

## Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants Concept et directive pour l'étape 2

Richtlinien des BWG – Directives de l'OFEG – Dirretive dell'UFAEG  
Ittigen, 2006

Deuxième édition



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**  
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**  
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**  
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**  
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

## Avant-propos

En vertu de la décision du Conseil fédéral du 11 décembre 2000, il y a lieu de vérifier la sécurité parasismique de tous les projets de transformation et d'assainissement de la Confédération ou subventionnés par elle, ainsi que de tous les bâtiments existants de la Confédération qui appartiennent aux classes d'ouvrages II et III. Lorsque de graves lacunes sont constatées, les bâtiments concernés doivent être renforcés, en tenant compte du principe de la proportionnalité des coûts.

Au vu du coût du renforcement parasismique des bâtiments existants qui atteint de 2 à 10 % (max. 20 %) de leur valeur vénale – selon l'objet considéré, la zone sismique où il se trouve et la nature du sol de fondation –, il y a lieu de fixer des priorités et d'étaler les mesures de renforcement requises sur plusieurs décennies.

La Centrale de coordination de la Confédération pour la mitigation des séismes, rattachée à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2006, a élaboré une procédure en trois étapes destinée à contrôler la sécurité parasismique des bâtiments existants ainsi qu'à inventorier leur importance et le risque auquel ils sont exposés. Développée principalement pour le parc de bâtiments de la Confédération, cette procédure peut également être appliquée par d'autres propriétaires de grands parcs immobiliers. Le degré de précision croît d'une étape à l'autre, de même que le coût. Cette démarche permet de hiérarchiser les mesures de protection requises en fonction des risques encourus.

Une première édition des directives relatives à l'étape 2 a paru (en allemand seulement) en juin 2003. Elle permet d'estimer approximativement la tenue au séisme des structures porteuses de bâtiments les plus répandues. Relativement simple, la procédure appliquée dans le cadre l'étape 2 tend à fournir des résultats conservateurs.

Pour la procédure de l'étape 3, la Centrale de coordination de la Confédération pour la mitigation des séismes et la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) ont élaboré conjointement le cahier technique SIA 2018 « Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants », qui a été publié en novembre 2004. Ce document standardise la vérification de la sécurité parasismique selon une approche basée sur le risque. La méthode appliquée consiste à évaluer si le coût du renforcement parasismique d'un bâtiment est proportionné, voire exigible, en se basant sur l'occupation moyenne de ce bâtiment, sur sa durée d'utilisation restante et sur son degré de conformité par rapport aux exigences pour la sécurité parasismique des nouveaux bâtiments.

Après la parution du cahier technique SIA 2018, il s'est avéré nécessaire d'adapter certains points des directives pour l'étape 2. La présente deuxième édition a été élaborée par le bureau Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, sur mandat de l'OFEV. Elle conserve l'identité visuelle de l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) pour rester cohérente avec les directives pour les étapes 1 et 3. Son remaniement a été suivi par un groupe d'experts. L'OFEV remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de cet ouvrage.

Ittigen, décembre 2006

Blaise Duvernay

Centrale de coordination de la Confédération pour la mitigation des séismes

### Impressum

Editeur: Office fédéral de l'environnement, OFEV

Tirage: Format PDF, à disposition sur le site Internet de l'OFEV  
[www.bafu.admin.ch/seismes](http://www.bafu.admin.ch/seismes) -> Publications sur les tremblements de terre

Source à mentionner: Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants – Concept et directives pour l'étape 2 (2<sup>e</sup> édition), OFEV (2006)

Copyright: © OFEV, Ittigen, 2006

# Table des matières

1. Procédure en trois étapes pour la vérification la sécurité parasismique des bâtiments existants	1
2. Procédure pour l'étape 2	3
3. Détermination de l'aptitude du bâtiment à être analysé à l'aide de calculs simples (méthode des forces de remplacement)	4
4. Calculs simples au moyen de la méthode des forces de remplacement et détermination du facteur de conformité	5
5. Identification des défauts importants au moyen d'un questionnaire	6
6. Recommandations pour la suite de la procédure	7
7. Documents à remettre	7
8. Liste bibliographique	8
9. Groupe de suivi	8
<b>Annexe</b>	
A Critères d'aptitude pour une analyse à l'aide de calculs simples	A1
B Questionnaire pour l'identification des défauts	B1
C Fiche de résultats concernant la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants selon l'étape 2	C1
D Prescriptions relatives à l'armature minimale figurant dans les normes suisses de construction traitant du béton	D1
E Exemple d'évaluation selon l'étape 2 pour un bâtiment en béton armé	E1

# 1. Procédure en trois étapes pour la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants

En vertu de la décision du Conseil fédéral du 11.12.2000, les services compétents de l'administration fédérale sont tenus de vérifier la sécurité parasismique des constructions appartenant aux classes d'ouvrages II et III ainsi que de toutes les constructions et installations de la Confédération faisant l'objet d'un projet de transformation ou d'assainissement. Ceci s'applique aux constructions de la Confédération comme à celles de tiers qui sont soumises aux autorités fédérales pour approbation ou pour subventionnement. Lorsque de graves lacunes sont constatées, des mesures de protection doivent être mises en œuvre, en tenant compte du principe de la proportionnalité des coûts. La Centrale de coordination de la Confédération pour la mitigation des séismes, rattachée à l'Office fédéral des eaux et de la géologie (à l'Office fédéral de l'environnement depuis 2006), a élaboré à cet effet une procédure en trois étapes applicable aux bâtiments (fig. 1).

Pour les bâtiments existants appartenant aux classes d'ouvrages II et III, la règle générale consiste à appliquer successivement les étapes 1, 2 et 3. Lorsqu'un projet de transformation ou d'assainissement est planifié, l'étape 3 doit être appliquée directement quelle que soit la classe d'ouvrage.

- Lors de l'**étape 1**, les caractéristiques principales du bâtiment sont relevées sur la base de plans d'architecte ou lors d'une visite, puis le risque sismique est établi sommairement à l'aide d'une check-list (**env. 3 à 5 heures par bâtiment**).

L'étape 1 ne requiert pas de calculs détaillés, mais ne délivre pas d'appréciation absolue. Les priorités pour l'étape 2 qui s'ensuit sont définies sur la base de l'indice de risque RZPS et de l'indice de probabilité d'effondrement WZ.

- Lors de l'**étape 2**, les défauts affectant la tenue au séisme du bâtiment sont identifiés sur la base de plans d'ingénieur, puis la sécurité parasismique est vérifiée approximativement à l'aide de calculs d'ingénieur simples (**env. 3 à 4 jours par bâtiment**).

Un questionnaire est à disposition pour la plupart des types structuraux présents en Suisse. L'étape 2 fournit généralement des résultats conservateurs en comparaison avec l'étape 3, plus approfondie. La mise en œuvre de l'étape 3 et son degré de priorité sont ensuite décidés en fonction de la gravité des défauts constatés et du niveau du facteur de conformité.

- Lors de l'**étape 3**, la sécurité parasismique est vérifiée exhaustivement, puis des propositions d'intervention sont élaborées si nécessaire (**une semaine ou plus par bâtiment**).

L'étape 3 se réfère au cahier technique SIA 2018 « Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants » (2004). La décision de savoir si un bâtiment doit être renforcé ou si son état actuel peut être accepté dépend de la valeur du facteur de conformité  $\alpha_{\text{eff}}$  (rapport entre la résistance et les actions selon les normes) et du degré d'efficacité des mesures de renforcement envisageables.

L'appréciation de la sécurité parasismique distingue trois cas:

1. Lorsque le facteur de conformité  $\alpha_{\text{eff}}$  est inférieur à la valeur limite  $\alpha_{\text{min}}$ , le risque individuel est jugé inacceptable et des mesures de renforcement doivent être appliquées si leur coût est exigible (100 millions de francs par vie humaine sauvée). S'il n'est pas possible d'atteindre un risque individuel acceptable sans dépasser le coût exigible, le risque sera limité en intervenant sur l'exploitation.

2. Lorsque le facteur de conformité  $\alpha_{\text{eff}}$  est situé entre les valeurs limites  $\alpha_{\text{min}}$  et  $\alpha_{\text{adm}}$ , les risques pour les personnes doivent être réduits en appliquant des mesures de renforcement si leur coût est proportionné (10 millions de francs par vie humaine sauvée).

3. Lorsque le facteur de conformité  $\alpha_{eff}$  est supérieur à la valeur limite  $\alpha_{adm}$ , l'état actuel peut être accepté.

Les directives de l'OFEV relatives aux trois étapes de vérification de la sécurité parasismique peuvent être téléchargées à la page Internet [www.bafu.admin.ch/seismes](http://www.bafu.admin.ch/seismes) -> Publications sur les tremblements de terre.

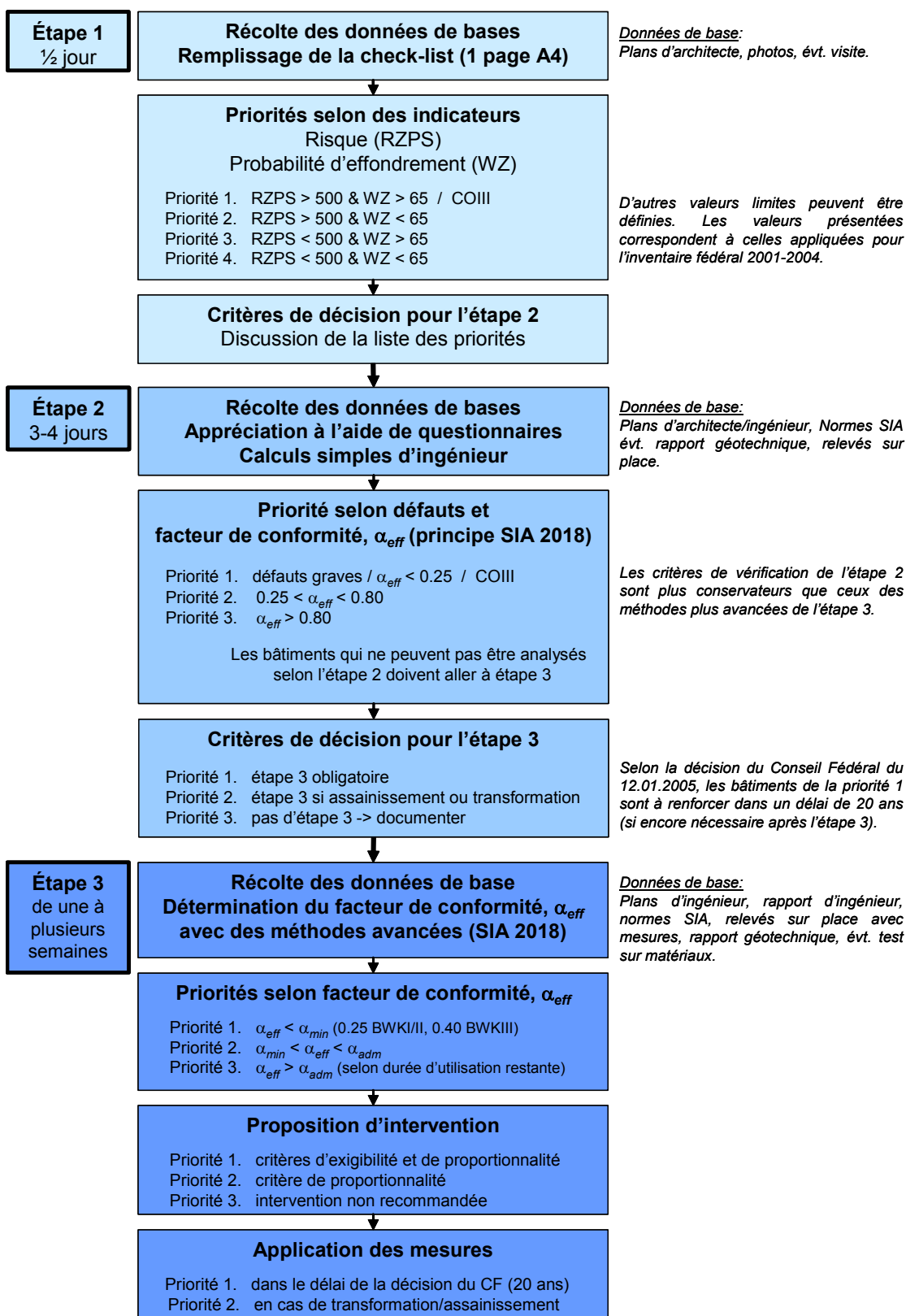


Figure 1: Présentation schématique de la procédure en trois étapes appliquée pour évaluer la sécurité parasismique des bâtiments existants.

## 2. Procédure pour l'étape 2

### 2.1 Introduction

Les présentes directives pour l'étape 2 applicables aux bâtiments existants se basent principalement sur des normes SIA conçues en premier lieu pour les nouvelles constructions (normes de structures porteuses SIA 260 à 267) et sur le cahier technique SIA 2018 (2004). Elles ont été complétées par des éléments tirés de la procédure exposée dans le manuel FEMA-310 (1998), une méthode développée aux États-Unis pour évaluer sommairement la sécurité parasismique des bâtiments existants. La première édition des directives pour l'étape 2 (2003) s'inspirait encore largement de la méthode FEMA-310, notamment parce que le cahier technique SIA 2018 n'était pas encore disponible.

### 2.2 Conditions posées à l'utilisateur

La personne qui applique cette procédure doit disposer de solides connaissances et d'une bonne expérience en génie parasismique. Ce préalable revêt une importance particulière lorsque les documents de base concernant le bâtiment sont lacunaires.

### 2.3 Champ d'application et types de structures porteuses

Ces directives sont utilisables pour vérifier la plupart des types structuraux présents en Suisse, mais elles se limitent aux bâtiments classiques à étages. Lorsqu'un bâtiment est divisé par des joints, chaque partie doit être considérée et évaluée comme s'il s'agissait d'un bâtiment autonome.

### 2.4 Systématique

L'étape 2 comprend les phases suivantes:

1. Acquérir les informations requises concernant le site et la structure porteuse; éventuellement de manière graduelle en fonction des résultats de la phase 2 ci-dessous.
2. Déterminer s'il est admissible de soumettre le bâtiment à une analyse simplifiée selon la méthode des forces de remplacement. Pour cela des critères relatifs aux principes de base de conception doivent être satisfaits (chap. 3 et annexe A). Lorsque l'analyse simplifiée est admissible, les phases suivantes 3 à 6 sont appliquées. Lorsqu'elle n'est pas admissible, une appréciation selon l'étape 3 est nécessaire.
3. Effectuer une évaluation visuelle du bâtiment si cela n'a pas encore été fait.
4. Répondre aux questions pertinentes introduites au chapitre 5 et détaillées à l'annexe B afin de repérer, puis d'évaluer les éventuels défauts.
5. Effectuer l'analyse simplifiée selon la méthode des forces de remplacement, en tenant compte des points mentionnés au chapitre 4.
6. Attribuer le bâtiment à l'une des deux classes de priorité conduisant à la décision concernant l'étape 3.

Lorsqu'on statue sur la légitimité de l'analyse simplifiée (point 2), il faut considérer le fait qu'elle fournit généralement des résultats conservateurs. C'est pourquoi elle n'est applicable qu'en l'absence de grosses irrégularités. Pour les bâtiments situés dans les zones 2 et 3, la décision doit être mieux étayée que pour les bâtiments situés en zone 1.

### 2.5 Acquisition des informations concernant le site et la structure porteuse

Pour vérifier la tenue au séisme d'un bâtiment, il faut disposer d'informations sur le site où il est implanté (situation, constitution et propriétés du sol de fondation) et sur sa structure porteuse (plans

d'ingénieur si possible ou plans d'architecte à défaut, données concernant l'état actuel, les transformations, les incidents éventuels, etc.). Pour assigner le sol de fondation à l'une des classes selon la norme SIA 261, on utilisera prioritairement les données géotechniques figurant éventuellement dans le dossier de construction du bâtiment et subsidiairement, si elles existent pour le site concerné, les cartes des classes de sols de fondation accessibles sur Internet (OFEV, 2005). Dans le cadre de l'étape 2, il faut procéder à une auscultation visuelle du bâtiment pour s'assurer qu'on traite bien son état actuel et acquérir ou compléter les informations requises si les plans de base sont insuffisants.

## 2.6 Temps nécessaire

Il faut compter en moyenne 3 à 4 jours par bâtiment pour mener à bien l'étape 2. Dans le cas d'un bâtiment divisé par des joints, ce chiffre s'applique à chacune des parties. Cette estimation est valable à condition que les plans de base requis puissent être obtenus sans démarches conséquentes.

# 3. Détermination de l'aptitude du bâtiment à être analysé à l'aide d'une méthode simplifiée (méthode des forces de remplacement)

## 3.1 Critères

Pour les nouveaux bâtiments, les critères déterminant si la méthode des forces de remplacement est applicable sont mentionnés dans la norme SIA 261, au chiffre 16.5.2.1. Il est pertinent d'appliquer également ces critères aux bâtiments existants, mais de manière moins stricte. Ceci est justifié par le fait que la méthode des forces de remplacement fournit des résultats conservateurs et que la présente procédure vise à classer les bâtiments étudiés selon un ordre de priorité en consentant un coût aussi faible que possible.

Les critères suivants K1 à K7 seront examinés (utiliser l'annexe A comme aide de travail):

- K1:** Un système porteur permettant de reprendre les efforts horizontaux et de les transmettre jusque dans le sol de fondation est identifiable à l'aide des documents de base disponibles. Si le bâtiment est fractionné par des joints, ce critère doit être satisfait pour chacune des parties du bâtiment.
- K2:** Tous les éléments essentiels du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux identifié sous le critère K1 sont continus de la fondation à leur sommet.
- K3:** La résistance à la torsion du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux est suffisamment élevée.
- K4:** La résistance aux efforts horizontaux des différents étages ne varie pas brusquement sur la hauteur du bâtiment (exceptions: transition au niveau du sous-sol, de l'étage d'encastrement ou de l'attique).
- K5:** Les planchers présentent dans leur plan une capacité portante notable vis-à-vis des sollicitations en traction et en compression agissant dans deux directions perpendiculaires et ils sont à même de transmettre les efforts aux éléments du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux.
- K6:** Une transmission suffisante des efforts tranchants des planchers aux parois porteuses est assurée.
- K7:** Toutes les parois sont ancrées aux planchers en traction et en compression perpendiculairement à leur plan ou elles satisfont au critère d'élançement suivant, sans tenir compte d'un appui latéral dû aux planchers: élançement des parois  $h/t \bullet 18$  en zone 1,  $h/t \bullet 14$  en zone 2 et  $h/t \bullet 10$  en zone 3).

Aucune valeur limite numérique n'est assignée à ces critères (à l'exception de K7). Il incombe au spécialiste en charge de l'étude d'évaluer si un critère est satisfait ou non. C'est pourquoi le contrôle de la plausibilité exigé au chiffre 3.1.4 de la norme SIA 260 revêt ici une grande importance.

### 3.2 Bilan de conformité aux critères K1 à K7

Lorsqu'un ou plusieurs des critères K1 à K7 ne sont pas satisfaits, on ne peut pas partir du principe que la méthode des forces de remplacement est conservatrice. Il faut alors examiner si cette méthode peut néanmoins être appliquée, et sous quelles conditions supplémentaires.

## 4. Calculs simples au moyen de la méthode des forces de remplacement et détermination du facteur de conformité

Les planchers des bâtiments jugés aptes au sens du chapitre 3 doivent être attribués à l'une des deux catégories suivantes en fonction de leur effet de diaphragme:

- planchers rigides dans leur plan (bon effet de diaphragme)
- planchers non rigides dans leur plan (mauvais effet de diaphragme)

Lorsque les planchers sont attribués à la catégorie « rigide », il y a lieu de procéder comme suit:

- Les forces de remplacement sont calculées pour les deux directions principales comme décrit aux chiffres 16.5.2.4 et 16.5.2.5 de la norme SIA 261. Le facteur d'importance  $\gamma_f$  est tiré du tableau 26 de la norme SIA 261.
- Les effets de la torsion dus aux excentricités effective et accidentelle du centre de masse par rapport au centre de rigidité sont à considérer de manière approximative. Si le critère K3 du chapitre 3 est rempli, la torsion due à une excentricité accidentelle peut être négligée.
- Le coefficient de comportement  $q$  est tiré des normes SIA 262 à 266 pour un comportement non ductile. Si le système porteur est mixte, on applique  $q = 1,5$ . Les dispositions constructives de l'armature sont à prendre en compte dans le choix du coefficient de comportement des structures en béton armé.
- Pour déterminer la période de vibration fondamentale, on doit utiliser un modèle de la structure porteuse (modèle simple du type « brochette ») ou la méthode de Rayleigh. Pour ce faire, la réduction effective de la rigidité due à la fissuration en cas de secousses sismiques doit être considérée de manière réaliste. L'application de l'équation 38 figurant au chiffre 16.5.2.3 de la norme SIA 261, conduit en règle générale à des résultats non réalistes et est de ce fait non recommandée.
- Les forces de remplacement peuvent être réparties sur les différentes parois porteuses à chaque étage sous l'hypothèse d'un comportement élastique, par exemple selon Bachmann (2002), chapitre 6.3.2.
- La transmission des efforts des planchers aux parois doit être examinée. En cas de doute, une vérification par le calcul est recommandée.

Lorsque les planchers sont attribués à la catégorie « non rigide », il y a lieu de déterminer les forces de remplacement comme suit:

- La surface totale des planchers est répartie sur les parois porteuses en négligeant les murs qui contribuent peu ou pas à la reprise des efforts horizontaux. Pour chaque paroi porteuse, la masse de chaque étage est déterminée comme étant la masse de la paroi entre les niveaux  $x+1/2$  et  $x-1/2$ , augmentée de la masse inhérente à la surface de plancher associée.



- Les forces de remplacement sont déterminées pour chaque paroi porteuse selon le principe exposé aux chiffres 16.5.2.4 et 16.5.2.5 de la norme SIA 261, avec  $S_d$  = valeur de plateau du spectre de dimensionnement. Le facteur d'importance  $\gamma_f$  est tiré du tableau 26 de la norme SIA 261.
- Le coefficient de comportement  $q$  est tiré des normes SIA 262 à 266 pour un comportement non ductile. Si le système porteur est mixte, on applique  $q = 1,5$ . Les dispositions constructives de l'armature sont à prendre en compte dans le choix du coefficient de comportement des structures en béton armé.
- La transmission des efforts des planchers aux parois doit être examinée. En cas de doute, une vérification par le calcul est recommandée.

Si cela s'avère nécessaire, il y a lieu de se procurer des informations complémentaires sur le bâtiment et de les utiliser lors des clarifications subséquentes. Une visite du bâtiment sera toujours effectuée avant de procéder aux calculs.

Dans le cas des bâtiments en maçonnerie, la résistance des différentes parois porteuses est généralement calculée en appliquant la théorie des champs de contrainte. La norme SIA 266 (2003) propose à cet effet des diagrammes de dimensionnement pour le cas du cisaillement combiné avec un effort normal centré. D'autres modèles applicables, leurs domaines d'application respectifs, et des exemples comparatifs sont décrits dans le document publié conjointement par l'EPFL, le CREALP et l'OFEV (2006).

Lorsqu'on calcule la résistance des éléments en béton armé, et à moins de disposer de données plus détaillées concernant l'armature effectivement mise en œuvre, il faut partir du principe qu'ils disposent de l'armature minimale usuellement appliquée à l'époque de leur construction. L'annexe D fournit une compilation des prescriptions relatives à l'armature minimale figurant dans les normes suisses de construction. En règle générale, la résistance au cisaillement des parois en béton armé peut être déterminée en admettant une inclinaison des bielles de compression de  $25^\circ$  selon la norme SIA 262.

Le cahier technique SIA 2018 comprend en annexe des indications concernant les principaux matériaux de construction utilisés par le passé ainsi que leurs caractéristiques mécaniques.

Il arrive fréquemment que l'armature des constructions en éléments préfabriqués en béton armé et surtout leurs liaisons soient insuffisantes pour satisfaire au critère K1. C'est pourquoi ces constructions doivent souvent être évaluées selon l'étape 3.

Le facteur de conformité  $\alpha_{\text{eff}}$  est calculé comme étant le rapport entre la résistance de l'élément considéré et la sollicitation à laquelle il est soumis, au sens de l'analyse basée sur les forces décrite dans le cahier technique SIA 2018. Est considéré comme facteur de conformité de l'ensemble du bâtiment la valeur la plus faible parmi celles de tous les éléments du système porteur pris en compte.

## 5. Identification des défauts importants au moyen d'un questionnaire

En étudiant les critères K1 à K7 selon le chapitre 3, les défauts affectant éventuellement la structure porteuse sont partiellement identifiés. C'est pourquoi les analyses restantes peuvent se limiter à des questions complémentaires pour l'identification des défauts. Ces questions figurent à l'annexe B.

Pour chaque question, une des quatre réponses proposées sera cochée: il n'y a pas de défaut lorsqu'on peut répondre « s » (satisfait) à la question posée; il y a défaut lorsqu'on répond « ns » (non satisfait) à la question; la réponse « na » (non applicable) est cochée lorsque la question porte sur un point ne concernant pas le bâtiment étudié; la réponse « ? » (données de base manquantes) signifie que les informations disponibles sont insuffisantes pour évaluer le point considéré. Chaque question est suivie d'une ligne vide pouvant être utilisée pour consigner des remarques particulières.

Les défauts identifiés de la sorte et les points non résolus faute d'informations seront évalués en fonction de leur importance (ampleur, conséquences) et de leur fréquence.

Cette appréciation sert aussi à déceler des problèmes affectant éventuellement les bâtiments sous d'autres actions.

## 6. Recommandations pour la suite de la procédure

La suite de la procédure est régie par l'ordre de priorité suivant, fixé en tenant compte du facteur de conformité calculé  $\alpha_{\text{eff}}$  et des défauts identifiés au moyen du questionnaire (voir aussi la fig. 1):

Priorité 1: présence de graves défauts ou  $\alpha_{\text{eff}} < 0,25$  ou classe d'ouvrages CO III.

Priorité 2:  $0,25 < \alpha_{\text{eff}} < 0,80$ .

Les bâtiments présentant un  $\alpha_{\text{eff}} > 0,80$  ne requièrent généralement pas d'autre examen.

Pour les bâtiments relevant de la priorité 1, la sécurité parasismique doit être examinée de manière plus approfondie en appliquant l'étape 3. Pour les bâtiments relevant de la priorité 2, l'étape 3 est mise en œuvre à l'occasion d'une transformation ou d'un assainissement.

La fiche synthétique figurant à l'annexe C, qui consigne les principaux résultats de l'appréciation selon l'étape 2, fournit une vue d'ensemble par bâtiment et permet de procéder à des comparaisons entre bâtiments.

## 7. Documents à remettre

Comme une longue période s'écoule fréquemment avant qu'une appréciation approfondie ne soit éventuellement entreprise, il est recommandé de constituer une documentation complète comprenant tous les documents de base et les résultats réunis dans le cadre de l'étape 2. Elle comprendra notamment:

- une liste des principaux documents utilisés;
- des dessins ou des plans de détail importants ou typiques concernant la structure porteuse;
- des photos présentant des vues d'ensemble et des détails importants;
- les hypothèses retenues et les résultats obtenus lors de l'étude des critères d'aptitude K1 à K7;

ainsi que (si une analyse simplifiée a été effectuée):

- le calcul des forces de remplacement et du facteur de conformité;
- le questionnaire rempli et une appréciation des défauts;
- la décision et le justificatif concernant le degré de priorité.

L'annexe E présente un exemple réel d'appréciation selon l'étape 2 pour un bâtiment en béton armé, au titre d'illustration d'une documentation typique.

Les annexes A, B et C en format formulaire Word sont également à télécharger dans le fichier zip « formulaires et exemples d'application Etape 2 » sur le site Internet de l'OFEV à la page <http://www.bafu.admin.ch/seismes> -> construction parasismique -> vulnérabilité et vérification des ouvrages existants.

## 8. Liste bibliographique

Bachmann (2002), Erdbebensicherung von Bauwerken, 2., überarbeitete Auflage, Birkhäuser Verlag, Zürich, April 2002.

EPFL, CREALP, OFEV (2006), Maçonnerie sollicitée parallèlement à son plan: cisaillement combiné avec un effort normal centré – Détermination de la résistance latérale. [www.bafu.admin.ch/seismes](http://www.bafu.admin.ch/seismes) -> Publications sur les tremblements de terre.

FEMA, Federal Emergency Management Agency (1998), Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings – A Prestandard, FEMA-310.

OFEV (2005), Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants – Concept et directives pour l'étape 1 (2<sup>e</sup> édition), Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne, [www.bafu.admin.ch/seismes](http://www.bafu.admin.ch/seismes) -> Publications sur les tremblements de terre.

OFEV (2005), Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants – Concept et directives pour l'étape 3 (1<sup>ère</sup> édition), Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne, [www.bafu.admin.ch/seismes](http://www.bafu.admin.ch/seismes) -> Publications sur les tremblements de terre.

OFEV (2005), Cartes des classes de sols de fondation selon la norme SIA 261, [www.bafu.admin.ch/seismes](http://www.bafu.admin.ch/seismes) -> L'aléa sismique en Suisse -> Effets de la géologie du site -> Carte des classes de sol de fondation selon la norme SIA 261.

SIA 2018 (2004), Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants, Cahier technique, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

SIA D 0211 (2005), Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants – Introduction au cahier technique SIA 2018, Documentation, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

## 9. Groupe de suivi

Les travaux relatifs à la deuxième édition de cette directive ont été suivis par le groupe suivant :

Président	Blaise Duvernay, ing. dipl. EPF, Ittigen	Office fédéral de l'environnement, Centrale de coordination pour la mitigation des séismes
Membres	Kerstin Pfyl-Lang, dr sc. techn. EPF, Dübendorf	EMPA, Dübendorf
	Martin Koller, dr sc. techn. EPF, Carouge	Résonance SA
	Pierino Lestuzzi, dr sc. techn. EPF, Lausanne	EPF Lausanne
	Jürg Michel, ing. dipl. HES, Berne	Holinger AG
	Robin Schaub, ing. dipl. EPF, Berne	Marchand + Partner AG
	Thomas Wenk, dr sc. techn. EPF, Zurich	Wenk Erdbebeningenieurwesen & Baudynamik GmbH
Elaboration	Burkhard Rast, ing. dipl. EPF, Zurich	Basler & Hofmann AG



## Annexe A

### Critères d'aptitude pour une analyse à l'aide de calculs simples

<b>Critère K1</b>	Un système porteur permettant de reprendre les efforts horizontaux et de les transmettre jusque dans le sol de fondation est identifiable à l'aide des documents de base disponibles. Si le bâtiment est fractionné par des joints, ce critère doit être satisfait pour chacune des parties du bâtiment.
Décision	Justification / remarques:
K1 satisfait <input type="checkbox"/>	
K1 non satisfait <input type="checkbox"/>	

<b>Critère K2</b>	Tous les éléments essentiels du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux identifié sous le critère K1 sont continus de la fondation à leur sommet.
Décision	Justification / remarques:
K2 satisfait <input type="checkbox"/>	
K2 non satisfait <input type="checkbox"/>	

<b>Critère K3</b>	La résistance à la torsion du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux est suffisamment élevée.
Décision	Justification / remarques:
K3 satisfait <input type="checkbox"/>	
K3 non satisfait <input type="checkbox"/>	

<b>Critère K4</b>	La résistance aux efforts horizontaux des différents étages ne varie pas brusquement sur la hauteur du bâtiment (exceptions: transition au niveau du sous-sol, de l'étage d'encastrement ou de l'attique).
Décision	Justification / remarques:
K4 satisfait <input type="checkbox"/>	
K4 non satisfait <input type="checkbox"/>	

<b>Critère K5</b>	Les planchers présentent dans leur plan une capacité portante notable vis-à-vis des sollicitations en traction et en compression agissant dans deux directions perpendiculaires et ils sont à même de transmettre les efforts aux éléments du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux.
Décision	Justification / remarques:
K5 satisfait <input type="checkbox"/>	
K5 non satisfait <input type="checkbox"/>	

<b>Critère K6</b>	Une transmission suffisante des efforts tranchants des planchers aux parois porteuses est assurée.
Décision	Justification / remarques:
K6 satisfait <input type="checkbox"/>	
K6 non satisfait <input type="checkbox"/>	

<b>Critère K7</b>	Toutes les parois sont ancrées aux planchers en traction et en compression perpendiculairement à leur plan ou elles satisfont au critère d'élançement suivant, sans tenir compte d'un appui latéral dû aux planchers: élançement des parois $h/t \leq 18$ en zone 1, $h/t \leq 14$ en zone 2 et $h/t \leq 10$ en zone 3).
Décision	Justification / remarques:
K7 satisfait <input type="checkbox"/>	
K7 non satisfait <input type="checkbox"/>	



## Annexe B

### Questionnaire pour l'identification des défauts

s: satisfait, ns: non satisfait, na: non applicable, ?: données de base manquantes

#### Systeme de bâtiment

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	SITE: le site est suffisamment éloigné de toute zone menacée par des glissements de terrain ou des éboulements qui pourraient être provoqués par des séismes, ou l'ouvrage est à même de résister aux déplacements du sol auxquels on peut s'attendre sans subir de dommages.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	---

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	BATIMENTS CONTIGUS: l'espacement avec tout bâtiment voisin est suffisamment grand. Si ce n'est pas le cas, les planchers des différents étages sont situés à la même hauteur que ceux du (des) bâtiment(s) voisin(s) et les bâtiments ont à peu près la même hauteur.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	---

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	ETAGES INTERMEDIAIRES: les étages intermédiaires internes sont soit contreventés dans les deux directions horizontales, indépendamment de la structure porteuse principale, soit reliés solidement au système de stabilisation pour les efforts horizontaux de la structure porteuse principale.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	CHAPE DE BETON SUR LES PLANCHERS: les planchers formés d'éléments en béton préfabriqué sont recouverts d'une chape de béton armé continue qui relie les éléments de béton entre eux.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	INFLUENCE DES PAROIS DE REMPLISSAGE: les parois de remplissage en maçonnerie des cadres sont séparées de la structure porteuse par des joints ou elles sont continues jusqu'à la base de la poutre supérieure et leur résistance (en tant que diaphragme) est faible en comparaison avec celle des colonnes des cadres.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	---

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DE L'ARMATURE DES STRUCTURES EN BETON ARME: La disposition de l'armature remplit à peu près les exigences minimales pour une construction non ductile selon la norme SIA 262.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	COLONNES COURTES DANS DES STRUCTURES PORTEUSES EN BETON: aucun étage ne comporte des colonnes dont le rapport entre la hauteur et l'épaisseur est inférieur à 2/3 du rapport caractérisant une colonne typique de l'étage considéré.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--

---

#### Etat

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	FONDATIONS: les fondations ne présentent aucun signe de mouvements notables tels que tassements ou soulèvements qui pourraient avoir porté atteinte à l'intégrité ou à la résistance de la structure porteuse.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	CORROSION DE L'ARMATURE: l'ensemble de la structure porteuse ne présente aucun signe laissant supposer que l'armature est endommagée ou présente des défauts.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	---

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	ECLATEMENT DU BETON: l'ensemble de la structure porteuse ne présente aucun éclatement du béton.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	---

---

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	PRECONTRAINTTE: les éléments de précontrainte ne présentent aucun signe de corrosion ou d'éclatement du béton.
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--

---

## Annexe B

---

s    ns    na    ?   FISSURES DANS LES PAROIS EN BETON OU LES COLONNES EN BETON: les éventuelles fissures diagonales ont une ouverture inférieure ou égale à 1 mm et ne sont pas concentrées localement.

---

s    ns    na    ?   CORROSION DES STRUCTURES PORTEUSES EN ACIER: l'ensemble de la structure porteuse ne présente aucun signe de corrosion.

---

s    ns    na    ?   BRIQUES DE MAÇONNERIE: les briques de maçonnerie ne présentent aucun dommage.

---

s    ns    na    ?   JOINTS DE MAÇONNERIE: le mortier ne peut pas être gratté facilement au moyen d'un outil en métal utilisé manuellement et il ne manque dans aucun joint.

---

s    ns    na    ?   FISSURES DANS LES PAROIS EN MAÇONNERIE: les éventuelles fissures diagonales ont une ouverture inférieure ou égale à 1 mm et les joints d'assise ne présentent aucun déplacement perpendiculaire au plan de la paroi supérieur à 3 mm.

---

s    ns    na    ?   ELEMENTS DE FIXATION: les fixations des éléments apposés à l'extérieur du bâtiment ne présentent aucun signe de corrosion, ni d'autre défaut ou dommage.

---

s    ns    na    ?   ELEMENTS DE FAÇADES: l'ensemble de l'ouvrage ne comprend aucun élément de façade endommagé.

---

### Liaisons

---

s    ns    na    ?   TRANSMISSION DES EFFORTS DES PLANCHERS EN BETON ARME AUX PAROIS PORTEUSES: à la jonction avec les parois porteuses, les planchers, et en particulier leur armature, sont conçus de façon à pouvoir transmettre les efforts horizontaux dans les parois porteuses.

---

s    ns    na    ?   TRANSMISSION DES EFFORTS DANS LES CADRES EN ACIER: les planchers sont reliés aux cadres en acier de façon à pouvoir transmettre les efforts horizontaux dans les cadres.

---

s    ns    na    ?   LIAISON DES CHAPES DE BETON AVEC LES PAROIS PORTEUSES ET LES CADRES: les chapes de béton qui recouvrent les planchers en béton préfabriqué sont reliées aux parois porteuses et aux cadres par des goujons.

---

s    ns    na    ?   LIAISON ENTRE LES POUTRES ET LES ELEMENTS PORTEURS VERTICAUX: les appuis des poutres sont conçus de manière à éviter qu'elles puissent tomber ou se déverser. Pour éviter que les poutres puissent tomber, elles sont soit fixées aux appuis, soit la longueur des appuis est au moins égale à 1/70 de leur portée, mais de 150 mm au minimum dans tous les cas.

---

### Éléments de construction non porteurs

---

s    ns    na    ?   FIXATION DES PAROIS NON PORTEUSES: les parois non porteuses en maçonnerie non armée, y compris les parois de remplissage des cadres, sont suffisamment maintenues contre les forces qui s'exercent perpendiculairement à leur plan.

---



## Annexe B

---

s    ns    na    ?   PLAFONDS SUSPENDUS: les plafonds suspendus susceptibles de présenter un danger pour les personnes sont suffisamment tenus aux éléments porteurs sus-jacents dans les deux directions horizontales.

---

s    ns    na    ?   APPUI CONTRE DES PLAFONDS SUSPENDUS: aucune paroi non porteuse ne s'appuie contre un plafond suspendu.

---

s    ns    na    ?   TOITS: les éléments de toit en métal, en fibre de verre ou en ciment sont reliés solidement au système porteur du toit.

---

s    ns    na    ?   FAÇADES: les façades sont suffisamment maintenues à la structure porteuse du bâtiment contre les forces qui s'exercent dans toutes les directions. Chaque élément de façade est maintenu par au moins deux fixations.

---

s    ns    na    ?   MAÇONNERIE A DEUX « PEAUX »: la « peau » extérieure de la maçonnerie à deux « peaux » est suffisamment maintenue dans le sens perpendiculaire à la paroi.

---

s    ns    na    ?   PARAPETS EN MAÇONNERIE NON ARMÉE: aucun parapet en maçonnerie non armée d'élanacement supérieur à 2.5 ne se trouve au niveau du toit.

---

s    ns    na    ?   CHEMINEES EN MAÇONNERIE NON ARMÉE: les cheminées en maçonnerie non armée ont un élanacement égal à 5 au maximum (calculé à partir du point d'ancrage supérieur, aucun ancrage ne se trouvant généralement à la hauteur du passage à travers le toit) et elles sont suffisamment ancrées à la structure porteuse.

---

s    ns    na    ?   TOITS DE CHEMINEE: les toits de cheminée sont suffisamment ancrés aux cheminées.

---



## Annexe C

### Fiche de résultats concernant la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants selon l'étape 2

Auteur: \_\_\_\_\_ Société: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

#### Informations générales sur le bâtiment

Lieu, adresse: \_\_\_\_\_

Désignation du bâtiment: \_\_\_\_\_ Code: \_\_\_\_\_

Coordonnées CH [m] E: 

--	--	--	--	--	--	--

 N: 

--	--	--	--	--	--	--

 N° commune: 

--	--	--	--

 Canton: 

--	--

Année de constr.: \_\_\_\_\_ Année de transform.: \_\_\_\_\_ Fonction: \_\_\_\_\_

Occupation selon le cahier technique SIA 2018, ch. 10.4.7: PB = \_\_\_\_\_

Ingénieur auteur du contrôle: \_\_\_\_\_

Service fédéral compétent: \_\_\_\_\_

Subdivision en plusieurs compartiments:  oui /  non; si oui: compartiment traité ici: \_\_\_\_\_,

autre(s) partie(s), cf. feuille(s) \_\_\_\_\_

Surface en plan: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> Longueur: \_\_\_\_\_ m Largeur: \_\_\_\_\_ m

Nombre d'étages: \_\_\_\_\_; dont sous le niveau du terrain: \_\_\_\_\_ Hauteur typique d'un étage: \_\_\_\_\_ m

Hauteur du bâtiment à partir des fondations: \_\_\_\_\_ m; à partir du niveau du terrain: \_\_\_\_\_ m

#### Données caractéristiques concernant la structure porteuse et l'action sismique

Classe d'ouvrages CO:  I /  II /  III (motif: \_\_\_\_\_)

Zone sismique:  1 /  2 /  3a /  3b

Classe de sol de fondation:  A /  B /  C /  D /  E /  F; si F: description: \_\_\_\_\_

Période de vibration fondamentale: direction transv.: \_\_\_\_\_ s; dir. long.: \_\_\_\_\_ s; méthode: \_\_\_\_\_

Description succincte de la structure porteuse: \_\_\_\_\_

#### Principaux résultats du contrôle

Critères d'aptitude:	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	Satisfait	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Non satisfait	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Méthode des forces de remplacement applicable:  oui /  non /  seulement sous les conditions suivantes: \_\_\_\_\_

Méthode des forces de remplacement sous l'hypothèse:  planchers rigides  planchers non rigides

Construction des planchers: \_\_\_\_\_

Accélération spectrale de dimensionnement  $S_d$  pour le coefficient de comportement  $q =$  \_\_\_\_\_ :

dir. transversale:  $S_d =$  \_\_\_\_\_ % g; dir. longitudinale:  $S_d =$  \_\_\_\_\_ % g; valeur du plateau:  $S_d =$  \_\_\_\_\_ % g

Force de remplacement horizontale globale: dir. transversale: \_\_\_\_\_ kN; dir. longitudinale: \_\_\_\_\_ kN

Éléments (de constr.) déterminants pour le facteur de conformité: \_\_\_\_\_

Facteur de conformité selon l'étape 2:  $\alpha_{eff} =$  \_\_\_\_\_ (transversalement),  $\alpha_{eff} =$  \_\_\_\_\_ (longitudinalement)

Défauts selon le questionnaire:

graves: \_\_\_\_\_

peu graves: \_\_\_\_\_

Degré de priorité d'investigations complémentaires:  1 /  2 /  pas d'autre examen requis



## ANNEXE D

### Armature minimale dans les normes de béton armé en Suisse

Norme ou prescriptions	Pièces comprimées		Parois porteuses		Poutres ou sommiers	Dalles dans le sens longitudinal et perpendiculaire
	dans le sens vertical	dans le sens horizontal	dans le sens vertical	dans le sens horizontal	étriers	
Norme SIA provisoire (1903)	---	---	---	---	---	---
Prescriptions provisoires des chemins de fer suisses (1906)	---	---	---	---	---	---
Prescriptions de l'EMPA (1909)	0,6%	---	---	---	---	---
Ordonnance fédérale (1915)	0,6%	---	---	---	---	---
SIA 112 (1935)	0,25% <sup>1)</sup>	$s \leq 15\varnothing_{\min}$ $s \leq a_{\min}$	---	---	---	---
SIA 112 (1942)	0,25% <sup>1)</sup>	$s \leq 15\varnothing_{\min}$ $s \leq a_{\min}$	---	---	---	---
SIA 162 (1956)	0,6% <sup>1)</sup>	$s \leq 15\varnothing_{\min}$ $s \leq a_{\min}$	---	---	---	0,2% <sup>3)</sup>
SIA 162 (1968)	0,6% <sup>1)</sup> $\geq 0,3\%$	$s \leq 15\varnothing_{\min}$ $s \leq a_{\min}$	---	---	0,15%	0,1%
SIA 162 (1989)	0,6% <sup>2)</sup>	$s \leq 15\varnothing_{\min}$ $s \leq a_{\min}$ $s \leq 300 \text{ mm}$	0,6% <sup>1)</sup>	4)	0,2%	4)
SIA 162 (1993)	0,6% <sup>2)</sup>	$s \leq 15\varnothing_{\min}$ $s \leq a_{\min}$ $s \leq 300 \text{ mm}$	0,6% <sup>1)</sup>	4)	0,2%	4)
SIA 262 (2003)	0,6% <sup>2)</sup>	$s \leq 15\varnothing_{\min}$ $s \leq a_{\min}$ $s \leq 300 \text{ mm}$	0,6% <sup>1)</sup>	25% de l'armature verticale	0,2%	4)

<sup>1)</sup> par rapport à l'aire de la section de béton requise pour assurer la sécurité structurale

<sup>2)</sup> par rapport à l'aire d'une couche périphérique d'une épaisseur d'au moins 200 mm

<sup>3)</sup> si l'armature porteuse est disposée dans une seule direction

<sup>4)</sup> selon les exigences pour l'aptitude au service (aucune en zone de compression)



## Exemple d'une vérification selon l'étape 2 pour un bâtiment en béton armé

### 1. Objet

Le bâtiment exemple (voir figure D1) est à vérifier selon l'étape 2 de la procédure d'inventaire de la sécurité parasismique des bâtiments de la Confédération (OFEV).



Figure E1: Bâtiment exemple, vue due nord-est

## 2. Données de base

Les documents et plans suivants concernant le bâtiment exemple sont à disposition:

- [1] Bureau d'architecture Muster; "Plans d'architecte, bâtiment exemple", 1<sup>er</sup> sous-sol (C) jusqu'au 4<sup>ème</sup> étage (H), 19xx
- [2] Bureau d'ingénieur Muster; "Plans de coffrage et d'armature", 1<sup>er</sup> sous-sol (C) jusqu'au 4<sup>ème</sup> étage (H), 19xx
- [3] Muster SA; "Rapport géotechnique du bâtiment exemple", Rapport Nr. xxxx, 19xx

Le xx.yy.zzzz, une évaluation visuelle du bâtiment avec prises de vues a été effectuée:

- [4] Visite sur place avec documentation photographique

## 3. Description de l'objet

### 3.1. Dimensions et utilisation

Le bâtiment, qui est utilisé comme bâtiment de bureaux et comme bibliothèque, a 6 étages (sous-sol, rez-de-chaussée, et étages 1 à 4). L'étage supérieur (étage technique) est en retrait. Le rez-de-chaussée et en partie le 1er étage on une partie intérieure et une partie extérieure. La surface au sol est de 28,80 par 28,80 m et de 14,56 × 14,56 m pour le dernier étage. Le bâtiment se trouve sur un terrain en légère pente. Le terrain se trouve au niveau de la dalle sur sous-sol du côté ouest et au niveau de la dalle sur rez-de-chaussée du côté est. Le bâtiment fait 17.86 m de haut (rez-de-chaussée au 4<sup>ème</sup> étage). Les hauteurs d'étage varient de 2,94 m (4<sup>ème</sup> étage) à 4,60 m (sous-sol).

### 3.2. Concept de la structure porteuse

Le bâtiment est de type ossature en béton armé (béton coulé sur place) avec des dalles plates, des colonnes et des parois porteuses. Les dalles d'étage ne sont pas précontraintes. Elles ont une épaisseur allant de 14 à 40 cm avec une épaisseur qui varient sur un même étage. En plan, le bâtiment peut être décrit comme régulier avec une partie centrale munie de deux noyaux stabilisateurs séparés en béton armé et une partie périphérique avec 12 colonnes en béton armé (voir figure D2).

Les parois en béton armé des noyaux de contreventement ont une épaisseur de 20 cm. Les noyaux servent à la reprise des actions verticales ainsi qu'à la reprise des actions dues au vent et aux séismes. Les noyaux vont du sous-sol au 3<sup>ème</sup> étage. Ils sont encastrés dans l'étage très rigide du sous-sol. Du sous-sol au 1<sup>er</sup> étage se trouve également une paroi de 16 à 20 cm d'épaisseur et d'environ 10 m de long dans la direction nord/sud (entre les axes C et D et allant des axes 1 à 4). Au sous-sol et au rez-de-chaussée, les deux extrémités ouest des noyaux sont reliées par une paroi en béton armé de 20 cm d'épaisseur (entre les axes 4 et 6). D'autres parois secondaires sont présentes au rez-de-chaussée. Le quatrième étage à une disposition différente des parois en béton armé. Grâce à la paroi périphérique de 16 cm d'épaisseur cet étage peut être considéré comme rigide. L'épaisseur des parois au 4<sup>em</sup> étage varie de 15 à 20 cm.



Les colonnes en béton armé vont du sous-sol jusqu'au 3<sup>ème</sup> étage. Leur section est de 0,7 × 0,7 m du sous-sol au 1<sup>er</sup> étage et de 0,5 × 0,5 m au 2<sup>ème</sup> et au 3<sup>ème</sup> étage. Elles servent à reprendre la majorité des actions verticales ainsi qu'une faible partie de l'action sismique horizontale par effet cadre avec les dalles plates. Pour la vérification selon les directives de l'étape 2, cette faible résistance supplémentaire à l'action sismique horizontale sera négligée.

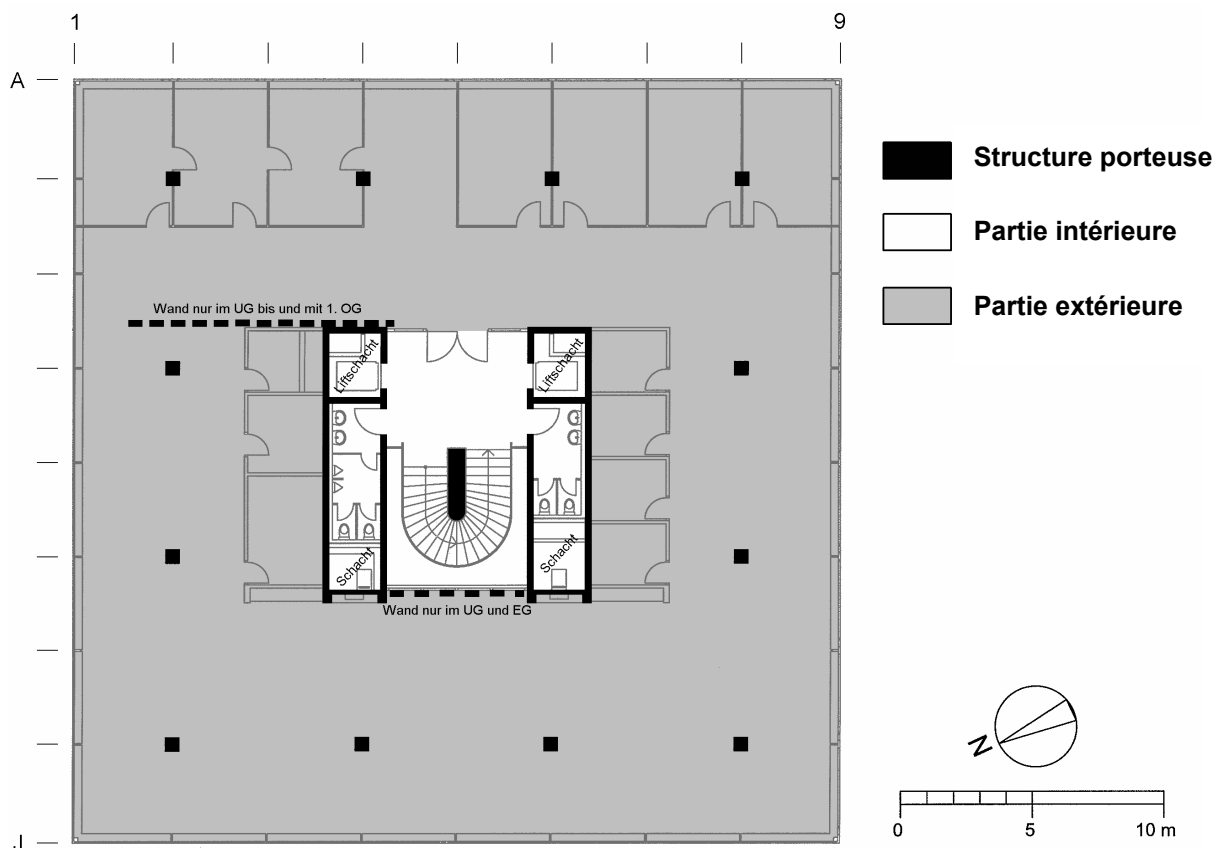


Figure E2: Vue en plan du 2<sup>ème</sup> étage – structure porteuse, puits, délimitation des parties intérieure et extérieur

### 3.3. Fondations et sol de fondation

Le bâtiment est fondé sur un sol de bonne qualité par l'intermédiaire d'un radier général d'épaisseur allant de 0.6 m à 0.9 m avec des renforcements locaux sous les colonnes. Selon [3], une moraine compacte de bonne portance d'une épaisseur d'au moins 30 m est rencontrée à faible profondeur sous la surface du terrain.

## 4. Application de l'étape 2

Selon l'annexe A de la directive pour l'étape 2, les critères d'aptitude pour une analyse selon des calculs simples sont vérifiés (voir pièce jointe n°2).

Sur la base de l'aptitude pour une analyse selon des calculs simples, des aspects constructifs importants de la conception parasismique du bâtiment exemple sont jugés satisfaisants. Cependant, des défauts importants peuvent encore être présents. Ceux-ci sont décelés par le questionnaire de l'annexe B de la directive pour l'étape 2 (voir pièce jointe n°3).

Les calculs simplifiés avec la méthode des forces de remplacement selon la directive pour l'étape 2 sont documentés dans la pièce jointe n°4.

## 5. Résultats et suites à donner

Les résultats de la vérification de la sécurité parasismique selon les directives de l'étape 2 sont résumées sur la fiche de résultat (voir pièce jointe n°1).

Les critères d'aptitude pour une analyse selon des calculs simples sont remplis pour le bâtiment exemple. Selon ce résultat une analyse selon la méthode conservatrice des forces de remplacement a été effectuée. Celle-ci donne comme résultat que la résistance à la flexion sous effort normal des parois porteuses au 1<sup>er</sup> étage entre les axes F et G est déterminante. La raison en est une armature verticale relativement faible et une prise en compte conservatrice des largeurs participantes des tables de compression. Le facteur de conformité de ces parois porteuses et par la même du bâtiment est de  $\alpha_{\text{eff}} = 0,79$ .

En tenant compte du conservatisme des calculs effectués selon la méthode des forces de remplacement, il peut être affirmé que le facteur de conformité serait clairement supérieur à 0,80 sur la base de calculs plus avancés. En conséquence, selon les critères des directives pour l'étape 2, des études complémentaires ne sont pas nécessaires. La plupart des éléments porteurs ont un facteur de conformité d'au moins 1,0 selon une analyse selon la méthode des forces de remplacement et remplissent de facto les exigences des normes SIA actuellement en vigueur.

Une attention particulière lors de travaux d'assainissement ou de transformations futurs du bâtiment devra toutefois être apportée aux éléments non porteurs, qui selon le questionnaire, comportent quelques défauts ou inconnues.

### Pièces jointes

Pièce jointe n°1	Fiche de résultats concernant la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants selon l'étape 2
Pièce jointe n°2	Critères d'aptitude pour une analyse selon des calculs simples
Pièce jointe n°3	Questionnaire pour l'identification des défauts
Pièce jointe n°4	Bâtiment exemple, calculs avec la méthode des forces de remplacement
Pièce jointe n°5	Documentation photographique (non figurée dans l'exemple d'application)

## Annexe C

## Fiche de résultats concernant la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants selon l'étape 2

Auteur: Y. Mondet Société: Basler & Hofmann Date: 15.12.2006

### Informations générales sur le bâtiment

Lieu, adresse: xy

Désignation du bâtiment: Bâtiment exemple Code:1234-ab

Coordonnées CH [m] E: eeeeee N: nnnnnn N° commune: cccc Canton: cc

Année de construction:1969 Année de transformation:- Fonction: bureaux et bibliothèque

Occupation selon le cahier technique SIA 2018, ch. 10.4.7: PB = 30

Ingénieur auteur du contrôle: Y. Mondet, Dipl. Bau-Ing. ETH

Service fédéral compétent: xy

Subdivision en plusieurs compartiments:  oui /  non; si oui: partie traité ici: -

Autre(s) partie(s), cf. feuille(s) -

Surface en plan: 829 m<sup>2</sup> Longueur: 28.80 m Largeur: 28.80 m

Nombre d'étages: 6; dont sous le niveau du terrain: 1 Hauteur typique d'un étage: 3 à 4 m

Hauteur du bâtiment à partir des fondations: 22.5 m; à partir du niveau du terrain: 17.9 m

### Données caractéristiques concernant la structure porteuse et l'action sismique

Classe d'ouvrages CO:  I /  II /  III (justification: utilisation: bureaux)

Zone sismique:  1 /  2 /  3a /  3b

Classe de sol de fondation:  A /  B /  C /  D /  E /  F; si F: description:

Période de vibration fondamentale: direction transversale: 0.7 s; dir. longitudinale: << 0.7 s; méthode: modèle statique de type "brochette" (calcul par éléments finis)

Description succincte de la structure porteuse: bâtiment à ossature en béton armé coulé sur place avec colonnes et dalles plates, ainsi que noyaux et parois en béton armé; dalles non précontraintes.

### Principaux résultats du contrôle

Critères d'aptitude:	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	Satisfait	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Non satisfait	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Méthode des forces de remplacement applicable:  oui /  non /  seulement sous les conditions suivantes:

Méthode des forces de remplacement sous l'hypothèse:  planchers rigides  planchers non rigides

Construction des planchers: dalles en béton armé coulé sur place non précontraintes

Accélération spectrale de dimensionnement  $S_d$  pour le coefficient de comportement  $q = 2$  :

dir. transversale:  $S_d = 7.6 \% g$ ; dir. longitudinale:  $S_d = 8.8 \% g$ ; valeur du plateau:  $S_d = 8.8 \% g$

Force de remplacement horizontale globale: dir. transversale: 3'337 kN; dir. longitudinale: 3'864 kN

Eléments (de constr.) déterminants pour le facteur de conformité: flexion des parois/noyaux au 1<sup>er</sup> étage

Facteur de conformité selon l'étape 2:  $\alpha_{eff} = 0.8$  (transversalement),  $\alpha_{eff} = > 1.0$  (longitudinalement)

Défauts selon le questionnaire:

graves: aucun

peu graves: parois non porteuses en maçonnerie non tenues latéralement; incertitudes concernant l'état et les dispositions constructives des fixations de la façade, des éléments de toiture, ainsi que des plafonds suspendus

Degré de priorité d'investigations complémentaires:  1 /  2 /  pas d'autre examen requis



## Annexe A

## Critères d'aptitude pour une analyse à l'aide de calculs simples

<b>Critère K1</b>	Un système porteur permettant de reprendre les efforts horizontaux et de les transmettre jusque dans le sol de fondation est identifiable à l'aide des documents de base disponibles. Si le bâtiment est fractionné par des joints, ce critère doit être satisfait pour chacune des parties du bâtiment.
Décision K1 satisfait <input checked="" type="checkbox"/> K1 non satisfait <input type="checkbox"/>	Justification / remarques:  Les noyaux en béton armé liés aux dalles en béton armé constituent le système statique pour la reprise des efforts horizontaux.
<b>Critère K2</b>	Tous les éléments essentiels du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux identifié sous le critère K1 sont continus de la fondation à leur sommet.
Décision K2 satisfait <input checked="" type="checkbox"/> K2 non satisfait <input type="checkbox"/>	Justification / remarques:  Toutes les parois des noyaux sont continues du niveau de fondation jusqu'au au 3 <sup>ème</sup> étage. Le quatrième étage (attique) possède son propre système stabilisateur sous forme de murs périphériques en béton armé.
<b>Critère K3</b>	La résistance à la torsion du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux est suffisamment élevée.
Décision K3 satisfait <input checked="" type="checkbox"/> K3 non satisfait <input type="checkbox"/>	Justification / remarques:  Une résistance suffisante à la torsion est garantie par les parois en béton armé des noyaux en périphérie de la partie centrale, ainsi que par les cadres formés par les colonnes bi-encastées et les dalles plates. De plus, l'agencement symétrique des éléments porteurs garantit que les effets de torsion sont négligeables.
<b>Critère K4</b>	La résistance aux efforts horizontaux des différents étages ne varie pas brusquement sur la hauteur du bâtiment (exceptions: transition au niveau du sous-sol, de l'étage d'encastrement ou de l'attique).
Décision K4 satisfait <input checked="" type="checkbox"/> K4 non satisfait <input type="checkbox"/>	Justification / remarques:  Des sauts de résistance sont constatés entre le 4 <sup>ème</sup> et le 3 <sup>ème</sup> étage, entre le 2 <sup>ème</sup> et le 1 <sup>er</sup> étage, entre le 1 <sup>er</sup> étage et le rez-de-chaussée, ainsi qu'entre le rez-de-chaussée et le sous-sol. Le premier et le dernier cas sont permis, les autres cas sont acceptables car la résistance augmente vers le bas.
<b>Critère K5</b>	Les planchers présentent dans leur plan une capacité portante notable vis-à-vis des sollicitations en traction et en compression agissant dans deux directions perpendiculaires et ils sont à même de transmettre les efforts aux éléments du système porteur destiné à reprendre les efforts horizontaux.
Décision K5 satisfait <input checked="" type="checkbox"/> K5 non satisfait <input type="checkbox"/>	Justification / remarques:  Les dalles plates en béton armé non précontraint, d'environ 30 cm d'épaisseur, sont liées aux parois de manière suffisante et garantissent un effet de diaphragme.
<b>Critère K6</b>	Une transmission suffisante des efforts tranchants des planchers aux parois porteuses est assurée.
Décision K6 satisfait <input checked="" type="checkbox"/> K6 non satisfait <input type="checkbox"/>	Justification / remarques:  Les parois porteuses stabilisatrices sont liées aux dalles en traction, ainsi qu'au moins sur un côté à l'effort tranchant (y.c. armature), voir aussi commentaire au critère K5.
<b>Critère K7</b>	Toutes les parois sont ancrées aux planchers en traction et en compression perpendiculairement à leur plan ou elles satisfont au critère d'élancement suivant, sans tenir compte d'un appui latéral dû aux planchers: élancement des parois $h/t \leq 18$ en zone 1, $h/t \leq 14$ en zone 2 et $h/t \leq 10$ en zone 3).
Décision K7 satisfait <input checked="" type="checkbox"/> K7 non satisfait <input type="checkbox"/>	Justification / remarques:  L'armature des parois porteuses pénètre dans les dalles ou est continue à travers les dalles à tous les étages.



## Annexe B

## Questionnaire pour l'identification des défauts

s: satisfait, ns: non satisfait, na: non applicable, ?: données de base manquantes

## Système de bâtiment

<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	SITE: le site est suffisamment éloigné de toute zone menacée par des glissements de terrain ou des éboulements qui pourraient être provoqués par des séismes, ou l'ouvrage est à même de résister aux déplacements du sol auxquels on peut s'attendre sans subir de dommages.
<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	BATIMENTS CONTIGUS: l'espacement avec tout bâtiment voisin est suffisamment grand. Si ce n'est pas le cas, les planchers des différents étages sont situés à la même hauteur que ceux du (des) bâtiment(s) voisin(s) et les bâtiments ont à peu près la même hauteur.
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	ETAGES INTERMEDIAIRES: les étages intermédiaires internes sont soit contreventés dans les deux directions horizontales, indépendamment de la structure porteuse principale, soit reliés solidement au système de stabilisation pour les efforts horizontaux de la structure porteuse principale. Pas d'étages intermédiaires présents
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	CHAPE DE BETON SUR LES PLANCHERS: les planchers formés d'éléments en béton préfabriqué sont recouverts d'une chape de béton armé continue qui relie les éléments de béton entre eux. Pas de planchers en béton préfabriqué présents
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	INFLUENCE DES PAROIS DE REMPLISSAGE: les parois de remplissage en maçonnerie des cadres sont séparées de la structure porteuse par des joints ou elles sont continues jusqu'à la base de la poutre supérieure et leur résistance (en tant que diaphragme) est faible en comparaison avec celle des colonnes des cadres. Pas de parois de remplissages de cadres présentes
<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DE L'ARMATURE DES STRUCTURES EN BETON ARME: La disposition de l'armature remplit à peu près les exigences minimales pour une construction non ductile selon la norme SIA 262.
<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	COLONNES COURTES DANS DES STRUCTURES PORTEUSES EN BETON: aucun étage ne comporte des colonnes dont le rapport entre la hauteur et l'épaisseur est inférieur à 2/3 du rapport caractérisant une colonne typique de l'étage considéré.

## Etat

<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	FONDATIONS: les fondations ne présentent aucun signe de mouvements notables tels que tassements ou soulèvements qui pourraient avoir porté atteinte à l'intégrité ou à la résistance de la structure porteuse.
<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	CORROSION DE L'ARMATURE: l'ensemble de la structure porteuse ne présente aucun signe laissant supposer que l'armature est endommagée ou présente des défauts.
<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	ECLATEMENT DU BETON: l'ensemble de la structure porteuse ne présente aucun éclatement du béton.
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	PRECONTRAINTTE: les éléments de précontrainte ne présentent aucun signe de corrosion ou d'éclatement du béton. Pas de précontrainte présente

## Annexe B

<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	FISSURES DANS LES PAROIS EN BETON OU LES COLONNES EN BETON: les éventuelles fissures diagonales ont une ouverture inférieure ou égale à 1 mm et ne sont pas concentrées localement.
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	CORROSION DES STRUCTURES PORTEUSES EN ACIER: l'ensemble de la structure porteuse ne présente aucun signe de corrosion. il ne s'agit pas d'une structure porteuse en acier
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	BRIQUES DE MAÇONNERIE: les briques de maçonnerie ne présentent aucun dommage. Il ne s'agit pas d'une structure porteuse en maçonnerie
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	JOINTS DE MAÇONNERIE: le mortier ne peut pas être gratté facilement au moyen d'un outil en métal utilisé manuellement et il ne manque dans aucun joint. Il ne s'agit pas d'une structure porteuse en maçonnerie
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	FISSURES DANS LES PAROIS EN MAÇONNERIE: les éventuelles fissures diagonales ont une ouverture inférieure ou égale à 1 mm et les joints d'assise ne présentent aucun déplacement perpendiculaire au plan de la paroi supérieur à 3 mm. Il ne s'agit pas d'une structure porteuse en maçonnerie
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input checked="" type="checkbox"/> ?	ELEMENTS DE FIXATION: les fixations des éléments apposés à l'extérieur du bâtiment ne présentent aucun signe de corrosion, ni d'autre défaut ou dommage. les éléments de fixation n'ont pas pu être visualisés lors des relevés sur place
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input checked="" type="checkbox"/> ?	ELEMENTS DE FAÇADES: l'ensemble de l'ouvrage ne comprend aucun élément de façade endommagé. vérifié par sondage lors des relevés sur place, dégâts éventuels non observés possibles

## Liaisons

<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	TRANSMISSION DES EFFORTS DES PLANCHERS EN BETON ARME AUX PAROIS PORTEUSES: à la jonction avec les parois porteuses, les planchers, et en particulier leur armature, sont conçus de façon à pouvoir transmettre les efforts horizontaux dans les parois porteuses.
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	TRANSMISSION DES EFFORTS DANS LES CADRES EN ACIER: les planchers sont reliés aux cadres en acier de façon à pouvoir transmettre les efforts horizontaux dans les cadres. il ne s'agit pas d'une structure porteuse en acier
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	LIAISON DES CHAPES DE BETON AVEC LES PAROIS PORTEUSES ET LES CADRES: les chapes de béton qui recouvrent les planchers en béton préfabriqué sont reliées aux parois porteuses et aux cadres par des goujons. dalles en béton armé coulées sur place
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	LIAISON ENTRE LES POUTRES ET LES ELEMENTS PORTEURS VERTICAUX: les appuis des poutres sont conçus de manière à éviter qu'elles puissent tomber ou se déverser. Pour éviter que les poutres puissent tomber, elles sont soit fixées aux appuis, soit la longueur des appuis est au moins égale à 1/70 de leur portée, mais de 150 mm au minimum dans tous les cas. pas de poutres présentes

## Éléments de construction non porteurs

<input type="checkbox"/> s	<input checked="" type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	FIXATION DES PAROIS NON PORTEUSES: les parois non porteuses en maçonnerie non armée, y compris les parois de remplissage des cadres, sont suffisamment maintenues contre les forces qui s'exercent perpendiculairement à leur plan. les parois en maçonnerie non porteuses sont continues jusqu'à la dalle supérieure, mais non tenues latéralement
----------------------------	--	-----------------------------	----------------------------	--



## Annexe B

<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input checked="" type="checkbox"/> ?	PLAFONDS SUSPENDUS: les plafonds suspendus susceptibles de présenter un danger pour les personnes sont suffisamment tenus aux éléments porteurs sus-jacents dans les deux directions horizontales. potentiel de danger de chute des plafonds suspendus non éclairci, fixations plutôt faibles
<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	APPUI CONTRE DES PLAFONDS SUSPENDUS: aucune paroi non porteuse ne s'appuie contre un plafond suspendu.
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input checked="" type="checkbox"/> ?	TOITS: les éléments de toit en métal, en fibre de verre ou en ciment sont reliés solidement au système porteur du toit. De larges plaques de béton horizontales servent de voie de circulation pour l'ascenseur de façade. Celles-ci sont visiblement simplement posées sur toit sans y être fixées.
<input checked="" type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	FAÇADES: les façades sont suffisamment maintenues à la structure porteuse du bâtiment contre les forces qui s'exercent dans toutes les directions. Chaque élément de façade est maintenu par au moins deux fixations.
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	MAÇONNERIE A DEUX « PEAUX »: la « peau » extérieure de la maçonnerie à deux « peaux » est suffisamment maintenue dans le sens perpendiculaire à la paroi. Pas présent
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	PARAPETS EN MAÇONNERIE NON ARMEE: aucun parapet en maçonnerie non armée d'élanement supérieur à 2.5 ne se trouve au niveau du toit. Pas présent
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	CHEMINEES EN MAÇONNERIE NON ARMEE: les cheminées en maçonnerie non armée ont un élanement égal à 5 au maximum (calculé à partir du point d'ancrage supérieur, aucun ancrage ne se trouvant généralement à la hauteur du passage à travers le toit) et elles sont suffisamment ancrées à la structure porteuse. Pas présent
<input type="checkbox"/> s	<input type="checkbox"/> ns	<input checked="" type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> ?	TOITS DE CHEMINEE: les toits de cheminée sont suffisamment ancrés aux cheminées. Pas présent



## Bâtiment exemple

### Calcul selon la méthode des forces de remplacement

Les calculs simples par la méthode des forces de remplacement ont été effectués selon le chapitre 4 des directives pour l'étape 2 (2<sup>ème</sup> édition). La procédure pour les planchers rigides dans leur plan (bon effet diaphragme) est appliquée car le bâtiment exemple a des dalles en béton armé.

### Contreventement horizontal et effets de la torsion

Le bâtiment est contreventé principalement par les noyaux en béton armé. Les cadres formés par les colonnes et les dalles plates ayant une portance horizontale proportionnellement très faible, ils sont ignorés dans la procédure de calcul simplifiée. La rigidité horizontale augmente vers le bas par la présence additionnelle de parois porteuses dans les étages inférieurs, ce qui est jugé favorable. Les éléments porteurs pour la reprise des forces horizontales sont ordonnés de manière plus ou moins centrée et symétrique (voir figure D2 du texte principal de l'annexe D). Les faibles effets de la torsion sous l'action sismique en direction nord/sud peuvent être repris par les longues parois porteuses des noyaux et les cadres périphériques. De ce fait, la sécurité parasismique peut être évaluée séparément à l'aide de 2 modèles plans orthogonaux (nord/sud et est/ouest). Comme le critère K3 (voir pièce jointe n°2) est rempli, les effets de la torsion sous excentricité accidentelle peuvent être négligés.

### Hypothèses pour les charges

Le poids propre de la structure du bâtiment est déterminé selon les plans d'ingénieur à disposition sous l'hypothèse est d'une réalisation conforme aux plans. Les surcharges dues aux éléments non porteurs (planchers, façades, etc.) sont estimées à l'aide des normes SIA et de valeurs d'expérience. Des vérifications sur place ont été effectuées pour confirmer ces hypothèses. Pour la détermination des charges utiles, une utilisation de type bureau a été choisie. La charge utile dans la bibliothèque (2<sup>ème</sup> étage) a été déterminée en prenant en compte le type et la disposition des rayonnages.

- Poids propre: béton armé avec  $25 \text{ kN/m}^3$
- Surcharges: 5 cm de gravier fin avec  $0,20 \text{ kN/m}^2$  ou 8 cm de dalle en béton armé avec  $25 \text{ kN/m}^3$  (toit);  
5 cm de chape avec  $20 \text{ kN/m}^3$ , façade verre/acier avec  $0,25 \text{ kN/m}^2$ ,  
parois non porteuses en maçonnerie avec  $13 \text{ kN/m}^3$  (dalles d'étage)
- Charges utiles: utilisation de type bureau avec  $\psi_2 \cdot 3 \text{ kN/m}^2$ , bibliothèque (2<sup>ème</sup> étage) avec  $\psi_2 \cdot 6 \text{ kN/m}^2$

### Matériaux

La qualité des matériaux utilisés a été relevée sur les plans à disposition. Les valeurs de dimensionnement sont déterminées selon le cahier technique SIA 2018 en prenant en compte le vieillissement du béton selon la norme SIA 262.

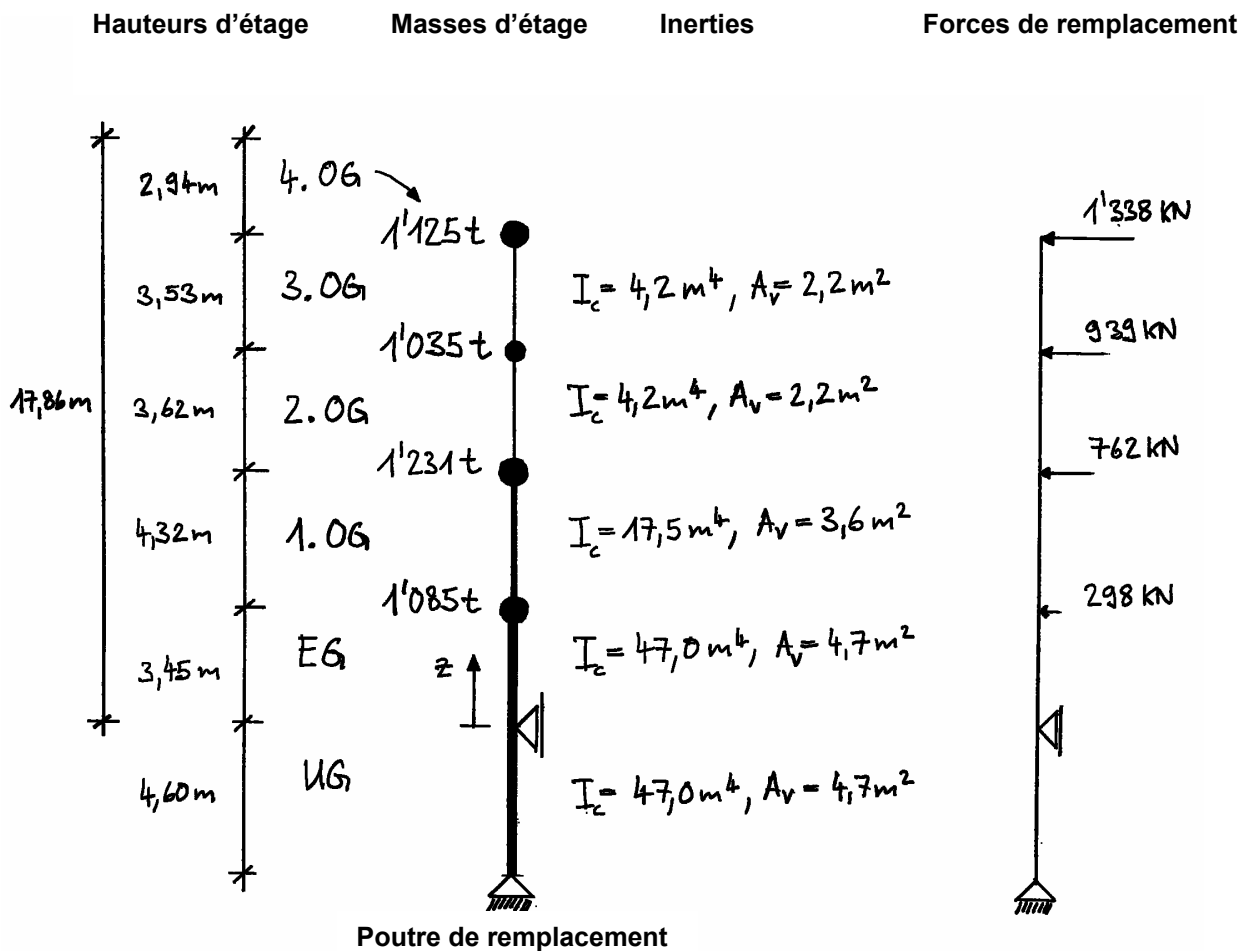
- Béton (BH P 300):  $f_{cd} = 16 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{cd} = 1,1 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_c = 32 \text{ GPa}$
- Acier d'armature (Box Stahl):  $f_{sd} = 300 \text{ N/mm}^2$
- Sol de fondation: contrainte verticale admissible  $p_{zul} = 400 \text{ kN/m}^2$

## Estimation de la période fondamentale de vibration

La période fondamentale de vibration  $T_1$  pour la direction nord/sud est déterminée à l'aide d'une poutre de remplacement encastree dans le sous-sol analysée par un programme d'éléments finis (voir ci-dessous). Elle vaut

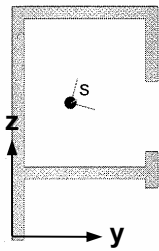
$$T_1 = 0,7 \text{ s} \quad f_1 = 1,4 \text{ Hz}$$

et se trouve quasiment dans la zone du plateau du spectre de réponse de dimensionnement. En direction est/ouest la rigidité et la résistance sont notablement plus élevées. Cette direction n'est donc pas déterminante et ne sera pas analysée plus avant. La période fondamentale de vibration peut être alternativement déterminée à l'aide de la méthode de Rayleigh (0.54 s avec une rigidité effective  $EI_{\text{eff}} = 0,45 \cdot 32 \text{ GN/m}^2 \cdot 18 \text{ m}^4$  constant sur toute la hauteur du bâtiment et un niveau d'encastrement au niveau de la dalle sur le sous-sol).



Les masses d'étage sont calculées selon les hypothèses pour les charges (voir page 1). La construction de toiture au 4<sup>ème</sup> étage (étage technique) est prise en compte en tant que masse rapportée à la hauteur du 3<sup>ème</sup> étage. Les rigidités de la poutre de remplacement sont déterminées selon les sections participantes admises pour les parois porteuses (voir page 3). Ces sections participantes sont déterminées de manière conservatrice (par rapport à leur résistance). De façon à ce qu'une rigidité au cisaillement adéquate soit considérée en plus de la rigidité à la flexion, les rigidités de la poutre de remplacement sont déterminées par  $I, A_v, G$  et  $E_{\text{eff}}$ . La rigidité effective avec fissuration sous l'action sismique est prise en compte selon  $E_{\text{eff}} = 0,45 \cdot E_{i,c}$  et pour le module de glissement  $G = E_{\text{eff}} / (2 \cdot (1 + \nu_c))$ . L'hypothèse pour  $E_{\text{eff}}$  selon l'estimation de la documentation SIA D0171 est conservatrice (trop rigide). L'hypothèse pour  $G$  est elle plutôt non conservatrice, la rigidité à l'effort tranchant n'étant pas influencée de la même manière par la fissuration que la rigidité à la flexion.

Querschnitt QS W01: Umriss



Träger-Querschnitt: QS W01

Umfahrene Teilquerschnitte

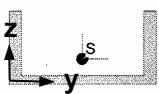
Name	Baustoff	Klasse	Typ	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]
CS1	Beton	C25/30	Polygon	1	0	0	2	0.20	0
				3	0.20	1.00	4	2.20	1.00
				5	2.20	0.85	6	2.40	0.85
				7	2.40	1.45	8	2.20	1.45
				9	2.20	1.20	10	0.20	1.20
				11	0.20	3.62	12	2.20	3.62
				13	2.20	2.59	14	2.40	2.59
				15	2.40	3.82	16	0	3.82

$I_z = 1,43 \text{ m}^4$   
 $A_{v,y} = 0,82 \text{ m}^2$   
 $(A_{v,y} = 2 \cdot 0,85 \cdot b \cdot h)$

Statische Querschnittswerte: ( Referenzbaustoff: Beton,  $E_{ref} = 32 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ )

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Trägheitsmomente [m <sup>4</sup> ]	Schwerpunkt,Winkel [m]	I bez. Eingabe-Rtg [m <sup>4</sup> ]
Ax	1.9300	Ix 0.024699	ys 0.97	Iyz* -0.392419
Ay (=Ax)		Iy 2.927960	zs 2.24	Iy* 2.817136
Az (=Ax)		Iz 1.427600	$\beta$ -15.8 [°]	Iz* 1.538423

Querschnitt QS W02 10G-30G



Träger-Querschnitt: QS W02 10G-30G

Umfahrene Teilquerschnitte

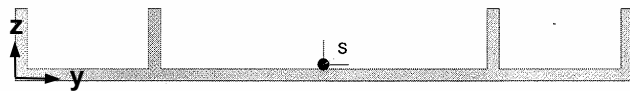
Name	Baustoff	Klasse	Typ	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]
CS1	Beton	C25/30	Polygon	1	0	0	2	2.40	0
				3	2.40	1.20	4	2.20	1.20
				5	2.20	0.14	6	0.20	0.14
				7	0.20	1.20	8	0	1.20

$I_z = 0,68 \text{ m}^4$   
 $A_{v,y} = 0,29 \text{ m}^2$   
 $(A_{v,y} = 0,85 \cdot b \cdot h)$

Statische Querschnittswerte: ( Referenzbaustoff: Beton,  $E_{ref} = 32 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ )

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Trägheitsmomente [m <sup>4</sup> ]	Schwerpunkt,Winkel [m]
Ax	0.7600	Ix 0.006738	ys 1.20
Ay (=Ax)		Iy 0.107732	zs 0.40
Az (=Ax)		Iz 0.675733	$\beta$ 0 [°]

Querschnitt QS W02 EG: Umriss



$I_z = 30,83 \text{ m}^4$   
 $A_{v,y} = 1,73 \text{ m}^2$   
 $(A_{v,y} = 0,85 \cdot b \cdot h)$

Träger-Querschnitt: QS W02 EG

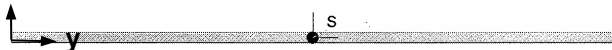
Umfahrene Teilquerschnitte

Name	Baustoff	Klasse	Typ	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]
CS1	Beton	C25/30	Polygon	1	0	0	2	10.20	0
				3	10.20	1.20	4	10.00	1.20
				5	10.00	0.20	6	8.00	0.20
				7	8.00	1.20	8	7.80	1.20
				9	7.80	0.20	10	2.40	0.20
				11	2.40	1.20	12	2.20	1.20
				13	2.20	0.20	14	0.20	0.20
				15	0.20	1.20	16	0	1.20

Statische Querschnittswerte: ( Referenzbaustoff: Beton,  $E_{ref} = 32 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ )

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Trägheitsmomente [m <sup>4</sup> ]	Schwerpunkt,Winkel [m]
Ax	2.8400	Ix 0.036822	ys 5.10
Ay (=Ax)		Iy 0.280340	zs 0.27
Az (=Ax)		Iz 30.825467	$\beta$ 0 [°]

Querschnitt QS W03: Umriss



$I_z = 13,33 \text{ m}^4$   
 $A_{v,y} = 1,36 \text{ m}^2$   
 $(A_{v,y} = 0,85 \cdot b \cdot h)$

Träger-Querschnitt: QS W03

Umfahrene Teilquerschnitte

Name	Baustoff	Klasse	Typ	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]	Nr.	$y_q$ [m]	$z_q$ [m]
CS1	Beton	C25/30	Polygon	1	0	0	2	10.00	0
				3	10.00	0.16	4	0	0.16

Statische Querschnittswerte: ( Referenzbaustoff: Beton,  $E_{ref} = 32 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ )

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Trägheitsmomente [m <sup>4</sup> ]	Schwerpunkt,Winkel [m]
Ax	1.6000	Ix 0.013516	ys 5.00
Ay (=Ax)		Iy 0.003413	zs 0.08
Az (=Ax)		Iz 13.333333	$\beta$ 0 [°]

## Action sismique et forces de remplacement

L'action sismique est déterminée selon la norme SIA 261. Le bâtiment est à classer en classe d'ouvrage I et se trouve en zone de risque sismique Z1. Le sol de fondation correspond à la classe de sol de fondation C. La structure porteuse du bâtiment fait conclure à un comportement non ductile et les dispositions constructives de l'armature remplissent les exigences minimales de la norme SIA 262 pour une construction à comportement non ductile. Sur cette base, un coefficient de comportement  $q = 2$  est sélectionné.

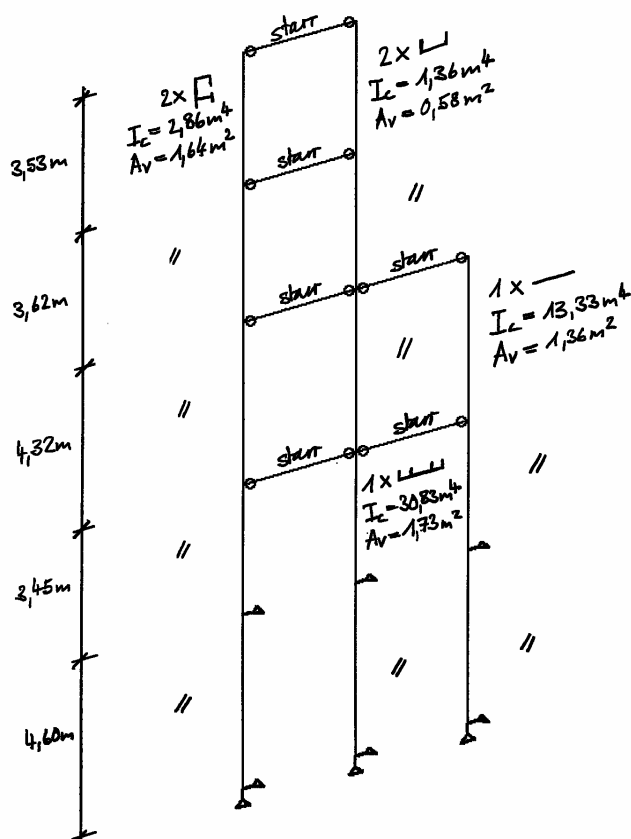
La force de remplacement sismique globale  $F_d$  est calculée selon la norme SIA 261, formule 40. Elle est répartie sur les différents étages selon la formule 41 (voir poutre de remplacement).

$$F_d = S_d(T_1) \cdot \sum_j (G_k + \sum \psi_2 Q_k)_j = 0,076 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1'125\text{t} + 1'035\text{t} + 1'231\text{t} + 1'085\text{t}) = 3'337\text{kN}$$

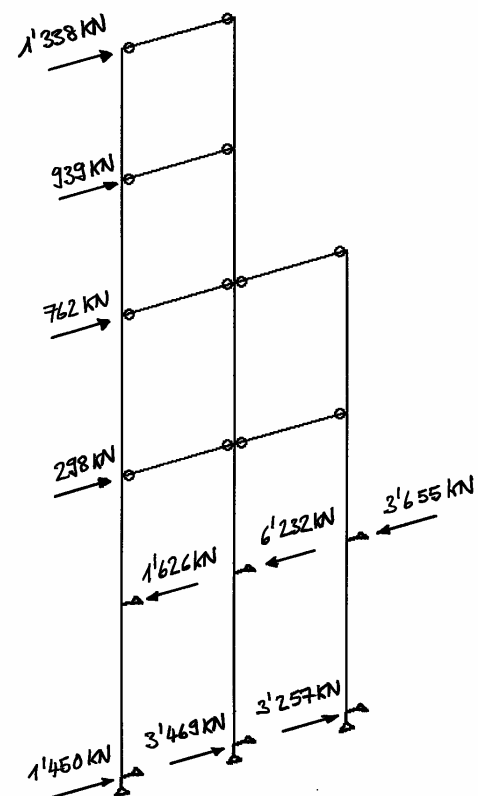
## Répartition des forces de remplacement sur les parois porteuses individuelles

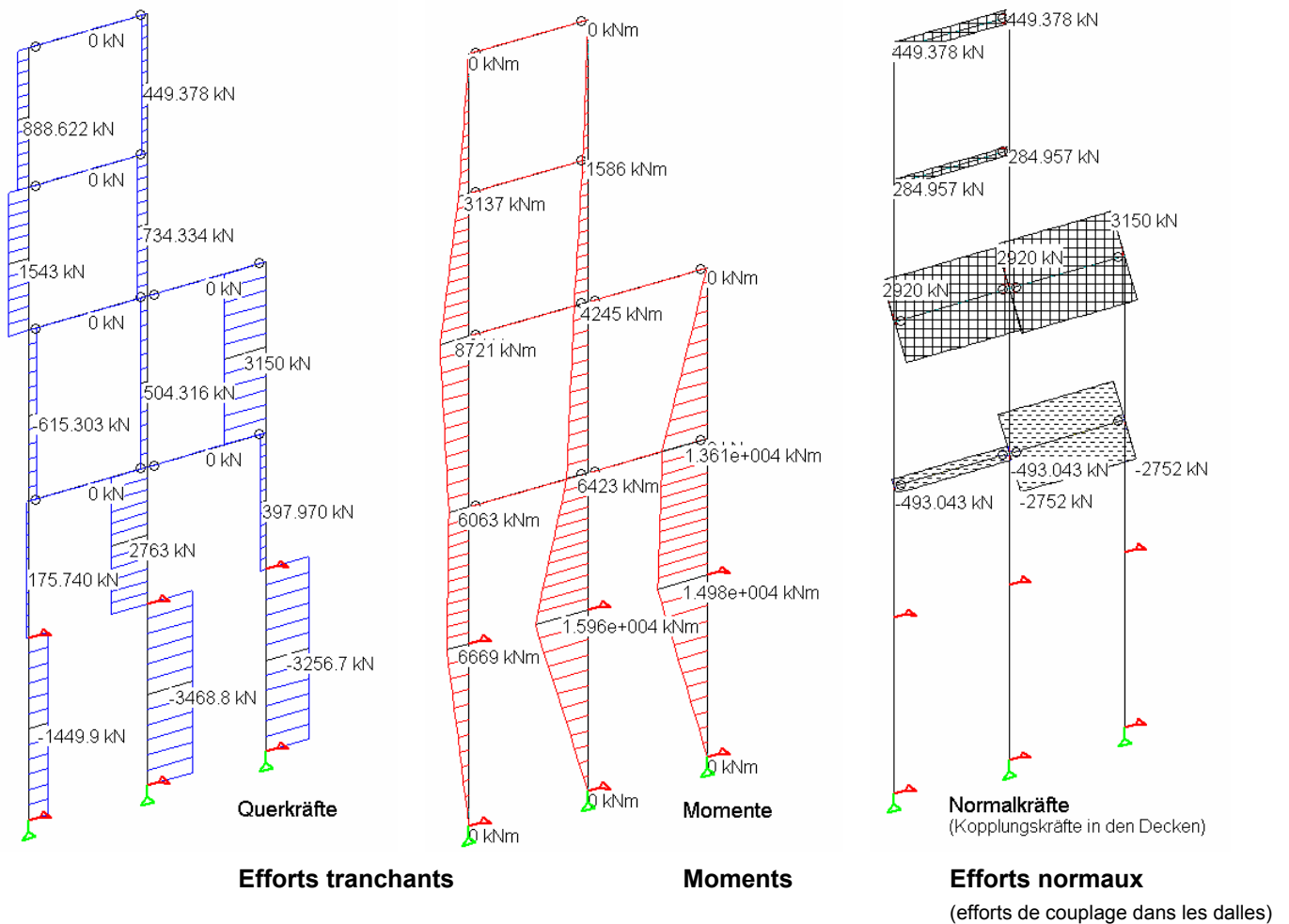
La force de remplacement de chaque étage est répartie sur les parois porteuses individuelles selon une hypothèse de comportement élastique avec un modèle d'éléments finis de type poutre (voir ci-dessous). Ce modèle prend en compte la rigidité à la flexion aussi bien qu'au cisaillement des parois porteuses. La répartition est faite selon  $I_c$  und  $A_v$  avec pour hypothèse que le déplacement des parois porteuses à chaque étage sont identiques (dalles d'étages modélisées en tant que poutres bi articulées infiniment rigides).

Modèle de poutres pour la Répartition des forces sismiques



Forces de remplacement et forces d'appui





## Vérification de la sécurité structurale

En conséquence de la grande rigidité du sous-sol (caisson en béton armé), de la continuité des parois porteuses jusqu'au radier de fondation et de la bonne fondation (radier général et bon sol de fondation), la sécurité parasismique au niveau du sous-sol est considérée comme non déterminante et suffisante. Les efforts tranchants au niveau du sous-sol ainsi que les forces d'appuis au niveau de la dalle sur sous-sol obtenus par le calcul sont très élevées. Ceci est dû aux hypothèses simplificatrices de modélisation et en réalité ces valeurs devraient être notablement plus faibles.

L'introduction des forces des dalles dans les parois porteuses est garantie par une liaison entre les dalles et au moins un côté latéral des parois porteuses ainsi que frontalement.

### Effort tranchant

Les vérifications à l'effort tranchant selon la norme SIA 262 sont groupées dans le tableau suivant pour les endroits déterminants. Les endroits déterminants sont donnés selon l'armature de cisaillement horizontale figurée sur les plans d'armature ainsi que par les efforts tranchants dus à l'action sismique déterminés par calcul. Les ouvertures dans les parois porteuses (portes, ...) qui réduisent leur résistance à l'effort tranchant sont à considérer. Cet aspect est pris en compte dans le tableau suivant.

Selon la norme SIA 262 <sup>(1)</sup>

		Section/Paroi Etage	QS W01 2.ét	QS W02 2.ét	QS W02 rez
Valeur de dimensionnement de l'effort tranchant	$V_d$	[MN]	1.54	0.73	2.76
Facteur de majoration	$\varepsilon \cdot \kappa$	[-]	1.00	1.00	1.00
Effort tranchant majoré	$V_d^+ = \kappa \cdot V_d$	[MN]	1.54	0.73	2.76
Diamètre de l'armature d'effort tranchant	$\varnothing$	[mm]	10	10	10
Espacement de l'armature d'effort tranchant	s	[mm]	150	150	200
Nbre de sections de l'armature d'effort tranchant	n	[-]	8	4	2
Bras de levier des forces intérieures	z = 0.8 · l <sub>w</sub>	[m]	1.92	1.92	8.16
Valeur de calcul de résistance pour l'acier	f <sub>sd</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	300	300	300
Inclinaison des champs de compression	α	[°]	45	45	34
Epaisseur de l'âme	b <sub>w</sub>	[mm]	800	320	200
Coefficient de résistance du béton	k <sub>c</sub>	[-]	0.4	0.4	0.4
Valeur de calcul de résistance pour le béton	f <sub>cd(t)</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	16	16	16
Résistance de l'armature	V <sub>Rd,s</sub> = voir <sup>(1)</sup>	[MN]	2.41	1.21	2.85
Résistance du béton	V <sub>Rd,c</sub> = voir <sup>(1)</sup>	[MN]	4.92	1.97	4.84
<b>Facteur de conformité à l'effort tranchant</b>	<b>α<sub>eff</sub> = V<sub>Rd</sub> / V<sub>d</sub><sup>+</sup></b>	<b>[-]</b>	<b>1.57</b>	<b>1.65</b>	<b>1.03</b>

### Flexion

Les vérifications de résistance à la flexion sont effectuées à l'aide du logiciel FAGUS (Cubus). Les endroits critiques sont donnés par l'armature verticale (armature de flexion) figurée sur les plans d'armature ainsi que par les moments de flexion dus à l'action sismique déterminés par calcul. L'armature des sections et les facteurs de conformité (« Traglastfaktor ») sont visibles sur les résultats du logiciel FAGUS (voir ci-dessous).

