

NOTE D'INFORMATION

JUSTIFICATION DES FAÇADES OSSATURE BOIS (F.O.B.) AU SÉISME

Institut Technologique FCBA

Pôle Industrie Bois Construction

Service Consultance Innovation et Appui Technique

Allée de Boutaut – BP 227

33 028 Bordeaux Cedex

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Département Sécurité, Structures, Feu

Division Expertise, Avis réglementaires, Recherche

84 avenue Jean Jaurès - Champs-sur-Marne

FR-77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

Avec le soutien financier du



Table des matières

1	Rappel réglementaire	3
1.1	Préambule	3
1.2	Aléa sismique	3
1.3	Classification des bâtiments	3
1.4	Classe de sol	4
2	Justification des FOB au séisme	5
2.1	Description et objectifs	5
2.2	Vérification des ancrages	6
2.3	Détermination de l'effort dû à l'action sismique.....	6
2.4	Déplacements inter-étages.....	7
2.5	Effet des déplacements inter-étages hors plan de la façade	8
2.6	Effet des déplacements inter-étages dans le plan de la façade.....	10
2.7	Intégrité du panneau de façade.....	12

1 RAPPEL RÉGLEMENTAIRE

1.1 Préambule

La réglementation sismique actuelle a été mise en place le 22 octobre 2010 au travers des textes suivants :

- Décret n° 2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique ;
- Décret n° 2010-1255 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français ;
- Arrêté du 22 octobre 2010, modifié les 25 octobre 2012 et 15 septembre 2014, relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».

Cette réglementation fait référence à l'Eurocode 8 (NF EN 1998) pour le dimensionnement des bâtiments en zones sismiques dont l'application est obligatoire depuis le 1^{er} janvier 2014.

1.2 Aléa sismique

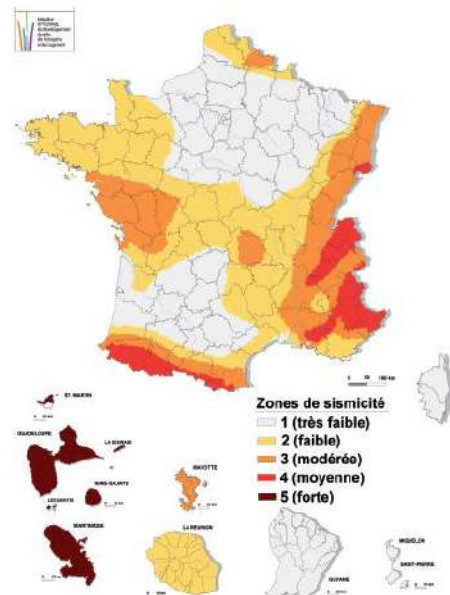
Une nouvelle carte des zones sismiques, couvrant le territoire métropolitain et les départements d'outre-mer à donc été établie.

Le Décret n° 2010-1255 délimite précisément les zones sismiques par départements, cantons et communes.

Le territoire national est découpé en 5 zones sismiques :

- Zone 1 : sismicité très faible
- Zone 2 : sismicité faible
- Zone 3 : sismicité modérée
- Zone 4 : sismicité moyenne
- Zone 5 : sismicité forte

Une représentation simplifiée est portée sur la carte située ci-contre.



1.3 Classification des bâtiments

L'arrêté du 22 octobre 2010 définit 4 catégories d'importance pour les bâtiments :

- Catégorie d'importance I : ceux dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité économique ;
- Catégorie d'importance II : ceux dont la défaillance présente un risque moyen pour les personnes ;
- Catégorie d'importance III : ceux dont la défaillance présente un risque élevé pour les personnes et ceux présentant le même risque en raison de leur importance socio-économique ;

- Catégorie d'importance IV : ceux dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, pour la défense ou pour le maintien de l'ordre public.

Le tableau ci-dessous donne des exemples de types de bâtiments selon la catégorie d'importance.

Catégorie d'importance	Exemples de type de bâtiments (voir arrêté du 22/10/2010 et modificatifs)
I	Bâtiments sans activité humaine durable
II	Habitations individuelles, ERP 4e et 5e catégories (sauf établissements scolaires), bâtiments d'habitation collective (≤ 28 m), bâtiments de bureaux et d'usage commercial non ERP (≤ 28 m, ≤ 300 personnes), bâtiments à activité industrielle (≤ 300 personnes).
III	Établissements scolaires, ERP 1 ^{re} , 2 ^e et 3 ^e catégories, bâtiments à habitation collective (> 28 mètres), bâtiments de bureaux (> 28 mètres), bâtiments à usage commercial non ERP (> 300 personnes), bâtiments d'activité industrielle (> 300 personnes), bâtiments sanitaires et sociaux, bâtiments de production d'énergie.
IV	Bâtiments de sécurité civile et défense, bâtiments de services communication, bâtiments de circulation aérienne, établissements de santé, bâtiments d'eau potable, bâtiments de distribution d'énergie, bâtiments de centres météorologiques.

1.4 Classe de sol

La norme NF EN 1998-1 (Eurocode 8, partie 1), définit également des classes de sol, selon la nature du terrain sur lequel est construit le bâtiment.

Le tableau ci-dessous donne des exemples de profils stratigraphiques selon la classe de sol.

Classe de sol	Profil stratigraphique
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 mètres de matériau moins résistant.
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes.
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions.

2 JUSTIFICATION DES FOB AU SÉISME

Note importante :

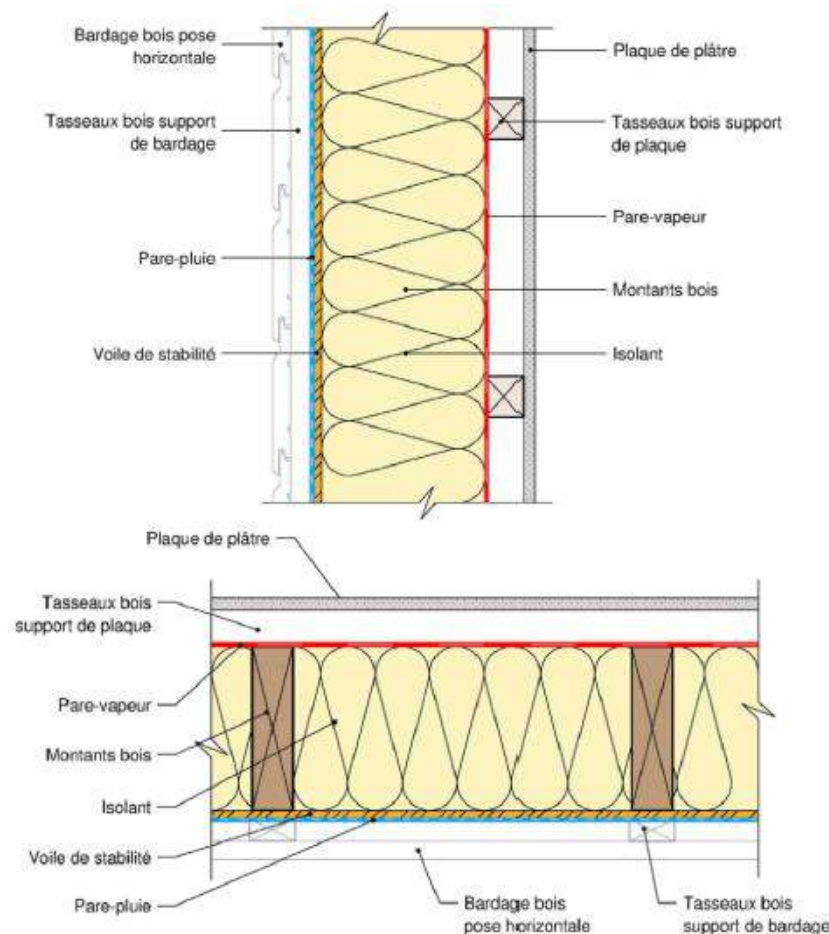
Les justifications ci-dessous ne visent que la reprise des efforts liés aux actions sismiques, toutes les autres sollicitations (tenue au vent notamment) et exigences (chocs, sécurité incendie) doivent être traitées par ailleurs.

2.1 Description et objectifs

Les éléments de façades en ossature bois (cf. Figures 1 et 2) sont considérés comme des éléments non structuraux au sens de l'Eurocode 8.

Un élément de façade est non structural et se distingue d'un élément structural tel qu'un mur à ossature bois, par le fait :

- qu'il s'agit d'un élément déposable (sinon démontable) sans que cette opération ne nécessite de confortement d'autres parties ou éléments de l'ouvrage ;
- qu'il ne contribue pas à la reprise des efforts dans la structure.



Figures 1 et 2 : Coupe verticale (haut) et coupe horizontale (bas) d'une façade en ossature bois

Pour cela, il est nécessaire de limiter l'interaction avec la structure primaire. En l'absence de systèmes d'ancrages spécifiques (glissants), le déplacement inter-étage générera un effort de cisaillement dans l'élément de façade proportionnel à sa raideur. Pour ces deux raisons, il est important que l'élément de façade soit le plus souple possible, en limitant notamment le nombre et le diamètre des fixations constituant la couture en périphérie des panneaux.

Cependant, il convient d'assurer également les objectifs suivants :

- Intégrité de l'élément de façade
- Résistance des ancrages

2.2 Vérification des ancrages

Lors d'un séisme, les éléments de façade sont soumis à l'action du séisme dû à leur masse. Ces efforts dûs à l'action sismique sont déterminés à partir du § 4.3.5 de NF EN 1998-1.

De plus, les éléments de façade étant ancrés à plusieurs planchers ou niveaux de l'ouvrage, à ces efforts sismiques « directs » peuvent s'ajouter les efforts induits par les déplacements inter-étages des planchers.

2.3 Détermination de l'effort dû à l'action sismique

L'évaluation de l'effort dû à l'action sismique doit être menée selon l'Eurocode 8 §4.3.5. Cet effort, exprimé par unité de surface de façade, est noté F_a et exprimé en kN/m². Il est déterminée par :

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a}{q_a}$$

$$\text{avec } S_a = \frac{a_{gr} \cdot \gamma_I}{9,81} \cdot S \cdot \left(\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{z}{H}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right)$$

où

- S_a est le coefficient sismique
- W_a est le poids surfacique de l'élément de façade en kN/m²
- q_a est le coefficient de comportement pour les éléments de façade
- γ_a est le coefficient d'importance pour les éléments de façade
- a_{gr} est l'accélération du sol de référence de la zone sismique considérée en m/s²
- γ_I est le coefficient d'importance de l'ouvrage
- S est le coefficient de sol

z est la hauteur du centre de gravité de l'élément de façade considéré en m
 H est la hauteur de l'ouvrage en m
 T_a est la période fondamentale de l'élément de façade en s
 T_l est la période fondamentale de l'ouvrage en s

Avec $q_a = 2$ et $\gamma_a = 1$ pour les éléments de façade à ossature bois.

L'effort maximal est obtenu pour $z = H$ et $T_a = T_l$. Dans ce cas, on a :

$$F_a = \frac{5,5 \cdot a_{gr} \cdot \gamma_l \cdot S \cdot W_a \cdot \gamma_a}{9,81 \cdot q_a}$$

NOTE :

Ce calcul est applicable dans les deux directions du séisme afin de déterminer les efforts perpendiculaires et parallèles au plan de la façade.

2.4 Déplacements inter-étages

En situation de séisme, les déformations de l'ouvrage conduisent à des déplacements inter-étages imposés aux éléments de façade. Si le déplacement inter-étages, noté d_r , n'est pas connu, on pourra se reporter à l'exigence de limitation des dommages qui permet de « remonter » au déplacement inter-étages.

Conformément à la norme NF EN 1998-1 (Eurocode 8) pour la justification des ouvrages en zones sismiques, un degré approprié de fiabilité vis-à-vis de dommages doit être assuré en respectant les limites de déformation appropriées. Cette exigence de « limitation des dommages » est une exigence vis-à-vis d'une action sismique ayant une plus forte probabilité d'occurrence que l'action sismique de calcul correspondant à l'exigence de « non-effondrement ». Conformément à l'EN 1998-1, les murs à ossature bois sont considérés comme étant en ductilité de classe haute (DCH). De fait, les façades à ossature bois sont à considérer comme éléments non structuraux ductiles. L'exigence de limitation des dommages est satisfaite si les déplacements inter-étages, noté d_r et déterminés selon le §4.4.3.2 de l'EN 1998-1, sont tels que :

$$d_r \leq \frac{0,0075 \cdot h}{\nu}$$

Avec

$\nu = 0,5$ pour les ouvrages en catégorie d'importance I ou II
 $\nu = 0,4$ pour les ouvrages en catégorie d'importance III ou IV
 h la hauteur d'un niveau en mm

NOTE :

Le coefficient ν permet de considérer l'action sismique ayant une période de retour de 95 ans par rapport à l'action sismique de référence ayant une période de retour de 475 ans. En d'autres termes, une action sismique plus faible, du fait d'une probabilité d'occurrence plus élevée.

Si d_r n'est pas connu, on pourra supposer que le critère de limitation des dommages sera atteint afin de déterminer un d_r cible.

En fonction de la configuration de pose des éléments de façade, ces déplacements inter-étages peuvent générer des efforts dans l'ossature et/ou les ancrages qui viennent s'ajouter aux efforts « directs » F_a .

2.5 Effet des déplacements inter-étages hors plan de la façade

2.5.1 Cas des façades en bandes horizontales

Dans le cas des façades réalisées en bandes horizontales (cf. Figure 3), le déplacement inter-étages hors plan des façades conduit uniquement à une rotation en pied et en tête de l'ordre de 1° (pour une hauteur standard de niveau de l'ordre de 3 m).

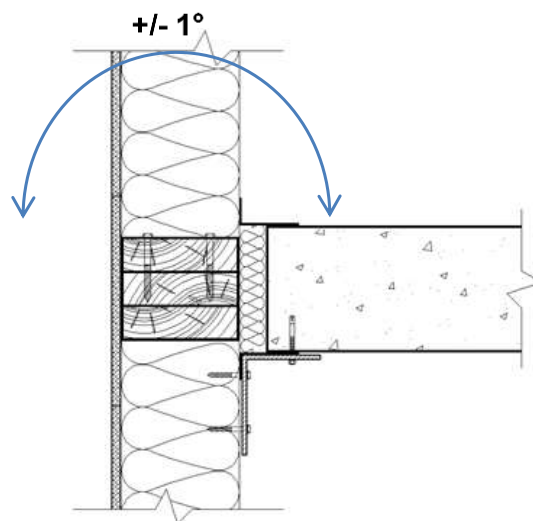


Figure 3 : Exemple d'une pose en bande horizontale

Ces déplacements sont négligeables et ne nécessitent pas de vérification. En effet, lors de la mise en œuvre des éléments de façade à ossature bois sur chantier, après fixation des traverses basses, il arrive fréquemment qu'un déplacement en tête de plusieurs centimètres se produise pendant le réglage de verticalité. Cette situation, plus défavorable, ne génère aucun dommage ou pathologie.

2.5.2 Cas des façades en bandes verticales

Pour les bâtiments irréguliers en élévation, la déformée globale de l'ouvrage fait intervenir les modes au-delà du mode fondamental. Avec une pose en bandes verticales, de tels déplacements inter-étages génèrent une mise en flexion des éléments verticaux filant sur plusieurs niveaux par un déplacement imposé. Un montant filant sur 2 niveaux se trouve par exemple en situation de flexion 3 points avec un déplacement imposé à mi portée.

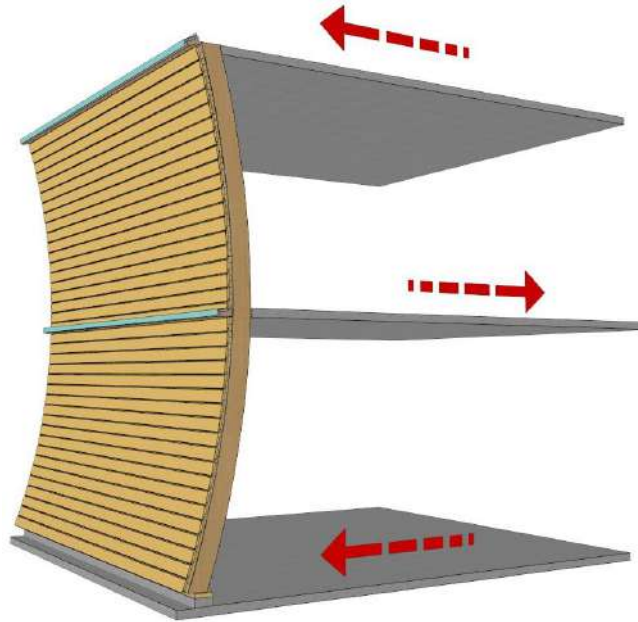


Figure 1 : Illustration de la mise en flexion 3 points d'une façade filante

Dans ce cas, on pourra déterminer la réaction induite sur l'ancrage du niveau intermédiaire, notée $F_{ax,Ad}$ et exprimée en kN, par :

$$F_{ax,Ad} = \frac{48}{1000} \cdot E \cdot I \cdot \frac{d_r}{(2 \cdot h)^3}$$

Où

E est le module d'élasticité de la classe de résistance mécanique du bois du montant en N/mm²

I est le moment quadratique d'inertie du montant en N.mm²

d_r est le déplacement inter-étages en mm

h est la hauteur entre étages en mm

Cet effort permet également de vérifier la résistance en flexion des éléments bois filants verticaux.

A titre d'exemple, avec les hypothèses suivantes :

- Hauteur des niveaux : $h = 3$ m
- Ossature en bois massif de classe mécanique C24

- Section des montants : 45 x 145 mm
- Entraxe des montants : 600 mm

Et sur la base d'un déplacement inter-étages de 56 mm, celui-ci induit :

- Une contrainte de flexion dans les montants de 14 MPa
- Un effort au point de déplacement imposé (niveau n) de 155 daN par montant, soit 258 daN/ml dans les ancrages.

NOTE :

Avec ces hypothèses géométriques, ces efforts de calcul dans les ancrages équivalent à un effort de vent non pondéré de 49 daN/m² (en tenant compte des pondérations et coefficients partiels différents entre la situation de séisme et la situation normale).

2.6 Effet des déplacements inter-étages dans le plan de la façade

2.6.1 Mise en parallélogramme

Dans le plan de la façade, les déplacements inter-étages génèrent une mise en parallélogramme des éléments de façade (dans le cas où il n'est pas mis en œuvre des ancrages glissants). S'agissant d'une déformation en cisaillement de voile, ces déplacements imposés vont générer des efforts de cisaillement de voile dans l'élément de façade qui seront proportionnels à sa raideur en cisaillement. Il est donc judicieux de concevoir cet élément le plus souple possible. De plus, une trop grande raideur des éléments de façade en cisaillement de voile peut affecter notablement le comportement de la structure en situation de séisme et augmente les efforts sur les ancrages.

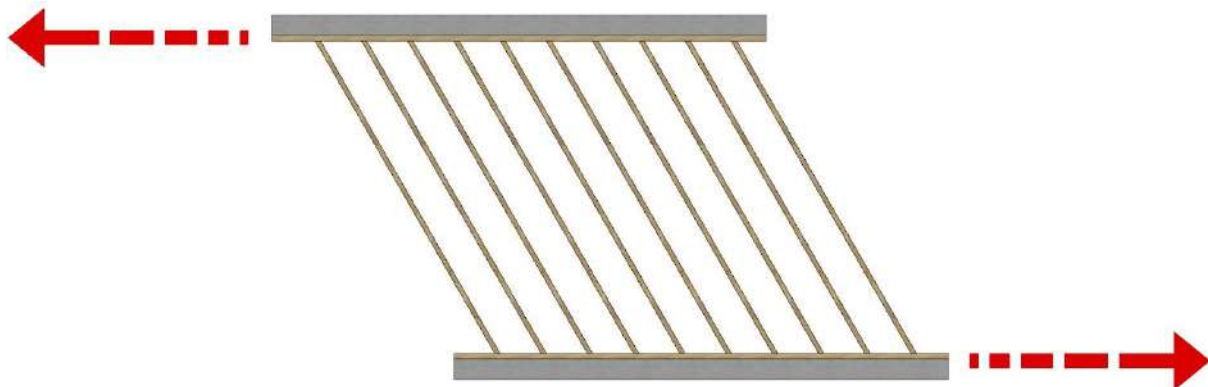


Figure 2 : Illustration de la mise en parallélogramme

La raideur étant fonction de l'espacement et du diamètre des fixations du panneau sur l'ossature bois, il n'est pas pertinent de mettre en œuvre un faible espacement et/ou un fort diamètre. Ceci n'est pas conservatif puisqu'en augmentant la raideur du voile, l'interaction des éléments de façade avec les éléments de structure primaire est augmentée.

En d'autres termes, les façades doivent rester des éléments de second œuvre souple et leur intégrité doit être assurée lors des déplacements de leurs supports.

NOTE :

Lors de la justification de l'ouvrage, la façade est un élément de second œuvre qui est pris en compte uniquement comme une masse pour justifier la stabilité de l'ouvrage et vérifier notamment les critères de régularité en plan de celui-ci. Lors d'un séisme, si les éléments de façade sont trop raides, ceux-ci vont reprendre des efforts importants lors des déplacements inter-étages et interférer avec le système de stabilité primaire de l'ouvrage. Ainsi, les critères de régularité et les efforts calculés seront faux et conduiront à une distribution d'efforts différente. De plus, la trop grande rigidité des éléments de façade va générer des efforts beaucoup plus importants dans les ancrages. En cas de rupture d'une partie de ces derniers, l'ouvrage peut se trouver dans une situation d'irrégularité en plan telle qu'elle induira des phénomènes de mise en torsion du bâtiment non initialement prévus et qui auront pour effet de majorer les efforts dans les éléments de stabilité primaire.

2.6.2 Détermination des efforts appliqués sur les ancrages

Le déplacement inter-étages dans le plan de la façade génère une mise en parallélogramme des éléments à ossature bois. De fait, cela induit des efforts dans les éléments de façade, du fait de leur raideur, et donc des réactions dans leurs ancrages. S'agissant d'une déformation en cisaillement de voile, la pose en bandes horizontales ou verticales n'a pas d'influence notable et la méthode présentée ici s'applique dans les deux cas.

L'effort induit dans un élément de façade à ossature bois, noté $F_{v,Ad}$ et exprimé en kN, peut être déterminé par :

$$F_{v,Ad} = \min \left\{ \begin{array}{l} K_{v,u} \cdot d_r \\ F_{v,Rk} \end{array} \right.$$

Où

d_r est le déplacement inter-étages total entre la base et le sommet de l'élément de façade considéré en mm

$K_{v,u}$ est la raideur ultime en cisaillement de l'élément de façade considéré en kN/mm

$F_{v,Rk}$ est la résistance caractéristique en contreventement de l'élément de mur à ossature bois équivalent en kN (calculé selon NF EN 1995-1-1)

Dans le plan de la façade, cet effort s'ajoute aux efforts dus à l'action sismique sur la façade pour déterminer les réactions sur les ancrages.

On pourra estimer la raideur ultime en contreventement d'un élément à ossature bois par la formule usuelle de Källsner (voir Manuel AQCEN EC5) :

$$K_{v,u} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2 \cdot s}{K_{ser,f} \cdot \left(b_p + \frac{h}{3} \right)} + \frac{2 \cdot s \cdot h^2}{K_{ser,f} \cdot b_p^2 \cdot \left(h + \frac{b_p}{3} \right)} \right)^{-1}$$

Où

s est l'espacement des fixations en périphérie du panneau en mm

- b_p est la largeur d'un panneau unitaire en mm
 h est la hauteur d'un panneau unitaire en mm
 $K_{ser,f}$ est le module de glissement de la fixation panneau/ossature en kN/mm et déterminé selon le tableau 7.1 de NF EN 1995-1-1 (Eurocode 5)

2.7 Intégrité du panneau de façade

Conformément au chapitre 8 de l'EN 1998-1, il n'est pas nécessaire de justifier l'intégrité de l'élément de façade lui-même en situation de séisme sous réserve de respecter les règles suivantes :

- le diamètre d des fixations du panneau sur l'ossature est limité à 3,1 mm (maximum)
- le voile a une épaisseur minimale de $4d$.

Le respect de ces règles permet de s'assurer de l'atteinte d'un comportement ductile (classe de ductilité DCH) de la couture du voile par plastification des fixations et de l'absence de rupture fragile du panneau.

ANNEXE

Justification de l'ancrage pour des FOB en situation de séisme Exemple d'application

Hypothèses :

Bâtiment régulier en élévation de 6 niveaux de 3 m chacun (R+5), de catégorie d'importance II situé en zone de sismicité 3 sur un sol de classe C.

Éléments de façade à ossature bois verticaux filants sur 2 niveaux et constitués de montants de 45 x 145 mm en bois massif de classe de résistance C24 disposés à entraxe de 600 mm. Chaque montant est ancré à la structure primaire en béton en extrémité de dalles. Les panneaux sont des panneaux d'OSB/3 de 9 mm d'épaisseur et de dimensions 1200 x 2800 mm fixés avec des pointes non lisses de 2,1 mm espacées de 150 mm en périphérie. Le poids surfacique des éléments de façade est de 0,47 kN/m². Les ancrages ne permettent pas le libre déplacement horizontal dans le plan de la façade.

Détermination de l'effort dû à l'action sismique sur les façades

A titre conservateur et par simplification, on suppose que $z = H$ et $T_a = T_1$. Dans ce cas, l'effort surfacique dû à l'action sismique sur les façades, noté F_a et exprimée en kN/m², est déterminée par :

$$F_a = \frac{5,5 \cdot a_{gr} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot W_a \cdot \gamma_a}{9,81 \cdot q_a}$$

Avec

$q_a = 2$ et $\gamma_a = 1$ pour les éléments de façade

$W_a = 0,47$ kN/m²

$a_{gr} = 1,1$ m/s²

$\gamma_I = 1$

$S = 1,5$

$$F_a = 0,217 \text{ kN/m}^2$$

En supposant que chaque ancrage reprend une bande de chargement de 1,8 m², l'effort dû à l'action du séisme sur chaque ancrage est alors :

$$F_{a,Ad} = 0,39 \text{ kN}$$

Détermination des déplacements inter-étages

Les façades à ossature bois sont considérées comme éléments non structuraux ductiles. En supposant que le critère de limitation des dommages sera atteint, le déplacement inter-étages peut être évalué par :

$$d_r = \frac{0,0075 \cdot h}{\nu}$$

Avec

$\nu = 0,5$ pour les ouvrages en catégorie d'importance I ou II

$h = 3000$ mm

$$d_r = 45 \text{ mm}$$

NOTE :

Pour un ouvrage en catégorie d'importance III ou IV, $\nu = 0,4$. Dans ce cas, sur la base d'une hauteur de niveau de 3 m, le déplacement inter-niveaux d_r est de 56 mm.

Détermination des efforts induits par les déplacements inter-étages dans le plan de la façade

On estime la raideur ultime d'un élément à ossature bois par :

$$K_{v,u} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2 \cdot s}{K_{ser,f} \cdot \left(b_p + \frac{h}{3} \right)} + \frac{2 \cdot s \cdot h^2}{K_{ser,f} \cdot b_p^2 \cdot \left(h + \frac{b_p}{3} \right)} \right)^{-1}$$

Avec

$s = 150$ mm

$b_p = 1200$ mm

$h = 2800$ mm

$K_{ser,f} = 0,72$ kN/mm (calculé selon NF EN 1995-1-1 avec $\rho_m = 650$ kg/m³ pour le panneau et 420 kg/m³ pour l'ossature bois)

$$K_{v,u} = 0,74 \text{ kN/mm}$$

La résistance caractéristique $F_{v,Rk}$ calculée selon NF EN 1995-1-1 méthode A est :

$$F_{v,Rk} = 3,58 \text{ kN}$$

L'effort maximal induit dans les ancrages d'un élément de façade de 1,2 m de large entre 2 niveaux est :

$$F_{v,Ad} = \min \left\{ \begin{array}{l} K_{v,u} \cdot d_r \\ F_{v,Rk} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Ad} = 3,58 \text{ kN}$$

Soit 2,98 kN par mètre linéaire de façade ou 1,79 kN par ancrage (entraxe 0,6 m).

Cas de charge sismique résultant sur les ancrages

Soient E_x et E_y les composantes des efforts sur les ancrages dues à l'action du séisme respectivement dans les directions x (horizontale perpendiculaire à la façade) et y (horizontale dans le plan de la façade), on a :

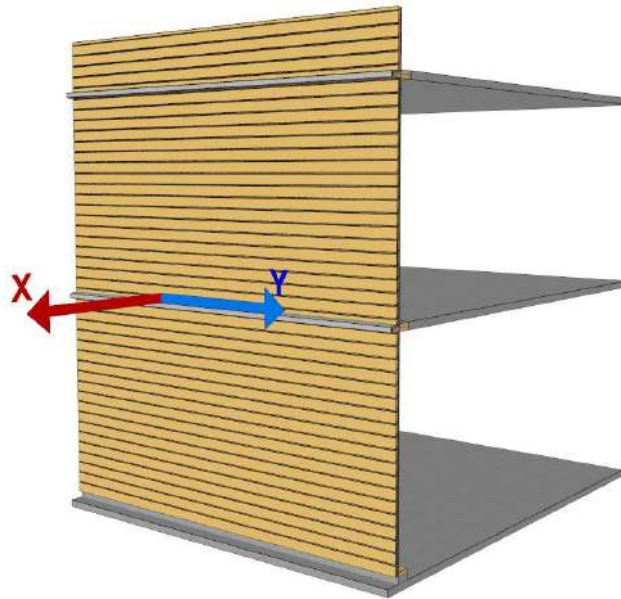


Figure 3 : Illustration du repère

$$E_x = F_{a,Ad} \quad \text{et} \quad E_y = F_{a,Ad} + F_{v,Ad}$$

$$E_x = 0,39 \text{ kN}$$

$$E_y = 0,39 + 1,79 = 2,18 \text{ kN}$$

On justifiera les ancrages sous les sollicitations déterminées à partir des combinaisons d'action ELU en situation sismique construites selon NF EN 1990, à savoir dans le cas des éléments de façade :

$$E_{Ad,1} = G_k + E_x$$

$$E_{Ad,2} = G_k + E_y$$

$$E_{Ad,3} = G_k + E_x + 0,3.E_y$$

$$E_{Ad,4} = G_k + 0,3.E_x + E_y$$

Où G_k est le poids permanent issu de la façade, le cas échéant.