

fermacell[®]



Bâtiments en bois parasismiques

**avec les plaques de plâtre
armé de fibres FERMACELL**



Introduction

Les progrès accomplis dans le domaine des ouvrages à plusieurs niveaux et les dispositions actuelles des normes de structures de la SIA relatives au séisme, nécessitent d'étudier la sécurité parasismique dans la construction en bois.

Au cours de ces dernières années, l'attention portée à la stabilisation des bâtiments pour les cas de charge vent et séisme, et la compréhension de son fonctionnement se sont considérablement accrues.

On sait aujourd'hui qu'en fonction des caractéristiques du sol de fondation et de la géométrie du bâtiment, le cas de charge séisme peut être déterminant pour les éléments destinés à conduire les charges horizontales aux fondations (stabilisation verticale) de bâtiments d'habitation neufs, déjà dès deux niveaux. Les exigences accrues relatives au comportement vibratoire des planchers, à la protection incendie et à l'isolation phonique conduisent inévitablement à l'augmentation de la masse des bâtiments en bois. En cas de séisme, cette masse supplémentaire génère de plus grandes forces d'inertie, qui doivent être transmises au sol de fondation par les éléments de stabilisation.

Quelles que soient les actions horizontales, les éléments de stabilisation des bâtiments bois à plusieurs étages sont en général réalisés sous forme de parois en ossature bois. Ces composants se distinguent notamment par leur polyvalence et, si tant est que la conception soit adaptée, par leur grande résistance. Pour le revêtement de ces parois, outre les dérivés du bois, les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL conviennent particulièrement.

La présente brochure se propose de venir compléter la publication «Bâtiments en bois parasismiques de plusieurs étages» (LIGNUM Economie suisse du bois, 2010), qui expose en détail le dimensionnement parasismique des parois de stabilisation en bois. À l'aide d'un exemple d'application, ce fascicule expose le processus à suivre, du calcul de prédimensionnement à la vérification finale des parois de stabilisation en ossature bois. La brochure FERMACELL vient compléter les solutions constructives proposées en ce qui concerne les parois en ossature.

Elle offre aux ingénieurs et aux techniciens en construction bois intéressés de précieuses informations complémentaires sur la réalisation de parois de stabilisation de ce type avec FERMACELL.

Outre des informations générales sur les séismes, la brochure FERMACELL contient, de manière analogue à la publication de Lignum, les rigidités de substitution et les résistances ultimes de parois à revêtement FERMACELL, destinées à faciliter le calcul du prédimensionnement. Afin d'éviter les répétitions, les renvois à la **Documentation LIGNUM [1]** font référence à la publication mentionnée ci-dessus.

Contenu

1 Risques sismiques en Suisse	page 3
2 Analyse structurale et dimensionnement	page 5
2.1 Carte des zones de risque sismique	page 5
2.2 Influence des classes de sols de fondation	page 6
2.3 Spectres de dimensionnement	page 7
2.4 Analyse structurale de la stabilisation	page 8
2.5 Dimensionnement ductile ou non ductile?	page 10
2.6 Conception parasismique de la structure porteuse..	page 13
3 Sécurité face au séisme grâce à FERMACELL	page 16
3.1 Programme d'essais	page 16
3.2 Mise en œuvre des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL	page 18
4 Prédimensionnement des parois de stabilisation ..	page 20
4.1 Estimation de la période fondamentale	page 20
4.2 Aptitude au service sous l'action du vent	page 20
4.3 Calcul du déplacement des étages pour le vent et le séisme	page 21
5 Valeurs de calcul de la résistance ultime	page 26
5.1 Valeurs caractéristiques et facteurs d'influence pour le dimensionnement	page 26
5.2 Détermination de la valeur de calcul de la résistance ultime	page 27

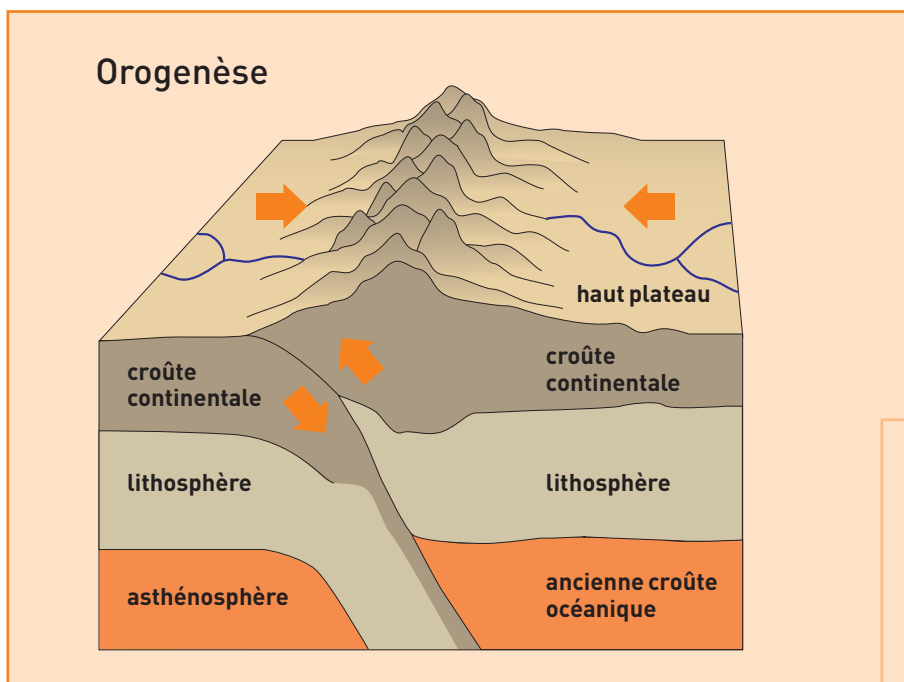
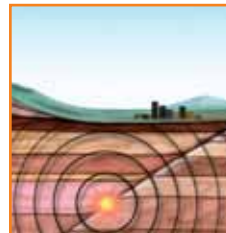
1 Risques sismiques en Suisse

En Suisse, même si le danger sismique est considéré comme faible en comparaison aux autres pays d'Europe centrale, les événements survenus au cours des siècles ont montré que des tremblements de terre de moyenne à forte magnitude ne peuvent être exclus. Les régions alpines et préalpines et les deux cantons de Bâle-Ville et Bâle-Campagne, intégrés au bassin géologique du fossé rhénan, sont particulièrement exposés à des risques sismiques. Les tremblements de terre peuvent avoir des causes artificielles telles que fortes explosions, forages profonds, premier remplissage de lacs artificiels, etc., mais les séismes les plus violents se produisent le long des plaques tectoniques, par des ruptures naturelles de la croûte terrestre. Au niveau des limites de ces plaques, il y a dans le sous-sol d'innombrables plans de rupture appelés failles (voir illustration).

Le déplacement des masses rocheuses voisines les unes par rapport aux autres, génère des contraintes.

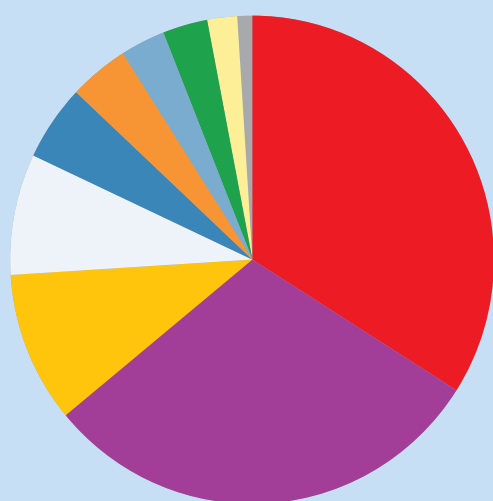
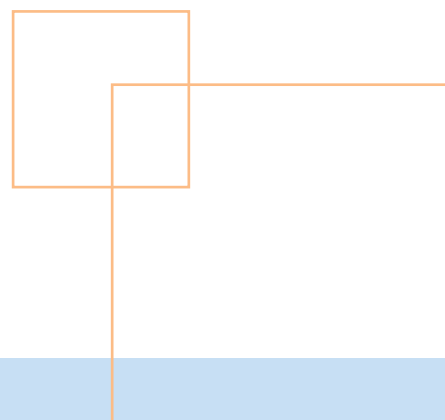
L'énergie de déformation s'accumule alors sur des décennies, voire des siècles. La taille de ces failles varie de quelques mètres jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres. Lorsque les tensions entre ces couches rocheuses voisines deviennent tellement fortes qu'elles dépassent la résistance au frottement des strates entre elles, un relâchement brutal se produit accompagné d'un déplacement par secousses au niveau de la faille. Ce phénomène de déplacement n'a pas lieu en même temps sur l'ensemble de la surface de la faille, mais il se produit à l'endroit où la résistance est la plus faible. Dans la terminologie des spécialistes, cet endroit est appelé foyer sismique ou hypocentre. À partir de l'hypocentre,

l'onde de choc se propage à une vitesse de quelque trois kilomètres par seconde, faisant alors vibrer les masses rocheuses. Presque 99 % de l'énergie de déformation accumulée se transforme en chaleur lors du glissement des masses rocheuses les unes sur les autres, et seul 1 % de l'énergie est transmise aux roches environnantes, les faisant vibrer à leur tour. Il en résulte la formation de vagues sismiques qui se propagent à partir de l'hypocentre dans toutes les directions.



En Suisse, la parasismicité des ouvrages a été négligée jusque dans les années 70. C'est l'une des raisons pour lesquelles près de 90 % des ouvrages antérieurs à cette époque présentent des lacunes importantes dans ce domaine. La vulnérabilité est aggravée par le fait que jusqu'en 2003, l'influence de la nature du sol de fondation avait été insuffisamment prise en compte par les normes de structures porteuses. Il y a peu, la situation de risque séisme était même complètement négligée dans

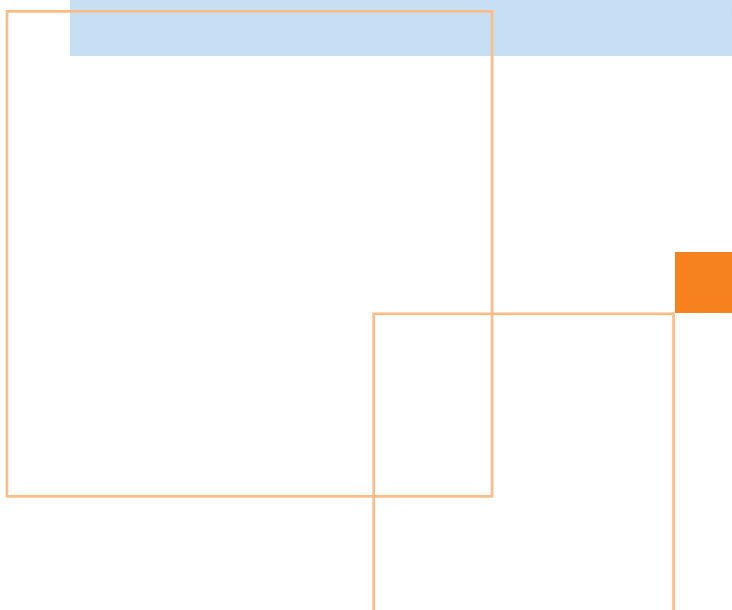
la construction en bois. En effet, la conviction fut longtemps répandue que le comportement du bois dans les séismes n'entraînant pas de gros dommages, le cas de charge sismique n'avait pas besoin de faire l'objet d'un dimensionnement particulier. Aujourd'hui, on sait que cette affirmation était erronée et que le cas de charge séisme peut être déterminant comparé au cas de charge vent, déjà pour des maisons individuelles de deux niveaux.



20 milliards de francs par an

- séismes 34 %
- épidémies 30 %
- inondations 10 %
- accidents radioactifs 8 %
- sécheresses 5 %
- vagues de froid 4 %
- tempêtes 3 %
- migration 3 %
- accidents impliquant des barrages 2 %
- avalanches 1 %

Distribution statistique des aléas en Suisse (KATARISK 2003) [2]



L'évaluation des risques KATARISK (voir illustration) de 2003 montre clairement, par rapport aux autres phénomènes naturels, l'ampleur réelle du risque lié à un séisme d'amplitude moyenne à forte en Suisse. Le potentiel de dégâts d'un tel évènement est considérable. En fonction de sa magnitude, il est lié à des coûts énormes se chiffrant en dizaines, voire en centaines de milliards de francs.

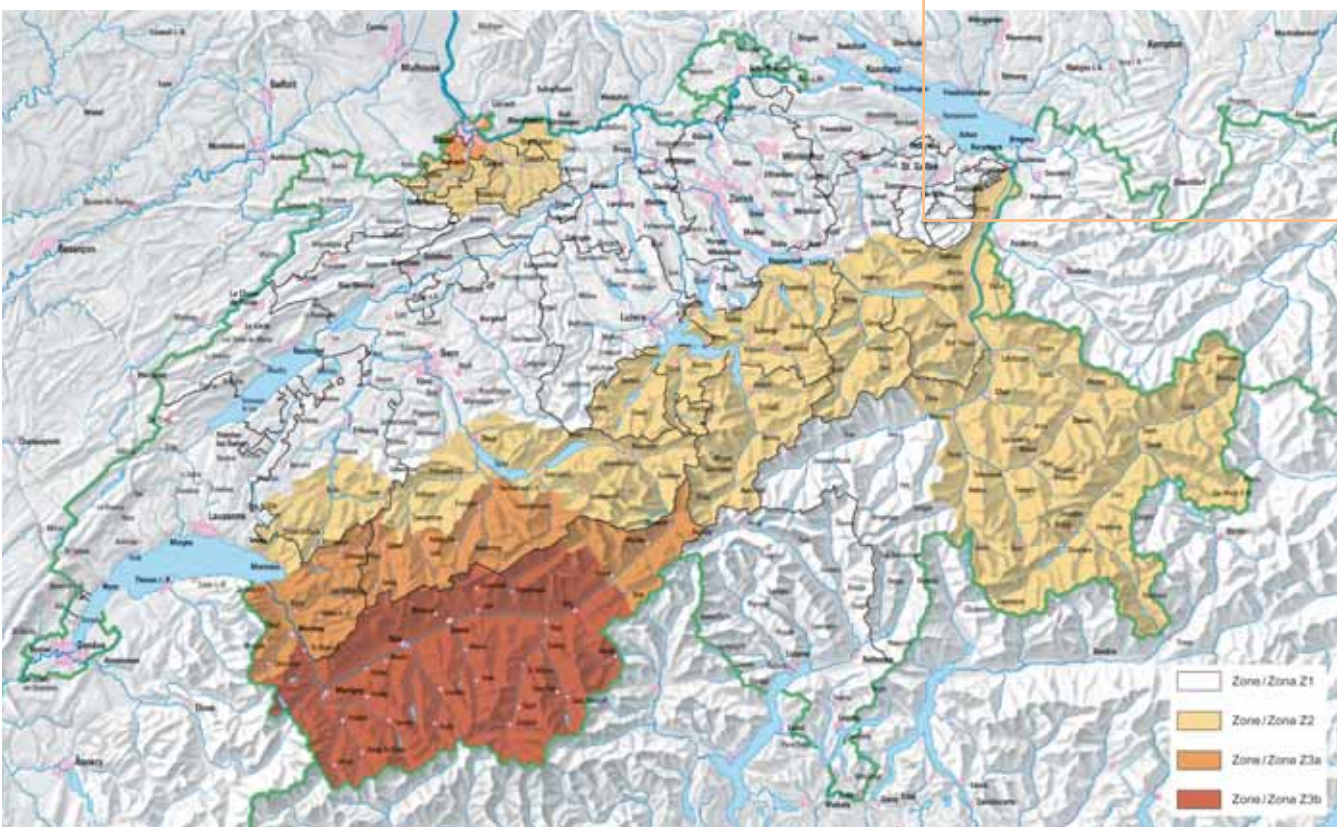
2 Analyse structurale et dimensionnement

2.1 Carte des zones de risque sismique de la norme SIA 261 (2003)

L'intensité d'un séisme peut être quantifiée de différente façon. Un de ces paramètres est l'accélération horizontale maximale du sol susceptible de se produire au cours d'un tremblement de terre dans une région donnée. Cependant, il faut tenir compte de ce que l'intensité de cette accélération dépend du terrain. En Suisse, le risque de séisme est évalué au moyen de mesures en continu en plusieurs lieux et des observations faites lors des séismes historiques. Les modèles de calcul utilisés pour ce faire sont actualisés en permanence à l'aide des données les plus récentes et des dernières découvertes sismiques.

C'est en s'appuyant sur ces modèles que la carte de l'aléa sismique de la norme SIA 261 (2003) a été établie. Elle indique l'accélération horizontale du sol à prévoir pour les roches dures. Cette carte divise la Suisse en quatre zones sismiques: Z1, Z2, Z3a et Z3b avec des valeurs d'accélération respectives de $0,6 \text{ m/s}^2$, $1,0 \text{ m/s}^2$, $1,3 \text{ m/s}^2$ et $1,6 \text{ m/s}^2$. Les valeurs de dimensionnement de l'accélération horizontale du sol correspondantes sont intégrées comme facteur dans le calcul du spectre de réponse élastique et dans celui du spectre de dimensionnement.

Zones de risque sismique
de la norme SIA 261
(2003) Annexe F [5]



2.2 Influence des classes de sols de fondation

Les caractéristiques du sol de fondation d'un lieu donné ont une influence décisive sur la taille et le contenu fréquentiel dominant de l'excitation sismique. Par rapport aux sous-sols rocheux, il peut se produire localement des mouvements du sol plus importants, en particulier dans les sols tendres. C'est pour cette raison que la norme SIA 261 (2003) distingue six classes de sols de fondation désignées A à F. Pour les classes de sols de fondation A à E, les valeurs des para-

mètres sont fournies pour le calcul du spectre de dimensionnement (voir tableau ci-dessous). Pour la classe de sol de fondation F (dépôts à structure sensible et organiques), ainsi que pour les sites dont les caractéristiques du sol de fondation ne peuvent être rangées dans les classes de sols de fondation A à E, des études de la dynamique sont nécessaires pour déterminer le spectre de dimensionnement. De manière générale, la classe de sol de fondation peut être attribuée,

sans autres études, sur la base d'un rapport géotechnique. Des travaux sont actuellement en cours en Suisse dans le domaine du microzonage sismique, et L'Office fédéral de l'environnement OFEV a publié des cartes des classes de sols de fondation selon la norme SIA 261 (2003), qui sont librement accessibles en ligne (http://prod.swisstopo-geodata.ch/kogis_apps/erdbeben/) et seront complétées au fil des années pour les principales zones urbaines.

Classe de sol de fondation	Description	v_s [m/s]	N_{SPT} [cm]	S_u [kN/m ²]	S	T_B [s]	T_c [s]	T_D [s]
A	Roche dure (par ex. granite, gneiss, quartzite, calcaire siliceux, calcaire) ou roche tendre (par ex. grès, nagelfluh, marne jurassique, argile à Opalinus) sous une couverture de terrain meuble d'une épaisseur maximale de 5 m	>800	–	–	1.00	0.15	0.5	2.0
B	Dépôts étendus de gravier et de sable cimentés et/ou sol préconsolidé d'une épaisseur supérieure à 30 m	400...800	>50	>250	1.20	0.15	0.6	2.0
C	Dépôts de gravier et de sable normalement consolidés et non cimentés et/ou matériau morainique d'une épaisseur supérieure à 30 m	300...500	15...50	70...250	1.15	0.2	0.8	2.0
D	Dépôts de sable fin non consolidé, de limon et d'argile d'une épaisseur supérieure à 30 m	150...300	<15	<70	1.35	0.2	0.5	2.0
E	Couche alluviale superficielle des classes de sols de fondation C ou D d'une épaisseur comprise entre 5 et 30 m reposant sur une couche plus compacte des classes de sols de fondation A ou B	–	–	–	1.40	0.15	0.5	2.0
F1	Dépôts à structure sensible et organiques (par ex. tourbe, craie lacustre, masses glissées) d'une épaisseur supérieure à 10 m	–	–	–	–	–	–	–
F2	Glissements actifs ou réactivables	–	–	–	–	–	–	–

Classes de sols de fondation et valeurs des paramètres pour le spectre de dimensionnement selon la norme SIA 261 (2003) [5]

L'importance des classes de sols de fondation peut être précisée en comparant entre eux les rapports maximaux entre les spectres de dimensionnement des classes de sols de fondation A et D et les valeurs de dimensionnement de

l'accélération horizontale du sol dans les zones sismiques Z1 et Z3b (voir illustration des spectres de dimensionnement page 7). Pour la période fondamentale de 0,80 seconde, on a :

$$\frac{S_{d,D}}{S_{d,A}} = \frac{0,229}{0,085} = 2,69 > \frac{a_{gd,Z3b}}{a_{gd,Z1}} = \frac{1,60 \text{ m/s}^2}{0,60 \text{ m/s}^2} = 2,66$$

S_d = ordonnée du spectre de dimensionnement [-]

a_{gd} = valeur de dimensionnement de l'accélération horizontale du sol [m/s²]

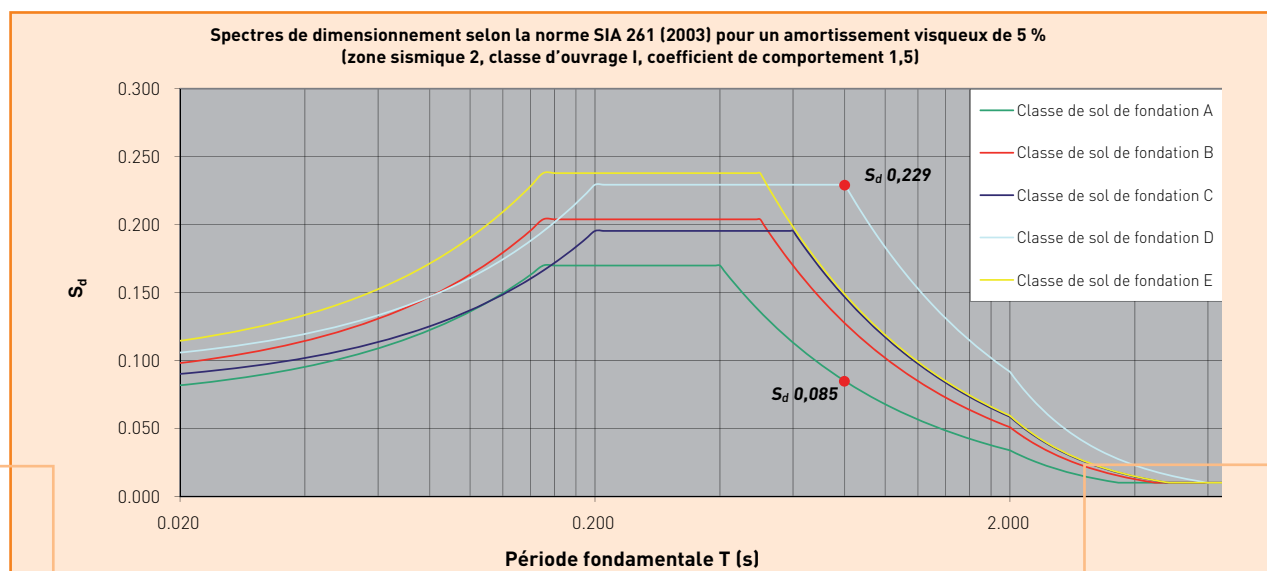
On constate que dans le cas d'une classe de sol de fondation défavorable, l'action sismique à prendre en compte augmente fortement. Pour une période fondamentale de 0,8 s, le rapport des valeurs S_d entre classes de sols de fondation D et A correspond environ au rapport entre la zone sismique 3b et la zone sismique 1.

2.3 Spectres de dimensionnement

Dans la norme SIA 261 (2003) les expressions des spectres de réponse élastique et de dimensionnement sont définies en fonction de différents paramètres. Les spectres de réponse élastique sont utilisés avant tout pour les méthodes de calcul basées sur les déformations (par ex. analyse pushover). Le spectre de dimensionnement est utilisé, quant à lui, pour le calcul sismique selon la méthode des forces de remplacement ou celle du spectre de réponse. Les réserves de la structure au-delà du comportement élastique sont prises en compte dans le spectre de dimensionnement par le coefficient de comportement q . Pour les structures en bois, le coefficient de comportement dépend de leur classification dans les types de structures A à D selon la norme SIA 265 (2003), tableau 10. Les coefficients q respectifs valent 1,5, 2,0, 2,5 et 3,0.

Pour des parois en ossature avec revêtement agrafé, un coefficient q de 3,0 peut être retenu, à condition que les exigences de la norme 265 (2003) chiffre 4.6.2 à 4.6.3 soient remplies. L'ordonnée du spectre de dimensionnement S_d est déterminée en fonction de la période de vibration fondamentale à l'aide des formules (30) à (33) de la norme SIA 261 (2003). La période de vibration fondamentale est l'inverse de la fréquence propre de la structure, et correspond à la durée d'un cycle d'oscillation. Les structures en bois possèdent souvent une période fondamentale supérieure à 1 seconde. Elle correspond alors la plupart du temps à la portion décroissante du spectre de dimensionnement, c'est-à-dire, au domaine où les actions sismiques dépendent beaucoup de la période fondamentale, qui est donc un paramètre essentiel du

calcul sismique. Un calcul simplifié de la période de vibration fondamentale peut être effectué à l'aide des formules (38) et (39) de la norme SIA 261 (2003). Pour les constructions bois, il est néanmoins déconseillé d'appliquer la formule (38) car les résultats sont plutôt défavorables, ce qui conduit à des forces sismiques de remplacement trop importantes. La formule (39) par contre prend en compte la rigidité de la structure porteuse pour les calculs. Les valeurs de la rigidité au cisaillement GA^*_{sub} nécessaires au calcul de la déformation peuvent être estimées au moyen des diagrammes du chapitre 4.3.2. On trouvera de plus amples informations sur le thème de la période fondamentale et de son évaluation dans la **Documentation LIGNUM [1]** aux chapitres 3.1, 5.2, 5.5 et 6.2.



Spectres de dimensionnement des classes de sols de fondation A à E pour un amortissement visqueux de 5 % selon la norme SIA 261 (2003) [7]

2.4 Analyse structurale de la stabilisation

Pour l'analyse structurale, la norme SIA 261 (2003) propose, en fonction de la régularité de la structure porteuse, la méthode des forces de remplacement et la méthode du spectre de réponse.

La méthode des forces de remplacement consiste à ramener les phénomènes dynamiques à un calcul statique. L'effet sismique est représenté par des forces statiques de remplacement. La seule grandeur dynamique prise en compte est la période fondamentale de l'ouvrage. Celle-ci peut être calculée en s'appuyant sur le modèle de la structure porteuse, ou évaluée à l'aide d'une méthode d'approximation. La méthode des forces de remplacement ne conduit cependant à des résultats satisfaisants que si le comportement vibratoire de l'ouvrage est dominé par la période fondamentale et que les fréquences

propres d'ordre supérieur sont négligeables. Ce n'est le cas que lorsque le contreventement est pratiquement symétrique en plan, plus précisément lorsque la distance entre le centre de gravité et le centre de rigidité est faible à chaque étage. Les critères de régularité correspondants en plan et en élévation pour l'applicabilité de la méthode des forces de remplacement sont spécifiés aux chiffres 16.5.1.3 et 16.5.1.4 de la norme SIA 261 (2003).

La méthode du spectre de réponse s'appuie en revanche sur un oscillateur linéaire à plusieurs masses et permet de tenir compte non seulement de la première forme propre mais aussi des formes d'oscillation d'ordre supérieur. Afin d'évaluer la réponse globale, la réponse maximum de chaque forme est prise en compte et combinée aux

autres. Cette brochure ne traite pas de manière plus approfondie la méthode du spectre de réponse. De plus amples informations relatives à cette méthode sont disponibles dans la **Documentation LIGNUM [1]**.

Parallèlement à la situation de risque séisme, l'analyse structurale du contreventement vertical doit prendre en compte le cas de charge vent. Le vent peut en effet être déterminant pour le dimensionnement, notamment en ce qui concerne l'aptitude au service, même si le séisme est souvent déterminant pour la sécurité structurale. Le schéma suivant détaille le déroulement possible de l'analyse structurale de la stabilisation verticale.

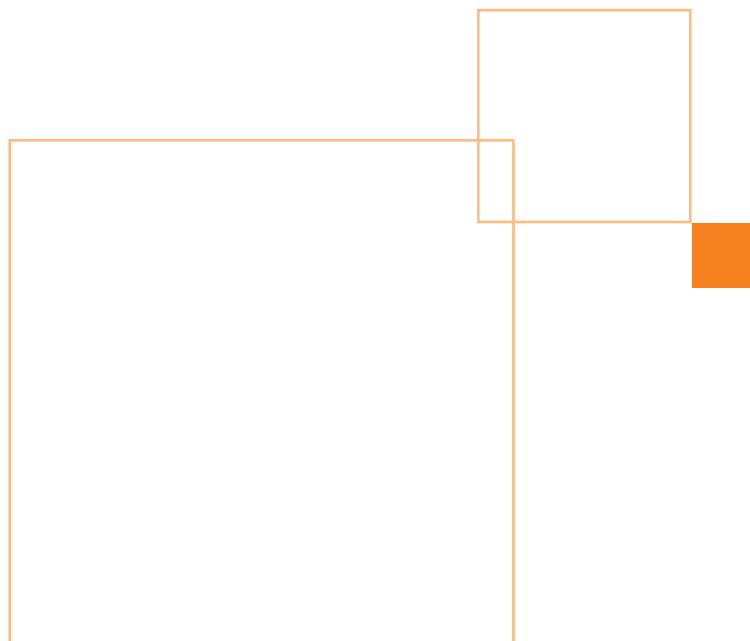
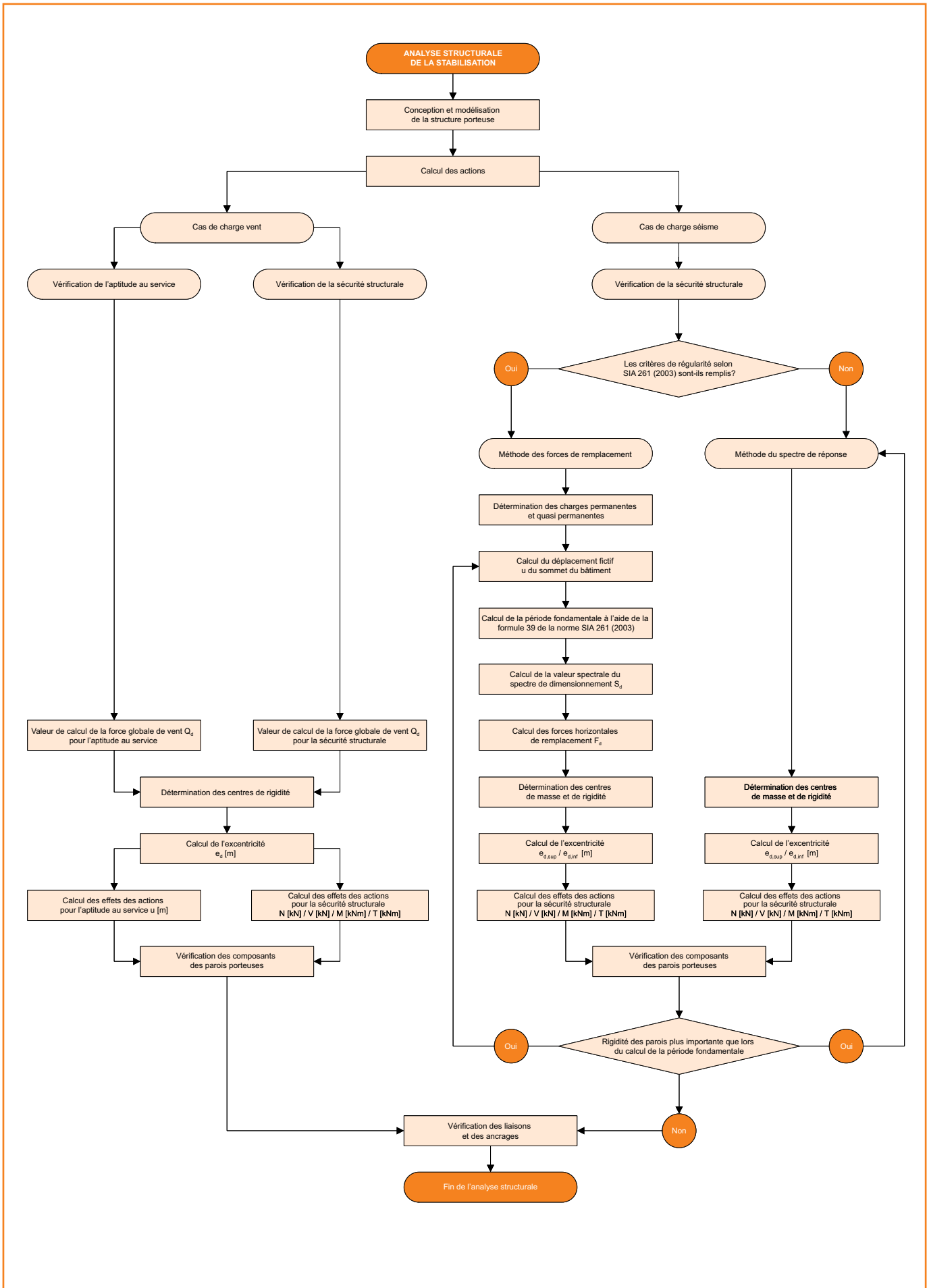


Schéma du déroulement de l'analyse structurale de la stabilisation pour le vent et le séisme [7]

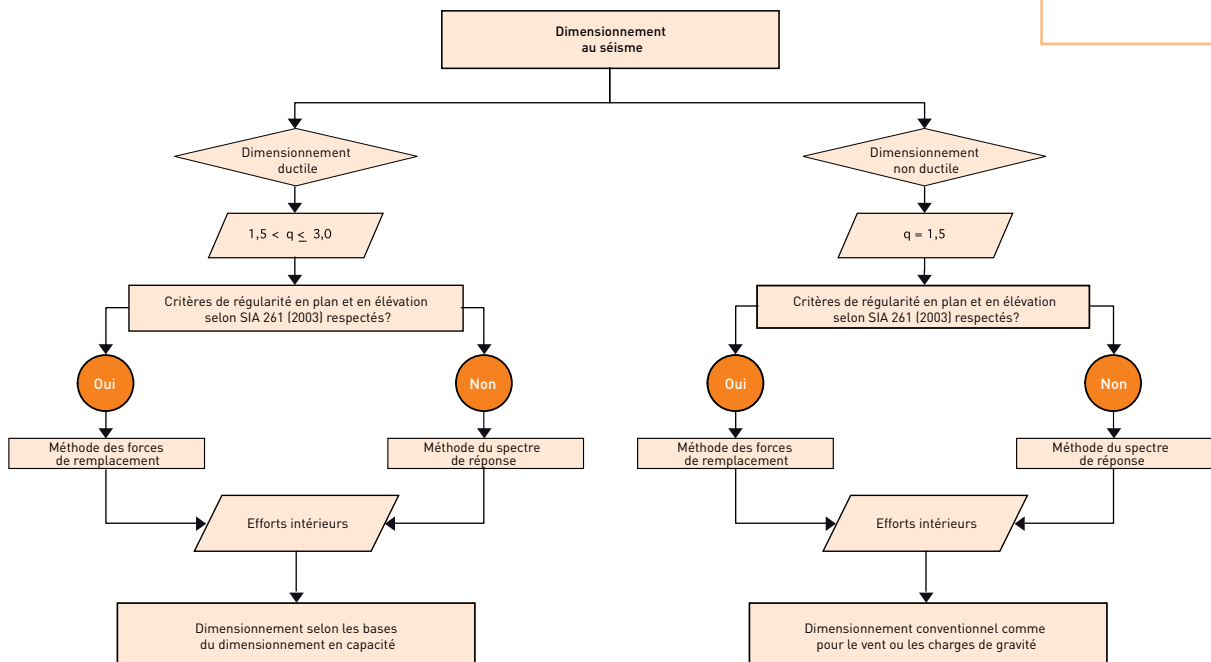


2.5 Dimensionnement ductile ou non ductile?

La norme SIA 261 (2003) propose deux concepts fondamentaux de dimensionnement sismique. Le concept du comportement non ductile de la structure porteuse et le concept du comportement ductile de la structure porteuse. Ce dernier s'appuie sur les derniers développements de l'ingénierie parasismique (dimensionnement en capacité). En général, le concept du comportement structural non ductile n'est conseillé que pour de faibles efforts intérieurs sismiques, lorsque ceux-ci ne sont pas déterminants par rapport au vent. Autrement dit, ce concept est recommandé pour les ouvrages légers en zones de basse sismicité, et si les caractéristiques du sol de fondation sont favorables. Dans les autres cas, le comportement structural non ductile risque de conduire à des solutions coûteuses, et il faudra opter pour le comportement ductile de la structure porteuse. Le choix du

concept de dimensionnement ductile permet l'utilisation d'un facteur q plus favorable. Les effets du cas de charge sisme sont donc nettement moins importants que pour un concept de dimensionnement non ductile. Dans le cas des parois à ossature bois à revêtement agrafé (coefficient $q = 3,0$), les effets de l'action sur la structure porteuse sont divisés par deux pour le cas de charge sisme par rapport à la méthode de dimensionnement non ductile (coefficient $q = 1,5$). Cet avantage a cependant pour corollaire un dimensionnement plus compliqué des parois de stabilisation, étant donné que les principes du dimensionnement en capacité doivent être impérativement respectés. Le schéma de déroulement ci-dessous montre les différences essentielles entre les deux méthodes de dimensionnement.

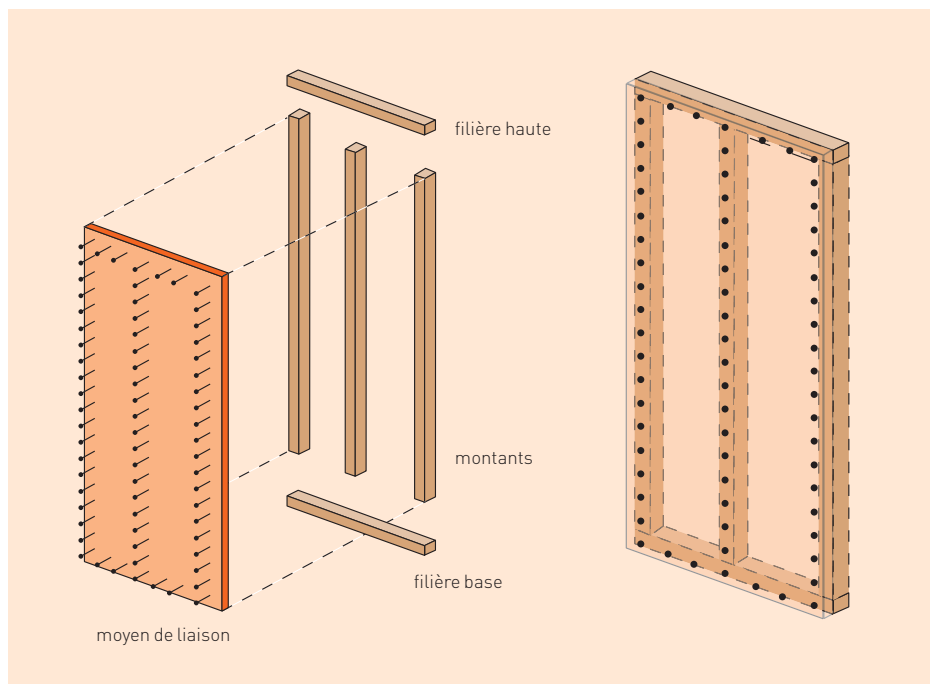
Schéma du déroulement de l'analyse structurale ductile et non ductile pour le cas de charge sisme [7]



2.5.1 Ductilité des parois en ossature bois

Avec la résistance ultime, la ductilité est le paramètre principal du comportement face au séisme des structures porteuses. On entend par ductilité la capacité de déformation plastique caractérisée par des déformations irréversibles et de la dissipation d'énergie. Pour obtenir un comportement satisfaisant lors d'un séisme de dimensionnement donné, on pourra choisir pour la structure porteuse soit une haute résistance ultime avec une faible ductilité, une faible résistance ultime avec une haute ductilité, ou encore une résistance ultime moyenne avec une ductilité moyenne.

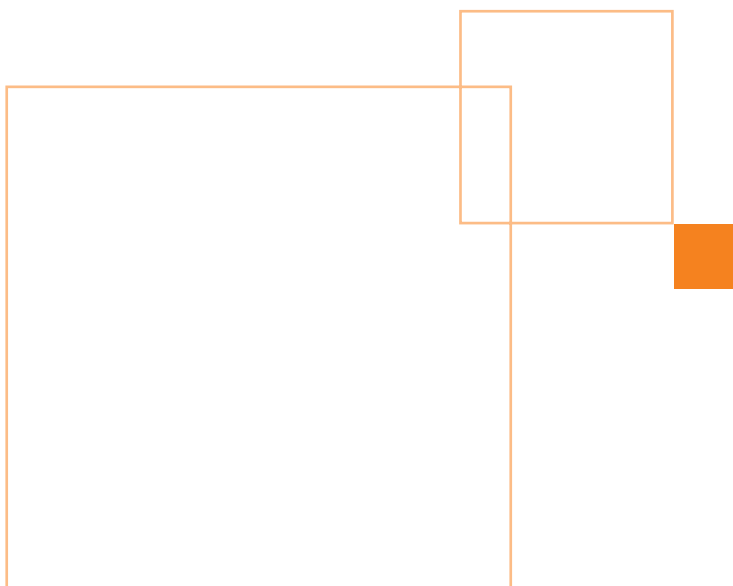
Dans la construction en bois, des chaînes ductiles sont créées par le couplage d'éléments porteurs non ductiles au moyen de liaisons métalliques ductiles. Afin d'exploiter pleinement la plastification cyclique des moyens de liaisons pour la transformation de l'énergie cinétique en frottement et en chaleur (dissipation de l'énergie), les composants non ductiles (bois, matériaux dérivés, plaques de plâtre fibrées, etc.) doivent être surdimensionnés par rapport aux composants ductiles. La norme SIA 265 (2003) propose à cet effet un surdimensionnement de



20 %. L'important dans ce cas est que le surdimensionnement des composants restant élastiques ne se réfère pas au niveau de l'action sismique, mais au niveau de la résistance des moyens de liaisons ductiles.

Le comportement ductile de parois en ossature est obtenu à travers la liaison du revêtement à l'aide de moyens d'assemblage métalliques en forme de tige. La grande capacité

de déformation plastique de ceux-ci se reporte de manière particulièrement positive sur le comportement des parois porteuses de stabilisation lors de sollicitations sismiques. Une grande partie de l'énergie libérée dans un bâtiment lors d'un séisme, peut être dissipée par le travail des déformations plastiques. Ce comportement favorable est pris en compte par le choix d'un coefficient de comportement $q = 3,0$ lors du calcul des actions sismiques.



Les illustrations suivantes, tirées d'une série d'essais cycliques dynamiques, montrent la formation de rotules plastiques dans la liaison au niveau de la transition entre le revêtement et le montant. La sollicitation cyclique dynamique entraîne une ovalisation du trou

dans la plaque FERMACELL (photo en bas à gauche). La grande résistance à la pression latérale des plaques FERMACELL a dans ce contexte des effets particulièrement favorables sur la déformation plastique des éléments de fixation (photo en bas à droite).

Déformation plastique des moyens de liaison à la jonction entre le revêtement et les montants en bois



Élargissement du trou dans la plaque FERMACELL (haute résistance à la pression latérale)



Déformation plastique dans des montants en bois (résistance à la pression latérale faible)



Déformation plastique d'un élément de fixation

2.6 Conception parasismique de la structure porteuse

Pour protéger les personnes et les biens, un bâtiment doit être réalisé de manière à subir des dommages raisonnables lors d'un séisme. La conception parasismique d'une structure porteuse commence par l'esquisse de l'architecte. Cela signifie que les principes adéquats en

matière d'ouvrages parasismiques doivent être respectés dès le stade initial de la planification. Le respect des principes les plus importants pour la conception parasismique de la structure porteuse comme la simplicité, la régularité et la redondance permet de construire

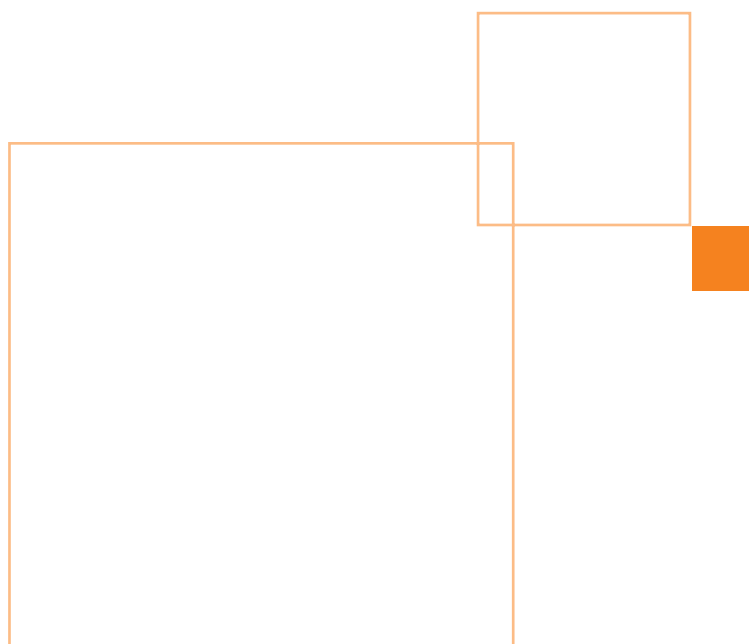
des bâtiments robustes ayant une vulnérabilité minimale en cas de séisme. Les erreurs et les déficiences de conception au niveau du projet ne peuvent être compensées, quel que soit le degré de sophistication du calcul et du dimensionnement effectués par l'ingénieur.

2.6.1 Des structures porteuses robustes et de construction simple

On entend par simplicité d'une structure porteuse l'existence de moyens sûrs et directs permettant de transmettre les forces sismiques dans le sol de fondation. La modélisation, le calcul, le dimensionnement et les dispositions constructives des structures porteuses simples présentent moins d'incertitudes, et le comportement en cas de séisme est de ce fait plus fiable.

Une structure porteuse robuste se caractérise par sa capacité à supporter la défaillance d'un élément porteur sans dommage excessif. Les systèmes redondants et ductiles (par ex. plusieurs éléments de parois en série avec revêtement agrafé) ont par définition un comportement robuste. En matière de construction bois, les matériaux habituels ont un comportement fragile. Avec les ossatures bois, un comportement ductile peut être obtenu uniquement par

l'utilisation de moyens de liaison métalliques (par ex. clous, agrafes, broches, etc.). Les résistances ultimes des moyens de connexion et des autres composants doivent cependant être adaptées les unes aux autres, de façon à ce que les liaisons ductiles puissent subir de hautes déformations plastiques sous l'action du séisme avant que les éléments en bois n'atteignent leur limite de résistance.

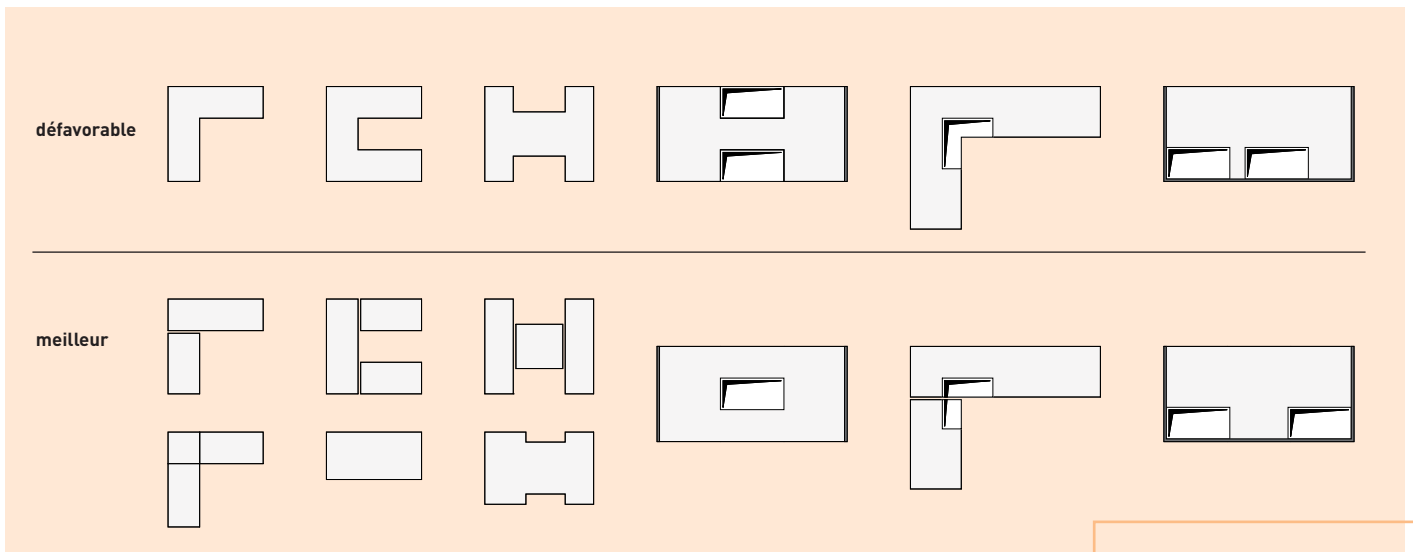


2.6.2 Régularité du système porteur en plan

Une forme régulière et compacte des bâtiments en plan et symétrique dans les deux directions orthogonales permet d'assurer un bon comportement face au séisme. Un système porteur peut être considéré comme régulier en plan lorsque les exigences de la norme SIA 261 (2003) spécifiées au chiffre 16.5.1.3 sont remplies:

- L'ouvrage est à peu près symétrique en plan par rapport aux deux directions orthogonales en ce qui concerne la rigidité horizontale et de la répartition des masses.
- La forme de l'ouvrage en plan est compacte. Les dimensions totales des angles saillants ou des évidements ne dépassent pas 25 % des dimensions extérieures totales de l'ouvrage dans la direction considérée.
- La rigidité des planchers dans leur plan est grande par rapport à la rigidité horizontale des éléments porteurs verticaux.

Formes de bâtiments optimisées en plan et dispositions de trémies dans les diaphragmes de plancher [1]



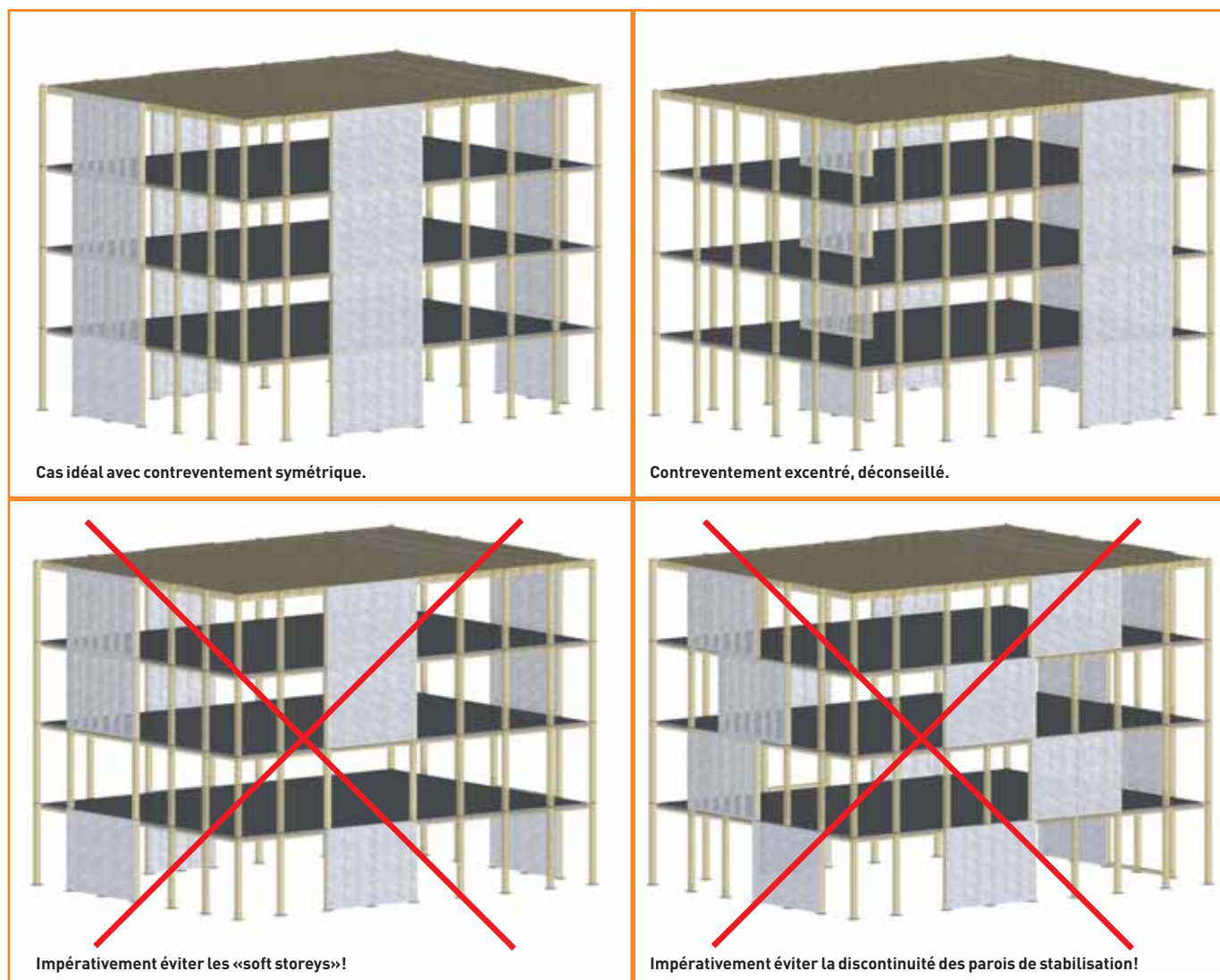
2.6.3 Régularité du système porteur en élévation

La régularité des éléments de contreventement en élévation joue un rôle primordial pour la stabilisation parasismique des bâtiments. Lors d'un séisme, l'effondrement de nombreux immeubles s'explique par le fait que les éléments de contreventement tels que des parois, bien qu'existants à la plupart des niveaux, ont été remplacés par des poteaux au rez-de-chaussée ou à l'un des étages. Ces étages souples dans la direction horizontale appelés «soft storeys» doivent impérativement être évités. Par ailleurs, les éléments de contreventement s'opposant aux forces horizontales ne doivent être ni affaiblis ni supprimés entre les étages, ni déplacés dans leur plan ou hors de leur plan. En d'autres termes, il ne doit pas exister de discontinuité dans la

répartition verticales des parois de stabilisation. La norme SIA 261 (2003) définit les exigences quant à la régularité en élévation au chiffre 16.5.1.4 comme suit :

- Tous les éléments participant à la reprise des forces horizontales, tels les parois porteuses ou les cadres relient sans discontinuité la fondation au sommet de l'ouvrage ou de la partie de l'ouvrage.
- La rigidité horizontale, la résistance ultime face aux forces horizontales et la masse des différents étages restent constantes sur toute la hauteur de l'ouvrage ou diminuent progressivement, sans modifications brusques, du bas vers le haut (exception : transition aux sous-sols et transition entre construction massive et construction bois).

Le contreventement vertical des bâtiments à plusieurs étages en construction bois a lieu en général par des parois. Dans l'idéal, celles-ci sont continues sur toute la hauteur du bâtiment et symétriques en plan. L'illustration suivante présente ce cas idéal avec des parois verticales disposées en périphérie, qui diminuent la sensibilité à la torsion du bâtiment. L'illustration suivante montre le cas déconseillé d'un contreventement excentré en plan entraînant des forces de torsion importantes. Les deux derniers cas sont à éviter impérativement avec un «soft storey» pour l'un, et des parois porteuses non superposées pour l'autre.



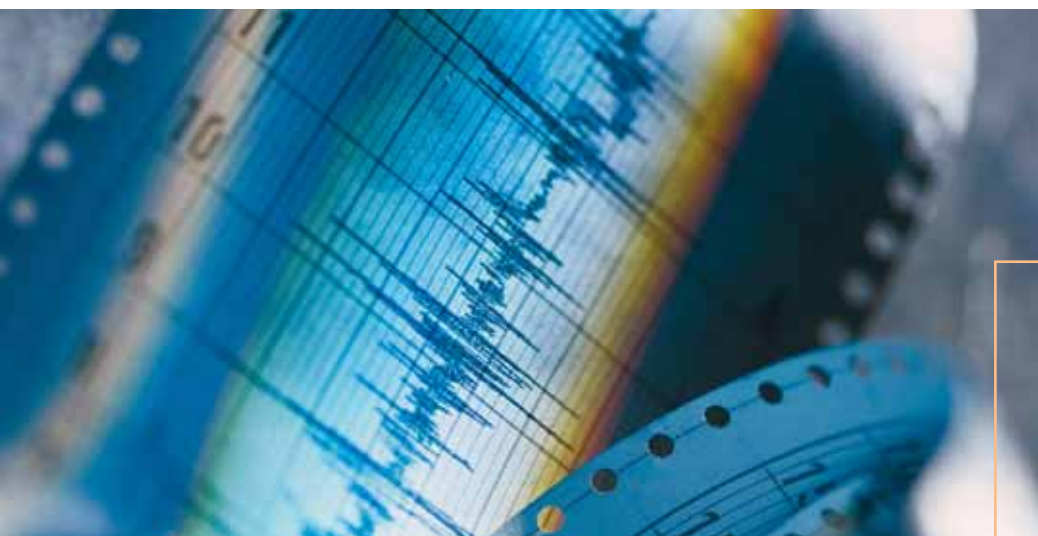
Cas idéal et cas problématiques relatifs à la disposition en plan et en élévation de la stabilisation verticale

3 Sécurité face au séisme grâce à FERMACELL

FERMACELL s'est penché dès 2004 sur le thème «solicitation sismique et dimensionnement des parties d'ouvrage en bois intégrant des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL». Concevoir des ouvrages dans les zones sismiques en

choisissant les matériaux de construction adaptés confère une sécurité de planification et d'utilisation. Dans cette optique, les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL se prêtent parfaitement à la stabilisation parasismique des ouvrages en ossature bois.

Début 2005, de nombreuses études ainsi que des essais dans le domaine de la technologie des matériaux et de la construction ont été initiés sous la direction du Materialprüfungsanstalt Stuttgart (Centre d'essai des matériaux, université de Stuttgart). C'est ainsi que nous garantissons la performance des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL pour le dimensionnement sismique.



3.1 Programme d'essais

Profitant des atouts d'un matériau de construction ininflammable capable de répondre à une utilisation statique, les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL ont été soumises à un

vaste programme d'essais. Dans le cadre de ces travaux, différents aspects ont été pris en compte pour étudier l'interaction complexe entre les éléments du système constructif formé par :

- Les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL
- L'ossature bois
- Les moyens de liaisons

Pour le programme d'essais, un déroulement en plusieurs étapes a été coordonné (cf. I à III) dont les découvertes et les résultats permettent de couvrir le vaste domaine de mise en oeuvre. Il apparaît clairement que dans le cas de sollicitations cycliques/dynamiques, la performance de l'ensemble reflète l'optimisation des trois composants du système mentionnés ci-dessus.

3.1.1 Résultats

La résistance et la stabilité des composants étudiés intégrant des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL étaient assurées en tout point, pour toutes les sollicitations sismiques.

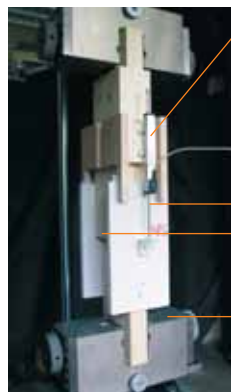
Ce programme d'essais complexe constitue ainsi la base de l'élargissement des possibilités des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL pour le dimensionnement dans les régions soumises au risque sismique. Ces séries d'essais ont contribué à améliorer dans une large mesure les

connaissances du comportement des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL sous sollicitations sismiques. Les valeurs statiques correspondantes ont été recalculées conformément à la norme SIA 265 et sont détaillées au chapitre 5.

I. Eprouvettes – influence des moyens de liaison

Dans la première phase, les influences suivantes ont été étudiées sur des échantillons de taille réduite, qui ont été soumis à des protocoles de charge selon DIN EN 12512 :

- éléments de fixation : diamètre et entraxe
- pénétration et distances aux bords

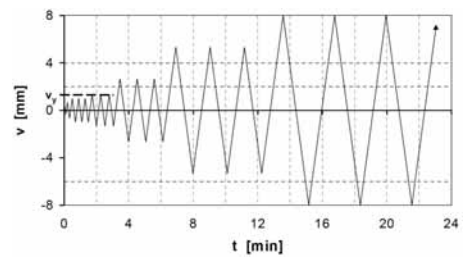


capteur de déplacement

clou

bois équarri

mors



Protocole de charge selon DIN 12512.

II. Essais en taille réelle sur des éléments de paroi

Dans un deuxième temps, des essais statiques comparatifs avec des chargements uniformes et cycliques ont été réalisés sur des parois.

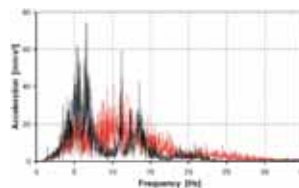


Essais cycliques sur des éléments d'ossature (en charge). Arrachement et défaillance des agrafes après quelques cycles.



III. Essais en taille réelle sur table à secousses

À l'aide d'essais sur table à secousses, il a été possible d'étudier l'effet des actions sismiques sur des parties d'ouvrages dotées d'un revêtement en plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL, avec les spectres d'amplitude suivants :



lieu du séisme/

année	magnitude	intensité
D Albstadt (1978)	5,7	VII-VIII
J Kobe (1995)	6,8	X-XI
MNE Petrovac (1979)	6,9	VIII-IX



Essai sur table à secousses – arrachement des agrafes après un séisme de type Petrovac.

3.2 Mise en œuvre des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL



3.2.1 Le matériau

FERMACELL a été la première plaque de plâtre armé de fibres sur le marché, et elle est utilisée avec succès dans la construction bois depuis plus de 30 ans.

Les plaques se composent de fibres de papier recyclé, de plâtre et d'eau et sont pressées – sans autre liant – pour obtenir des plaques robustes et inodores. Les contrôles de production

continus, des tests en laboratoires internes et par des instituts officiels d'essai des matériaux garantissent un haut niveau de qualité constant. Le procédé de fabrication particulier et le mélange homogène des matières premières naturelles rendent la plaque de plâtre armé de fibres robuste, solide, et résistante aux sollicitations mécaniques.

3.2.2 FERMACELL dans la construction bois

Les longues années d'expérience pratique se reflètent dans la diversité des constructions et des applications de FERMACELL, qui remplit les exigences les plus diverses comme la protection thermique, la protection

incendie, l'herméticité à l'air et au vent et la résistance à l'arc. Par ailleurs, les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL assurent un bon climat intérieur – comme le prouvent des tests de biologie du bâtiment.

3.2.3 Efficace sur le plan statique – également pour les bâtiments en bois à plusieurs niveaux

Dans le domaine de la construction en bois, FERMACELL est un revêtement de parois, de planchers et de toitures efficace sur le plan statique. Les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL peuvent être utilisées comme revêtement porteur et de stabilisation pour les parois en ossature bois préfabriquées. Ces plaques permettent également l'utilisation de poutre en I – ce qui est important pour la construction de maisons passives.

Lorsqu'il est utilisé comme revêtement de parois à ossature bois à l'extérieur, FERMACELL nécessite un système supplémentaire de protection contre les intempéries (façades en bois, systèmes d'isolation thermique combinés).

Un mode de construction particulièrement économique est possible avec FERMACELL Vapor. Cette plaque de plâtre armé de fibres FERMACELL est dotée d'un frein vapeur sur la face arrière. Elle assume ainsi, en plus de ses fonctions connues, celle de régulation de l'humidité.

Vous trouverez de plus amples informations dans la brochure (FERMACELL Vapor : Détails de construction avec la plaque FERMACELL frein-vapeur en plâtre armé de fibres)

3.2.4 Sur le chantier et en atelier

Les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL conviennent aussi bien au montage sur le chantier qu'à la préfabrication d'éléments de parois en atelier, à l'abri des intempéries.

Ceci est possible notamment grâce à leur mise en œuvre particulièrement rationnelle par l'agrafage et la technique du joint collé, qui a été spécialement mise au point pour ce produit.



Bâtiment à plusieurs niveaux dans la construction bois avec les plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL.

Réalisation d'une cloison en ossature bois revêtue de plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL.

3.2.5 Surélévation

La construction bois offre de nombreuses possibilités de surélévations de bâtiments existants. Dans ce cas il est possible de profiter pleinement des atouts FERMACELL :

- haut degré de préfabrication
- montage et utilisation rapides
- faible poids
- construction sèche
- mode de construction durable
- fort potentiel d'économies d'énergie
- parois rationnelles = gain de place

3.2.6 Maisons préfabriquées et construction modulaire

Notre savoir-faire particulier et les caractéristiques convaincantes des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL

- grande stabilité
- haute isolation acoustique
- protection incendie assurée
- capacité statique
- adaptées également aux locaux humides
- caractéristiques de biologie du bâtiment certifiées

- mise en œuvre économique
- finition de la surface

ont conduit de nombreux fabricants renommés de maisons préfabriquées à utiliser aujourd'hui FERMACELL.

Étant donné que la préfabrication industrielle de modules ou de cellules de haute qualité est aujourd'hui comparable à la production de maisons préfabriquées, FERMACELL acquiert également de plus en plus d'importance dans ce domaine.

4 Prédimensionnement des parois de stabilisation

La stabilisation verticale d'un bâtiment doit pouvoir résister outre à l'action sismique, également à celle du vent. Les calculs comparatifs pour des sites représentatifs en Suisse ont montré qu'en fonction des paramètres déterminants pour l'action du séisme, des dimensions

du bâtiment et du type de construction de la structure porteuse, tant les actions du vent que du séisme peuvent être déterminantes pour le dimensionnement. Plus la flexibilité d'une structure porteuse est importante, meilleur sera son comportement face au séisme, car une plus grande quantité d'énergie

peut être dissipée par le travail de déformation. La capacité de déformation est cependant limitée par les exigences de l'aptitude au service sous l'action du vent. Ainsi, c'est n'est qu'à la fin de l'analyse structurale qu'il est possible de déterminer si le critère déterminant pour le dimensionnement est le vent ou le séisme.

4.1 Estimation de la période fondamentale

Pour effectuer le prédimensionnement des parois en ossature bois de stabilisation par rapport au séisme, il est nécessaire de calculer la période fondamentale de la structure. Comme mentionné au chapitre 2.3, la formule simple d'approximation (38) de la norme SIA 261 (2003) ne devrait pas être utilisée. Le calcul se fait uniquement en fonction de la hauteur du bâtiment et ne tient donc pas compte de la rigidité effective de la structure porteuse. En consé-

quence, la période fondamentale est la plupart du temps sous-estimée, ce qui conduit à des forces sismiques significativement plus élevées que par les procédés de calcul intégrant une rigidité réaliste de la structure porteuse. En revanche, la formule d'approximation basée sur le quotient de Rayleigh (39) donne des résultats utilisables pour les constructions en bois, au moins pour le prédimensionnement, et elle est en outre très utile pour contrôler

les calculs par ordinateur. Il est important dans ce cas de déterminer le déplacement u du sommet du bâtiment, soumis aux charges permanentes et quasi-permanentes agissant horizontalement, sur la base de rigidités réalistes des éléments de stabilisations. Les formules de calcul du déplacement du sommet du bâtiment et les valeurs de rigidité correspondantes sont exposées plus loin dans ce chapitre. De plus amples informations sur la période fondamentale et son calcul figurent dans la **Documentation LIGNUM [1]**.

$$T_1 = 2 \cdot \sqrt{u} \quad \text{formule 39 SIA 261 (2003)}$$

T_1 = période de vibration fondamentale [s]
 u = déplacement fictif du sommet du bâtiment [m]

4.2 Aptitude au service sous l'action du vent

Pour l'aptitude au service de la stabilisation verticale, seul le cas de charge vent doit être pris en compte. Pour le cas de charge séisme, il convient de tenir compte de l'aptitude au service uniquement pour des ouvrages de la classe d'ouvrage III (COIII), qui en règle générale ne sont pas construits en

bois. Pour la vérification de l'aptitude au service sous l'action du vent, on retient le plus souvent la condition du déplacement horizontal par étage inférieur à $u \leq h/500$ selon la norme SIA 260 (2003). Si le déplacement horizontal résulte principalement des déformations de cisaillement, il suffit de vérifier

l'aptitude au service au rez-de-chaussée, où l'effort tranchant est le plus élevé. Pour ce faire, le déplacement du rez-de-chaussée sous l'effet de la valeur de calcul de la force globale du vent doit être déterminé pour les deux directions principales orthogonales.

4.3 Calcul du déplacement des étages pour le vent et le séisme

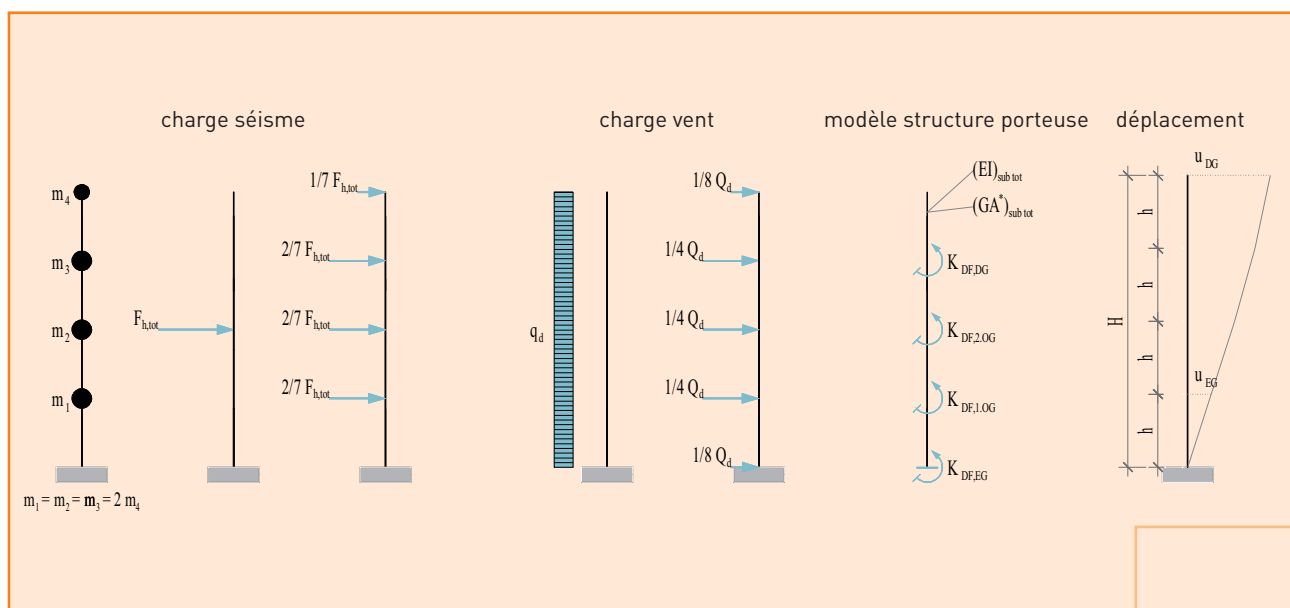
La procédure de calcul détaillée du déplacement horizontal pour le cas de charge vent (déplacement du rez-de-chaussée) et séisme (déplacement du sommet du bâtiment) figure dans la **Documentation LIGNUM [1]** aux chapitres 5 et 6. La présente brochure traite uniquement le calcul des composantes de déformation horizontale en fonction de l'agrafage et du revêtement (rigidité de substitution GA^*_{sub}) des parois en ossature bois avec revêtement en plaques FERMACELL. Les composantes de déformation des montants de bords et l'élasticité des ancrages ou des liaisons entre étages ne sont pas traitées ici, mais doivent néanmoins être prises en compte.

Pour garantir un comportement structural optimal d'une paroi à ossature bois, l'ensemble des joints entre les plaques de revêtement doivent être rigides au cisaillement. Ceci signifie que l'ensemble des joints doivent être disposés en correspondance des montants et l'agrafage réalisé le long des bords de plaque avec un espacement constant des agrafes. Les valeurs de rigidité GA^*_{sub} contenue dans les diagrammes et décrites plus loin sont basées sur ces conditions. Il convient en outre de noter que la rigidité globale des parois diminue en fonction du nombre de joints entre les plaques. Pour les procédés de calcul présentés ici, il est supposé que les plaques FERMACELL s'entendent sur toute la hauteur des parois sans joints horizontaux. La largeur de plaque retenue pour tenir compte des joints verticaux a été fixée à 1,25 m.

Le calcul du déplacement horizontal du rez-de-chaussée est fonction du nombre de niveaux du bâtiment, de la hauteur des étages, de la rigidité de la structure porteuse et de l'intensité des actions. Les formules correspondantes pour calculer la composante de déformation en cisaillement d'une paroi en ossature bois figurent ci-après. Ces formules sont applicables, comme dans l'illustration ci-dessous à gauche, pour le modèle du porte-à-faux encastré (console). Le déplacement du rez-de-chaussée est calculé en fonction de la force globale du vent Q_d .

Le déplacement du sommet du bâtiment est calculé, quant à lui, en fonction de l'action horizontale des charges permanentes et quasi-permanentes à prendre en compte pour le calcul sismique. Pour simplifier, il est supposé que la répartition des masses relatives des étages du rez-de-chaussée à la toiture sont dans un rapport d'environ 1:1:1:0,5.

Modèle du porte-à-faux encastré d'une paroi porteuse de 4 niveaux



4.3.1 Formules pour le calcul du déplacement horizontal

Les formules ci-dessous permettent le calcul de la part de l'effort tranchant dans le déplacement horizontal pour les cas de charge vent et séisme, pour les structures

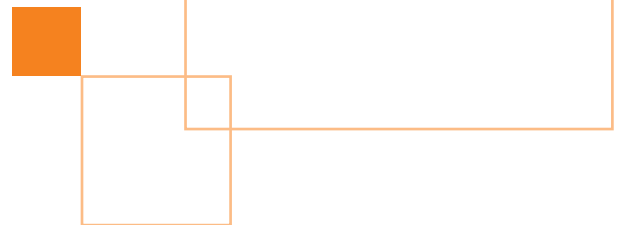
porteuses jusqu'à six niveaux. Les parts de déformation dues à la rigidité en flexion $u_{El\ sub}$ et les composantes de déformation dues à l'élasticité de l'ancrage de la paroi et

aux liaisons au passage des étages u_{DF} doivent être calculées conformément aux indications figurant au chapitre 6.2 de la **Documentation LIGNUM [1]**.

Nombre de niveaux	Calcul de la déformation pour la vérification de l'aptitude au service pour le cas de charge vent	Calcul de la déformation pour l'estimation de la période fondamentale pour le cas de charge séisme
	Formule de calcul du déplacement horizontal d'étage au rez-de-chaussée	Formule de calcul du déplacement fictif horizontal du sommet du bâtiment
1	$u = u_{El\ sub} + \frac{Q_d \cdot h}{2 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$	$u = u_{El\ sub} + \frac{F_{h,tot} \cdot h}{\sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$
2	$u = u_{El\ sub} + \frac{3 \cdot Q_d \cdot h}{4 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$	$u = u_{El\ sub} + \frac{4 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{3 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$
3	$u = u_{El\ sub} + \frac{5 \cdot Q_d \cdot h}{6 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$	$u = u_{El\ sub} + \frac{9 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{5 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$
4	$u = u_{El\ sub} + \frac{7 \cdot Q_d \cdot h}{8 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$	$u = u_{El\ sub} + \frac{16 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{7 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$
5	$u = u_{El\ sub} + \frac{9 \cdot Q_d \cdot h}{10 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$	$u = u_{El\ sub} + \frac{25 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{9 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$
6	$u = u_{El\ sub} + \frac{11 \cdot Q_d \cdot h}{12 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$	$u = u_{El\ sub} + \frac{36 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{11 \cdot \sum GA^*_{sub}} + u_{DF}$

Formules de calcul des déplacements horizontaux de la structure porteuse pour des hauteurs d'étage constantes.

- u = déplacement horizontal total [m]
- $u_{El\ sub}$ = part de déformation horizontale due au montants de bords en fonction de EI_{sub} [m]
- u_{DF} = part de déformation horizontale due aux ancrages de la paroi en fonction de DF [m]
- Q_d = action globale du vent (au niveau de l'aptitude au service) [kN]
- $F_{h,tot}$ = action horizontale totale correspondant aux charges permanentes et quasi-permanentes [kN]
- h = hauteur des étages (constante pour tous les niveaux) [m]
- GA^*_{sub} = somme des rigidités au cisaillement de substitution des parois de stabilisation dans la direction considérée [kN]



4.3.2 Rigidité de substitution GA^*_{sub}

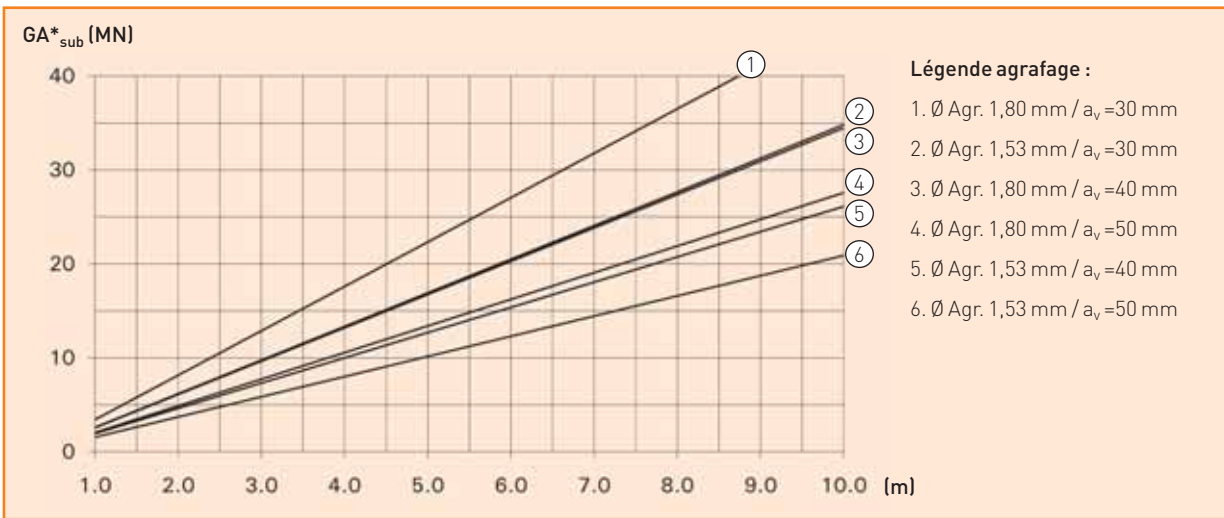
Les rigidités de substitution nécessaire GA^*_{sub} du revêtement en plaques FERMACELL et de l'agrafage sont détaillées dans les diagrammes ci-dessous. Étant donné que ces indications ne valent que pour un agrafage d'une rangée ou pour un revêtement formé d'une

seule plaque sur un seul côté, il faut calculer la rigidité de substitution GA^*_{sub} pour les parois de stabilisation à double revêtement avec agrafages sur plusieurs rangs à l'aide de la formule suivante. Le diagramme des agrafages ne présente les valeurs GA^*_{sub} que

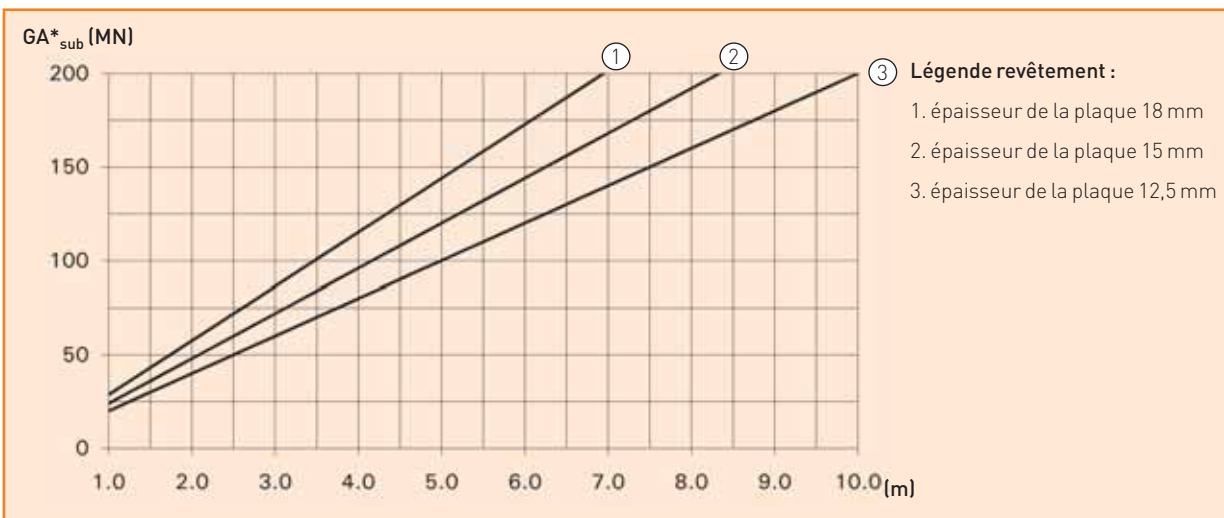
pour des entraxes d'agrafes de 30 mm, 40 mm, 50 mm. Si l'on divise celles-ci par deux, on obtient les valeurs GA^*_{sub} pour les espacements d'agrafes de resp. 60 mm, 80 mm, 100 mm. Pour des valeurs intermédiaires, on interpolera linéairement.

$$GA^*_{sub} = \frac{1}{\sum GA^*_{sub, G, inst, i}} + \frac{1}{\sum GA^*_{sub, K, inst, i}}$$

- GA^*_{sub} = rigidités au cisaillement de substitution d'une paroi de stabilisation [MN]
- $GA^*_{sub, G, inst, i}$ = résistance au cisaillement de substitution d'un revêtement simple [MN]
- $GA^*_{sub, K, inst, i}$ = résistance au cisaillement de substitution d'un agrafage sur une rangée [MN]



Rigidité de substitution GA^*_{sub} de différents agrafages en fonction de la longueur des parois porteuses pour la modélisation de parois de stabilisation en ossature bois en consoles.



Rigidité de substitution GA^*_{sub} de différentes plaques FERMACELL en fonction de la longueur des parois porteuses pour la modélisation de parois de stabilisation en ossature bois en consoles.

Pour une meilleure compréhension, un exemple de calcul de la rigidité au cisaillement de substitution GA^*_{sub} d'une paroi de stabilisation avec revêtement sur les deux faces

pour une longueur de paroi de 5,0 m est détaillé dans ce qui suit. La paroi de stabilisation possède un revêtement constitué de plaques FERMACELL sur les deux faces.

L'agrafage le long des bords des plaques a lieu sur deux rangs. Pour le calcul de la rigidité au cisaillement GA^*_{sub} , on prend ainsi en compte la rigidité de deux revêtements et de quatre rangs d'agrafes.

Face A de la paroi	Revêtement FERMACELL de 18 mm avec plaques de 1,25 x 2,9 m	Agrafage sur deux rangs avec agrafes de 1,53 mm / $a_v=40$ mm
GA^*_{sub}	120 MN	2 · 13,5 MN
Face B de la paroi	Parement FERMACELL de 12,5 mm avec plaques de 1,25 x 2,9 m	Agrafage sur deux rangs avec agrafes de 1,53 mm / $a_v=40$ mm
GA^*_{sub}	100 MN	2 · 13,5 MN

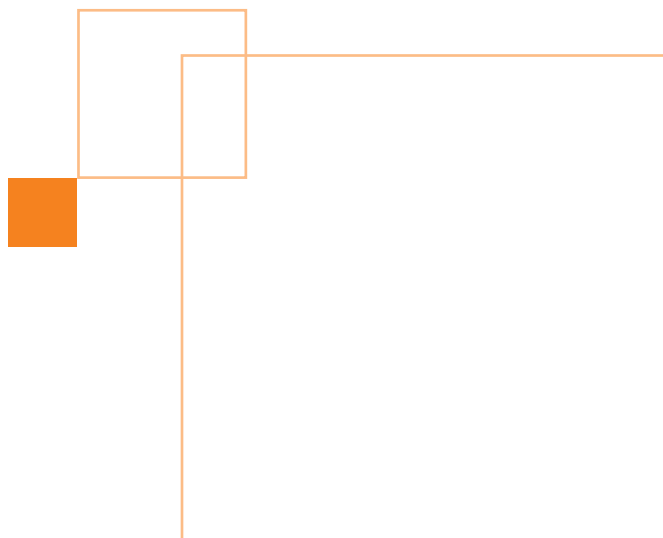
Structure de la paroi de stabilisation avec les rigidités au cisaillement de substitution correspondantes GA^*_{sub} .

$$GA^*_{sub} = \frac{1}{\frac{1}{120 \text{ MN} + 100 \text{ MN}} + \frac{1}{4 \cdot 13 \text{ MN}}} = 42,1 \text{ MN}$$

Si toutes les rigidités de substitution des parois de stabilisation concernées sont connues par direction orthogonale principale, celles-ci peuvent être additionnées et les valeurs GA^*_{sub} utilisées dans les

formules de calcul du déplacement horizontal du rez-de-chaussée ou du sommet du bâtiment. Lorsque les déplacements horizontaux sont déterminés, il est possible d'effectuer la vérification de l'aptitude au

service pour le cas de charge vent et le calcul de la période fondamentale ainsi que la suite de l'analyse structurale pour le cas de charge séisme. De plus amples informations relatives à ces étapes figurent dans la **Documentation LIGNUM [1]**.



5 Valeurs de calcul de la résistance ultime

Ce chapitre détaille les valeurs de calcul de la résistance ultime des parois en ossature bois dotées d'un revêtement en plaques FERMACELL.

La première partie contient les caractéristiques du matériau FERMACELL et les facteurs d'influence des normes à prendre en compte pour le calcul de la

résistance ultime. La deuxième partie expose les vérifications à effectuer et les résistances ultimes correspondantes sous forme de tableau.

5.1 Valeurs caractéristiques et facteurs d'influence pour le dimensionnement

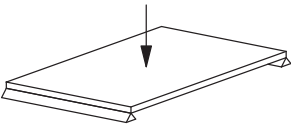
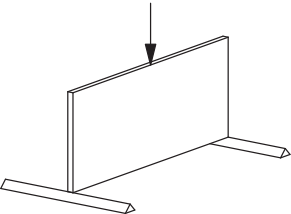
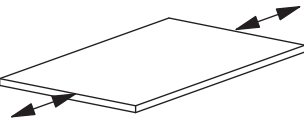
5.1.1 Propriétés caractéristiques des plaques FERMACELL

Les propriétés caractéristiques de FERMACELL sont utilisées pour le calcul des résistances ultimes et des valeurs de rigidité des éléments de paroi dotés d'un revêtement en plaques FERMACELL. Le calcul de

la résistance ultime s'effectue selon les directives de la norme SIA 265/1 (2009). Pour ce faire, on utilise les valeurs caractéristiques de résistance selon l'Agrément Technique Européen ETA-03/0050

figurant dans le tableau suivant. Outre les valeurs caractéristiques de résistance, ce tableau détaille les valeurs moyennes de rigidité utilisées pour le calcul des rigidités au cisaillement au chapitre 4.3.2.

Propriétés caractéristiques des plaques de plâtre armé de fibres FERMACELL

Plaque de plâtre armé de fibres FERMACELL							
	Épaisseur nominale de la plaque	d	mm	10	12.5	15	18
	Densité	δ_k	kg/m ³	1'150	1'150	1'150	1'150
Propriétés caractéristiques							
Sollicitation en plaque							
	Résistance						
	Flexion	$f_{m,k}$	N/mm ²	4,6	4,3	4,0	3,6
	Cisaillement	$f_{v,k}$	N/mm ²	1,9	1,8	1,7	1,6
	Déformation						
	Module d'élasticité	$E_{m,mean}$	N/mm ²	3'800	3'800	3'800	3'800
	Mod. de cisaillement	G_{mean}	N/mm ²	1'600	1'600	1'600	1'600
Sollicitation en voile							
	Résistance						
	Flexion	$f_{m,k}$	N/mm ²	4,3	4,2	4,1	4,0
	Cisaillement	$f_{v,k}$	N/mm ²	3,7	3,6	3,5	3,4
	Déformation						
	Module d'élasticité	$E_{m,mean}$	N/mm ²	3'800	3'800	3'800	3'800
	Mod. de cisaillement	G_{mean}	N/mm ²	1'600	1'600	1'600	1'600
	Résistance						
	Traction	$f_{t,k}$	N/mm ²	2,5	2,4	2,4	2,3
	Compression	$f_{c,k}$	N/mm ²	8,5	8,5	8,5	8,5
	Déformation						
	Module d'élasticité	$E_{t,mean}$ $E_{c,mean}$	N/mm ²	3'800	3'800	3'800	3'800

5.1.2 Facteurs de modification η_{mod}

Les coefficients η_{mod} tiennent compte de l'influence de la durée de sollicitation et de la teneur en eau. Ils dépendent de la classe d'humidité

(norme SIA 265 (2003) tableau 3) et de la classe de durée de sollicitation, KLED (norme SIA 265/1 (2009) tableau 14).

Les coefficients figurant ci-dessous sont extraits de l'Agrément Technique Européen ETA-03/0050 des plaques FERMACELL.

Facteurs de modification η_{mod}		
KLED	Classe d'humidité 1	Classe d'humidité 2
permanente	0,2	0,2
longue	0,4	0,3
moyenne	0,6	0,5
courte	0,8	0,6
très courte	1,1	0,8

Facteurs de modification η_{mod} pour FERMACELL en fonction des classes d'humidité et de durée de sollicitation.

5.1.3 Facteur de résistance γ_M

La valeur de calcul de la résistance f_d ou de la résistance ultime R_d , est déterminée en tenant compte du facteur de résistance γ_M .

Selon l'Agrément Technique Européen ETA-03/0050, celui-ci est de 1,3 pour les plaques FERMACELL.

Facteur de résistance γ_M	1,30
----------------------------------	------

Facteur de résistance γ_M pour FERMACELL.

5.1.4 Coefficients géométriques pour le calcul de la résistance ultime de matériaux en plaques

Pour la vérification de la résistance ultime des parois porteuses, les normes SIA 265 (2003) et 265/1 (2009) se limitent à la vérification de la résistance ultime des moyens de liaison. En fonction de la configuration de l'agrafage (espacement réduit des moyens de liaison ou agrafage sur plusieurs rangs), le

cisaillement ou le voilement du revêtement peuvent également s'avérer déterminants pour les éléments de parois. C'est la raison pour laquelle la vérification de la résistance ultime du revêtement au cisaillement ou au voilement est effectuée dans ce cas selon la norme DIN 1052:2004-08.

La norme DIN utilise pour ces vérifications les coefficients $k_{v,1}$ et $k_{v,2}$. Le coefficient $k_{v,1}$ tient compte de la configuration des joints entre les plaques (tous les joints résistants au cisaillement ou bords de plaques en partie libres). Le coefficient $k_{v,2}$ tient compte des sollicitations géométriques supplémentaires selon que le revêtement est disposé sur une ou deux faces.

Influence des joints entre plaques	$k_{v,1}$
tout joint résistant au cisaillement	1,00
bords en partie libres	0,66
Influence de la disposition du revêtement	$k_{v,2}$
sur les deux faces	0,50
sur une face	0,33

Coefficients géométriques pour la résistance ultime du revêtement selon DIN 1052:2004-08.

5.1.5 Coefficients de prise en compte de la durée de l'action et de l'humidité

Les coefficients de prise en compte de l'humidité η_w et de durée d'application de l'action η_t sont déjà englobés dans le facteur η_{mod} pour les matériaux dérivés du bois. Pour

les moyens de liaison (clous agrafes, broches, etc.) par contre, on considère les facteurs η_w et η_t qui figurent dans la norme SIA 265 (2003).

Coefficient de réduction η_w bois	
Classe d'humidité 1	1.00
Classe d'humidité 2	0.80
Coefficient η_t bois	
Séisme	1.40
Vent	1.00

Coefficients de réduction η_t et η_w pour la détermination de la résistance ultime d'un agrafage.

5.2 Détermination de la valeur de calcul de la résistance ultime

Pour la détermination de la valeur de calcul de la résistance ultime d'une paroi en ossature bois avec revêtement en plaques FERMACELL, il faut considérer les résistances ultimes des divers composants de la structure face aux différents types de sollicitation. La plupart du temps, la résistance ultime des moyens de liaison est déterminante. Cependant, on ne pourra pas entièrement négliger une défaillance par cisaillement ou par voilement, comme le montrent les résistances ultimes du tableau du chapitre 5.2.1.

La résistance ultime des parois en ossature bois dépend de la nature de l'action. Les éléments de paroi permettent de transmettre aux fondations les actions résultant en premier lieu du vent et des séismes. Comme la durée de sollicitation des

deux cas de charge est différente (courte pour le vent, très courte pour le séisme), il résulte des résistances ultimes différentes pour le vent et le séisme. Les résistances ultimes sont donc données pour les cas de charge vent et séisme dans deux tableaux distincts. Les résistances ultimes figurant dans le tableau par mètre linéaire de paroi, sont valables sous les conditions suivantes :

- L'ensemble des bords des plaques de revêtement sont liées (résistance au cisaillement) aux montants ou aux filières supérieures ou inférieures de l'ossature, ce qui signifie que des bords de plaques libres ou non soutenus ne sont pas admis.
- L'entraxe des montants d'ossature doit être ≤ 625 mm.
- L'agrafage est conforme aux principes de la norme SIA 265/1 (2009). L'angle α entre les dos des agrafes et la direction des fibres est $\geq 30^\circ$.

- L'entraxe des agrafes et leur distance aux bords des plaques et des montants correspondent aux exigences de la norme SIA 265/1 (2009)
- La profondeur de pénétration minimale des agrafes respecte les indications de la norme SIA 265/1 (2009).

Il est à noter d'autre part que dans ce qui suit, seules les valeurs de calcul de la résistance ultime du revêtement et de l'agrafage sont indiquées. L'ensemble des résistances ultimes pour les montants de bord et l'ancrage des éléments de parois ne sont pas comprises dans ces calculs. Les vérifications correspondantes doivent être effectuées en complément par l'ingénieur en construction bois ou par le planificateur spécialisé !

5.2.1 Valeur de calcul de la résistance ultime de l'agrafage selon SIA 265/1 (2009)

La valeur de calcul de la résistance ultime de l'agrafage par mètre linéaire pour des parois en ossature bois dotées d'un revêtement FERMACELL se détermine selon la norme SIA 265/1 en fonction de l'écartement des moyens de liaison comme suit :

la valeur de calcul de la résistance de l'agrafage correspond à la plus petite valeur des expressions (20) et (21) de la norme SIA 265/1 (2009). Pour des parois en ossature munie d'un revêtement FERMACELL l'équation (21) peut être négligée, car la résistance à la pression latérale des plaques FERMACELL n'est pas déterminante. La valeur de

calcul de la résistance d'un agrafage sur un rang par mètre linéaire de paroi peut être calculée comme suit en fonction de l'entraxe des agrafes et en se basant sur la formule (24) de la norme SIA 265/1 (2009) :

Les valeurs sur fond rouge et gris montrent les valeurs de la résistance ultimes déterminantes pour les parois pour lesquelles non pas l'agrafage (valeur entre parenthèses), mais la défaillance par cisaillement ou par voilement du revêtement s'avère déterminante pour la résistance ultime.

$$R_d = 110 \cdot d^{1,7} \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{a_v} \cdot \eta_t \cdot \eta_w \text{ [SIA 265/1 équation 24]}$$

R_d = valeur de calcul de la résistance ultime de l'agrafage par rang [kN/m']

d = diamètre de la pointe [mm]

a_v = entraxe des agrafes en [mm]

η_t = coefficient de prise en compte de la durée de l'action [-]

η_w = coefficient de calcul de l'influence de l'humidité du bois [-]

Cas de charge séisme

Espacement des montants 625 mm						
Revêtement	Élément de fixation	Classe d'humidité	Épaisseur de la plaque [mm]	R_d [kN/m] pour un entraxe des moyens de liaison de		
				30 mm	40 mm	50 mm
sur une face	Agrafe d = 1,53 mm	1	12,5	8.7 (15.8)	8.7 (11.8)	8.7 (9.5)
			15	12.3 (15.8)	11.8	9.5
			18	15.8	11.8	9.5
		2	12,5	6.3 (11.8)	6.3 (8.9)	6.3 (7.1)
			15	8.9 (11.8)	8.9	7.1
			18	11.8	8.9	7.1
	Agrafe d = 1,80 mm	1	12,5	8.7 (20.9)	8.7 (15.6)	8.7 (12.5)
			15	12.3 (20.9)	12.3 (15.6)	12.3 (12.5)
			18	17.0 (20.9)	15.6	12.5
		2	12,5	6.3 (15.6)	6.3 (11.7)	6.3 (9.4)
			15	8.9 (15.6)	8.9 (11.7)	8.9 (9.4)
			18	12.4 (15.6)	11.7	9.4
sur les deux faces	Agrafe d = 1,53 mm	1	12,5	26.6 (31.6)	23.6	19.0
			15	31.6	23.6	19.0
			18	31.6	23.6	19.0
		2	12,5	19.3 (23.6)	17.8	14.2
			15	23.6	17.8	14.2
			18	23.6	17.8	14.2
	Agrafe d = 1,80 mm	1	12,5	26.6 (41.8)	26.6 (31.2)	25.0
			15	37.3 (41.8)	31.2	25.0
			18	41.8	31.2	25.0
		2	12,5	19.3 (31.2)	19.3 (23.4)	18.8
			15	27.1 (31.2)	23.4	18.8
			18	31.2	23.4	18.8
- La vérification de l'agrafage est pertinente pour le dimensionnement						
- La vérification de la résistance du revêtement au cisaillement est pertinente pour le dimensionnement						
- La vérification de la résistance du revêtement au voilement est pertinente pour le dimensionnement						

Valeur de calcul de la résistance ultime R_d de l'agrafage par mètre linéaire de paroi selon SIA 265/1 (2009) pour le cas de charge séisme.

Cas de charge vent

Espacement des montants 625 mm						
Revêtement	Élément de fixation	Classe d'humidité	Épaisseur de la plaque [mm]	R _d [kN/m] pour un entraxe des moyens de liaison de		
				30 mm	40 mm	50 mm
sur une face	Agrafe d = 1,53 mm	1	12,5	6.3 (11.3)	6.3 (8.4)	6.3 (6.7)
			15	8.9 (11.3)	8.4	6.7
			18	11.3	8.4	6.7
		2	12,5	4.7 (8.4)	4.7 (6.3)	4.7 (5.0)
			15	6.7 (8.4)	6.3	5.0
			18	8.4	6.3	5.0
	Agrafe d = 1,80 mm	1	12,5	6.3 (14.9)	6.3 (11.2)	6.3 (8.9)
			15	8.9 (14.9)	8.9 (11.2)	8.9
			18	12.4 (14.9)	11.2	8.9
		2	12,5	4.7 (11.2)	4.7 (8.4)	4.7 (6.7)
			15	6.7 (11.2)	6.7 (8.4)	6.7
			18	9.3 (11.2)	8.4	6.7
sur les deux faces	Agrafe d = 1,53 mm	1	12,5	19.3 (22.6)	16.8	13.4
			15	22.6	16.8	13.4
			18	22.6	16.8	13.4
		2	12,5	14.5 (16.8)	12.6	10.0
			15	16.8	12.6	10.0
			18	16.8	12.6	10.0
	Agrafe d = 1,80 mm	1	12,5	19.3 (29.8)	19.3 (22.4)	17.8
			15	27.1 (29.8)	22.4	17.8
			18	29.8	22.4	17.8
		2	12,5	14.5 (22.4)	14.5 (16.8)	13.4
			15	20.3 (22.4)	16.8	13.4
			18	22.4	16.8	13.4
- La vérification de l'agrafage est pertinente pour le dimensionnement						
- La vérification de la résistance du revêtement au cisaillement est pertinente pour le dimensionnement						
- La vérification de la résistance du revêtement à au voilement est pertinente pour le dimensionnement						

Valeur de calcul de la résistance ultime R_d de l'agrafage par mètre linéaire de paroi selon SIA 265/1 (2009) pour le cas de charge vent.

Les valeurs des tableaux peuvent être converties pour d'autres entraxes des moyens de liaison. On notera que plus l'espacement entre les agrafes augmente, plus la résistance ultime diminue. Pour les agrafages sur

plusieurs rangs le long des bords des plaques, on peut multiplier les valeurs de calcul de la résistance ultime par le nombre de rangs d'agrafes.

5.2.2 Valeur de calcul de la résistance ultime au cisaillement du revêtement selon DIN 1052:2004-08

La valeur de calcul de la résistance ultime au cisaillement du revêtement en plaques FERMACELL pour des parois en ossature bois se calcule par mètre linéaire selon la norme DIN 1052:2004-08 comme suit :

$$R_d = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot \frac{\eta_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} \cdot t$$

[DIN 1052:2004-8 équation 123]

- R_d = valeur de calcul de la résistance ultime d'un revêtement [kN/m¹]
- k_{v1} = coefficient de prise en compte de la disposition et du type de moyen de liaison des plaques [-]
- k_{v2} = coefficient de prise en compte des sollicitations supplémentaires [-]
- η_{mod} = facteur tenant compte de l'influence de la durée de l'action et de la teneur en eau [-]
- γ_M = facteur de résistance [-]
- $f_{v,k}$ = valeur caractéristique de la résistance au cisaillement [N/mm²]
- t = épaisseur du revêtement [mm]

Cas de charge séisme

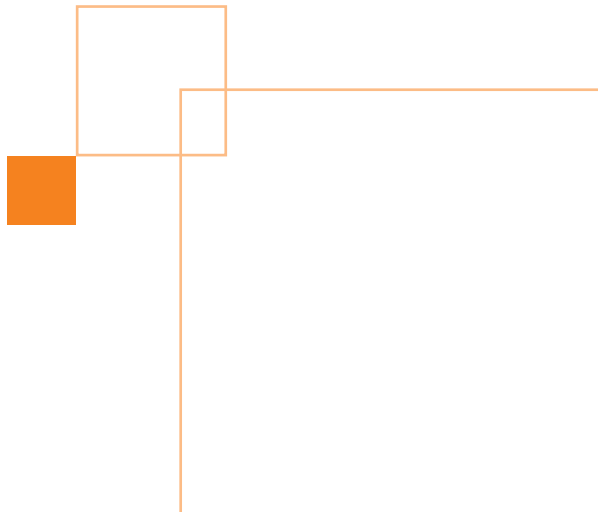
Revêtement	Classe d'humidité	Épaisseur de la plaque [mm]	R_d [kN/m]
sur une face	1	12,5	12.5
		15	14.6
		18	17.0
	2	12,5	9.1
		15	10.6
		18	12.4
sur les deux faces	1	12,5	38.0
		15	44.4
		18	51.7
	2	12,5	27.6
		15	32.3
		18	37.6

Valeur de calcul de la résistance ultime R_d pour la résistance au cisaillement par mètre linéaire de paroi selon DIN 1052:2004-08 pour le cas de charge séisme.

Cas de charge vent

Revêtement	Classe d'humidité	Épaisseur de la plaque [mm]	R_d [kN/m]
sur une face	1	12,5	9.1
		15	10.6
		18	12.4
	2	12,5	6.8
		15	7.9
		18	9.3
sur les deux faces	1	12,5	27.6
		15	32.3
		18	37.6
	2	12,5	20.7
		15	24.2
		18	28.2

Valeur de calcul de la résistance ultime R_d pour la résistance au cisaillement par mètre linéaire de paroi selon DIN 1052:2004-08 pour le cas de charge vent.



5.2.3 Vérification du voilement du revêtement selon DIN 1052:2004-08

La valeur de calcul de la résistance ultime au voilement du revêtement en plaques FERMACELL par mètre linéaire pour des parois en ossature bois se calcule selon la norme DIN 1052:2004-08 comme suit :

$$R_d = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot \frac{\eta_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} \cdot 35 \cdot \frac{t^2}{a_r}$$

[DIN 1052:2004-8 équation 123]

- R_d = valeur de calcul de la résistance ultime d'un revêtement [kN/m¹]
- k_{v1} = coefficient de prise en compte de la disposition et du type de moyen de liaison des plaques [-]
- k_{v2} = coefficient de prise en compte des sollicitations supplémentaires [-]
- η_{mod} = facteur tenant compte de l'influence de la durée de l'action et de la teneur en eau [-]
- γ_M = facteur de résistance [-]
- $f_{v,k}$ = valeur caractéristique de la résistance au cisaillement [N/mm²]
- t = épaisseur du revêtement [mm]
- a_r = entraxe des montants de la paroi [mm]

Cas de charge séisme

Revêtement	Classe d'humidité	Entraxe montants a_r [mm]	Épaisseur plaque [mm]	R_d [kN/m]
sur une face	1	417	12,5	13.1
			15	18.4
			18	25.8
		625	12,5	8.7
			15	12.3
			18	17.2
	2	417	12,5	9.5
			15	13.4
			18	18.7
		625	12,5	6.3
			15	8.9
			18	12.5
sur les deux faces	1	417	12,5	39.9
			15	55.9
			18	78.2
		625	12,5	26.6
			15	37.3
			18	52.1
	2	417	12,5	29.0
			15	40.6
			18	56.8
		625	12,5	19.3
			15	27.1
			18	37.9

Valeur de calcul de la résistance ultime R_d pour la résistance au voilement par mètre linéaire de paroi selon DIN 1052:2004-08 pour le cas de charge séisme.

Cas de charge vent

Revêtement	Classe d'humidité	Entraxe montants a_r [mm]	Épaisseur plaque [mm]	R_d [kN/m]
sur une face	1	417	12,5	9.5
			15	13.4
			18	18.7
		625	12,5	6.3
			15	8.9
			18	12.5
	2	417	12,5	7.1
			15	10.0
			18	14.0
		625	12,5	4.7
			15	6.7
			18	9.3
sur les deux faces	1	417	12,5	29.0
			15	40.6
			18	56.8
		625	12,5	19.3
			15	27.1
			18	37.9
	2	417	12,5	21.7
			15	30.5
			18	42.6
		625	12,5	14.5
			15	20.3
			18	28.4

Valeur de calcul de la résistance ultime R_d pour la résistance au voilement par mètre de linéaire de paroi selon DIN 1052:2004-08 pour le cas de charge vent.

Bibliographie

- [1] Documentation technique de Lignum (2010) : Bâtiments en bois parasismiques de plusieurs étages. Lignum Economie suisse du bois, Zurich.
- [2] KATARISK, Catastrophes et situations d'urgence en Suisse, Office fédéral de la protection civile OFPP, Berne 1995
- [3] NORME SIA 265 (2003) : Construction en bois. Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA, Zurich.
- [4] NORME SIA 265/1 (2009) : Construction en bois – Spécifications complémentaires. Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA, Zurich.
- [5] NORME SIA 261 (2003) : Actions sur les structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA, Zurich.
- [6] Norme DIN 1052:2004-08 : Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken- Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Holzbau. DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [7] Niklaus Wirz: Erdbebenbemessung und Aussteifung mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise. PIRMIN JUNG Ingenieure für Holzbau AG, Rain.

Fermacell Sàrl Suisse

Südstrasse 4

CH-3110 Münsingen

Téléphone : 031-724 20 20

Renseignements techniques : 031-724 20 30

Téléfax : 031-724 20 29

FERMACELL® est une marque déposée
et une société du groupe Xella.

Sous réserve de modifications techniques (état 11/2010).
N'hésitez pas de demander la dernière version de ce document d'information. Dans le cas où vous auriez besoin d'un renseignement complémentaire, veuillez prendre contact avec notre service technique.