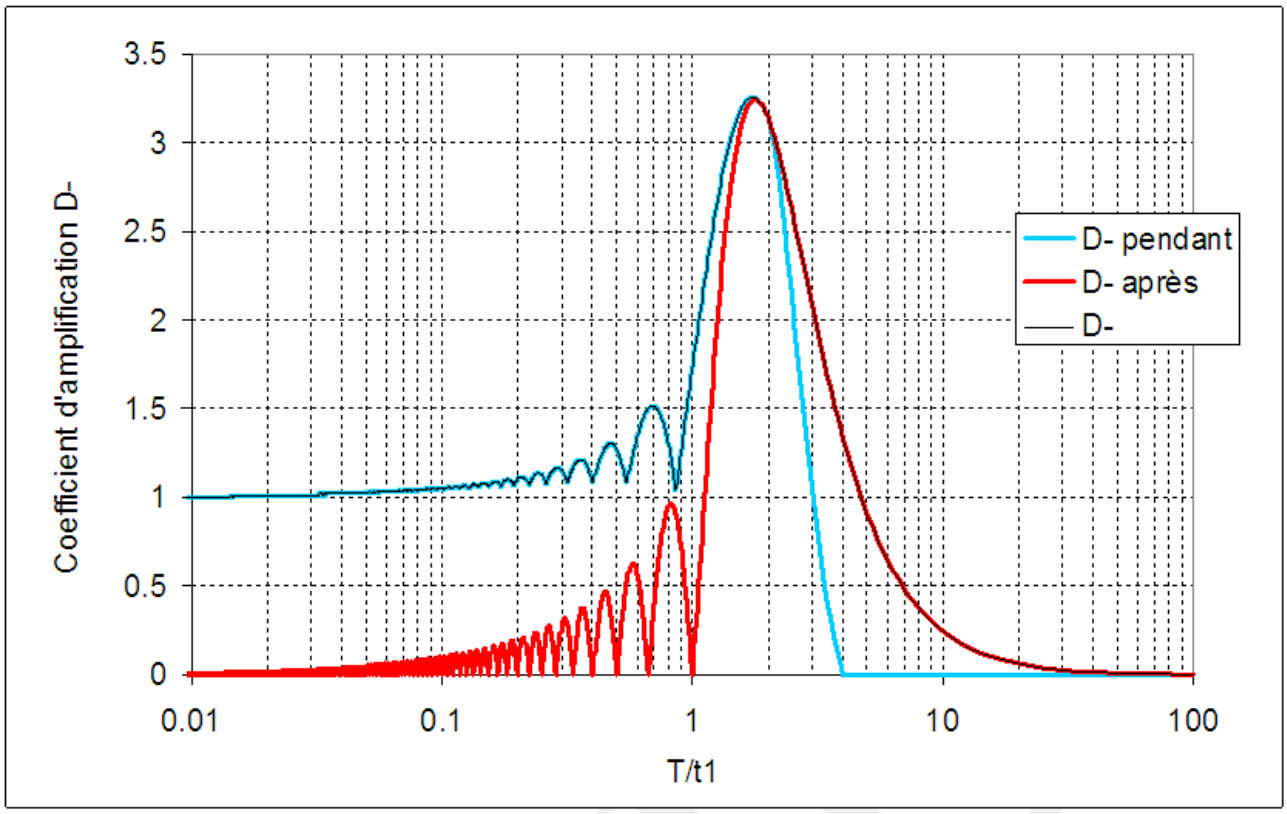


Illustration 3 - Spectre de déflagration en dépression

10. Spectre de détonation

La détonation se caractérise par une montée en pression quasi-instantanée suivie d'une décroissance plus longue quasi-linéaire se poursuivant en dépression d'amplitude usuellement négligée. En notant *t1* la durée de la phase positive et *P* la pression de crête, l'onde de détonation admet l'expression suivante :

Eq 33. $$p(t) = P\left(1 - \frac{t}{t_1}\right)$$

Nous considérons ainsi que le signal de surpression est conforme au schéma suivant :

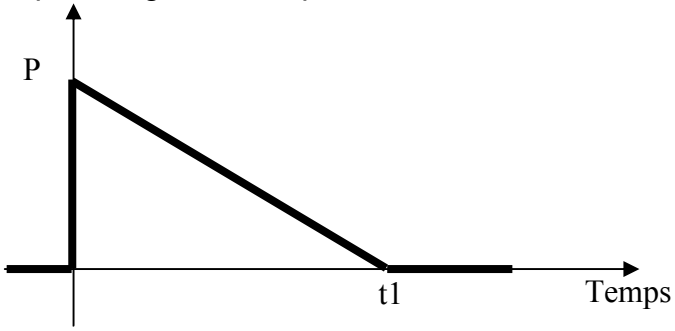


Illustration 4 - Onde de surpression engendrée par une détonation

La fonction *f(t)* a naturellement la même forme.

Réponse de la poutre sous sollicitation quasi-statique :

Lorsque l'onde de surpression est suffisamment lente pour que les effets d'inertie ne se manifestent pas, la fonction $y(t)$ prend la forme simple :

Eq 34. $$y_{\text{statique}}(t) = \frac{f(t)}{\omega^2} = \frac{T^2 p(t)}{\pi^3 \rho S}$$

On obtient donc le maximum suivant :

Eq 35. $$y_{\text{stat}} = \frac{T^2 P}{\pi^3 \rho S}$$

Nous allons étudier à présent la réponse dynamique de la poutre apparaissant lorsque le signal est suffisamment rapide.

Réponse dynamique de la poutre pendant la durée de l'onde de pression :

Pendant la durée de l'onde de pression, soit pour $t \le t_1$, la fonction du temps $y(t)$ solution de l'équation différentielle 21 est de la forme :

Eq 36. $$y_{dyna}(t) = \underbrace{a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t)}_{\text{solution générale de l'équation homogène}} + \underbrace{\frac{4P}{\pi\rho S\omega^2}\left(1 - \frac{t}{t_1}\right)}_{\text{solution particulière}}$$

La condition initiale de poutre en équilibre statique ($y(0) = \dot{y}(0) = 0$) entraine $a = -\frac{4P}{\pi\rho S\omega^2}$ et $b = \frac{4P}{\pi\rho S\omega^2}\frac{1}{t_1\omega}$. En tenant compte de la relation $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (T est la période propre de la poutre), en introduisant l'expression du maximum obtenu en statique (équation 35) et en notant τ le rapport t_1/T, on obtient :

Eq 37. $$y_{dyna}(t) = y_{stat} \times g(t) \quad \text{avec} \quad g(t) = -\cos\frac{2\pi t}{T} + \frac{1}{2\pi\tau}\sin\frac{2\pi t}{T} + 1 - \frac{t}{\tau T}$$

Cherchons à présent, selon la valeur de τ, les valeurs maximale et minimale que prend la fonction $g(t)$ pour $t \le t_1$.

La dérivée de $g(t)$ s'écrit : $\dot{g}(t) = \frac{2\pi}{T}\sin\frac{2\pi t}{T} + \frac{1}{\tau T}\left(\cos\frac{2\pi t}{T} - 1\right)$

Elle s'annule quand : $2\pi\tau\sin\frac{2\pi t}{T}+\cos\frac{2\pi t}{T}=1 \Leftrightarrow \begin{cases} 2\pi\tau\sin\frac{2\pi t}{T}+\cos\frac{2\pi t}{T}=1 \\ \left(2\pi\tau\sin\frac{2\pi t}{T}+\cos\frac{2\pi t}{T}\right)^2=1 \end{cases}$

$\Leftrightarrow \begin{cases} 2\pi\tau\sin\frac{2\pi t}{T}+\cos\frac{2\pi t}{T}=1 \\ \sin\frac{2\pi t}{T}=0 \text{ ou } \left((2\pi\tau)^2-1\right)\sin\frac{2\pi t}{T}+4\pi\tau\cos\frac{2\pi t}{T}=0 \end{cases} \Leftrightarrow \frac{2\pi t}{T}=2n\pi \text{ ou } \begin{cases} \sin\frac{2\pi t}{T}=\frac{4\pi\tau}{1+(2\pi\tau)^2} \\ \cos\frac{2\pi t}{T}=\frac{1-(2\pi\tau)^2}{1+(2\pi\tau)^2} \end{cases}$ Soit

finalement : $\frac{t}{T}=n$ ou $\begin{cases} \frac{t}{T}=\frac{1}{2\pi}\arctan\frac{4\pi\tau}{1-(2\pi\tau)^2}+n \text{ si } 2\pi\tau<1 \\ \frac{t}{T}=\frac{1}{4}+n \text{ si } 2\pi\tau=1 \\ \frac{t}{T}=\frac{1}{2\pi}\arctan\frac{4\pi\tau}{1-(2\pi\tau)^2}+\frac{1}{2}+n \text{ si } 2\pi\tau>1 \end{cases}$

L'étude de ces conditions et des variations de *g* sur l'intervalle $0 \le \frac{t}{T} \le \tau$ conduit au

résultat : $g_{\max}=\begin{cases} g(t_1) \text{ si } \tau \le 0{,}371 \text{ (solution approchée de } \frac{1}{2\pi}\arctan\frac{4\pi\tau}{1-(2\pi\tau)^2}+\frac{1}{2}=\tau) \\ 2-\frac{1}{2\pi\tau}\arctan\frac{4\pi\tau}{1-(2\pi\tau)^2}-\frac{1}{2\tau} \text{ sinon} \end{cases}$

et $g_{\min}=\min\left(g(t_1);-\frac{\text{int}(\tau)}{\tau}\right)$.

Réponse de la poutre après passage de l'onde de pression :

A l'instant $t=t_1$, la vibration de la poutre est définie par $y(t_1)$ et $\dot{y}(t_1)$ qui constituent les conditions initiales de la phase ultérieure pendant laquelle le mouvement de la poutre est régi par l'équation des vibrations libres : $\ddot{y}(t)+\omega^2 y(t)=0$. La réponse pour $t \ge t_1$ est alors donnée par :

Eq 38. $$y_{dyna}(t)=y(t_1)\cos\left(\frac{2\pi}{T}(t-t_1)\right)+\frac{\dot{y}(t_1)T}{2\pi}\sin\left(\frac{2\pi}{T}(t-t_1)\right)$$

La valeur maximale (et minimale en valeur absolue) de $y(t)$ pendant la phase de vibration libre est alors :

Eq 39. $$y_{dyna}=\sqrt{[y(t_1)]^2+\left[\frac{\dot{y}(t_1)T}{2\pi}\right]^2}$$

Ainsi, en remplaçant $y(t_1)$ et $\dot{y}(t_1)$ par leurs valeurs respectives, on obtient :

Eq 40. $$y_{dyna}=y_{stat}\times\frac{1}{2\pi\tau}\sqrt{(2\pi\tau)^2+2-4\pi\tau\sin(2\pi\tau)-2\cos(2\pi\tau)}$$

Détermination du coefficient d'amplification dynamique :

On peut à présent écrire l'expression du coefficient d'amplification dynamique *D* en fonction du rapport $\tau = {}^{t_1}\!/_{T}$. Là encore, nous présentons deux coefficients qui expriment les rapports en valeurs absolues des déplacements dynamiques aux déplacements statiques respectivement en surpression D^+ et en dépression D^-.

Pendant le passage de l'onde :

Eq 41. $$D^+ = \begin{cases} -\cos(2\pi\tau) + \dfrac{1}{2\pi\tau}\sin(2\pi\tau) \text{ si } \tau \le 0{,}371 \\ 2 - \dfrac{1}{2\pi\tau}\arctan\dfrac{4\pi\tau}{1-(2\pi\tau)^2} - \dfrac{1}{2\tau} \text{ sinon} \end{cases}$$

Eq 42. $$D^- = -\min\left(-\cos(2\pi\tau) + \frac{1}{2\pi\tau}\sin(2\pi\tau); -\frac{\text{int}(\tau)}{\tau}\right)$$

Après le passage de l'onde :

Eq 43. $$D^+ = D^- = \frac{1}{2\pi\tau}\sqrt{(2\pi\tau)^2 + 2 - 4\pi\tau\sin(2\pi\tau) - 2\cos(2\pi\tau)}$$

On obtient ainsi les graphes de la page suivante présentés dans des repères semi-logarithmiques pour être exploitables sur une large gamme du rapport ${}^{T}\!/_{t_1}$.

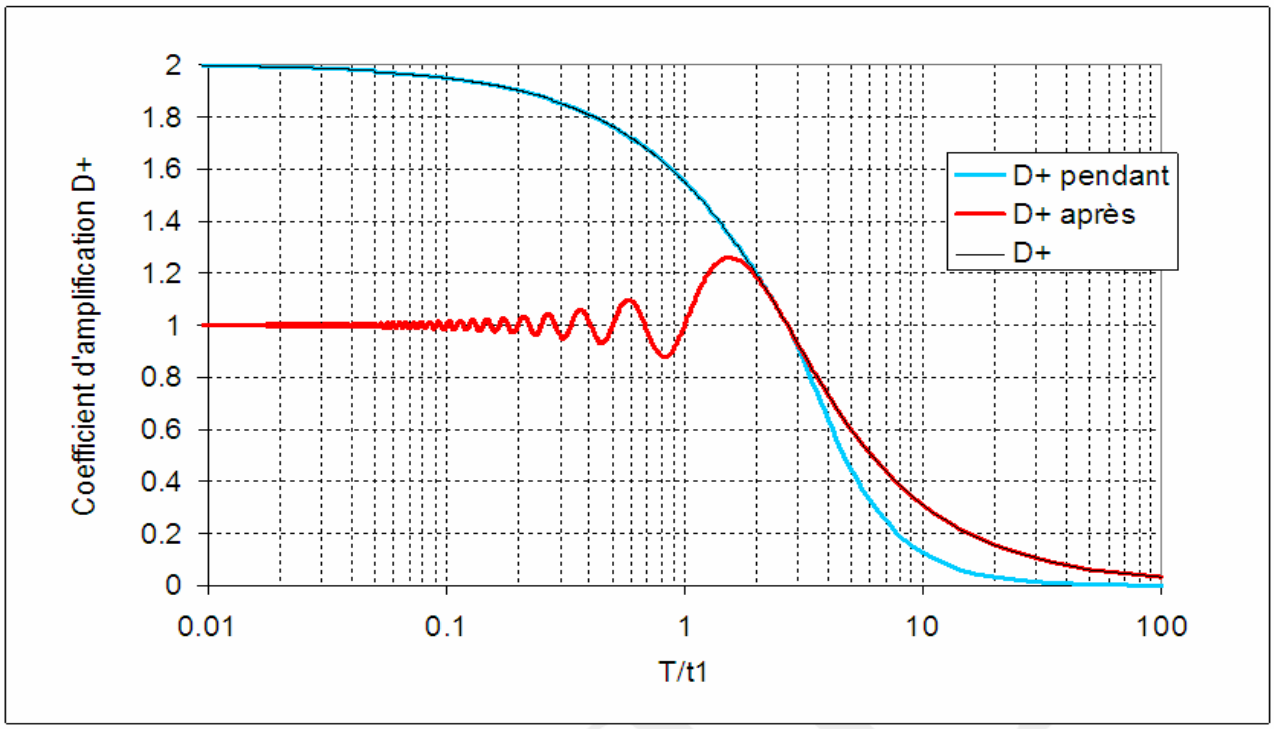


Illustration 5 - Spectre de détonation en surpression

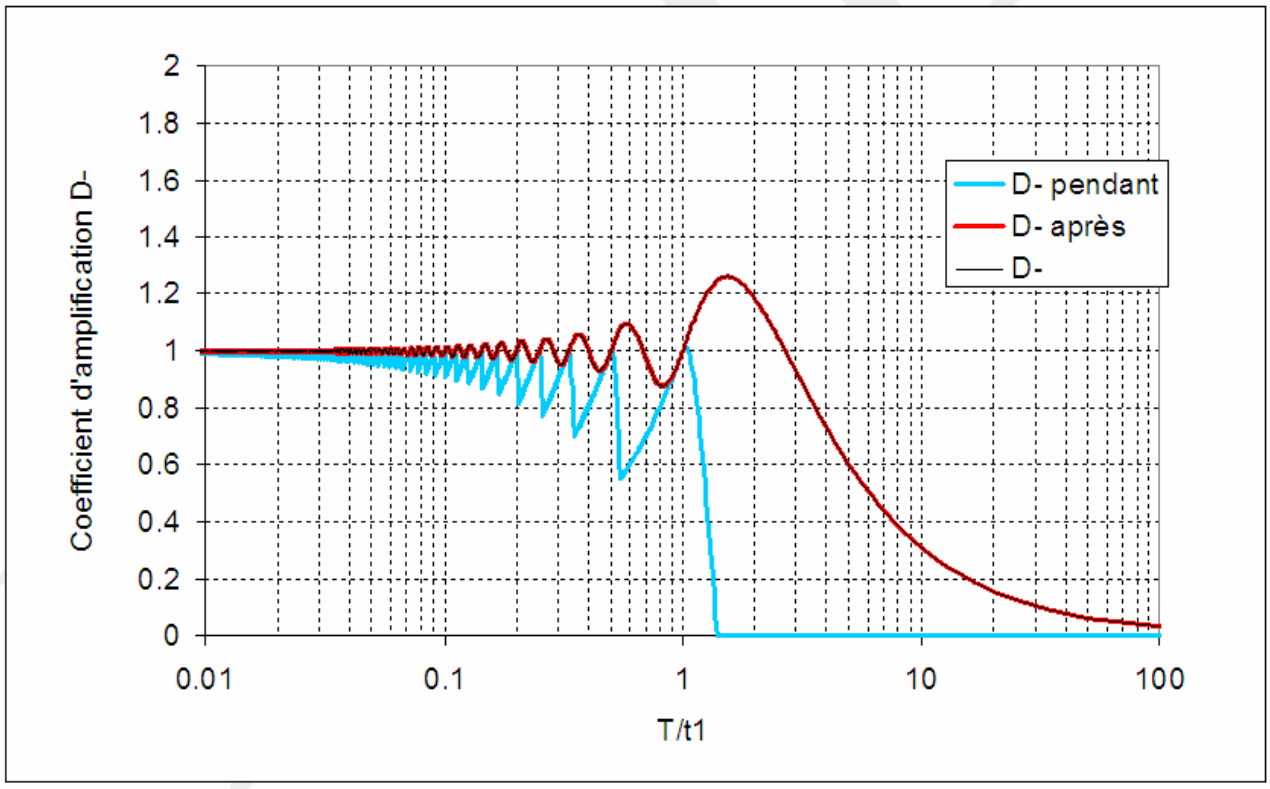


Illustration 6 - Spectre de détonation en dépression

11. Commentaires

Le premier constat est, qu'à pression de crête identique, **une déflagration peut avoir un effet plus sévère sur une structure qu'une détonation**. En effet, le coefficient d'amplification maximal est de l'ordre de 3,25 pour une déflagration contre seulement 2 pour une détonation.

On constate que lorsque le rapport T/t1 est supérieur à 2, l'amplification maximale est toujours atteinte pendant la phase de vibrations libres. Il faudra donc toujours intégrer cette phase dans les études de dimensionnement.

Dans le cas d'une déflagration, l'amplification en dépression est quasiment identique à celle en surpression. Il conviendra de tenir compte de cela pour dimensionner notamment les planchers dans leur fonctionnement « tirant-buton ».
Un constat d'ordre plus général, s'appuyant sur l'ensemble des développements de cette annexe, est que l'étude d'une structure soumise à une explosion peut être effectuée comme une étude au séisme par la méthode modale spectrale usuelle, moyennant tout de même les précautions suivantes :

- L'épure de la structure contenant l'ensemble des masses significatives doit être complétée de l'enveloppe du bâtiment dans sa quasi-totalité. En effet, pour les éléments d'enveloppe, deux facteurs sont de même importance : leur masse et leur surface au vent.
- Les faces de l'enveloppe de la structure parallèles à la direction de propagation de l'onde de surpression doivent être décomposées en éléments de taille cohérente avec la longueur d'onde du signal pour que la variété des effets de celui-ci soit correctement appréhendée (l'hypothèse d'une pression uniforme sur la poutre adoptée ici ne vaut que si la poutre est disposée perpendiculairement à la direction de propagation ou si sa longueur est petite devant la longueur d'onde du signal). Cette disposition pourra conduire dans certains cas à un maillage de la structure particulièrement fin (la longueur d'onde d'une détonation de durée de phase positive 1 ms est de 34 cm !).
- Le coefficient de comportement utilisé dans les calculs sismiques pour tenir compte de la plasticité des structures n'est plus permis dans le cas des explosions car la structure subit des efforts et non plus des déplacements imposés.
- Les modes propres retenus pour le calcul devront être correctement choisis car des modes usuellement négligés pour des études sismiques pourront devenir prépondérants dans le cas d'une explosion. En effet, l'onde de surpression enveloppant la structure, les modes fondamentaux au séisme, de vibration d'ensemble, deviendront de moindre importance que les modes de respiration. Ceci est pris en compte dans le dimensionnement par la prise en compte forfaitaire d'une capacité résistante à la traction des planchers (cf. § 4.3.1. du présent document).
- Les spectres présentés dans cette annexe devront être utilisés avec précaution car ce ne sont pas des spectres absolus donnant directement des accélérations ou des déplacements mais des spectres relatifs indiquant l'amplification maximale du déplacement vis-à-vis de ce qu'il serait sous sollicitation quasi-statique. Une donnée essentielle au dimensionnement d'une structure est donc le type d'explosion vis-à-vis

duquel on souhaite garantir la tenue de l'ouvrage et, connaissant alors la forme du signal et la durée de phase positive t1, on peut alors construire un spectre de déplacement classique cette fois, uniquement fonction de la période. Ce spectre indiquerait le déplacement maximal d'un oscillateur de masse unitaire soumis à une onde de pression de crête unitaire également, ses valeurs devront donc être corrigées en conséquence pour être appliquées à une masse modale et une pression de crête quelconques.

Annexe B : Dimensionnement des vitrages

B.1 Exigence

La contrainte au centre d'un vitrage ne doit pas dépasser les valeurs données dans le tableau B.2. Cette contrainte est maîtrisée au travers du calcul de l'épaisseur minimale à adopter (équation B3), elle-même déterminée à l'aide du coefficient β donné dans le tableau B.1

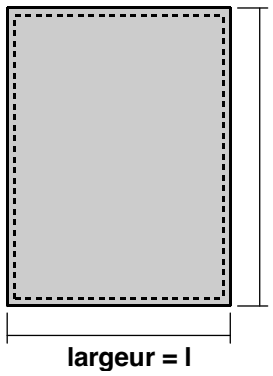
	L/□	β
	1,0	0,2668
	1,1	0,3138
	1,2	0,3583
	1,3	0,3999
	1,4	0,4382
	1,5	0,4732
	1,6	0,5048
	1,7	0,5587
	1,8	0,5587
	1,9	0,5815
	2,0	0,6017
	2,5	0,6728
	3,0	0,7105
	4,0	0,7400
	5,0	0,7476

Tableau B.1 – Valeurs de β pour les différentes configurations du rapport (L/l) pour vitrage en appui sur ses quatre côtés

Type de verre	Valeur de la contrainte caractéristique (MPa)
Trempé	50
Durci	35
Recuit	20
Émaillé trempé	35
Émaillé trempé	20

Tableau B.2 - Valeurs des contraintes caractéristiques pour les différents types de verre

B.2 Méthode de calcul

B.2.1 Cas des vitrages simples monolithiques

L'épaisseur minimale d'un vitrage est obtenue par application de la relation :

$$e_{\min} = \sqrt{\beta . q_u . \frac{l^2}{\sigma}} \qquad \text{(B.3)}$$

Où :
σ est la contrainte caractéristique donnée dans le tableau B.2
β est un coefficient sans dimension dépendant du rapport du plus grand côté « L » sur le plus petit « l » du vitrage, ce coefficient est donné dans le tableau B.1
q_u est la pression appliquée.

B.2.2 Cas des vitrages simples feuilletés

L'épaisseur équivalente minimale du vitrage est déterminée par application des relations suivantes :

$$e_{eq} = \sqrt[3]{e_1^3 + e_2^3 + 0,2(e_1 + e_2)^3} \quad et \quad e_{eq} \geq e_{\min} \qquad \text{(B.6)}$$

On doit vérifier les contraintes dans chacun des deux composants :

$$\sigma_1 = \beta q_u l^2 \frac{e_1}{e_{eq}^3}\left(1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15e_1^2}\right)$$
$$\sigma_2 = \beta q_u l^2 \frac{e_2}{e_{eq}^3}\left(1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15e_2^2}\right) \qquad \text{(B.7)}$$

σ_1 est σ_2 devant être inférieures aux contraintes caractéristiques données dans le tableau B.2
β est donné dans le tableau B.1
q_u est la pression appliquée.

B.2.3 Cas des vitrages isolants, à composants monolithiques ou feuilletés

Lorsque les compositions des vitrages ne sont pas prédéfinies, **la première étape** consiste en un pré-dimensionnement de l'épaisseur totale du vitrage et des épaisseurs individuelles de ces composants. Les formules simplifiées ci-après peuvent être utilisées :

Pour $L/l \leq 3$

$$e_{T\min} = 1{,}5\sqrt{\frac{L \cdot l \cdot qu}{72}} \quad \text{et} \quad e_T = e_1 + e_2 \geq e_{T\min} \tag{B.8}$$

Pour $L/l > 3$

$$e_{T\min} = \frac{1{,}5 \cdot l}{4{,}9}\sqrt{q_u} \tag{B.9}$$

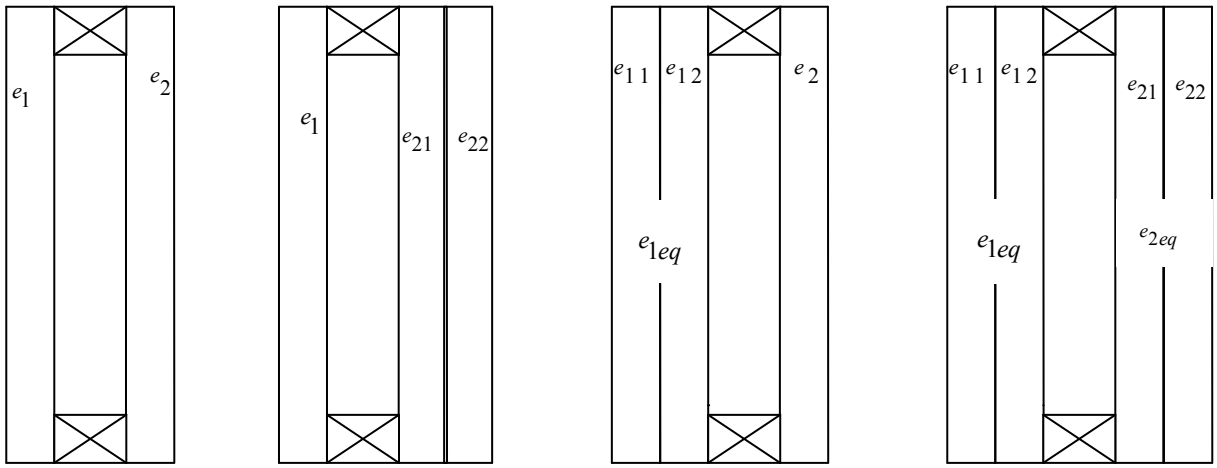


Figure B.1 Convention de repérage des composants verriers

La deuxième étape consiste à calculer les contraintes dans les deux composants du vitrage isolant :

Vitrage	Extérieur	Intérieure
Monolithique	$\sigma_1 = \frac{\beta \cdot q_{1u} \cdot l^2}{e_1^2}$	$\sigma_2 = \frac{\beta \cdot q_{2u} \cdot l^2}{e_2^2}$
Feuilleté	$\sigma_{11} = \beta q_{1u} l^2 \frac{e_{11}}{e_{1eq}^3}\left(1 + \frac{(e_{11}+e_{12})^2}{15e_{11}^2}\right)$ $\sigma_{12} = \beta q_{1u} l^2 \frac{e_{12}}{e_{1eq}^3}\left(1 + \frac{(e_{11}+e_{12})^2}{15e_{12}^2}\right)$	$\sigma_{21} = \beta q_{2u} l^2 \frac{e_{21}}{e_{2eq}^3}\left(1 + \frac{(e_{21}+e_{22})^2}{15e_{21}^2}\right)$ $\sigma_2 = \beta q_{2u} l^2 \frac{e_{22}}{e_{2eq}^3}\left(1 + \frac{(e_{21}+e_{22})^2}{15e_{22}^2}\right)$
Les charges q_{1u} et q_{2u} sont données ci-dessous :		
Combinaison	Charge sur vitrage extérieur	Charge sur vitrage intérieur
Pression	$q_{1u} = q_u \cdot \left(1 - \frac{\delta \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot \varphi}{2}\right)$	$q_{2u} = q_u \cdot \frac{\delta \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot \varphi}{2}$

Tableau B.3 - Calcul des contraintes dans chacun des deux composants du vitrage isolant.

Dans le tableau précédent, les coefficients $\delta, \varepsilon, \gamma$ et φ permettant de calculer la variation de la pression dans la lame d'air, sont fonction de l'épaisseur des verres, de l'épaisseur de la lame d'air, du rapport L/l et de la rigidité du verre extérieur. Ces coefficients sont donnés dans les tableaux ci-après :

Verre Extérieur	Verre intérieur									
	4	**5**	**6**	**44.2**	**55.2**	**8**	**66.2**	**10**	**12**	**88.2**
4	1	1,323	1,543	1,608	1,773	1,778	1,859	1,880	1,929	1,937
5	0,677	1	1,267	1,354	1,599	1,608	1,743	1,778	1,865	1,880
6	0,457	0,733	1	1,097	1,396	1,407	1,593	1,645	1,778	1,801
44.2	0,392	0,646	0,903	1	1,311	1,323	1,527	1,585	1,737	1,764
55.2	0,227	0,401	0,604	0,689	1	1,013	1,259	1,335	1,552	1,594
8	0,222	0,392	0,593	0,677	0,987	1	1,246	1,323	1,543	1,585
66.2	0,141	0,257	0,407	0,473	0,741	0,754	1	1,083	1,342	1,396
10	0,120	0,222	0,355	0,415	0,665	0,677	0,917	1	1,267	1,324
12	0,071	0,135	0,222	0,263	0,448	0,457	0,658	0,733	1	1,062
88.2	0,063	0,120	0,199	0,236	0,406	0,415	0,604	0,676	0,938	1

Tableau B.4 – Coefficient δ , influence de l'épaisseur des verres

Rapport L/l									
l	**1**	**1,2**	**1,4**	**1,6**	**1,8**	**2**	**2,5**	**3**	**>3**
0,6	0,822	0,864	0,890	0,906	0,916	0,922	0,934	0,940	1
0,7	0,898	0,942	0,940	0,948	0,954	0,958	0,964	0,968	1
0,8	0,938	0,956	0,964	0,970	0,974	0,976	0,980	0,982	1
0,9	0,962	0,972	0,978	0,982	0,984	0,986	0,988	0,988	1
1	0,976	0,982	0,986	0,988	0,990	0,990	0,992	0,994	1
1,3	0,984	0,988	0,990	0,994	0,996	0,996	0,996	0,998	1
1,4	0,994	0,996	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	1	1
≥ 1,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau B.5 – Coefficient ε , influence du rapport

Epaisseur de la lame d'air										
l	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**	**24**
0,6	1	0,944	0,893	0,847	0,808	0,769	0,735	0,705	0,676	0,650
0,7	1	0,966	0,935	0,906	0,877	0,853	0,828	0,806	0,784	0,764
0,8	1	0,981	0,962	0,942	0,923	0,906	0,889	0,874	0,859	0,844
0,9	1	0,987	0,975	0,962	0,950	0,937	0,927	0,915	0,904	0,894
1	1	0,990	0,981	0,973	0,965	0,957	0,951	0,943	0,934	0,926
1,2	1	0,996	0,992	0,988	0,984	0,980	0,976	0,972	0,968	0,966
1,4	1	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,988	0,986	0,982	0,980
1,6	1	0,999	0,997	0,994	0,990	0,992	0,992	0,990	0,988	0,988
1,8	1	1	1	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994
2	1	1	1	1	1	0,996	0,996	0,996	0,996	0,994
>2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau B.6 – Coefficient γ , influence de l'épaisseur de la lame d'air

Verre extérieur									
l	≤ 6	44.2	55.2	8	66.2	10	12	88.2	15
0,6	1	1	0,907	0,948	0,812	0,785	0,603	0,580	0,409
0,7	1	1	0,939	0,965	0,875	0,853	0,702	0,676	0,508
0,8	1	1	0,961	0,977	0,916	0,902	0,784	0,761	0,610
0,9	1	1	0,974	0,985	0,943	0,934	0,845	0,829	0,703
1	1	1	0,986	0,992	0,962	0,950	0,889	0,876	0,776
1,2	1	1	0,992	1,006	0,980	0,976	0,943	0,935	0,874
1,4	1	1	0,996	0,998	0,990	0,986	0,968	0,963	0,928
1,6	1	1	1	1	0,995	0,993	0,980	0,978	0,957
1,8	1	1	1	1	0,998	0,997	0,989	0,988	0,972
2	1	1	1	1	1	0,998	0,992	0,990	0,980
>2	1	1	1	1	1	1	1	1	1

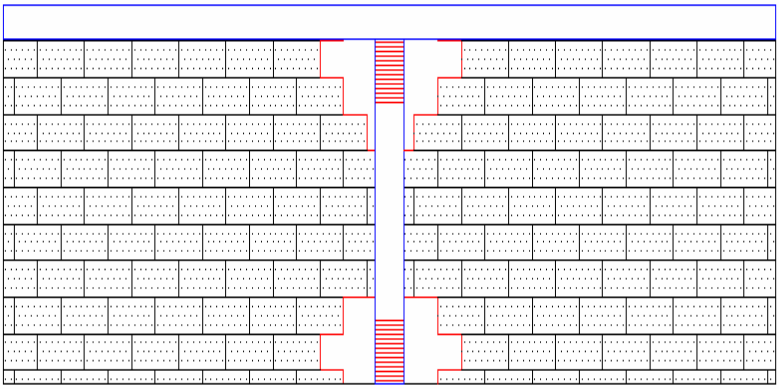
Tableau B.7 – Coefficient φ, influence de la rigidité du verre extérieur

Annexe C : Techniques de renforcement du bâti existant.

Fiche Technique de renforcement

Référence : cc1

Renforcement des poteaux
par fibres de carbone
ou plats métalliques collés



Domaine de renforcement : local

Types de bâtiments concernés : bâtiments à portiques

Caractéristiques mécaniques visées :
Ductilité
Confinement
Augmentation de la résistance en compression et en flexion (en travée).

Avantages	Inconvénients
Travaux légers Renforcement local Pas de surcharge Diversité des matériaux et de la mise en œuvre Pas d'affaiblissement de la structure en cours de renforcement	Mise œuvre spécialisée Coût Qualités techniques à confirmer

Commentaires :
Technique utilisée en génie civil pour le renforcement des ponts. Technique récente dont les applications dans le bâtiment sont à développer. Ces fibres sont disponibles sous divers formats : tissu, treillis, plaque, lamelles.

Objectifs :
Améliorer la ductilité du poteau ou de l'ensemble de la structure en confinant le béton dans les zones critiques. En effet ces zones proches des nœuds sont souvent insuffisamment frettées. Les fibres empêchent également les armatures de flamber. Il faut néanmoins veiller à ne pas augmenter la raideur des poteaux traités, sinon ils vont reprendre plus de charges et risquent de devenir sous dimensionnés. La solution consiste à orienter les fibres dans le sens transversal de sorte que la résistance longitudinale du renforcement soit négligeable. L'emploi de fibres sous forme de tissu est à faire avec beaucoup de précautions, car les fibres sont orientées dans les deux sens.
Garantir la localisation des rotules plastiques. On dispose alors des fibres dans les deux directions, pour renforcer aussi la résistance du poteau en flexion dans le but de surdimensionner le poteau. Cette technique entraîne une redistribution des efforts du fait que le poteau a une plus grande raideur ; il faut alors vérifier l'ensemble de la structure par un calcul d'ensemble intégrant le renforcement.

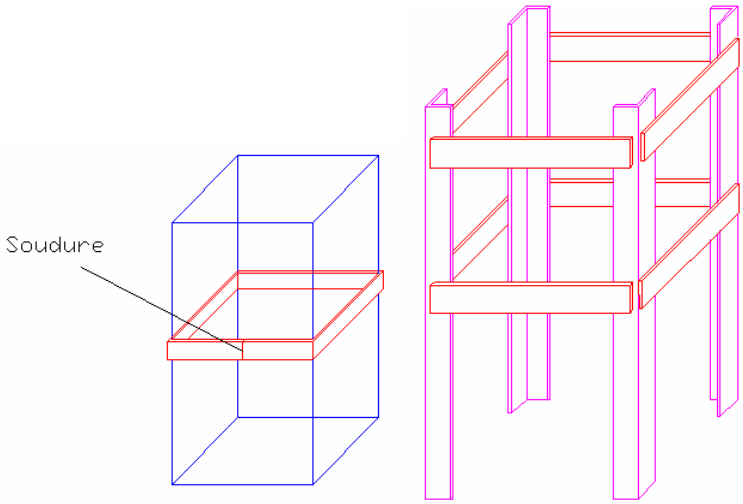
Précautions et limites d'utilisation :
Propriétés à vérifier.
Durabilité à l'étude.
Tenir compte d'une redistribution des efforts due au renforcement local d'un élément de la structure.

Mise en œuvre pratique :
Poteau sans remplissage
Préparation du support :
Décaper le poteau pour enlever le revêtement et faire apparaître le béton brut. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières
Mise en œuvre des fibres :
Encoller l'élément dans les zones critiques, puis positionner les fibres en les tendant pour améliorer l'adhérence. Passer le rouleau pour éliminer les bulles. Laisser sécher.
Finitions :
Enduire le poteau et poser le revêtement.

Poteau avec remplissage
Préparation du support :
Décaper le poteau pour enlever le revêtement et faire apparaître le béton brut. Détruire le remplissage à l'interface avec le poteau au niveau de la zone à renforcer pour laisser passer les fibres. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières
Mise en œuvre des fibres :
Encoller l'élément dans les zones critiques, puis positionner les fibres en les tendant pour améliorer l'adhérence. La pose est plus difficile car il faut une personne de chaque côté de la cloison et faire passer les fibres dans l'ouverture et ceinturer le poteau dans la zone à renforcer. Passer le rouleau pour éliminer les bulles. Laisser sécher.

Finitions :
Boucher les ouvertures dans le remplissage avec le même matériau pour éviter la formation de points durs ou à l'inverse de poteaux courts. Enduire le poteau et la partie du remplissage qui a été réparée et poser le revêtement.

Variante :
Utilisation de lamelles métalliques :



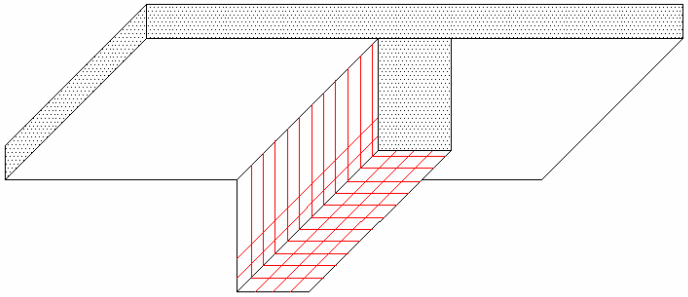
On peut remplacer les fibres par des lamelles métalliques (plats) collés sur le poteau de façon à former des anneaux encerclant le poteau dans les zones faibles. La mise en œuvre est identique. Par contre il faut donner la forme de la section du poteau au plat avant la pause et veiller à ce qu'il n'y ait pas de jeu pour que le collage soit efficace.
Dans le cas où on souhaite aussi améliorer la résistance en flexion, on peut coller des cornières dans les angles du poteau, encerclées par des anneaux en plat métalliques visant à éviter leur flambement. Le renforcement fonctionne comme un ferraillage (longitudinal et transversal). Il convient de vérifier les propriétés d'adhérence de la colle pour assurer une bonne cohésion et la transmission des efforts. Du fait de leur position à l'extérieur du poteau et de la section d'acier mise en œuvre, le gain en résistance peut être très élevé. Vérifier absolument que le reste de la structure peut le supporter. Un dispositif de serrage des anneaux doit être mis en place pour les maintenir et les fermer.
On cherchera aussi à alterner la face du poteau sur laquelle est présente le raccord pour ne pas introduire de dissymétries.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique récente. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct.

Fiche Technique de renforcement

Référence : cc2

Renforcement par fibres
des poutres



Domaine de renforcement : local

Types de bâtiments concernés : bâtiments à portiques

Caractéristiques mécaniques visées :
Ductilité
Augmentation de la résistance en flexion et au cisaillement

Avantages	Inconvénients
Travaux légers Renforcement local Pas de surcharge Diversité des matériaux et de la mise en œuvre Pas d'affaiblissement de la structure en cours de renforcement	Mise œuvre spécialisée Coût Qualités techniques à confirmer Redistribution des efforts dans certains cas

Commentaires :
Technique utilisée en génie civil pour le renforcement des ponts. Technique récente dont les applications dans le bâtiment sont à développer. Ces fibres sont disponibles sous divers formats : tissu, treillis, plaque, lamelles.

Objectifs :
Il y a trois objectifs qu'on peut atteindre avec ce type de renforcement.
Améliorer la ductilité de la poutre ou de l'ensemble de la structure en confinant le béton dans les zones critiques. En effet ces zones proches des nœuds sont souvent insuffisamment frettées. Les fibres empêchent également les armatures de flamber. Il faut néanmoins veiller à ne pas augmenter la raideur des poutres traitées, sinon elles vont reprendre plus de charges et risquent de devenir sous dimensionnés. La solution consiste à orienter les fibres dans le sens transversal de sorte que la résistance longitudinale du renforcement soit négligeable. L'emploi de fibres sous forme de tissu est à faire avec beaucoup de précautions, car les fibres sont orientées dans les deux sens.

Rendre non fragile. On cherche à augmenter la résistance en flexion et au cisaillement. Les fibres sont utilisées comme des armatures supplémentaires. Elles sont orientées dans le sens longitudinal pour reprendre la flexion et dans le sens transversal pour reprendre le cisaillement.

Amélioration de la résistance locale. Idem ci-dessus ; recalculer la structure complète, car il y a une redistribution des efforts.

Précautions et limites d'utilisation :
Propriétés à vérifier.
Durabilité à l'étude.
Tenir compte d'une redistribution des efforts dû au renforcement local d'un élément de la structure.

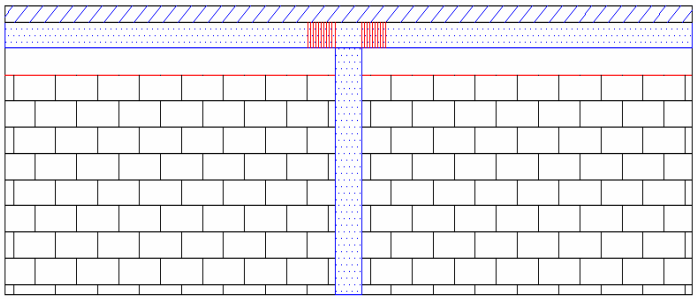
Mise en œuvre pratique :
Portiques sans remplissage
Préparation du support :
Décaper la poutre pour enlever le revêtement et faire apparaître le béton brut. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières.

Mise en œuvre des fibres :
Encoller l'élément, puis positionner les fibres en les tendant dans les deux sens pour améliorer l'adhérence. Passer le rouleau pour éliminer les bulles. Laisser sécher.

Finitions :
Enduire la poutre et poser le revêtement.

Portiques avec remplissage
Préparation du support :
Décaper la poutre pour enlever le revêtement et faire apparaître le béton brut. Détruire le remplissage à l'interface avec la poutre au niveau de la zone à renforcer pour laisser passer les fibres (dernière rangée de blocs de béton par exemple). Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières.

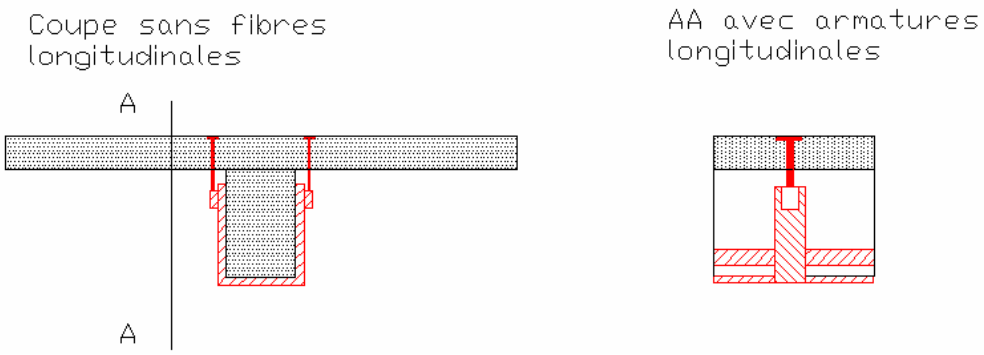
Mise en œuvre des fibres :
Encoller l'élément dans les zones critiques, puis positionner les fibres en les tendant pour améliorer l'adhérence. La pose est plus difficile car il faut une personne de chaque côté de la cloison et faire passer les fibres dans l'ouverture et ceinturer la poutre dans la zone à renforcer. Passer le rouleau pour éliminer les bulles. Laisser sécher.



Finitions :
Boucher les ouvertures dans le remplissage avec le même matériau pour éviter la formation de points durs. Enduire la poutre et la partie du remplissage qui a été réparée et poser le revêtement.

Variante :

Utilisation de lamelles métalliques :
On peut remplacer les fibres par des lamelles métalliques (plats) collés sur la poutre. La mise en œuvre est très semblable, mais il faut prévoir des trous dans la dalle au droit des lamelles transversales afin de les fixer à la face supérieure de la dalle à l'aide de tiges filetées. Les lamelles transversales sont en forme de U et fonctionnent comme des cadres d'armatures. On peut aussi utiliser des lamelles longitudinales si besoin. Du fait du poids des lamelles métallique il faut généralement prévoir un dispositif de maintien en pression des lamelles (étais).

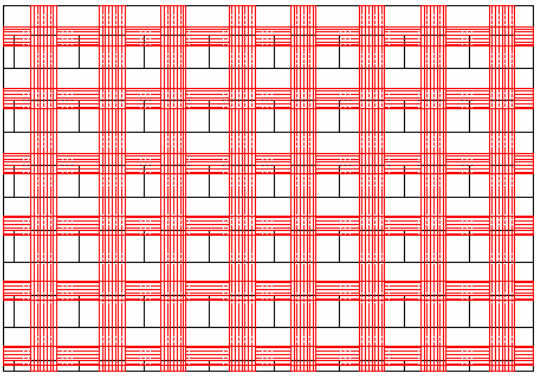


Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique récente. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct.

Fiche Technique de renforcement

Référence : cc3

Renforcement par fibres
des murs



Domaine de renforcement : local

Types de bâtiments concernés : tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées :
Ductilité
Augmentation de la résistance en cisaillement et en flexion

Avantages	Inconvénients
Travaux légers Renforcement local Pas de surcharge Diversité des matériaux et de la mise en œuvre Pas d'affaiblissement de la structure en cours de renforcement	Mise œuvre spécialisée Coût Qualités techniques à confirmer Nécessite la dépose du revêtement mural

Commentaires :
Technique utilisée en génie civil pour le renforcement des ponts. Technique récente dont les applications dans le bâtiment sont à développer. Ces fibres sont disponibles sous divers formats : tissu, treillis, plaque, lamelles.

Objectifs :

Améliorer la ductilité du mur ou de l'ensemble de la structure en confinant les blocs de maçonnerie. Les fibres empêchent également les armatures de flamber. Si les fibres sont orientées dans les deux directions, elles augmentent la raideur du mur, qui reprend par conséquent plus de charges. Cette surcharge est à prendre en compte dans la vérification de la résistance après renforcement.
Rendre le mur non fragile. Les fibres vont reprendre le cisaillement une fois que le mur sera fissuré.

Précautions et limites d'utilisation :

Propriétés à vérifier.
Durabilité à l'étude.
Tenir compte d'une redistribution des efforts dû au renforcement local d'un élément de la structure.
L'ancrage des fibres aux extrémités est un point délicat.

Mise en œuvre pratique :

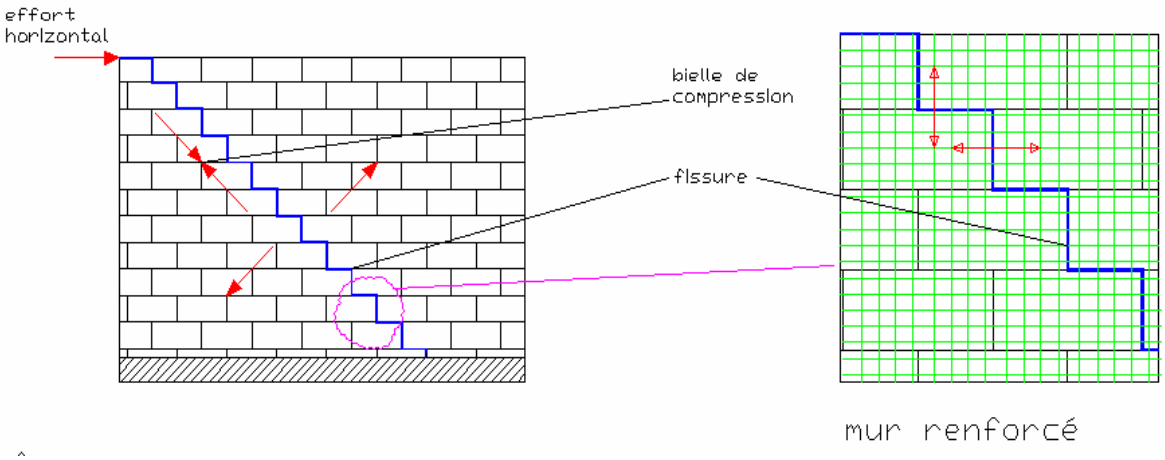
Application d'un tissu de fibre : On utilise les fibres sous forme de toile, qu'on coupe à la dimension du mur à renforcer.
Application bandes orthogonales : On utilise des bandes de fibres, qu'on colle selon des directions perpendiculaires (horizontales et verticales).
Dans les deux cas la mise en œuvre est identique. L'efficacité de cette technique dépend d'une bonne transmission des efforts du portique au mur le cas échéant.
Préparation du support :
Enlever le revêtement mural et l'isolation pour faire apparaître la maçonnerie. Bien décaper le mur afin d'éliminer les irrégularités de surface. Éliminer les poussières par aspiration.
Application du composite
Encoller le mur et appliquer le composite. Éliminer les bulles.
Finitions
Une fois la prise effectuée, on peut enduire et oser le nouveau revêtement.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :

Technique récente. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct.

Principe de fonctionnement :

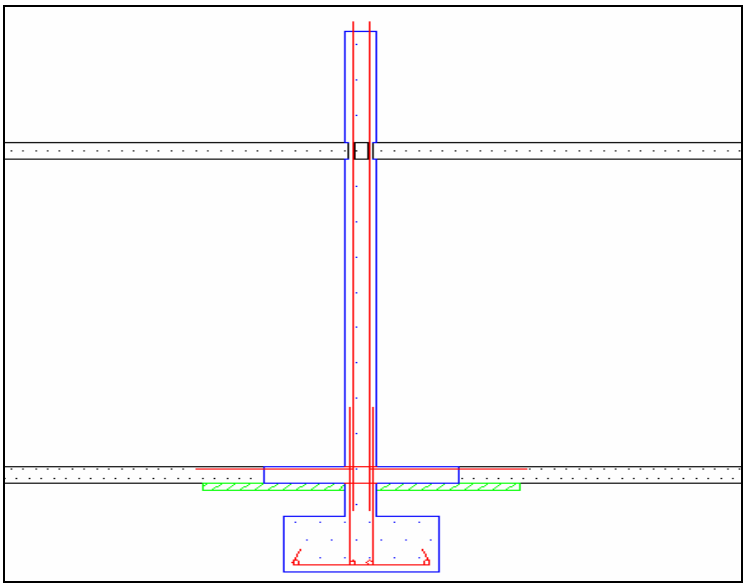
Les fibres réalisent la couture de la fissure (qui doit se développer pour mettre en tension les fibres). Elles reprennent alors les contraintes selon leur direction, empêchant la fissure de se propager.



Fiche Technique de renforcement

Référence : cont

Ajout de murs de contreventement
Voiles béton



Domaine de renforcement : contreventement

Types de bâtiments concernés : Tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées :
Reprise des efforts horizontaux
Raideur d'ensemble du bâtiment
Diminution de l'effet de torsion

Avantages	Inconvénients
Contribue à réduire la torsion Meilleure répartition des efforts	Peut être inacceptable architecturalement Modification des espaces intérieurs Report des charges sur des zones faibles Risque de créer des irrégularités en élévation Intervention lourde Nécessite un calcul complet du bâtiment

Commentaires :
Technique bien connue, courante. Présente néanmoins des effets secondaires importants. Les conséquences sur les fondations doivent absolument être prises en compte.

Objectifs :
Réduire l'irrégularité des bâtiments. En disposant des contreventements à des endroits bien choisis, on peut diminuer considérablement la torsion du bâtiment en cas de surpression. On répartit également mieux les efforts horizontaux à reprendre.
Augmenter la résistance globale du bâtiment. En augmentant le contreventement, on augmente l'effort horizontal qui peut être repris par la structure sans désordre ; Néanmoins cette opération alourdit le bâtiment et il faut vérifier la structure en conséquence. Enfin, les nouveaux contreventements transmettent des efforts à des endroits qui n'étaient pas sollicités, ou moins. En particulier le taux de travail des fondations risque d'augmenter et des efforts perpendiculaires aux façades peuvent apparaître. Ce sont des points à vérifier.

Précautions et limites d'utilisation :
Vérifier la capacité des fondations
Vérifier la régularité en plan et en élévation
Vérifier les nœuds du portique (interaction avec les bielles de compression dans la maçonnerie)
Soigner les liaisons avec la structure existante : angles, portique, chaînages
Dans le cas de la réalisation de nouvelles fondations, étudier le tassement différentiel par rapport aux fondations existantes.
Les fondations doivent être accessibles depuis le niveau le plus bas, après avoir découpé le dallage, ou depuis le vide sanitaire ou la cave. Nous traiterons le cas d'un accès depuis le premier plancher.

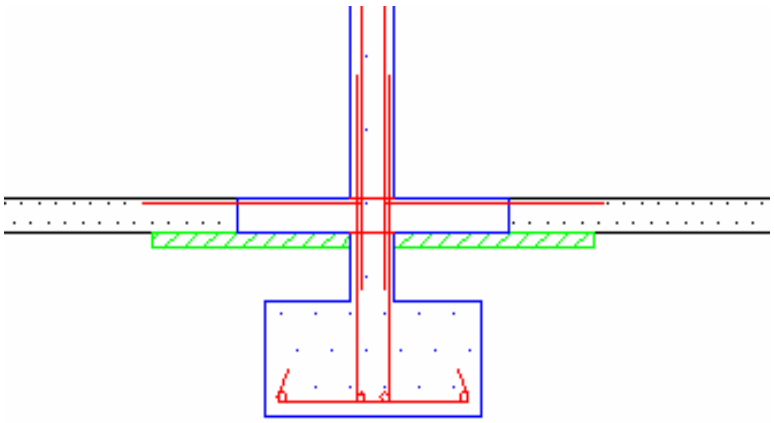
Mise en œuvre pratique :
Cas d'un mur isolé
Cette étape doit absolument être précédée d'une étude poussée (capacité des fondations, faisabilité, redistribution des efforts).
Fondations
Si les fondations existantes sont insuffisantes :
On doit réaliser de nouvelles fondations propres au contreventement.
Si des fondations superficielles sont possibles : Découper le dallage à l'endroit des fondations. Rainurer la dalle perpendiculairement à la semelle afin de pouvoir insérer des armatures de liaison entre la dalle et les fondations. Creuser la semelle. Coffrer l'interface dalle/fondation. Couler le béton de propreté. Mettre en place le ferraillage de la semelle et les attentes. Couler le béton jusqu'au niveau du dallage. Sceller les armatures de liaison dans la dalle.

Cas des fondations plus profondes : Découper le dallage à l'endroit des fondations. Rainurer la dalle perpendiculairement à la semelle afin de pouvoir insérer des armatures de liaison entre la dalle et les fondations. Creuser une longrine sous l'emplacement du mur de contreventement, ou la coffrer. Forer des micropieux et les couler. Un fois leur capacité portante suffisante, les recéper et mettre en place le ferraillage de la longrine, les attentes et les armatures de liaison. Couler le béton de la longrine. Coffrer le départ du mur jusqu'à l'interface avec le dallage et couler cette interface. Sceller les armatures de liaison avec la dalle.

Si les fondations existantes peuvent reprendre la surcharge :
On va réaliser une poutre (ou une longrine) sous le mur pour transférer les efforts aux fondations existantes.
Découper le dallage. Creuser éventuellement une tranchée sous le futur mur au niveau des fondations. Percer les fondations à l'emplacement des armatures de liaison. Sceller ces armatures dans les fondations. Coffrer la poutre. Mettre en place le ferraillage et les attentes du voile. Couler le

béton jusqu'au niveau supérieur de la poutre. Coffrer la liaison avec le dallage. Couler la liaison et sceller les armatures de liaison voile/dalle. On peut aussi envisager de couler la longrine au dessus du dallage si c'est admissible architecturalement et que le dallage résiste à la surcharge en cours de travaux. Il s'agit alors en fait d'une poutre voile. La mise en œuvre est plus rapide. Il faut juste lier les extrémités aux semelles par l'intermédiaire de plots. Le dallage n'est percé qu'au droit de ces plots.

Coulage du voile sur un niveau :

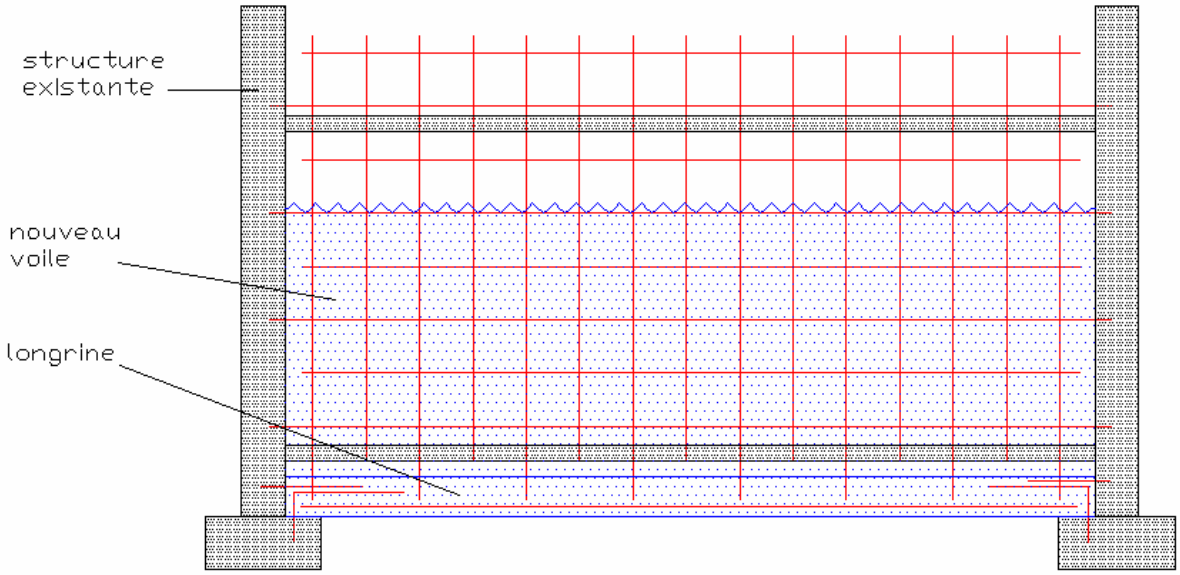


Percer le plancher haut du niveau pour laisser passer les armatures de continuité. Découper aussi de petites bandes régulièrement espacées afin de permettre de couler le béton depuis le niveau supérieur et d'assurer ensuite la continuité du voile sur toute la hauteur. Rainurer la dalle pour disposer des armatures de liaison.

Mettre en place le ferraillage du voile, les armatures de liaison avec la dalle et les attentes pour le niveau supérieur. Coffrer. Couler le béton et le vibrer. Sceller les armatures de liaison dans la dalle.
On doit attendre que le béton ait atteint une résistance suffisante pour reprendre le poids propre du voile avant de passer au niveau suivant.
Finitions :
Après retrait du béton, traiter toutes les fissures au mortier pour assurer la liaison entre le contreventement et la structure existante.

Cas d'un mur lié à la structure existante :

En plus des dispositions constructives précédentes, il convient de lier les voiles aux éléments de structure adjacents (poteau, mur). Cette liaison concerne aussi le système de fondation. Il faut alors sceller des barres de liaison régulièrement espacées dans la structure et les lier au ferraillage du nouveau voile pour assurer une transmission des efforts. Notons enfin la nécessité d'assurer une continuité structurale en traitant à la résine époxy ou au mortier gonflant les interfaces entre nouvelle et ancienne structure.



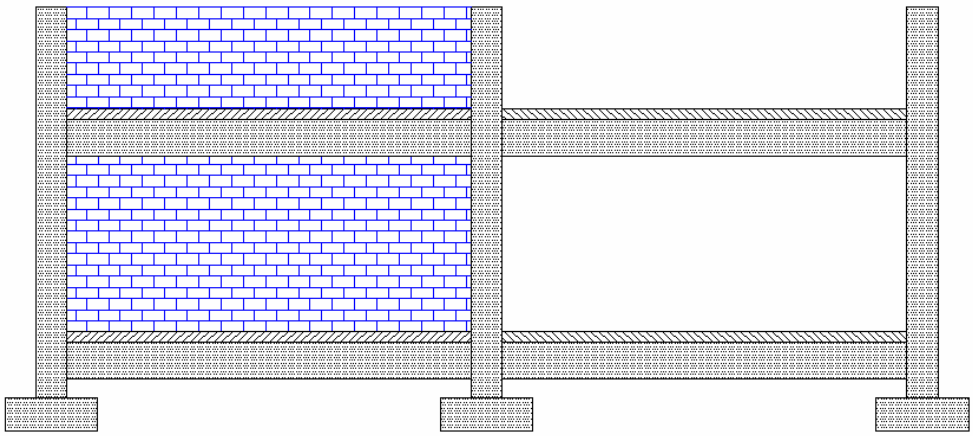
Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :

Technique courante, surtout en génie civil. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct, notamment en ce qui concerne la position des armatures et la liaison des différentes parties entre elles.

Fiche Technique de renforcement

Référence : remp

Remplissage d'un portique
En maçonnerie ou en béton armé



Domaine de renforcement : contreventement

Types de bâtiments concernés : bâtiments à portiques

Caractéristiques mécaniques visées :
Reprise des efforts horizontaux
Raideur d'ensemble du bâtiment
Diminution de l'effet de torsion

Avantages	Inconvénients
Contribue à réduire la torsion Meilleure répartition des efforts Technique simple Pas d'immobilisation longue ni lourde	Peut être inacceptable architecturalement Modification des espaces intérieurs ou des façades Risque de report des charges sur des zones faibles Risque de créer des irrégularités en élévation Intervention lourde Nécessite un calcul complet du bâtiment

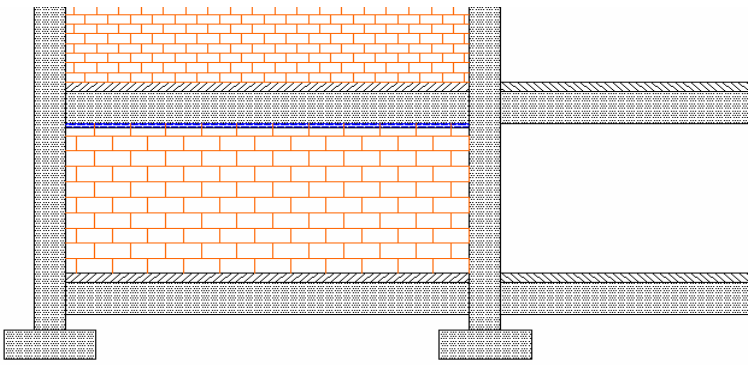
Commentaires :
Technique bien connue, courante. Présente néanmoins des effets secondaires importants. Les conséquences sur les fondations doivent absolument être prises en compte.
Le remplissage par voile en béton armé peut être éventuellement appliqué au bouchage d'ouvertures afin de donner une fonction de contreventement à un mur (façade par exemple). Il est également possible d'utiliser des anneaux de contreventement préfabriqués en béton précontraint.

Objectifs :
Réduire l'irrégularité des bâtiments. En disposant des contreventements à des endroits bien choisi, on peut diminuer considérablement la torsion du bâtiment en cas de surpression. On répartit également mieux les efforts horizontaux à reprendre.
Augmenter la résistance globale du bâtiment. En augmentant le contreventement, on augmente l'effort horizontal qui peut être repris par la structure sans désordre ; Néanmoins cette opération alourdit le bâtiment et il faut vérifier la structure en conséquence. Enfin, les nouveaux contreventements transmettent des efforts à des endroits qui n'étaient pas sollicités, ou moins. En particulier le taux de travail des fondations risque d'augmenter et des efforts perpendiculaires aux façades peuvent apparaître. Ce sont des points à vérifier.

Précautions et limites d'utilisation :
Vérifier la capacité des fondations
Vérifier la régularité en plan et en élévation
Vérifier les nœuds du portique (interaction avec les bielles de compression dans la maçonnerie)
Soigner les liaisons avec la structure existante : angles, portique, chaînages

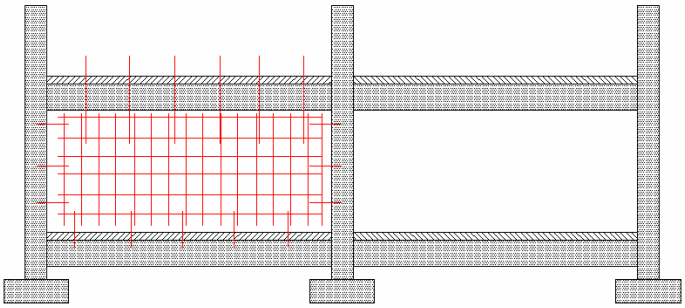
Mise en œuvre pratique :
On suppose que le premier plancher est porté par une poutre et que celle-ci est dimensionnée pour pouvoir reprendre les charges dues au poids du contreventement.
La maçonnerie peut être de brique ou de blocs de béton, mais elle ne doit pas comporter d'ouvertures. Elle doit être soit continue sur toute la hauteur, soit réservée aux étages inférieurs. On peut aussi couler un voile en béton.

Remplissage en maçonnerie :
Préparation du support
Décaper le plancher et la face inférieure de la poutre pour faire apparaître le béton brut. Afin de garantir une meilleure transmission des efforts, bosseler (boucharder) les surfaces décapées.
Montage de la maçonnerie
Monter la maçonnerie de façon classique et laisser un vide d'environ 3 centimètres à l'interface avec la poutre supérieure. Bourrer l'espace entre la poutre et la maçonnerie avec du mortier fin.



Finitions :
Enduire le mur et poser le revêtement.

Remplissage par voile en béton armé
Préparation du support
Décaper le plancher et la face inférieure de la poutre pour faire apparaître le béton brut. Afin de garantir une meilleure transmission des efforts, bosseler les surfaces décapées. Percer des trous de scellement sur les poteaux et des trous débouchant dans les poutres afin de garantir la continuité du ferraillage.
Exécution du voile :
Sceller les armatures de continuité et les barres de liaison. Mettre en place le ferraillage du voile (treillis soudé). Coffrer en laissant suffisamment de place pour couler le béton. Couler le béton et vibrer par l'extérieur. Veiller à assurer la meilleure liaison possible entre la poutre et le voile.



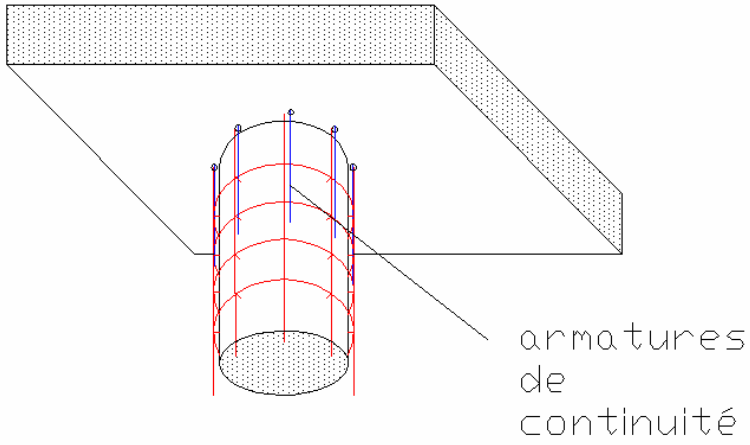
Finitions :
Décoffrer et boucher les trous au mortier. Enduire le mur et poser le revêtement. Étayer les poutres avant de poursuivre aux étages supérieurs.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique courante. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct, notamment aux nœuds.

Fiche Technique de renforcement

Référence : chem1

Chemisage en béton armé
des poteaux



Domaine de renforcement : local

Types de bâtiments concernés : bâtiments à portiques

Caractéristiques mécaniques visées :
Ductilité
Confinement
Augmentation de la résistance en compression et en flexion

Avantages	Inconvénients
Renforcement local Pas d'affaiblissement de la structure en cours de renforcement	Mise œuvre spécialisée Surcharges Travaux relativement lourds

Commentaires :
Technique courante en réhabilitation lourde et en renforcement post-sismique.

Objectifs :

Améliorer la ductilité du poteau ou de l'ensemble de la structure en confinant le béton dans les zones critiques. En effet ces zones proches des nœuds sont souvent insuffisamment frettées. Les cadres empêchent également les armatures de flamber. Il faut néanmoins veiller à ne pas augmenter la raideur des poteaux traités, sinon ils vont reprendre plus de charges et risquent de devenir sous dimensionnés. Une solution consiste à utiliser seulement des cadres, sans armatures longitudinales de sorte que l'augmentation de résistance en flexion apportée par le renforcement soit négligeable.

Garantir la localisation des rotules plastiques. On utilise un ferraillage classique (longitudinal et cadres), pour renforcer aussi la résistance du poteau en flexion dans le but de surdimensionner le poteau ; on souhaite en effet que les rotules plastiques se forment dans la poutre. Cette technique entraîne une redistribution des efforts du fait que le poteau a une plus grande raideur ; il faut alors vérifier l'ensemble de la structure par un calcul d'ensemble intégrant le renforcement.

Augmenter la résistance globale de la structure. Le chemisage revient à augmenter la section de béton armé. Là encore on utilise un ferraillage classique. On applique cette technique à plusieurs poteaux.

Précautions et limites d'utilisation :

Tenir compte d'une redistribution des efforts due au renforcement local d'un élément de la structure.

Vérifier le taux de travail des fondations.

Dans le cas de l'utilisation d'un ferraillage longitudinal, on doit assurer la continuité des armatures à tous les niveaux.

Mise en œuvre pratique :

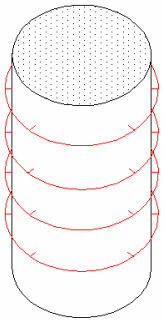
Chemisage avec cadres seulement

Préparation du support :

Étayer les poutres de part et d'autre du poteau afin de le soulager. Décaper le poteau pour enlever le revêtement et faire apparaître les armatures, détruire éventuellement le remplissage à l'interface avec le poteau. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières

Mise œuvre du chemisage :

Sceller des barres courtes dans le poteau pour assurer la continuité du ferraillage. Mettre en place le nouveau ferraillage (cadres seuls) et les lier aux barres de scellement. Projeter le béton ou la gunite.



Finitions :

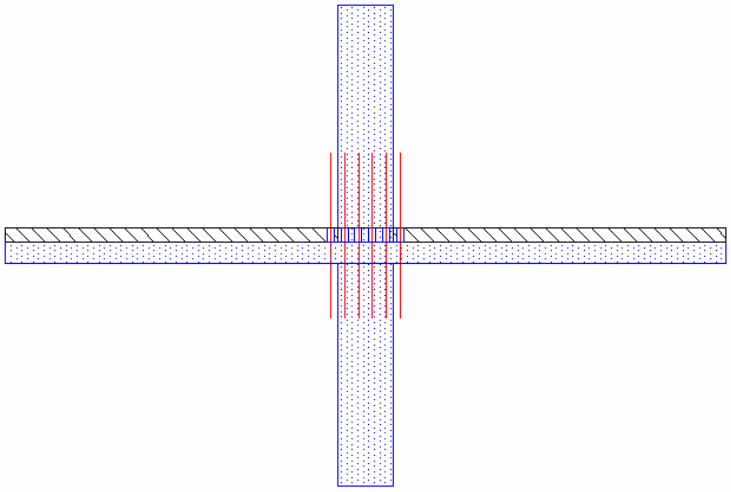
Boucher les trous dans le remplissage. Enduire le poteau et poser le revêtement. Une fois la résistance du béton suffisante, enlever les étais.

Ferraillage complet (Cf. schéma d'en-tête)

Préparation du support :

Etayer les poutres de part et d'autre du poteau afin de le soulager. Décaper le poteau pour enlever le revêtement et faire apparaître les armatures, détruire éventuellement le remplissage à l'interface avec le poteau. Percer la dalle et éventuellement les poutres pour permettre le passage des armatures de continuité. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières.

Mise œuvre du chemisage :
Sceller des barres courtes dans le poteau pour assurer la continuité du ferraillage. Mettre en place le nouveau ferraillage (cadres et armatures longitudinales) et les lier aux barres de scellement. Disposer les barres de continuité et les fixer au ferraillage. Pour ce qui est du plancher bas du premier niveau, les barres de continuité doivent être scellées dans les têtes de fondation. Sceller les barres de continuité à la dalle. Projeter le béton ou la gunite.



Principe des armatures de continuité

Finitions :
Boucher les trous dans le remplissage. Enduire le poteau et poser le revêtement. Une fois la résistance du béton suffisante, enlever les étais.

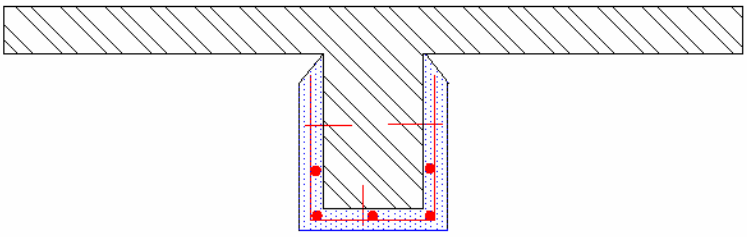
Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :

Technique courante, surtout en génie civil. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct.

Fiche Technique de renforcement

Référence : chem2

Chemisage en béton armé
des poutres



Domaine de renforcement : local

Types de bâtiments concernés : bâtiments à portiques

Caractéristiques mécaniques visées :
Ductilité
Confinement
Augmentation de la résistance en flexion et/ou à l'effort tranchant

Avantages	Inconvénients
Renforcement local	Mise œuvre spécialisée Surcharges Léger affaiblissement de la structure en cours de renforcement Travaux assez lourds

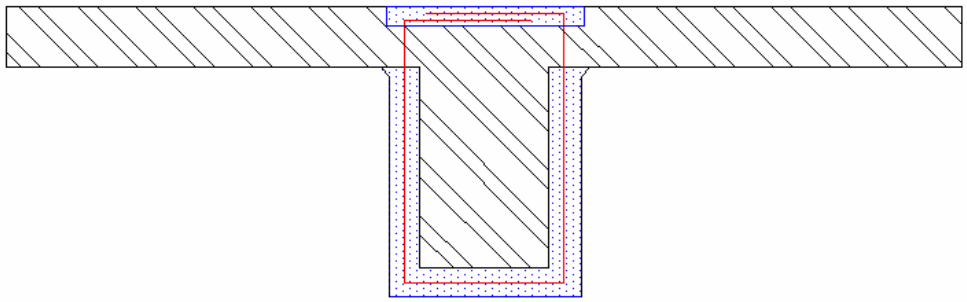
Commentaires :
Technique relativement courante en réhabilitation lourde.

Objectifs :
rendre la structure non fragile, par l'augmentation de sa résistance. On ajoute alors des cadres d'effort tranchant et des armatures longitudinales en milieu de travée.
Améliorer la ductilité de la poutre ou de l'ensemble de la structure en confinant le béton dans les zones critiques. En effet ces zones proches des nœuds sont souvent insuffisamment frettées. Les cadres empêchent également les armatures de flamber. Il faut néanmoins veiller à ne pas augmenter la raideur des poutres traitées, sinon elles vont reprendre plus de charges et risquent de devenir sous dimensionnées. La solution consiste à utiliser seulement des cadres, sans armatures longitudinales de sorte que l'augmentation de résistance en flexion apportée par le renforcement

soit négligeable. Le positionnement judicieux des armatures doit permettre de fixer l'emplacement des rotules plastiques.
Augmenter la résistance globale ou locale de la structure. Le chemisage revient à augmenter la section de béton armé. Là encore on utilise un ferraillage classique. On applique cette technique à plusieurs poteaux.

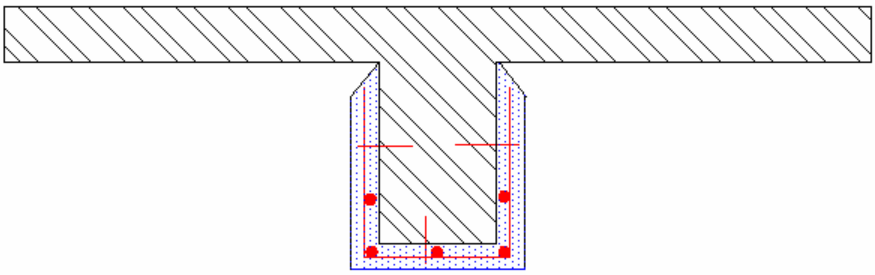
Précautions et limites d'utilisation :
Tenir compte d'une redistribution des efforts dû au renforcement local d'un élément de la structure.
Vérifier le taux de travail des fondations après surcharge.

Mise en œuvre pratique :
Chemisage avec cadres seulement (ductilité, effort tranchant seul)
Préparation du support :
Etayer les planchers de part et d'autre de la poutre afin de la soulager. Décaper la poutre pour enlever le revêtement et faire apparaître les armatures, détruire éventuellement le remplissage à l'interface avec la poutre. Percer la dalle et la rainurer en partie supérieure afin de pouvoir replier les cadres et les fermer. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières. Maintenir humide pour saturer le vieux béton.
Mise œuvre du chemisage :
Mettre en place le nouveau ferraillage (cadres seuls). Sceller au mortier les cadres dans la dalle. Projeter le béton ou la gunite.



Finitions :
Boucher les trous dans le remplissage. Enduire la poutre et poser le revêtement. Une fois la résistance du béton suffisante, enlever les étais ; il peut être nécessaire d'étayer sur plusieurs niveaux.

Reprise de la flexion seule
Préparation du support :
Étayer les planchers de part et d'autre de la poutre afin de la soulager. Décaper la poutre pour enlever le revêtement et faire apparaître les armatures, détruire éventuellement le remplissage à l'interface avec la poutre. Percer les trous de scellement des étriers dans les flancs de la poutre ; bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières. Maintenir humide pour saturer le vieux béton.
Mise œuvre du chemisage :
Mettre en place le nouveau ferraillage (étriers et armatures longitudinales). Sceller au mortier les étriers dans la poutre. Projeter le béton ou la gunite.



Finitions :
Boucher les trous dans le remplissage. Enduire la poutre et poser le revêtement. Une fois la résistance du béton suffisante, enlever les étais.

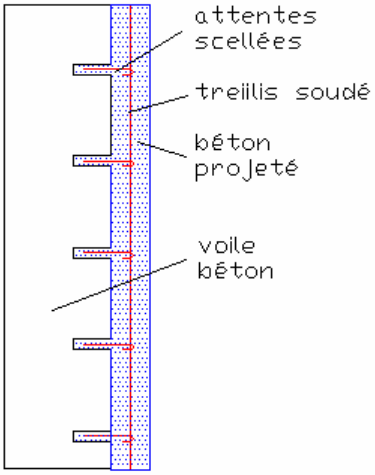
Reprise de la flexion et du cisaillement
Il suffit de combiner les deux techniques ci-dessus.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique courante, surtout en génie civil. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct.

Fiche Technique de renforcement

Référence : chem3

Chemisage en béton armé
des voiles et des murs



Domaine de renforcement : local

Types de bâtiments concernés : tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées :
Ductilité
Augmentation de la résistance en compression, au cisaillement et en flexion

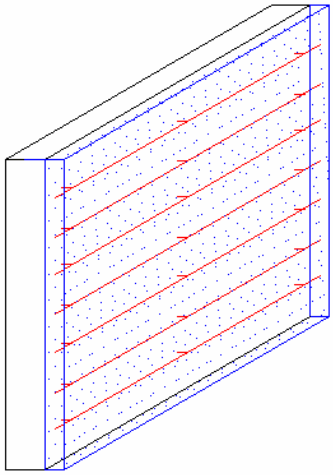
Avantages	Inconvénients
Renforcement local Pas d'affaiblissement de la structure en cours de renforcement	Mise œuvre spécialisée Surcharges Immobilisation des pièces traitées Travaux relativement lourds

Commentaires :
Technique relativement courante en réhabilitation lourde.

Objectifs :
Améliorer la ductilité du voile ou de l'ensemble de la structure en confinant le béton dans les zones critiques. En effet ces zones proches des nœuds sont souvent insuffisamment frettées. Les cadres empêchent également les armatures de flamber. IL faut tenir compte du fait que cette technique augmente la raideur des voiles traités, qui, du coup, reprennent plus de charges et doivent donc être dimensionnés en conséquence. Une solution pour limiter ce phénomène consiste à utiliser seulement des armatures horizontales, sans armatures verticales de sorte que l'augmentation de résistance en flexion apportée par le renforcement est négligeable. Sinon, il faut dimensionner le renforcement de telle sorte qu'il puisse reprendre la surcharge.
Augmenter la résistance globale de la structure. Le chemisage revient à augmenter la section de béton armé. Là encore on utilise un ferraillage classique. On applique cette technique à tous les voiles dont la résistance est insuffisante.

Précautions et limites d'utilisation :
Tenir compte d'une redistribution des efforts due au renforcement local d'un élément de la structure.
Vérifier le taux de travail des fondations.
Dans le cas de l'utilisation d'un ferraillage vertical, on doit assurer la continuité des armatures à tous les niveaux.

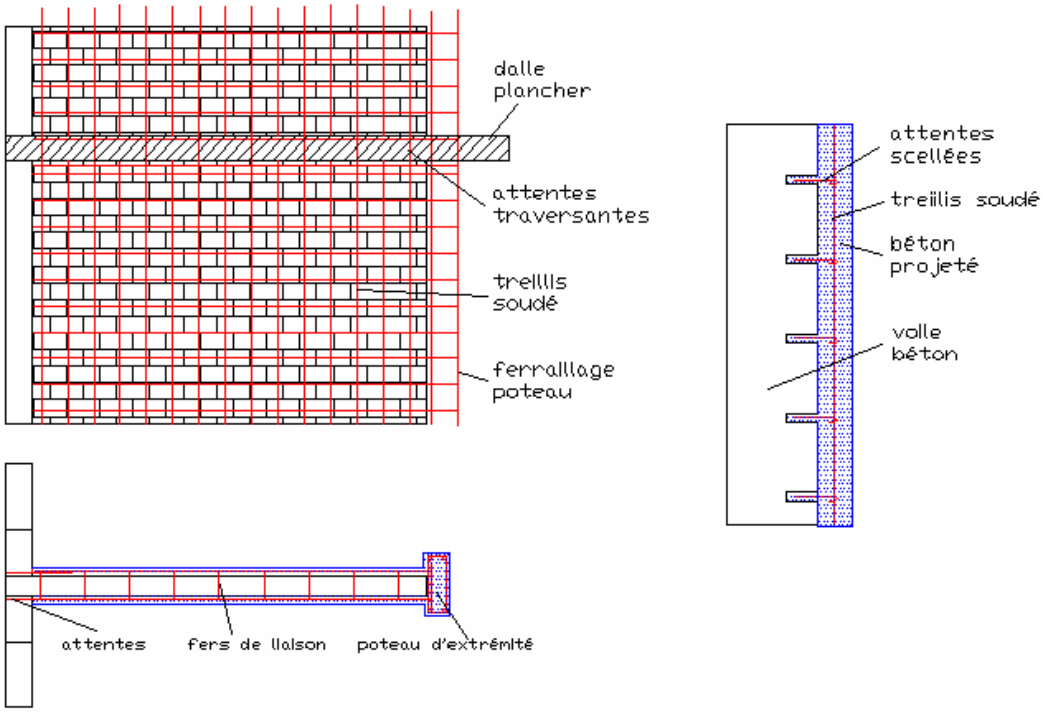
Mise en œuvre pratique :
Chemisage avec armatures horizontales seulement
Préparation du support :
Ôter le revêtement du mur. Pour les voiles en béton armé, gratter le béton de surface et faire apparaître les armatures existantes régulièrement. Percer des trous de scellement à intervalles réguliers pour y fixer des barres de scellement. Si les deux faces d'un mur sont traitées, ces barres seront traversantes. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières
Mise œuvre du chemisage :
Sceller au mortier des barres courtes dans le mur pour assurer la continuité du ferraillage. Mettre en place le nouveau ferraillage (barres horizontales seules) et les lier aux barres de scellement. Projeter le béton ou la gunite.



Finitions :
Enduire le mur et poser le revêtement.

Ferraillage complet (Cf. schéma d'en-tête)
Préparation du support :
Ôter le revêtement du mur. Pour les voiles en béton armé, gratter le béton de surface et faire apparaître les armatures existantes régulièrement. Percer des trous de scellement à intervalles réguliers pour y fixer des barres de scellement. Si les deux faces d'un mur sont traitées, ces barres seront traversantes. Percer également le plancher et le plafond pour permettre le passage des armatures de continuité. Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières

Mise œuvre du chemisage :
Sceller au mortier des barres courtes dans le mur pour assurer la continuité du ferraillage. Mettre en place le nouveau ferraillage (treillis soudé renforcé par des barres verticales aux extrémités et les lier aux barres de scellement. Si on décide de donner une forme de T ou de I au voile (ce qui est recommandé), mettre en place le ferraillage des poteaux d'extrémité ; Veiller à bien lier les différents éléments. Mettre en place les armatures de continuité. Projeter le béton ou la gunite puis la talocher pour lui donner une surface lisse. Une fois la prise faite, coffrer le poteau et le couler.



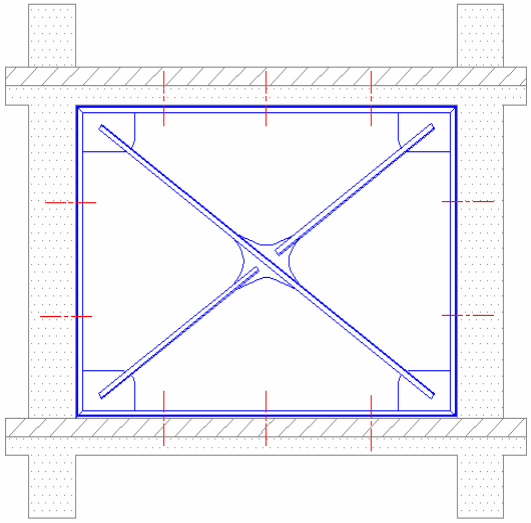
Finitions :
Décoffrer le poteau. Enduire le mur et poser le revêtement.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique courante, surtout en génie civil. Les études doivent être détaillées pour s'assurer que les effets secondaires n'annuleront pas l'effet souhaité. La mise en œuvre doit être soignée pour garantir un comportement correct, notamment en ce qui concerne la position des armatures et la liaison des différentes parties entre elles.

Fiche Technique de renforcement

Référence : croi

Ajout de croix de contreventement -
Contreventement métallique



Domaine de renforcement : contreventement

Types de bâtiments concernés : bâtiments à portiques

Caractéristiques mécaniques visées :
Reprise des efforts horizontaux
Raideur d'ensemble du bâtiment
Diminution de l'effet de torsion

Avantages	Inconvénients
Meilleure répartition des efforts Structure légère sans fondations propres Travaux légers	Peut être inacceptable architecturalement Modification des espaces intérieurs Risque de créer des irrégularités en élévation Intervention lourde Nécessite un calcul complet du bâtiment Peut provoquer des désordres aux nœuds et dans les fondations

Commentaires :
Il s'agit d'appliquer une méthode de contreventement classique en construction métallique à une construction mixte (béton acier). La difficulté principale vient du fait que pour fonctionner efficacement, ces contreventements doivent subir une déformation. Il faut donc limiter au maximum les jeux. :
Dans la croix elle-même : on préfèrera les assemblages soudés même si les assemblages rivetés ou boulonnés donnent plus de ductilité.
Entre le cadre et la structure : un relevé soigné et l'utilisation de résine époxy à l'interface permettront d'éliminer les jeux inhérents au gros œuvre.

Objectifs :

Améliorer la régularité du bâtiment : Une meilleure répartition des contreventements diminue la torsion d'ensemble ainsi que les différences de raideurs selon la direction.
Augmenter la résistance d'ensemble : les nouveaux contreventements permettent à la structure de reprendre un effort horizontal plus grand. A ce propos il faut vérifier que le ferraillage des nœuds du portique est suffisant pour supporter cette augmentation des efforts transmis.

Précautions et limites d'utilisation :

Vérifier la régularité en plan et en élévation
Vérifier les nœuds du portique (interaction avec les bielles)
Soigner les liaisons avec la structure existante.
Proscrire les croix perpendiculaires à la façade (flambage des portiques), sauf s'il est démontré que les efforts horizontaux qu'ils induisent dans les poteaux ne provoqueront pas leur flambement (croix montées sur des cadres, liaison soignée avec la dalle et la poutre, rôle de diaphragme satisfaisant pour le plancher)
Recalculer l'ensemble de la structure

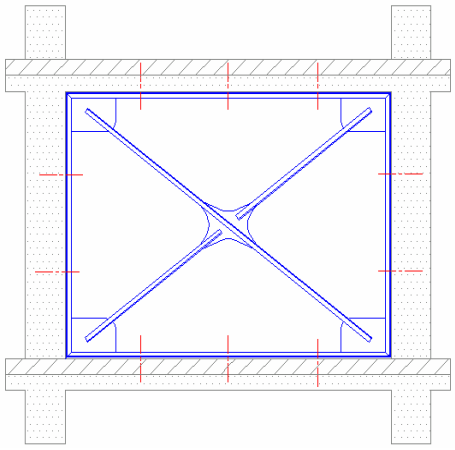
Mise en œuvre pratique :

Cas des nœuds suffisamment armés
Réalisation des croix :
Effectuer un relevé très précis des portiques. Assembler les croix et les cadres (K ou X). Prépercer les cadres.
Mise en place
Oter le revêtement de sol et les revêtements muraux à l'endroit du contreventement. Percer la structure selon la trame des cadres. Fixer les croix à l'aide de vis et de chevilles à expansion.
Finitions :
Poser les panneaux de cloison pour cacher les croix. Poser le revêtement mural.

Cas des nœuds faibles :
Il faut prévoir un chemisage des nœuds (poutres et poteaux) avec ajout de cadres d'effort tranchant seul. Le reste de la technique est inchangé. Une fois le chemisage prêt, poser les croix.

Exemples de croix de contreventement:

Croix de Saint André
Système très connu et courant. Il transforme les efforts horizontaux du plancher supérieur en efforts horizontaux et verticaux aux nœuds inférieurs (efforts normaux dans les diagonales).
Nécessite des nœuds de bonne qualité pour le portique. En répartissant les points de fixation sur le périmètre du cadre, on répartit mieux les efforts qui transitent par celui-ci (efforts horizontaux). Les efforts horizontaux transmis aux nœuds sont donc plus faibles.



Croix type V Inversé :
Il s'agit d'un système courant qui présente l'avantage de dégager un espace et permet une ouverture (par exemple une fenêtre ou une porte).
L'inconvénient est que le nœud supérieur reporte des efforts verticaux en milieu de travée de la poutre. Dans le cas où les diagonales fonctionnent à la fois en tirant et en buton, la résultante des efforts est nulle sur la poutre. Dans le cas contraire, il faut vérifier la capacité de ka poutre à reprendre un effort de cisaillement au droit du nœud du V.

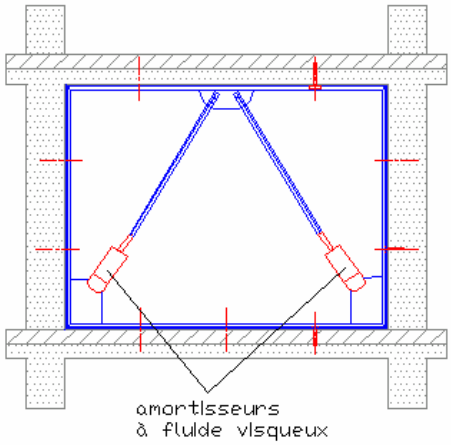
Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût du renforcement :

Il s'agit d'une technique légère, sans immobilisation des pièces. Si es croix sont convenablement faites, la pose est très rapide. Enfin, la pose d'une cloison sur rails pour la finition peut être différée. Dans la plupart des cas, la croix sera montée en atelier.

Fiche Technique de renforcement

Référence : amo

Amortissement des portiques -
Contreventement métallique amorti



Domaine de renforcement : contreventement

Types de bâtiments concernés : bâtiments à portiques

Caractéristiques mécaniques visées :
Reprise des efforts horizontaux
Dissipation d'énergie

Avantages	Inconvénients
Meilleure répartition des efforts Structure légère sans fondation Travaux légers	Peut être inacceptable architecturalement Modification des espaces intérieurs Risque de créer des irrégularités en élévation Intervention lourde Nécessite un calcul complet du bâtiment Peut provoquer des désordres aux nœuds Coût

Commentaires :
La difficulté principale vient du fait que pour fonctionner efficacement, ces contreventements doivent subir une déformation. Il faut donc limiter au maximum les jeux. :
Dans la croix elle-même : on préfèrera les assemblages soudés même si les assemblages rivetés ou boulonnés donnent plus de ductilité.
Entre le cadre et la structure : un relevé soigné et l'utilisation de résine époxy à l'interface permettront d'éliminer les jeux inhérents au gros œuvre.

Objectifs :
Diminuer l'énergie à laquelle le bâtiment est soumis en en dissipant une partie par les amortisseurs.
Améliorer la régularité du bâtiment : Une meilleure répartition des contreventements diminue la torsion d'ensemble ainsi que les différences de raideurs selon la direction.

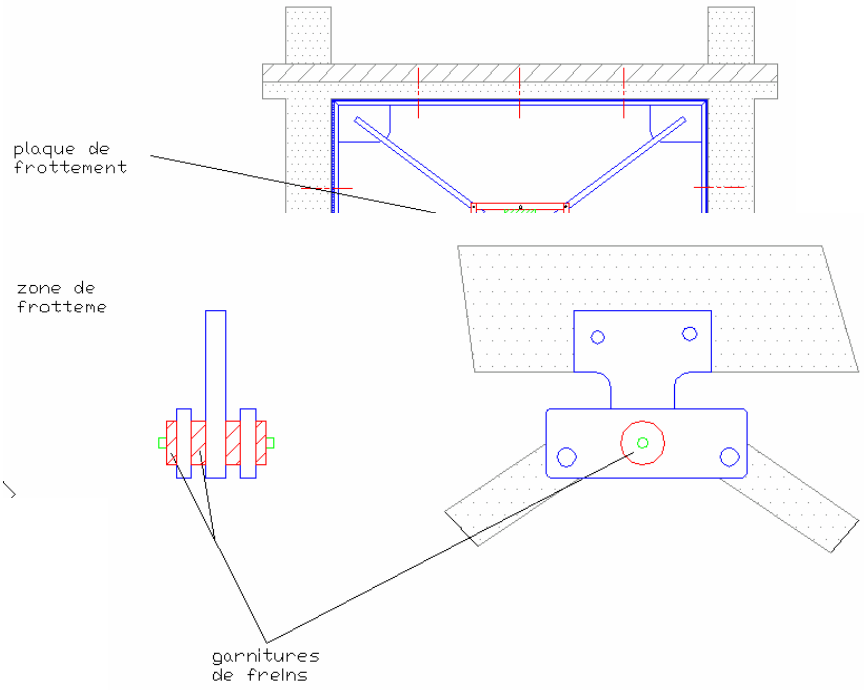
Augmenter la résistance d'ensemble : les nouveaux contreventements permettent à la structure de reprendre un effort horizontal plus grand. A ce propos il faut vérifier que le ferraillage des nœuds du portique est suffisant pour supporter cette augmentation des efforts transmis.

Précautions et limites d'utilisation :
Vérifier la régularité en plan et en élévation
Vérifier les nœuds du portique (interaction avec les bielles)
Soigner les liaisons avec la structure existante.
Recalculer l'ensemble de la structure
Les contreventements amortis ne peuvent as reprendre efficacement les sollicitations statiques (pas de contrôle du déplacement). La mise en place de guides ou de butées peut annuler l'efficacité des dispositifs d'amortissement.
L'énergie dissipée par les amortisseurs viscoélastiques dépend de la fréquence de la sollicitation

Mise en œuvre pratique :
Cas des nœuds suffisamment armés
Réalisation des croix :
Effectuer un relevé très précis des portiques. Assembler les croix et les cadres (K ou X). Prépercer les cadres.
Mise en place
Oter le revêtement de sol et les revêtements muraux à l'endroit du contreventement. Percer la structure selon la trame des cadres. Fixer les croix à l'aide de vis et de chevilles à expansion.
Finitions :
Régler l'amortisseur et annuler tous les jeux. Poser les panneaux de cloison pour cacher les croix. Poser le revêtement mural.

Cas des nœuds faibles :
Il faut prévoir un chemisage des nœuds (poutres et poteaux) avec ajout de cadres d'effort tranchant seul. Le reste de la technique est inchangé. Une fois le chemisage prêt, poser les croix.

Exemples d'amortisseur:
Amortisseur à frottement (type Pall)
Il s'agit d'un amortisseur couramment utilisé.



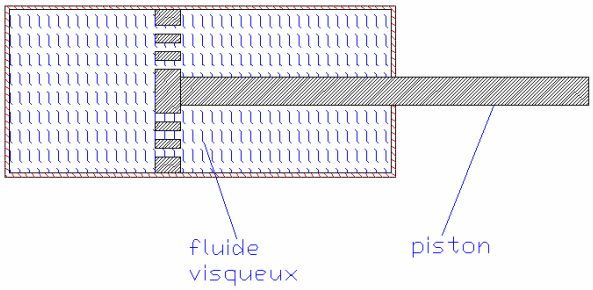
Fonctionnement : Lorsque le portique se déforme horizontalement, le cadre de la croix se met en parallélogramme. Par suite le cadre intérieur subit la même déformation. Il y a alors frottement de la plaque de frottement sur le cadre (rotation relative dans les zones de contact), ce qui dissipe de l'énergie.

Variante : (pour croix en V inversé)

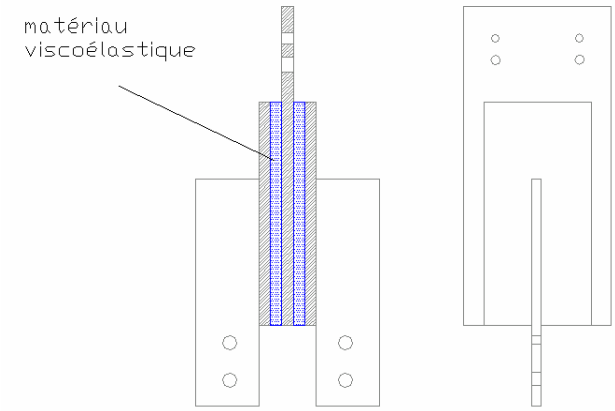
Amortisseur à fluide visqueux

Il fonctionne sur le même principe qu'un amortisseur de voiture. Ce type d'amortisseur est très employé ces dernières années. Il faut néanmoins bien maîtriser les ancrages.

Il existe différents types d'amortisseurs fonctionnant sur ce principe. Certains ont été intégrés aux fondations. On peut aussi en fixer dans les croix de contreventement, en continuité des diagonales. Un amortisseur courant a été développé par Taylor Device Inc.

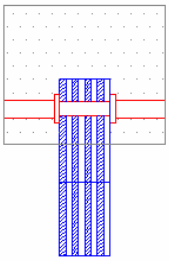


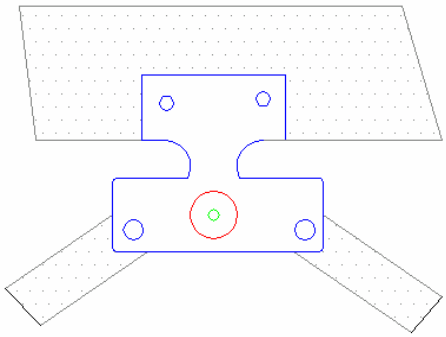
Autre modèle :



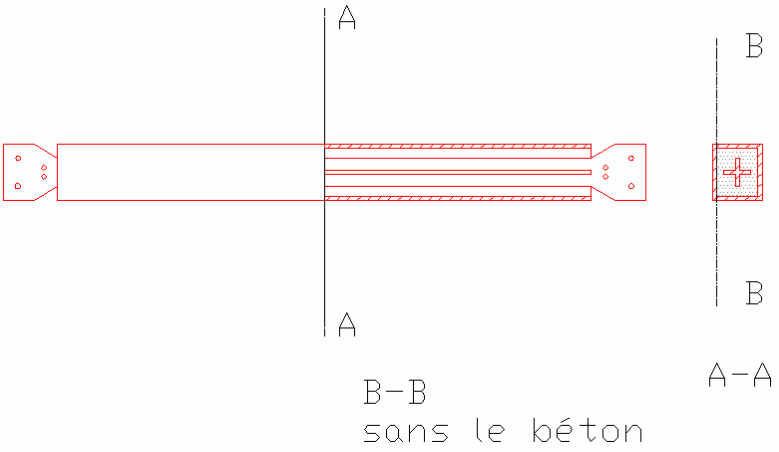
Amortisseur élastoplastique

La dissipation d'énergie est due à la déformation plastique des plaques dans la zone étroite. Les caractéristiques du matériau doivent être choisies pour assurer une déformation des plaques avec dissipation d'énergie sans risquer la rupture (résistance à la fatigue)





Une variante assez utilisée (20 bâtiments aux USA) est appelée « unbonded brace ». Elle consiste en une diagonale de treillis de section en croix et de faible limite élastique mais de grande ductilité. Elle est entourée d'un tube métallique et d'un remplissage en béton. Le tube et le remplissage évitent le flambement, et on peut donc solliciter la bielle au-delà de sa limite élastique en compression comme en traction ; celle-ci dissipe alors de l'énergie en traction comme en compression par déformation plastique, sans devenir instable. Un matériau favorisant le glissement du béton sur l'acier est appliqué à l'interface avec la bielle pour limiter les effets parasites. La bielle pouvant travailler dans les deux sens une seule est nécessaire par cadre de contreventement.

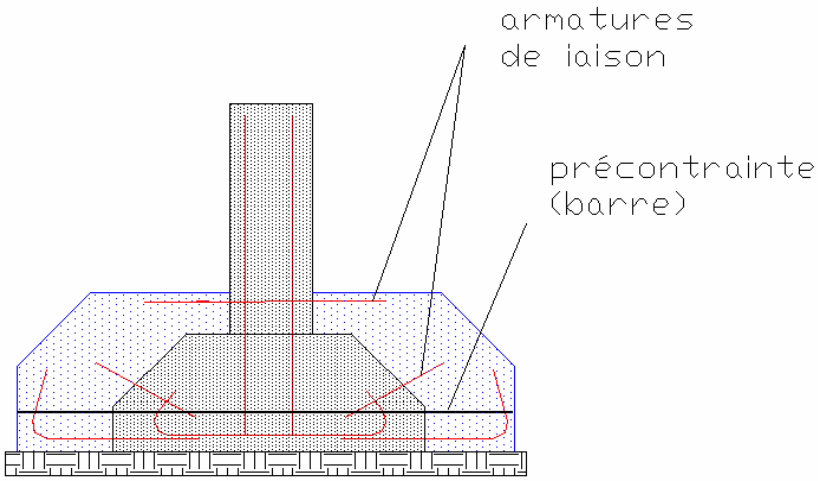


Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût du renforcement :
Il s'agit d'une technique légère, sans immobilisation des pièces. Si es croix sont convenablement faites, la pose est très rapide. Enfin, la pose d'une cloison sur rails pour la finition peut être différée. Dans la plupart des cas, la croix sera montée en atelier.

Fiche Technique de renforcement

Référence : fond

Renforcement des fondations
Élargissement des semelles
Chaînage
Micropieux



Domaine de renforcement : Fondations

Types de bâtiments concernés : Tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées :
Capacités portantes des fondations (augmentation de la surface portante)
Diminution des tassements différentiels
Rigidité d'ensemble pour les bâtiments à semelles isolées

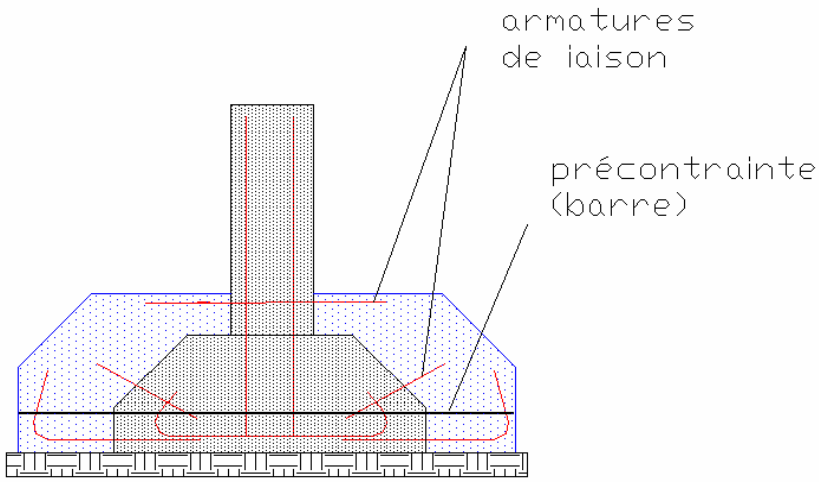
Avantages	Inconvénients
Evite les fissures dues aux tassements différentiels Augmente la charge admissible par le bâtiment	Nécessite une reprise en sous œuvre Travaux très lourds Création de désordres dans les murs lors des travaux (tassements, décompression…) Accès délicats Peut modifier le comportement du sol (excentricité, surface portante…)

Commentaires :
L'état des fondations d'un bâtiment existant et la nature de travaux nécessaires pour l'améliorer sont difficiles à apprécier. Le chaînage des fondations isolées est requis des bâtiments neufs par les règles PS92. Risques de tassements différentiels si toutes les fondations ne sont pas traitées de la même façon. L'accès aux fondations est un problème majeur.

Objectifs :
Il s'agit d'une augmentation de la résistance globale du bâtiment. L'élargissement des fondations augmente leur surface portante. En conséquence, elles peuvent être soumises à un effort plus important pour le même taux de travail.
Le chaînage des fondations donne plus de rigidité aux bâtiments fondés sur semelles isolées ou sur pieux isolés.

Précautions et limites d'utilisation :
Reprendre le calcul de la fondation modifiée (excentricité, surface…)
Liaison avec la structure existante
Désordres dans la structure dus à la reprise en sous œuvre.

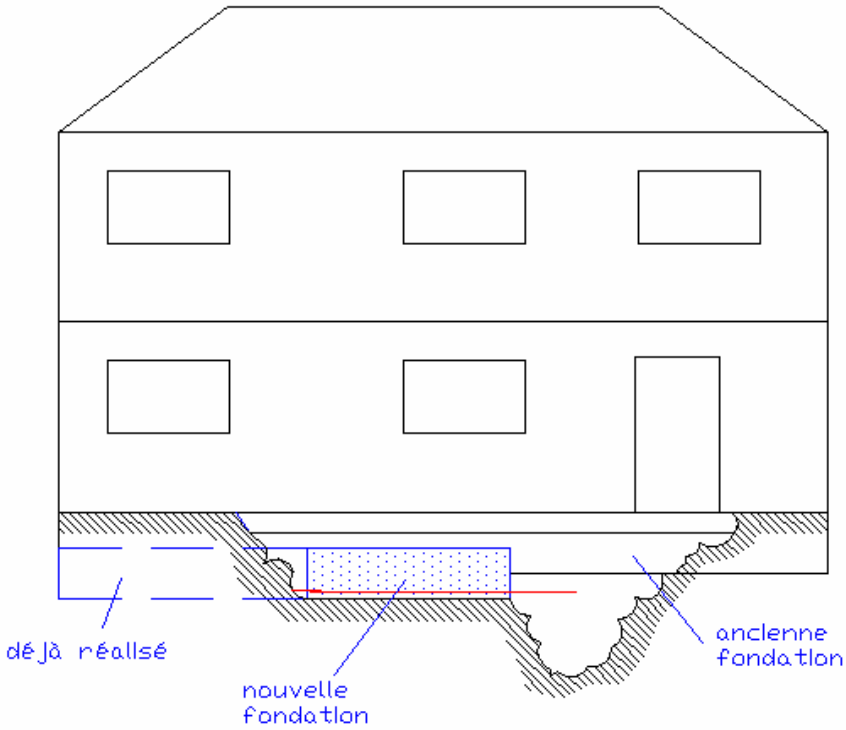
Mise en œuvre pratique :
Elargissement des fondations :
Elargissement de la base par ajout de béton périphérique :
Préparation :
Aménager un accès aux fondations (terrassement, sciage du dallage)
Elargissement de fondations :
Dégager et nettoyer la semelle. Piquer ensuite le béton de parement pour garantir l'adhérence de la partie rajoutée. Ferrailler et coffrer l'extension de la semelle. Veiller à sceller des armatures de liaison entre la partie existante et la nouvelle. Ajouter des colliers métalliques pour les poteaux, et éventuellement de la précontrainte transversale pour lier les deux parties.



Finitions :
Remettre en état (terrassement, réparation du dallage).

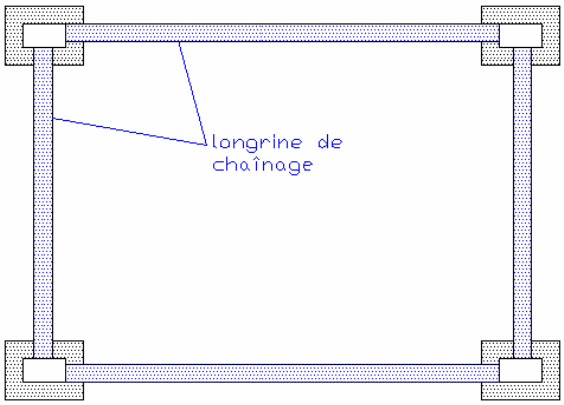
Reprise en sous œuvre : (voir schéma d'en-tête)
Cette technique risque de provoquer des désordres importants.

Préparation :
Aménager un accès aux fondations (terrassement, sciage du dallage)
Pour un poteau, étayer de part et d'autre pour assurer une descente de charge provisoire. Pour un mur, on peut profiter de l'effet de voûte de déchargement, à condition d'attaquer la semelle sur des tronçons de faible longueur.
Élargissement de fondations :
Creuser la fouille sous la structure. Coffrer, ferrailler puis on couler. Veiller à la continuité du ferraillage. Une fois la prise terminée, vérifier le contact entre la nouvelle partie et l'ancienne puis charger progressivement la semelle en enlevant les étais.

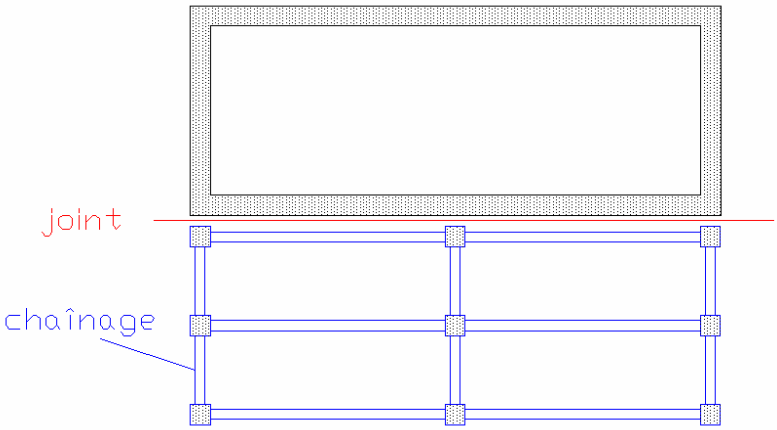


Finitions :
Remettre en état (terrassement, réparation du dallage).

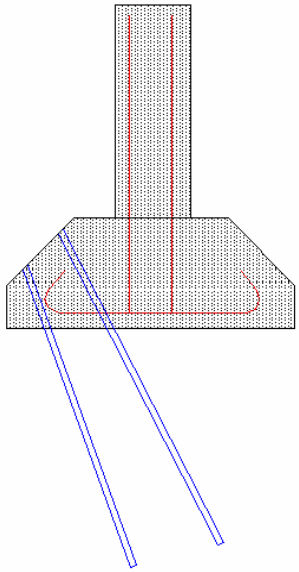
<u>Chaînage des fondations :</u>
On réalise des longrines pour lier les têtes de fondations.
Découper le dallage. Creuser éventuellement une tranchée sous le futur mur au niveau des fondations. Percer les fondations à l'emplacement des armatures de liaison. Sceller ces armatures dans les fondations. Coffrer la longrine. Mettre en place le ferraillage et les attentes du voile. Couler le béton jusqu'au niveau supérieur de la longrine.



Si le bâtiment comporte à la fois des semelles filantes et des semelles isolées, il faut chaîner les semelles isolées et dissocier les deux systèmes de fondations par un joint de rupture.



Micropieux :



On peut se contenter d'un accès par l'extérieur ou par le sous-sol. C'est souvent la méthode la plus rapide et celle qui génère le moins de nuisances.
La technique consiste à forer des pieux de faibles diamètres à travers les fondations et qui se prolongent suffisamment loin dans le sol pour améliorer la capacité portante des fondations par frottement le long des pieux. On peut parfois chercher à atteindre le bon sol. Il s'agit de fondations souples qu'il faut encastrer en tête. Il s'agit d'une technique courante de renforcement. Elle est bien maîtrisée par les entreprises spécialisées.

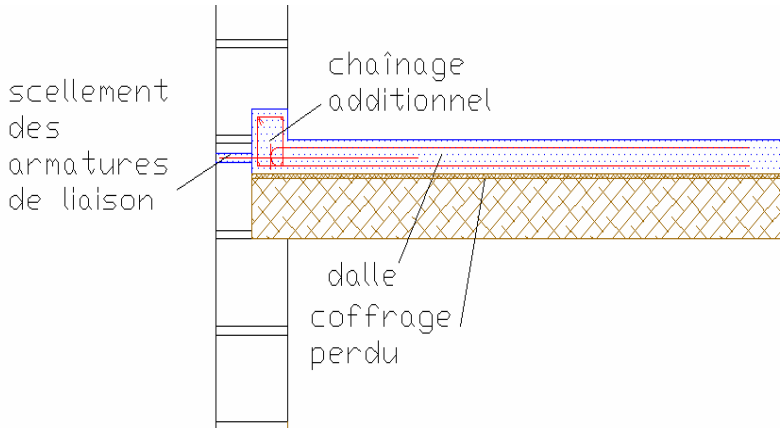
Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement

Les techniques ci-dessus ont toutes les mêmes objectifs, mais leur coût est très variable. De plus ce coût dépend aussi beaucoup des particularités du bâtiment, par exemple l'accessibilité des fondations.

Fiche Technique de renforcement

Référence : dal

Renforcement des planchers -
Coulage d'une dalle



Domaine de renforcement : contreventement horizontal

Types de bâtiments concernés : bâtiments à planchers bois ou plancher à poutrelles et entrevous.

Caractéristiques mécaniques visées :
transmission des efforts horizontaux à la structure
Raideur d'ensemble du bâtiment

Avantages	Inconvénients
Amélioration de la rigidité Effet diaphragme Pas de modification des espaces intérieurs	Peut être inacceptable architecturalement Risque de créer des irrégularités en élévation Nécessite un calcul complet du bâtiment Travaux lourds

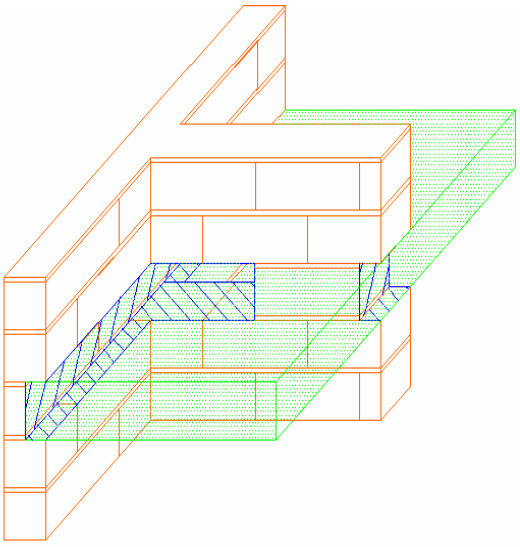
Commentaires :
Concerne également le renforcement d'un plancher à poutrelles métalliques. Technique de renforcement traditionnelle.

Objectifs

On souhaite conférer au plancher traité un fonctionnement de diaphragme, et souvent de doter en même temps le bâtiment d'un chaînage horizontal.
Il est parfois possible de couler sur les poutres une dalle de répartition, de préférence en béton léger, mais il faut vérifier que la maçonnerie peut reprendre cette surcharge sans désordre. Lorsqu'elle est envisageable, cette solution est la plus efficace. Il faut lier la dalle aux murs en creusant une engravure dans les murs périphériques et en y laçant des ancrages adaptés (voir schéma ci dessous). Avant le coulage et la prise du béton, il faut assurer un étaiement soigné, sur plusieurs étages le cas échéant, pour éviter l'effet de mare et répartir les surcharges en phase de construction.

Précautions et limites d'utilisation :
Une vérification de la capacité portante des fondations et de la maçonnerie doit être faite au préalable.
Soigner la liaison plancher mur
Affaiblissement du mur au niveau des planchers lors des travaux
Tenir compte des variations géométriques du bois

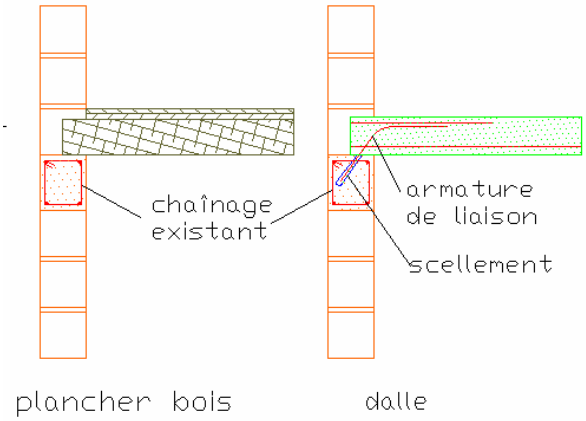
Mise en œuvre pratique:
Plancher bois d'une maison individuelle non chaînée (avec conservation des poutres) :
Ces dispositions nécessitent des murs porteurs d'au moins 20cm de large. On pourra se référer au schéma d'en-tête de fiche.
Préparation :
Vider les pièces des meubles du niveau courant et du niveau inférieur. Protéger le sol du niveau inférieur. Prévoir l'acheminement du béton et l'évacuation des gravas. Démonter le revêtement de sol et le plancher existant au niveau courant.
Coffrage
Poser le coffrage perdu en contreplaqué qui servira également de platelage. Etayer les poutres existantes (diviser la portée par 2 au moins).Etayer si besoin les murs de grande longueur avec des étais tire-pousse et prévoir les réservations (pieds des étais, gaines).
Exécution
Réaliser les saignées du chaînage sur le pourtour du plancher sur la demi-épaisseur des murs porteurs, i.e. au moins 10cm. Pour les refends, on crée des réservations pour garantir la continuité des armatures et du plancher d'une part, et la continuité du refend d'autre part. Poser le ferraillage de la dalle, celui du chaînage et les armatures de continuité à travers les refends. Le ferraillage de la dalle doit être prévu pour supporter sont poids propre et les charges d'exploitation sans participation des poutres. On peut aussi envisager une participation des poutres à la reprise du moment de flexion, mais il faut alors connecter la dalle à la poutre et calculer l'ensemble en section mixte.



Principe des réservations

Coulage et finitions
On procède ensuite au coulage de la dalle. On peut utiliser un béton classique ou un béton léger si ses performances mécaniques sont suffisantes. Un soin particulier doit être apporté à a pénétration du béton dans la saignée. Une fois que le béton a fait prise, coffrer le reste du chaînage dont le niveau est supérieur à la dalle. Couler le reste du chaînage. Lorsque le béton a atteint une résistance suffisante, ôter les étais tire-pousse, boucher les réservations et procéder au ragréage de la dalle et des chaînages. Oter les étais à l'étage inférieur, et remettre en état. Pose du nouveau revêtement de sol et remise en état de la pièce. On peut alors passer à la pièce suivante selon la même procédure.

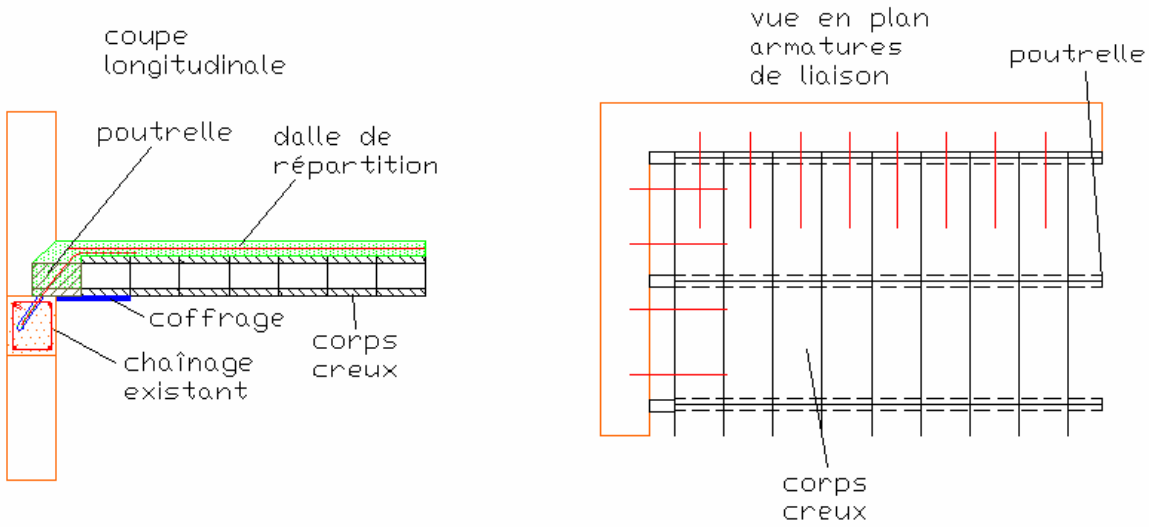
Cas du chaînage existant
La difficulté tient à la nécessité de lier le chaînage à la dalle, de manière à transmettre le cisaillement lorsque le bâtiment tend à se mettre en parallélogramme. Une solution consiste à sceller les armatures de la dalle dans le chaînage sur tout le pourtour du plancher. Le scellement se fait à la résine époxy ou au coulis de ciment. Le but est de réaliser une sorte de couture de l'interface. Le cisaillement des armatures et leur longueur d'ancrage doivent être vérifiés.
Dans la majorité des cas, les poutres bois reposent sur le chaînage. Elles ne pourront donc pas être gardées.
Préparation
Comme précédemment, à ceci près qu'on ne dispose pas des poutres pour soutenir le coffrage de ka dalle.
Exécution
Après avoir ôté les poutres, piquer la surface du chaînage pour garantir une meilleure adhérence du béton. Réaliser les trous de scellement. Nettoyer à l'air. Sceller les armatures de liaison. Mettre en place le coffrage de la dalle et les armatures (treillis soudé, chapeaux). Saturer d'eau le chaînage existant.



Coulage et finitions
Couler la dalle en veillant à une bonne pénétration du béton dans les engravures. Après la prise, enlever les étais et poser le revêtement de sol. Désinstaller le chantier et remettre en état (revêtements muraux, meubles…).

Cas des planchers béton préfabriqués (corps creux)
On suppose l'existence d'un chaînage horizontal. Sinon on est ramené au premier cas avec le plancher en bois.
Le plancher est déjà en béton, mais il ne peut pas être considéré comme un diaphragme car il n'est pas assez rigide au cisaillement. Une solution est de lui ajouter une dalle de répartition d'épaisseur 6cm environ. En plus de solidariser les blocs préfabriqués et les poutres, elle reprendra elle-même le cisaillement et empêchera le bâtiment de se mette en parallélogramme. Il faut alors vérifier que les poutrelles sont capables de reprendre la surcharge de béton frais, après étaiement si nécessaire (conseillé tous les 2m). Les corps creux servent de coffrage.

Préparation
Comme dans le premier cas.
Exécution
Dégager ces corps creux en dégarnissant le plancher de son revêtement et de la chape. A l'interface avec le mur, dans le sens transversal, détruire le dernier bloc de béton de chaque trame. Réaliser les trous de scellement dans le chaînage sur tout le pourtour du plancher et sceller les armatures de liaison (idem cas précédent). Boucher les alvéoles des corps creux en rive de plancher (sens transversal). Coffrer les rives dégagées. Mettre en place le ferraillage de la dalle.
Coulage et finitions
Couler la dalle de répartition et les extrémités de plancher. Après séchage, enlever les étais et procéder aux finitions.



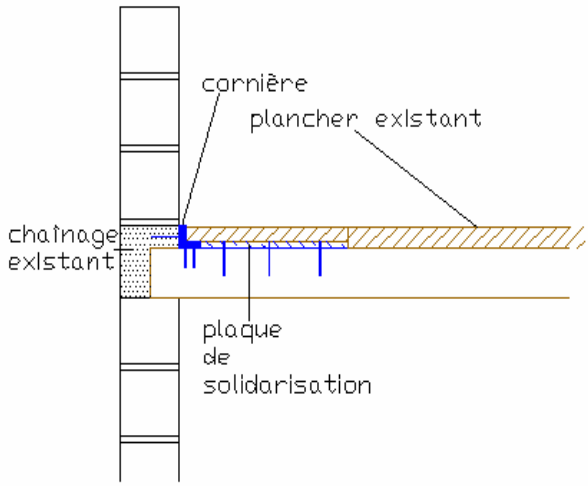
Plancher mixte bois/béton
Une solution pour renforcer les planchers en bois semble se développer, à savoir les planchers mixtes bois/béton. Le principe est d'associer les deux matériaux en conservant la poutraison existante (esthétique, absence de démontage, support de coffrage) et d'ajouter une dalle en béton léger (isolation acoustique, surcharges reprises plus importantes). La connexion entre les deux matériaux est assurée par des rainures et des éléments métalliques (vis, connecteurs à clous). Les premiers essais dans le domaine donnent des résultats intéressants pour ce qui est de critères de flèche et de résistance à la flexion. Les solutions de connexions sont également satisfaisantes du point de vue de la reprise du cisaillement. La légèreté de la dalle finie permet d'augmenter la résistance à la flexion (ce qui peut être souhaitable en cas de changement d'utilisation du bâtiment) sans pour autant augmenter beaucoup l'effort horizontal, qui dépend de la masse du plancher, ni la surcharge sur les fondations existantes. Pour ce qui est des possibilités d'utiliser cette nouvelle dalle comme diaphragme, des études doivent être spécifiquement conduites. Il faut prendre en compte la connexion à la structure verticale et l'éventualité d'y intégrer un chaînage horizontal (ce qui a priori peut être réalisé comme dans les cas précédents), mais aussi la plus faible résistance du béton léger. L'effet de chargements dynamiques sur la connexion bois/béton doit aussi être étudié.

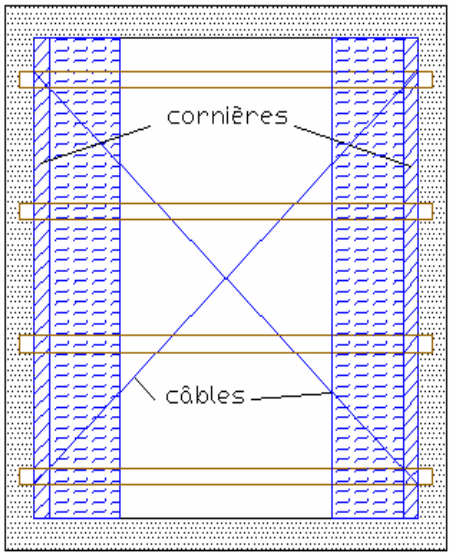
Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Les chaînages ou les engravures doivent être faits par une entreprise spécialisée pour ne pas trop affaiblir les murs lors des travaux.
Peut être entrepris en site occupé, à condition de libérer la pièce en question et celle du niveau inférieur. Nuisances importantes (travaux de gros-œuvre : bruits, poussières, traces).
Nécessité de vérifier la capacité portante des murs et des fondations (surcharges dues au béton environ 10 fois plus lourd que le plancher bois) et la reprise des efforts horizontaux par les murs (effet diaphragme, niveau lourd donc effort horizontaux plus grands).

Fiche Technique de renforcement

Référence : renf

Renforcement des planchers -
Solidarisation des solives -
Augmentation de la surface d'appui des planchers





Domaine de renforcement : contreventement horizontal

Types de bâtiments concernés : bâtiments à planchers bois

Caractéristiques mécaniques visées :
transmission des efforts horizontaux à la structure
Raideur en torsion du bâtiment

Avantages	Inconvénients
Amélioration de la rigidité Pas de modification des espaces intérieurs Pas de surcharge du bâtiment Travaux légers, nuisances assez faibles Les assemblages donnent de la ductilité Technique relativement facile	Peut être inacceptable architecturalement Risque de créer des irrégularités en élévation Effet diaphragme limité

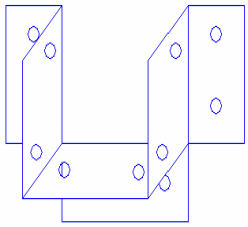
Commentaires :
Fait appel à des techniques de renforcement classiques

Objectifs :
Cette technique nécessite un chaînage existant au niveau des poutres et dans les angles.
Pour obtenir un effet de diaphragme, il faut garantir la liaison mur plancher et la rigidité en plan du plancher. On cherche à améliorer la rigidité du plancher en renforçant la connexion poutre plancher et en liant les solives entre elles (cloutage des plaques de bois (panneaux de particules ou contreplaqué par exemple), renforcement par cornières, triangulation). On peut également trianguler l'ensemble du plancher par des tirants (palée de contreventement). La liaison des poutres avec le mur doit elle aussi être renforcée par exemple par des connecteurs métalliques scellés au mur. Notons toutefois que la connexion rigide entre les poutres et les murs est très difficile à cause des variations géométriques de pièces de bois selon l'hygrométrie.

Précautions et limites d'utilisation :
Nécessite un chaînage horizontal existant au niveau des planchers
Liaison plancher mur
Affaiblissement du mur au niveau des planchers
Tenir compte des variations géométriques du bois

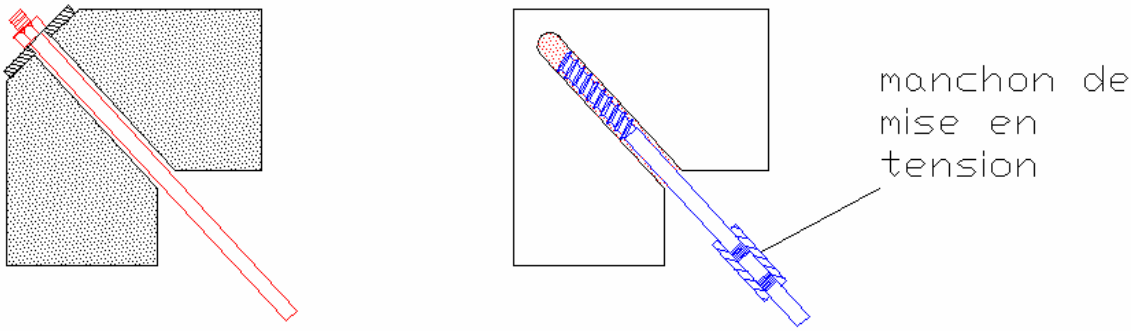
Mise en œuvre pratique:
Préparation
Vider les deux pièces concernées (haut et bas) et ôter le revêtement de sol existant sur le plancher à traiter. Démonter le platelage pour faire apparaître les poutres. Disposer un platelage provisoire pour les travaux sur le plancher.

Solidarisation des poutres (Voir schéma d'en-tête)
Percer les points de scellement de la cornière dans le chaînage (murs perpendiculaires aux poutres). Sceller la cornière (chevilles à expansion et vis ou résine époxy). Fixer les poutres aux cornières (vis auto taraudeuses) en deux points, en zone centrale de la poutre pour éviter l'éclatement du bois. Une variante consiste à utiliser des sabots faits à l'aide d'une cornière pliée en U et qu'on fixe autour du talon de la poutre. Il existe aussi des sabots pour charpente industrielle. On ne les utilisera que si leur épaisseur est suffisante (1.5 mm). Au droit des refends, entretoiser les poutres de part et d'autre du mur.



Fixer les plaques de solidarisation à chaque extrémité du plancher. Celles-ci doivent être suffisamment larges et épaisses pour former une fois fixées sur les poutres, un ensemble rigide dans le plan et hors plan. Elles doivent être de plus continues afin de solidariser toutes les poutres. On aura intérêt à prendre la plus grande largeur qu'il est possible d'acheminer sur place avec la longueur requise (au minimum 50cm pour une portée des poutres de 3,5m). Ces plaques doivent s'opposer au glissement des poutres ; la connexion travaille en cisaillement. On utilisera des plaques de contreplaqué ou des panneaux de particules de 20mm d'épaisseur au moins pour les espacements courant entre poutres. Une variante consiste à utiliser des plaques métalliques. Un soin particulier doit être apporté à la connexion pour que les vis ne déforment pas les plaques et créent ainsi jeu qui annulerait l'effet recherché.

Contreventement horizontal
On désire faire passer les tirants à ras des poutres entre le plancher et les poutres ; cependant il faut éviter tout contact des tirants avec les poutres pour ne pas introduire d'efforts parasites dans les poutres ni de pertes de tension dans le câble. Percer en biais le chaînage aux angles afin de sceller les ancrages des tirants. L'ancrage est soit scellé à la résine, soit le trou est débouchant et l'ancrage s'appuie sur le chaînage du coté extérieur. On peut utiliser aussi des ancrages pour câbles de précontrainte. Tendre les tirants pour annuler les jeux et anticiper le fluage d'ensemble : les tirants n'assurent le contreventement que lorsqu'ils sont tendus. Les tirants pourront être au choix des câbles ou des barres métalliques filetées aux extrémités.



Exemple de scellement des tirants

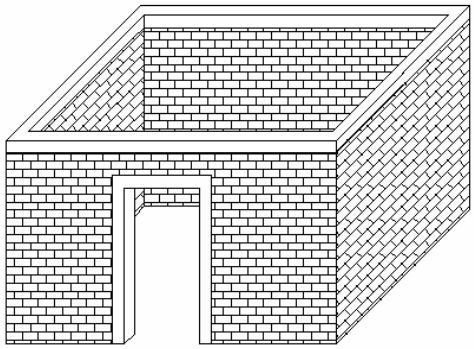
Pose du plancher et finitions
Calepiner le plancher pour laisser passer les tirants puis poser le platelage (panneaux de particules par exemple, puis le clouer sur les poutres (pointes torsadées de 90mm tous les 30 cm). Poser le revêtement de sol, l'isolation (éventuellement) et le faux plafond (entre les poutres pour cacher les tirants) et remettre en état les pièces.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique relativement rapide.
Immobilisation des pièces, mais le reste du bâtiment peut être occupé. Nuisances assez faibles (bruits de perçage, poussières)

Fiche Technique de renforcement

Référence : hor

Chaînage horizontal -
Création ou réparation d'un chaînage
en tête de bâtiment



Domaine de renforcement : ensemble du bâtiment

Types de bâtiments concernés : bâtiments à mur de maçonnerie

Caractéristiques mécaniques visées :
Transmission des efforts à la maçonnerie (cisaillement)
Confinement des blocs
Stabilité d'ensemble, liaison des murs

Avantages	Inconvénients
Evite la déstructuration du bâtiment	Travaux lourds Difficulté de la mise en œuvre Affaiblissement des murs pendant la phase de travaux Hétérogénéité de raideur Modification de la répartition des charges Dans certain cas, ne peut être mise en œuvre que par beau temps.

Commentaires :
S'applique aussi à l'amélioration des chaînages existants. Plus adapté aux travaux de réhabilitation lourde
Le chaînage sous toiture est insuffisant pour garantir la stabilité du bâtiment si les murs sont hauts (plus de deux niveaux). Il faut également prévoir un chaînage des planchers (voir fiche dia2).

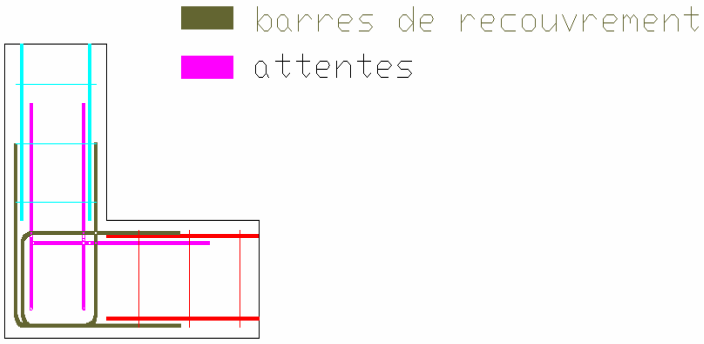
Objectifs
On cherche à lier ensemble tous les éléments de maçonnerie (blocs de béton ou briques) afin d'améliorer le comportement d'ensemble. Cette technique permet une redistribution des efforts

lorsqu'une zone particulière est sollicitée. Pour être vraiment efficace, le chaînage doit être horizontal et vertical. Ici on se limite au cas où, soit le chaînage vertical existe, soit un dispositif de renforcement des angles et des intersections murs/refends a été adopté (harpage efficace des maçonneries, utilisation de blocs d'angles, existence d'un ferraillage vertical). Dans la suite, le terme chaînage vertical englobera l'ensemble de ces dispositions constructives. Le cas où la réalisation de chaînages dans les deux directions est nécessaire conduit à des travaux trop lourds pour être envisageables.

Précautions et limites d'utilisation :
Étayer les murs et vérifier leur capacité portante pendant les travaux.
Veiller au recouvrement suffisant des armatures dans les coins.
Prévoir des cadres de cisaillement régulièrement espacés.
Soigner la liaison entre le chaînage et les murs pour une bonne transmission des efforts.

Mise en œuvre pratique:
En ôtant la toiture : C'est la méthode la plus lourde. La pluie peut considérablement gêner les opérations si le bâtiment reste occupé. On peut alors réaliser le chaînage de l'ensemble du bâtiment au sommet des murs. Pour être efficace, le chaînage doit être continu et porter sur des murs qui sont tous au même niveau. Son exécution est semblable à celle d'une poutre, à ceci près que le chaînage repose sur le mur. On prévoira des dispositifs d'ancrage de la toiture dans le chaînage.
Préparation :
Monter l'échafaudage et la grue. Isoler le reste du bâtiment en cas de pluie (bâche). Enlever la couverture et la stocker pour une éventuelle réutilisation. Démonter les poutres secondaires (sens longitudinal). Démonter la structure principale : fermettes, poutraison principale. Si la charpente est en bon état et si le projet le prévoit, on pourra remonter la charpente à l'identique à la fin des travaux. Démolition des pignons jusqu'au niveau du futur chaînage.

Exécution du chaînage



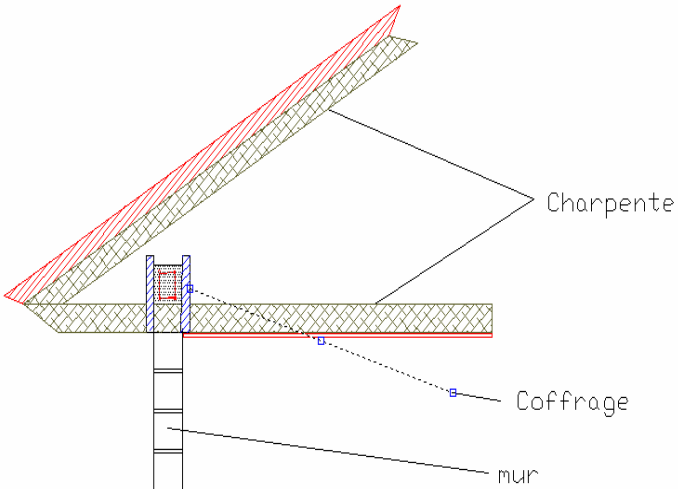
Coffrer le chaînage sur l'ensemble du bâtiment avec une épaisseur de chaînage d'au moins 20cm. Mettre en place le ferraillage (longitudinal et transversal). Veiller au bon recouvrement des armatures longitudinales dans les angles (longueur de recouvrement suffisante, pliage en angle droit dans les angles). Il faut absolument lier le chaînage horizontal au chaînage vertical. Sceller des attentes verticales au droit de celui-ci, et les relier sur le ferraillage horizontal.
Couler le béton. Bien vibrer pour que le béton pénètre partout.

Remise en place de la toiture
Reconstruire les pignons en maçonnerie et poser la charpente. Solidariser la charpente et le chaînage en scellant les connecteurs dans le béton (fermettes). Procéder à la couverture et aux finitions (revêtement mural sur les pignons, zinguerie)

Variantes :

Reprise en sous œuvre:
Moins tributaire des conditions météorologiques, mais plus difficile. Ne peut pas être fait en site occupé. Au vu du travail demandé, il serait peut-être judicieux de créer directement un diaphragme (dalle béton).
Étayer la toiture près du mur. Reprise en sous œuvre : créer les engravures horizontales sur une demi-épaisseur du mur, mettre en place des armatures (barres ou profilé), couler le béton. Après durcissement du béton on peut réaliser la deuxième moitié. Si la partie de mur au dessus du chaînage est lourde (pignon), on peut le réaliser par tranche d'un mètre environ afin de ne pas trop affaiblir le mur. Le problème est de garantir la continuité des armatures du chaînage.
Veiller à lier les deux parties du chaînage entre elles.

Chaînage sous toiture :



Certaines toitures ont l'avantage de présenter un écart suffisant entre le dessus du mur et les chevrons. On peut alors y placer le chaînage sans démonter la toiture ni la reprendre en sous œuvre. Les travaux peuvent être faits en site occupé. L'espace est néanmoins encombré ce qui rend difficile son accès. Si c'est possible on va créer le chaînage au dessus de la poutre. Il faut quand même garantir un jeu suffisant entre la poutre et le béton pour ne pas gêner les dilatations du bois. On peut par exemple entourer la poutre de polystyrène expansé en feuilles de 2 cm d'épaisseur, qui seront enlevées après la prise du béton. L'exécution est semblable au premier cas sans dépose de la toiture.
Préparation
Ouvrir un accès par le toit. Faire un platelage sur les poutres dans les combles.

Réalisation du chaînage
Creuser les engravures dans les pignons et les refends. Coffrer l'espace entre les poutres et sur la hauteur du chaînage. Protéger les poutres en les recouvrant de polystyrène expansé à l'intérieur du coffrage (épaisseur de 2 cm environ). Mettre en place le ferraillage en veillant à la liaison avec les chaînages existants. Couler le béton.
Repli du chantier.

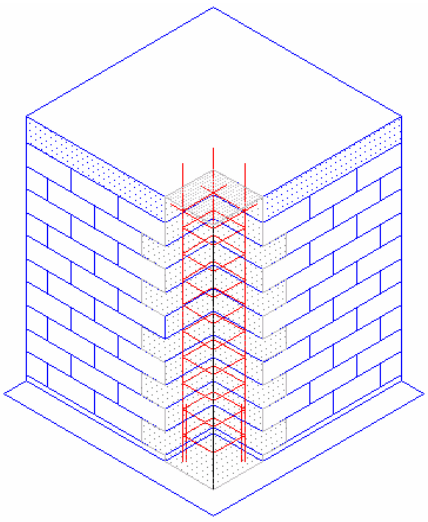
A titre d'indications, un chaînage classique sous la toiture sur la totalité de l'épaisseur du mur comporte 4 armatures longitudinales HA10 et de cadres HA6 espacés de 20 cm.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique lourde, sauf dans la dernière variante. La deuxième variante nécessite de travailler en site libre.

Fiche Technique de renforcement

Référence : vert

Chaînage vertical -
Création ou réparation d'un chaînage



Domaine de renforcement : ensemble du bâtiment

Types de bâtiments concernés : bâtiments à mur de maçonnerie

Caractéristiques mécaniques visées :
Transmission des efforts à la maçonnerie (cisaillement)
Confinement des blocs
Stabilité d'ensemble, liaison des murs

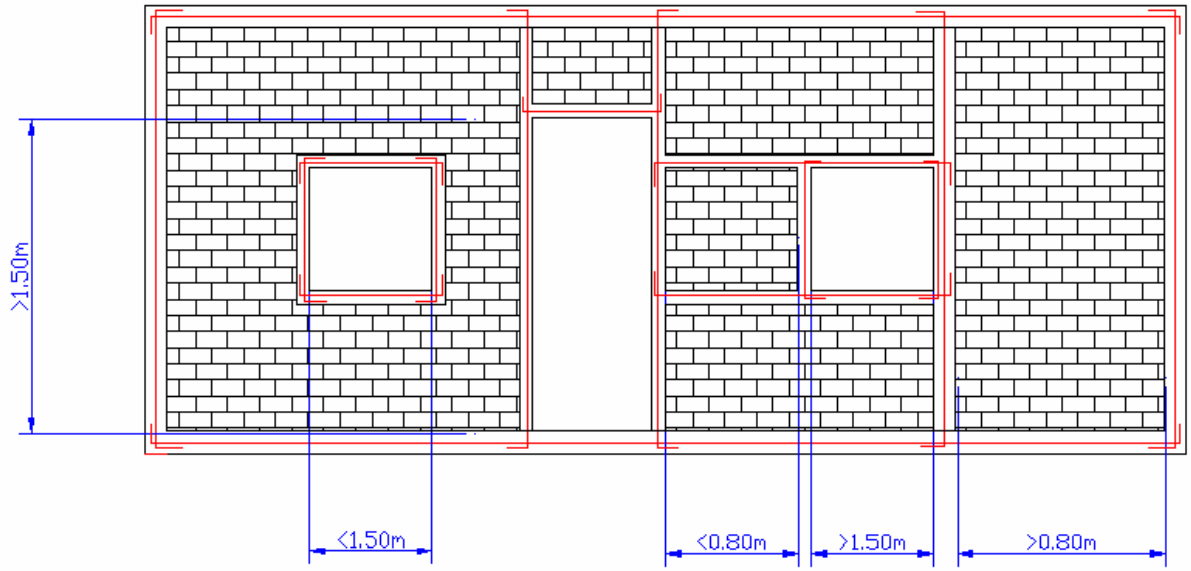
Avantages	Inconvénients
Evite la déstructuration du bâtiment	Travaux lourds Difficulté de la mise en œuvre Affaiblissement des murs pendant la phase de travaux Hétérogénéité de raideur Modification de la répartition des charges Risque de désordres locaux

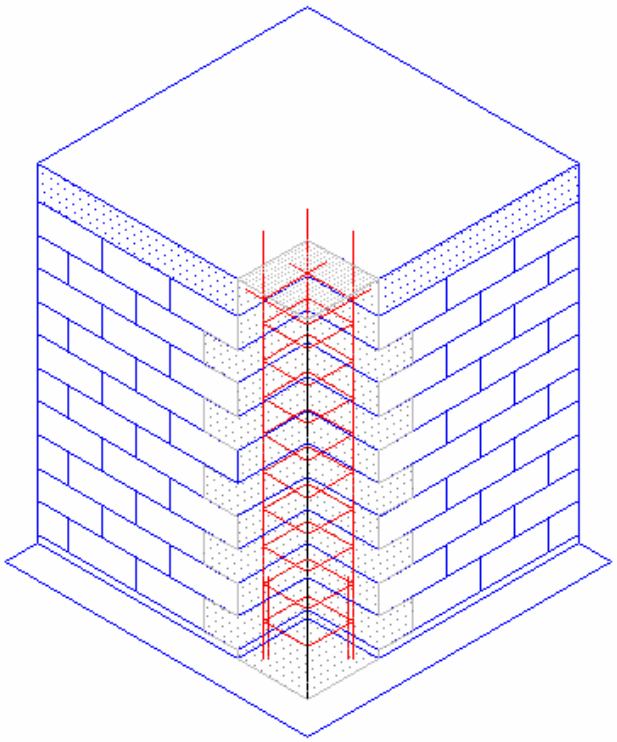
Commentaires :
S'applique aussi à l'amélioration des chaînages existants. Plus adapté aux travaux de réhabilitation lourde
Le chaînage vertical nécessite un chaînage horizontal préalable. En cas d'absence de ce dernier, il faut prévoir de le réaliser aussi. Néanmoins, il semble plus pratique de réaliser d'abord le chaînage vertical.

Objectifs
Le but est de rendre le bâtiment non fragile. On cherche à lier ensemble tous les éléments de maçonnerie (blocs de béton ou briques) afin d'améliorer le comportement d'ensemble. Cette technique permet une redistribution des efforts lorsqu'une zone particulière est sollicitée. Pour être vraiment efficace, le chaînage doit être horizontal et vertical.

Précautions et limites d'utilisation :
Veiller au recouvrement suffisant des armatures dans les coins.
Prévoir des cadres de cisaillement régulièrement espacés.
Soigner la liaison entre le chaînage et les murs pour une bonne transmission des efforts.

Mise en œuvre pratique:
Création d'un chaînage en béton
Il s'agit de techniques très lourdes. L'accès par l'intérieur est réservé aux cas de réhabilitation lourde en site libre. Les chaînages doivent être réalisés dans les angles et en partie courante de façon encadrer les grandes ouvertures. On rappelle ci-dessous le principe des chaînages verticaux donné dans le guide CP-MI Antilles (dans les zones de sismicité moyenne, ces exigences peuvent être abaissées) :





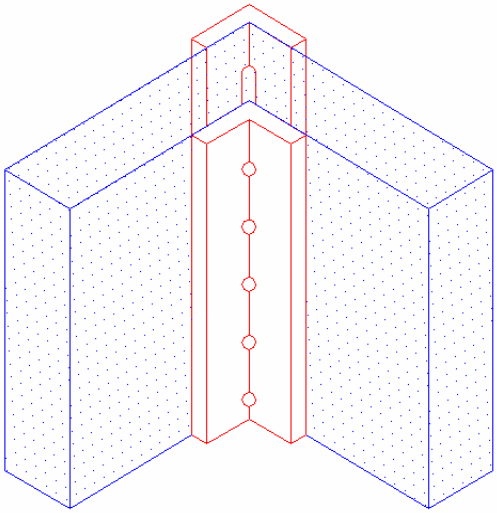
Par l'extérieur
Préparation :
Faire une saignée verticale d'une profondeur d'au moins 15 cm et une largeur de 20cm sur toute la hauteur du bâtiment. Veiller à faire apparaître les armatures des chaînages horizontaux afin de créer une liaison efficace au nœud. Dans le cas de bâtiments à dalle, cela implique de traverser celle-ci. Sceller des tiges verticales dans les fondations pour assurer une bonne transmission des efforts.

Exécution :
Ferrailler avec des armatures de poteau : armatures longitudinales (minimum

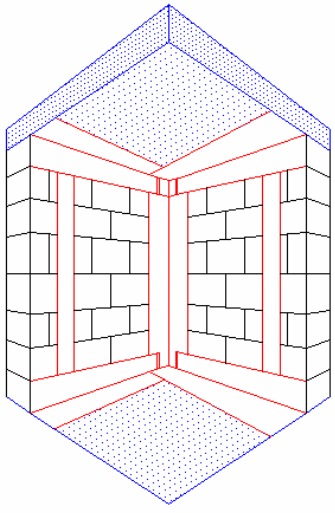
4HA10) et cadres (HA6 tous les 15cm). S'il n'y a pas suffisamment d'armatures dans le nœud de liaison avec la dalle ou le chaînage horizontal, sceller des tiges horizontales en veillant à atteindre le ferraillage horizontal avec une longueur de recouvrement suffisante. Dans tous les cas les longueurs d'ancrage et de recouvrement prévus par les règles PS 92 et BAEL 91 doivent être respectées. Les armatures longitudinales doivent être rectilignes sur toute la hauteur du bâtiment.
Coffrer sur la hauteur d'un niveau. Couler le béton et vibrer par l'extérieur. Le béton doit être assez fluide pour atteindre tous les points du coffrage et remplir les espaces dans les blocs cassés. L'efficacité de la liaison avec la maçonnerie en dépend. Veiller surtout au bétonnage correct du nœud. Le lendemain on peut passer au niveau supérieur.

Finitions :
Décoffrer et boucher les trous non comblés. Refaire les revêtements extérieurs.
Par l'intérieur
La démarche est similaire mais plus difficile du fait des problèmes d'accès. On se contentera de percer la dalle afin de faire passer les armatures de continuité.

Chaînage métallique
Les armatures sont cette fois extérieures au mur afin d'éviter de l'affaiblir. On souhaite solidariser les blocs en les confinant.
Par assemblage
On utilise des plats et des cornières de part et d'autre du mur. Ceux-ci sont ensuite reliés par des tiges filetées afin d'assurer la transmission des efforts et de confiner les blocs. Il faut s'assurer qu'il n'y a pas de risque de fissuration des blocs en contact avec les tiges sous l'effet des contraintes locales.



Par collage
Les mêmes éléments métalliques sont utilisés mais ils sont collés sur la maçonnerie. Leur dimension (largeur) est liée à la longueur d'ancrage nécessaire pour réaliser le collage.
Préparation :
Gratter le revêtement des murs à l'extérieur et à l'intérieur pour faire apparaître la maçonnerie à l'endroit du chaînage. Percer les dalles et les fondations pour faire passer des tiges de continuité. Les sceller à la résine ou au mortier. Pour les plats assemblés, repérer les emplacements des tiges filetées et percer le mur.
Exécution :
Placer les plats et souder les liaisons d'un même coté (entre plats ou avec les tiges de continuité). Boulonner les assemblages ou coller les plats (ne pas oublier d'appliquer une pression sur les plats pendant le collage).



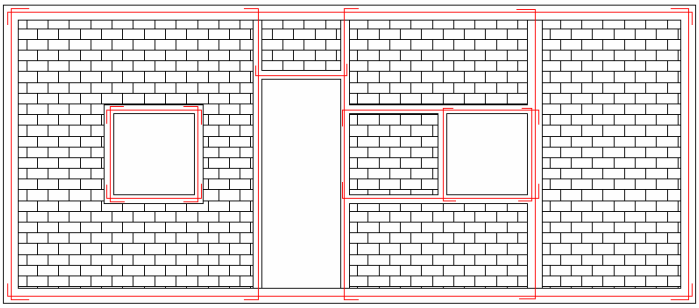
Finitions :
Enduire ou peindre les plats pour les protéger de la corrosion. Poser les revêtements muraux et l'isolation.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique lourde.

Fiche Technique de renforcement

Référence : enc

Encadrement des ouvertures
Création ou réparation de linteaux et de montants



Domaine de renforcement : ouvertures

Types de bâtiments concernés : bâtiments à mur de maçonnerie

Caractéristiques mécaniques visées :
Transmission des efforts à la maçonnerie (cisaillement)
Confinement des blocs

Avantages	Inconvénients
Évite la déstructuration du bâtiment Renforce les ouvertures, ce qui facilite l'évacuation du bâtiment après sinistre Possible en site occupé	Travaux assez lourds, mais locaux

Commentaires :
S'applique aussi à l'amélioration des chaînages existants. Plus adapté aux travaux de réhabilitation lourde. Peut être planifié par phase (pièce par pièce par exemple). Techniques de renforcement classiques.

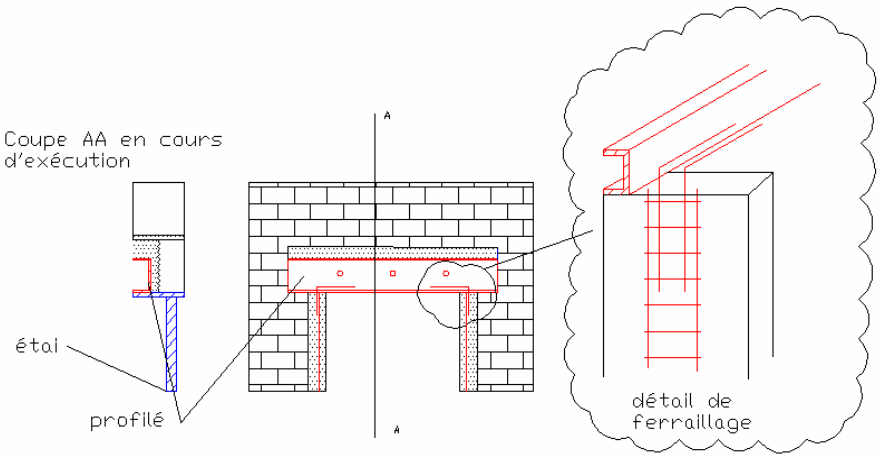
Objectifs
On cherche à lier ensemble tous les éléments de maçonnerie (blocs de béton ou briques) afin d'améliorer le comportement d'ensemble. Cette technique permet une redistribution des efforts lorsqu'une zone particulière est sollicitée. Pour être vraiment efficace, le chaînage doit être horizontal et vertical. Souvent un linteau existe déjà, pour des raisons de facilité de la construction. Par contre, dans ce cas, il est très difficile de connaître le taux d'armatures a priori. Le principe de chaînage global d'un mur à ouvertures est donné par le schéma d'en-tête.

Précautions et limites d'utilisation :
Étayer les ouvertures.
Veiller au recouvrement suffisant des armatures dans les coins.
Prévoir des cadres de cisaillement régulièrement espacés lorsque les encadrements sont en béton armé.
Soigner la liaison entre le chaînage et les murs pour une bonne transmission des efforts.
Contrôler le retrait du béton et s'assurer qu'il ne remet pas en cause l'efficacité de l'encadrement.

Mise en œuvre pratique:
Préparation :
Ôter les huisseries. Mettre en place un échafaudage bas.
Exécution des travaux
En l'absence de linteau existant :

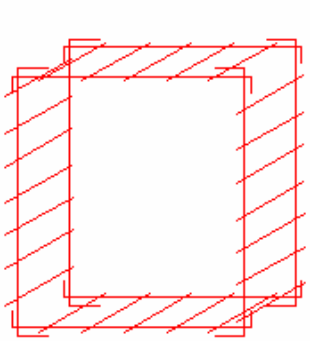
Mur fortement chargé : La descente de charges se fait par voûte de déchargement autour de l'ouverture. Il faut veiller à ne pas trop perturber la descente de charge pendant l'exécution. On procède par reprise en sous œuvre.

Linteau : On va le réaliser avec des profilés métalliques (IPE ou U) sur la demi-épaisseur du mur. Étayer la partie supérieure de l'ouverture sur une demi-épaisseur en pinçant une plaque qui servira de coffrage pour la face inférieure du liteau. Faire une engravure dans le mur sur l'autre demi épaisseur. Celle-ci doit être suffisamment large pour que le linteau fonctionne lorsqu'on creusera les jambages. Mettre en place le profilé. Bourrer de béton et veiller à ce qu'il pénètre partout et assure un bon contact entre la maçonnerie supérieure et le profilé. Laisser sécher suffisamment pour que le béton atteigne une résistance suffisante pour reprendre la descente de charge.
Déplacer les étais sous la partie qui vient d'être terminée. Procéder comme précédemment sur la partie restante et lier les profilés par des tiges filetées tous les 15 cm. Une fois que le béton a la résistance suffisante on peut passer à la réalisation des jambages.



Jambages : On exécute en une seule fois les jambages et le fond de l'encadrement sur toute la largeur. Casser la maçonnerie sur une dizaine de centimètres de profondeur. Rainurer le béton entre les profilés du linteau pour faire passer les armatures de liaison. Mettre en place les parois latérales du coffrage. Placer le ferraillage en scellant les armatures de liaison dans le linteau au mortier à prise rapide. Fermer le coffrage vertical en laissant une ouverture pour couler le béton. Couler le béton. Après séchage, enlever les étais et boucher les trous et enrober les profilés de béton (projeté sur du grillage à moutons).

Mur faiblement chargé : L'encadrement a seulement un rôle de solidarisation des blocs. On peut alors exécuter l'encadrement en une seule fois. Préparer le ferraillage complet. Elargir l'ouverture de 10 cm sur son périmètre. Placer les armatures. Coffrer et couler le béton. Pour assurer une bonne liaison en partie supérieure, boucher éventuellement l'espace entre le linteau et la maçonnerie avec du mortier ou de la résine après que le béton a effectué son retrait.



ferraillage d'une fenêtre

Avec un linteau existant :

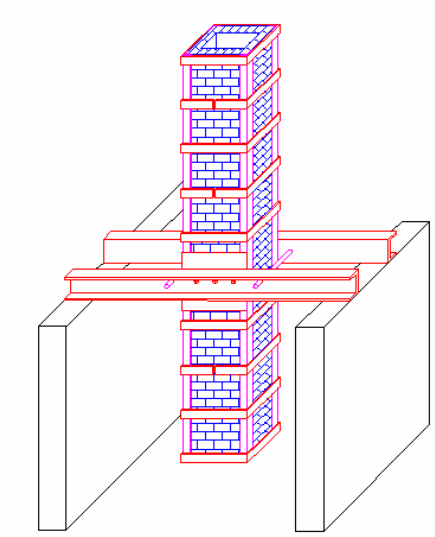
Étayer le linteau existant. Élargir l'ouverture pour réaliser les jambages et la semelle. Piquer le linteau pour faire apparaître les armatures sur une dizaine de centimètres au droit des jambages. S'il s'agit d'un linteau métallique, procéder comme dans le premier cas. Placer les armatures et les armatures de liaison. Sceller ces dernières au mortier. Coffrer et couler comme précédemment.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
La création de linteaux est relativement courante en réhabilitation classique. Le fonctionnement correct des encadrements est très lié à la qualité d'exécution. Une mise en charge trop rapide peut fissurer le béton ou désolidariser la maçonnerie, ce qui rendrait inutile les travaux. Dans la technique de base, on réduit les délais lorsqu'on renforce plusieurs ouvertures, puisque le séchage est fait en temps masqué. Prévoir le remplacement des huisseries.

Fiche Technique de renforcement

Référence : ssec

Renforcement de la structure secondaire :
Cheminées, balcons, marquises,
éléments de façade



Domaine de renforcement : structure secondaire

Types de bâtiments concernés : tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées :
Non effondrement partiel

Avantages	Inconvénients
Petits travaux extérieurs Peut éviter des victimes Diagnostic simple	Risque souvent sous évalué

Commentaires :
Fait appel à des techniques de renforcement classique et simples.

Objectifs :
Il s'agit d'éviter la fragilité des éléments de structure secondaire dont la chute pourrait affecter la structure principale ou faire des victimes.

Précautions et limites d'utilisation :
Ces dispositions sont à prendre avant toutes autres mesures plus importantes visant la structure principale. Cependant elles ne garantissent pas la tenue de cette dernière.

Mise en œuvre pratique:
Diagnostic :
Repérer tous les éléments de structure secondaire présentant un risque d'effondrement. Chercher les moyens de prévention existant (liaisons, dispositifs de retenue). Dans le cas

d'insuffisance de ces dispositions, élaborer une stratégie de renforcement en tenant compte des effets secondaires (report de charges, forces ponctuelles…).

Renforcements courants :

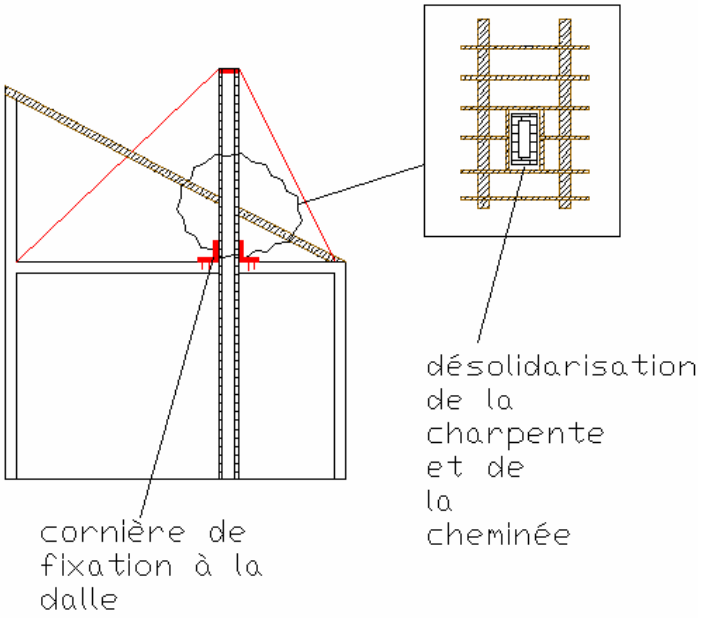
Haubanage des antennes

Il est nécessaire dans le cas d'antennes de grande hauteur et lourde. Leur chute pourrait endommager la toiture et provoquer des effondrements en chaîne. Les haubans doivent être fixés sur la structure principale (murs ou charpente) à des endroits qui ne seront pas déstabilisés par le report de charges ponctuelles. On placera au moins 4 haubans pour garantir une certaine hyperstaticité.

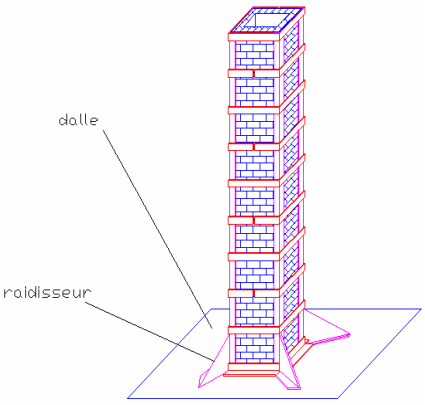
Renforcement des cheminées

Lorsque des cheminées perforent la toiture ou tombent dans la rue, elles peuvent faire des victimes. Le problème est dû à deux facteurs principaux : le poids des cheminées par rapport à la charpente (charpente en bois) et leur élancement (cas des toits de forte pente). Elles subissent un effet coup de fouet à cause de la différence de raideur avec la structure principale.

Une première solution si le poids de la cheminée n'est pas préjudiciable (ou si elle est autostable) est de l'haubaner en tête et de la solidariser à la charpente au niveau de l'interface. Les haubans sont liés à la cheminée par un collier métallique. L'ancrage des haubans doit se faire sur des éléments de structure principale capable de reprendre les tractions (refend, poteaux) ; l'ancrage en travée sur une poutre crée des moments négatifs pour lesquels il faut vérifier le ferraillage. Cette solution est néanmoins peu esthétique.

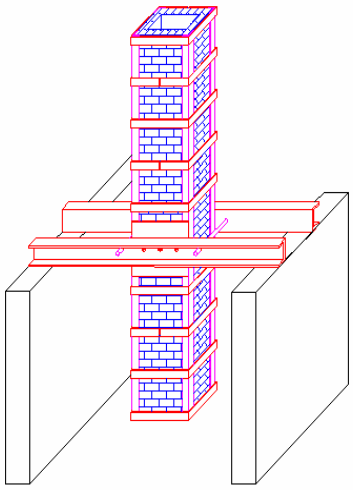


On peut aussi armer la maçonnerie par un chemisage externe de manière à la rendre capable de reprendre les efforts liés à cet effet coup de fouet. On applique alors les méthodes du chemisage des poteaux. Un matériau composite ne peut être utilisé en raison de sa vulnérabilité à la chaleur (en plus de son coût). Le chemisage par cornières métalliques semble le plus indiqué. On veillera à protéger les éléments métalliques, par exemple par un revêtement adapté peu sensible à la chaleur (peinture, armatures galvanisées, béton…). Il faut veiller à prolonger les armatures jusqu'à la dalle la plus proche et les y ancrer pour former une liaison encastrée. En effet la formation d'une rotule dans la cheminée provoquerait son effondrement.



Une autre possibilité consiste à remplacer le conduit en maçonnerie par un conduit en tube métallique plus léger. On veillera à bien le solidariser avec la toiture. Cette solution est à privilégier si la hauteur de la cheminée par rapport à la première dalle disponible est grande. Une cheminée lourde devrait reprendre des efforts trop importants.

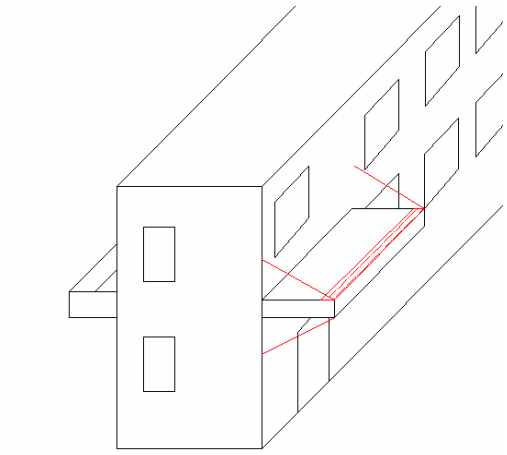
Si cette solution n'est pas envisageable, il faut créer un appui intermédiaire pour réduire la hauteur de console



de la cheminée. Le renforcement du moment résistant est fait par chemisage comme précédemment. On peut envisager de créer de part et d'autre du conduit, deux poutres parallèle en béton (coulé en place ou préfabriquées, par exemple précontrainte) au dessus du plancher haut en bois et de les lier aux refends les plus proches. Il faut les dimensionner de manière à reprendre des moments en milieu de travée (positifs ou négatifs). Si on ne peut utiliser qu'une poutre, il faut aussi la calculer en torsion ; dans ce cas on privilégiera les sections symétriques. On peut aussi utiliser des profilés métalliques. On veillera particulièrement à la liaison entre les poutres et le conduit, par exemple en soudant une plaque métallique sur les cornières où on viendra visser les poutres (voir schéma). Ensuite, une fois les poutres posées, on les solidarisera par des tirant légèrement tendus afin d'éviter les tractions perpendiculaires au conduit et assurer un travail homogène en torsion.

Renforcement des porte-à-faux

Des éléments de décoration en porte-à-faux peuvent atteindre des poids relativement importants. Leur chute peut être mortelle ou bloquer les issues de secours. On suppose que le ferraillage est insuffisant pour reprendre l'augmentation d'accélération verticale due à l'effet dynamique de la surpression (augmentation du moment de console, inversion du moment).

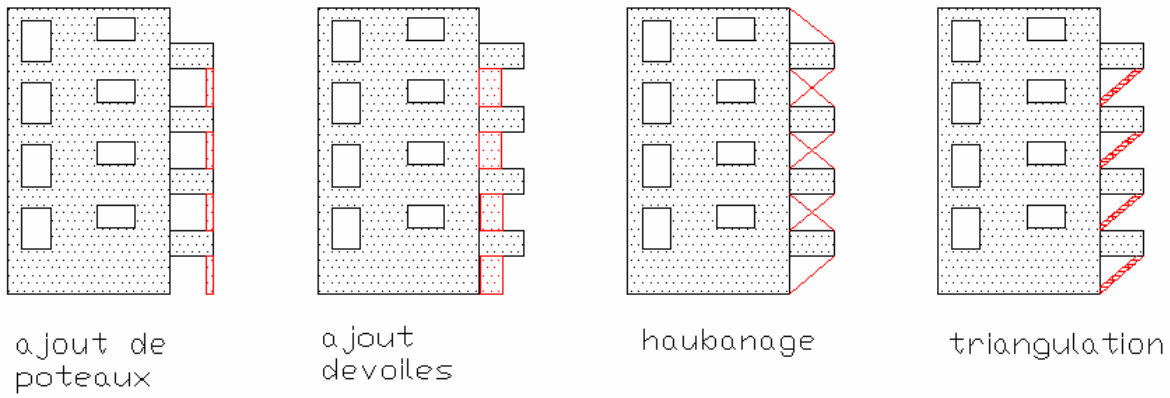


On peut décider de supprimer le porte-à-faux en créant des poteaux aux extrémités. On veillera à répartir la charge ponctuelle provoquée par la présence du poteau sur l'élément (risque de perforation), par exemple en réalisant une poutre. Il peut s'agir aussi de renforcer des poteaux existant sous-dimensionnés. On vérifiera aussi que les fondations de ces poteaux sont satisfaisantes.

Une autre solution consiste à utiliser des haubans associés à un système de répartition des efforts. Cette solution est efficace pour les accélérations vers le bas. Si le soulèvement est risqué, il faut doubler le système de haubans.

Renforcement des balcons

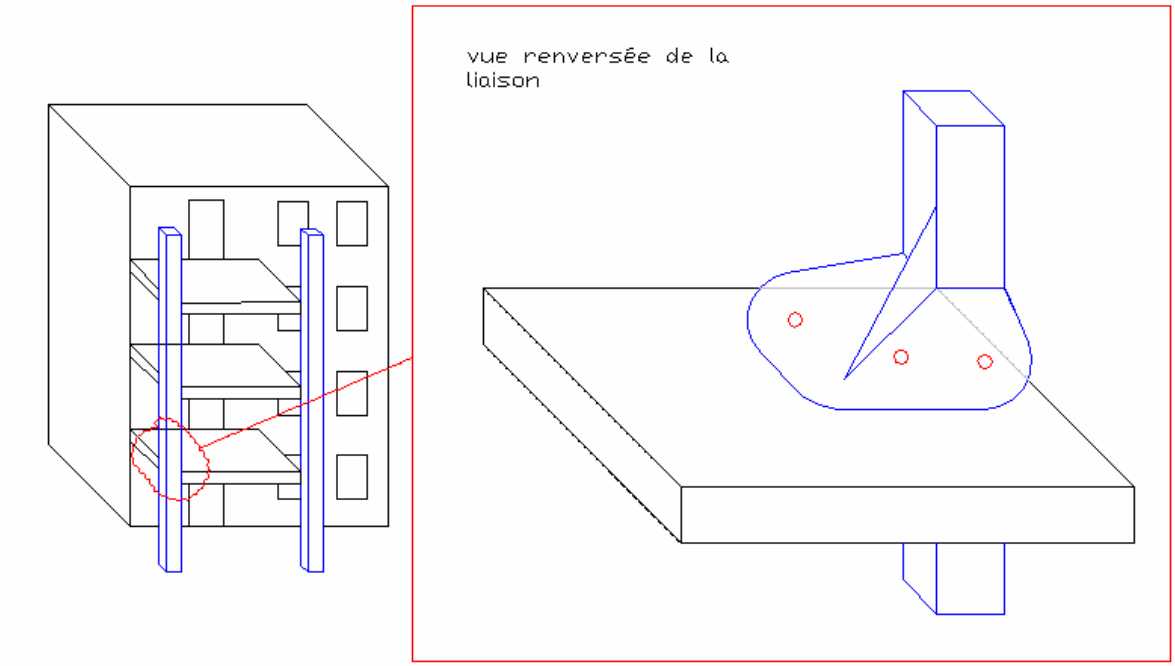
Ce sont des porte-à-faux qui sont souvent lourdement chargés. On peut les renforcer par l'ajout de poteaux sur toute la hauteur, l'ajout de voiles latéraux ou la triangulation des cotés.



Dans tous les cas on veillera à l'interaction avec la structure existante et aux fondations éventuelles (poteaux, voiles). Dans ces deux derniers cas les travaux sont importants et le coulage peut présenter des difficultés.

Si on opte pour l'ajout de poteaux, le ferraillage du balcon risque de devenir insuffisant car les armatures sont disposées à l'origine pour reprendre un moment négatif, maximal à l'encastrement. Or après ajout des poteaux, le moment maximal est positif et se situe en milieu

de travée. On peut envisager de renforcer cette partie par du composite collé en plaques en milieu de travée (entre les poteaux et entre les poteaux et la façade. La liaison des têtes de poteaux et des balcons doit être soignée pour éviter le soulèvement ou le poinçonnage. On doit enfin garantir la continuité des armatures longitudinales si ces poteaux sont en béton armé. On peut palier en partie à ce problème en envisageant des poteaux métalliques (éventuellement pourvu d'un habillage pour le traitement esthétique). Ces poteaux sont continus et sont placés contre le balcon. La liaison au balcon se fait par un gousset soudé au poteau.



Lorsqu'on ajoute des voiles sur toute la profondeur des balcons, la distribution des moments est aussi modifiée. Il faudra peut-être renforcer en travée de la même manière que précédemment mais seulement dans le sens de la largeur. Etant donné la pauvreté du ferraillage en rive d'une dalle en console, la liaison entre le nouveau voile et la dalle risque de poser problème, même si on ne considère qu'un appui ponctuel (épaufrure du béton, fissuration).
Les deux dernières techniques présentent les mêmes difficultés que pour l'ajout de poteau : il faut traiter les singularités liées aux liaisons et à la redistribution des efforts. Ces dernières méthodes sont néanmoins plus légères.

Façades préfabriquées
Il faut garantir leur stabilité et leur maintient en place. Elles doivent être accrochées aux quatre coins avec deux attaches fixes (haut) et deux attaches mobiles ou ductiles (bas). Ainsi ce système permet un mouvement des façades et les maintient en place après sinistre. Lors de celui-ci tout ce passe comme si les façades étaient suspendues par le haut. Il faut dimensionner les attaches fixes en conséquence. Prévoir un dispositif anti-désolidarisation (ou de retenue, de type lien par câble court) afin de retenir les façades en cas de rupture des attaches.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique relativement rapide et ne nécessitant généralement que des travaux extérieurs. Ceux-ci peuvent être intégrés aux frais de maintenance ou de rénovation du bâtiment.

Fiche Technique de renforcement

Référence : ens1

Solidarisation des éléments de structure par
Ajout de précontrainte extérieure

Domaine de renforcement : ensemble du bâtiment

Types de bâtiments concernés : tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées :
Augmentation du moment résistant (poutres ou planchers)
Augmentation de l'effort tranchant
Torsion : Solidarisation d'ensemble (anti-basculement des murs, solidarisation du bâtiment en un seul bloc (cas des joints de dilatation))
Liaison mur fondations
Diminution du basculement d'ensemble
Réduction de la traction dans les murs (fissures horizontales dues à l'accélération horizontale)

Avantages	Inconvénients
Diminution de l'effet de torsion Répartition des efforts horizontaux	Nécessite un calcul complet du bâtiment Tracé du câble fixé par l'effet recherché Travaux lourds Pertes de précontraintes sensibles aux déformations de la structure (fluage, déformation des murs de maçonnerie par glissement)

Commentaires :
Technique courante en génie civil (renforcement et construction des ponts)

Précautions et limites d'utilisation :
Ancrage des câbles.
Modification du cheminement des efforts.
Concentration de contraintes au niveau des ancrages.
Soulèvement des fondations.
Surcharge du mur.

Mise en œuvre :
Deux effets principaux :
Solidarisation du bloc : tracé rectiligne.
Augmentation du moment résistant d'une poutre : tracé polygonal. La présence de déviateurs augmente les pertes de précontraintes. L'augmentation du moment résistant et la reprise du cisaillement dépendent du tracé du câble.

Dispositifs d'ancrage : plaques métalliques ou tête d'ancrage classique si on peut la noyer le mur. On peut aussi utiliser une longrine d'extrémité.
Préparer l'accès aux fondations (renforcement des murs). Créer le tracé du câble (forage, précontrainte extérieure symétrique (intérieur du extérieur mur). Positionner et mettre en tension le câble.

Eléments à prendre en compte dans le calcul du coût de renforcement :
Technique courante, surtout en génie civil. Connaît déjà des applications dans le bâtiment. Le recours à une entreprise spécialisée est indispensable. L'accessibilité des fondations et la géométrie du bâtiment sont déterminantes. Des renforcements annexes sont à envisager du fait du report des charges.

Annexe D : Glossaire

Fréquence propre : la fréquence propre d'un système est la fréquence à laquelle oscille ce système lorsqu'il est en évolution libre, c'est-à-dire sans force excitatrice extérieure ni forces dissipatives (frottements ou résistances par exemple). Cette notion est fondamentale pour comprendre les phénomènes d'oscillation et de résonance. La période propre est l'inverse de la fréquence propre.

Détonation : onde de combustion extrêmement violente, qui se propage à une vitesse supersonique. La détonation se produit dans un mélange homogène de gaz combustible et de comburant, ou prémélange, mais aussi dans des explosifs condensés. Elle est constituée par une onde de choc se propageant dans le mélange, immédiatement suivie par une zone de réaction où se produit la combustion.

Déflagration : ensemble des phénomènes consécutifs au passage rapide d'un front de réaction, le plus souvent d'un front de flamme (combustion d'un gaz ou d'une vapeur), au travers d'un mélange de combustible et de comburant, ou prémélange.

Annexe E : Références

- Rapport CSTB : vulnérabilité des structures de bâtiments vis-à-vis des explosions extérieures. DGUHC 2002.

- Rapport CSTB-VINCI-SECHAUD-DYNAMIQUE CONCEPT-PX DAM : Guide méthodologique relatif au renforcement des bâtiments existants (guide RGCU). DRAST 2005.

Présent pour l'avenir

Rédaction et coordination Benjamin LEROUX - INERIS
Mise en forme pédagogique : Olivier PERON - INERIS

Images modes de pose : © Leroy Merlin et © Les Fenêtriers Bretons

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

www.developpement-durable.gouv.fr

Plan de Prévention des Risques Technologiques

Renforcement des fenêtres dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar

Présent pour l'avenir

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement
www.developpement-durable.gouv.fr

Introduction

Mieux vous protéger, tel est l'objectif du Plan de Prévention des Risques Technologiques (PPRT). Ce plan est un des volets de la politique de prévention des risques industriels, elle même fondée sur la maîtrise du risque à la source réalisée sur le site industriel.

Le bâti peut contribuer à protéger les personnes contre les effets d'un accident technologique. C'est pourquoi le règlement du PPRT prescrit ou recommande dans certaines zones la réalisation de mesures de renforcement de votre habitation, lorsque les caractéristiques de construction de votre habitation le nécessitent.

Ces mesures dépendent du type d'effet (thermique, toxique ou de surpression) et de l'intensité des phénomènes accidentels.

Dans le cas de la surpression (explosion), pour les zones les moins exposées, la principale mesure de protection consiste à une bonne tenue des fenêtres, élément le plus vulnérable de votre habitation.

Ce guide a pour objectif de vous aider à identifier les éventuels travaux à réaliser sur vos fenêtres.

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Vos notes

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

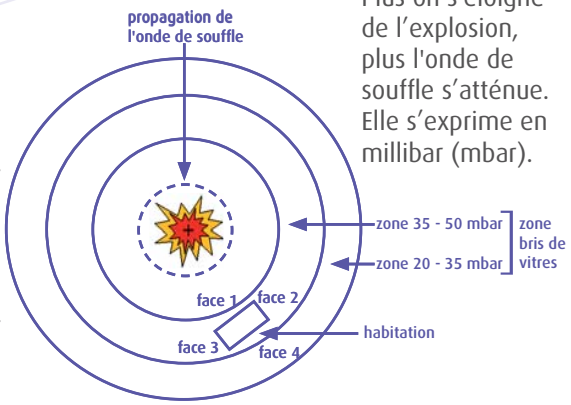
Vos notes

PPRT : Pourquoi vous protéger ?

Votre habitation est située au voisinage d'une installation à risque, dans la zone « bris de vitres » d'un Plan de Prévention des Risques Technologiques.

Le souffle d'une explosion peut endommager vos fenêtres. Les débris pourraient vous blesser.

Pour l'éviter, il faut vérifier si vos fenêtres sont adaptées, et le cas échéant, faire des travaux de renforcement.



Plus on s'éloigne de l'explosion, plus l'onde de souffle s'atténue. Elle s'exprime en millibar (mbar).

Que vous fassiez les travaux vous même, ou que vous fassiez appel à un professionnel, il faut procéder au diagnostic en deux étapes :

- ❒ Première étape : bien connaître vos fenêtres.
- ❒ Deuxième étape : identifier points faibles et travaux éventuels à réaliser.

Renforcer vos fenêtres : quels autres avantages au quotidien ?

- ❒ Réduire vos factures de chauffage : meilleure isolation du froid
- ❒ Améliorer le confort acoustique : réduction des bruits extérieurs
- ❒ Améliorer le confort d'utilisation : diminution des efforts d'ouverture et de fermeture
- ❒ Améliorer l'endurance à l'effraction : renforcement de la structure des fenêtres

Financer des travaux : quelles aides possibles ?

- ❒ Crédit d'impôt PPRT (ou chèque équivalent de l'État pour les contribuables non imposables)
- ❒ Autres aides possibles :
  - ♦ TVA à 5,5% (en fonction du type de travaux)
  - ♦ Aides de l'Agence Nationale de l'Amélioration de l'Habitat (ANAH), selon contexte local (renseignements en mairie)
  - ♦ Selon les PPRT et le contexte local, certains industriels et collectivités peuvent également aider à la réalisation des travaux prescrits. Les collectivités ont également la possibilité d'exonérer de taxe foncière (art. 1 383G du Code Général des Impôts) - renseignez-vous

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement
INERIS maîtriser le risque pour un développement durable
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

PPRT : les étapes du diagnostic

Que faire ?

Déterminer la zone d'intensité de surpression dans la laquelle se trouve votre habitation : Zone 20-35 mbar / Zone 35-50 mbar

Déterminer la nature de l'onde de surpression : onde de choc ou déflagration

Orienter votre habitation par rapport au centre de l'explosion : on attribue un numéro à chaque face, qui peut aller de 1 (face la plus exposée) à 4 (face la moins exposée). À defaut, considérer toutes les faces comme des faces 1.

Déterminer les caractéristiques de vos fenêtres

Évaluer la résistance de vos fenêtres :
Quels sont les points faibles ?
Quels sont les moyens de renforcement envisageables ?

Où trouver l'information ?

Documents du PPRT disponibles en :

préfecture/mairie

site internet préfecture ou DREAL

Consulter également le guide pratique « fenêtres dans la zone de surpression 20-50 mbars »
Voir « pour en savoir plus »

Voir fiches « connaître vos fenêtres »

Voir fiches « diagnostic »

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

FAQ

Changer les panneaux vitrés de mes fenêtres

Le changement des panneaux vitrés de mes fenêtres est-il possible ?

Le changement des panneaux vitrés de la majorité des fenêtres en bois, en PVC, ou en aluminium, qu'elles soient récentes ou non, est techniquement réalisable. Toutefois, la feuillure (partie du châssis dans laquelle le vitrage est posé) doit être capable d'accueillir le nouveau panneau vitré. Les éléments du châssis doivent aussi être capables de reprendre le poids du nouveau panneau.

Chassis et fixation dans le mur ?

Puis-je renforcer moi-même les fixations de ma fenêtre ou faire appel à un professionnel ?

Il est possible de réaliser vous-même ces travaux, mais ceux-ci peuvent être assez difficiles. C'est pourquoi il vaut mieux faire appel à un professionnel. Il pourra établir un diagnostic de la qualité des fixations actuelles de vos fenêtres dans le mur, et vous proposer si nécessaire des fixations respectant les recommandations du guide pratique fenêtres zone 20-50 mbar (voir « pour en savoir plus »).

Le dormant et les ouvrants de mes fenêtres en PVC possèdent-ils des renforts métalliques ?

Cette information peut être disponible sur la facture de vos fenêtres. Vous pouvez également contacter le professionnel chez qui vous les avez achetées. Une méthode pratique peut être d'utiliser un détecteur de métaux. Un volume important du châssis n'indique pas systématiquement la présence d'un renfort métallique.

Puis-je poser ma nouvelle fenêtre sur le dormant de la fenêtre existante ?

Il est préférable de choisir une pose en rénovation totale, c'est-à-dire démontage complet de la fenêtre existante y compris le dor-mant. La pose d'une nouvelle fenêtre sur le dormant existant, appelée pose en rénovation partielle, est également possible, mais la fixation de l'ancien dormant dans le mur doit alors respecter les préconisations du guide pratique fenêtres zone 20-50 mbar (voir « pour en savoir plus »). Si cela n'est pas le cas, des travaux de renforcement doivent être faits.

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

FAQ

Poser un film de sécurité anti-explosion

Aurais-je moins de luminosité dans l'habitation ?

La plupart des produits existants sur le marché ont de faibles effets sur la transparence du vitrage, et maintiennent la totalité de sa luminosité.

Il existe des films de sécurité teintés qui offrent également une protection solaire, bloquent les rayons UV et réduisent l'entrée de chaleur dans l'habitation.

Certains améliorent également les caractéristiques d'isolation thermique du vitrage.

Quel est le coût moyen d'intervention d'un professionnel pour leur pose ?

Le coût moyen pour l'intervention classique d'un professionnel est d'environ 150 euros TTC / m².

Puis-je les installer moi-même ?

Vous pouvez poser vous-même un film de sécurité. Cependant il est préférable et conseillé de faire intervenir un professionnel, formé et expérimenté, qui seul vous proposera un produit de qualité et une installation dans les règles de l'art et garantie contre les malfaçons.

Changer le système de fermeture de ma fenêtre

Puis-je facilement remplacer le système de fermeture de ma fenêtre ?

Ce système, comme toute quincaillerie, peut être changé. Il est possible de remplacer un système de fermeture à crémone avec sortie de tringle par un système avec gâche de sécurité anti-décrochement et galet champignon. C'est généralement plus facile si la pose des fenêtres d'origine date de moins d'une vingtaine d'années.

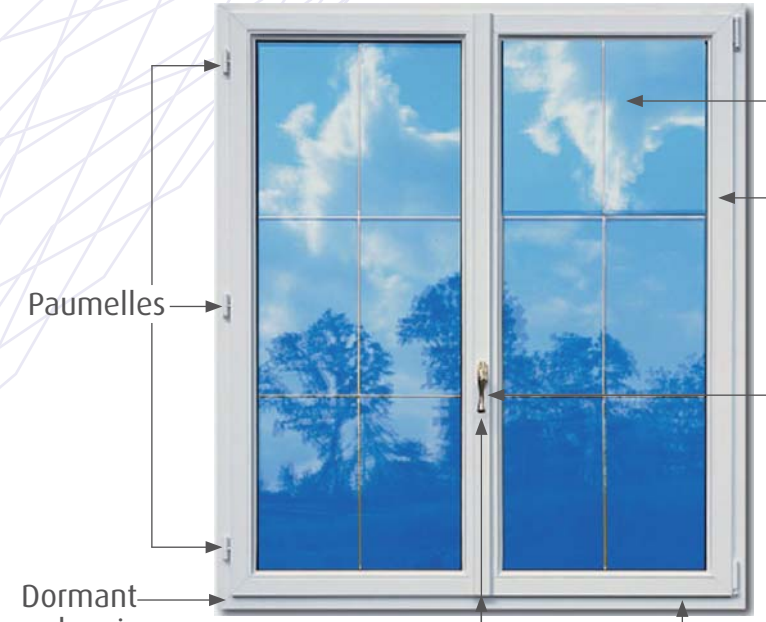
Au-delà, l'adaptation d'un nouveau système de fermeture peut s'avérer plus difficile. Ces systèmes sont souvent vendus en kit pour une fenêtre, ce qui nécessite de changer l'ensemble du dispositif de fermeture de la fenêtre.

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

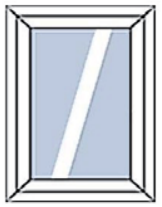
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

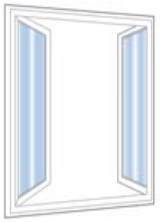
PPRT : fiche connaître vos fenêtres

Que vous fassiez les travaux vous même, ou que vous fassiez appel à un professionnel, les quelques termes techniques ci-dessous vous aideront à faire les bons choix.



Ouverture à la française


Châssis fixe


Ouverture à l'anglaise (vers l'extérieur)

Ouverture coulissante

Le diagnostic qui va suivre est à réaliser pour chaque fenêtre de votre habitation.

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

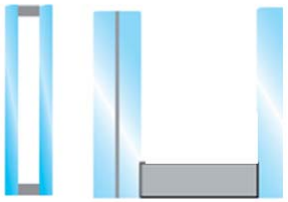
PPRT : fiche connaître vos fenêtres

Ci dessous, quelques éléments pour bien connaître vos fenêtres. Si ces données ne sont pas en votre possession, vous pouvez les retrouver en examinant vos fenêtres, en relisant vos factures, ou en faisant appel à l'artisan qui a posé vos fenêtres.

Dimensions des panneaux vitrés	Nature des panneaux vitrés
Panneau de dimensions standard (0,6m x 1,1m) : ❒ oui ❒ non Si dimensions non standard, voir « pour en savoir plus » Guide pratique fenêtres zone 20-50 mbar.	❒ Simple vitrage ❒ Double vitrage Nomenclature (code qui décrit le type de surface vitrée, ex. 4/16/4) :

Vitrage simple monolithique
Nomenclature : X
X= épaisseur du verre (mm)

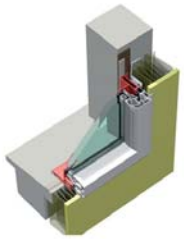
Vitrage simple feuilleté
Nomenclature : XX.Y ou XXX.Y
X= épaisseur des couches de verre (mm)
y = nombre de couches d'isolant

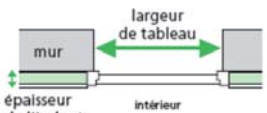


Vitrage double isolant
Nomenclature : X/W/Z ou XX.Y/W/Z
X et Z = épaisseur vitrage (mm)
w = épaisseur isolante entre vitrages

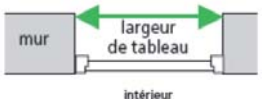
Mode d'ouverture	Matériau du châssis	Mode de pose
❒ Châssis fixe (ne s'ouvre pas) ❒ Ouverture vers l'extérieur ❒ Ouverture à la française (vers l'intérieur) ❒ Autres (coulissante, à soufflet...)	❒ PVC ❒ Bois ❒ Aluminium	❒ Applique ① ❒ Tunnel ② ❒ Feuillure ③

①

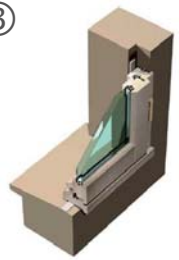




②



③



Fiche à remplir pour chacune de vos fenêtres

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

FAQ

Poser un film de sécurité anti-explosion

Quel est le rôle d'un film de sécurité anti-explosion ?

En cas d'explosion, la vitre peut se briser et être projetée à l'intérieur de l'habitation.

Les films de sécurité anti-explosion, également appelés « films de protection anti-fragments » augmentent la résistance du vitrage et réduisent fortement la formation de fragments.

De quoi dépend leur efficacité ?

L'efficacité des films de sécurité anti-explosion, dépend notamment des caractéristiques du film (résistance à la rupture et à l'élongation, etc.), de son épaisseur et de son mode de pose.

Pour une habitation située dans la zone 20-50 mbar, le guide pratique fenêtres zone 20-50 mbar (voir « pour en savoir plus ») donne les préconisations à respecter afin d'améliorer la protection des personnes.

Une fois qu'ils sont installés, comment puis-je nettoyer mes vitres ?

Comme des vitres classiques. Vous pouvez nettoyer les films en utilisant des solutions de nettoyage (y compris les produits à base d'ammoniac) et un tissu doux non-abrasif qui ne peluche pas.

Vous pouvez également utiliser une raclette pour nettoyer le film. Les produits abrasifs, qui pourraient rayer ou abimer le film, ne doivent pas être utilisés.

Comment les pose-t-on?

Les films de sécurité anti-explosion sont appliqués sur le vitrage de la fenêtre côté intérieur.

Ils peuvent être posés par simple adhérence, par fixation chimique et par fixation mécanique.

Dans la zone d'intensité 20-50 mbar, seules les fixations chimiques ou mécaniques sont acceptées.

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Pour en savoir plus

- ❒ Cahier applicatif du complément technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression, octobre 2009
  http://www.ineris.fr/centredoc/cahier_appli_vulnerab_bati_surpress_web.pdf
- ❒ Guide pratique « Fenêtres dans la zone des effets de surpression d'intensité 20-50 mbar, diagnostic et mesures de renforcement »
  http://www.ineris.fr/fr/t-expertise/rapports-detude-risques-accidentels-maitrise-des-risques/424
- ❒ Le plan de prévention des risques technologiques - guide méthodologique
  http://www.developpement-durable.gouv.fr/Maitrise-de-l-urbanisation-PPRT,12775.html
- ❒ Le plan de prévention des risques technologiques « Agir ensemble pour maîtriser les risques »
  http://www.developpement-durable.gouv.fr/Maitrise-de-l-urbanisation-PPRT,12775.html
- ❒ Le plan de prévention des risques technologiques (PPRT) Guide à destination des élus locaux « Agir ensemble pour maîtriser les risques
  http://www.developpement-durable.gouv.fr/Maitrise-de-l-urbanisation-PPRT,12775.html
- ❒ Film de présentation des plans de prévention des risques technologique
  http://www.developpement-durable.gouv.fr/Maitrise-de-l-urbanisation-PPRT,12775.html

PPRT : fiche connaître vos fenêtres

Système de fermeture	Gâches
❒ A crémone et tringle ❒ Fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle : gâches métalliques de sécurité anti-décrochement et galets champignon	❒ Gâches métalliques Nombre de vis de fixation de la gâche dans le dormant : 1, 2 ou > 2 ❒ Gâches plastiques

Fiche à remplir pour chacune de vos fenêtres

① Tringle

② Fermeture centrale (crémone et tringle)

③ Gâche métallique

④ Fermeture individuelle des ouvrants

⑤ Gâche métallique de sécurité anti-décrochement et galet champignon

Photocopier cette double page pour chacune de vos fenêtres

PPRT : exemple d'évaluation

- ❒ Supposons que le règlement PPRT recommande que mes fenêtres résistent à une onde de choc d'intensité 50 mbar.
- ❒ La fenêtre évaluée est en face 1 de l'habitation (face la plus exposée).
- ❒ Mes fenêtres s'ouvrent à la française et possèdent 2 ouvrants. Mes panneaux vitrés sont de dimensions standard en double vitrage 4/16/4. Le chassis est en bois et le système de fermeture est un trois points à crémone avec sortie de tringle et gâche plastique. La pose est en tunnel.

Dois-je faire des travaux, et si oui, lesquels ?

Type d'explosion		Onde de choc				Déflagration			
Face de l'habitation		1	2	3	4	1	2	3	4
Panneaux vitrés de dimensions standards (0,6 x 1,1 m²) Pour les autres dimensions, voir « pour en savoir plus »	Simple vitrage standard (4 mm)	OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages filmés ou feuilleté		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages standards ou feuilletés		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages filmés ou feuilletés		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages standards ou feuilletés	
	Double vitrage standard (4/Y/4) Y < ou = à 16 mm	OUI Poser un film de sécurité anti-explosion (fixation chimique ou mécanique)		NON		OUI Poser un film de sécurité anti-explosion (fixation chimique ou mécanique)		NON	
	Double vitrage feuilleté (44.2/12/4 vitrage feuilleté intérieur ou 44.2/8/44.2)	NON				NON			

Type d'explosion		Onde de choc	Déflagration
Mode d'ouverture de la fenêtre	Châssis fixe	NON	
	Ouverture vers l'extérieur (ouverture à l'anglaise)	NON	
	Ouverture vers l'intérieur à la française	OUI (voir encadré ci-dessous)	
	Autres (coulissantes, à soufflet, …)	OUI Condamner l'ouverture de la fenêtre ou Remplacer la fenêtre*	

Pour une fenêtre à ouverture vers l'intérieur à la française

Type d'explosion		Onde de choc	Déflagration
Mode de pose + Châssis + Système de fermeture	Tout type de pose + Châssis PVC ou aluminium + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Remplacer le système de fermeture ou Remplacer la fenêtre*	
	Applique + Châssis bois + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Remplacer le système de fermeture ou Remplacer la fenêtre*	
	Tunnel ou feuillure + Châssis bois + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Renforcer le système de fermeture : • Remplacer si nécessaire la gâche par une gâche métallique • Fixer la gâche au dormant par 2 vis (condition à respecter sur visserie**)	
	Tout type de pose + Châssis PVC (avec armature en acier), aluminium ou bois + Système de fermeture dit « retardataire d'effraction » (*gâches métalliques de sécurité anti-décrochement avec galets champignon en nombre suffisant) avec fermeture individuelle des ouvrants*	NON	NON

	Onde de choc	Déflagration
Fixation de la fenêtre dans le mur	OUI Renforcer la fixation de la fenêtre dans le mur : • Augmenter le nombre de points de fixation** • Condition à respecter sur la visserie**	

Des travaux de renforcement sont donc nécessaires : poser un **film de sécurité** anti-explosion sur les panneaux vitrés, fixé chimiquement ou mécaniquement, **remplacer la gâche** plastique par une gâche métallique (2 vis), **augmenter le nombre de fixations** du dormant dans le mur.

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Je contacte un professionnel
que dois-je penser à lui demander ?

L'intervention d'un professionnel devrait se faire en deux étapes :

- ❒ réalisation d'un **diagnostic** avec proposition de travaux et coût associé ;
- ❒ réalisation des **travaux** destinés à améliorer la résistance des fenêtres de votre habitation.

Le **diagnostic** doit en premier lieu établir les différentes caractéristiques de la fenêtre actuelle :

- ❒ dimensions et nature du vitrage du(des) panneau(x) vitré(s) ;
- ❒ nature du mode d'ouverture ;
- ❒ nature du mode de pose, du système de fermeture, du châssis de la fenêtre ;
- ❒ fixation de la fenêtre au mur (nombre, espacement, type de fixation).

Une fois le diagnostic effectué, le menuisier peut alors vous proposer un **devis** faisant apparaître pour chaque fenêtre les **travaux** à réaliser ainsi que le **coût** associé.

Une fois les travaux réalisés, la **facture** remise par le professionnel doit faire précisément état des travaux effectués et décrire les caractéristiques des éléments de remplacement ou de renforcement de la fenêtre :

- ❒ Panneaux vitrés ou films posés,
- ❒ Système de fermeture,
- ❒ Mode d'ouverture,
- ❒ Fixation de la fenêtre dans le mur : nombre, espacement et tenue conforme aux recommandations du guide pratique fenêtres zone 20-50 mbar (voir « pour en savoir plus »).

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Qui puis-je contacter pour m'informer ?

Pour les questions relatives au PPRT

- la **préfecture** de votre département
  www.nomdudepartement.pref.gouv.fr
- la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (**DREAL**)
  www.nomdelaregion.developpement-durable.gouv.fr
- la Direction Départementale du Territoire (**DDT**)
  www.nomdudepartement.equipement-agriculture.gouv.fr

Pour le financement

- Site de l'administration fiscale
  http://www.impots.gouv.fr
- Site service-public.fr
  http://vosdroits.service-public.fr/particuliers/F13483.xhtml
- Votre mairie (site internet éventuel)

PPRT : fiche diagnostic 35-50 mbar

Dois-je faire des travaux, et si oui, lesquels ?

Type d'explosion		Onde de choc				Déflagration			
Face de l'habitation		1	2	3	4	1	2	3	4
Panneaux vitrés de dimensions standards (0,6 x 1,1 m²) Pour les autres dimensions, voir « pour en savoir plus »	Simple vitrage standard (4 mm)	OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages filmés ou feuilleté		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages standards ou feuilletés		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages filmés ou feuilletés		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages standards ou feuilletés	
	Double vitrage standard (4/Y/4) Y < ou = à 16 mm	OUI Poser un film de sécurité anti-explosion (fixation chimique ou mécanique)		NON		OUI Poser un film de sécurité anti-explosion (fixation chimique ou mécanique)		NON	
	Double vitrage feuilleté (44.2/12/4 vitrage feuilleté intérieur ou 44.2/8/44.2)	NON				NON			

Type d'explosion		Onde de choc	Déflagration
Mode d'ouverture de la fenêtre	Châssis fixe	NON	
	Ouverture vers l'extérieur (ouverture à l'anglaise)	NON	
	Ouverture vers l'intérieur à la française	OUI (voir encadré ci-dessous)	
	Autres (coulissantes, à soufflet, …)	OUI Condamner l'ouverture de la fenêtre ou Remplacer la fenêtre*	

Pour une fenêtre à ouverture vers l'intérieur à la française

Type d'explosion		Onde de choc	Déflagration
Mode de pose + Châssis + Système de fermeture	Tout type de pose + Châssis PVC ou aluminium + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Remplacer le système de fermeture ou Remplacer la fenêtre*	
	Applique + Châssis bois + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Remplacer le système de fermeture ou Remplacer la fenêtre*	
	Tunnel ou feuillure + Châssis bois + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Renforcer le système de fermeture : • Remplacer si nécessaire la gâche par une gâche métallique • Fixer la gâche au dormant par 2 vis (condition à respecter sur visserie**)	
	Tout type de pose + Châssis PVC (avec armature en acier), aluminium ou bois + Système de fermeture dit « retardataire d'effraction » ***(gâches métalliques de sécurité** anti-décrochement avec **galets champignon en nombre suffisant)** avec fermeture individuelle des ouvrants*	NON	NON

	Onde de choc	Déflagration
Fixation de la fenêtre dans le mur	OUI Renforcer la fixation de la fenêtre dans le mur : • Augmenter le nombre de points de fixation** • Condition à respecter sur la visserie**	

* Voir « travaux : par quoi commencer »
** Voir « pour en savoir plus » - Guide pratique fenêtres zone 20-50 mbars

Fiche à remplir pour chacune de vos fenêtres, comme indiqué précédemment

Photocopier cette page pour chacune de vos fenêtres

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

PPRT : fiche diagnostic 20-35 mbar

Dois-je faire des travaux, et si oui, lesquels ?

Type d'explosion		Onde de choc				Déflagration			
Face de l'habitation		1	2	3	4	1	2	3	4
Panneaux vitrés de dimensions standard (0,6 x 1,1 m²) Pour les autres dimensions, voir « pour en savoir plus »	Simple vitrage standard (4 mm)	OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages filmés ou feuilletés		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages standards ou feuilletés		OUI Remplacer les panneaux vitrés par des doubles vitrages standards ou feuilletés		OUI Poser un film de sécurité anti-explosion (fixation chimique ou mécanique)	
	Double vitrage standard (4/Y/4) Y < ou = à 16 mm	OUI Poser un film de sécurité anti-explosion (fixation chimique ou mécanique)		NON		NON			
	Double vitrage feuilleté (44.2/12/4 vitrage feuilleté intérieur ou 44.2/8/44.2)	NON				NON			

Type d'explosion		Onde de choc	Déflagration
Mode d'ouverture de la fenêtre	Châssis fixe	NON	
	Ouverture vers l'extérieur (ouverture à l'anglaise)	NON	
	Ouverture vers l'intérieur à la française	OUI (voir encadré ci-dessous)	
	Autres (coulissantes, à soufflet, …)	OUI - Condamner l'ouverture de la fenêtre ou remplacer la fenêtre*	

Pour une fenêtre à ouverture vers l'intérieur à la française

Type d'explosion		Onde de choc	Déflagration
Mode de pose + Châssis + Système de fermeture	Tout type de pose + Châssis PVC ou aluminium + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Remplacer le système de fermeture ou Remplacer la fenêtre*	
	Applique + Châssis bois + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Remplacer le système de fermeture ou Remplacer la fenêtre*	
	Tunnel ou feuillure + Châssis bois + Système de fermeture à crémone avec sortie de tringle	OUI Renforcer le système de fermeture : • Remplacer si nécessaire la gâche par une gâche métallique • Fixer la gâche au dormant par 2 vis (condition à respecter sur visserie**)	
	Tout type de pose + Châssis PVC (avec armature en acier), aluminium ou bois Système de fermeture dit « retardataire d'effraction » (***gâches métalliques de sécurité*** *anti-décrochement avec* ***galets champignon en nombre suffisant)*** *avec fermeture individuelle des ouvrants*	NON	NON

	Onde de choc	Déflagration
Fixation de la fenêtre dans le mur	OUI Renforcer la fixation de la fenêtre dans le mur : • Augmenter le nombre de points de fixation** • Condition à respecter sur la visserie**	

* Voir « travaux : par quoi commencer »

** Voir « pour en savoir plus » - Guide pratique fenêtres zone 20-50 mbars

Fiche à remplir pour chacune de vos fenêtres, comme indiqué précédemment

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Photocopier cette page pour chacune de vos fenêtres

Travaux : par quoi commencer ?

En fonction de l'importance de l'accident auquel votre habitation peut être soumise, le niveau de résistance de vos fenêtres est soit rendu obligatoire, soit seulement recommandé par le PPRT.

Le diagnostic que vous allez réaliser à l'aide des fiches qui précèdent, pourra conclure à la nécessité ou non de renforcer les panneaux vitrés, le système de fermeture voire, dans les cas les plus extrêmes, de remplacer vos fenêtres.

Cependant, l'analyse des accidents passés et les expertises techniques montrent qu'un des risques prédominant de blessure en cas d'explosion est dû aux bris de vitres. Ce dernier apparaît pour des niveaux d'intensité faible (dès la vingtaine de mbar) et les fragments sont susceptibles d'être projetés dans toute la pièce.

Les panneaux vitrés doivent donc être les premiers éléments à renforcer.

D'autres risques de blessures peuvent survenir en cas d'ouverture, d'arrachement et de projection des ouvrants ou de la fenêtre à l'intérieur de l'habitation. Par conséquent au-delà du renforcement des panneaux vitrés, il est possible d'améliorer le niveau de résistance des fenêtres par des travaux complémentaires pouvant porter, comme évoqué précédemment, sur le système de fermeture, l'ajout de fixations dans le mur, voire le remplacement de la fenêtre.

Et en cas de construction neuve ou de rénovation ?

En cas de construction neuve ou de rénovation, ou lorsque le diagnostic propose de remplacer la fenêtre, la solution suivante pourrait convenir, pour des dimensions standards, dans la zone 20-35 comme dans la zone 35-50, pour une onde de choc ou une déflagration, quelle que soit la face :

- ❒ fenêtre à ouverture à la française à deux ouvrants,
- ❒ chassis bois ou aluminium ou PVC renforcé,
- ❒ posée en applique, en tunnel ou en feuillure,
- ❒ munie d'un double vitrage feuilleté type 44.2/8/44.2,
- ❒ fermeture individuelle des ouvrants avec renvoi d'angle : gâches métalliques de sécurité anti-décrochement et galets champignon.

On portera une attention particulière à la fixation de la fenêtre dans le mur.

D'autres solutions sont possibles (voir « pour en savoir plus » - Guide pratique fenêtres zone 20-50 mbar).

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Préfecture de l'Eure

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DDTM - SPRAT
1, avenue du Maréchal Foch
27022 EVREUX cedex

Plan de zonage règlementaire planche 1 : Nord Ouest du PPRT

Plan de Prévention des Risques Technologiques

établissement SNECMA
communes de Bois-Jérôme Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux Saint-Marcel, Tilly et Vernon
approuvé par arrêté préfectoral du 31 août 2012

Légende

périmètre d'exposition aux risques

limites communales

Zonage règlementaire

- zone d'interdiction r1
- Zone d'interdiction r2
- Zone d'interdiction r3
- Zone d'autorisation sous conditions b1
- Zone d'autorisation sous conditions b2
- Zone d'autorisation sous conditions b3
- zone grisée

N

Données DDTM27 et DREAL HN

0 0.1 0.2 0.3
Kilomètres

Échelle: 1:5 000

Préfecture de l'Eure

DDTM - SPRAT
1, avenue du Maréchal Foch
27022 EVREUX Cedex

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Plan de zonage règlementaire localisation des planches

Plan de Prévention des Risques Technologiques

établissement SNECMA
communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon
approuvé par arrêté préfectoral du 31 août 2012

légende

- Périmètre d'exposition aux risques
- Limites communales

Zonage règlementaire

- Zone d'interdiction r1
- Zone d'interdiction r2
- zone d'interdiction r3
- zone d'autorisation sous conditions b1
- zone d'autorisation sous conditions b2
- Zone d'autorisation sous conditions b3
- zone grisée

Données DDTM27 et DREAL NH

0 0.25 0.5 0.75
Kilomètres

Échelle: 1:15 000

planche 1

planche 2

planche 3

planche 4

planche 5

planche 6

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DE L'EURE

3 1 AOUT 2012
Le Préfet

Dominique SORAIN

PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES TECHNOLOGIQUES AUTOUR DE L'ENTREPRISE SNECMA

Communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubecourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon

REGLEMENT

Table des matières

Titre I : Portée du PPRT, dispositions générales....3
Article I.1 - Champ d'application....3
Article I.2 - Objectifs du PPRT....3
Article I.3 - Zonage réglementaire....3
Article I.4 - Effets du PPRT....4
Article I.5 - Portée du règlement....4
Article I.6 - Principes généraux....4
Article I.7 - Rappel sur les autres réglementations en vigueur....4
Titre II - Réglementation des projets....5
Chapitre II.1 - Dispositions générales applicables à l'ensemble des zones....5
Chapitre II.2 - Dispositions applicables en zone rouge : r1....6
Article II.2.1 - Définition de la zone r1....6
Article II.2.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux....6
II.2.2.1 - Interdictions....6
II.2.2.2 - Autorisations sous conditions....6
Article II.2.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants....6
Article II.2.4 - Dispositions de construction....6
Chapitre II.3 - Dispositions applicables en zone rouge : r2....7
Article II.3.1 - Définition de la zone r2....7
Article II.3.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux....7
II.3.2.1 - Interdictions....7
II.3.2.2 - Autorisations sous conditions....7
Article II.3.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants....7
Article II.3.4 - Dispositions de construction....7
Chapitre II.4 - Dispositions applicables en zone rouge : r3....8
Article II.4.1 - Définition de la zone r3....8
Article II.4.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux....8
II.4.2.1 - Interdictions....8
II.4.2.2 - Autorisations sous conditions....8
Article II.4.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants....8
Article II.4.4 - Dispositions de construction....8
Chapitre II.5 - Dispositions applicables en zone bleue : b1....9
Article II.5.1 - Définition de la zone b1....9
Article II.5.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux....9
II.5.2.1 - Interdictions....9
II.5.2.2 - Autorisations sous conditions....9
Article II.5.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants....9
II.5.3.1 - Interdictions....9
II.5.3.2 - Autorisations sous conditions....9
Article II.5.4 - Dispositions de construction....9
Chapitre II.6 - Dispositions applicables en zone bleue : b2....10
Article II.6.1 - Définition de la zone b2....10
Article II.6.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux....10
II.6.2.1 - Interdictions....10
II.6.2.2 - Autorisations sous conditions....10
Article II.6.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants....10
II.6.3.1 - Interdictions....10
II.6.3.2 - Autorisations sous conditions....10

Article II.6.4 - Dispositions de construction....10
Chapitre II.7 - Dispositions applicables en zone bleue : b3....11
Article II.7.1 - Définition de la zone b3....11
Article II.7.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux....11
II.7.2.1 - Interdictions....11
II.7.2.2 - Autorisations sous conditions....11
Article II.7.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants....11
II.7.3.1 - Interdictions....11
II.7.3.2 - Autorisations sous conditions....11
Article II.7.4 - Dispositions de construction....11
Chapitre II.8 - Dispositions applicables en zone grisée....12
Article II.8.1 - Définition de la zone grisée....12
Article II.8.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux et les projets d'aménagement du site....12
II.8.2.1 - Interdictions....12
II.8.2.2 - Autorisations sous conditions....12
Article II.8.3 - Conditions générales d'utilisation et d'exploitation....12
TITRE III - Mesures foncières....13
III.1 Le secteur d'instauration du droit de préemption....13
III.2 Droit de délaissement....13
III.3 Expropriation pour cause d'utilité publique....13
TITRE IV - Mesures de protection des populations....13
Chapitre IV.1 – Prescriptions sur les usages....13
IV.1.1 – Routes....13
IV.1.2 – Itinéraires en mode doux (piétons,vélos, cheval...) au sein des zones r1 et r2....14
IV.1.3 – Espaces publics ouverts au sein des zones r1 et r2....14
Chapitre IV.3 - Dispositif d'information et de secours....14

Titre I : Portée du PPRT, dispositions générales

Article I.1 - Champ d'application

Le présent règlement du plan de prévention des risques technologiques (PPRT) s'applique aux communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubécourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon soumises aux risques technologiques présentés par la société SNECMA.

Il s'applique conformément à la loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages et des articles L. 515-15 à L. 515-25 et R. 515-9 à R. 515-50 du Code de l'environnement, relatifs aux PPRT.

Article I.2 - Objectifs du PPRT

Le PPRT est un outil réglementaire qui participe à la prévention des risques industriels dont les objectifs sont en priorité :

- de contribuer à la réduction des risques à la source par, en particulier, la mise en œuvre de mesures complémentaires (à la charge de l'exploitant) ou supplémentaires telles que définies par l'article L. 515-19 du Code de l'environnement ;

- d'agir sur l'urbanisation existante et nouvelle afin de limiter et, si possible, de protéger les personnes des risques résiduels. Cet outil permet d'agir d'une part par des mesures foncières sur la maîtrise de l'urbanisation existante à proximité des établissements industriels à l'origine des risques et d'autre part, par l'interdiction ou la limitation de l'urbanisation nouvelle. Des mesures de protection de la population en agissant en particulier sur les biens existants peuvent être prescrites ou recommandées.

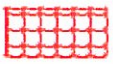
Le plan délimite un périmètre d'exposition aux risques en tenant compte de la nature et de l'intensité des risques technologiques décrits dans les études de dangers et les mesures de prévention mises en œuvre (extrait de l'article L. 515-15 al. 2 du Code de l'environnement).

Article I.3 - Zonage réglementaire

Le « zonage réglementaire » définit les zones réglementées et les principes de réglementation associés.

En application de l'article L. 515-16 du Code de l'environnement, le zonage du PPRT de SNECMA comprend les communes de Bois-Jérôme-Saint-Ouen, Giverny, Heubécourt-Haricourt, Panilleuse, Pressagny-l'Orgueilleux, Saint-Marcel, Tilly et Vernon.

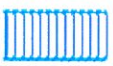
Une zone rouge r1, d'interdiction,


Une zone rouge r2, d'interdiction,

Une zone rouge r3, d'interdiction, espace boisé dense dépourvu de construction

Une zone bleue b1, d'autorisation sous conditions, espace déjà urbanisé

Une zone bleue b2, d'autorisation sous conditions,


Une zone bleue b3, d'autorisation sous conditions,

Une zone grisée couvrant le site d'essais de SNECMA.

La création de ces zones est justifiée dans la note de présentation qui accompagne le présent règlement.

Article I.4 - Effets du PPRT

Le PPRT approuvé vaut servitude d'utilité publique (article L. 515-23 du Code de l'environnement). Il est porté à la connaissance des Maires des communes concernées en application de l'article L. 121-2 du Code de l'urbanisme.

Le PPRT peut être révisé dans les formes prévues par les articles R. 515-39 à R. 515-50 du Code de l'environnement, relatifs aux PPRT.

Le PPRT approuvé doit être annexé, par un arrêté municipal de mise à jour des servitudes d'utilité publique, au Plan Local d'Urbanisme, conformément aux articles L. 126-1 du Code de l'urbanisme.

Les infractions aux prescriptions du PPRT sont punies des peines prévues par l'article L. 480-4 du Code de l'urbanisme.

Article I.5 - Portée du règlement

Le règlement du PPRT est opposable à toute personne publique ou privée qui désire entreprendre des constructions, installations, travaux ou activités sans préjudice des autres dispositions législatives ou réglementaires qui trouveraient à s'appliquer.

Les constructions, installations, travaux ou activités non soumis à un régime de déclaration ou d'autorisation préalable sont édifiés ou entrepris sous la seule responsabilité de leurs auteurs dans le respect des dispositions du présent PPRT.

Article I.6 - Principes généraux

Dans toute la zone exposée aux risques technologiques, en vue de ne pas aggraver les risques ou de ne pas en provoquer de nouveaux, et assurer ainsi la sécurité des personnes et des biens, toute opportunité pour réduire la vulnérabilité des constructions, installations et activités existantes à la date de publication du présent document devra être saisie.

Article I.7 - Rappel sur les autres réglementations en vigueur

Le PPRT vient compléter, par des mesures appropriées, les réglementations déjà en vigueur, concernant :

1. **le fonctionnement des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement - ICPE** : réduction du risque à la source, plan de secours interne, formation du personnel, Système de Gestion de le Sécurité (S.G.S.)...
2. **la maîtrise de l'urbanisation** autour des sites à risques : porter à connaissance, obligation de prise en compte des risques dans les documents d'urbanisme… ;
3. **la gestion de crise et la sécurité publique** : le PPI et ses exercices de mise en œuvre, le Plan Communal de Sauvegarde …
4. **l'information et la sensibilisation** du public : communication auprès des riverains, information des acquéreurs et locataires sur les risques existants (naturels et technologiques), à chaque transaction immobilière.

Le respect du PPRT ne dispense pas du respect de toute autre réglementation en vigueur.

Titre II - Réglementation des projets

Chapitre II.1 - Dispositions générales applicables à l'ensemble des zones

Définition de la notion de « projet » : on entend par « projet » l'ensemble :
- des projets de constructions nouvelles,
- des projets de réalisation d'aménagements, d'ouvrages et d'extensions de constructions existantes.

Définition de la notion d' « existant » : ensemble des constructions, infrastructures, usages, qui étaient déjà présents (physiquement pour les éléments construits) à la date d'approbation du PPRT.

Définition de la notion de « nouveau logement » : sous-ensemble d'une construction, qui dispose d'un niveau d'équipements suffisant pour permettre à son / ses occupant(s) d'y vivre en autonomie (ex : studio d'étudiant dans une maison d'habitation).

Définition des ouvrages ou infrastructures d'intérêt général cités au sein du présent règlement : ouvrages ou infrastructures liés à l'implantation de nouveaux réseaux ou à la gestion de réseaux existants (routiers, eau potable, assainissement, gaz, électricité, fibre optique...), revêtant un caractère d'intérêt général. Ces ouvrages ne doivent pas amener une occupation humaine régulière.

De manière générale, un **bien existant situé à cheval sur deux zones** réglementées différemment, se verra appliquer les principes réglementaires de la zone la plus contraignante.

Un projet **accueillant des personnes de façon exceptionnelle** est un projet qui ne comprend ni poste de travail, ni accueil du public, ni hébergement. La présence humaine est uniquement liée à l'entretien ou à la manutention et se limite à quelques personnes (exemples : hangar de stockage, transformateur électrique...).

Étude de conformité : Tout nouveau projet ne pourra être autorisé qu'au regard des conclusions d'une étude préalable de conformité au PPRT, à la charge du pétitionnaire, vérifiant que les objectifs de performance sont respectés.
Conformément à l'article R. 431-16 du Code de l'urbanisme, une attestation, établie par l'architecte du projet ou par un expert qualifié certifiant la réalisation de cette étude et constatant que le projet prend en compte les conditions du PPRT au stade de la conception, devra être jointe à la demande du permis de construire.

Chapitre II.2 - Dispositions applicables en zone rouge : r1

Article II.2.1 - Définition de la zone r1

La zone r1 est concernée par un effet de surpression provoqué par une onde choc, de niveau d'aléa fort à fort+ qui permet de qualifier un dépassement du seuil correspondant à des conséquences très graves sur la vie humaine par effet direct (surpression supérieure à 200 mbar).

Article II.2.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux

II.2.2.1 - Interdictions

Sont interdites toute construction, installation et infrastructure à l'exception de celles mentionnées à l'article II.2.2.2 du présent chapitre.

II.2.2.2 - Autorisations sous conditions

Sont autorisés sous les conditions ci-après :

- les constructions, aménagements et installations de nature à réduire les effets du risque technologique objet du présent document,
- les ouvrages ou infrastructures d'intérêt général, qui ne sauraient être implantés en d'autres lieux, sous réserve que des dispositions appropriées soient mises en œuvre pour préserver la solidité, la sécurité et le fonctionnement de ces ouvrages,
- la création de voirie de desserte strictement nécessaires aux activités situées dans ou à proximité de la zone considérée ou à l'acheminement des secours,
- les extensions liées à l'activité à l'origine du risque uniquement sous réserve de mettre en œuvre les prescriptions techniques fixées au paragraphe II.2.4. ci après,
- les travaux de démolition,
- la mise en place de clôture sans augmentation du risque.

Article II.2.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants

Sans objet.

Article II.2.4 - Dispositions de construction

En application de l'article L515-15 du Code de l'environnement, tout nouveau projet (y compris les extensions et annexes), à l'exception de ceux n'accueillant des personnes que de manière exceptionnelle doit résister à un effet de surpression d'un niveau d'intensité de **200 mbar, caractérisé à la source par une onde choc avec un temps de sollicitation de 1500 millisecondes [ms].**

Tout nouveau projet soumis à des dispositions de construction (y compris les extensions) ne pourra être autorisé qu'au regard des conclusions d'une étude préalable de conformité au PPRT, à la charge du pétitionnaire, vérifiant que les objectifs de performance sont respectés.

Chapitre II.3 - Dispositions applicables en zone rouge : r2

Article II.3.1 - Définition de la zone r2

La zone r2 est concernée par un effet de surpression provoqué par une onde choc, de niveau d'aléa moyen à moyen+ (M à M+) qui permettent de qualifier un dépassement du seuil correspondant aux conséquences graves sur la vie humaine par effet indirect (surpression comprise entre 140 et 200 mbar).

Article II.3.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux

II.3.2.1 - Interdictions

Sont interdites toute construction, installation et infrastructure à l'exception de celles mentionnées à l'article II.3.2.2 du présent chapitre.

II.3.2.2 - Autorisations sous conditions

Sont autorisés sous les conditions ci-après les constructions, aménagements et installations:

- de nature à réduire les effets du risque technologique objet du présent document,
- les ouvrages ou infrastructures d'intérêt général, qui ne sauraient être implantés en d'autres lieux, sous réserve que des dispositions appropriées soient mises en œuvre pour préserver la solidité, la sécurité et le fonctionnement de ces ouvrages,
- la création de voiries de desserte strictement nécessaires aux activités situées dans ou à proximité de la zone considérée ou à l'acheminement des secours,
- les extensions liées à l'activité à l'origine du risque uniquement sous réserve de mettre en œuvre les prescriptions techniques fixées au § II.3.4 ci-après,
- les travaux de démolition,
- la mise en place de clôture sans augmentation du risque.

Article II.3.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants

Sans objet.

Article II.3.4 - Dispositions de construction

En application de l'article L515-15 du Code de l'environnement, tout nouveau projet (y compris les extensions et annexes), à l'exception de ceux n'accueillant des personnes que de manière exceptionnelle, à la date d'approbation du PPRT doit résister à un effet de surpression d'un niveau d'intensité de **200 mbar caractérisé à la source par une onde choc avec un temps d'application de 1500 millisecondes**.

Tout nouveau projet soumis à des dispositions de construction ne pourra être autorisé qu'au regard des conclusions d'une étude préalable de conformité au PPRT, à la charge du pétitionnaire, vérifiant que les objectifs de performance sont respectés.

Chapitre II.4 - Dispositions applicables en zone rouge : r3

Article II.4.1 - Définition de la zone r3

La zone r3 est concernée par un effet de surpression provoqué par une onde choc, de niveau d'aléa faible qui permet de qualifier un dépassement du seuil correspondant aux conséquences significatives sur la vie humaine par effet indirect (surpression comprise entre 50 et 140 mbar)
Il s'agit d'une zone boisée dense dépourvue de bâti à la date d'approbation du PPRT.

Article II.4.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux

II.4.2.1 - Interdictions

Sont interdites toute construction, installation et infrastructure à l'exception de celles mentionnées à l'article II.4.2.2 du présent chapitre.

II.4.2.2 - Autorisations sous conditions

Sont autorisés sous les conditions ci-après :

- les constructions, aménagements et installations de nature à réduire les effets du risque technologique objet du présent document,

- les ouvrages ou infrastructures d'intérêt général, qui ne sauraient être implantés en d'autres lieux, sous réserve que des dispositions appropriées soient mises en œuvre pour préserver la solidité, la sécurité et le fonctionnement de ces ouvrages,

- la création de voirie de desserte strictement nécessaires aux activités situées dans ou à proximité de la zone considérée ou à l'acheminement des secours,

- les constructions ou ouvrages nécessaires au maintien ou au développement d'activités qui contribuent à la gestion des sols, sous réserve qu'ils soient non habités et que la présence de personnel sur place soit limitée en temps et en nombre,

- toute reconstruction en cas de destruction dont l'établissement à l'origine du risque n'est pas responsable,

- les extensions liées à l'activité à l'origine du risque uniquement sous réserve de mettre en œuvre les prescriptions techniques fixées au paragraphe II.4.4. ci après,

- les travaux de démolition,

- la mise en place de clôture sans augmentation du risque.

Article II.4.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants

Sans objet.

Article II.4.4 - Dispositions de construction

En application de l'article L515-15 du Code de l'environnement, tout nouveau projet (y compris les extensions et annexes), à l'exception de ceux n'accueillant des personnes que de manière exceptionnelle, doit résister à un effet de surpression d'un niveau d'intensité de **140 mbar caractérisé à la source par une onde choc avec un temps d'application de 2100 millisecondes [ms].**

Tout nouveau projet soumis à des dispositions de construction ne pourra être autorisé qu'au regard des conclusions d'une étude préalable de conformité au PPRT, à la charge du pétitionnaire, vérifiant que les objectifs de performance sont respectés.

Chapitre II.5 - Dispositions applicables en zone bleue : b1

Article II.5.1 - Définition de la zone b1

La zone b1 est concernée par un effet de surpression provoqué par une onde choc, de niveau d'aléa faible qui permet de qualifier un dépassement du seuil correspondant aux conséquences significatives sur la vie humaine par effet indirect (surpression comprise entre 50 et 140 mbar)

Il s'agit d'une zone déjà urbanisée ou en limite d'urbanisation à la date d'approbation du PPRT.

Article II.5.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux

II.5.2.1 - Interdictions

Sont interdits :

- les établissements recevant du public de catégories 1 et 2.

II.5.2.2 - Autorisations sous conditions

Les constructions, aménagements et installations non listés à l'article II.5.2.1, y compris en cas de reconstruction après sinistre, sont autorisés sous réserve du respect des prescriptions imposées au paragraphe II.5.4.

Article II.5.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants

II.5.3.1 - Interdictions

Sont interdit les constructions, aménagements et installations ci-après :

- les changements de destination ou d'usage des constructions existantes à la date d'approbation du PPRT, lorsqu'ils conduisent à :

  - augmenter la capacité d'accueil d'un établissement recevant du public portant à 1 ou 2 la catégorie de celui ci après les travaux ;

  - créer un établissement recevant du public de catégorie 1 ou 2.

- tout aménagement et toute extension d'une construction existante lorsqu'ils conduisent à :

  - augmenter la capacité d'accueil d'un établissement recevant du public portant à 1 ou 2 la catégorie de celui ci après les travaux ;

  - créer un établissement recevant du public de catégorie 1 ou 2.

II.5.3.2 - Autorisations sous conditions

Les constructions, aménagements et installations non listés à l'article II.5.3.1, y compris en cas de reconstruction après sinistre, sont autorisés sous réserve du respect des prescriptions imposées au paragraphe II.5.4.

Article II.5.4 - Dispositions de construction

En application de l'article L515-15 du Code de l'environnement, tout nouveau projet (y compris les extensions et annexes), à l'exception de ceux n'accueillant des personnes que de manière exceptionnelle, doit résister à un effet de surpression d'un niveau d'intensité de **140 mbar caractérisé à la source par une onde choc, avec un temps d'application de 2100 millisecondes.**

Les biens existants, faisant l'objet d'aménagements ou de changements de destination qui conduisent à augmenter sensiblement la vulnérabilité des occupants, doivent subir des travaux de renforcement pour résister à l'aléa surpression 140 mbar **d'une onde choc**.

Tout nouveau projet soumis à des dispositions de construction ne pourra être autorisé qu'au regard des conclusions d'une étude préalable de conformité au PPRT, à la charge du pétitionnaire, vérifiant que les objectifs de performance sont respectés.

Chapitre II.6 - Dispositions applicables en zone bleue : b2

Article II.6.1 - Définition de la zone b2

La zone b2 est concernée par un effet de surpression provoqué par une onde choc, de niveau d'aléa faible qui permet de qualifier un dépassement du seuil correspondant aux effets indirects sur les personnes par bris de vitres (surpression comprise entre 35 et 50 mbar).

Article II.6.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux

II.6.2.1 - Interdictions

Sont interdits :

- les établissements recevant du public de catégorie 1.

II.6.2.2 - Autorisations sous conditions

Les constructions, aménagements et installations non listés à l'article II.6.2.1, y compris en cas de reconstruction après sinistre, sont autorisés sous réserve du respect des prescriptions imposées au paragraphe II.6.4.

Article II.6.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants

II.6.3.1 - Interdictions

Sont interdit les constructions, aménagements et installations ci-après :

- les changements de destination ou d'usage des constructions existantes à la date d'approbation du PPRT, lorsqu'ils conduisent à :

- augmenter la capacité d'accueil d'un établissement recevant du public portant à 1 la catégorie de celui ci après les travaux ;

- créer un établissement recevant du public de catégorie 1.

- tout aménagement et toute extension d'une construction existante lorsqu'ils conduisent à :

- augmenter la capacité d'accueil d'un établissement recevant du public portant à 1 la catégorie de celui ci après les travaux ;

- créer un établissement recevant du public de catégorie 1.

II.6.3.2 - Autorisations sous conditions

Les constructions, aménagements et installations non listés à l'article II.6.3.1, y compris en cas de reconstruction après sinistre, sont autorisés sous réserve du respect des prescriptions imposées au paragraphe II.6.4.

Article II.6.4 - Dispositions de construction

En application de l'article L515-15 du Code de l'environnement, tout nouveau projet (y compris les extensions et annexes), à l'exception de ceux n'accueillant des personnes que de manière exceptionnelle, doit résister à un effet de surpression d'un niveau d'intensité de **50 mbar caractérisé à la source par une onde choc, avec un temps d'application de 4400 millisecondes**.

Les biens existants, faisant l'objet d'aménagements ou de changements de destination qui conduisent à augmenter sensiblement la vulnérabilité des occupants, doivent, si nécessaire, subir des travaux de renforcement pour satisfaire l'objectif de performance précité.

Tout nouveau projet soumis à des dispositions de construction ne pourra être autorisé qu'au regard des conclusions d'une étude préalable de conformité au PPRT, à la charge du pétitionnaire, vérifiant que les objectifs de performance sont respectés.

Chapitre II.7 - Dispositions applicables en zone bleue : b3

Article II.7.1 - Définition de la zone b3

La zone b3 est concernée par un effet de surpression provoqué par une onde choc, de niveau d'aléa faible qui permet de qualifier un dépassement du seuil correspondant aux effets indirects sur les personnes par bris de vitres (surpression comprise entre 20 et 35 mbar).

Article II.7.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux

II.7.2.1 - Interdictions

Sans objet.

II.7.2.2 - Autorisations sous conditions

Les constructions, aménagements et installations, sont autorisés sous réserve du respect des prescriptions imposées au paragraphe II.7.4.

Article II.7.3 - Dispositions d'urbanisme applicables aux biens et activités existants

II.7.3.1 - Interdictions

Sans objet.

II.7.3.2 - Autorisations sous conditions

Les constructions, aménagements et installations, sont autorisés sous réserve du respect des prescriptions imposées au paragraphe II.7.4.

Article II.7.4 - Dispositions de construction

En application de l'article L515-15 du Code de l'environnement, tout nouveau projet (y compris les extensions et annexes), à l'exception de ceux n'accueillant des personnes que de manière exceptionnelle, doit résister à un effet de surpression de **niveau d'intensité de 35 mbar caractérisé à la source par une onde choc.**

Les biens existants, faisant l'objet d'aménagements ou de changements de destination qui conduisent à augmenter sensiblement la vulnérabilité des occupants, doivent si nécessaire, subir des travaux de renforcement pour satisfaire à l'objectif de performance précité.

Tout nouveau projet soumis à des dispositions de construction ne pourra être autorisé qu'au regard des conclusions d'une étude préalable de conformité au PPRT, à la charge du pétitionnaire, vérifiant que les objectifs de performance sont respectés.

Chapitre II.8 - Dispositions applicables en zone grisée

Article II.8.1 - Définition de la zone grisée

La zone grisée correspond à la partie de l'emprise foncière des installations à l'origine du risque technologique objet du présent PPRT.

Article II.8.2 - Dispositions d'urbanisme régissant les projets nouveaux et les projets d'aménagement du site

II.8.2.1 - Interdictions

Sont interdits toute construction et installation à l'exception de celles mentionnées à l'article II.8.2.2 du présent chapitre.

II.8.2.2 - Autorisations sous conditions

Sont autorisés sous les conditions ci-après :

- les constructions, aménagements et installations indispensables à l'activité à l'origine du risque technologique,
- toute extension, aménagement, ou changement de destination des constructions existantes, sous réserve d'être liés à l'activité à l'origine du risque technologique,
- toute construction, extension, réaménagement ou changement de destination des constructions existantes destinées au gardiennage ou à la surveillance des installations à l'origine du risque.

Article II.8.3 - Conditions générales d'utilisation et d'exploitation

Les interdictions, conditions et prescriptions particulières d'utilisation ou d'exploitation du site sont fixées dans l'arrêté préfectoral d'autorisation et les arrêtés complémentaires pris au titre de la législation des Installations Classées de la société SNECMA.

TITRE III - Mesures foncières

Afin de faire disparaître le risque, à terme par l'éloignement de ces populations, le PPRT rend possible l'exercice des trois instruments de maîtrise foncière prévus par le Code de l'urbanisme ou le Code de l'expropriation : le droit de préemption, le droit de délaissement et l'expropriation.

III.1 Le secteur d'instauration du droit de préemption.

Le droit de préemption peut être institué par délibération des communes dotées d'un document d'urbanisme **sur l'ensemble du périmètre d'exposition aux risques.**

Dans toute zone de préemption d'un PPRT, et en dehors de tout secteur de délaissement ou d'expropriation possible, tout propriétaire immobilier peut demander à la personne publique titulaire du droit de préemption d'acquérir son bien dans les conditions prévues par l'article L.211-5 du Code de l'urbanisme ; cette personne publique n'est pas tenue de procéder à cette acquisition.

Concernant le PPRT de SNECMA, **le droit de préemption peut s'exercer sur l'ensemble du périmètre d'exposition aux risques.**

III.2 Droit de délaissement

Sans objet.

III.3 Expropriation pour cause d'utilité publique

Sans objet.

TITRE IV - Mesures de protection des populations

Chapitre IV.1 – Prescriptions sur les usages

Les mesures figurant ci-après sont obligatoires et doivent être mises en application dans les 5 ans à compter de l'approbation du présent PPRT, conformément au plan annexé au présent règlement.

IV.1.1 – Routes

Stationnement :

Le stationnement de tout véhicule est interdit le long des voies publiques à l'intérieur des zones r1 et r2, sauf nécessité de service (travaux ou entretien).

Le stationnement de véhicules de Transport de Matières Dangereuses sur les voies publiques est interdit à l'intérieur des zones r1 et r2.

Interdiction de circuler (cf annexe):

Les transports collectifs et les transports de matières dangereuses, sauf distribution locale de combustibles domestiques et desserte de l'établissement SNECMA, sont interdits sur le tronçon de la VC 1 délimité au plan annexé correspondant aux zones r1 et r2.

Signalétique (cf annexe):

VC1 :

Une signalisation d'interdiction de stationnement doit être mise en place, par le gestionnaire, sur la VC1, au minimum au niveau des limites de la zone r2.

Une signalisation d'interdiction des transports de matières dangereuses avec panonceau précisant qu'une exception est faite aux transports de combustibles domestiques et à la desserte de la SNECMA doit être mise en place sur la VC1 par le gestionnaire au minimum sur le tronçon délimité au plan annexé.

Une signalisation d'interdiction des transports collectifs doit être mise en place sur la VC1 par le gestionnaire au minimum sur le tronçon délimité au plan annexé.

Les panneaux doivent être implantés à des endroits où les transports collectifs et les transports de matières dangereuses peuvent aisément faire demi-tour.

RD181 :

Une signalisation d'interdiction de stationnement de tout véhicule sur le domaine public, sauf nécessité de service, doit être mise en place, par le gestionnaire, sur la RD181 au minimum sur le tronçon délimité au plan annexé.

IV.1.2 – Itinéraires en mode doux (piétons,vélos, cheval...) au sein des zones r1 et r2

Une signalisation d'information, à destination des usagers, de l'existence d'un risque technologique, doit être mise en place, par le gestionnaire, au niveau des entrées de la piste cyclable dans le périmètre d'exposition aux risques. La signalisation doit comprendre une mention relative à l'attitude à adopter, par les usagers, en cas d'alerte (déclenchement du PPI).

Une signalisation d'information, à destination des usagers, de l'existence d'un risque technologique, doit être mise en place, par le gestionnaire, au niveau des entrées des itinéraires pédestres et/ou équestres dans les zones r1 et r2. La signalisation doit comprendre une mention relative à l'attitude à adopter, par les usagers, en cas d'alerte (déclenchement du PPI).

Une signalisation d'information, à destination des usagers, de l'existence d'un risque technologique, doit être mise en place, par le gestionnaire, sur la VC 1, au niveau des deux entrées dans la zone r2.

Une signalisation d'information, à destination des usagers, de l'existence d'un risque technologique, doit être mise en place par le gestionnaire, sur le RD181 au niveau des deux entrées dans la zone r2.

Le parcours de santé du LRBA de Vernon doit faire l'objet d'une modification de son tracé pour ne pas contraindre les utilisateurs à emprunter des chemins forestiers situés en zone r2.

IV.1.3 – Espaces publics ouverts au sein des zones r1 et r2

L'implantation de mobilier d'agrément ou d'équipements publics favorisant l'arrêt des usagers est interdite.

Chapitre IV.3 - Dispositif d'information et de secours

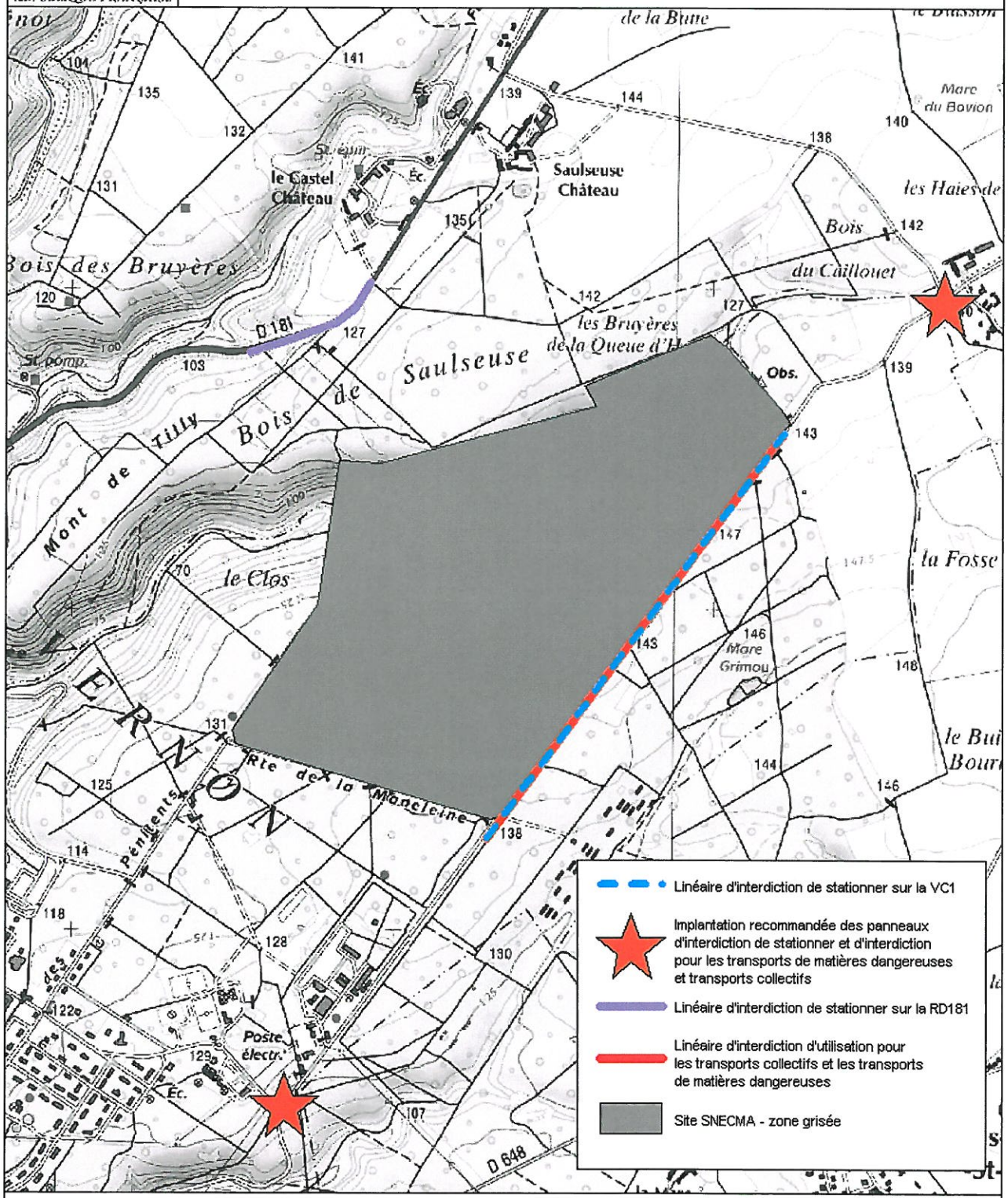
Le maire est tenu d'assurer une information dans les zones à risque. Elle doit être faite :

- **par un Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (D.I.C.R.I.M.)** réalisé à partir des éléments compris dans le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) élaboré par l'état.
- **par voie d'affichage :** le maire organise les modalités de l'affichage dans la commune. Lorsque la nature du risque ou la répartition de la population l'exige, cet affichage peut être imposé dans les locaux et terrains définis dans l'article R125-14 du Code de l'environnement.

D'après la loi n°2004-811 de modernisation de la sécurité civile, le Maire est également chargé de la réalisation d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS) qui définit l'organisation communale pour assurer l'alerte, l'information et la protection de la population et qui établit le recensement et une analyse des risques à l'échelle communale.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Plan de Prévention des Risques Technologiques SNECMA à VERNON
Annexe règlementaire concernant les prescriptions sur les infrastructures



origine des données :
périmètre d'étude
défini par l'étude de dangers et la DREAL
validé par l'arrêté de prescription du PPRT
de VERNON du 1er août 2008

Direction départementale des territoires et de la mer de l'Eure
Service prévention des risques et aménagement du territoire
cellule prévention des risques
1, avenue du maréchal Foch
27022 Evreux Cedex
chargée d'études Agnès Sméla

0 0.25 0.5
Kilomètres

N