Conception parasismique

Zurich, le 23.08.2019

Source web

Basler & Hofmann

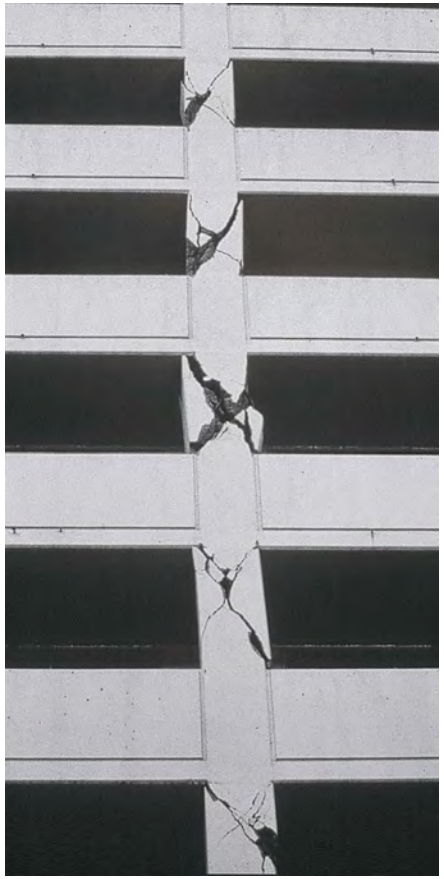
Situation de départ conception parasismique

Nous savons qu’un séisme arrivera,

mais nous ne savons pas quand.

Basler & Hofmann

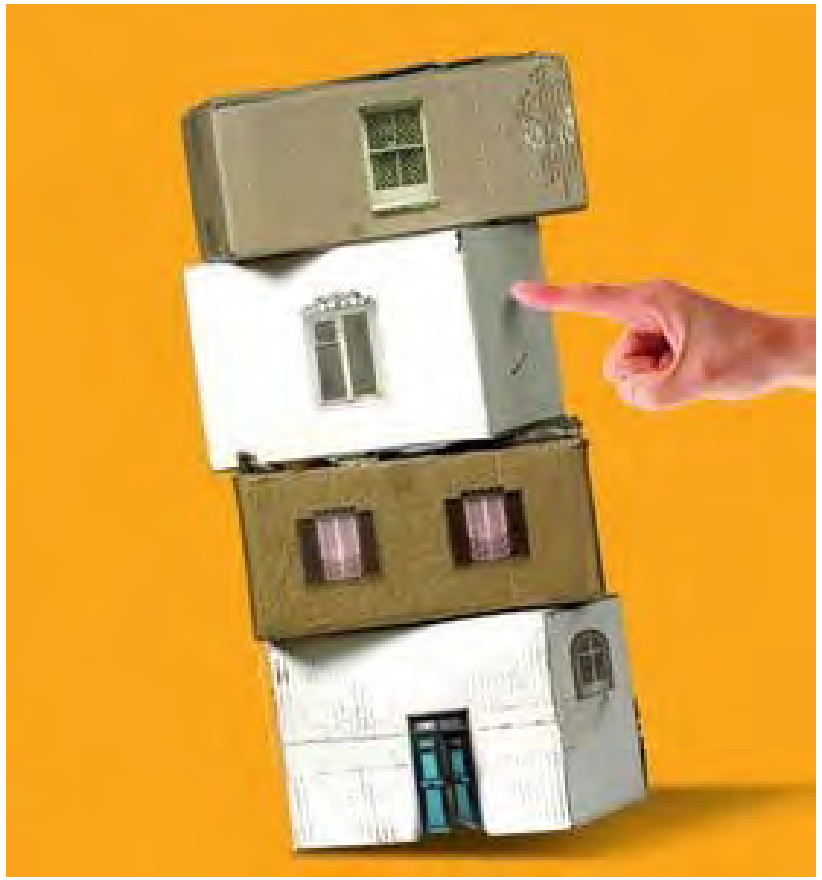
Comment éviter ceci?



Source: web

Basler & Hofmann

Contenu



Source web

Effets des séismes

Exigences pour la structure

Structure parasismique

Eléments secondaires parasismiques

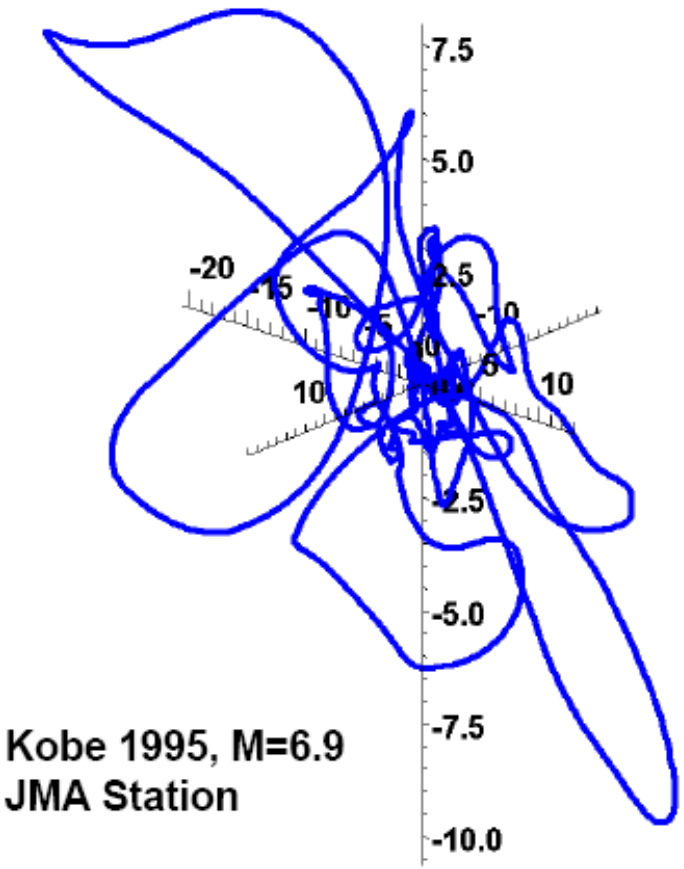
Installations et équipements (ENIE)

Procédure de la part du maître d’ouvrage dans le processus de construction

Conclusion, questions et discussion

Effets des séismes

Mouvement du sol



Source OFEV

Le sol se déplace dans toutes les directions

Déformations

quelques centimètres - décimètres

Accélération

quelques pourcentages jusqu‘à 50% de l‘accélération du sol

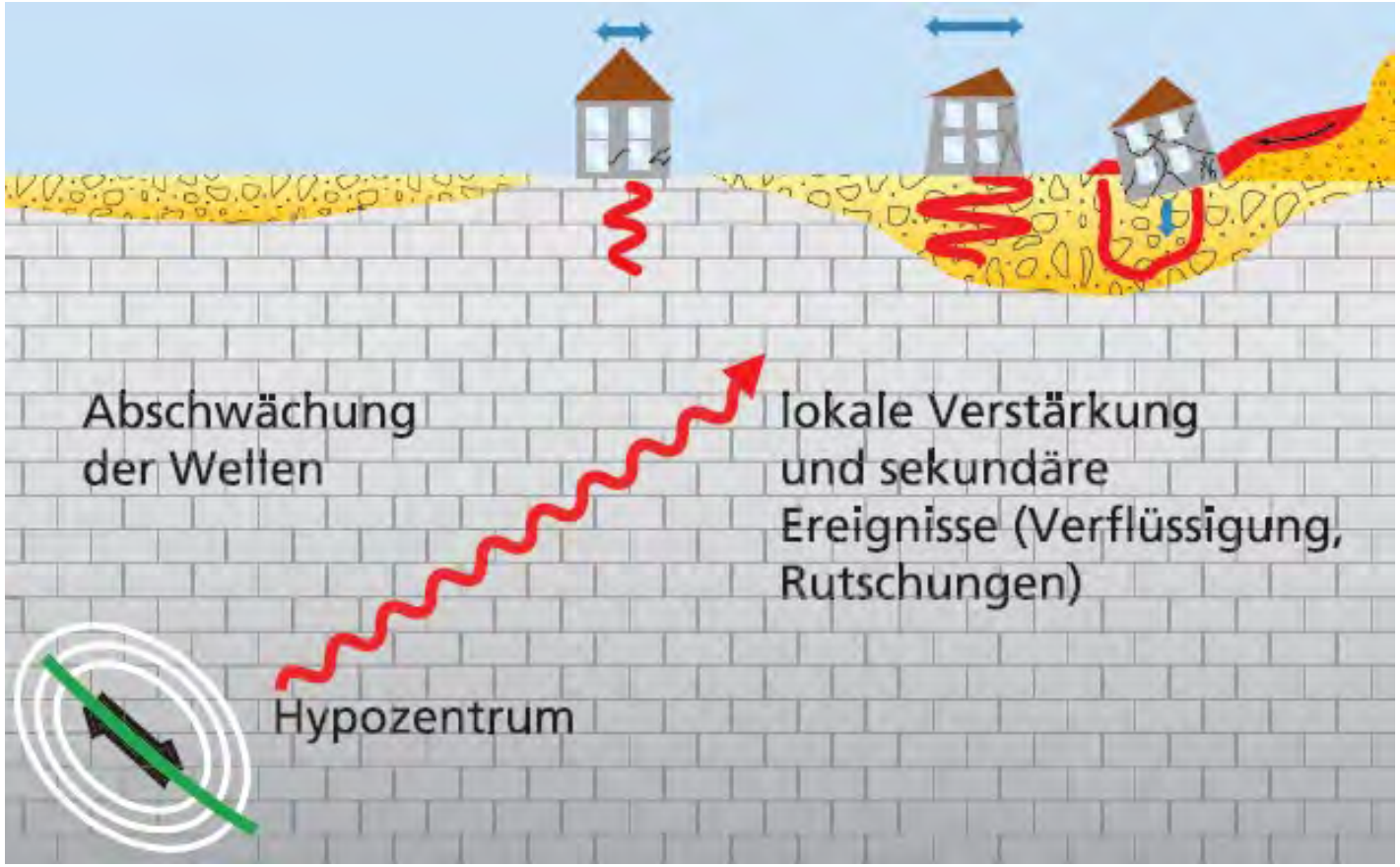
Durée

quelques secondes (10 - 20 sec.)

(données pour un séisme d’intensité moyenne)

Basler & Hofmann

Mouvement du sol



Quelle BAFU

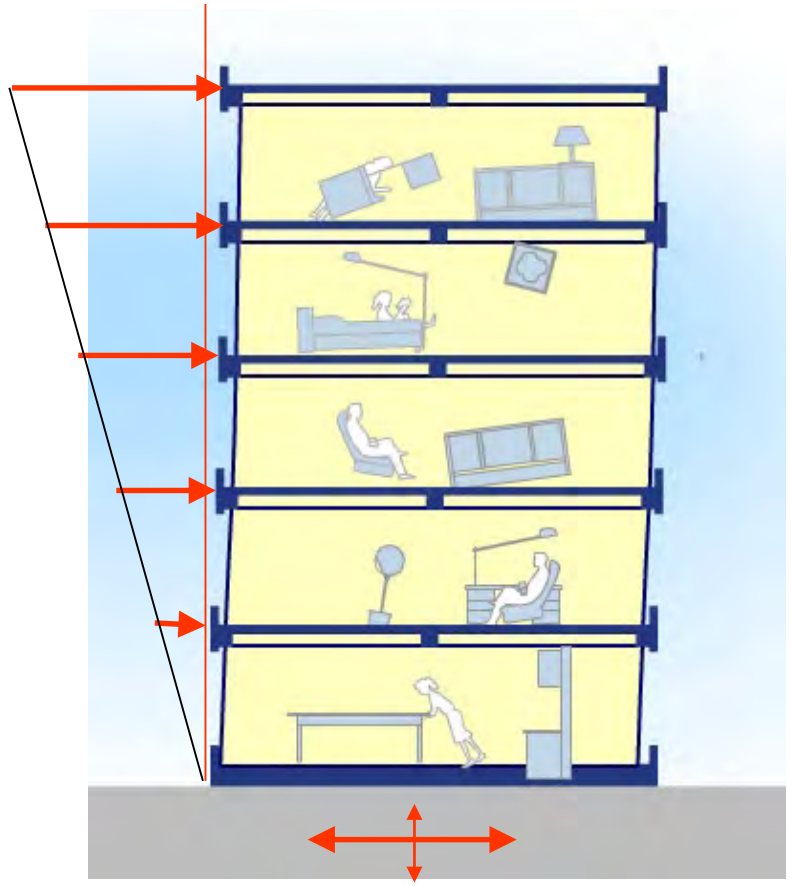
Grande influence de la géologie locale

Amplification des chocs sismiques par des couches de terrain meuble

Norme SIA 261:
Classe de terrain de fondation A jusqu'à F, influence du facteur jusqu'à 2,6

Basler & Hofmann

Mouvements de la structure



Quelle BAFU

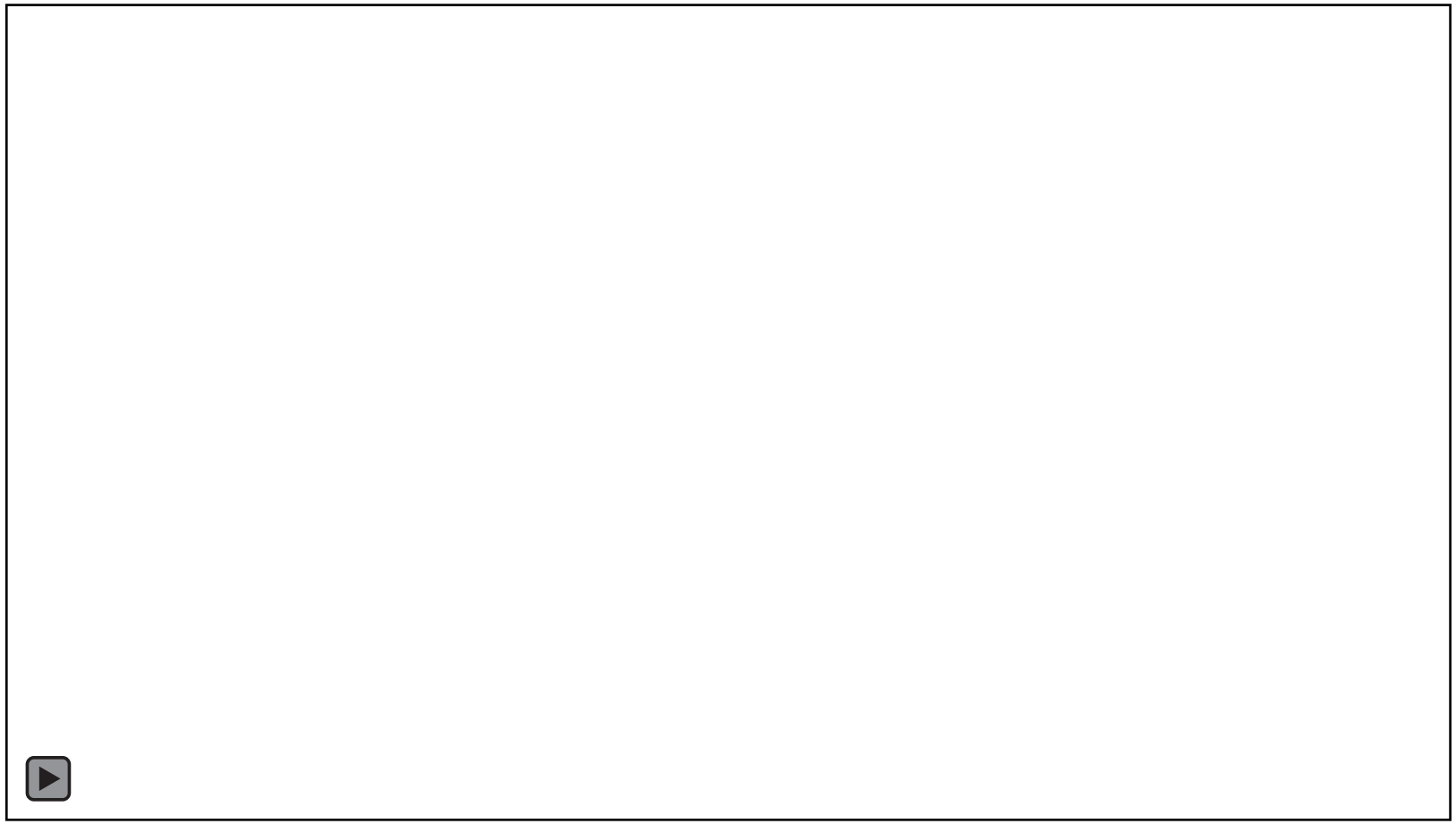
Le sol se déplace, le bâtiment oscille, la structure se déforme.

Les accélérations dans les différents étages induisent des forces d‘inertie suite à l‘accélération des masses dans

- la structure
- les éléments secondaires, installations et équipements (ENIE)

Basler & Hofmann

Mouvements de la structure



Basler & Hofmann

Dégâts

Les ruptures, effondrements, démolitions, déformations et renversements suite à une action sismique causent des dommages pour

les bâtiments (structure)

le contenu (ENIE)

l'infrastructure

Source BAFU

Basler & Hofmann

Eviter les dégâts!

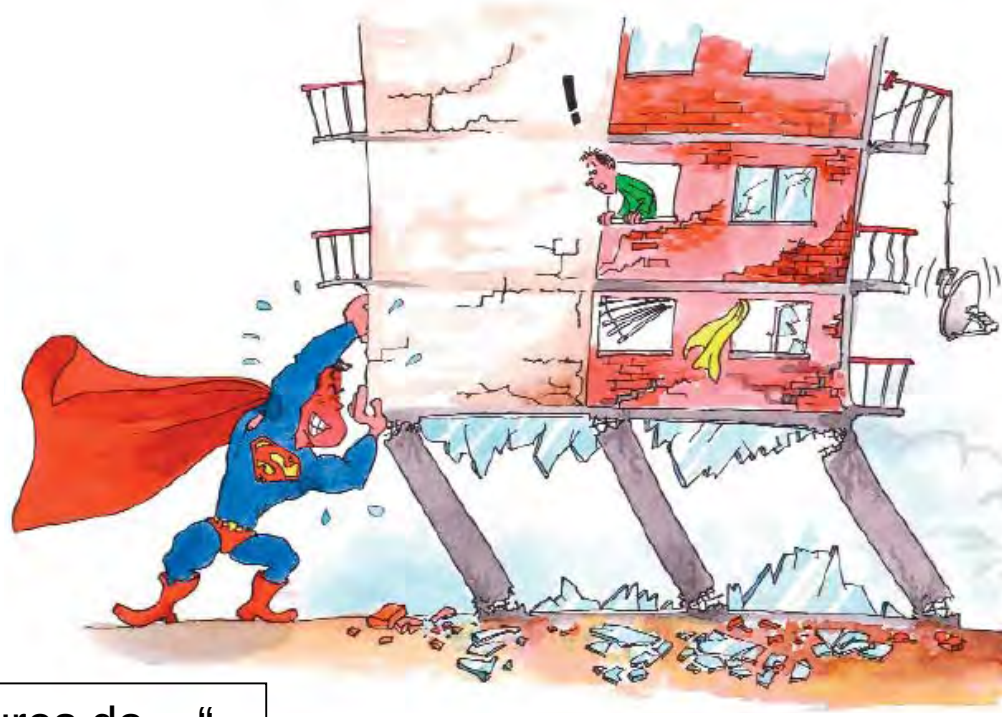
Risque = Danger x Terrain de fondation x **Vulnérabilité** x Valeur

Le danger n‘est pas influençable

Le terrain de fondation est peu influençable

Réduire la vulnérabilité par une construction parasismique

Les valeurs sont peu influençables,
la densité de population et le niveau de vie sont élevés



Dessin E. Rosales

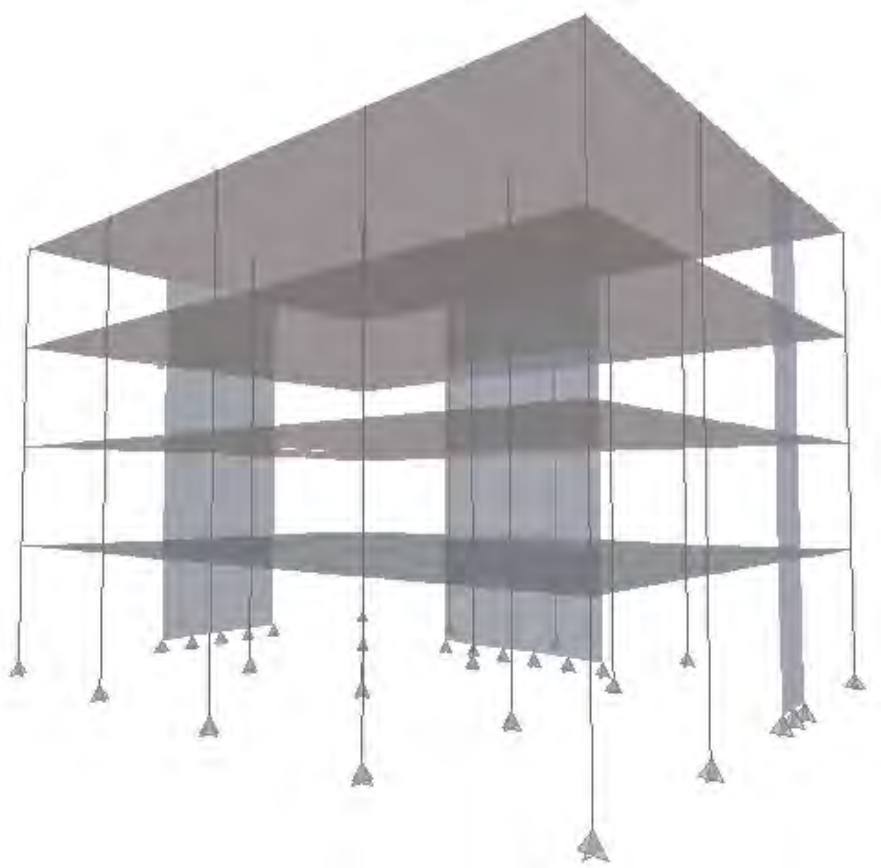
"... earthquakes do not kill people, poorly designed structures do ...“

Citation Professor C. Christopoulos', Toronto

Basler & Hofmann

Exigences d’une structure

Statique



Normalement une structure est au repos, immobile et conçue pour résister à des charges gravitationnelles verticales relativement constantes dans le temps, comme

- poids propre
- neige
- charges utiles

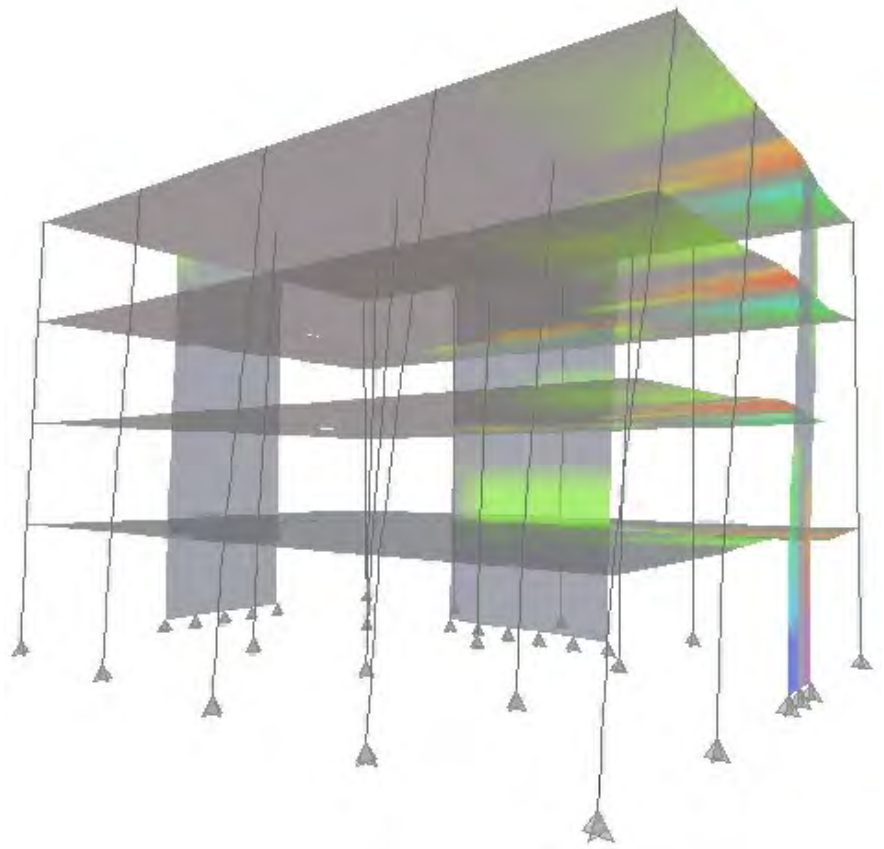
➢ Statique

Stabilité de systèmes stationnaires

➢ Activité principale de l'ingénieur civil

Basler & Hofmann

Dynamique



Le séisme (ainsi que le vent) est pour la structure une action dynamique verticale et horizontale variable dans le temps.

- Dynamique

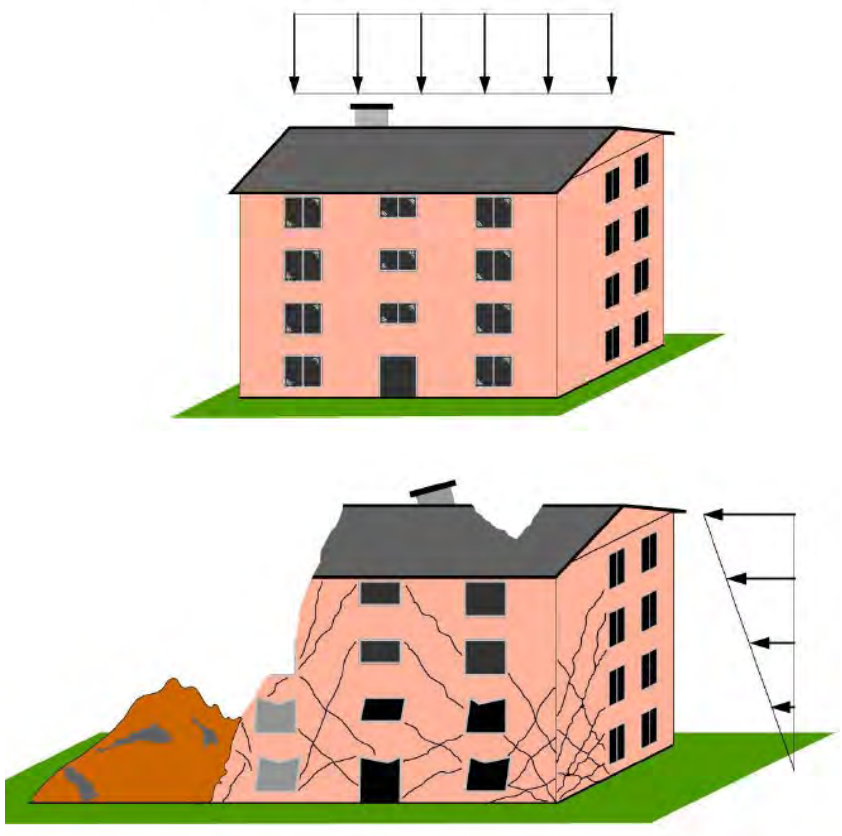
  Stabilité de systèmes soumis à des oscillations

La dynamique est beaucoup plus complexe que la statique et nécessite des connaissances et méthodes de calcul différentes.

- L'étude dynamique nécessite un ingénieur civil spécialisé.

Basler & Hofmann

Structure



Source P. Lestuzzi

Un bâtiment doit avoir une structure porteuse pour reprendre des

Actions verticales

Forces statiques permanentes, généralement non problématiques

et aussi

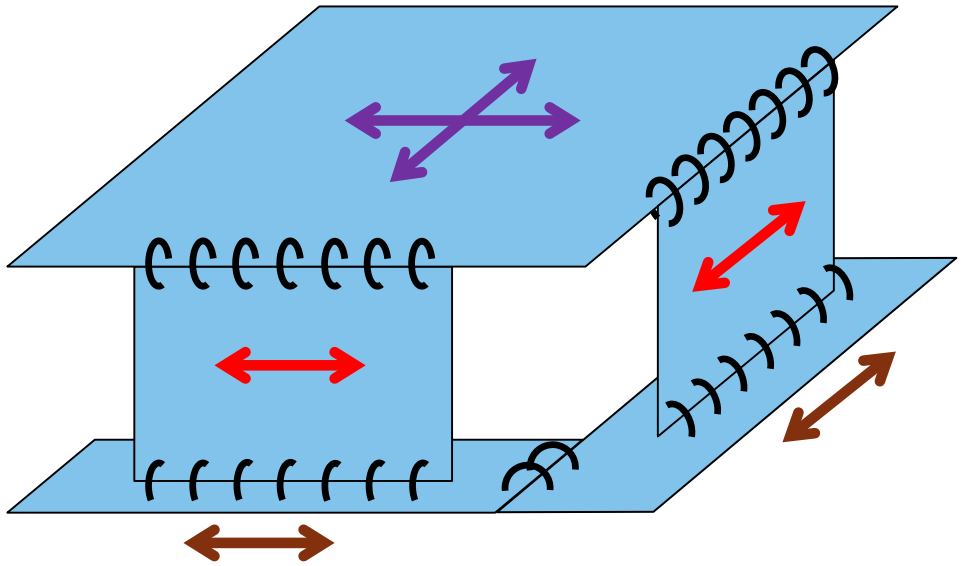
Actions horizontales

Forces dynamiques et déformations imposées, actions rares et de courte durée (actions exceptionnelles), problématiques en l'absence d'un système porteur adéquat

Basler & Hofmann

Structure parasismique

Eléments d’une structure parasismique



Eléments de contreventement

Dalles rigides

Assemblages et liaisons rigides

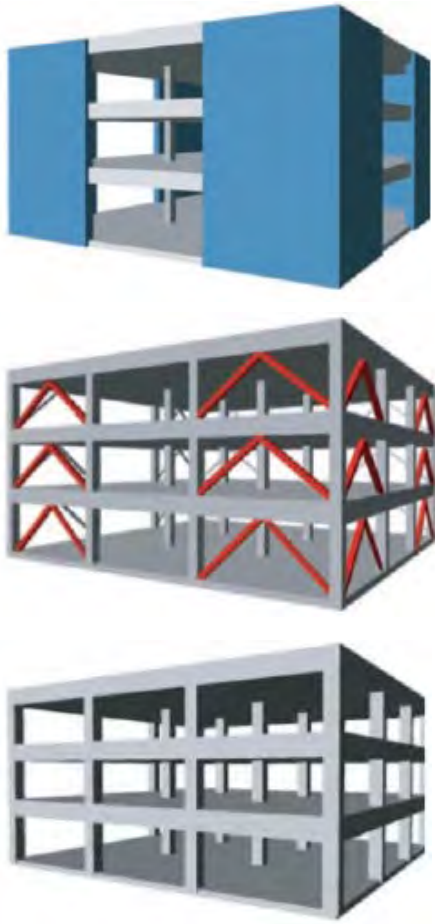
Fondations

Concept parasismique de la structure porteuse

Détails constructifs

Basler & Hofmann

Contreventement



Source FEMA

En principe, il y a trois manières de transférer les forces horizontales par un systèmes de contreventement horizontal

- Parois et noyaux (éléments coques)
- Eléments de treillis
- Cadres rigides

(possible de combiner ces différents systèmes)

Basler & Hofmann

Conception parasismique d'une structure porteuse

Défaillance Soft Story

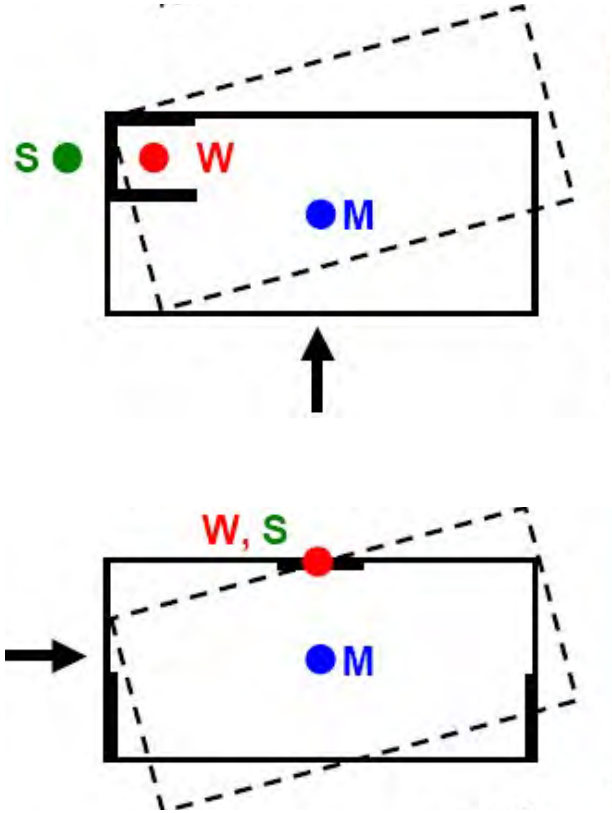
Source BWG, Web

Contreventement vertical continu (pas de Soft Story)

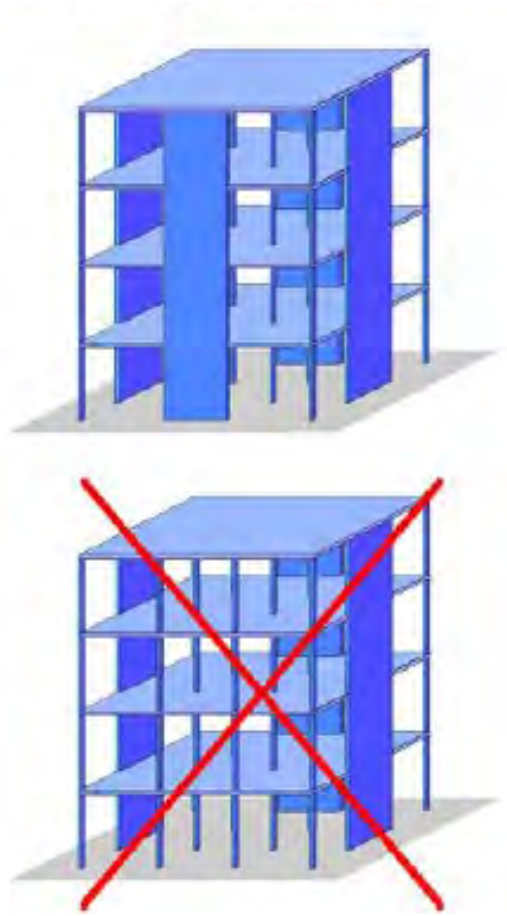
Source P. Lestuzzi

Basler & Hofmann

Conception parasismique d'une structure porteuse



Système symétrique de contreventements dans le plan (pas de torsion)

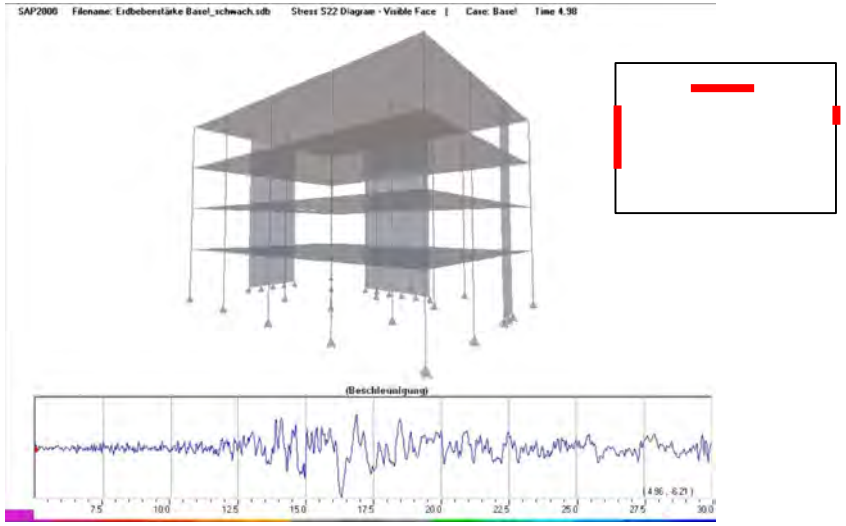


Source P. Lestuzzi

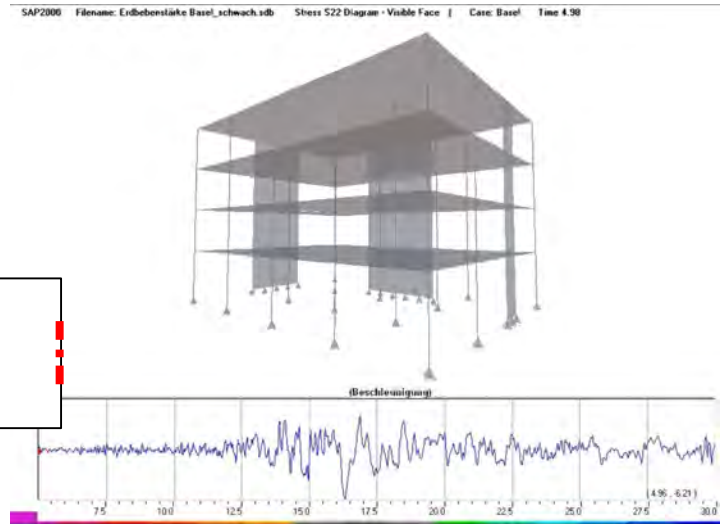
Basler & Hofmann

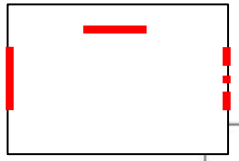
Eviter la torsion

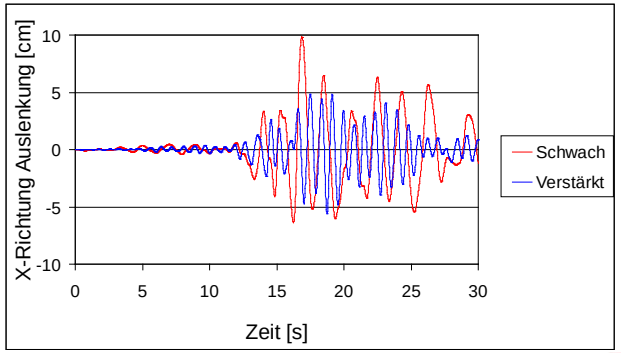
mauvais comportement du bâtiment,
sécurité parasismique insuffisante



comportement du bâtiment amélioré,
sécurité parasismique augmentée par renforcement







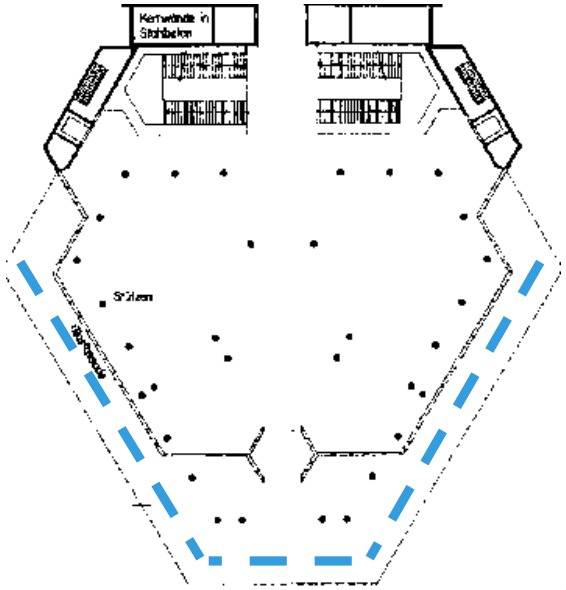
Action sismique: séisme avec période de retour de 475 ans
BS/VS, Magnitude ≈ 6 - 6,5

Renforcement d'un raidisseur asymétrique

Réduction des déformations du bâtiment jusqu'à 50 %

Basler & Hofmann

Eviter la torsion – Exemple de réhabilitation



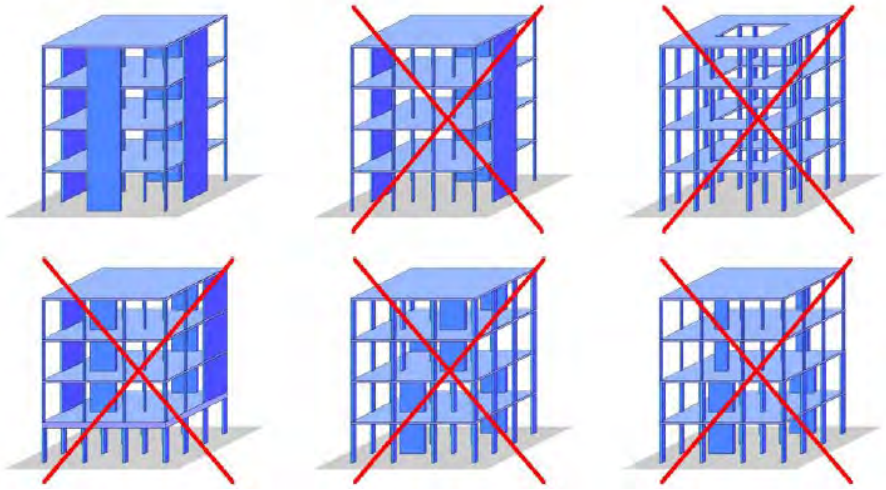
Renforcement par des montants en treillis en acier le long de la façade pour reprendre les efforts de torsion

Basler & Hofmann

Conception parasismique d’une structure

Photo Philomène Hoël, Eik Frenzel

Une **collaboration étroite et anticipée entre architecte, ingénieur civil** et projeteur en technique du bâtiment est nécessaire pour assurer une bonne conception parasismique de la structure porteuse



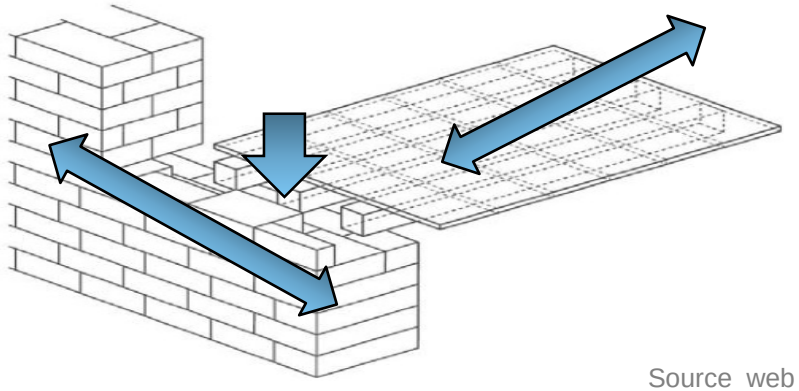
Source P. Lestuzzi

Basler & Hofmann

Dalles rigides et connexions fixes

Dalles suffisamment rigides et connexions fixes avec éléments de contreventement

- Dériver les forces d'inertie aux éléments de contreventement
- Interaction de tous les éléments porteurs et garantie de la descente des charges
- ➢ Garantir un comportement global, éviter les mécanismes de ruptures locales
- Bois, acier, et béton armé mieux adaptés que maçonnerie, éléments préfab. év. problématiques



Source web

Basler & Hofmann

Conception parasismique des détails

Les détails de conception et l'exécution précise des travaux sont décisifs

- Sensibilisation du maître d'ouvrage et contrôles par l'ingénieur civil

Quelle BWG (2002)

Flambement de l'armature longitudinale dû à un ancrage insuffisant des étriers (crochets 90° au lieu de 124°)

Basler & Hofmann

ENIE parasismiques

Potentiel élevé de dégâts

Eléments secondaires et installations

Plafonds suspendus, planchers surélevés, **murs secondaires**, **façades/revêtements**, parapets, escaliers, vitrages/portes, **panneaux/avant-toits**, cheminées/toitures

- Alimentation de secours, protection incendie, **transformateurs**, **armoires de commande,** climatisation, **réservoirs/ chaudières**, **tuyauterie/ventilation/conduits de câbles**, éclairage, communication, ascenseurs/escaliers, isolateurs de vibrations
- informatique, **armoires électriques et de commande**, armoires/ étagères (hautes), **substances dangereuses**, décoration intérieure, **patrimoine culturels**

Source FEMA E-74

Basler & Hofmann

Dommages typiques

Quelle FEMA E-74

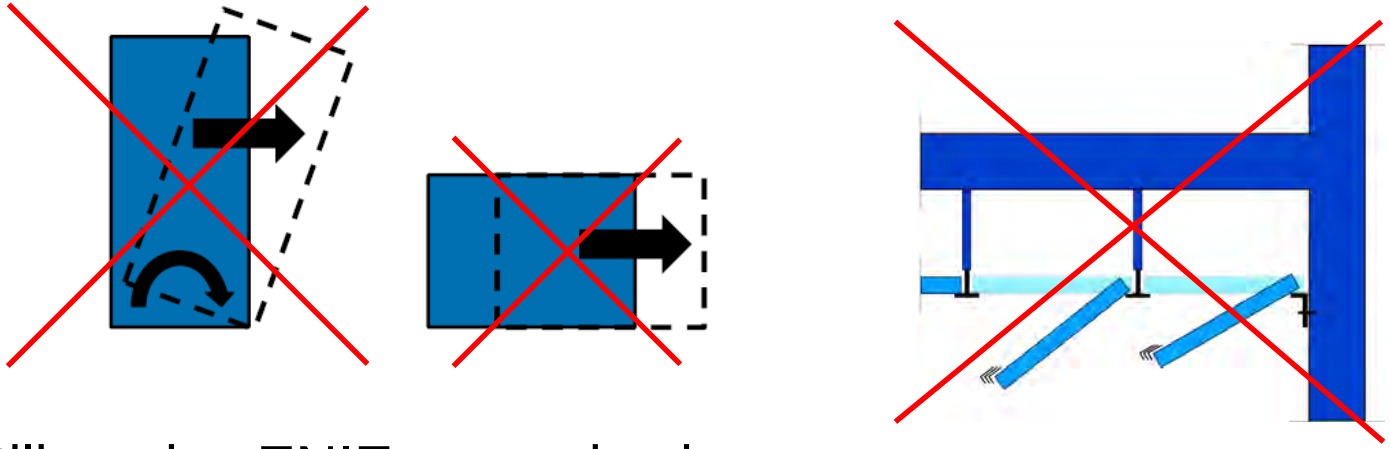
Basler & Hofmann

Fixer les ENIE importants

Importants s'ils mettent en danger des personnes, structures ou l'exploitation d'installations importantes

Fixer les ENIE à la structure

- Pas de basculement, translation ou effondrement



Utiliser des ENIE «parasismiques»

- Pas de décollage ou effondrement de pièces

Basler & Hofmann

Processus de construction côté maître d’ouvrage

Sensibilisation et collaboration

photo Yves André

Conception parasismique

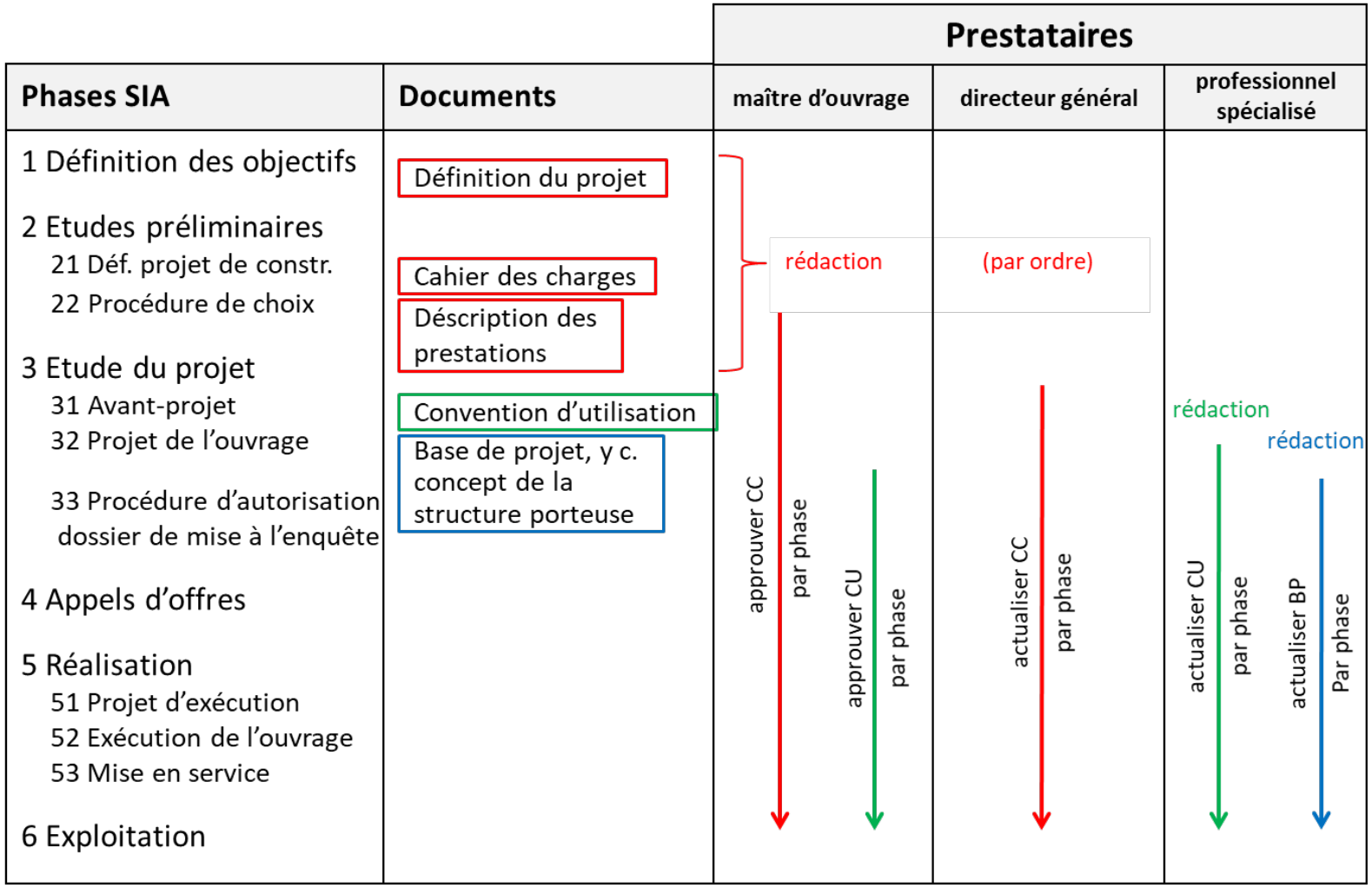
- Pour de nouveaux bâtiments: coûts supplémentaires de 0 à 1%
- Pour des bâtiments existants: coûts supplémentaires généralement environ 1 à 10% des coûts totaux de rénovation

Coopération dès que possible de toutes les personnes concernées

Autorités, propriétaire / maître d'ouvrage, exploitant / utilisateur, protection des monuments historiques, architecte, ingénieur civil, ingénieur de la technique du bâtiment, planificateur de façade, entrepreneur, ouvriers, ...

Basler & Hofmann

Modèle de planification de la construction RPH SIA 112



Basler & Hofmann

Planification stratégique et études préliminaires (SIA phases 1 et 2)

Photo Soliman Zurkirchen

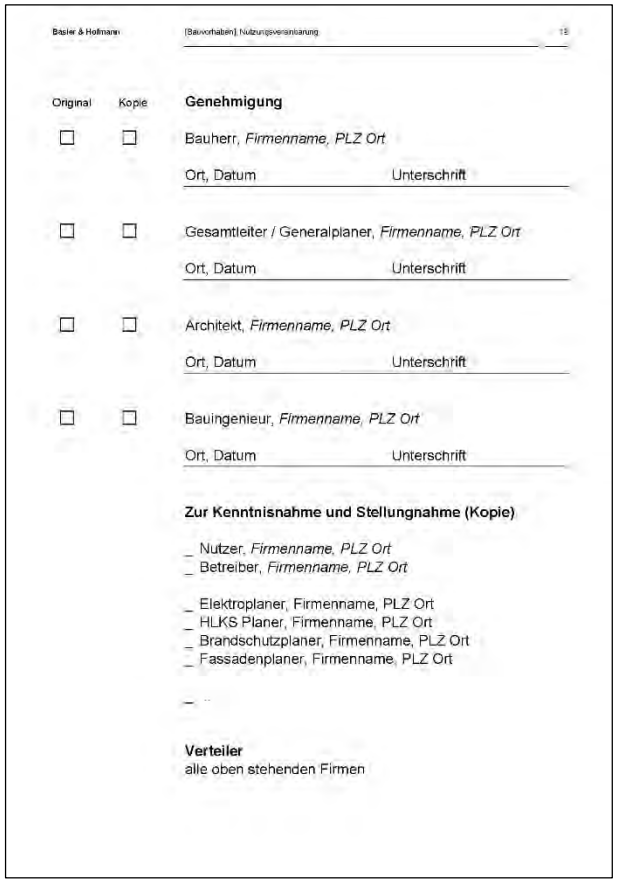
Déterminer les exigences de base en matière de sécurité sismique et les fixer dans le **cahier des charges** du projet.

Diriger les procédures de planification de manière à ce qu'un ingénieur civil spécialisé soit représenté au sein de l'équipe de planification ou/et fournir une expertise au maître d'ouvrage

Inclure le **critère de conception parasismique** pour l'évaluation de projets de concours

Basler & Hofmann

Planification (SIA phase 3) – Conditions d’utilisation



Basler & Hofmann [Bauvorhaben] Nutzungsvereinbarung

Original Kopie **Genehmigung**

☐ ☐ Bauherr, *Firmenname, PLZ Ort*

Ort, Datum Unterschrift

☐ ☐ Gesamtleiter / Generalplaner, *Firmenname, PLZ Ort*

Ort, Datum Unterschrift

☐ ☐ Architekt, *Firmenname, PLZ Ort*

Ort, Datum Unterschrift

☐ ☐ Bauingenieur, *Firmenname, PLZ Ort*

Ort, Datum Unterschrift

Zur Kenntnisnahme und Stellungnahme (Kopie)

_ Nutzer, *Firmenname, PLZ Ort*
_ Betreiber, *Firmenname, PLZ Ort*

_ Elektroplaner, Firmenname, PLZ Ort
_ HLKS Planer, Firmenname, PLZ Ort
_ Brandschutzplaner, Firmenname, PLZ Ort
_ Fassadenplaner, Firmenname, PLZ Ort

_ ..

Verteiler
alle oben stehenden Firmen

Déterminer les exigences spécifiques aux séismes pour la structure dans les **conventions d’utilisation (CU)**

Déterminer le **niveau de sécurité désiré** avec la **classe d’ouvrage (CO)** de la SIA

Elaborer les CU en phase d’avant-projet et dans les phases qui suivent: projet de construction, exécution,…

Les CU doivent être approuvées par le maître d’ouvrage, directeur général/planificateur général, architecte et ingénieur civil et doit être envoyé aux parties concernées.

Basler & Hofmann

Norme SIA 261 (2014) – Classes d'ouvrage CO

Version 2014,
Revision 2019 en cours

CO et charactéristiques		Facteur d'importance γ_f	Période de retour du mouvement du sol	Vérification requises selon SIA 261
I	– Occupation *PB* ≤ 50 personnes – Pas de rassemblements importants de personnes – Pas de marchandises ni installations ayant une valeur particulière – Atteinte à la population ou à l'environnement exclue	1.0	475 ans Probabilité de dépassement de 10% en 50 ans	Sécurité structurale y compris vérification des éléments secondaires
II	– Occupation *PB* > 50 personnes – Fréquentation possible par un grand nombre de personnes – Marchandises ou installations ayant une valeur particulière – Infrastructure ayant une fonction importante	1.2	ca. 700 ans Probabilité de dépassement de 7% en 50 ans	Sécurité structurale y compris vérification des éléments secondaires
III	_ Infrastructure ayant une fonction vitale	1.4	ca. 1'000 ans Probabilité de dépassement de 5% en 50 ans	Sécurité structurale et aptitude au service y compris vérification des éléments secondaires

➢ Exemples: cf norme

Basler & Hofmann

Planification (SIA phase 3) – Conditions d'utilisation

Norme SIA 261 zones sismiques
Version 2014

Révision 2019 en cours

Source BAFU

Donner les exigences parasismiques spécifiques dans la **convention d'utilisation (CU)**:

- Classe d'ouvrage CO, zone sismique Z, classe de terrain de fondation (micro zones)
- Exigences au-delà de la norme SIA 261?
- ENIE importants y compris les effets sismiques sur les ENIE et les responsabilités dans le processus de planification et de construction (pas compris dans la SIA RPHs)
- Pour les CO 3: exigences concrètes pour l'aptitude au service pour assurer la fonctionnalité (de la structure et ENIE importants) après un séisme.

Basler & Hofmann

Planification (SIA phase 3) – «concept parasismique»

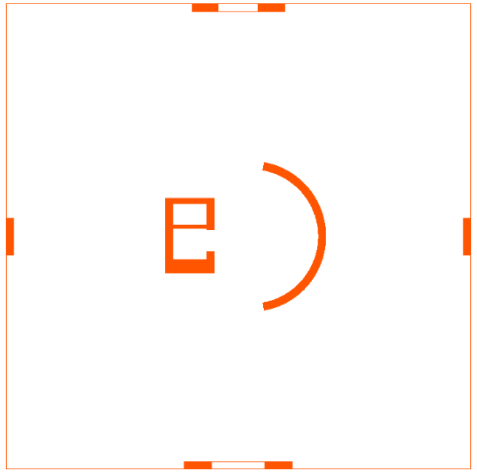


Photo Javier Miquel Verme

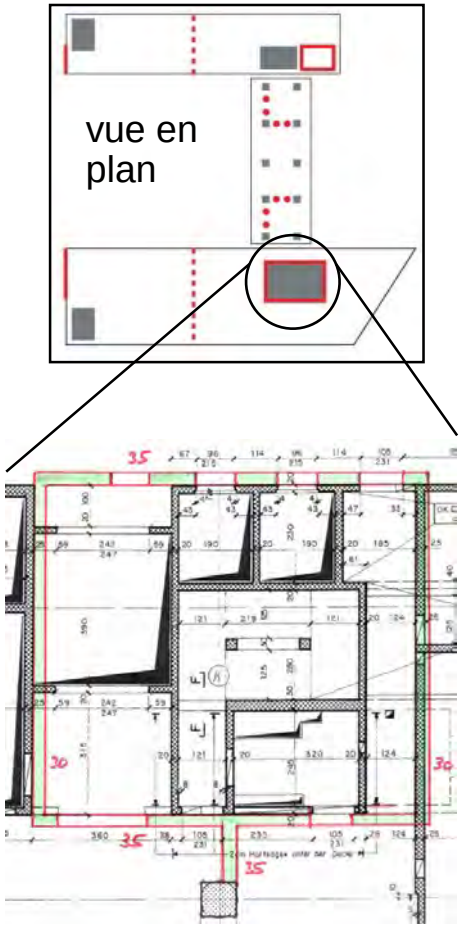
Concept de sécurité parasismique
(dans le cadre du concept structurel)
à exiger de la part de l'équipe de planification et vérifier/faire vérifier la plausibilité

- Coopération efficace et anticipée?
- Concept de structure porteuse adapté aux séismes?
- Mesures à prendre pour les ENIE importants?

Développer le concept pendant la phase d'avant-projet et l'actualiser dans les phases qui suivent: projet de construction, réalisation, …

Basler & Hofmann

Planification (SIA phase 3) – «concept parasismique»



Concept de sécurité parasismique

contenu fonctionnel:

- Faire référence aux exigences définies dans la CU
- Spécifier l'action sismique
- Concept de la structure pour la protection parasismique (explication et présentation des éléments de contreventement par des vues en coupe ou en plan)
- Concept de sécurité parasismique des ENIE
- Procédure de calcul et dimensionnement parasismique
- Contrôle de qualité et signature

Basler & Hofmann

Appel d’offre, réalisation (SIA phases 4 et 5)

Appel d’offre pour structure parasismique (par un ingénieur civil)

Appel d’offre pour ENIE parasismiques
(par l’architecte, planificateur de façades, …)

- inclure les exigences des ENIE en matière de sécurité sismique dans l’appel d’offre ou bien
- prévoir des ENIE parasismiques

Vérifier l’exécution parasismique
(contrôler la structure et les ENIE)

Basler & Hofmann

Conclusion, questions et discussion

La construction parasismique en résumé

Le but de la construction parasismique est de concevoir la structure et les ENIE de manière à ce qu'ils puissent résister aux déformations et forces provoquées par le séisme.

- Lister les exigences pour la sécurité sismique dans le cahier des charges et la convention d'utilisation du projet, élaborer un concept pour la sécurité parasismique
- Définir les responsabilités dans le processus de planification et de construction (en particulier pour les ENIE)
- Par une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur, élaboration du concept de structure porteuse parasismique avec contreventements le plus tôt possible dans le processus de construction
- Utiliser des ENIE «parasismiques» et les fixer à la structure porteuse

L'accent est mis sur la protection des personnes, c.-à-d. sur la sécurité structurale pour les CO I et II et en plus sur l'aptitude au service et les ENIE importants pour la CO III

Conclusion construction parasismique

Avec peu d’efforts, beaucoup de dommages et de souffrances peuvent être évités,

si

toutes les personnes concernées sont sensibilisées et disposées à collaborer ensemble le plus tôt possible et supervisées avec compétence.

Basler & Hofmann

Questions, discussions et autres informations

Brochures de l'OFEV et de la
Fondation pour la dynamique des structures
et le génie parasismique

www.baudyn.ch
Fondation pour la dynamique des structures et le génie parasismique
Page Web avec brochures et informations
p.ex. par rapport au SEISMIC AWARD – Prix d'architecture et d'ingénierie pour la construction parasismique

www.bafu.admin.ch – Catastrophes naturelle – séisme
Page Web de l'OFEV avec des informations et publications comme
_ Conception parasismique des bâtiments (2002)
_ Confortement parasismique des constructions (2008)

www.seismo.ethz.ch
Page SED avec des informations et publications au sujet du séisme

Basler & Hofmann

Yves Mondet, Ing. Civ. Dipl. ETH / SIA

Responsable du département sécurité structurale chez Basler & Hofmann
yves.mondet@baslerhofmann.ch, +41 44 387 13 63

Doyen génie parasismique HSR
yves.mondet@hsr.ch, +41 79 740 36 79

Merci pour votre attention!

Basler & Hofmann Zurich