

LE PHENOMENE SISMIQUE ET SES EFFETS

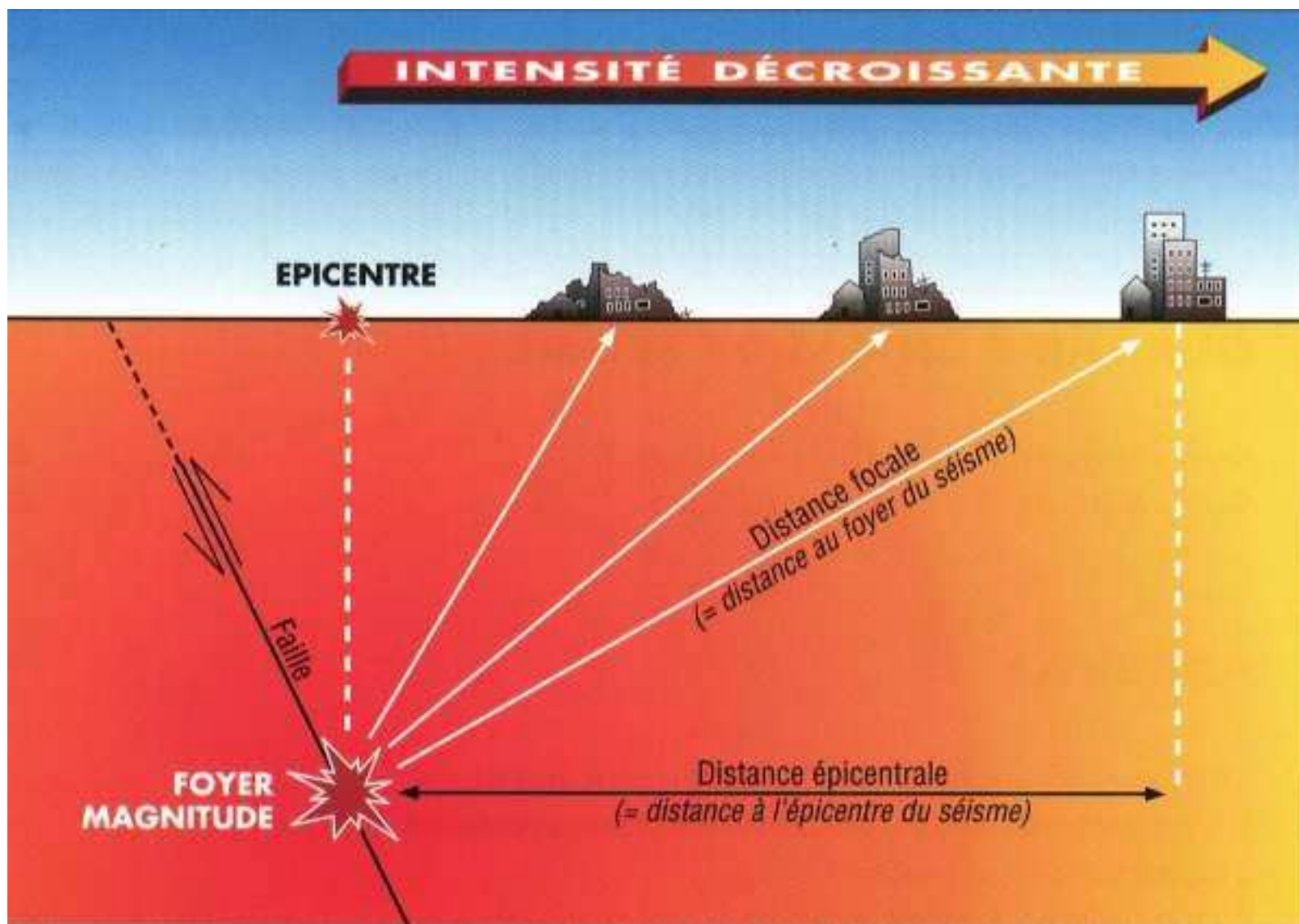
Pascal DOMINIQUE

- **Notions (magnitude et intensité)**
- **La sismicité en France**
- **Aléa et risque**
- **Sismologie et tectonique**
- **Mouvement sismique et aléa sismique local**
- **Effets induits : Ruptures de faille, liquéfaction, mouvements de terrain**
- **Dommmages sur structures industrielles**

- **Le zonage réglementaire**

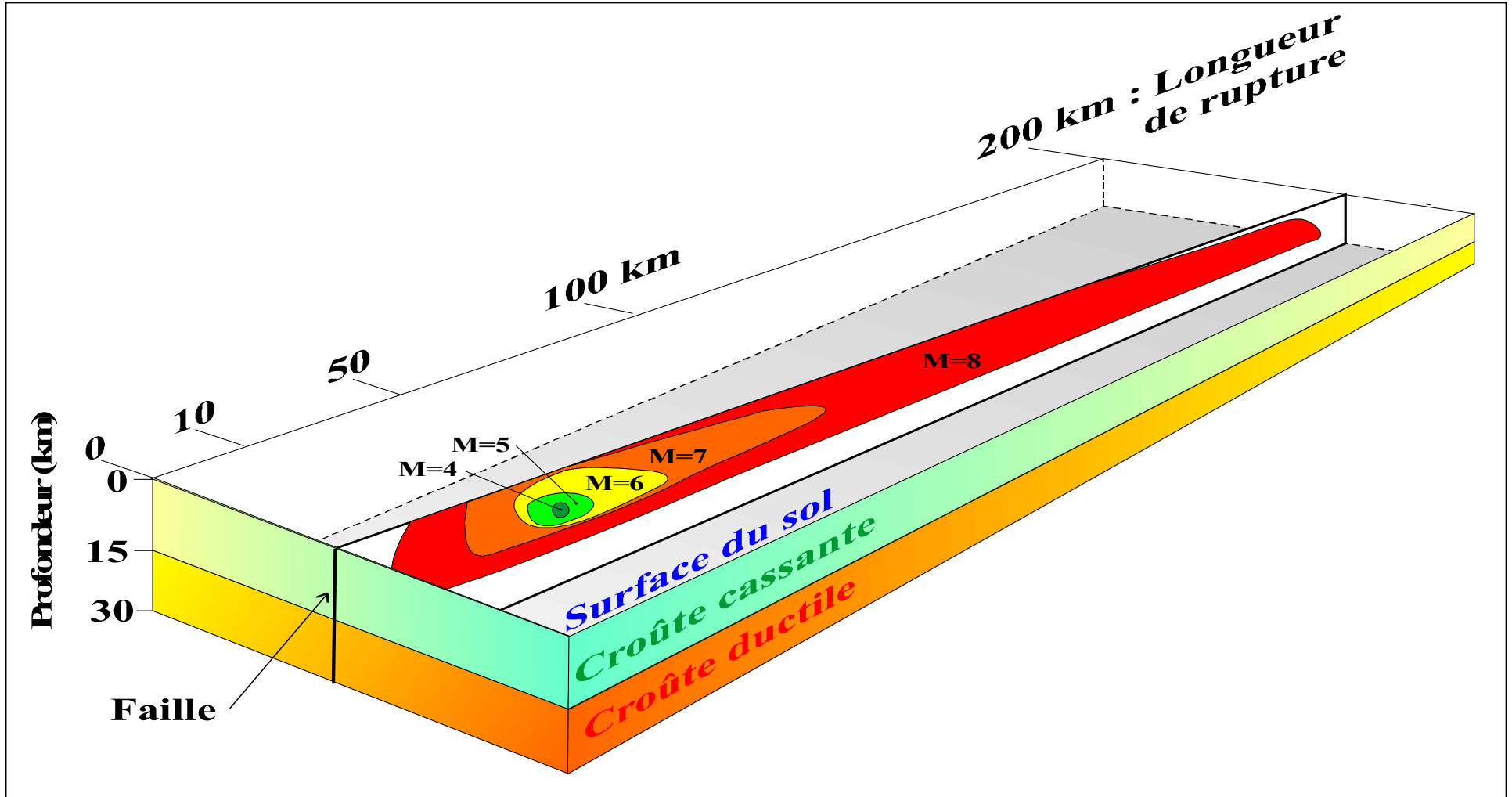
MAGNITUDE ET INTENSITE

CARACTERISTIQUES D'UN SEISME



- Magnitude = énergie libérée par le séisme au point de rupture
- Intensité = effets ressentis ou observés en surface en un lieu donné

LA MAGNITUDE



LA MAGNITUDE

Magnitude	Nombre de séismes par an	Energie libérée	Durée de la rupture	Coulissage moyen	Longueur de coulissage
9			250 s	8 m	800 km
8	1		85 s	5 m	250 km
7	18		15 s	1 m	50 km
6	125	$E \times 900$	3 s	20 cm	10 km
5	1500	$E \times 30$	1 s	5 cm	3 km
4	5000	E	0.3 s	2 cm	1 km
3		$E/30$			
2		$E/900$			
1					

La plus utilisée : échelle de Richter

Echelle continue

MAGNITUDE

"échelle" ouverte de Richter (1935)



Domaine de l'écoute microsismique

ANNECY 1996

GUADELOUPE 2004

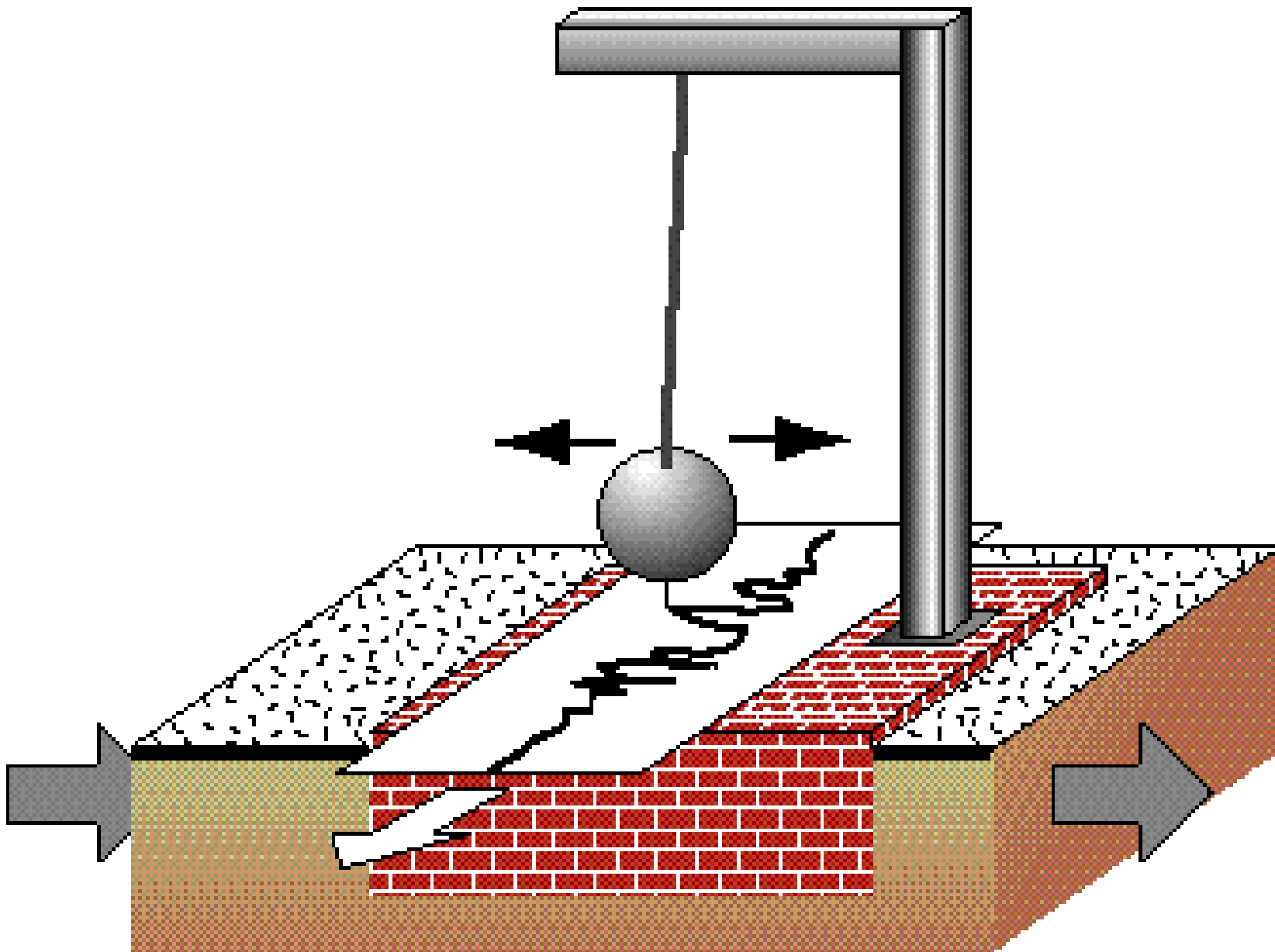
HAITI 2010

MEXIQUE 1985

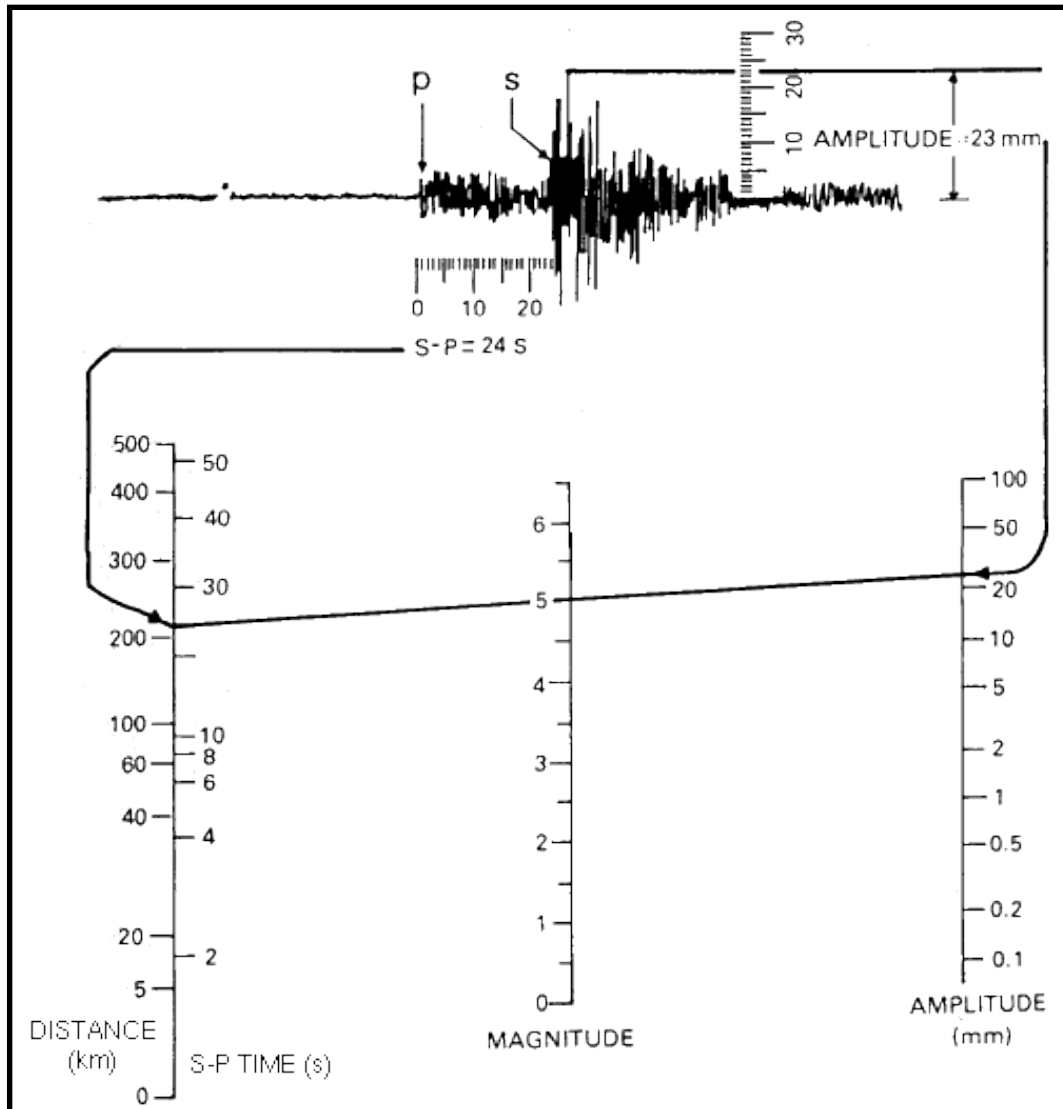
SENDAI 2011

QUAND ON PASSE D 'UN DEGRE A L 'AUTRE,
ON MULTIPLIE L 'ENERGIE PAR **31.6**,
SOIT **1000** POUR **2** DEGRES

PRINCIPE DU SISMOGRAPHE



ESTIMATION DE LA MAGNITUDE PAR LA METHODE DE RICHTER



La MAGNITUDE, C. Richter 1935

Fonction de l'amplitude des ondes mesurée par un sismographe particulier

Formule empirique

$$M = \log(A/T) + F(D,H) + C$$

A = amplitude des ondes








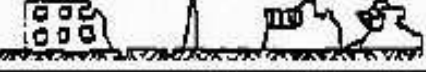




T = la période

F = fonction empirique de la distance

La magnitude caractérise l'énergie dégagée par un séisme.

INTENSITÉ

échelle MSK (1964)

I	Secousse non perceptible	
II	Secousse à peine perceptible	
III	Secousse faible ressentie de façon ponctuelle	
IV	Secousse largement ressentie	
V	Réveil des dormeurs	
VI	Frayeur, perte d'équilibre	
VII	Domages aux constructions	
VIII	Destruction de bâtiments	
IX	Domages généralisés aux bâtiments	
X	Destruction générale des bâtiments	
XI	Catastrophe	
XII	Changement des paysages	

DOMAINE OU
L'ON DOIT
FAIRE DE LA
CONSTRUCTION
PARASISMIQUE

MAGNITUDE ET INTENSITE

• **MAGNITUDE**

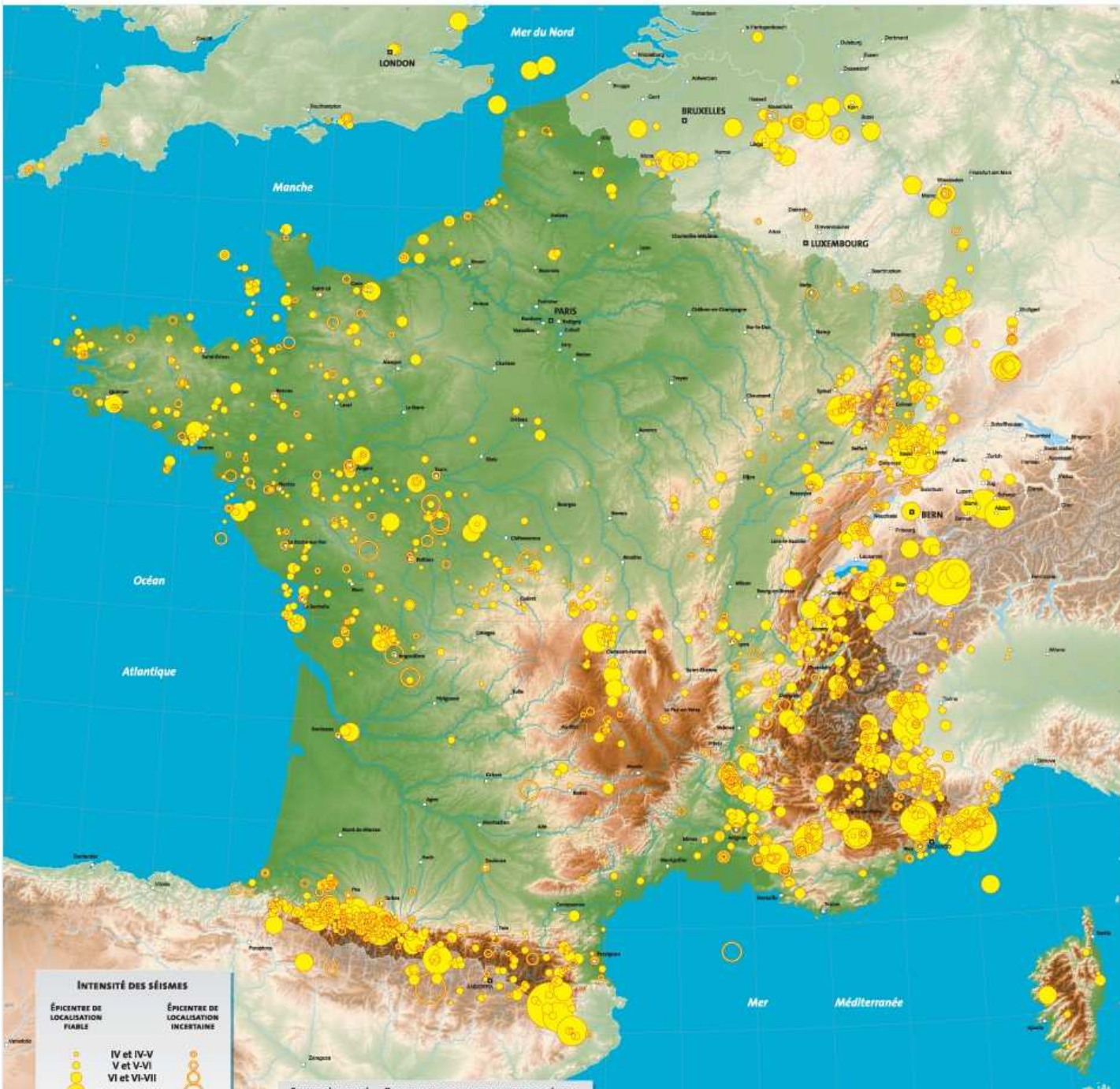
- mesure l'énergie au point de rupture
- relative à la taille de la source sismique
- ne varie pas quand on s'éloigne de l'épicentre

• **INTENSITE**

- définie par l'importance des effets en un point donné de la surface
- diminue quand on s'éloigne de l'épicentre

LA SISMICITE EN FRANCE

Principaux épïcèntres depuis 1000 ans



ÉCHELLE D'INTENSITÉ	DESCRIPTION DES EFFETS PERÇEPTIBLES DES SÉISMES
IV et IV-V V et V-VI VI et VI-VII VII et VII-VIII	faibles ; vibrations perçues des portes et fenêtres assez forts ; ressenti par tout le monde, chute d'objets instables forts ; décalquage des personnes, chute de tuiles violents ; large fissuration des murs, chute de cloisons
VIII et VIII-IX IX et IX-X	très violents ; écoulement d'une partie des habitations déstabilisateurs ; destructeurs globaux, nombreux effondrements

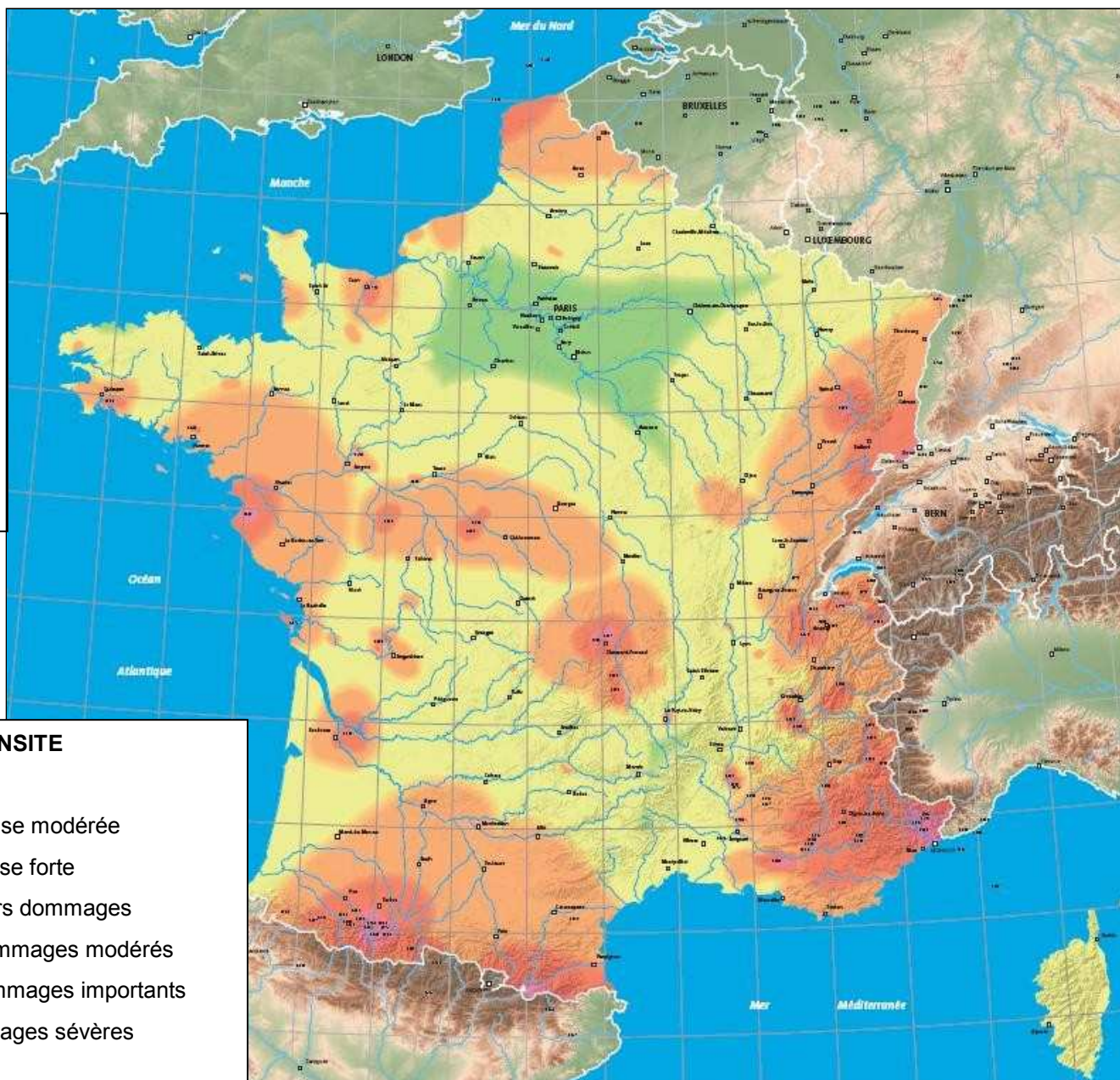
www.sisfrance.net



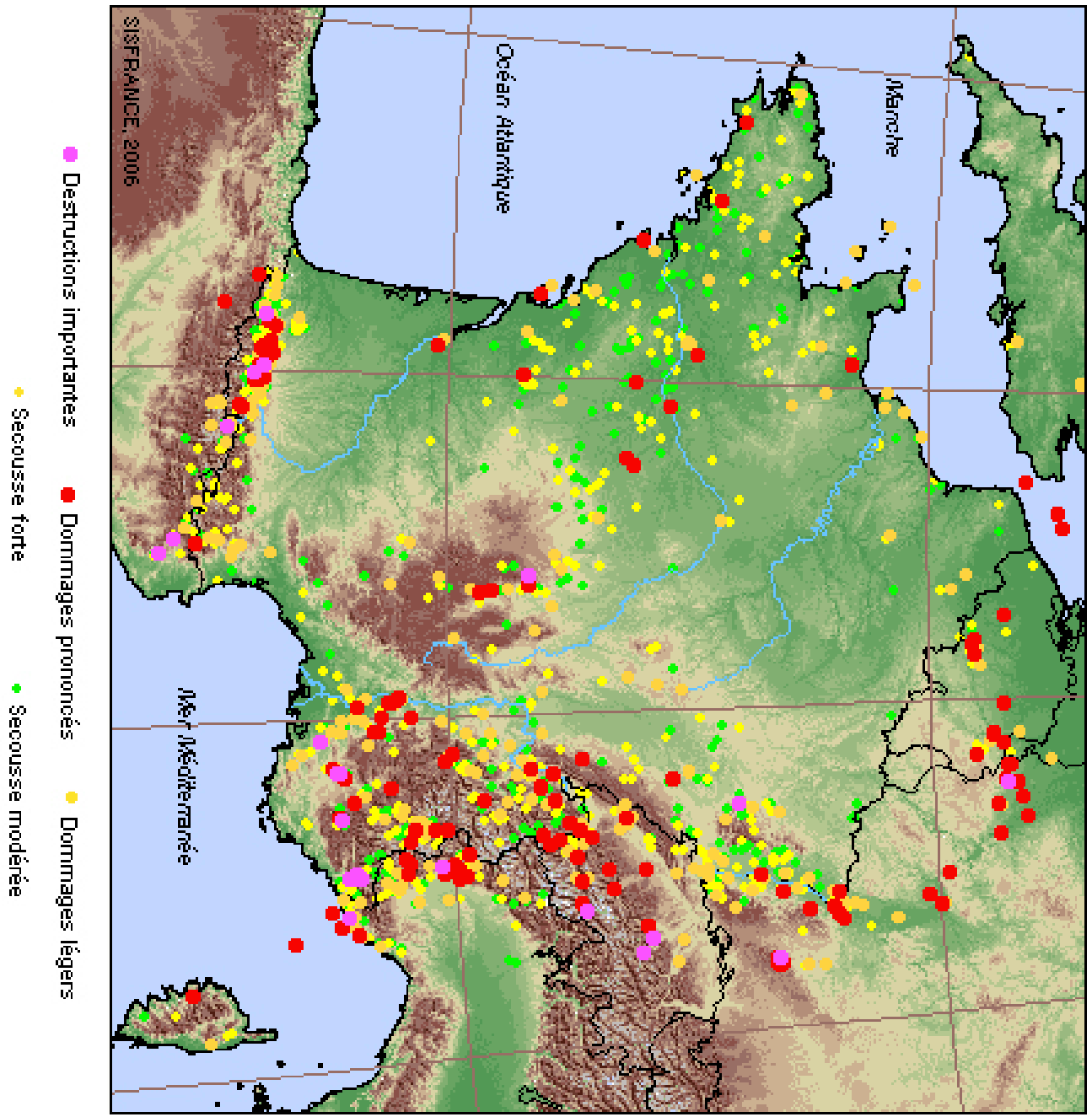
INTENSITES MAXIMALES CONSTATEES EN FRANCE (1000 – 2004)

ECHELLE D'INTENSITE

- IV et IV-V - Secousse modérée
- V et V-VI – Secousse forte
- VI et VI-VII – Légers dommages
- VII et VII-VIII – Dommages modérés
- VIII et VIII-IX - Dommages importants
- IX et IX-X – Dommages sévères



(Source : BRGM)



(Source : BRGM)

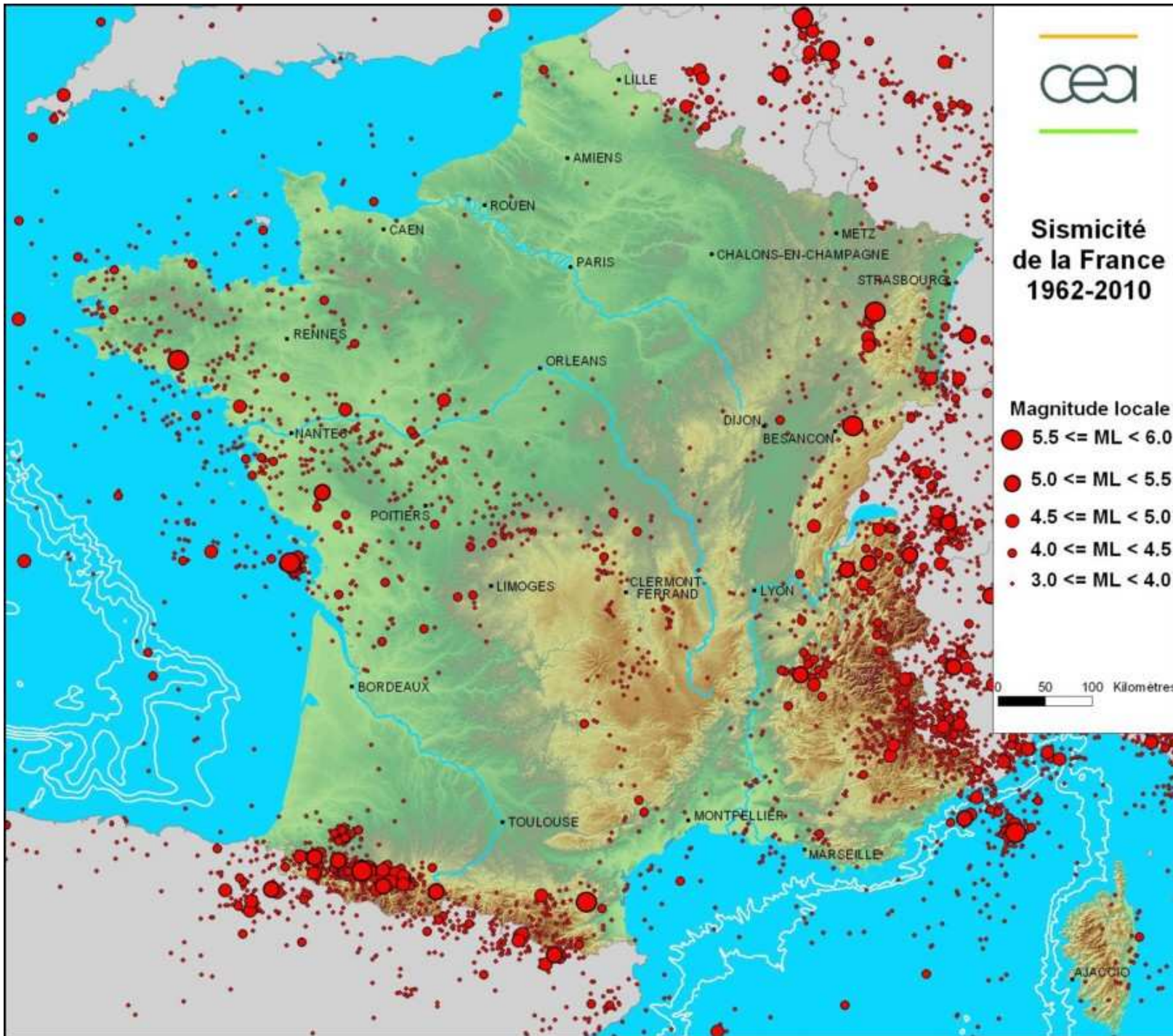


Sismicité de la France 1962-2010

Magnitude locale

- 5.5 <= ML < 6.0
- 5.0 <= ML < 5.5
- 4.5 <= ML < 5.0
- 4.0 <= ML < 4.5
- 3.0 <= ML < 4.0

0 50 100 Kilomètres



LES PLUS IMPORTANTS SÉISMES CONNUS EN FRANCE

AVANT 1900		
DATE	INTENSITE	REGION
18/10/1356	IX	Bâle
02/02/1428	IX	Catalogne
21/06/1660	VIII-IX	Bagnères-de-Bigorre
23/02/1887	IX	Ligurie

APRES 1900		
DATE	INTENSITE	REGION
11/06/1909	VIII-IX	Lambesc
19/11/1923	VIII	Bagnères-de-Luchon
13/08/1967	VIII	Arette
21/11/2004	VIII	Les Saintes

(Source : SisFrance BRGM/EDF/IRSN)

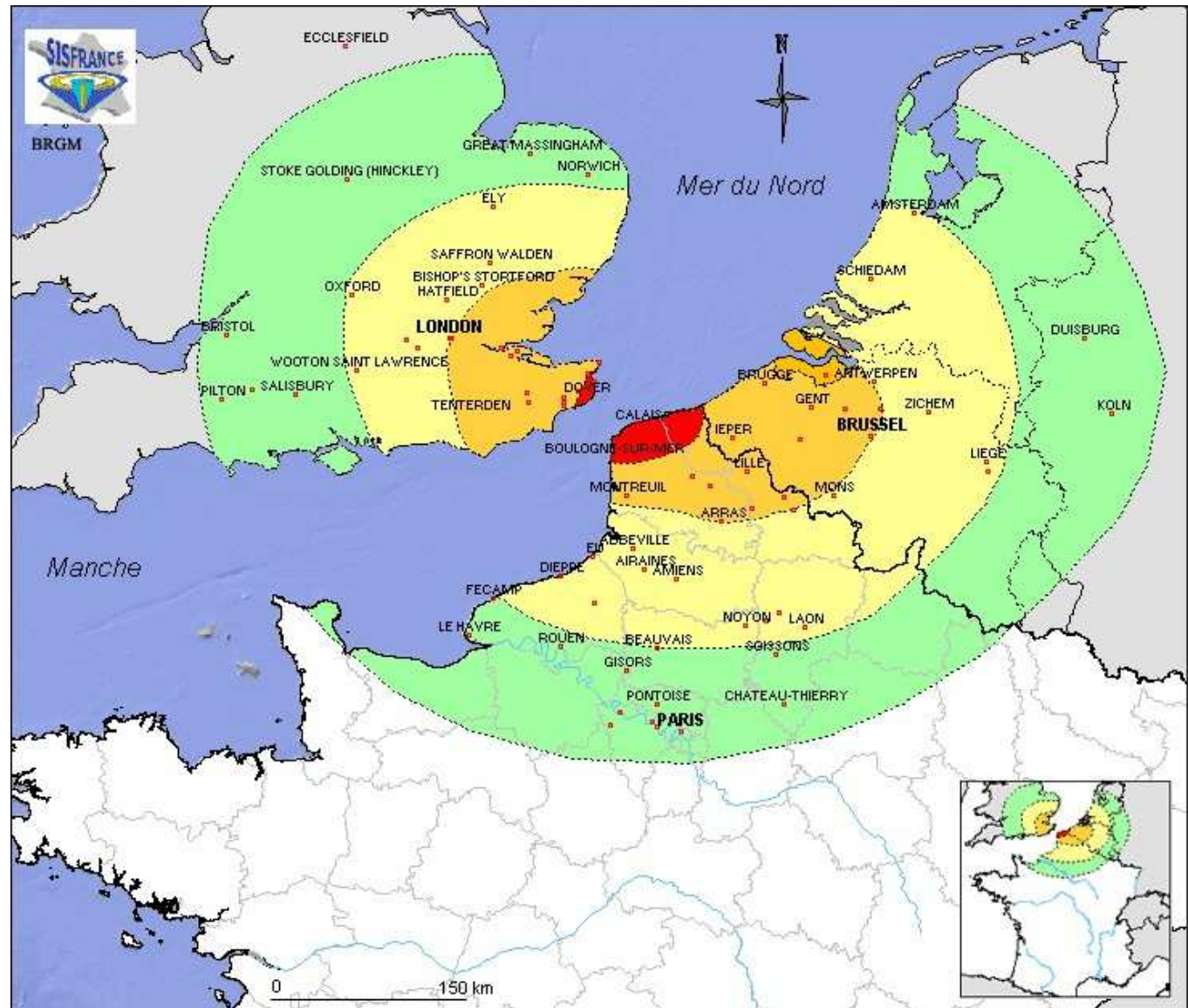
Séisme du 6 avril 1580

Isoséistes et domaines d'intensité

Propagation des effets du séisme
(isoséistes figuratives, non contractuelles)

Degré d'intensité (échelle macrosismique MSK)

- 2 et 2.5 : très faible (rares personnes)
- 3 et 3.5 : modérée (quelques personnes)
- 4 et 4.5 : assez forte (grand nombre)
- 5 et 5.5 : forte (majorité)
- 6 et 6.5 : dommages légers
- 7 et 7.5 : dommages prononcés








$I_0 = VII-VIII$

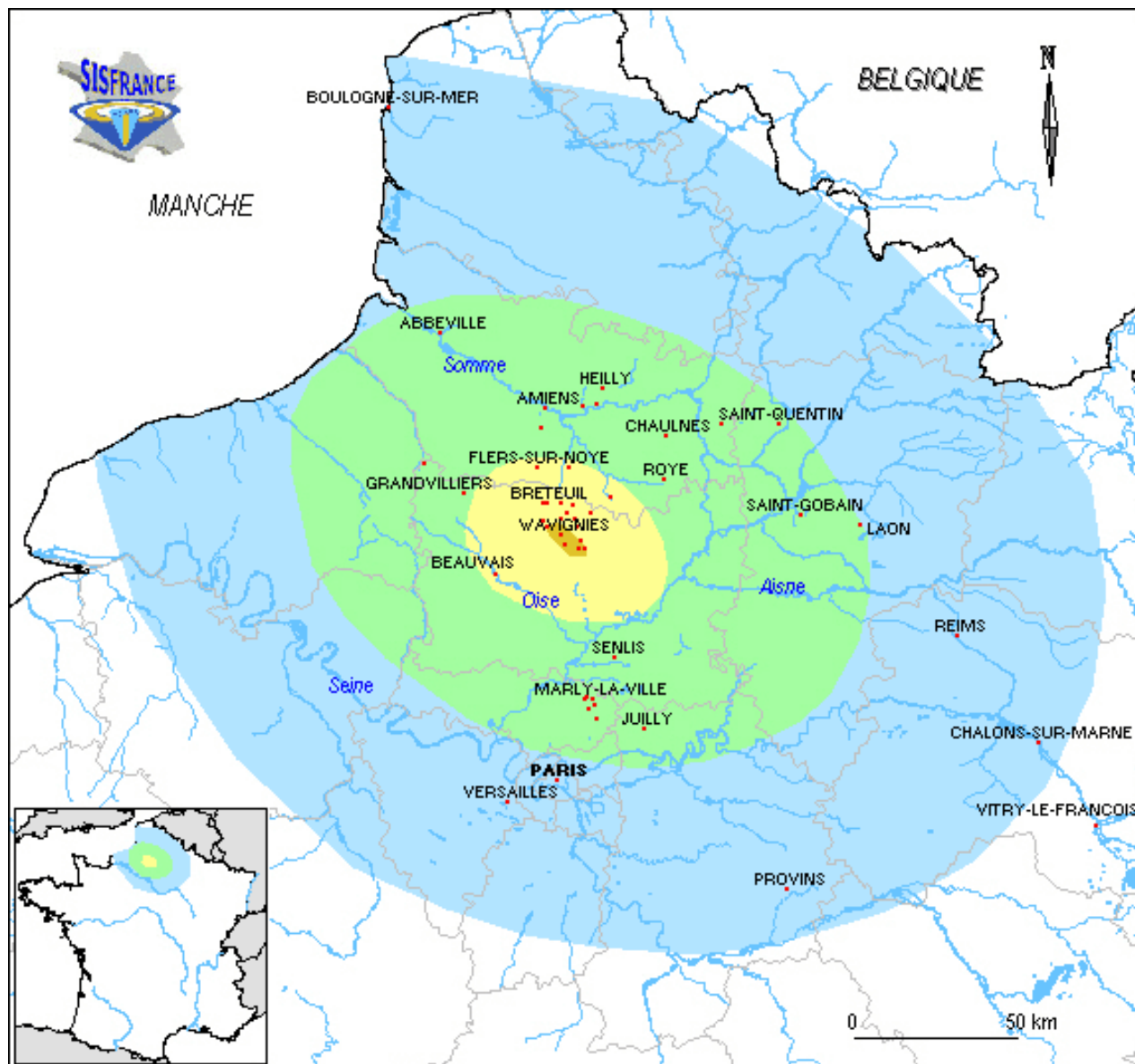
Séisme du 30 avril 1756

Isoséistes et domaines d'intensité

Propagation des effets du séisme
(isoséistes figuratives, non contractuelles)

Degré d'intensité (échelle macrosismique MSK)

-  2 et 2.5 : très faible (rares personnes)
-  3 et 3.5 : modérée (quelques personnes)
-  4 et 4.5 : assez forte (grand nombre)
-  5 et 5.5 : forte (majorité)
-  6 et 6.5 : dommages légers








$I_0 = VI$

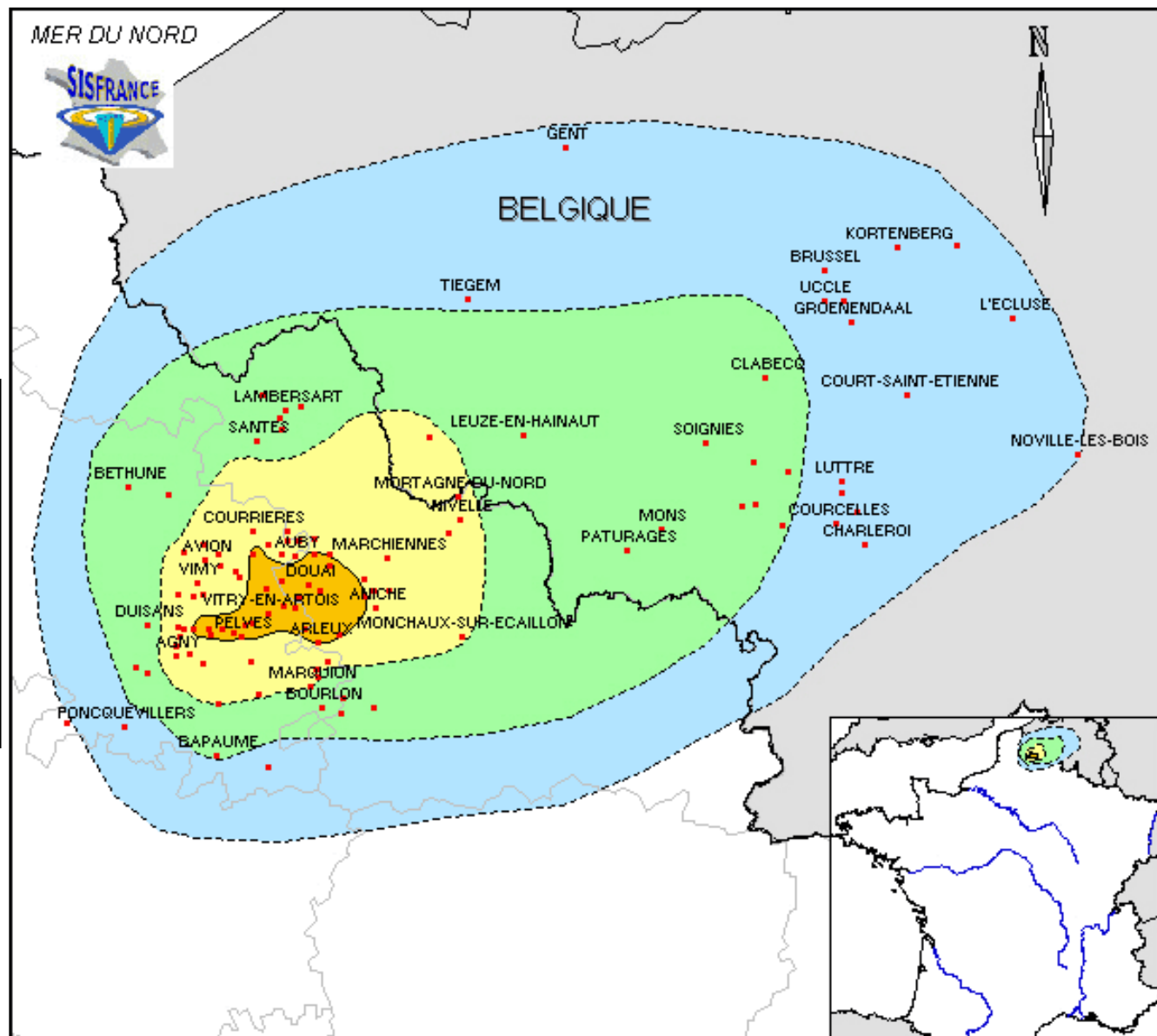
Séisme du 2 septembre 1896

Isoséistes et domaines d'intensité

Propagation des effets du séisme
(isoséistes figuratives, non contractuelles)

Degré d'intensité (échelle macrosismique MSK)

-  2 et 2.5 : très faible (rares personnes)
-  3 et 3.5 : modérée (quelques personnes)
-  4 et 4.5 : assez forte (grand nombre)
-  5 et 5.5 : forte (majorité)
-  6 et 6.5 : dommages légers

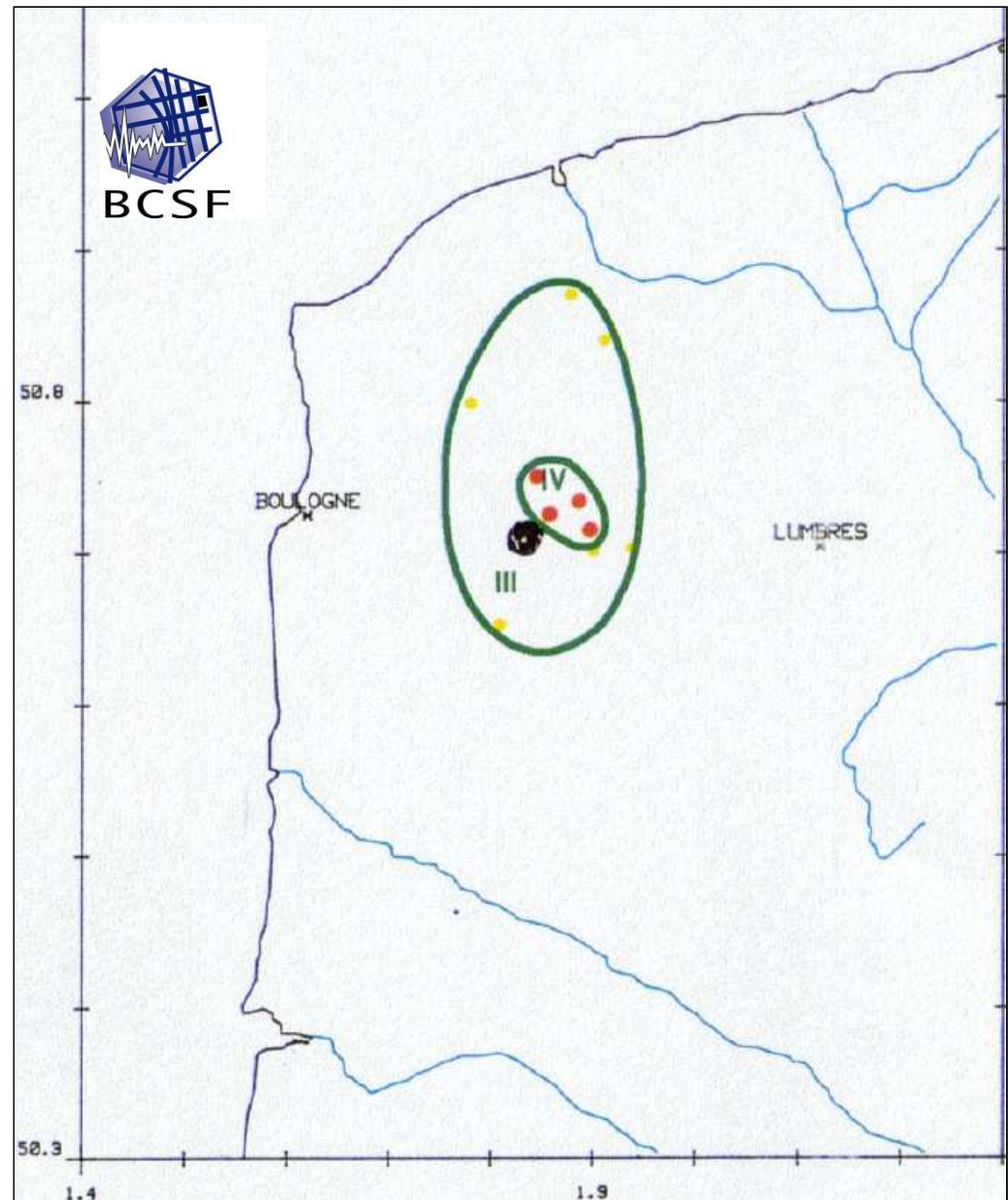


Io = VI

Séisme du 14 décembre 1991

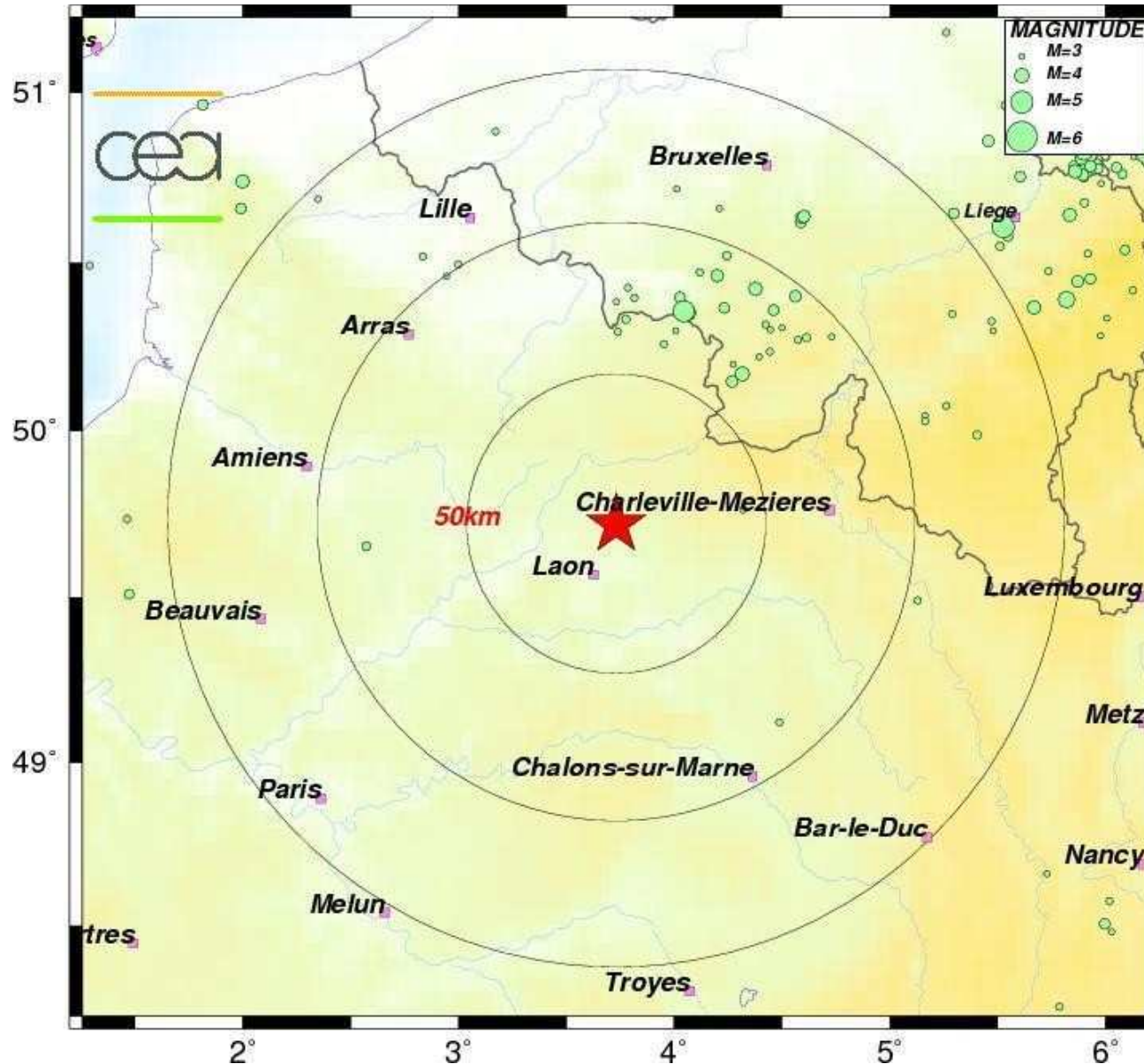
Séisme fortement ressenti entre
Guines et Desvres.

Quelques dégâts



Io = V

Séisme du 7 mars 2011 - M 2,9



ALEA ET RISQUE

ALÉA, VULNÉRABILITE ET RISQUE SISMIQUE

ALÉA (A)

Événement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période donnée, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages

$$A(I) = P_a(I > i)$$

ALÉA, VULNÉRABILITE ET RISQUE SISMIQUE

VULNÉRABILITÉ (V)

Degré de perte (de 0 % à 100 %) résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels

ALÉA, VULNÉRABILITE ET RISQUE SISMIQUE

RISQUE (R)

Estimation statistique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et une région donnée, pour un aléa particulier.

Le risque est le produit de l'aléa par la vulnérabilité

$$\mathbf{R = A \times V}$$

SISMOLOGIE ET TECTONIQUE

SÉISMES ET FAILLES

Un **séisme** est un mouvement naturel du sol qui débute brusquement (rupture brutale) et dure peu (quelques secondes à quelques minutes)

Il existe différents types de séismes :

tectoniques, volcaniques, d'effondrement, artificiels, induits

LES DIFFÉRENTS TYPES DE SÉISMES

SEISMES TECTONIQUES

Ces séismes sont liés au rejeu d'une faille pré-existante ou à la création d'une nouvelle faille

Ils se produisent essentiellement aux frontières des plaques lithosphériques

LES DIFFÉRENTS TYPES DE SÉISMES

(2)

SEISMES VOLCANIQUES

Ces séismes sont liés aux mouvements magmatiques et à l'ouverture de fissures

SEISMES D'EFFONDREMENT

Ces séismes sont liés à l'effondrement de cavités naturelles et minières (terrains karstiques, calcaires ou salifères)

LES DIFFÉRENTS TYPES DE SÉISMES

(3)

SEISMES ARTIFICIELS

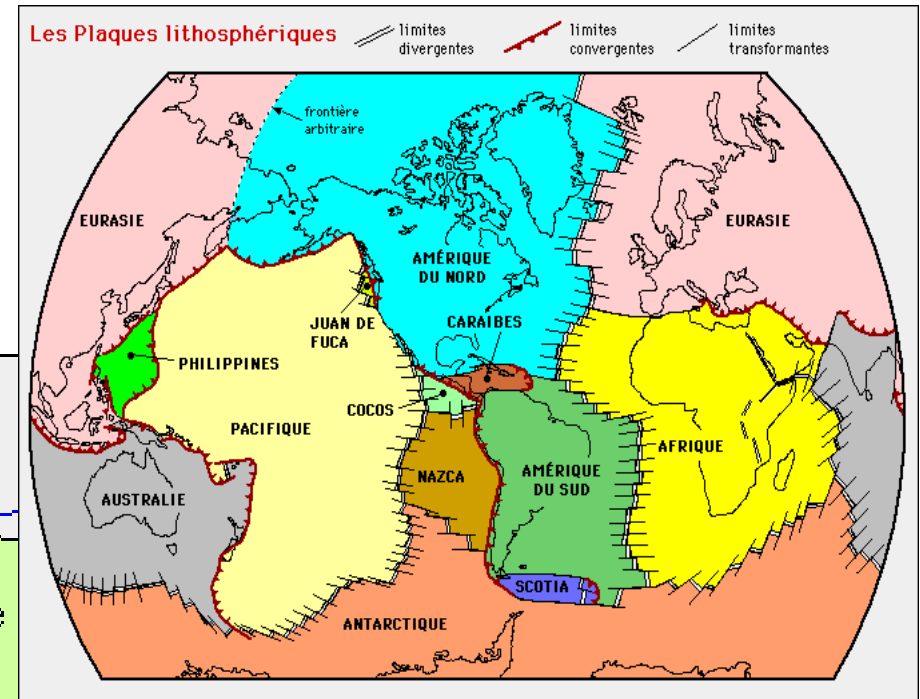
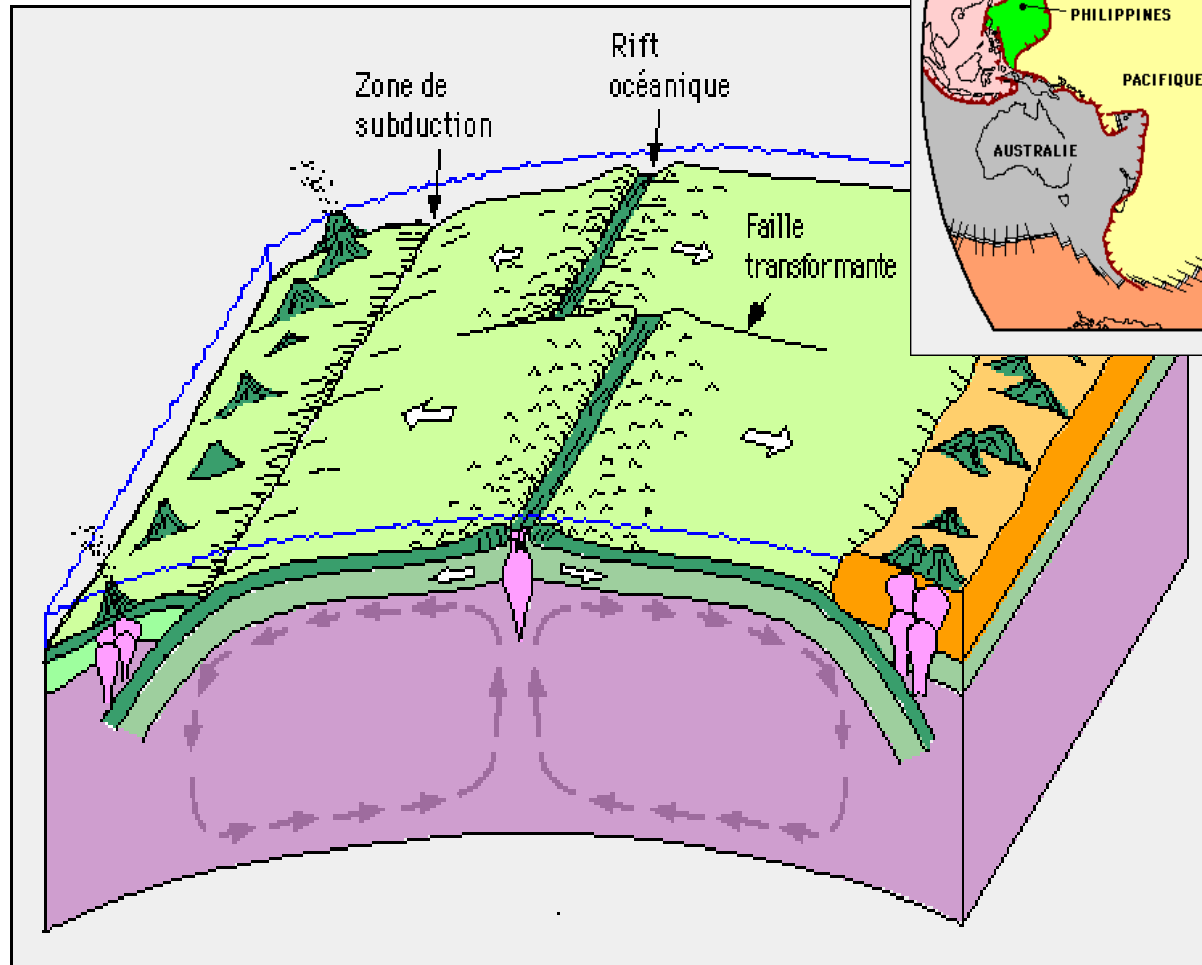
Ces séismes sont liés à l'activité de l'homme. Il s'agit de toute explosion du bâton de dynamite à l'explosion nucléaire (M5-6)

SEISMES INDUITS

Ces séismes sont aussi liés à l'activité de l'homme. Ils sont consécutifs à l'injection de fluides dans les forages ou au remplissage de barrages

LES ORIGINES DU PHÉNOMÈNE

L'écorce terrestre est composée de plaques qui dérivent



COMMENT SE PRODUISENT LES SÉISMES ?

▪ **Mouvement des plaques tectoniques**

- mouvement régulier (mais non continu)
- quelques mm à quelques cm/an

▪ **Mouvement des failles**

- bloqué pendant des années
- accumulation de contraintes
- relaxation de ces contraintes
- rupture brutale

CYCLE SISMIQUE

Genèse d'un séisme sur une faille

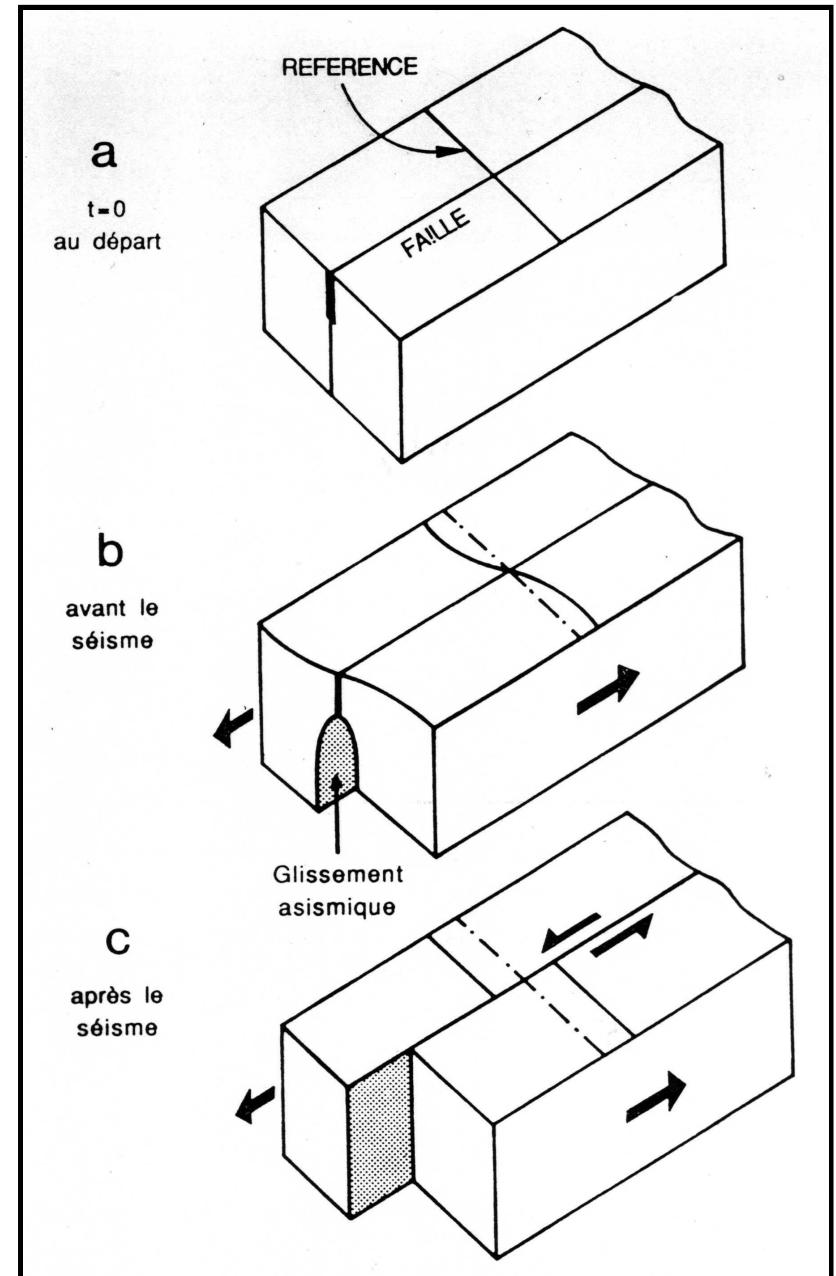
= 3 étapes

- Accumulation contraintes
- Déclenchement rupture $>$ seuil résistance roches
- Arrêt rupture sismique (quelques secondes + tard)

Cycle sismique d'une faille

= Succession de périodes

- Accumulation de contrainte
- Ruptures brutales sur la faille



OU SE PRODUISENT LES SÉISMES ?

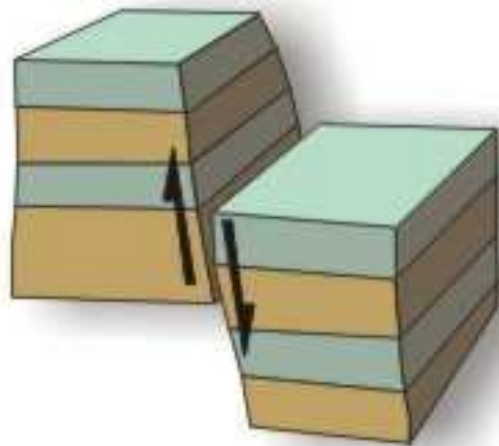
La théorie de la tectonique des plaques décrit de façon cohérente les différentes zones sismiques observées

On distingue :

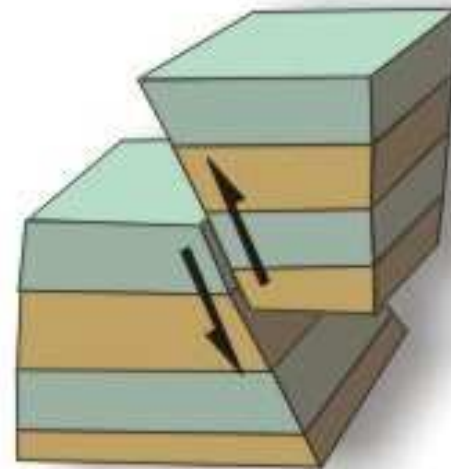
- Dorsales médio-océaniques
- Failles transformantes
- Zones de subduction
- Zones de collision
- **Domaines intraplaques**

DIFFERENTS TYPES DE MOUVEMENT SUR LA FAILLE

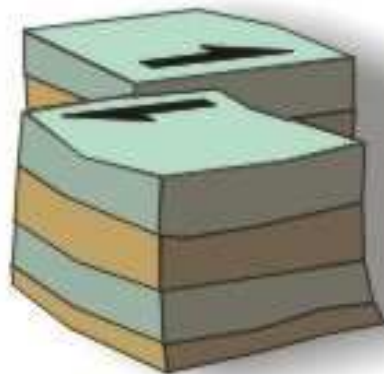
Faille normale



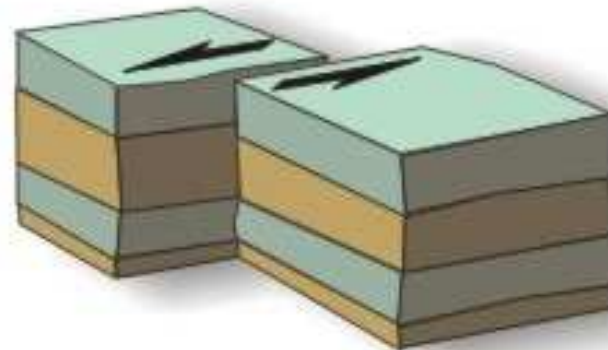
Faille inverse



décrochement dextre



décrochement sénestre



MOUVEMENT SISMIQUE

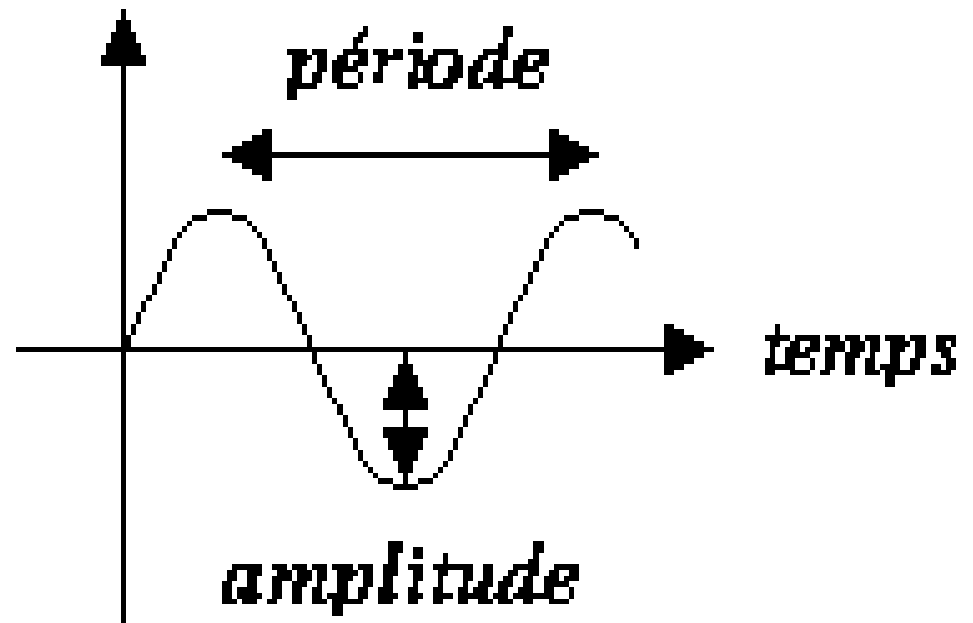
REPRESENTATION DU MOUVEMENT SISMIQUE : LE TEMPS

- **Période et amplitude** caractérisent les phénomènes ondulatoires

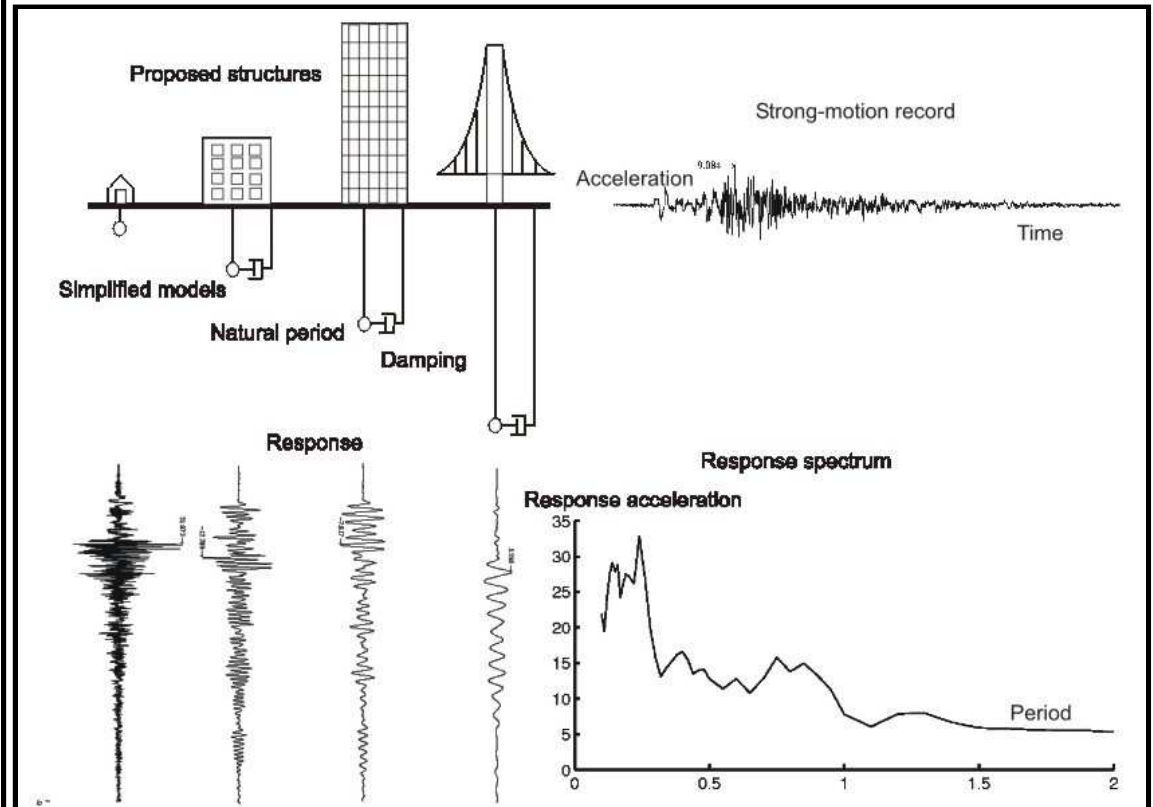
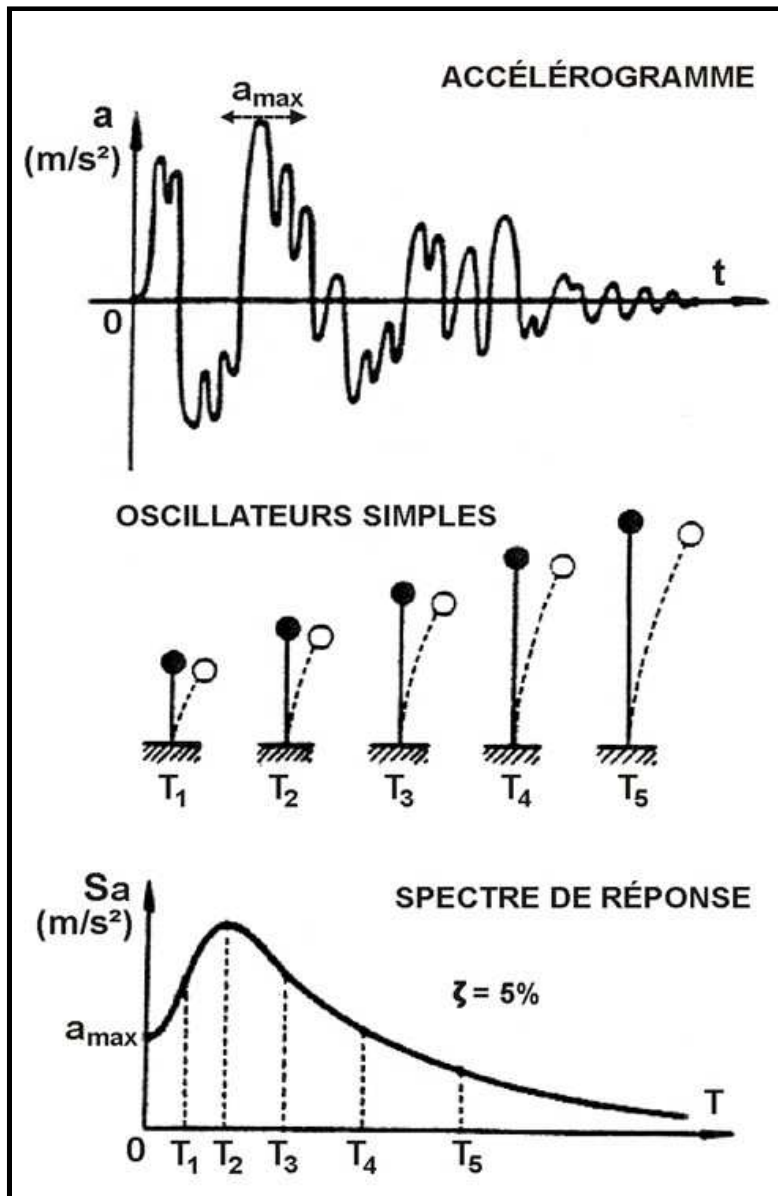
- Mouvement
= déplacement (en m)
ou
vitesse (en m/s)
ou
accélération
(en m/s^2 ou en g)

- **Fréquence** :
 $F(\text{en Hz}) = 1 / T(\text{en s})$

déplacement

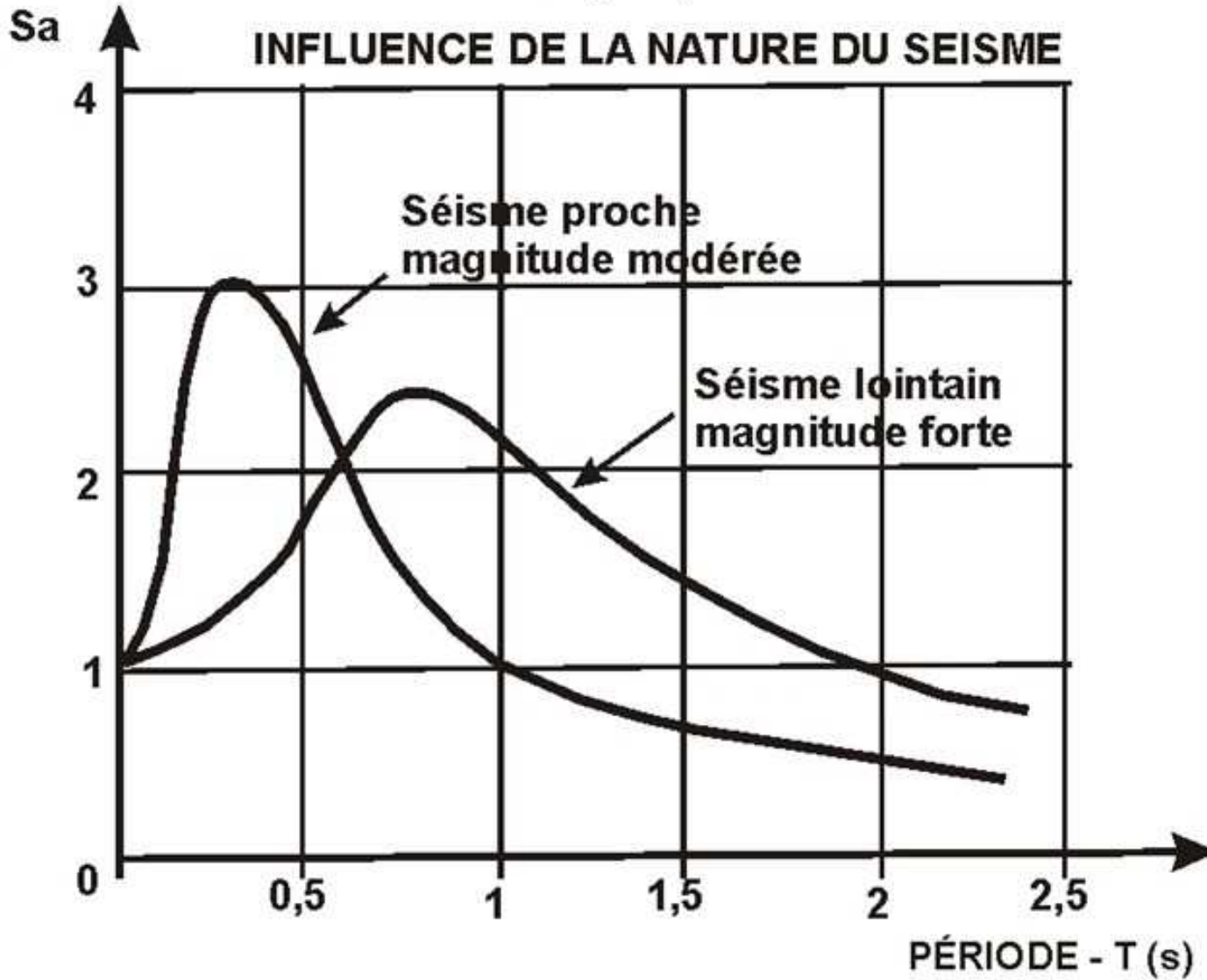


SPECTRE DE REPONSE

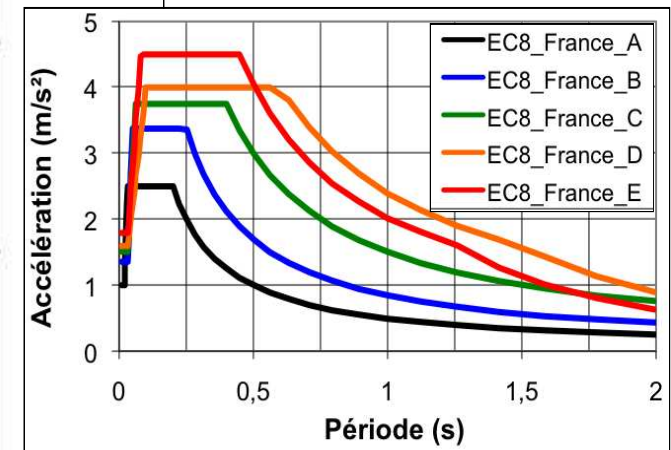
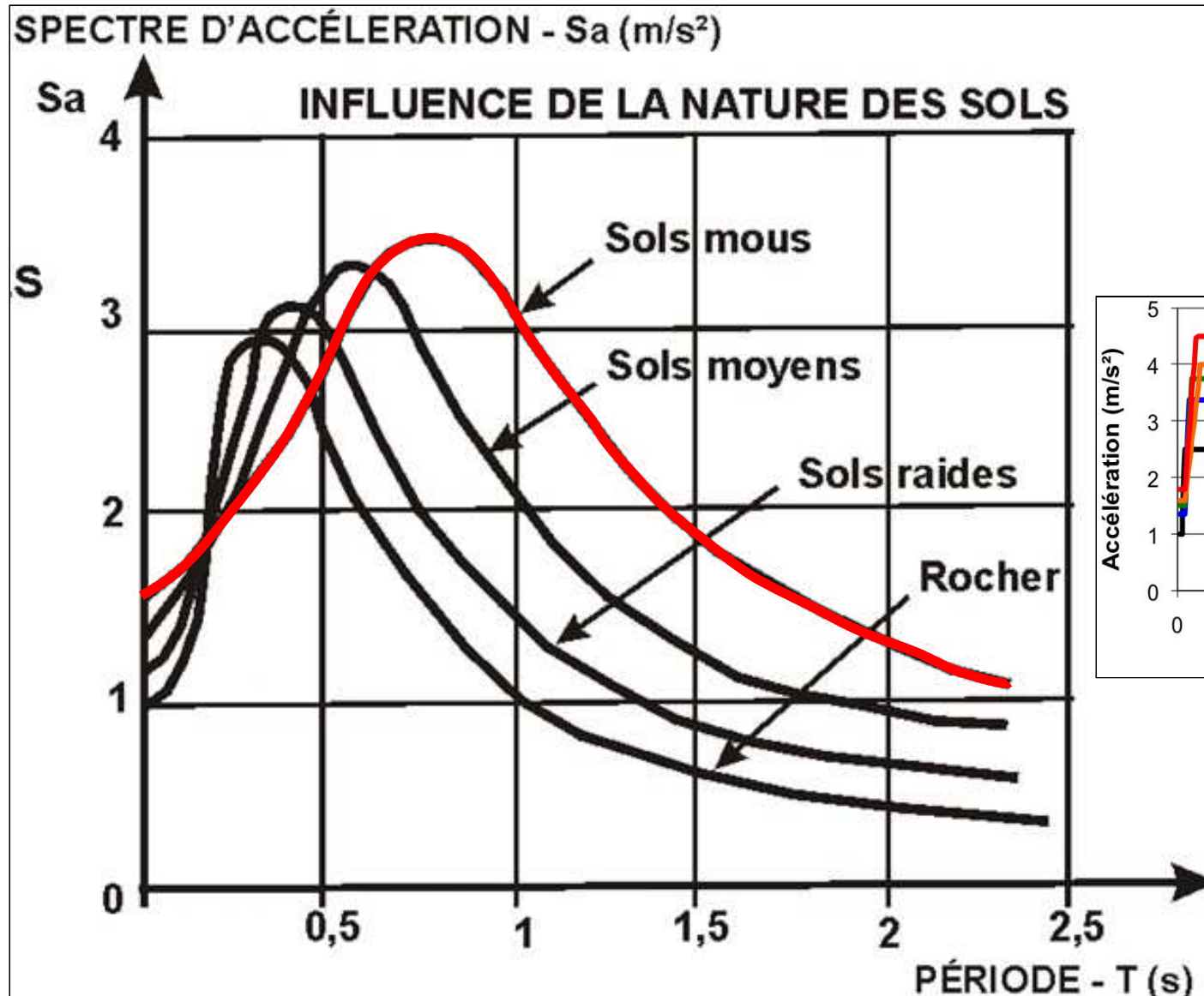


SÉISME PROCHE - SÉISME LOINTAIN

SPECTRE D'ACCÉLÉRATION - S_a (m/s^2)



ROCHER - SOL FERME - SOL MOU



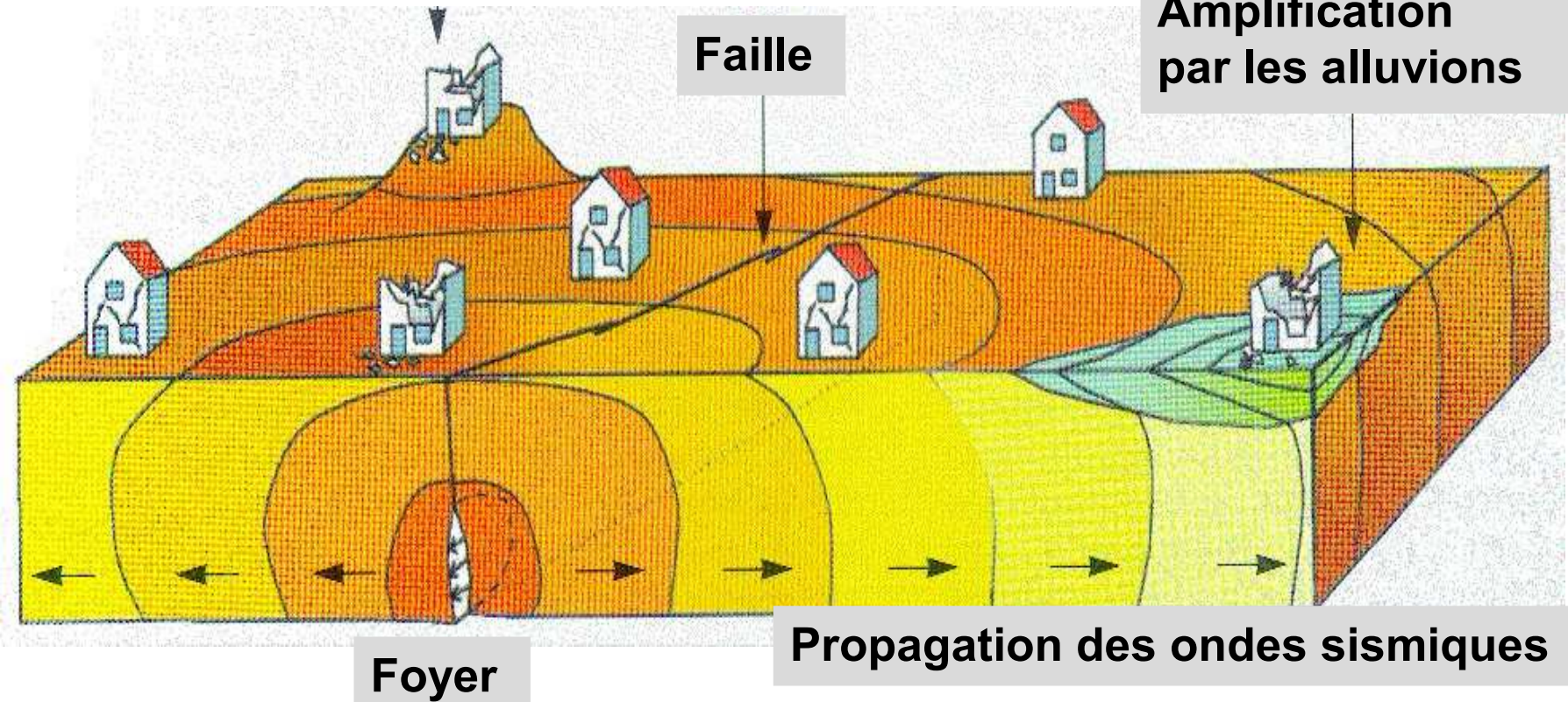
ALÉA SISMIQUE LOCAL

Selon les terrains (rocher ou sol) sur lesquels reposent les installations, les mouvements sismiques de référence tenant compte des conditions locales de site peuvent être largement augmentés

Effets de site

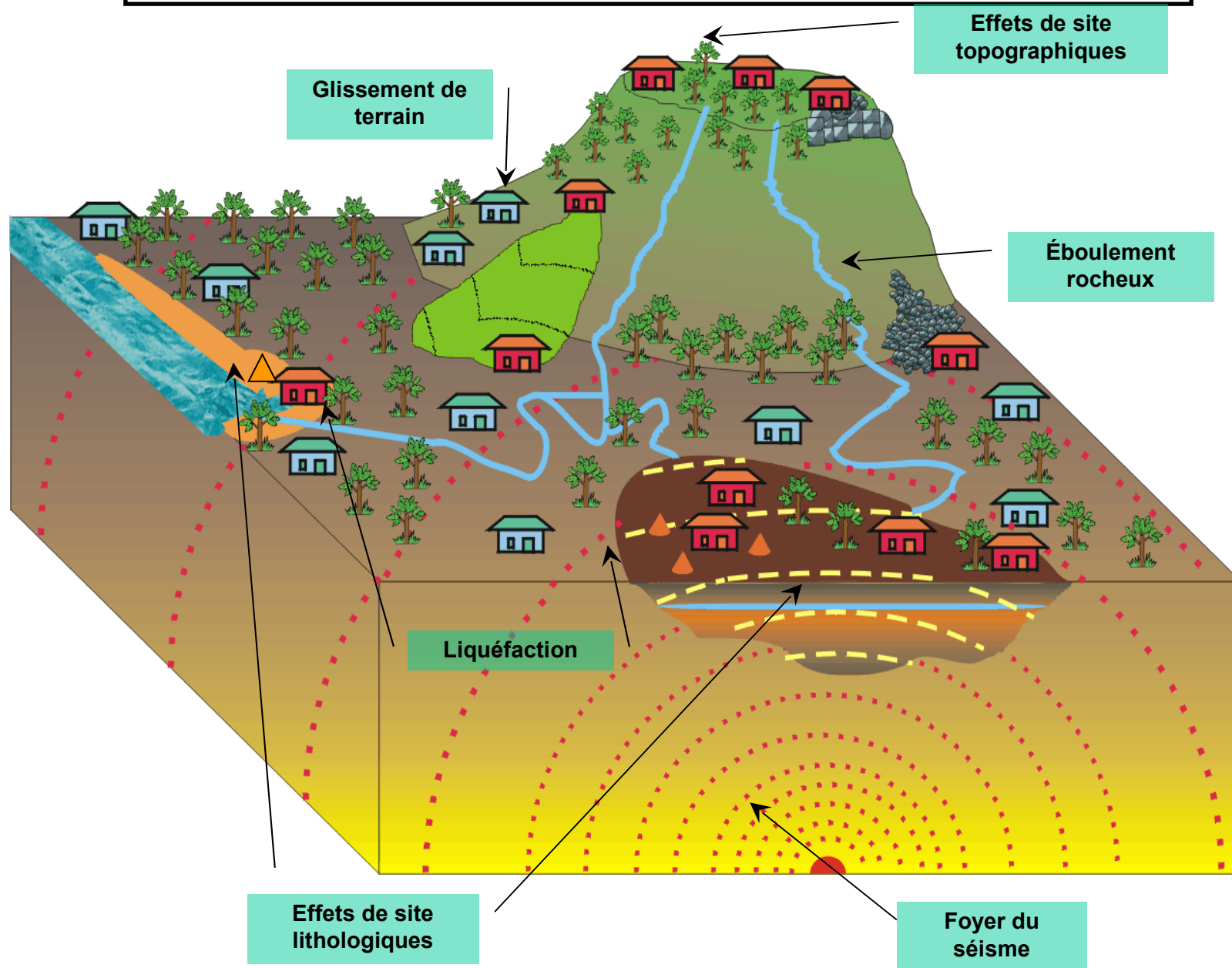
Amplification par la topographie

Amplification par les alluvions



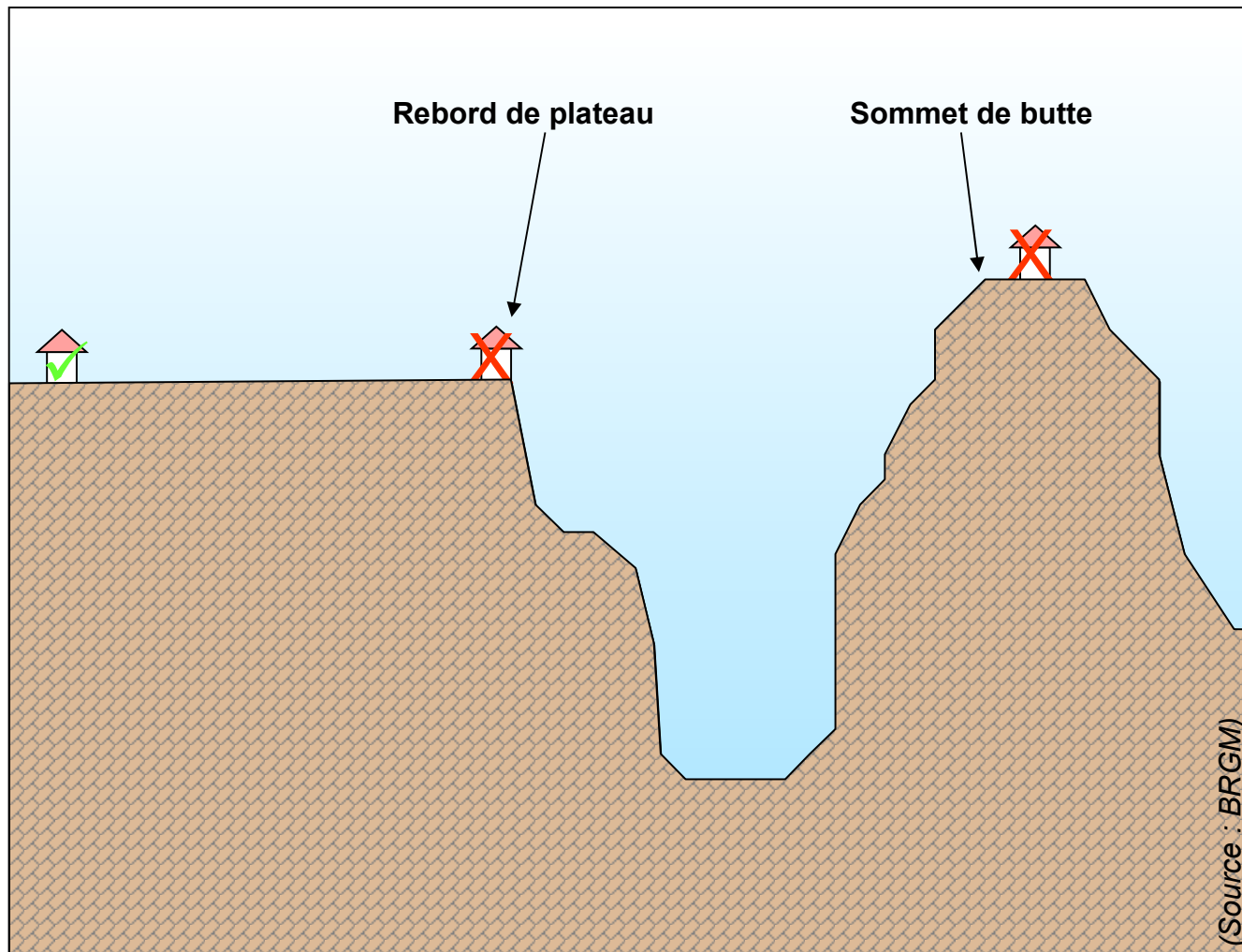
D'après P. Bernard (IPGP) dans "les tremblements de terre en France" - édition BRGM 1997

EFFETS DIRECTS ET INDUITS



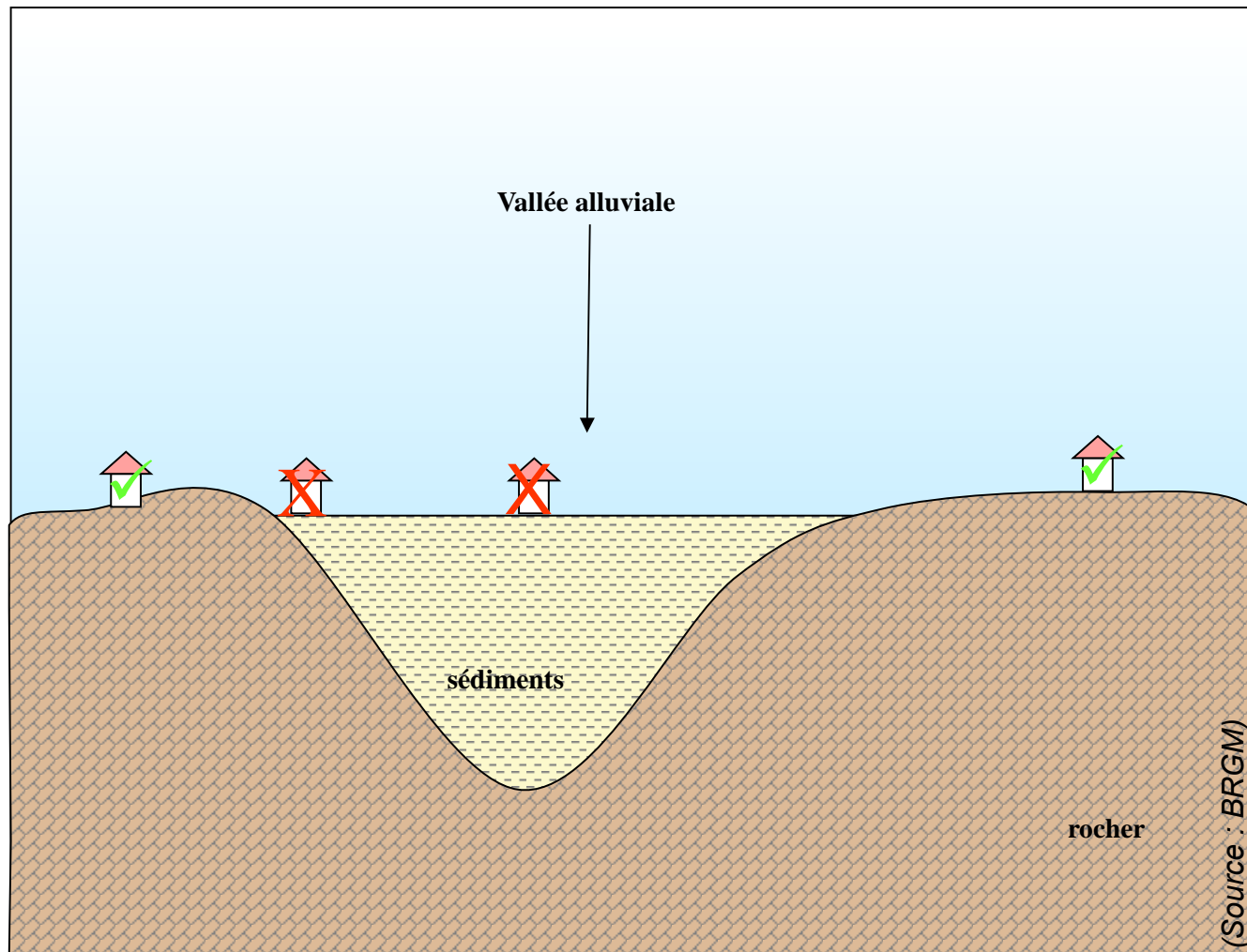
EFFET DIRECT : Vibration du sol

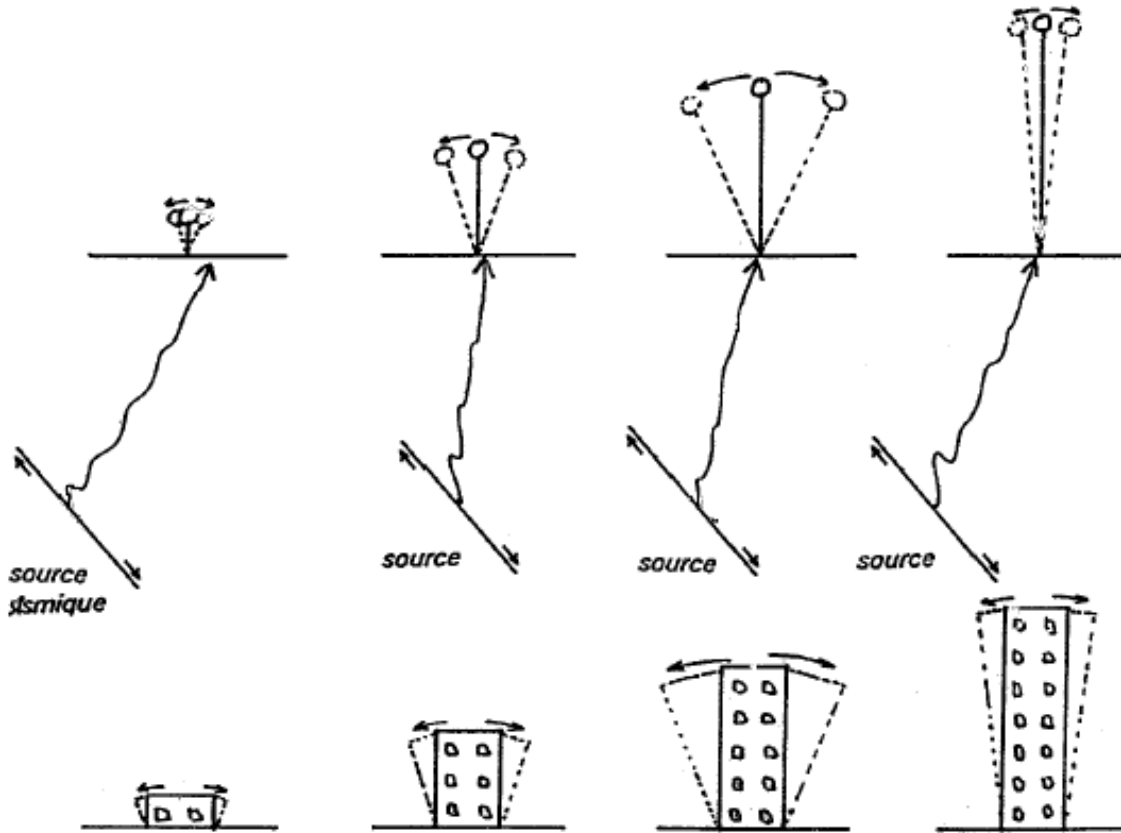
Effet de site **topographique**



EFFET DIRECT : Vibration du sol

Effet de site lithologique





**Modifications des
mouvements
sismiques liées à la
structure**

