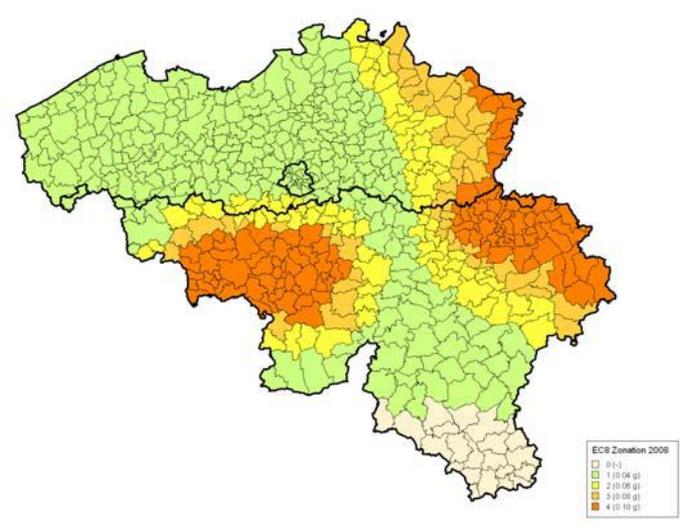


Valenciennes – 23 septembre 2009



# La gestion du risque sismique en Belgique

Thierry CAMELBEECK

Président ANB Eurocode 8 « Action Sismique »  
Observatoire Royal de Belgique

Alain SABBE

Faculté Polytechnique de Mons

André PLUMIER

Président de la Commission NBN Eurocode 8  
Université de Liège

Hervé DEGEE

Président ANB Eurocode 8 « Règles Générales »  
Université de Liège

# Risque sismique

Effet mécanique du séisme = **alea** x **vulnérabilité**

- Risque = Effet mécanique x **importance**
- ▶ valeur matérielle  
coût de réparation ou remplacement
  - ▶ atteinte aux personnes  
blessés, tués directs
  - ▶ patrimoine  
valeur immatérielle
  - ▶ effets « secondaires » perte économique  
outils détruits, endommagés  
temps perdu transport  
télécom  
gestion dégâts privés
  - ▶ effets « secondaires »  
blessés, tués indirects  
fuites gaz  
écoulements acides

## Gestion des facteurs du risque sismique en Belgique

	Entité en charge	Action	Réalisée ?
<b>Alea</b>	<b>ORB</b>	<b>EC8-ANB</b>	<b>100%</b>
<b>Constructions nouvelles Valeur matérielle</b>	<b>NBN</b>	<b>EC8-ANB</b>	<b>100%</b>
<b>Constructions existantes Valeur matérielle AVANT le séisme</b>	<b>Régions</b>	<b>Etudes de risque Règlement urbanisme Politique</b>	<b>5% 0% 0%</b>
<b>Constructions existantes APRES le séisme</b>	<b>Régions</b>	<b>Evaluation post sismique</b>	<b>0%</b>
<b>Personnes</b>	<b>Centre de crise Protection Civile ORB</b>	<b>Evaluations Alarme rapide Exercices</b>	<b>~100%</b>
<b>Patrimoine</b>	<b>Régions</b>	<b>Etudes vulnérabilité Politique</b>	<b>~ 10% 0%</b>
<b>Effets secondaires Pertes économiques</b>	<b>Régions</b>	<b>Etudes de risque</b>	<b>0%</b>
<b>Installations existantes Effets secondaires chimiques, Seveso, etc</b>	<b>Régions Propriétaires</b>	<b>Règlement Contrôle</b>	<b>0% 0%</b>



## Gestion du risque.

**Thierry Camelbeek:** L'alea sismique en Belgique.

**Hervé Degee:** Annexe Nationale Belge à l'Eurocode 8.  
Aspects particuliers des règles de projet bâtiments.

**Alain Sabbe:** Risque sismique et patrimoine bâti.

**André Plumier:** Etude de risque sismique  
sur 4 km<sup>2</sup> de la ville de Liège.

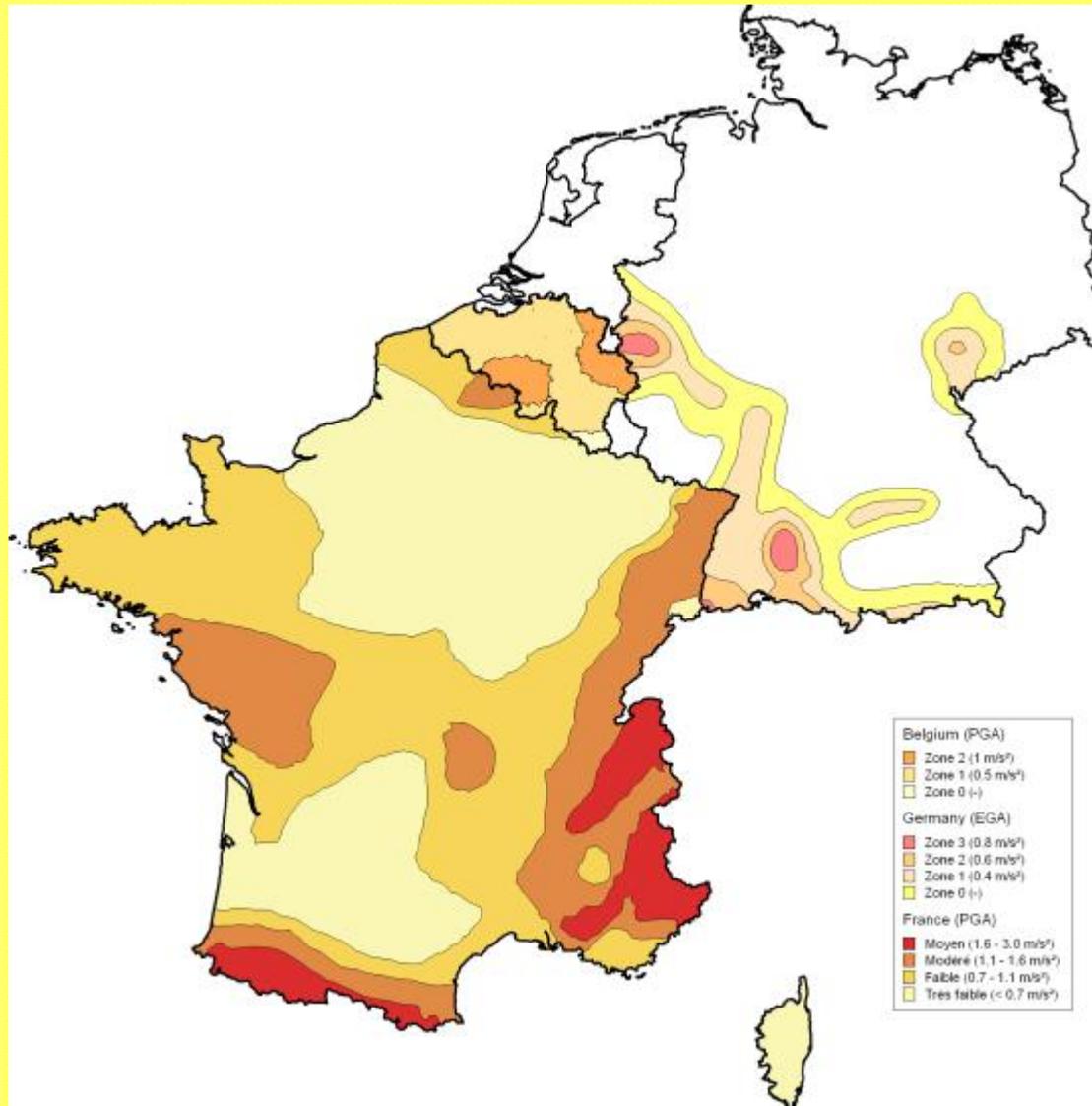
## Gestion de la crise.

**Thierry Camelbeek:** Organisation des secours pour le jour du séisme.

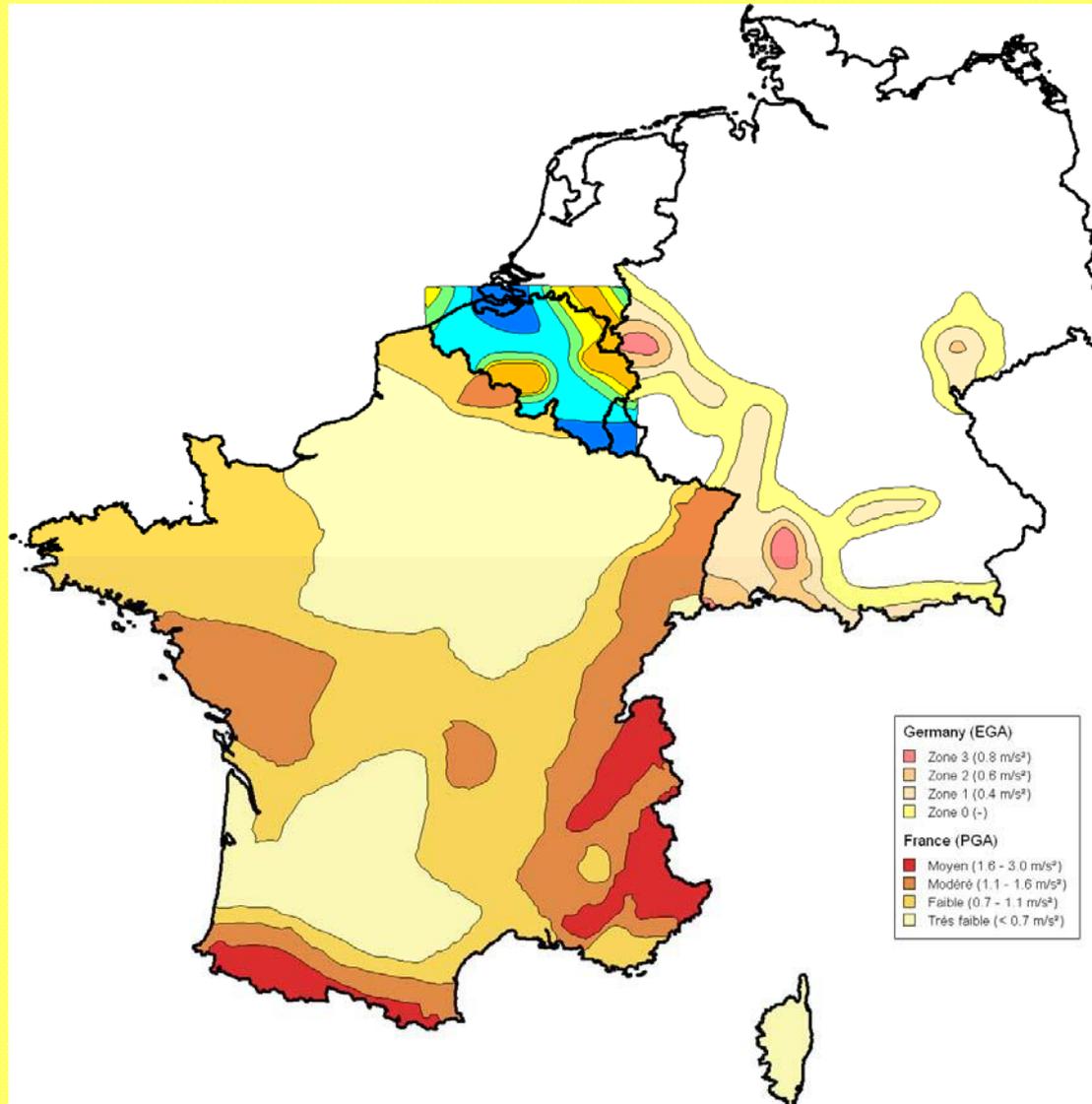
# Zonage sismique

- Basé sur une carte d'aléa au rocher publiée en 2000;
- Discuté en comité Eurocode-8 pour délimiter trois zones;
- Demande en 2008 de fournir un zonage avec des gammes plus petites d'accélération.

# Comparaison du zonage sismique – ancien zonage belge



# Comparaison du zonage sismique – nouveau zonage belge



# Questions soulevées, à résoudre avant une révision future

- Prise en compte plus correcte de l'atténuation dans le Hainaut;
- Effets de site à basse fréquence dans la partie nord du pays (plaine de Flandre)

# Failles actives, tremblements de terre et changements environnementaux dans le Nord de la France et l'ouest de la Belgique

Camelbeeck T., Verbeeck K.,  
Vanneste K., Alexandre P.,  
Kusman D. & Van Camp M;

Observatoire Royal de Belgique / Koninklijke  
Sterrenwacht van België

Colbeaux J.-P. & Tesnière C.

Parc Naturel Régional Scarpe-Escaut, France

Vandycke S.

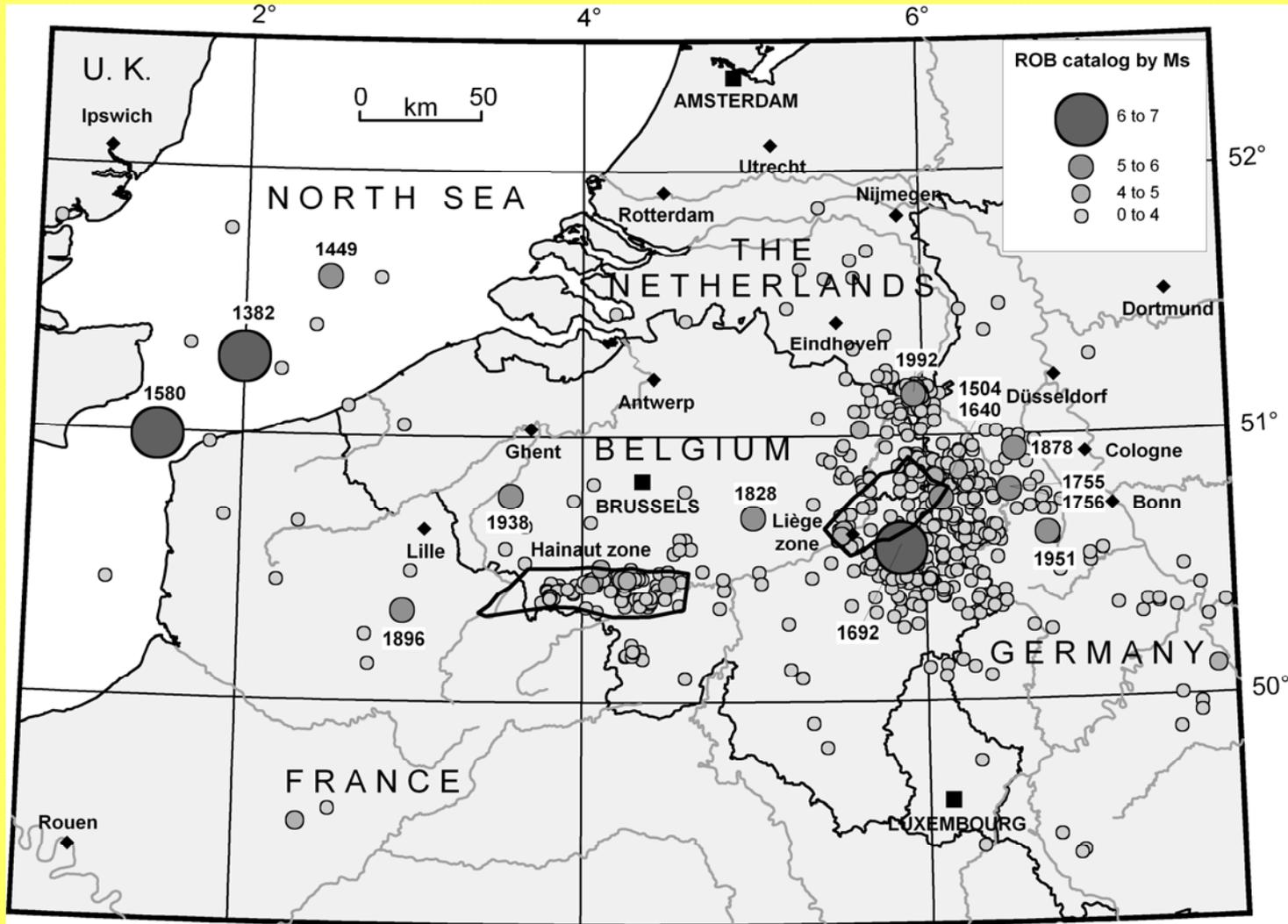
Faculté Polytechnique de Mons, Belgium

Sébrier M. & Bergerat F.

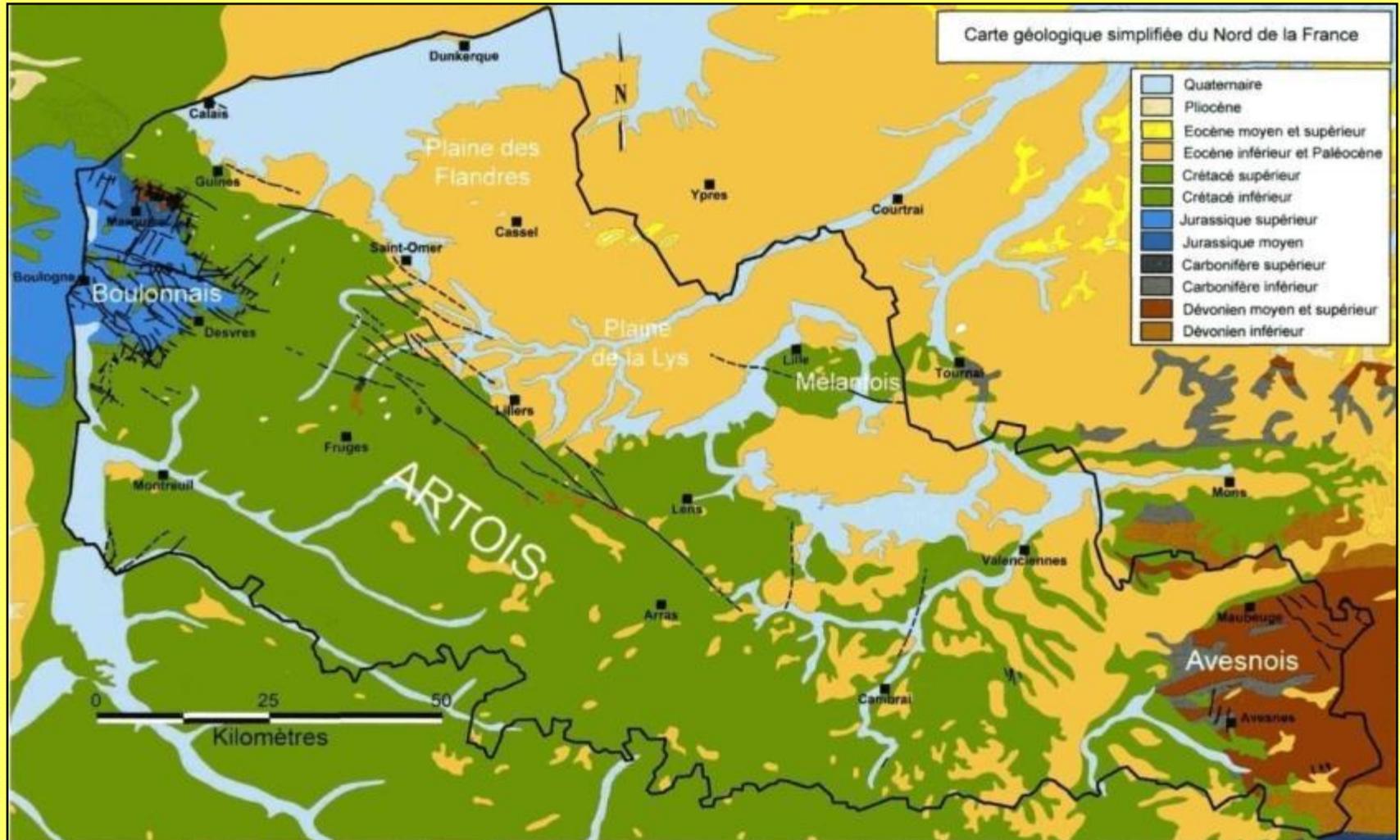
Université Pierre-et-Marie-Curie ,Paris 6, France

+ Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (Paris)

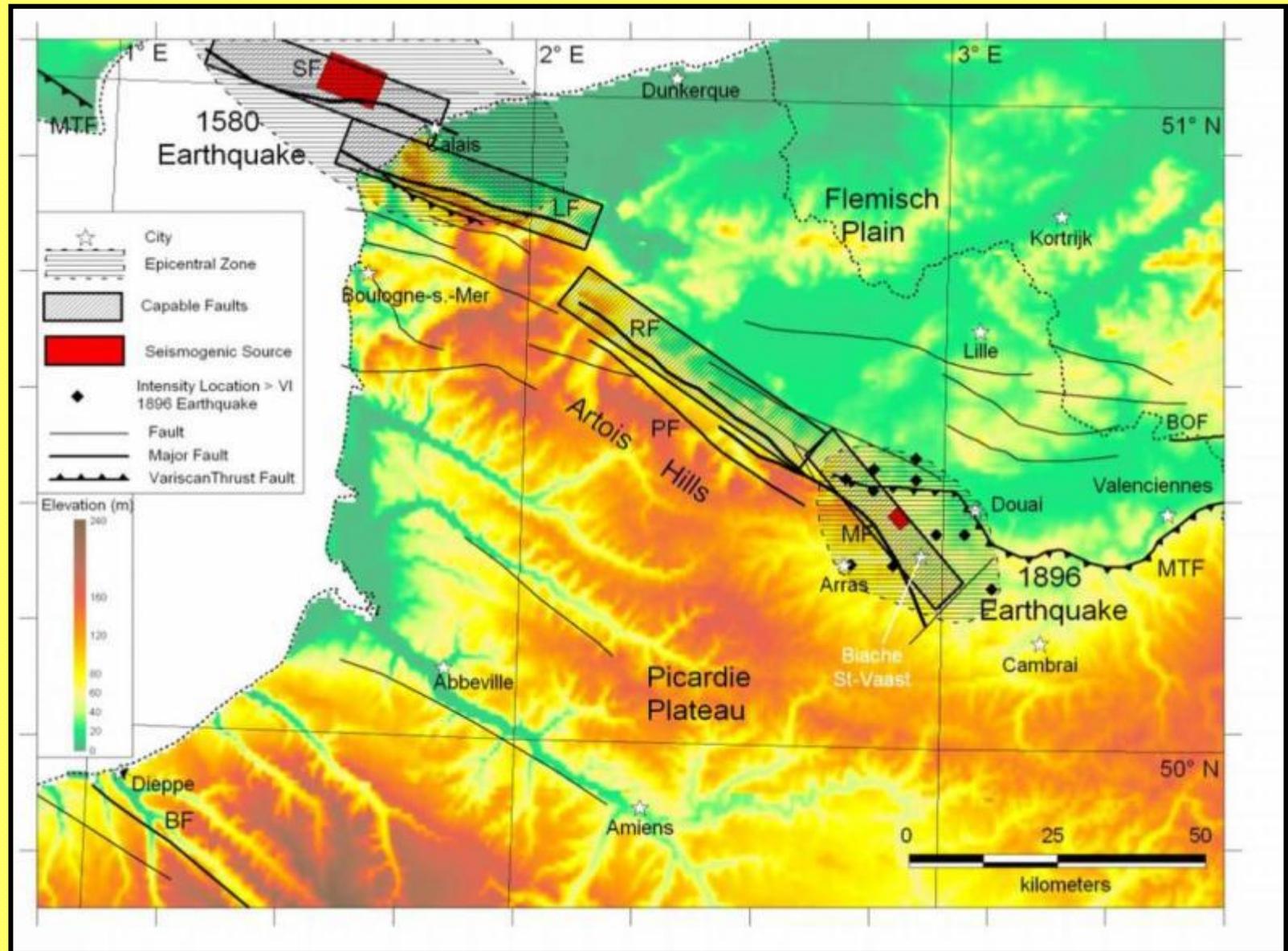
# Sismicité historique (depuis 1350)



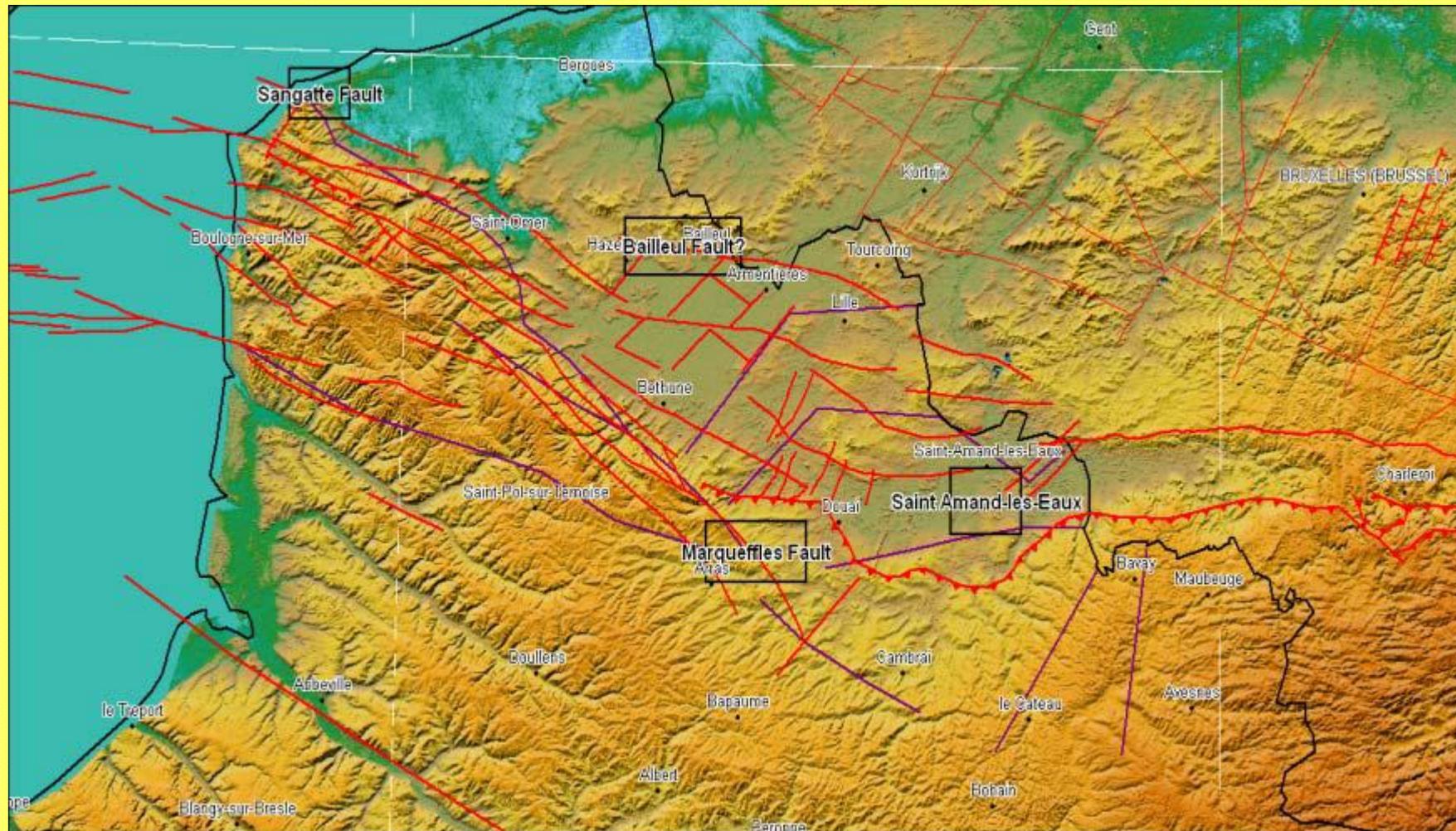
# Contexte géologique



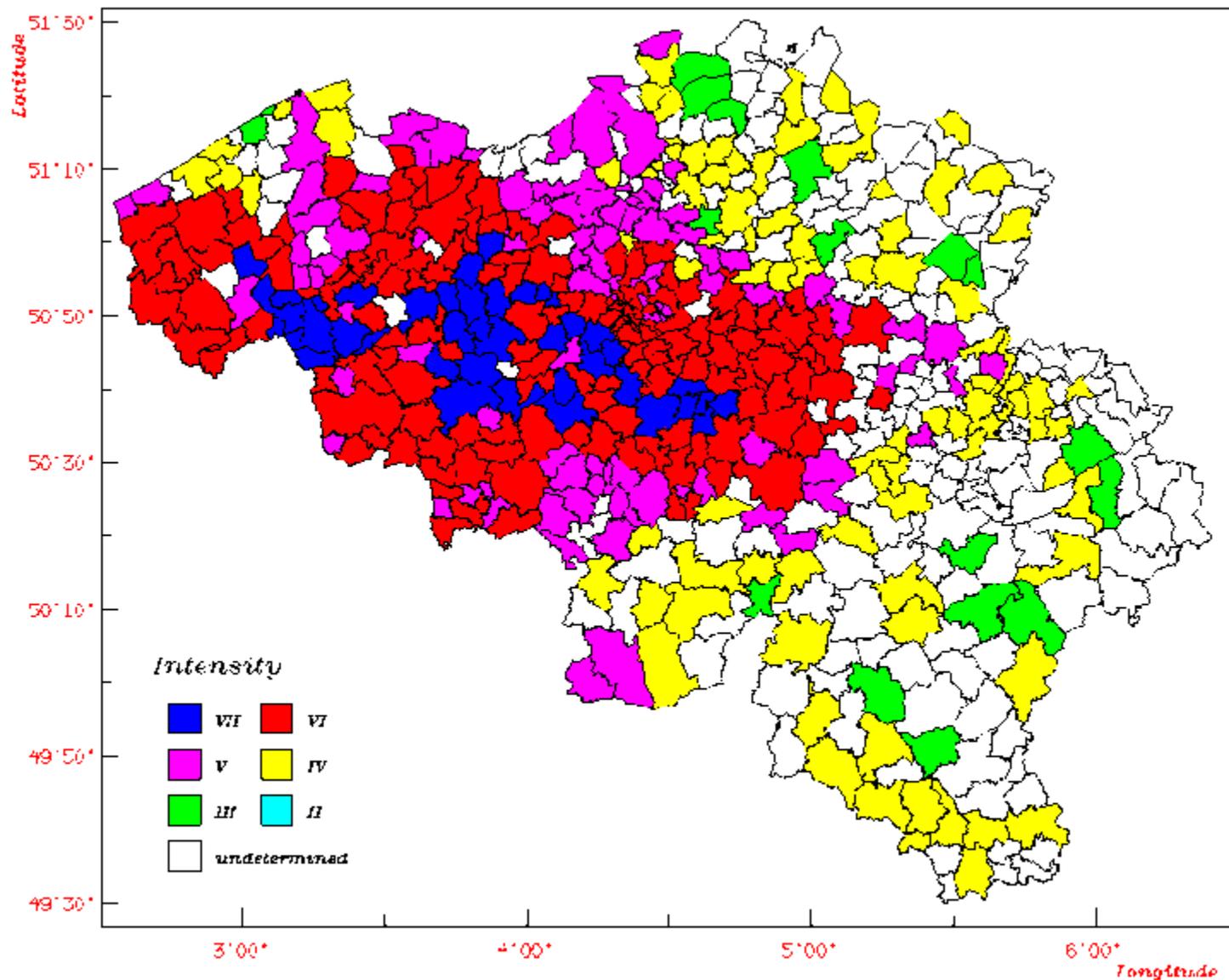
# Failles capables et les séismes de 1580 et 1896



# Investigations préliminaires



11 juin 1938 11h57 (min)



# Le séisme du 11 juin 1938 - Valenciennes

## A VALENCIENNES

La secousse sismique ressentie hier, vers midi, a mis en émoi toute la ville. Dans toutes les rues, des gens, quelque peu effrayés, sortirent de leur habitation pour s'enquérir auprès des voisins de ce qui venait de se produire.

**On ne signale à Valenciennes aucun accident de personne. Par contre, des dégâts sérieux ont été causés un peu partout.** Des cheminées se sont abattues en divers points.

A l'institution de l'Immaculée-Conception, rue des Famars, deux cheminées tombèrent dans la cour de récréation, quelques minutes après le passage d'un groupe de fillettes. La cheminée du café « Au Blagau », rue du Quesnoy, s'est fendue en plusieurs endroits. La circulation a été interdite dans cette rue. Le même cas s'est produit rue Saint-Jacques, où la circulation a également été interrompue. Notons encore des cheminées abattues 2 et 7, avenue de Reims, 67, boulevard Saly, 15, place du Neuf-Bourg, 84, rue de Paris, rue d'Alsace, à l'angle de l'ancien Hôtel-Dieu. Etc.

Un plafond s'est effondré au café Losiaux, 32, rue du Quesnoy, et des façades d'immeubles, des murs, se sont crevassés un peu partout.

*La dépêche, 12 juin 1938*

# Séisme du 11 juin 1938 - Lille



# Le séisme du 2 septembre 1896 - Arras

« Mercredi soir, à neuf heures, une secousse de tremblement de terre à parcouru la ville d'Arras et les environs, se faisant sentir à Saint-Laurent Blangy et dans tout le pays autour d'Arras. On a entendu tout à coup un bruit analogue à celui d'un grand vent s'abattant sur la ville puis le sol s'est mis à trembler. La secousse s'est produite exactement à 9 h. 12 ; elle se dirigeait dans le sens de l'ouest à l'est.

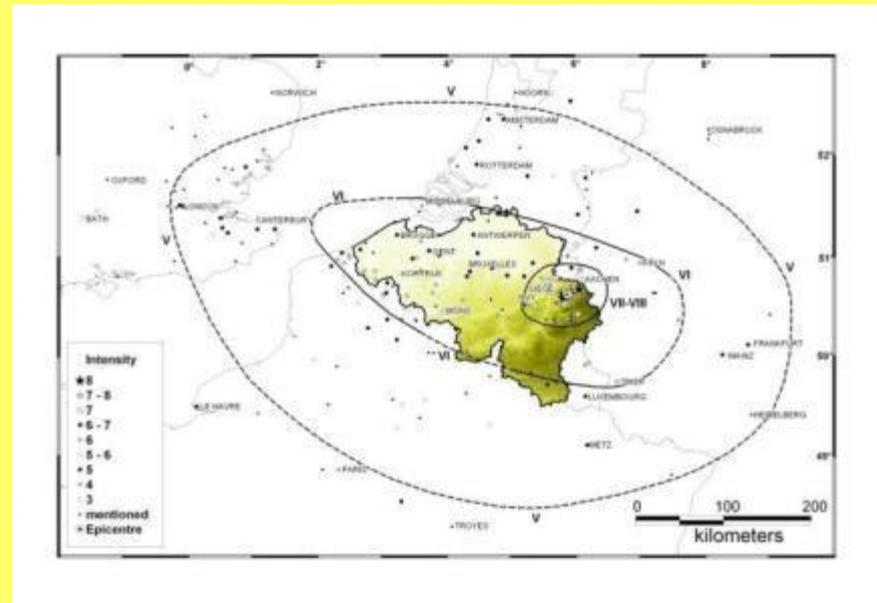
Aussitôt les maisons se sont mises à trembler, des plafonds se sont écroulés, pendant qu'à l'intérieur des maisons, la vaisselle et les étagères se brisaient, les suspensions se détachèrent et tombaient, et que les horloges s'arrêtaient subitement ... »

*La Tribune, n°36, dimanche 6 septembre 1896*

# Le séisme du 18 septembre 1692 - Valenciennes

Je crois estre obligé de me donner l'honneur de vous rendre compte d'un tremblement de terre qui s'est fait sentir aujourd'hui dans cette ville entre deux heures et un quart après midy. Toutes les maisons ont été ébranlées environ le temps qu'il faut pour dire un avemaria pendant lequel il est tombé plusieurs cheminées, on a veu les clochers, les tourelles, et toutes les cheminées bransler comme si elles avaient voulu tomber ....

*Lettre de Mr de Magalotty à Louis XIV*



# Gestion de la crise

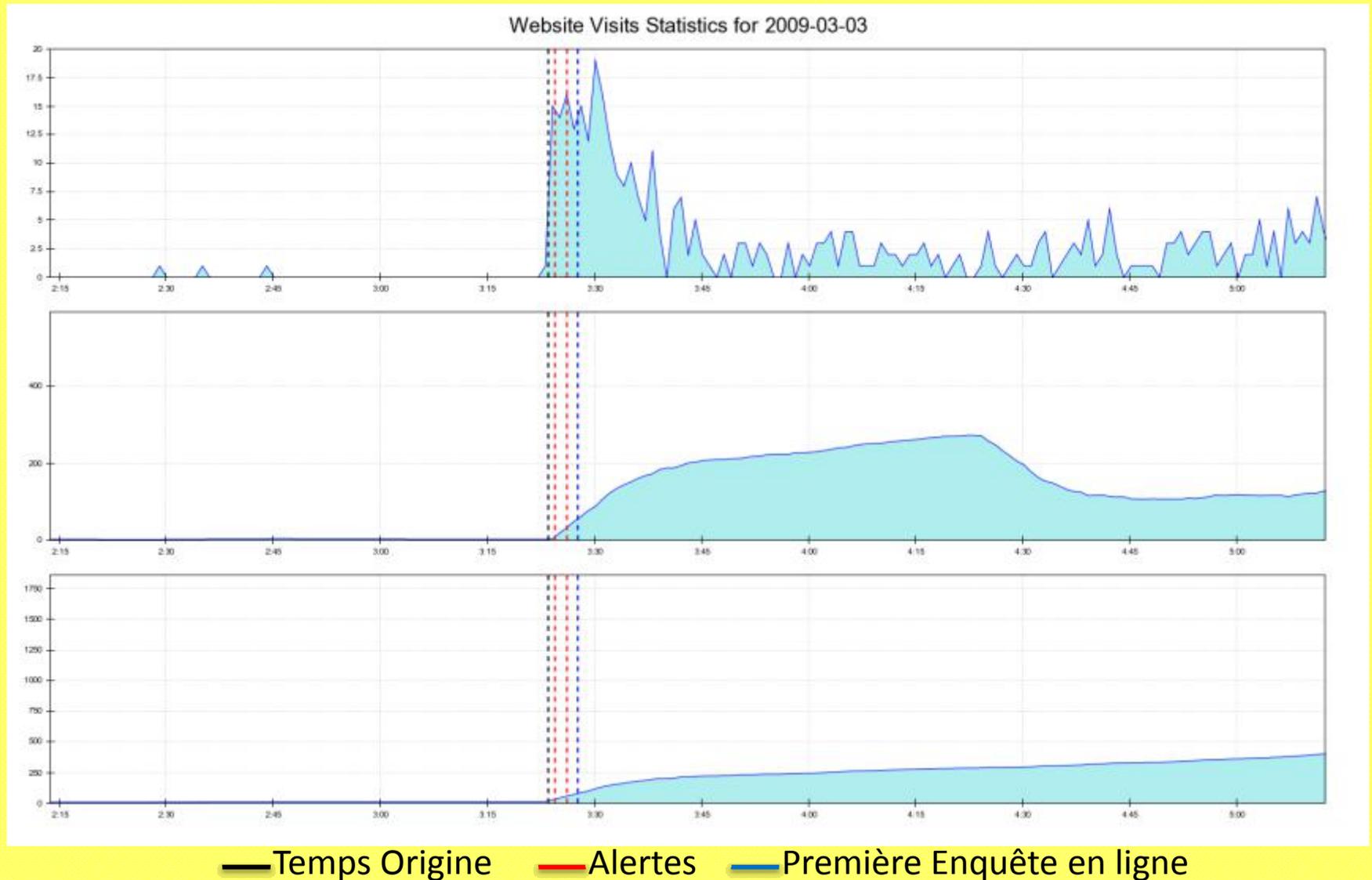
- Etat belge: responsabilité du Centre de crise du Service Public Federal Intérieur;
- Province: responsabilité du gouverneur de province;
- Commune: responsabilité du Bourgmestre

# Que fait *actuellement* l'ORB lors d'un tremblement de terre?

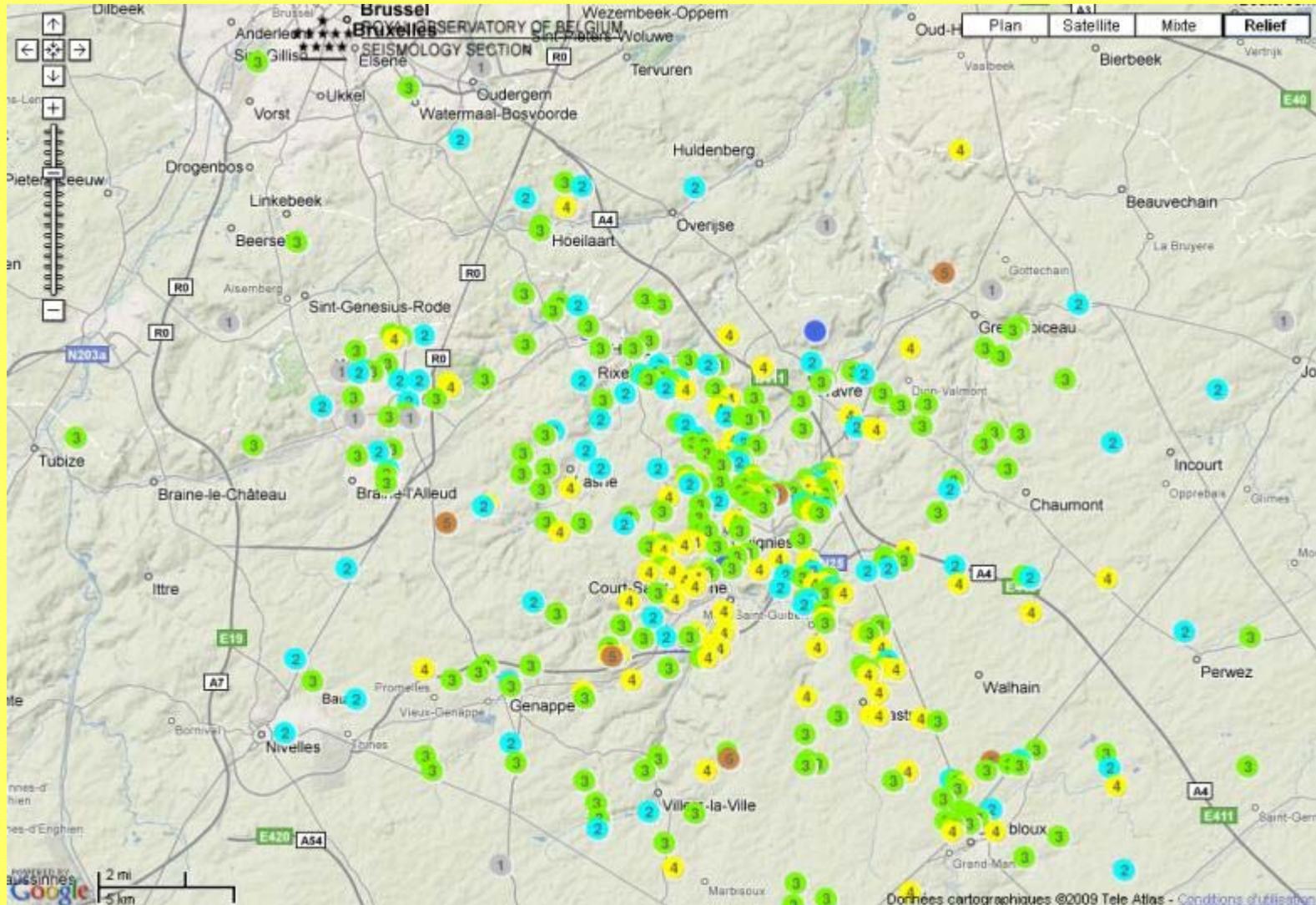
- Au moment du séisme et le plus rapidement possible: détermination de la localisation, de la magnitude et de l'impact (information pour le Centre de crise)
- Analyse post-séismique (cartes de l'impact du séisme):
  - information pour le fonds des calamités
  - information « officielle » pour les compagnies d'assurances
  - a) Enquête auprès du public par l'internet;
  - b) Enquête par courrier auprès des communes.



# Statistiques de connexion



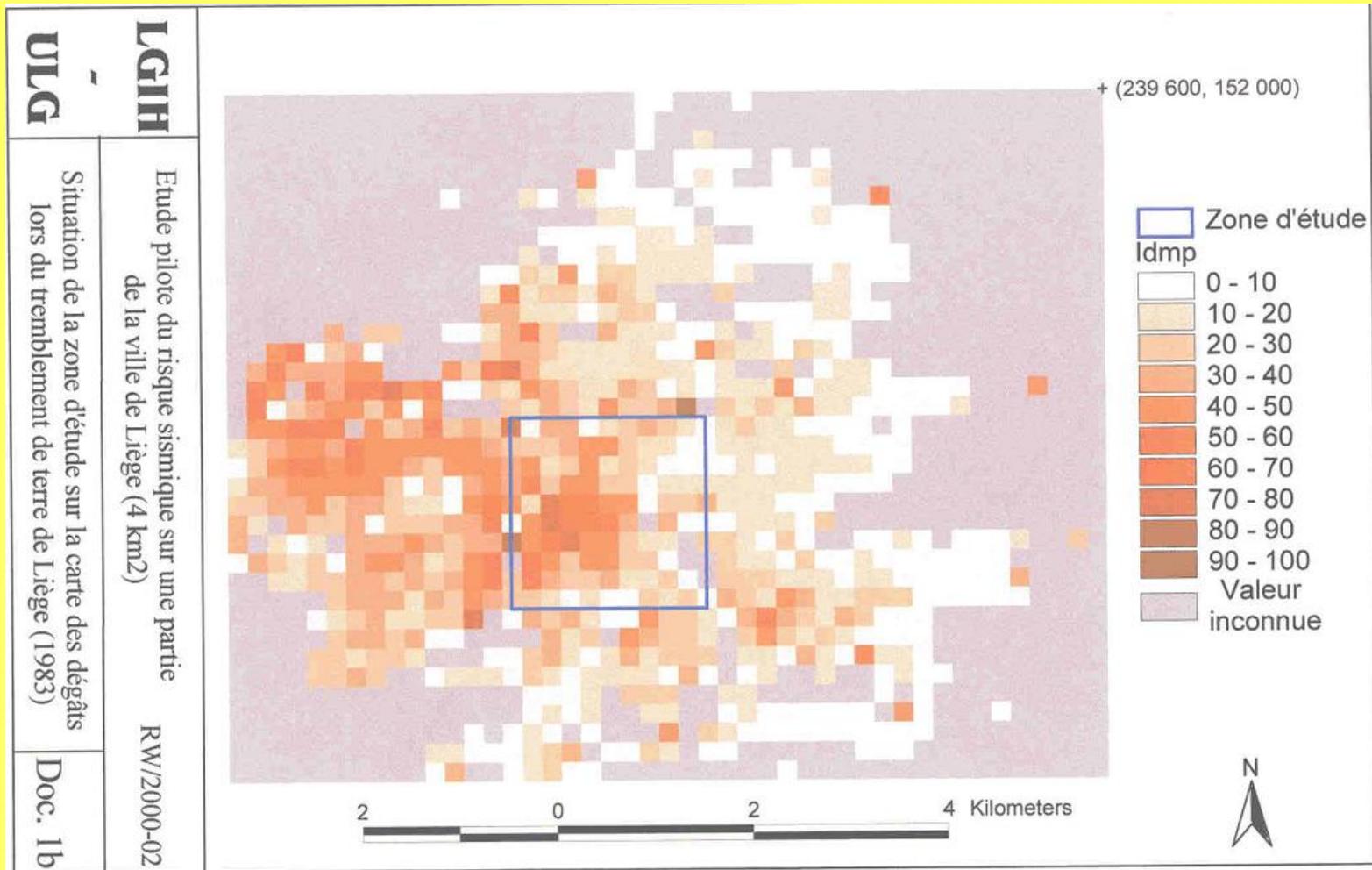
# Enquêtes Macroséismiques



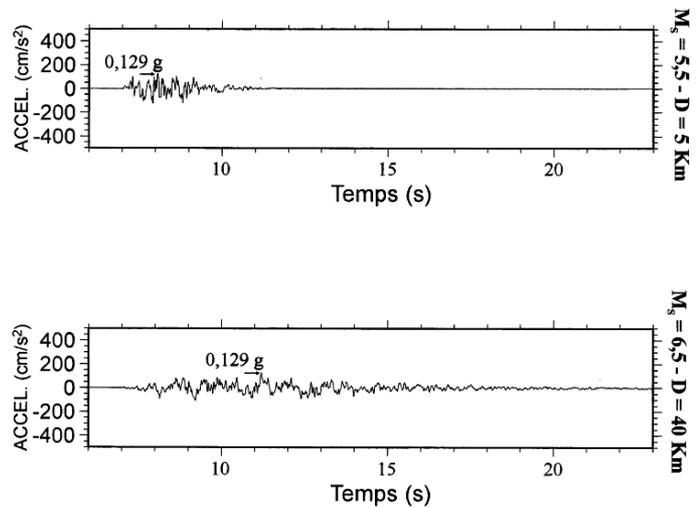
# Etude pilote du risque sismique sur Liège

Risque = Alea x Vulnérabilité

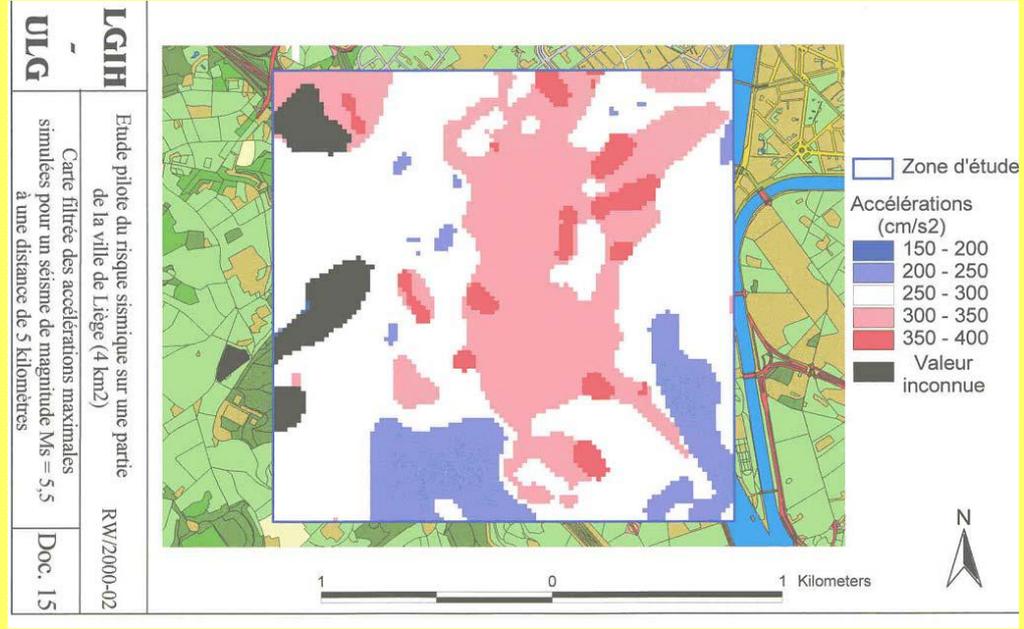
Phase 1: 4 km<sup>2</sup>



# Accélérogrammes considérés



# Carte d'alea



**IGIH**

Etude pilote du risque sismique sur une partie de la ville de Liège (4 km<sup>2</sup>)

Accélérogrammes des deux séismes de référence (M<sub>s</sub> = 5,5 et M<sub>s</sub> = 6,5) normés à PGA = 129 cm/s<sup>2</sup>

RW/2000-02

Doc. 2

**IGIH**

Etude pilote du risque sismique sur une partie de la ville de Liège (4 km<sup>2</sup>)

Carte filtrée des accélérations maximales simulées pour un séisme de magnitude M<sub>s</sub> = 5,5 à une distance de 5 kilomètres

RW/2000-02

Doc. 15

## INDEX DE VULNERABILITE DE BASE:

1. maisons en maçonnerie avec plancher en bois (avant 1940, pas de diaphragme efficace); angle, fin d'une série :  $I_v = 42$
2. idem, dans une série ou isolée  $I_v = 52$
3. immeubles de plus de 5 étages en construction mixte béton armé-maçonnerie. angle, fin d'une série :  $I_v = -5$
4. idem, dans une série ou isolée  $I_v = -20$
5. immeubles historiques; isolé:  $I_v = 42$

## Paramètres "modificateurs" des $I_v$ de base

Influence des circonstances modifiant la vulnérabilité :

- pourcentage d'ouverture
- rez de chaussée faible par suite d'ouvertures importantes
- balcons lourds
- irrégularité en plan, en élévation
- risque de martèlement entre constructions adjacentes

4 tableaux => l'enquêteur de terrain attribue directement à chaque un indice  $I_v$  somme de la valeur de base et des modificateurs



Type 1  
Bâtiments en maçonnerie  
avec plancher en bois  
(= avant 1940)





**Soft storey's**

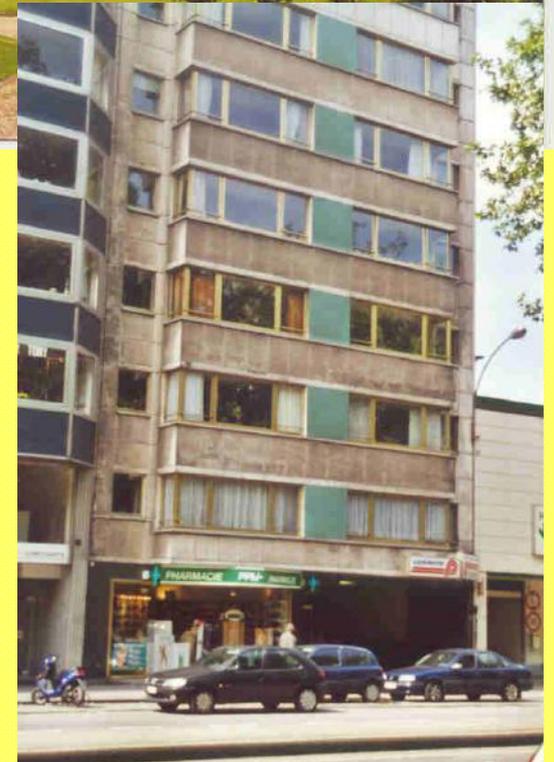


**Balcon lourd & larges ouvertures**



**Type 2:**  
**Batiment en**  
**maçonnerie**  
**Avec plancher en**  
**béton armé**  
**(après 1940)**



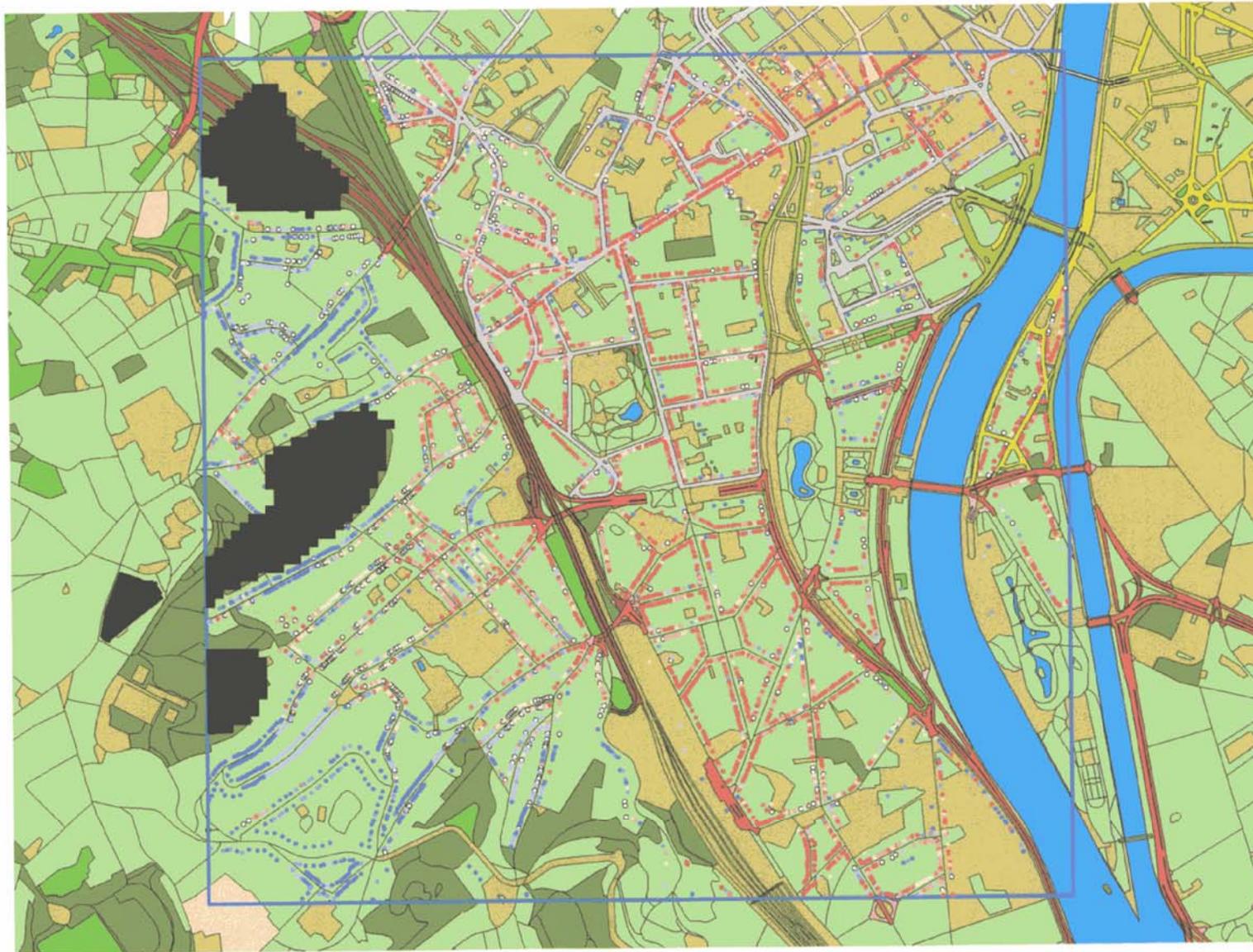


**Type 3: Batiment de +  
de 5 étages en B.A. ou  
Mixtes B.A.-maçonnerie**

Photo  
aérienne



Carte 6 - Dommage D pour un seisme lointain de periode de retour 475 ans.



## Conclusions

- **Des incertitudes:**                   PGA  
  évaluation de l'indice de vulnérabilité  $I_v$   
  relations PGA-  $I_v$  - dommage D.  
  => tendances, pas de certitude quantitative .
  
- **Dégâts significatifs sous le séisme de période de retour 475 ans**  
  ( $M_s = 5,5$  champ proche ou  $M_s = 6,5$  champ lointain)
  - 45% des bâtiments: coût de réparation > reconstruction.
  - 20%                                    coût de réparation < 60% nouveau
  - 7%                                    coût de réparation < 40% nouveau
  
- **Conclusions non surprenantes**
  - action sismique
  - bâti existant:
    - Beaucoup de maçonnerie avec diaphragme faible
    - Immeubles à appartement avec rez transparent
    - Structures affaiblies par rez rendu transparent
    - sans calcul de structure
  
- **Coherent** avec Liege 1983 EQ ( $M_s = 4,5-5$  champ proche )



# Les Eurocodes Structuraux, des « EuroNormes » ou EN.

**1975. La Commission des Communauté Européennes lance une action dans le domaine de la construction**

**Objectifs: - éliminer les obstacles aux échanges**

**- harmoniser les règles de projet, dimensionnement, produits**

**Moyen: - les Eurocodes**

**EN 1990 - Eurocode 0: Bases de calcul des structures**

**EN 1991 - Eurocode 1 : Actions sur les structures**

**EN 1992 - Eurocode 2 : Calcul des structures en béton**

**EN 1993 - Eurocode 3 : Calcul des structures en acier**

**EN 1994 - Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton**

**EN 1995 - Eurocode 5 : Calcul des structures en bois**

**EN 1996 - Eurocode 6 : Calcul des structures en maçonnerie**

**EN 1997 - Eurocode 7 : Calcul géotechnique**

**EN 1998 - Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes**

**EN 1999 - Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium**

**Date cible: 2010, les Eurocodes seuls règlements en vigueur en Europe  
(Belgique, pour Eurocode 8: Janvier 2011)**



# EN1998- 1 Règles générales, actions sismiques, bâtiments

## Exigences fondamentales

### - Non effondrement sous séisme « de projet »

« de projet » = probabilité d'être dépassé = 10% sur 50 ans  
période de retour moyenne = 475 ans

### - Limitations des dégâts sous séisme « fréquent »

« fréquent » = probabilité d'être dépassé = 10% sur 10 ans  
période de retour moyenne = 95 ans

## Critères à respecter

Si possible, structures de formes simples en plan et élévation

Critères

Sinon pénalisation: résistance, prix + élevés

## Choix de base

- aucune déformation plastique: constructions « non dissipatives »  
(zones de sismicité faible)

- déformations plastiques acceptées = constructions « dissipatives »  
« dissipatives » = Pas de ruine locale. Pas de ruine fragile.

Zones les + sollicitées: résistance stable sous cycles plastiques

- $\gamma_I a_g S < 0,6 \text{ m/s}^2$  « très basse sismicité » pas de vérification
- $\gamma_I a_g S \leq 1,0 \text{ m/s}^2$  « basse sismicité » règles simplifiées
- $\gamma_I a_g S > 1,0 \text{ m/s}^2$  règles complètes

«l'action sismique »:  $\gamma_I a_g S$

$a_g$  accélération de pic

Belgique:

$$0 \leq a_g \leq 1 \text{ m/s}^2$$

France:

$$0 \leq a_g \leq 2 \text{ m/s}^2$$

Grèce, Turquie :  $0 \leq a_g \leq 4 \text{ m/s}^2$

$\gamma_I$  coefficient d'importance du bâtiment:

$$\gamma_I = 0,8 - 1,4$$

$S$  sols & site. 5 types

$$S = 1 - 1,8$$

A, B, C, D, E (+ S1, S2)  $\Leftrightarrow$  propriétés géotechniques

A = rocher  $\Rightarrow S=1$

E = alluvions  $v_{s30} \text{ (m/s)} < 180$  sur sol + dur  $\Rightarrow S= 1,8$

Au max, en Belgique:  $\gamma_I a_g S = 1,4 \times 1,8 \times 1 = 2,52 \text{ m/s}^2 \gg 1,0 \text{ m/s}^2$

## Règles associées aux matériaux de construction

Aspect général commun:

**Classes de ductilité des structures      DCL, DCM, DCH**

**DCL = basse ductilité**

**$q = 1,5$**

**Action sismique:**

**Eurocode 8**

**Vérifications:**

**Pas Eurocode 8**

**uniquement Eurocodes 2, 3, 4, 5, 6**

***Recommandé seulement en zone de faible séismicité***

***( $q = \text{facteur de comportement} \rightarrow \text{réduction du spectre de calcul}$ )***

**DCM = Ductilité Moyenne**

**$q > 2,5$**

**Vérifications:**

**Eurocode 8 + Eurocodes 2, 3, 4, 5, 6**

**DCH = Haute ductilité**

**$q > 3,5$**

**Vérifications:**

**Eurocode 8 + Eurocodes 2, 3, 4, 5, 6**

## « Annexe Nationale » ou ANB. Définition.

Pour chaque EN, une Annexe: EN1998-1 => ANB EN1998-1  
EN1998-2 => ANB EN1998-2 ...

## Contenu d'une ANB.

- Choix des valeurs des « Paramètres Déterminés au niveau National »  
coefficients partiels  $\gamma$ ...
- Données physiques nationales Ex.: carte zonation sismique
- Informations complémentaires non contradictoires
  - aide à l'application d' EC8
  - règles spécifiques au contexte constructif national  
en fonction de la séismicité belge
- Décisions sur l'usage des annexes informatives
- Valeurs à utiliser lorsque seul un symbole est donné dans l'EC8
- Procédure à utiliser si alternatives proposées dans EC8



# « Annexe Nationale » ou ANB.

## Stade actuel

Projet approuvé par le Comité (mars 2009)

## Principales décisions nationales

- Approbation de la zonation
- Extension des moyens de caractérisation des sols
- Autorisation de l'utilisation des méthodes non linéaires
- BA: Définition des sections de chaînages et longrines en infrastructure
- CM: Informations complémentaires sur les assemblages
- Maçonnerie:
  - Travail important de concertation avec les acteurs industriels
  - Objectif: garantir la résistance au séisme sans modifier radicalement les pratiques actuelles

## Aspects "maçonnerie" dans l'ANB-EC8

- Sélection des matériaux
- Définition des facteurs de comportement
- Règles de construction
- Vérification de sécurité:
  - Calcul explicite selon EC8/EC6
  - Bâtiments simples au sens EC8 (maisons – ANF: jusque R+1)
  - Pour bâtiments de catégorie 1 ou 2, développement d'un "Guide parasismique" spécifique
    - basé sur les règles ANB-EC8/EC6
    - sans calcul explicite (règles constructives)
    - plus de souplesse que par les règles "simples" EC8
    - en cours de développement

## Etudes préalables au Guide parasismique

- Observations post-sismique

Absence ou faiblesse des diaphragmes/liaisons

Faiblesse des murs

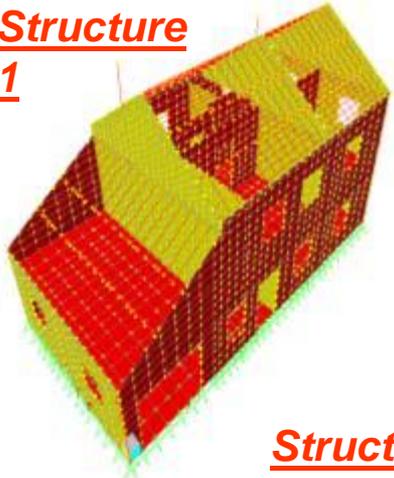
Rupture d'éléments non structurels



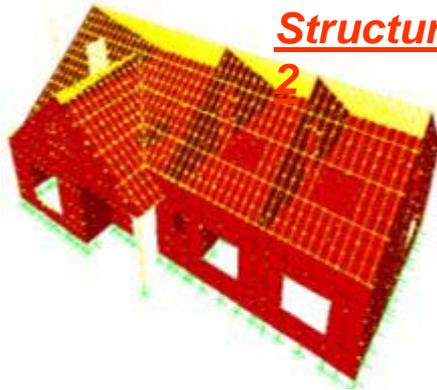
# Etudes préalables au Guide parasismique

- Analyses numériques

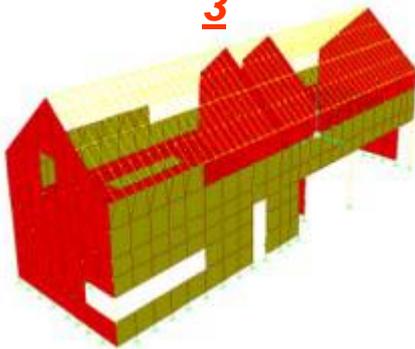
Structure  
1



Structure  
2



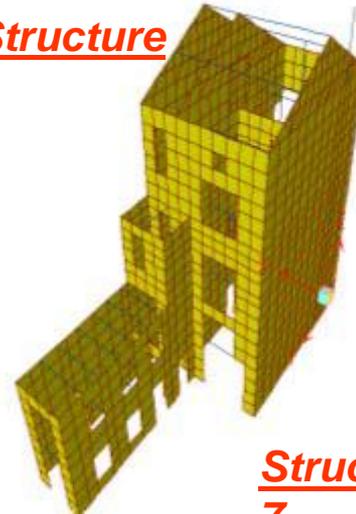
Structure  
3



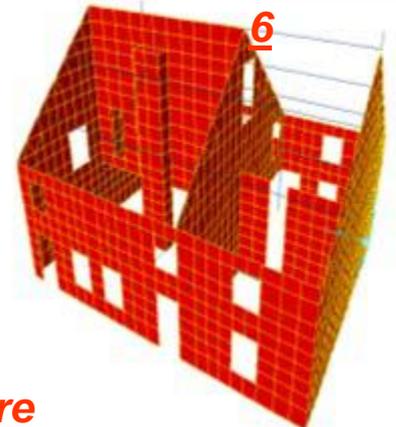
Structure  
4



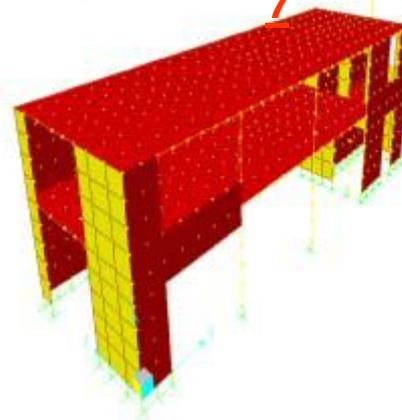
Structure  
5



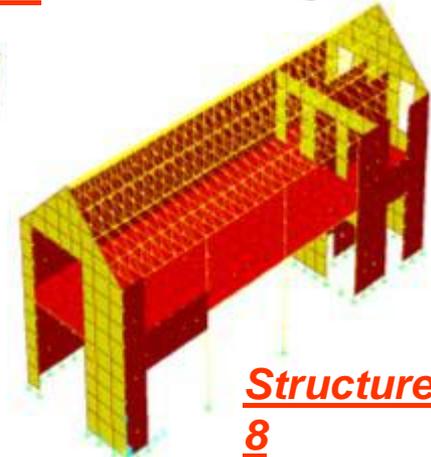
Structure  
6



Structure  
7



Structure  
8

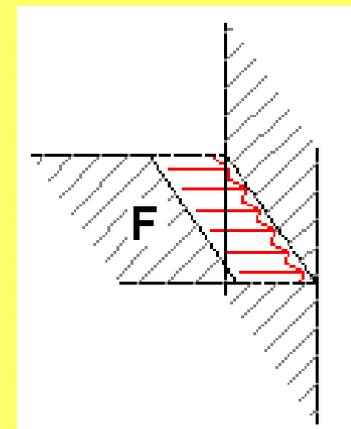


## Etudes préalables au Guide parasismique

- Analyses numériques

→ résultats: valeurs d'efforts à transmettre au liaisons (dans ANB-EC8)

Type de plancher	$F_{pm}$ moyenne [kN/m]	$F_{pm}$ pic [kN/m]
<b>Planchers diaphragmes liaisonnés sur les 4 côtés</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
<b>Planchers diaphragmes liaisonnés sur 2 côtés</b>	<b>20</b>	<b>110</b>
<b>Systemes de plancher à maîtresses poutres dans une direction, sans diaphragme</b>		<b>25</b>



Près des discontinuités (ouvertures)

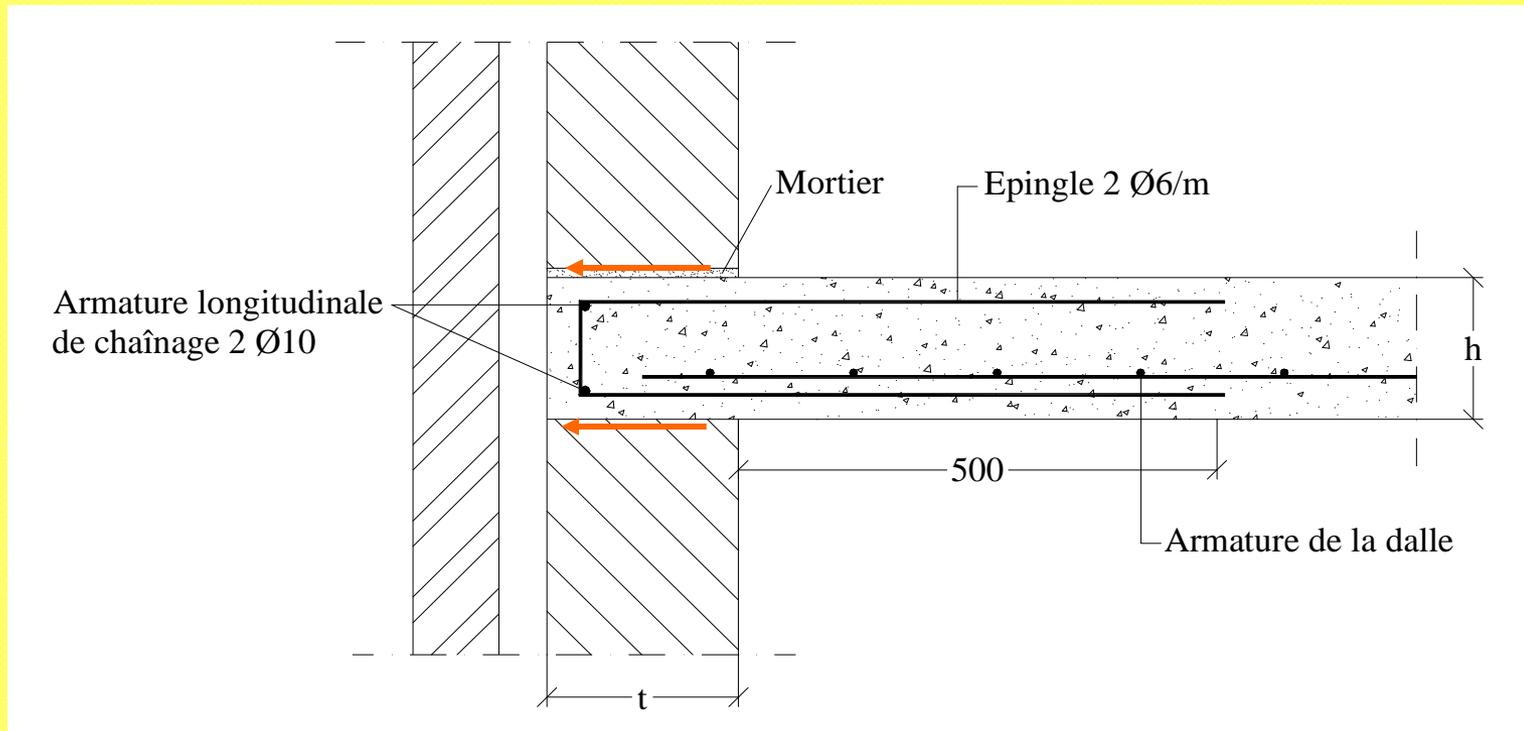
Aux extrémités de l'appui

## Etudes préalables au Guide parasismique

- Analyses numériques

→ résultats: valeurs d'efforts à transmettre au liaisons (dans ANB-EC8)

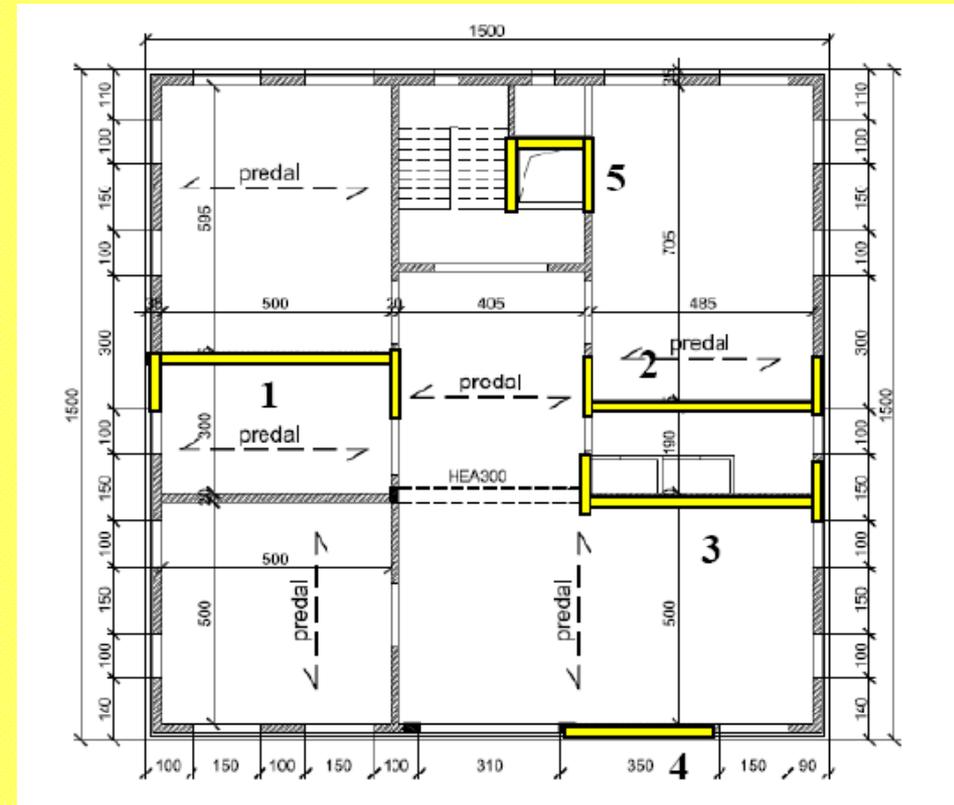
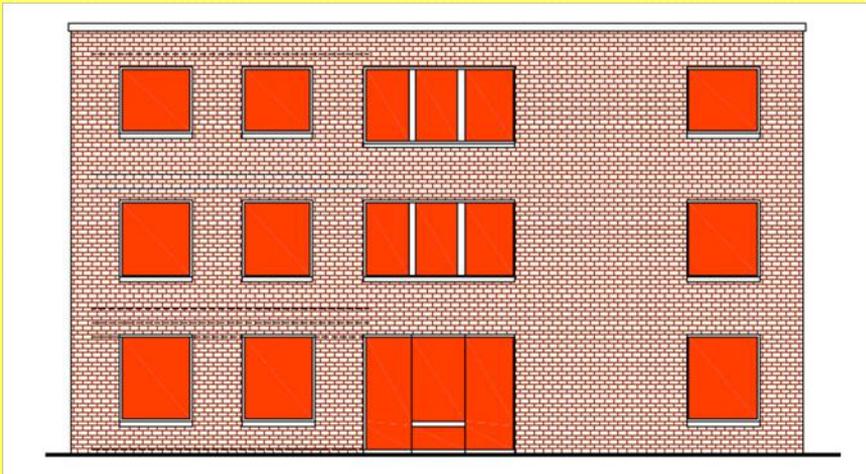
→ solutions technologiques pour assurer ces liaisons (Guide)



Transfert d'effort par **CISAILLEMENT** ←  
+ **FROTTEMENT** si mur chargé verticalement

## Etudes préalables au Guide parasismique

- En cours: étude de cas pour définir des critères de stabilité sous séisme
  - Nécessité ou non de chaînages verticaux + définition de la section des chaînages
  - Nombre et dimensions des murs résistants aux charges horizontales



## Etudes préalables au Guide parasismique

- Validations expérimentales



# Sur l'obligation d'appliquer l'Eurocode 8 (Situation belge)...

Comme toute Norme NBN ou autre  
Eurocode 8 définit un « état de l'art »

Tout technicien compétent devrait le connaître et l'appliquer.

**Application non obligatoire, sauf si explicite:** - cahier des charges  
- règlement d'urbanisme

L'auteur de projet qui néglige la résistance sismique  
n'a pas de problème

**sauf si un tremblement de terre survient et cause des dégâts**

**Alors:** - on pourra lui reprocher d'avoir ignoré l'état des connaissances  
au moment de la construction  
- ce n'est pas admis d'un technicien compétent.  
- l'auteur de projet pourrait être contraint d'indemniser le client.

# Incitants à l'application de règles parasismique aux constructions nouvelles ?

En Belgique, il n'est pas courant de donner force de loi aux normes techniques.

## Méthodes réalistes

### 1. Règlement d'urbanisme de la Région Wallonne

**Et formation des auteurs de projet & contrôleurs**

**Contrôle spécifique? Cfr réception protection incendie  
installation électrique**

### 2. Demande des assureurs, pour minimiser leur risque financier

=>certificat parasismique

**si attribué à un bâtiment:            bonus**

**si non attribué:                            malus**

**Modalités pratiques?**

**Compétence de l'auteur de projet : Certificat**

**Certification de la construction par un Organisme**

### 3. Le Maître d'Œuvre est demandeur de sécurité

=> information des propriétaires

# Sur les moyens d'appliquer la norme parasismique au bâti existant.

Majorité du risque sismique: bâti existant

## Mise à niveau **systematique** des construction existantes ?

- Techniquement possible: Partie 3 de l'Eurocode 8
- Impensable de façon systematique:
  - problème économique énorme
  - surcoût du parasismique a posteriori très élevé
  - peut être exagéré pour le risque sismique

## Autres possibilités de mise à niveau des construction existantes

### 1. Propriétaire

Initiative d'une évaluation & réalisation de renforcement

### 2. Autorité publique

Constructions existantes en transformation structurale

=> exigence d' une étude de stabilité pour

- éviter de réduire la résistance sismique pas le cas actuellement
- relever la résistance sismique

Modalité: règlement d'urbanisme

## Sur les moyens d'appliquer la norme parasismique au bâti existant.

### 3. Autorité publique

Combiner études de risque sismique  
application de mesures préventives.

**Si le risque sismique est significatif:**

- l'information aux propriétaires et à la commune
- proposition d'incitants financiers

### 4. Autorité publique

Réduction du danger présenté par les chutes parements de façades  
cheminées  
frontons

**L'autorité publique devrait s'attaquer à ce problème:**

- Danger le plus immédiat
- Peu coûteux à résoudre

**Actions:**

- un examen systématique de la stabilité des éléments
- l'imposition d'améliorations dans un délai donné.



**Liège 1883**

## Chute d'éléments décoratifs



À l'entrée d'un cinéma



**En attente...**



**Une condition nécessaire  
à l'application des règles parasismiques : la formation.**

**La formation au projet parasismique:**

**absente du programme des cours  
dans la majorité des écoles d'ingénieurs  
des écoles d'architectes**

**Situation aberrante alors qu'on parle de « construction durable »!!!**

**Actions**

**futurs diplômés => adaptation du programme des cours**

**praticiens => certificats  
cfr « Sécurité & Hygiène du Travail »**

# Les bénéfices du parasismique

## Constructions durables

### Réduction de l'importance

des crises  
des pertes humaines  
des pertes d'activité économique  
des remboursements

### Augmentation de la compétence

**favorable**

à la qualité  
aux exportations de projets  
aux exportations de produits  
à l'aide au développement  
à l'assistance après séisme ailleurs  
à l'image

# Conclusions.

Pour réaliser la prévention/réduction du risque sismique, on dispose:

**D'un savoir adéquat** les problèmes/ leurs solutions

**De règles de projet** Eurocode 8, Annexe Nationale Belge

Il manque:

**Une prise de conscience**

**De la formation** permettant l'application du savoir et des règles  
Architectes, Ingénieurs, entrepreneurs  
Urbanisme, Agents des Communes

**Des incitants** motivant l'application des règles  
Règlements d'urbanisme  
bonus – malus Assurances