



# Association Française du Génie Parasismique

ASSEMBLEE GENERALE 2007  
Conférence d'honneur

« Appréciation de la sécurité sismique pour le bâti  
existant en Suisse »

Martin KOLLER

La conférence a été donnée par Monsieur Martin KOLLER, Président de l'Association européenne de génie parasismique, en reprenant de nombreux éléments mis à disposition par MM. Ehrfried Kölz, Blaise Duvernay et Pierino Lestuzzi.

# Appréciation de la sécurité sismique pour le bâti existant en Suisse

Martin G. KOLLER

Résonance Ingénieurs-Conseils SA, Carouge  
[www.resonance.ch](http://www.resonance.ch)

**AFPS**

# Structure de l'exposé

1. Contexte actuel (aléa, bases légales, sensibilisation,...)
2. Les étapes du contrôle
3. Le Cahier Technique SIA 2018
4. Rôle des études d'effets de site
5. Conclusions

# Niveau de l'aléa sismique en Suisse

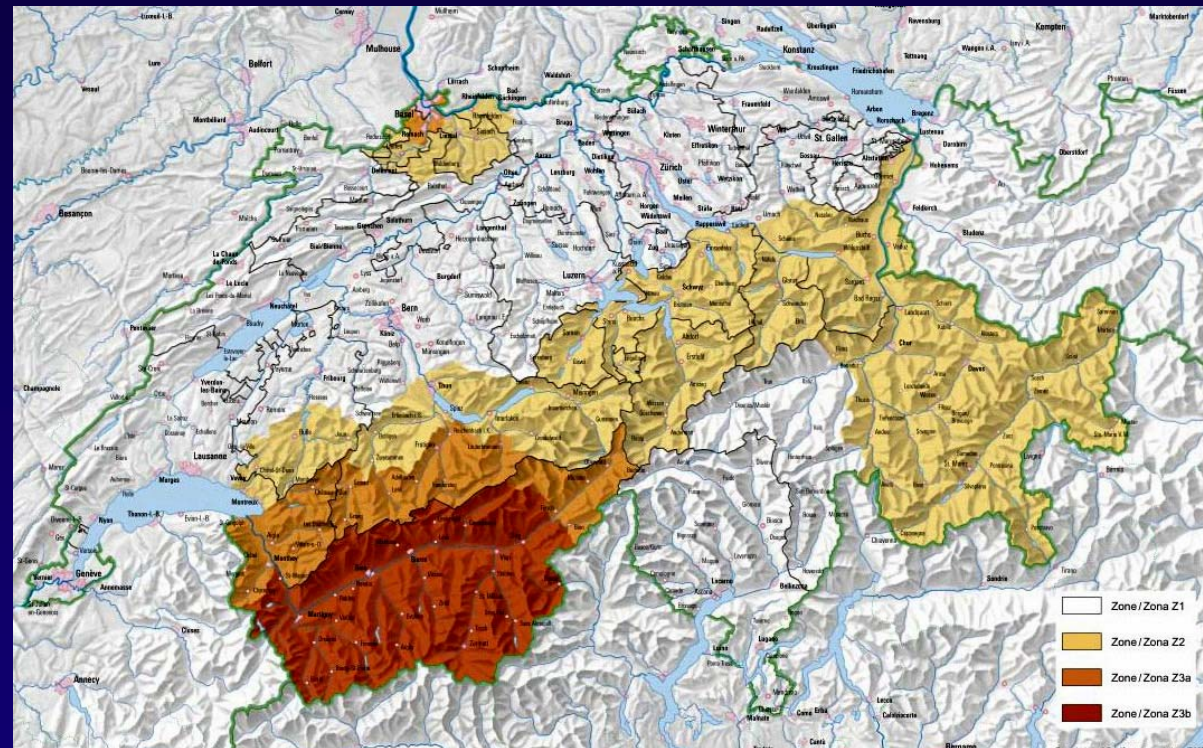
Accélération  
de calcul par  
zone:

1 :  $0.6 \text{ m/s}^2$

2 :  $1.0 \text{ m/s}^2$

3a :  $1.3 \text{ m/s}^2$

3b :  $1.6 \text{ m/s}^2$

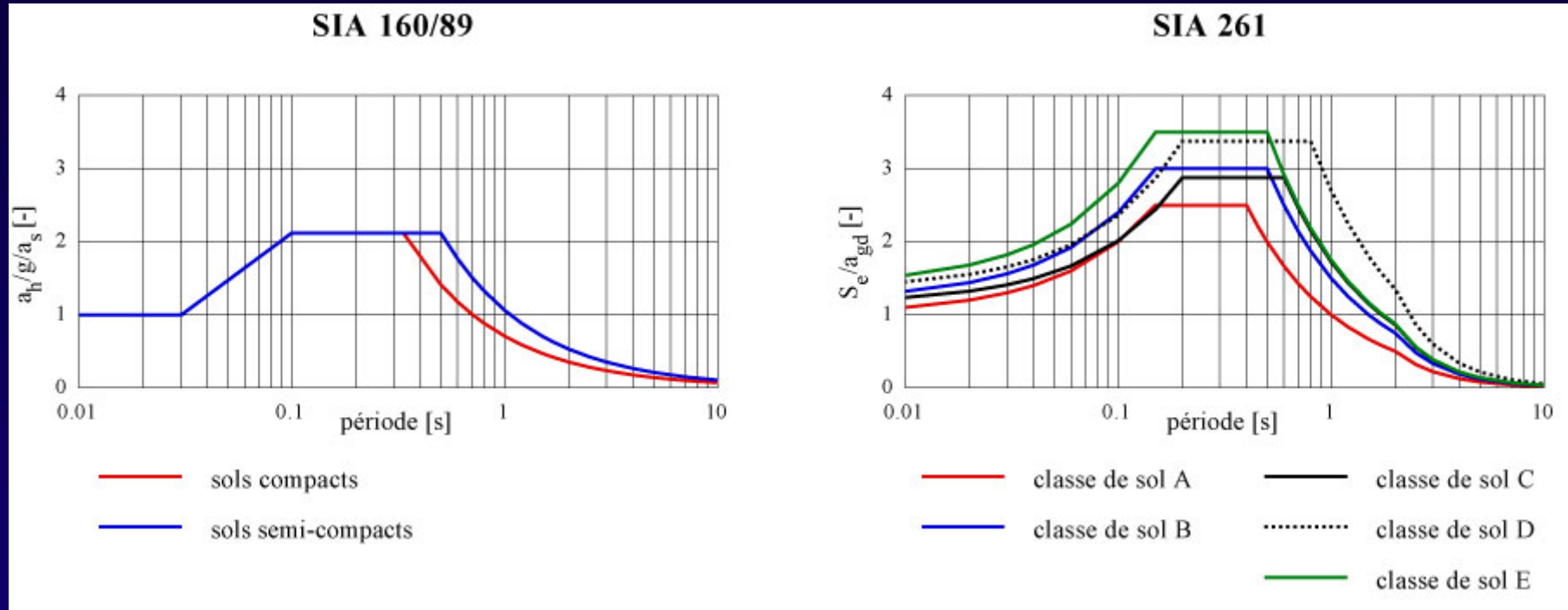


# Évolution des normes SIA

- Avant 1970 pas d'actions sismiques
- 1970 force horizontale (2 % ou 5 % du poids)
- 1989 zones d'aléa, spectres de réponse, classes d'ouvrage)
- 2003 compatible avec l'Eurocode 8, spectres du type 1

Tout compte fait, les efforts sismiques à prendre en compte 2003 sont environ 2 à 3 fois plus élevés qu'en 1989 !

# Évolution des normes SIA



2003 : les accélérations sismiques élastiques sont environ 1.5 à 2.5 fois plus élevées qu'en 1989 !

# Sécurité sismique des ouvrages existants

La plupart des ouvrages existants n'ont pas été dimensionnés de façon parasismique ou bien ont été dimensionnés selon des normes désuètes.

**→ Le risque principal est lié au bâti existant !**

## Bases légales : la théorie...

Sur le plan fédéral, le code des obligations stipule :  
**Art. 58 : <sup>1</sup> "Le propriétaire d'un bâtiment ou de tout autre ouvrage répond du dommage causé par des vices de construction ou par le défaut d'entretien."**

Il ne suffit pas que le bâtiment ait répondu aux normes de sécurité à l'époque de sa construction.  
→ En théorie, le propriétaire devrait rendre son bâtiment conforme aux nouvelles normes ; en pratique, ce n'est que très rarement fait.

## **Bases légales : la pratique...**

**La prévention sismique - contrairement aux autres risques naturels – est du seul ressort des cantons !**

**Seul le canton du Valais connaît, depuis 2004, une obligation explicite de renforcement sismique en cas de rénovation importante (sinon, pas de permis de construire...) ; la proportionalité des coûts est appréciée selon le cahier technique SIA 2018.**

# Sensibilité de la population en 1946



Après le séisme de 1946, en Valais ... procession d'intercession afin de demander la fin des secousses

# Sensibilité de la population avant 1995

**Vous avez dit de forts  
tremblements de terre  
en Suisse ?**

**Bâle, 1356 ?**

**Bof ! C'était il y a longtemps ...**



**La prévention se limitait, en premier lieu, aux  
centrales nucléaires et aux grands barrages**

**Sensibilisation :**  
au comencement était...

**le "Handlungsbedarf" (1998)**  
("le besoin d'agir")

Un manifeste qui a provoqué  
plus que nous n'avons  
jamais espéré ...



SGEB  Swiss Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics  
Schweizer Gesellschaft für Erdbeben - Ingenieurwesen und Baudynamik  
Société Suisse du Génie Parasismique et de la Dynamique des Structures  
Società Svizzera di Ingegneria Sismica e Dinamica Strutturale

Fachgesellschaft des  Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein  
Groupe spécialisée de la  Société suisse des ingénieurs et des architectes

Dokumentation

**D 0150**

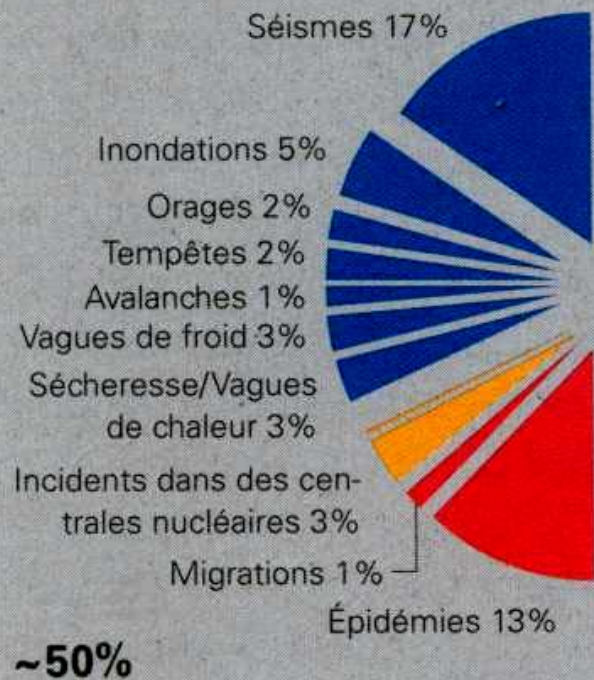
**Handlungsbedarf von Behörden,  
Hochschulen, Industrie und  
Privaten zur Erdbebensicherung  
der Bauwerke in der Schweiz**

H. Bachmann  
G.R. Darbre  
N. Deichmann  
M.G. Koller  
J. Studer  
S. Tiniç  
P. Tissières  
Th. Wenk  
M. Wieland  
P. Zwicky

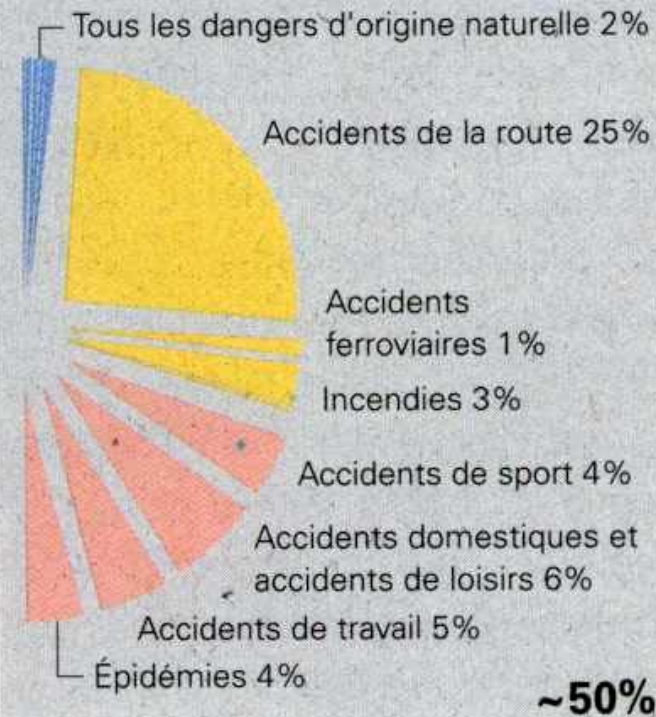
Dokumentation erarbeitet vom erweiterten  
Vorstand der SGEB

# Comparaison des risques

## Catastrophes et situations d'urgence (événements de classes 2 à 5)



## Événements non exceptionnels (événements de classe 1)

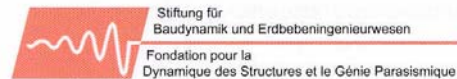


# Table vibrante grand public



# Sensibilisation :

dépliants  
vulgarisés,  
distribués  
très largement



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

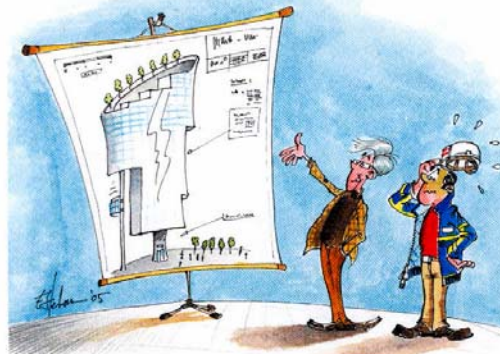
## Construction parasismique en Suisse

### Ce qui est essentiel – et pourquoi

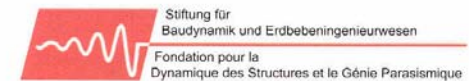
Une brève information à l'intention des

- architectes
- maîtres d'ouvrages
- autorités
- autres intéressés

avec des check-lists et  
des principes de base importants



Architecte et ingénieur: «Non, pas comme ça !» (dessin E. Rosales)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt **BAFU**  
Office fédéral de l'environnement **OFEV**  
Ufficio federale dell'ambiente **UFAM**  
Uffiz federal d'ambient **UFAM**

## Notre maison est-elle parasismique?

### Quand une vérification et un éventuel renforcement s'imposent-ils – et pourquoi?

Une brève information à l'intention des

- propriétaires immobiliers
- architectes
- ingénieurs
- autorités

avec une liste de contrôle et des renseignements  
juridiques



Ne comptons pas sur Superman!

(dessin E. Rosales)

# Les étapes du contrôle

- Étape 1 :** Analyse qualitative (check-lists)  
**But :** déterminer les priorités
- Étape 2 :** Méthodes des forces de remplacement  
**But :** régler les bâtiments sans problèmes sans trop d'efforts (bâtiments réguliers)
- Étape 3 :** Calcul détaillé (analyse modale spectrale ou méthodes en déformation) :  
**Cahier Technique SIA 2018 (2004)**

# Étape 1

Appropriée pour les grands nombres de bâtiment

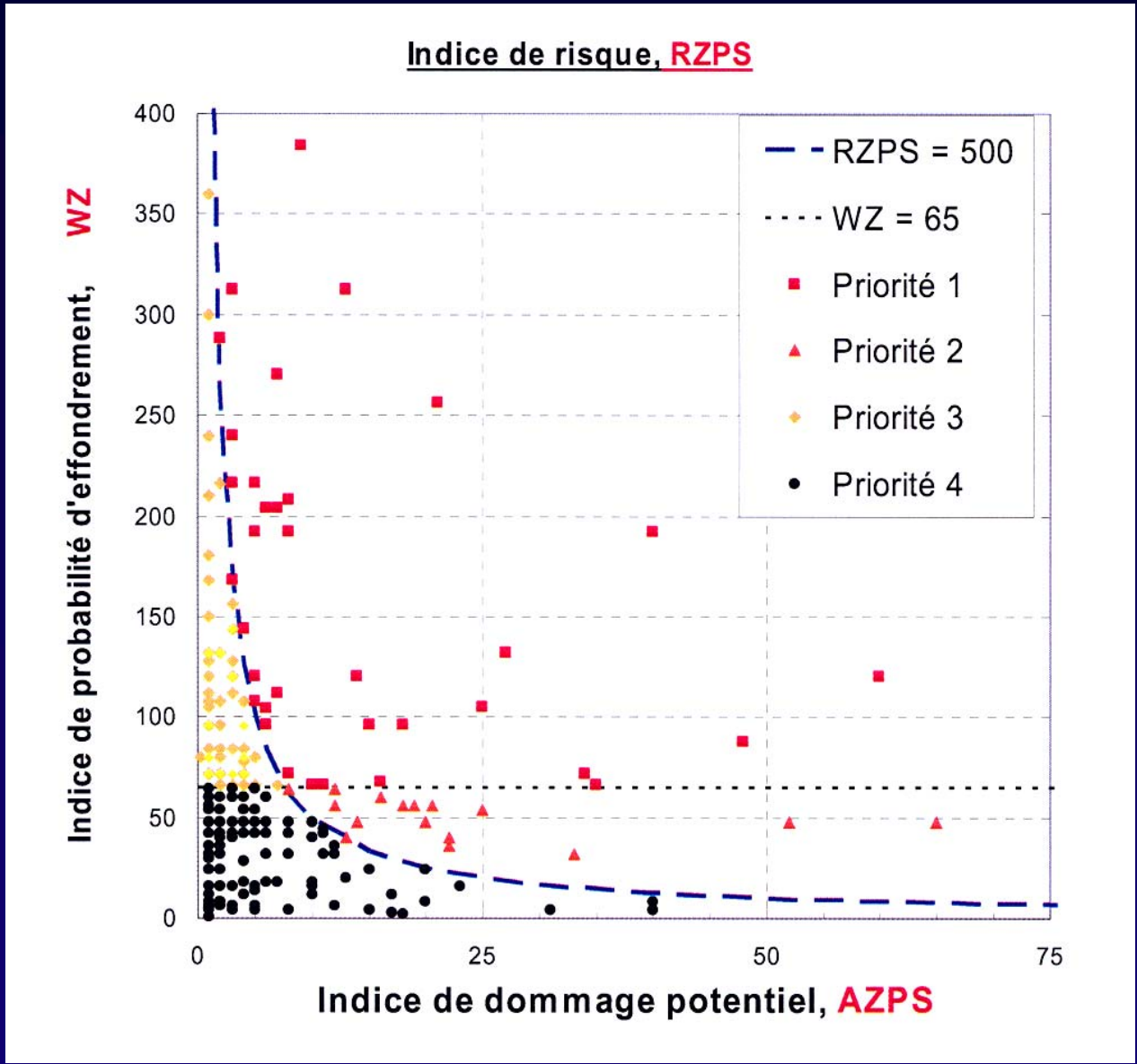
## Détermination

- D'un indice de probabilité d'effondrement "WZ" à l'aide d'un checklist qualitatif (système de points)
- D'un indice de dommage potentiel "AZPS", fonction du nombre de personnes présentes dans le bâtiment

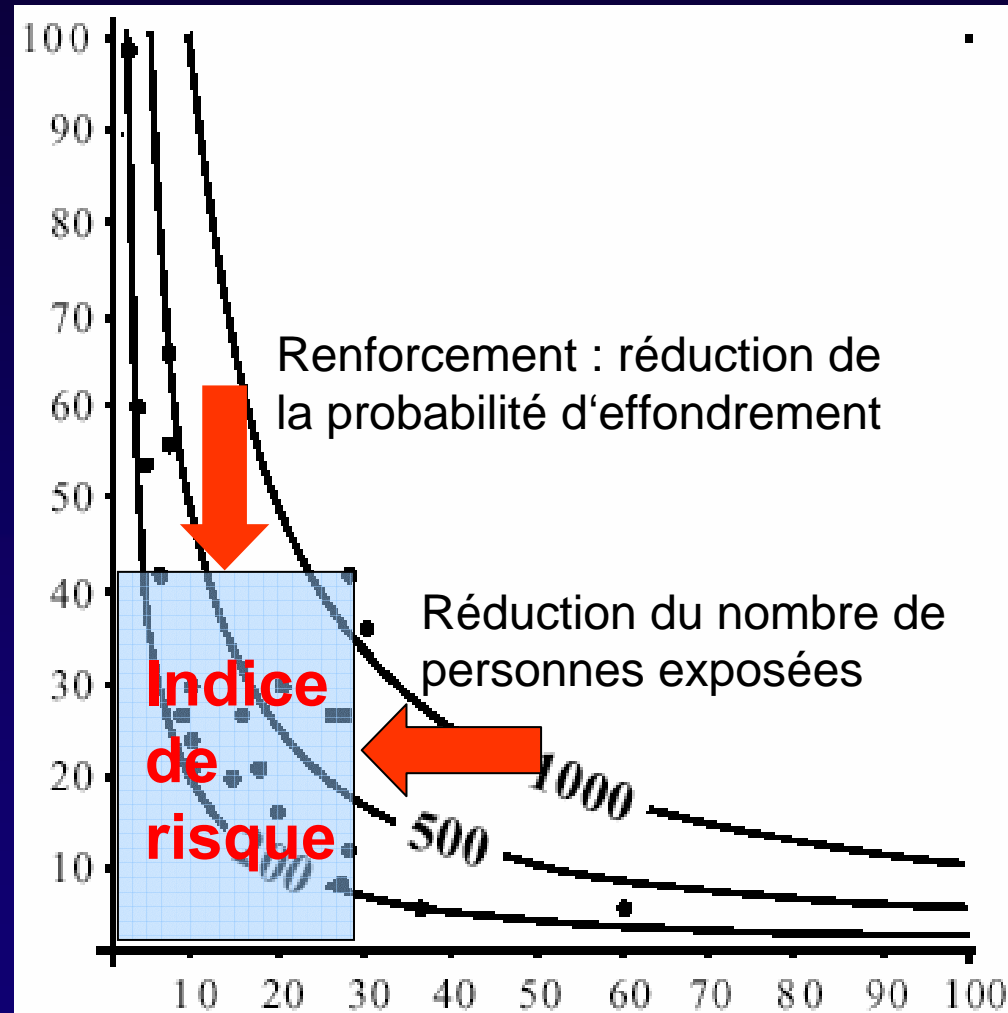
→ Indice de risque "RZPS" :  **$RZPS = WZ \times AZPS$**

L'indice de risque est un chiffre relatif qui permet de déterminer des priorités

**4 heures par bâtiment**



# Réduction de l'indice de risque



## Étape 2

**1<sup>er</sup> pas : 7 critères pour tester si le bâtiment peut être analysé par la méthode des forces de remplacement (critères moins sévères que pour les bâtiments neufs)**

**Identification des défauts importants au moyen d'un questionnaire**

**Calculs *simplifiés* avec les forces de remplacement**

**3 à 4 jours par bâtiment**

# Étape 3

## Cahier Technique SIA 2018

"Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants"

Analyse moderne basée sur les déformations

**Jusqu'à plusieurs semaines par bâtiment**

# Étape 3

## Cahier Technique SIA 2018

"Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants"

Analyse moderne basée sur les déformations

**Appréciation des résultats: Prise en compte de la proportionnalité des coûts d'un renforcement**

**Jusqu'à plusieurs semaines par bâtiment**

# Sécurité sismique des ouvrages existants

La plupart des bâtiments ne sont pas conformes aux normes parasismiques actuelles :

# Sécurité sismique des ouvrages existants

La plupart des bâtiments ne sont pas conformes aux normes parasismiques actuelles :

➔ **Faut-il renforcer tous les bâtiments existants ?**

# Sécurité sismique des ouvrages existants

La plupart des bâtiments ne sont pas conformes aux normes parasismiques actuelles :

- ➔ Faut-il renforcer tous les bâtiments existants ?
- ➔ Quel niveau de risque est encore acceptable ?

# Risque individuel en 1:100'000 par an

## Cumulé:

110	25-ans
100	35-ans
300	45-ans
800	55-ans
2000	65-ans
5000	75-ans

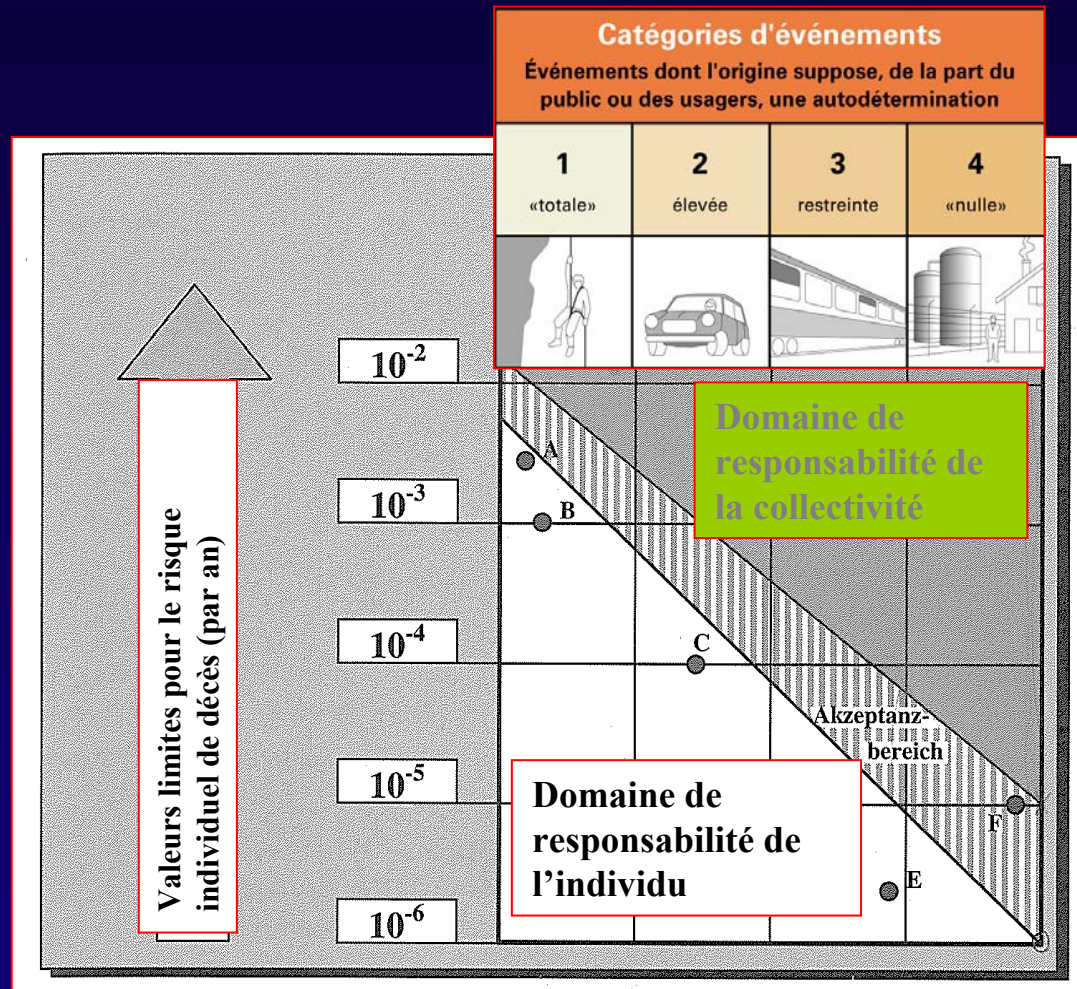
## Risque professionnel:

100	Abattage d'arbres
90	Exploitation forestière
50	Construction
15	Industrie chimique
10	Industrie mécanique
5	Travail de bureau

## Risques additionnels:

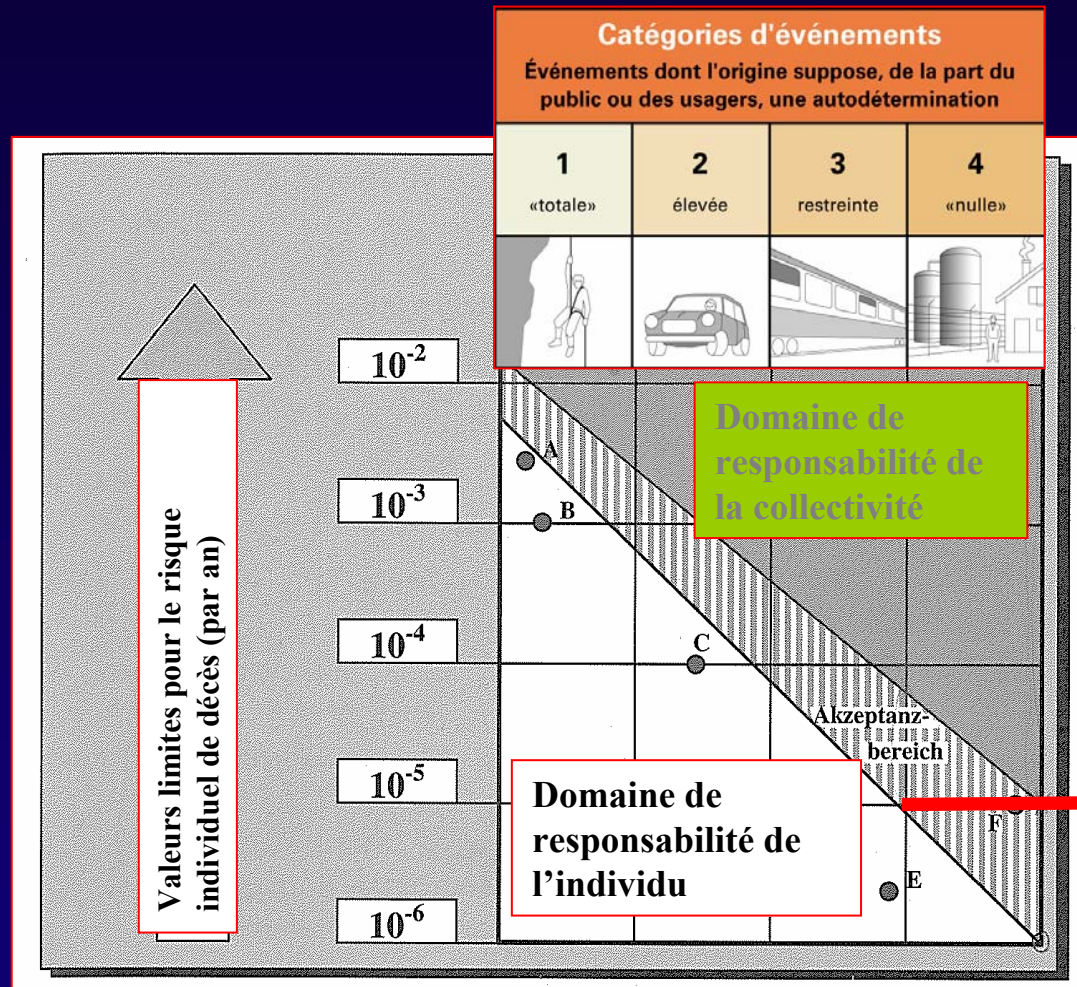
400	20 cigarettes/jour
300	1 bouteille de vin/jour
150	Motocyclisme
100	Deltaplane
20	Voiture (20-24 ans.)
10	Piéton
10	Travaux domestiques
10	10'000 km de route
5	Randonnée (montagne)
3	10'000 km d'autoroute
1	Accidents d'avion / vol
1	10'000 km en train
0.5	Incendie de bâtiment
0.2	Mort - séisme (CA/US)
0.1	Foudroiement

# Acceptabilité du risque individuel



- A : 20 cigarettes par jour
- B : aile delta (hobby)
- C : 10'000 km de route
- E : 10'000 km en train
- F : incendie de bâtiments

# Acceptabilité du risque individuel

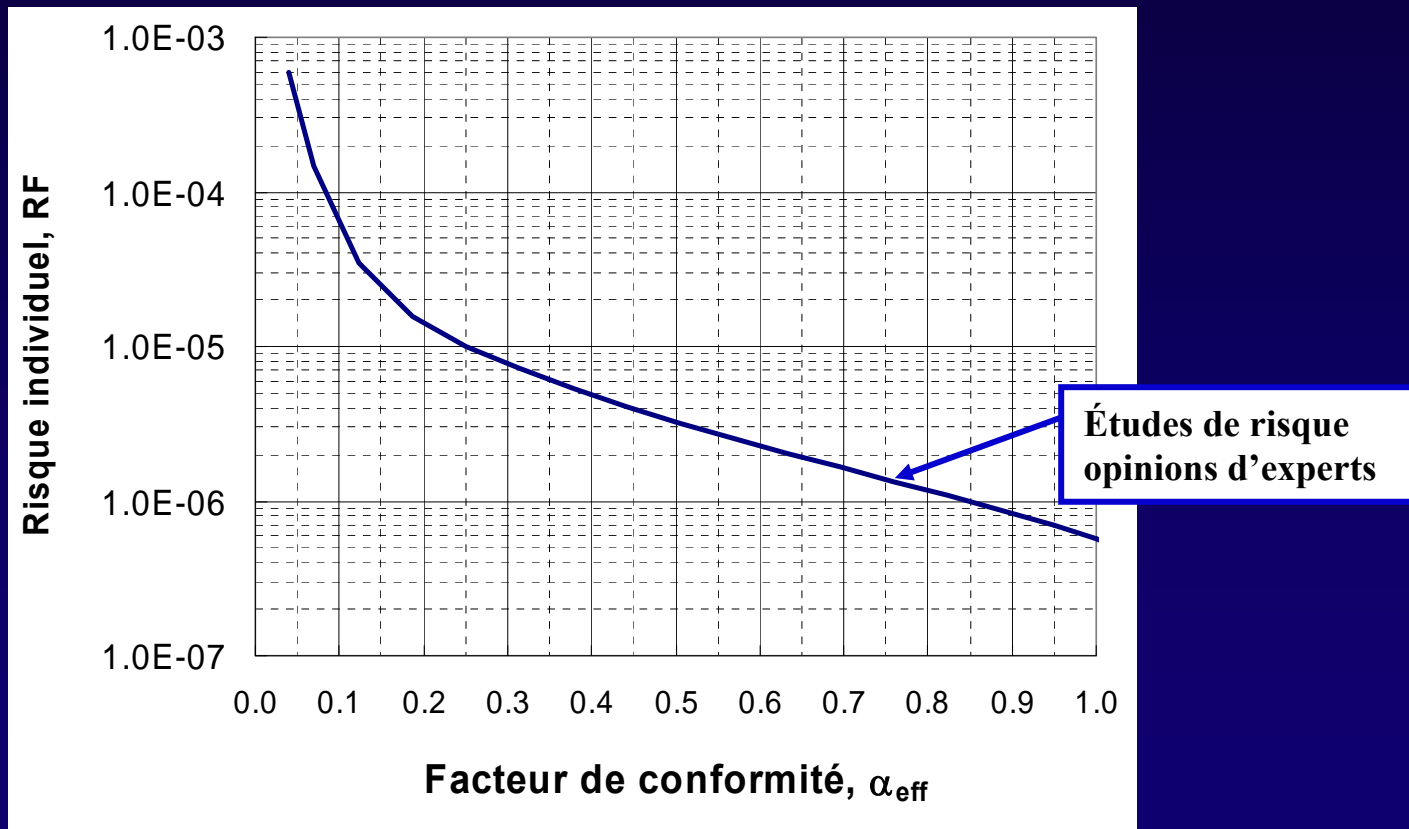


A : 20 cigarettes par jour  
 B : aile delta (hobby)  
 C : 10'000 km de route  
 E : 10'000 km en train  
 F : incendie de bâtiments

**Choix pour le SIA 2018,  
 basé sur l'expérience :  
 10<sup>-5</sup> par an**

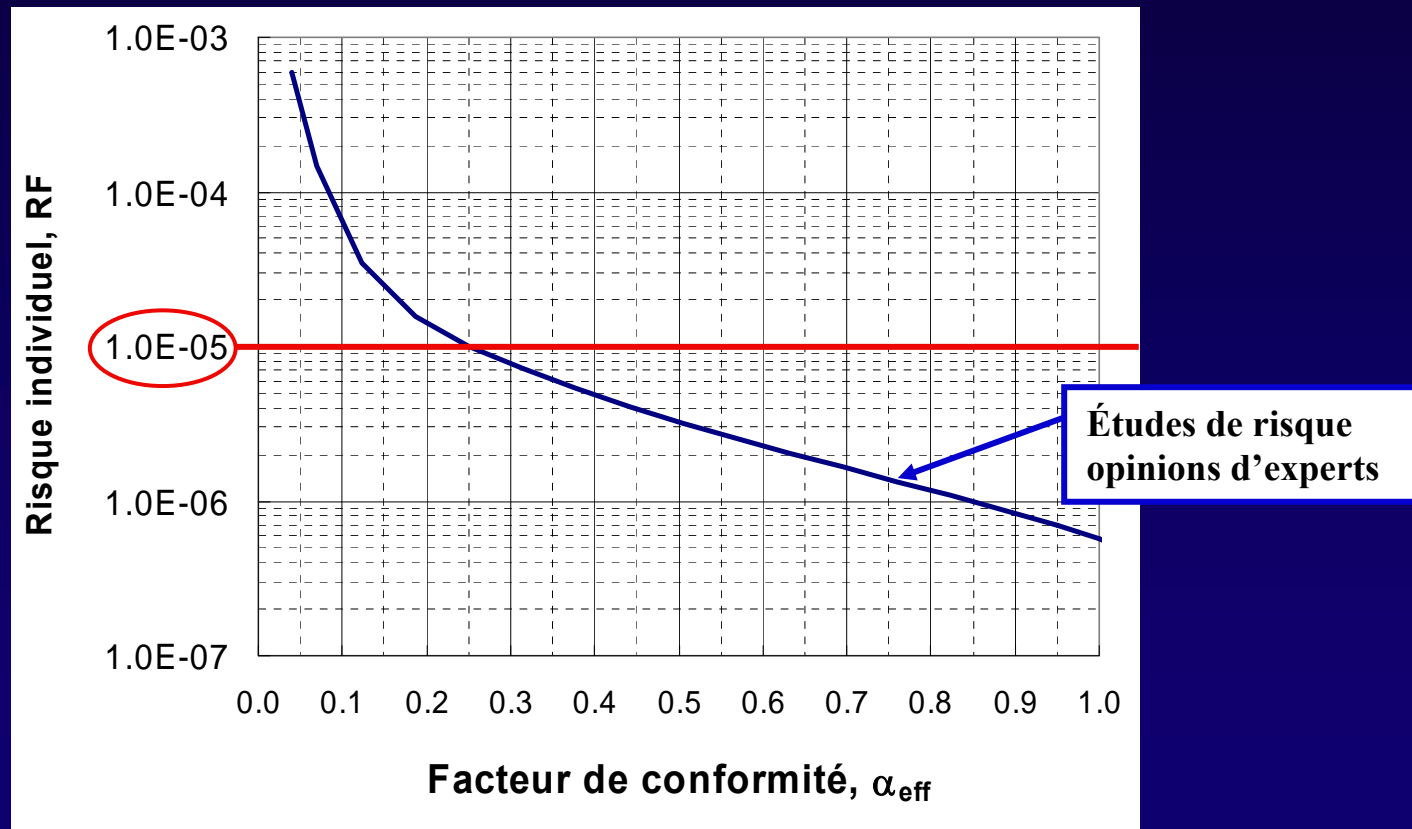
# Risque en fonction du niveau de résistance

Facteur de conformité :  $\alpha_{\text{eff}} = R_d / E_d$



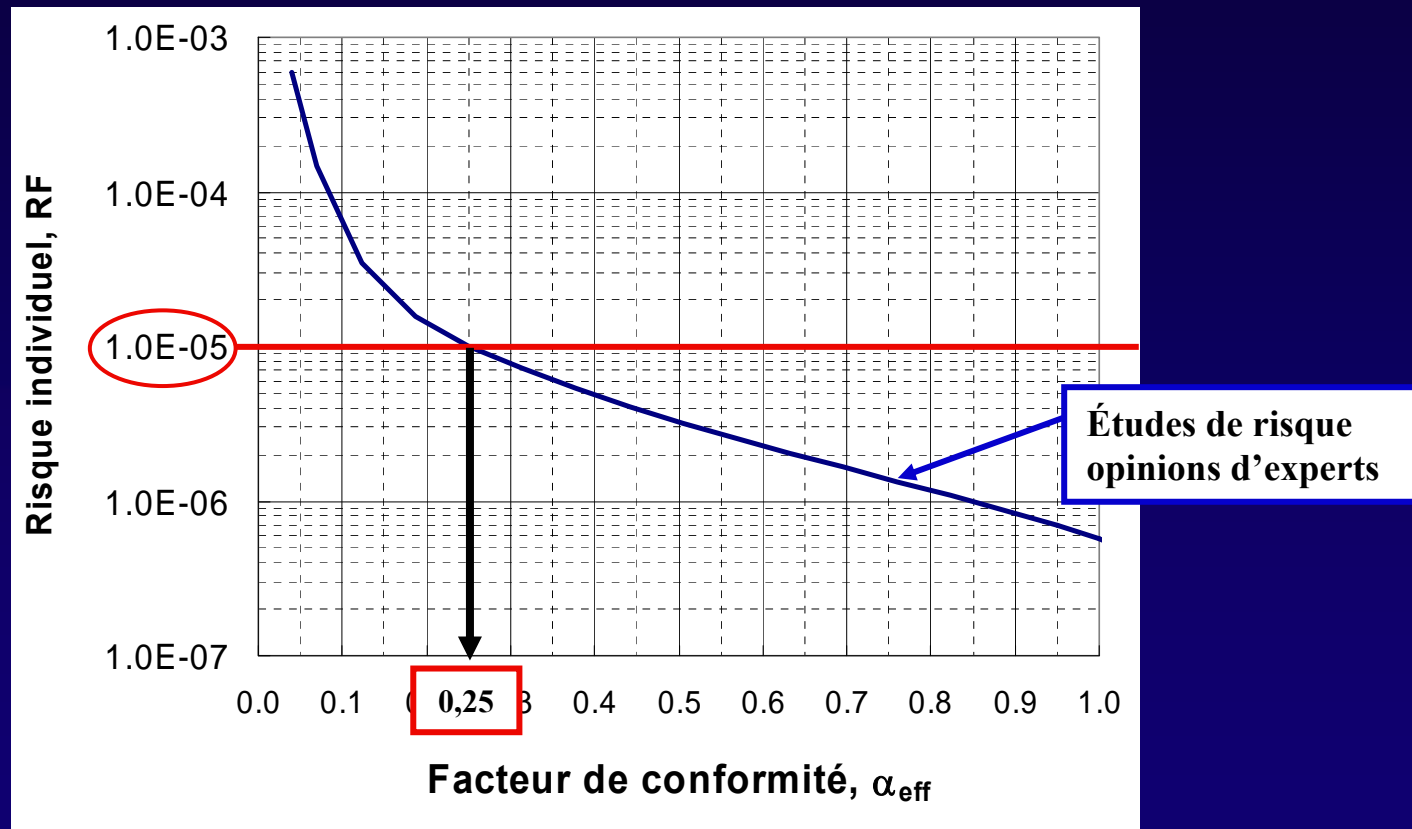
# Risque en fonction du niveau de résistance

Facteur de conformité :  $\alpha_{\text{eff}} = R_d / E_d$



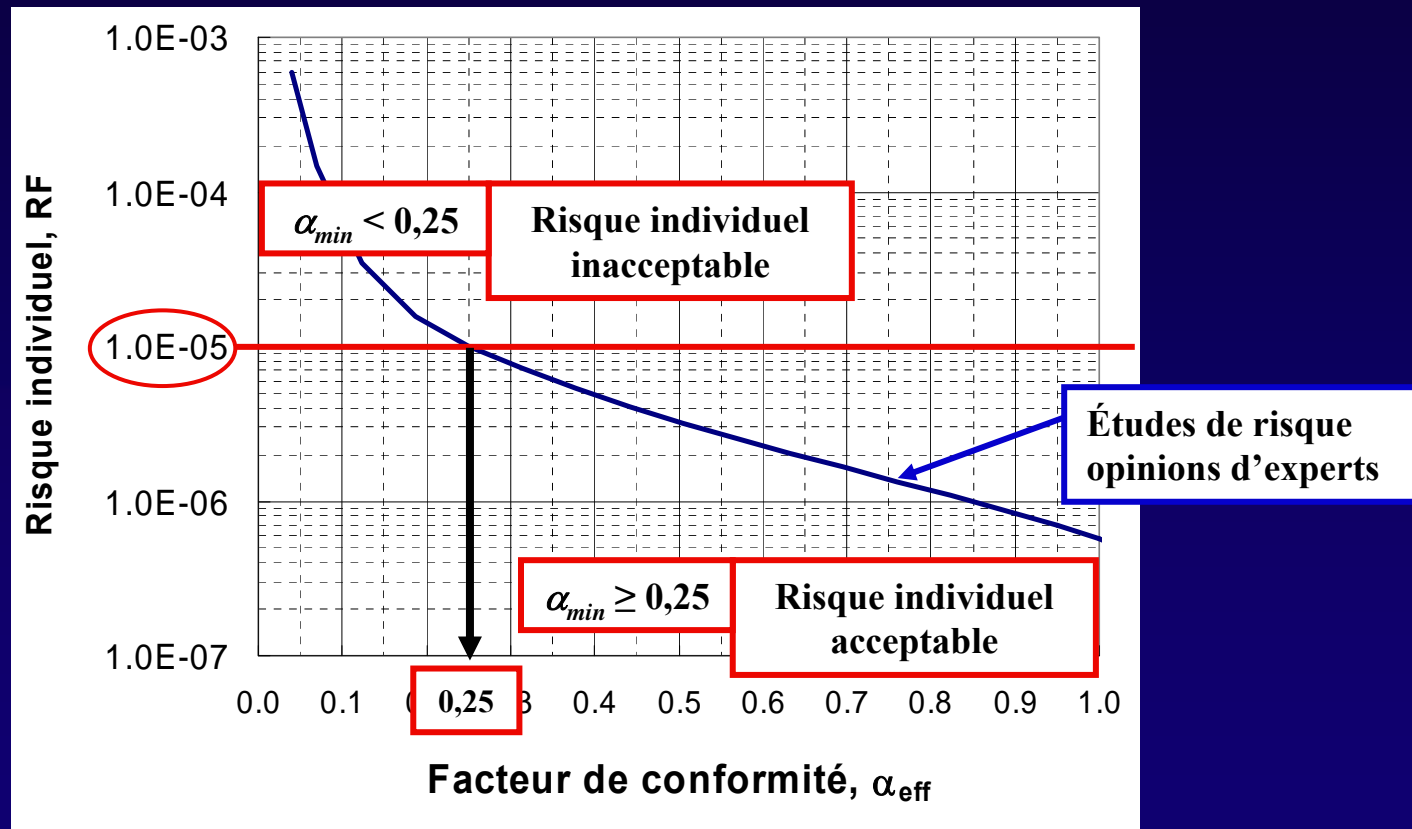
# Risque en fonction du niveau de résistance

Facteur de conformité :  $\alpha_{\text{eff}} = R_d / E_d$



# Risque en fonction du niveau de résistance

Facteur de conformité :  $\alpha_{\text{eff}} = R_d / E_d$



# Sécurité sismique des ouvrages existants

Combien la société est-elle prête à dépenser pour sauver une vie humaine ?

# Sécurité sismique des ouvrages existants

Combien la société est-elle prête à dépenser pour sauver une vie humaine ?

- ➔ Quel coût de renforcement est-il encore "raisonnable" ?
  - s'il s'agit d'assurer un risque individuel "acceptable" ?
  - s'il s'agit de faire mieux que le minimum ?

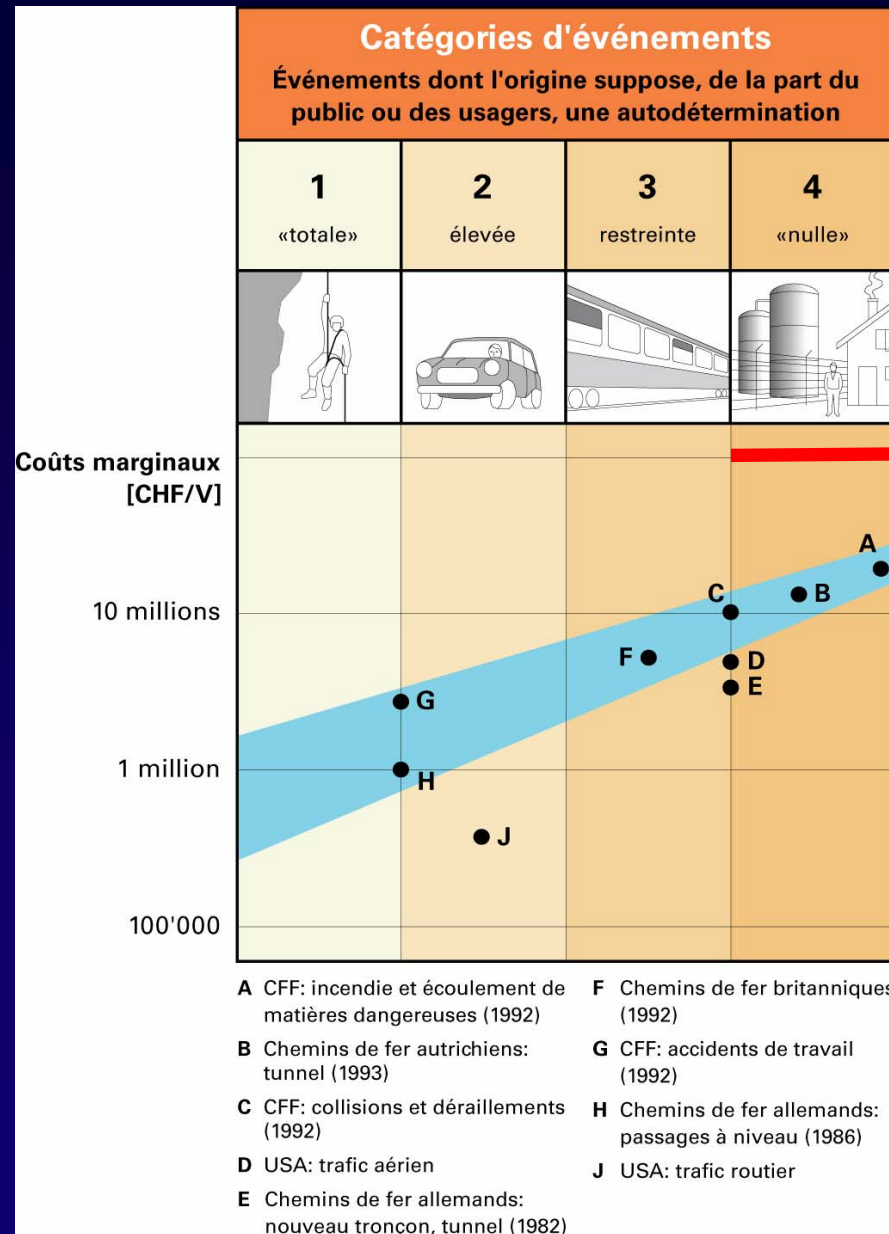
# Coûts de sauvetage – exemples

Francs suisses par vie humaine sauvée

100	Vaccination multiple dans le Tiers-monde
1 000	
2 000	Installation d'appareils de radiographie
5 000	Port du casque motocycliste
10 000	Service de cardiomobiles
20 000	Prévention de la tuberculose
50 000	Service d'hélicoptères de secours
100 000	Ceinture de sécurité automobile
200 000	<b>Assainissements des intersections routières</b>
500 000	Dialyse rénale
1 000 000	<b>Normes de dimensionnement des structures</b>
2 000 000	
5 000 000	S-Bahn Zurich
10 000 000	<b>AlpTransit, Normes pour séismes SIA</b>
20 000 000	Programme de sécurité dans les mines USA
50 000 000	Mise hors service de l'avion DC 10
100 000 000	<b>Dispositions pour les tours d'habitation GB</b>
500 000 000	<b>Assainissements des écoles pour l'amiante</b>

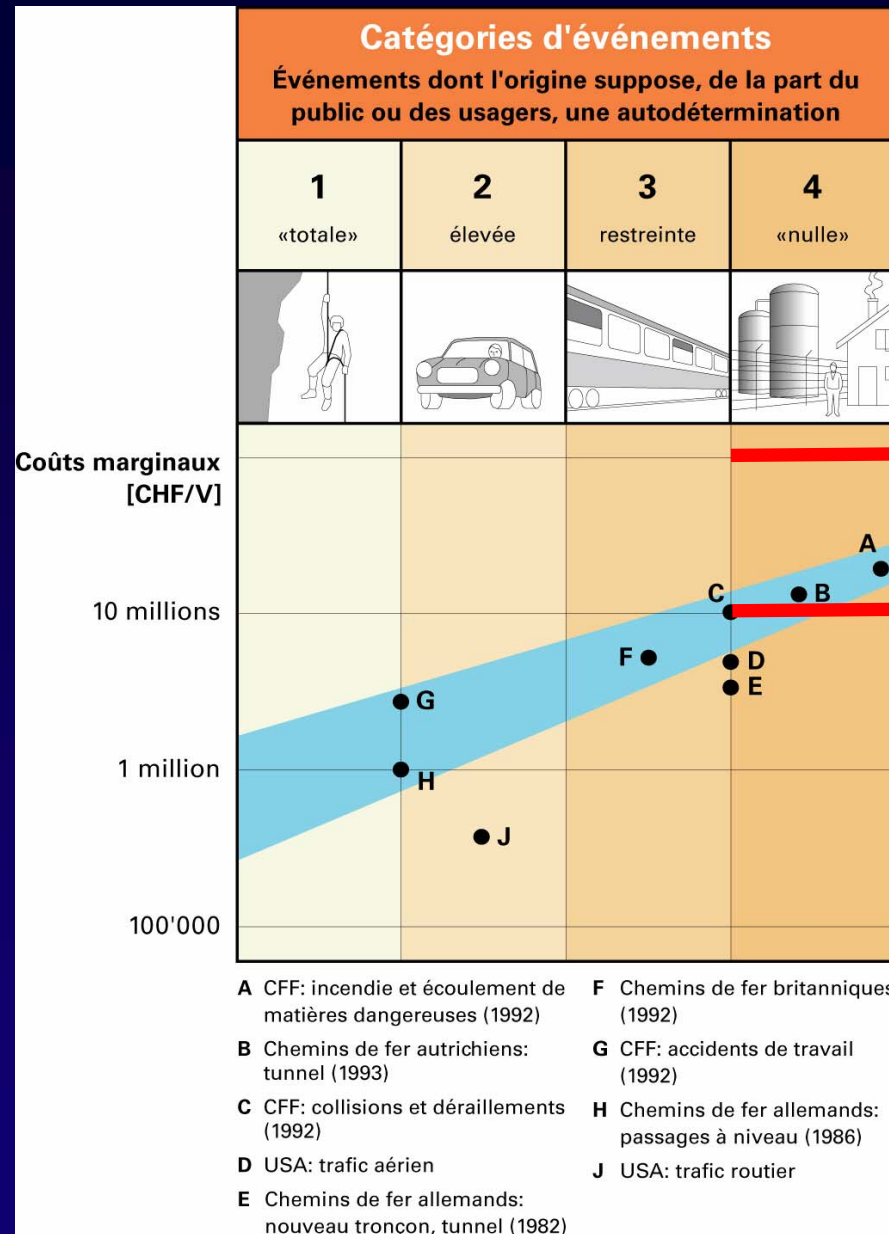


# Coûts de sauvetage – type d'activité



**SIA 2018 : tant que le risque individuel est inacceptable**

# Coûts de sauvetage – type d'activité



**SIA 2018 : tant que le risque individuel est inacceptable**

**SIA 2018 : dès que le risque individuel est acceptable**

**Limites :**

**Exigibilité : 100 mio.- / vie**

**Proportionnalité : 10 mio.- / vie**

# Coûts de sauvetage $RK_M$ - calculs

Rapport entre les coûts d'une mesure et la réduction du risque atteignable

$SK_M$

Coûts de l'amélioration de la sécurité [francs / an]

$\Delta R_M$

Réduction du risque [vies humaines sauvées / an]

$$RK_M = \frac{SK_M}{\Delta R_M}$$

Coûts de sauvetage [francs / vie humaine sauvée]

# Coûts de sécurité $SK_M$

Coûts annualisés de l'intervention

(Tous les coûts pour l'amélioration de la sécurité, réduits si couplés avec une réfection générale)

$SIK_M$

Montant investi pour la sécurité [francs]

$n$

Durée d'utilisation restante [années]

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,02 \cdot (1,02)^n}{(1,02)^n - 1}$$

Facteur d'escompte [1/an]

$$SK_M = DF \cdot SIK_M$$

Coûts de sécurité [francs/an]

# Coûts de sécurité $SK_M$

Coûts annualisés de l'intervention

(Tous les coûts pour l'amélioration de la sécurité, réduits si couplés avec une réfection générale)

$SIK_M$

Montant investi pour la sécurité [francs]

$n$

Durée d'utilisation restante [années]

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,02 \cdot (1,02)^n}{(1,02)^n - 1}$$

Facteur d'escompte [1/an]

$$SK_M = DF \cdot SIK_M$$

Coûts de sécurité [francs/an]

Exemple :

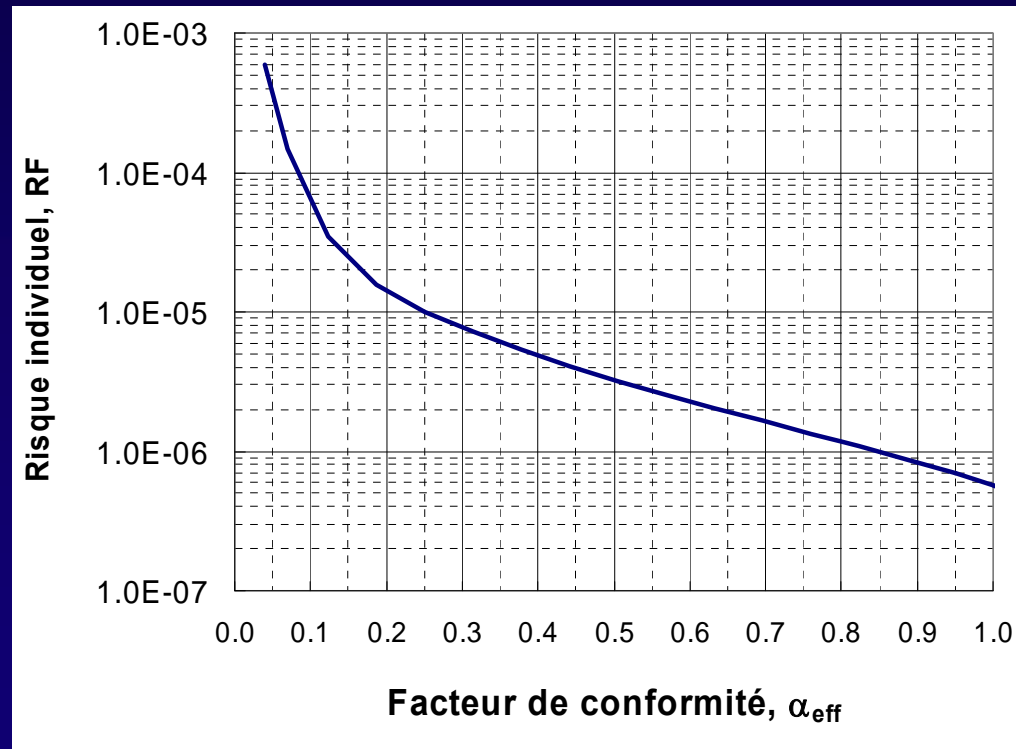
Pour  $SIK_M = 500\ 000.-$  et  $n = 50$  ans :  
 $SK_M = 0.032 \cdot 500\ 000.- = 16\ 000.- / \text{an}$

# Réduction du risque $\Delta R_M$

Différence du risque collectif entre la situation initiale et la situation après intervention :

$$\Delta R_M = (RF(\alpha_{eff}) - RF(\alpha_{int})) \cdot PB$$

[vies sauvées / an]

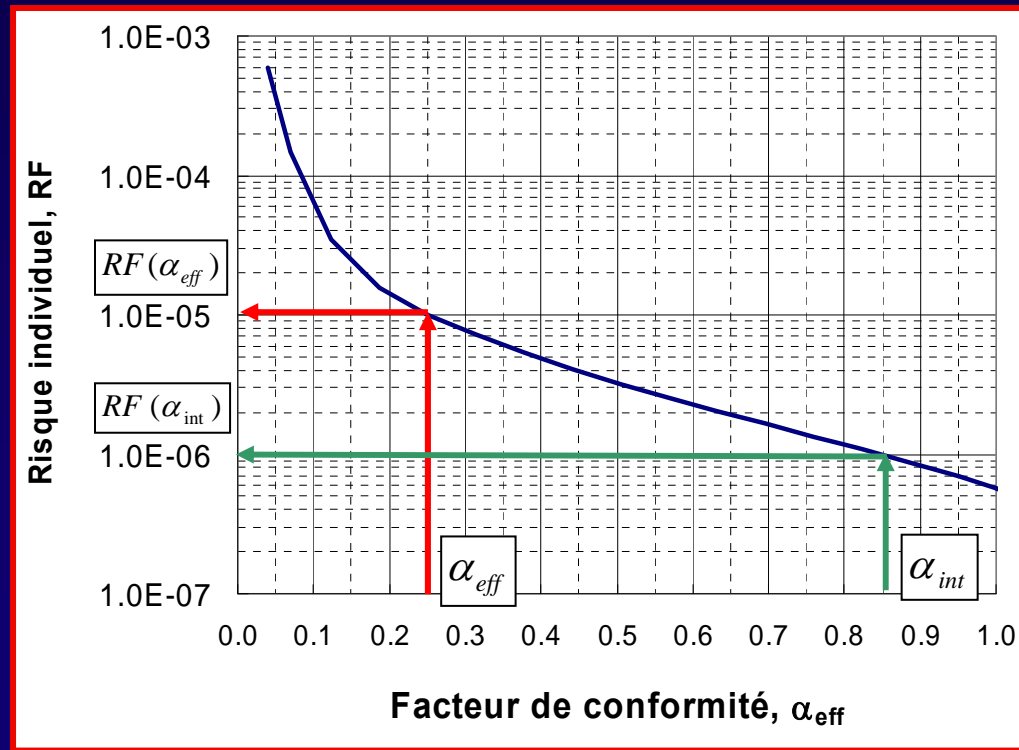


# Réduction du risque $\Delta R_M$

Différence du risque collectif entre la situation initiale et la situation après intervention :

$$\Delta R_M = (RF(\alpha_{eff}) - RF(\alpha_{int})) \cdot PB$$

[vies sauvées / an]

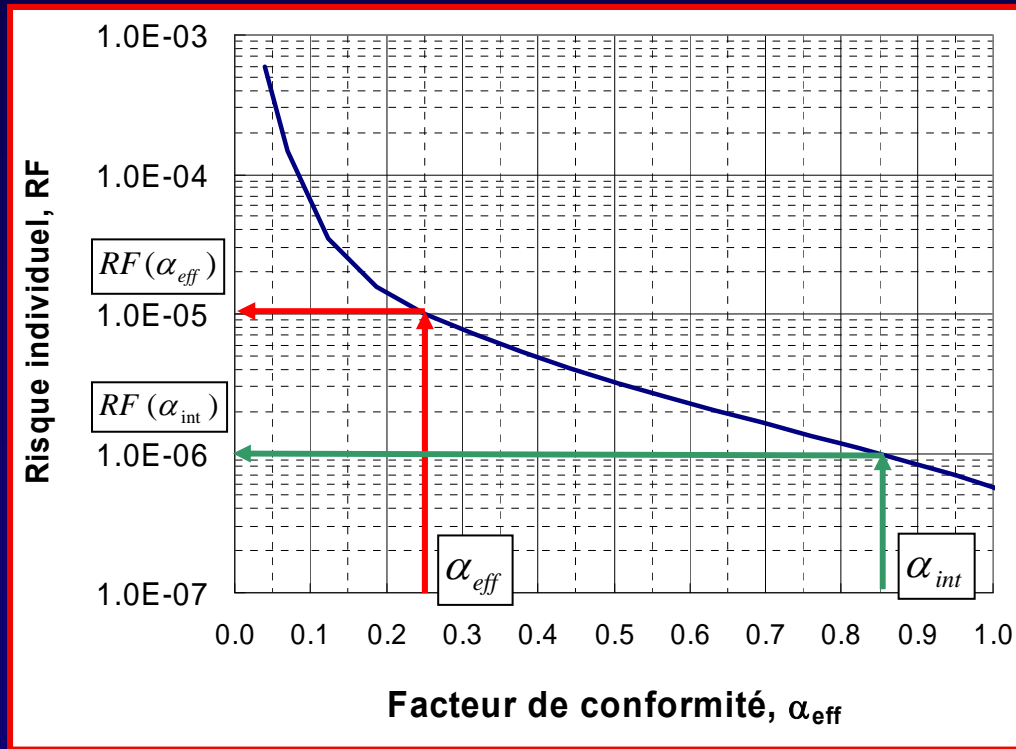


# Réduction du risque $\Delta R_M$

Différence du risque collectif entre la situation initiale et la situation après intervention :

$$\Delta R_M = (RF(\alpha_{eff}) - RF(\alpha_{int})) \cdot PB$$

[vies sauvées / an]



**Occupation moyenne [pers.]**

Exemple bureau:

250 collaborateurs

8.5 heures / 24

5 jours / 7

46 semaines / 52

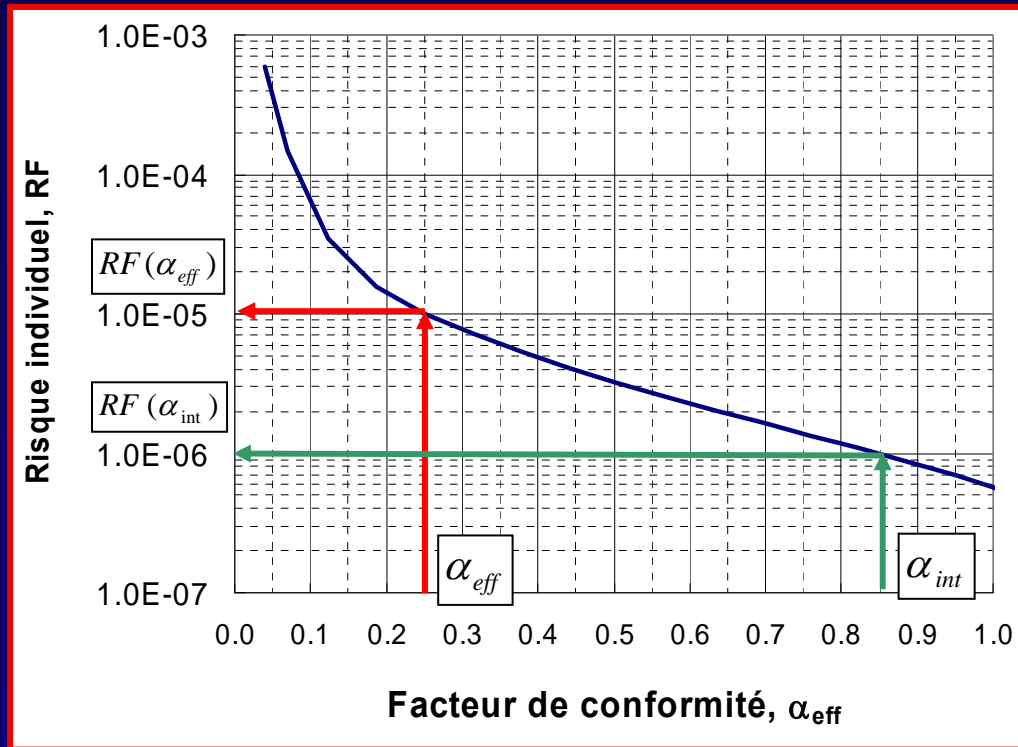
$$PB = 250 * 8.5 / 24 * 5 / 7 * 46 / 52 = 56$$

# Réduction du risque $\Delta R_M$

Différence du risque collectif entre la situation initiale et la situation après intervention :

$$\Delta R_M = (RF(\alpha_{eff}) - RF(\alpha_{int})) \cdot PB$$

[vies sauvées / an]



**Occupation moyenne [pers.]**

Exemple bureau:

250 collaborateurs

8.5 heures / 24

5 jours / 7

46 semaines / 52

$$PB = 250 \cdot 8.5 / 24 \cdot 5 / 7 \cdot 46 / 52 = 56$$

$$\Delta R_M = 9 \cdot 10^{-6} \cdot 56 = 5 \cdot 10^{-4}$$

1 deux millièmes de vie sauvée par an

# Coûts de sauvetage $RK_M$ - calculs

Rapport entre les coûts d'une mesure et la réduction du risque atteignable

$SK_M$

Coûts de l'amélioration de la sécurité [francs / an]

$\Delta R_M$

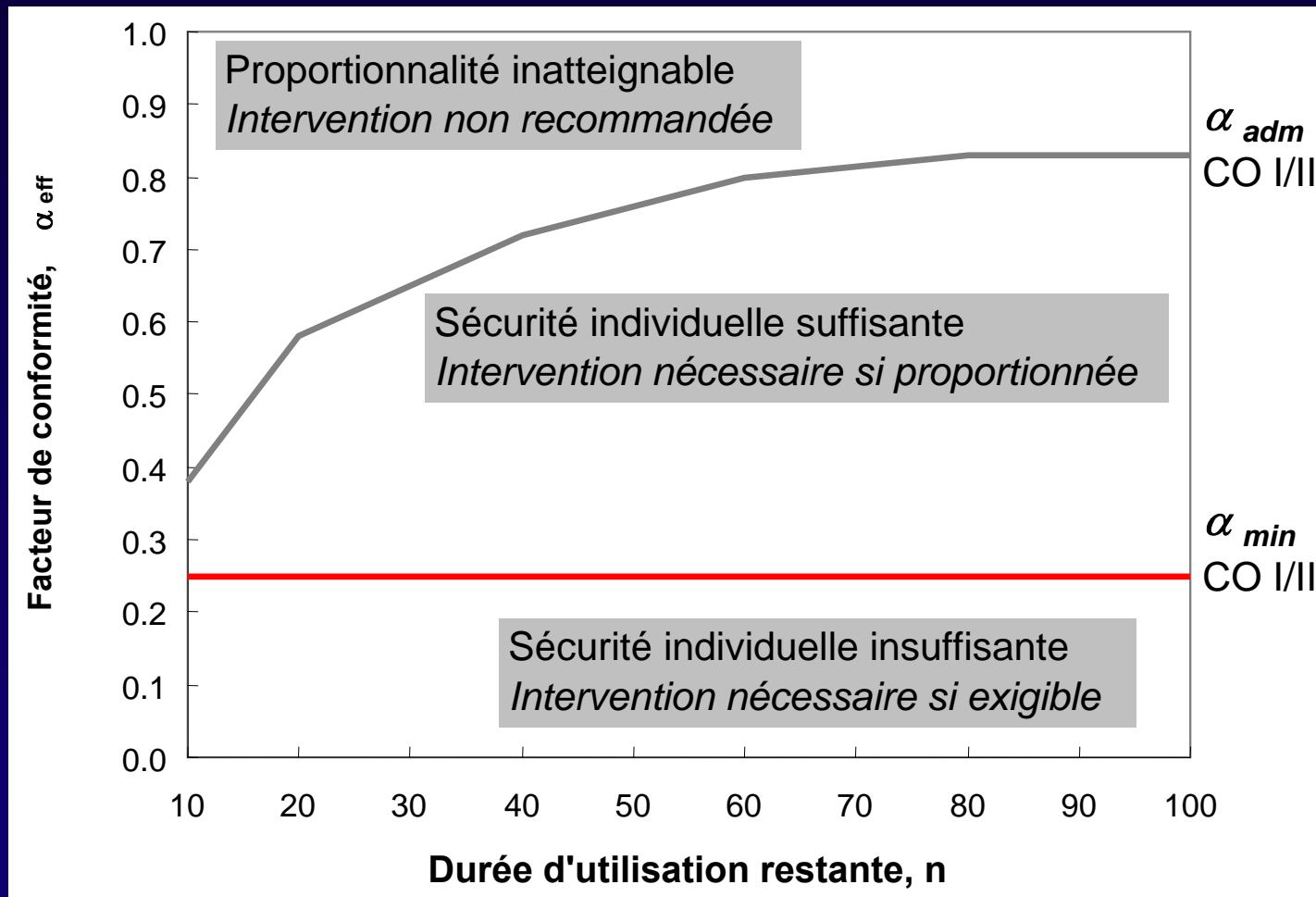
Réduction du risque [vies humaines sauvées / an]

$$RK_M = \frac{SK_M}{\Delta R_M}$$

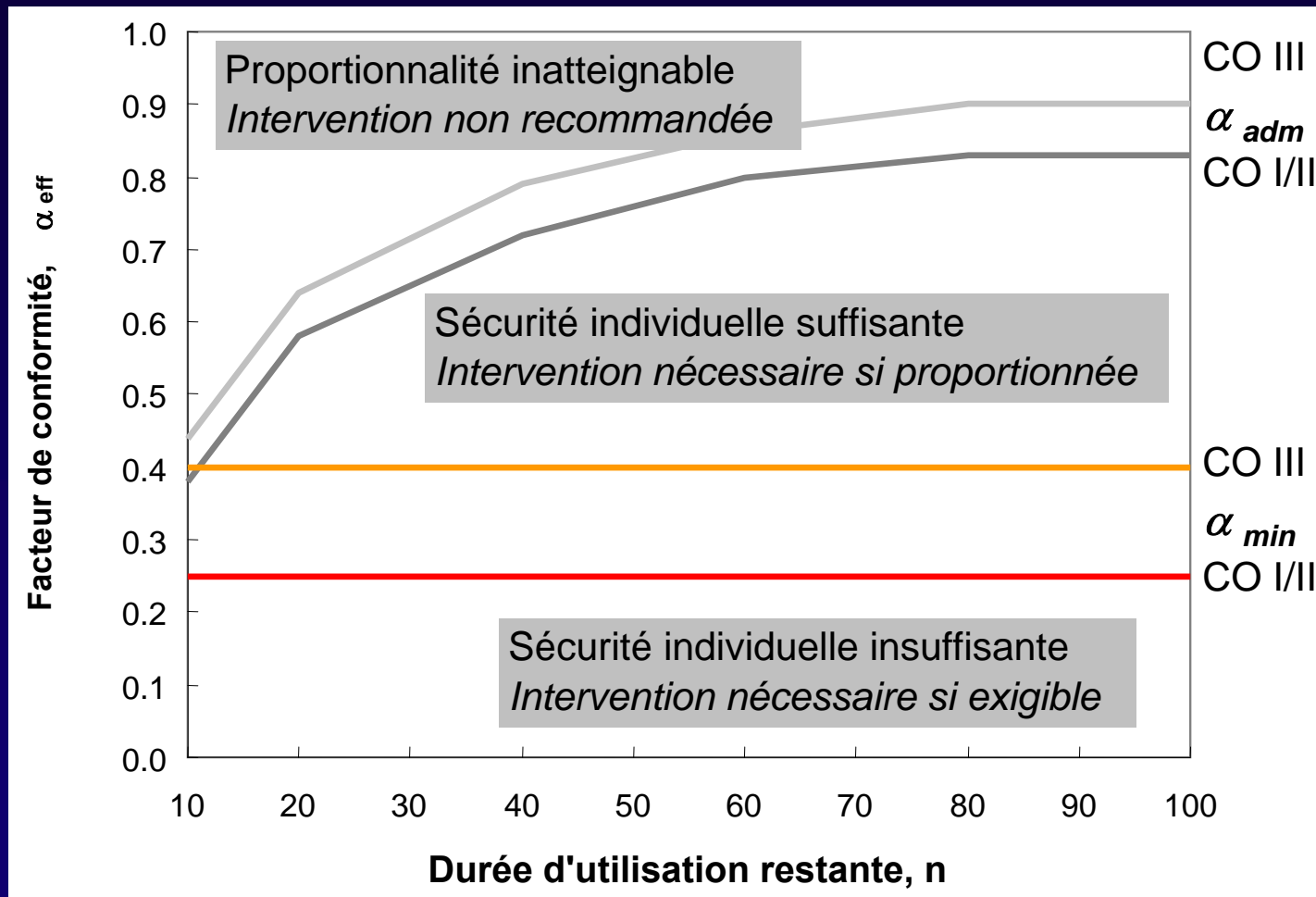
Coûts de sauvetage [francs / vie humaine sauvée]

$$RK_M = \frac{16'000. - / \text{an}}{5 \cdot 10^{-4} \text{ vie humaine sauvée par an}} = 32 \text{ mio. - / vie humaine sauvée}$$

# "Obligation" de renforcer

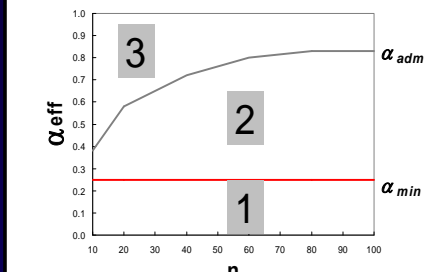


# "Obligation" de renforcer



# Investissement maximum requis

cas 2:  $\alpha_{\min} \leq \alpha_{\text{eff}} < \alpha_{\text{adm}}$



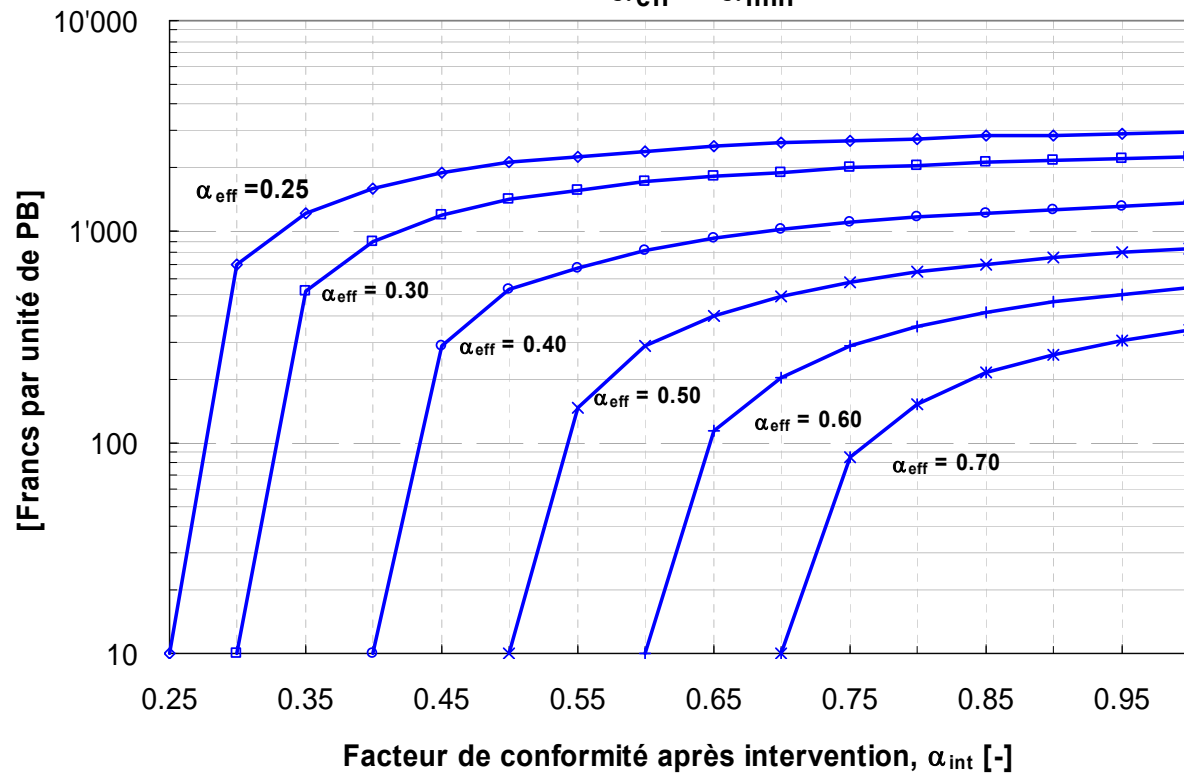
$\alpha_{\text{eff}} = 0.25$   
max 3'000.- / PB

$\alpha_{\text{eff}} = 0.70$   
max 350.- / PB

Pour  $\alpha_{\text{int}} = 1.0$

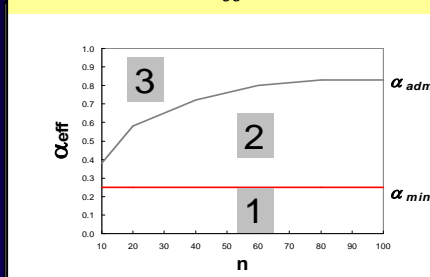
CO I/II: Investissements maximum requis  
pour la sécurité (durée d'utilisation restante 40 ans)

$$\alpha_{\text{eff}} \geq \alpha_{\min}$$



# Investissement maximum requis

**cas 1 :  $\alpha_{eff} < \alpha_{min}$**



$\alpha_{eff} = 0.05$   
max 1.2 mio.-/PB

$\alpha_{eff} = 0.20$   
max 11'000.-/PB

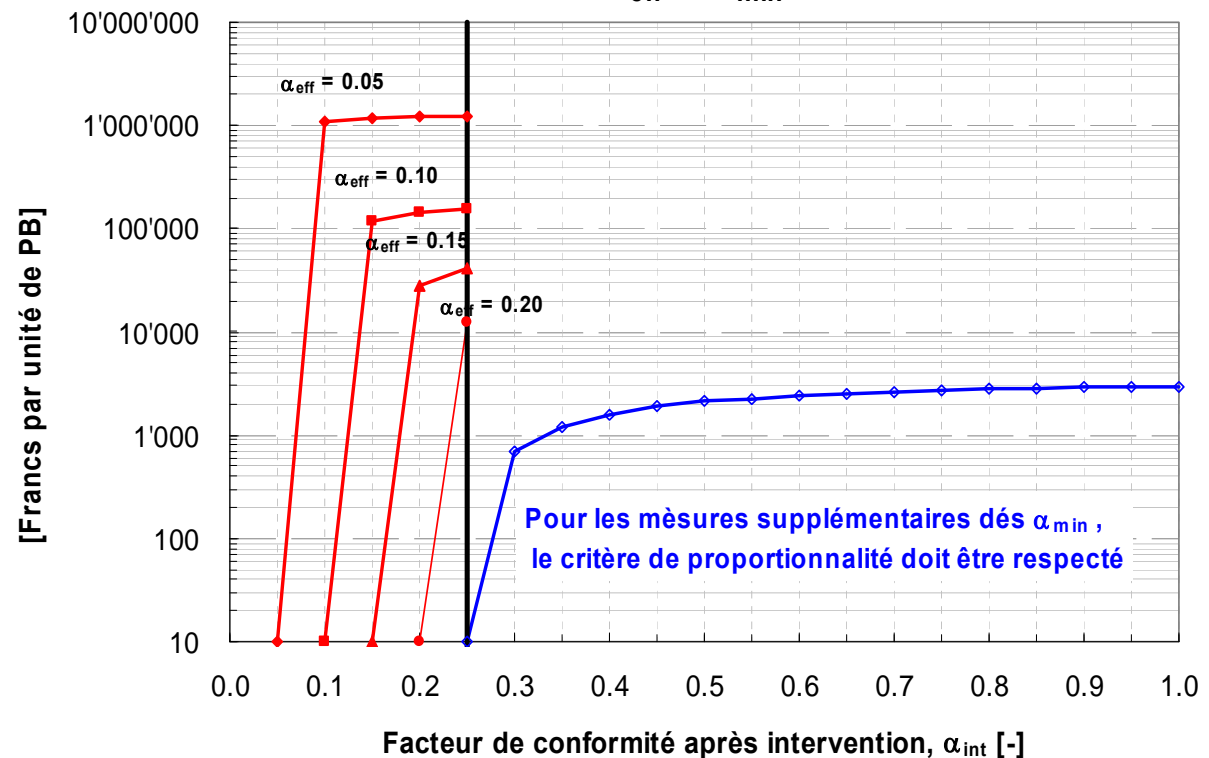
Pour  $\alpha_{int} = \alpha_{min}$

Mesures suppl.  
max 3'000.-/PB

Pour  $\alpha_{int} = 1.0$

**CO I/II: Investissements maximum requis  
pour la sécurité (durée d'utilisation restante 40 ans)**

$\alpha_{eff} < \alpha_{min}$



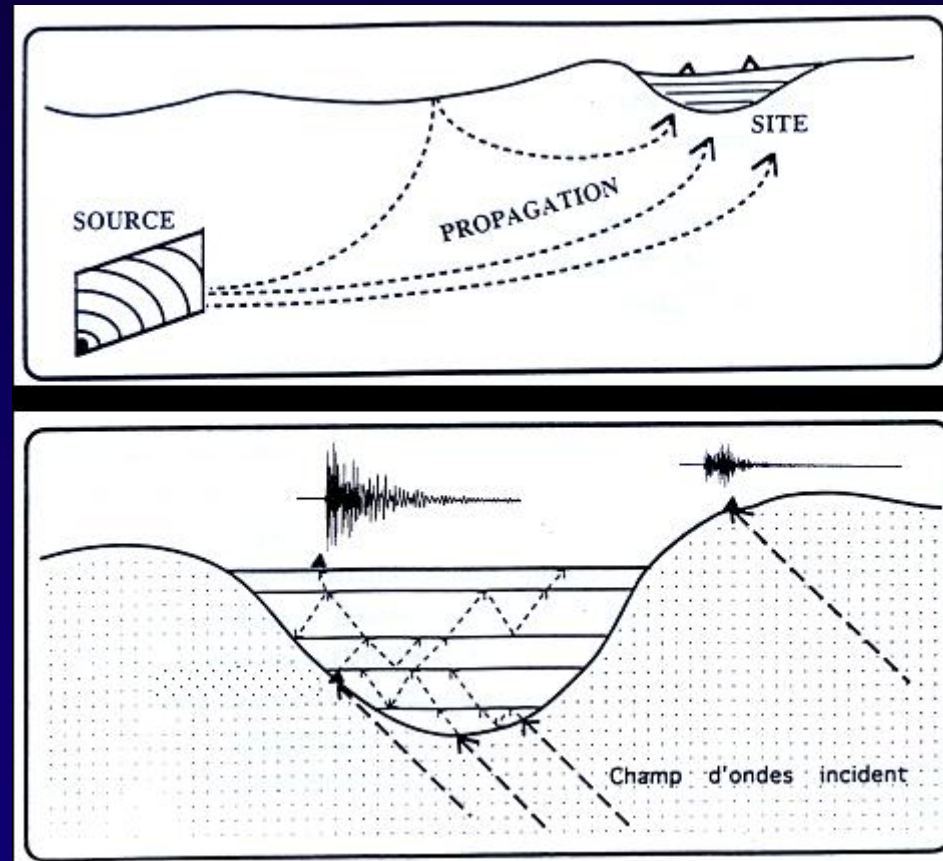
# Rôle des études d'effets de site

Les sols meubles amplifient les mouvements du sol :

la norme SIA 261 prend en compte ces amplifications de façon plutôt prudente.



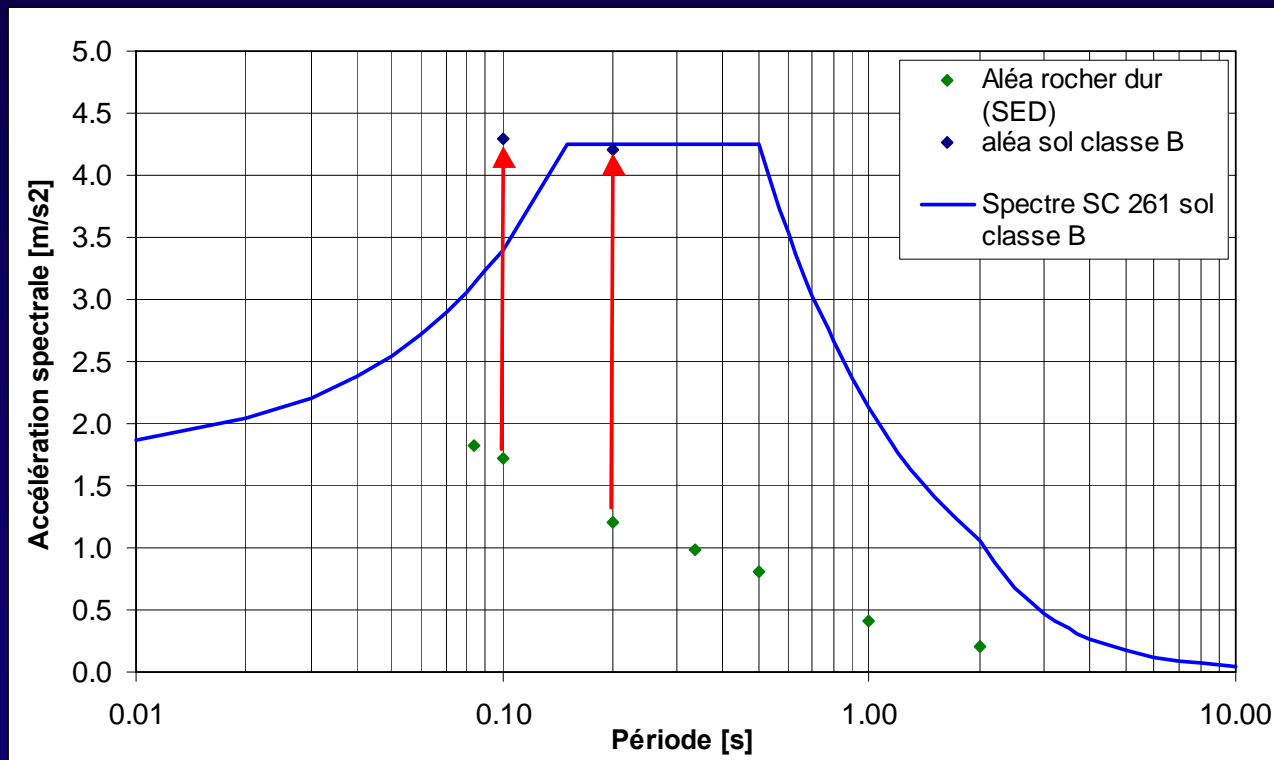
**Des études de site spécifiques permettent souvent de mettre en évidence des réserves.**



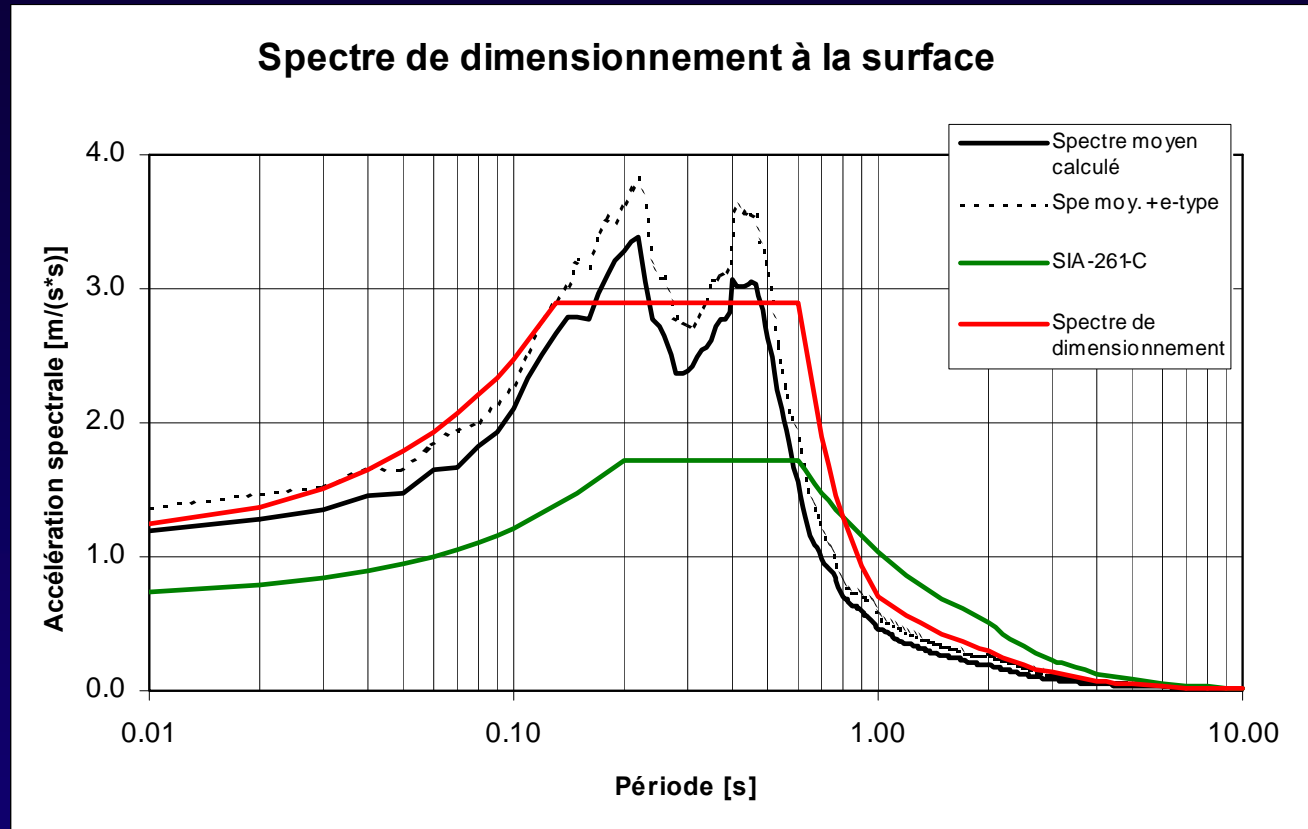
L'aléa a été calculé pour le rocher "dur" ( $v_s = 1500 \text{ m/s}$ )  
 Ensuite, le spectre a été "gonflé" de la façon suivante :

Accélération du sol, classe A :

$$a_{gd} = \frac{3.5 \cdot S_a + 2.5 \cdot S'_a}{2} \cdot \frac{1}{2.5} \cdot \frac{1}{1.2}$$



# Exemple avec effet de site "fort"



Site en zone 1, dépôts argileux d'environ 40 m d'épaisseur, reposant sur la molasse. Site limite entre sol classe C et D.

# Retour d'expérience

## **Vérification** sismique des ouvrages existants

Les modèles et approches courants des ingénieurs mènent souvent à des constats trop pessimistes.

## **Des études plus sophistiquées permettent d'économiser !**

Il s'agit en premier lieu

- 1) d'études de site sismiques
- 2) d'analyses basées sur les déformations / déplacements

→ Le recours à un spécialiste vaut la peine !

# Retour d'expérience

**Le cahier technique SIA 2018 permet de concentrer les investissements aux cas caractérisés par le risque sismique les plus important !**