Protection sismique

Protection sismique: notions de base

En Suisse, heureusement, la plupart des gens sont confrontés uniquement par le biais des médias aux images de bâtiments – voire de villes entières – détruits par des tremblements de terre. Cependant, les normes suisses indiquent clairement qu'ici aussi, il pourrait y avoir d'importants tremblements de terre.
Actuellement, c'est la norme SIA 261:2020 qui définit le calcul des charges pour les édifices confrontés à un tremblement de terre en Suisse. Selon cette norme, les bâtiments doivent être dimensionnés et conçus de telle sorte qu'ils puissent résister à un séisme de dimensionnement défini. En outre, ils doivent faire preuve d'une résistance résiduelle suffisante après un séisme. Les éléments de construction non portants doivent aussi être conçus de sorte à éviter la mise en danger des personnes en cas de tremblement de terre, et à réduire les dommages financiers.
Les principaux objectifs sont par conséquent:

- la protection des personnes;
- la limitation des dommages;
- la garantie d'un bon fonctionnement sous la contrainte du séisme de dimensionnement

Selon SIA 261:2020, la Suisse est divisée en cinq zones sismiques. Une valeur de dimensionnement de l'accélération horizontale du sol a_{gd} est attribuée à chaque zone sismiqued.

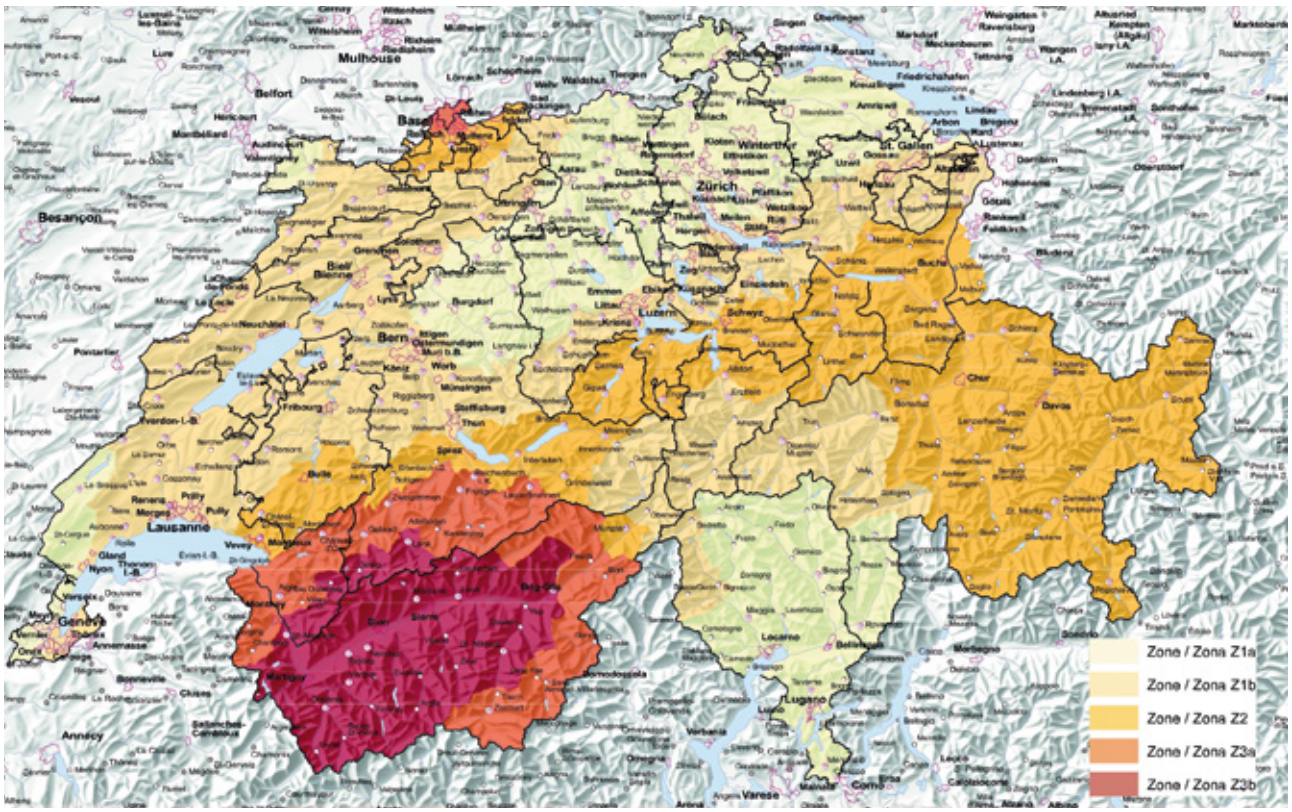


Illustration 29: zones de risque sismique en Suisse (Copyright © 2020 by SIA Zurich)

Z1a	a_{gd} = 0.6 m/s²
Z1b	a_{gd} = 0.8 m/s²
Z2	a_{gd} = 1.0 m/s²
Z3a	a_{gd} = 1.3 m/s²
Z3b	a_{gd} = 1.6 m/s²

Sécurité sismique des cloisons de séparation non portantes

Outre les certificats calculés, qui sont effectués par l'ingénieur planificateur, les mesures conceptuelles et constructives sont importantes pour l'amélioration du comportement en cas de tremblement de terre. Les éléments de construction statiquement non portants, comme les systèmes de cloisons et de plafonds Rigips®, apportent également une contribution au comportement d'un bâtiment en cas de séisme. Plus la masse totale du bâtiment est élevée, plus la masse qui vibrera en même temps est aussi élevée.

Dans ce cas, l'aménagement intérieur en construction légère offre cependant deux avantages importants:

- la réduction de la masse susceptible de vibrer
- une atténuation de la réaction dynamique

Avec le mode de construction à sec, la masse est très faible en comparaison avec les modes de construction en option. Par conséquent, pour les systèmes de cloisons et de plafonds de l'entreprise Rigips®, la contrainte sismique est généralement moins élevée que la contrainte statique dans le cas normal (voir le chapitre: Protection incendie – Certificat calculé de la sécurité structurale). Dans les zones de risque sismique accru, diverses mesures constructives peuvent tout de même être prises en considération pour une utilisation optimale de la construction à sec.

Pour les éléments de construction secondaires (systèmes de cloisons et de plafonds), les conditions de dimensionnement sismique doivent être prises en considération aussi bien pour l'élément de construction que pour ses fixations ou ses ancrages. En cas de risque accru de tremblement de terre, il faudrait donc avoir recours à des moyens de fixation testés et admis sur le plan sismique.

Calcul des forces résultantes consécutives à une action sismique

Pour garantir la sécurité sismique, la cloison doit pouvoir soutenir son propre poids, qui est accéléré par le mouvement horizontal, perpendiculairement au plan de la paroi. La SIA 261 met à disposition un processus de certification pour les éléments de construction non portants.

$$\mathrm{Fa} = \frac{\gamma_f\, a_{gd}\, S\, G_a}{g\, q_a}\left[\frac{3\,(1+\frac{z_a}{h})}{1+(1-\frac{T_a}{T_1})^2} - 0.5\right] \geq \frac{\gamma_f\, a_{gd}\, S\, G_a}{g\, q_a}$$

Fa = force horizontale à appliquer dans les deux directions
γ_f = coefficient de valeur pour la classe d'ouvrages
a_{gd} = valeur de dimensionnement de l'accélération horizontale du sol
S = paramètres du sol pour les classes de sol de fondation
G_a = poids propre de l'élément de construction
g = accélération gravitationnelle (gravitation)
q_a = coefficient de comportement pour les éléments de construction secondaires
z_a = hauteur de l'élément de construction au-dessus des fondations de l'édifice
h = hauter totale de l'ouvrage
T_1 = comportement à l'oscillation propre de la structure porteuse
T_a = comportement à l'oscillation propre de l'élément de construction non portant

Le rapport entre le comportement à l'oscillation propre de la structure porteuse T_1 et celui de l'élément de construction non portant T_a est pris en considération ici. Cependant, dans la plupart des cas, ce rapport n'est pas égal à 1; la charge sismique à appliquer est donc plus faible que l'absorption de charges habituelle pour les cloisons en construction à sec. Pour le cas où le rapport le moins favorable $T_a/T_1 = 1$ se produit, les hauteurs de cloisons maximales admises suivantes peuvent être utilisées comme valeurs indicatives pour les systèmes de cloisons Rigips® sans détermination du comportement dynamique. (Henkel, Holl & Schalk, 2008)

$S \times a_g$	Hauteurs de cloisons admises [m] pour les cloisons de séparation, entraxe des montants s = 625 mm, écart de fixation des profilés de finition des bords ≤ 1 m					
	Montants simples, parement simple 1×12.5 mm			Montants simples, parement double 2×12.5 mm		
[m/s²]	CW 50	CW 75	CW 100	CW 50	CW 75	CW 100
≤ 2.7	2.75	3.75	4.25	3.5	4.75	5.75
≤ 3.2						5.75[1)]

Tableau 29: Hauteurs de cloisons admises pour les cloisons de séparation, montants simples, en fonction de la charge sismique

$S \times a_g$	Hauteurs de cloisons admises [m] pour les cloisons de séparation, entraxe des montants s = 625 mm, écart de fixation des profilés de finition des bords ≤ 1 m, montants éclissés					
	Montants doubles, parement simple 1×12.5 mm			Montants doubles, parement double 2×12.5 mm		
[m/s²]	CW 50	CW 75	CW 100	CW 50	CW 75	CW 100
≤ 2.7	2.75	5.0	6.5	3.5	5.75	7.5[1)]
≤ 3.2					5.25[1)]	6.75[2)]

[1)] écart de fixation des profilés de finition des bords réduit à 0.75 m
[2)] écart de fixation des profilés de finition des bords réduit à 0.5 m

Tableau 30: Hauteurs de cloisons admises pour les cloisons de séparation, montants doubles en fonction de la charge sismique

$S \times a_g$	Hauteurs de cloisons admises [m] pour les doublages et les cloisons de puits d'installations, entraxe des montants s = 625 mm, écart de fixation des profilés de finition des bords ≤ 1 m					
	Montants simples, parement simple 1×12.5 mm			Montants simples, parement double 2×12.5 mm		
[m/s²]	CW 50	CW 75	CW 100	CW 50	CW 75	CW 100
≤ 3.2	—	2.5	3.0	—	3.0	3.25
	Profilés dos à dos (raccordés par la traverse)					
≤ 3.2	—	3.5	5.0	3.5	4.75	6.0

Tableau 31: Hauteurs de cloisons admises pour doublages et cloisons de puit d'installations en fonction de la charge sismique

Les tableaux se réfèrent à la charge sismique.
Les hauteurs de cloisons maximales admises fournies par les listes de système de la documentation technique doivent également être vérifiées.

Avec des hauteurs de cloisons plus importantes, il est nécessaire de connaître le comportement à l'oscillation propre des cloisons à montants métalliques pour faire un calcul plus précis. Les périodes d'oscillation propre des cloisons à montants métalliques pour les dimensionnements sismiques se présentent de la manière suivante. (Henkel Holl, & Schalk, 2008)

Hauteur de la cloison	**Périodes d'oscillation propre des cloisons à montants métalliques [s], entraxe des montants s = 625 mm, écart de fixation des profilés de finition des bords ≤ 1 m**					
	Montants simples, parement simple 1 × 12.5 mm			Montants simples, parement double 2 × 12.5 mm		
[m]	CW 50	CW 75	CW 100	CW 50	CW 75	CW 100
2.75	0.15	0.10	0.07	0.18	0.12	0.09
3.0	0.17	0.12	0.09	0.21	0.15	0.11
3.25	—	0.14	0.10	0.25	0.17	0.13
3.5	—	0.16	0.12	0.28	0.20	0.15
3.75	—	0.18	0.14	0.33	0.23	0.18
4.0	—	0.21	0.16	0.37	0.26	0.20
4.25	—	0.23	0.18	—	0.30	0.23
4.5	—	0.26	0.20	—	0.33	0.25
4.75	—	—	0.22	—	0.37	0.28
5.0	—	—	0.24	—	0.41	0.31
5.25	—	—	—	—	0.45	0.34
5.5	—	—	—	—	0.50	0.38
5.75	—	—	—	—	—	0.41
6.0	—	—	—	—	—	0.45
6.25	—	—	—	—	—	0.49
6.5	—	—	—	—	—	0.53

Tableau 32: périodes d'oscillation propre

Des raccords coulissants peuvent être exécutés pour qu'il soit possible d'admettre sans destruction des déformations plus importantes sur les éléments de constructions attenants. Dans ce cas, le déplacement des étages calculé par l'ingénieur planificateur fixe la tolérance de mouvement nécessaire pour les raccords coulissants.

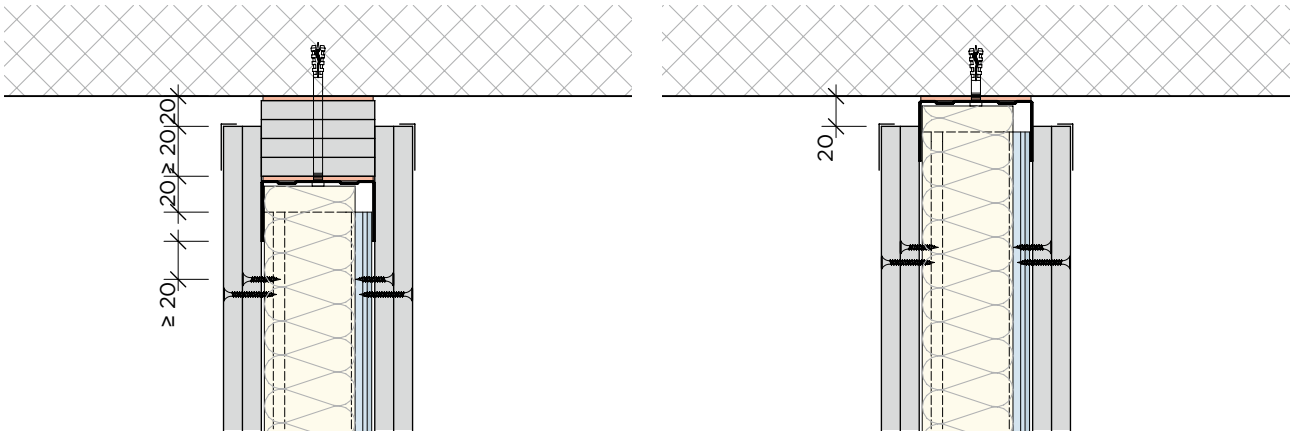


Illustration 30: exécution de raccords coulissants au plafond pour des flexions de plafond ≤ 20 mm

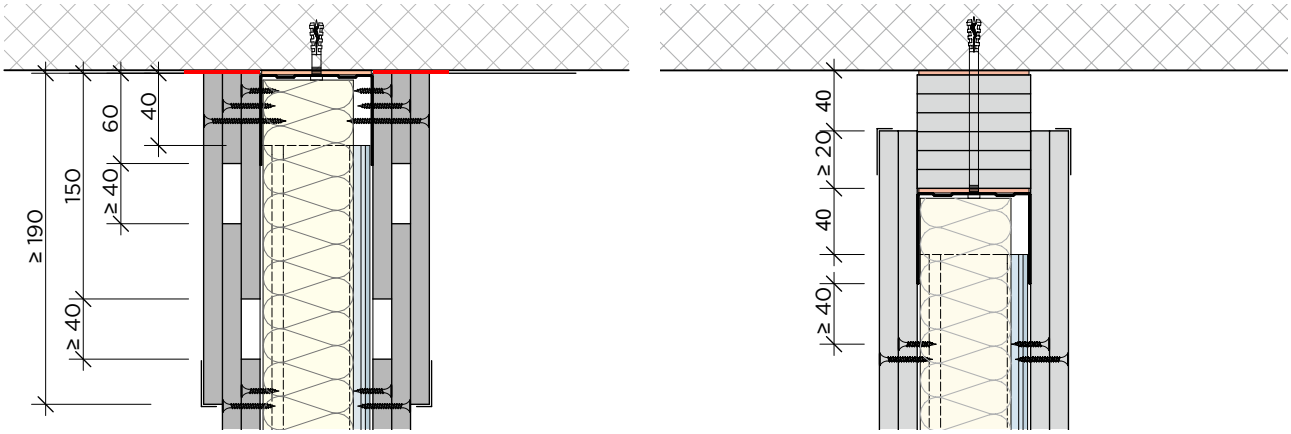


Illustration 31: exécution de raccords coulissants au plafond pour des flexions de plafond ≤ 40 mm

Exigences relatives aux fixations dans le béton

Concernant le matériel de fixation dans le béton pour les éléments non porteurs qui sont prévus pour les conditions de dimensionnement sismique:

- le matériel de fixation doit être admis pour les sollicitations sismiques ou
- il faut vérifier au moyen d'un modèle statique approprié que les chevilles ne présentent pas de défaillance en cas de sollicitations sismiques, respectivement qu'une mise en danger des personnes peut être exclue (évaluation des risques du système complet).

La responsabilité d'évaluer la nécessité de prendre en considération le cas de charge sismique pour les éléments non porteurs incombe au planificateur spécialisé.

Classes d'ouvrages

Selon la norme SIA 261, l'objectif de protection général recherché avec la projection parasismique consiste en la protection des personnes, la limitation des dommages et la garantie d'un bon fonctionnement des ouvrages importants sous la contrainte du séisme de dimensionnement.

Le tableau 33 ci-dessous détermine le degré de protection pour les ouvrages spécifiques. Cela permet de définir le niveau de sécurité, dans quelle mesure les objectifs de protection généraux recherchés sont remplis sous la contrainte du séisme normalisé pour l'ouvrage spécifique.

Classes d'ouvrages

CO	Caractéristiques	Exemples	Facteur d'amplitude γ_f (sécurité structurale)
I	- Tous les autres ouvrages, dans la mesure où des dégâts causés à l'environnement ne sont pas possibles	✓ Bâtiments résidentiels, administratifs et commerciaux ✓ Bâtiments industriels et entrepôts	1.0
II	- Fréquentation F > 50 personnes - Infrastructure ayant une fonction importante	✓ Hôpitaux (s'il ne s'agit pas de CO III), écoles, centres commerciaux, bâtiments de l'administration publique	1.2
III	- Infrastructure ayant une fonction vitale	✓ Hôpitaux de soins aigus, édifices d'importance vitale	1.5

Tableau 33: Classes d'ouvrages et facteurs d'amplitude, source SIA 261:2020

Sol de fondation

L'influence exercée par les conditions du sol de fondation doit être prise en considération par la classification du site de l'édifice dans une des classes de sol de fondation selon le tableau suivant:

Classe de sol de fondation	Description	Paramètre du sol S
A	Rochers	1.00
B	Sable ou gravier très dense ou argile très dure	1.20
C	Sable ou gravier dense ou moyennement dense ou argile dure	1.45
D	Roche meuble poreuse à moyennement dense	1.70
E	Couche superficielle de roche meuble	1.70

Tableau 34: Sol de fondation, source SIA 261:2020

Catégories de performance sismique pour le matériel de fixation

La conformité des fixations dans le béton pour le cas de charge sismique est réglementée par la directive ETA ETAG 001, annexe E. Cette directive décrit dans le Technical Report TR 045 un procédé permettant le dimensionnement des chevilles pour la répartition des charges sismiques dans les parties d'ouvrage en béton et en béton armé*. On fait la distinction entre les catégories de performance C1 et C2.

Le tableau 35 établit les catégories de performance recommandées (C1 et C2) en fonction du niveau de sismicité et de la classe d'importance de l'ouvrage en Suisse.

Le produit $a_g \cdot S$ permet la classification des actions sismiques sur un ouvrage comme «sismicité faible» ou «normale».

Niveau de sismicité		Classe d'importance de l'ouvrage selon SIA 261		
Classe	**$a_g \cdot S$ 1)**	**I**	**II**	**III**
faible	$0.05 \cdot g < a_g \cdot S \leq 0.10 \cdot g$	C1 2) ou C2 3)		C2
> faible	$a_g \cdot S > 0.10 \cdot g$	C2		

Tableau 35: Catégories de performance sismique recommandées pour le matériel de fixation

Renvois

1) a_g = valeur de dimensionnement de l'accélération du sol sur un support de type A (SIA 261:2020)
S = coefficient pour le sol (tableau 34)

2) C1 pour les fixations des parties d'ouvrage non porteuses

3) C2 pour les assemblages entre parties d'ouvrage primaires et/ou secondaires sur le plan sismique

Comment ce tableau a été établi

En contraste avec le tableau dans le Technical Report TR 045, il existe deux classes de sismicité en Suisse, et non trois. Selon SIA 261:2020 rubrique 16.2.1.2, la Suisse présente une valeur de dimensionnement de l'accélération du sol a_{gd} de 0.60 m/s² même dans la zone nationale au plus faible risque Z1a. En comparaison, cette valeur, multipliée par le facteur d'importance γ_f de 1.0 – le plus faible pour la Suisse – et la catégorie de sol de fondation la plus favorable (classe de sol de fondation A, S = 1.0), est nettement supérieure à la limite de la «très faible sismicité» (0.49 m/s²) selon EN 1998-1. Cette limite indique essentiellement si, selon EN 1998-1, les actions sismiques sur un bâtiment sont négligeables ou ne le sont pas. Il est donc admis que dans toute la Suisse, les ouvrages doivent être dimensionnés selon les actions sismiques.
En outre, la catégorie d'importance I selon EN 1998-1:2004 n'existe pas en Suisse. C'est ce qui explique le tableau 35 ci-dessus.

Exemple:

Bâtiment résidentiel à Bâle:
Zone Z3a → a_{gd} = 1.30 m/s²
Bâtiment résidentiel → facteur d'importance γ_f = 1.0
Classe de sol de fondation A → S = 1.0

→ Catégorie de performance sismique pour le matériel de fixation: **C2**

Remarque

*Les réglementations ne s'appliquent pas aux chevilles dans les zones critiques des ouvrages, dans lesquelles des éclats de béton ou des fissures très larges peuvent apparaître (par ex. les zones des joints plastiques). Ici, la largeur des fissures peut être nettement plus grande que la largeur des fissures pour laquelle les chevilles ont été testées.

Les exigences pour la catégorie C2 sont plus élevées que pour la catégorie C1. Pour la catégorie de performance C1, les homologations indiquent des résistances caractéristiques uniquement pour l'état-limite de la résistance. Par contre, pour la catégorie de performance C2, les résistances caractéristiques pour l'état-limite de la résistance sont listées, de même que les décalages pour les états-limite de la résistance et la capacité d'utilisation. Les catégories de performance de la cheville concernée sont indiquées dans l'homologation ETA.

Écarts recommandés pour le matériel de fixation

Le tableau suivant permet de choisir rapidement et simplement le matériel de fixation approprié sur le plan sismique pour les cloisons de séparation Rigips® et soutient le planificateur dans la planification de systèmes non porteurs parasismiques.

Écart recommandé pour le matériel de fixation sur dalles en béton [m]		Détail de raccord au plafond					
		Sans raccord coulissant		Bloc de plâtre, épaisseur: 25 mm		Bloc de plâtre, épaisseur: 50 mm	
Catégories de performance sismique		C1	C2	C1	C2	C1	C2
Matériel de fixation	SISMO SLA 8 × 75 mm	≤ 0.50	≤ 0.50				
	SISMO SLA 8 × 95 mm			≤ 0.33	≤ 0.25		
	SISMO SLA 8 × 115 mm					≤ 0.25	≤ 0.25

Tableau 36: Écarts recommandés pour le matériel de fixation pour les cloisons de séparation Rigips® dans les dalles en béton selon les catégories de performance sismique

Les écarts ci-dessus, concernant le matériel de fixation des cloisons de séparation Rigips® aux dalles en béton, doivent être considérés comme des valeurs de référence et sont donc indicatifs. Les écarts à respecter entre les éléments de fixation dépendent des différents cas particuliers et doivent être déterminés par l'ingénieur chargé du dimensionnement.

Conditions marginales

- Pour déterminer l'action sismique pour les cloisons de séparation Rigips®, les hypothèses suivantes ont été émises:
  - Le comportement défavorable entre le comportement à l'oscillation propre de la structure porteuse et de la partie d'ouvrage non porteuse: T_a / T_1 = 1
  - z_a / h = 1 (dans le cas le plus défavorable)
- Les vérifications pour les chevilles sont menées uniquement pour la résistance à la force de cisaillement. Les éventuelles diminutions consécutives à des ancrages près des bords ou à des entraxes réduits, ou encore dues à l'utilisation de groupes de chevilles, ne sont pas prises en considération.
- La transmission de la charge dans les parties d'ouvrage voisines (dalle brute) et les vérifications nécessaires quant à la rupture des bords de béton et l'éclat du béton à l'arrière doivent être garanties par l'ingénieur chargé de la planification.
- Pour déterminer les écarts recommandés pour le matériel de fixation dans le cas de blocs de plâtre, une exploitation limitée a été admise. En outre, sur le côté sûr, le coefficient de réduction pour déterminer la résistance à la force de cisaillement de la cheville (selon EOTA Technical Report TR 045) a été pris en considération, de même que le concept de défaillance des différentes chevilles décrit ensuite. Un habillage des blocs de plâtre avec un profilé UW/G supplémentaire est recommandé. L'ingénieur doit évaluer le système et déterminer les écarts à respecter pour le matériel de fixation en fonction de l'objet.
- Toutes les dispositions d'exécution et consignes de sécurité des clous pour charge lourde SISMO doivent être respectées.

Interaction entre la construction porteuse principale et les parties d'ouvrage non porteuses

L'action sismique sur les parties d'ouvrage non porteuses ne consiste pas seulement en l'accélération horizontale des éléments dimensionnés, mais aussi en l'interaction entre la construction porteuse principale et les parties d'ouvrage secondaires. Cette interaction dépend des propriétés dynamiques de la structure porteuse qui définissent les possibilités de déplacement relatif (entre les planchers d'étage). Par conséquent, le façonnage constructif des joints de raccord pour les cloisons en construction à sec doit largement permettre l'absorption – sans contraintes – de ces déformations relativement importantes de la structure porteuse principale. Par exemple avec des raccords coulissants. Par ailleurs, les dommages issus de contraintes pris en compte doivent être compatibles avec l'objectif de protection des personnes.

C'est la raison pour laquelle toutes les recommandations de Rigips SA concernent uniquement les systèmes non porteurs et leurs composants, et non pas le comportement à la sollicitation global de la construction porteuse principale. Le choix des systèmes Rigips n'est qu'une partie de la solution globale, et la fixation à la construction porteuse principale ainsi que toute la planification de la structure porteuse doivent être dimensionnées par l'ingénieur chargé de la planification. Par conséquent, la responsabilité quant à la planification et à l'exécution parasismiques demeure celle des planificateurs spécialisés et des entreprises associées.

Renoncement à une vérification pour les catégories de performance sismique des chevilles

Pour le dimensionnement des fixations des parois non portantes, il est possible de choisir des approches proposées par des ingénieurs, de manière à pouvoir renoncer aux chevilles avec vérification pour la catégorie de performance sismique.

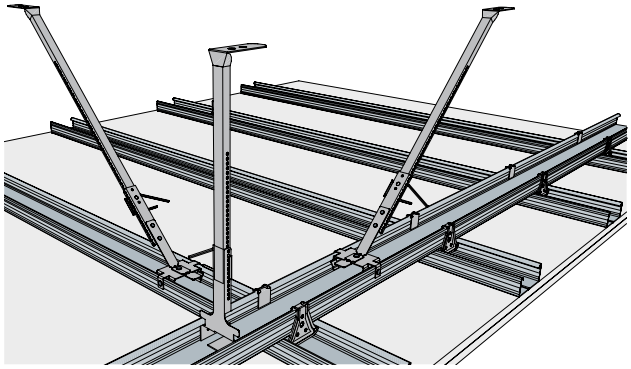
Il est possible de vérifier au moyen d'un modèle approprié que les chevilles ne présentent pas de défaillance en cas de sollicitations sismiques, respectivement qu'une mise en danger des personnes peut être exclue en l'absence d'homologation sismique ou en cas d'homologation sismique inférieure (C1).
Il incombe au planificateur spécialisé responsable d'évaluer s'il y a mise en danger.

Le fait de prendre en considération la défaillance de chevilles individuelles et la limitation de l'exploitation permet d'assurer que la fixation ne puisse pas présenter de défaillance, même en cas de sollicitations sismiques. Cela dépend de la zone sismique en Suisse, de la catégorie d'importance du bâtiment ainsi que des indications spécifiques au projet sur la thématique sismique. Dans chaque cas, l'ingénieur planificateur détermine l'exploitation maximale par raccord, et il est supposé que les chevilles sont admises pour le béton fissuré.

Revêtements de plafonds et faux-plafonds en cas de sollicitations sismiques

Si des systèmes de plafonds Rigips® sont utilisés dans des zones où le risque d'activité sismique est accru, il faut respecter quelques points supplémentaires en plus du dimensionnement correspondant.

- exécution de la sous-construction comme ossature double
- hauteur de suspension aussi faible que possible
- suspensions avec résistance ≥ 0.4 kN
- toujours visser les suspensions et les pièces de raccordement à la sous-construction
- poids du parement aussi faible que possible



Pour cette situation, il faut façonner, dans la zone de la suspension, des renforcements dans deux directions et avec un angle de 45° environ par rapport à la surface du plafond. Les renforcements doivent être disposés avec un écart maximal de 4 m dans les deux directions, et à une distance maximale de 2 m des cloisons adjacentes.
Nous recommandons un raccordement purement constructif aux murs périphériques. C'est pourquoi le renforcement diagonal doit commencer dès la première rangée de suspensions à partir du mur.

- tous les éléments de construction qui n'ont pas été pris en considération lors du dimensionnement (par ex. les conduites pour les installations) doivent être fixés séparément à la dalle brute
- raccord purement constructif aux cloisons périphériques (profilé de raccord comme aide au montage, aucune fonction portante!)
- Prise en compte des parts horizontales de l'effet de charge sur les faux-plafonds en cas de sismique et prévention des mouvements pendulaires incontrôlés du faux-plafond ainsi que des transferts de charge indésirables par des raidisseurs diagonaux ou des raccords rigide.

Dans les conditions suivantes, des renforcements doivent être intégrés en diagonale dans la sous-construction.

- hauteur de suspension ≥ 30 cm et/ou
- surface du plafond ≥ 25 m²

Illustration 32: Renforcement diagonal pour les grandes surfaces de plafond et les grandes hauteurs de suspension.

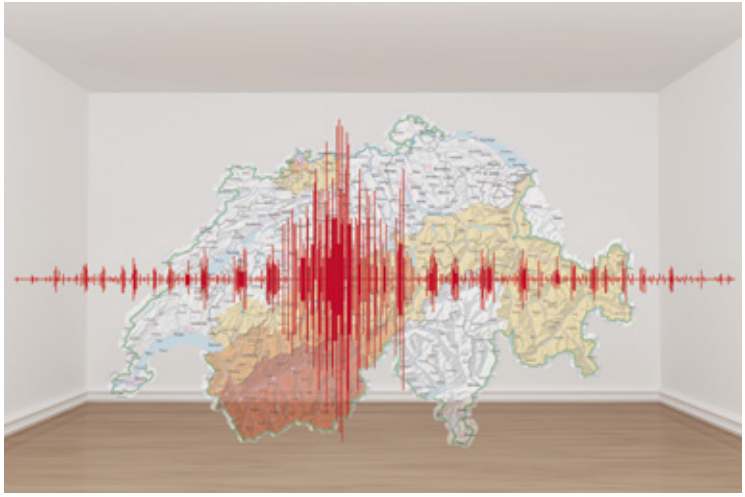
Les parts verticales de l'effet de charge sur les faux-plafonds en cas de tremblement de terre doivent être prises en considération dans le dimensionnement des écarts des profilés et des suspensions. Comme pour les cloisons en construction à sec, cela s'applique pour le cas où l'on rencontre le rapport le moins favorable T_a/T_1 = 1. Les charges supplémentaires suivantes sont un point de départ pour admettre les charges sismiques, pour le dimensionnement du plafond sans détermination du comportement dynamique.

$S \times a_g$	Charge supplémentaire pour les revêtements de plafonds et les faux-plafonds [kg/m²]					
	Parement simple [mm]			Parement double [mm]		
[m/s²]	12.5	18	20	2×12.5	18+15	2×20
0.6	2	3	3	4	6	7
0.8	3	4	5	6	7	9
1.0	4	5	6	7	9	11
1.5	6	8	9	11	14	17
2.0	7	10	12	14	19	23
2.5	9	13	14	18	23	28
3.0	11	16	17	21	28	34
3.5	13[3)]	18	20	25	33	39

[3)] tenir compte de la force de pression sur la suspension

Tableau 37: charge supplémentaire

Le plus important en bref



Éléments de construction non portants

Les éléments de construction non portants doivent aussi être conçus de sorte à éviter la mise en danger des personnes en cas de tremblement de terre.

Avantages importants

L'aménagement intérieur en construction légère offre deux avantages importants: une réduction de la masse susceptible de vibrer et une atténuation de la réaction dynamique de l'édifice.

Faibles contraintes

Avec le mode de construction à sec, la masse est très faible en comparaison avec les modes de construction en option. Par conséquent, pour les systèmes de cloisons et de plafonds de Rigips®, la contrainte sismique est généralement moins élevée que la contrainte statique dans le cas normal.

Moyens de fixation testés

En cas de risque accru de tremblement de terre, il faut avoir recours à des moyens de fixation ou à des ancrages testés et admis sur le plan sismique.