

SEMINAIRE DE FORMATION

RISQUES BATIMENTAIRES

BUILDING RISKS

SD / USAR

ECOLE D'APPLICATION DE SECURITE CIVILE
DE VALABRE
- FRANCE -

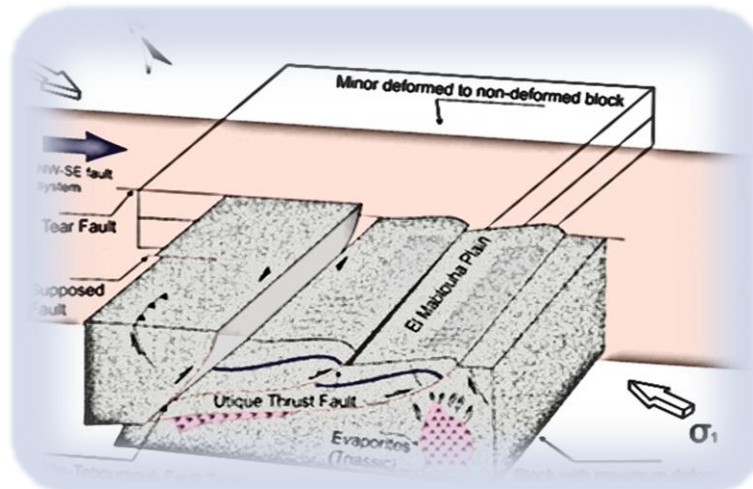
Niveau INITIAL

SISMOLOGIE APPLIQUEE

APPLIED SEISMOLOGY



JOUR
1



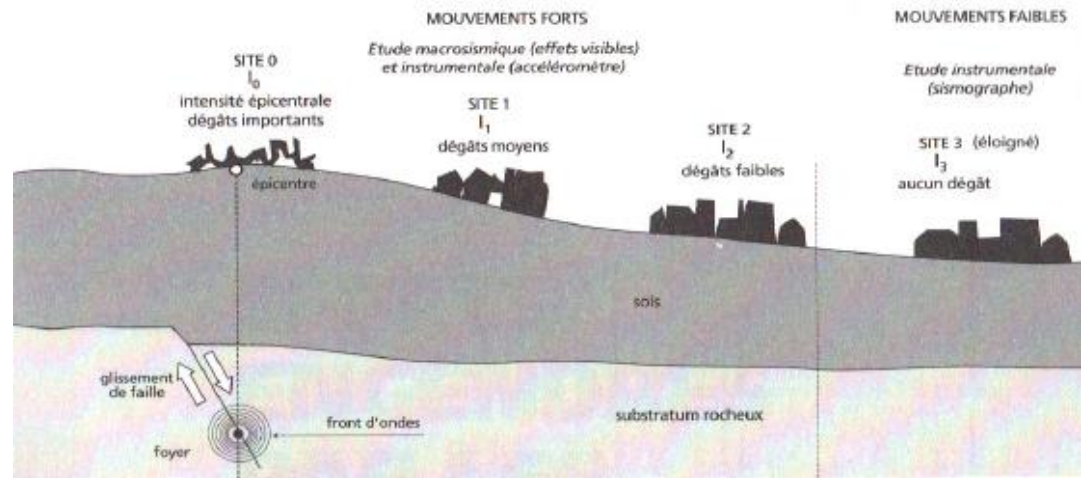
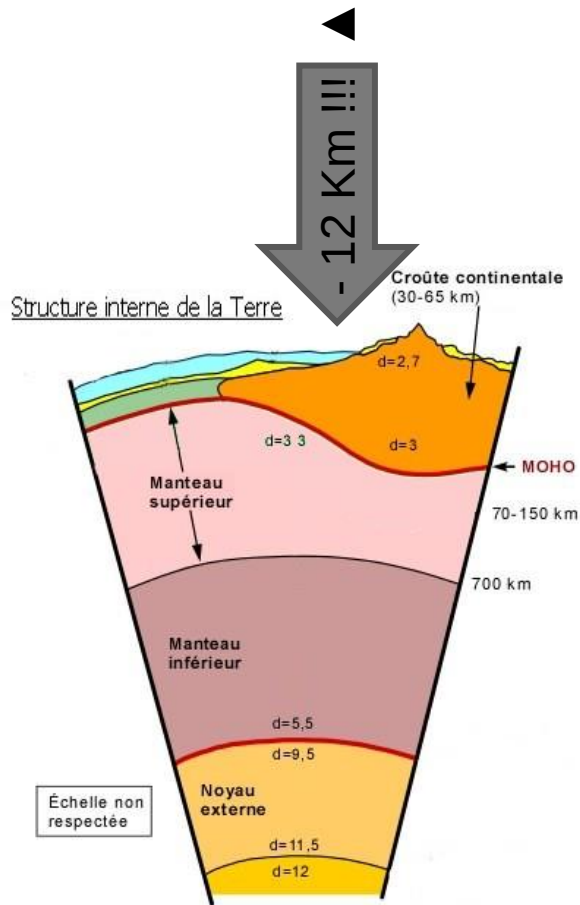
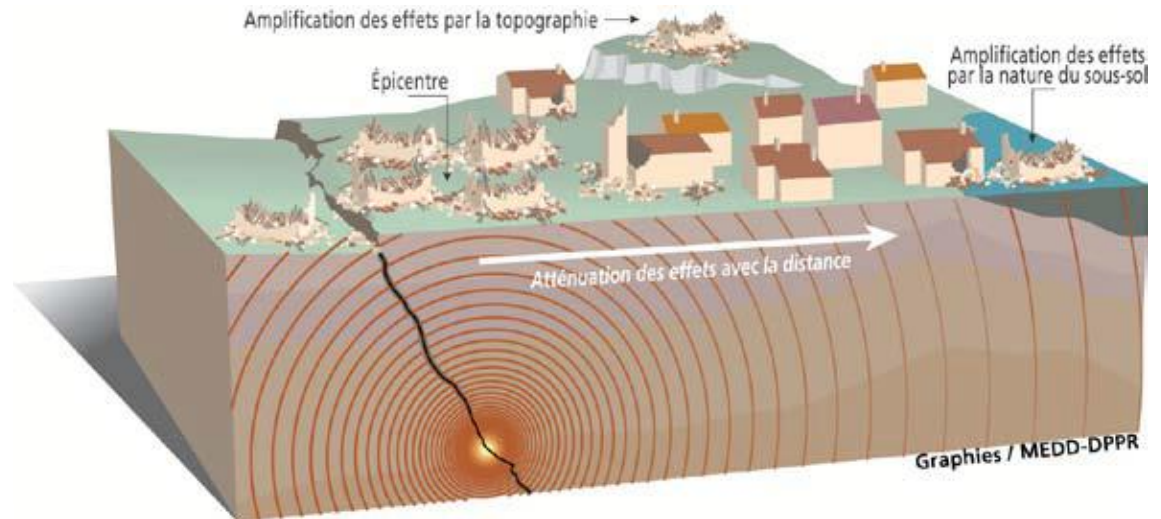
INTERVENANT: JEAN-LUC REY

RÉVISION RB 2019 V0

SOMMAIRE

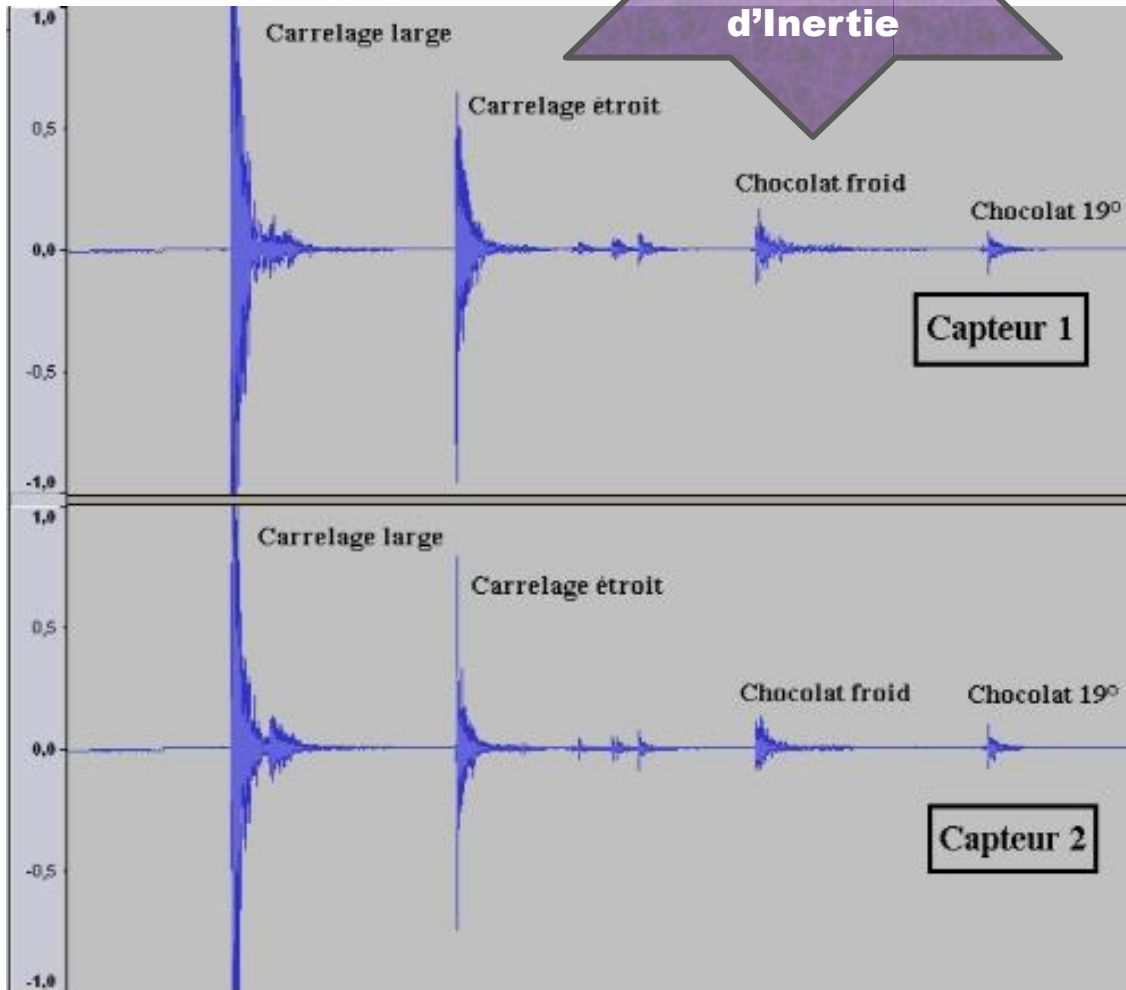
- 1. Contexte général d'un séisme**
- 2. Signatures expérimentales des ruptures de matériaux**
- 3. Mécanisme de propagation**
- 4. Les ondes de surfaces**
- 5. Sismicité de la planète**
- 6. Sismicité en France**
- 7. Les 3 systèmes de failles**
- 8. Les répliques (Aftershocks): observations pour les USAR**
- 9. Annexe: historique des doublets sismiques**
- 10. Crédits images**

CONTEXTE GÉNÉRAL DU DÉCLENCHEMENT D'UN SEISME

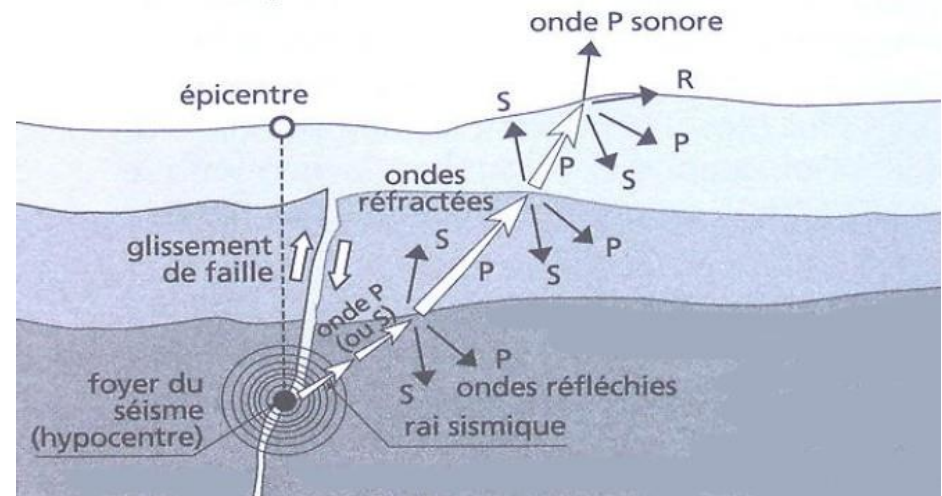
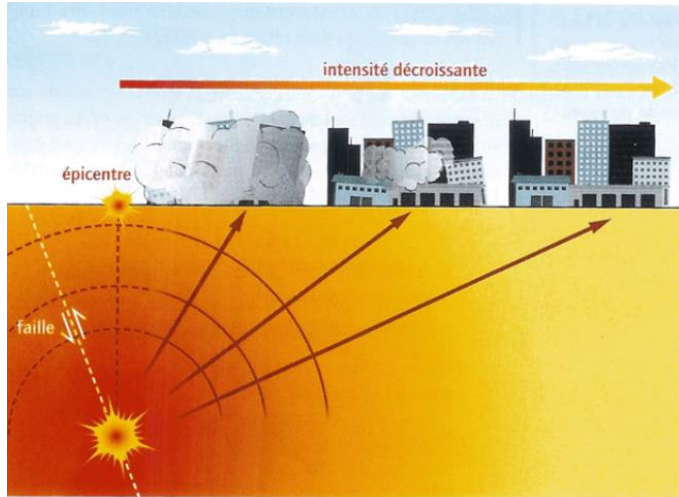


SIGNATURES EXPÉRIMENTALES DES RUPTURES BRUTES DES MATÉRIAUX

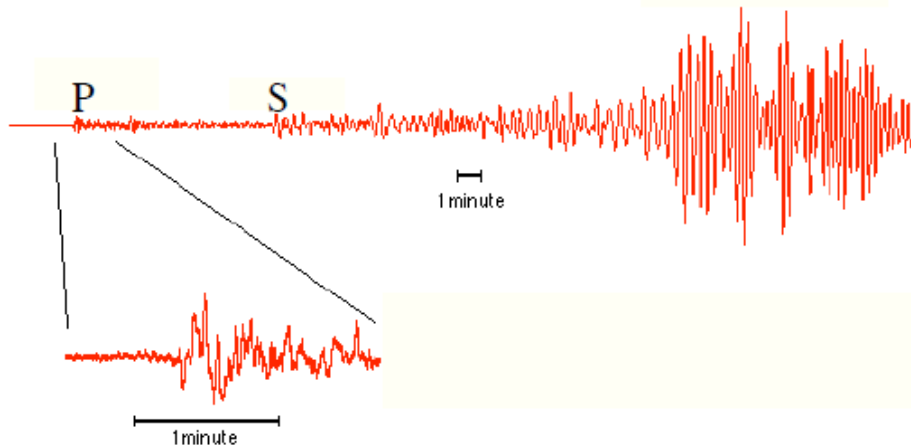
Naissance
des Forces
d'Inertie



1- MÉCANISME ET PROPAGATION DES ONDES SISMQUES



Ondes de surface



IZMIT, 1999, M=7.8

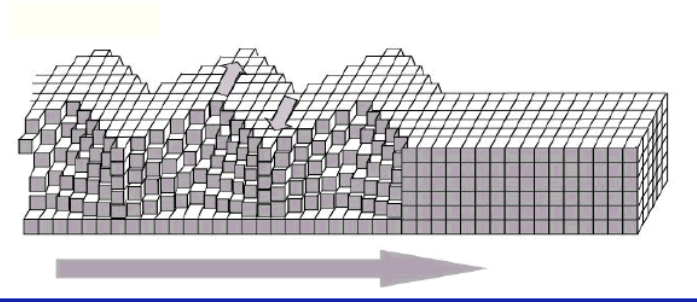
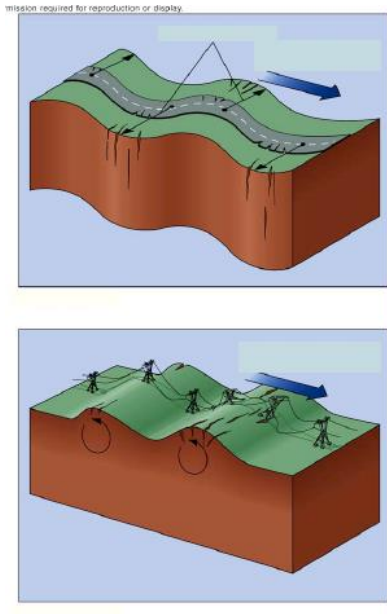
TRAIN D'ONDES

P = Ondes Primaires (de volume) $V \sim 6 \text{ km/s}$

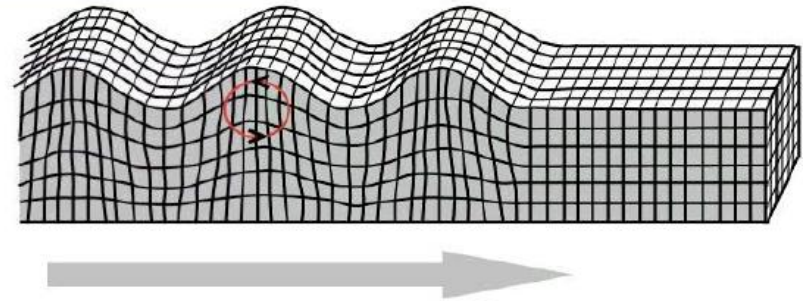
S = Ondes Secondaires (de cisaillement) $V \sim 3 \text{ km/s}$

R, L = Ondes de surface $V \sim 3 \text{ km/s}$

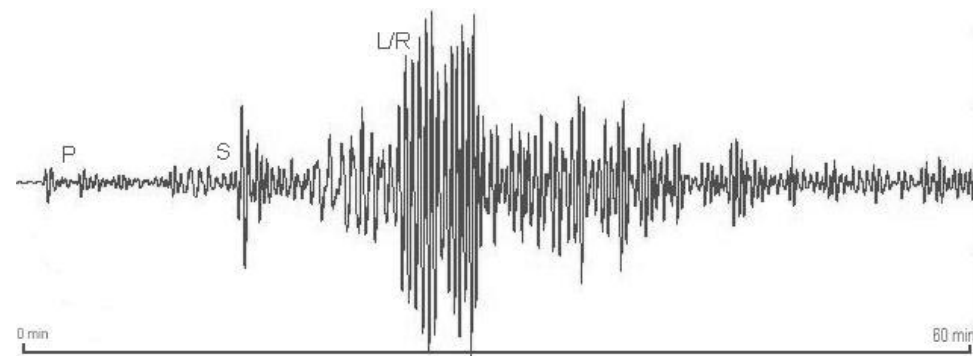
LES ONDES DE SURFACES



Les ondes de Love



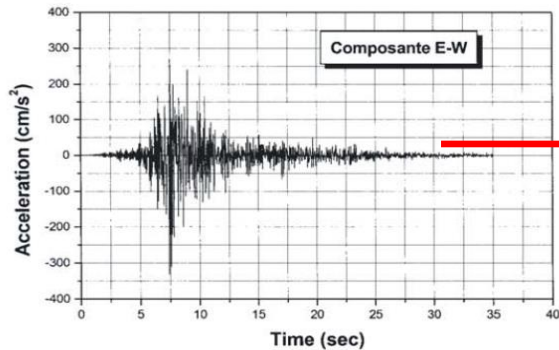
Les ondes de Rayleigh



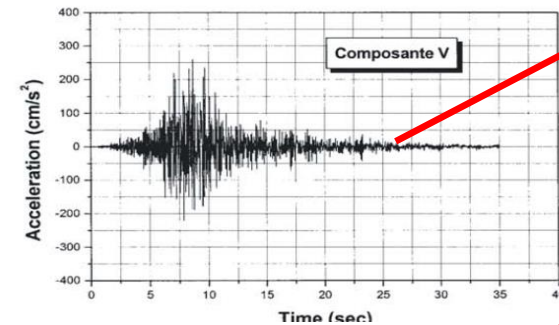
CONTENU FRÉQUENTIEL DES ONDES: EFFETS SUR LE BATI

EXEMPLE: BOUMERDES (ALGÉRIE) 21 MAI 2003

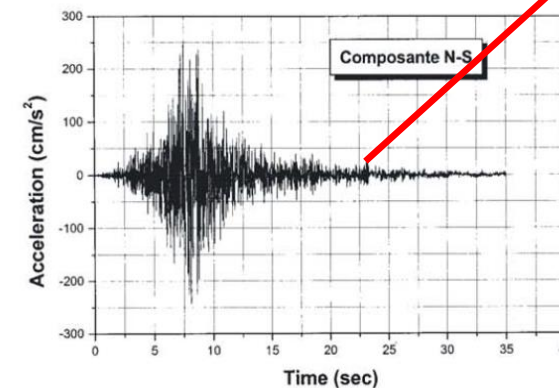
CHOC PRINCIPAL : Mw=6.8 – 21/05/2003, 19:44:40 (GMT+1)



En X



En Z



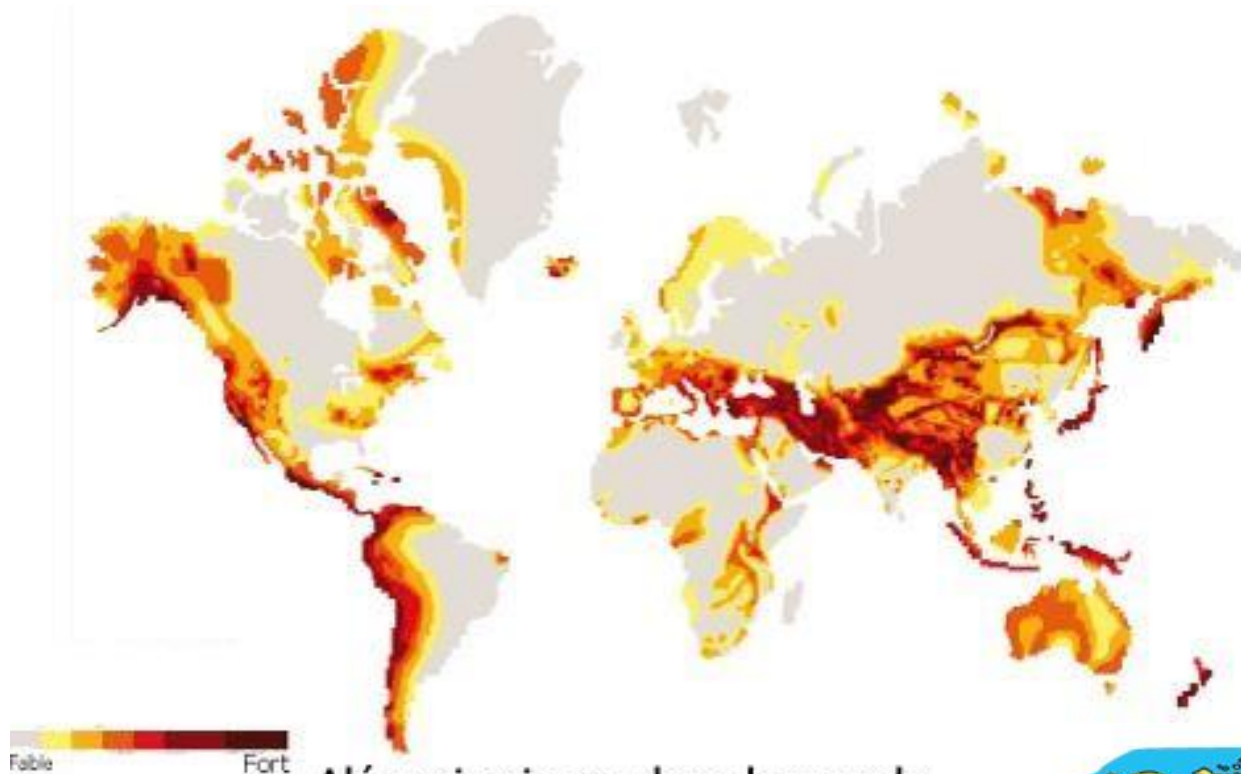
En Y



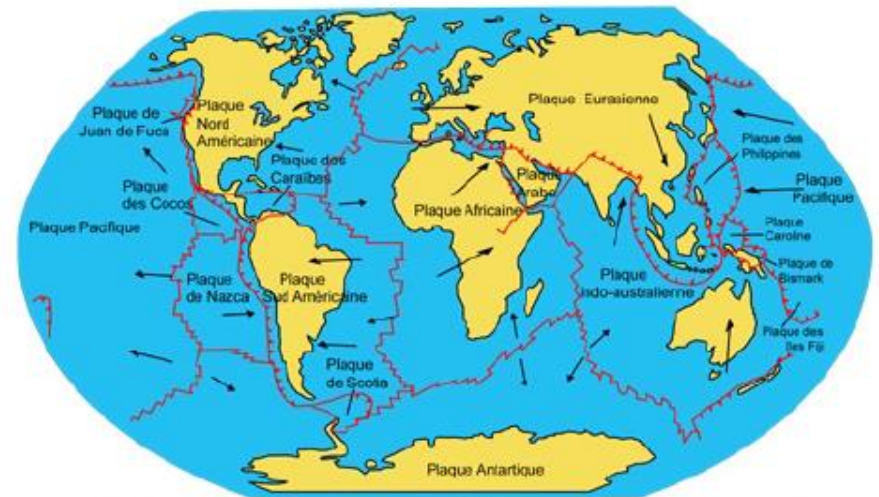
En surface la construction peut subir ainsi cette agression sismique suivant les 3 composantes X, Y et Z et cela simultanément !! (effet Shaker...)

Bilan: sans mesures parasismiques le bâtiment subira rapidement de lourds dommages !!

SISMICITE ENREGISTREE A L'ECHELLE DE LA PLANÈTE ET TECTONIQUE DES PLAQUES



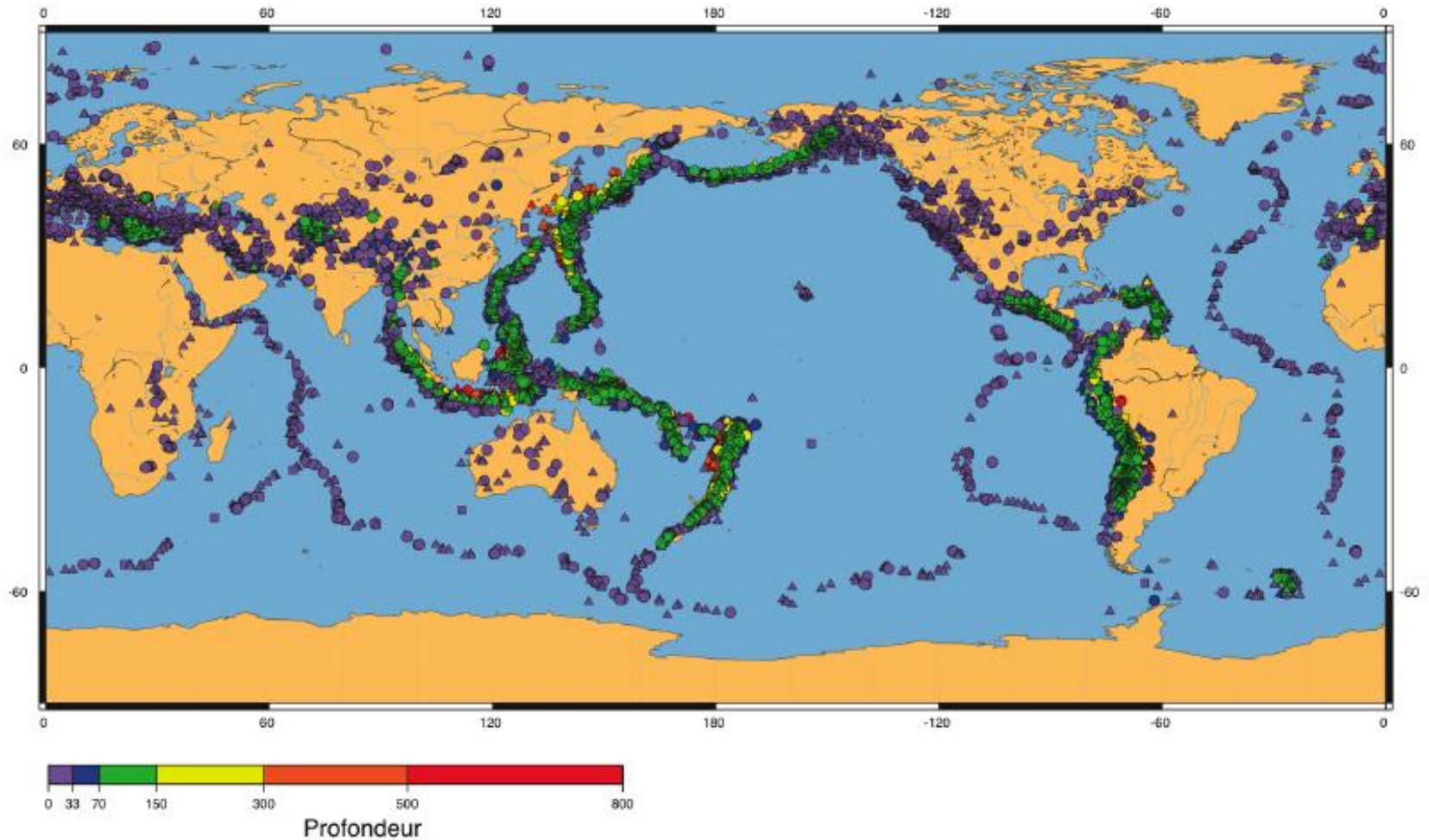
Aléas sismiques dans le monde



SISMICITE ENREGISTREE A L'ECHELLE DE LA PLANÈTE ET TECTONIQUE DES PLAQUES

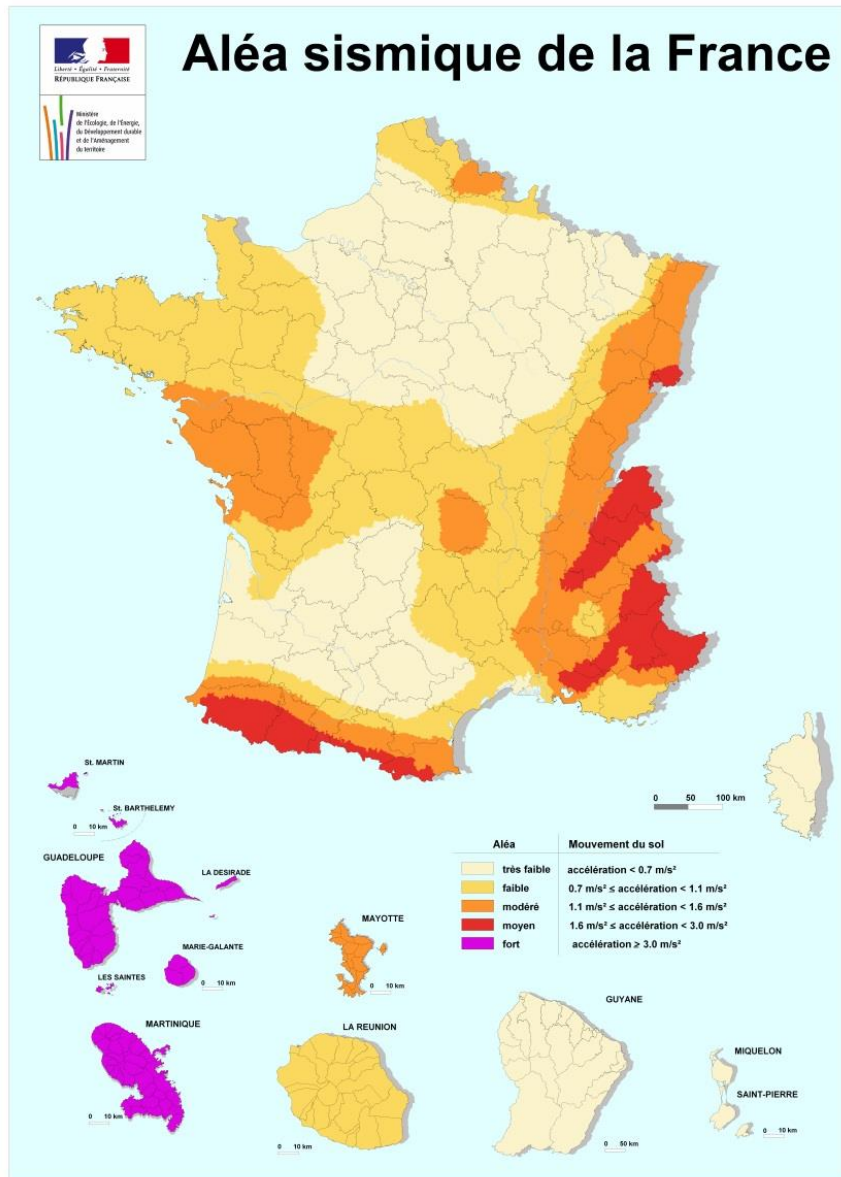
Sismicité mondiale sur un an

Séismes du 05/02/2006 au 05/02/2007



ALEA SISMIQUE EN FRANCE

(NOUVEAU ZONAGE EN FRANCE DEPUIS MAI 2011)

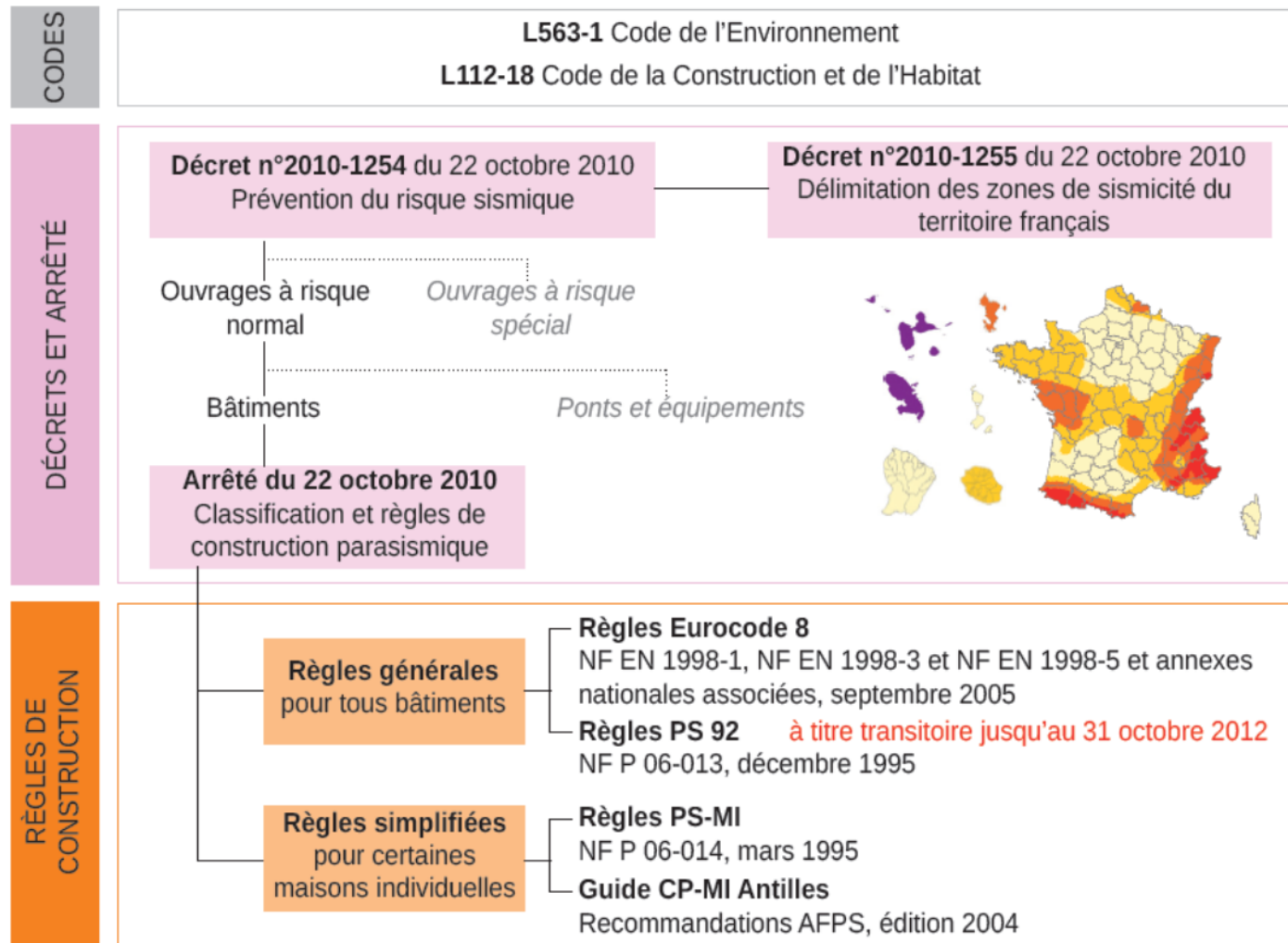


**Aujourd'hui !!
23 000 communes
concernées depuis
Mai 2011
5000 auparavant !**

ALEA SISMIQUE EN FRANCE

NOUVELLE REGLEMENTATION

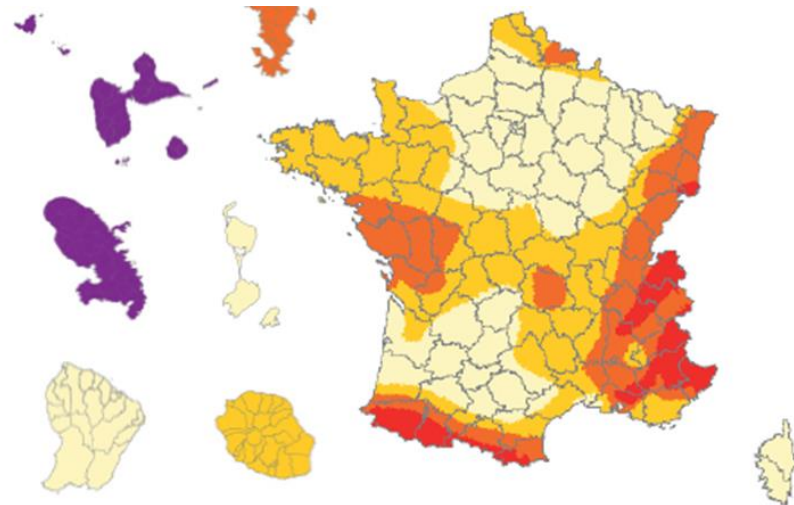
Organisation réglementaire



ALEA SISMIQUE EN FRANCE

Accélérations nominales (PGA)

Zone de sismicité	Niveau d'aléa	$a_{gr}(m/s^2)$
Zone 1	Très faible	0,4
Zone 2	Faible	0,7
Zone 3	Modéré	1,1
Zone 4	Moyen	1,6
Zone 5	Fort	3



Accélérations pondérées en fonction de la destination du bâtiment (en m/s^2)

Catégorie d'importance de l'ouvrage Zone de sismicité	I	II	III	IV
1	—	—	—	—
2	—	0,7	0,84	0,98
3	—	1,1	1,32	1,54
4	—	1,6	1,92	2,24
5	—	3	3,6	4,2

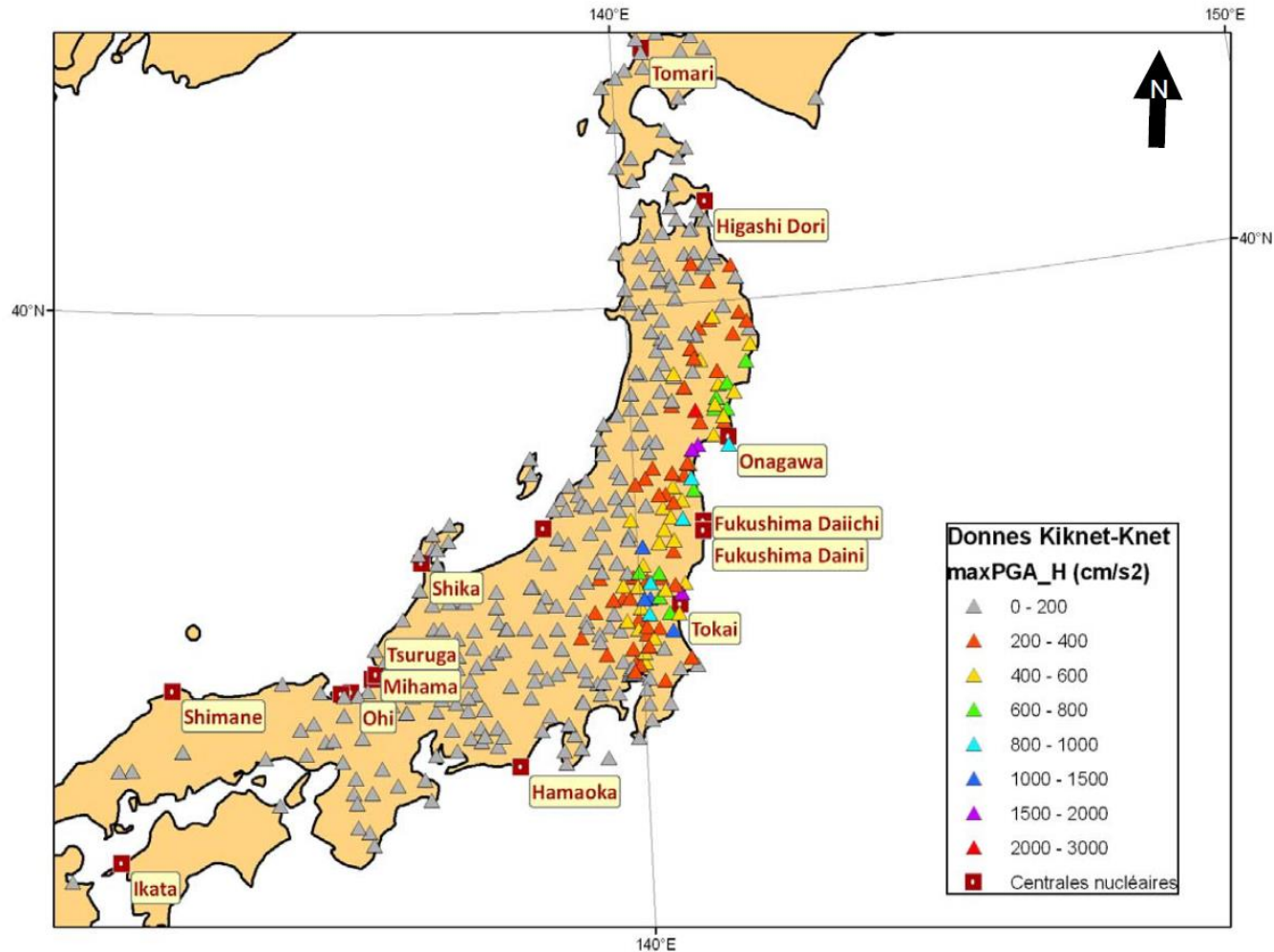
ALEA SISMIQUE EN FRANCE

CLASSIFICATION DES BÂTIMENTS

Catégorie d'importance	Description
I 	■ Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée.
II 	■ Habitations individuelles. ■ Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5. ■ Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. ■ Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, $h \leq 28$ m, max. 300 pers. ■ Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes. ■ Parcs de stationnement ouverts au public.
III 	■ ERP de catégories 1, 2 et 3. ■ Habitations collectives et bureaux, $h > 28$ m. ■ Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes. ■ Établissements sanitaires et sociaux. ■ Centres de production collective d'énergie. ■ Établissements scolaires.
IV 	■ Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public. ■ Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage d'eau potable, la distribution publique de l'énergie. ■ Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne. ■ Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise. ■ Centres météorologiques.

SEISME DE TOHUKU

FUKUSHIMA, MARS 2011, ML=9



Valeurs des accélérations au sol enregistrées le 11 mars.

400-600 cm/s² (0.5 g) étant les accélérations Max. de calcul pour les centrales nucléaires

Notez le nombre de pics dépassant 1g !

(981 cm/s² ~ 1g)

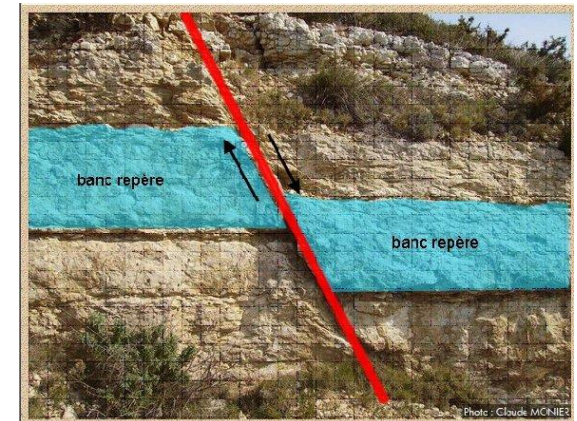
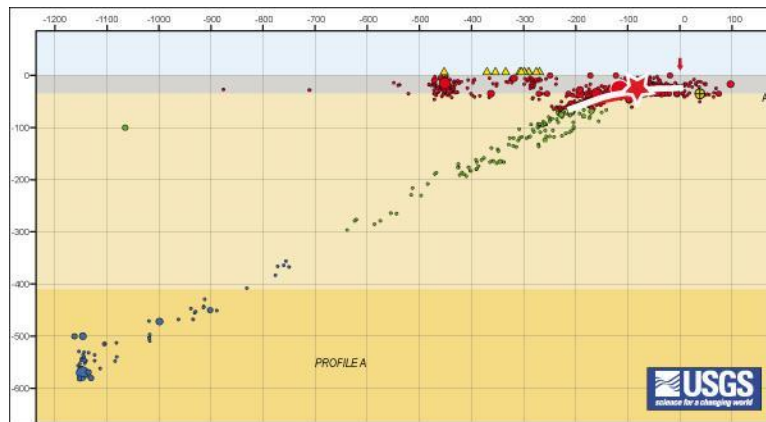
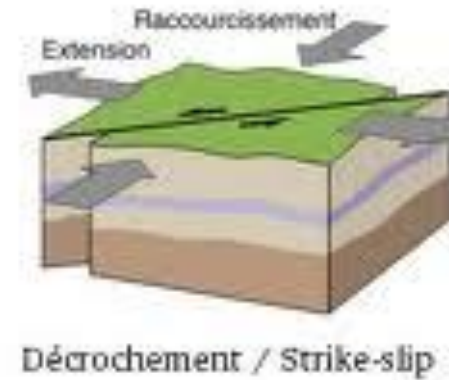
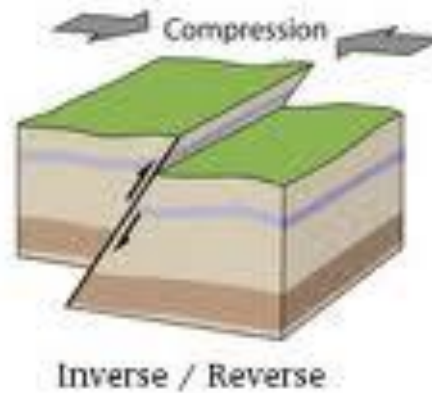
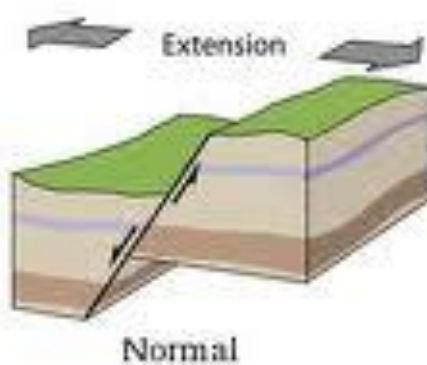
LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

**Le DANGER DES REPLIQUES pour les
USAR !!**



Observations à retenir !!

LES 3 SYSTEMES DE FAILLES



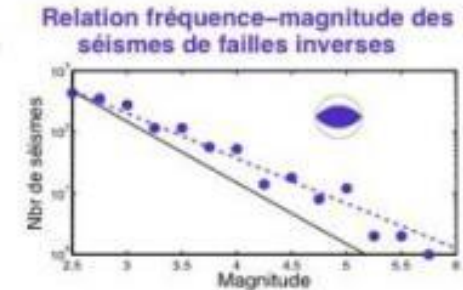
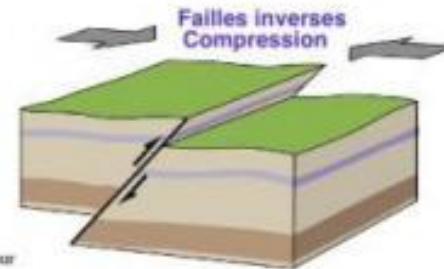
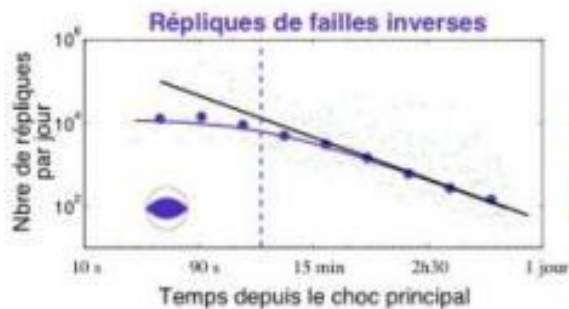
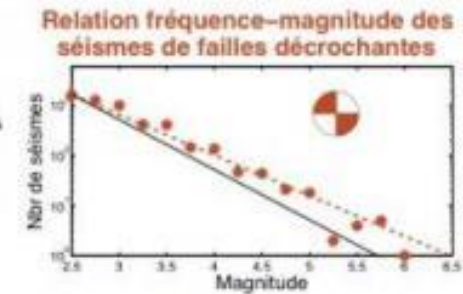
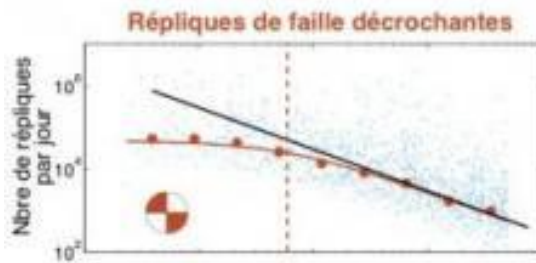
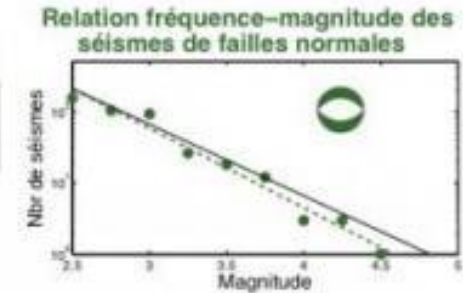
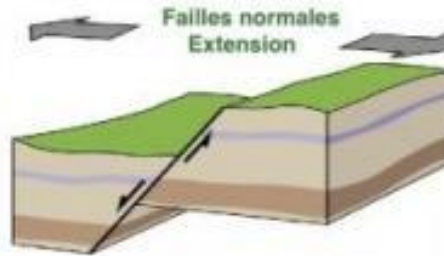
Coupe en profondeur séisme Japon 2011(sismicité enregistrée)

LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

LA GENERALITE

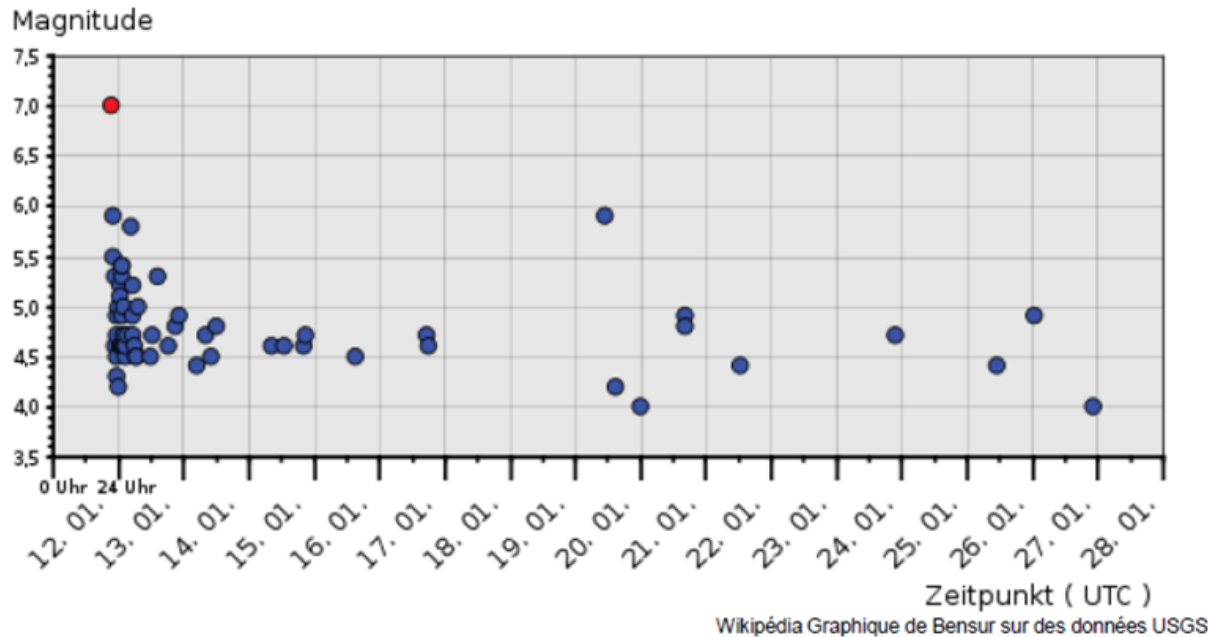
- Définition: cascade de « petits » séismes secondaires issue de la réflexion des ondes ; analogie de l'impact d'un caillou jeté dans l'eau (selon la théorie de la contrainte dynamique)
 - Fréquence des répliques = délai temporel variant en fonction du contexte tectonique local
 - Deux grandes propriétés émergent : il y a plus de petits tremblements de terre que de gros (la loi de Gutenberg-Richter) ; chaque événement est suivi d'une séquence de répliques dont l'activité décroît avec le temps (la loi d'Omori).
 - Plus forte est la magnitude du choc principal et plus longue sera la durée des répliques (# jours à # mois, ex.Chenoua, 1989, M=6, faille inverse, 3 mois)
 - Les répliques des failles Inverses arrivent 3 fois + vite que celles des failles Normales (5 pour 15 mn); temps intermédiaires pour les failles décrochantes –cf schémas pages suivantes-
 - L'atténuation de la force des répliques (M) est à caractère exponentiel, fonction de la distance à l'épicentre. (variation en décades / OMORI):
- On admet alors que la réplique qui suit immédiatement le choc principal a une magnitude inférieure de ~ 1 –cf histogramme d'Haiti et du Népal-
- Observation: plus le séisme est profond et plus les répliques sont fortes et nombreuses (ex: Lorca, peu profond (3km) durée= 3 jours)

APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION DES RÉPLIQUES : SIGNATURE DES 3 SYSTÈMES



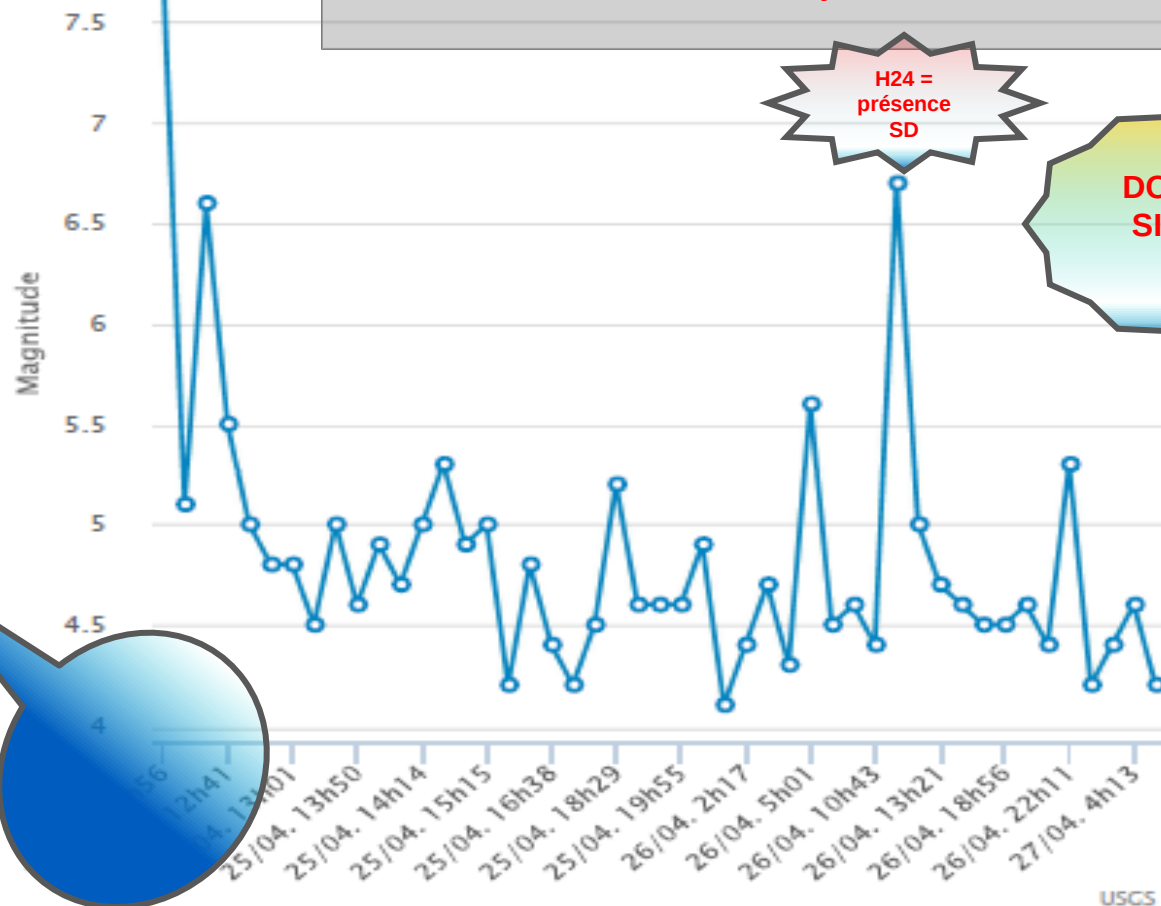
LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

Séisme d'Haïti et ses répliques entre le 12 et le 28 janvier 2010



LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

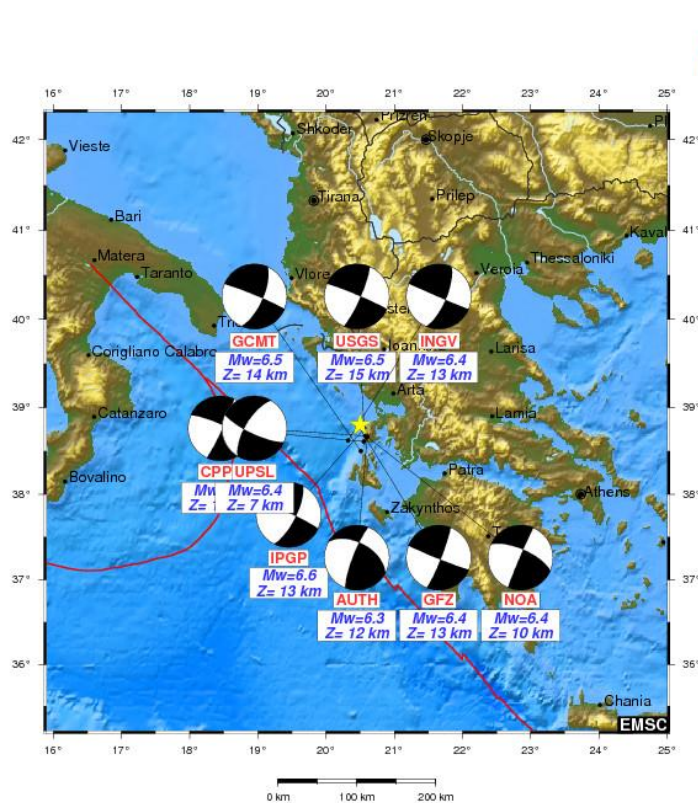
SEISME DU NEPAL
25 AVRIL 2015
Mw =7.8
P= 15 KM
Mécanisme au foyer: Subduction



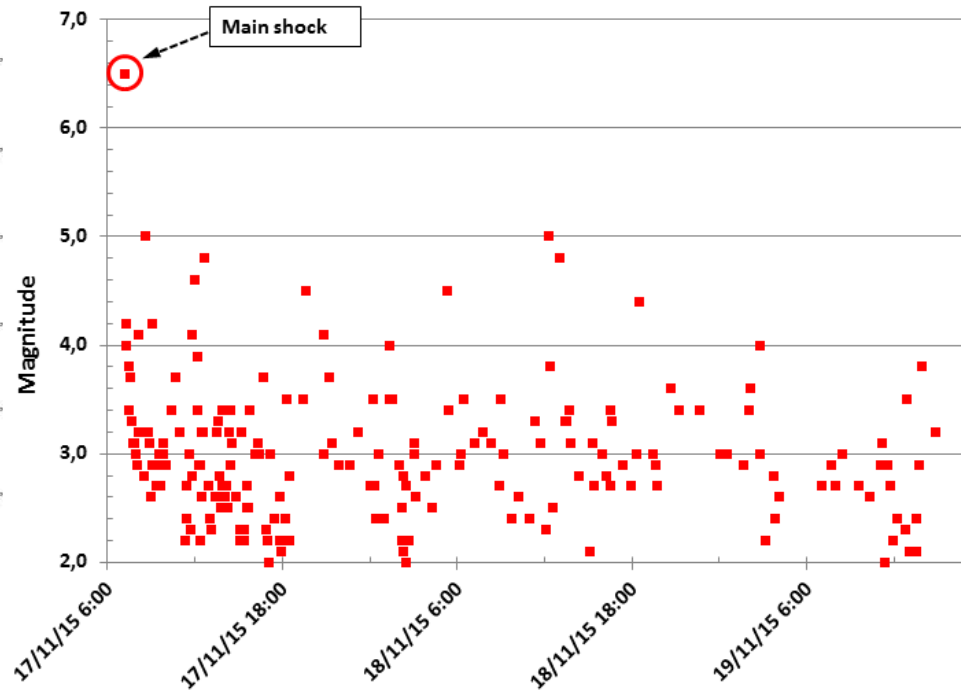
47 répliques dans l'heure qui suit le choc principal dont une de 6.7

* Doublet = 2° choc après fin épisode de répliques

LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)



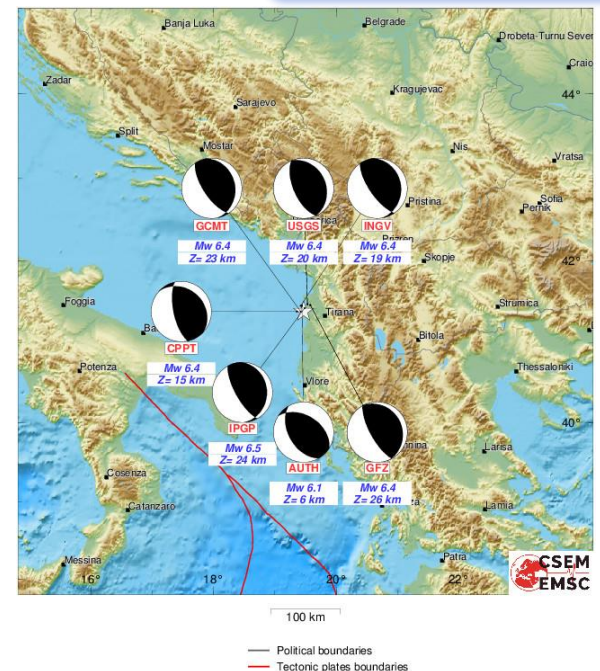
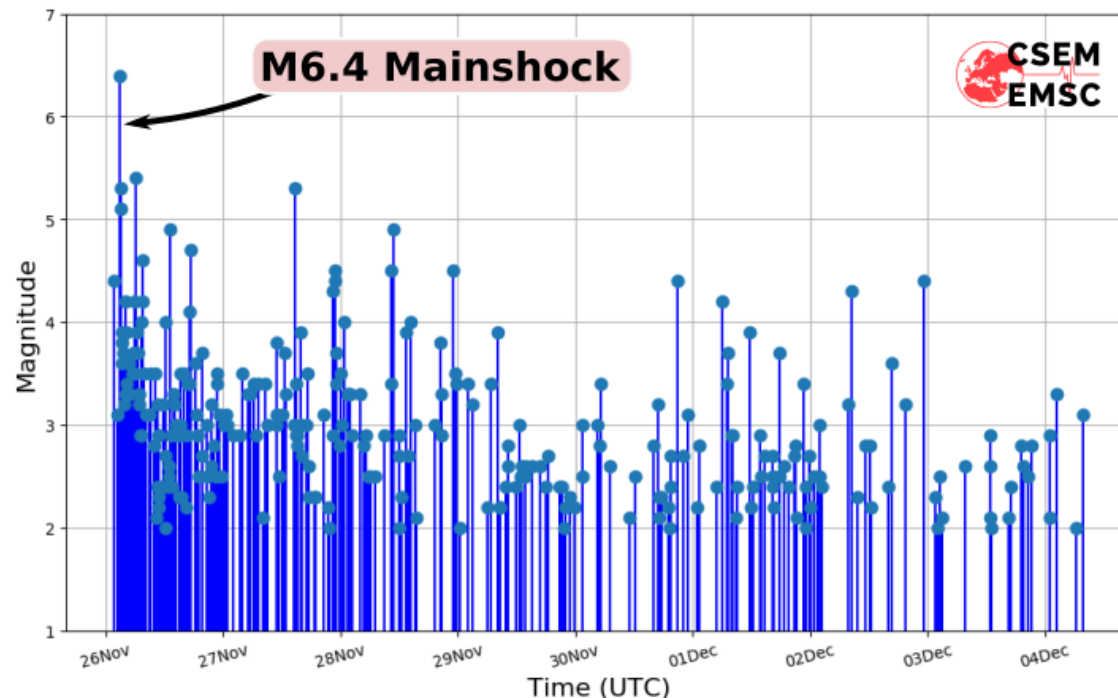
M6.5 in Greece on 17/11/2015
Earthquakes sequence



LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS) **ALBANIE 2**

LE 26 NOV. 2019

Mw 6.4, prof. 10 kms, système en faille inverse, 03h54 (local time)

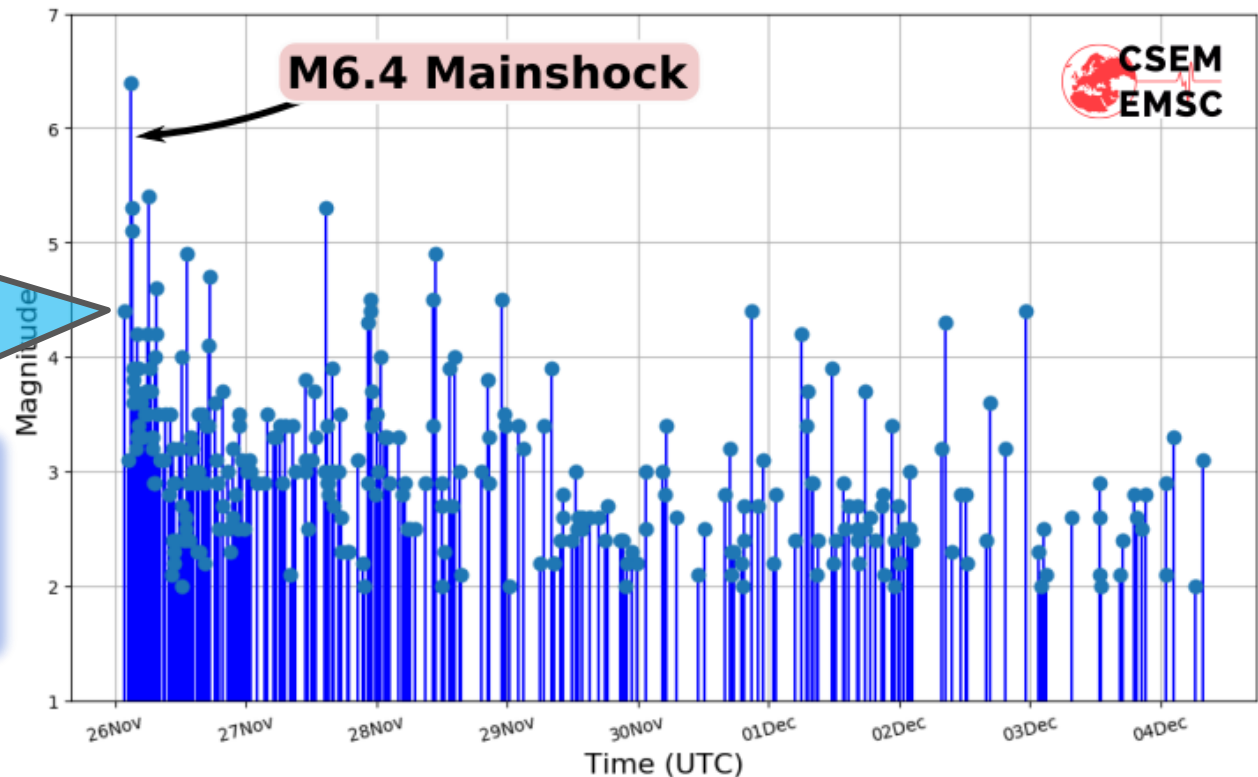


LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

ALBANIE 2 LE 26 NOV. 2019

“With a foreshock around one hour earlier of magnitude M4.4, a lot of people have left their homes and were outside during the mainshock... and not inside buildings.” source EMSC

**UNE
SINGULARITE
DE CERTAINS
SEISMES !!
Les
précurseurs...**

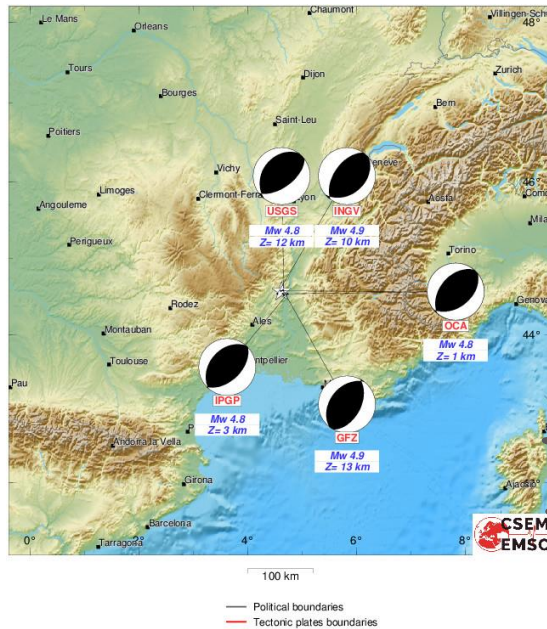


LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

LA SINGULARITE: SEISME DU TEIL (France -07), 11 Nov. 2019, Mw 4.9 (5.4 MI) P= 3 Kms ,système en faille inverse

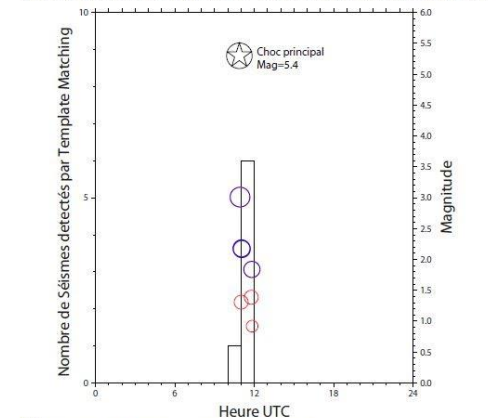
Ce séisme, ne correspond pas à la distribution « normale » des répliques , en magnitude et en fréquence

=> *Rapport scientifique du CNRS à venir*

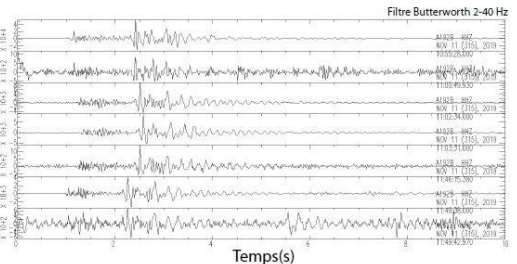


Voir REX de ce séisme

Activité sismique du 11/11/2019– Station A192B / Résultats affinés



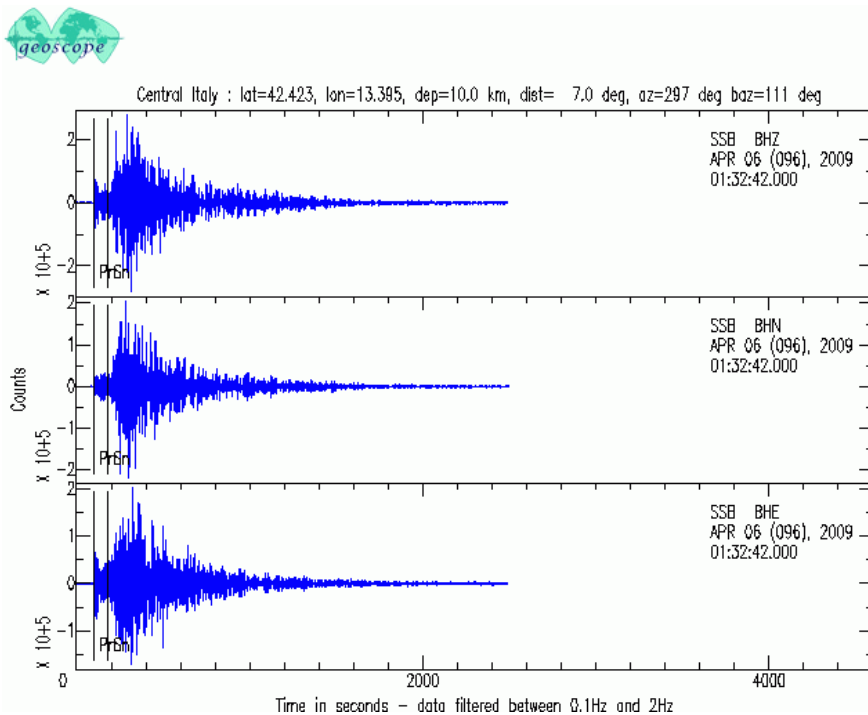
● Templates: 4 répliques détectées par Simozaur et Sismalp (2019/11/11 10:55:28, 2019/11/11-11:02:34, 2019/11/11-11:03:31, 2019/11/11-11:49:39)
○ Détections



+ 2 répliques (~M 2.4) espacées les 2 semaines suivantes le choc principal

LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

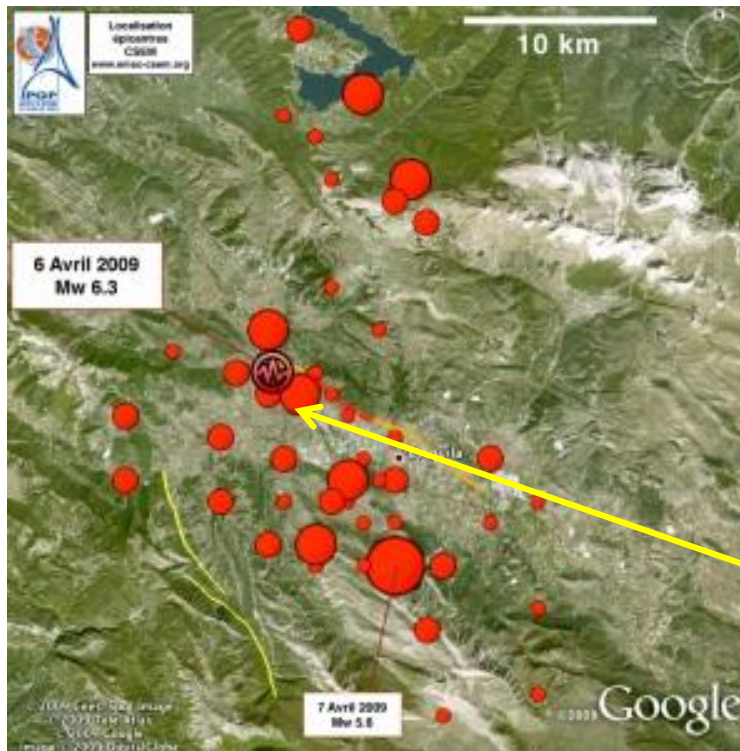
SEISME DE L'AQUILA 06 AVRIL 2009 (Mw 6.3 / P 10 km/ faille Normale/ 01h 32 utc)
DISTRIBUTION SPATIALE DES PRINCIPALES REPLIQUES



Contenu fréquentiel du choc principal svf les 3 axes
Attention à la composante verticale !!
Bien supérieure à celle estimée dans l'EC8 !..actuel

LES RÉPLIQUES: APPROCHE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA DISTRIBUTION (OBSERVATIONS ET CONSTATS)

SEISME DE L'AQUILA 06 AVRIL 2009 (Mw 6.3 / P 10 km/ faille Normale/ 01h 32 utc)
DISTRIBUTION SPATIALE DES PRINCIPALES RÉPLIQUES



1° réplique une heure après:
2h37m05,2s T.U. Mw 5,1
(le M-1 se vérifie bien !)

Distribution spatiale des répliques les 3 premiers jours
-256 répliques en 48 h dont 3 > M5
-10 000 répliques durant la première semaine
-durée globale de l'épisode réplique ~ 1 mois

Exemple du SEISME D'AMATRICE

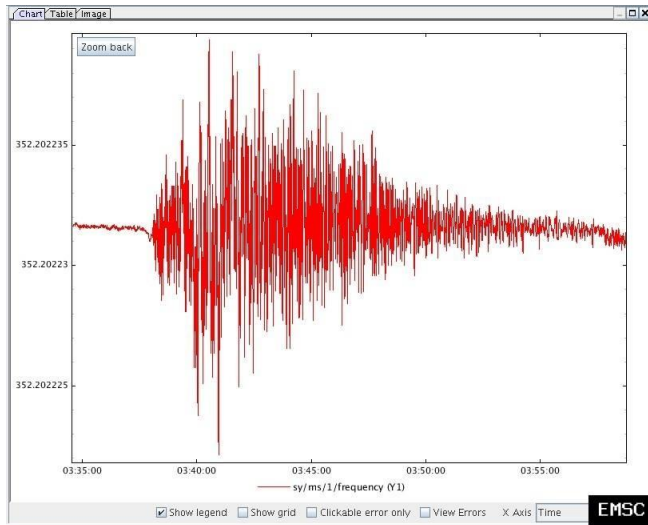


Quelques Observations à retenir !!

LES RÉPLIQUES: DANGER POUR LES CHANTIERS USAR

Conseil !! Prise en compte permanente du phénomène sur toute la durée des chantiers (uSAR et Eval Bat)

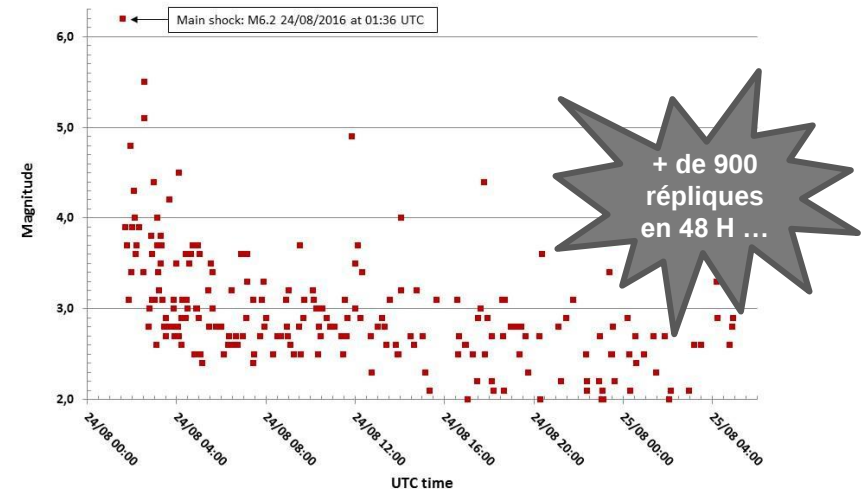
AMATRICE (province de Rieti) M6.2 , P= 4,2 KM,
Faille Normale
Le 24 Aout 2016 , 03h36 heure locale
~300 DCD, 500 blessés, 6000 p. à reloger



Notons la durée du choc principal !!
= 10 mn
Travail dévastateur des ondes de surface L & R < à 4.2 km et à un effet de site probable (litho. et topo.)



M6.2 Norcia/Amatrice earthquake
in Central Italy on 24/08/2016 03:36 UTC
Aftershocks time sequence



LES RÉPLIQUES: DANGER POUR LES CHANTIERS USAR

Conseil !! Prise en compte permanente du phénomène sur toute la durée du chantier

RAPPEL !! AMATRICE c'est 3 séismes consécutifs 24 Aout 2016 ,Octobre 2016, Janvier 2017



à J3 (Aout 2016)

EVOLUTION
DES
DOMMAGES



À J 45 (Octobre 016)
2° séisme

Vidéo du contexte des secours

http://www.francetvinfo.fr/monde/europe/seisme-en-italie/video-seisme-en-italie-une-forte-replique-ressentie-a-amatrice_1795156.html

Observons
l'oscillation
du clocher

LES RÉPLIQUES: DANGER POUR LES CHANTIERS USAR

Conseil !! Prise en compte permanente du phénomène sur toute la durée du chantier



ASR 3
réalisé à J0



Amatrice: Etat à J6 pour chantier réalisé à J0
Bielles induites par les répliques dans les
trumeaux du Rdc

INDICATEURS DE
VIGILANCE =

- Chute ou projection de matériaux (à différencier !)
- sorties de plan
- Bruits (# fréquences)

ANNEXE

LISTE DES DOUBLETS SISMIQUES

Date	Magnitude	Région			
11/05/1962	M 7.1	Acapulco, Mexique			
19/05/1962	M 7.0	Acapulco, Mexique	09/03/1989	M_L 4.3	Charlevoix, Canada
			11/03/1989	M_L 4.4	Charlevoix, Canada
14/07/1971	M_s 7.9	Iles Salomon, Océan Pacifique			
26/07/1971	M_s 7.9	Iles Salomon, Océan Pacifique	22/04/1992	M_w 6.1	Joshua Tree, Californie
			28/06/1992	M_w 7.3	Landers, Californie
20/07/1975	M_s 7.9	Iles Salomon, Océan Pacifique	28/06/1992	m_w 6.4	Big Bear, Californie
20/07/1975	M_s 7.7	Iles Salomon, Océan Pacifique			
			19/10/1996	M_s 6.7	Hyuga-nada, Japon
07/06/1982	M_s 6.9	Ometepec, Guerrero, Mexique	02/12/1996	M_s 6.7	Hyuga-nada, Japon
07/06/1982	M_s 7.0	Ometepec, Guerrero, Mexique			
			26/03/1997	M_w 6.1	Kagoshima, Japon
01/08/1985	M_L 5.2	Vrancea, Roumanie	13/05/1997	M_w 6.0	Kagoshima, Japon
01/08/1985	M_L 5.5	Vrancea, Roumanie			
			17/08/1999	M_w 7.4	Izmit, Turquie
23/11/1987	M_w 6.2	Elmore Ranch, Californie	12/11/1999	M_w 7.2	Düzce, Turquie
24/11/1987	M_w 6.6	Superstition Hills, Californie			
			17/06/2000	M_s 6.6	Árnes fault, Islande
09/03/1989	M_L 4.3	Charlevoix, Canada	21/06/2000	M_s 6.6	Hestfjall fault, Islande
11/03/1989	M_L 4.4	Charlevoix, Canada			
			05/02/2004	M_w 7.0	Irian Jaya, Indonesie
22/04/1992	M_w 6.1	Joshua Tree, Californie	07/02/2004	M_w 7.3	Irian Jaya, Indonesie
28/06/1992	M_w 7.3	Landers, Californie			
28/06/1992	m_w 6.4	Big Bear, Californie	28/11/2004	M_w 7.0	Hokkaido, Japon
			06/12/2004	M_w 6.8	Hokkaido, Japon
19/10/1996	M_s 6.7	Hyuga-nada, Japon			
02/12/1996	M_s 6.7	Hyuga-nada, Japon	26/12/2004	M_w 9.0	Iles Sumatra-Andaman, Indonesie
			28/03/2005	M_w 8.7	Ile Nias, Indonesie

CREDITS

Crédits images, photos, textes et illustrations

- IPGP –Institut de Physique du Globe de Paris-
- INSU-CNRS, Paris Diderot
- USGS
- -MEED-DPPR
- Université de Genève, Pr WAGNER Jean-Jacques
- RENASS -Michel GRANET
- DDE Martinique- Patricia BALANDIER
- Wikipedia
- Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer –France-
- IRSN
- Thèse Guillaume DANIEL-2007- Université Joseph Fourier, Grenoble 1-
Laboratoire de géophysique interne et de tectonophysique
- EMSC-CSEM
- MeteoWeb.eu –AzurSéismes
- USA Today
- INGV Italie