



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

GUIDE

BRISE-SOLEIL MÉTALLIQUES

CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE

AVRIL 2014

RENOVATION

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les **Recommandations Professionnelles** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les **Guides** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les **Calepins de chantier** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les **Rapports** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les **Recommandations Pédagogiques** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1 - Introduction | 5 |
| 2 - Objet du guide | 6 |
| 2.1. • Contenu du guide..... | 6 |
| 2.2. • Domaine d'application du guide | 6 |
| 3 - Terminologie, définitions | 8 |
| 3.1. • Termes relatifs aux interventions sur ouvrage existant | 8 |
| 3.2. • Structure porteuse | 9 |
| 3.3. • Brise-soleil | 9 |
| 3.4. • Ponts thermiques..... | 11 |
| 3.5. • Rupteurs de ponts thermiques | 13 |
| 4 - Diagnostic et faisabilité | 15 |
| 4.1. • Phases de diagnostic et de faisabilité..... | 16 |
| 4.2. • Préprogramme | 16 |
| 4.3. • Etat des lieux | 17 |
| 4.4. • Diagnostic technique | 17 |
| 4.5. • Etude de faisabilité | 19 |
| 5 - Conception | 21 |
| 5.1. • Prescriptions générales | 21 |
| 5.2. • Chargement sur les brise-soleil | 24 |
| 5.3. • Dimensionnement structural | 34 |
| 5.4. • Evaluation et qualification des rupteurs thermiques..... | 40 |
| 5.5. • Sécurité incendie..... | 43 |
| 5.6. • Etanchéité à l'eau | 45 |
| 5.7. • Durabilité / Entretien..... | 46 |
| 6 - Mise en œuvre | 48 |
| 6.1. • Interface entre les intervenants..... | 48 |
| 6.2. • Prescriptions générales – Documentation | 49 |
| 6.3. • Approvisionnement et stockage | 50 |
| 6.4. • Support et fixation | 50 |
| 6.5. • Mise en œuvre de l'élément rapporté | 52 |
| 6.6. • Enveloppe du bâtiment | 53 |
| 6.7. • Caractéristiques et tolérances de l'ouvrage fini..... | 54 |
| 7 - Annexes | 56 |
| 7.1. • Annexe A : Documents de références | 56 |
| 7.2. • Annexe B : Eléments normatifs pour le dimensionnement structural | 59 |
| 7.3. • Annexe C : Valeurs réglementaires pour le calcul des charges sismiques | 72 |
| 7.4. • Annexe D : Exemple de calcul structural | 75 |

Introduction

1



Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est destiné à accompagner les professionnels du bâtiment et les aider à atteindre les objectifs fixés dans le Grenelle de l'environnement.

La rénovation thermique et énergétique du parc des bâtiments existants constitue une priorité du Grenelle avec comme objectif la réduction des consommations d'énergie d'au moins 38% d'ici à 2020.

Une nouvelle utilisation du bâtiment réhabilité peut également conduire à la nécessité d'ajouter des structures rapportées – métalliques – en façade telles que des brise-soleil.

Les brise-soleil intégrés à la façade permettent d'optimiser les apports solaires et d'assurer le confort thermique pour les occupants. Ils permettent aussi de réduire la charge de climatisation dans les bâtiments équipés de systèmes de rafraîchissement actifs.

Or, des précautions particulières doivent être prises pour la conception et la mise en œuvre de ce type de structure afin d'assurer la conformité aux exigences que ce soit sur le plan thermique ou au regard d'autres aspects tels que la stabilité structurale, la résistance sismique, etc.



2

Objet du guide



Ce guide a pour but de donner les moyens aux professionnels du bâtiment pour répondre aux objectifs fixés dans le Grenelle de l'environnement et aux exigences des réglementations thermiques pour les bâtiments existants, et notamment au recours fréquent à des brise-soleil pour renforcer le confort des occupants et réduire la charge de climatisation dans les bâtiments équipés de systèmes de rafraîchissement actifs. L'utilisation de rupteurs de ponts thermiques au niveau des fixations des brise-soleil peut être envisagée pour réduire les déperditions thermiques, dans le cas de bâtiment isolé par l'extérieur.



Les rupteurs thermiques constituent actuellement une solution non traditionnelle, notamment pour le domaine d'emploi du présent guide. Il convient d'apprécier dès la phase de conception leur influence sur la résistance structurale et la mise en œuvre de la liaison entre l'élément rapporté et le bâtiment support. L'utilisation de ces rupteurs doit être justifiée par une étude thermique réalisée en amont.

2.1. • Contenu du guide

Après une description des conceptions les plus courantes de brise-soleil métalliques, ce guide donne des recommandations pour la conception et la mise en œuvre de ces structures rapportées sur des bâtiments existants, avec ou sans rupteurs thermiques.

2.2. • Domaine d'application du guide

Le guide traite principalement des aspects thermiques (au niveau de l'ancrage du brise-soleil), structuraux et sismiques des conceptions

les plus courantes de brise-soleil métalliques rapportés (définies au paragraphe (3.3)), destinés à être mis en œuvre sur des bâtiments existants en France métropolitaine. Les structures visées sont en acier ou en aluminium.

Ces structures sont destinées à être mises en œuvre sur des bâtiments en maçonnerie, en béton ou en charpente métallique. La mise en œuvre sur façade rideau ou support bois n'est pas abordée dans ce guide.

Les conceptions couvertes par le présent guide sont décrites au paragraphe (3.3). Ce guide ne traite pas des brise-soleil relevables (type stores vénitiens extérieurs) qui sont couverts par le NF DTU 34.4.

Note

Le présent guide a été rédigé pour les brise-soleil courants, tels que présentés au paragraphe (3.3). Il est, cependant possible d'appliquer les principes généraux aux éléments de plus grandes dimensions (auvents, habillage de façade) moyennant des précautions complémentaires (notamment pour l'aspect parasismique). Certaines de ces précautions sont données dans le chapitre 4, d'autres dépendant des spécificités de conception de l'élément.



3

Terminologie, définitions



3.1. • Termes relatifs aux interventions sur ouvrage existant

Rénovation :

Remise à neuf d'un ouvrage dans un état analogue à l'état d'origine en maintenant la fonction antérieure de l'ouvrage.

Restauration :

Remise en état, à l'identique, d'un ouvrage présentant un intérêt architectural ou historique marqué.

Réhabilitation :

Amélioration générale ou mise en conformité avec les normes en vigueur (thermique, électrique, accessibilité, etc.) d'un ouvrage.

Restructuration :

Réhabilitation comportant une modification des superstructures ou des infrastructures de l'ouvrage.

Transformation :

Réhabilitation comportant un changement de destination ou de mode de fonctionnement de l'ouvrage.

Déconstruction :

Démolition partielle ou totale de l'ouvrage.

Reconstruction :

Construction d'un bâtiment similaire après que celui d'origine ait été détruit (partiellement ou totalement).



Le présent guide utilise exclusivement le terme « Réhabilitation » bien que les interventions sur le bâtiment peuvent entrer dans le champ de la rénovation, de la transformation, etc.

3.2. • Structure porteuse

La structure porteuse, ou support, correspond à la structure du bâtiment qui supporte le brise-soleil. Le support peut-être :

- une façade en béton ;
- une façade en maçonnerie ;
- une structure porteuse (poteau, poutre, lisse, etc.) dans le cas d'une façade en bardage métallique (bardage double peau, panneaux sandwiches, etc.).

La liaison entre le support et la structure rapportée est ici nommée « fixation » de manière générique. Cette fixation est dépendante du type du support :

- support béton : platines pré-scellées, rails, ancrages manchonnés, chevilles, rupteurs thermiques ;
- support maçonné : chevilles, rupteurs thermiques chevillés (solution de chantier) ;
- support métallique : boulons, rupteurs thermiques acier-acier.



Dans le cas de la mise en œuvre sur une façade en bardage métallique, les brise-soleil sont fixés sur la structure porteuse et non sur le bardage.

3.3. • Brise-soleil

Un brise-soleil est composé d'éléments occultants (lames, caillebotis, verre, bois ...) supportés par une ossature elle-même fixée sur une structure porteuse (en béton, en maçonnerie ou en acier). Les conceptions prises en compte dans ce guide sont les suivantes :

- Brise-soleil horizontaux (en auvent) ;
- Brise-soleil verticaux.

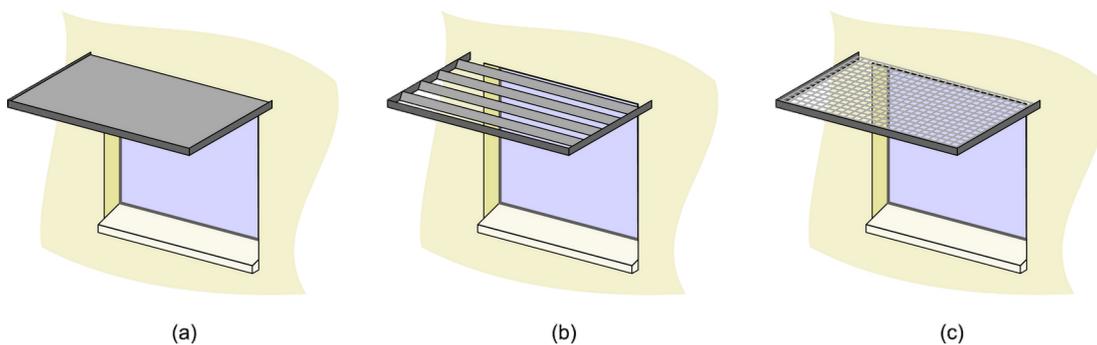
3.3.1. • Brise-soleil horizontaux

Les brise-soleil horizontaux sont disposés au-dessus d'une fenêtre, ou d'une série de fenêtres, de façon à limiter (éventuellement à contrôler) la pénétration du rayonnement solaire dans le local. L'occultation est généralement réalisée par :

- Un remplissage complet (auvent plein) ;
- Des lames inclinées (fixes ou orientables) ;



(c) Du caillebotis ou du métal déployé.



▲ Figure 1 – Exemples de brise-soleil horizontaux

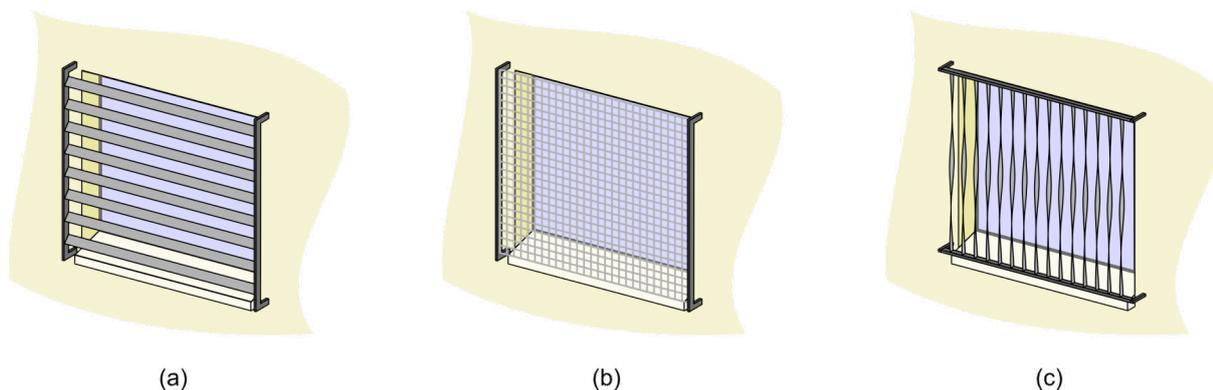
On distingue deux types de brise-soleil horizontaux :

- les brise-soleil en porte à faux où des poutres- consoles transmettent toutes les charges appliquées au bâtiment support ;
- les brise-soleil suspendus où des barres (ou des câbles) obliques participent à la reprise de ces charges.

3.3.2. • Brise-soleil verticaux

Les brise-soleil verticaux sont disposés devant une ou plusieurs fenêtre(s). L'occultation est généralement réalisée par :

- Des lames (fixes ou orientables) ;
- Du caillebotis ou du métal déployé ;
- Des éléments décoratifs, métalliques ou non, permettant une recherche esthétique particulière.



▲ Figure 2 – Exemples de brise-soleil verticaux

Un brise-soleil vertical ne doit pas être confondu avec un dispositif anti-intrusion. Le présent guide ne donne pas de recommandations pour de tels dispositifs de protection.

3.4. • Ponts thermiques

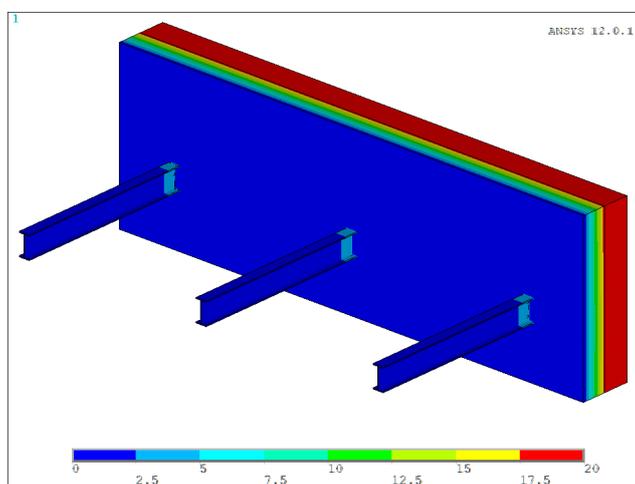
Les ponts thermiques sont des lieux de fuites de chaleur vers l'extérieur ce qui dégrade les performances thermiques du bâtiment. Il s'agit d'une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs considérée uniforme, est modifiée de façon sensible par une absence, une discontinuité ou une dégradation locale de l'isolation (poutre métallique traversant la façade, attaches métalliques traversant l'isolant, etc.).

Il existe deux types de ponts thermiques :

- les ponts thermiques linéiques (ψ en $W/(m.K)$) ;
- les ponts thermiques ponctuels (χ en W/K).

En plus de l'impact sur les performances thermiques du bâtiment, les ponts thermiques peuvent être source de pathologies diverses comme l'apparition de salissures et le développement de moisissures. En effet, les surfaces internes se refroidissent à proximité du pont thermique ce qui amplifie le risque de condensation superficielle à cet endroit.

Les ponts thermiques doivent être évalués numériquement selon la norme NF EN ISO 10211. Pour un bâtiment existant, un diagnostic thermographique permet de détecter les ponts thermiques présents dans l'enveloppe et ainsi d'envisager des solutions de traitement et les mettre en œuvre à l'occasion d'une réhabilitation de l'enveloppe.

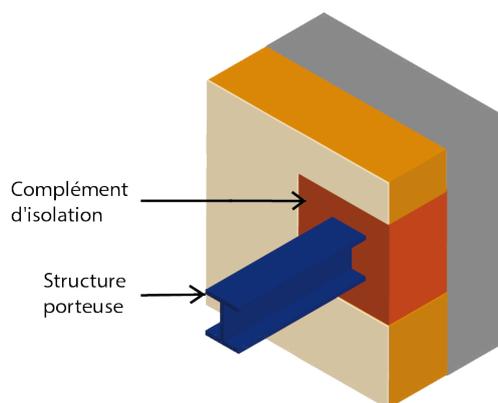


▲ Figure 3 – Simulations numériques des déperditions thermiques aux niveaux des fixations d'un brise-soleil (isolation thermique par l'extérieur ; sans rupteurs thermiques)

Le tableau suivant donne des valeurs de pont thermique ponctuel pour des fixations usuelles en acier d'un brise-soleil sur une façade (en béton, en maçonnerie ou en acier) d'un bâtiment isolé par l'extérieur. Ces valeurs ne sont valables que dans le cas où un complément d'isolation est mis en œuvre tout autour de la structure (et entre les semelles pour les profilés ouverts), au prolongement de l'isolant de la façade tel que présenté en (Figure 4).



| Type de fixation | Dimensions (mm) | Épaisseur de l'isolation extérieure (mm) ; $0.035 \leq \lambda \leq 0.045 \text{ W/(m.K)}$ | Pont thermique χ (W/K) |
|---|-----------------|---|--------------------------------|
| IPE + Platine d'about | IPE100 | 100 | 0.15 |
| | IPE100 | 140 | 0.13 |
| | IPE100 | 180 | 0.11 |
| | IPE120 | 100 | 0.19 |
| | IPE120 | 140 | 0.17 |
| | IPE120 | 180 | 0.15 |
| | IPE160 | 100 | 0.27 |
| | IPE160 | 140 | 0.25 |
| | IPE160 | 180 | 0.23 |
| | IPE200 | 100 | 0.34 |
| | IPE200 | 140 | 0.32 |
| | IPE200 | 180 | 0.30 |
| HEB + Platine d'about | HEB100 | 100 | 0.28 |
| | HEB100 | 140 | 0.26 |
| | HEB100 | 180 | 0.24 |
| | HEB120 | 100 | 0.35 |
| | HEB120 | 140 | 0.33 |
| | HEB120 | 180 | 0.31 |
| | HEB160 | 100 | 0.48 |
| | HEB160 | 140 | 0.46 |
| | HEB160 | 180 | 0.44 |
| Tube + Platine d'about | 100x60x5 | 100 | 0.26 |
| | 100x60x5 | 140 | 0.24 |
| | 100x60x5 | 180 | 0.22 |
| | 120x80x5 | 100 | 0.31 |
| | 120x80x5 | 140 | 0.29 |
| | 120x80x5 | 180 | 0.27 |
| | 160x80x6 | 100 | 0.39 |
| | 160x80x6 | 140 | 0.36 |
| | 160x80x6 | 180 | 0.34 |
| | 200x120x6 | 100 | 0.52 |
| | 200x120x6 | 140 | 0.5 |
| | 200x120x6 | 180 | 0.48 |
| Cornière (Largeur x épaisseur, en mm) | 80x10 | 100 | 0.09 |
| | 80x10 | 140 | 0.085 |
| | 80x10 | 180 | 0.08 |
| | 120x5 | 100 | 0.10 |
| | 120x5 | 140 | 0.095 |
| | 120x5 | 180 | 0.09 |
| | 120x10 | 100 | 0.13 |
| | 120x10 | 140 | 0.125 |
| | 120x10 | 180 | 0.12 |

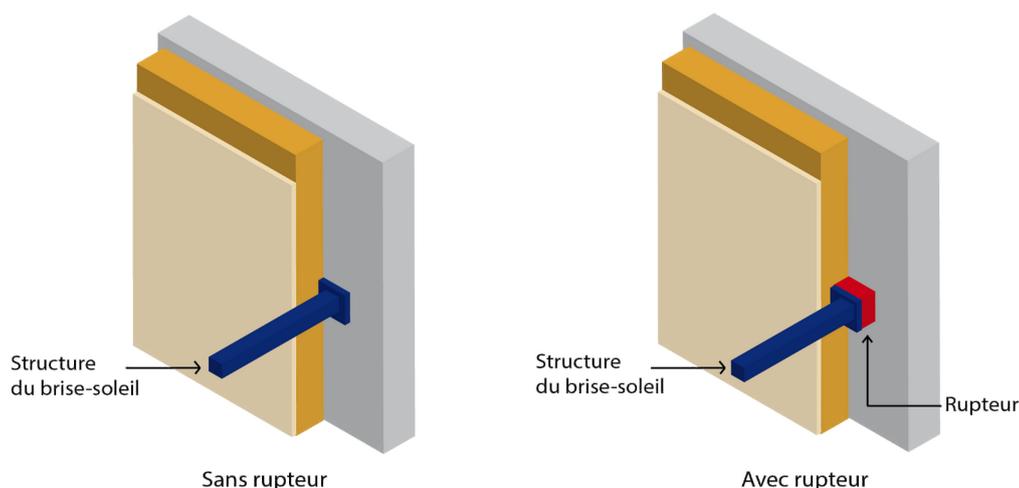


▲ Figure 4 – Mise en œuvre d'un complément d'isolation autour de la structure (et entre les semelles pour les structures ouvertes)

3.5. • Rupteurs de ponts thermiques

Les rupteurs de ponts thermiques (ou plus simplement, rupteurs thermiques) sont des éléments particuliers destinés en premier lieu à réduire les fuites de chaleur vers l'extérieur, et ainsi améliorer les performances thermiques du bâtiment. Il existe un grand nombre de types de rupteurs thermiques, souvent brevetés, qui se différencient principalement en fonction de leur position dans l'ouvrage.

Certains types de rupteurs thermiques doivent également permettre la transmission des sollicitations entre les deux éléments qu'ils séparent, et c'est notamment le cas pour ceux qui peuvent être mis en œuvre au niveau de la liaison entre un brise-soleil et le bâtiment. Dans le cadre du présent guide, le rupteur thermique est donc à la fois un organe de fixation et un élément d'isolation.



▲ Figure 5 – Principe du rupteur thermique

Les rupteurs thermiques peuvent être soit des produits manufacturés et destinés à être incorporés dans un ouvrage soit des solutions de chantier mises au point par les entreprises.

Le présent guide utilise exclusivement le terme « rupteur thermique » aussi bien pour les produits manufacturés que pour les solutions de chantier (cf. 5.4).



Au moment de la rédaction du présent guide, les rupteurs thermiques manufacturés présents sur le marché pour une application aux brise-soleil métalliques rapportés n'ont pas encore fait l'objet d'une évaluation institutionnelle en France (Avis techniques ou similaires). Il convient de prendre toutes les précautions nécessaires à leur emploi, notamment en situation sismique.

Diagnostic et faisabilité

4



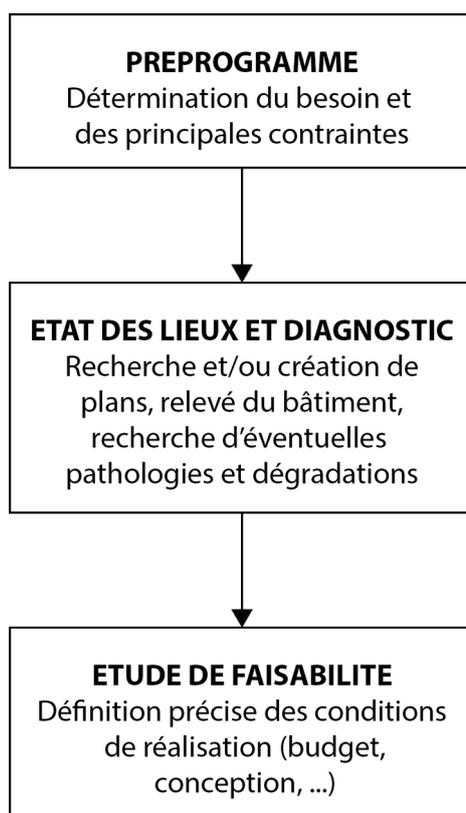
A l'interface entre la structure métallique rapportée et le bâtiment support, de nouvelles charges seront transmises par cette nouvelle structure vers le support (charges permanentes, climatiques, ...). L'ajout de nouvelles sollicitations, associé à la modification locale du support (mise en place du système de fixation), est parfois de nature à réduire la capacité du bâtiment support à résister à ses propres charges.

La conception de la structure rapportée doit donc tenir compte de la capacité du bâtiment support à reprendre ces charges nouvelles. Si la « réserve de résistance » du support est limitée, le choix de la conception de la structure rapportée doit être orientée vers les systèmes réduisant les sollicitations dans le support (brise-soleil horizontal suspendu, brise-soleil vertical avec de multiples appuis).

Le diagnostic de l'existant peut préconiser des travaux locaux ou globaux de réfection. Ces travaux, par leur nature et leur ampleur, peuvent orienter la conception de l'assemblage entre les structures support et rapportée.



4.1. • Phases de diagnostic et de faisabilité



▲ Figure 6 – Schéma général des phases amont d'une opération de réhabilitation

Ce schéma est classique pour une opération d'une certaine importance, par exemple la réhabilitation d'un bâtiment d'habitation collective incluant l'ajout de brise-soleil. Il débouche sur la rédaction des pièces écrites du marché de travaux. Si l'étude de faisabilité conclut à des conditions de réalisation inacceptables, le projet peut être profondément modifié par rapport au préprogramme, voire abandonné.

Dans le cadre d'une opération plus modeste, où souvent un maître d'ouvrage dialogue directement avec un entrepreneur, ce découpage peut être moins formalisé. Le préprogramme correspond alors simplement à la demande du maître d'ouvrage, qui peut être accompagnée d'un état des lieux plus ou moins complet. Dans ce cas, le diagnostic et l'étude de faisabilité sont des étapes incluses dans le travail que l'entrepreneur doit réaliser pour proposer une solution.

Bien souvent dans ce dernier cas, les moyens dont dispose l'entrepreneur pour réaliser ce travail d'analyse préalable le conduisent à réduire les aléas en proposant une conception induisant peu de sollicitations sur l'existant.

4.2. • Préprogramme

En phase amont des études de diagnostic et de faisabilité, il est nécessaire d'établir un préprogramme donnant les objectifs généraux portant essentiellement sur le type d'opération envisagé sur le bâtiment existant



et sur le mode de réalisation des travaux en site occupé ou non. Cette étape est de la responsabilité du maître d'ouvrage, éventuellement assisté de son maître d'œuvre pour les opérations de grande envergure.

Le préprogramme doit aussi inclure les principales contraintes d'intégration environnementale et urbaine (issues généralement du Plan Local d'Urbanisme), ainsi que les obligations juridiques correspondantes. Le cas échéant, il doit être défini en concertation avec les futurs utilisateurs du bâtiment ou leurs représentants pour éviter toute remise en cause lors des étapes de conception ou de réalisation. La concertation doit aussi inclure les avoisinants, afin de coordonner les contraintes de réalisation et de future utilisation.

4.3. • Etat des lieux

L'état des lieux est une étape indispensable pour le bon déroulement d'une opération de réhabilitation. Il doit être réalisé par le maître d'œuvre à partir de documents fournis, en général, par le maître d'ouvrage ou par l'organisme chargé des études de diagnostic. Les documents nécessaires sont les suivants :

- Plan de situation et plan de masse ;
- Plans des voiries et réseaux extérieurs (eau, gaz, électricité...) ;
- Sondages et contraintes diverses sur les éléments de façades,
- Plans des éléments de façades, planchers, ossatures, incluant coupes, compositions et dispositions constructives ;
- Plans des structures et fondations, liaisons, ferraillements et assemblages ;
- Éléments de façades et second œuvre, marques, références, repérage des équipements ;
- Ouvrages parasites, amiante, plomb... ;
- Rapport des bureaux de contrôle du bâtiment existant.

En l'absence de plans originaux et du cahier des charges de la construction, il est nécessaire de réaliser de nouveaux plans à partir de relevés effectués in situ avec examen des matériaux. Un tel relevé est à réaliser pour confirmer et/ou compléter des plans existants.

4.4. • Diagnostic technique

Le diagnostic technique fait l'objet d'une prestation spécifique. Il est obligatoire pour les marchés publics (Loi MOP ¹), et vivement conseillé pour les autres marchés, car il évite aux parties les surprises désagréables que peut révéler une réhabilitation mal préparée.

■ 1 Loi MOP ou loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 est la loi française qui met en place, pour les marchés publics, la relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre.



Le diagnostic technique est un outil d'aide à la décision qui permet au maître d'ouvrage d'apprécier les faisabilités technique et économique d'une opération de réhabilitation, et le cas échéant, d'envisager une autre alternative.

Il s'agit également d'évaluer la capacité de l'existant à supporter les modifications envisagées, en particulier les reports de charges nouvelles. Le diagnostic doit fournir :

- une levée cartographique exhaustive des surfaces considérées ;
- les causes d'éventuels désordres, par des méthodes d'auscultation le plus possible non destructives.

Le diagnostic s'effectue à partir de visites sur le site et avec le support des documents de l'état des lieux. Il se concentre principalement sur la ou les zones directement ou indirectement concernées par les modifications. Dans le cadre du présent guide, il s'agit principalement des zones de liaison avec l'élément rapporté, et des éléments servant à la descente des nouvelles charges.

Pour des opérations d'une certaine importance, le diagnostic technique peut associer plusieurs corps de métiers, choisis par le maître d'œuvre, en fonction des problèmes rencontrés. Des analyses non destructives et des relevés d'échantillons (carottage) suivis d'analyses en laboratoire peuvent être effectués lorsque des informations précises sur les matériaux sont recherchées.



Le diagnostic étant généralement basé sur des sondages et non sur la totalité de la structure concernée, l'entrepreneur doit dans tous les cas vérifier la cohérence de la situation rencontrée avec les constatations du diagnostic. En particulier, il convient de vérifier l'absence de pathologies de nature à remettre en cause la pérennité de l'ouvrage et/ou nécessitant une intervention particulière.

4.4.1. • Support béton

La résistance des structures en béton armé est très dépendante du ferrailage et de la qualité du béton réellement mis en œuvre. Lorsque des sollicitations significatives sont introduites par l'élément rapporté, le béton doit être analysé de façon à déterminer ses caractéristiques, en particulier sa résistance à la compression.

Les désordres observés sur les supports en béton peuvent correspondre à des fissures, des épaufrures et des zones d'éclatement accompagnées de la mise à nu des fers. Ces désordres affectent l'apparence et la durabilité de la construction mais également la sécurité des habitants.

Si nécessaire, des investigations sur site peuvent permettre de détecter les armatures et en mesurer l'enrobage par pachométrie ou ferros-can, en comparaison avec les plans de ferrailage de l'ouvrage s'ils sont disponibles. Elles permettent également de mesurer la corrosion

des armatures du béton par la méthode du potentiel d'électrode pour ce qui concerne les zones de fixation des éléments rapportés ou encore la dureté superficielle du béton (scléromètre).

Pour des opérations de réhabilitation de plus grande envergure, où l'ajout d'éléments rapportés en façade n'est généralement qu'une partie des travaux envisagés, des analyses de laboratoires peuvent également être jugées nécessaires par le maître d'œuvre.

L'analyse en laboratoire permet d'obtenir la profondeur de carbonatation du béton, la composition (dosage en ciment), sa porosité, la présence d'agents agressifs (sulfates, chlorures). Le développement de la carbonatation et la pénétration d'agents agressifs sont directement favorisés par les qualités intrinsèques des matériaux et particulièrement par leur compacité (la porosité favorisant la pénétration d'éléments exogènes).

Les réparations consistent en un traitement curatif des zones dégradées, et éventuellement un traitement préventif des zones dans lesquelles aucun désordre n'est observé.

4.4.2. • Support acier

Une investigation sur site doit permettre de déceler toute trace de désordre telle que des plastifications, fissures ou zones corrodées. La présence de ces pathologies ne permet pas l'ajout d'un élément rapporté sans un minimum de précautions et, bien souvent, il s'agira de mettre en œuvre un renforcement de la zone affectée, éventuellement après un traitement curatif.

Si nécessaire, l'acier du bâtiment support peut être analysé sur échantillon, de manière à le caractériser en termes de nuance (résistance mécanique), de qualité (ténacité), de ductilité, de soudabilité, etc. afin de vérifier sa conformité avec les hypothèses de calculs et la conception envisagée.

4.5. • Etude de faisabilité

Le but d'une étude de faisabilité est de fournir une base pour décider si un projet est réalisable ou non et dans quelles conditions, en se basant sur les résultats de l'état des lieux et du diagnostic technique. Outre les aspects économiques, les principaux thèmes qui seront étudiés sont les aspects réglementaires, les caractéristiques du bâtiment existant, la conception générale de l'élément rapporté.

Les principaux objectifs de l'étude de faisabilité sont :

- l'établissement des orientations du programme, des principes de solutions, des schémas fonctionnels et techniques de remise à niveau et de réfection ;
- l'évaluation des coûts des travaux à réaliser ;
- l'évaluation des délais de réalisation de l'ensemble de l'opération.



L'étude de faisabilité renseigne sur l'état général du bâtiment (gros œuvre, éventuelles pathologies, etc.). Elle permet de définir si les ouvrages peuvent être conservés en l'état, s'ils nécessitent des réfections ou remises à niveau, ou s'ils nécessitent une restructuration profonde, complète ou un remplacement. Elle identifie également les modifications ou restaurations imposées par les réglementations et normes en vigueur.

Le bâtiment existant doit pouvoir être caractérisé en termes de résistance structurelle, d'isolation thermique, de sécurité incendie, de perméabilité à l'air, d'étanchéité à l'eau, etc. L'analyse de l'influence de l'élément rapporté sur ces performances doit orienter le concepteur dans le choix de la structure rapportée la plus adéquate.



Une mauvaise ou insuffisante étude de faisabilité peut mener à un cahier des charges mal adapté, impliquant bien souvent des difficultés de réalisation ou de mauvaises solutions de réhabilitation.

Pour une opération liant seulement un maître d'ouvrage et un entrepreneur, il n'y a pas d'étude de faisabilité formalisée. L'entrepreneur propose simplement la solution qui lui paraît répondre au mieux aux besoins formulés par son client et aux contraintes techniques identifiées sur le bâtiment support.

Conception

5



Cette partie donne les clefs nécessaires à la conception d'un brise-soleil rapporté sur un bâtiment existant. Après quelques prescriptions d'ordre général, les différents chargements appliqués sur les éléments rapportés sont décrits ainsi que le dimensionnement structural de ces derniers. Un paragraphe spécifique est également consacré à l'évaluation et à la qualification des rupteurs thermiques. Les problématiques de l'étanchéité à l'eau et de la durabilité de l'élément rapporté sont également abordées.

5.1. • Prescriptions générales

5.1.1. • Documents du marché

Il convient avant toute chose de rappeler la responsabilité du maître d'ouvrage dans le bon déroulement de tout projet, en cela il lui incombe en effet la définition précise de ses objectifs et l'assurance de leur faisabilité.

Les objectifs du maître d'ouvrage sont traduits en exigences par le maître d'œuvre dans les pièces du marché. Celles-ci décrivent en particulier les relations entre les différents lots, notamment le niveau et la nature des informations à transmettre entre les lots, et les tolérances à respecter. Ces renseignements permettent de préciser toutes les hypothèses nécessaires à la conception. Ainsi, de façon à éviter toute ambiguïté, le marché doit en particulier préciser :

- la définition des actions fondamentales de base, en particulier celles des charges exceptionnelles éventuelles ;
- la définition des actions accidentelles éventuelles ;
- s'il y a lieu, le gradient thermique à prendre en compte ;



- l'ensemble des données nécessaires pour l'application des normes et textes réglementaires (thermique, feu, séisme, neige et vent, ...);
- les cas éventuels d'interdépendance de charges;
- les prescriptions particulières compte tenu du type de construction et des conditions d'exploitation ou d'agressivité du milieu ambiant (conditions marines, salinité, exposition aux intempéries, à la pollution, aux températures basses, enrobages accrus, revêtement protecteur, ...);
- le cas échéant, les états limites de déformation à respecter et les exigences particulières en matière de flèches absolues.

Note

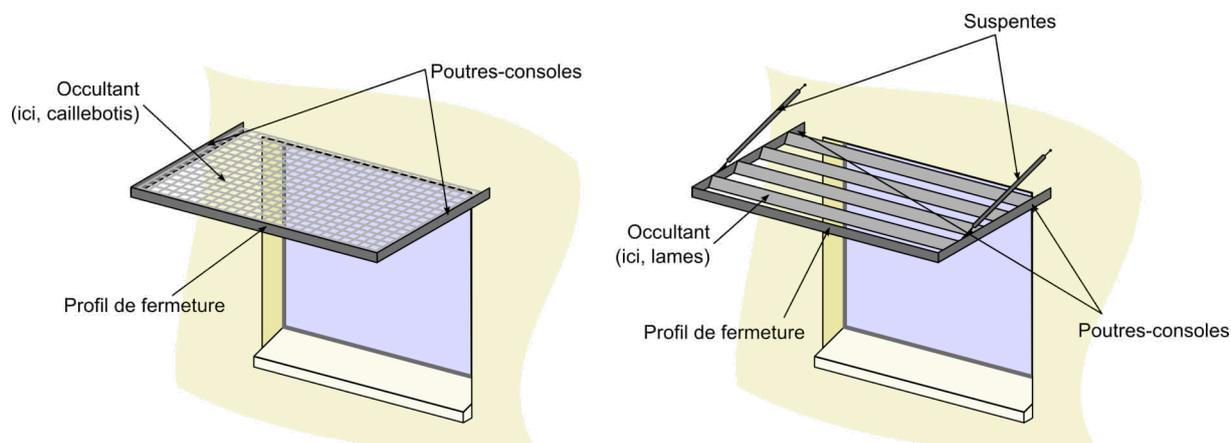
La liste précédente n'est pas exhaustive. Ces renseignements ne sont pas spécifiques au présent document; ils sont également nécessaires à l'application des Eurocodes.

5.1.2. • Conception générale d'un brise-soleil

Un brise-soleil est composé d'un assemblage d'éléments occultants, destinés à masquer le rayonnement solaire, et des éléments d'ossature qui les maintiennent en place et assurent la liaison avec le bâtiment support. La conception d'un brise-soleil est sensiblement différente selon qu'il soit positionné horizontalement ou verticalement.

5.1.2.1. • Brise-soleil horizontal

Pour les brise-soleil horizontaux, l'ossature est composée de poutres- consoles en saillie de la façade et, généralement, d'un profil de fermeture qui constitue un cadre avec les consoles. Ce cadre permet une rigidité transversale satisfaisante, améliorant ainsi le comportement sous vent parallèle à la façade ou sous séisme. Les éléments occultants sont fixés sur ce cadre, ou uniquement sur les poutres- consoles dans le cas des lames.



▲ Figure 7 – Éléments constituant un brise-soleil horizontal

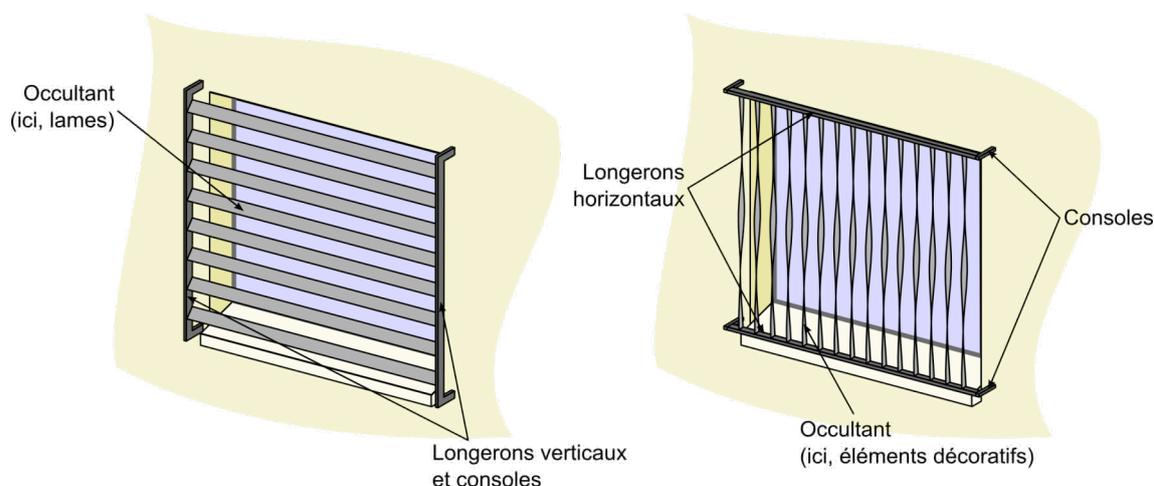


Les poutres-consoles peuvent être supportées par des suspentes pour réduire les efforts dans la fixation. Ce partage des sollicitations facilite la mise en œuvre sur des supports existants en évitant l'introduction d'un moment de flexion ponctuel. Il est alors possible de concevoir cette fixation comme une articulation puisque le moment d'encastrement est décomposé entre la suspente et la poutre-console.

Du fait de la grande légèreté des brise-soleil, il est assez courant que les charges de vent ascendant puissent compenser les charges permanentes. Dans ce cas, il est nécessaire soit de prévoir la reprise d'un moment dans la fixation des poutres-consoles soit d'utiliser des suspentes efficaces en compression (en général, des profils en tube) pour éviter un endommagement des fixations et des câbles sous l'effet de mouvements anormaux.

5.1.2.2. • Brise-soleil vertical

Pour les brise-soleil verticaux, l'ossature est composée de longerons verticaux ou horizontaux, régulièrement espacés pour les brise-soleil couvrant plusieurs fenêtres, et servant de support aux éléments occultants. Ces longerons sont reliés au bâtiment support par l'intermédiaire de petites consoles en saillie de la façade.



▲ Figure 8 – Eléments constituant un brise-soleil vertical

5.1.3. • Système d'ajustement de l'élément rapporté sur le support

L'interface entre matériaux relevant de tolérances larges et d'autres relevant de tolérances serrées, comme les assemblages béton/acier, doit permettre les ajustements nécessaires. Ces ajustements peuvent être réalisés par des systèmes de trous oblongs, de glissières ou autres mécanismes. L'attention est cependant attirée sur le fait que des systèmes et mécanismes de grandes amplitudes peuvent générer des excentricités importantes concernant les transferts de charges au sein des assemblages.

Ces ajustements doivent tenir compte de l'état et de la géométrie du support. Dans le cadre d'une rénovation lourde, le support peut faire



l'objet de travaux (par exemple, si des pathologies ont été constatées) et peut alors être considéré comme un nouveau support. Dans ce cas, il est possible de se reporter au document de la même collection « Brise-soleil métalliques rapportés – Conception et mise en œuvre – Neuf » en complément du présent ouvrage.

5.1.4. • Dilatation

Le brise-soleil est exposé à l'environnement extérieur et donc aux variations de la température ambiante. On considère que le brise-soleil est à température extérieure (il n'y a aucune inertie thermique de la structure rapportée) alors que le bâtiment est à température intérieure contrôlée.

Les variations de température induisent des variations dimensionnelles (dilatation ou contraction) de la structure rapportée par rapport au bâtiment.

Suivant la conception de l'élément rapporté, les variations dimensionnelles induites par l'effet de la température peuvent être bridées. Il convient alors de considérer la résistance en cisaillement horizontal de l'organe de liaison à la façade (et son interaction avec les autres sollicitations).

Dans d'autres conceptions plus courantes, ces variations dimensionnelles sont permises. Les déformations prévues ne doivent pas être empêchées, il convient donc de vérifier l'adéquation des détails constructifs (trous oblongs, joints de dilatation, assemblages « articulés », ...) avec ces valeurs. On prévoit généralement une variation dimensionnelle de l'ordre de ± 1 mm par mètre pour l'aluminium et de $\pm 0,5$ mm par mètre pour l'acier.



L'attention est attirée sur le fait que l'aluminium possède un coefficient de dilatation thermique de $23 \cdot 10^{-6}$ m/m.K soit sensiblement plus important que ceux de l'acier et du béton ($12 \cdot 10^{-6}$ et $10 \cdot 10^{-6}$ m/m.K respectivement).

Pour des éléments rapportés de grandes dimensions, il est préférable de répartir les déformations par la mise en œuvre de joints de dilatation. Sauf justifications particulières, une distance de 6,0 m entre joints de dilatation est recommandée. Il convient par ailleurs de positionner les joints sur l'élément rapporté au droit des joints de dilatation ou de rupture de la structure porteuse.

5.2. • Chargement sur les brise-soleil

Cette partie présente les charges à considérer pour le dimensionnement d'un brise-soleil, suivant le référentiel Eurocodes en vigueur. Le cahier des charges peut spécifier des valeurs plus sévères que celles présentées par la suite.

5.2.1. • Charges permanentes (G)

Les charges permanentes sont à prendre en compte suivant les dimensions nominales des éléments utilisés et leurs masses volumiques nominales. Pour les brise-soleil, ces charges sont essentiellement apportées par l'ossature du brise-soleil et par les « éléments occultants » (lames, métal déployé, caillebotis...).

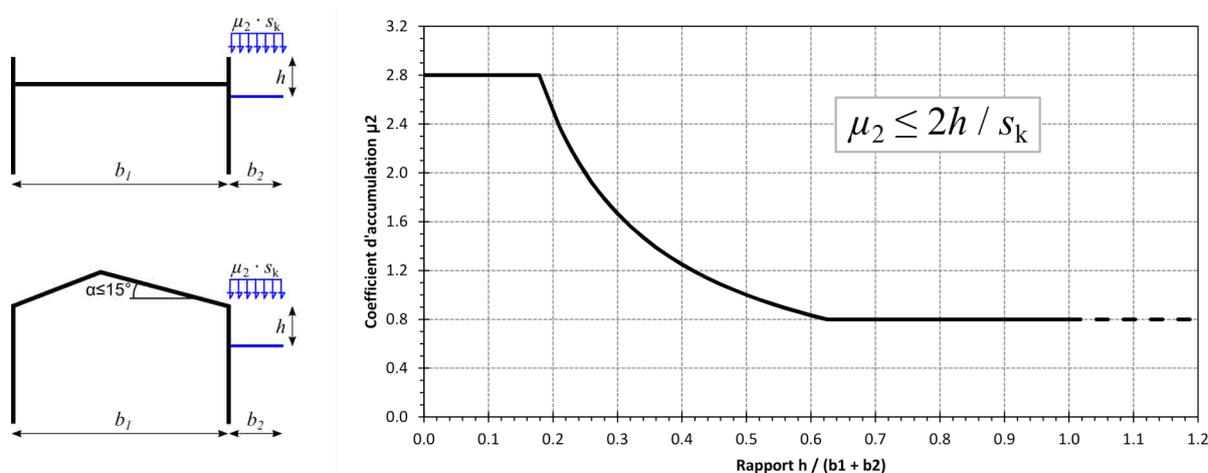
5.2.2. • Neige (S)

Les effets de la neige sur les constructions sont définis dans la norme NF EN 1991-1-3 et son annexe nationale. Les documents particuliers du marché (DPM) peuvent préciser les conditions d'application de la neige (et/ou du givre) sur les brise-soleil.

A défaut, les brise-soleil horizontaux peuvent toujours être considérés comme un auvent plein vis-à-vis des charges de neige. Il s'agit d'une hypothèse conservatrice destinée à prévoir la possibilité d'une accumulation de la neige ou du givre entre les éléments d'un brise-soleil ajouré.

La procédure détaillée de détermination de la charge de neige est reportée en [Annexe B] du présent document. La charge de neige de référence sur le sol est obtenue à partir de la carte de l'annexe nationale à la NF EN 1991-1-3. Cette charge caractéristique de neige s_k doit être corrigée pour tenir compte de l'altitude au-delà de 200 m au-dessus du niveau de la mer. La charge de neige sur le brise-soleil se calcule ensuite par l'intermédiaire du coefficient d'accumulation μ_2 .

Excepté pour les brise-soleil directement en dessous d'un versant dont la pente est supérieure ou égale à 15° (27%), il est possible d'utiliser l'abaque ci-dessous pour obtenir une valeur sécuritaire de μ_2 , en alternative aux formulations générales données en [Annexe B] :



▲ Figure 9 – Coefficient d'accumulation de la neige sur un auvent



5.2.3. • Vent (W)

La détermination des actions du vent est réalisée suivant la NF EN 1991-1-4 et son annexe nationale. Les documents particuliers du marché (DPM) peuvent préciser les conditions d'application du vent sur les brise-soleil (en particulier les coefficients de pression à considérer). A défaut, il est possible de prendre en compte l'expression de la force exercée par le vent suivante :

$$F_w = c_s c_d \cdot c_{p,net} \cdot q_p(z) \cdot A_{ref}$$

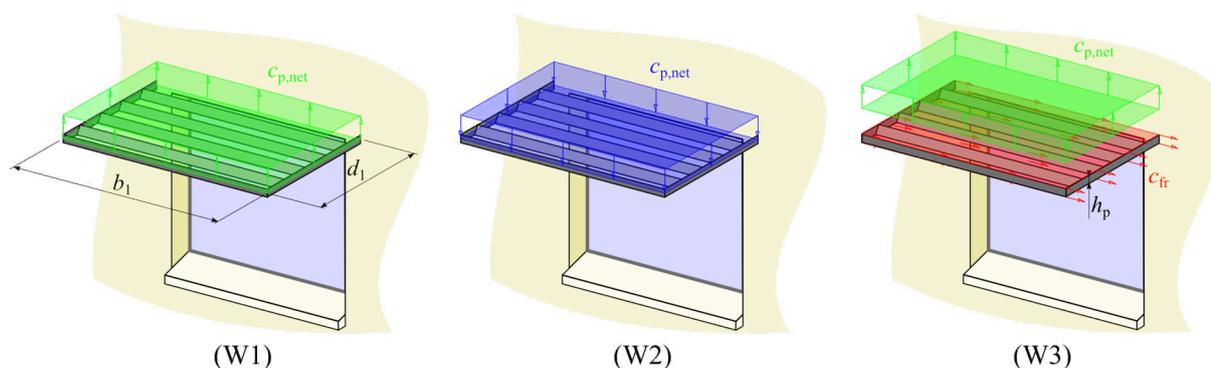
$c_s c_d$ Coefficient structural du bâtiment (voir la NF EN 1991-1-4). Dans le cadre de l'application de cette méthode, on pourra supposer que $c_s c_d = 1$.

$c_{p,net}$ Coefficient de pression nette sur le brise-soleil (voir ci-après).

$q_p(z)$ Pression dynamique de pointe (voir la NF EN 1991-1-4). En alternative aux formulations de la norme, il est possible d'utiliser la procédure simplifiée décrite en [Annexe B] du présent guide.

A_{ref} Aire de référence. Pour les auvents pleins, il s'agit à la surface hors tout de l'auvent ($b_1 d_1$). Pour les brise-soleil ajourés, il s'agit de la projection horizontale de l'aire des différents éléments (ou la projection verticale pour un brise-soleil vertical).

Pour les brise-soleil horizontaux, on considère 3 cas de charges associés à différentes valeurs de $c_{p,net}$.



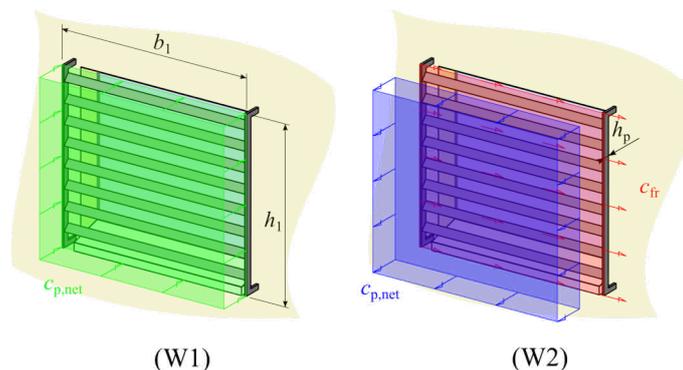
▲ Figure 10 – Pression de vent sur les brise-soleil horizontaux

- W1 – Pression ascendante maximale : $c_{p,net} = 2,0$.
- W2 – Pression descendante pour les brise-soleil situés dans le tiers inférieur de la hauteur du bâtiment (négligée dans les autres cas) : $c_{p,net} = 1,0$.
- W3 – Vent parallèle à la façade. L'effort de frottement est défini par la formule suivante :

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr}$$

Avec $c_{fr} = 2 h_p d_1 / A_{fr} + 0,05$ (sauf si une autre valeur peut être justifiée) et $A_{fr} = 2 b_1 d_1$ (b_1 et d_1 la longueur hors tout et la portée du brise-soleil). L'effort de soulèvement concomitant est déterminé avec $c_{p,net} = 1,5$.

Pour les brise-soleil verticaux, on considère 2 cas de charges associés à différentes valeurs de $c_{p,net}$.



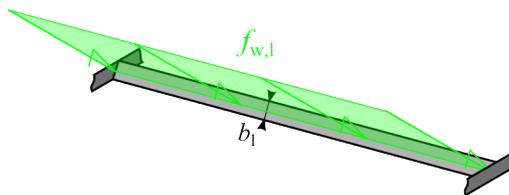
▲ Figure 11 – Pression de vent sur les brise-soleil verticaux

- W1 – Pression maximale : $c_{p,net} = 0,7$.
- W2 – Vent parallèle à la façade. L'effort de frottement est défini par la formule précédente avec $c_{fr} = 2 h_p h_1 / A_{fr} + 0,05$ (sauf si une autre valeur peut être justifiée) et $A_{fr} = b_1 h_1$. L'effort d'arrachement concomitant est déterminé avec $c_{p,net} = 0,5$.
- Pour la vérification des lames et des liaisons entre les lames et l'ossature, l'effort de vent par unité de longueur peut être estimé comme suit :

$$f_{w,l} = c_s c_d \cdot c_{p,net,l} \cdot q_p(z) \cdot b_l$$

$c_{p,net,l}$ Coefficient de pression nette sur la lame, peut être pris égal à 2,0 à défaut d'une autre valeur justifiée (par exemple, donnée par le fournisseur).

b_l Largeur de la lame. La force crée une flexion dans la direction de plus faible inertie.



▲ Figure 12 – Effort de vent sur une lame

5.2.4. • Actions thermiques (T)

Les actions thermiques ont un effet différent selon la conception du brise-soleil, soit en provoquant des déformations supplémentaires, soit en engendrant des efforts lorsque ces déformations sont empêchées (c'est notamment le cas des conceptions sans joint de dilatation).

Selon la norme NF EN 1991-1-5, on distingue la variation uniforme de température et l'effet des gradients thermiques.



Pour la variation uniforme de température, il s'agit de déterminer la différence de température envisageable entre le bâtiment (chauffé et isolé par l'extérieur) et le brise-soleil (en moyenne). Selon l'annexe nationale à la norme NF EN 1991-1-5, on a :

- température intérieure en été (T_1) et en hiver (T_2) : $T_1 = T_2 = +18^\circ\text{C}$;
- variation extrême de la température extérieure $T_{\text{max}} + T_5 = +50^\circ\text{C}$ et $T_{\text{min}} = -30^\circ\text{C}$ (des valeurs plus favorables de T_{min} et T_{max} peuvent être obtenues selon le département, il est recommandé de prendre $T_5 = +10^\circ\text{C}$ dans tous les cas).

Ce qui donne une différence de température maximale (enveloppe) entre la structure rapportée et le bâtiment support de $+32^\circ\text{C} / -48^\circ\text{C}$.

Pour les effets du gradient thermique, il convient de considérer successivement :

- une différence de température de $+29^\circ\text{C} / -18^\circ\text{C}$ entre les fibres supérieures et inférieures de l'ossature horizontale ;
- une différence de $\pm 15^\circ\text{C}$ entre les câbles et le reste du brise-soleil.

L'effet de ces écarts de température dépend des choix constructifs effectués et de la position des joints de dilatation. Le concepteur est invité à consulter la partie 5.1.4 du présent guide sur la conception vis-à-vis de la dilatation.

5.2.5. • Effet du séisme (E)

5.2.5.1. • Exigences réglementaires

La réglementation parasismique n'a pas d'effet rétroactif pour les bâtiments à risque normal. Pour les bâtiments existants faisant l'objet de travaux, les exigences parasismiques dépendent de la nature de ces derniers.

Pour déterminer ce que sont ces exigences, il convient de procéder en plusieurs étapes, décrites ci-dessous.

Etape 1 : Le bâtiment est-il concerné par la réglementation parasismique ?

Les seuls bâtiments existants concernés par la réglementation parasismique (cf. Arrêté du 22 octobre 2010 modifié) sont les suivants :

- les bâtiments de catégories d'importance III et IV situés en zone de sismicité 2 ;
- les bâtiments de catégories d'importance II, III et IV situés en zones de sismicité 3, 4 et 5.



Les définitions des catégories d'importance et des zones de sismicité sont données dans l'[Annexe C] du présent guide. Pour tous les bâtiments non mentionnés dans la liste précédente, aucune vérification aux effets du séisme n'est exigible.

| Zones de sismicité | Catégories d'importance | | | |
|--------------------|-------------------------|----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| 1 | | | | |
| 2 | | | * | * |
| 3 | | * | * | * |
| 4 | | * | * | * |
| 5 | | * | * | * |

(*) : les cellules en jaune indiquent que le bâtiment est concerné par la réglementation parasismique

Note

La catégorie d'importance d'un bâtiment est déterminée en fonction de la situation après travaux ou changement de destination.

Etape 2 : Les travaux dépassent-ils le seuil de travaux lourds ?

Si les travaux envisagés dans un bâtiment existant concerné par la réglementation parasismique dépassent un ou plusieurs des seuils définissant les travaux lourds, le bâtiment dans son ensemble doit répondre aux exigences de résistance aux actions d'un séisme. Le niveau d'exigence est moins sévère que pour un bâtiment neuf, et le niveau d'accélération est réduit à 60% de celui du neuf.

| Zone de sismicité | Catégorie d'import. | Seuil de travaux lourds | | Règles de construction |
|-------------------|---------------------|---|--|--|
| Zone 2 | IV | > 30 % de surface créée > 30% de plancher supprimé à un niveau | | Eurocode 8-1 a_{gr} = 0,42 m/s ² |
| | | | | |
| Zone 3 | II | > 30 % de surface créée > 30% de plancher supprimé à un niveau | | Conditions PS-MI respectées PS-MI Zone 2 |
| | | > 30 % de surface créée > 30% de plancher supprimé à un niveau | | |
| | III | > 30 % de surface créée | | |
| | IV | > 30% de plancher supprimé à un niveau | | |
| Zone 4 | II | > 30 % de surface créée | | Conditions PS-MI respectées PS-MI Zone 3 |
| | | > 30 % de surface créée > 30% de plancher supprimé à un niveau | | |
| | III | > 20 % de surface créée > 30% de plancher supprimé à un niveau | | |
| | IV | > 20 % de contreventements verticaux supprimés Ajout d'équipements lourds en toiture | | |



| Zone de sismicité | Catégorie d'import. | Seuil de travaux lourds | | Règles de construction |
|-------------------|---------------------|---|---|------------------------|
| Zone 5 | II | > 30 % de surface créée | Conditions CP-MI respectées | CP-MI |
| | | > 20 % de surface créée > 30% de plancher supprimé à un niveau > 20 % de contreventements verticaux supprimés | | |
| | III | > 20 % de surface créée | Eurocode 8-1 a_{gr} = 1,8 m/s ² | |
| | IV | > 30% de plancher supprimé à un niveau > 20 % de contreventements verticaux supprimés Ajout d'équipements lourds en toiture | | |

La dernière colonne du Tableau indique les règles de construction et le niveau d'aléa à considérer pour le dimensionnement du bâtiment complet, lorsque le seuil de travaux lourds est dépassé. Lorsque l'Eurocode 8-1 est applicable, l'accélération maximale de référence à considérer correspond à 60% de celle exigible pour un bâtiment neuf.

Dans le cadre d'un projet de rénovation impliquant le dépassement d'un des seuils de travaux lourds, la résistance aux effets du séisme doit être démontrée pour le bâtiment comme pour les éléments rapportés en façade. La méthode simplifiée proposée dans le présent guide (cf. 5.2.6.4) peut alors être appliquée pour les brise-soleil.

Etape 3 : Les travaux aggravent-ils la vulnérabilité sismique du bâtiment ?

Quand le seuil des travaux lourds n'est pas dépassé, les travaux sur le bâtiment doivent néanmoins respecter le principe de non aggravation sismique de la structure (cf. conditions générales de l'Article 3 dans l'Arrêté du 22 octobre 2010 modifié).

Un guide de l'AFPS donne la démarche à suivre pour analyser la conséquence des travaux effectués sur la vulnérabilité sismique du bâtiment ¹.

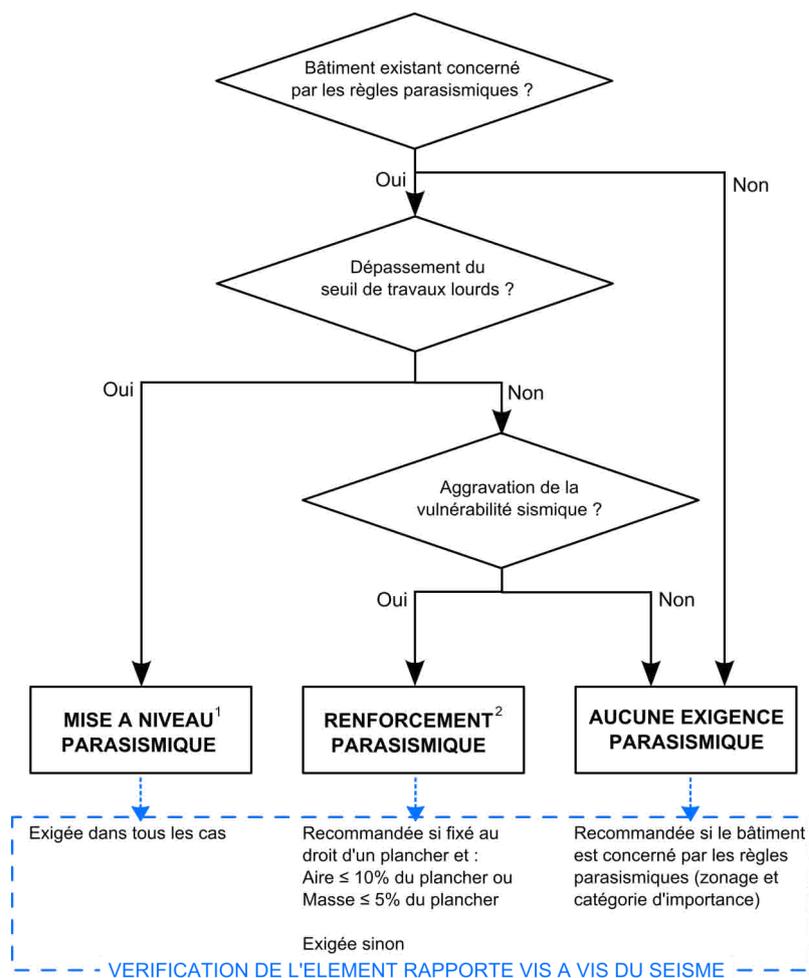
Pour un projet de travaux portant uniquement sur l'ajout de brise-soleil en façades respectant les conditions suivantes, on peut considérer qu'il n'y a pas aggravation de la vulnérabilité sismique du bâtiment et aucun renforcement de la structure n'est exigible :

- Brise-soleil fixé sur un élément structurel du bâtiment support (élément en béton armé, chaînage, profil métallique).
- Masse du brise-soleil n'excédant pas 5% de celle du plancher le plus proche.

Quand il y a aggravation de la vulnérabilité sismique du bâtiment, il est nécessaire de réaliser des travaux de renforcement visant à compenser cette aggravation, ce qui peut nécessiter le recours à un bureau d'études spécialisé.

L'organigramme ci-dessous résume le processus déterminant les exigences parasismiques lors de travaux sur un bâtiment existant.

¹ Evaluation de l'incidence de travaux sur la vulnérabilité au séisme d'un bâtiment existant – Grille d'analyse – AFPS – à paraître



¹ Etudes et travaux à réaliser pour la totalité du bâtiment, y compris l'élément rapporté, de façon à attendre la performance sismique exigée.

² Etudes et travaux, éventuellement localisés, visant à compenser l'aggravation de la vulnérabilité sismique.

▲ Logigramme des exigences réglementaires parasismiques

Etape 4 : L'action sismique peut-elle être négligée pour l'élément rapporté ?

Les brise-soleil métalliques rapportés rentrent dans le domaine d'application du guide de dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti (MEDDTL/DGALN/DHUP – 2013). Ainsi, lorsqu'une mise à niveau parasismique est exigée, ou que l'ajout du brise-soleil nécessite un renforcement parasismique, l'action sismique sur les brise-soleil peut toutefois être négligée dans certains cas :

- les brise-soleil horizontaux dont le porte-à-faux est inférieur à 1,5 m et la masse inférieure à 25 kg/m² ;
- les brise-soleil verticaux dont la hauteur de référence (définie comme la hauteur entre le point haut du brise-soleil et l'aire de chute potentielle) est inférieure à 3,5 m et la masse inférieure à 25 kg/m².

Il est également possible de se passer de vérification parasismique pour un élément non structural situé à l'aplomb :

- d'une aire de chute à occupation nulle ou quasi nulle (par exemple : zone non accessible sauf pour l'entretien) ;



- ou d'une aire protégée par un réceptacle ou un auvent de protection (il convient de s'assurer que le réceptacle possède une résistance suffisante pour supporter la chute de l'élément non structural).

Lorsqu'une vérification parasismique est exigée, la méthode d'analyse est présentée dans la suite de ce chapitre. La norme de construction parasismique visée est l'Eurocode 8 (NF EN 1998-1).



La méthode d'analyse présentée par la suite est applicable pour le cas courant d'un élément rapporté présentant une masse négligeable par rapport à celle du bâtiment support et qui n'influe pas sur le comportement global de ce dernier sous action sismique.

Lorsque l'élément rapporté modifie de manière notable le comportement sismique global du bâtiment (ce peut être le cas de certaines conceptions d'habillage de façade sur plusieurs niveaux, ou pour des casquettes de grande portée), une étude plus poussée doit être envisagée pour définir les actions sismiques. Lorsque la rigidité propre d'un brise-soleil vertical contribue pour plus de 15% à la rigidité transversale totale, il ne peut être négligé dans l'analyse du bâtiment.

Le concepteur doit alors envisager de procéder à une analyse intégrant les brise-soleil dans la modélisation globale du bâtiment, et en tenant compte de la rigidité effective des assemblages. Cette approche devient également obligatoire lorsqu'il est nécessaire de considérer la composante verticale de séisme (cf. paragraphe suivant).

Dans cette optique, la structure rapportée doit uniquement conduire les charges sismiques qui lui sont appliquées et non reprendre celles appliquées au bâtiment. L'analyse pourra prendre en compte le comportement dissipatif du bâtiment support, mais l'élément rapporté ne comportera aucune zone dissipative.

5.2.5.2. • Directions du séisme

Les deux directions horizontales du séisme sont toujours à prendre en compte. Elles ne devraient généralement pas conduire à des situations dimensionnantes.

En France métropolitaine, la direction verticale n'est normalement pas à considérer d'après les critères définis par la clause 4.3.3.5.2 (1) de la NF EN 1998-1 ($a_{vg} \leq 2,5 \text{ m/s}^2$; a_{vg} est l'accélération sismique dans la direction verticale).

5.2.5.3. • Masses à prendre en compte

Pour le calcul des actions sismiques agissant sur le brise-soleil, seules les masses permanentes sont prises en compte (cf. 5.2.1).



5.2.5.4. • Actions sismiques horizontales

Ce paragraphe propose une méthode simplifiée pour le calcul des actions sismiques agissant sur un brise-soleil métallique rapporté. Cette méthode correspond à celle du guide ENS mais les symboles peuvent différer. La force sismique agissant dans une direction horizontale peut être estimée par la relation suivante :

$$F_h = m_E \frac{\gamma_a a_E}{q_a}$$

Où : m_E est la masse de l'élément rapporté à prendre en compte, soit ici la masse du brise-soleil.

γ_a est le coefficient d'importance, pris ici égal à 1,0.

q_a est le coefficient de comportement. Il est pris égal à 1,0 sauf justifications particulières.

a_E est l'accélération maximale de calcul subie par le brise-soleil. De manière générale, cette valeur peut être déterminée lors de l'analyse sismique du bâtiment.

Lorsque le calcul de l'élément rapporté est mené indépendamment du calcul du bâtiment (voir ci avant), cette accélération a_E peut se calculer simplement par l'expression suivante :

$$a_E = \gamma_I a_{gr} S \left[\frac{3(1+z/H)}{1+(1-T_a/T_1)^2} - 0,5 \right]$$

Où : γ_I , a_{gr} et S sont respectivement le coefficient d'importance du bâtiment, l'accélération sismique au niveau d'un sol rocheux et le coefficient de sol ; leurs valeurs sont indiquées dans l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié [Annexe C]

T_a est la période fondamentale de vibration du brise-soleil

T_1 est la période fondamentale de vibration du bâtiment dans la direction appropriée

H est la hauteur totale du bâtiment et z la hauteur du brise-soleil au-dessus des fondations.

Dans cette relation, il est conservatif de considérer $T_a/T_1 = 1$ et $z/H = 1$, ce qui permet alors de considérer la formule simplifiée suivante :

$$a_E = 5,5 \gamma_I a_{gr} S$$

Quand la valeur $q_a = 1,0$ est considérée, la force sismique agissant dans une direction horizontale s'écrit alors :

$$F_h = 5,5 m_E \gamma_I a_{gr} S$$

La force F_h doit être appliquée au centre de gravité du brise-soleil, dans les deux directions horizontales successivement (suivant les règles de cumul données en 5.2.5.5).



5.2.5.5. • Cumul des directions horizontales

Dans le cas où seules les directions horizontales sont à prendre en compte, les effets de l'action sismique s'obtiennent de la manière suivante :

$$E = E_{F_{hx}} + 0,30 E_{F_{hy}}$$

$$E = 0,30 E_{F_{hx}} + E_{F_{hy}}$$

où $E_{F_{hx}}$ et $E_{F_{hy}}$ représentent les effets respectifs de la force F_h appliquée dans la direction x et dans la direction y.

5.2.5.6. • Assemblages

Le séisme provoque dans les organes de fixation des efforts de traction / compression, et des efforts tranchants horizontaux. Pour la vérification des assemblages, les actions sismiques doivent être majorées par $1,2 \times q_a$.

Les éléments de fixation doivent être compatibles avec la nature cyclique des actions sismiques.

5.2.6. • Combinaisons d'actions

Les différentes actions sont à combiner suivant les principes de la NF EN 1990. Il est admis, comme pour les bâtiments en général, de considérer au plus deux charges variables (une principale et une d'accompagnement).

Les combinaisons ELU (état limite ultime) et ACC (accidentelles) permettent de vérifier la résistance de la structure. Les combinaisons ELS (état limite de service) permettent de vérifier l'aptitude de la structure à sa destination (essentiellement le respect des déformations limites). Les combinaisons génériques sont reportées en [Annexe B].

5.3. • Dimensionnement structural

Le dimensionnement structural (à froid) d'un brise-soleil en acier est régi par le corpus Eurocode 3, et en particulier les normes suivantes :

NF EN 1993-1-1 Eurocode 3: Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments

NF EN 1993-1-8 Eurocode 3: Calcul des structures en acier – Partie 1-8 : Calcul des assemblages

Les parties suivantes peuvent également s'avérer nécessaires selon les cas :

NF EN 1993-1-3 Eurocode 3: Calcul des structures en acier – Partie 1-3 : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques formés à froid

NF EN 1993-1-5 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier –
Partie 1-5 : Plaques planes

NF EN 1993-1-11 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier –
Partie 1-11 : Calcul des structures à câbles ou éléments tendus

Dans le cas des structures de brise-soleil en aluminium, il convient d'appliquer l'Eurocode 9, dont les fondements (et bien souvent les vérifications) sont identiques à l'Eurocode 3.

NF EN 1999-1-1 Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium –
Partie 1-1 : règles générales

5.3.1. • Ossature de la structure métallique rapportée

5.3.1.1. • Analyse

Les brise-soleil rapportés peuvent en règle générale être analysés de manière séparée du bâtiment. Cela ne dispense en aucune façon de tenir compte de la rigidité effective de l'assemblage si celui-ci doit transmettre un moment de flexion (cf. 5.3.4).

Le concepteur de l'élément métallique devra fournir une descente de charge au bureau d'études gros œuvre, pour prise en compte dans sa propre analyse. En amont, il conviendra de définir les conditions de liaison en bonne entente entre les responsables des lots « gros œuvre » et « élément rapporté ».

Le calcul des sollicitations dans les brise-soleil est effectué par les méthodes usuelles de la résistance des matériaux. Il est admis d'effectuer une analyse élastique pour la distribution des sollicitations internes, et d'utiliser dans la même démarche une vérification en résistance, soit élastique dans tous les cas, soit plastique si la classe de la section le permet. L'utilisation d'une démarche d'analyse globale plastique n'est pas recommandée pour les structures rapportées.

5.3.1.2. • Second ordre et imperfections

Les effets du second ordre globaux et des imperfections globales peuvent être négligés pour les brise-soleil courants.

Les brise-soleil verticaux de grandes dimensions (de type habillage de façade) peuvent, en fonction de leur conception, être sensibles aux effets du second ordre et aux imperfections globales initiales (faux aplomb). Il convient de juger de cette sensibilité suivant les principes donnés dans le chapitre 5 de la NF EN 1993-1-1 et, le cas échéant, de les inclure dans l'analyse.



5.3.1.3. • Résistance des éléments

La vérification de la résistance des différents éléments doit être basée sur les règles données dans la NF EN 1993-1-1 (ou NF EN 1999-1-1 pour les structures en aluminium).

5.3.1.4. • Déformation des éléments

Les limites de déformations doivent être données par les documents particuliers du marché. Pour les lames, il convient de respecter les recommandations du fournisseur. A défaut, les valeurs suivantes peuvent être appliquées :

| Critère mesuré | Limites |
|---------------------------------|---------|
| Flèche des éléments horizontaux | L/300 |
| Flèche des éléments verticaux | L/500 |

Note : L représente la portée de l'élément considéré, ou le double si celui-ci est en porte-à-faux

Cette limite de flèche permet notamment de se prémunir d'un phénomène de vibration sous le vent. En cas d'étude vibratoire spécifique, il est possible de considérer des critères de flèche plus favorables. Le cas échéant, il convient également de suivre les recommandations du fournisseur des lames ou des éléments décoratifs.

La vibration des lames peut avoir comme origine la fixation de ces dernières sur leur support, en particulier lorsque les lames sont orientables.

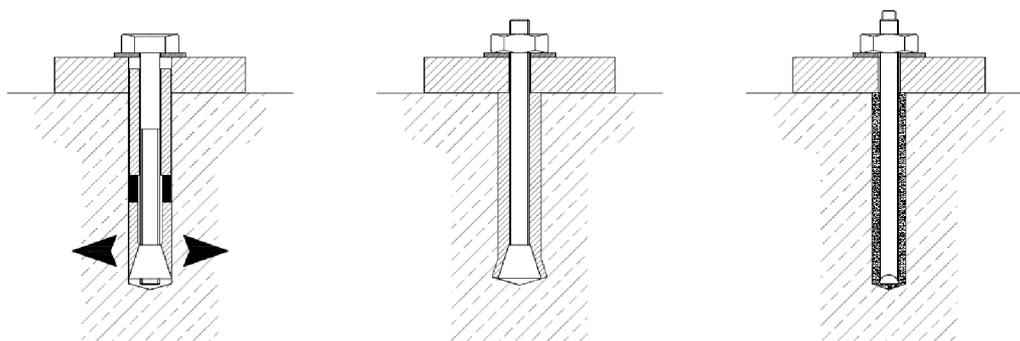
5.3.2. • Support et fixation

La vérification du support sous les sollicitations transmises par le brise-soleil rapporté est de la responsabilité du bureau d'études gros œuvre. Les vérifications du support s'entendent sur le plan global (prise en compte de l'effet de l'élément rapporté sur les sollicitations dans l'ossature du bâtiment) et sur le plan local (diffusion des efforts ponctuels).

5.3.2.1. • Support béton et maçonné

Pour la fixation dans un support béton, il convient de respecter le dimensionnement du fabricant de l'organe de fixation ou du rupteur thermique et les règles de la NF EN 1992-1. Il convient de s'assurer de la capacité de l'ossature à recevoir les nouvelles sollicitations.

Les fixations utilisées pour un support béton (ou maçonné) existant sont habituellement des fixations post-scellées comme des chevilles à expansion, des chevilles à verrouillage de forme, des chevilles à scellement, des vis à béton, etc. Les chevilles nécessitent un perçage préalable du béton ou de la maçonnerie.



▲ Figure 13 – Chevilles à expansion, à verrouillage de forme, à scellement

Pour la conception de chaque type de fixation, il convient de se reporter à la documentation du fabricant, aux documents d'évaluation/certification (Avis Techniques, Agréments techniques Européens, Appréciations Techniques d'Expérimentation, ...) ou aux normes, lorsqu'elles existent.

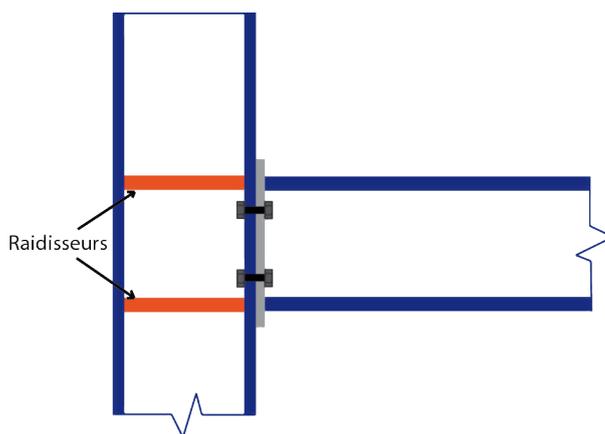


Au moment de la rédaction du présent guide, les chevilles sous ATE ne sont pas qualifiées en situation sismique. Il convient de se reporter aux documents d'évaluation des différents systèmes de fixation pour en apprécier le domaine d'emploi.

5.3.2.2. • Support métallique

Les vérifications à mener sur le support métallique doivent respecter les recommandations du fabricant de l'organe de fixation (ou du rupteur thermique) et les règles de la NF EN 1993-1-8. Généralement, les brise-soleil sont fixés sur des lisses horizontales. Si cette lisse est ajoutée pour la reprise des charges de brise-soleil, le support est neuf et il est possible de se reporter au guide de la même collection « Brise-soleil métallique – Conception et mise en œuvre – Neuf ». Pour les fixations transmettant un moment fléchissant, une telle lisse subit une torsion et il convient de la vérifier en conséquence.

Lorsque le support est composé d'une platine, la vérification est identique, pour le moins dans ces principes, à celle présentée dans l'[Annexe B]. Pour un assemblage sur une semelle de poteau, la vérification est similaire (voir la NF EN 1993-1-8). Dans le cas d'un assemblage encasté, il est recommandé de mettre en place des raidisseurs transversaux en vis-à-vis des semelles des poutres supports. Il convient de s'assurer de la soudabilité de l'acier du support existant, en effectuant si nécessaire les analyses adéquates.

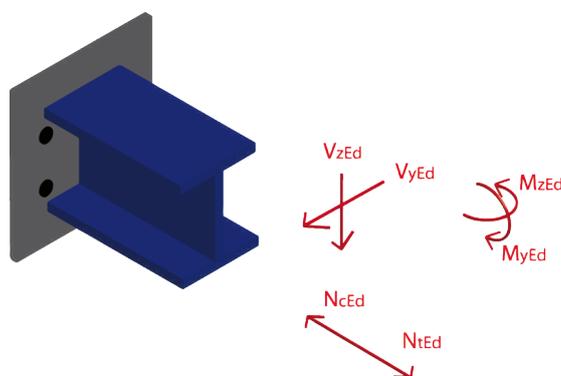


▲ Figure 14 – Raidisseurs

Sur support métallique, la fixation de la structure rapportée est réalisée par boulons à serrage contrôlé (HR, HV), boulons ordinaires (SB) ou par interposition d'un rupteur thermique de type acier – acier.

5.3.3. • Résistance de l'assemblage sur le support

Le brise-soleil est généralement fixé à la structure porteuse par l'intermédiaire d'une platine d'about.

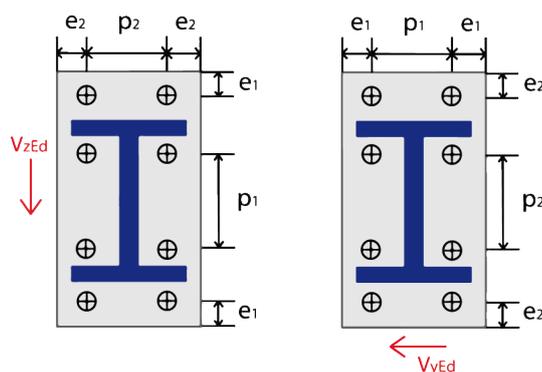


▲ Figure 15 – Efforts envisageables sur une platine d'about

La vérification de la platine doit satisfaire aux règles données dans la norme NF EN 1993-1-8, les principales étant reportées en [Annexe B]. La géométrie de la platine doit respecter les valeurs suivantes, dans le cas de trous ronds normaux :

| Distance | Minimum | Maximum |
|----------------------------|-----------|-------------------------|
| Pince longitudinale e_1 | $1,2 d_0$ | $4 t + 40 \text{ mm}$ |
| Pince transversale e_2 | $1,2 d_0$ | $4 t + 40 \text{ mm}$ |
| Entraxe longitudinal p_1 | $2,2 d_0$ | $14 t < 200 \text{ mm}$ |
| Entraxe transversal p_2 | $2,4 d_0$ | $14 t < 200 \text{ mm}$ |

d_0 : diamètre de perçage
 t : épaisseur de la platine ou de la semelle du poteau



▲ Figure 16 – Dimensions de référence d'une platine

En présence de trous oblongs, les pinces (longitudinales comme transversales) doivent respecter un minimum de $1,5x d_0$ selon la norme NF EN 1993-1-8.

Dans le cas de l'interposition d'un rupteur thermique, il convient d'analyser le fonctionnement du système mécanique de l'organe de liaison pour vérifier la platine. Il s'agit notamment d'analyser le transfert des efforts de compression (par les tiges d'ancrage, par un élément spécifique, ...) afin d'évaluer l'effet d'un éventuel décalage entre le centre de gravité de la poutre et le centre de compression du rupteur.

5.3.4. • Rigidité de l'assemblage sur le support

L'assemblage du brise-soleil sur la structure porteuse (support) peut être prévu pour transmettre un moment de flexion (il est alors dit « encastré »). Il convient dans ce cas de déterminer la rigidité effective de l'assemblage complet, notée S_j . Dans le cas d'un brise-soleil horizontal en porte à faux, les efforts ne dépendent pas de la rigidité, mais la flèche peut être nettement majorée en cas de rigidité relativement faible.

Au sens de la NF EN 1993-1-8, les assemblages transmettant un moment sont de deux types :

- rigide : un encastrement parfait est alors satisfaisant pour décrire son comportement ;
- semi-rigide : la rigidité réelle est à prendre en compte dans l'analyse. Celle-ci permet de calculer les sollicitations (pour un système hyperstatique) ainsi que la flèche.

L'assemblage d'un brise-soleil sur une structure porteuse est considéré rigide lorsque sa rigidité initiale $S_{j,ini}$ respecte la condition suivante :

$$S_{j,ini} \geq 30 \frac{EI_y}{L}$$

où I_y représente l'inertie de flexion de la poutre maîtresse du brise-soleil et L sa portée (et E le module d'Young).



La rigidité de l'assemblage est influencée par le support (rigidité locale), l'organe de fixation et la platine de fixation. Suivant la conception locale, la rigidité de l'assemblage $S_{j,ini}$ est entièrement déterminée analytiquement ou par sommation de termes venant de la documentation fournisseur (organe de fixation) et du calcul (platine) :

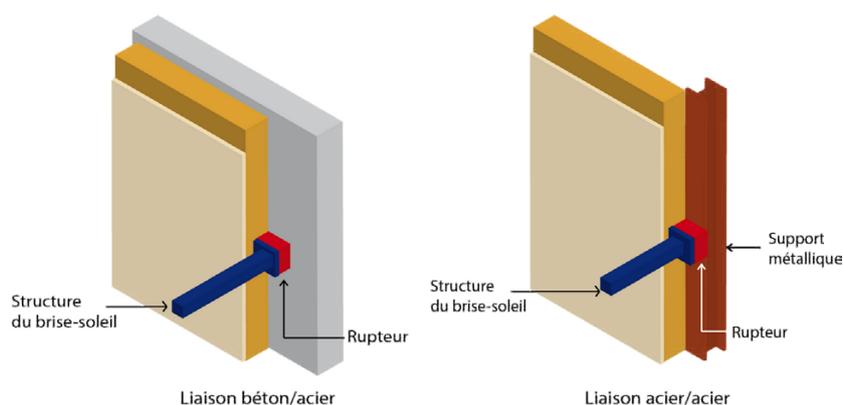
$$\frac{1}{S_{j,ini}} = \sum \frac{1}{S_{composant}}$$

Les rupteurs thermiques constituent un type d'organe de fixation avec une rigidité relativement faible, en général. Les fabricants fournissent des valeurs de rigidités tenant compte, en principe, du rupteur seul.

5.4. • Evaluation et qualification des rupteurs thermiques

Les éléments constituant le rupteur thermique sont des composants spécifiques en matériaux isolants, propres à chaque fabricant, qui associés à un système mécanique de liaison structurale, permettent de fixer l'élément rapporté extérieur à l'ossature du bâtiment tout en réduisant le pont thermique au niveau de cette fixation.

Les rupteurs thermiques ne sont pas, à l'heure actuelle, des éléments relevant de la traditionnalité en construction. Pour la fixation d'un brise-soleil, les solutions de chantier sont généralement privilégiées. Ces dernières relèvent d'avis de chantier, étant proposées au cas par cas. Les solutions de chantier doivent être évaluées par le concepteur en termes de performances, notamment thermique et mécanique.



▲ Figure 17 – Positionnement du rupteur – Schéma de principe

Lorsqu'ils sont manufacturés, ces produits relèvent normalement des procédures de type Avis Techniques (AT), Agréments Techniques Européens (ATE) ou Appréciations Techniques d'expérimentation (ATEX). En l'absence d'une telle évaluation, un avis de chantier est nécessaire.



Les auteurs rappellent qu'au moment de la rédaction du présent guide, aucun rupteur thermique correspondant au domaine d'application évoqué ne bénéficie d'un AT ou d'un ATE. Pour les rupteurs sur support béton, le concepteur pourra trouver certaines informations dans les Avis Techniques concernant les rupteurs béton / béton et dans le guide « Rupteurs thermiques sous Avis Techniques » de la même collection. Pour les rupteurs sur support acier, aucune évaluation n'est disponible actuellement.

5.4.1. • Caractéristiques thermiques

D'un point de vue thermique, un rupteur peut être caractérisé par sa conductivité thermique équivalente (λ_{eq}). Celle-ci correspond à la conductivité thermique moyenne du système rupteur tenant compte de l'ensemble de ses composants (isolant, boulons de fixation, etc.). La résistance thermique équivalente du rupteur (R_{eq}) est parfois utilisée à la place de la conductivité. Elle correspond au rapport de l'épaisseur du rupteur thermique (d) à la conductivité thermique équivalente (λ_{eq}).

$$R_{eq} = \frac{d}{\lambda_{eq}}$$

Plus la R_{eq} est élevée, moins les déperditions thermiques sont importantes.

5.4.2. • Caractéristiques mécaniques (structurales)

Les caractéristiques structurales requises pour le rupteur thermique dépendent de la conception de la structure métallique rapportée et de la nature de la liaison :

- Liaison acier/béton ;
- Liaison acier/acier.

5.4.2.1. • Performances

Les performances structurales minimales devant être définies par le fabricant sont les suivantes :

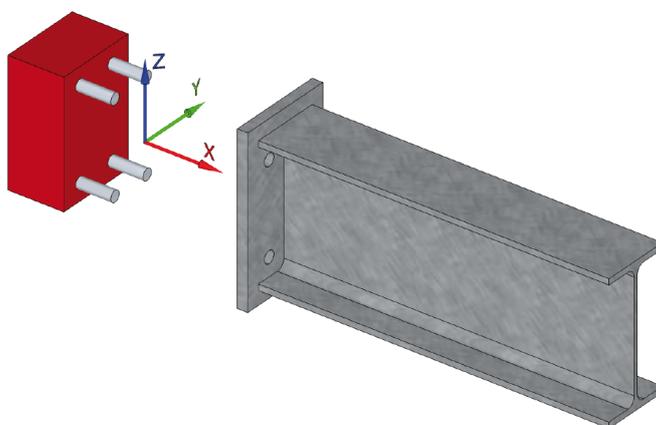
- Résistance $V_{z,Rd}$ à un effort tranchant vertical, éventuellement différenciée suivant le signe de l'effort ($V_{z+,Rd}$ et $V_{z-,Rd}$) ;
- Résistance $V_{y,Rd}$ à un effort tranchant horizontal ;
- Résistance $N_{t,Rd}$ à un effort de traction ;
- Résistance $N_{c,Rd}$ à un effort de compression ;



- Résistance $M_{y,Rd}$ à un moment de flexion autour de y-y, éventuellement différenciée suivant le signe du moment ($M_{y+,Rd}$ et $M_{y-,Rd}$);
- Rigidité S_{rupteur} en flexion autour de y-y, éventuellement différenciée suivant le signe du moment ($S_{+,rupteur}$ et $S_{-,rupteur}$).

La rigidité des rupteurs « acier – acier » peut être déterminée pour le rupteur uniquement, les termes de platine et de support variant d'une conception à l'autre. Pour les rupteurs « béton – acier », la rigidité locale du support béton doit être incluse.

Certaines performances peuvent être nulles, c'est notamment le cas de $M_{y,Rd}$ et S_{rupteur} pour un rupteur de type « articulé » (brise-soleil horizontal suspendu).



▲ Figure 18 – Conventions d'axes pour le dimensionnement structural

La détermination des performances structurales du rupteur thermique est de la responsabilité du fabricant/concepteur. Les éléments de preuves concernant ces performances n'ont pas nécessairement à être rendus publics par le fabricant, mais ils sont inclus dans le dossier technique pour toute évaluation (AT, ATE, ATE_x, ...).

Les performances structurales peuvent être déterminées par calcul analytique, en référence aux normes Eurocodes, lorsque la technologie mécanique du rupteur est cohérente avec le domaine d'emploi de ces textes. Il est également possible de réaliser des simulations numériques (éléments finis), en cohérence avec les principes de ces normes.

Des essais peuvent être exigés par l'organisme effectuant l'évaluation du système. Ils s'avèrent généralement nécessaires, en particulier pour valider les résistances au cisaillement. Les résultats de ces derniers sont comparés aux performances déterminées par le calcul (analytique ou numérique), de manière à démontrer la bonne corrélation entre théorie et expérimentation.

En alternative, il est possible de déterminer la totalité des performances par des essais, ceux-ci devant être menés dans le respect des principes de la norme NF EN 1990 (en particulier son annexe D).

5.4.2.2. • Brise-soleil en porte à faux

Le rupteur thermique doit pouvoir assurer la reprise de l'ensemble des charges appliquées au brise-soleil, ainsi que le poids du brise-soleil lui-même. Il est sollicité à la fois en flexion et cisaillement vertical dans son fonctionnement normal, auquel on ajoute des efforts de traction, compression ou effort tranchant horizontal (composante horizontale de la charge d'exploitation, action thermique ou séisme).

La résistance vis-à-vis du moment de flexion est généralement le point déterminant dans ce cas. Il convient également de déterminer la rigidité de l'assemblage en tenant compte de la présence du rupteur pour vérifier le critère de flèche. La hauteur (ou l'écartement vertical entre les tiges) de ce type de rupteur influence directement sa résistance et sa rigidité en flexion.

5.4.2.3. • Brise-soleil suspendu

Dans le cas d'un brise-soleil suspendu avec des barres fixées à la façade (faisant office de suspentes et de butons selon le sens de sollicitation), les efforts dans le rupteur thermique sont considérablement réduits par rapport à une structure en porte à faux. L'utilisation d'un rupteur « articulé », c'est-à-dire n'ayant pas de résistance ni de rigidité significative vis-à-vis d'un moment de flexion vertical, est plus simple et généralement plus économique.

5.4.3. • Sollicitations sismiques

Comme précisé au paragraphe (cf. 5.2.5.6), les éléments de fixations doivent être compatibles avec la nature cyclique des sollicitations sismiques. Il revient donc au concepteur/fournisseur du rupteur thermique de démontrer cette compatibilité, en recourant soit à des calculs analytiques lorsque la conception s'y prête, soit à des simulations numériques (éléments finis) ou à des essais adéquats. Le cas échéant, le mode d'ancrage dans le béton doit également être justifié de ce point de vue.

5.5. • Sécurité incendie

5.5.1. • Stabilité au feu de la structure porteuse

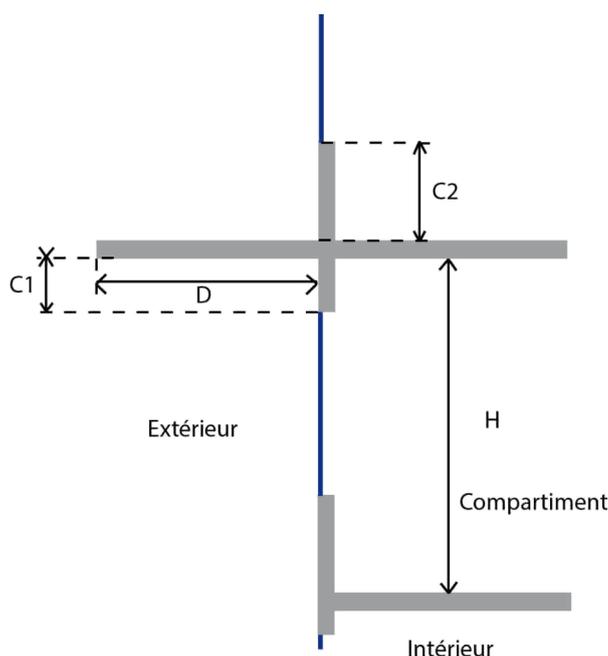
Il n'y a pas d'exigence particulière de sécurité incendie applicable aux brise-soleil de dimensions courantes tels que définis dans le présent guide.



5.5.2. • Résistance à la propagation verticale du feu par les façades

Afin de limiter le risque de propagation du feu, des exigences en termes de résistance à la propagation du feu sont habituellement imposées aux façades de bâtiments comportant des ouvertures (baies vitrées..), et par conséquent aux éléments rapportés sur ces façades.

Ainsi, en plus des exigences de réaction au feu habituellement demandées pour les composants et équipements constituant les façades, selon la destination de l'ouvrage, des dispositions spécifiques relatives à la règle dite du « C+D », doivent être mises en œuvre.



$C = C1 + C2$ est la distance verticale entre le haut et le bas de baies consécutives ou de l'obstacle à la propagation de l'incendie (dalle de balcon par exemple)

D est la distance horizontale (m) entre le plan extérieur et le nu extérieur de la façade à l'aplomb des baies superposées y compris les saillies si elles forment un obstacle résistant au feu (D devant être supérieur à 0,15 m).

▲ Figure 19 – Définition des distances C et D pour la règle du « C+D »

La règle du « C+D » impose une valeur minimale de la distance entre deux baies superposées (distance notée C) éventuellement complétée par une saillie du plancher (distance notée D), telle que définie sur la (Figure 1), afin de créer un obstacle au passage du feu d'un étage à l'autre du bâtiment. La valeur minimale de la somme des distances C et D est fixée en fonction du type de bâtiment et de la masse combustible mobilisable des matériaux utilisés en façade.

Lorsque la règle du « C+D » doit être appliquée, il convient donc de s'assurer de la conformité des brise-soleil rapportés en façade de bâtiment avec la performance au feu de l'écran formant le « C + D » :

- Des dispositions constructives particulières peuvent s'avérer nécessaires afin de garantir l'étanchéité de l'écran formant le « C » ;
- Par ailleurs, lorsque les brise-soleil horizontaux participent au « D » (seulement dans le cas des auvents pleins), des dispositions constructives doivent également être mises en œuvre afin

d'assurer l'étanchéité aux flammes et gaz chauds à la jonction entre les brise-soleil horizontaux et les façades. Sont susceptibles de participer à l'indice D, les éléments pare-flammes de degré 1 h ou E 60 (RE 60 si porteur). Pour les bâtiments dans lesquels le degré de résistance au feu exigé est inférieur à 1 h, il convient de retenir la même exigence pour les éléments en avancée (plancher de la structure rapportée). Les tôles d'acier de faible épaisseur peuvent permettre de répondre à cette exigence (L'IT 249 préconise une épaisseur minimale de 1,5 mm).

L'instruction Technique IT 249 définit un certain nombre de règles constructives, notamment au niveau des jonctions entre planchers et façades ou des emplacements des baies, ou encore des dimensions minimales de saillies en fonction de la masse combustible des matériaux de façade. Pour rappel, l'IT 249 peut s'appliquer aux familles de bâtiments suivants :

- Etablissements recevant du public (dernier niveau supérieur à 8 m, locaux réservés au sommeil au-dessous du premier étage) ;
- Immeubles de Grande Hauteur ;
- Bâtiments d'habitation (3^e et 4^e familles).

Il est à noter que la performance au feu d'une solution différente de celles proposées par l'IT 249 devra être justifiée. Selon les cas, cette justification pourra prendre la forme d'un rapport d'essai de résistance au feu, d'un avis de chantier délivré par un laboratoire agréé par le Ministère de l'Intérieur ou d'un avis favorable délivré par le CECMI.

Par ailleurs, la réglementation traitant de la sécurité incendie peut exiger qu'un bâtiment, selon sa destination, possède à chacun de ses niveaux des baies accessibles aux échelles aériennes des services de secours et de lutte contre l'incendie. Par conséquent, lorsque des brise-soleil verticaux sont mis en place, il convient de prévoir des dispositions appropriées afin qu'ils n'entravent pas l'intervention des services de secours pour accéder rapidement au bâtiment ou pour évacuer des personnes.

5.6. • Etanchéité à l'eau

La fixation du brise-soleil sur le support, éventuellement via un rupteur thermique, correspond à une discontinuité dans la composition de la façade, et offre donc des plans de liaison propices à l'infiltration d'eau dans la façade.

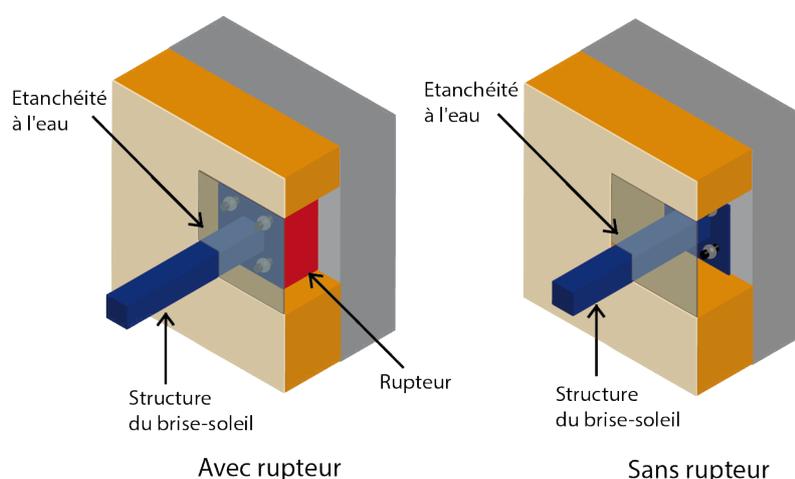
Toutes les possibilités d'intrusion d'eau doivent être colmatées soit par un film étanche situé en face extérieure du nu de fixation de façade (pare pluie), incluant une protection de l'assemblage (et du rupteur éventuel), soit par des éléments étanches inclus dans la conception même de cet assemblage. Cette conception doit être validée et les spécifications de mise en œuvre doivent être indiquées dans la fiche descriptive de l'organe de liaison.



Le calfeutrement à l'aide de mousses expansives n'est pas une solution adéquate à cette situation pour cause de vieillissement prématuré et de sensibilité aux agressions climatiques. Le dispositif d'étanchéité peut être composé d'un mastic élastomère de première catégorie (Classe 25 E).



Il est signalé, qu'une malfaçon constructive à ce niveau peut induire des désordres graves de fonctionnement de la liaison. En plus des phénomènes de corrosion résultant de la présence d'eau, la liaison peut être soumise à des cycles de gel/dégel mettant en cause le principe même de résistance de l'appareil de liaison



▲ Figure 20 – Disposition d'étanchéité aux niveaux des fixations

Pour les auvents pleins, il convient d'assurer convenablement l'étanchéité de ce dernier et de prévoir l'évacuation des eaux de pluie, par la réalisation d'une pente suffisante et d'exutoires.

5.7 • Durabilité / Entretien

La pérennité de l'élément rapporté doit être assurée par sa bonne conception. Pour les éléments métalliques visés par ce guide, cela consiste essentiellement à prévenir l'apparition de corrosion.

Cet objectif peut être atteint par l'utilisation de matériaux spécifiques dont la résistance à la corrosion est supérieure à celle de l'acier au carbone standard (acier inoxydable, acier autopatinable, aluminium, ...) ou par la protection des éléments (peinture, galvanisation, ...).

Au-delà d'une question de durabilité, l'utilisation de matériaux résistants à la corrosion peut être dictée par un choix esthétique ou architectural, ou une recherche de gain de poids pour le cas de l'aluminium. Le concepteur devra se reporter à la norme NF EN 1993-1-4 pour l'acier inoxydable et à la NF EN 1999-1-1 pour l'aluminium (l'acier autopatinable suivant la NF EN 10025-5 est couvert par la NF EN 1993-1-1). En cas d'utilisation de métaux différents, il convient d'éviter tout

risque de corrosion galvanique (« effet de pile ») par l'interposition d'éléments isolants (électriquement).

En cas d'utilisation d'acier au carbone pour les éléments rapportés (donc extérieurs), ceux-ci doivent être protégés. Les protections les plus courantes sont la peinture et la galvanisation.

La performance d'une protection par peinture résulte d'un choix de préparation de surface des métaux à protéger, du mode d'application retenu et du système de peinture appliqué. Elle dépend des exigences demandées en durée de protection et de l'agressivité du milieu ambiant. Le concepteur pourra se référer à la norme NF EN ISO 12944 (en particulier à ses parties 2, 4 et 5). En principe, on ne considère pas la protection apportée par une peinture intumescente.

Le concepteur pourra se référer à la norme NF EN ISO 14713 pour ce qui concerne la galvanisation.

Les zones constituant des pièges pour les poussières, l'eau ou les agents agressifs sont celles qui présentent le plus fort risque de développement de la corrosion. La conception de l'élément rapporté doit donc éviter les détails susceptibles de créer des rétentions d'eau et de dépôts, surtout au niveau de la liaison avec le bâtiment support.

Enfin, l'entretien courant ne doit pas être contredit par une mauvaise conception de l'élément rapporté. Il convient à ce titre d'éviter les zones « salissantes » peu accessibles.



6

Mise en œuvre



6.1. • Interface entre les intervenants

La réalisation des brise-soleil est composée de plusieurs opérations distinctes, chacune pouvant être menée par un intervenant différent. Les responsabilités de chacun doivent être définies contractuellement en amont de la réalisation.

Le partage est notamment fonction du champ de compétence des intervenants, par exemple :

- Responsabilités de la maîtrise d'œuvre :
 - définition des hypothèses de conception et en particulier des charges à reprendre dans l'élément porteur, ou conception de l'ouvrage en fonction de la mission contractée ;
 - réalisation du diagnostic et de l'étude de faisabilité.

Note

Comme précisé dans le chapitre 4, il se peut qu'il n'y ait pas de maîtrise d'œuvre. Néanmoins cette situation n'est pas conseillée. Elle doit être limitée au cas des petites opérations (intervention chez des particuliers par exemple). En l'absence de maîtrise d'œuvre, ces responsabilités sont transférées au titulaire du marché.

- Responsabilités du contrôle technique (et de la maîtrise d'œuvre) :
 - contrôle et validation de la conception ;
 - contrôle et validation de l'exécution de l'élément rapporté et de son assemblage avec le bâtiment support.
- Responsabilités du titulaire du gros œuvre (le cas échéant) :
 - vérification et renforcement éventuel de l'élément porteur, considérant l'effet de l'élément rapporté ;
 - installation des systèmes de fixation dans l'élément porteur.



- Responsabilités du titulaire de l'élément rapporté :
 - le cas échéant, communication des éléments de conception au concepteur du gros œuvre dans des délais fixés par la maîtrise d'œuvre,
 - fourniture du système d'implantation et de fixation à incorporer dans le support, pour les systèmes le nécessitant,
 - réception, vérification du respect des tolérances du support et ajustement in-situ des platines et appuis (pour les systèmes le permettant) ;
 - conception, fabrication et montage de l'élément rapporté ;
 - mise en place de l'élément rapporté et protection de l'assemblage vis-à-vis du milieu extérieur.
- Responsabilités du titulaire de la façade (le cas échéant) :
 - réception du support ;
 - réalisation du complexe de façade (ITE, étanchéité, bardage/enduit, ...).



Une bonne coordination entre le titulaire de la façade et celui de l'élément rapporté est indispensable. En effet, le nombre et les positions des fixations de l'élément rapporté doivent être pris en considération pour l'installation du complexe de façade (découpes)

Un tel découpage peut découler d'un marché en lots séparés (la limite de chaque prestation et la gestion des interfaces est alors décrite dans le CCTP du marché), ou de l'intervention de plusieurs sous-traitants.

6.2. • Prescriptions générales – Documentation

L'installation et l'exécution font l'objet de plans et documents suffisants pour définir entièrement les dispositions constructives à réaliser. Le cas échéant, ces plans portent la marque commerciale du procédé de fixation (ou rupteur thermique) avec la ou les références aux Avis Techniques et aux Certificats de qualification.

Pour ce qui est lié à la conception et à la réalisation, doivent apparaître :

- les données figurant dans les DPM (Documents Particuliers du Marché) ;
- la définition des éléments (poteaux, poutres, pannes, têtes de planchers etc.) avec leur repérage ainsi que leur implantation dans la structure ;
- les conditions d'élingage et le levage des éléments ;
- les conditions de stockage ;
- les conditions de mise en œuvre des éléments, utilisation de gabarits, repérages, etc.



- les conditions à respecter pour les appuis, ancrages, liaisons et continuités ;
- les tolérances d'exécution, en conformité avec les pièces du marché ;
- et, d'une façon générale, toutes les indications que le présent document ou les Avis Techniques font obligation de faire figurer sur les documents d'installation et d'exécution.

Ces indications figurent sur le « plan d'installation ». Celui-ci est établi soit par un bureau d'études, soit par le fabricant. Dans ce dernier cas, il s'agit d'un plan de préconisation de l'installation qui doit être validé et complété par le bureau d'études chargé de l'étude générale d'exécution du bâtiment.

L'attention du responsable de la construction (entreprise générale, maître d'œuvre, ... selon les cas) est attirée sur la nécessité de faire vérifier, au niveau des études, la compatibilité de la mise en œuvre des divers éléments et de faire assurer la coordination dans les cas où la construction est composée d'éléments préfabriqués provenant de fournisseurs différents.

Dans tous les cas, et pour tous les matériaux, il conviendra de mener toutes les vérifications nécessaires afin de confirmer que les hypothèses faites au niveau du calcul sont bien respectées sur le chantier. Ces vérifications devront être justifiées par les documents qualité disponibles sur le chantier : bordereau de livraison du béton, bordereau de livraison des aciers de construction, des aciers d'armature, etc.

6.3. • Approvisionnement et stockage

Le transport et le stockage doivent être effectués à l'aide de dispositifs appropriés évitant la détérioration des brise-soleil. Il convient ainsi d'éviter l'entrechoquement des éléments entre eux, le contact avec le sol et de stocker les brise-soleil à l'abri des intempéries et des projections.

6.4. • Support et fixation

En cas de rénovation lourde incluant une intervention sur le bâtiment existant dans la zone de liaison avec le brise-soleil, le support reconstitué devra respecter les règles de l'art applicables (NF DTU 21 et NF EN 13670 pour le bâtiment en béton, et NF DTU 32.1 et NF EN 1090-2 pour les bâtiments en construction métallique) et les spécifications des documents du marché.

Lorsque la zone de liaison avec l'élément rapporté ne fait l'objet d'aucune intervention particulière, il convient d'effectuer un relevé précis du support afin d'adapter l'assemblage du brise-soleil avec le bâtiment à la situation rencontrée.



6.4.1. • Support béton et maçonné

Les ancrages des organes de liaison doivent permettre la transmission des efforts au béton armé support, dans le respect des règles de fonctionnement et de calcul de celui-ci. L'ancrage dans le béton doit s'effectuer dans une zone de béton armé apte à résister aux efforts transmis par l'appareil de liaison.

Le forage nécessaire au positionnement des chevilles mécaniques ou chimiques, doit éviter à tout prix de couper des armatures actives pour la diffusion des efforts dans les dalles béton. Des soins particuliers doivent être pris pour s'assurer que les opérations de positionnement des chevilles soient menées de façon précise, suivant un programme de mise en place défini à l'avance, identifiant les réservations et accepté par les intervenants concernés. Ce programme tient compte de la position des armatures, afin de mettre en place correctement les éléments de liaison, et également afin d'éviter de détruire ces armatures lors du perçage.

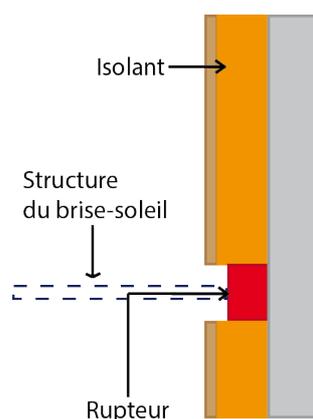
6.4.2. • Support acier

L'intervention sur le bâtiment est généralement limitée aux perçages destinés à accueillir les nouvelles fixations. Lorsque le support existant est insuffisant pour résister aux nouvelles sollicitations, il convient de renforcer le support (ajout de raidisseurs, éléments additionnels, ...). Cela implique parfois de souder sur le matériau existant. Il convient alors de s'assurer de la soudabilité de ce dernier, si nécessaire en procédant à une analyse en laboratoire.

Dans tous les cas, les perçages, cordons de soudure, éléments de renfort, ... doivent être conformes aux normes en vigueur, en particulier la NF EN 1090-2.

6.4.3. • Rupteurs thermiques

Lorsqu'un rupteur thermique doit être mis en œuvre au niveau de la liaison entre l'élément rapporté et le bâtiment support, celui-ci doit être positionné en prolongement de l'isolant de la façade.



▲ Figure 21 – Positionnement du rupteur thermique



La mise en œuvre du rupteur thermique doit être conforme aux spécifications des documents du marché (notamment concernant les tolérances).

Dans le cadre de l'utilisation d'un gabarit de pose (généralement limité au cas de rénovation lourde avec pré-scellement dans un ouvrage d'interposition), il est possible de se reporter au document de la même collection « Brise-soleil métalliques rapportés – Conception et mise en œuvre – Neuf », qui donne des tolérances particulières pouvant être reprises par le CCTP.

6.5. • Mise en œuvre de l'élément rapporté

6.5.1. • Prescriptions générales pour l'ossature

Les brise-soleil doivent faire l'objet d'une protection contre la corrosion. Cette protection peut être faite par le choix du matériau (aluminium, aciers inoxydables, aciers autopatinables) ou par l'application d'un revêtement (peinture, galvanisation). Il convient d'éviter les contacts entre matériaux métalliques différents, de nature à générer une corrosion galvanique (« effet de pile »). Le cas échéant, les DPM doivent spécifier la catégorie de corrosivité (environnement).

6.5.2. • Conditions de chantier

En préalable à toute intervention sur site, il convient de s'assurer que ce dernier est conforme aux exigences techniques en matière de sécurité, et de tenir compte notamment des éléments suivants :

- Accès au chantier et circulations à l'intérieur de celui-ci
- Etat du sol, en particulier en rapport avec l'utilisation d'engin de levage
- Présence de réseaux, de câbles, ou d'autres obstacles
- Limitations des éléments pouvant être livrés sur chantier (poids et dimensions)
- Conditions particulières ou restrictions sur site ou dans les environs (nuisances sonores, conditions climatiques, structures adjacentes affectant les travaux...)

Lors d'une intervention sur un chantier comportant d'autres intervenants, il convient de prendre toutes les dispositions nécessaires pour pouvoir utiliser convenablement les services du chantier (eau, énergie, espace de stockage adéquat, levage...).

6.5.3. • Tolérances de fabrication

Sauf spécification contraire dans les documents du marché, les tolérances de fabrication ci-dessous doivent être retenues.



| Description | Tolérances |
|--|-------------------------------------|
| Longueur des composants ¹ L = longueur du composant en mm | $\pm (L / 5\,000 + 2)$ |
| Ecart de rectitude des composants L = longueur du composant en mm | $\min \{ L / 750 ; 5 \text{ mm} \}$ |
| Equerrage des extrémités des composants ¹ D = hauteur du composant en mm | $\pm D / 100$ |
| Position des trous de fixations ou des groupes de trous | $\pm 2 \text{ mm}$ |

¹ Ces valeurs ne tiennent pas compte d'une transmission des efforts par contact direct

6.5.4. • Mise en œuvre sur support en béton

La fixation à la façade doit être étudiée pour s'adapter à la géométrie du support existant. Dans le cas de la reconstitution d'un support, les tolérances relatives au béton sont d'un ordre de grandeur plus important que celles relatives à la charpente métallique de l'élément rapporté, typiquement du cm pour le béton et du mm pour le métal. Les plans et dispositions de mise en place des assemblages doivent tenir compte de ces considérations, en particulier sur les ajustements et tolérances relatives aux assemblages.

Il convient de se reporter aux documents relatifs aux organes de fixation pour connaître les conditions spécifiques de mises en œuvre.

6.5.5. • Mise en œuvre sur support en acier

La protection contre la corrosion des pièces en acier doit être rétablie partout où elle a pu être détruite lors des opérations de mise en œuvre.

6.5.6. • Assistance technique du fournisseur du rupteur

Le fournisseur du rupteur thermique (le cas échéant) doit fournir toutes les informations nécessaires à la conception, au stockage et à la mise en œuvre de son produit.

La qualification des rupteurs est décrite dans la partie 5.4 du présent guide.

6.6. • Enveloppe du bâtiment

Chaque fixation entre l'élément rapporté et le bâtiment peut constituer une rupture dans l'étanchéité à l'eau et à l'air du bâtiment. Il convient de porter une attention particulière dans la reconstitution de cette barrière (mastic élastomère, ...).



6.6.1. • Etanchéité à l'eau

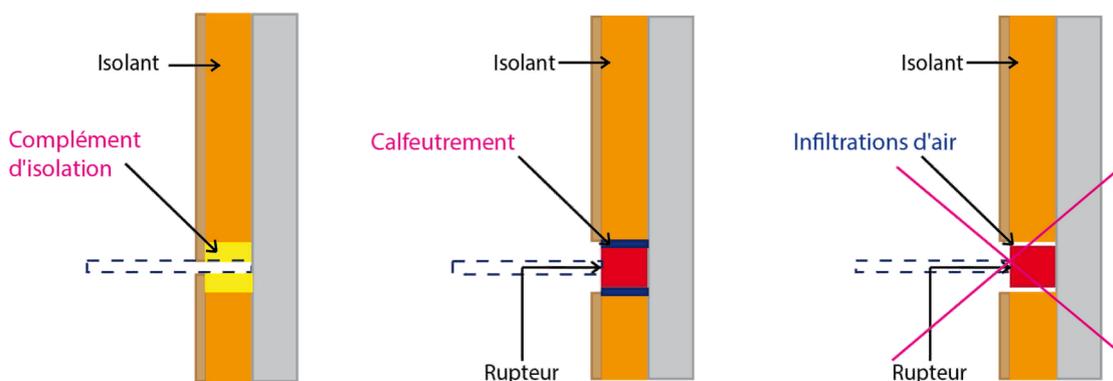
Par conception, l'attache de l'élément rapporté sur le bâtiment support doit traverser le système d'étanchéité à l'eau de la façade (pare-pluie, bardage, enduit, ...). Il convient d'éviter toutes infiltrations d'eau au sein du complexe d'enveloppe de la façade, de façon à assurer une bonne durabilité aux matériaux. Ceci implique un traitement soigné de cette zone d'attache par le responsable de la réalisation de l'étanchéité.

Selon le moyen d'étanchéité à l'eau utilisé, la reconstitution de cette barrière peut être réalisée par l'utilisation de mastic ou de joint élastomère.

La conception même de l'élément rapporté peut être étudiée dans l'objectif de faciliter la continuité de l'étanchéité à l'eau (utilisation de tube au lieu de profils ouverts, ...).

6.6.2. • Etanchéité à l'air (calfeutrement)

Pour réduire les déperditions thermiques aux niveaux des fixations du brise-soleil, il est recommandé de mettre en œuvre un complément d'isolation tout autour des poutres (et entre les semelles pour les profilés ouverts), au prolongement de l'isolant de la façade. Dans le cas de la mise en œuvre de rupteurs thermiques, le bon fonctionnement de ces derniers requiert une bonne étanchéité à l'air. Un bon calfeutrement entre l'isolant de la façade et les rupteurs est donc nécessaire.



▲ Figure 22 – Etanchéité à l'air et complément d'isolation

Il est également rappelé que la mise en œuvre de la fixation ne doit pas dégrader le plan d'étanchéité à l'air au sens de la Réglementation Thermique.

6.7. • Caractéristiques et tolérances de l'ouvrage fini

Sauf spécification contraire dans les documents du marché, les tolérances de montage ci-dessous doivent être retenues.

| Description | Tolérances |
|--|--------------------------------------|
| Positionnement en élévation de poutres adjacentes | ± 5 mm |
| Positionnement en plan de poutres adjacentes | ± 5 mm |
| Différence de niveau entre les extrémités de chaque poutre L = portée en mm | $\min \{ L / 1000 ; 5 \text{ mm} \}$ |
| Positionnement en plan des poteaux (ou des montants verticaux) | ± 7 mm |
| Inclinaison d'un poteau (ou d'un montant vertical), mesurée entre étages | $h / 1000$ |

L'ouvrage rapporté doit au minimum avoir des caractéristiques structurales permettant de résister aux charges réglementaires (cf. 5.2) et/ou aux charges prévues dans les DPM. Cette performance est en générale atteinte par un dimensionnement et une fabrication adéquats.



Annexes

7



7.1. • Annexe A : Documents de références

7.1.1. • Références normatives des règles de calculs

Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les amendements éventuels). Les références « Eurocode » doivent être accompagnées de leur annexe nationale française respective.

- NF EN ISO 10211, Ponts thermiques dans les bâtiments – Flux thermiques et températures superficielles – Calculs détaillés.
- NF EN 1990, Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures (et son annexe nationale NF P 06-100-2)
- NF EN 1991-1-1, Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-1 : actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments. (et son annexe nationale NF P 06-111-2)
- NF EN 1991-1-3, Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : actions générales – charges de neige.
- NF EN 1991-1-4, Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4 : actions générales – actions du vent.
- NF EN 1991-1-5, Eurocode 1 : actions sur les structures – Partie 1-5 : actions générales – Actions thermiques.
- NF EN 1992-1-1, Eurocode 2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1993-1-1, Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments.

- NF EN 1993-1-3, Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-3 : règles générales – Règles supplémentaires pour les profilés et plaques formés à froid.
- NF EN 1993-1-5, Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-5 : plaques planes.
- NF EN 1993-1-8, Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-8 : calcul des assemblages.
- NF EN 1993-1-11, Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-11 : calcul des structures à câbles ou éléments tendus.
- NF EN 1996-1-1, Eurocode 6 – Calcul des ouvrages en maçonnerie – Partie 1-1 : Règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée
- NF EN 1998-1, Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1999-1-1, Eurocode 9 – Calcul des structures en aluminium – Partie 1-1 : règles générales.

7.1.2. • Références normatives des règles d'exécution

Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les amendements éventuels).

- NF DTU 32.1, Travaux de bâtiment – Charpente en acier – Partie 1 : cahier des clauses techniques types (CCT) – Partie 2 : cahier des clauses administratives spéciales types (CCS) – Référence commerciale du NF DTU 32.1 d'octobre 2009.
- NF DTU 21, Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques.
- NF EN 1090-2, Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : exigences techniques pour les structures en acier (et son complément national NF P 22-101-2/CN)
- NF EN 1090-3, Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 3 : exigences techniques pour l'exécution des structures en aluminium.

7.1.3. • Textes réglementaires

Les textes ci-dessous sont ceux en vigueur au moment de la rédaction du présent guide. Ils sont par nature évolutifs, et il convient évidemment de se reporter aux textes en vigueur pour chaque projet individuel.



- Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants
- Arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1000 m², lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants
- Arrêté du 08 août 2008 portant approbation de la méthode de calcul Th-C-E ex prévue par l'arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants.
- Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique
- Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français
- Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».

7.1.4. • Autres ouvrages

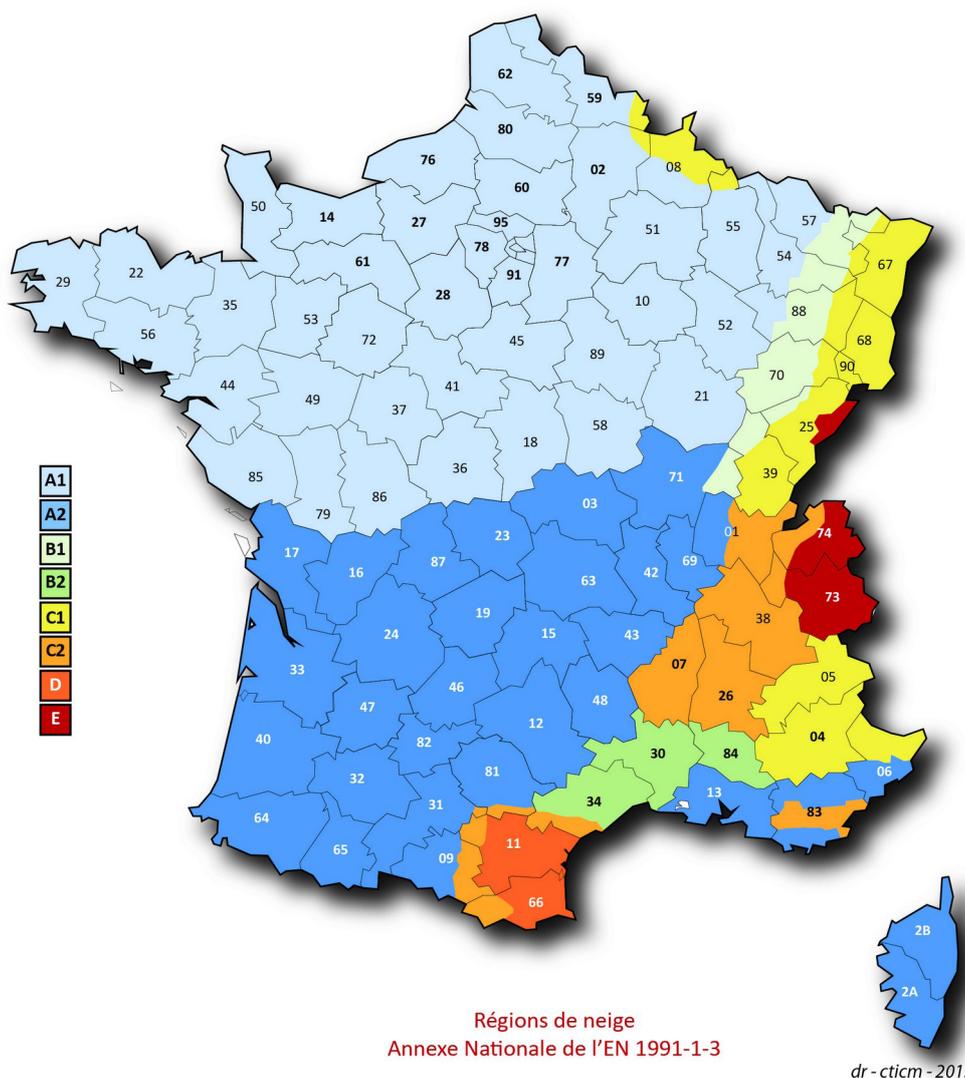
- Structures métalliques – Ouvrages simples – Guide technique et de calcul d'éléments structurels en acier, CTICM/CAPEB/ ConstruireAcier, 2013
- RT 2000 Bâtiments en construction métallique : Guide de bonnes pratiques, CTICM/FFB, 2006
- Réglementation thermique des bâtiments neufs (RT 2005) : Guide construction métallique, CTICM/FFB, 2008
- Guide ENS « Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti – Justifications parasismiques pour le bâtiment « à risque normal », MEDDTL / DGALN / DHUP, juillet 2013.



7.2. • Annexe B : Éléments normatifs pour le dimensionnement structural

7.2.1. • Charges de neige au sol

Carte de la charge caractéristique de neige sur le sol à 200 m d'altitude :



| Régions | A1 | A2 | B1 | B2 | C1 | C2 | D | E | |
|--|--------------|------|------|------|------|------|------|--------------|--|
| Valeur caractéristique (s_k) de la charge de la neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m | 0,45 | 0,45 | 0,55 | 0,55 | 0,65 | 0,65 | 1,90 | 1,40 | |
| Valeur de calcul (s_{Ad}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol | - | 1,00 | 1,00 | 1,35 | - | 1,35 | 1,80 | - | |
| Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 m | ΔS_1 | | | | | | | ΔS_2 | |

(charges en kN/m²)

▲ Figure B.1 – Carte de la charge caractéristique de neige

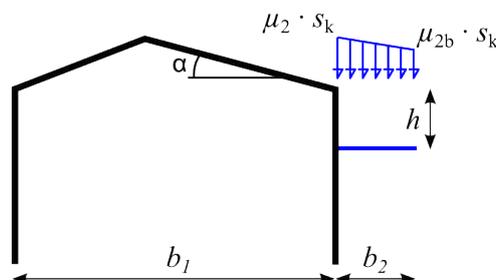
**Note**

Il est rappelé que la valeur de neige exceptionnelle s_{Ad} est indépendante de l'altitude et qu'on ne considère pas d'accumulation exceptionnelle ($\mu_2 = 0,8$ pour s_{Ad}), sauf conditions particulières dans les documents du marché.

| Altitude A | ΔS_1 | ΔS_2 |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| de 200 à 500m | $A/1000 - 0,20$ | $1,5 A/1000 - 0,30$ |
| de 500 à 1000m | $1,5 A/1000 - 0,45$ | $3,5 A/1000 - 1,30$ |
| de 1000 à 2000m | $3,5 A/1000 - 2,45$ | $7 A/1000 - 4,80$ |

▲ Loi de variation (ΔS) en fonction de l'altitude du site de construction (au-delà de 200 m)

7.2.2. • Règles d'accumulation applicables aux brise-soleil rapportés sur un bâtiment simple



▲ Figure B.2 – Dimensions nécessaires pour le calcul

Le coefficient μ_2 d'accumulation côté mur est défini par la somme de deux termes, l'un tenant compte de la neige amenée par le vent et l'autre de la neige pouvant tomber depuis la toiture supérieure.

$$\mu_2 = \mu_w + \mu_s$$

Le coefficient de forme dû au vent μ_w est défini par :

$$\mu_w = \min \left\{ \frac{b_1 + b_2}{2h}; \frac{2h}{s_k}; 2,8 \right\}$$

et

$$\mu_w \geq 0,8$$

Le coefficient de forme dû au glissement depuis la toiture supérieure μ_s est nul dans le cas d'un versant de pente inférieur à 15° (27%) ou en présence d'acrotère, sinon on peut prendre :

$$\mu_s = [0,8 - 0,5 \cdot \mu_1(\alpha)] \frac{2 \cdot b_1'}{l_s}$$

Avec $\mu_1(\alpha)$ à prendre dans le tableau 5.2 de la NF EN 1991-1-3 (reproduit ci-dessous) en fonction de l'angle du versant supérieur et $l_s = 5 \text{ m} \leq 2h \leq 15 \text{ m}$.



| α (angle du versant) | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| μ_1 | 0,8 | $0,80 (60 - \alpha) / 30$ | 0,0 |

Le coefficient μ_{2b} du côté du bord du brise-soleil est fonction du coefficient μ_2 calculé précédemment :

$$\mu_{2b} = \mu_2 - (\mu_2 - 0,8) \frac{b_2}{l_s}$$

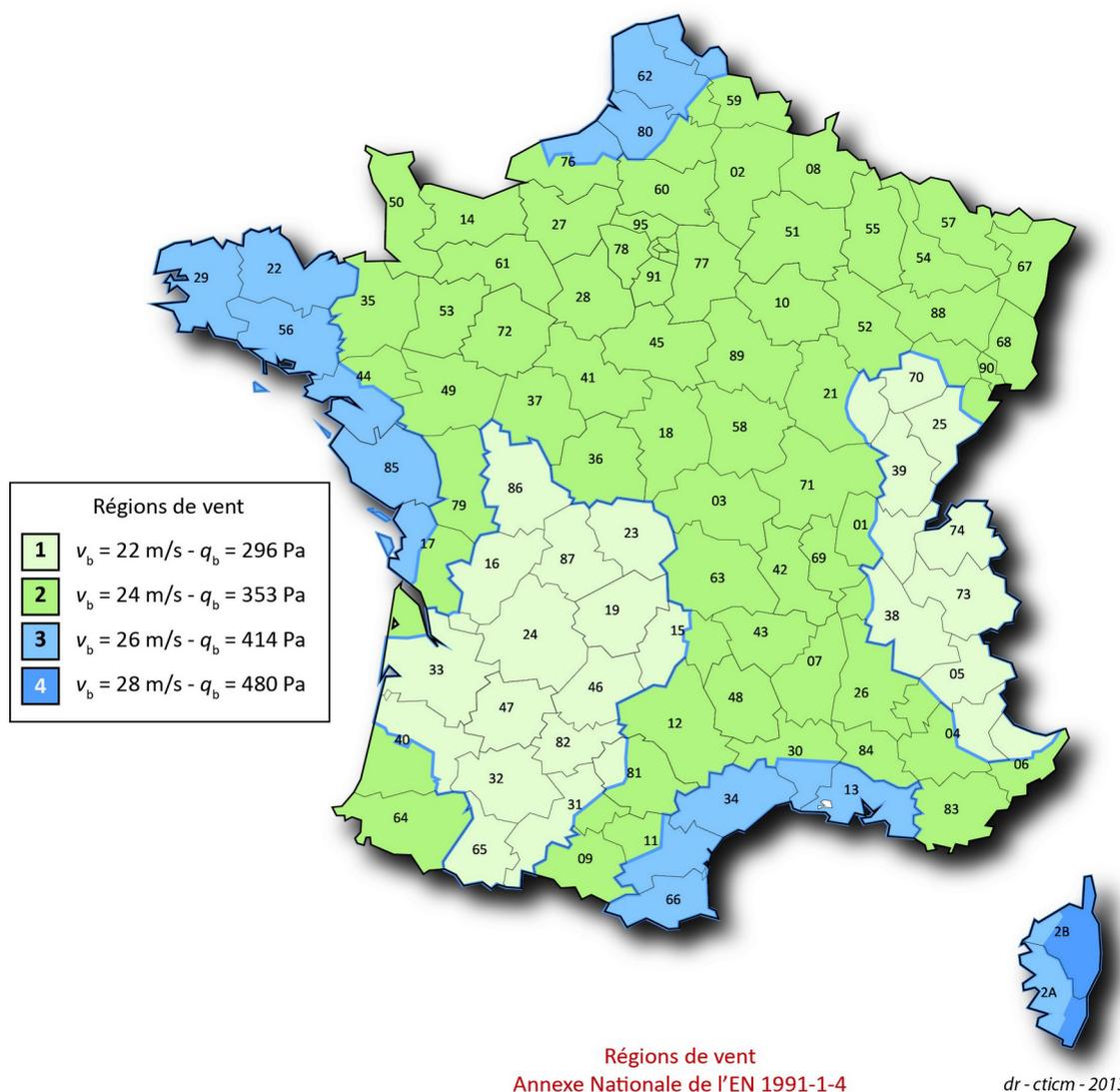
et

$$\mu_{2b} \geq 0,8$$

7.2.3. • Pression dynamique de pointe du vent sur le brise-soleil

La pression dynamique de référence q_b est donnée par :

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$



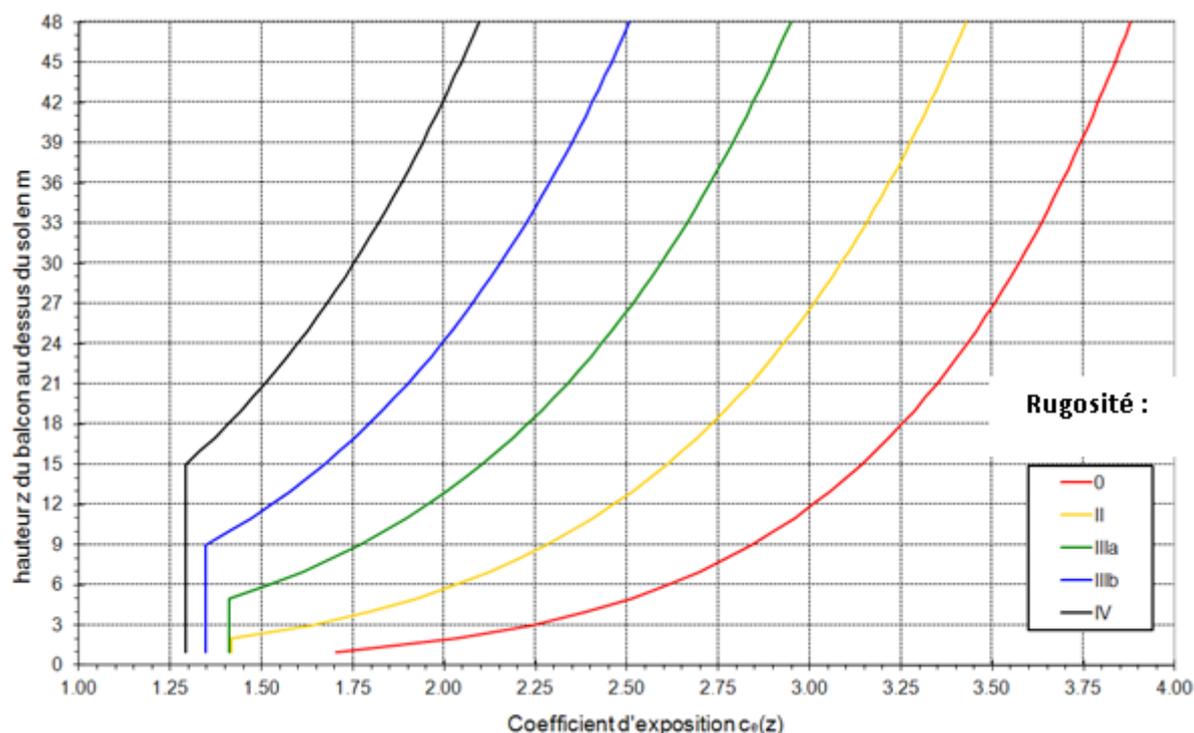
▲ Figure B.3 – Carte pour la vitesse de référence du vent [NF EN 1991-1-4/NA]



Les effets du vent étant différents suivant la présence ou non d'obstacles environnant la construction, il s'agit ensuite de déterminer la rugosité du site.

| Rugosité | Description |
|-------------|---|
| 0 | Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km |
| II | Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur |
| IIIa | Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé |
| IIIb | Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers |
| IV | Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts |

Le coefficient d'exposition $c_e(z)$ est fonction de la hauteur z du faîtage du bâtiment et de la rugosité. La relation est donnée par la figure ci-dessous ou le tableau page suivante.



▲ Figure B.4 – Coefficient d'exposition

Cette valeur est valable lorsque le bâtiment est construit sur un site relativement plat, ce qui se traduit par un coefficient d'orographie $c_0(z) \approx 1$. Si le site de construction est en hauteur par rapport au terrain environnant, il convient d'évaluer $c_0(z)$ par l'une des procédures décrites dans l'annexe nationale à la NF EN 1991-1-4 et de multiplier la valeur de $c_e(z)$ obtenue précédemment par $c_0(z)^2$.

La pression dynamique de pointe $q_p(z)$ se détermine ensuite comme suit :

$$q_p(z) = c_e(z) q_b$$

| $c_e(z)$ | | Rugosité | | | | |
|-------------------|----|----------|------|------|------|------|
| | | 0 | II | IIIa | IIIb | IV |
| Hauteur z en m | 1 | 1.70 | 1.42 | 1.41 | 1.35 | 1.29 |
| | 2 | 2.04 | 1.42 | 1.41 | 1.35 | 1.29 |
| | 3 | 2.24 | 1.63 | 1.41 | 1.35 | 1.29 |
| | 4 | 2.39 | 1.80 | 1.41 | 1.35 | 1.29 |
| | 5 | 2.51 | 1.92 | 1.41 | 1.35 | 1.29 |
| | 6 | 2.61 | 2.03 | 1.52 | 1.35 | 1.29 |
| | 7 | 2.70 | 2.12 | 1.61 | 1.35 | 1.29 |
| | 8 | 2.77 | 2.21 | 1.69 | 1.35 | 1.29 |
| | 9 | 2.84 | 2.28 | 1.77 | 1.35 | 1.29 |
| | 10 | 2.90 | 2.35 | 1.84 | 1.41 | 1.29 |
| | 11 | 2.96 | 2.41 | 1.90 | 1.47 | 1.29 |
| | 12 | 3.01 | 2.46 | 1.95 | 1.53 | 1.29 |
| | 13 | 3.06 | 2.51 | 2.01 | 1.58 | 1.29 |
| | 14 | 3.10 | 2.56 | 2.06 | 1.63 | 1.29 |
| | 15 | 3.14 | 2.61 | 2.10 | 1.67 | 1.29 |
| | 16 | 3.18 | 2.65 | 2.15 | 1.71 | 1.33 |
| | 17 | 3.22 | 2.69 | 2.19 | 1.75 | 1.37 |
| | 18 | 3.25 | 2.73 | 2.23 | 1.79 | 1.41 |
| | 19 | 3.29 | 2.77 | 2.26 | 1.83 | 1.44 |
| | 20 | 3.32 | 2.80 | 2.30 | 1.87 | 1.48 |
| | 21 | 3.35 | 2.84 | 2.33 | 1.90 | 1.51 |
| | 22 | 3.38 | 2.87 | 2.37 | 1.93 | 1.54 |
| | 23 | 3.40 | 2.90 | 2.40 | 1.96 | 1.57 |
| | 24 | 3.43 | 2.93 | 2.43 | 1.99 | 1.60 |
| | 25 | 3.46 | 2.96 | 2.46 | 2.02 | 1.63 |
| Hauteur z en m | 26 | 3.48 | 2.98 | 2.49 | 2.05 | 1.65 |
| | 27 | 3.50 | 3.01 | 2.52 | 2.08 | 1.68 |
| | 28 | 3.53 | 3.04 | 2.54 | 2.10 | 1.70 |
| | 29 | 3.55 | 3.06 | 2.57 | 2.13 | 1.73 |
| | 30 | 3.57 | 3.09 | 2.59 | 2.15 | 1.75 |
| | 31 | 3.59 | 3.11 | 2.62 | 2.18 | 1.77 |
| | 32 | 3.61 | 3.13 | 2.64 | 2.20 | 1.80 |
| | 33 | 3.63 | 3.15 | 2.66 | 2.22 | 1.82 |
| | 34 | 3.65 | 3.18 | 2.69 | 2.25 | 1.84 |
| | 35 | 3.67 | 3.20 | 2.71 | 2.27 | 1.86 |
| | 36 | 3.69 | 3.22 | 2.73 | 2.29 | 1.88 |
| | 37 | 3.71 | 3.24 | 2.75 | 2.31 | 1.90 |
| | 38 | 3.72 | 3.26 | 2.77 | 2.33 | 1.92 |
| | 39 | 3.74 | 3.28 | 2.79 | 2.35 | 1.94 |
| | 40 | 3.76 | 3.29 | 2.81 | 2.37 | 1.96 |
| | 41 | 3.77 | 3.31 | 2.83 | 2.39 | 1.98 |
| | 42 | 3.79 | 3.33 | 2.85 | 2.40 | 1.99 |
| | 43 | 3.80 | 3.35 | 2.86 | 2.42 | 2.01 |
| | 44 | 3.82 | 3.36 | 2.88 | 2.44 | 2.03 |
| | 45 | 3.83 | 3.38 | 2.90 | 2.46 | 2.05 |
| | 46 | 3.85 | 3.40 | 2.92 | 2.47 | 2.06 |
| | 47 | 3.86 | 3.41 | 2.93 | 2.49 | 2.08 |
| | 48 | 3.88 | 3.43 | 2.95 | 2.51 | 2.09 |
| | 49 | 3.89 | 3.44 | 2.96 | 2.52 | 2.11 |
| | 50 | 3.90 | 3.46 | 2.98 | 2.54 | 2.12 |





7.2.4. • Combinaisons d'actions et coefficients d'accompagnement

| Etats limites de service (ELS) | | | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|
| Combinaison | Actions permanentes | | Actions variables d'accompagnement | |
| | Défavorable | Favorable | Dominante | Autres |
| Caractéristique | $1,0 G_{k,j,sup}$ | $1,0 G_{k,j,inf}$ | $1,0 Q_{k,1}$ | $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

| Etats limites ultimes (ELU) | | | | | |
|---|---------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|
| Situation de projets durables et transitoires | Actions permanentes | | Action variable dominante | Actions variables d'accompagnement | |
| | Défavorable | Favorable | | Principale | Autres |
| (Eq.6.10) | $1,35 G_{k,j,sup}$ | $1,00 G_{k,j,inf}$ | $1,50 Q_{k,1}$ (ou 0 si favorable) | Sans objet | $1,50 \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (ou 0 si favorable) |

| Situations accidentelles (ACC) | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Situation de projets | Actions permanentes | | Action accidentelle dominante | Actions variables d'accompagnement | |
| | Défavorable | Favorable | | Principale | Autres |
| Accidentelle (Eq.6.11a/b) | $1,0 G_{k,j,sup}$ | $1,0 G_{k,j,inf}$ | $1,0 A_d$ | Sans objet | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |

| Coefficients d'accompagnement | | | |
|---|----------|----------|----------|
| Action | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
| Charges d'exploitation des bâtiments : | | | |
| Catégorie A : habitation | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Catégorie B : bureaux | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Catégorie C : lieux de réunion | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Catégorie D : commerces | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Effet de la température | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| Charges dues à la neige sur les bâtiments : | | | |
| Altitude < 1000 m | 0,5 | 0,2 | 0,0 |
| Altitude > 1000 m | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| Charges dues au vent sur les bâtiments : | 0,6 | 0,2 | 0,0 |

7.2.5. • Vérifications d'une platine d'extrémité

7.2.5.1. • Béton comprimé par l'assemblage

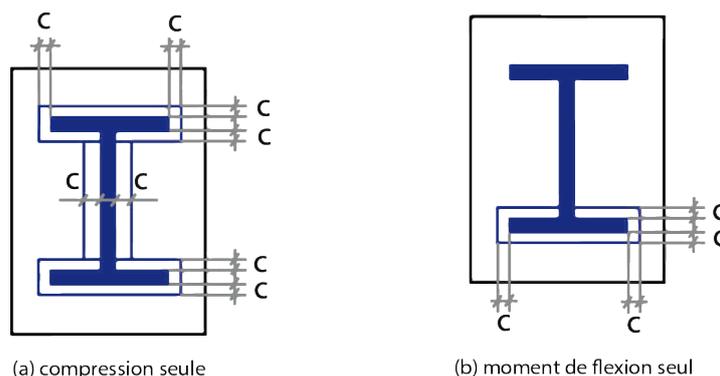
La surface de béton comprimée A_c à prendre en compte est obtenue par projection de l'âme et des semelles d'une longueur donnée ci-dessous :

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}}$$

f_y Limite d'élasticité de la platine

t_p Epaisseur de la platine

γ_{M0} Coefficient partiel valant 1,0.



▲ Figure B.5 – Tronçon en T comprimé

Cette zone est limitée le cas échéant par les dimensions de la platine. La résistance à l'écrasement du béton peut ici être prise égale à la résistance de calcul en compression du béton :

$$f_{jd} = \alpha_{bf} \beta_j \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \approx \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$$

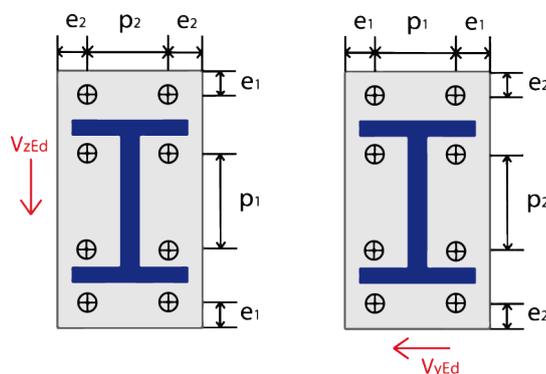
f_{ck} Résistance caractéristique du béton à la compression

γ_C Coefficient partiel valant 1,5.

La résistance du béton comprimé est donnée par $F_{c,Rd} = A_C f_{jd}$, à comparer à la valeur de l'effort normal dans la section ou dans la semelle, selon le cas.

7.2.5.2. • Pression diamétrale dans les trous de boulons de platine

La résistance en pression diamétrale dans les trous de boulons de la platine s'oppose à l'ovalisation des trous et à la déchirure en bordure de platine vis-à-vis des efforts tranchants $V_{y,Ed}$ et $V_{z,Ed}$.



▲ Figure B.6 – Dimensions de référence pour le calcul

Pour chaque trou, cette résistance vaut :

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$$



avec, pour prendre en compte la proximité du bord de la platine et/ou d'un autre trou de boulon, les deux coefficients suivants :

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right\}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0} ; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1,0 \right\}$$

Les différentes notations sont décrites ci-après :

f_u Résistance ultime à la traction pour l'acier de la platine

f_{ub} Résistance ultime à la traction du boulon

d Diamètre du boulon

t Epaisseur de la platine

γ_{M2} Coefficient partiel valant 1,25.

Cette résistance doit être comparée à $V_{z,Ed} / n_b$ (respectivement $V_{y,Ed} / n_b$) où n_b représente le nombre de boulons qui transmettent le cisaillement $V_{z,Ed}$ (respectivement $V_{y,Ed}$).

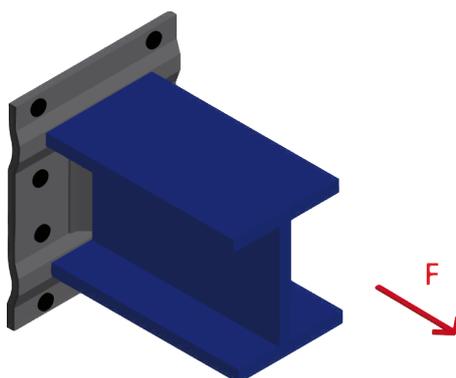
Suivant la documentation du fabricant de l'organe de liaison, il est possible que certains boulons ne soient pas destinés à la transmission de l'effort tranchant. C'est par exemple le cas de certains rupteurs thermiques composés d'un module de compression/cisaillement et d'un module de traction.

L'interaction suivante est à vérifier pour les efforts tranchants verticaux et horizontaux concomitants :

$$\left(\frac{V_{y,Ed} / n_b}{F_{b,y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{z,Ed} / n_b}{F_{b,z,Rd}} \right)^2 \leq 1,0$$

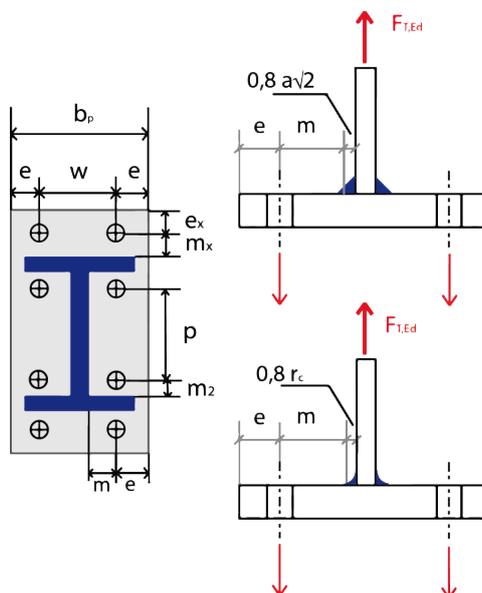
7.2.5.3. • Tronçon en Tê tendus – Assemblages tendus/fléchis

La résistance des différents tronçons en têt tendus est déterminante pour la résistance en traction de la platine et pour la résistance en flexion (seuls les tronçons proches de la semelle tendue sont alors concernés).



▲ Figure B.7 – Exemple de déformation de la platine sous un effort de traction

Les vérifications ci-dessous sont tirées de la NF EN 1993-1-8, avec quelques remarques concernant l'application en présence d'un rupteur thermique (cas non envisagé par la norme).



▲ Figure B.8 – Dimensions de référence

Pour les cas courants avec deux boulons sur le débord de platine et/ou quatre boulons entre les semelles, six longueurs efficaces différentes correspondant à trois « tronçons » distincts doivent être déterminées :

- Rangée de 2 boulons sur le débord de la platine

$$l_{eff,1} = \min \{ 2\pi m_x ; \pi m_x + w + 2e ; l_{eff,2} \}$$

$$l_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4m_x + 1,25e_x ; e + 2m_x + 0,625e_x ; \\ 0,5b_p ; 2m_x + 0,5w + 0,625e_x \end{array} \right\}$$

La géométrie des platines d'extrémité implique généralement $l_{eff,1} = l_{eff,2} = 0,5 b_p$.

- Rangée de 2 boulons sous la semelle

$$l_{eff,1} = \min \{ 2\pi m ; l_{eff,2} \}$$

$$l_{eff,2} = 4m + 1,25e$$

- Groupe de 4 boulons entre les deux semelles, ce dernier cas est uniquement considéré en traction simple

$$l_{eff,1} = \min \{ 2\pi m + 2p ; l_{eff,2} \}$$

$$l_{eff,2} = 4m + 1,25e + p$$



Pour chacun de ces tronçons, les moments résistants suivants sont calculés :

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff,1} t_f^2 f_y}{4\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff,2} t_f^2 f_y}{4\gamma_{M0}}$$

On doit déterminer s'il se produit un effet de levier ou non dans l'assemblage :

- pour un assemblage acier – acier boulonné, on peut toujours considérer qu'il se produit un effet de levier ;
- pour un assemblage avec interposition d'un rupteur de pont thermique (quel que soit le support), la rigidité en compression de l'isolant est *a priori* sensiblement plus faible que l'acier de la platine, et aucun effet de levier ne peut se développer ;
- pour un assemblage acier – béton par tige filetée scellée, la vérification suivante permet de montrer qu'il se produit un effet de levier :

$$L_b \leq L_b^* = \frac{8,8 m^3 A_s n_b}{l_{eff,1} t_f^3}$$

L_b Somme de la demi-hauteur de l'écrou, de l'épaisseur de rondelle, de l'épaisseur de platine et de la longueur de scellement limitée au maximum à 8ϕ .

A_s Section d'une tige

n_b Nombre de tiges concernées par le calcul (2 ou 4)

La résistance en traction de la platine est déterminée comme suit :

| Effet de levier | Pas d'effet de levier |
|---|---|
| $F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$ | $F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$ |
| $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$ | |
| $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$ | |

Avec : $n = \min \{e; 1,25 m\}$

Note : Pour la rangée extérieure, on remplace m par m_x et e par e_x .

L'effort $\sum F_{t,Rd}$ correspond à la somme des résistances en traction des boulons ou des tiges concernés par le calcul (2 ou 4 selon les cas). En présence de rupteur, $F_{T,3,Rd}$ est inclus dans la résistance de ce dernier.

On retient pour chaque tronçon la valeur $F_{T,Rd}$ minimale comme résistance en traction.



Pour la vérification vis-à-vis de l'effort normal de traction, il convient de sommer ces résultats pour tous les tronçons. On retiendra la résistance minimale entre le cas « groupe de boulons entre les semelles » et la somme des résistances des boulons sous la semelle.

En flexion, seuls les boulons en débord au-dessus de la semelle tendue (noté rangée 1) et les boulons juste en dessous de cette semelle (noté rangée 2) sont à considérer. On vérifie que la semelle comprimée n'est pas limitative pour la résistance de l'assemblage :

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_f}$$

$M_{c,Rd}$ Moment résistant de la poutre

h hauteur de la poutre

t_f Epaisseur de la semelle de la poutre

- Si $F_{T,Rd,1} + F_{T,Rd,2} < F_{c,fb,Rd}$

$$M_{j,Rd} = F_{T,Rd,1} h_1 + F_{T,Rd,2} h_2$$

- Si $F_{T,Rd,1} + F_{T,Rd,2} \geq F_{c,fb,Rd}$

$$M_{j,Rd} = F_{T,Rd,1} h_1 + (F_{c,fb,Rd} - F_{T,Rd,1}) h_2$$

$F_{T,Rd,1}$ et $F_{T,Rd,2}$ correspondent aux résistances des rangées 1 et 2 respectivement. Les cotes h_1 et h_2 sont mesurées depuis le centre de compression de l'assemblage, à priori la mi-épaisseur de la semelle comprimée, jusqu'aux rangées 1 et 2 respectivement.

L'attention du concepteur est attirée sur la présence éventuelle d'un rupteur thermique, le centre de compression de ce dernier (et qui doit être retenu comme centre de compression de l'assemblage complet) n'étant pas nécessairement à mi-épaisseur de la semelle.

7.2.5.4. • Soudures poutre – platine

L'effort résistant d'un cordon de soudure d'angle est le produit de sa longueur L , de sa gorge a et de la contrainte limite $f_{vw,d}$:

$$F_{w,Rd} = La f_{vw,d}$$

La contrainte limite est calculée comme suit :

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Où f_u représente la résistance ultime à la traction du métal assemblé le plus faible et β_w le coefficient de corrélation :

| Nuance | β_w |
|--------------|-----------|
| S235 | 0,80 |
| S275 | 0,85 |
| S355 | 0,90 |
| S420 et S460 | 1,00 |



7.2.5.5. • Rigidité flexionnelle de l'assemblage

La rigidité flexionnelle initiale de l'assemblage est évaluée par l'expression suivante :

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\sum \frac{1}{k_i}}$$

Où z désigne le bras de levier de l'assemblage (distance entre le centre de compression et la rangée de boulons la plus éloignée). Les coefficients k_i à prendre en compte sont donnés dans les tableaux suivants.

La rigidité flexionnelle S_j à utiliser dans le calcul est calculée comme suit :

Si $M_{Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd}$:

$$S_j = S_{j,ini}$$

Si $M_{Ed} > 2/3 M_{j,Rd}$:

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\left(1,5 \frac{M_{Ed}}{M_{j,Rd}}\right)^\Psi}$$

On prend $\Psi = 2,7$, sauf si le fabricant du rupteur thermique (le cas échéant) donne une valeur différente.

- Support béton

| | Effet de levier | Pas d'effet de levier | Interposition d'un rupteur thermique |
|----------|---|------------------------------------|---|
| k_{13} | $\frac{E_c \sqrt{A_c}}{1,275E}$ | | (considéré dans la rigidité du rupteur) |
| | A_c est l'aire de compression calculée suivant 6.2.5.1 (cas en flexion). | | |
| k_{15} | $\frac{0,85l_{eff,1} t_p^3}{m^3}$ | $\frac{0,425l_{eff,1} t_p^3}{m^3}$ | |
| | l_{eff} est la longueur efficace minimale pour la rangée extrême dans la platine, t_p est l'épaisseur de la platine et m est la distance donnée dans la (Figure B.8). | | |
| k_{16} | $\frac{1,6A_s}{L_b}$ | $\frac{2,0A_s}{L_b}$ | (considéré dans la rigidité du rupteur) |
| | A_s est la section résistante de la tige et L_b sa longueur soumise à l'allongement (8ϕ + épaisseur de la platine et de la rondelle + ½ épaisseur d'écrou) | | |

• Support acier

| | Assemblage acier – acier classique | Interposition d'un rupteur thermique |
|----------|---|---|
| k_1 | $\frac{0,38A_{vc}}{z}$ | |
| | A_{vc} est l'aire de cisaillement du poteau support | |
| k_2 | ° si un raidisseur est placé en vis-à-vis du centre de compression, sinon : voir NF EN 1993-1-8 | |
| k_3 | $\frac{0,7l_{eff,c} t_{wc}}{d_{wc}}$ | |
| | $l_{eff,c}$ est la longueur efficace minimale pour la rangée extrême dans l'âme du poteau, t_{wc} est l'épaisseur de l'âme du poteau et d_{wc} est la hauteur droite de l'âme. | |
| k_4 | $\frac{0,9l_{eff,c} t_{fc}^3}{m^3}$ | $\frac{0,45l_{eff,c} t_{fc}^3}{m^3}$ |
| | $l_{eff,c}$ est la longueur efficace minimale pour la rangée extrême dans l'âme du poteau, t_{fc} est l'épaisseur de la semelle du poteau et m est la distance donnée dans la (Figure B.8), mais côté poteau. | |
| k_5 | $\frac{0,9l_{eff,p} t_{fp}^3}{m^3}$ | $\frac{0,45l_{eff,p} t_{fp}^3}{m^3}$ |
| | $l_{eff,p}$ est la longueur efficace minimale pour la rangée extrême dans la platine, t_{fp} est l'épaisseur de la platine et m est la distance donnée dans la (Figure B.8). | |
| k_{10} | $\frac{1,6A_s}{L_b}$ | (considéré dans la rigidité du rupteur) |
| | A_s est la section résistante du boulon et L_b sa longueur soumise à l'allongement (longueur serrée + ½ épaisseur de tête + ½ épaisseur d'écrou) | |



7.3. • Annexe C : Valeurs réglementaires pour le calcul des charges sismiques

L'arrêté du 22 octobre 2010, relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite à risque normal, définit les valeurs des paramètres nécessaires à la détermination des actions sismiques.

7.3.1. • Catégorie et coefficient d'importance

Le niveau de protection parasismique prévu par la réglementation est adapté à chaque bâtiment en fonction du risque associé. A cet effet, une classification en catégorie d'importance est effectuée, en fonction de plusieurs paramètres définis dans le Tableau suivant, comme par exemple le nombre de personnes pouvant être accueillies, la hauteur du bâtiment ou sa destination.

A chaque catégorie d'importance est associée une valeur du coefficient d'importance γ_i .

| Catégorie d'importance | Coefficient d'importance γ_i | Bâtiments |
|------------------------|-------------------------------------|---|
| I | 0,8 | Bâtiments dont est exclue toute activité humaine nécessitant un séjour de longue durée et non visés par les autres catégories |
| II | 1,0 | Maisons individuelles ; Bâtiments d'habitation collective, de bureaux et de commerce non visés par la catégorie III ; Bâtiments industriels non visés par la catégorie III ; Parcs de stationnement ouverts au public ; ERP des 4 ^{ème} et 5 ^{ème} catégories. |
| III | 1,2 | Bâtiments d'habitation collective ou de bureaux dont la hauteur dépasse 28 m ; ERP des 1 ^{ère} , 2 ^{ème} et 3 ^{ème} catégories ; Bâtiments pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes (notamment commerces, bureaux, bâtiments industriels) ; Etablissements scolaires ; Bâtiments des centres de production collective de l'énergie. |
| IV | 1,4 | Bâtiments abritant les moyens opérationnels de secours ou de la défense (homme ou matériel) ; Bâtiments assurant le maintien des communications (tours hertziennes, centres vitaux des réseaux de télécommunication...); Bâtiments assurant le contrôle de la circulation aérienne ; Etablissements de santé (en particulier les hôpitaux) ; Bâtiments de distribution ou de stockage de l'eau potable ; Bâtiments des centres de distribution publique de l'énergie ; Bâtiments des centres météorologiques. |

▲ Tableau C.1 : Définition des catégories d'importance

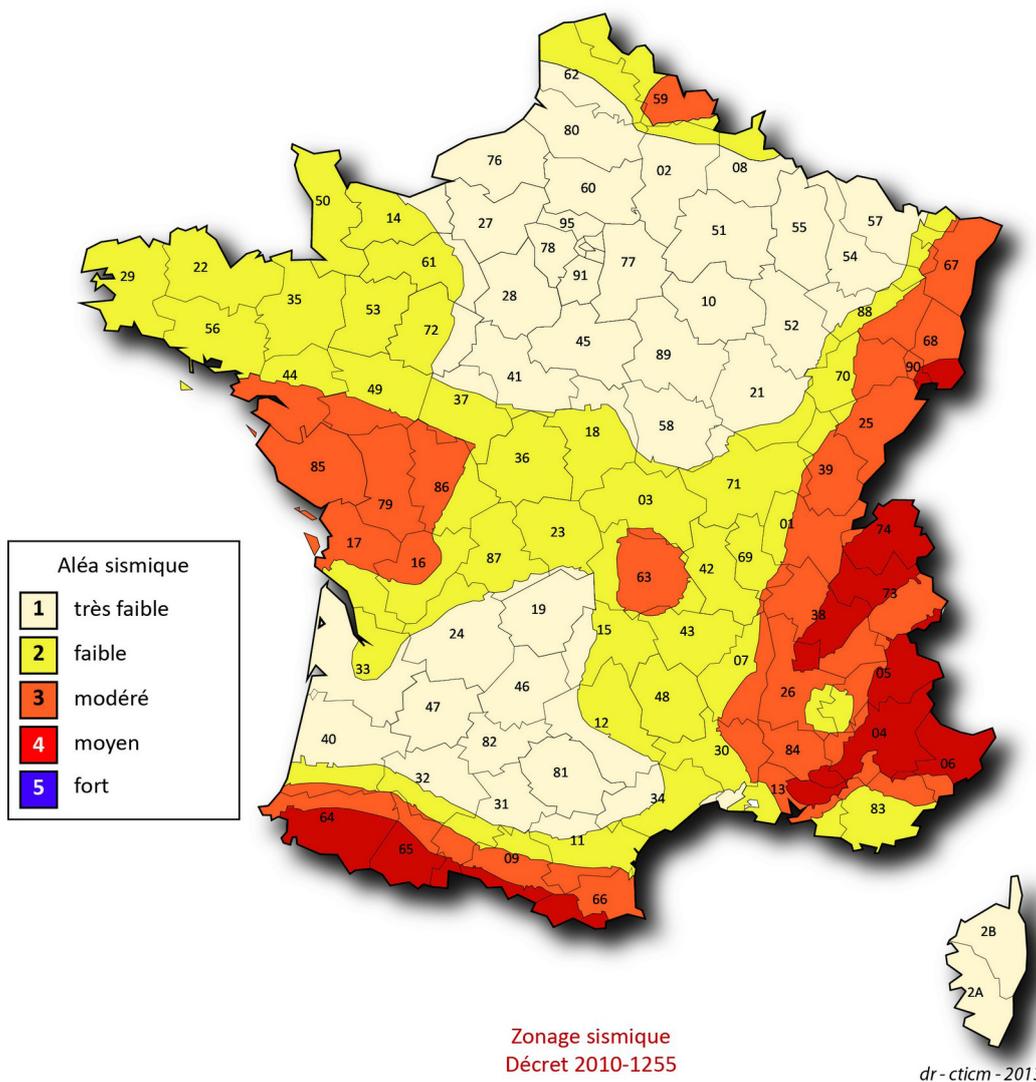
7.3.2. • Zonage sismique et accélération maximale du sol

Le territoire français est découpé en zones sismiques, définies par le **décret n°2010-1255** pour chaque commune française, et représentées par un indice compris entre 1 et 5, fonction de l'aléa sismique :

| Zone de sismicité | Aléa |
|-------------------|-------------|
| 1 | Très faible |
| 2 | Faible |
| 3 | Modéré |
| 4 | Moyen |
| 5 | Fort |

▲ **Tableau C.2** : Définition des zones de sismicité

En France, la zone de sismicité 5 (aléa fort) ne concerne que les Antilles (Martinique et Guadeloupe), tandis que les communes de métropole sont réparties entre les zones 1 à 4.



▲ **Figure C.1** : Zonage sismique du territoire français (métropole) d'après le décret 2010-1255

**Note**

Le site internet www.prim.net, du Ministère chargé de la prévention des risques naturels, permet de déterminer aisément la zone sismique d'une commune, ainsi que l'existence éventuelle d'un Plan de Prévention des Risques Sismiques pour le lieu d'implantation du bâtiment

En fonction de la zone de sismicité ainsi définie, l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol rocheux, notée a_{gr} , est établie, d'après la correspondance donnée par le Tableau suivant.

| Zone de sismicité | Accélération maximale de référence a_{gr} (m/s ²) |
|-------------------|---|
| 1 | 0,4 |
| 2 | 0,7 |
| 3 | 1,1 |
| 4 | 1,6 |
| 5 | 3,0 |

▲ Tableau C.3 : Accélération maximale de référence

7.3.3. • Coefficient de sol

La nature des couches de sol situées en surface influence fortement le niveau des sollicitations subies par les bâtiments pendant un tremblement de terre. En particulier, il est maintenant bien établi que les sols meubles, de type alluvionnaires, engendrent localement une augmentation importante de l'action sismique. L'incidence du sol est prise en compte dans la réglementation par le biais d'un classement, avec principalement cinq classes, allant de la classe A pour le sol rocheux à la classe E pour le sol mou.

La classe de sol est normalement établie par un bureau d'études spécialisé, en fonction des critères indiqués en 3.1.2 de la NF EN 1998-1.

A chaque classe de sol est associée une valeur du coefficient de sol S , d'après la correspondance indiquée dans le Tableau C.4, qui traduit l'amplification des actions sismiques provoquée par le sol local.

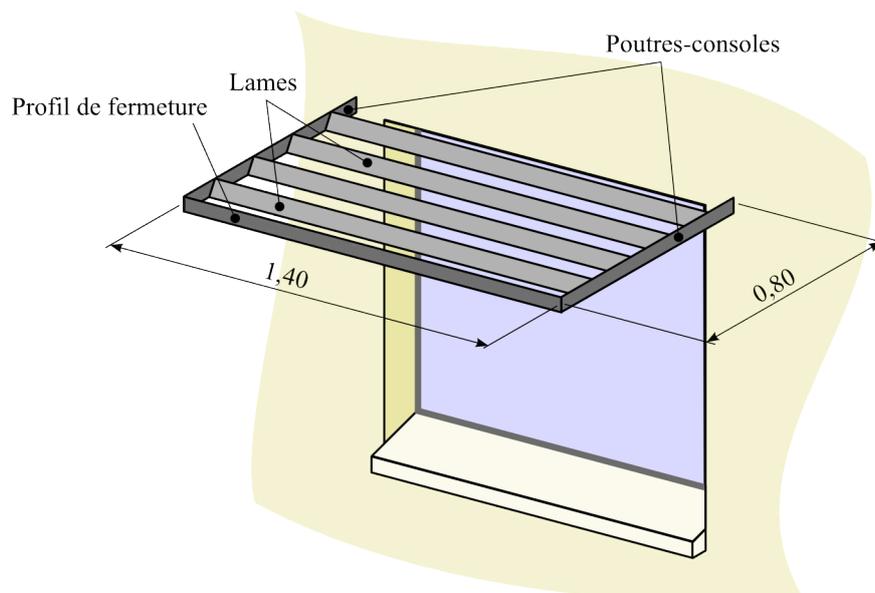
| Classes de sol | Coefficients de sol S | |
|----------------|--------------------------|---------------------|
| | Zones de sismicité 1 à 4 | Zone de sismicité 5 |
| A | 1 | 1 |
| B | 1,35 | 1,2 |
| C | 1,5 | 1,15 |
| D | 1,6 | 1,35 |
| E | 1,8 | 1,4 |

▲ Tableau C.4 : Coefficients de sol S

7.4. • Annexe D : Exemple de calcul structural

7.4.1. • Données générales

On considère un brise-soleil horizontal à lames installé sur un bâtiment à ossature en béton, situé en région parisienne.



▲ Figure D. 1 : Géométrie générale du brise-soleil

7.4.2. • Chargement

Le brise-soleil pèse 60 daN au total, soit **0,35 kN/m** sur chaque poutre-console. Les données pertinentes pour la détermination des sollicitations climatiques sont :

- Zone de neige A1 – Altitude < 200 m ;

La carte de neige donne $s_k = 0,45$. Le brise-soleil est positionné à 0,5 m en dessous de l'acrotère, le bâtiment mesure 10 m de largeur. L'abaque donne $\mu_2 = 2,2$ ($= 2 \times 0,5 / 0,45$).

$$2,2 \times 0,45 = 0,99 \text{ kN/m}^2$$

Soit **0,71 kN/m** sur chaque poutre-console.

- Zone de vent 2 – Rugosité IIIb – Terrain environnant plat.

La carte de vent donne $q_b = 353 \text{ Pa}$. Le bâtiment a une hauteur de 10 m au-dessus du sol, le tableau donne $c_e(z) = 1,41$.

$$q_p(z) = 1,41 \times 0,353 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

La projection horizontale des aires des éléments du brise-soleil équivaut à 50% de sa surface « hors tout ». Soit :

- W1 – Vent ascendant maximal ($c_{p,\text{net}} = 2,0$) :

$$F_{w,W1} = 2,0 \times 0,50 \times 50\% \times 1,4 \times 0,8 = 0,56 \text{ kN}$$



Soit 0,35 kN/m par poutre-console.

- W2 – Vent descendant maximal : Non pris en compte car le brise-soleil se trouve dans les 2/3 supérieurs de la hauteur du bâtiment .
- W3 – Vent parallèle à la façade :

- Composante de soulèvement ($c_{p,net} = 1,5$) :

$$F_{w,W3} = 1,5 \times 0,50 \times 50\% \times 1,4 \times 0,8 = 0,42 \text{ kN}$$

- Composante de frottement :

$$A_{fr} = 2b_1d_1 = 2 \times 1,4 \times 0,8 = 2,24 \text{ m}^2$$

$$c_{fr} = \frac{2h_p d_1}{A_{fr}} + 0,05 = \frac{2 \times 0,1 \times 0,8}{2,24} + 0,05 = 0,12$$

$$F_{fr,W3} = 0,12 \times 0,50 \times 2,24 = 0,13 \text{ kN}$$

Situation ELU n°1 – 1,35 G + 1,50 S

$$q_{Ed} = 1,35 \times 0,35 + 1,50 \times 0,71 = 1,54 \text{ kN/m}$$

Note

Si un brise-soleil identique se trouve dans le tiers inférieur de la hauteur du bâtiment, il convient de prendre en compte une charge de vent descendante pouvant être cumulée avec la charge de neige. La charge de vent descendante vaut alors :

$$F_{w,W2} = 1,0 \times 0,50 \times 50\% \times 1,4 \times 0,8 = 0,28 \text{ kN}$$

Soit 0,18 kN/m par poutre-console.

Pour une telle position, le coefficient μ_2 du brise-soleil est plus faible, par exemple pour 3,5 m au dessus du sol :

$$h / (b_1 + b_2) = (10 - 3,5) / (10 + 0,8) = 0,6$$

L'abaque donne $\mu_2 = 0,8$. Cette situation est donc non dimensionnante (pour le vent, le coefficient d'accompagnement $\psi_0 = 0,6$) :

$$1,35 \times 0,35 + 1,50 \times (0,8 \times 0,45 / 1,4) + 1,50 \times 0,6 \times 0,18 = 1,02 \text{ kN/m}$$

Le moment d'encastrement vaut donc :

$$M_{Ed} = 1,54 \times \frac{0,80^2}{2} = 0,49 \text{ kN.m}$$

Ainsi que l'effort tranchant vertical à l'encastrement :

$$V_{Ed,z} = 1,54 \times 0,80 = 1,23 \text{ kN}$$

Situation ELU n°2 – 1,00 G + 1,50 W1

$$q_{Ed} = 1,00 \times 0,35 - 1,50 \times 0,35 = -0,18 \text{ kN/m}$$



Le moment d'encastrement vaut donc :

$$M_{Ed} = -0,18 \times \frac{0,80^2}{2} = -0,06 \text{ kN.m}$$

Ainsi que l'effort tranchant vertical à l'encastrement :

$$V_{Ed,z} = -0,18 \times 0,80 = -0,14 \text{ kN}$$

Le vent compense les charges permanentes, il convient donc de mettre au point un système de liaison permettant la reprise de sollicitations inversées.

Situation ELS n°1 – 1,00 G + 1,00 Q

$$q_{Ed} = 1,0 \times 0,35 + 1,0 \times 0,71 = 1,06 \text{ kN/m}$$

7.4.3. • Vérifications de la fixation sur le support

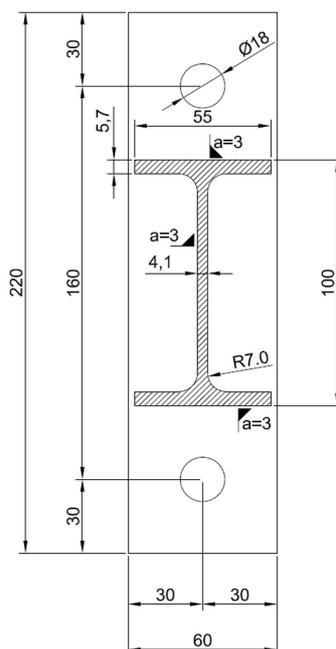
7.4.3.1. • Résistance de l'assemblage

La suite détaille les vérifications concernant la platine d'épaisseur 5 mm et en acier S275. Les chevilles ont une résistance de 5 kN (cisaillement, traction ou résultante).

Les chevilles sont suffisamment résistantes :

$$F_{Ed} = \sqrt{\left(\frac{M_{Ed}}{z}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,49}{0,127}\right)^2 + \left(\frac{1,23}{2}\right)^2} = 3,9 \text{ kN}$$

Ce qui reste bien inférieur à la sollicitation de 5 kN.



▲ Figure D. 2 : Platine



Pression diamétrale

On vérifie en premier lieu la résistance de la platine vis-à-vis des cisaillements verticaux et horizontaux (pression diamétrale des trous de boulons).

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{30}{18} - 1,7 ; 2,5 \right\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 d_0} ; \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \times 18} ; 1,0 \right\} = 0,55$$

Note

On considère seulement les pinces e_1 et e_2 vu la géométrie de l'assemblage. On ne prend pas non plus en compte le rapport f_{ub} / f_u car ce terme a pour objet de renverser la vérification vers la cheville en pression diamétrale si celle-ci est moins résistante. Or la cheville est vérifiée à partir des données du fournisseur.

$$F_{b,z,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \times 0,55 \times 430 \times 16 \times 6}{1,25} = 45,4 \text{ kN}$$

Ce qui est largement supérieur à la sollicitation ($1,23 \text{ kN} / 2 = 0,62 \text{ kN}$).

Tronçons en Té tendus

La résistance de l'assemblage en traction et en flexion est déterminée par le calcul d'un tronçon en Té correspondant à la cheville tendue. Il convient d'adapter le modèle de la norme NF EN 1993-1-8. On considère que la longueur efficace est égale à la largeur de la platine (60 mm, ce qui correspond au mode de ruine habituel) et on adapte les expressions de $F_{T,i,Rd}$ pour retrouver les expressions d'un tronçon en L avec un seul boulon (dans ce cas $m = 30 + 5,7 / 2 \approx 33 \text{ mm}$).

La vérification permettant de savoir si des effets de levier peuvent apparaître n'est pas applicable aux chevilles. Par sécurité, on vérifie l'assemblage avec et sans effet de levier, puis on retient la valeur minimale.

- Calculs en supposant qu'un effet de levier se développe :

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff} t_f^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{60 \times 6^2 \times 275}{4 \times 1,0} \times 10^{-6} = 148,5 \text{ N.m}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{2 \times 148,5}{0,033} = 9,0 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{M_{pl,1,Rd} + nF_{T,1,Rd}}{m + n} = \frac{148,5 + 0,03 \times 5000}{0,033 + 0,03} = 4,7 \text{ kN}$$



- Calculs en supposant qu'il n'y a pas d'effet de levier :

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff} t_f^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{60 \times 6^2 \times 275}{4 \times 1,0} \times 10^{-6} = 148,5 \text{ N.m}$$

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{148,5}{0,033} = 4,5 \text{ kN}$$

Le mode 3 correspond à la résistance d'une cheville :

$$F_{T,3,Rd} = 5 \text{ kN}$$

La résistance en traction de la platine vaut donc : $F_{T,Rd} = 4,5 \text{ kN}$

On vérifie que la semelle comprimée n'est pas limitative pour l'assemblage en flexion

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_f} = \frac{39,4 \times 275 / 1,0}{100 - 5,7} = 115 \text{ kN}$$

La résistance du tronçon en Té tendu vaut $4,5 \text{ kN} < F_{c,fb,Rd}$. En flexion, la résistance de la platine vaut donc :

$$M_{j,Rd} = 0,127 \times 4,5 = 0,57 \text{ kN.m}$$

La platine (et les chevilles) est donc suffisante pour le moment appliqué (0,49 kN.m).

Soudures poutre – platine

La contrainte limite des soudures est calculée comme suit :

$$f_{vwd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{430}{\sqrt{3} \times 0,85 \times 1,25} = 234 \text{ MPa}$$

Les cordons de soudures ont pour longueur approchée :

- Ame : 50 mm
- Semelle : 50 mm (chacune)

L'analyse ne concerne que la situation ELU n°1, la plus pénalisante. Les cordons d'âme reprennent la totalité de l'effort tranchant vertical :

$$a_{\min} = \frac{F_{w,w,Ed}}{L f_{vwd}} = \frac{1230}{50 \times 234} \approx 0,1 \text{ mm}$$

La NF EN 1993-1-8 impose un cordon minimal de 3 mm, ce qui est retenu ici.

Les cordons de semelle reprennent la totalité du moment (soit un effort normal de $490 / (100 - 5,7) = 5,2 \text{ kN}$) :

$$a_{\min} = \frac{F_{w,f,Ed}}{L f_{vwd}} = \frac{5200}{50 \times 234} = 0,4 \text{ mm}$$

On retient à nouveau un cordon minimal de 3 mm.



Béton comprimé

La surface de béton (C25/30) comprimée A_c à prendre en compte est obtenue par projection de l'âme et des semelles d'une longueur donnée ci-dessous :

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}} = 6 \times \sqrt{\frac{275}{3 \times 16,7 \times 1,0}} = 14 \text{ mm}$$

Soit, en tenant compte de la largeur physique de la platine : $A_c = 60 \times (5,7 + 2 \times 14) = 2022 \text{ mm}^2$.

D'où $F_{C,Rd} = 2022 \times 16,7 = 33,8 \text{ kN} \gg 0,49 / 0,127 = 3,9 \text{ kN}$

7.4.3.2. • Rigidité de l'assemblage

La rigidité de l'assemblage est influencée par les rigidités du béton comprimé (k_{13}), de la platine en flexion coté tendue (k_{15}) et la cheville (k_{16}). Il n'y a pas d'effet de levier (voir le calcul précédent, c'est également l'hypothèse la plus sécuritaire pour le calcul de la rigidité) et la cheville mesure 120 mm de longueur.

Les expressions de k_{15} et k_{16} sont divisées par deux pour tenir compte du fait qu'il s'agit d'un tronçon en L avec un seul boulon :

$$k_{13} = \frac{E_c \sqrt{A_c}}{1,275 E} = \frac{31 \times \sqrt{2022}}{1,275 \times 210} = 5,21 \text{ mm}$$

$$k_{15} = 0,5 \frac{0,425 l_{eff} t_p^3}{m^3} = 0,5 \frac{0,425 \times 60 \times 6^3}{33^3} = 0,08 \text{ mm}$$

$$k_{16} = 0,5 \frac{2,0 A_s}{L_b} = 0,5 \frac{2,0 \times 157}{120} = 1,31 \text{ mm}$$

La rigidité de l'assemblage vaut donc :

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\sum \frac{1}{k_i}} = \frac{210000 \times 127^2}{\frac{1}{5,21} + \frac{1}{0,08} + \frac{1}{1,31}} \times 10^{-6} = 252 \text{ kN.m/rad}$$

On ne peut pas considérer l'assemblage comme un encastrement :

$$S_{j,ini} < 30 \frac{E I_y}{L} = 30 \frac{210000 \times 171 \cdot 10^4}{800} \cdot 10^{-6} = 13466 \text{ kN.m/rad}$$

La rigidité effective doit donc être utilisée dans les calculs de flèche.



7.4.4. • Vérifications des poutres-consoles

Déversement

Les poutres-consoles doivent être vérifiées vis-à-vis du déversement. Elles sont maintenues à leur encastrement. Pour cette vérification, il est possible de se référer à l'article suivant : Y. Galéa, *Moment critique de déversement élastique des poutres-consoles à extrémité entièrement libre*, Revue Construction Métallique n°3-2005.

Dans le cas présent, le profil de fermeture, et même les lames dans une moindre mesure, ont un effet favorable sur le déversement qui sera négligé. Le moment critique de déversement est défini par l'expression ci-après :

$$M_{cr} = C M_{cr}^0$$

Avec :

$$M_{cr}^0 = \frac{\pi}{L} \sqrt{E I_z G I_t} = \frac{\pi}{800} \sqrt{210 \times 15,92 \cdot 10^4 \times 80,77 \times 1,2 \cdot 10^4} \cdot 10^{-3} = 22,35 \text{ kN.m}$$

Le coefficient C est donné par un tableau à partir des paramètres suivant :

- Charge uniformément répartie
- Gauchissement libre à l'encastrement (sécuritaire)
- Prise en compte de la rigidité de la poutre en gauchissement

$$\kappa_{wt} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{E I_w}{G I_t}} = \frac{1}{800} \sqrt{\frac{210 \times 350 \cdot 10^6}{80,77 \times 1,2 \cdot 10^4}} = 0,34$$

- Prise en compte de l'effet déstabilisant de la charge (supposée appliquée sur la semelle supérieure)

$$\eta = \frac{|z_a|}{h_s / 2} = \frac{50}{(100 - 5,7) / 2} = 1,06$$

En réalisant une double interpolation linéaire avec les valeurs tabulées de l'article, on obtient $C = 1,05$, et donc :

$$M_{cr} = C M_{cr}^0 = 1,05 \times 22,35 = 23,47 \text{ kN.m}$$

Le déversement peut être négligé car :

$$\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} = \frac{0,49}{23,47} = 0,02 < \lambda_{LT,0}^2 = 0,2^2 = 0,04$$

La vérification en section est suffisante :

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{39,41 \times 275}{1,0} \cdot 10^{-3} = 10,8 \text{ kN.m}$$

Les poutres-consoles sont bien vérifiées en flexion.

Déformations

La flèche des poutres-consoles du brise-soleil est calculée en sommant la flèche « propre » de la barre et la flèche induite par la rotation d'extrémité (rigidité de l'assemblage).

Flèche verticale sous combinaison ELS :

$$f_{ELS,1} = \frac{q_{Ed} L^4}{8 E I_y} = \frac{1,06 \times 800^4}{8 \times 210000 \times 171 \cdot 10^4} = 0,2 \text{ mm}$$

$$M_{Ed,ELS} = \frac{q_{Ed} L^2}{2} = \frac{1,06 \times 800^2}{2} = 339200 \text{ N.mm}$$

$$M_{Ed,ELS} = 3,4 \text{ kN.m} > \frac{2}{3} M_{j,Rd} = \frac{2}{3} \times 4,5 = 3 \text{ kN.m}$$

Donc
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{[1,5 \times M_{j,Ed} / M_{j,Rd}]^{\psi}} = \frac{252}{[1,5 \times 3,4 / 4,5]^{2,7}} = 180 \text{ kN.m/rad}$$

$$f_{ELS,2} = \frac{M_{Ed,ELS} L}{S_j} = \frac{339200 \times 800}{180 \cdot 10^6} = 1,5 \text{ mm}$$

$$f_{ELS} = f_{ELS,1} + f_{ELS,2} = 1,7 \text{ mm}$$

On vérifie bien :

$$f_{ELS} = 1,7 \text{ mm} < \frac{2 L}{300} = \frac{2 \times 800}{300} = 5,3 \text{ mm}$$

7.4.5. • Vérifications des lames

L'effort de vent sur les lames peut être estimé comme suit : $2 \times 1,41 \times 0,353 = 1 \text{ kN/m}^2$. En considérant des lames de 12 cm de large, on obtient une charge de 0,12 kN/m.

L'effort de neige sur les lames peut être estimé en divisant la charge totale ($0,99 \times 1,4 \times 0,8 = 1,1 \text{ kN}$) par le nombre de lames (4) : $1,1 / 4 = 0,28 \text{ kN}$, soit 0,2 kN/m

La charge de neige est prépondérante. La lame devra être capable de :

- vérifier la condition de flèche ($L/300$) vis-à-vis de cette charge de 0,2 kN/m + le poids propre de la lame (ELS)
- résister à la charge de 0,3 kN/m + 1,35 fois le poids propre de la lame (ELU)

On considérera en sécurité cette charge appliquée de sorte que la flexion se produise suivant la plus faible inertie.



7.4.6. • Vérifications du profil de fermeture

Le profil de fermeture est sollicité par effet cadre sous l'effet du vent latéral, et également en pression sous l'effet du vent de face (de façon analogue aux lames).

Note

Les vérifications qui suivent peuvent être menées à l'aide d'un logiciel de RdM (ou dans certains cas, d'un formulaire) pour obtenir des résultats plus favorables.

Pression sous vent de face

On peut considérer en sécurité le même coefficient de pression (2) et le même critère de flèche ($L/300$) que les lames : $0,1 \times 2 \times 1,41 \times 0,353 = 0,1$ kN/m

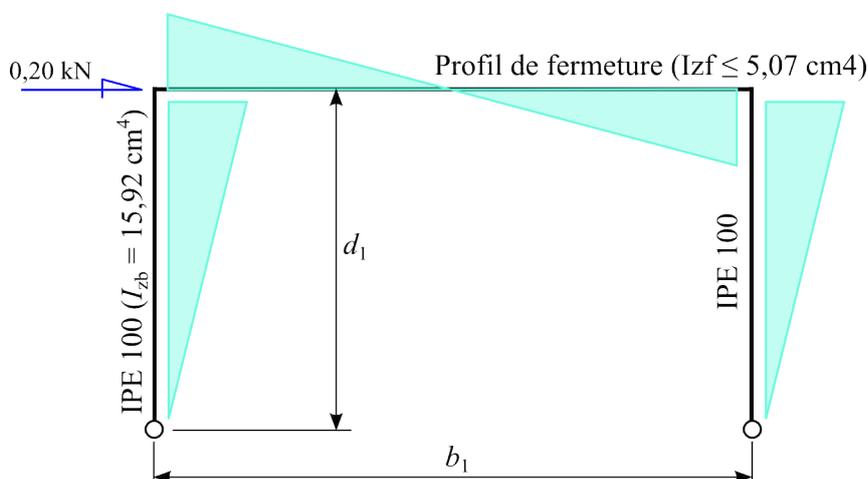
Ce profil est encasté sur les poutres- consoles, mais la flèche sera ici calculée comme s'il était bi-articulé (par simplification, dans le sens de la sécurité) :

$$\delta = \frac{5 q_{Ed} b_1^4}{384 E I_{zf}} \leq \frac{1400}{300} = 4,7 \text{ mm}$$

$$I_{zf} \geq \frac{5 \times 0,1 \times 1400^4}{384 \times 210000 \times 4,7} = 5068 \text{ mm}^4$$

Vérifications sous vent latéral

L'effort de frottement vaut 0,13 kN, soit 0,20 kN pondéré à l'ELU. En considérant un portique articulé en pied tel que présenté (Figure D. 3), le moment de flexion aux encastremets dû à l'effet cadre vaut 0,08 kN.m. Cette modélisation suppose que l'assemblage entre les poutres- consoles et le profil de fermeture est suffisamment rigide pour être considéré comme un encastrement, par exemple si les deux profils sont convenablement soudés.



▲ Figure D. 3 : Modélisation en portique

On doit donc vérifier que les barres composant l'ossature ont un module de résistance d'au moins la valeur suivante :

$$W_{z,\min} = \frac{\gamma_{M0} M_{Ed}}{f_y} = \frac{1,0 \times 0,08 \cdot 10^6}{235} = 340 \text{ mm}^3$$

Ce qui est le cas de l'IPE 100 utilisé pour les poutres-consoles ($W_{el,z} = 5,79 \text{ cm}^3 = 5790 \text{ mm}^3$).

La flèche d'un tel portique sous ce cas de charge est exprimée par (on admet un profil de fermeture d'inertie $I_{zf} = 5,07 \text{ cm}^4$) :

$$k = \frac{I_{zf} d_1}{I_{zb} b_1} = \frac{5,07}{15,92} \frac{800}{1400} = 0,18$$

$$\delta = \frac{F d_1^3}{3 E I_{zb}} \frac{2k+1}{4k} = \frac{0,13 \times 800^3}{3 \times 210000 \times 159200} \frac{2 \times 0,18 + 1}{4 \times 0,18} \approx 0,001 \text{ mm}$$

Le profil de fermeture doit être conçu avec une inertie et un module de résistance autour de z d'au moins $5,07 \text{ cm}^4$ et $0,340 \text{ cm}^3$ respectivement.

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



GUIDE

BRISE-SOLEIL MÉTALLIQUES
RAPPORTÉS
CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE

AVRIL 2014

RÉNOVATION

Le guide « **Brise-soleil métalliques rapportés – Conception et mise en œuvre** » vise à accompagner les professionnels de la construction et à leur donner les moyens pour répondre aux objectifs fixés dans le Grenelle de l'environnement et aux exigences des réglementations thermiques pour les bâtiments existants. Les brise-soleil intégrés à la façade jouent un rôle essentiel pour assurer le confort des occupants et réduire la charge de climatisation dans les bâtiments équipés de systèmes de rafraîchissement actifs. Les brise-soleil sont de plus en plus utilisés dans le neuf et la rénovation.

Le guide vise les bâtiments (en acier, en béton ou en maçonnerie) construits en France métropolitaine.

L'utilisation de rupteurs de ponts thermiques, essentiellement des solutions de chantier, au niveau des fixations peut être envisagée pour réduire les déperditions thermiques du bâtiment.

Après une description des conceptions les plus courantes de brise-soleil métalliques rapportés, le guide donne des recommandations pour la conception et la mise en œuvre de ces structures sur des bâtiments existants conformément aux normes et règlements en vigueur (Thermique, sismique, Eurocodes, ...).



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

