

Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants Concept et directives pour l'étape 1

Richtlinien des BWG – Directives de l'OFEG – Dirretive dell'UFAEG
Berne, 2005

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

Selon la décision du Conseil Fédéral du 11 décembre 2000, tous les projets de transformation et d'assainissement de la Confédération ou subventionnés par elle, ainsi que tous les bâtiments existants de classe d'ouvrage II et III appartenant à la Confédération doivent être vérifiés concernant leur sécurité parasismique. En présence de lacunes essentielles les ouvrages doivent être renforcés en tenant compte de la proportionnalité des coûts.

Pour les ouvrages existants de la Confédération pour lesquels les coûts de protection parasismique peuvent s'élever selon l'objet entre 2% et 10% (voir 20%) de la valeur de l'ouvrage, il est nécessaire de disposer d'une procédure de priorisation, ainsi que de répartir les interventions de protection parasismique sur plusieurs décennies.

Pour ce faire, l'OFEG a décidé d'élaborer et de mettre en œuvre une démarche en trois étapes. Pour l'inventaire de la sécurité parasismique des bâtiments existants de classe d'ouvrage II et III, les trois étapes sont à appliquer successivement. Pour la vérification de projets de transformation et d'assainissement, l'étape 3 doit être appliquée directement.

L'entreprise *Risk&Safety AG* a été mandatée pour élaborer la procédure d'investigation de l'étape 1 ainsi que pour en enseigner la mise en œuvre aux spécialistes concernés.

La deuxième édition de cette directive n'apporte pas de modifications à la méthodologie de l'étape 1. Les modifications concernent les conditions cadres (partie 1), ainsi que la mise en page de la directive et de la fiche d'évaluation. Comme nouveauté également, la présentation principale du cours d'introduction à l'étape 1 se trouve également en annexe.

Bienne, mars 2005

Blaise Duvernay

Centrale de Coordination de la Confédération pour la Mitigation des Séismes.

Impressum

Editeur : Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, OFEG

Auteurs: E. Kölz, Risk&Safety AG, Gipf-Oberfrick (1^{ère} édition)
B. Duvernay, Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, Bienne (2^{ème} édition)

Tirage: Format PDF, à disposition sur le site Internet de l'OFEG
<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/f/index.htm>

Source: Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants
à mentionner : Concept et directive pour l'étape 1 (2^{ème} édition),
Directives de l'OFEG (2005)

Copyright: Directives de l'OFEG: © OFEG, Bienne, 2005

Table des matières

1. Introduction	1
1.1 Situation initiale	1
1.2 Objectif	1
1.3 Concept pour la première étape	1
1.4 Déroulement de la procédure en 3 étapes pour le contrôle de la sécurité parasismique des bâtiments existants	2
2. Directive pour l'étape 1	4
2.1 Généralités	4
2.2 Recensement de l'ampleur des dommages	4
2.2.1 Généralités	
2.2.2 Indicateur des dommages directs	
2.2.3 Indicateur des dommages indirects	
2.2.4 Indicateur de l'ampleur des dommages	
2.3 Recensement de la probabilité d'effondrement	6
2.3.1 Généralités	
2.3.2 Année du projet et emplacement de l'ouvrage	
2.3.3 Tenue au séisme de la structure porteuse	
2.3.4 Indicateur de la probabilité d'effondrement	
2.4 Evaluation du risque sismique	10
2.4.1 Indicateur du risque	
2.4.2 Listes de priorité	
2.4.3 Définition des priorités et sélection pour l'étape 2 selon l'inventaire fédéral 2001-2004	
3. Documents à fournir	13
4. Liste bibliographique	13

Annexes

Formulaire d'évaluation de l'étape 1

Présentation principale du cours d'introduction à l'étape 1

1. Introduction

1.1 Situation initiale

L'aléa sismique a longtemps été sous-estimé en Suisse. C'est pourquoi la sensibilité des ouvrages aux tremblements de terre a été prise en compte tardivement dans les normes de la Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA) et par conséquent par les milieux de la construction. Parue en 1970, la norme SIA 160 *Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten* [1] comprenait pour la première fois des dispositions parasismiques et introduisait, sous la forme d'un effort de remplacement horizontal et indépendant de la fréquence, des règles aidant à concevoir les ouvrages en fonction des tremblements de terre. Le danger qu'ils occasionnent est approfondi dans la norme SIA 160 *Actions sur les structures porteuses* [2], éditée en 1989, qui lui accorde une plus large place. On considère que les dispositions de cette norme jettent de bonnes bases pour concevoir les nouvelles constructions en tenant compte des tremblements de terre.

En Suisse, 90 % des bâtiments ont été planifiés et construits avant 1989, et 70% avant 1970. La majorité n'est pas prévue pour résister aux tremblements de terre. Leur tenue au séisme est mal connue. Ils ne satisfont probablement pas aux exigences récentes.

Selon la directive SIA 462 *Evaluation de la sécurité parasismique des ouvrages existants* [3], il y a lieu de contrôler la résistance des constructions lorsque cela s'avère opportun au vu des connaissances nouvellement acquises. Aujourd'hui, l'heure est venue de procéder à cet examen.

1.2 Objectifs

Conformément à la décision du Conseil fédéral du 11.12.2000, l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) est chargé de recenser les bâtiments de la Confédération des classes II et III situés dans les zones d'aléa sismique 2 et 3 (selon la norme SIA 160) et d'en contrôler la tenue au séisme d'ici à fin 2004.

Pour ce faire, l'OFEG a décidé d'élaborer et de mettre en œuvre une démarche en trois phases. La première consiste à recenser sommairement les principaux composants des bâtiments et le risque sismique auquel ils sont exposés, en recourant aux plans d'architecte et si nécessaire à une vision locale. Dans une deuxième étape, il convient d'examiner plus en détail le risque affectant certains ouvrages, en se basant sur des plans d'ingénieur. La troisième phase consiste à mettre au point des mesures d'assainissement à l'attention d'un nombre restreint d'ouvrages particulièrement menacés, et à les réaliser le cas échéant.

Il y a lieu de concevoir cette démarche par étapes de manière à utiliser au mieux les moyens limités à disposition. Il en résulte notamment que l'on consacra un montant relativement modeste aux investigations de la première phase.

L'entreprise *Risk&Safety AG* a été mandatée pour élaborer la procédure d'investigation de l'étape 1 ainsi que pour en enseigner la mise en œuvre aux spécialistes concernés.

1.3 Le concept pour l'étape 1

L'Office fédéral des eaux et de la géologie a décidé de baser ces investigations sur le concept [4] proposé par l'entreprise *Risk&Safety AG*. Celui-ci a été développé à l'« Institut für Baustatik und Konstruktion » de l'EPF de Zurich sous la direction du professeur J. Schneider et a déjà mis en œuvre avec succès dans plusieurs cantons (Argovie, Berne, Grisons, Lucerne, St-Gall, Zoug). Il s'agit d'une procédure d'évaluation globale, axée sur le risque et structurée par étapes, qui permet d'utiliser judicieusement et en toute connaissance de cause les moyens limités à disposition.

La première étape de cette procédure éprouvée constitue la base de la présente directive, qui régit l'inventaire et l'évaluation des ouvrages de la Confédération, ainsi que la première phase d'appréciation du risque.

1.4 Déroulement de la procédure en 3 étapes pour le contrôle de la sécurité parasismique des bâtiments existants

Selon la décision du Conseil fédéral du 11 décembre 2000, les postes responsables de l'administration fédérale sont chargés de vérifier la sécurité parasismique de tous les bâtiments de classe d'ouvrage II et III de la Confédération, ainsi que de tous les projets d'assainissement ou de transformation d'ouvrages ou d'installations de la Confédération. En présence de lacunes essentielles, ces ouvrages doivent être renforcés en tenant compte de la proportionnalité des coûts. L'Office fédéral des eaux et de la géologie a pour ce faire développé et appliqué un concept de procédure en trois étapes.

Pour l'inventaire de la sécurité parasismique des bâtiments existants de classe d'ouvrage II et III, les trois étapes sont à appliquer successivement. Pour la vérification de projets de transformation et d'assainissement, l'étape 3 doit être appliquée directement.

- Lors de l'**étape 1**, les caractéristiques importantes du bâtiment sont relevées à l'aide de plans d'architecte et d'une éventuelle visite. Le risque sismique est ensuite établi de manière grossière sur la base d'une check-list (**env. 4 heures par bâtiment**).

L'estimation du risque ne nécessite pas de calculs détaillés, mais ne délivre également pas une appréciation absolue. Les priorités pour une analyse plus détaillée sont définies sur la base d'un indice de risque et d'un indice de probabilité d'effondrement.

- Lors de l'**étape 2**, les défauts des ouvrages avec un potentiel de risque élevé doivent être analysés de manière plus détaillée à l'aide de questionnaires et de calculs d'ingénieur simples (**env. 3 à 5 jours par bâtiment**).

Des questionnaires sont à disposition pour la plupart des types structuraux présents en Suisse. La procédure étant relativement simple, elle est fondamentalement conservatrice en comparaison avec l'étape 3. Pour l'évaluation numérique de la sécurité structurale, le principe du facteur de conformité selon le cahier technique SIA 2018 doit être (si possible) suivi. Les priorités pour une étude détaillée de la sécurité parasismique et du projet de renforcement éventuel sont définies sur la base de l'importance des défauts et du niveau du facteur de conformité.

- Lors de l'**étape 3**, une réponse définitive concernant la sécurité parasismique doit être fournie sur la base de méthodes avancées. Si nécessaire, des propositions de mesures doivent être développées (**une semaine ou plus par bâtiment**).

Le cahier technique SIA 2018 (2004) „Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants » sert de base pour l'étape 3. Il donne des indications, sur la base d'un facteur de conformité α_{eff} (rapport entre la résistance et les actions selon les normes) et de critères d'efficacité des mesures, pour savoir si un bâtiment doit être renforcé ou si son état actuel peut être accepté.

Pour l'appréciation de la sécurité des bâtiments, deux domaines principaux sont distingués. Un domaine où le niveau de sécurité des personnes est jugé inacceptable (déficit de sécurité) et un domaine où le niveau de sécurité des personnes est jugé acceptable.

Pour le domaine où la **sécurité des personnes** est jugée **inacceptable**, des mesures d'intervention doivent être mises en place. Le coût des mesures est toutefois limité par le **critère de l'exigibilité** (coût de sauvetage inférieur à 100 mio de francs par vie humaine sauvée). Si aucune mesure exigible n'est possible, le risque doit être réduit par des mesures organisationnelles (limitation de l'occupation). Si celles-ci sont impossibles, l'état actuel peut être accepté.

Pour le domaine où la **sécurité des personnes** est jugée **acceptable**, des mesures d'intervention ne doivent être mises en place que si elles respectent le critère de proportionnalité (coût de sauvetage inférieur à 10 mio de francs par vie humaine sauvée). Si aucune mesure proportionnée n'est possible, l'état actuel peut être accepté.

Les directives des 3 étapes de la procédure sont téléchargeables gratuitement sur le site Internet de l'OFEG (<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/f/index.htm>).

La figure 1 présente la procédure pour la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants de classe d'ouvrage II ou III de la Confédération. Les ouvrages de classe d'ouvrage III doivent dans tous les cas être analysés jusqu'à l'étape 3.

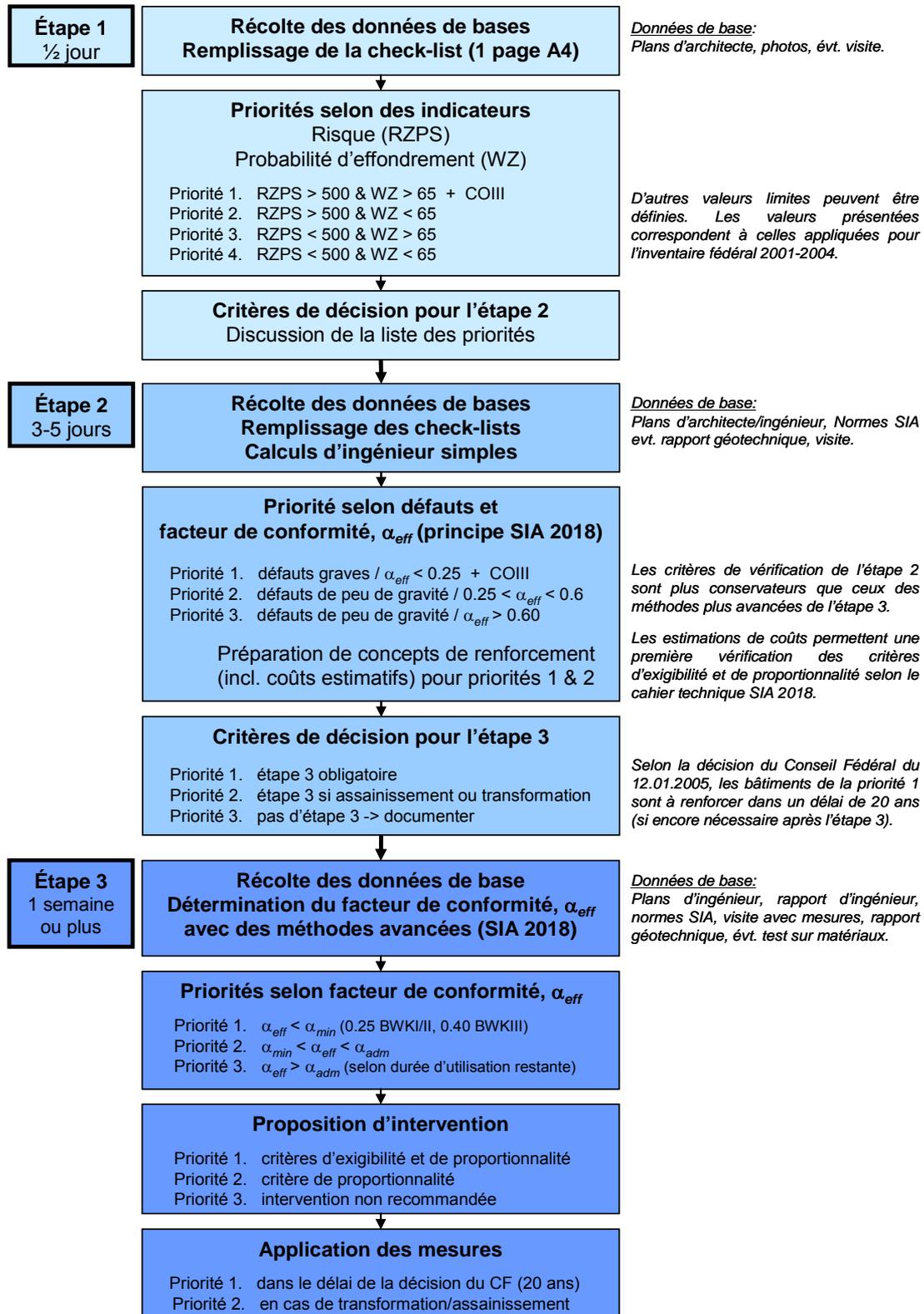


Figure 1 : Explication schématique de la procédure en trois étapes pour la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments de la Confédération de classe d'ouvrage II et III.

2. Directive pour l'étape 1

2.1 Généralités

La première phase d'évaluation des ouvrages se fonde sur les réflexions, recommandations, exigences et conditions suivantes:

- L'évaluation d'un ouvrage doit prendre une heure au plus à deux spécialistes qualifiés de la construction qui se basent sur l'étude de plans d'architecte, exceptionnellement complétée par une vision locale.
- Pour garantir une interprétation homogène, il convient que l'un des spécialistes - de préférence un ingénieur civil formé à la statique de la construction et expérimenté en la matière - participe à l'évaluation d'un vaste parc de bâtiments.
- L'estimation sommaire des risques comprendra l'ensemble des dommages corporels directs, dégâts aux bâtiments et autres dégâts matériels consécutifs aux tremblements de terre.
- Les ouvrages importants pour les principales chaînes de sauvetage appelées à intervenir lors d'une catastrophe seront examinés minutieusement et leurs caractéristiques brièvement décrites.

Dans la fiche d'inventaire, on commence par désigner l'ouvrage, son emplacement et son code. Puis on précise sa place et sa fonction dans les chaînes de secours et on consigne des informations complémentaires à son sujet. Ces données seront ensuite traitées pour produire une recommandation.

L'estimation des risques ne requiert pas de calcul détaillé et ne livre pas de résultats en valeur absolue. Son objectif consiste plutôt à recenser au moyen d'indicateurs les propriétés des ouvrages qui déterminent leur tenue au séisme et à évaluer le danger auquel sont exposés les bâtiments, les personnes et les biens. On suit un schéma d'évaluation pour déterminer l'indicateur **AZPS**¹ qui désigne l'ampleur des dommages corporels et des dégâts matériels, puis l'indicateur **WZ** qui témoigne de la probabilité d'effondrement de l'ouvrage. En multipliant ces deux paramètres, on obtient l'indicateur du risque **RZPS**.

Dans la première phase des travaux, l'évaluation des ouvrages suivra la présente *Directive*, qui comprend une *Fiche d'inventaire*.

2.2 Recensement de l'ampleur des dommages

2.2.1 Généralités

L'ampleur des dommages à recenser décrit les dégâts qui seraient occasionnés, lors d'un tremblement de terre, par l'effondrement de l'ensemble de l'ouvrage ou la perte de toutes ses fonctions. Le fait que la défaillance de l'ouvrage dépende de l'intensité du tremblement de terre, de la nature du sous-sol et de la structure de la construction est intégré lorsque l'on détermine l'indicateur relatif à la probabilité d'effondrement.

On utilise des indicateurs pour déterminer l'ampleur des dommages. Leur but n'est pas de la quantifier en valeur absolue. Ce sont plutôt des valeurs auxiliaires, cohérentes entre elles, qui servent à établir une classification. Les indicateurs sont représentés par deux lettres ou plus en caractères gras. La première, qui désigne l'ampleur des dommages, est un **A**. La deuxième et les éventuelles suivantes, qui sont précisées par la suite, spécifient de quel indicateur il s'agit.

¹ Pour des raisons d'homogénéité au plan suisse, les indicateurs sont désignés dans toutes les régions linguistiques en recourant aux mêmes lettres - qui synthétisent leur libellé en allemand.

2.2.2 Indicateur des dommages directs

Le montant des dégâts subis par un bâtiment lors de son effondrement plus ou moins complet correspond grosso modo à sa valeur d'assurance augmentée du coût inhérent au démantèlement de ses ruines. Vient s'y ajouter la valeur de son contenu, qui est sensiblement proportionnelle au montant des dégâts au bâtiment, sauf s'il s'agit d'un ouvrage particulier. Pour simplifier la procédure, on affecte à l'indicateur **ADS** décrivant ces dégâts matériels directs la valeur d'assurance du bâtiment en millions de francs. Si elle est de 12 millions de francs, **ADS** = 12. Les résultats sont arrondis à une décimale pour les valeurs basses et à l'entier supérieur pour les valeurs plus élevées (0,15 = 0,2; 12.15 = 13).

Si le contenu du bâtiment a une valeur particulièrement élevée, elle sera évaluée de la même manière et prise en compte en majorant d'autant l'indicateur **ADS**.

Si un ouvrage s'effondre lors d'un tremblement de terre, les personnes qui se tiennent à l'intérieur ou à proximité immédiate sont directement menacées. L'ampleur des dommages prévisibles dépend donc aussi du nombre moyen **N** de personnes qui se trouvent en même temps dans le bâtiment ou dans la zone dangereuse qui l'entoure. Pour simplifier la procédure, l'indicateur **ADP** relatif aux dommages corporels directs est défini comme étant égal à **N** multiplié par le facteur 0,1. Par exemple, si 240 personnes se trouvent pendant 8 heures par jour et 5 jours par semaine et 42 semaines par an dans un bâtiment et qu'il est pratiquement vide le reste du temps, alors **ADP** = 0,1 · 240 · 8/24 · 5/7 · 42/52 = 4,6. Il est inutile de rechercher une trop grande précision. Le résultat sera arrondi à une décimale pour des valeurs de ADP faibles et à l'arrondi supérieur pour des valeurs élevées.

L'indicateur des dommages directs résulte de la somme des dégâts matériels et des dommages corporels:

$$AD = ADS + ADP \quad (1)$$

Les indicateurs sont des nombres adimensionnels.

2.2.3 Indicateur des dommages indirects

Aux dommages corporels et dégâts matériels directement causés par l'effondrement d'un bâtiment peut venir s'ajouter la mise en danger indirecte de personnes et de biens. Les principaux dommages indirects, également nommés consécutifs ou secondaires, résultent de la perturbation ou l'interruption des chaînes de secours (pompiers, ambulances, hôpitaux et leurs voies d'accès) et de la dissémination de substances dangereuses à partir d'installations industrielles ou de dépôts.

Dans cette première phase d'évaluation, les dommages indirects sont répertoriés de manière très simplifiée, en multipliant les indicateurs **AD** et **AIF** (**A** pour ampleur, **I** pour indirect et **F** pour fonction). La valeur de **AIF** est donnée par la classe de fonction (I-III) de l'ouvrage, selon le tableau 1. Elle peut exceptionnellement être majorée dans une mesure raisonnable, notamment lorsque **AD** est peu élevé. Le recours à ce procédé sera dans tous les cas décrit et justifié dans la fiche d'inventaire.

Classe de fonction	AIF
FK I	1
FK II	2
FK III	5

Tab. 1: Dommages consécutifs

La classe de fonction III comprend les hôpitaux et établissements associés, les bâtiments afférents à la protection contre les catastrophes (casernes de pompiers, garages pour ambulances, etc.) ainsi que certains ouvrages et installations destinés à l'approvisionnement, à l'élimination et aux télécommunications ou alors susceptibles de porter préjudice à l'environnement s'ils sont endommagés.

La classe de fonction II inclut des bâtiments analogues à ceux de la classe III, mais qui semblent moins importants ou moins menacés. Quant à la classe I, elle regroupe tous les autres ouvrages, à savoir les logements, les bureaux, les constructions artisanales et industrielles, les dépôts, les parkings à étages et les installations associées, pour autant qu'ils ne figurent pas dans la classe II ou III.

2.2.4 Indicateur de l'ampleur des dommages

Au niveau de détail de la première phase, l'indicateur **AZPS** relatif à l'ampleur des dommages de toute nature prend donc la valeur:

$$AZPS = (ADS + ADP) \cdot AIF \quad (2)$$

L'indicateur **AZPS** est sans dimension. Il est arrondi à une décimale ou à l'entier supérieur selon sa valeur.

2.3 Recensement de la probabilité d'effondrement

2.3.1 Généralités

La probabilité d'effondrement exprime la probabilité qu'un bâtiment s'effondre plus ou moins complètement sous l'effet d'un séisme d'intensité donnée. Les réflexions suivantes guident la démarche:

- La probabilité d'effondrement d'un bâtiment donné est dix fois plus faible s'il est situé dans la zone 1 d'aléa sismique que s'il se trouve dans la zone 3b.
- Si l'on se réfère à un terrain de fondation de qualité moyenne, la probabilité d'effondrement d'un bâtiment donné est réduite de moitié s'il est fondé sur un bon terrain et doublée s'il est sur un mauvais terrain.
- La probabilité d'effondrement d'un bâtiment donné est la même dans toutes les zones d'aléa sismique s'il a été conçu selon les règles parasismiques de la norme SIA 160 de 1989.
- La probabilité d'effondrement d'un bâtiment donné situé dans la zone 1 d'aléa sismique est trois fois plus grande s'il a été dessiné avant 1970 que s'il a été conçu et construit après 1989 selon les règles parasismiques de la norme SIA 160. Dans la zone 3b, le rapport est de quinze à un.
- La probabilité d'effondrement d'un bâtiment conçu judicieusement à tous égards, et notamment vis-à-vis des tremblements de terre, est environ 20 fois plus faible que s'il est mal conçu à tout point de vue.

S'agissant de la probabilité d'effondrement, ce n'est pas une valeur précise qui est calculée dans la suite de la démarche, mais un indicateur **WZ** qui permet de comparer les ouvrages entre eux.

On utilise des indicateurs pour déterminer la probabilité d'effondrement. Leur but n'est pas de la quantifier en valeur absolue. Ce sont plutôt des valeurs auxiliaires, cohérentes entre elles, qui servent à établir une classification. Les indicateurs sont représentés par deux lettres ou plus en caractères gras. La première, qui désigne la notion de probabilité est un **W**. La deuxième et les éventuelles suivantes, qui sont précisées par la suite, spécifient de quel indicateur il s'agit.

2.3.2 Année du projet et emplacement de l'ouvrage

L'étude des dégâts que les bâtiments ont subi lors du tremblement de terre de Kobe (1995) a montré qu'on peut réduire considérablement la probabilité d'effondrement si l'on met en pratique les connaissances en génie parasismique acquises au cours des dernières années. Avant 1970, les normes SIA ne comprenaient encore aucune disposition relative aux tremblements de terre. La norme SIA 160 de 1970 était la première à prévoir un effort de remplacement horizontal. Quant à la norme SIA 160 de 1989, elle correspond à l'état actuel des connaissances. Si l'on part du principe que les règles parasismiques de la SIA disponibles à l'époque ont été suivies lorsque les ouvrages ont été conçus, leur résistance aux tremblements de terre est fonction de l'année du projet **P**, qui contribue donc à déterminer l'indicateur **WEP**.

La probabilité d'occurrence d'un tremblement de terre d'intensité donnée dépend de l'endroit considéré. La norme SIA 160 [2] découpe le territoire suisse en quatre zones d'aléa sismique ("macrozonation"). Ces zones **E** correspondent aux accélérations attendues lors de séismes. On peut également considérer qu'elles coïncident avec la probabilité d'occurrence d'un tremblement de terre d'intensité donnée. L'ouvrage [6] comprend des informations à ce sujet. Les différentes zones d'aléa sismique sont délimitées dans la carte 3 de la norme SIA 160. Pour la période précédant 1970, l'indicateur **WEP**, qui peut prendre les valeurs de 3 à 30, est corrélé étroitement avec ce découpage. Pour les ouvrages conçus et construits après 1989, la différenciation disparaît, sachant que la norme SIA 160 vise à homogénéiser la sécurité parasismique dans toute la Suisse. Pour la période courant de 1970 à 1989, il a été procédé à une interpolation linéaire dans un but de simplification.

Zone sismique	1	2	3a	3b
Année du projet				
< 1970	3	6	15	30
1970 - 1989	2	3	8	15
> 1989	1	1	1	1

Tab. 2: WEP selon la macrozonation et l'année de planification

Outre la macrozonation, le terrain **B** sur lequel l'ouvrage est fondé joue un rôle important. Les séismes sont susceptibles de provoquer une dégradation des terrains de fondation allant jusqu'à la liquéfaction du sol. En général, ce sont les sols fins et peu cohérents qui sont les plus sensibles aux tremblements de terre. Les pentes, les terrains en glissement et les remblais sont également des emplacements défavorables. Cette "microzonation" n'a pas été réalisée à l'échelle de la Suisse, c'est pourquoi il convient d'y procéder au cas par cas. L'indicateur **WB** tient compte de l' "effet de site", à savoir du fait que les propriétés d'un sol soumis à un tremblement de terre dépendent du lieu considéré.

Terrain	WB
Bon	1
Moyen	2
Mauvais	4

Tab. 3: Terrain

WB = 1 est à choisir pour un rocher ou un sol très compact (classes de sol A et B selon la norme SIA 261 (2003)) [7].

WB = 2 est à choisir pour les sols meubles de classe C, D et E selon la norme SIA 261 pour lesquels aucun effet induit (liquéfaction, thixotropie, glissement) ni amplification importante due à la géométrie du soubassement rocheux ne sont attendus.

WB = 4 est à choisir pour les sols où des effets induits comme la liquéfaction, la thixotropie ou les glissements sont attendus (classe de sol F selon la norme SIA 261, ainsi que pour les cas où une forte amplification due à la géométrie du soubassement rocheux est attendue (possible pour les classes de sol C, d et E).

2.3.3 Tenue au séisme de la structure porteuse

Le comportement d'une structure soumise aux effets d'un tremblement de terre est extrêmement complexe. Dans cette première phase de l'évaluation, on se borne à quelques caractéristiques livrées par l'étude des actes relatifs à l'ouvrage, éventuellement complétée par une vision locale. Egalement synthétisées sous la forme d'indicateurs, ces propriétés permettent de déterminer la tenue au séisme de la structure porteuse. Pour obtenir des explications plus détaillées à ce sujet, on se référera aux ouvrages [5] et surtout [6].

Le contreventement, qui doit absorber les efforts horizontaux, joue un rôle particulièrement important dans la tenue au séisme des structures porteuses. Trois de ses caractéristiques sont abordées dans la présente démarche, qui le considère en plan et en élévation, tout en tenant compte de sa nature.

Le contreventement en plan **G** correspond à l'agencement des éléments porteurs sollicités pour reporter les efforts horizontaux occasionnés par les tremblements de terre. Il est en général le plus efficace lorsque le centre de rigidité (ou centre de cisaillement) est proche du centre de masse (ou point d'application de la somme des forces d'inertie), ce qui permet d'éviter des contraintes de torsion excessives. Il est judicieux de redoubler le contreventement, afin de compenser la chute d'un élément porteur. Comme les effets des séismes peuvent se faire sentir dans toutes les directions, c'est le contreventement selon la direction la plus faible qui est déterminant. Il y a lieu de déterminer l'indicateur en se basant sur ces considérations. Malheureusement, on trouve encore occasionnellement des ouvrages dont le contreventement est médiocre de haut en bas dans une des deux directions, s'il ne manque pas totalement. Dans ce cas, **WG** prend une valeur élevée, ce qui devrait amener les bâtiments concernés dans la partie supérieure de la liste de priorité.

Contreventement en plan	WG
Approprié	0
Inapproprié	2
Aucun	5

Tab. 4: Contreventement en plan

Le contreventement et la forme du bâtiment en élévation **A** influencent son comportement oscillatoire lors d'un tremblement de terre. L'indicateur varie selon que le contreventement est continu ou non. Il est discontinu si ses éléments sont décalés horizontalement d'un étage à l'autre ou si des portions de plancher sont décalées verticalement. Cette subdivision repose notamment sur les connaissances acquises lors des récents tremblements de terre, où il s'est avéré que la rigidité devait être si possible la même à tous les étages. La situation est particulièrement délicate lorsque la rigidité diverge fortement entre deux niveaux directement superposés. Les piliers décalés d'un étage à l'autre présentent également une configuration défavorable. Les *Soft Storeys* sont particulièrement sensibles. Il s'agit de planchers plus "mous" que les autres qui, tenus par la seule résistance à la flexion des piliers, ont tendance à lâcher rapidement lors d'un tremblement de terre.

Contreventement en élévation	WA
Continu	0
Discontinu	2
"Soft Storey"	5

Tab. 5: Contreventement en élévation

La qualité du contreventement dépend également de sa nature **W**. Les noyaux et parois sont les mieux adaptés. Les cadres sont en général un peu moins rigides, ce qui favorise l'apparition de dégâts mais ne conduit pas forcément à l'effondrement précoce. Les treillis à nœuds centraux, comme on en a construit beaucoup en Suisse, sont moins aptes à reprendre les efforts engendrés par les tremblements de terre. Cependant, ce sont les cadres partiellement remplis de maçonnerie qui ont la plus mauvaise tenue, car cette dernière tend à reporter de gros efforts tranchants supplémentaires et de direction défavorable sur les piliers du cadre. L'expérience montre que les contreventements à configuration combinée sont également douteux.

Nature du contreventement	WW
Noyau, parois	0
Cadres translatables	1
Treillis	2
Cadres avec parois de remplissage	2-4
Système combiné	3

Tab. 6: Nature du contreventement

A l'instar du contreventement, le contour de l'ouvrage **K** contribue à sa tenue au séisme. Les formes anguleuses, dotées d'angles rentrants, ne sont pas appropriées. Les ouvrages allongés peuvent également poser des problèmes. Si une structure allongée dans la direction du vent dominant est en général judicieuse pour reprendre les efforts qu'il engendre, cette disposition n'est pas toujours suffisante vis-à-vis des séismes. Quant aux ouvrages dont les éléments peuvent osciller individuellement et de manière différentielle, ils sont particulièrement critiques. Il en résultera d'importants mouvements relatifs entre les compartiments, qui pourraient subir des dégâts en se heurtant mutuellement.

Le comportement d'une structure vis-à-vis des tremblements de terre dépend aussi bien de sa résistance que de sa ductilité ou déformabilité **D**. Il est peu probable qu'un ouvrage très déformable s'effondre, même si la résistance de son contreventement est relativement faible. Mais l'appréciation exhaustive de la déformabilité, qui exige des connaissances détaillées sur la structure, sort du cadre de cette première phase d'évaluation.

Mode de construction, ductilité	WD
Béton armé, acier, composite	0
Maçonnerie armée	2
Préfabriqué, bois	3
Maçonnerie, béton non armé	
- planchers flexibles	3 + n
- planchers rigides	3 + n/2

Tab. 7: Mode de construction, ductilité

La ductilité peut cependant être appréhendée sommairement en fonction du mode de construction et des matériaux constituant les éléments porteurs. Les ouvrages entièrement bâtis en maçonnerie ou en béton non armé s'avèrent particulièrement sensibles, surtout s'ils sont hauts et dépourvus de voiles de plafond rigides. Dans ce cas, l'indicateur **WD** prend en compte le nombre d'étages. Si les plafonds de ces bâtiments ont un effet diaphragme incertain, par exemple s'ils sont à poutrelles ou à hourdis, **n** correspond au nombre d'étages. Si l'effet diaphragme est garanti, ce qui est en général le cas pour les plafonds en béton armé, **n** est égal à la moitié du nombre d'étages et arrondi si nécessaire à l'entier supérieur.

Un tremblement de terre peut également occasionner des déplacements différentiels dans les sous-sols et entre les fondations **F**. Ces mouvements sont susceptibles de générer localement des contraintes excessives, pouvant conduire à l'effondrement du bâtiment. Les ouvrages fondés sur un terrain hétérogène, à des profondeurs variables ou dont les fondations permettent des mouvements différentiels ont une tenue au séisme particulièrement médiocre. Sont notamment menacées les constructions dotées de fondations isolées ou de semelles filantes non reliées par des traverses.

Fondation	WF
Toute la surface	0
Isolée	1

Tab. 8: Fondation

2.3.4 Indicateur de la probabilité d'effondrement

L'indicateur de la probabilité d'effondrement **WZ** regroupe toutes les caractéristiques décrites ci-dessus (§ 2.3). Il résulte de la formule suivante, qui prend en compte les indicateurs calculés à propos de la structure porteuse:

$$WZ = WEP \cdot WB \cdot (1 + WG + WA + WW + WK + WD + WF) \quad (3)$$

2.4 Evaluation du risque sismique

2.4.1 Indicateur du risque

On obtient l'indicateur du risque **RZPS** en appliquant les règles usuelles de calcul du risque aux indicateurs relatifs à l'ampleur des dommages et à la probabilité d'effondrement:

$$RZPS = AZPS \cdot WZ \quad (4)$$

L'indicateur **RZPS** représente une mesure du risque sismique qu'il convient d'attribuer à l'ouvrage considéré. Il est inscrit sur la fiche d'inventaire, comme les indicateurs relatifs à l'ampleur des dommages et à la probabilité d'effondrement. Sa valeur est arrondie à l'entier supérieur.

2.4.2 Listes de priorité

Les ouvrages examinés peuvent être classés en fonction de leur indicateur de risque **RZPS**. Il en résulte une liste de priorité qui met en évidence le risque encouru par les bâtiments.

Une liste de priorité décroissante selon l'indicateur **AZPS** met quant à elle en évidence l'ampleur prévisible des dommages. Elle signale notamment les cas où les risques dépendent surtout de la valeur du bâtiment et de son usage.

Une liste décroissante selon l'indicateur **WZ** signale les bâtiments qui s'effondreront le plus probablement lors d'un tremblement de terre et ceux où l'assainissement de la structure porteuse permettrait de réduire les risques. En interprétant cette liste, il convient de ne pas oublier que les indicateurs relatifs à la probabilité d'effondrement sont affectés d'une grosse incertitude inhérente au mode de recensement.

Il peut également s'avérer judicieux d'établir des listes décroissantes selon **ADS** ou **ADP**, qui pourraient ne prendre en compte que les ouvrages des classes de fonction II et III.

Un formulaire standard sous Excel est à disposition pour saisir les données et dresser de telles listes.

On peut finalement représenter dans un diagramme **WZ/AZx** (x selon que l'ampleur des dommages se réfère aux personnes **P**, aux biens **S** ou aux personnes et aux biens **PS**) les indicateurs relatifs à l'ampleur des dommages, à la probabilité d'effondrement et au risque. Chaque ouvrage recensé est figuré par un point dans le diagramme. L'indicateur **RZPS** du risque encouru par un ouvrage correspond à la surface du rectangle inscrit entre les axes de coordonnées et les parallèles aux axes passant par le point considéré. La figure 1 fournit un exemple issu de la première application de la procédure. Elle se borne aux risques de dommages corporels, qui ont été calculés en recourant à des indicateurs définis de diverses manières.

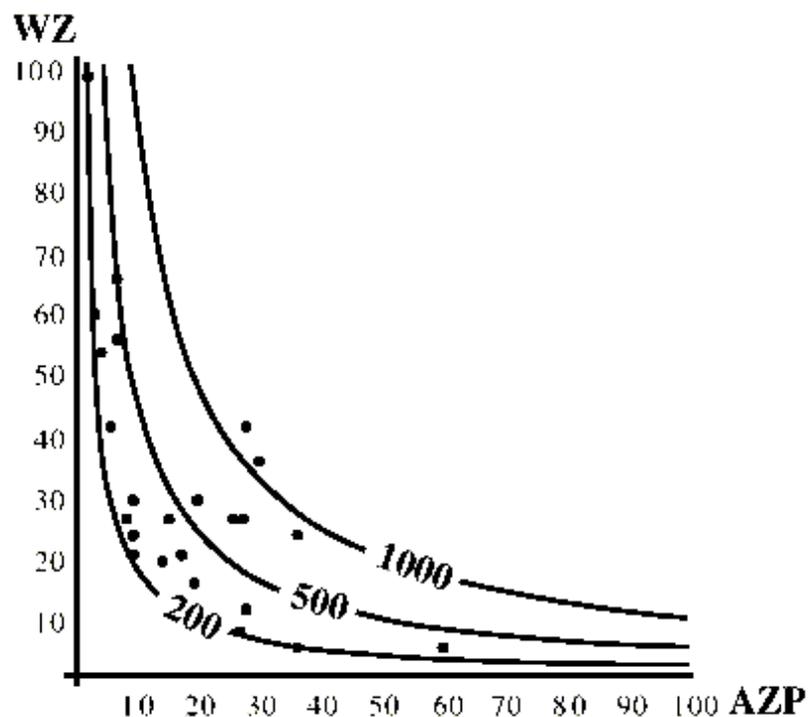


Figure 1: Exemple de diagramme **WZ/AZP**
(Canton d'Argovie, **RZP** > 200)

Ce mode de représentation est particulièrement bien adapté pour évaluer les possibilités de réduire les risques et pour établir des priorités. Les points situés dans la partie supérieure du diagramme symbolisent les ouvrages dont l'assainissement parasismique de la structure porteuse peut s'avérer efficace, les points situés tout à droite signalant plutôt les constructions dont le changement d'affectation peut s'avérer judicieux.

Les courbes soulignent le lieu géométrique des indicateurs de risque de valeurs données. Les ouvrages dont les points se situent à droite et au-dessus de la courbe correspondant à une valeur fixée devront être examinés plus en détail dans une deuxième phase d'évaluation.

Il peut s'avérer judicieux de distinguer les risques affectant les personnes et les biens en établissant des diagrammes spécifiques pour **ADP** et **ADS** au lieu d'une représentation globale selon **AZPS**.

2.4.3 Définition des priorités et sélection pour l'étape 2 selon l'inventaire fédéral 2001-2004

Lors de l'inventaire fédéral 2001-2004, 322 bâtiments existants de classe d'ouvrage II et III en zone sismique 2, 3a et 3b ont été évalués à l'aide de l'étape 1.

La liste de priorité pour l'étape 2 a été établie avec 4 degrés de priorité (voir tableau 9 et figure 2). Après discussion de la liste des priorités, les bâtiments devant être étudiés selon l'étape 2 ont été définitivement sélectionnés. Le tableau 9 résume les résultats.

Priorité	RZPS	WZ	Nombre en étape 1	Sélectionnés pour l'étape 2	%
1	> 500	> 65	48	40	83%
2	> 500	≤ 65	22	19	86%
3	≤ 500	> 65	83	31	37%
4	≤ 500	≤ 65	169	4	2%
			322	94	29%

Tableau 10: Mise ne priorité et sélection pour l'étape 2 selon l'inventaire fédéral 2001-2004.

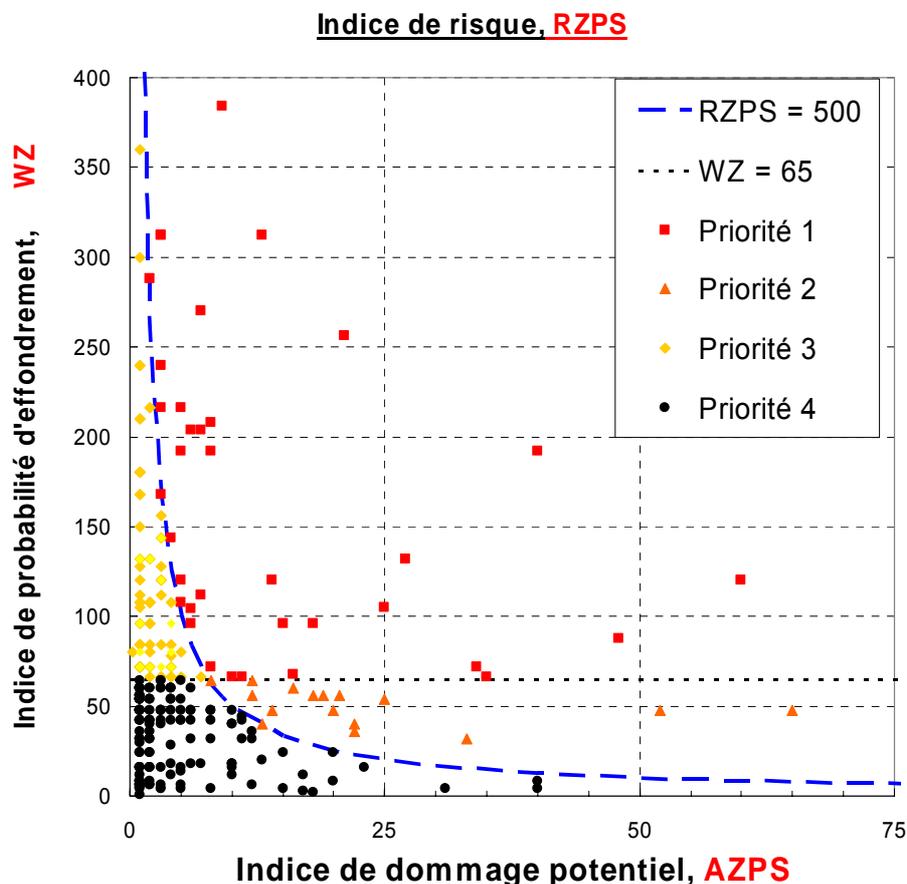


Figure 2: Définition des priorités selon l'inventaire fédéral 2001-2004.

3 Documents à remettre

Les spécialistes qui procèdent aux examens sont tenus de remplir et de transmettre les fiches d'inventaire relatives aux ouvrages qui leur ont été assignés. Les différents indicateurs seront également reportés sur un formulaire Excel (fourni), qui permettra de procéder à une évaluation comparative et de classer les ouvrages selon différents critères.

Tout commentaire relatif à l'ouvrage examiné ou à la méthode appliquée est le bienvenu.

4. Liste bibliographique

- [1] Norm SIA 160: "Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten". Zürich, 1970.
- [2] Norme SIA 160: "Actions sur les structures porteuses". Zurich, 1989.
- [3] Directive SIA 462: "Evaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants". Zurich, 1994.
- [4] Bürge M. et al.: "Handlungsprioritäten für die Erdbebensicherung bestehender Bauten der öffentlichen Hand". In SIA Dokumentation D 0145, Zürich, 1997.
- [5] Wenk T.: "Verstärkung bestehender Bauwerke". Zürich, 1996 (documentation de cours).
- [6] Bachmann H.: "Erdbebensicherung von Bauwerken". Birkhäuser Verlag, Zürich, 1995.
- [7] Norme SIA 261: "Actions sur les structures porteuses". Zurich, 2003.
- [8] SIA 2018 (2004), Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants, Cahier technique, Société suisse des Ingénieurs et des Architectes, Zurich.
- [9] OFEG (2005), Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants, Principes et directives pour l'étape 2 (2^{ème} édition), Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, Bienne (en préparation).
<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/f/index.htm>.
- [10] OFEG (2005), Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants, Principes et directives pour l'étape 3, Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, Bienne.
<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/f/index.htm>.

Recensement du risque sismique affectant les bâtiments

Inventaire - Etape 1

Ouvrage Code

--	--	--	--	--

--	--

Rue

PLZ Lieu

Coordonnées CH E:

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

 N:

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

Numéro de la commune

--	--	--	--	--

 Canton

--	--

Classe d'ouvrage selon la Norme SIA 261: I II III

Utilisation :

Bien culturel non oui: importance nationale oui: importance régionale

Conséquences possibles de l'effondrement du bâtiment:

Effondrement:

- Aucune répercussion
- Répercussions limitées
- Graves répercussions

Perte de fonction:

- Aucune fonction
- Transports publics
- Logistique
- Hôpital

- Communications
- Alimentation en énergie
- Unité de secours
-

Remarques:

.....

.....

Documents:

Contact:

E - Mail:

Téléphone:

Evaluation basée sur: Levé effectué par: Date:

- Vision locale
- Plans
- Photos

Société

Signature

Recensement du risque sismique affectant les bâtiments

Inventaire - Etape 1

Ouvrage Code

Nombre d'étages au-dessus du terrain:

Planchers: planchers rigides (b.a.) planchers flexibles (bois,...)

Classification en fonction des conséquences et de l'ampleur des dommages:

Classe de fonction: **AIF**

FK I 1 $ADP = 0,1 \cdot \square \cdot \square / 24 \cdot \square / 7 \cdot \square / 52 = \square$
 FK II 2
 FK III 5 $ADS = \square$ $AZPS = (ADS + ADP) \cdot AIF = \square$

Zone sismique, année du projet	WEP				Terrain	WB
	1	2	3a	3b		
Zone sismique:					Bon	1
Année du projet: < 1970	3	6	15	30	Moyen	2
1970 - 1989	2	4	8	15	Mauvais	4
> 1989	1	1	1	1		

$$WEPB = WEP \cdot WB = \square$$

Structure:

Contreventement en plan	WG	Contreventement en élévation	WA
Approprié	0	Continu	0
Inapproprié	2	Discontinu	2
Aucun	5	„Soft Storey“	5
Nature du contreventement	WW	Contour de l'ouvrage	WK
Noyaux, parois	0	Compact	0
Cadres autostables	1	Anguleux ou allongé	1
Treillis	2		
Cadres avec paroi de remplissage	2 - 4		
Système mixte	3		
Mode de construction, ductilité	WD	Fondation	WF
Béton armé, acier, composite	0	Toute la surface	0
Maçonnerie armée	2	Isolée	1
Préfabriqué, bois	3		
Maçonnerie, béton non armé	3 + n		

$$WBAU = (1 + WG + WA + WW + WK + WD + WF) = \square$$

Indicateurs pour la définition de priorités

$$WZ = WEPB \cdot WBAU = \square$$

$$RZPS = AZPS \cdot WZ = \square \square \square \square \square$$

Formation Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Evaluation de la sécurité parasismique à l'aide d'indicateurs de risque

Ehfried Kölz / Marcel Bürge
Risk&Safety AG
 Ingenieure in Gemeinschaft

1

Concept d'évaluation ... Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

**... développé à l'EPF-Zurich pour l'évaluation de
de parcs immobiliers**

- engagement efficace des moyens**
engager les moyens, là où en a besoin;
évaluation en une heure (indicateurs)
- orienté risque**
le calcul d'un indicateur de risque RZ, prend en considération
l'ampleur des dégâts et la probabilité d'effondrement (indicateurs)
- définir les priorités**
évaluation standardisée, liste de priorités, diagrammes W/A

Bâtiments individuels

- indice concernant le risque et le besoin de mesures**
réponse initiale sur la nécessité d'approfondir l'évaluation
de la sécurité parasismique

2

Concept d'évaluation Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Documents

- plans**
Plans d'architecte au 1:200, exceptionnellement plans d'ingénieur
- fiche d'évaluation**

Procédure

- Interviews**
un spécialiste „interviewe“ un responsable du bâtiment,
question type: „est-ce que c'est de la maçonnerie ou du béton armé?“
- spécialistes**
éducation en statique et ingénierie de la construction
- évaluer de manière homogène**
assurer une homogénéité dans l'évaluation d'un parc immobilier
évaluation des bâtiments appartenants à un même parc par un seul spécialiste

3

Fiche d'évaluation Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Bundesamt für Wasser und Geologie
Koordinstationsstelle Erdbebenvorsorge

Erfassung der Erdbebengefährdung Eidgenössischer Bauwerke
Inventarisierung Stufe 1

Bauwerk: _____ Code: _____
Standort: _____
Standort Akten: _____ Ansprechpartner: _____
Telefon: _____

Mögliche Folgen eines Gebäudeeinsturzes:

<input type="checkbox"/> Keine Auswirkung	<input type="checkbox"/> Keine Funktion	<input type="checkbox"/> Kommunikation
<input type="checkbox"/> Geringe Auswirkung	<input type="checkbox"/> Öffentlicher Verkehr	<input type="checkbox"/> Energieversorgung
<input type="checkbox"/> Schwere Auswirkung	<input type="checkbox"/> Logistik	<input type="checkbox"/> Rettungseinheit
	<input type="checkbox"/> Krankenhaus	<input type="checkbox"/>

Klassierung nach Konsequenzen, Schadensausmass:

Funktionsklasse:	AIF	ADP = 0.1 * [] / 24 * [] / 7 = []
<input type="checkbox"/> FK I	1	
<input type="checkbox"/> FK II	2	ADS = []
<input type="checkbox"/> FK III	5	AZPS = (ADS + ADP) * AIF = []

RZPS = AZPS · WZ

4

Fiche d'évaluation Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Identification du bâtiment

Bundesamt für Wasser und Geologie
Koordinstationsstelle Erdbebenvorsorge

Erfassung der Erdbebengefährdung Eidgenössischer Bauwerke
Inventarisierung Stufe 1

Bauwerk: _____ Code: _____
Standort: _____
Standort Akten: _____ Ansprechpartner: _____
Telefon: _____

5

Fiche d'évaluation Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Estimation de l'ampleur des dommages AZPS

Conséquences indirectes

Mögliche Folgen eines Gebäudeeinsturzes:

Verschüttung:	Funktionsausfall:	<input type="checkbox"/> Kommunikation
<input type="checkbox"/> Keine Auswirkung	<input type="checkbox"/> Keine Funktion	<input type="checkbox"/> Energieversorgung
<input type="checkbox"/> Geringe Auswirkung	<input type="checkbox"/> Öffentlicher Verkehr	<input type="checkbox"/> Rettungseinheit
<input type="checkbox"/> Schwere Auswirkung	<input type="checkbox"/> Logistik	<input type="checkbox"/> Krankenhaus
	<input type="checkbox"/> Krankenhaus	<input type="checkbox"/>

Klassierung nach Konsequenzen, Schadensausmass:

Funktionsklasse:	AIF	ADP = 0.1 * [] / 24 * [] / 7 = []
<input type="checkbox"/> FK I	1	
<input type="checkbox"/> FK II	2	ADS = []
<input type="checkbox"/> FK III	5	AZPS = (ADS + ADP) * AIF = []

Conséquences directes,...

6

Dommages directs

Dégâts directs aux biens ADS

- valeur du bâtiment en mio. de francs

Valeur de remplacement où autre estimation, ordre de grandeur, arrondi au nombre entier supérieur

Dommages directs aux personnes ADP

- occupation moyenne

sous forme d'un facteur représentatif de l'occupation moyenne

$$ADP = 0.1 \cdot \left[\frac{\text{Nbre de personnes}}{\text{Facteur}} \cdot \frac{\text{Jours par semaine}}{\text{Heures par jour}} \right] = \square$$

7

Exemple: ADP

Une école

- occupation régulière
- 400 personnes, 6 – 9 heures/jour, 5 jours par semaine
- occupation spéciale, ex. aula ou halle de sport
- 1000 personnes, 3 heures/jour, 1 fois par mois

Belegung

$$ADP = 0.1 \cdot \left[\frac{400}{1} \cdot \frac{5}{8} \right] + \left[\frac{1000}{1} \cdot \frac{1}{7} \right] = 10$$

8

Dommages indirects

Classe de fonction AIF

- dommages consécutifs dus à une réduction de la fonction
- dommages aux biens (ex. interruption du production), dommages aux personnes (ex. dans le cas d'hôpitaux, d'industries chimiques)
- indicateur de l'ampleur des dommages AZPS

$$AZPS = (ADS + ADP) \cdot AIF$$

Classe de fonction	AIF
FK I	1
FK II	2
FK III	5

pas de dommages consécutifs
 même ordre de grandeur que les dommages directs
 dommages consécutifs considérables
 évt. pondération augmentée

9

Fiche d'évaluation

Détermination de WZ

Erdbebenzone, Planungs-jahr	WEP				Baugrund	WB
Erdbebenzone:	1	2	3a	3b	Gut	1
Planungs-jahr: vor 1970	3	6	15	30	Durchschnittlich	2
1970 bis 1989	2	4	8	15	Schlecht	4
nach 1989	1	1	1	1		

$$WEPB = WEP \cdot WB = \square$$

Tragwerk:	WG	Aussteifung Aufriss	WA
Aussteifung Grundriss			
Günstig	0	Stetig	0
Ungünstig	2	Unstetig	2
Fehlende Aussteifung	5	Soft Storey	5
Aussteifungsweise	WW	Konzept im Grundriss	WK
Kern, Wände	0	Kompakt	0
Verschiebbliche Rahmen	1	Verwinkelt oder länglich	1
Fachwerke	2		
Rahmen mit Füllwänden	2 bis 4		
Gemischte Systeme	3		
Bauweise, Duktilität	WD	Foundation	WF
Stahlbeton, Stahl, Verbund	0	Flächenhaft	0
Bewehrtes Mauerwerk	2	Einzelgründung	1
Vorfabrikation, Holz	3		
Mauerwerk, unbewehrter Beton	3 + n		

$$WBAU = (1 + WG + WA + WW + WK + WD + WF) = \square$$

$$WZ = WEPB \cdot WBAU = \square$$

10

Année de projet / zone sismique

Normes SIA

- zone sismique
- définie dans la norme de la société suisse des ingénieurs et architectes (SIA)
- Norme SIA 160, édition 1989
- dispositions pour les tremblements de terre
- Norme 1970: rudimentaire, depuis 1989: plus avancée
- année de projet
- le moment de la planification est important, pas le moment de la construction

Zone sismique	1	2	3a	3b
Planification				
avant 1970	3	6	15	30
de 1970 à 1989	2	3	8	15
après 1989	1	1	1	1

11

Sol de fondation WB

- Bon** → 1
- sols rigides
- Ex. rocher, molasse
- Moyen** → 2
- ni bon, ni mauvais
- Mauvais** → 4
- sols fins, sols mous, sols sensibles
- Ex. argile lacustre, sable lâche
- sols saturés
- Nappe phréatique près de la surface
- topographie défavorable
- Ex. terrain en pente, bord de vallées
- glissement de terrain, remblais artificiels

12

Exemple: WB

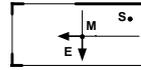
Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik



13

Contreventement en plan WG

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik



M centre de masse
S centre de rigidité
E effort sismique (resp. mouvement)

Favorable

- centre de rigidité S près du centre de masse M

Ex. disposition symétrique en plan des éléments de contreventement

Défavorable

- S et M sont éloignés l'un de l'autre

Ex. disposition asymétrique des éléments de contreventement, typique: contreventement en coin

- contreventement faible dans une direction

Aucun

- pas d'éléments de contreventement significatifs

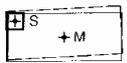
14

Exemples: WG

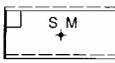
Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

M centre de masse, S centre de rigidité

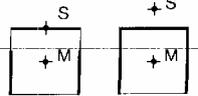
défavorable



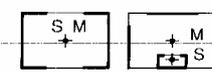
favorable



défavorable



favorable



Source: Bachmann, Erdbbensicherung von Bauwerken 15

Exemple: WG

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik



16

Contreventement en élévation WA

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

continu

- rigidité identique à tous les étages ou augmentant progressivement vers le haut

discontinu

- changements de rigidité en particulier, suppression d'éléments de contreventement
- autres discontinuités dans le cheminement des forces en particulier: évidements, planchers décalés verticalement, éléments de contreventement décalés horizontalement

Soft Storey

- étage avec quasi-absence de rigidité horizontale typique des bâtiments avec surface commerciale au rez-de-chaussée

17

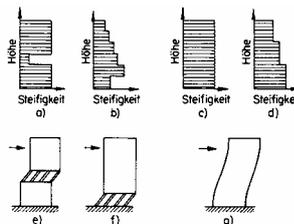
Exemples: WA

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

défavorable

favorable

défavorable favorable



Source: Bachmann, Erdbbensicherung von Bauwerken

18

Exemple: WA

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik



19

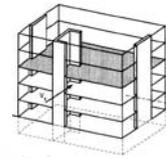
Nature du contreventement WW

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

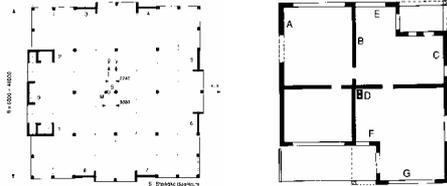
Noyaux, parois

- haute rigidité et stabilité

Ex. Noyaux: cages d'ascenseurs, cages d'escaliers (largement espacées)



→ 0



Source: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

20

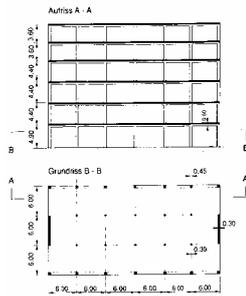
Nature du contreventement WW

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

Cadres translatables

- système moins rigide
- condition: pas de remplissage

Bâtiments de bureaux
Evt. halles sportives,
halles de production,
halles de stockage



→ 1

Source: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

21

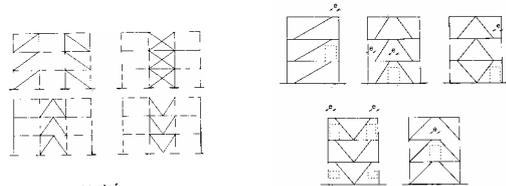
Nature du contreventement WW

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

Treillis

- système très rigide

gén. centré, peu de potentiel pour la dissipation d'énergie, halles



centré

excentré

→ 2

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

22

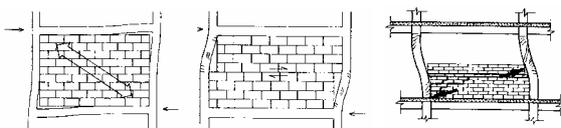
Nature du contreventement WW

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

Cadres avec parois de remplissage

- système vulnérable

plutôt favorable, si les parois de remplissage et le cadre sont liés en compression uniquement;
particulièrement défavorable si les parois ne sont que partiellement remplies



→ 2 - 4

Source: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

23

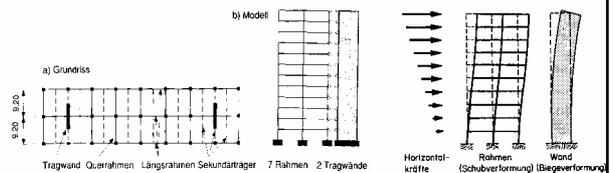
Nature du contreventement WW

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

Systèmes mixtes

- systèmes hétérogènes: défavorable

différents systèmes de contreventement, souvent pour cause de transformation ou d'agrandissement.



→ 3

Source: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

24

Contour du bâtiment WK Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Compact → **0**

- modes de vibrations uniformes

Anguleux, allongé → **1**

- torsion induite par le positionnement relatif défavorable des centres de masse et de rigidité
- modes de vibrations complexes et non-uniformes
- concentration d'efforts

25

Exemples: WK Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Forme du bâtiment en plan

défavorable favorable

Configuration des évidements en plan

Source: Bachmann, Erdbeseisnerung von Bauwerken 26

Mode de construction, ductilité WD Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Béton armé, acier, composite → **0**

- bonne résistance (traction/compression)
- capacité de déformation plastique élevée "dissipation d'énergie"

27

Mode de construction, ductilité WD Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Maçonnerie armée → **2**

- bonne capacité de déformation
- résistance à la traction possible

Source: Zimmerli/Schwartz/Schwegler, Mauerwerk 28

Mode de construction, ductilité WD Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Préfabriqué, bois → **3**

- connections, rigide, fragile
- le bois est léger, effet positif

29

Mode de construction, ductilité WD Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Maçonnerie, béton non-armé → **3 + n**

- pas de comportement ductile, fragile, ne résiste qu'à la compression et à l'effort tranchant

30

Fondation WF

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Toute la surface → 0

- **fondation continue**
Ex. radier général, semelles continues liées par des traverses, semelles isolées liées par un radier général

Isolée → 1

- **éléments de fondation isolés non liés**
Ex. semelles isolées
- **fondations hétérogènes**
Ex. éléments différents, pieux de longueurs différentes, sol de fondation très hétérogène

31

Exemple: WF

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Source: Meili, Schweizerische Bauzeitung

32

Fiche d'évaluation

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Conclusion

Besondere Bemerkungen:

RZPS = AZPS · WZ =

Beurteilung auf Grund von:

- Begehung
- Planen
- Photos

Für die Aufnahme:

Stempel

Datum:

Unterschriften

33

Réduction du risque

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Par la réduction de AZPS

- **changement de l'utilisation du bâtiment**
réduire l'occupation, changer la fonction, ...

Par la réduction de WZ

- **amélioration du comportement sismique**
renforcement ou „assouplissement“ de la structure porteuse, amélioration de la capacité de déformation, de la ductilité...

34

Critères pour la réduction du risque

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Dangers aux personnes

- **risque individuel: WZ > xxx**
personne ne doit être menacé passé un certain seuil

Utilisation rationnelle des moyens

- **ampleur du risque: RZ.. > yyy**
priorités pour une évaluation approfondie du de la sécurité parasismique des bâtiments

2000 bâtiments analysés

- max WZ = 132, max RZ = 4 680
- RZ = risque individuel direct (ADS=0; AIF=1)
- min xxx = 21, min yyy = 132

Devise

- évaluer la sécurité parasismique lors de transformations

35