



Risques Géologiques

(tremblements de terre)

Cours Géologie Ba2
Numéro 11

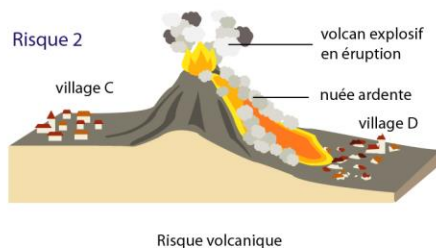
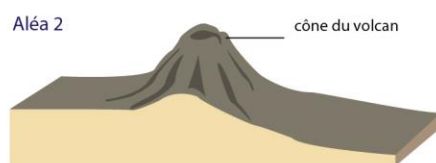
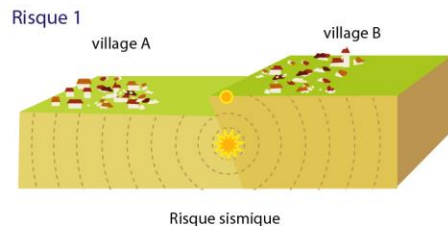
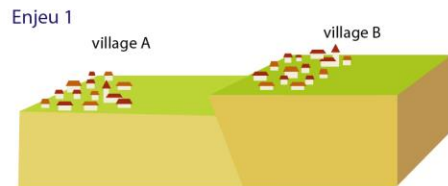
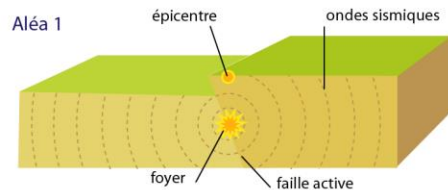
-  Forte importance
-  Moyenne importance
-  Faible importance

- Tremblements de terre
 - Tsunami
 - Mouvements de masse (risques gravitationnels)
 - Éruption volcaniques (et risques associés)
 - Inondations
-
- Essayer de comprendre la physique des phénomènes géologiques pour alerter, prévenir et si possible prédire d'un danger géologique



- Tremblements de terre (naturel, induit)
- Tsunami
- Mouvements de terrain (risques gravitationnels)
 - Glissements de terrain
 - Chute de blocs
 - Coulée de boue
 - Effondrement
 - Érosion de berge
- Éruption volcaniques (et risques associés)
- Inondations





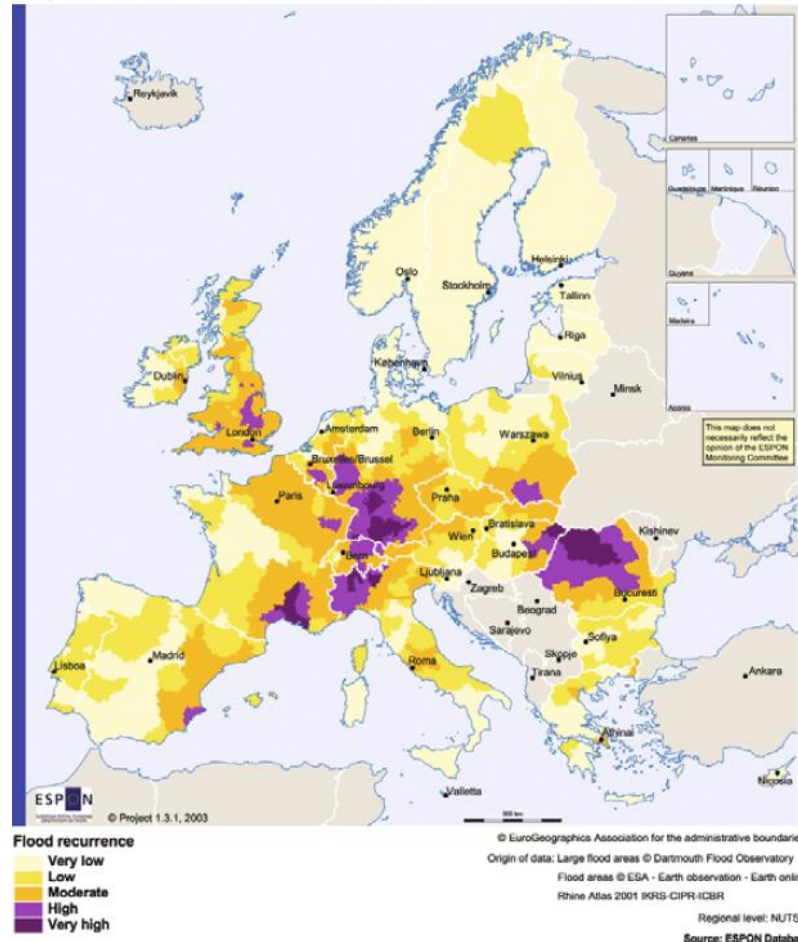
Par définition, un risque géologique correspond à un aléa géologique associé à un enjeu.

Un aléa géologique est la possibilité pour qu'un lieu ou une région subisse un phénomène géologique (séisme, éruption volcanique).

L'enjeu est l'ensemble des personnes et des biens vulnérables à la survenue de l'aléa géologique. Autrement dit, les enjeux sont les intérêts humains et économiques menacés lors de l'événement géologique.

<http://www.seismo.ethz.ch/fr/knowledge/seismic-risk-switzerland/>





Risques en Europe : éruptions



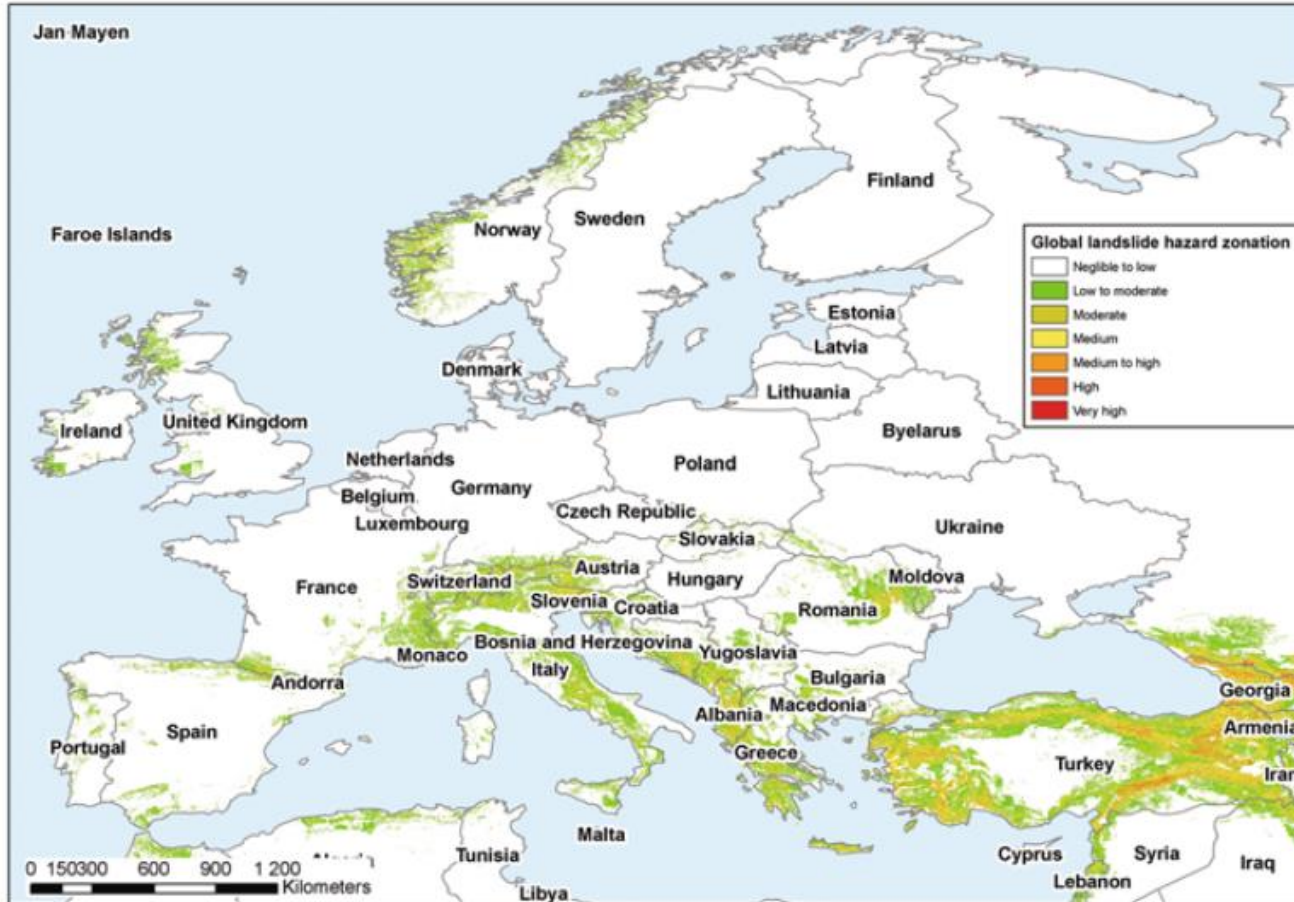
Known volcanic eruptions

- No eruptions
- The status of eruption is uncertain
- Last eruption before 1800 AD
- Last eruption after 1800 AD
- Particularly hazardous volcanoes
- Non ESPON space

Origin of the data: © EuroGeographics Association for the administrative boundaries
 Volcanic eruptions: Smithsonian Institute, Global Volcanism Program
 Risk classification: Munich Reinsurance Company
 Source: ESPON Data Base

This map displays regions with known volcanic eruptions during the last 10 000 years. The risk classification is based on the time when the last eruption has been occurred. The most dangerous volcanoes are identified by International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI).

Delmonaco et al., 2011



Delmonaco et al., 2011

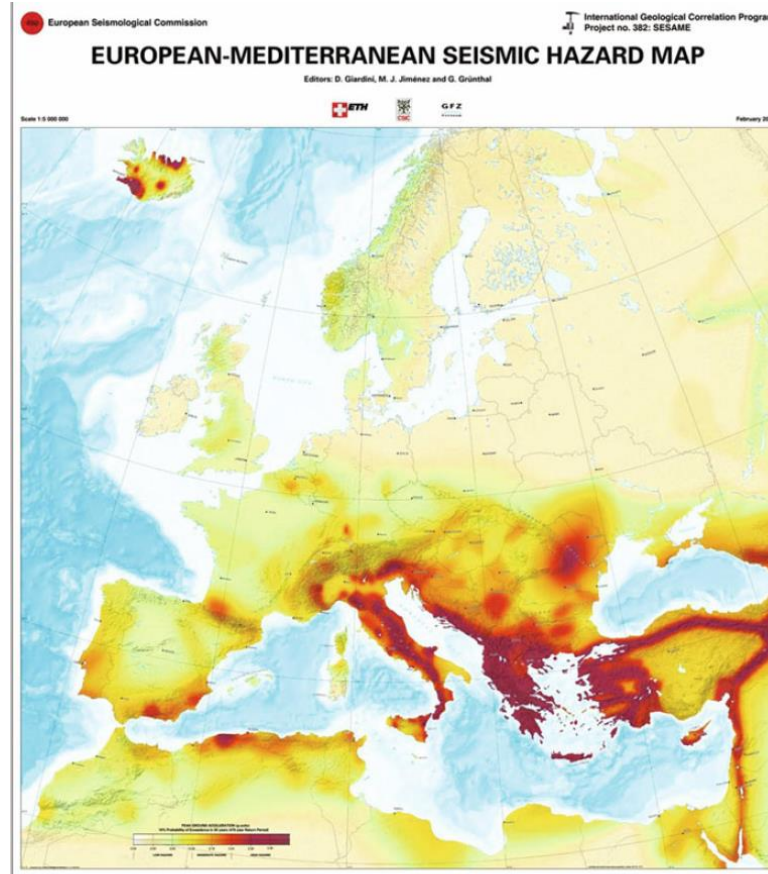


Fig. 2.12. GSHAP's seismic hazard map (source: Giardini et al., 2003)



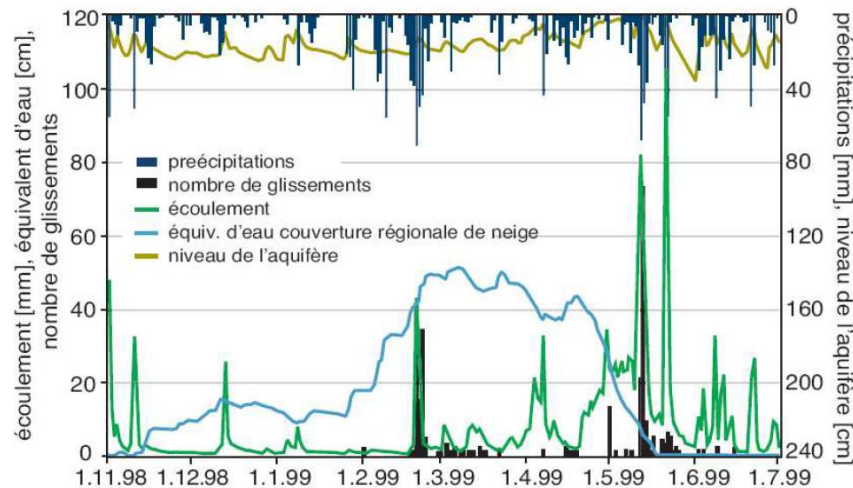
- Une instabilité du sol est le détachement brutal ou lent d'une importante masse rocheuse fluide ou non, caractérisé ou non par une surface d'arrachement et une vitesse de déplacement allant de 1 cm/jour à 300 km/h



- **Glissements de terrain, éboulements ou coulées de boue sont des phénomènes gravitaires naturels** associés à de fortes pentes.
- Ils sont provoqués ou amplifiés par une des évènements naturels ou anthropiques exceptionnels (pluie abondante, séisme, travaux, etc.).
- Leur dynamique est sujette à des mouvements gravitaires de surcharge ou de décharge ainsi qu'au mouvements du sol lors d'un séisme.



- Environ 7% de la surface de la Suisse comporte des pentes instables.
- En Suisse occidentale, avec le réchauffement climatique, les précipitations sont devenues plus abondantes et les mouvements se sont accentués ces dernières années.
- De plus de grands volumes d'eau de fonte s'ajoutent aux précipitations d'hiver favorisant ainsi les glissements.



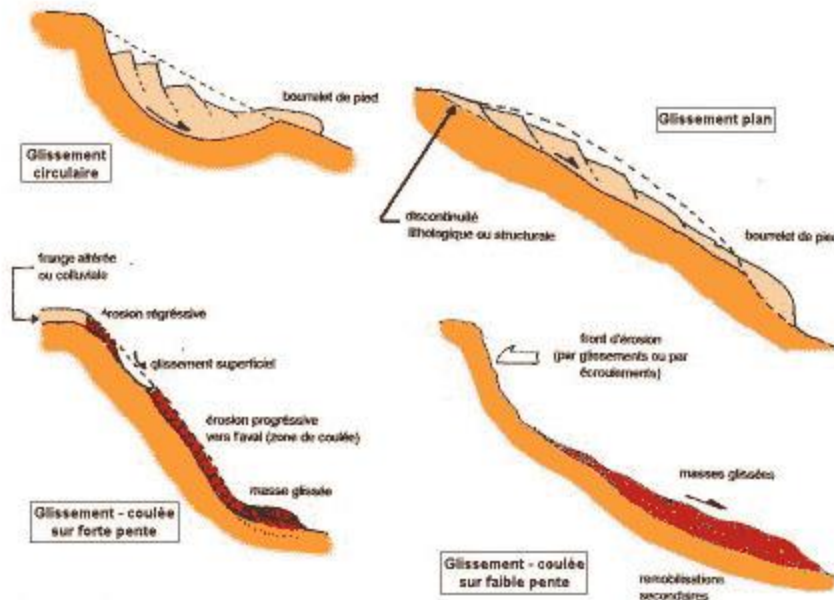
Classifications des processus gravitaires



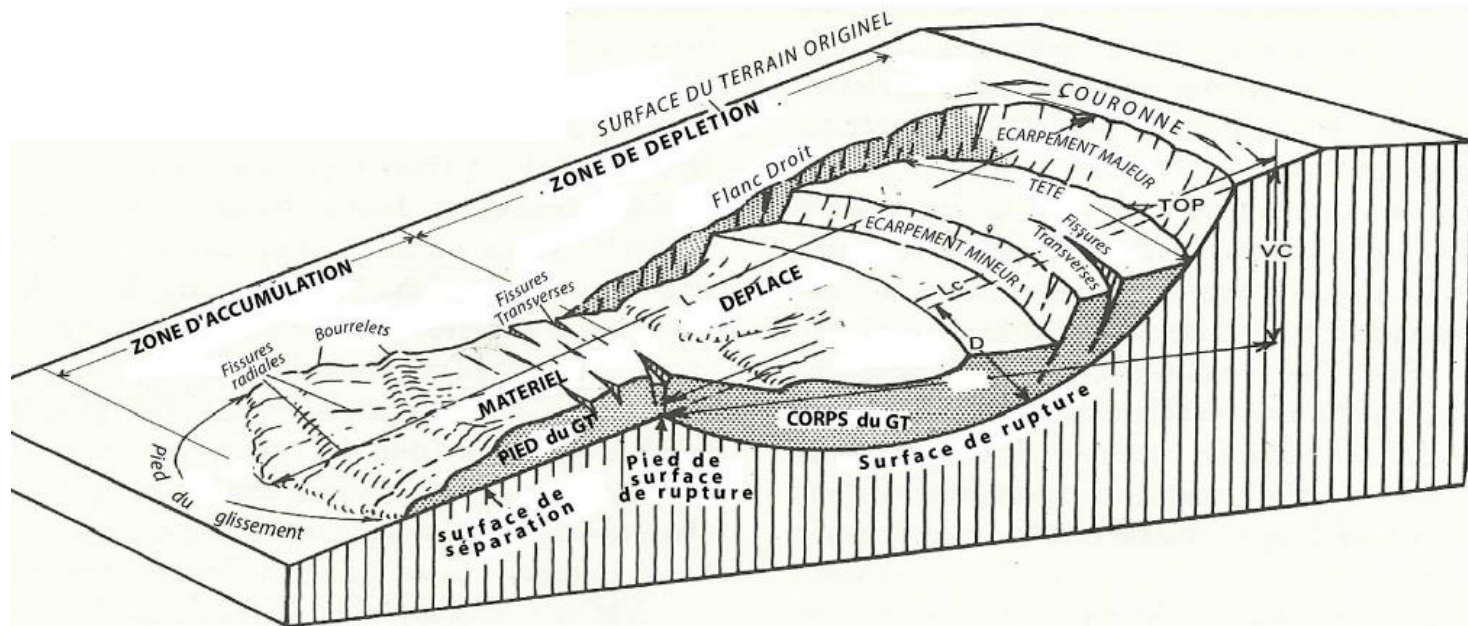
- les glissements de terrain
- les éboulements
- les coulées de boues
- le fluage des sols



Un glissement de terrain est un phénomène géologique qui désigne le phénomène de descente d'une masse de terre sur une pente, autrement dit un plan de glissement plus ou moins continu, plus ou moins plan ou incurvé. L'initiation du glissement peut être d'origine mécanique (surcharge, décharge, fluide, etc.), sismique ou géologique.



Un glissement de terrain est un phénomène géologique qui désigne le phénomène de descente d'une masse de terre sur une pente, autrement dit un plan de glissement plus ou moins continu, plus ou moins plan ou incurvé. L'initiation du glissement peut être d'origine mécanique (surcharge, décharge, fluide, etc.), sismique ou géologique .





Un glissement de terrain est un phénomène géologique qui désigne le phénomène de descente d'une masse de terre sur une pente, autrement dit un plan de glissement plus ou moins continu, plus ou moins plan ou incurvé. L'initiation du glissement peut être d'origine mécanique (surcharge, décharge, fluide, etc.), sismique ou géologique .

Facteurs de prédisposition

Sols - Massifs fracturés - Formations meubles

Géométrie des discontinuités par rapport à la topographie

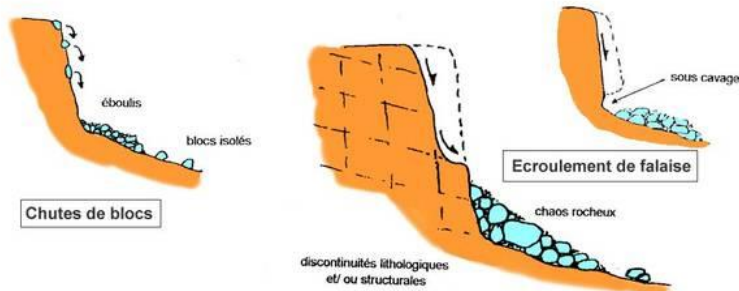
Facteurs aggravants

Eau - Anthropique - Séisme (+liquéfaction)

Occupation du sol

Chutes de blocs et éboulements

Les éboulements sont des phénomènes rapides ou événementiels mobilisant des éléments rocheux plus ou moins homogènes avec peu de déformation préalable d'une pente abrupte jusqu'à une zone de dépôt.



Chutes de blocs et éboulements



Les éboulements sont des phénomènes rapides ou événementiels mobilisant des éléments rocheux plus ou moins homogènes avec peu de déformation préalable d'une pente abrupte jusqu'à une zone de dépôt.

Facteurs de prédisposition

Massifs rocheux - Conglomérats

Discontinuités : stratigraphiques, tectoniques, hétérogénéités....

Géométrie des discontinuités par rapport à la topographie

Facteurs aggravants

Eau - Anthropique - Gel/dégel

Séisme - Occupation du sol (végétation)



Les coulées de boue constituent le type de glissement de terrain le plus liquide. Dans les régions montagneuses, elles sont souvent provoquées par des pluies torrentielles. Elles peuvent atteindre une vitesse de 90km/h.





Les coulées de boue constituent le type de glissement de terrain le plus liquide. Dans les régions montagneuses, elles sont souvent provoquées par des pluies torrentielles. Elles peuvent atteindre une vitesse de 90km/h.

Facteurs de prédisposition

Matériaux (très) remaniés

Facteurs aggravants

Eau- Séisme (tectoniques ou volcaniques)



Un effondrement est un désordre créé par la rupture du toit d'une cavité souterraine (karst, mine,...)





Un effondrement est un désordre créé par la rupture du toit d'une cavité souterraine (karst, mine,...)

Facteurs de prédisposition

Existence de cavité (extraction, dissolution, etc..)

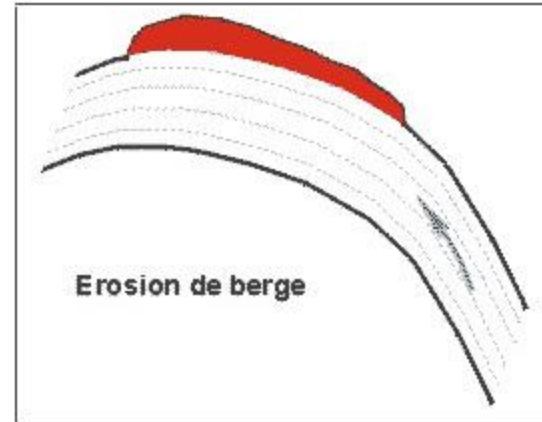
Proximité à la surface

Facteurs aggravants

Eau, séisme, anthropique



Une érosion de berges est un phénomène régressif d'ablation de matériaux, dû à l'action d'un écoulement d'eau turbulent (fluvial ou marin).





Un volcan est une émission en surface de produits (gazeux, liquides et solides) d'origine magmatique profonde. Il peut être terrestre ou sous-marin.

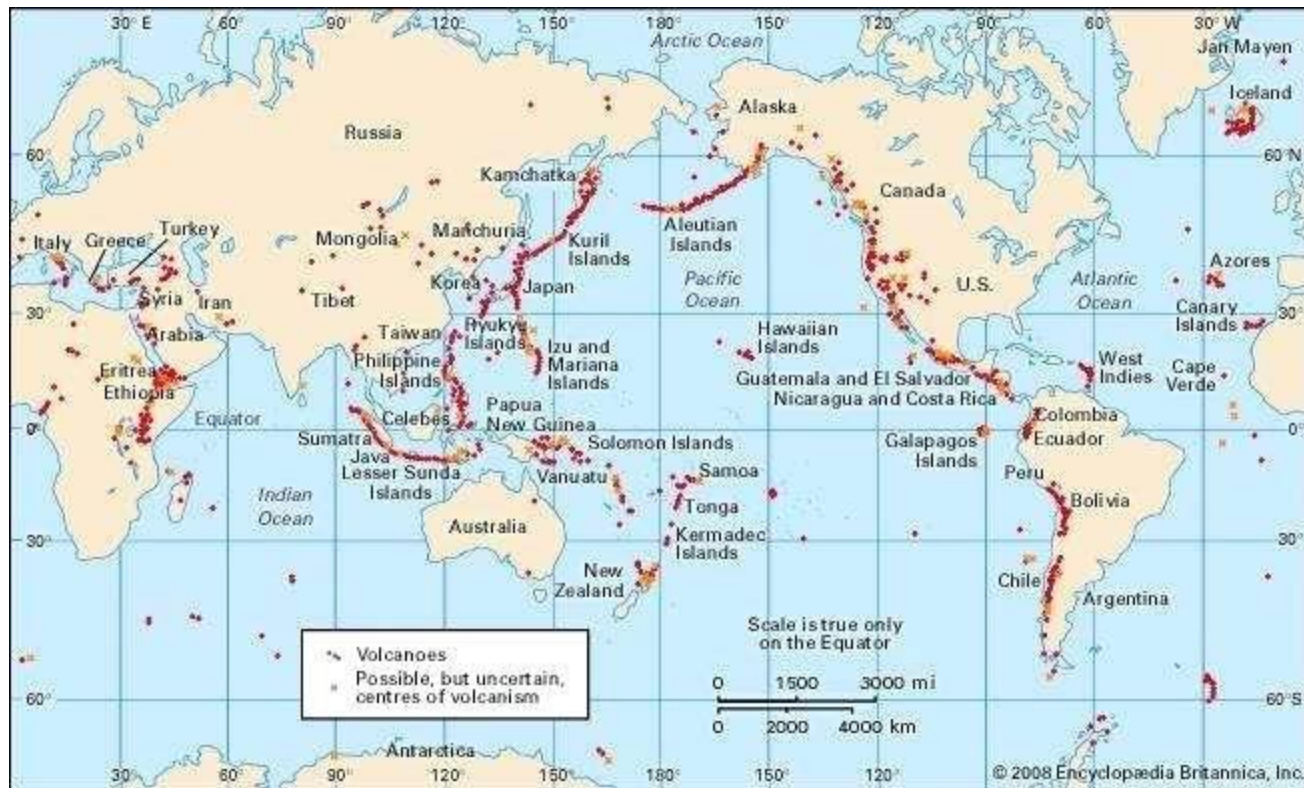
L'énergie dégagée lors d'une éruption volcanique peut atteindre, voire dépasser pour les événements cataclysmiques, 10^{20} joules, soit dix millions de fois la puissance de la bombe lâchée sur Hiroshima en 1945.

On caractérise souvent un volcan par son activité : on parle de volcan actif ou de volcan éteint.

Un volcan actif peut être en activité ou en sommeil; une période de sommeil prolongée peut laisser à penser que le volcan est éteint, alors qu'une nouvelle éruption est possible à tout moment.

On considère qu'un volcan est éteint si le temps écoulé depuis sa dernière éruption est largement supérieur à la moyenne des périodes de sommeil passées.







Un volcan est une émission en surface de produits (gazeux, liquides et solides) d'origine magmatique profonde. Il peut être terrestre ou sous-marin.

La localisation du volcanisme

Le volcanisme représente, avec les séismes, l'une des manifestations de la tectonique des plaques. La quasi-totalité du volcanisme dans le monde se situe aux frontières entre deux plaques (dorsales océaniques, zones de subduction).

Les manifestations du volcanisme:

Les coulées de laves, liées aux éruptions effusives.

Les retombées de tephra : lors d'éruptions explosives, des matériaux rocheux de différentes granulométries (cendres, lapilli, blocs et bombes) peuvent être projetés et retomber aux abords du volcan.

Les nuées ardentes, consistent en l'émission de mélanges à haute température de tephra et de gaz volcanique dévalant les pentes du volcan à grande vitesse (de 200 à 500 km/h).

Les émanations de gaz



Un volcan est une émission en surface de produits (gazeux, liquides et solides) d'origine magmatique profonde. Il peut être terrestre ou sous-marin.

Risques associés:

Séismes

Glissements de terrain

Avalanche de débris, éboulements

Coulée de boue (Lahar)

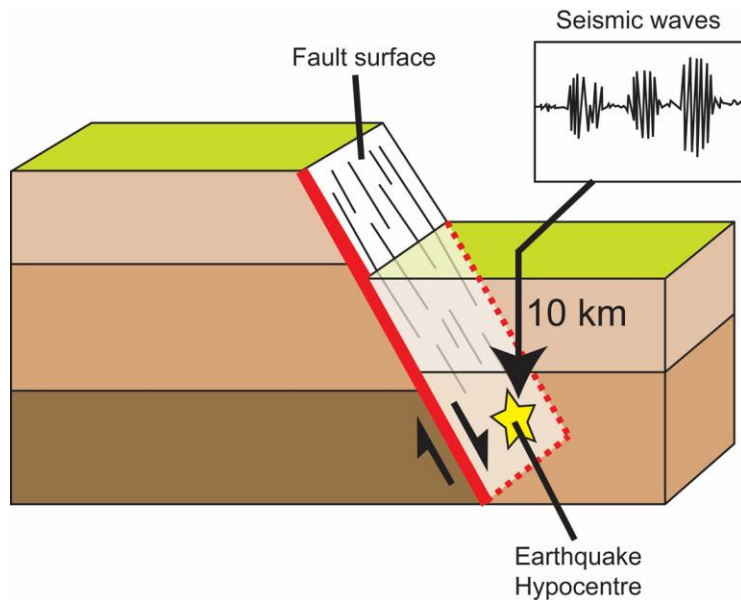
Tsunamis

Remontées de gaz à la surface





Un séisme ou tremblement de terre est une secousse du sol résultant de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Cette libération d'énergie se fait par rupture le long d'une faille, généralement préexistante.



Répartition spatiale des séismes

World seismicity from 1976 to 2002

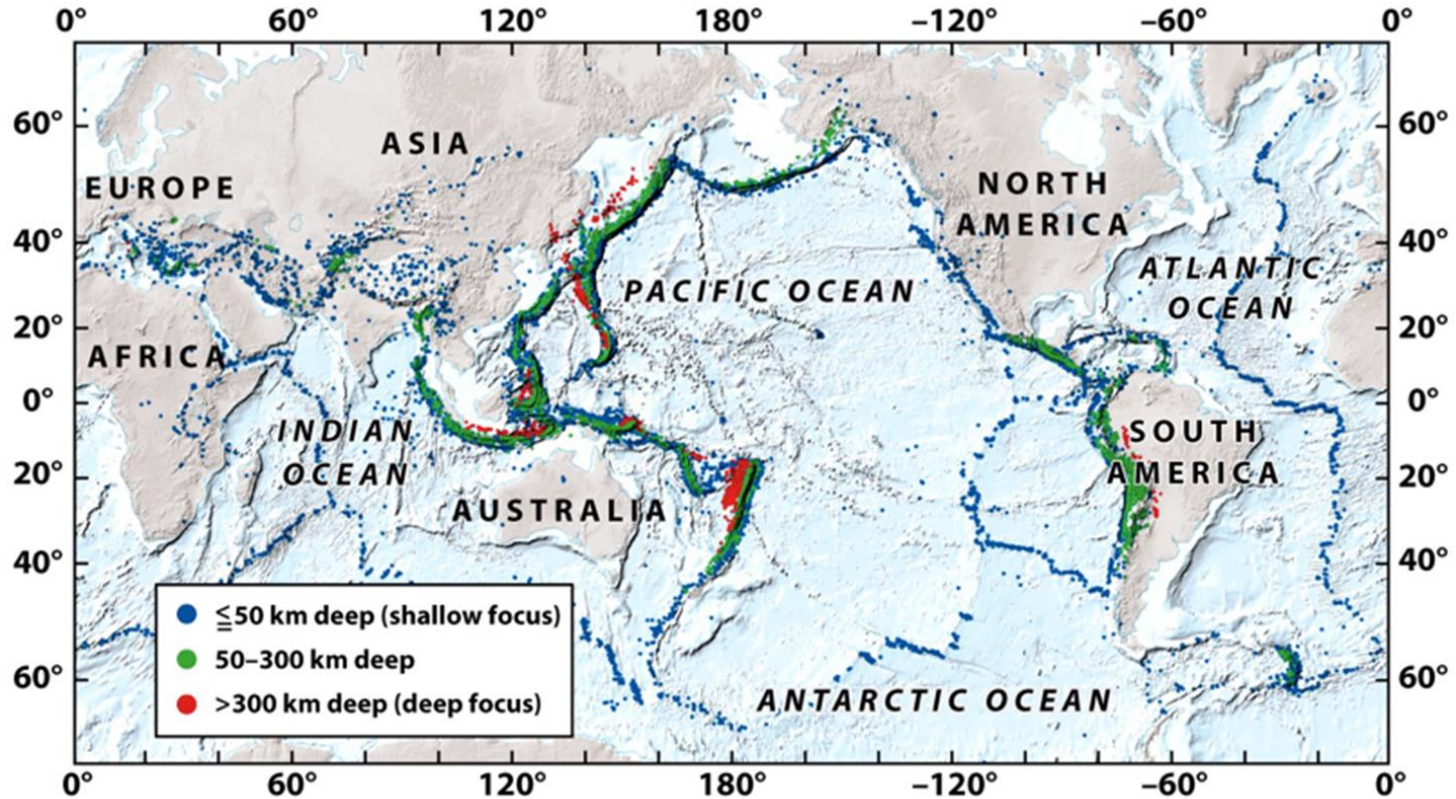


Figure 13.15a
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

Séismes et plaques tectoniques

Mid-ocean ridge (divergence)

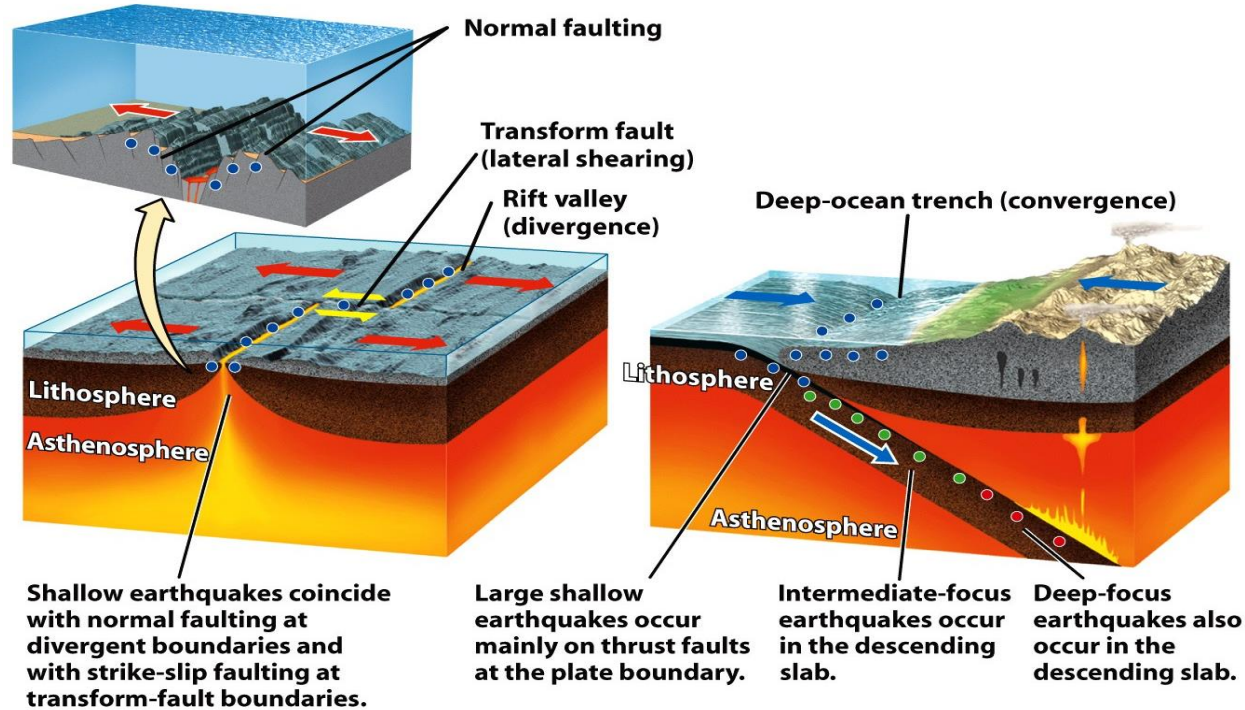
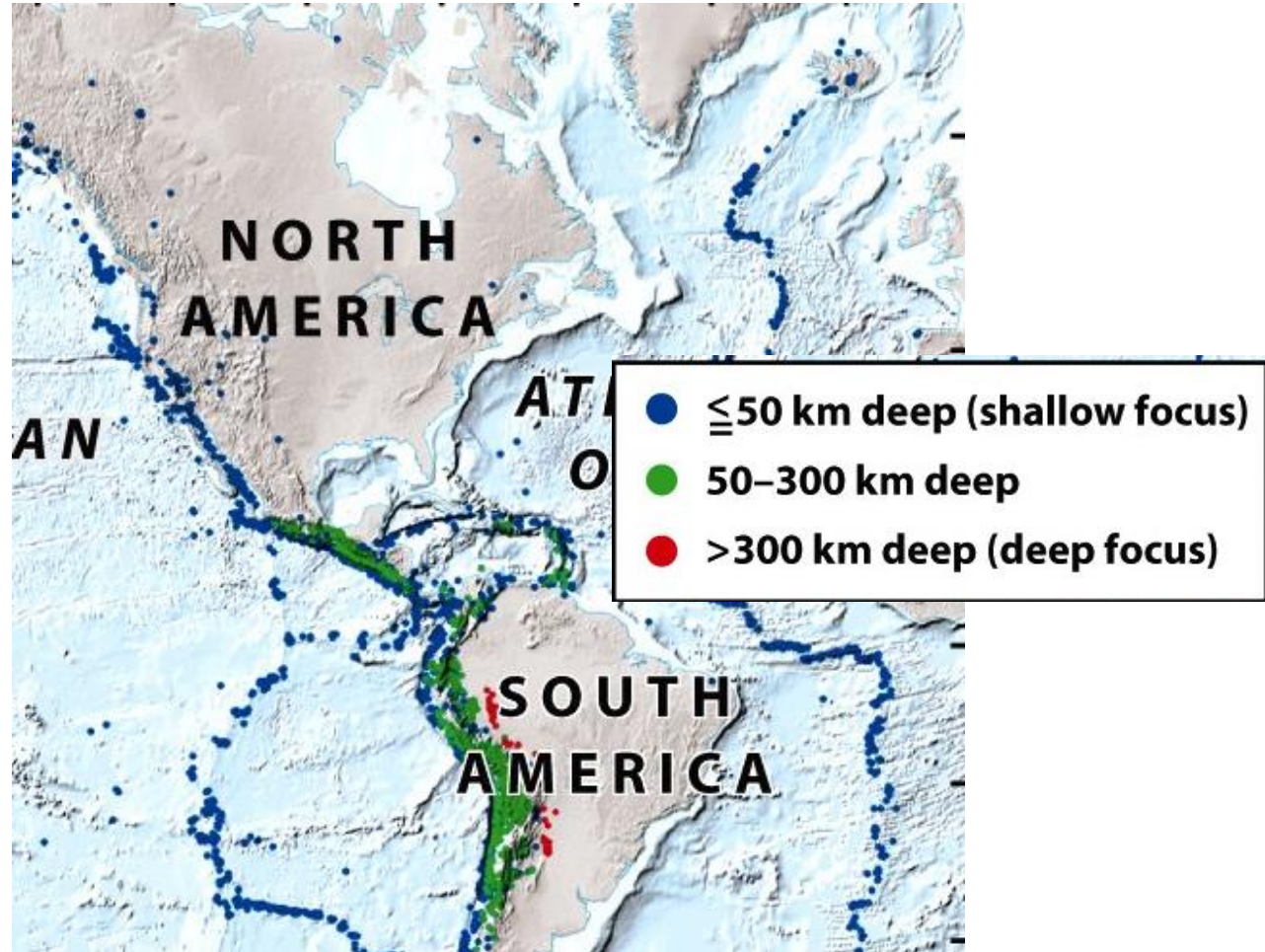
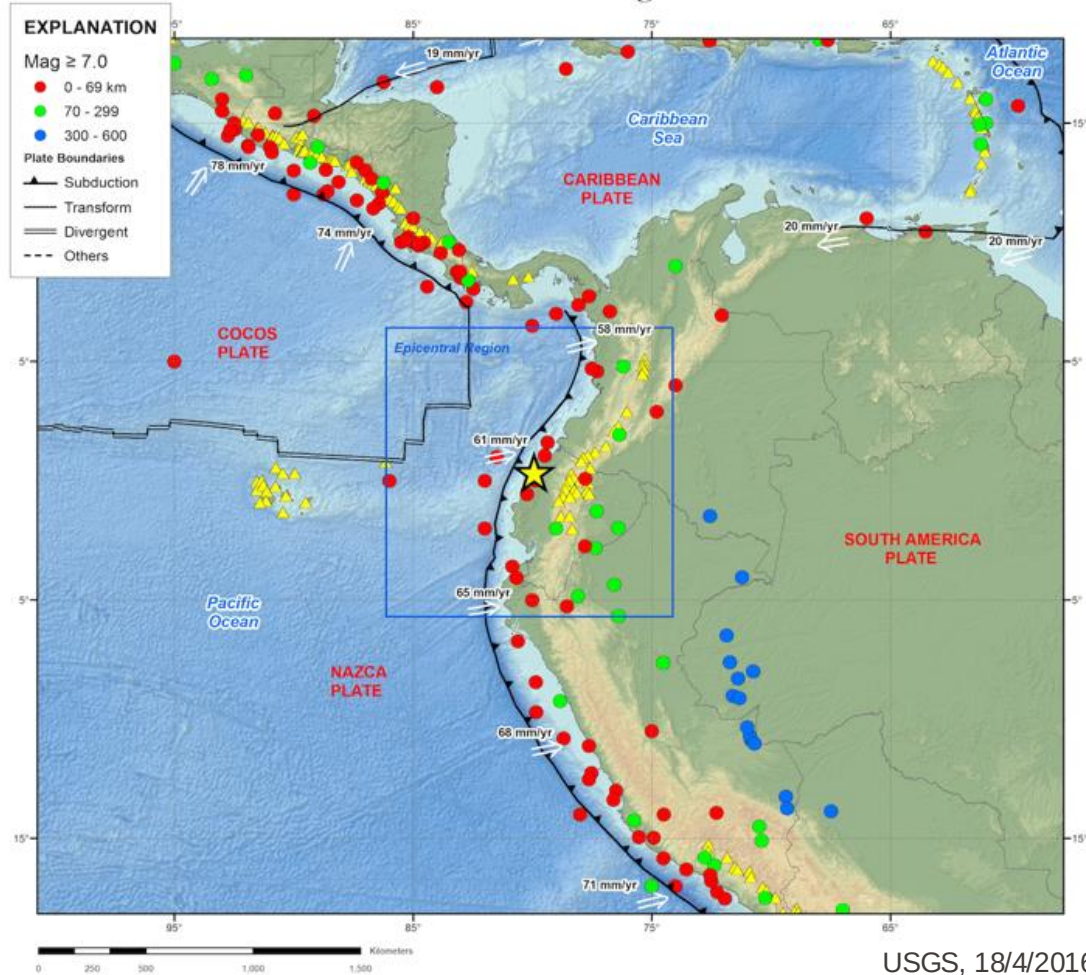
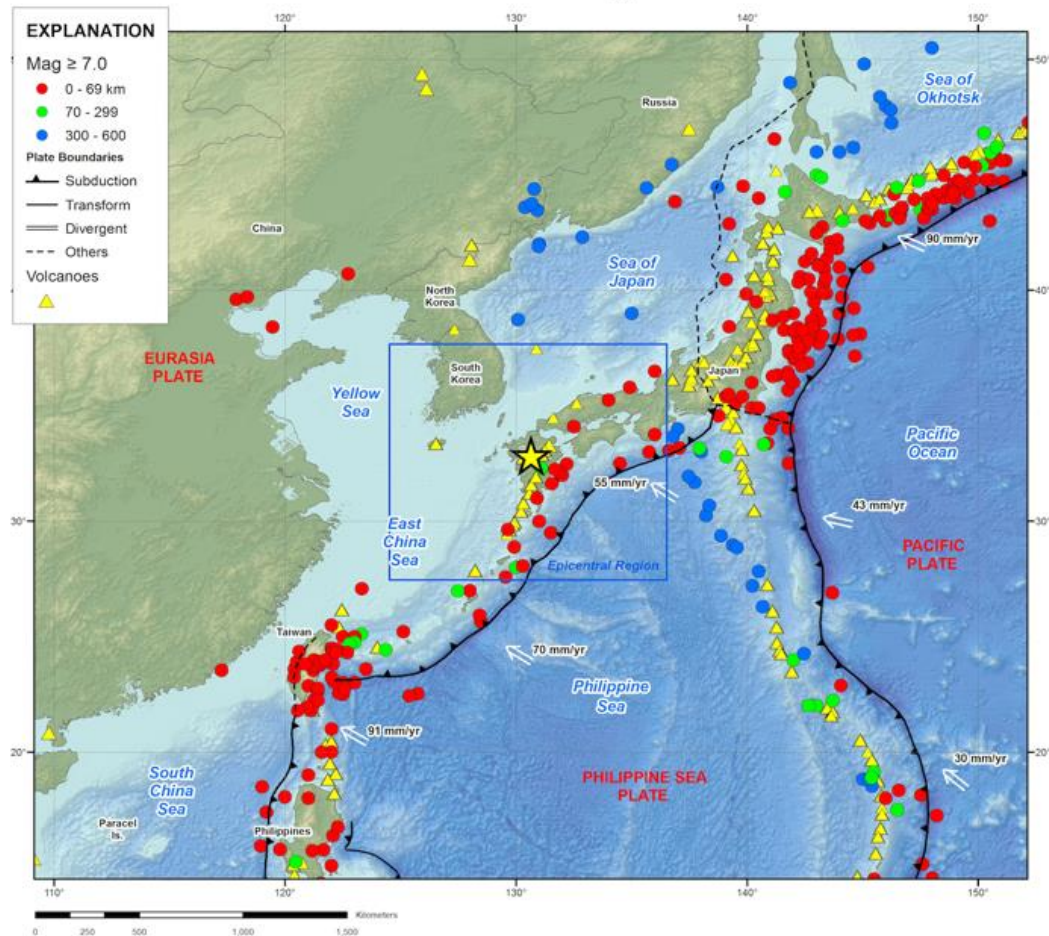


Figure 13.15b
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company



Tectonic Setting

Tectonic Setting



Séismes : faille San Andreas - faille transformant

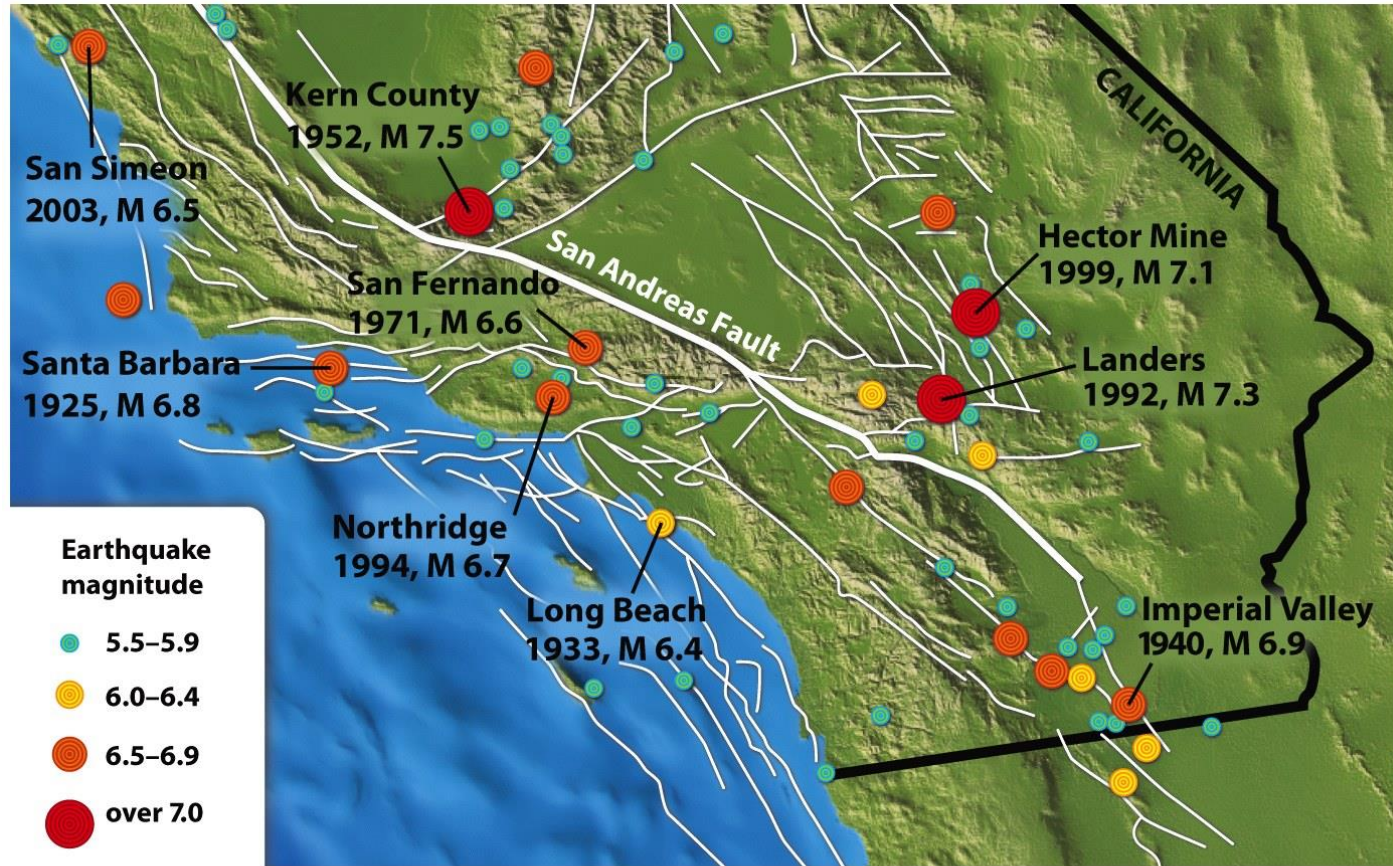
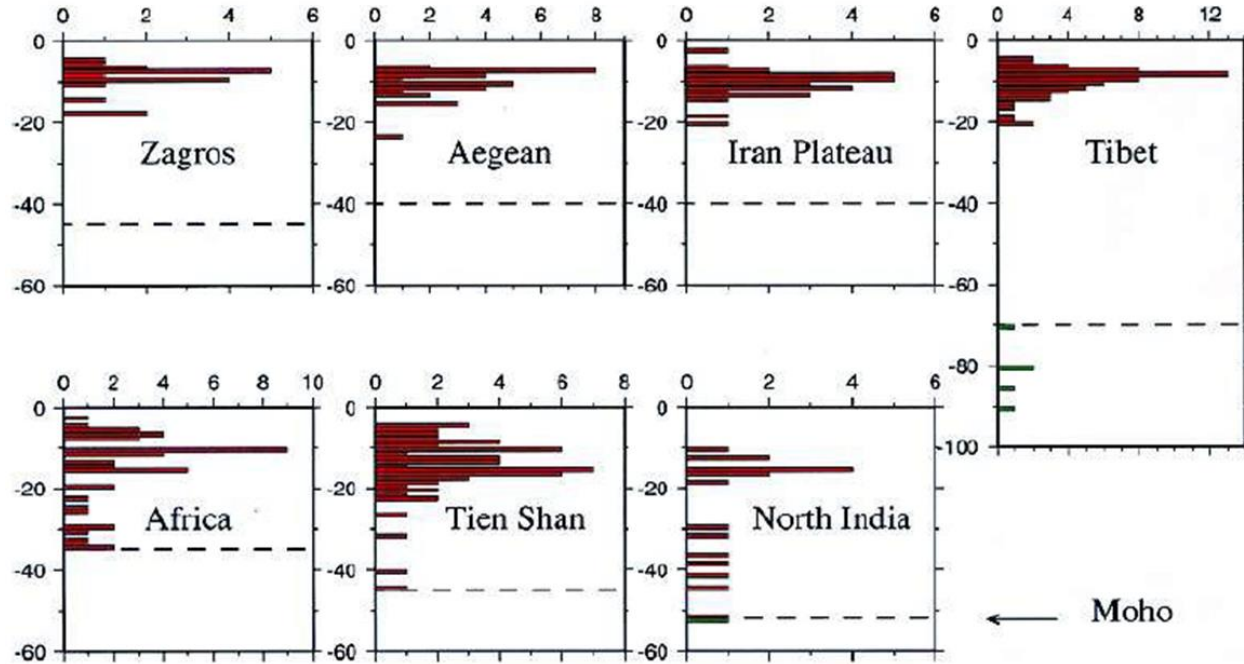


Figure 13.16
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

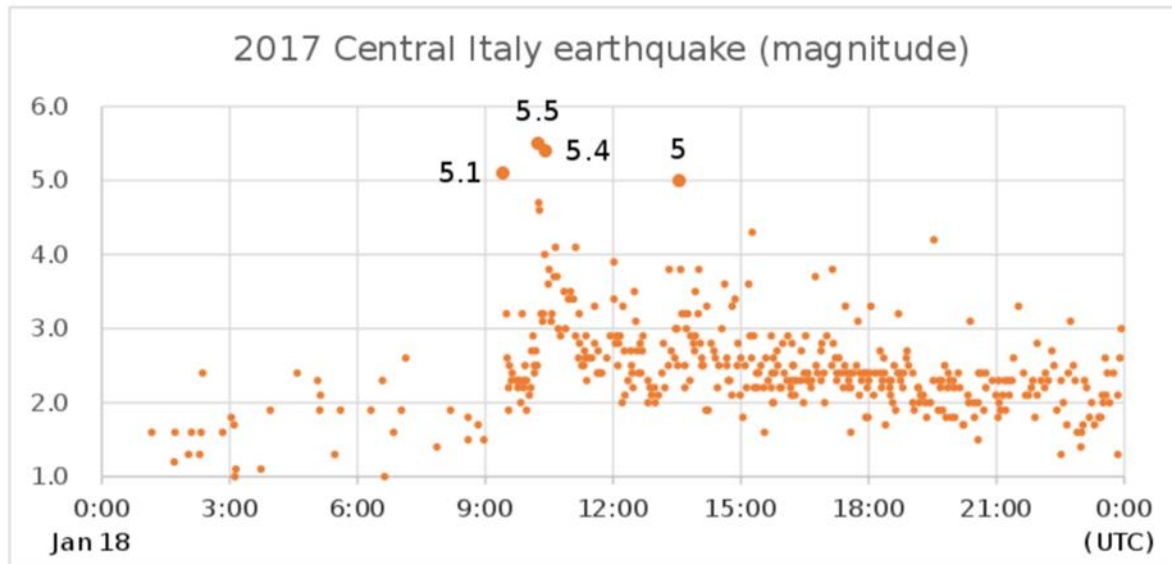
Répartition en profondeur des séismes



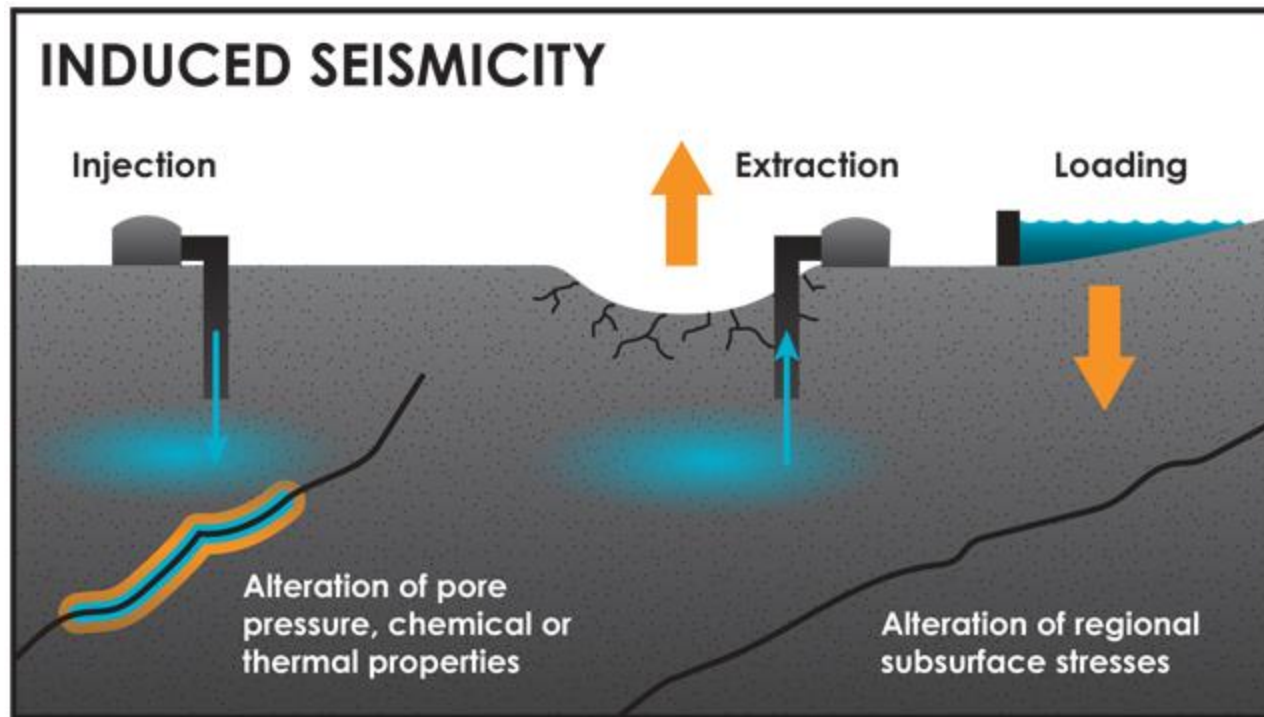


- ☒ Show map of Italy
- ☐ Show map of Abruzzo
- ☐ Show all

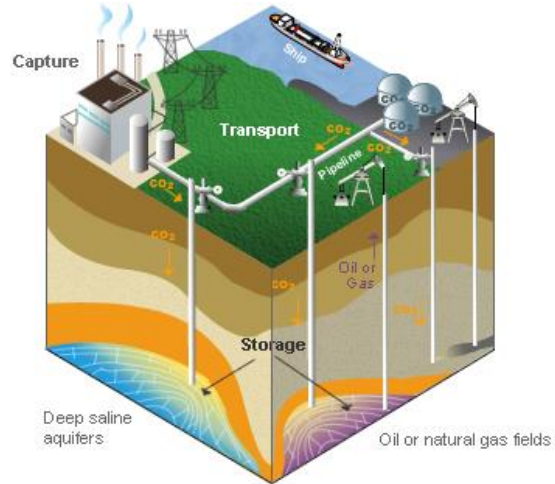
Date	18 January 2017
Magnitude	5.7 M_w
Depth	7.0 km (4.3 mi)
Areas affected	Italy
Max. intensity	VIII (<i>Severe</i>) ^[1]
Casualties	34 deaths



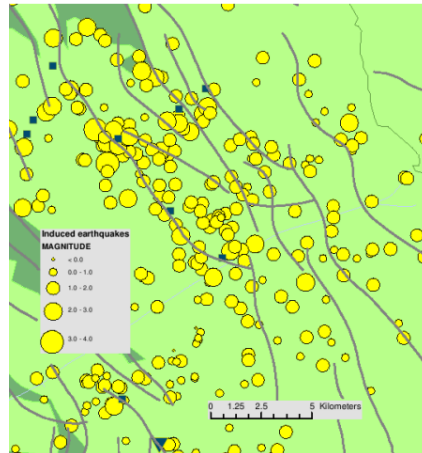
Magnitude of January 2017 earthquakes



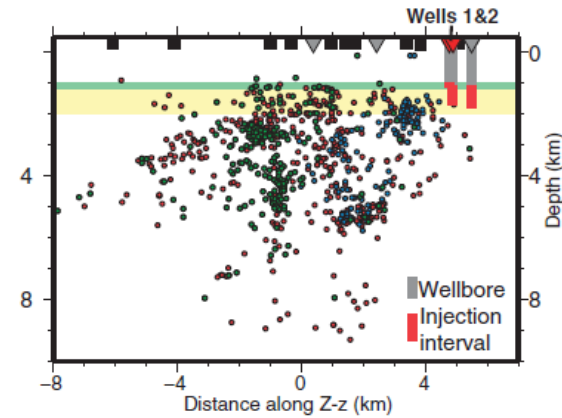
Co2 sequestration



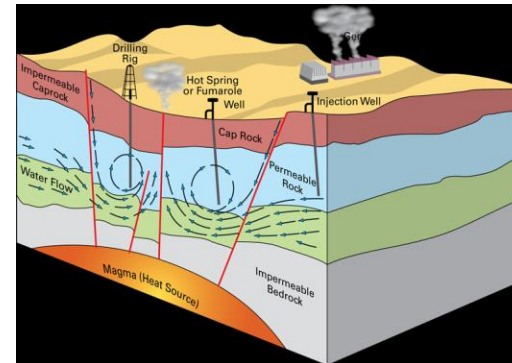
Oil extraction



Fracking (, USA, 2011)



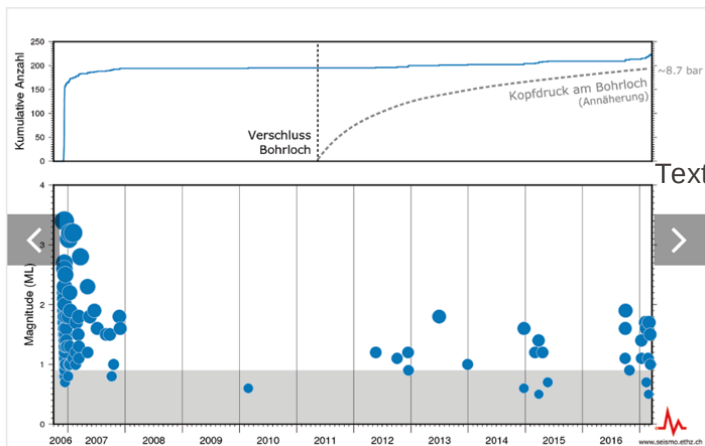
Geothermal energy



Magnitude 3.4 (Basel)
3.5 (St. Gallen)

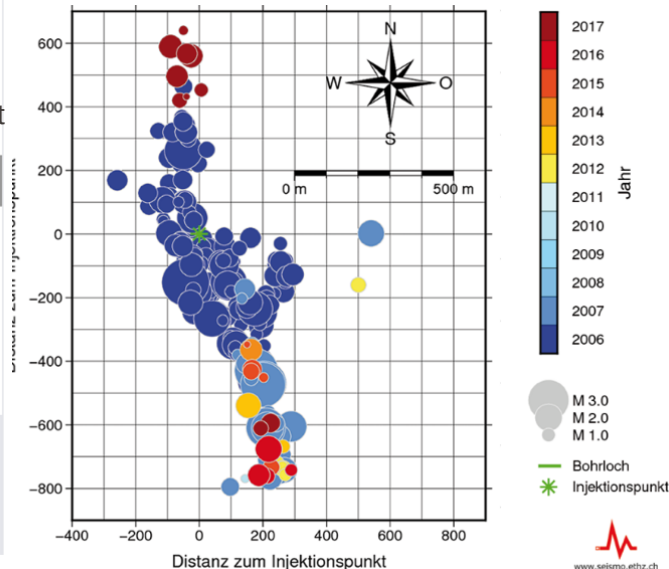
Map view of quakes (from above)

The sequence of seismic events. Shown here are all earthquakes since December 2006 with a magnitude higher than roughly 0.5 (ML)



Chronological sequence

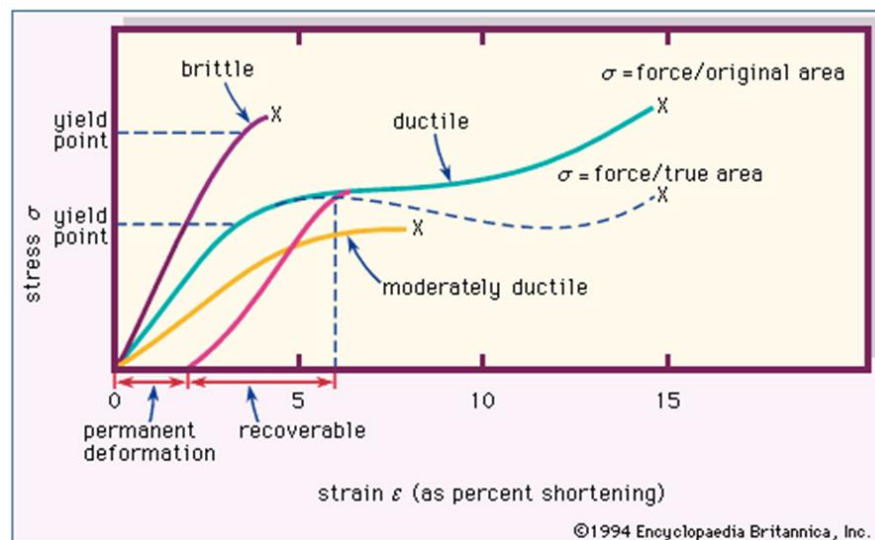
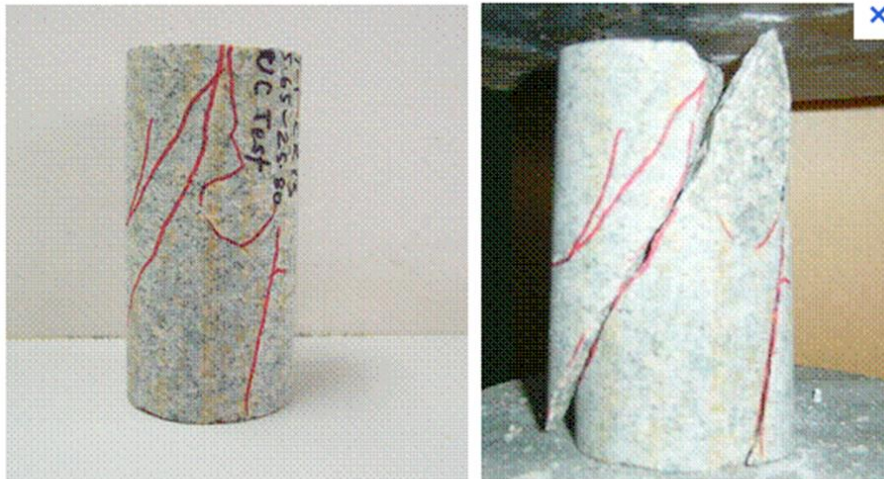
Earthquakes occurring in the immediate vicinity of the Basel 1 borehole. The grey area indicates the automatic detection threshold of the SED's seismic network.



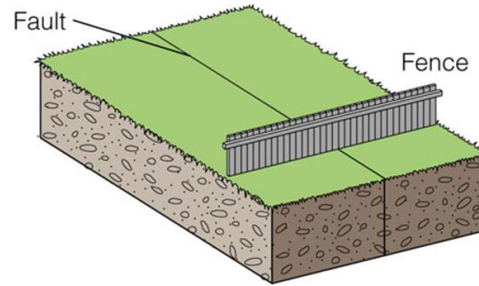
Mécanique des tremblements de terre



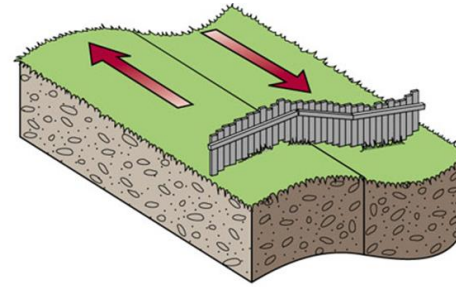
- Comment pouvons mieux comprendre les tremblements de terres?
 - Terrain
 - Mécanique des roches
 - Séismologie



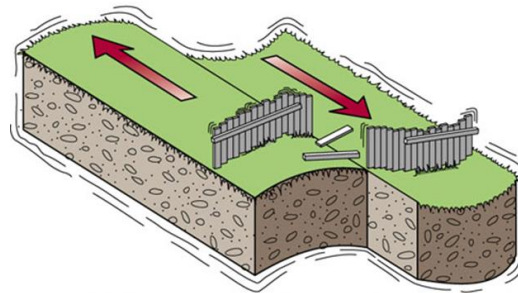
Théorie du rebond élastique



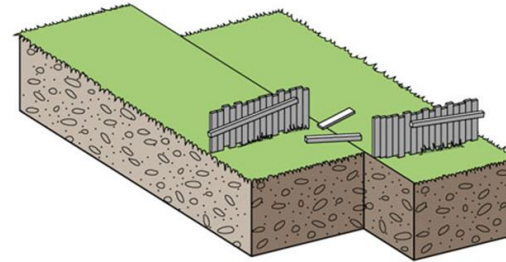
(a) Original position



(b) Deformation

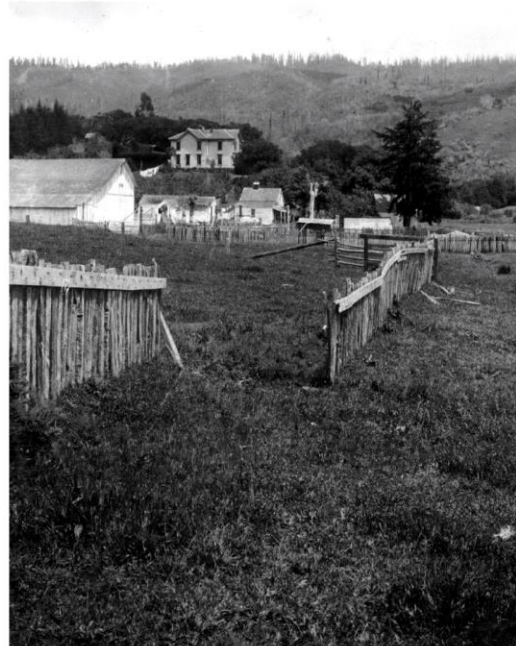


(c) Rupture and release of energy



(d) Rocks rebound to original undeformed shape

Théorie du rebond élastique



A fence built across the San Andreas fault near Bolinas, California, is offset by nearly 4 m after the great San Francisco earthquake of 1906.

Figure 13.3 part 2
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

Stick-slip

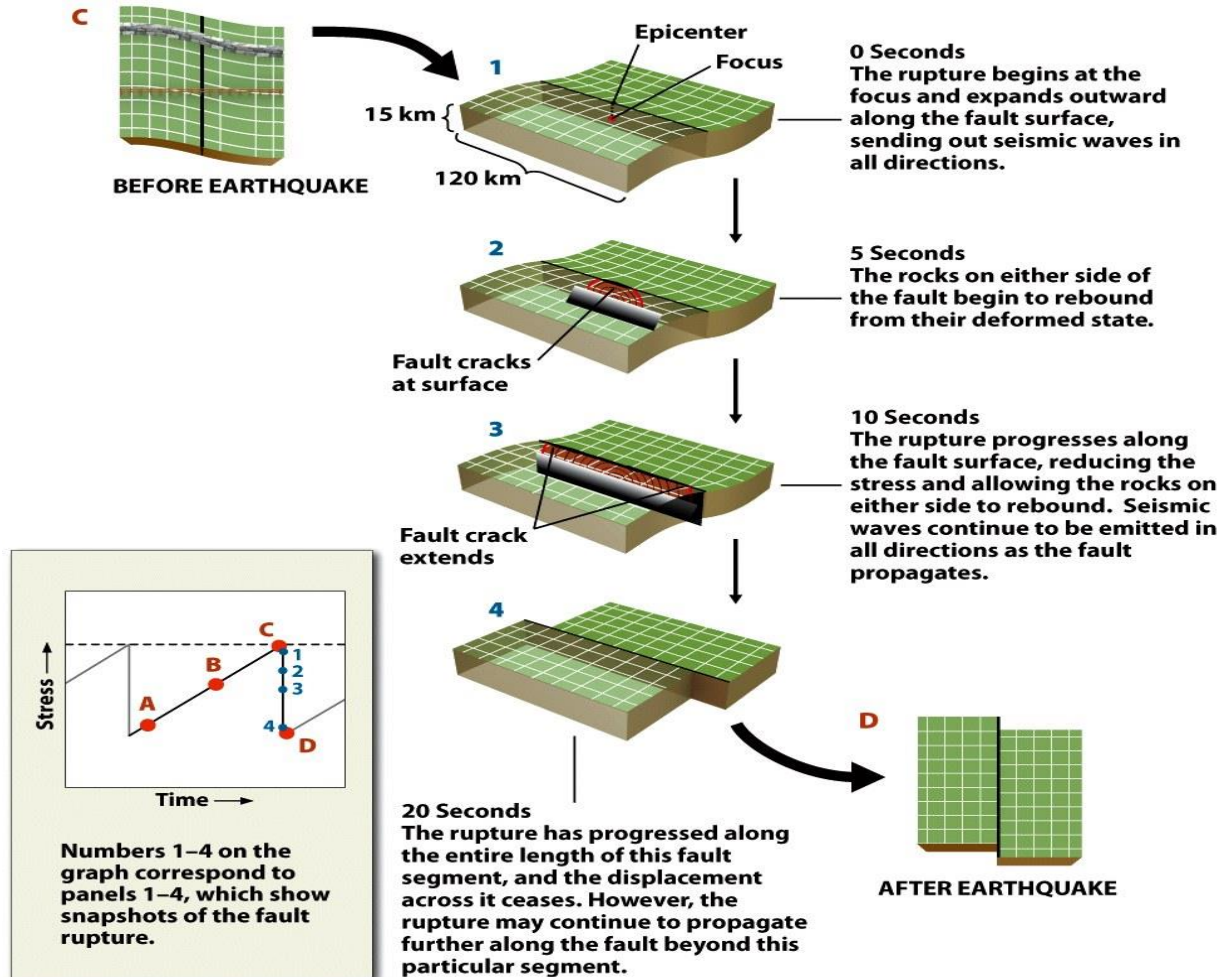


Figure 13.5
Understanding Earth, Sixth Edition
 © 2010 W. H. Freeman and Company

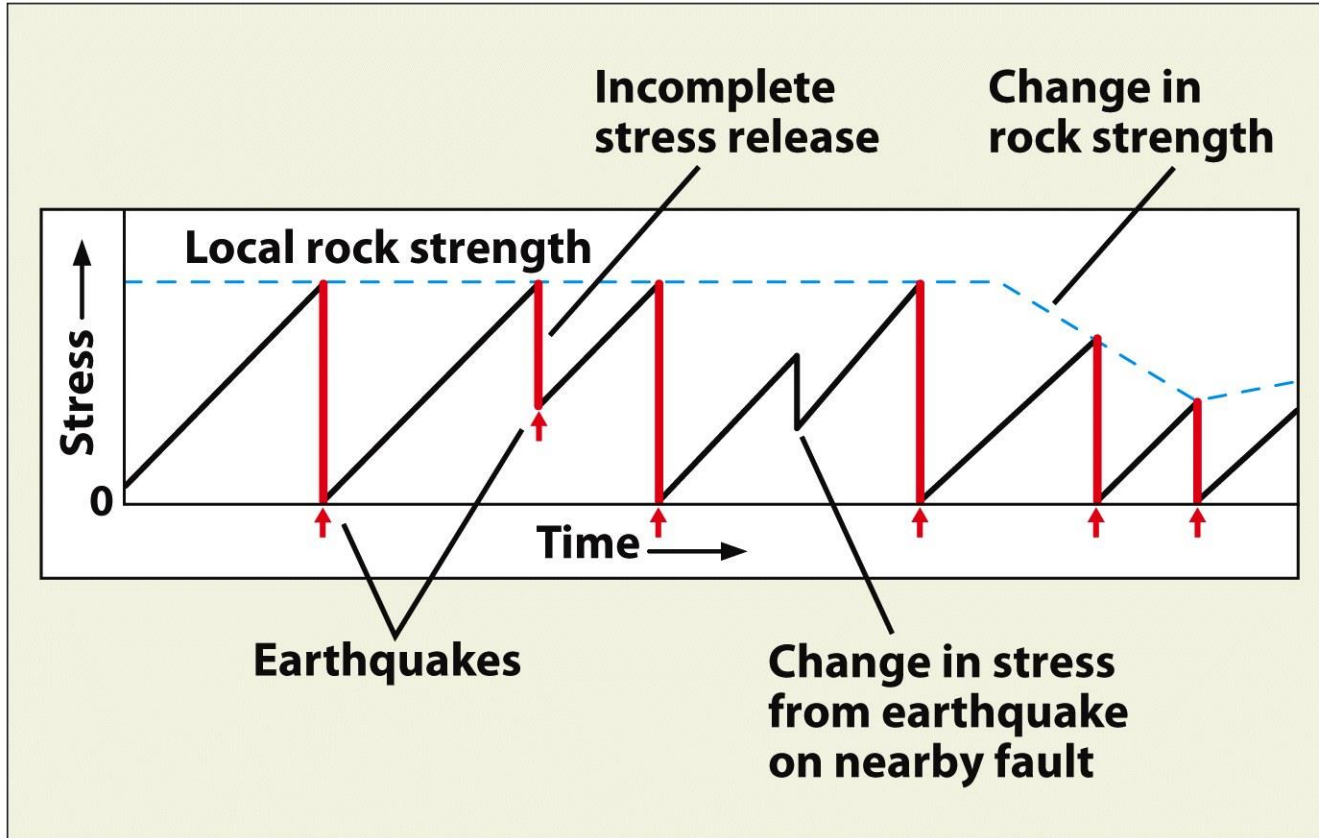
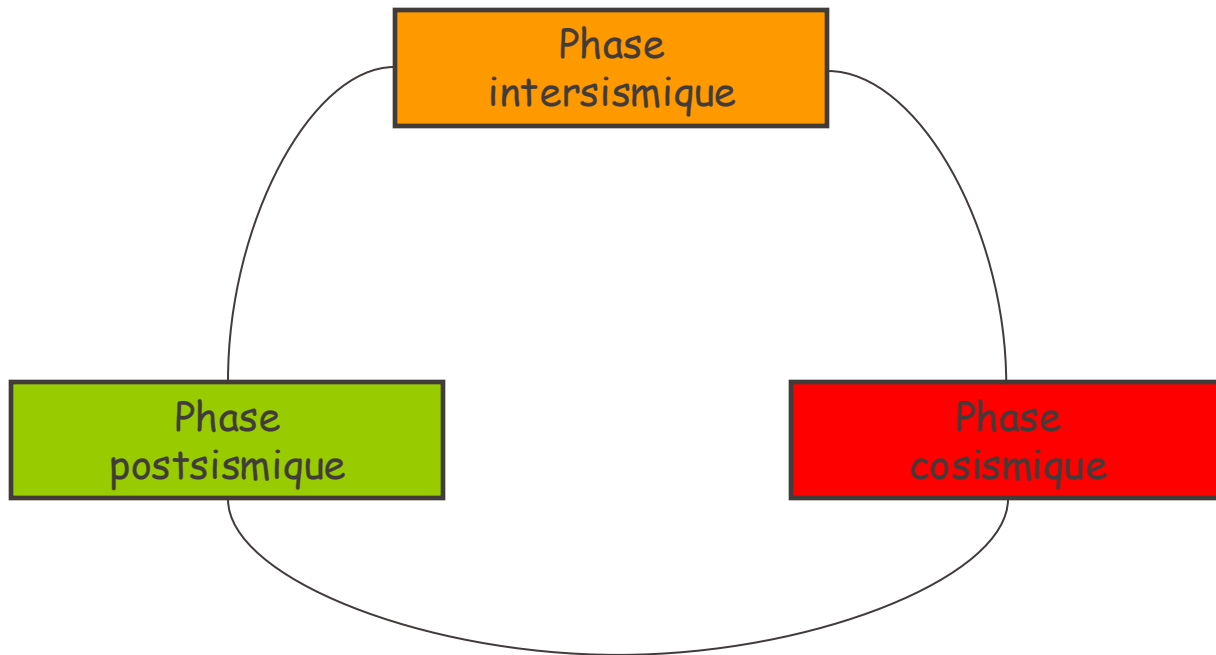
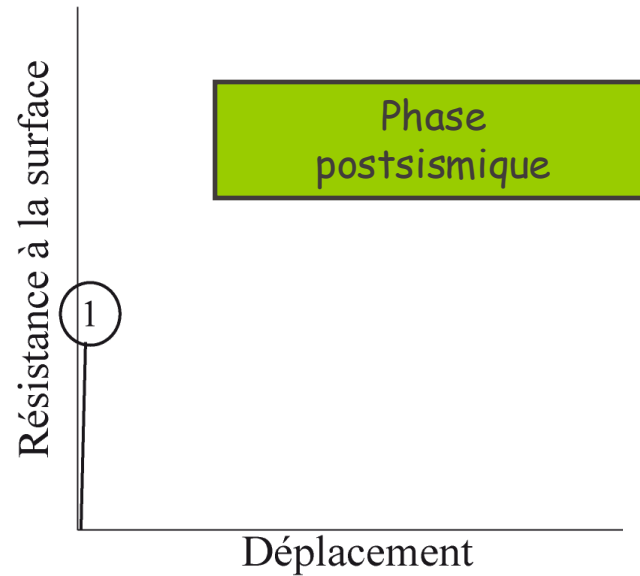
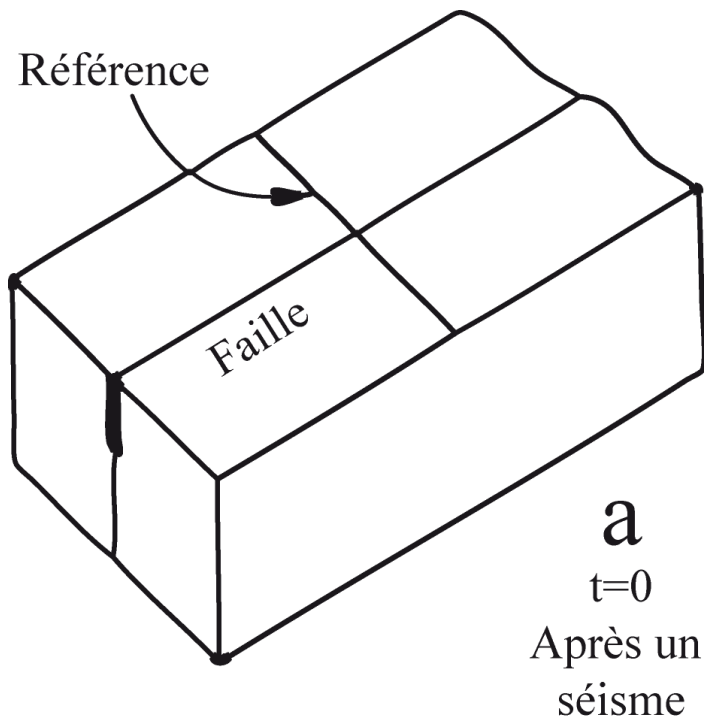


Figure 13.4
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

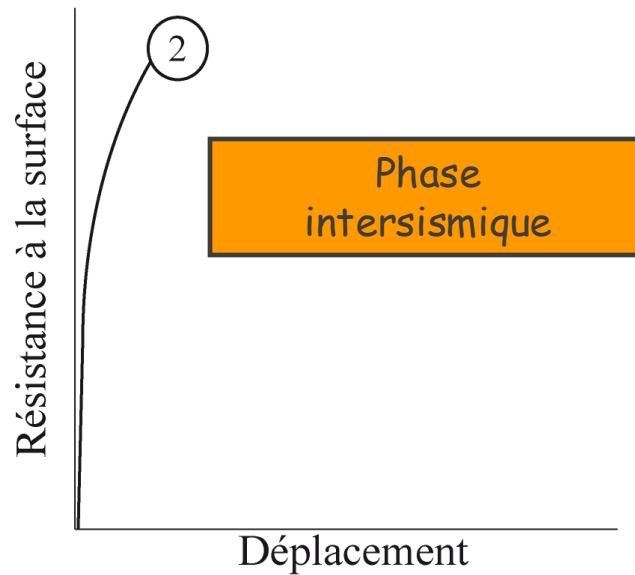
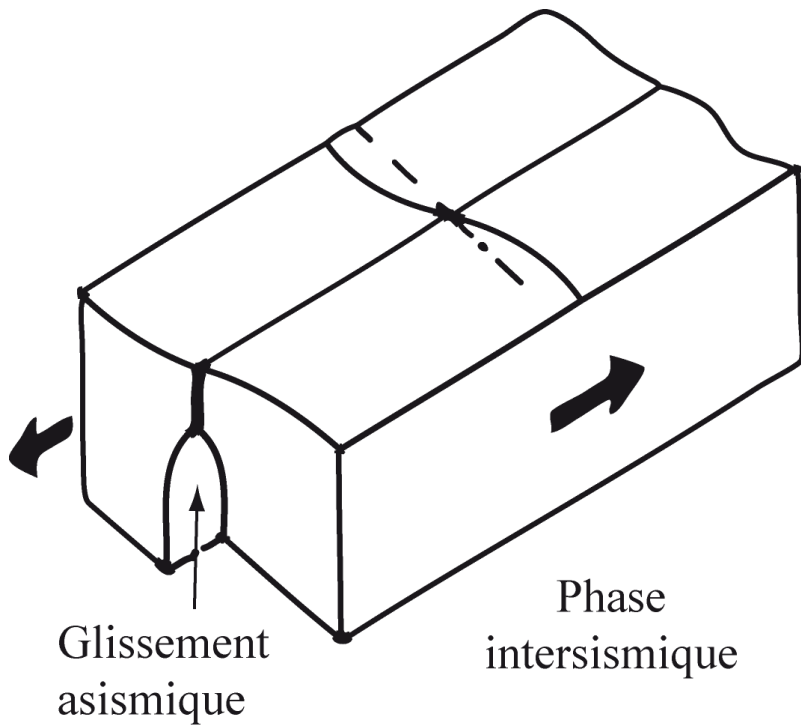
Trois phases du cycle sismique:



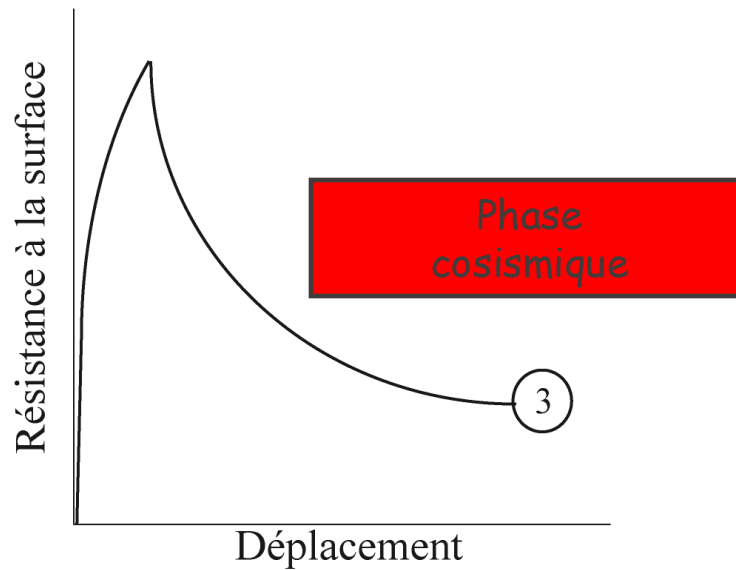
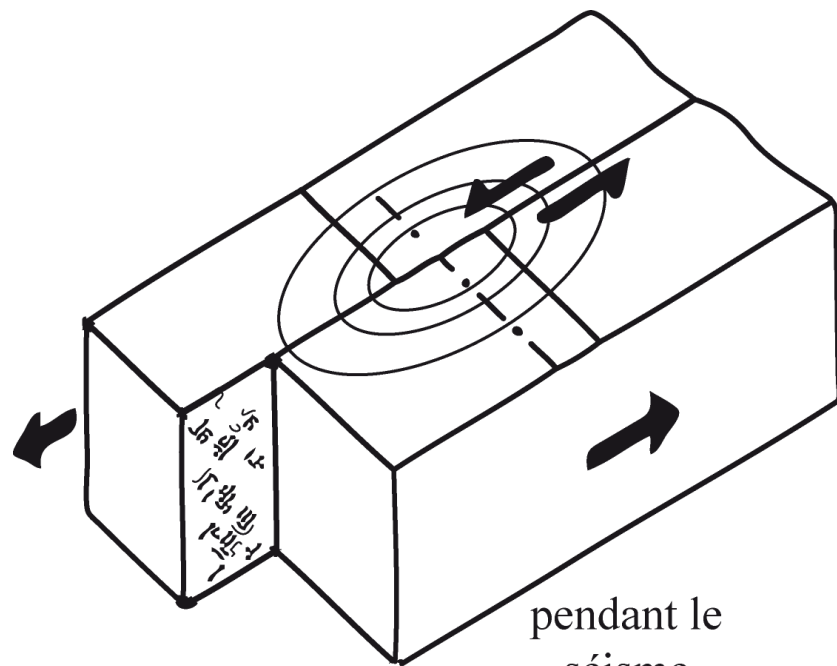
Trois phases du cycle sismique:



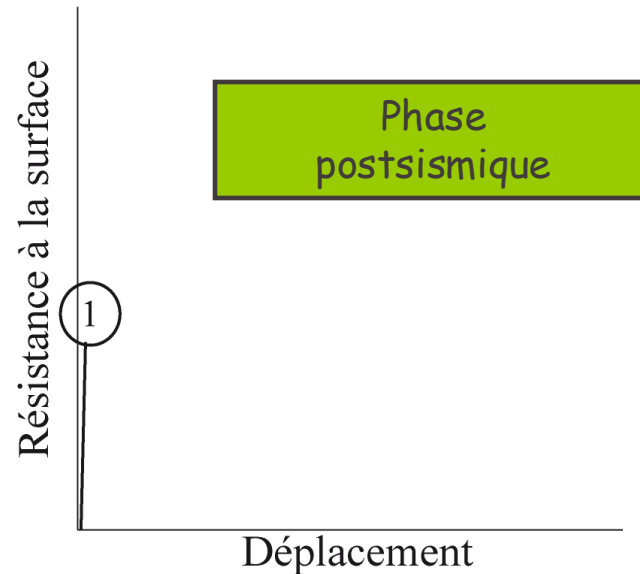
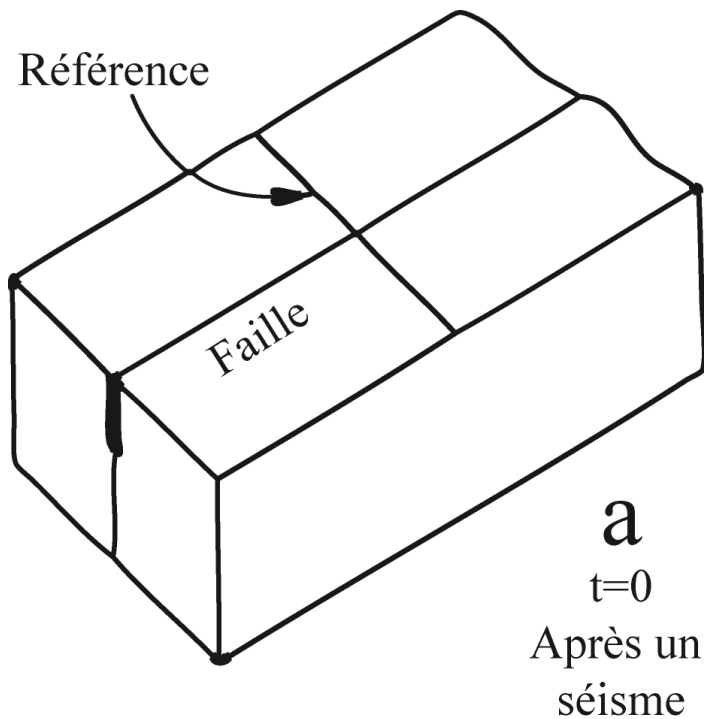
Trois phases du cycle sismique:



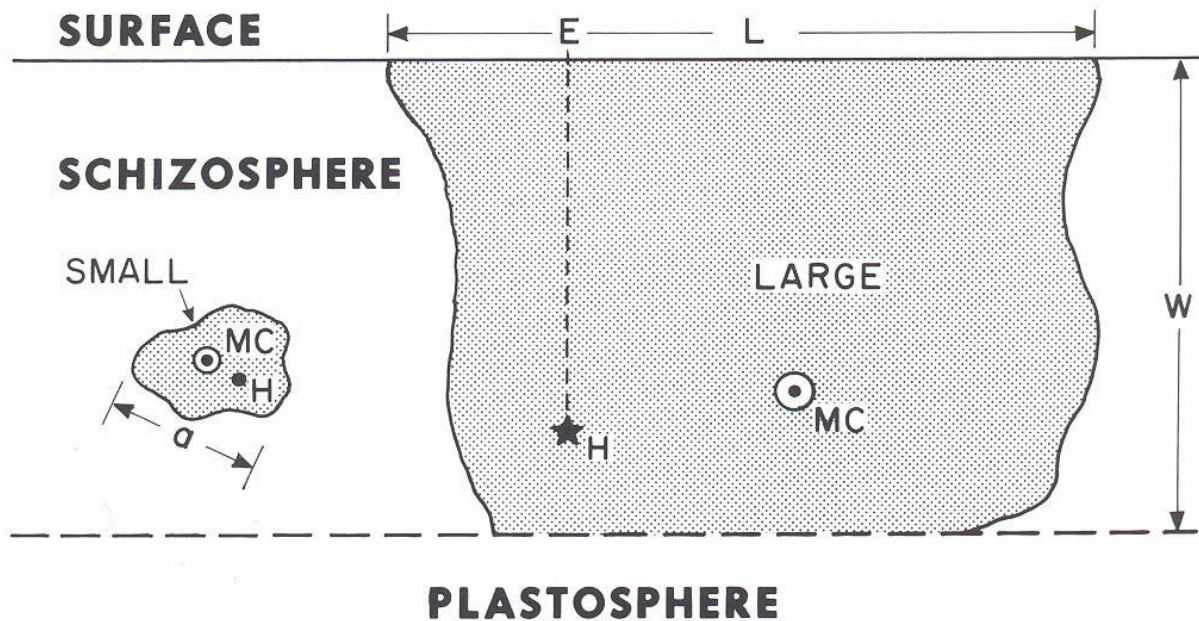
Trois phases du cycle sismique:



Trois phases du cycle sismique:

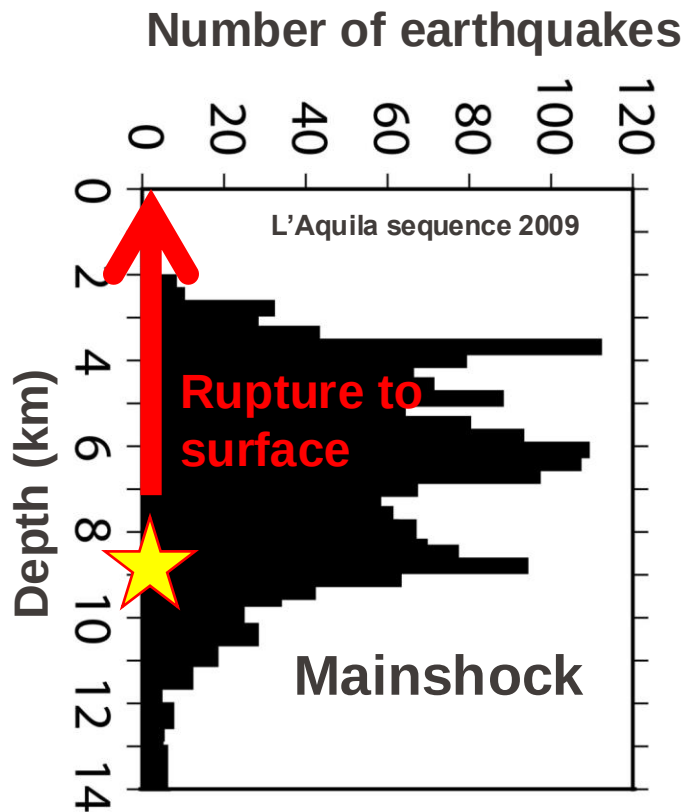


La rupture nucléé en profondeur...



E = Epicentre H = hypocentre
MC = moment centroid L = rupture length
W = depth of the brittle crust

...Mais peut ce propager surface si assez énergétique



Surface rupture of M7.3
Chi-Chi earthquake,
Taiwan (1999)





SPRING-SLIDER BLOCK MODEL

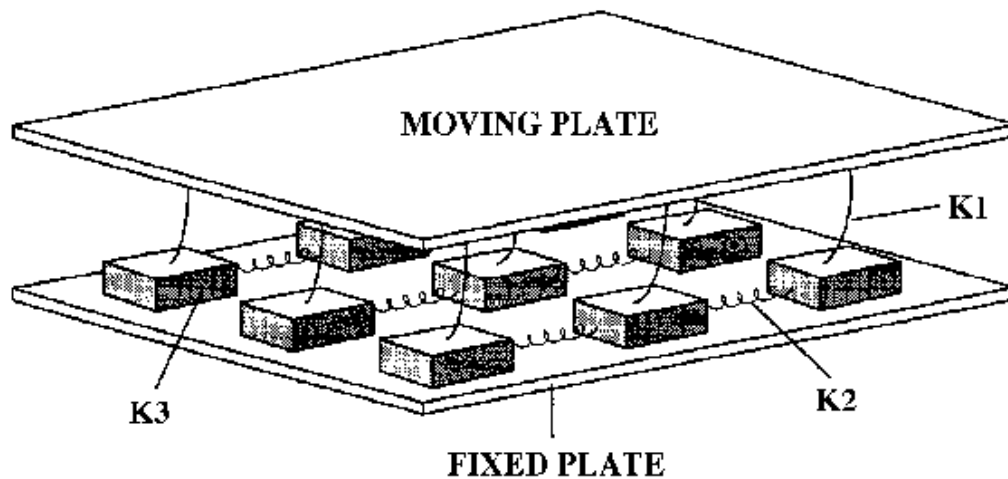
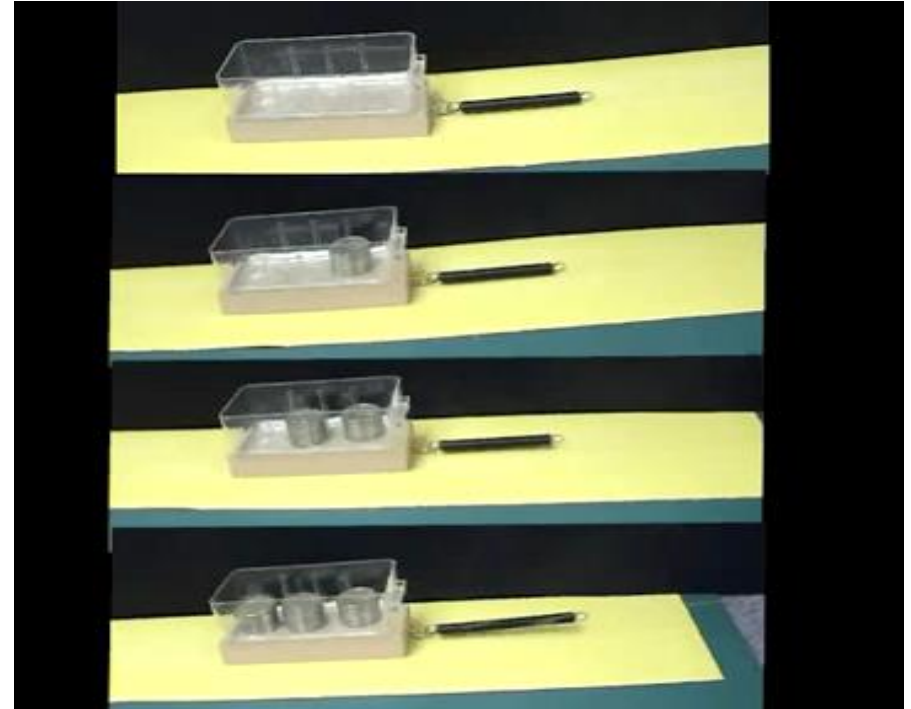


FIGURE 7

Paramètres qui contrôlent la nucléation d'un séisme



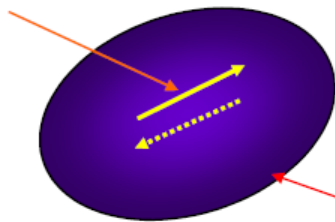
- Propriétés élastiques autour de la faille
- Contrainte normale, pression de fluide
- Propriétés frictionnelles de la faille
- Géométrie de la fracture



Moment de magnitude



Glissement D

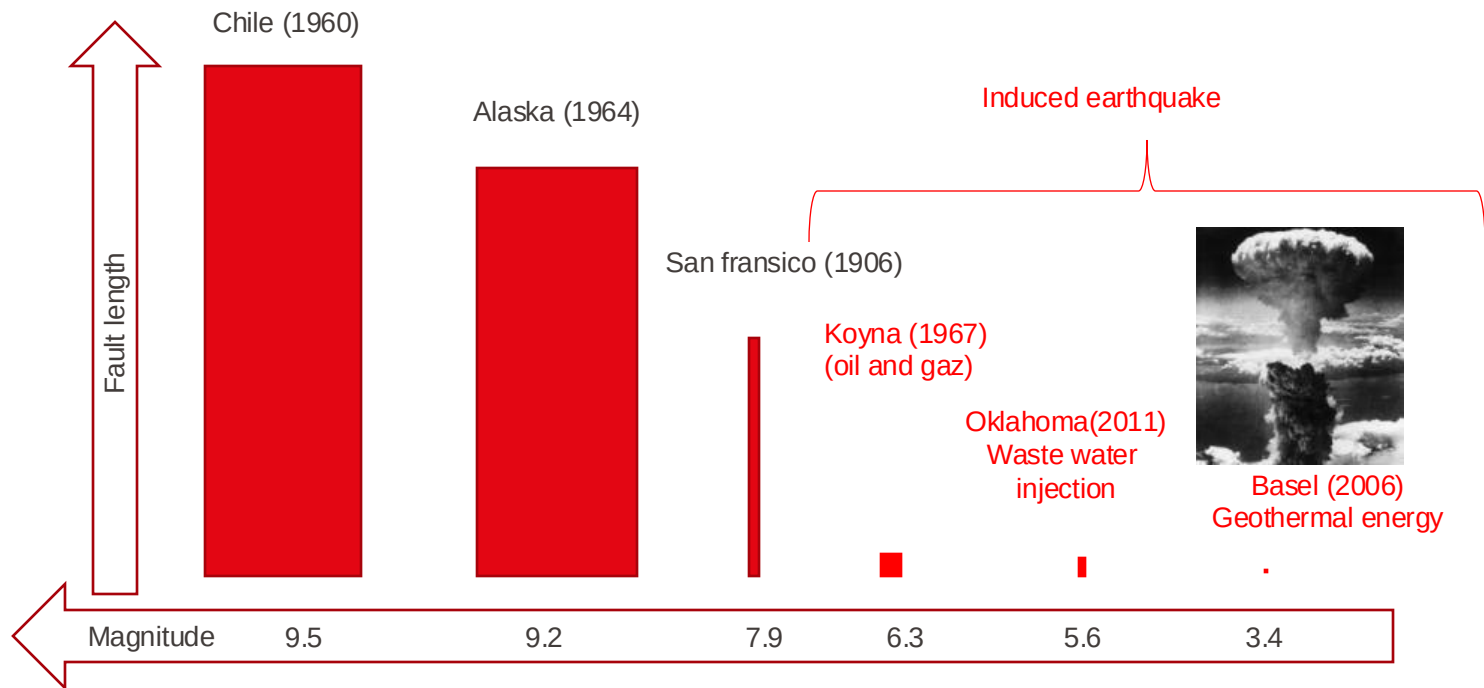


Surface de la faille S

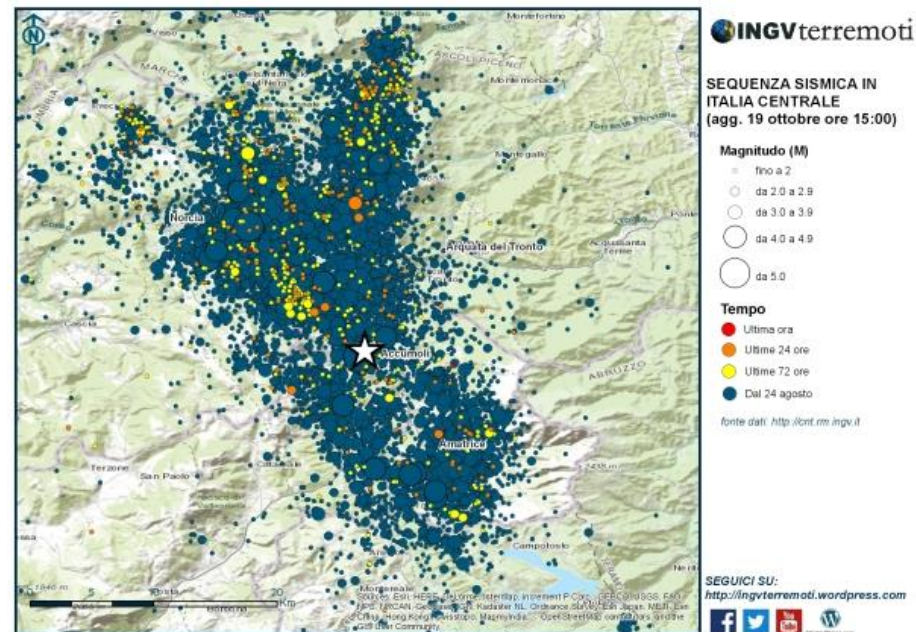
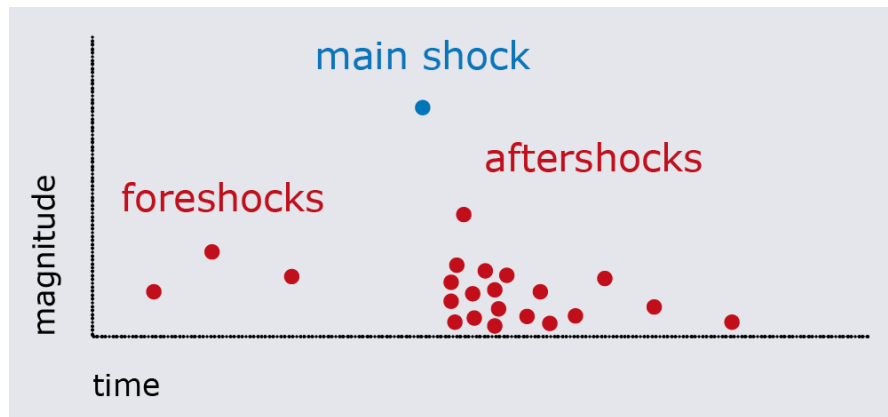
$$M_o = \mu D S$$

μ Constante élastique

Énergie radiée des tremblements de terre



La rupture principale provoque une modification du champ de contrainte régional, qui est accommodé par des ruptures secondaires, de moindre énergie, mais qui peuvent aggraver certains dégât

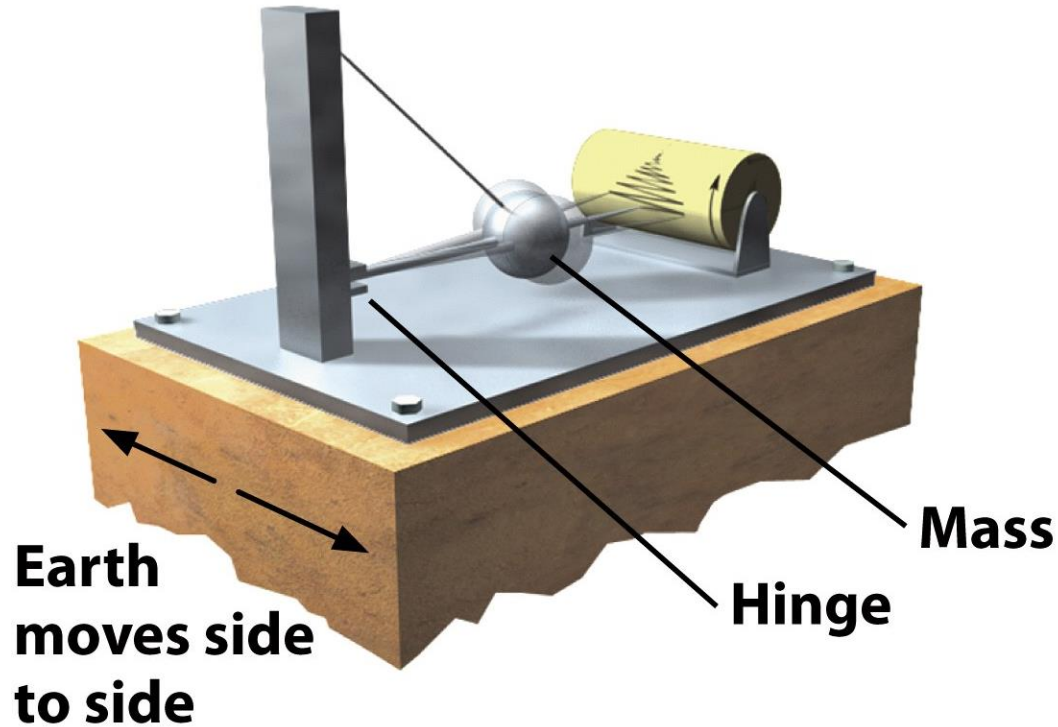


SEGUICI SU:
<http://ingvterremoti.wordpress.com>



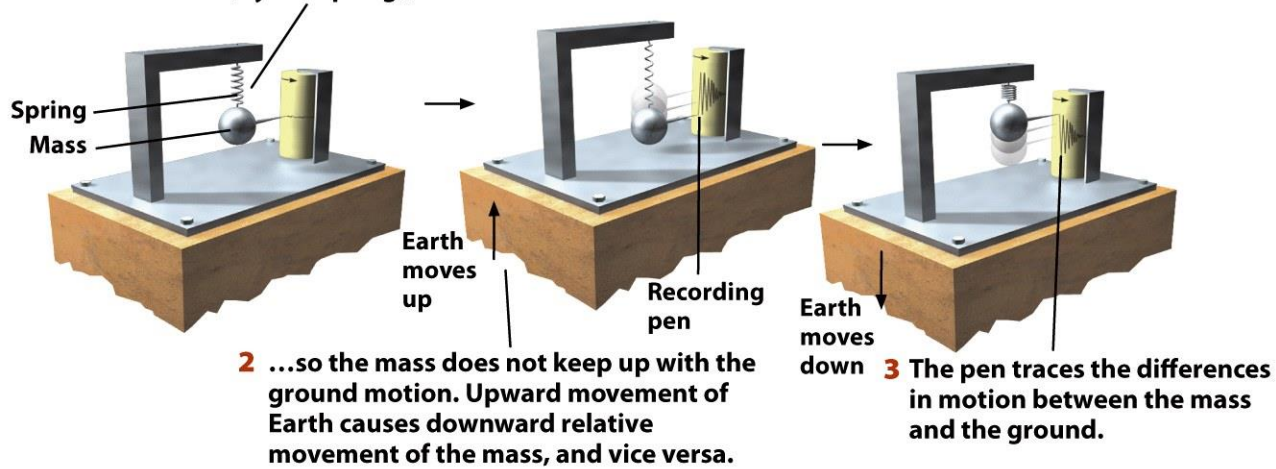
Comment étudier les séismes?

Séismogrammes : mesure du mouvement du sol



(a) Seismograph designed to detect vertical movement

1 The mass is loosely coupled to Earth (by the spring),...



(b) Seismograph designed to detect horizontal movement

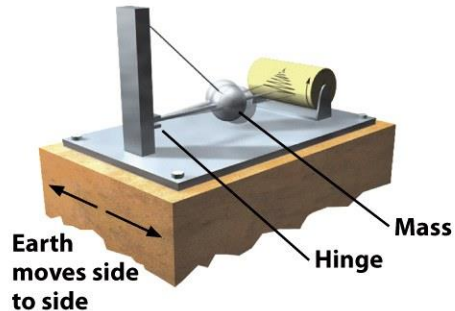
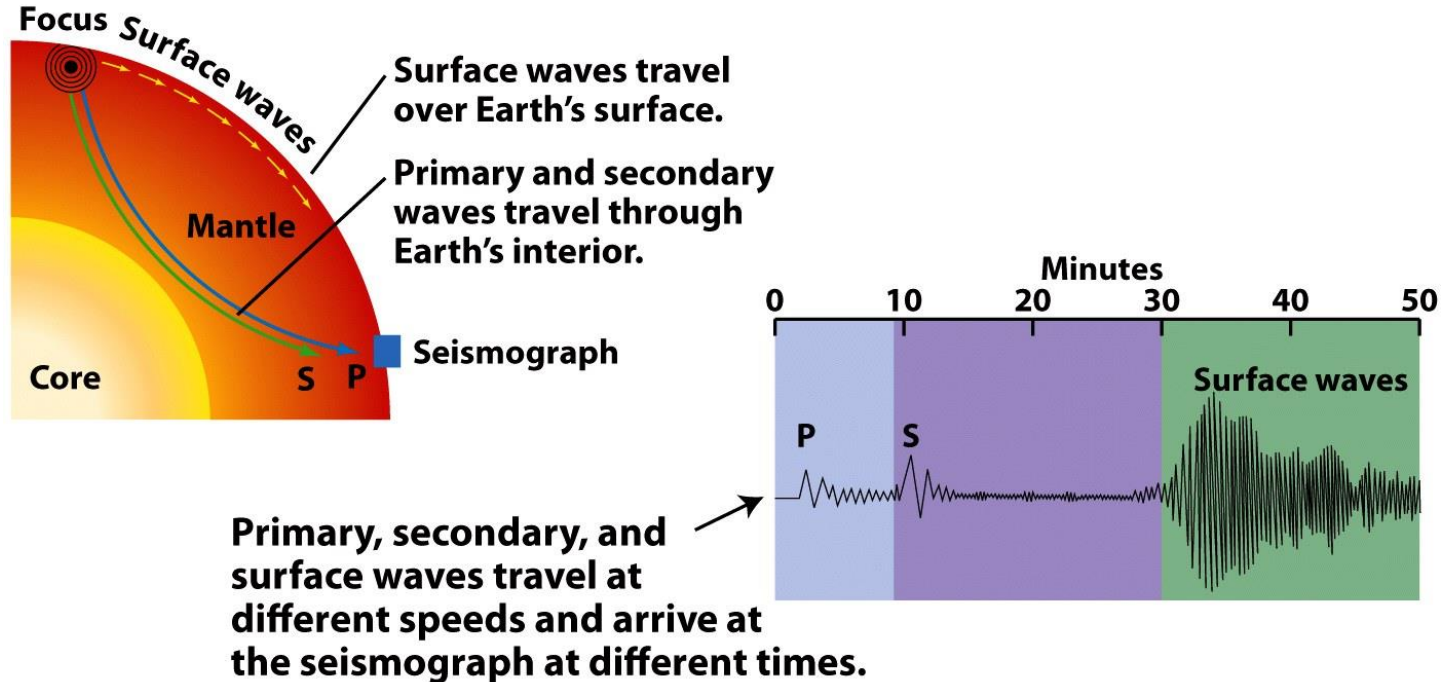


Figure 13.7
Understanding Earth, Sixth Edition
 © 2010 W. H. Freeman and Company

Ondes Sismiques

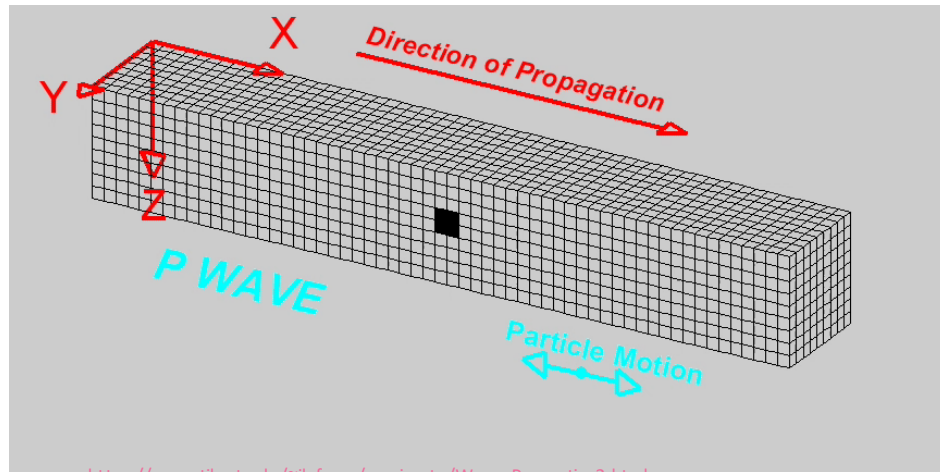
Seismic waves generated at an earthquake focus arrive at a seismograph far from the earthquake.



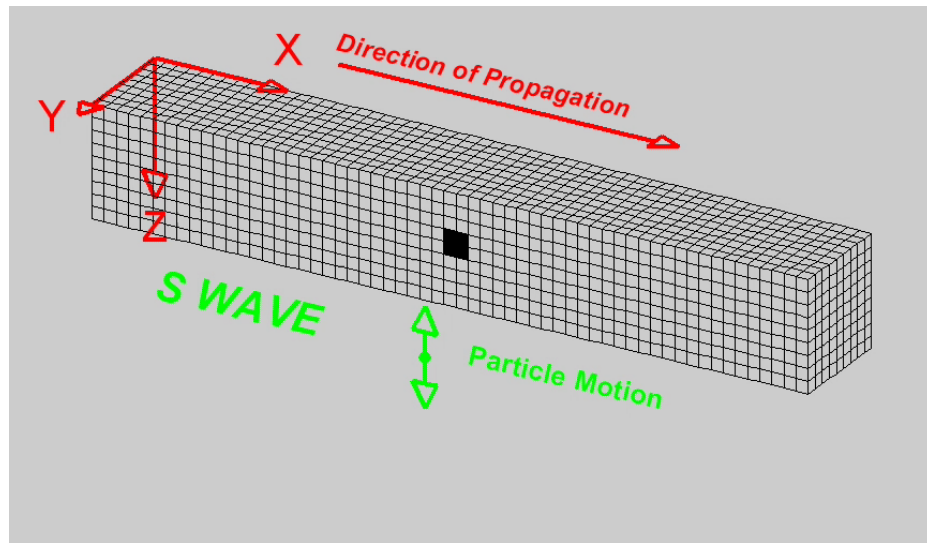


- Ondes P : Onde Primaire
(Onde compression)
- Onde S : Onde Secondaire
(Onde cisaillement)
- Onde de surface
(Onde Rayleigh and Love)

Onde P : compression



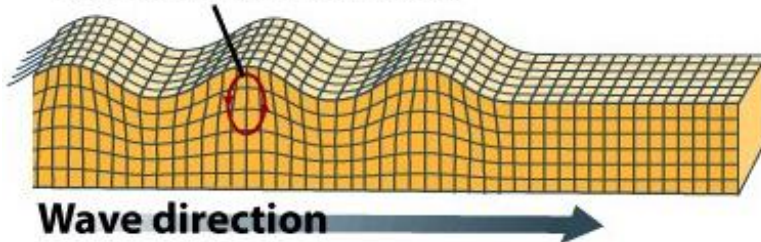
Onde S : cisaillement



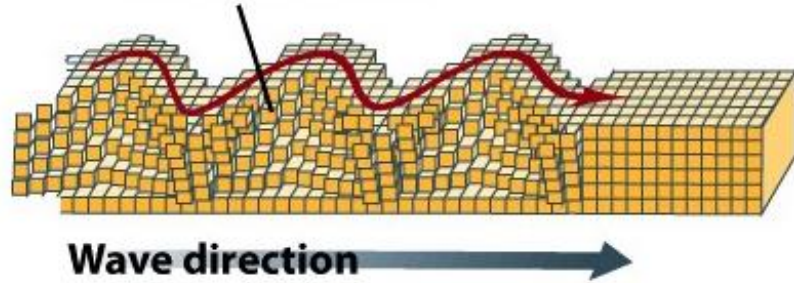
Surface-wave motion

Surface waves ripple across Earth's surface, where air above the surface allows free movement. There are two types of surface waves.

In one type, the ground surface moves in a rolling, elliptical motion that decreases with depth beneath the surface.

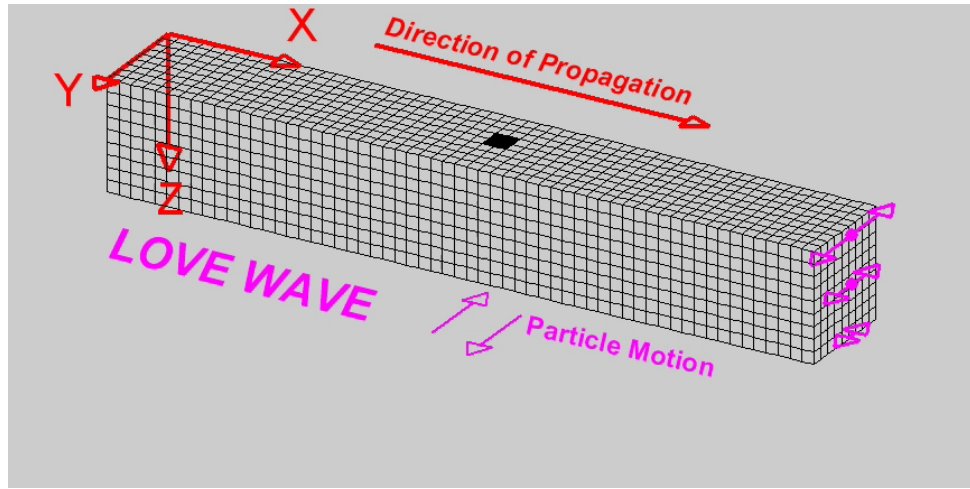


In the second type, the ground shakes sideways, with no vertical motion.

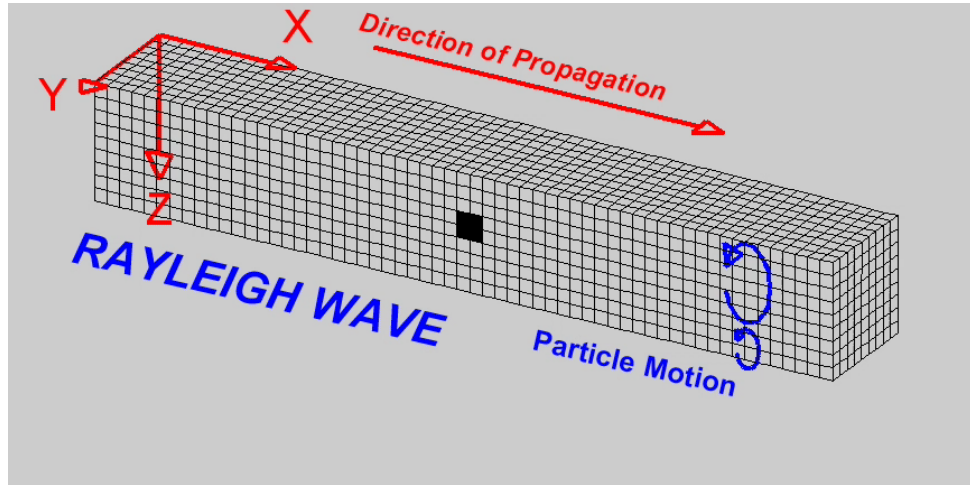


Ondes de surface :

- Onde de Love



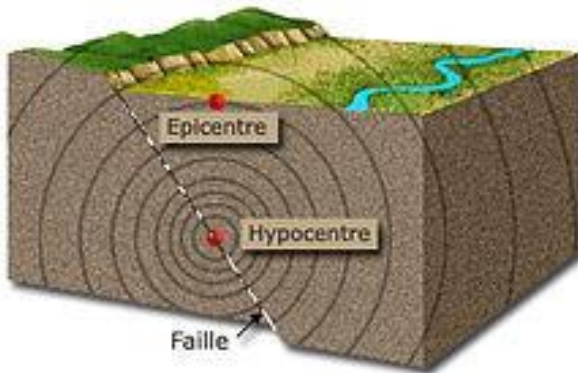
- Onde Rayleigh



Wave Type (and names)	Particle Motion	Typical Velocity	Other Characteristics
P, Compressional, Primary, Longitudinal	Alternating compressions ("pushes") and dilations ("pulls") which are directed in the same direction as the wave is propagating (along the ray path); and therefore, perpendicular to the wavefront.	$V_P \sim 5 - 7$ km/s in typical Earth's crust; > 8 km/s in Earth's mantle and core; ~ 1.5 km/s in water; ~ 0.3 km/s in air.	P motion travels fastest in materials, so the P-wave is the first-arriving energy on a seismogram. Generally smaller and higher frequency than the S and Surface-waves. P waves in a liquid or gas are pressure waves, including sound waves.
S, Shear, Secondary, Transverse	Alternating transverse motions (perpendicular to the direction of propagation, and the ray path); commonly approximately polarized such that particle motion is in vertical or horizontal planes.	$V_S \sim 3 - 4$ km/s in typical Earth's crust; > 4.5 km/s in Earth's mantle; $\sim 2.5-3.0$ km/s in (solid) inner core.	S-waves do not travel through fluids, so do not exist in Earth's outer core (inferred to be primarily liquid iron) or in air or water or molten rock (magma). S waves travel slower than P waves in a solid and, therefore, arrive after the P wave.
L, Love, Surface waves, Long waves	Transverse horizontal motion, perpendicular to the direction of propagation and generally parallel to the Earth's surface.	$V_L \sim 2.0 - 4.4$ km/s in the Earth depending on frequency of the propagating wave, and therefore the depth of penetration of the waves. In general, the Love waves travel slightly faster than the Rayleigh waves.	Love waves exist because of the Earth's surface. They are largest at the surface and decrease in amplitude with depth. Love waves are dispersive, that is, the wave velocity is dependent on frequency, generally with low frequencies propagating at higher velocity. Depth of penetration of the Love waves is also dependent on frequency, with lower frequencies penetrating to greater depth.
R, Rayleigh, Surface waves, Long waves, Ground roll	Motion is both in the direction of propagation and perpendicular (in a vertical plane), and "phased" so that the motion is generally elliptical – either prograde or retrograde.	$V_R \sim 2.0 - 4.2$ km/s in the Earth depending on frequency of the propagating wave, and therefore the depth of penetration of the waves.	Rayleigh waves are also dispersive and the amplitudes generally decrease with depth in the Earth. Appearance and particle motion are similar to water waves. Depth of penetration of the Rayleigh waves is also dependent on frequency, with lower frequencies penetrating to greater depth.

Hypocentre, épïcentre des séismes

- L'hypocentre ou foyer est le point de départ de la rupture sismique sur une faille. C'est à ce point que sont émis les trains d'ondes sismiques captées ensuite à leurs arrivées par les sismomètres. C'est donc un point essentiel dont la localisation, qui comprend aussi la profondeur à l'intérieur de la terre, est très importante dans l'analyse des tremblements de terre. La projection de l'hypocentre sur la surface terrestre s'appelle l'épicentre.
- Lors d'un séisme, on désigne par épïcentre la projection à la surface de la Terre de l'hypocentre (ou foyer), le point où prend naissance la rupture (le préfixe grec epi signifie « au-dessus »). Le travail consistant à déterminer la position de l'épicentre du séisme s'appelle localisation.

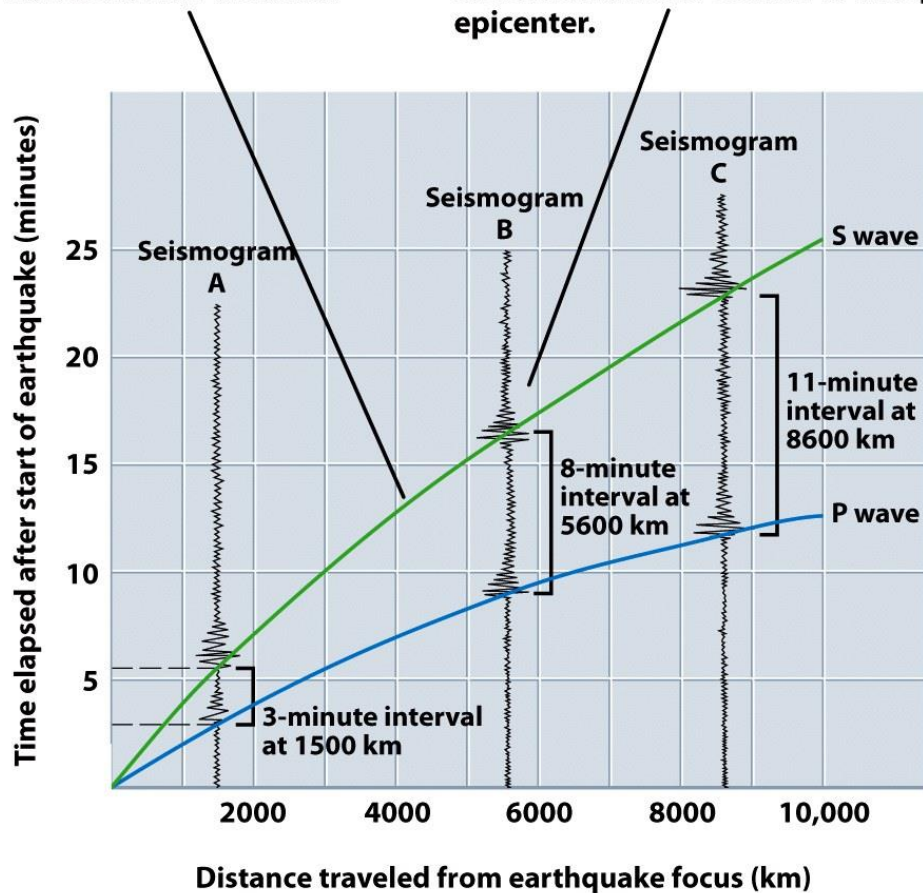




- Temps d'arrivée des ondes P et S sur au moins 3 séismographes
- Graphiques distance versus temps depuis le choc

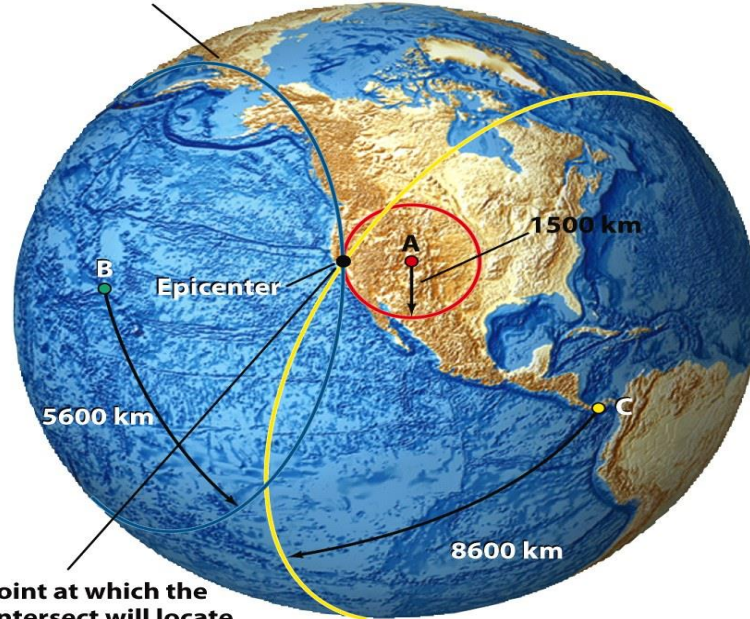
2 Because P waves travel almost twice as fast as S waves, the interval between their arrival times increases with distance.

3 By matching the observed interval to known travel-time curves, a seismologist can determine the distance from the station to the quake epicenter.



Épicentre des séismes

- 4** If the seismologist then draws a circle with a radius calculated from the travel-time curves around each seismographic station,...



- 5** ...the point at which the circles intersect will locate the earthquake's epicenter.

Figure 13.9 part 3
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company



- Échelle Mercalli – empirique
- Magnitude de Richter (local) - Énergie
- Moment de magnitude
- Intensité de la radiation

**TABLE 13.1** *Modified Mercalli Intensity Scale*

Intensity Level	Description
I	Not felt.
II	Felt only by a few people at rest. Suspended objects may swing.
III	Felt noticeably indoors. Many people do not recognize it as an earthquake. Parked cars may rock slightly.
IV	Felt indoors by many, outdoors by few. Dishes, windows, doors rattle. Parked cars rock noticeably.
V	Felt by most; many awakened. Some dishes, windows broken. Unstable objects overturned.
VI	Felt by all. Some heavy furniture moves. Damage slight.
VII	Slight to moderate damage in well-built structures; considerable damage in poorly built structures; some chimneys broken.
VIII	Considerable damage in well-built structures. Damage great in poorly built structures. Fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls.
IX	Damage great in well-built structures, with partial collapse. Buildings shifted off foundations.
X	Some well-built wooden structures destroyed; most masonry and frame structures destroyed. Rails bent.
XI	Few if any masonry structures remain standing. Bridges destroyed. Rails bent greatly.
XII	Damage total. Lines of sight and level are distorted. Objects thrown into the air.

Echelle de Mercalli, New Madrid earthquake, Dec. 16, 1811

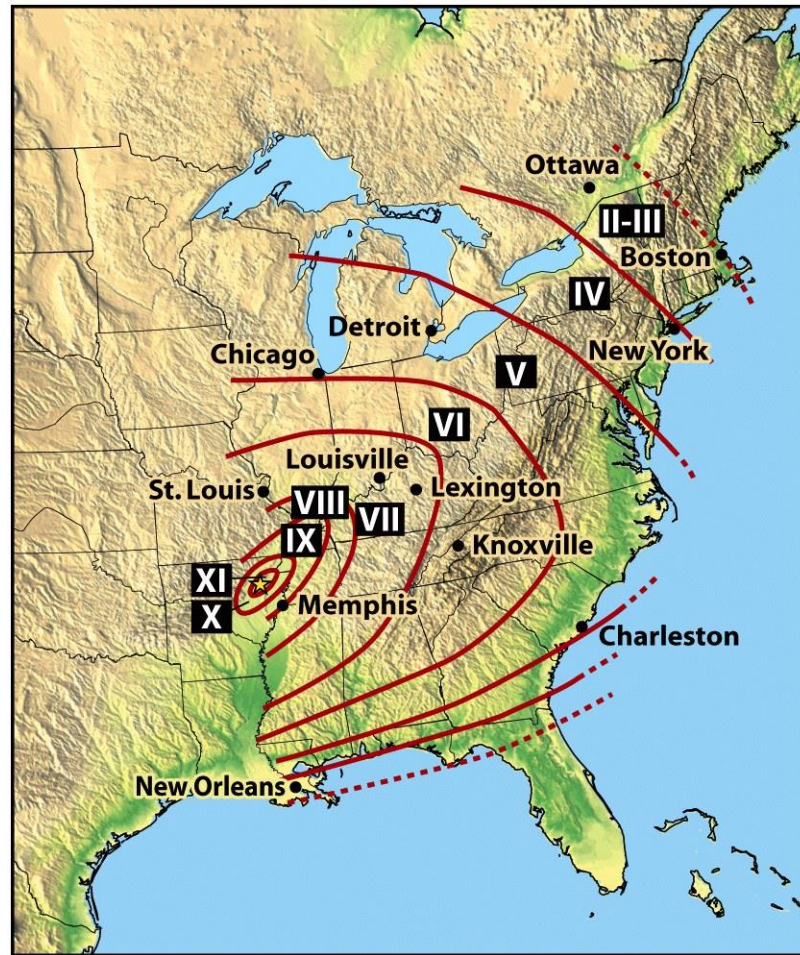


Figure 13.12
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

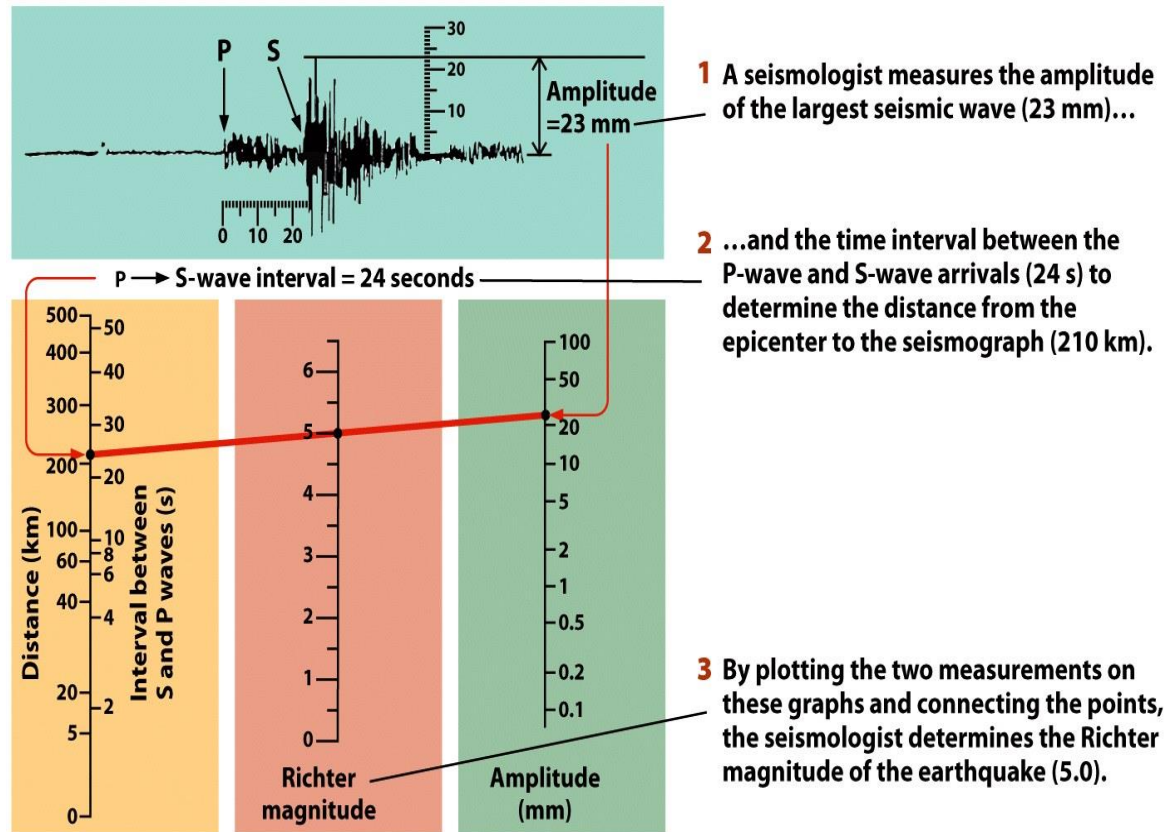
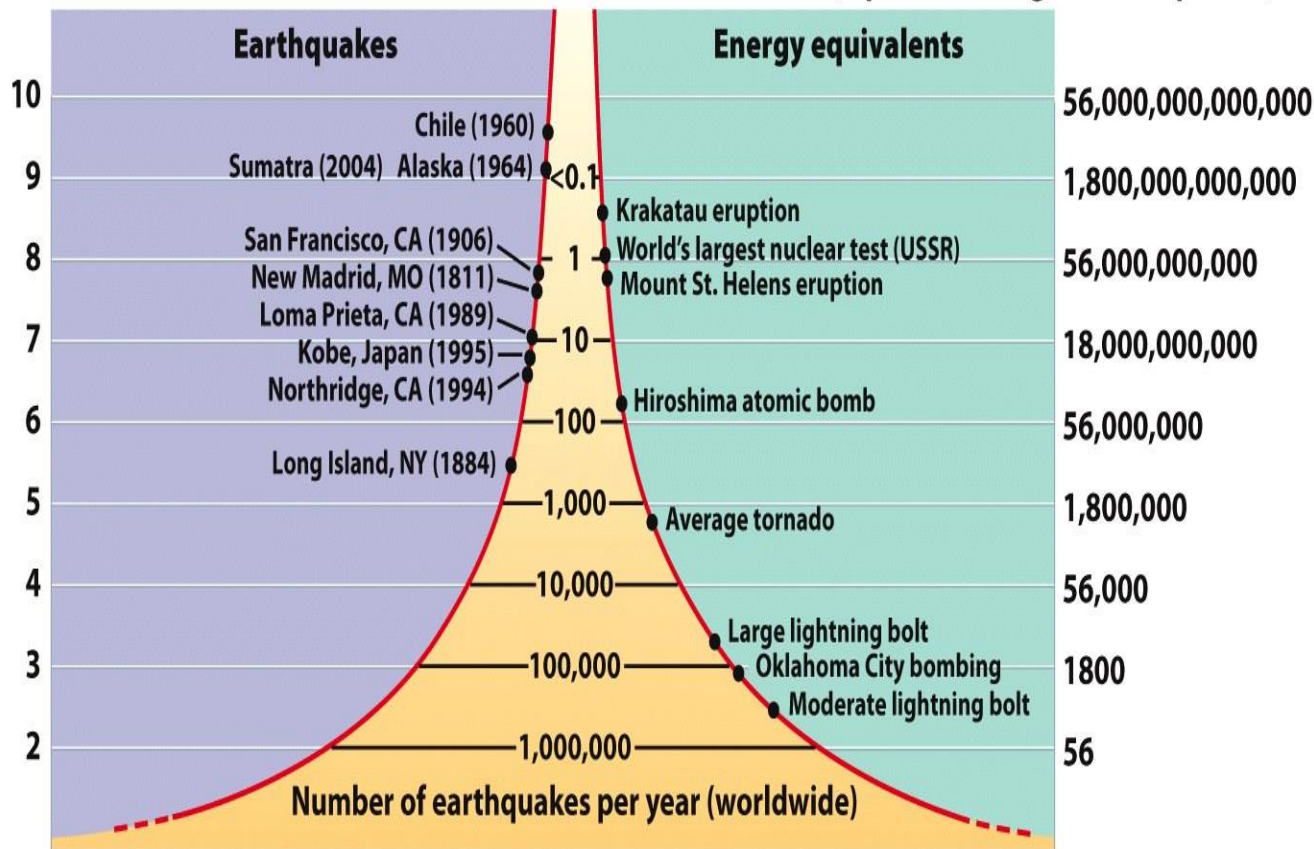


Figure 13.10
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

Magnitude et fréquence

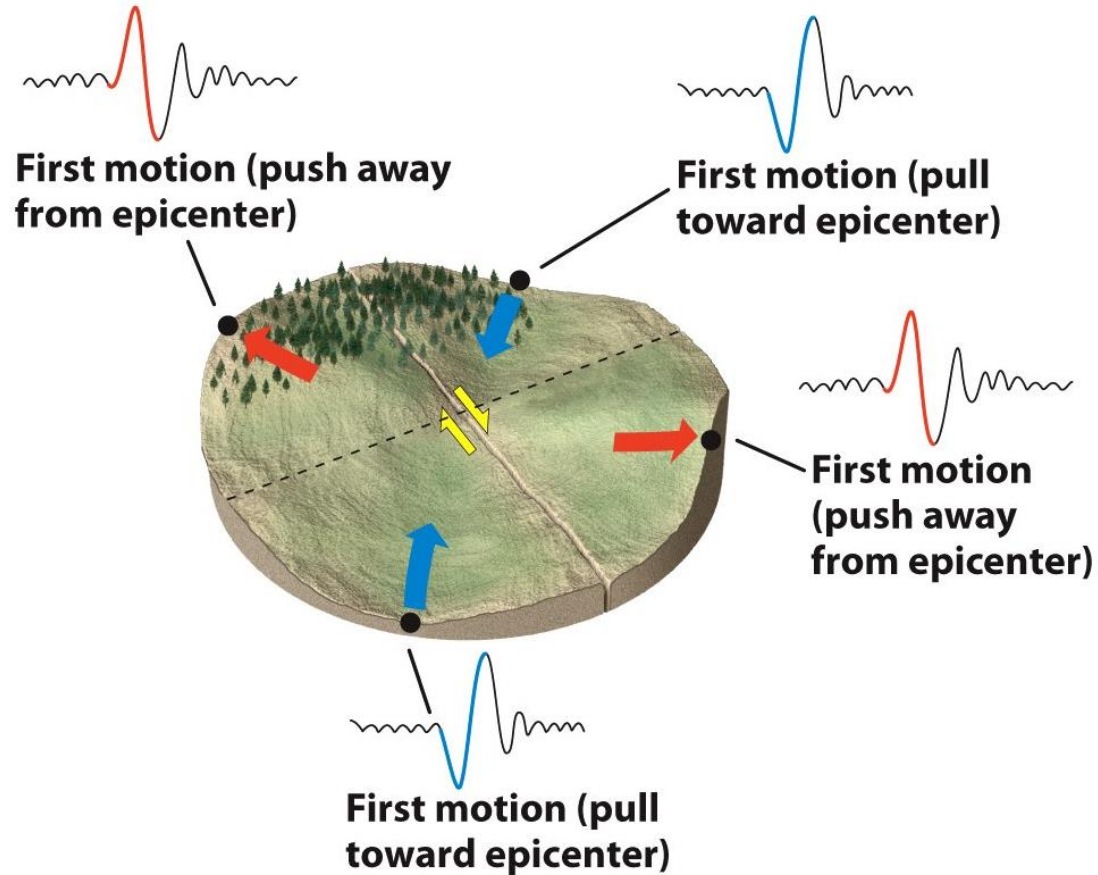
Magnitude

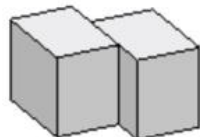
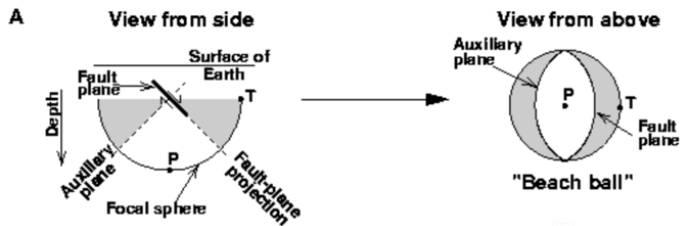
Energy release
(equivalent kilograms of explosive)



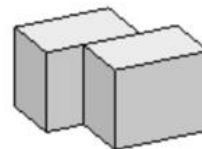
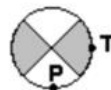
- Première arrivée des ondes P
- Orientation de la rupture
- Direction du glissement

Mécanisme au foyer

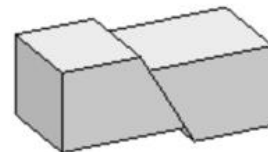




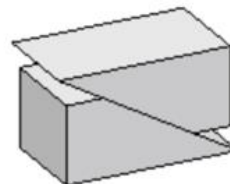
Strike slip



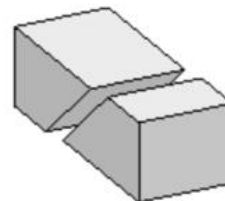
Normal



Reverse



Oblique reverse



Conséquences des séismes



- Perte en vie
- Endommagement des infrastructures
- Glissement de terrain, avalanche, tsunami....

Mexico City, 1985



Figure 13.25
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

Los Angeles, 1994



Figure 13.17
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

Kobe, Japan, 1995



Figure 13.18
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

Kashmir, 2005

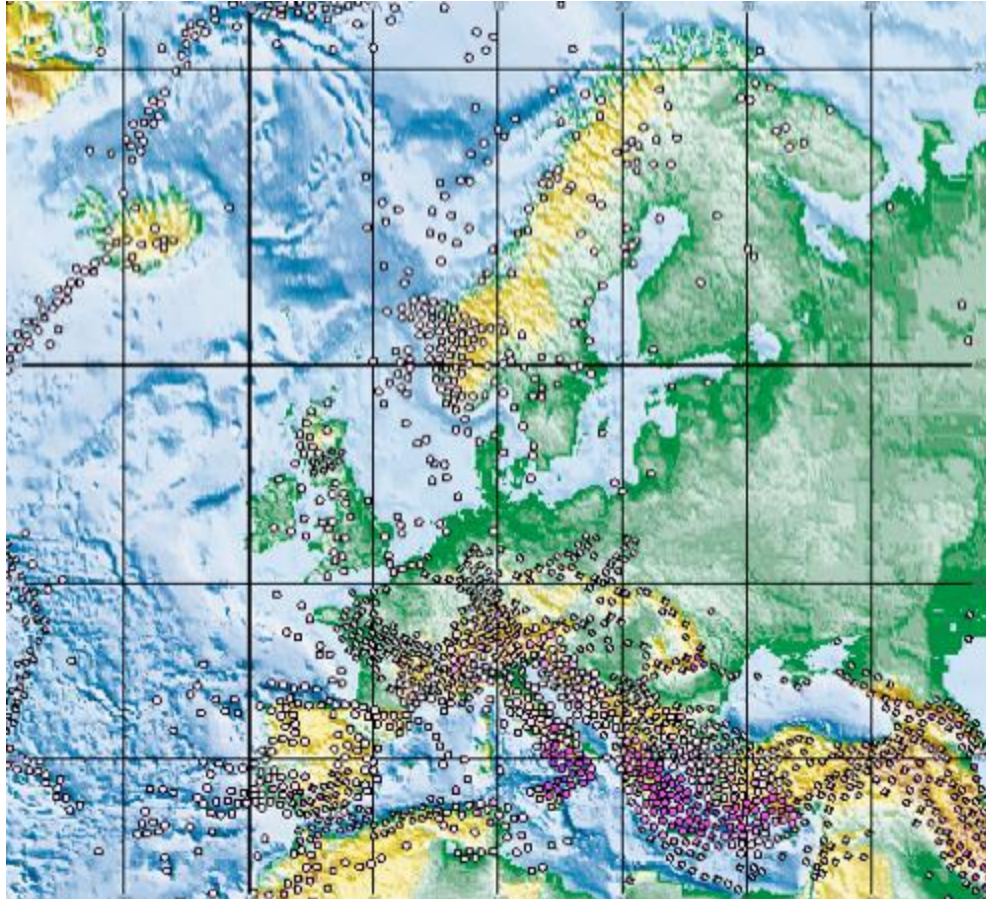


Figure 13.19
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

Thailand, 2004



Séismes en Europe - derniers 10 ans



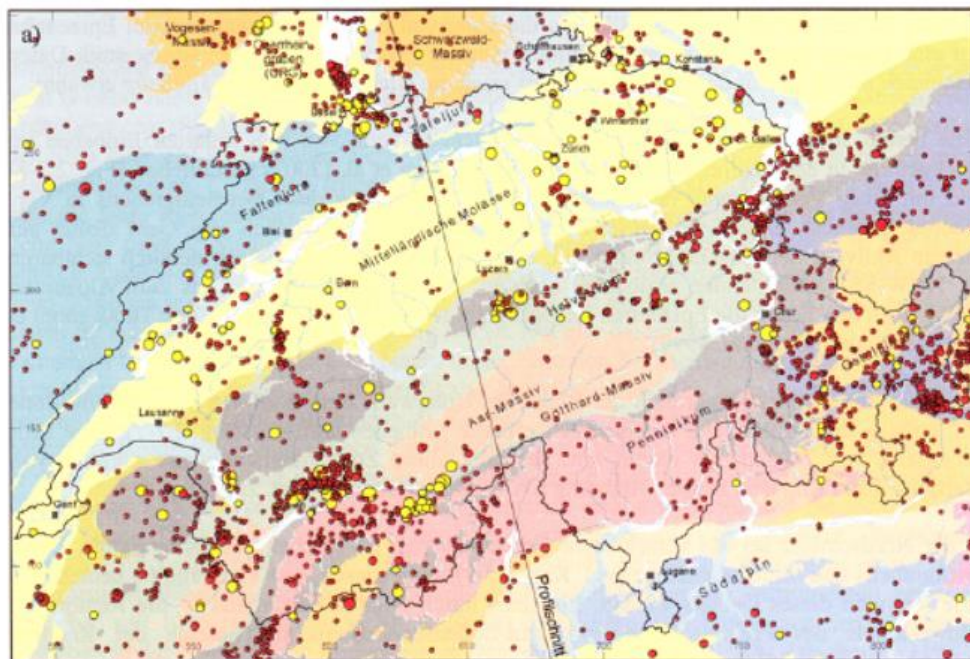


Country	Number of fatal events in 20C	Total deaths	Deaths per year per 2001 million of population
Italy	45	128000	22.2
Turkey	111	99000	15.0
Greece	50	6600	6.2
Former USSR	45	78000	3.2
Algeria	22	5300	1.7
Cyprus	4	94	1.2
Romania	3	2600	1.2
Former Yugoslavia	17	2000	0.9



Darstellung des Erdbebens 1356 in der Basler Chronik von Christian Wursteisen von 1580. Der Formschneider Georg Sickingen zeigt auf seinem Holzschnitt die unter Erdstößen schwankende Stadt und die auf die Felder flüchtende Bevölkerung.





Erdbebenkatalog ECOS

ca. 1000 - 1974:
Makroselsmisch
Magnitude M_W

- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7

1975 - 2007:
Instrumentell
Magnitude M_W

- 1.8 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5

Tektonische Einheiten

- Vogesen- und Schwarzwald-Massiv
- Mittelländische Molasse, Tertiär des Oberrheingrabens und des Po-Beckens
- Subalpine Molasse
- Tafeljura
- Faltjura
- Helvetische Sedimentdecken
- Externmassive

- Penninische Sedimentdecken (inkl. Sesia-Zone)
- Penninische Kristalldecken
- Ostalpine Sedimentdecken
- Ostalpine Kristalldecken
- Südalpin, Kristallin
- Südalpin, Sedimente
- Tertiäre Intrusiva (Bergell und Adamello)
- Tertiäre Ergussgesteine (Hegau)



<http://www.seismo.ethz.ch/en/home/>

Effets secondaires :

Rupture de barrage, Centrale nucléaire, tsunami

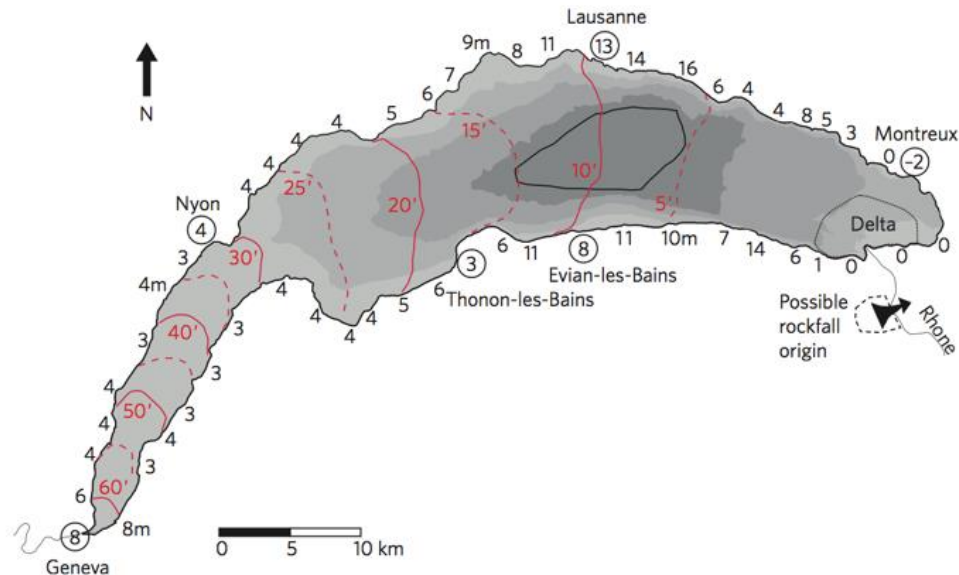
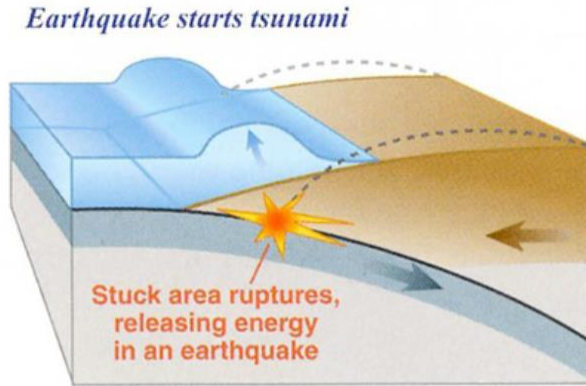


Figure 1 | Simulated tsunami wave height and propagation within Lake Geneva. In AD 563, a tsunami was triggered by a catastrophic mass movement of sediment, following a rockfall in the eastern part of the lake in the sublacustrine Rhone delta area (black dashed line). The amplitude of the first recorded wave varied along the shoreline (black numbers, in metres), as the wave propagated (red contours; red numbers indicate the time after the event in minutes). Water depth is indicated in grey shades (100 m intervals). The mass movement deposit (black contour) is located in the deepest part of the lake.



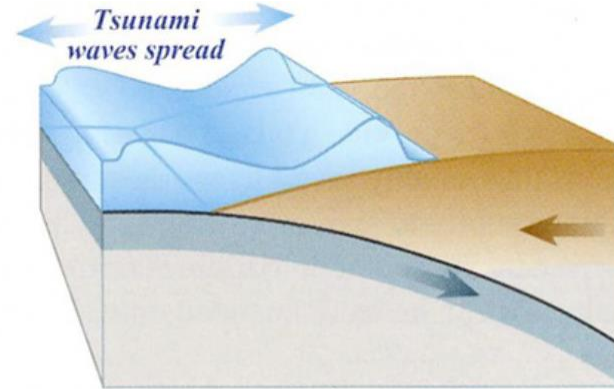
Tsunami est une série d'ondes de très grande période se propageant à travers un milieu aquatique (océan, mer ou lac), issues du brusque mouvement d'un grand volume d'eau, provoqué généralement par un séisme, un glissement de terrain sous-marin ou une explosion volcanique, et pouvant se transformer, en atteignant les côtes, en vagues destructrices déferlantes de très grande hauteur.





B. During an Earthquake

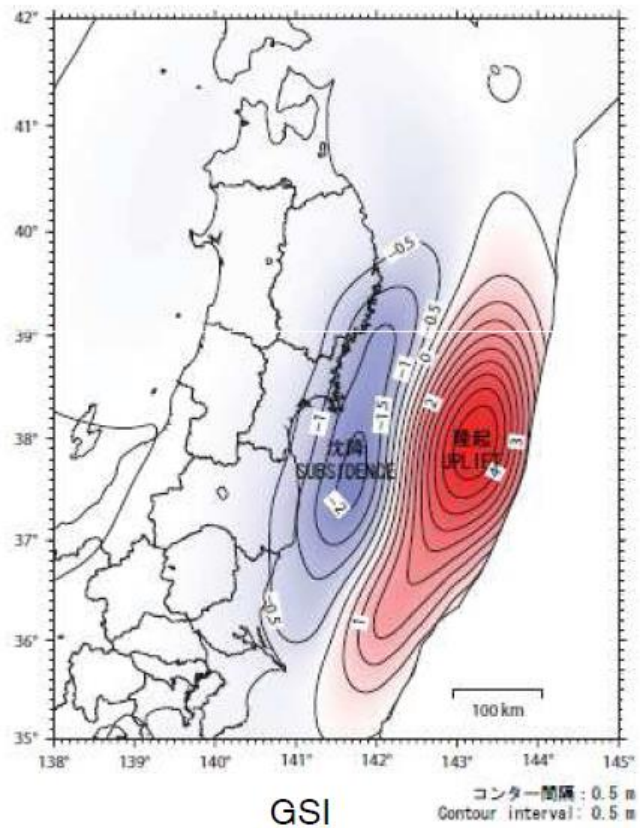
An earthquake along a subduction zone happens when the leading edge of the overriding plate breaks free and springs seaward, raising the sea floor and the water above it. This uplift starts a tsunami. Meanwhile, the bulge behind the leading edge collapses, thinning the plate and lowering coastal areas.



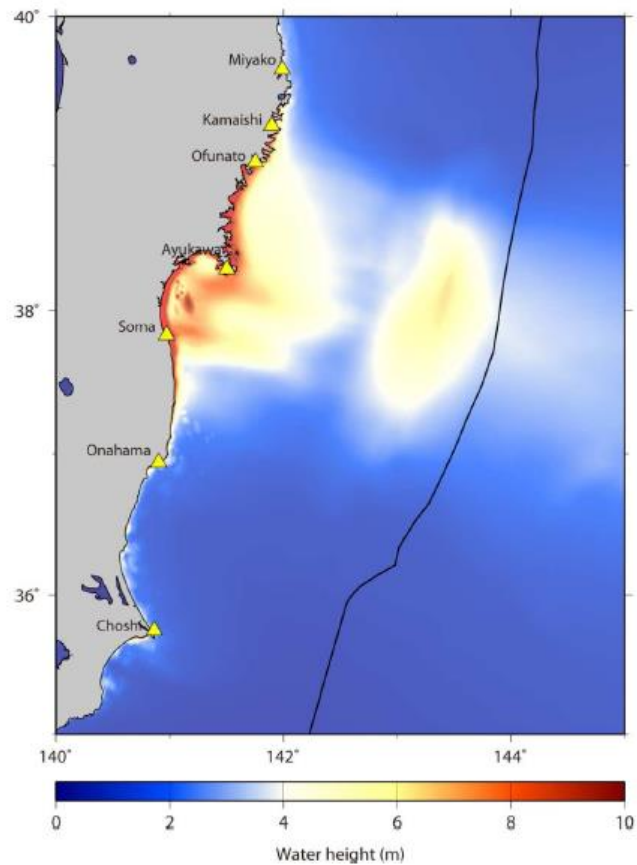
C. Minutes Later

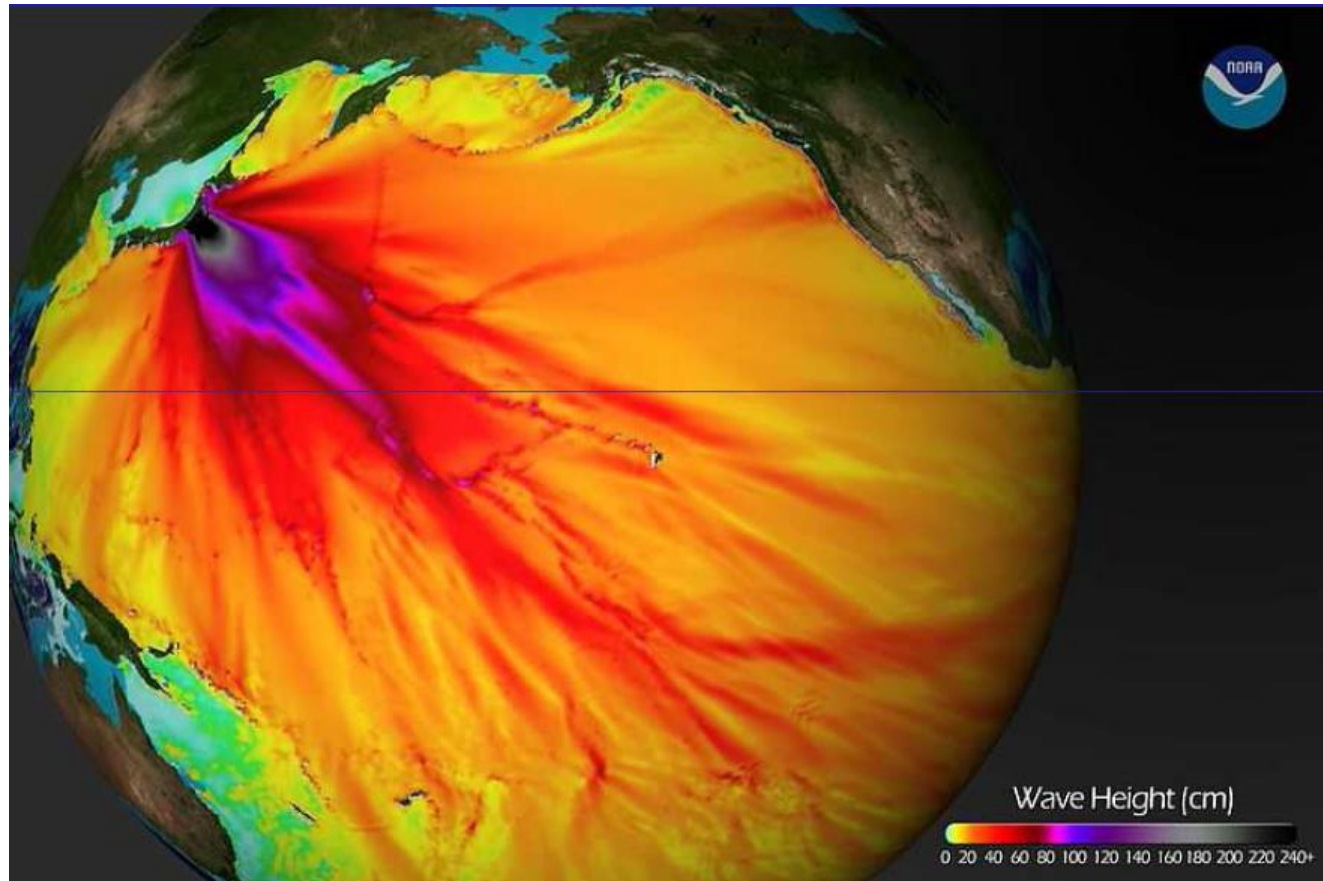
Part of the tsunami races toward nearby land, growing taller as it comes in to shore. Another part heads across the ocean toward distant shores.

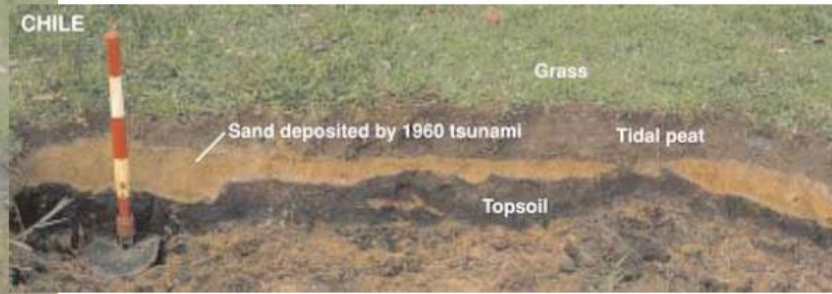
Soulèvement du fond marin



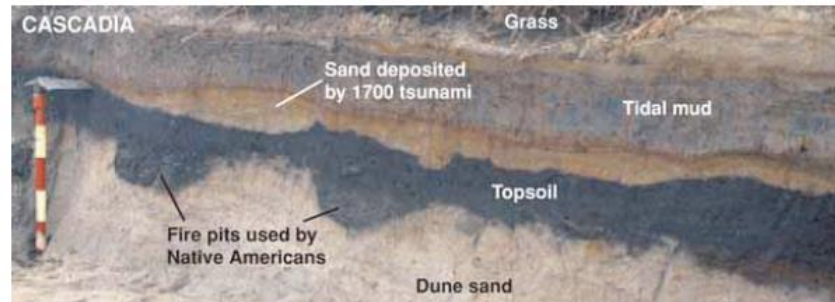
Hauteur d'eau par Fujii-Satake







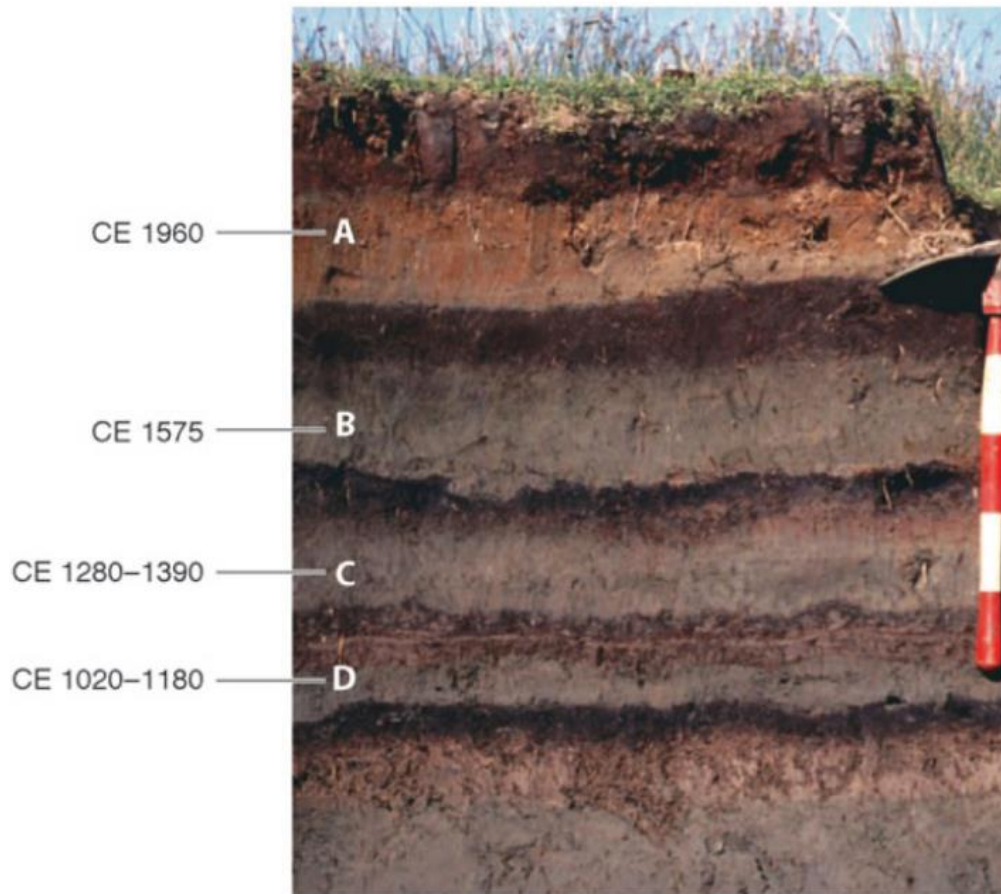
The 1960 Chilean tsunami deposited a sand layer on fields owned by Juan Vera near Maullín, Chile.



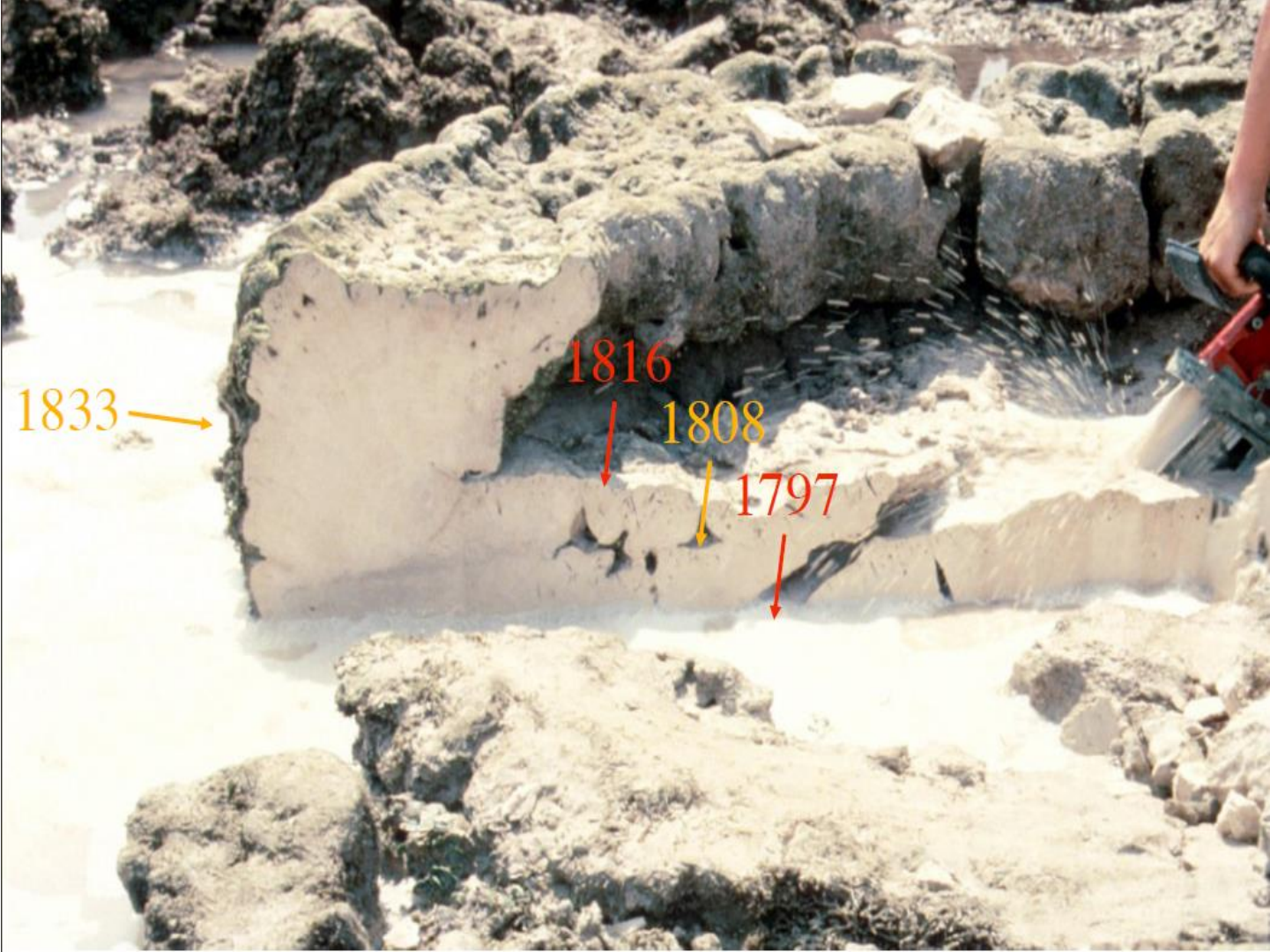
A similar sand layer from the 1700 Cascadia tsunami covers the remains of a Native American fishing camp exposed in a bank of Oregon's Salmon River.

Chili 1960 Cascades 1700

enregistrement de plusieurs cycles sismiques (uplift, dépôts de tsunami, subsidence)



Chilean earthquakes and tsunamis. (a) In an estuarine outcrop midway along the length of the 1960 rupture (Maullin in **Figure 2b**), sand sheets A, B, and D were laid down by tsunamis, whereas sheet C accumulated on a tidal flat above the soil of a subsided meadow (Cisternas et al. 2005). Labels give the date (or date range, at two standard deviations) of the associated earthquakes. Each stripe on the shovel handle is 10 cm long.



Effet secondaires : glissement de terrain



Figure 8: The 1946 earthquake of Siere: Photographs of the collapsed ceiling in the church of Chippis and of the landslide off the Rawylhorn, triggered by an aftershock of the earthquake, as well as a map of the inferred macroseismic intensities.