

Les MATINALES DE l'IRMa

ET LA MAURIENNE S'EST MISE À TREMBLER

INTERVENANT : PHILIPPE GUEGUEN, DIRECTEUR DE RECHERCHE
IFSTTAR/ISTERRE | DOCTEUR EN SISMOLOGIE



IFSTTAR



UNIVERSITÉ
SAVOIE
MONT BLANC

Avec le soutien de



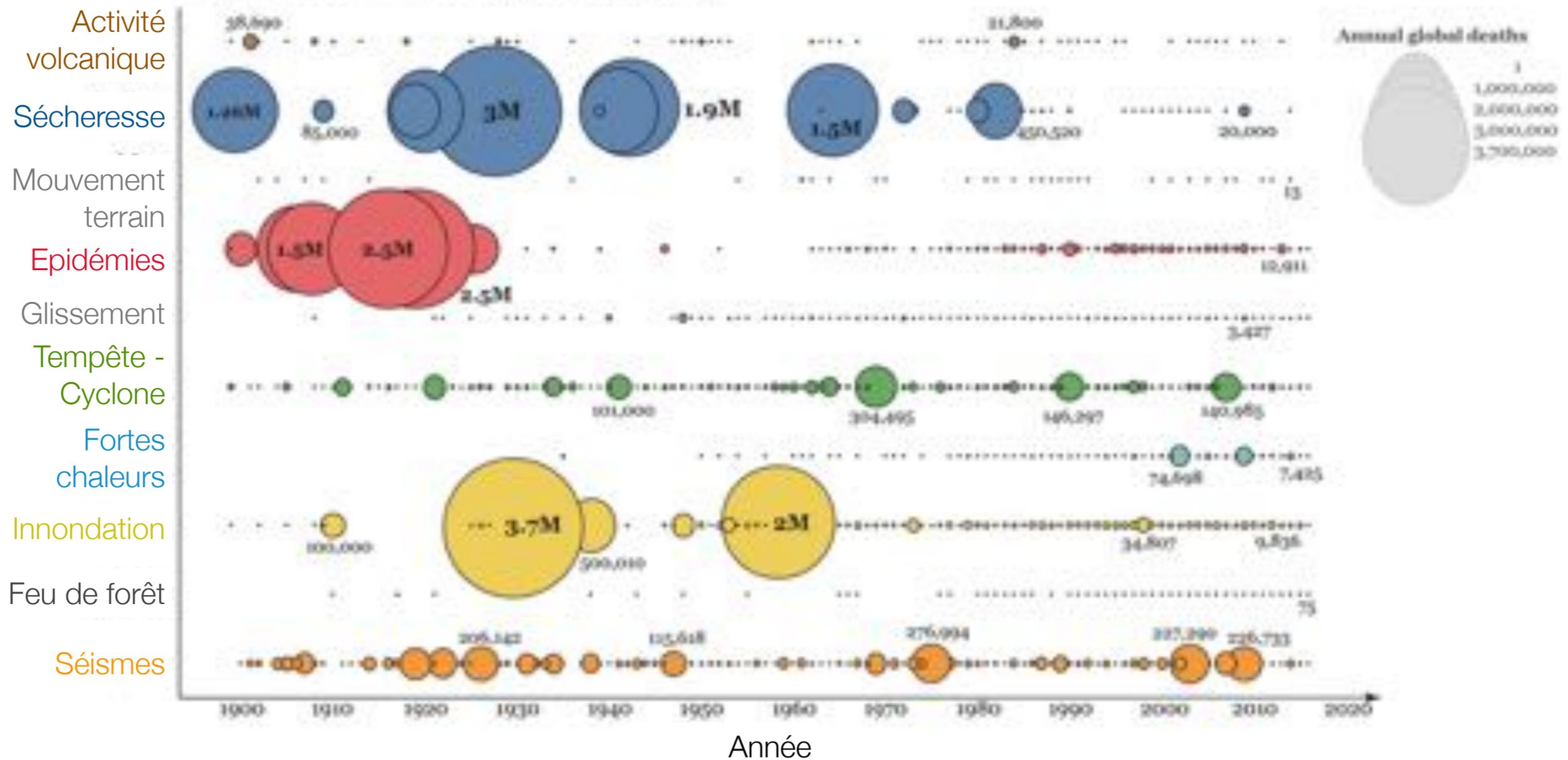
La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



Catastrophes Naturelles



Victimes de Catastrophes Naturelles - 1900-2016

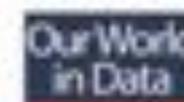


Data source: EM-DAT (2017): OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium. The data visualization is available at OurWorldInData.org. There you find research and more visualizations on this topic.

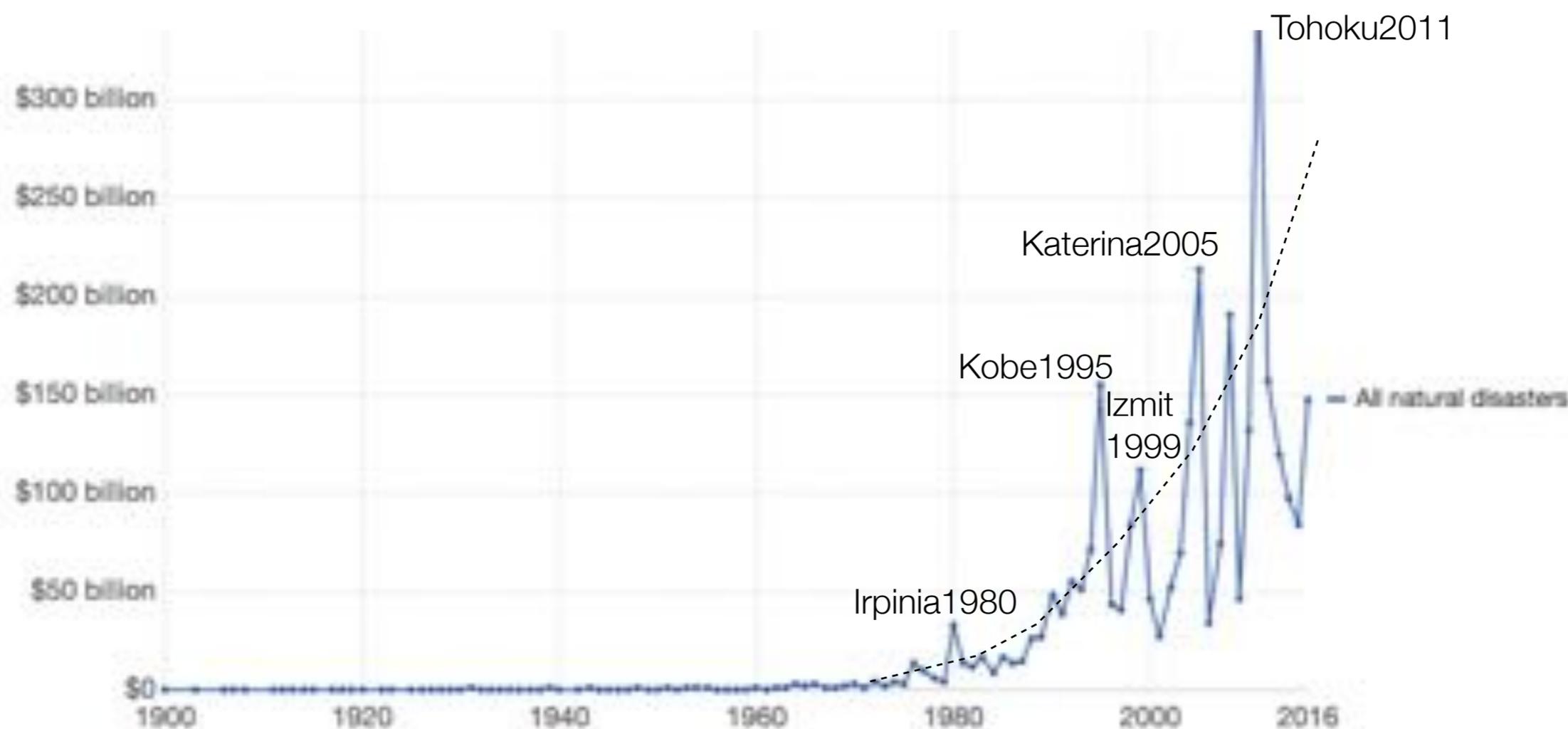
Licensed under CC BY SA by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Les Catastrophes Naturelles - 1980-2017

Pertes économiques (en \$USD 2017) liées aux dommages produits par les catastrophes naturelles (1900-2016)

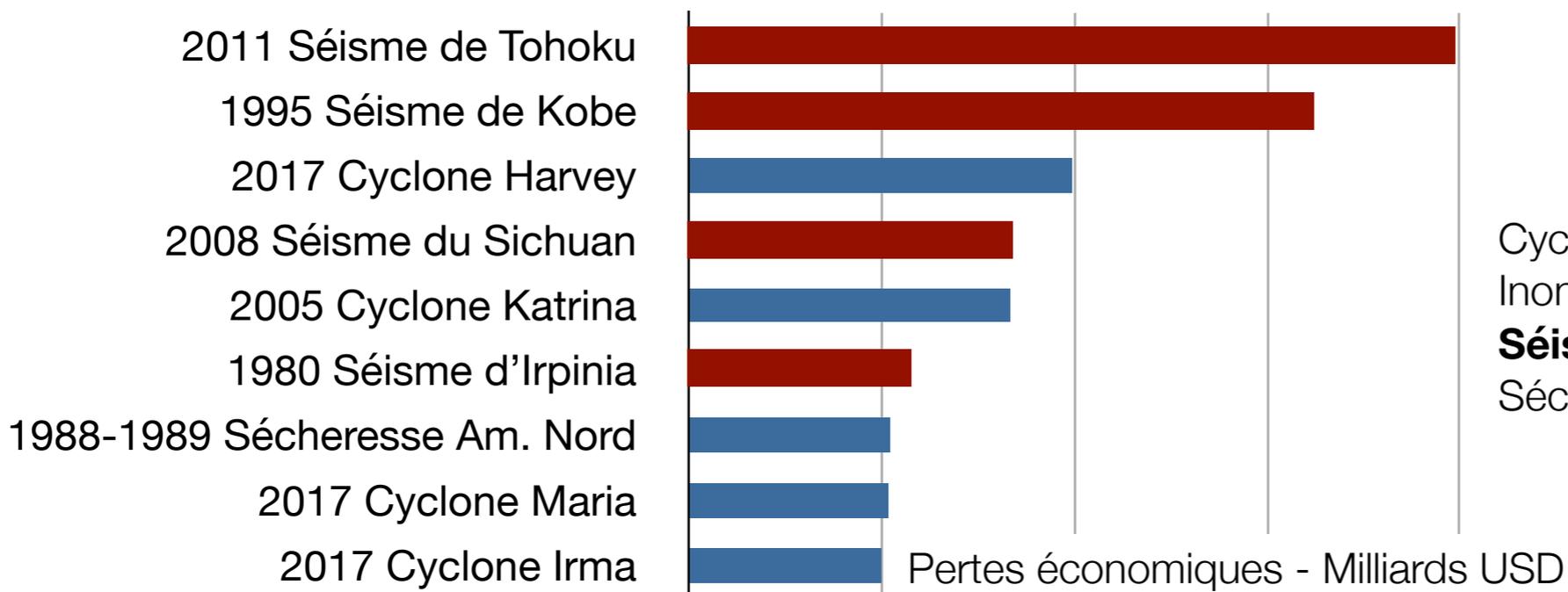


Sécheresse, inondations, épidémies, canicules, glissements de terrain, éboulements, feux de forêts, activités volcaniques et séismes.



Source: EMDAT: OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium
OurWorldInData.org/natural-catastrophes/ - CC BY-SA

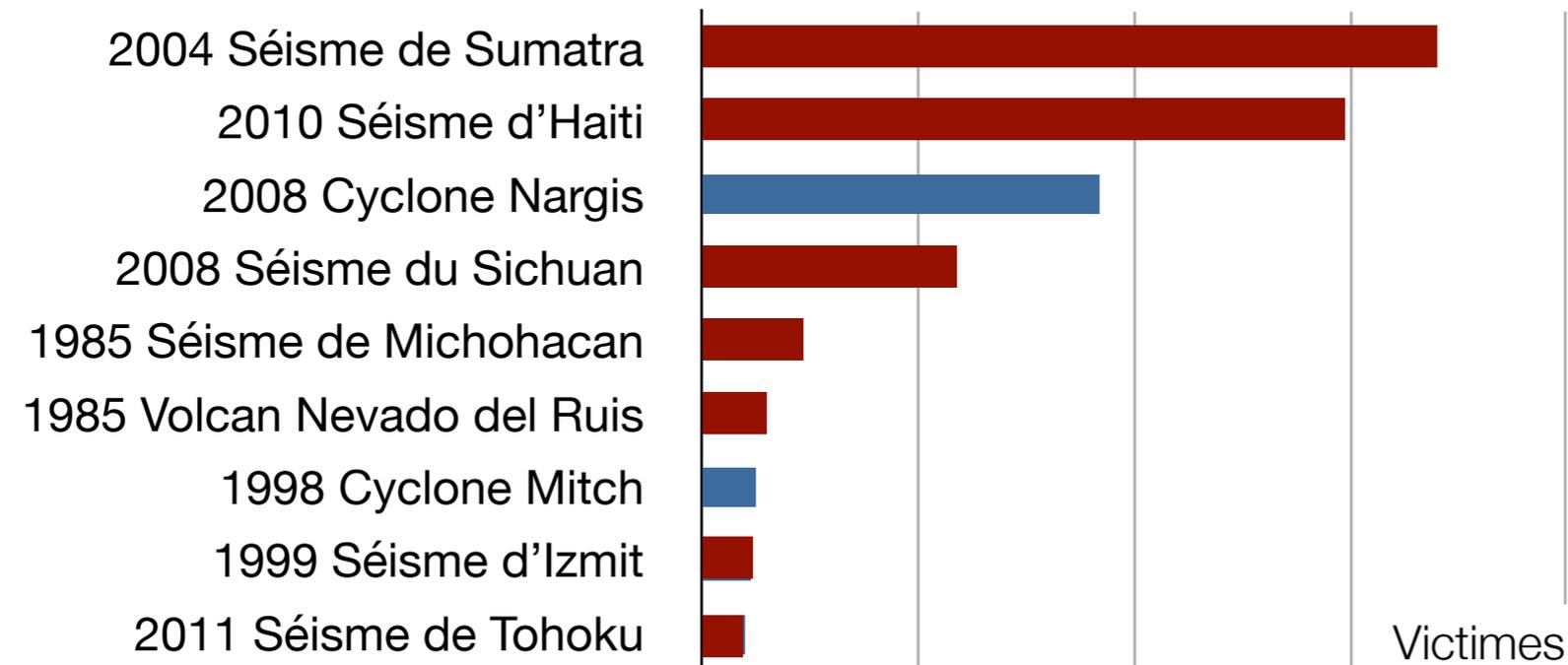
Les Catastrophes Naturelles - 1980-2017



Cyclones et tempêtes - 66 % des événements
 Inondations - 13 %
Séismes et Volcans - 12 %
 Sécheresse - 9 %

Pertes économiques - Milliards USD

0 100 200 300 400



Séismes et Volcans - 47 % des pertes
 Cyclones et tempêtes - 42 %
 Inondations - 4 %
 Sécheresse - 7 %

Séismes et Volcans - 78 % des victimes
 Cyclones et tempêtes - 21 %
 Inondations - 0 %
 Sécheresse - 1 %

Victimes

0 75000 150000 225000 300000

Observer la terre pour mieux la comprendre

Observer - Analyser - Modéliser - Interpréter

Observer la terre pour mieux la comprendre

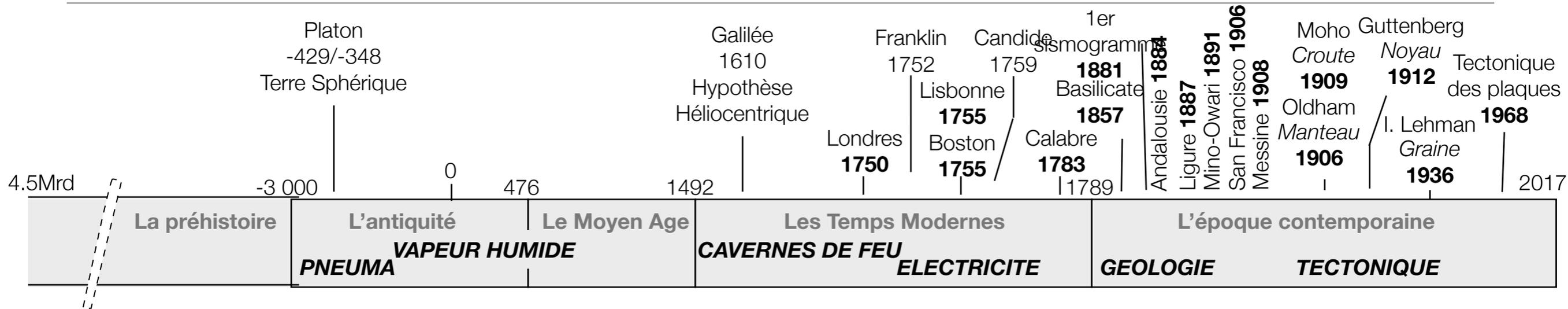
Observer - Analyser - Modéliser - Interpréter



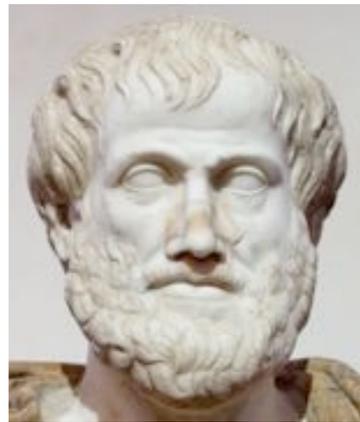
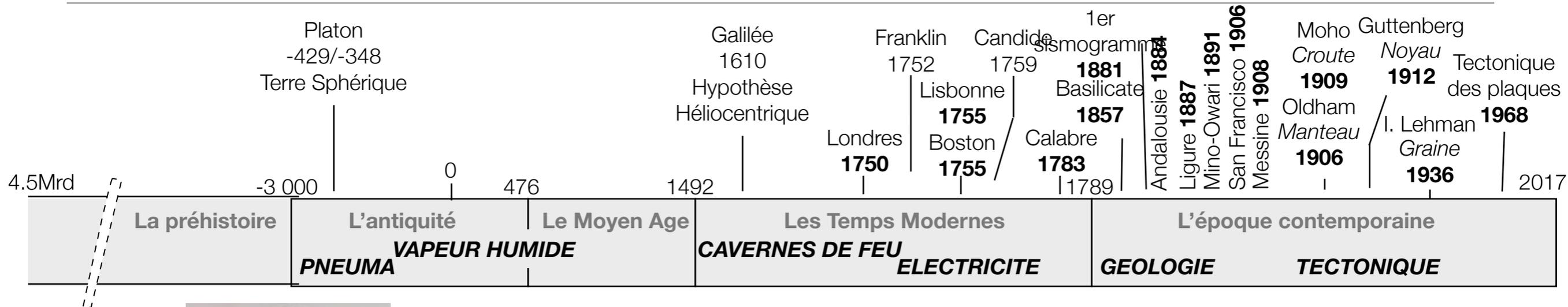
Observer la terre pour mieux la comprendre

Observer - Analyser - Modéliser - Interpréter

Observer la terre pour mieux la comprendre

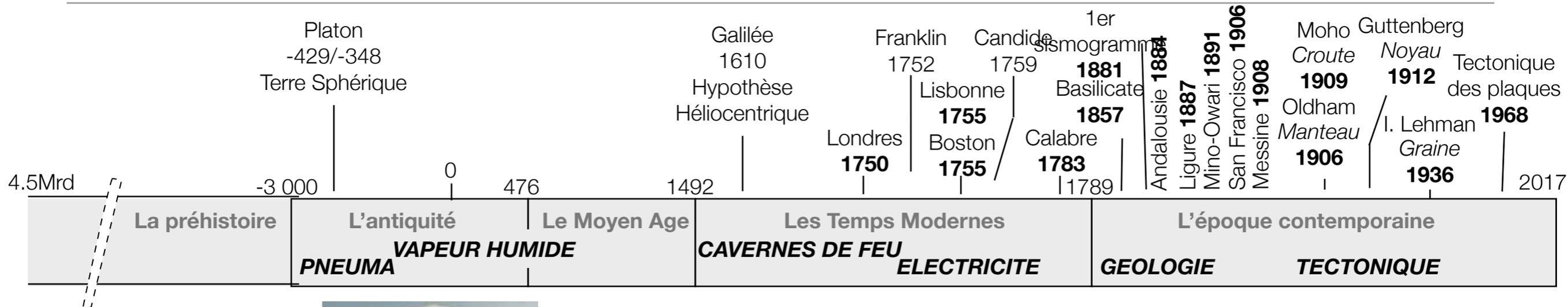


Observer la terre pour mieux la comprendre

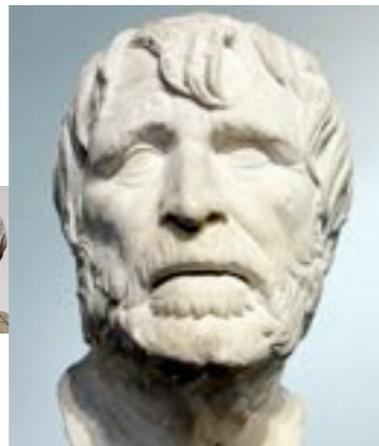


Aristote
-384/-322

Observer la terre pour mieux la comprendre

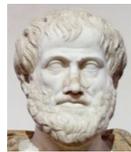
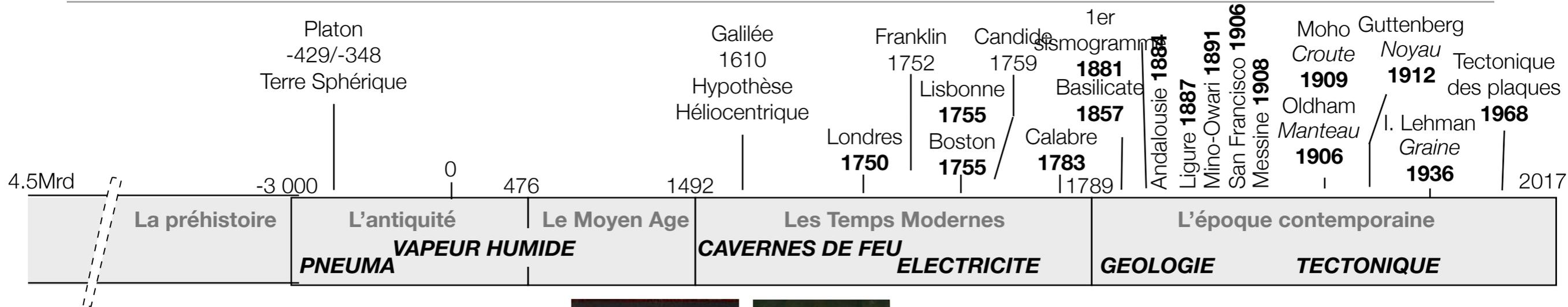


Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42

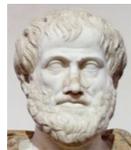
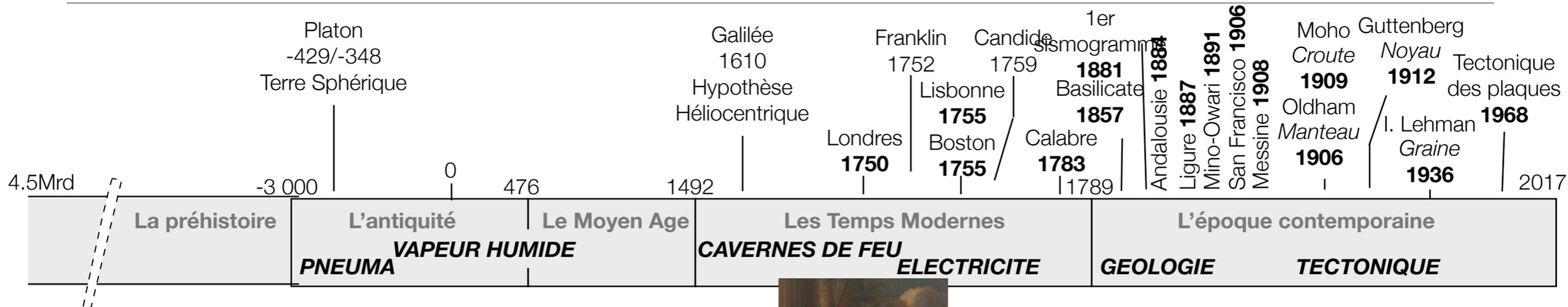


Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655

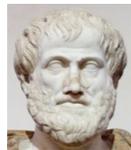
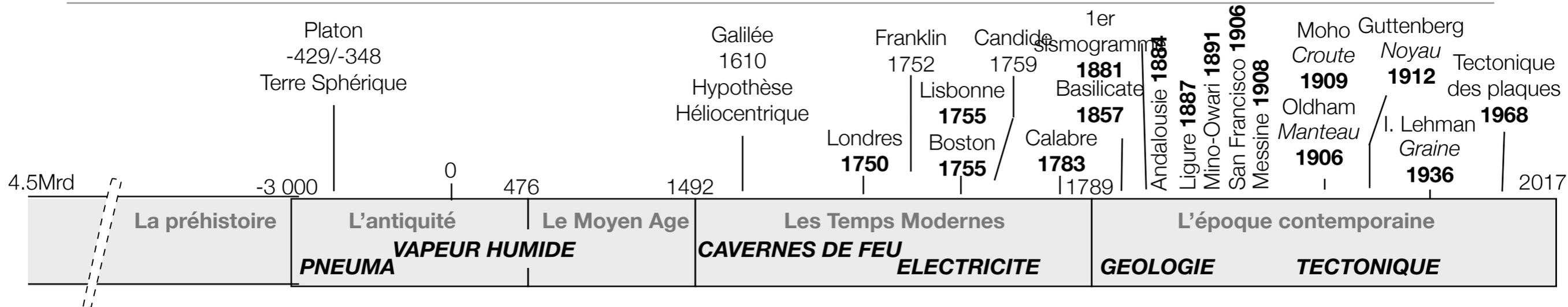


George Sturton
1727/1804



William Stukeley
1687-1765

Observer la terre pour mieux la comprendre



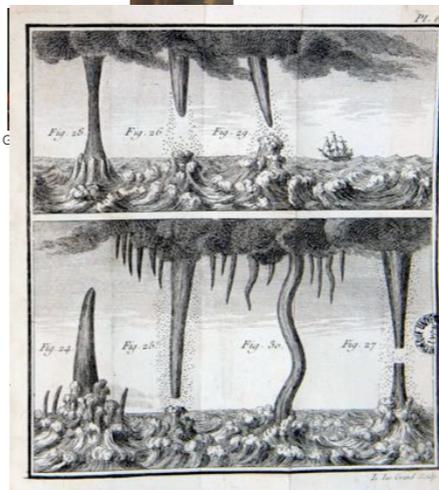
Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42

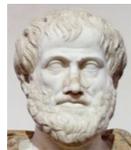
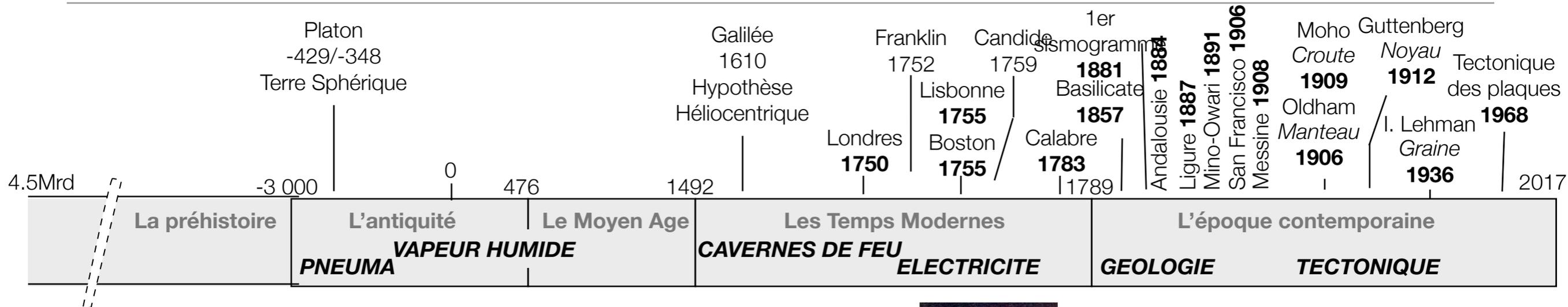


Pierre Gassendi
1592/1655



Pierre Bertholon
1741-1800

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Emmanuel Kant
1724/1804

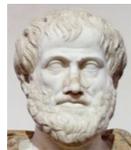
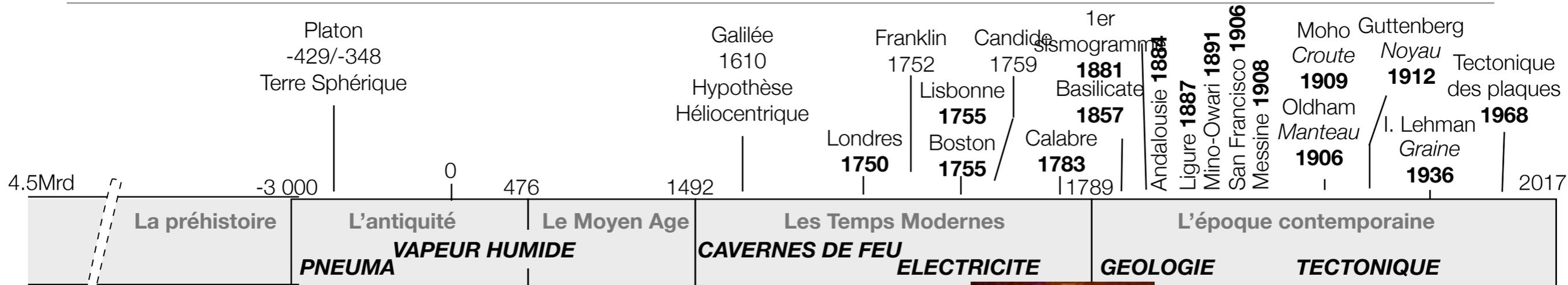


Pierre Bertrande
1741-1804



Thomas Prince
1687-1758

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



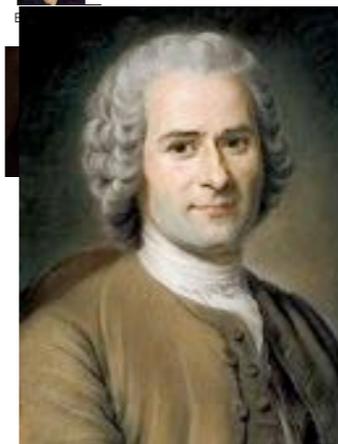
William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800

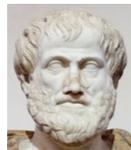
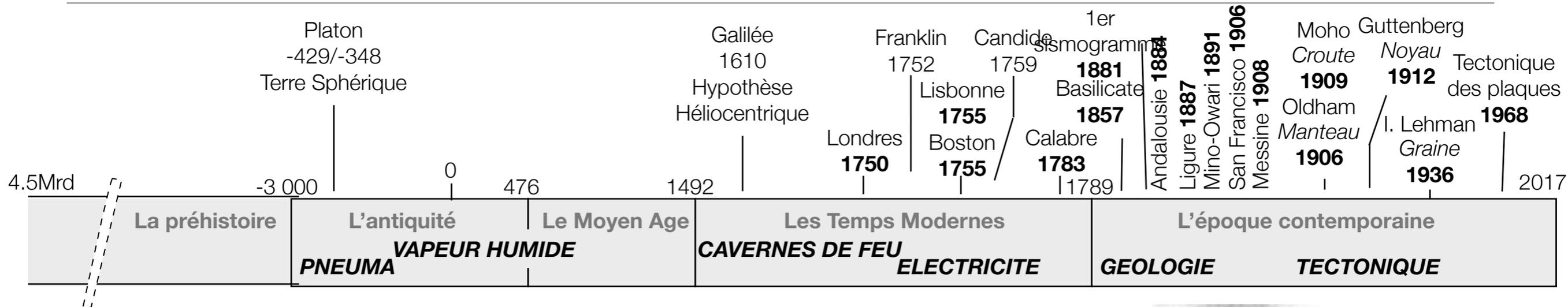


Voltaire
1694 - 1778



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Thomas Prince
1687-1758

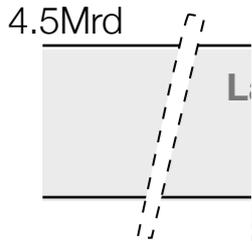


Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Gabriel August Daubrée
1814-1896

Observer la terre pour mieux la comprendre



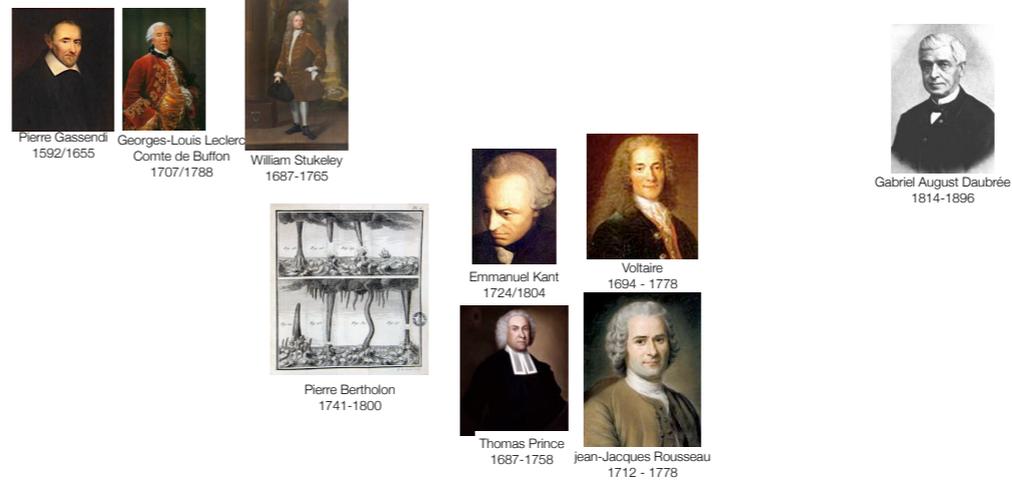
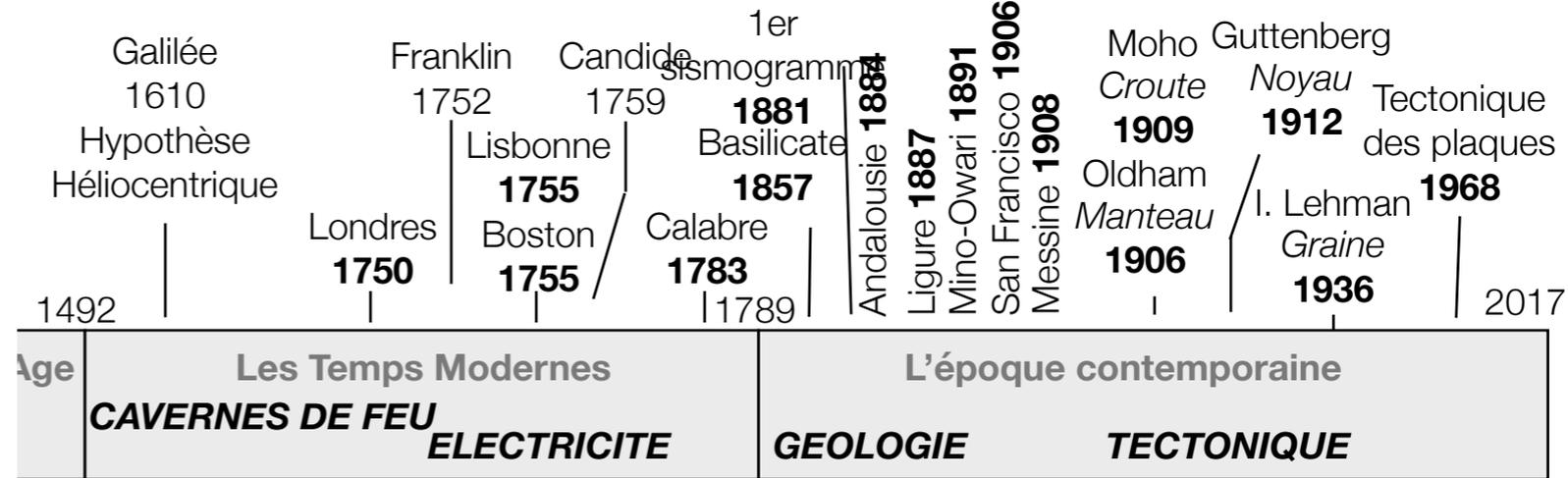
JOURNAL DE SIERRE ET DU VALAIS CENTRAL



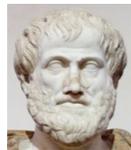
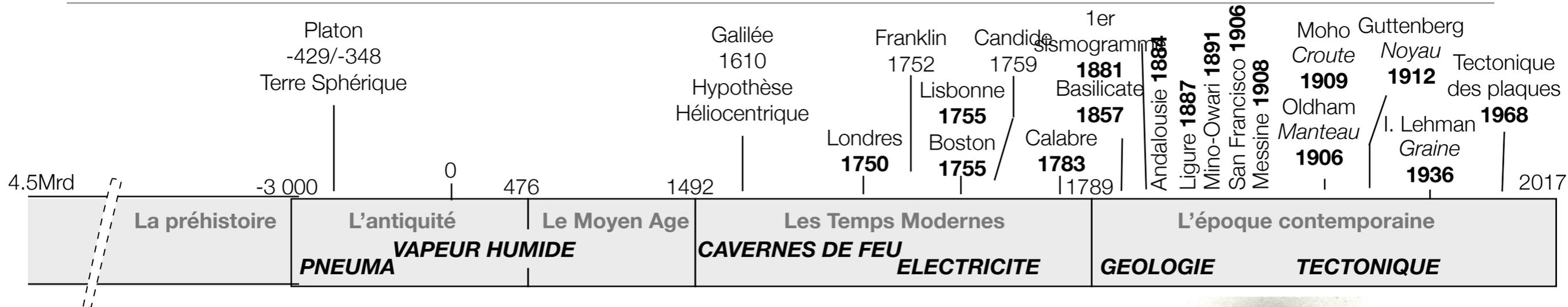
Ce qu'en disait Ignace Mariétan, naturaliste émérite, dans le Bulletin de la Murithienne de l'époque :

"L'impression produite par le séisme du 25 janvier 1946 fut très forte, en particulier dans la région de Sion-Sierre-Montana. On le comprend aisément car les séismes violents sont très rares chez nous, on n'en avait plus ressenti depuis 1855; dès lors l'ignorance de ces phénomènes était générale; la presse répandit beaucoup d'idées fausses, absurdes même, et les illusions dues à la peur furent nombreuses (...). Beaucoup, enfin, virent dans ce séisme une punition divine, sans trop se demander pourquoi elle atteignait les innocents comme les coupables et surtout les églises."

Procession d'intercession contre les secousses



Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Deodat Dolomieu
1787-1878



Harry F. Reid
1859-1944



Robert Mallet
1810-1881

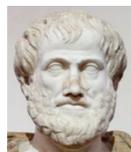
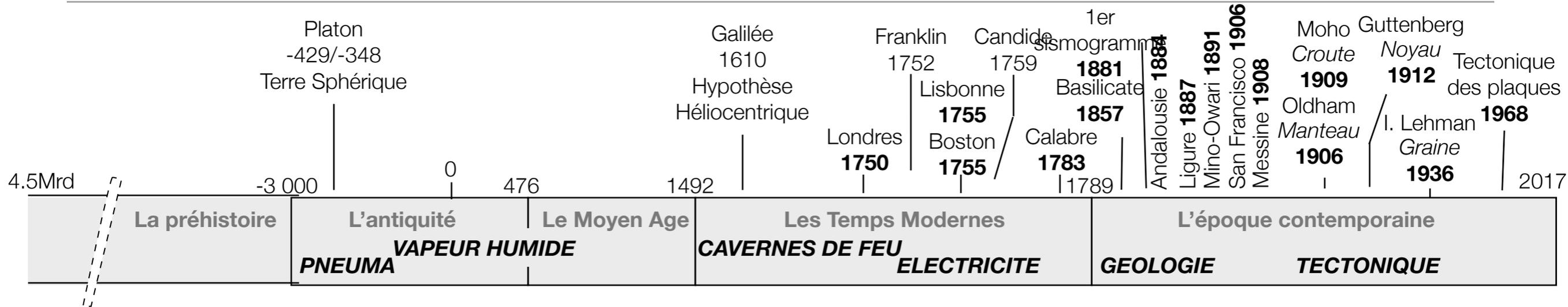


Montessus de Ballore
1851-1923



Bunjiro Koto
1856-1935

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Gabriel August Dairière
1741



Deodat Dolomieu
1787-1878



Robert Mallet
1810-1881



Montessus de Ballore
1851-1923

Henri Bertholon
1744-1800



Prince
1758



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Harry F. Reid
1859-1944



Bunjiro Koto
1856-1935

Les premiers mobilistes



Abraham Ortelius
1527 - 1598

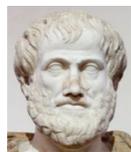
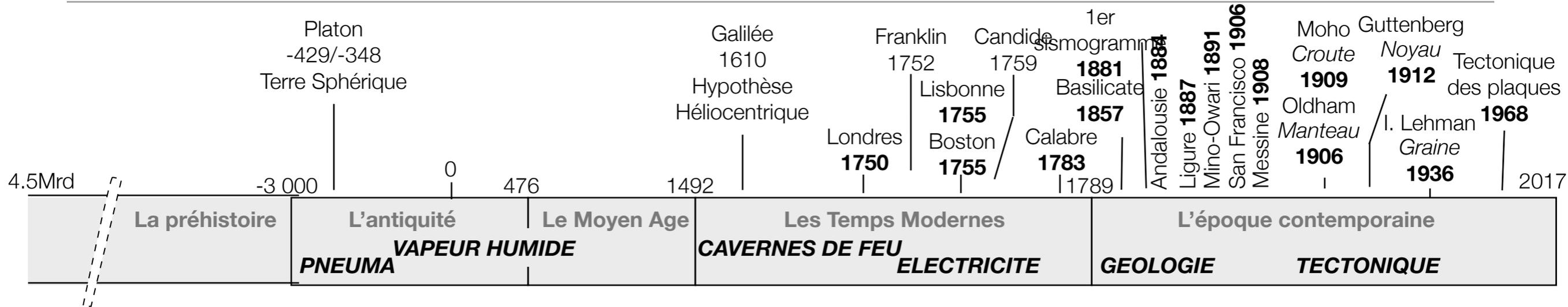


Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Gabriel August Daurière
1741



Deodat Dolomieu
1787-1878



Robert Mallet
1810-1881



Montessus de Ballore
1851-1923



Théorie Fixiste



Thomas Pri
1687-175



Harry F. Reid
1859-1944



Bunjiro Koto
1856-1935



Abraham Ortelius
1527 - 1598



Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1810-1885

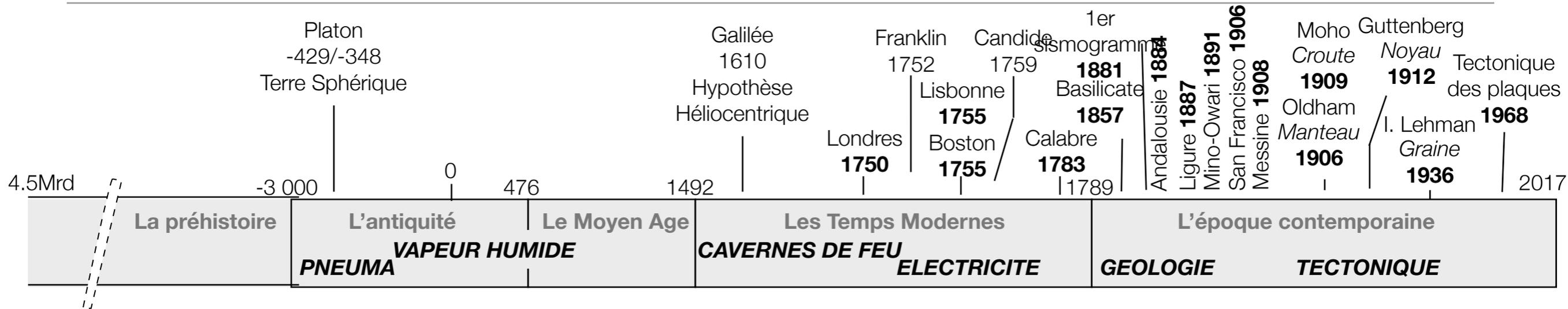


Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



Eduard Suess
1831-1914

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



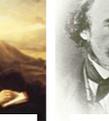
Thomas Prince
1687-1758



Franck B Taylor
1860-1938



Gabriel August Daurée
1811-1891



Dolomieu
1758-1820



Robert Mallet
1810-1881



Montessus de Ballore
1851-1923



Bunjiro Koto
1856-1935



Les premiers mobilistes
Abraham Ortelius 1527 - 1598
Francis Bacon 1561 - 1626
Antonio Snider-Pellegrini 1802-1885



Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874

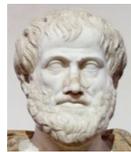
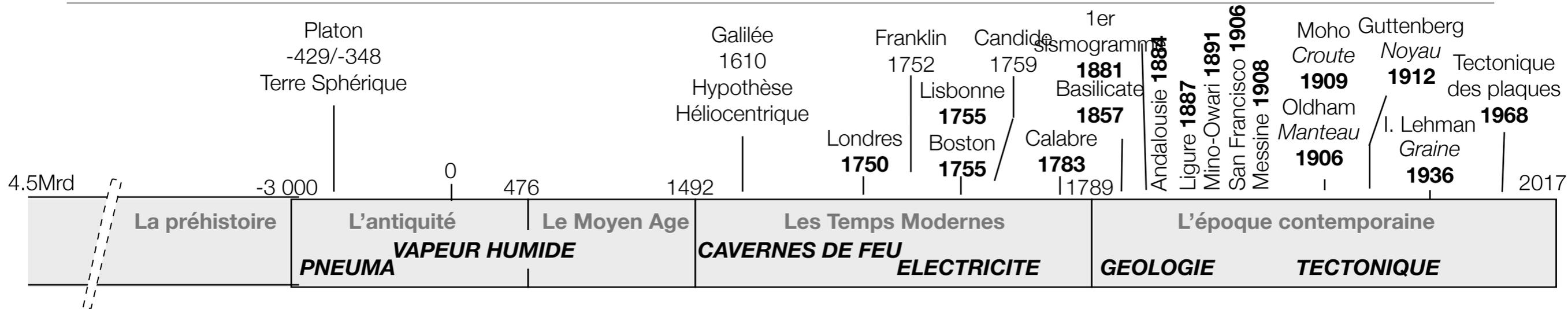


Eduard Suess
1831-1914



Alfred Wegener
1880-1930

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



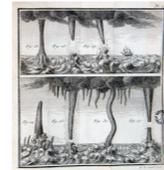
Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Thomas Prince
1687-1758



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Edouard Roche
1820 - 1883



Emil Wiechert
1861 - 1928



Abraham Ortelius
1527 - 1598

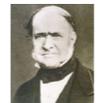


Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885

Les premiers mobilistes



Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



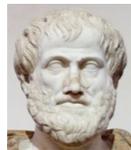
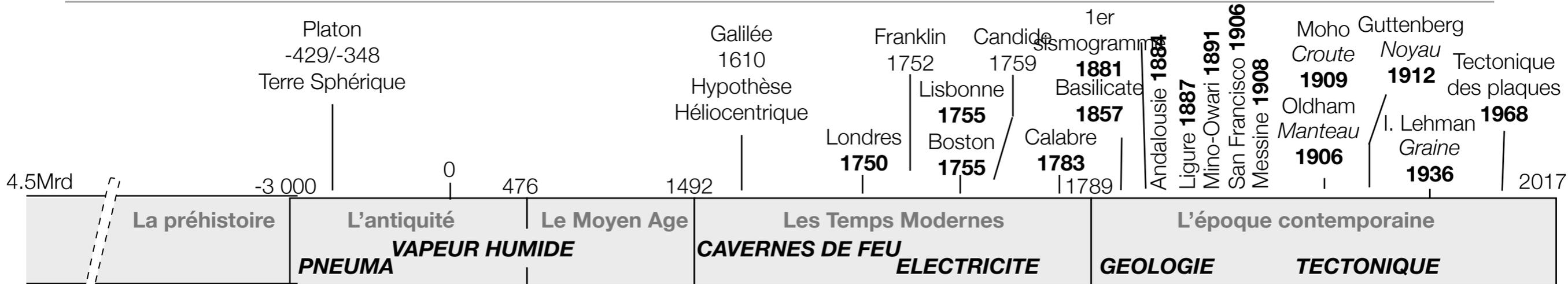
Eduard Suess
1831-1914

Théorie Fixiste



Alfred Wegener
1880-1930

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



Thomas Prince
1687-1758

Théorie Fixiste



Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



Eduard Suess
1831-1914



Alfred Wegener
1880-1930



Abraham Ortelius
1527 - 1598

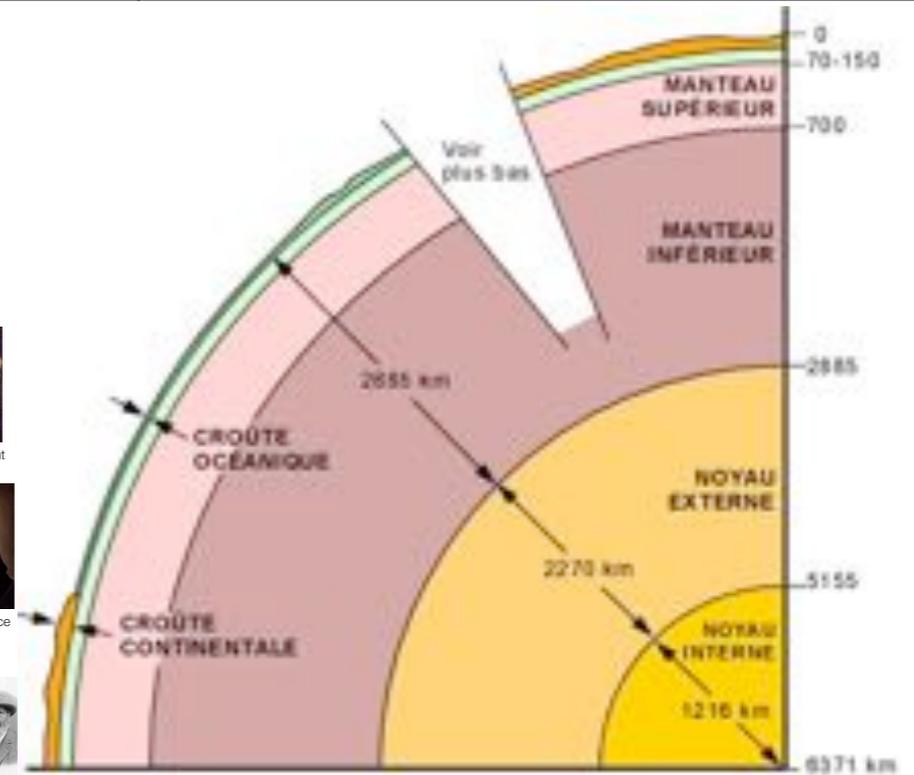


Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885

Les premiers mobilistes

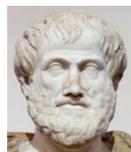
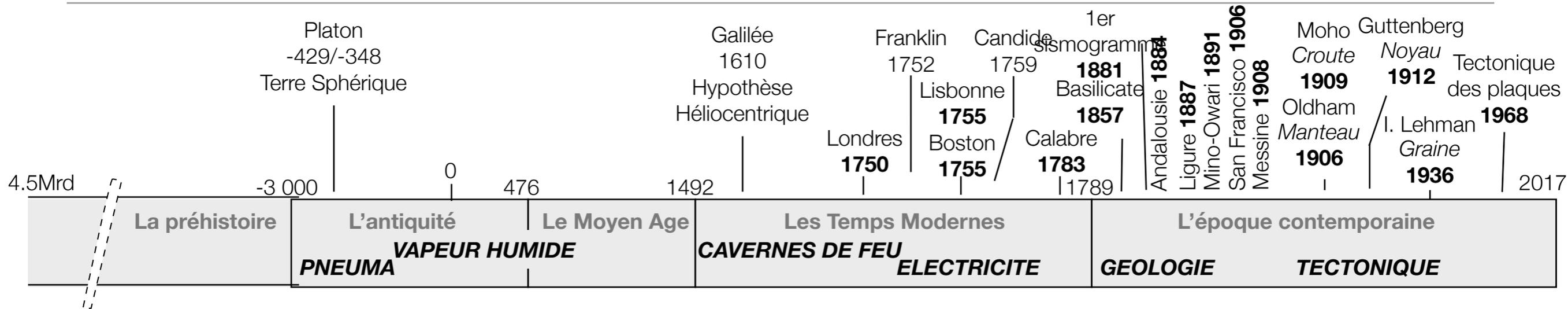


Edouard Roche
1820 - 1883



Emil Wiechert
1861 - 1928

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



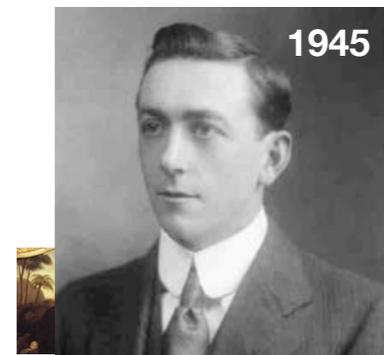
Voltaire
1694 - 1778



Thomas Prince
1687-1758



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Arthur Holmes
1890-1965



Franck B Taylor
1860-1938



Harry F. Reid
1859-1944



Bunjiro Koto
1856-1935



Abraham Ortelius
1527 - 1598



Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885



Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



Eduard Suess
1831-1914



Alfred Wegener
1880-1930

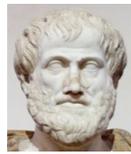
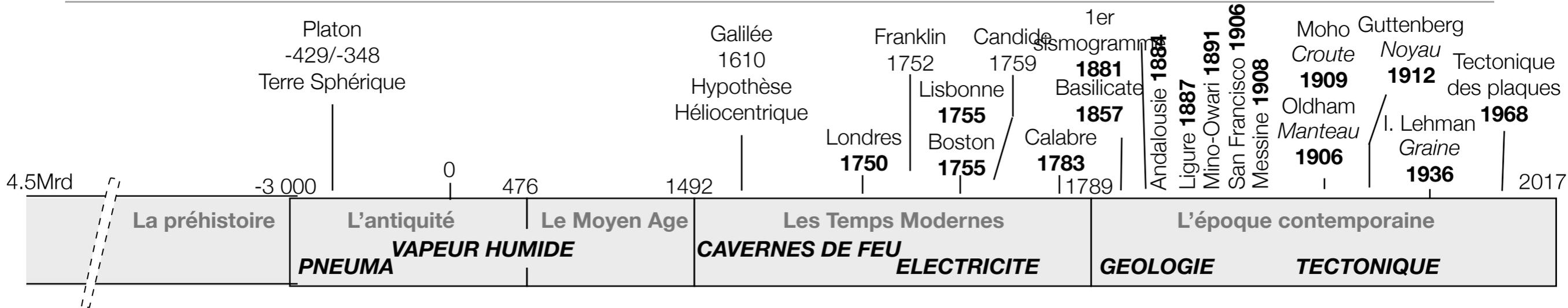


Edouard Roche
1820 - 1883



Emil Wiechert
1861 - 1928

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



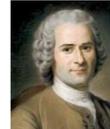
Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Thomas Prince
1687-1758



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Franck B Taylor
1860-1938



Deodat Dolomieu
1787-1878



Robert Mallet
1810-1881



Montessus de Ballore
1851-1923



Harry F. Reid
1859-1944



Bunjiro Ko
1856-193



Harry Hess
1906-1969



Edouard Roche
1820 - 1883



Emil Wiechert
1861 - 1928

Les premiers mobilistes



Abraham Ortelius
1527 - 1598



Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885



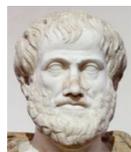
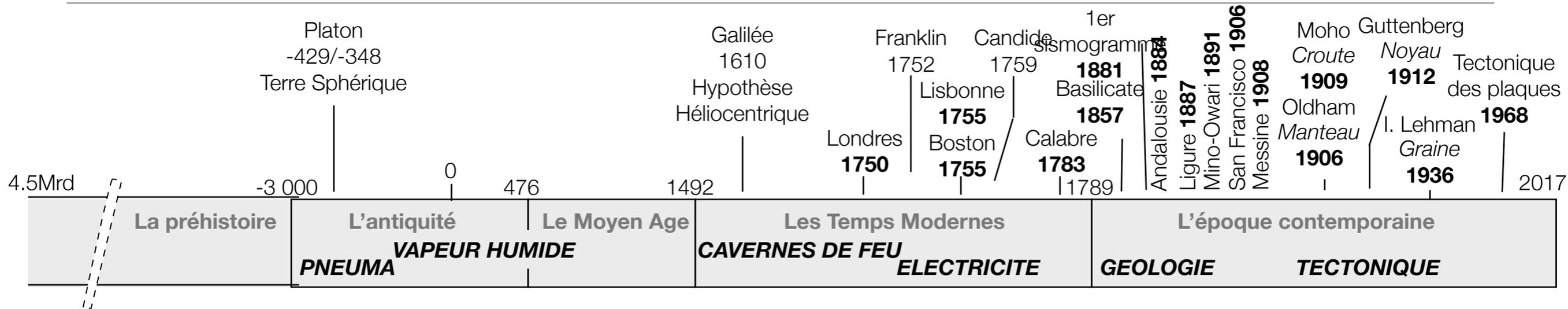
Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



Eduard Suess
1831-1914

Théorie Fixiste

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Thomas Prince
1687-1758



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Franck B Taylor
1860-1938



Deodat Dolomieu
1787-1878



Robert Mallet
1810-1881



Harry F. Reid
1859-1944



Bunjiro K
1856-19...



Arthur Holmes
1945



Xavier LePichon
1937-



Abraham Ortelius
1527 - 1598



Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885



Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



Eduard Suess
1831-1914



Alfred Wegener
1880-1930

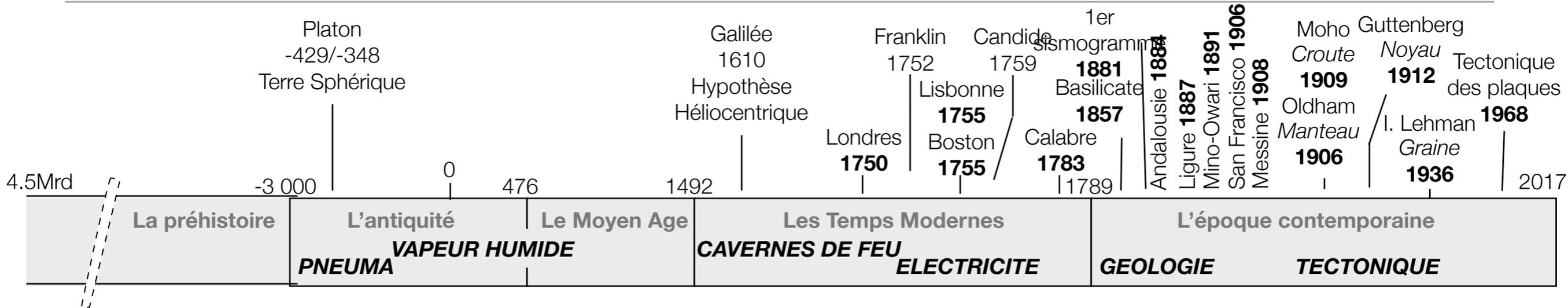


Edouard Roche
1820 - 1883



Emil Wiechert
1861 - 1928

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



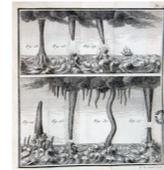
Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Thomas Prince
1687-1758



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Franck B Taylor
1860-1938



Alfred Wegener
1880-1930



Gabriel August Daurière
1817



Deodat C
1787



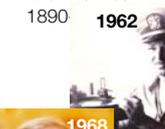
Harry F
1859



Arthur Holmes
1890



Arthur Holmes
1890



Larry Hess
1962



Bryan Isacks

Les premiers mobilistes



Abraham Ortelius
1527 - 1598



Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885



Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



Eduard Suess
1831-1914

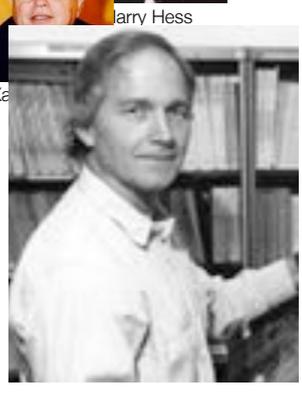
Théorie Fixiste



Jack Oliver
1923-2011

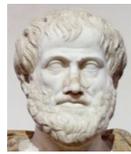
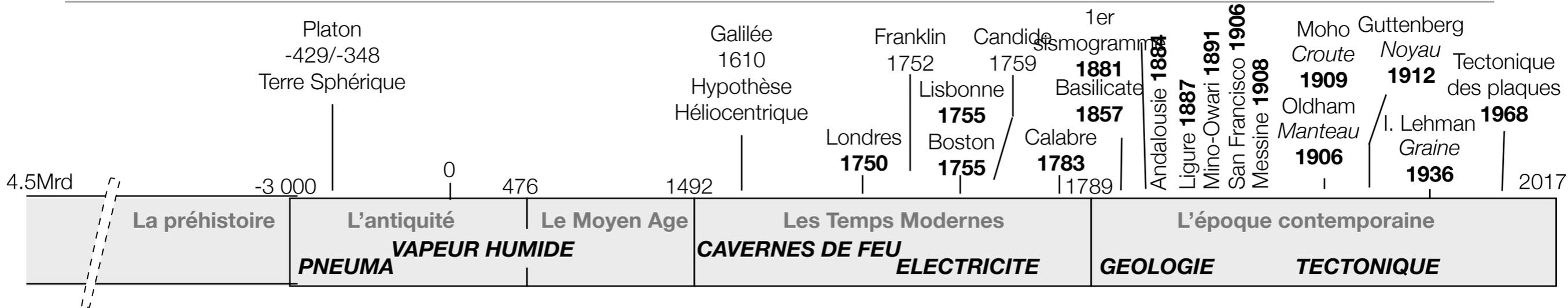


Edouard Roche
1820 - 1883



Bryan Isacks

Observer la terre pour mieux la comprendre



Aristote
-384/-322



Sénèque
-54/42



Pierre Gassendi
1592/1655



Georges-Louis Leclerc
Comte de Buffon
1707/1788



William Stukeley
1687-1765



Pierre Bertholon
1741-1800



Emmanuel Kant
1724/1804



Voltaire
1694 - 1778



Thomas Prince
1687-1758



Jean-Jacques Rousseau
1712 - 1778



Franck B Taylor
1860-1938



Harry F. Reid
1859-1944



Bunjiro Ko
1856-193



Robert Mallet
1810-1881



Montessus de Ballo
1851-1923



Xavier LePichon
1937-



Bryan Isacks



Arthur Holmes
1890 1962



Harry Hess
1906-1969



Abraham Ortelius
1527 - 1598



Francis Bacon
1561 - 1626



Antonio Snider-Pellegrini
1802-1885



Léonce Elie de Beaumont
1798 - 1874



Eduard Suess
1831-1914

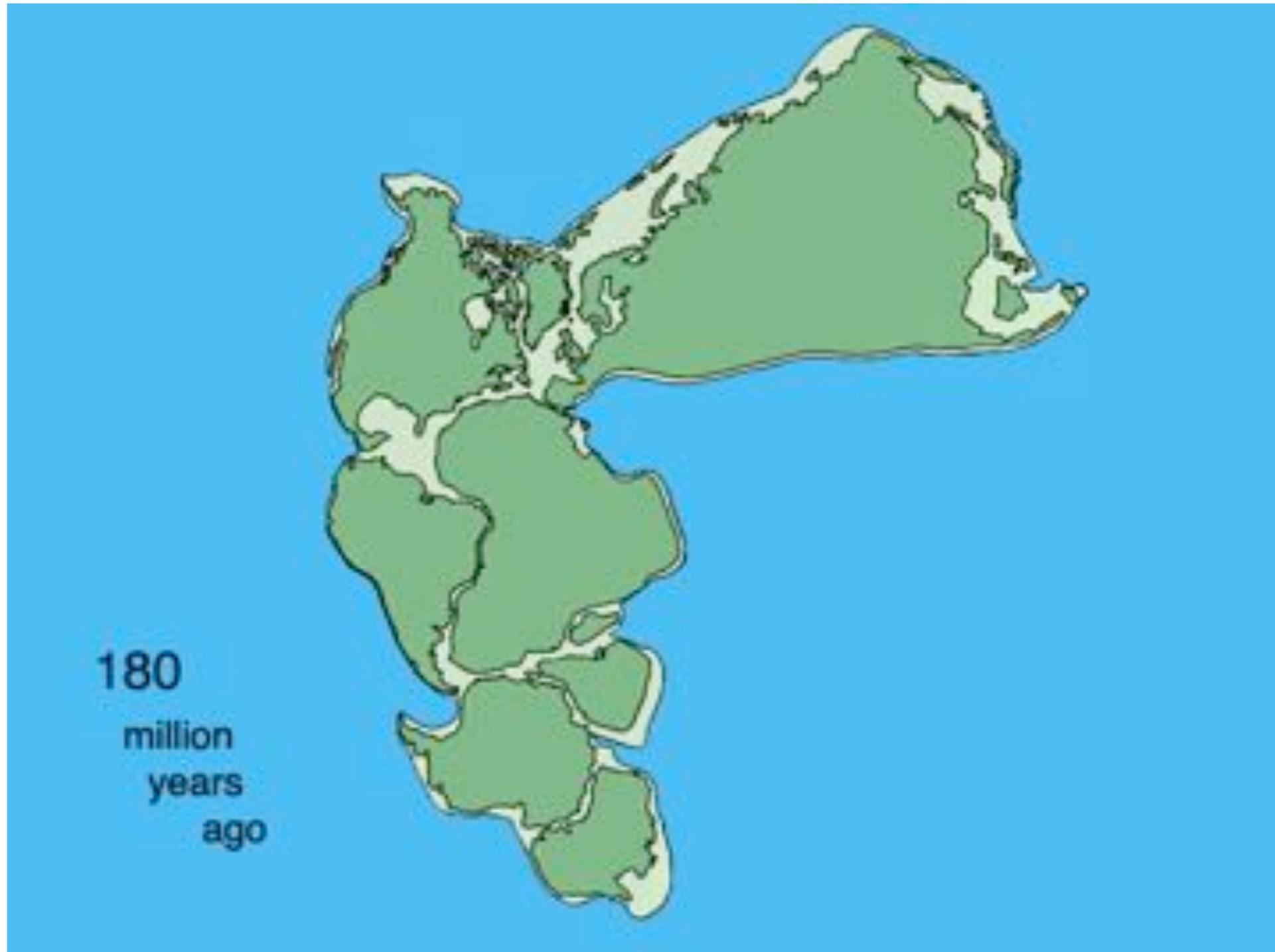


Edouard Roche
1820 - 1883

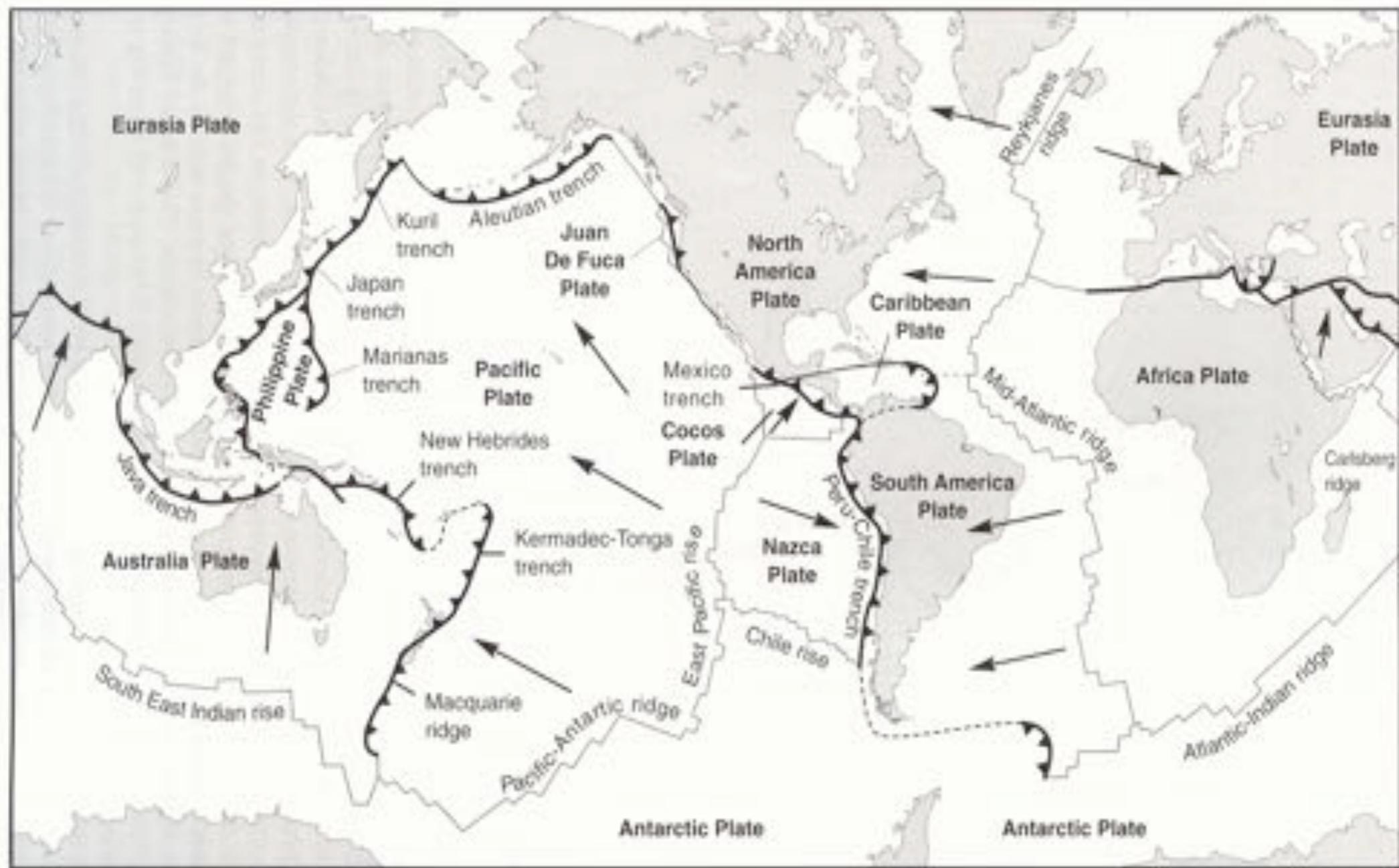


Emil Wiechert
1861 - 1928

La tectonique des plaques



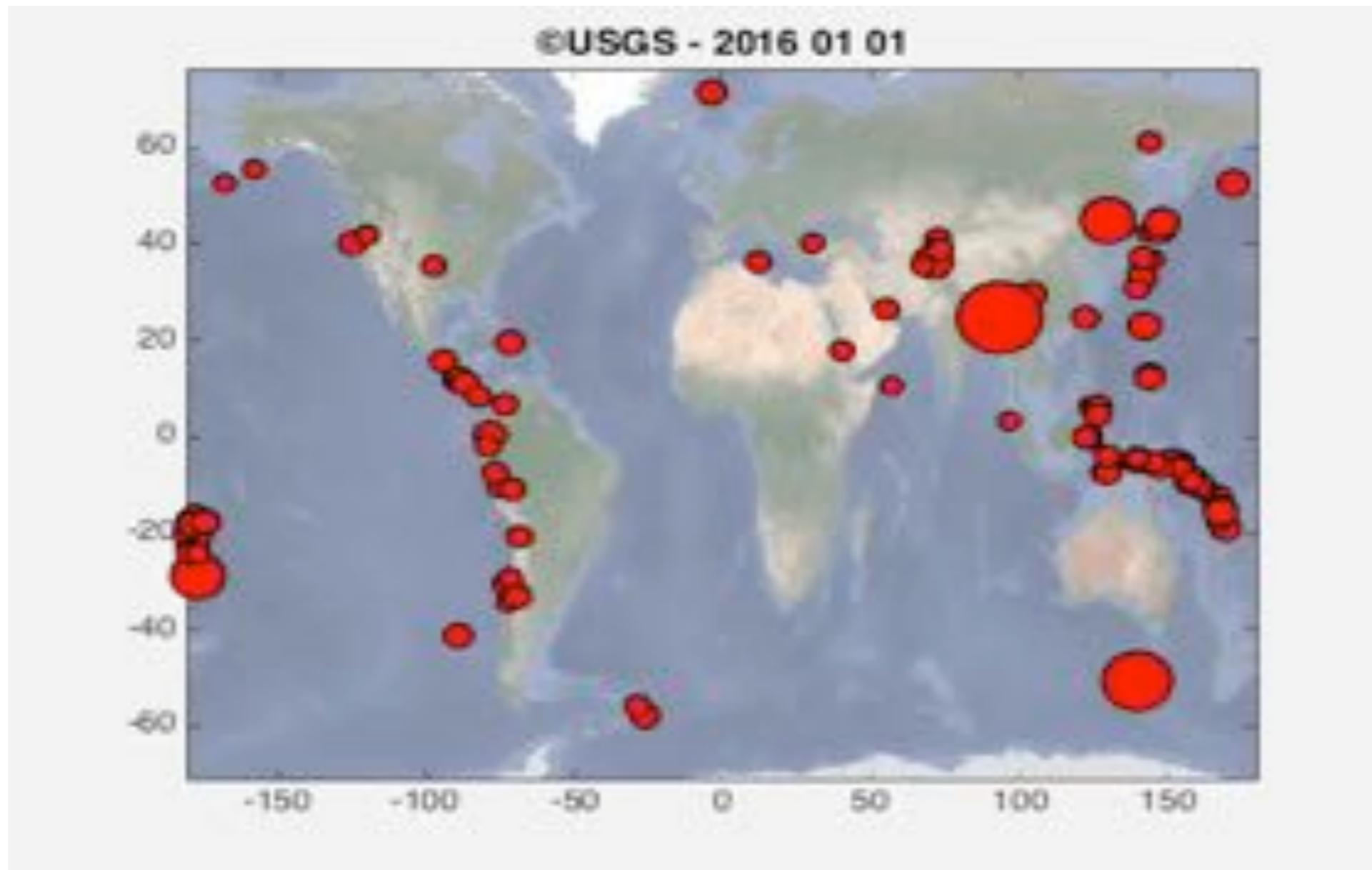
La tectonique des plaques



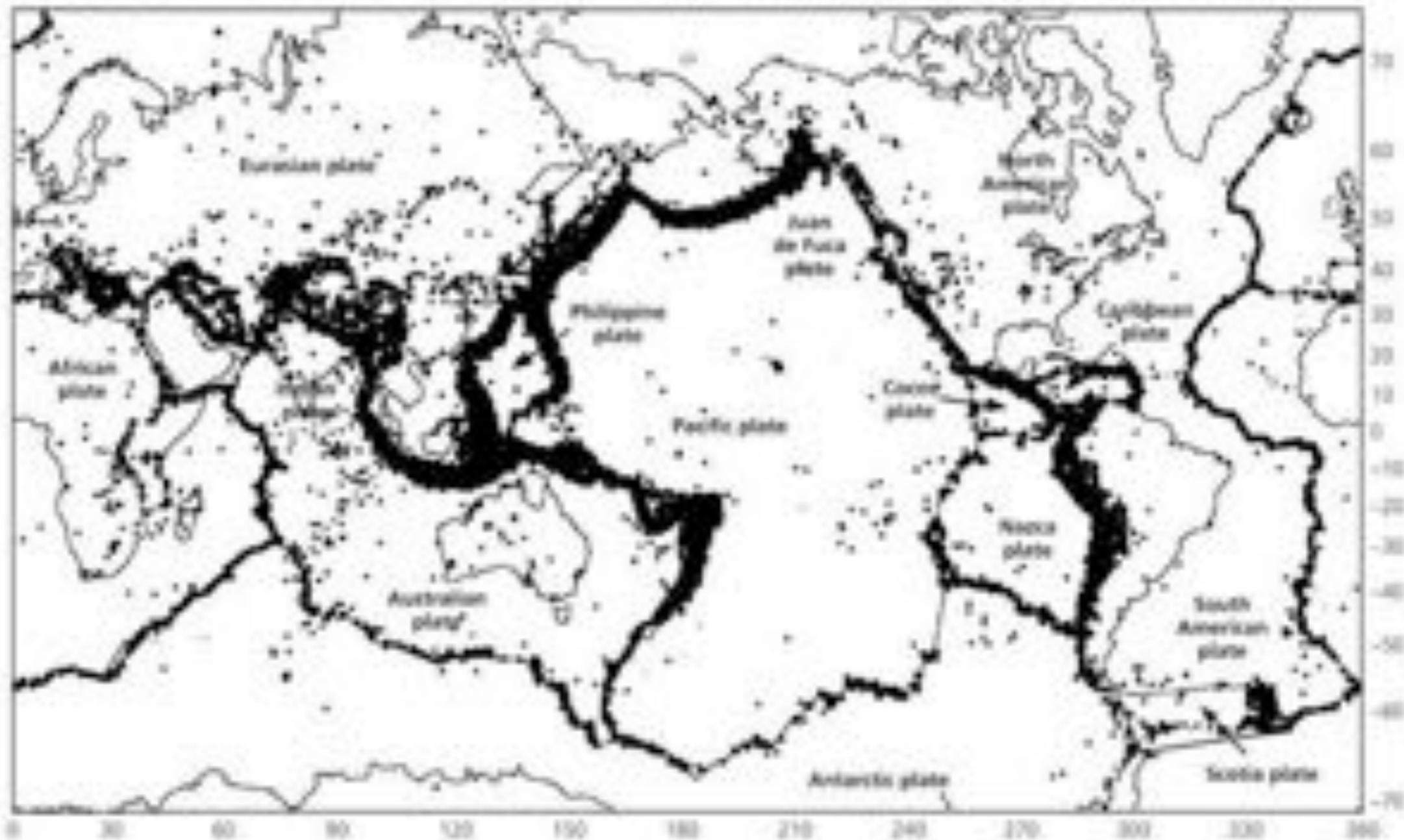
La tectonique des plaques

à l'origine de la sismicité

La tectonique des plaques à l'origine de la sismicité

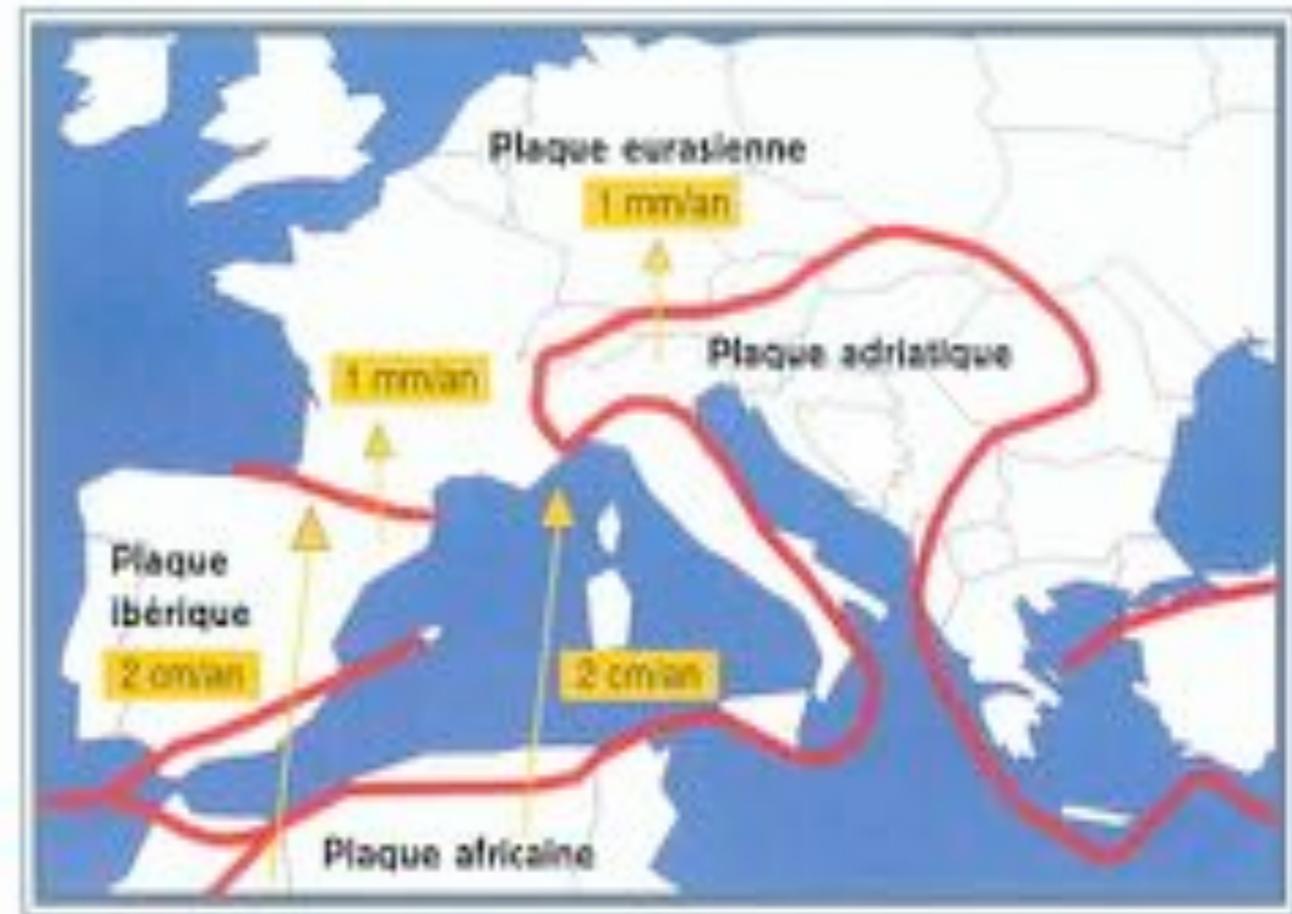
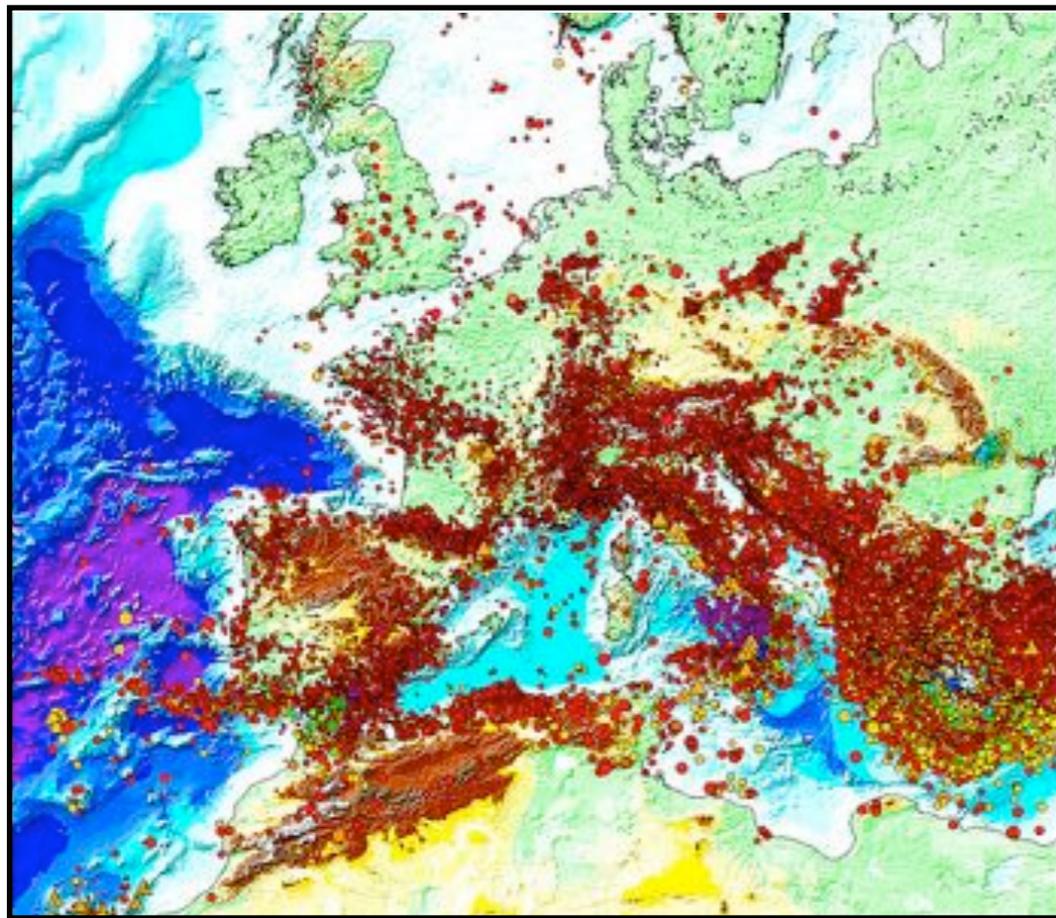


La tectonique des plaques à l'origine de la sismicité

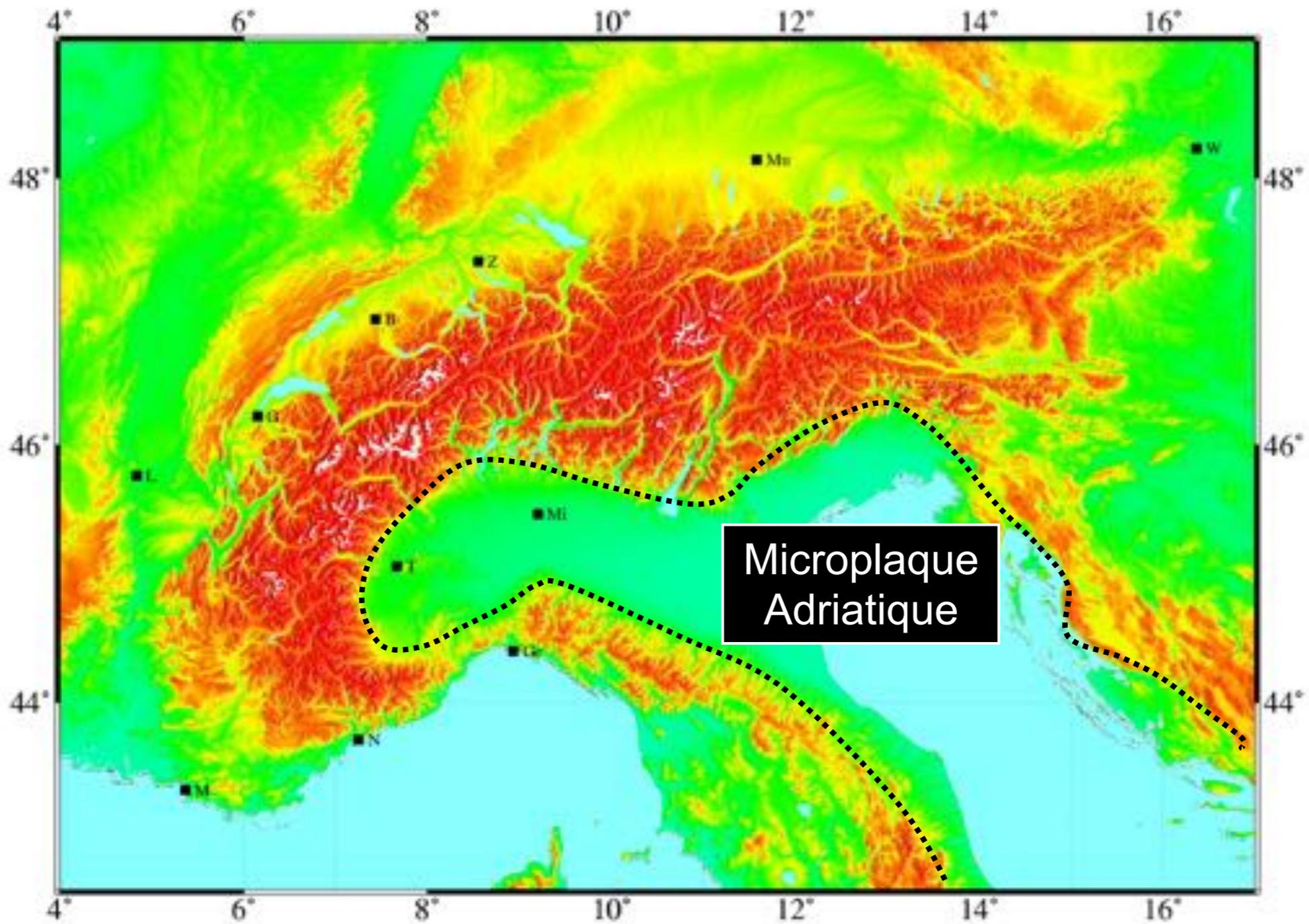


Syein and Wyession, 1998

La tectonique des plaques à l'origine de la sismicité



La tectonique des plaques à l'origine de la sismicité



Instrumenter pour mieux observer

Réplique du sismographe de Zhang Heng - 78-139 AD



Instrumenter pour mieux observer

Sismomètre Wiechert en fonction à
Strasbourg entre 1904 et 1968
1000 kg, 2s de période



Sismomètre Kinematics 1960 1990



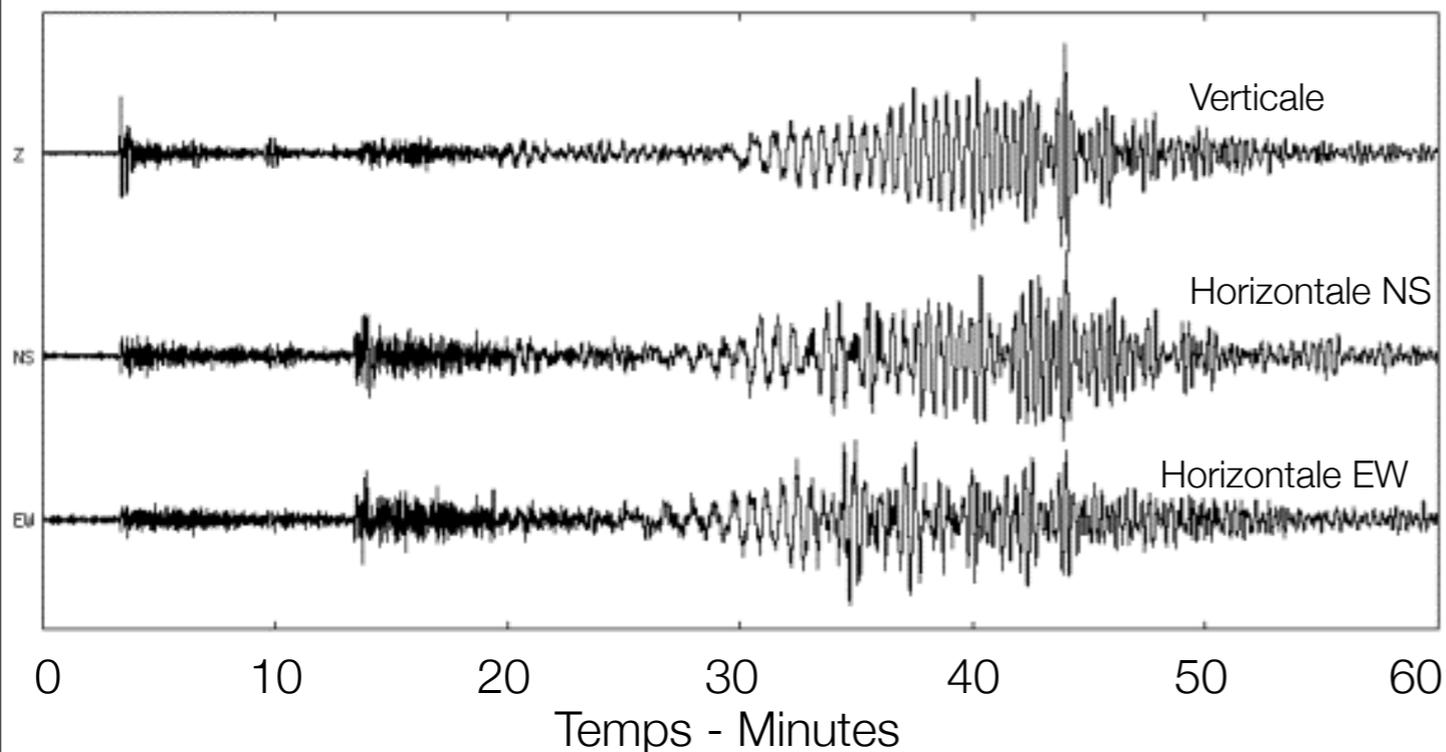
Numériseur Nanometrics
Capteurs Kinematics



Instrumenter pour mieux observer

1889: un séisme se produisant au Japon est enregistré pour la première fois à Potsdam en Allemagne.

26/01/2001 - Séisme au japon (M6.5) enregistré en Allemagne



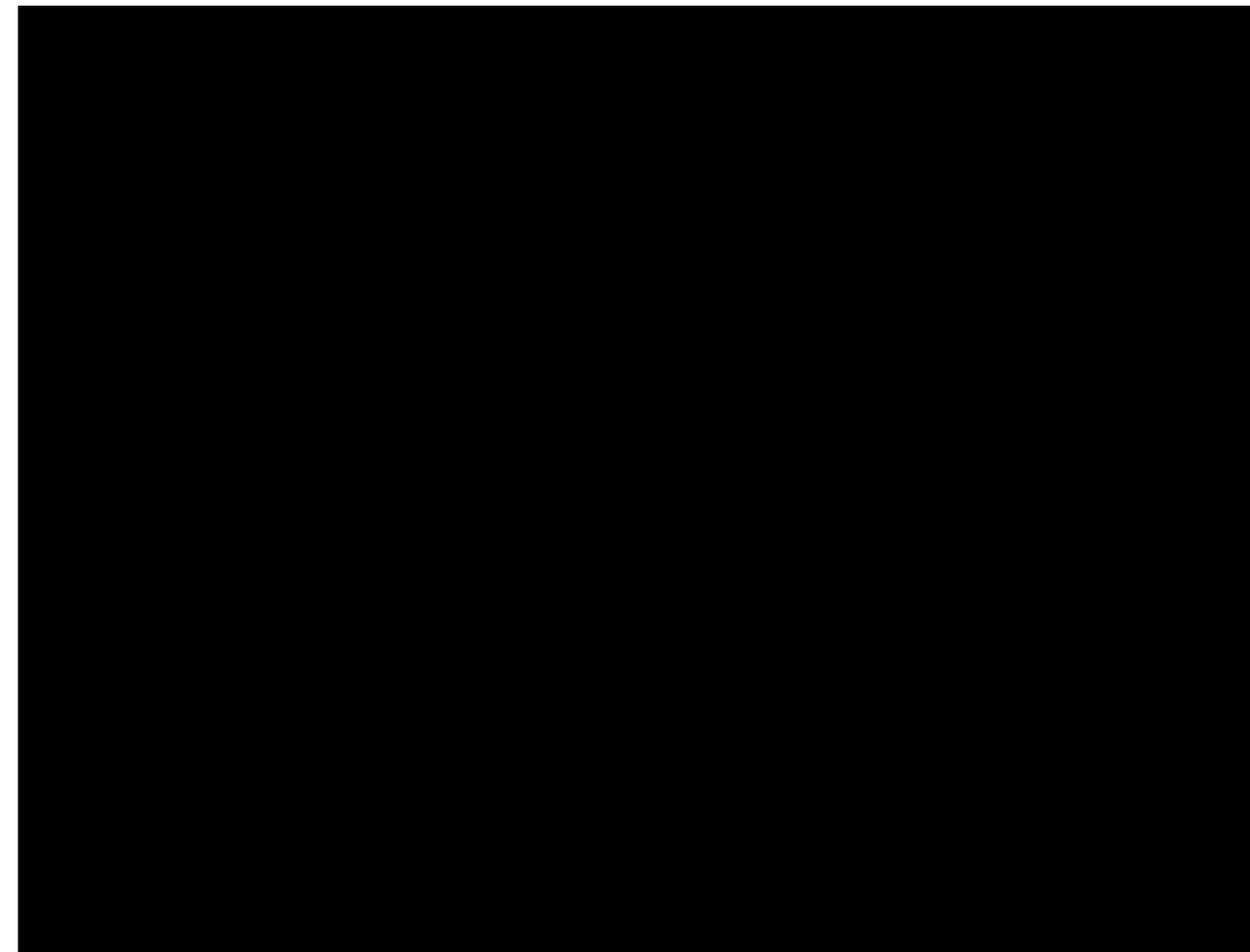
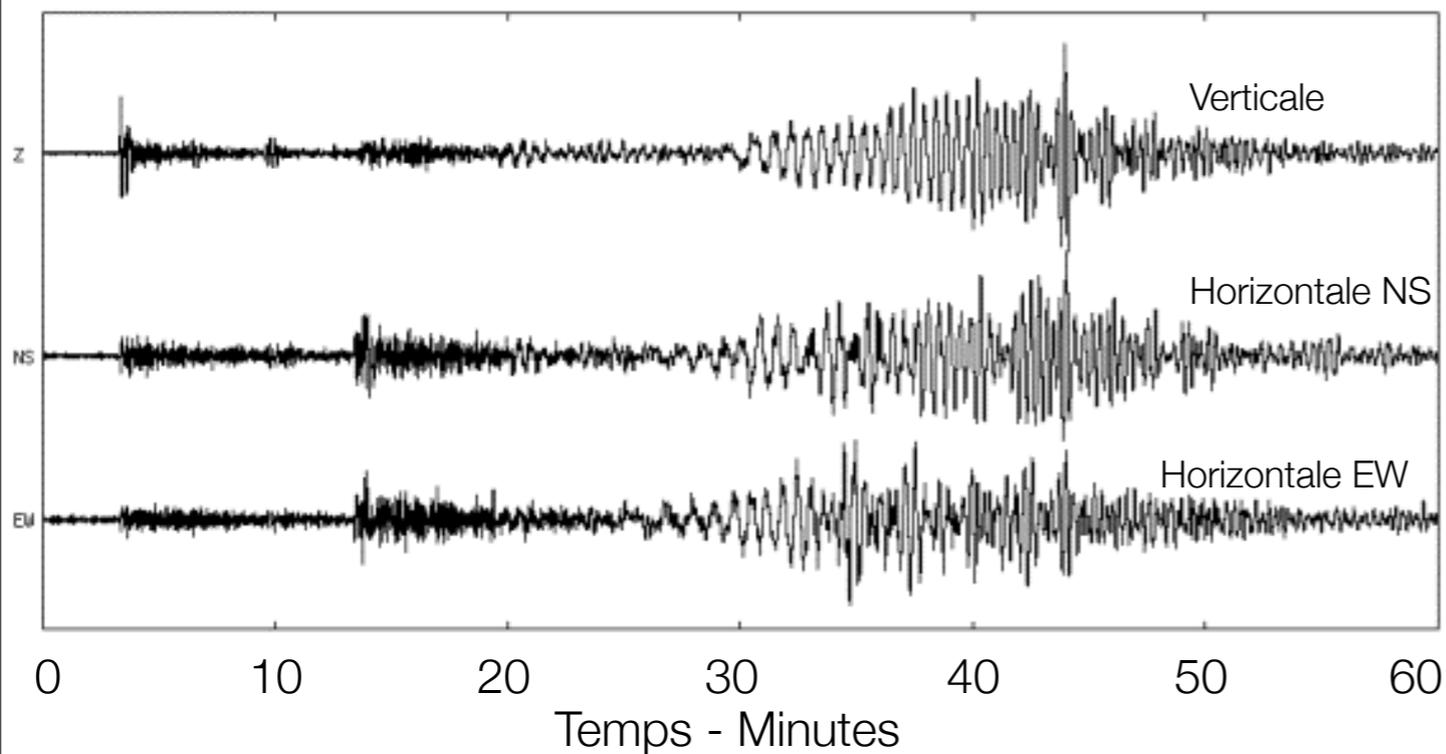
La Terre, dans son ensemble, se comporte comme un solide élastique et un séisme génère des ondes qui peuvent s'y propager sur des milliers de kilomètres.

La vitesse et la nature des ondes nous donnent des informations sur les matériaux traversés et sur la présence d'hétérogénéités majeures: les discontinuités de vitesse

Instrumenter pour mieux observer

1889: un séisme se produisant au Japon est enregistré pour la première fois à Potsdam en Allemagne.

26/01/2001 - Séisme au japon (M6.5) enregistré en Allemagne



Les tremblements de terre: magnitude et intensité

Intensité macro-sismique



Michele Stefano de Rossi
1834 -1898



François-Alphonse Forel
1841-1912

1900 Echelle Rossi-Forel

1902 Echelle Mercalli G Mercalli (sismologue Italien)

1903 Echelle MCS Mercalli-Cancani-Sieberg

1956 Echelle MMI Mercalli-Modifiée par Richter

1964 Echelle MSK Medvedev-Spnhauer-Karnik

1998 Echelle européenne EMS98 G. Grunthal



Liée aux dégâts observés

Pour un séisme donné, autant d'intensités que d'endroits où l'on fait l'évaluation. A l'épicentre, intensité maximale

Mesurée sur l'échelle EMS-98 (12 degrés) :

degré I : non ressenti

degré VI : premières fissures dans les plâtres et plafonds

degré XII : modification complète de la topographie



Les tremblements de terre: magnitude et intensité

Magnitude



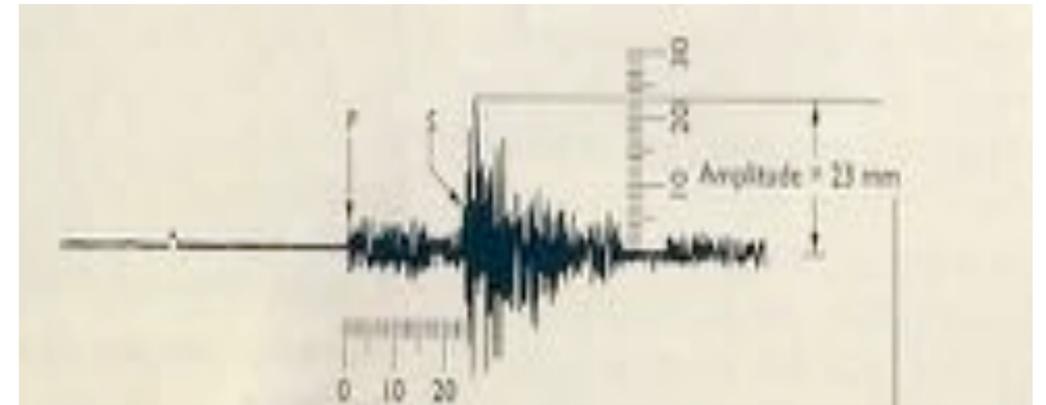
Charles F Richter
1900 -1985

1935 Magnitude de Richter ou Locale **M_L**

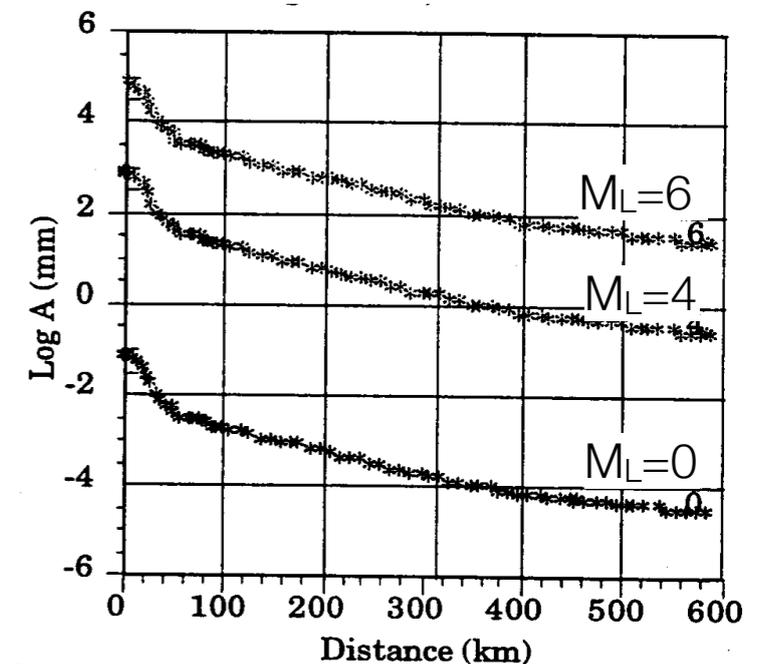
1936 Magnitude d'onde S **M_s** (Guttenberg et Richter)

1956 Magnitude de volume **M_b** (Guttenberg et Richter)

1977-1979 Magnitude de Moment **M_w** H. Kanamori



$$M_L = \log(A) - \log(A_0) + c \log(\Delta)$$



Liée à l'énergie libérée par le séisme

Calculée en utilisant les enregistrements (sismogrammes)

Un séisme = une magnitude et une seule

M = - 3 : « séisme » produit par la chute d'une masse d'un kilogramme d'une hauteur de 30 cm

M = 9,5 : plus gros séisme connu (Chili, 1960) ;

Les tremblements de terre: magnitude et intensité

La magnitude M est proportionnelle à la longueur de la faille qui a rompu:

$M = 2$: faille de 100 m de long

$M = 4$: faille de 1 km de long

$M = 6$: faille de 10 km de long

La magnitude M est proportionnelle au glissement sur la faille qui a rompu:

$M = 2$: glissement de 0,3 cm

$M = 4$: glissement de 3 cm

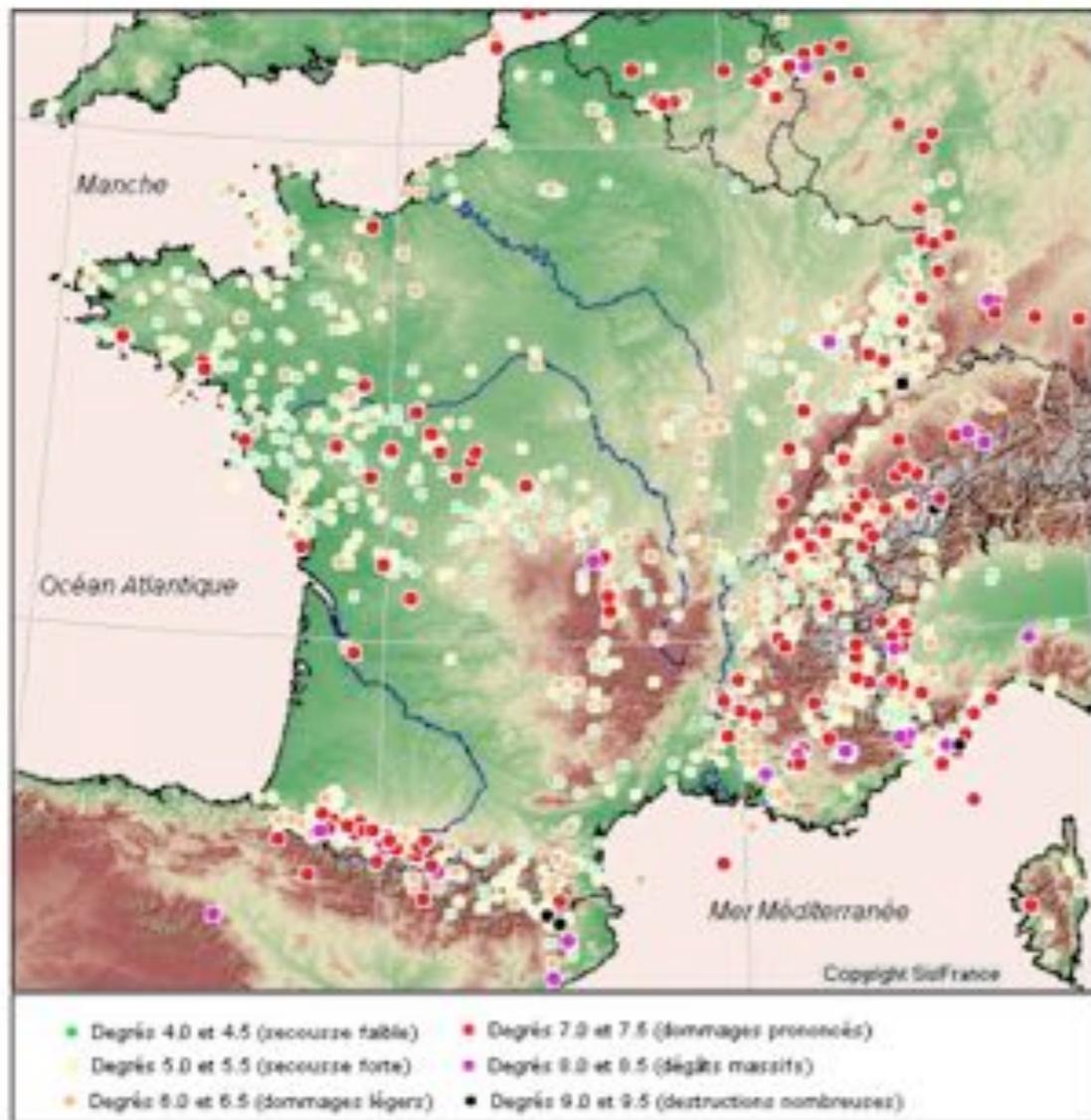
$M = 6$: glissement de 30 cm

Les tremblements de terre: magnitude et rupture

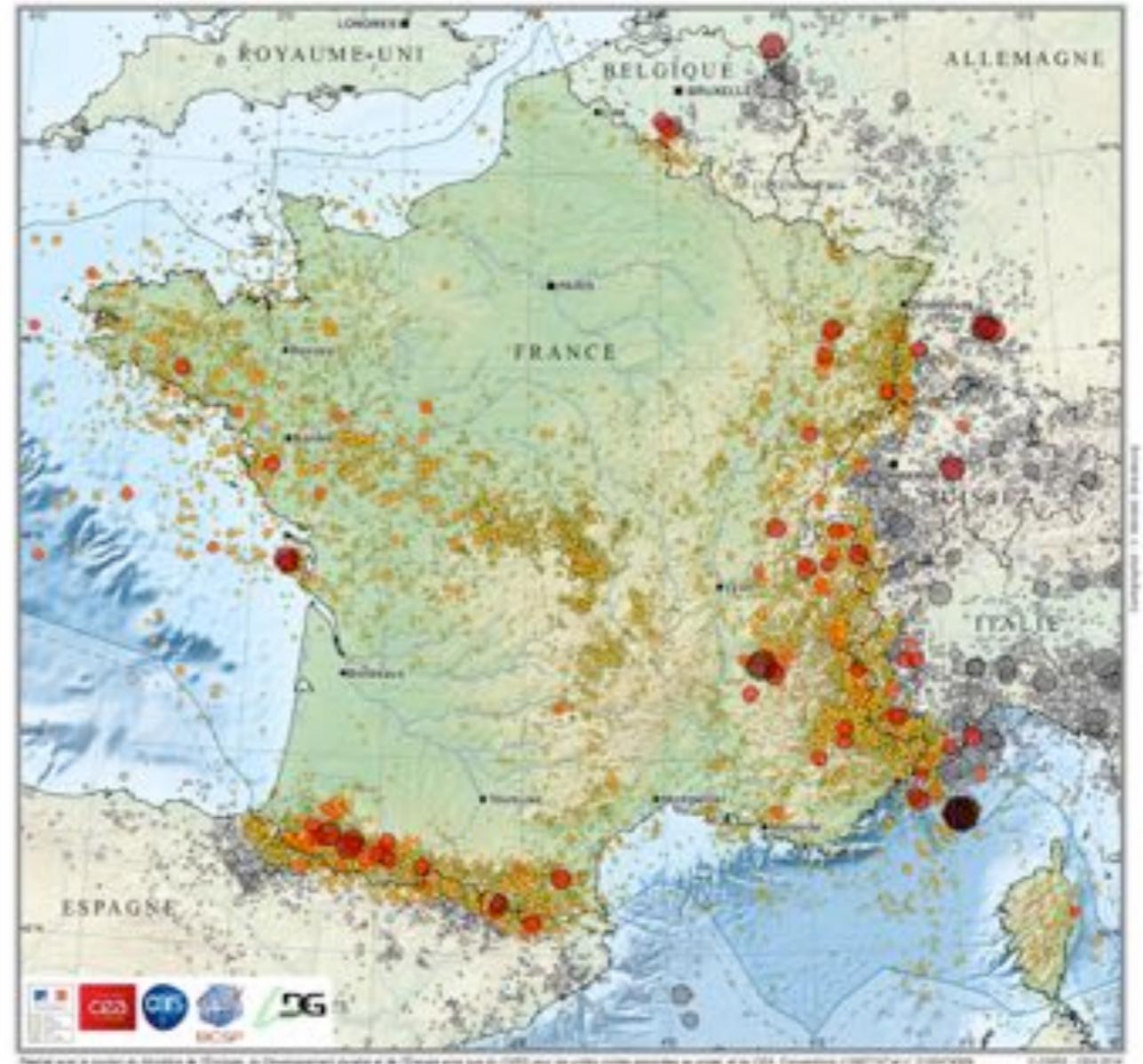


Les tremblements de terre: magnitude et intensité

Sismicité historique de la France
1300 - 2003



Sismicité instrumentale de la France (SiHEX)
1962 - 2009

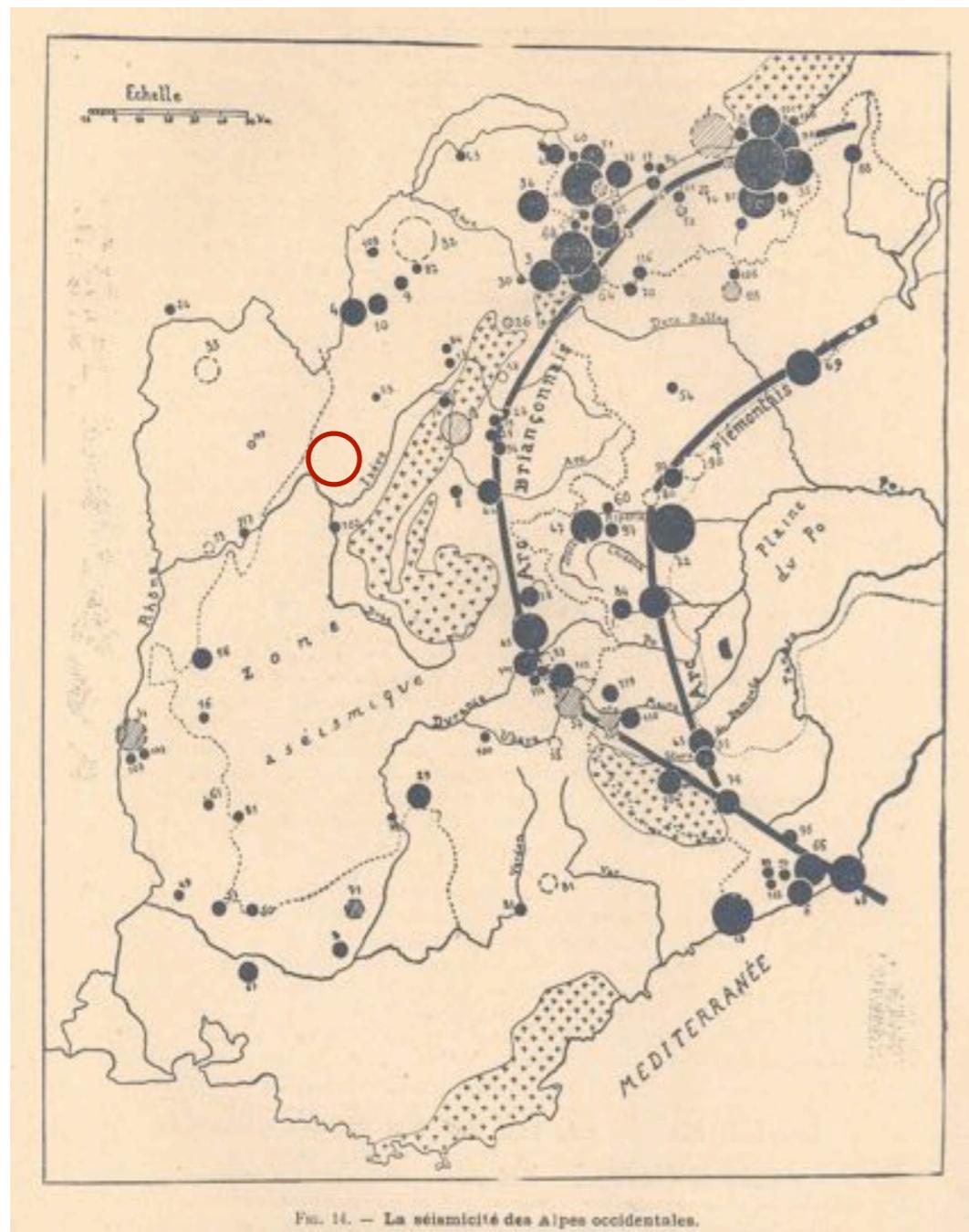


En couleur : épicentres des séismes d'origine naturelle dans la zone SiHEX (France métropolitaine et zone économique exclusive en mer (ZEE), avec élargissement de 20 km), ainsi que les séismes ressentis en France avec une intensité (MSK-64 à IV (ICSF). En gris : épicentres des séismes hors zone pour lesquels une magnitude M_L a été calculée dans le cadre du projet SiHEX.

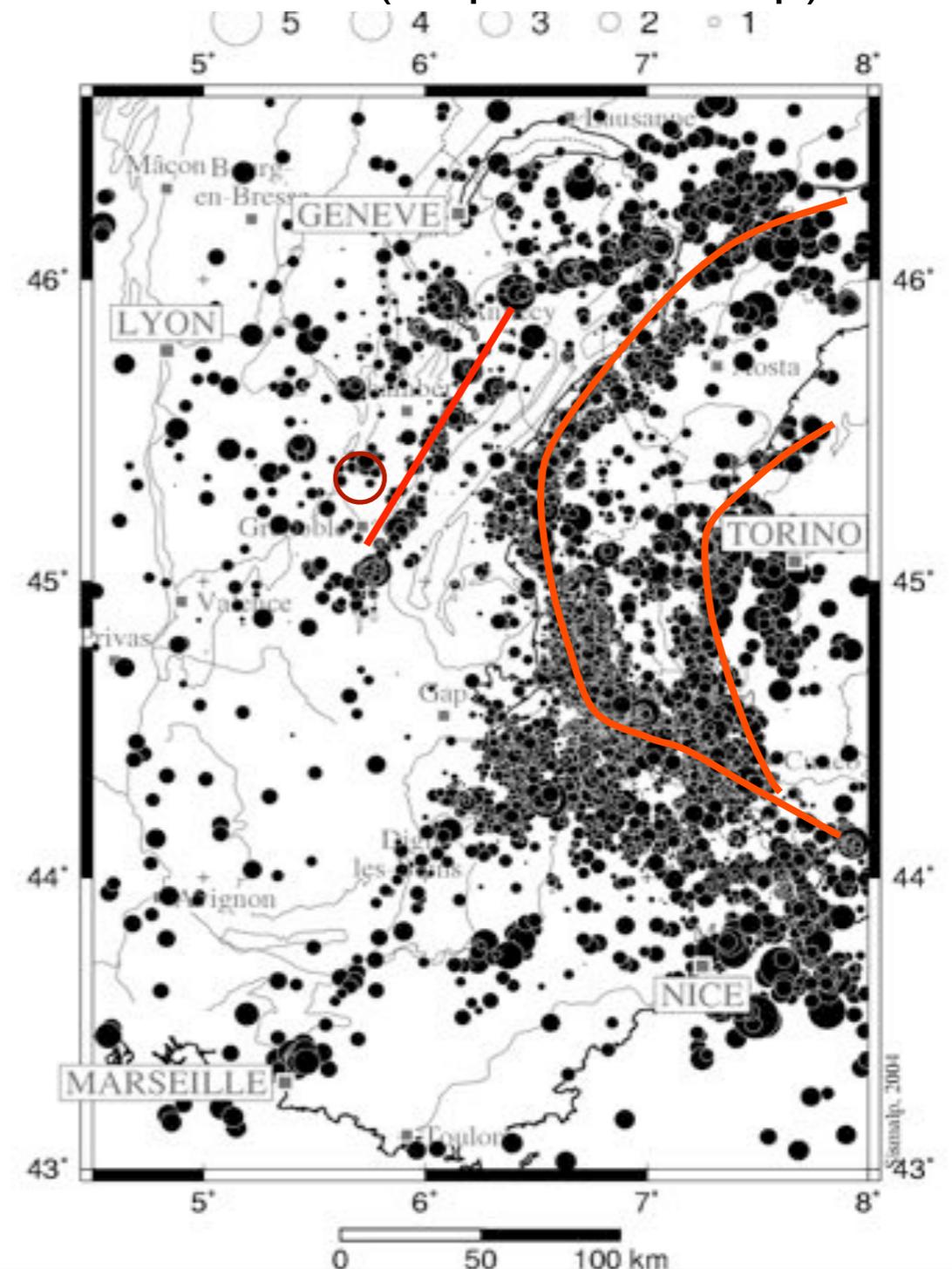


Instrumenter pour mieux observer

En 1941 (d'après Rothé)



En 2006 (d'après SISMalp)



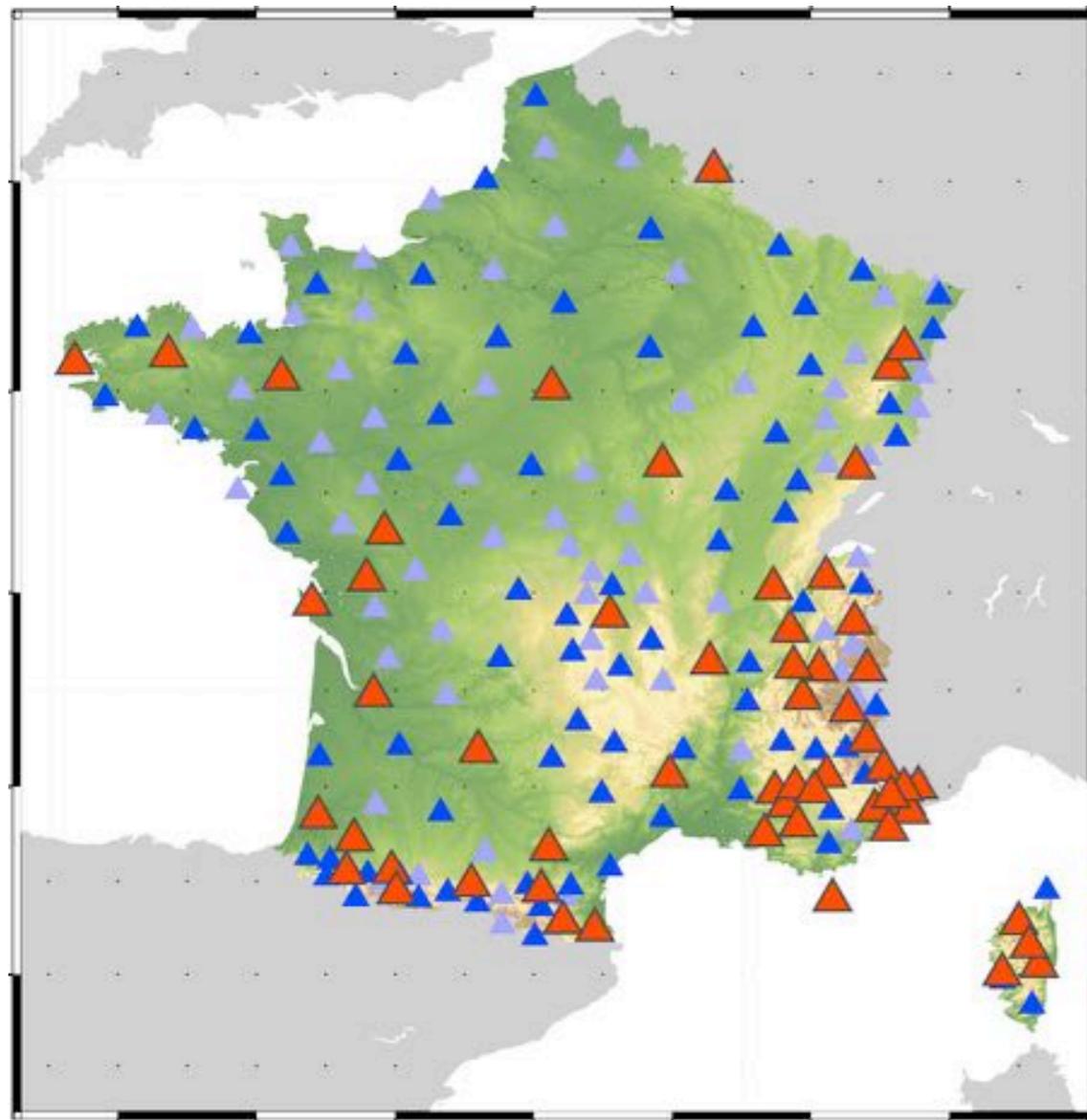
Instrumenter pour mieux observer

Instrumenter pour mieux observer

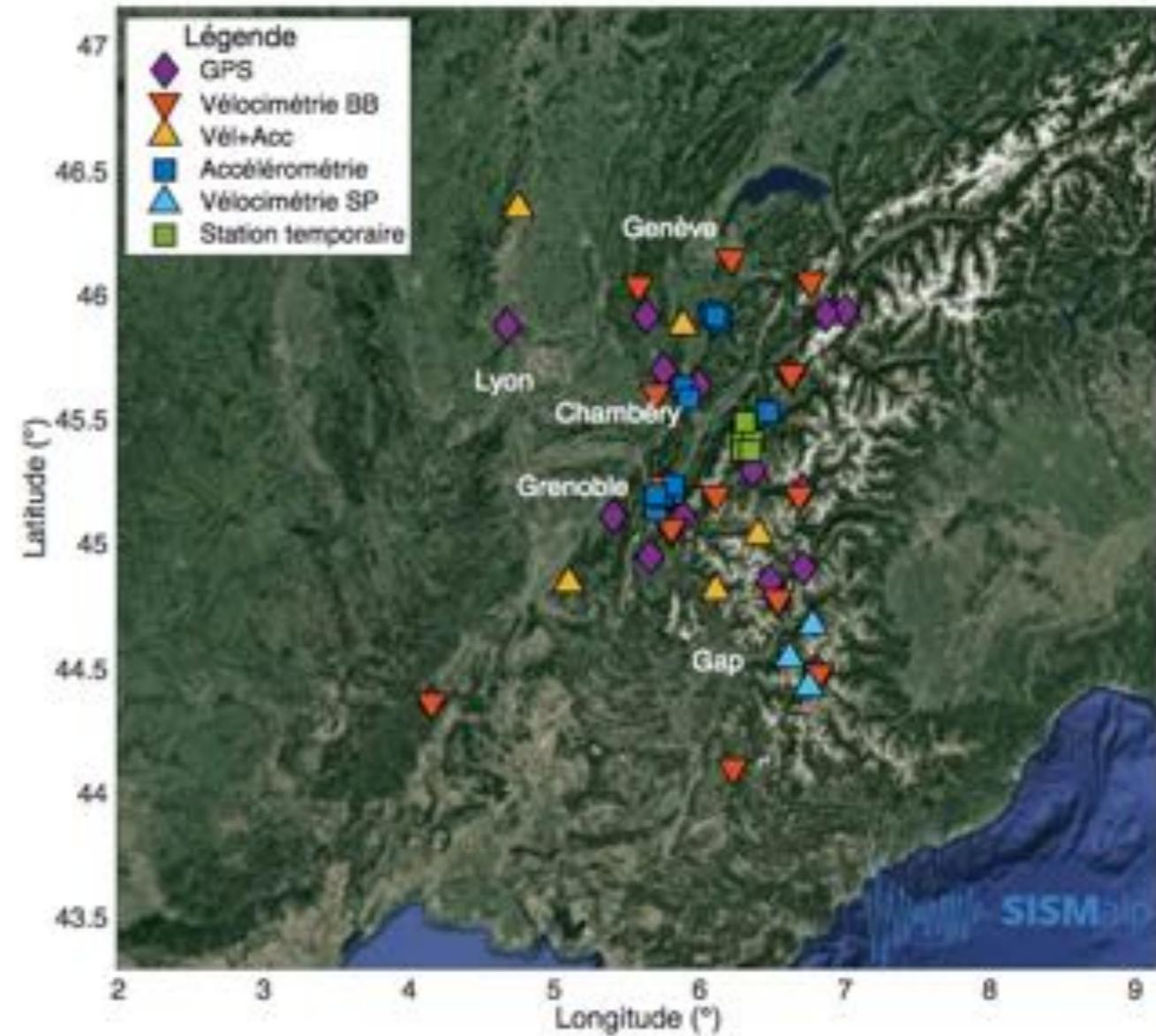


Instrumenter pour mieux observer

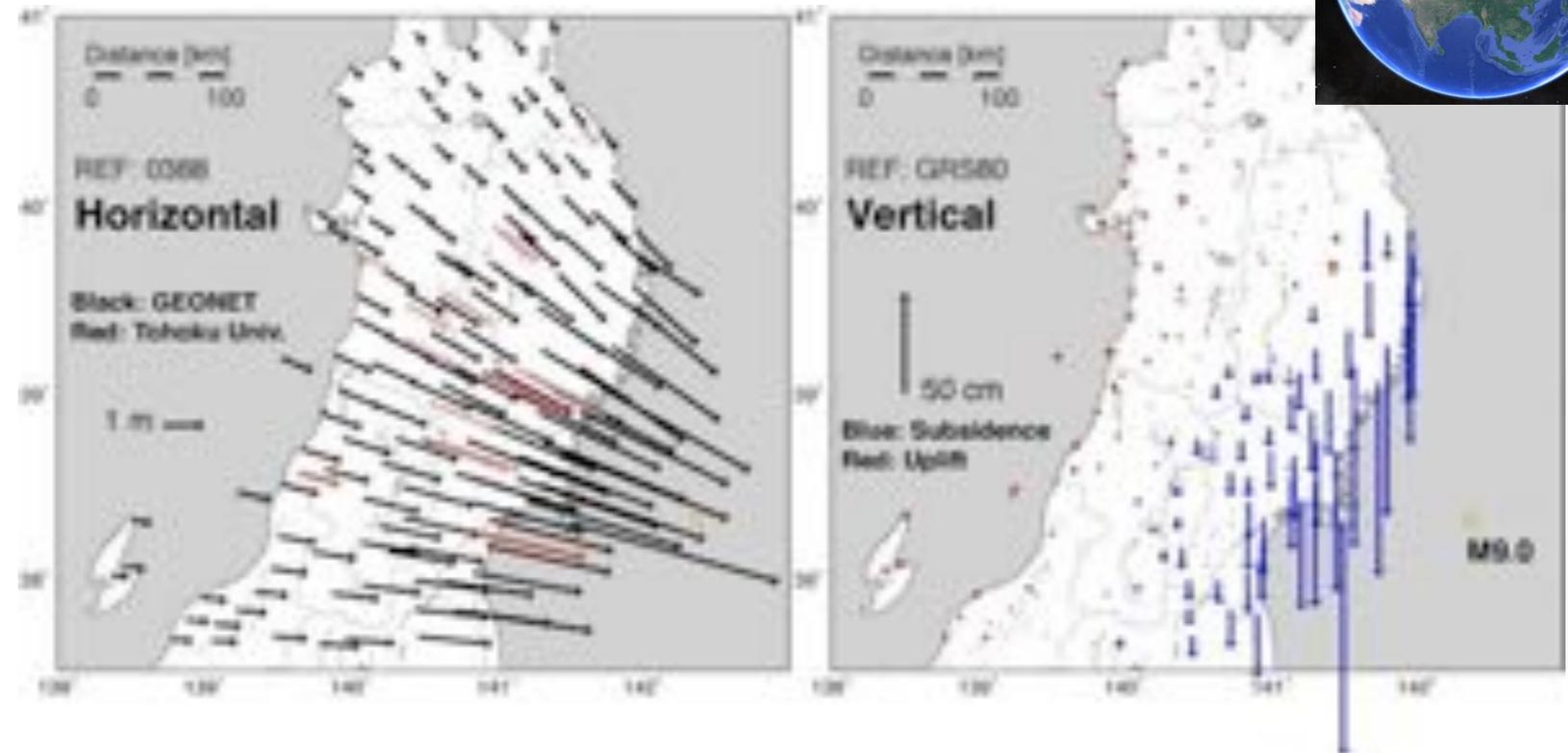
Réseau Sismologique et géodésique Français en 2020



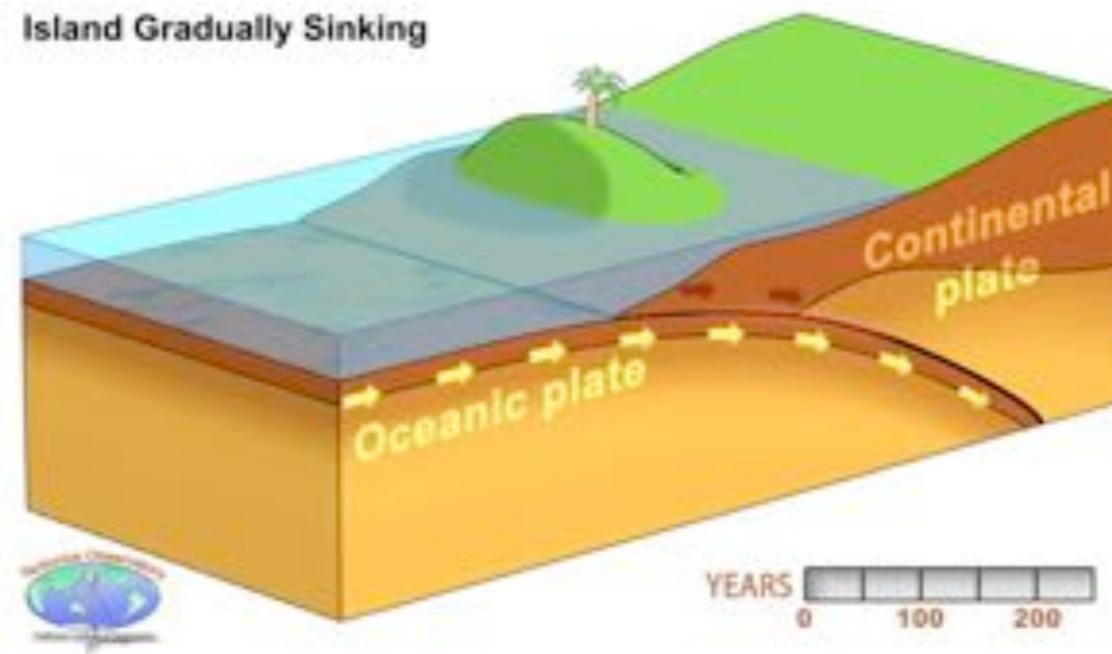
Réseau SISMaIp



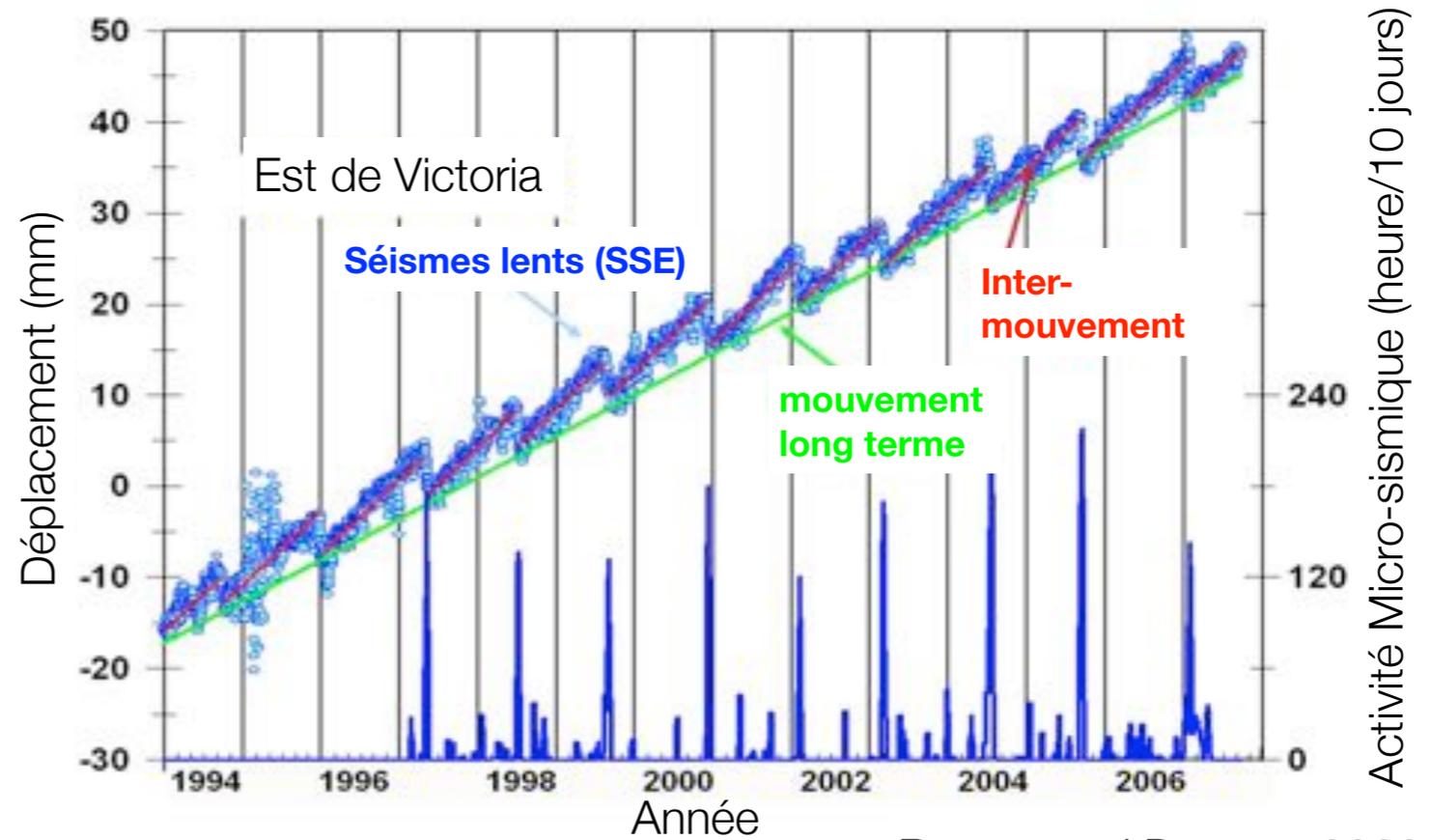
Instrumenter pour mieux observer



Island Gradually Sinking



Le cycle des séismes: séismes lents SSE

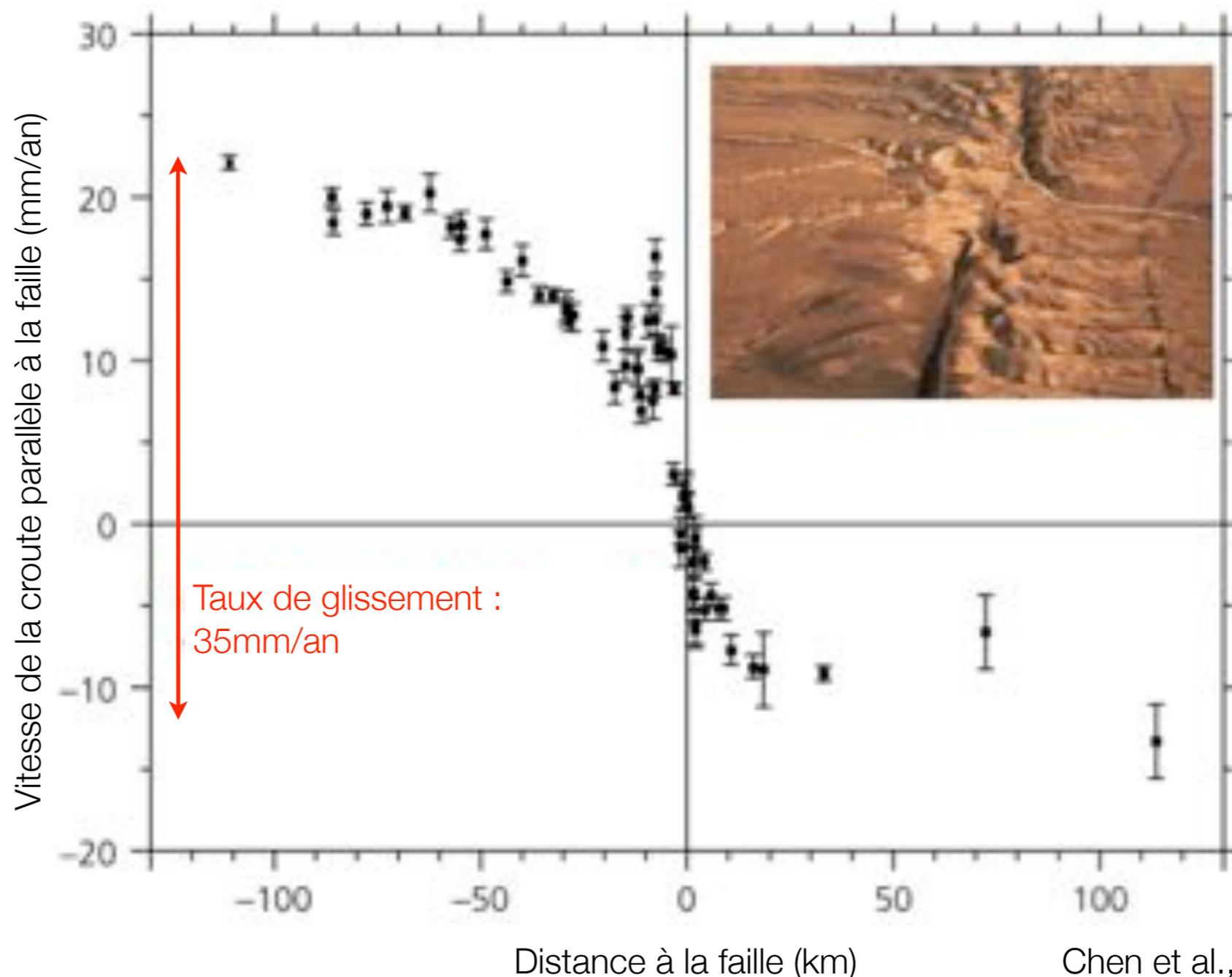


Rogers and Dragert, 2003

Le cycle des séismes: rebond élastique

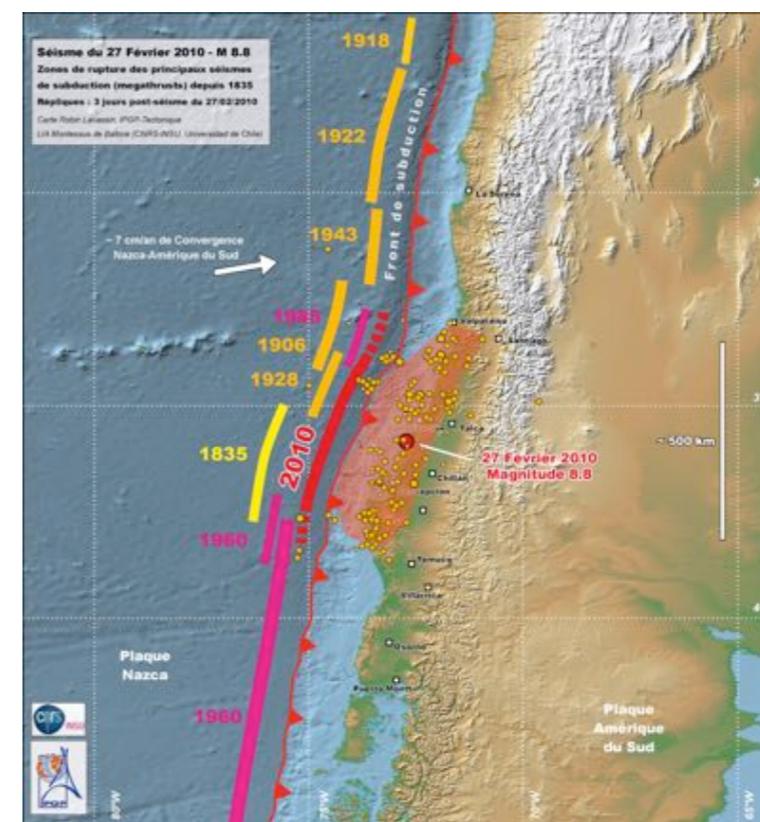
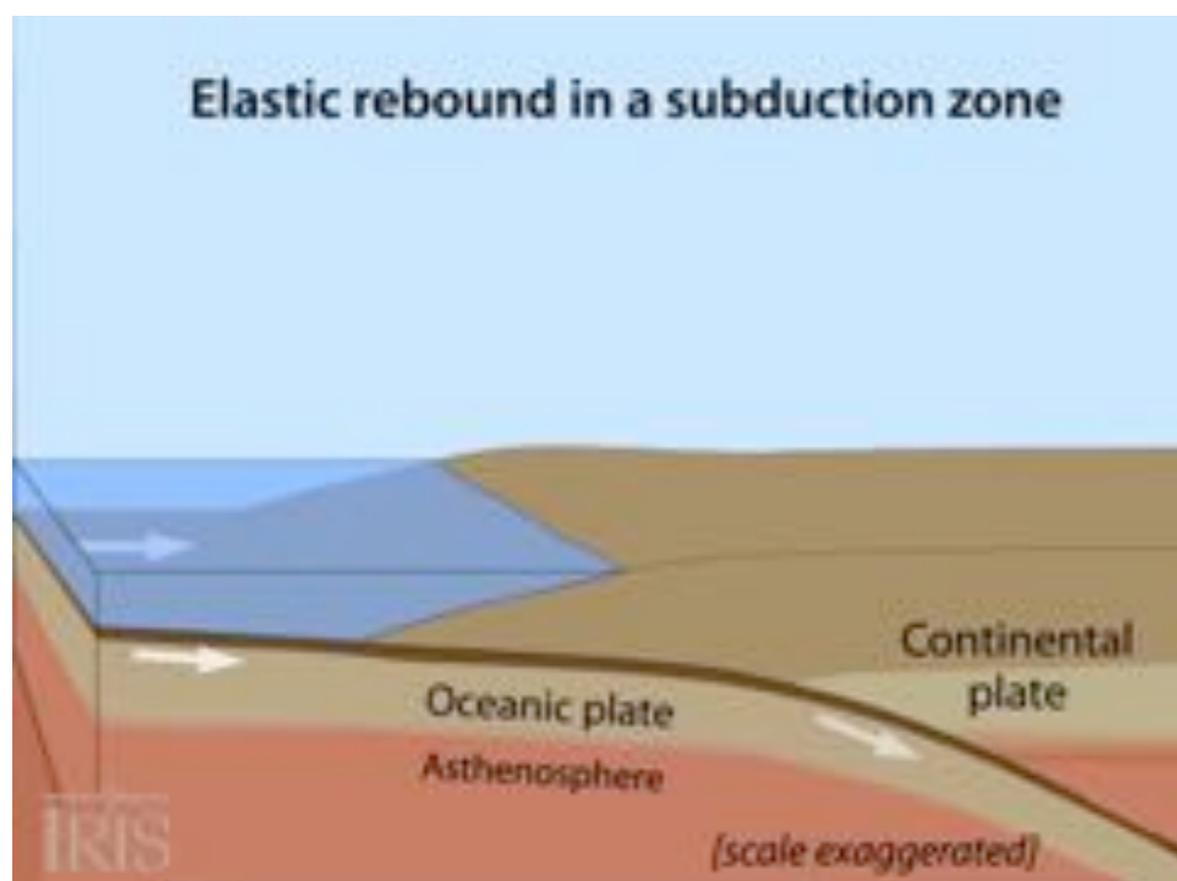


Mouvement GPS de part et d'autre de la faille de San Andreas Californie



Chen et al., 1996

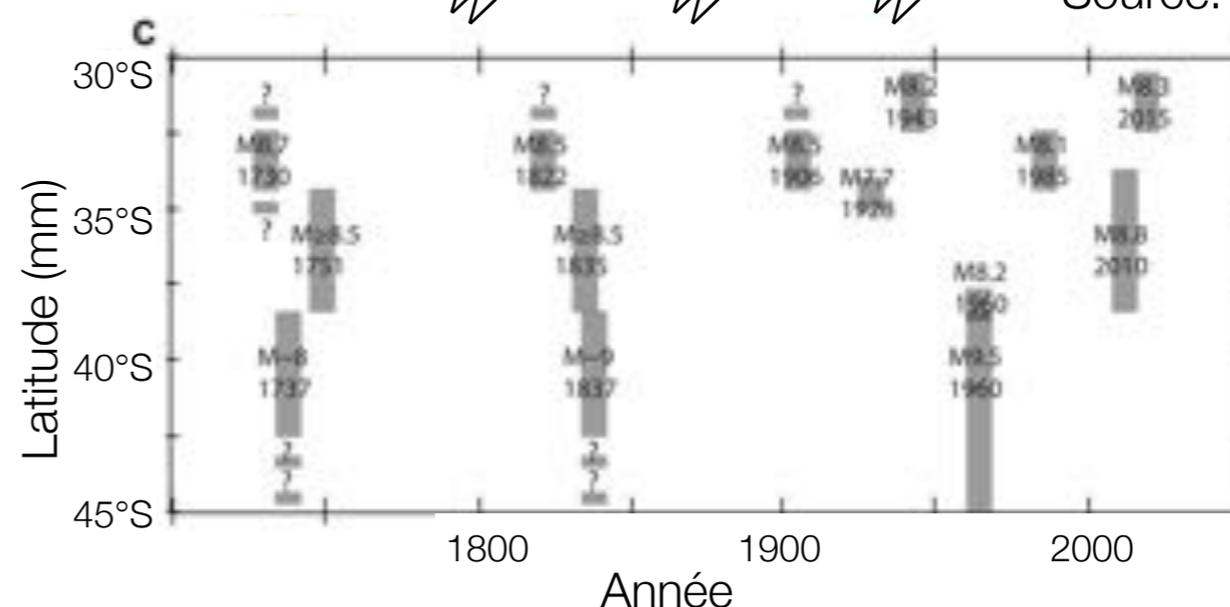
Le cycle des séismes: rebond élastique



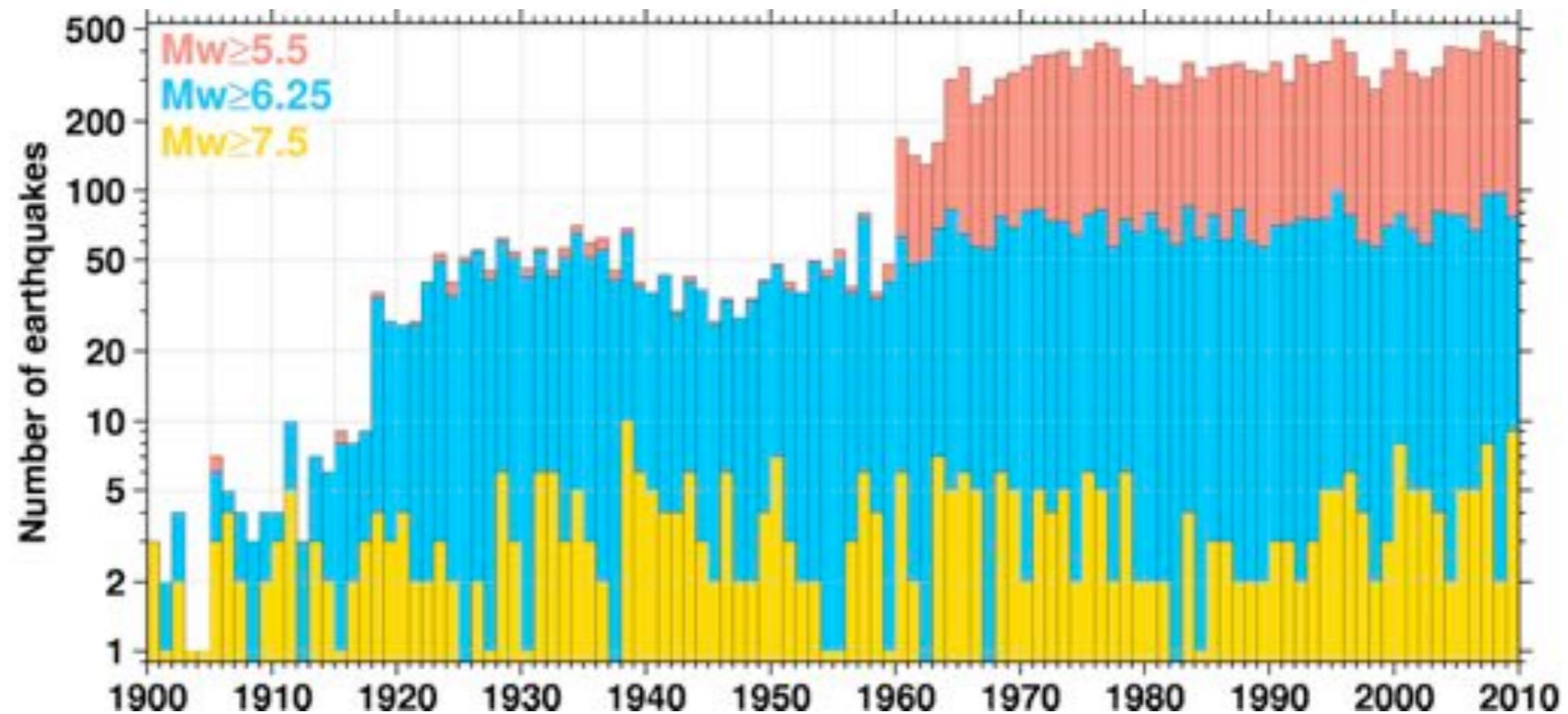
30°S
35°S
40°S

80°W 75°W 70°W

Source: R. Lacassin



Les tremblements de terre: fréquence et occurrence

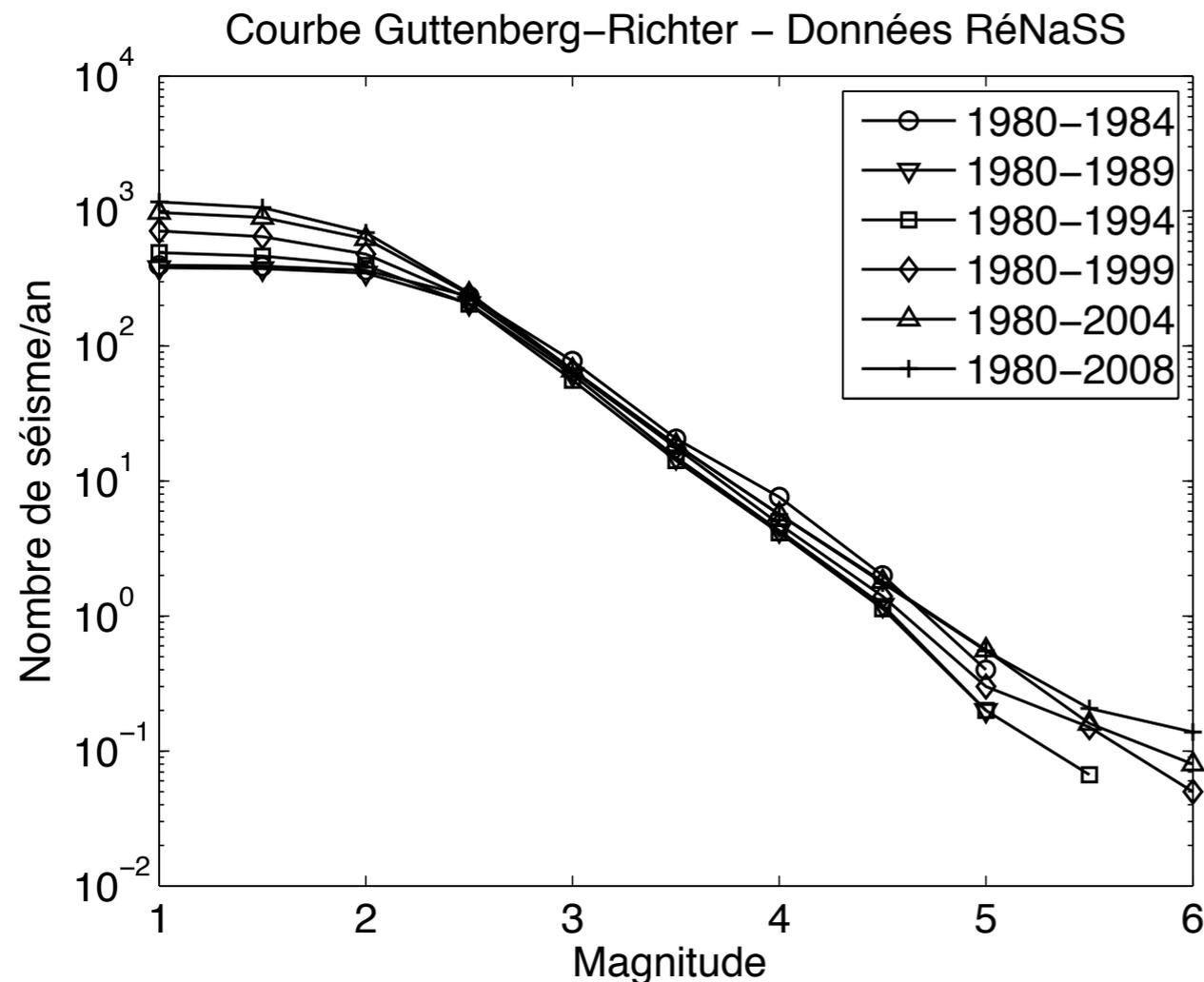


Monde

Source: ISC

- 3 000 séismes de $M > 2$ par jour
- 30 séismes de $M > 4$ par jour
- 1 séisme de $M > 6$ tous les 3 jours
- 1 séisme de $M > 7$ par mois
- 1 séisme de $M > 9$ tous les 10 ans

Les tremblements de terre: fréquence et occurrence



France

- 600 séismes de $M > 2$ par an
- 60 séismes de $M > 3$ par an
- 6 séismes de $M > 4$ par an
- 1 séisme de $M > 5$ tous les 10 ans
- 1 séisme de $M > 6$ tous les 100 ans

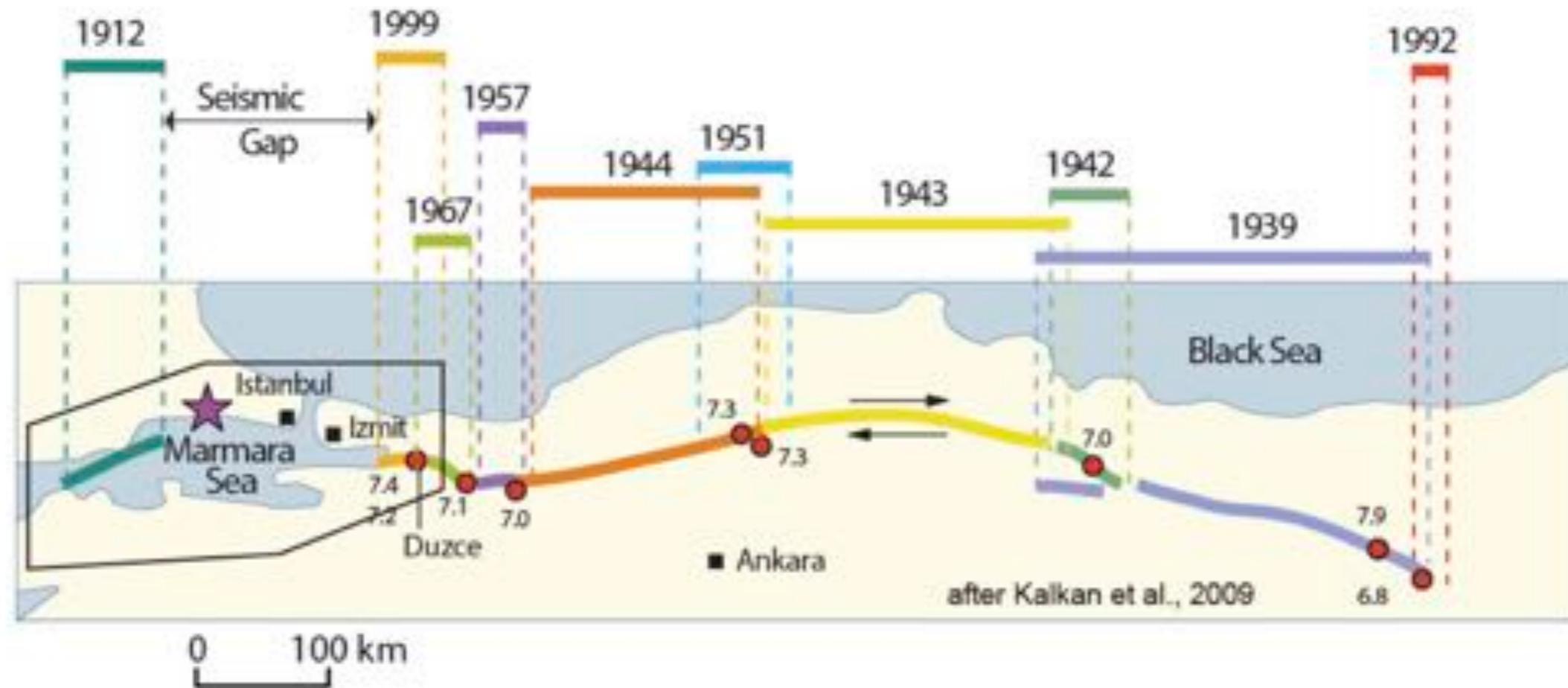
Sud-Est

- 300 séismes de $M > 1$ par an
- 30 séismes de $M > 2$ par an
- 3 séismes de $M > 3$ par an
- 1 séisme de $M > 4$ tous les 3 ans
- 1 séisme de $M > 5$ tous les 30 ans
- 1 séisme de $M > 6$ tous les 300 ans

Les tremblements de terre: fréquence et occurrence

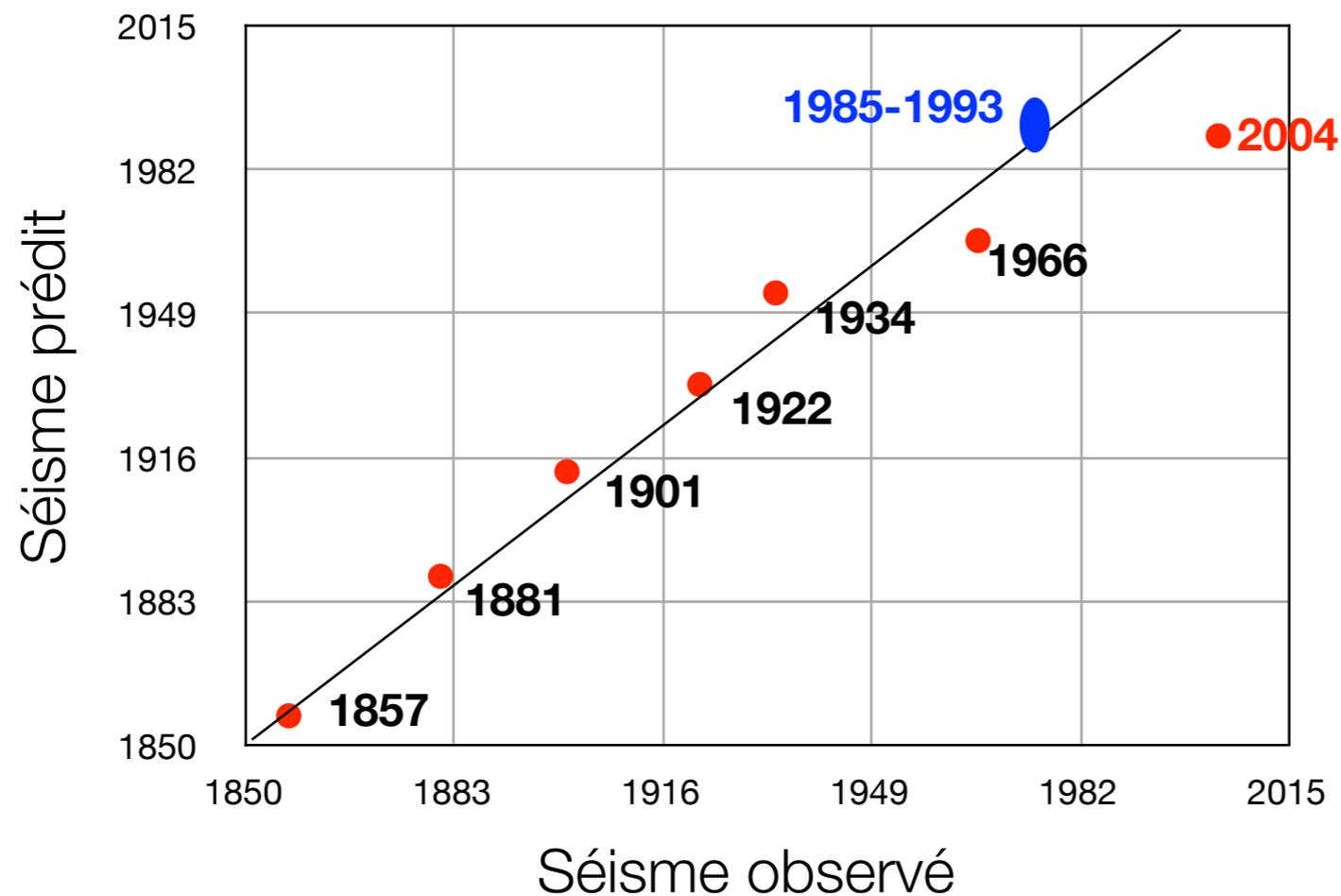


Faille Nord-Anatolienne (Turquie)

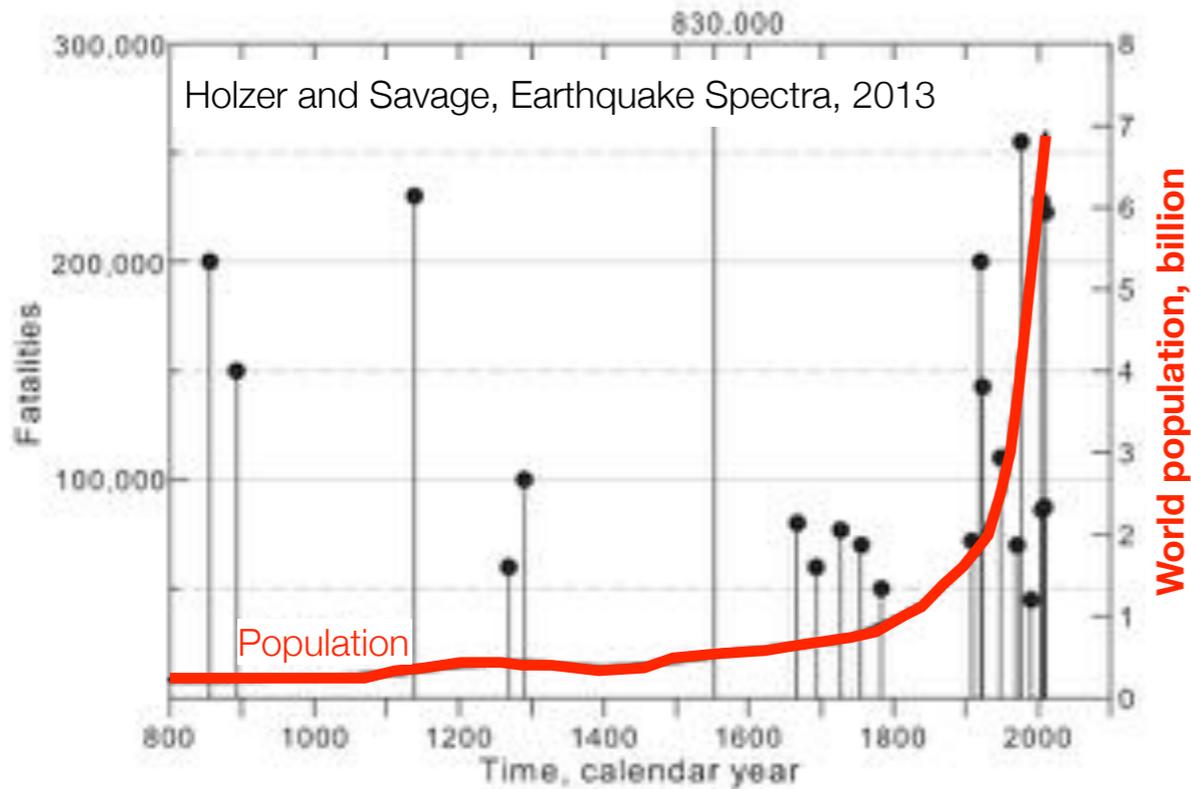


Les tremblements de terre: fréquence et occurrence

Prédiction des séismes futurs ?
L'exemple de Parkfield (Californie)



Risque sismique en zone urbaine



Téhéran:

1950: 1 million d'habitants

2010: 10 million d'habitants

Ville détruite en 850 AC, 958, 1177, 1830

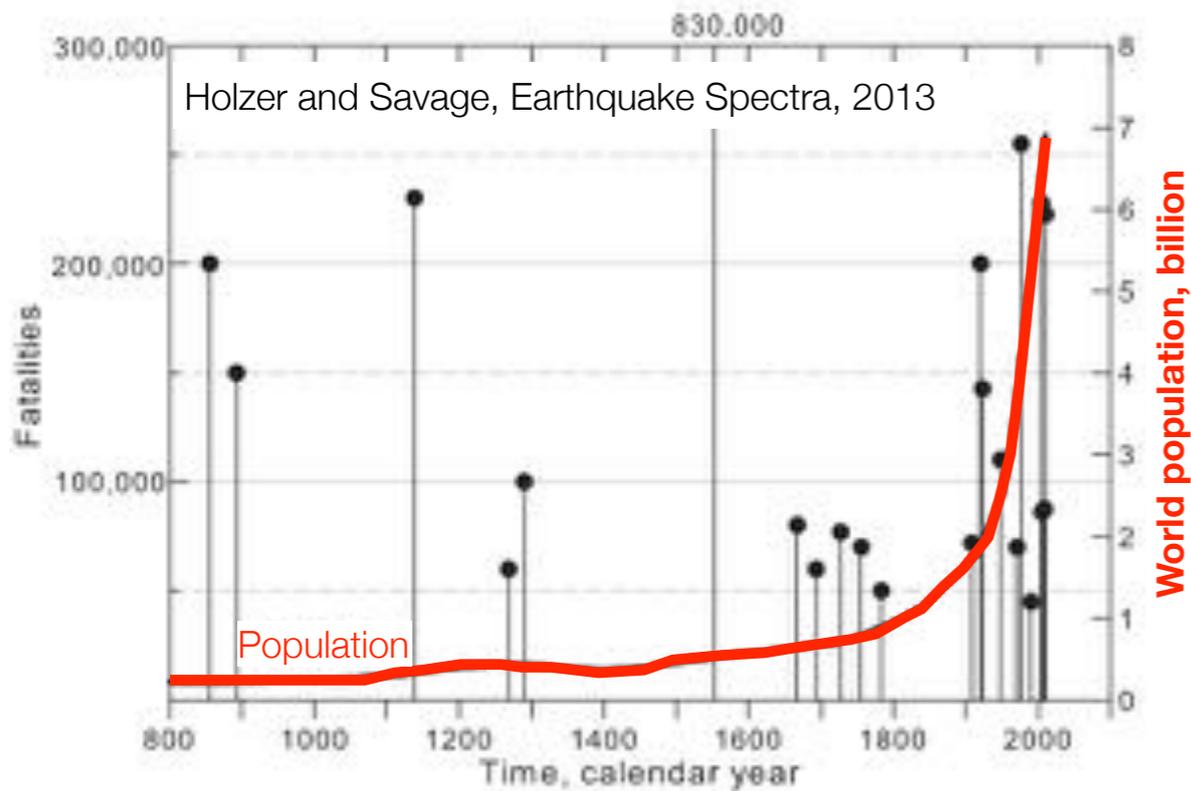
En supposant le même nombre de séismes destructeurs entre le XXème et le XXIème siècle:

2.8 million de victimes d'ici 2100

“ Les grands catastrophes sont rares uniquement parce que les grandes agglomérations (MegaCity) existent depuis peu de temps (environ 50 ans): elles n'ont pas encore subi les grands tremblements de terre (Mega Earthquake) . Une augmentation des catastrophes semble inévitable.”

Jackson, Philosophical Transactions of the Royal Society, 2006

Risque sismique en zone urbaine



En supposant le même nombre de séismes destructeurs entre le XXème et le XXIème siècle:
2.8 million de victimes d'ici 2100

Haiti:

1950: 3.2 million d'habitants
2010: 11 millions d'habitants

Ville détruite en 1750, 1841, 2010

“ Les grands catastrophes sont rares uniquement parce que les grandes agglomérations (MegaCity) existent depuis peu de temps (environ 50 ans): elles n'ont pas encore subi les grands tremblements de terre (Mega Earthquake) . Une augmentation des catastrophes semble inévitable.”

Jackson, Philosophical Transactions of the Royal Society, 2006

Aléa Sismique: une tragédie classique ?

Pour s'en protéger, l'aléa sismique doit être défini au mieux.

Le lieu:

Où se produisent les séismes?

Se reproduisent-ils au même endroit?

Le temps:

Quelle est la fréquence ou période de retour des séismes?

Se protéger mais pour combien de temps?

L'action:

La magnitude/intensité de l'événement

L'étendu de l'événement

Le mouvement du sol

Aléa Sismique



- On suppose qu'on installe une station sismologique sur un site pendant 10 000 ans
- A partir des données enregistrées pendant 10 000 ans, on calcule le nombre de fois où chaque valeur du mouvement du sol est atteinte ou dépassée (en supposant qu'elle se produit au moins une fois sur 10 000 ans)
- Le résultat est appelé **une courbe d'aléa**

1906 - Rebond élastique (Pr Reid)
1912 - A. Wegener
1960: premier réseau de surveillance globale
1962 - Tectonique des plaques (H Hess - R. Deitz)

Aléa Sismique



1 000 000 années

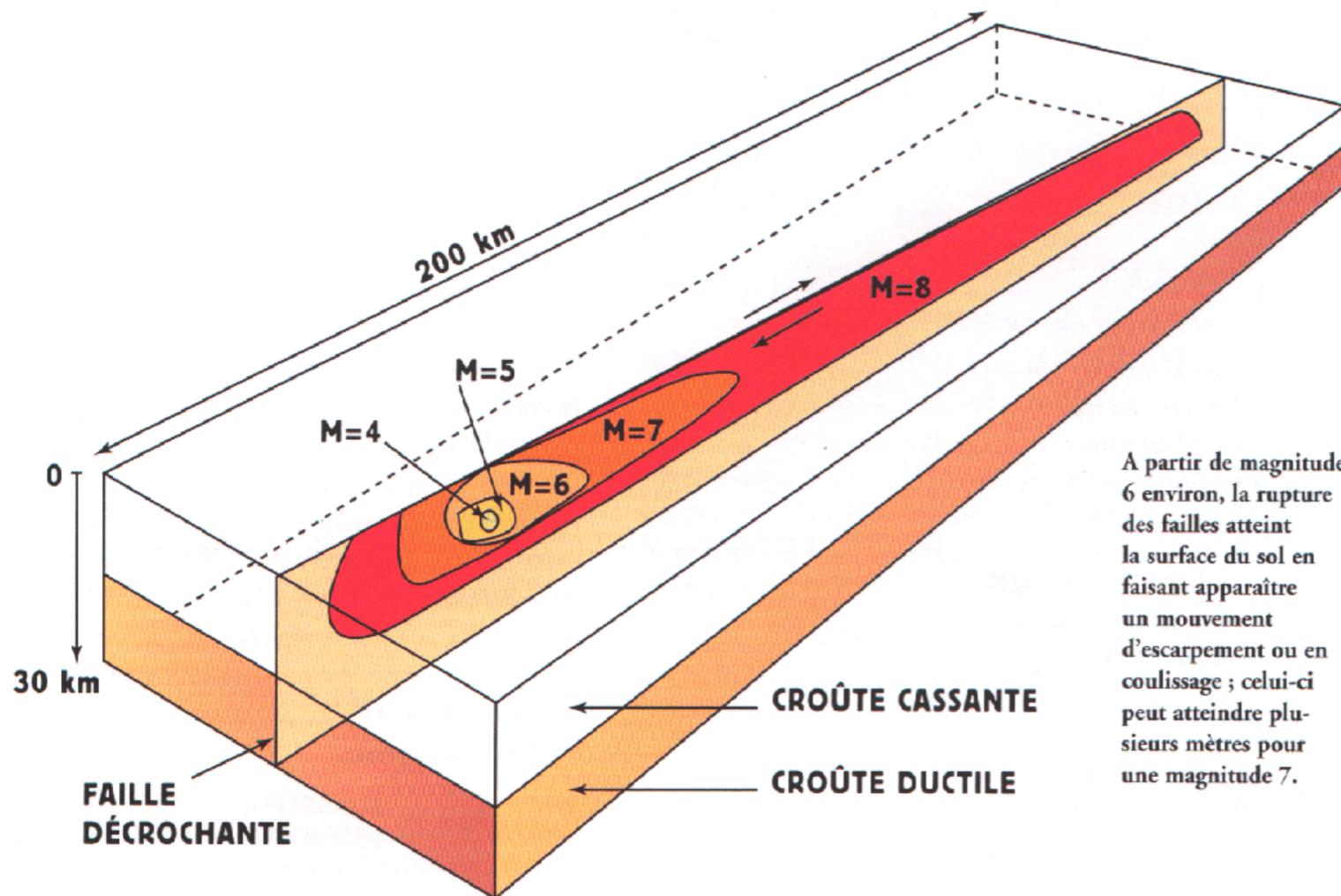
Paléosismicité

Aléa Sismique



Aléa Sismique

MAGNITUDE ET SURFACE DE RUPTURE



Magnitude / glissement
Magnitude / longueur de faille

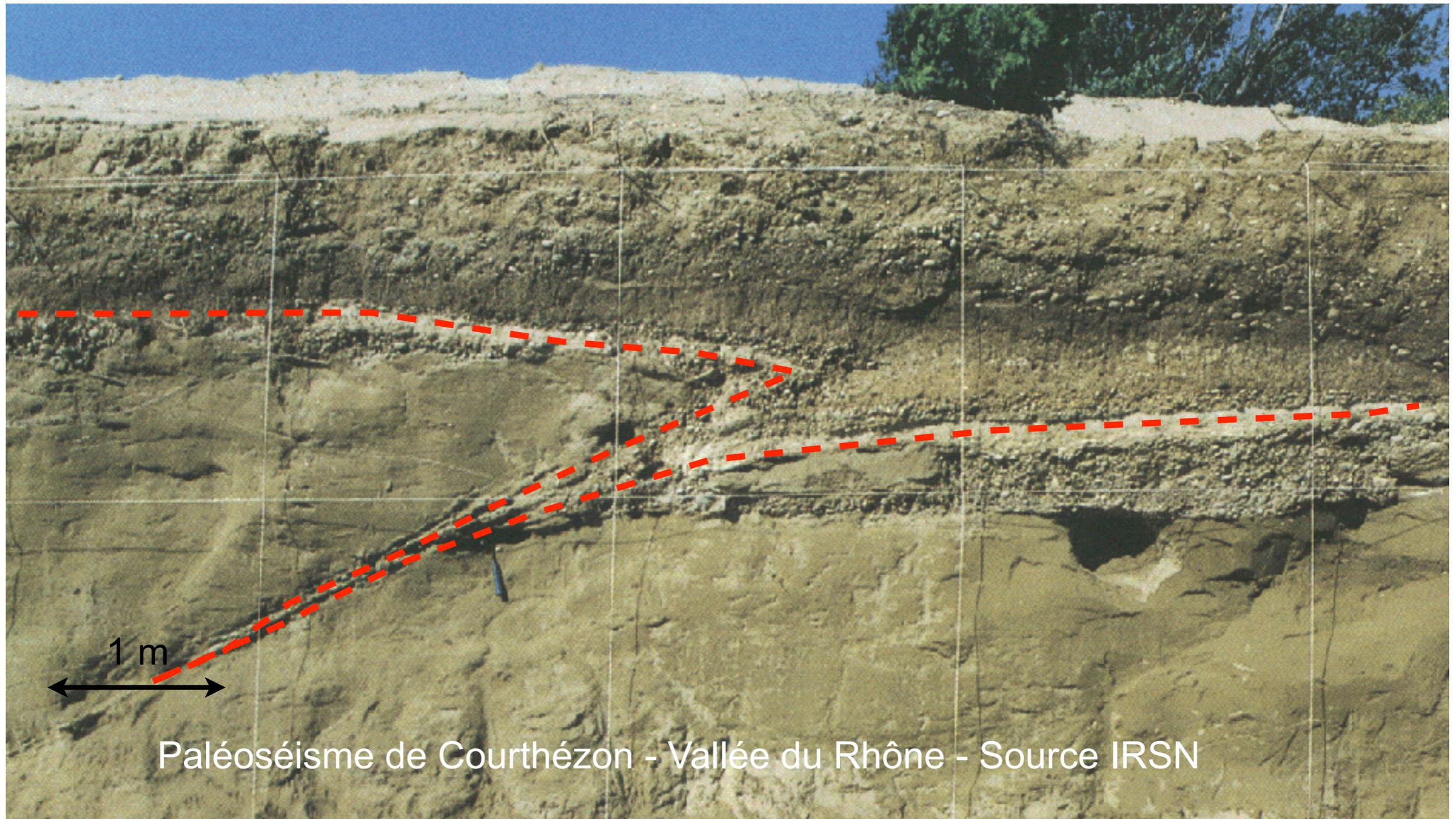
Magnitude / glissement

M = 2 : glissement de 0,2 cm
M = 4 : glissement de 2 cm
M = 6 : glissement de 20 cm
...
M = 9 : glissement de 20 m

Magnitude / longueur de faille

M = 2 : rupture de 100 m
M = 4 : rupture de 1 km
M = 6 : rupture de 10km
....
M = 9 : rupture de 1000km

Aléa Sismique



Aléa Sismique



1 000 000 années

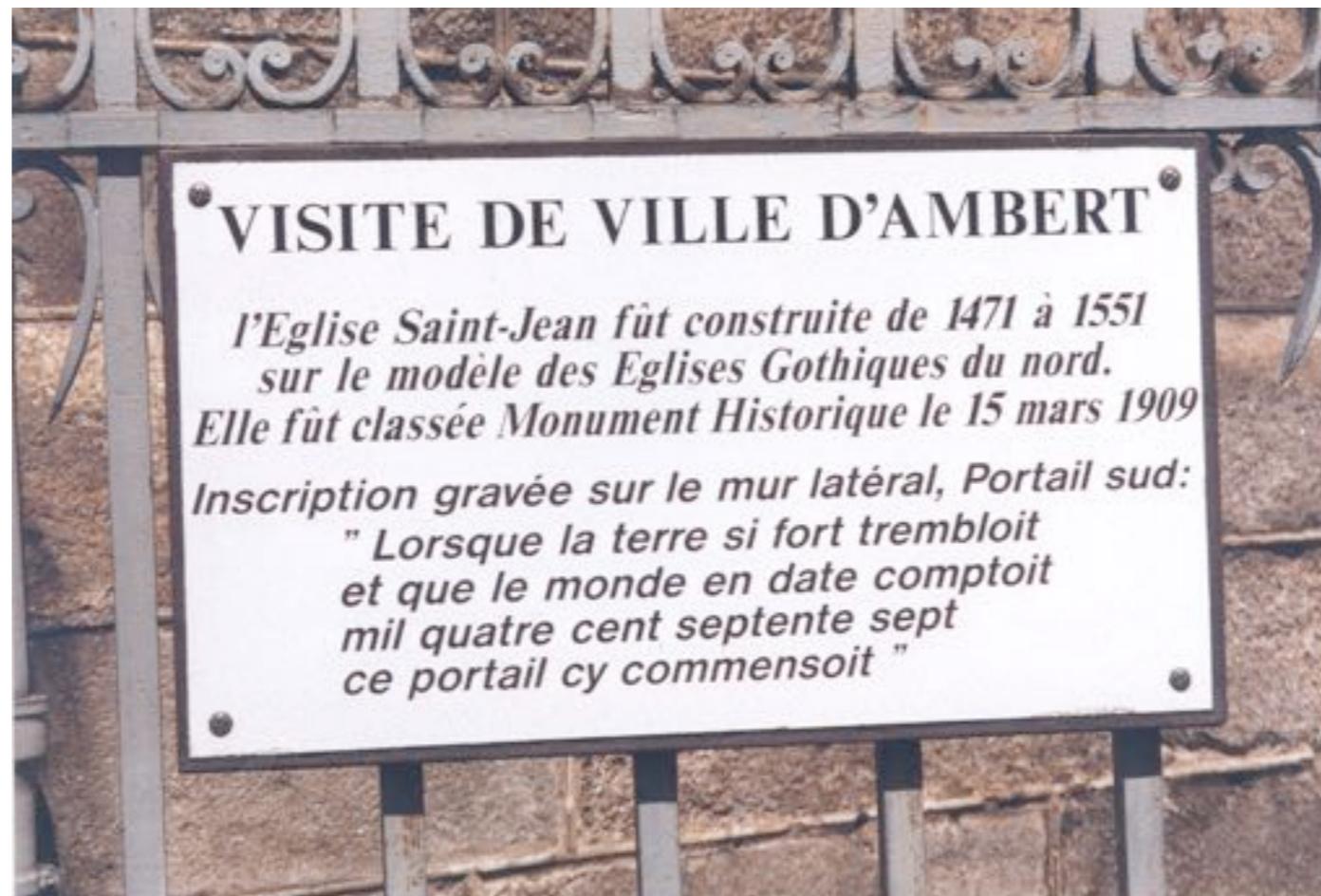
Paléosismicité

1 000 années

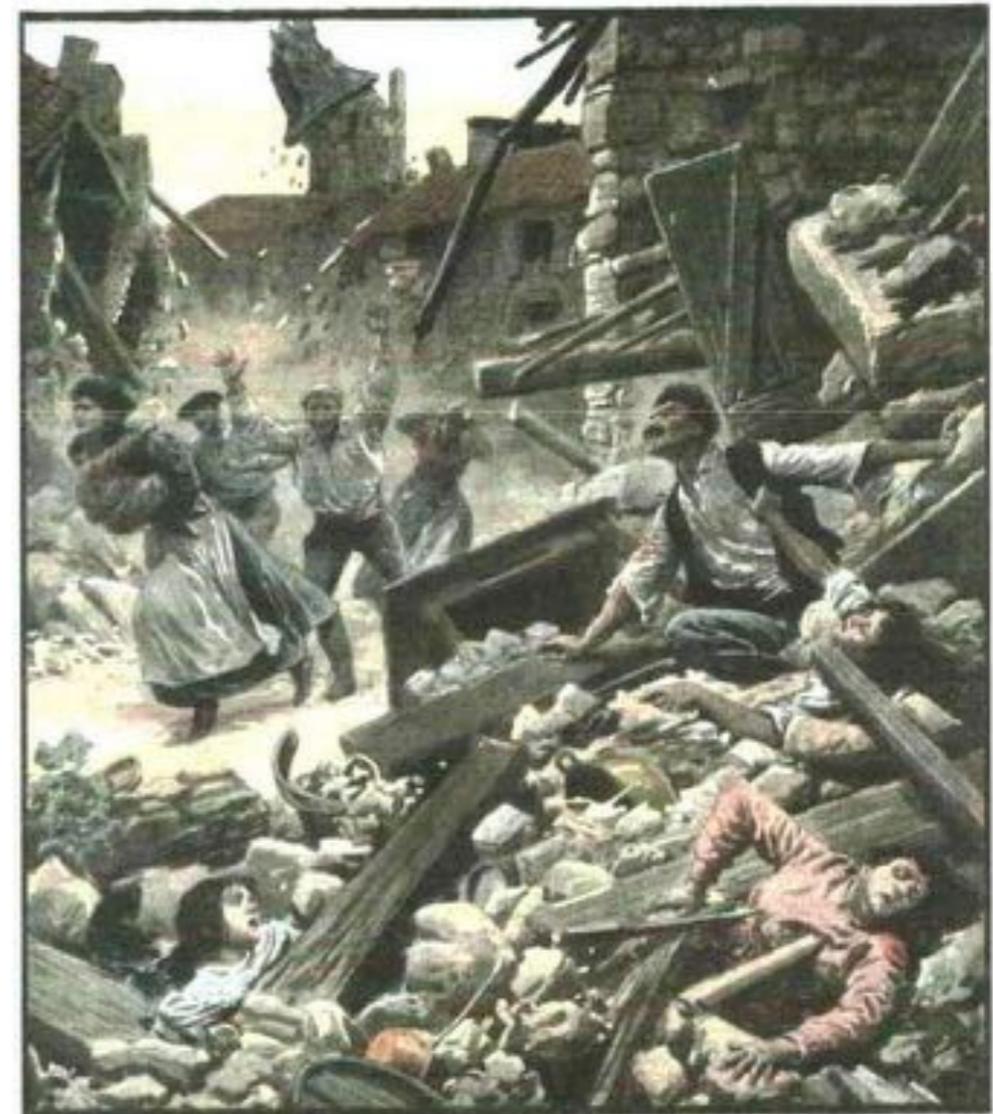
Sismicité historique

Aléa Sismique

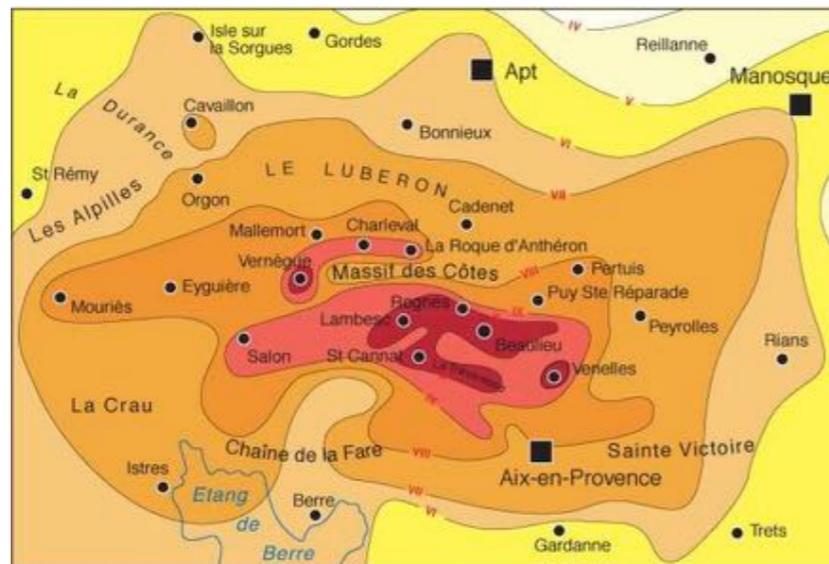
"En l'an de grâce 1356, le jour de la Saint-Luc, avant vêpres, il y eut à Bâle et dans ses environs jusqu'à une distance de deux milles un tremblement de terre qui provoqua la chute de nombreux bâtiments, églises et châteaux et la mort de nombreuses personnes. Les secousses se poursuivent dans la même journée et la nuit suivante avec une violence telle que les habitants fuirent la ville, s'installèrent dans les champs, dans les cabanes et les fermes pour de nombreux jours. Même les soeurs cloîtrées se rendirent dans un jardin appelé Vögelisgarten et restèrent là de nombreux jours, sous des cabanes avec de nombreuses autres personnes des deux sexes et, une fois retournées chez elles, vécurent encore longtemps dans la grange avant de réintégrer leur cloître".



Aléa Sismique

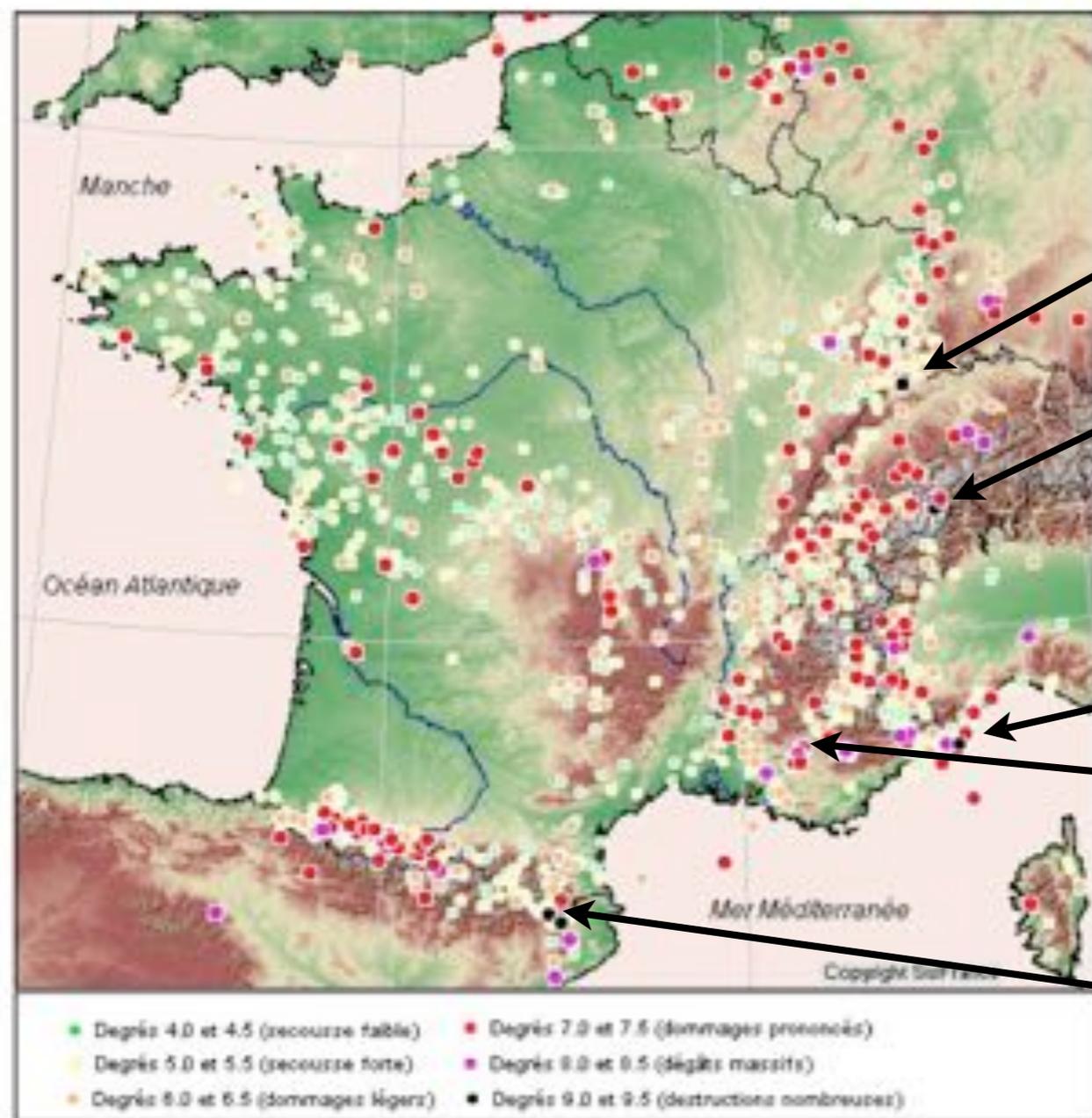


LE TREMBLEMENT DE TERRE DU MIDI



Aléa Sismique

Sismicité historique de la France. Carte des épicentres des séismes les mieux connus (1300-2003) figurant dans la banque de données SisFrance. www.sisfrance.net



1000 ans de sismicité en France

Séisme de Bâle 1356

Séisme du Valais 1855

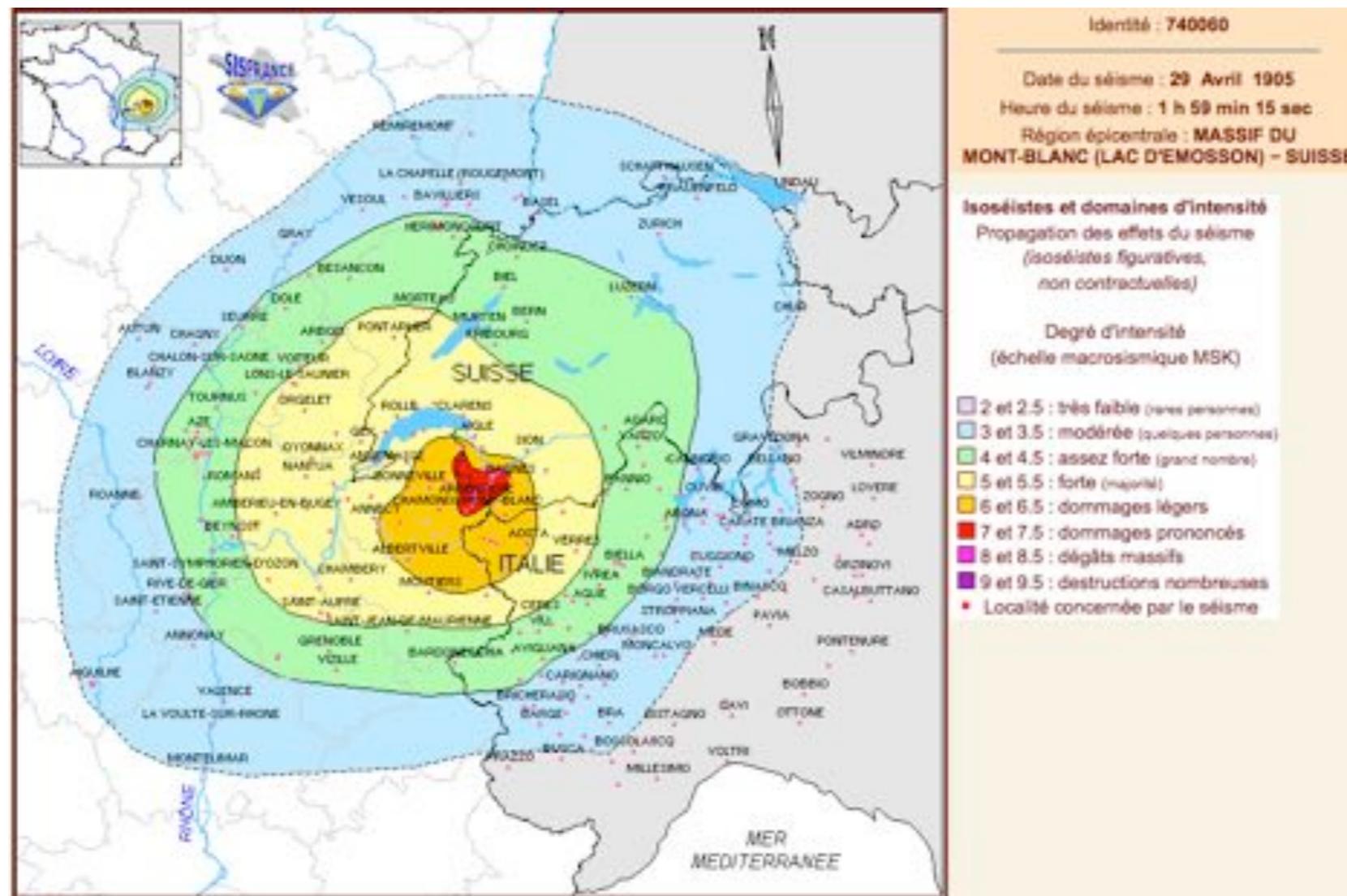
Séisme Ligure 1887 (10aine de morts)

Séisme de Lambesc 1909 (42 morts)

Séisme de Catalogne 1428

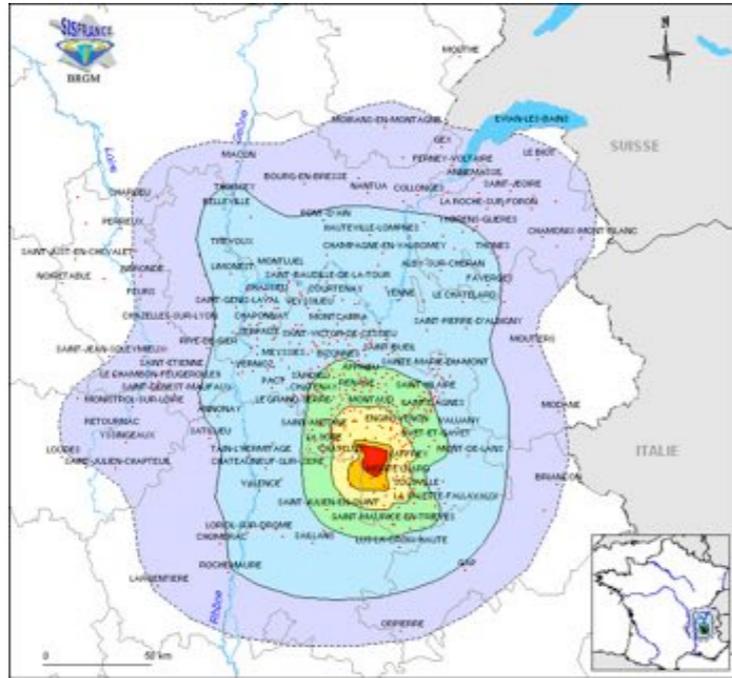
Aléa Sismique

Séisme de Chamonix 1905

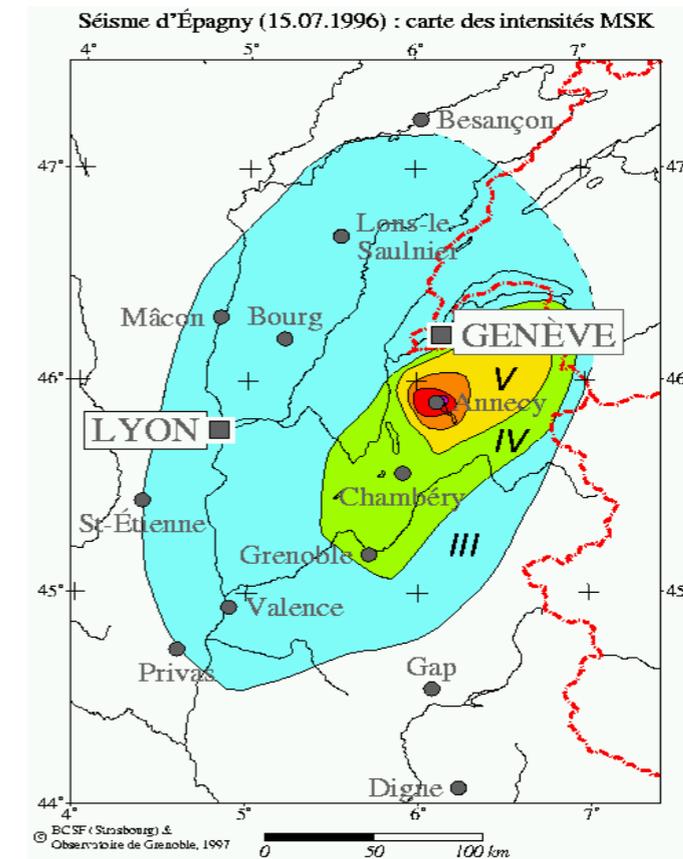


Les tremblements de terre: fréquence et occurrence

Séisme de Corrençon 1962



Séisme d'Epagny 1996



Aléa Sismique



1 000 000 ans

Paléosismicité

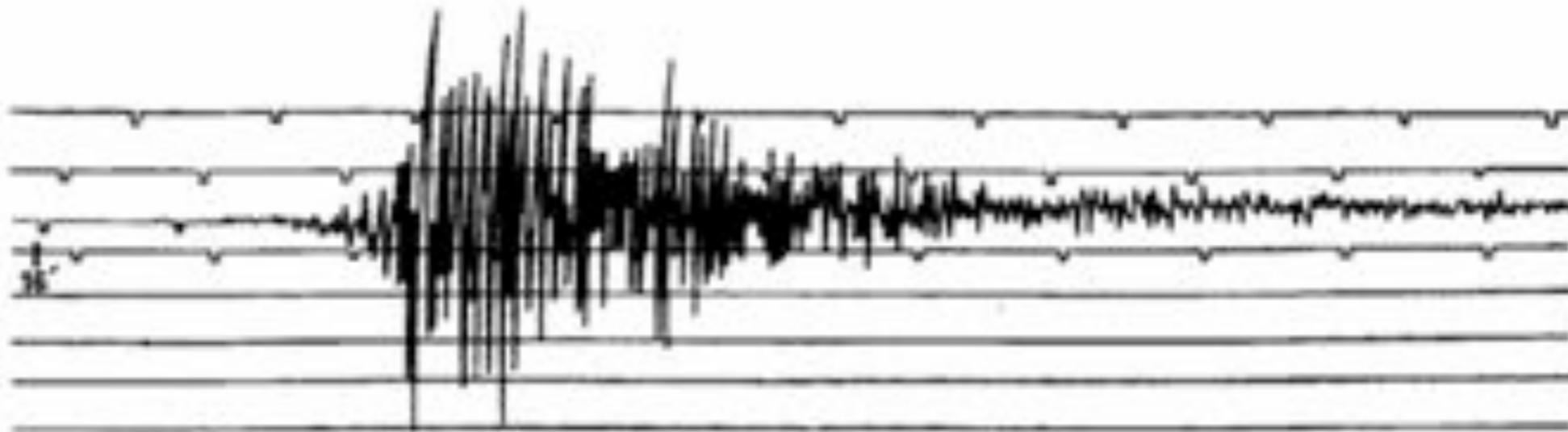
1 000 ans

Sismicité historique

70 ans

Sismicité instrumentale

Aléa Sismique



Séisme de Lambesc (11 juin 1909)

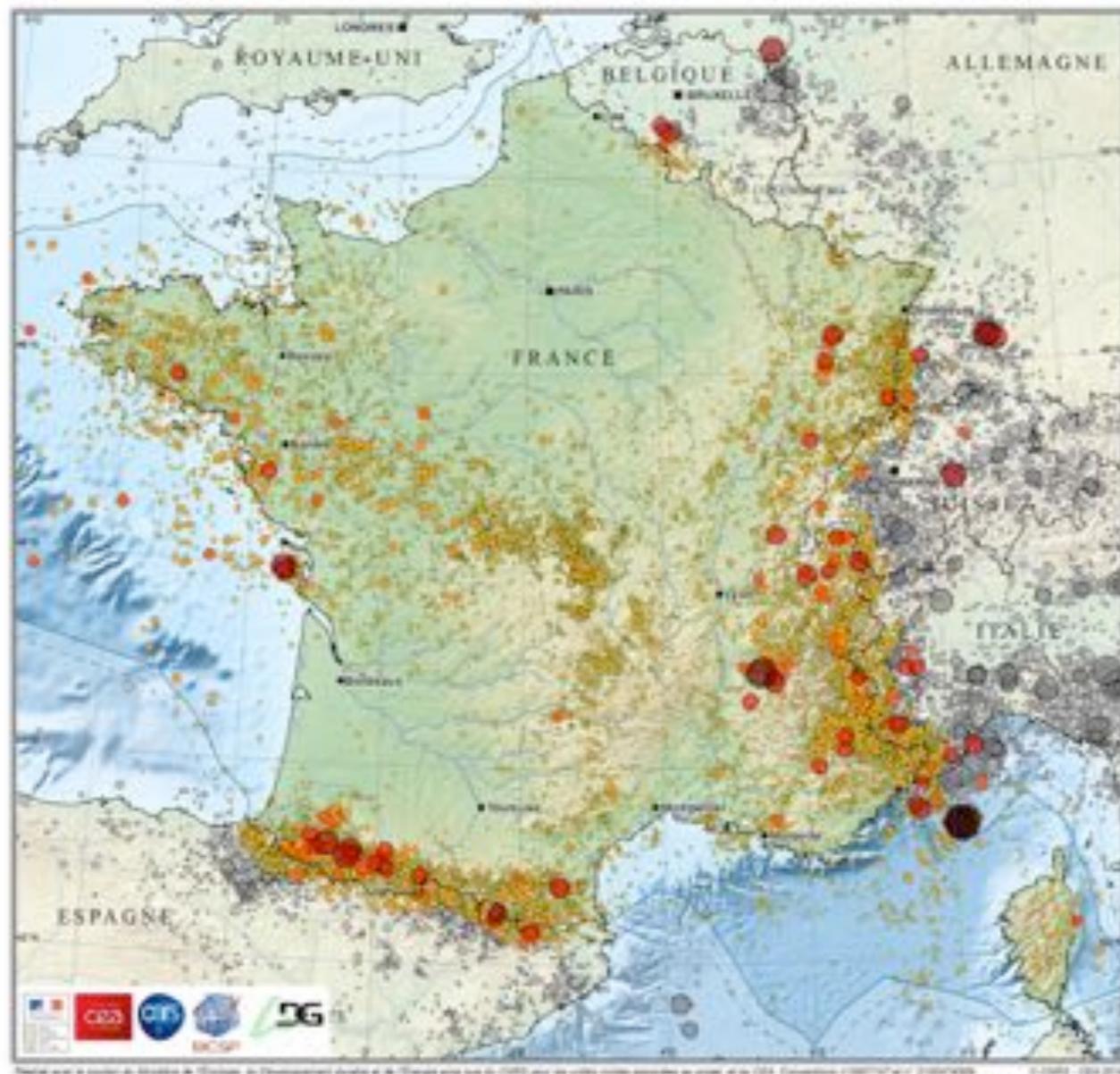
Portion principale du sismogramme obtenue à l'Observatoire du Parc-Saint-Maur
(composante E-W) lors du tremblement de terre du 11 juin 1909 (première secousse)

Cette portion va de 21h 16mm à 21h 26mm

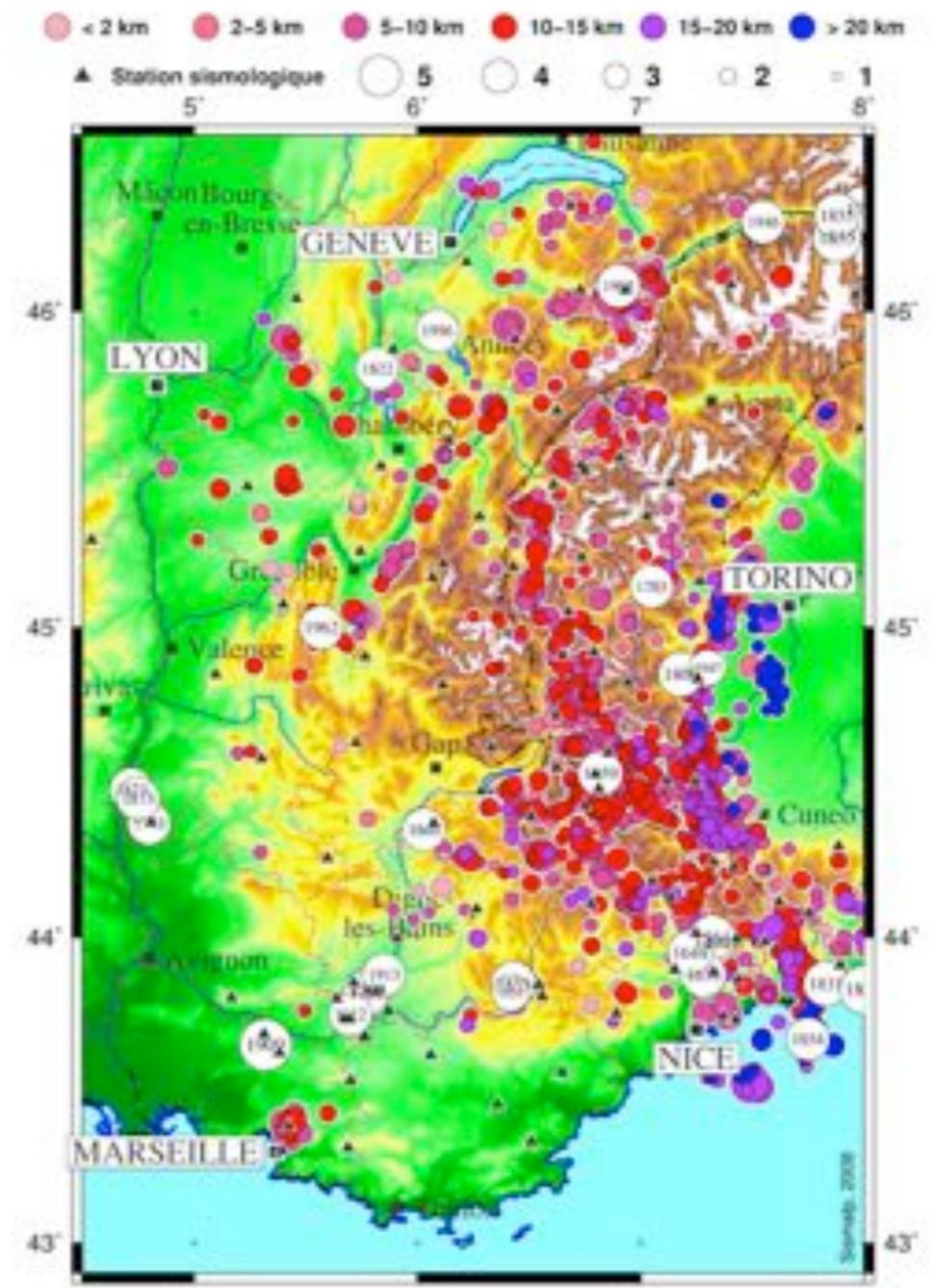
WIECHERT de 1000 kg, $T_0 = 12s$, amplification : 230

Aléa Sismique

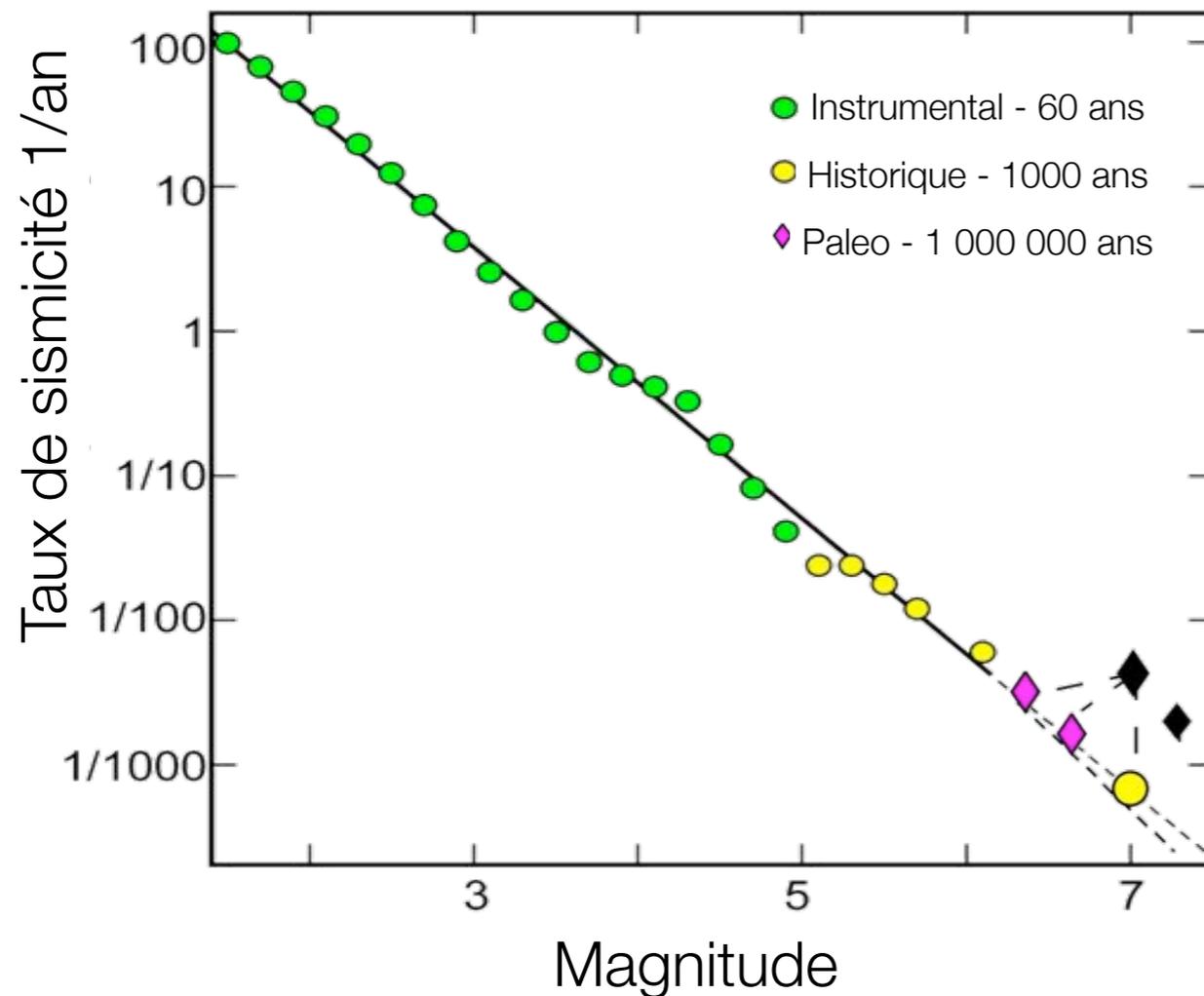
Sismicité instrumentale de la France (SiHEX)
1962 - 2009



SISMalp
1989 - 2009



Alea sismique: fréquence et occurrence



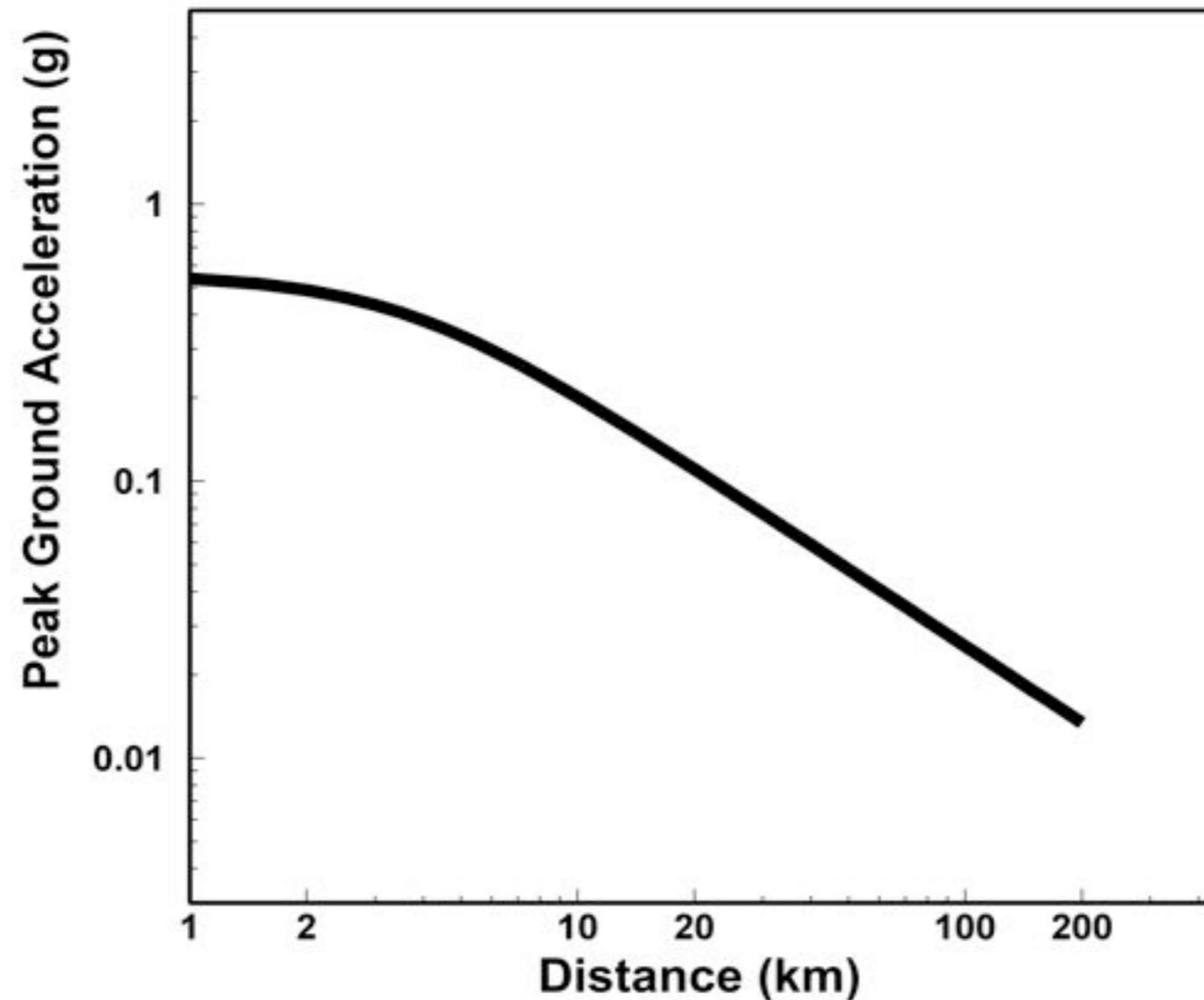
$$\lambda_M = \lambda_0 e^{-\beta M}$$

Taux d'occurrence annuel des séismes de magnitude supérieure à M

Stein & Newman, 2004

Risque sismique

Prédiction du PGA en un site rocheux pour un séisme
 M_s 6.5 earthquake
(Ambraseys et al., 1996)

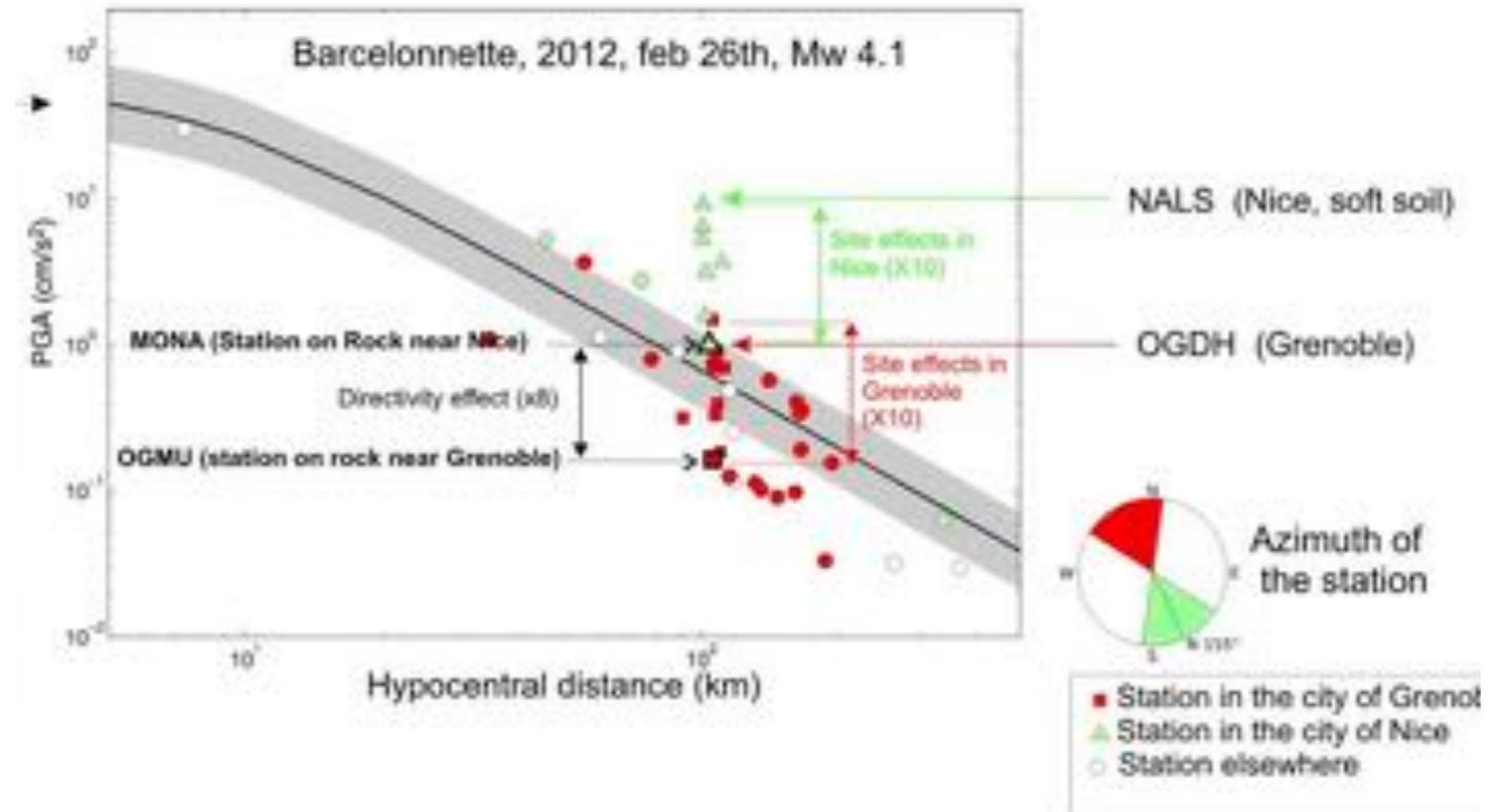
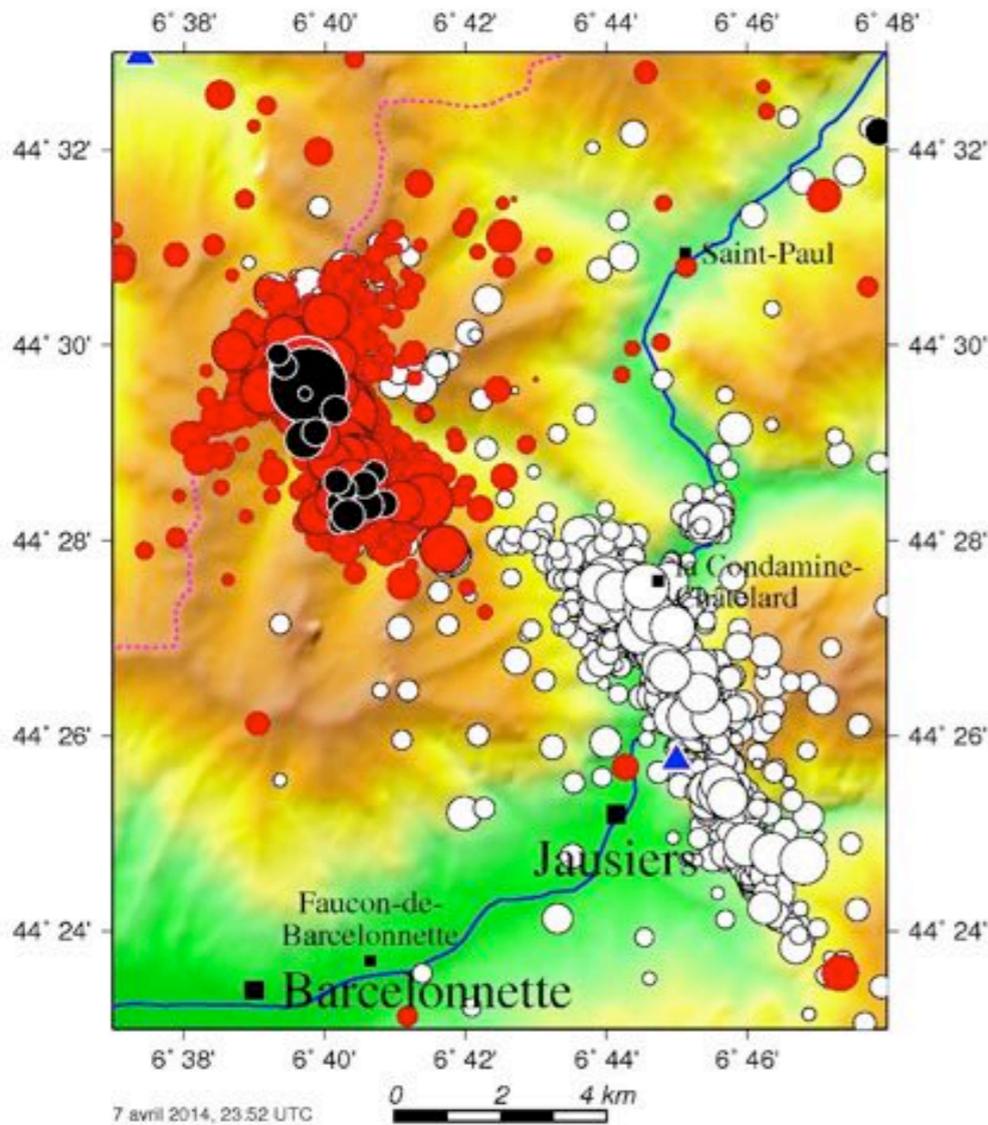


Risque sismique



Séisme du Népal, 2015

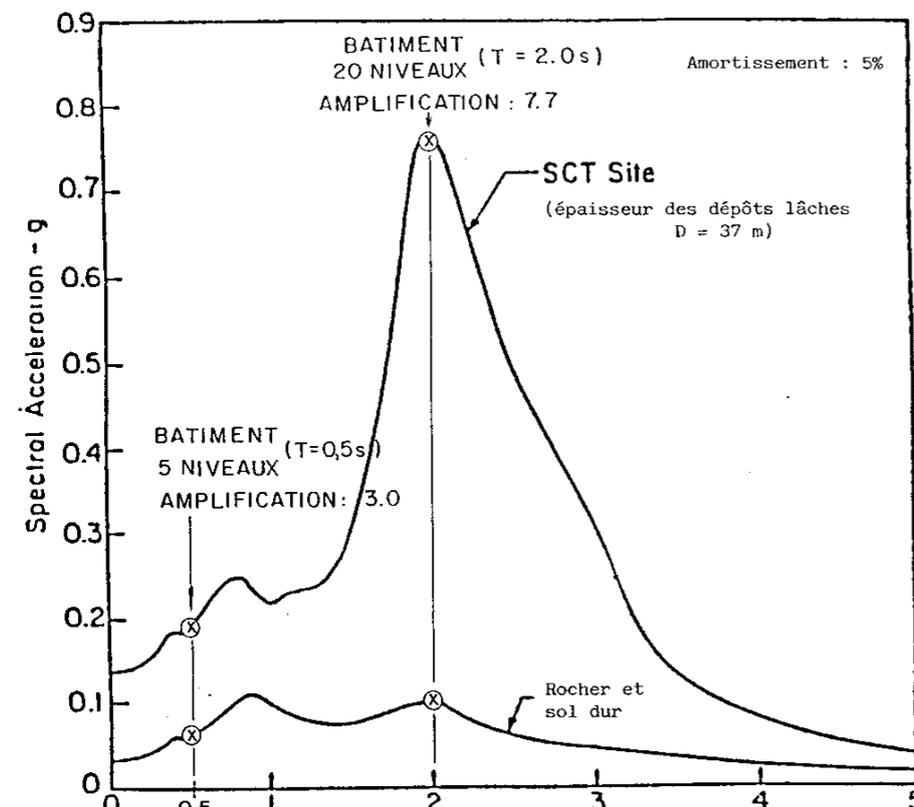
Risque sismique



F. Courboux, GeoAzur

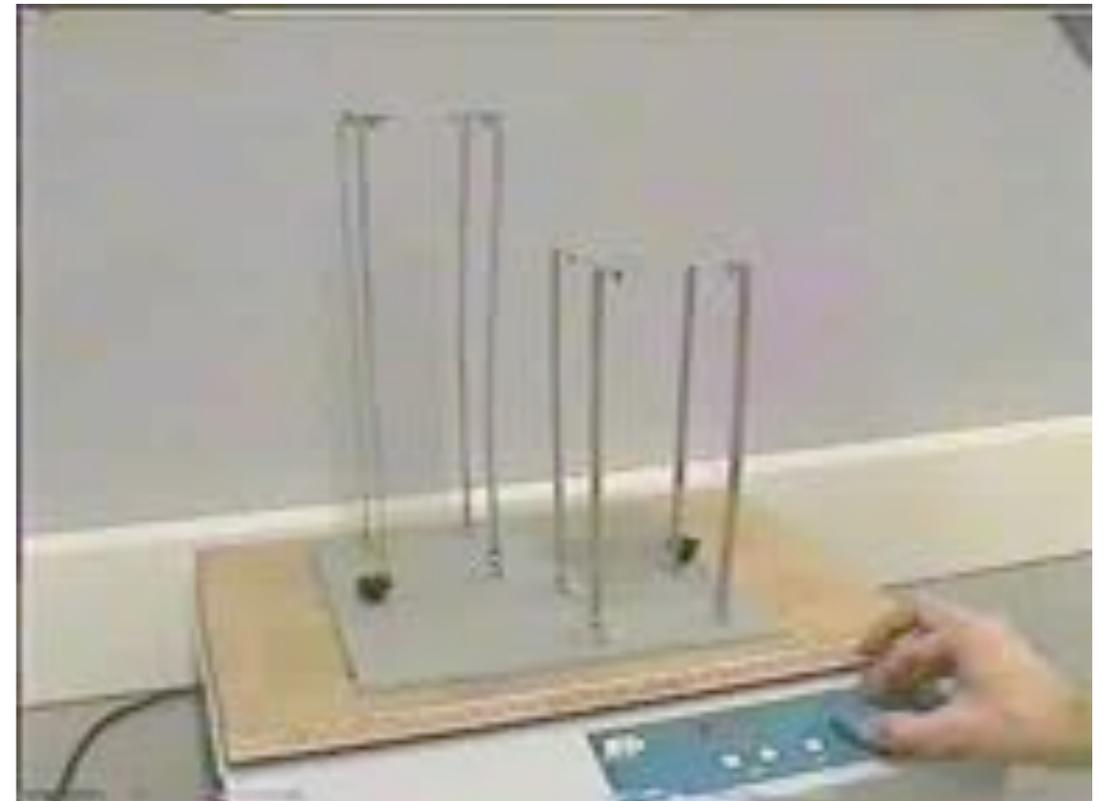
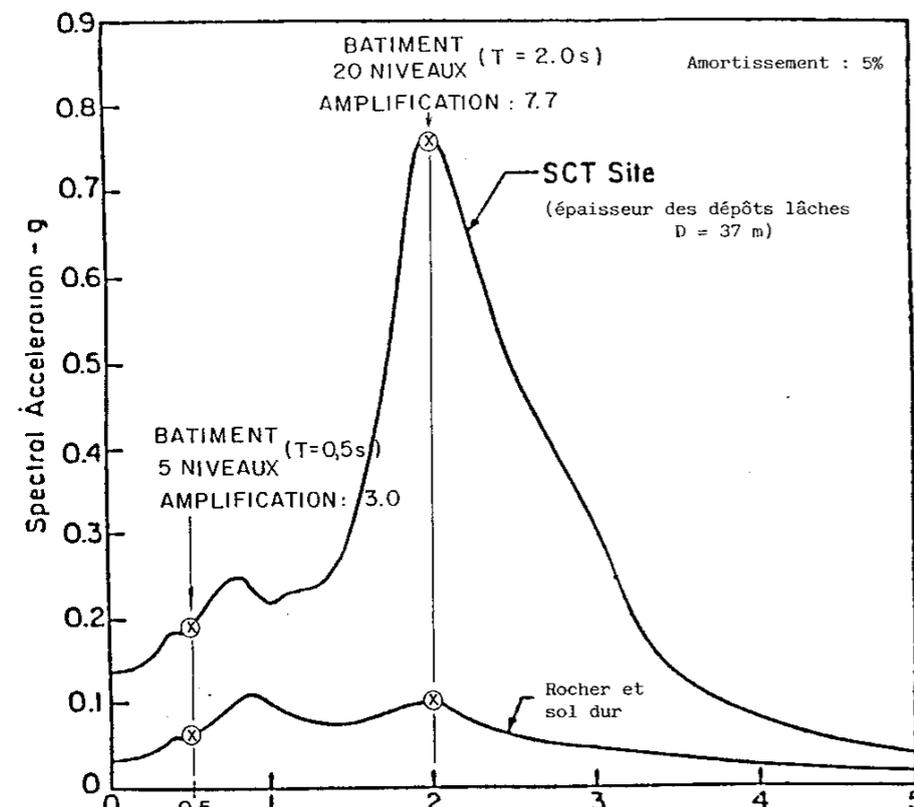
Risque sismique

Séisme de Mexico - 1985

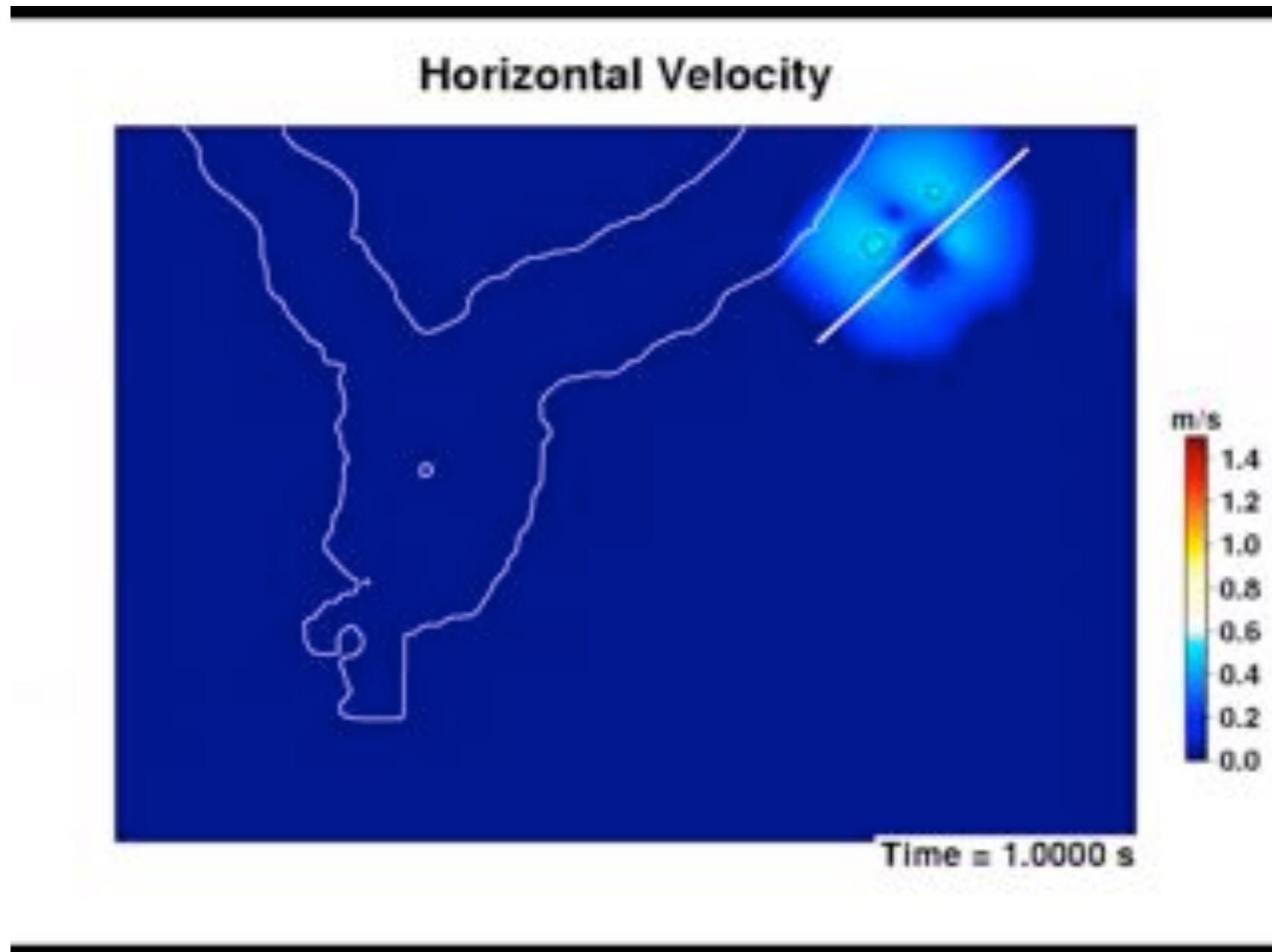


Risque sismique

Séisme de Mexico - 1985



Risque sismique



Ce qu'on ne saura dans doute jamais faire....

Donner l'heure et la date du prochain séisme

..... de toute façon pour quoi faire ?

Identifier toutes les failles pouvant produire un séisme

les cas de Chritschurch, L'Aquila, Napa Valley...

Estimer précisément le séisme maximal possible

risque acceptable et risque soutenable

Être certain de la conception des bâtiments

La problématique du bâti historique ou déjà existant

Risque sismique: probabilité d'occurrence

“Probabilisons” les aléas naturels: exemple de la crue centennale

La probabilité est un nombre entre 0 et 1.

La probabilité peut s'exprimer de différentes façons:

- comme un nombre: la probabilité est 0.2
- comme un pourcentage: il y a 20% de chance
- comme un rapport: le rapport est de 1/5

Une distribution de probabilité attribue un état ou une probabilité d'être dans un état d'une quantité ou d'un événement

La **crue centennale** est un événement qui a une **période de retour** de 100 ans.

Sa probabilité d'apparition (en terme de débit ou de hauteur d'eau) chaque année est donc 1/100.

Risque sismique: probabilité d'occurrence

Des événements indépendants

Utilisation d'un modèle de probabilité

La loi de Poisson décrit le comportement du nombre d'événements se produisant dans un laps de temps fixé, si ces événements se produisent avec une fréquence moyenne connue et indépendamment du temps écoulé depuis l'événement précédent.

$$P=1-e^{-\lambda/T}$$

T= période de retour

λ = durée d'observation (ou entre événement)

Exemple - Probabilité d'occurrence de la crue centennale par siècle = 0.63
(0.37 qu'elle ne se produise pas)

Sur 1 an: P=0.01 (0.99 qu'elle ne se produise pas)

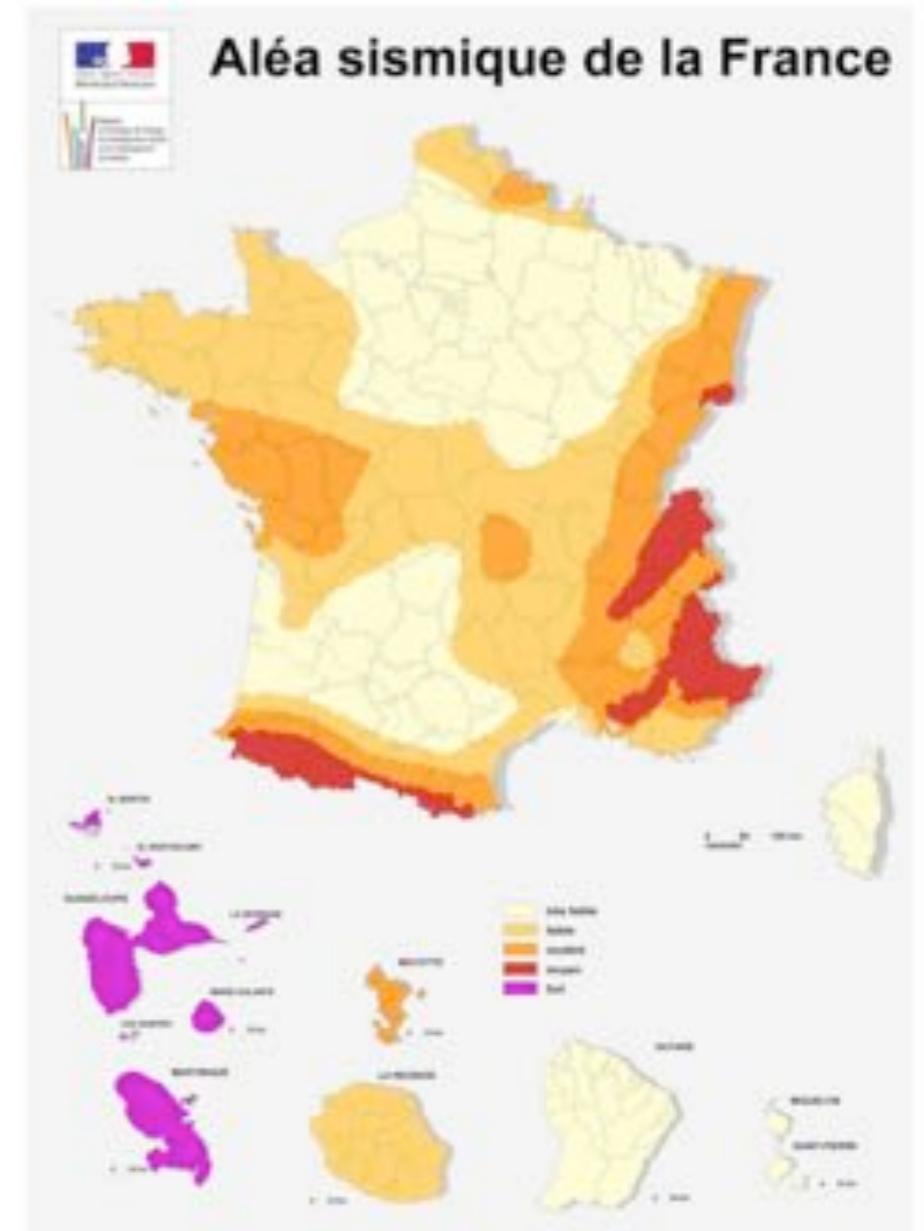
Risque sismique: carte d'aléa

La réglementation Française (EC8, 2011) impose pour le bâti courant :

$P (10\%) =$ risque accepté ou toléré

$t (50) =$ durée de vie d'un ouvrage à construire

Période de retour de 475 ans.



Construction parasismique: réduire la vulnérabilité des structures



Construction parasismique: réduire la vulnérabilité des structures

Apporter des éléments qui empêchent les dommages (éléments résistants dans les deux directions, tirants, planchers béton, chaînage, toiture légère, ...)



Lambesc



Emilia Romana



Lambesc

Construction parasismique: réduire la vulnérabilité des structures

Intégrer l'environnement et la position



Turquie, 1999



L'Aquila, 2009



Napa, 2014

Construction parasismique: réduire la vulnérabilité des structures

Éléments non-structuraux résistants (renforcés)



Annecy



Christchurch



Emilia Romagna

Pas si évident....

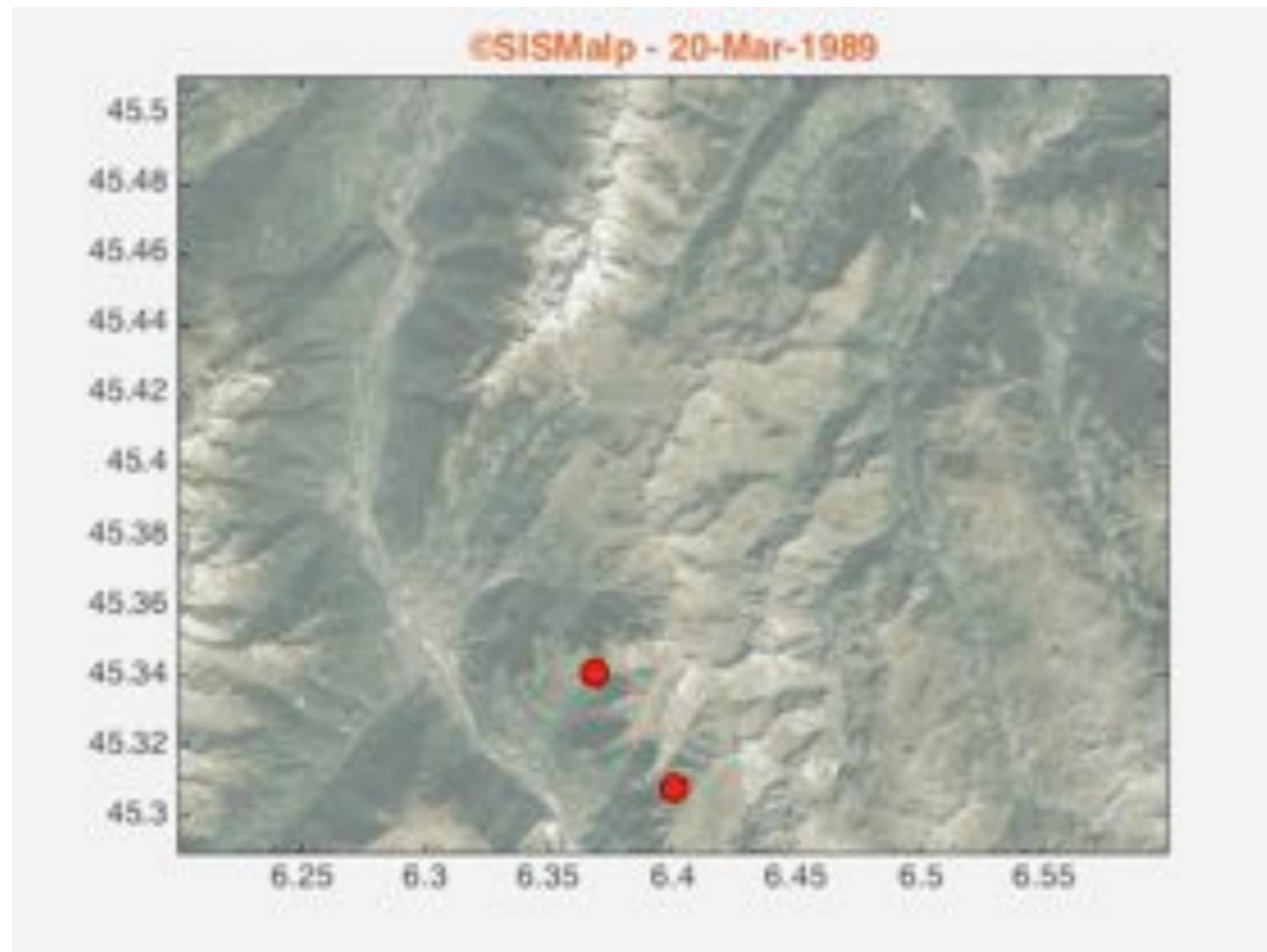


Equateur

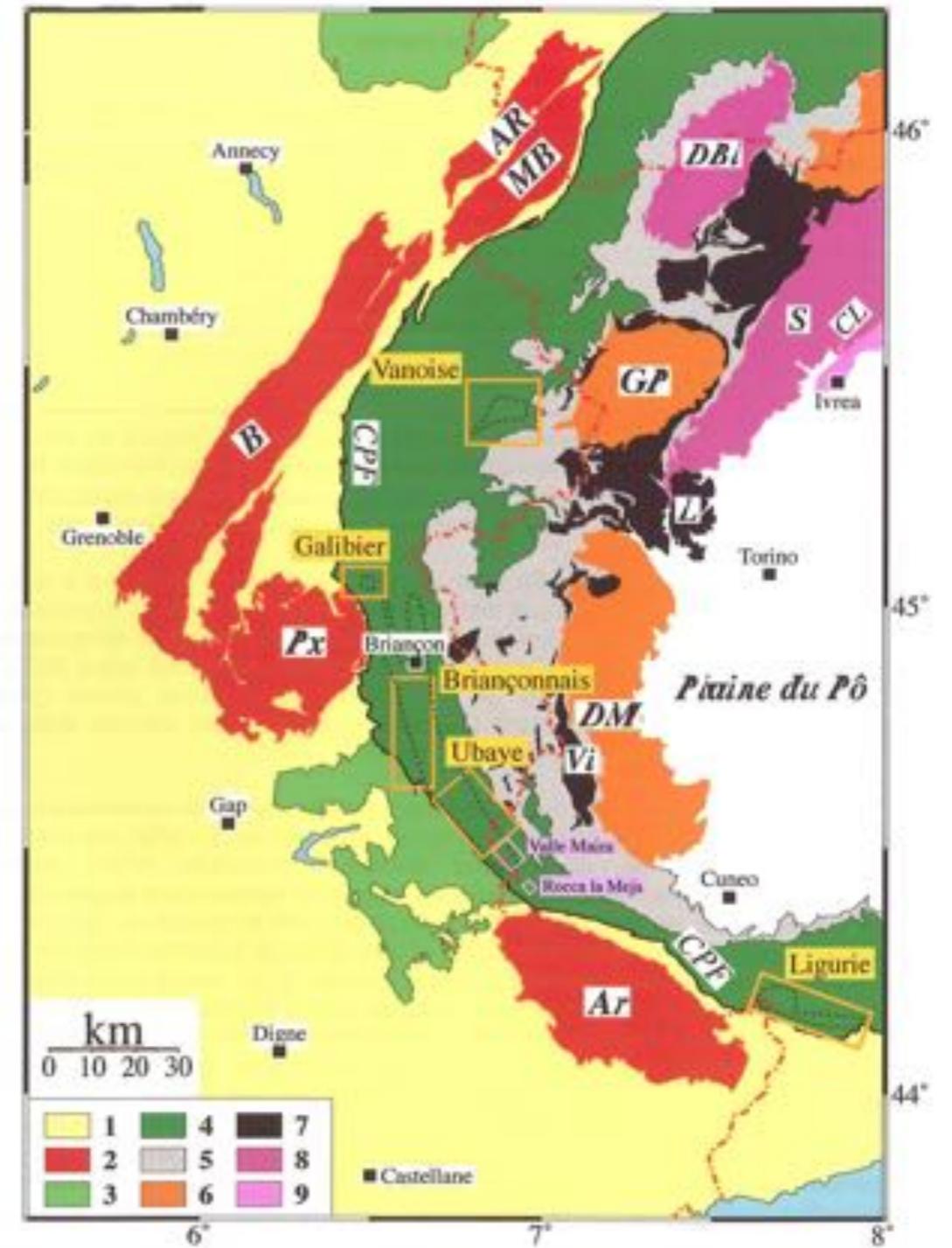


Nepal

Et la Maurienne s'est mise à trembler....

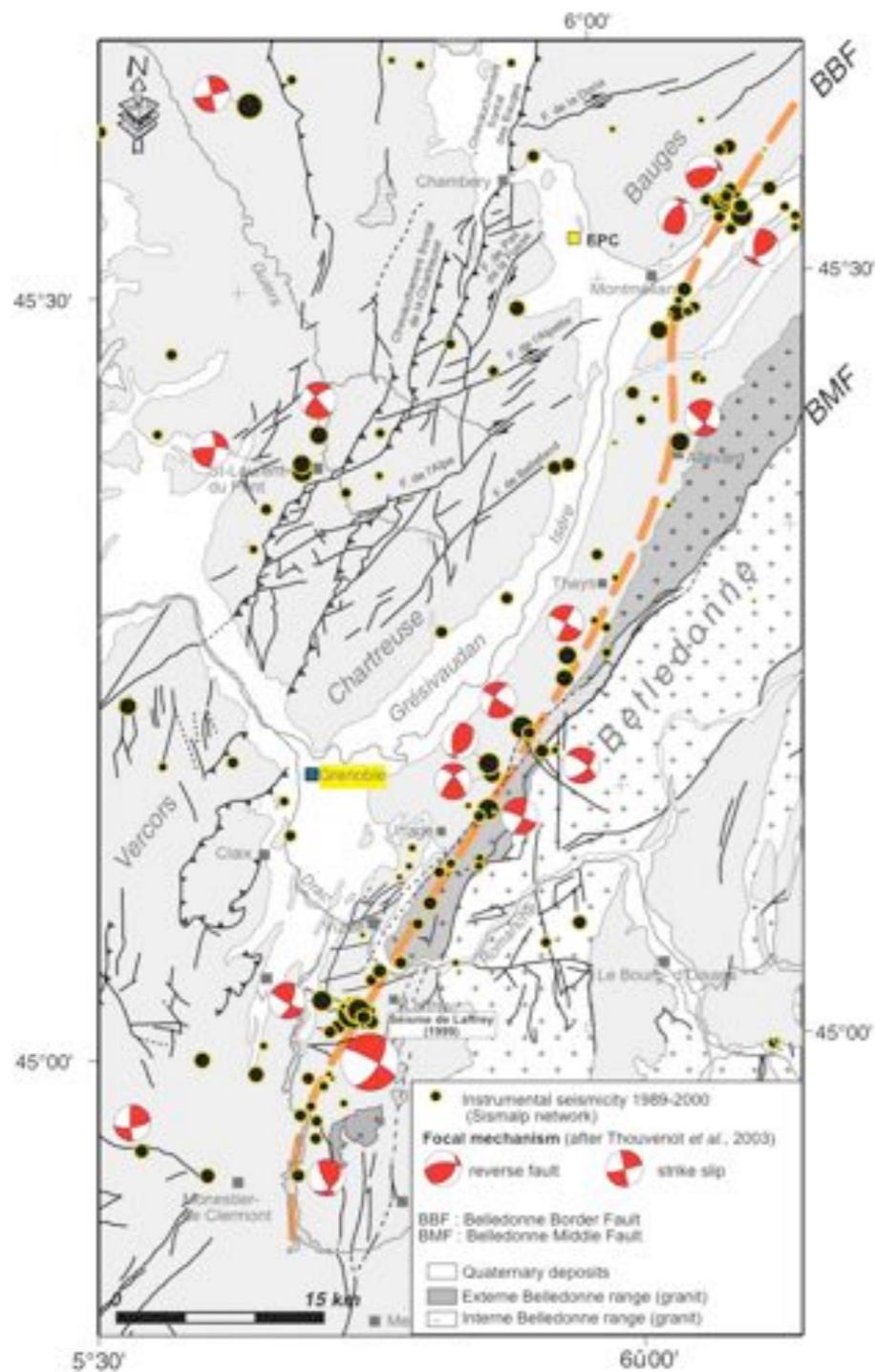


Et la Maurienne s'est mise à trembler....

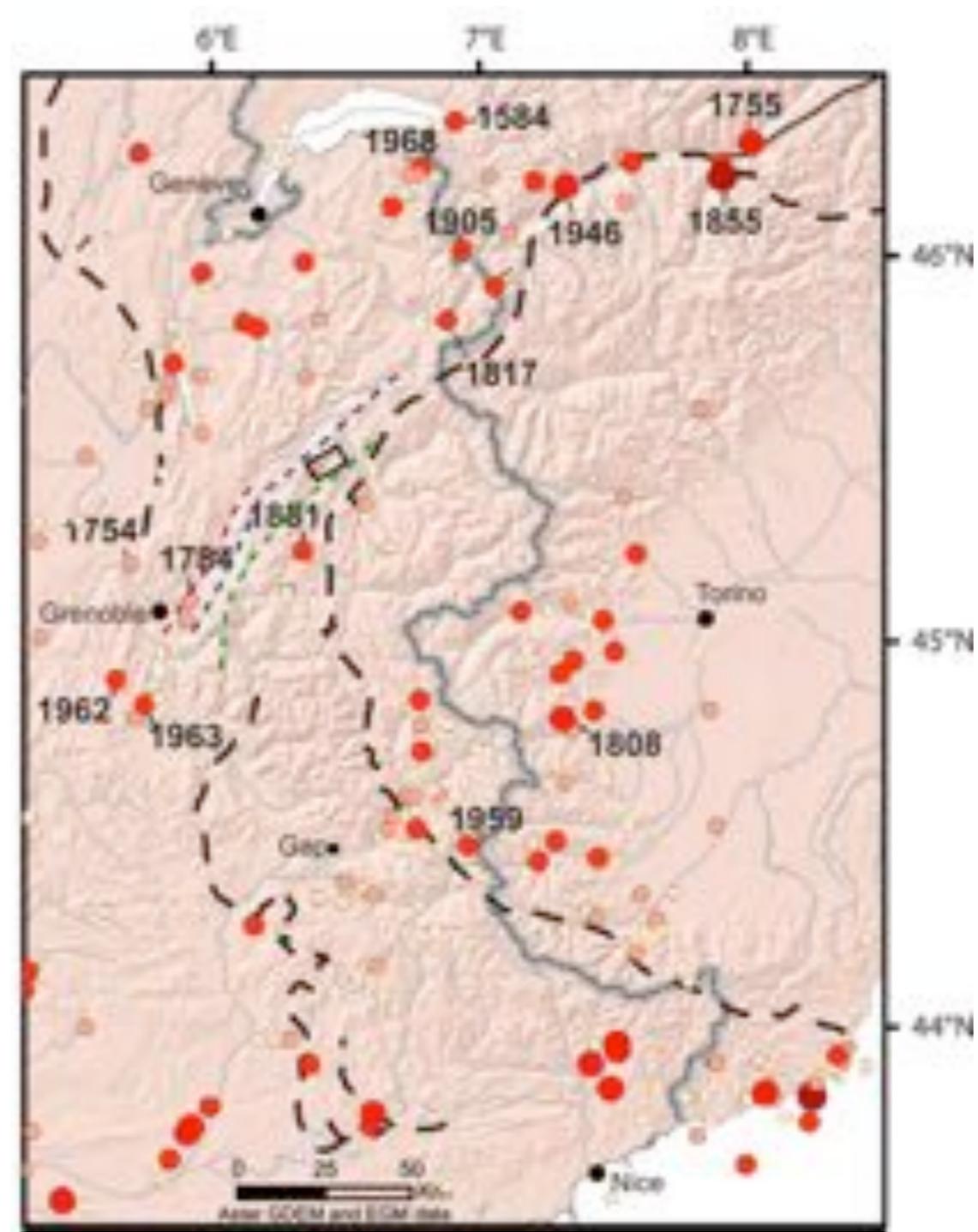


Localisation des zones d'échantillonnage. Les cadres orangés délimitent les cinq localités principales, les cadres mauves, deux zones d'études complémentaires. Les pointillés noirs indiquent les zones d'affleurement du Marbre de Guillestre, du Galibier à la Ligurie, et les calcaires et brèches rouges du Jurassique-Crétacé de la Vanoise.

Et la Maurienne s'est mise à trembler...



Dunand et al., NH 2012

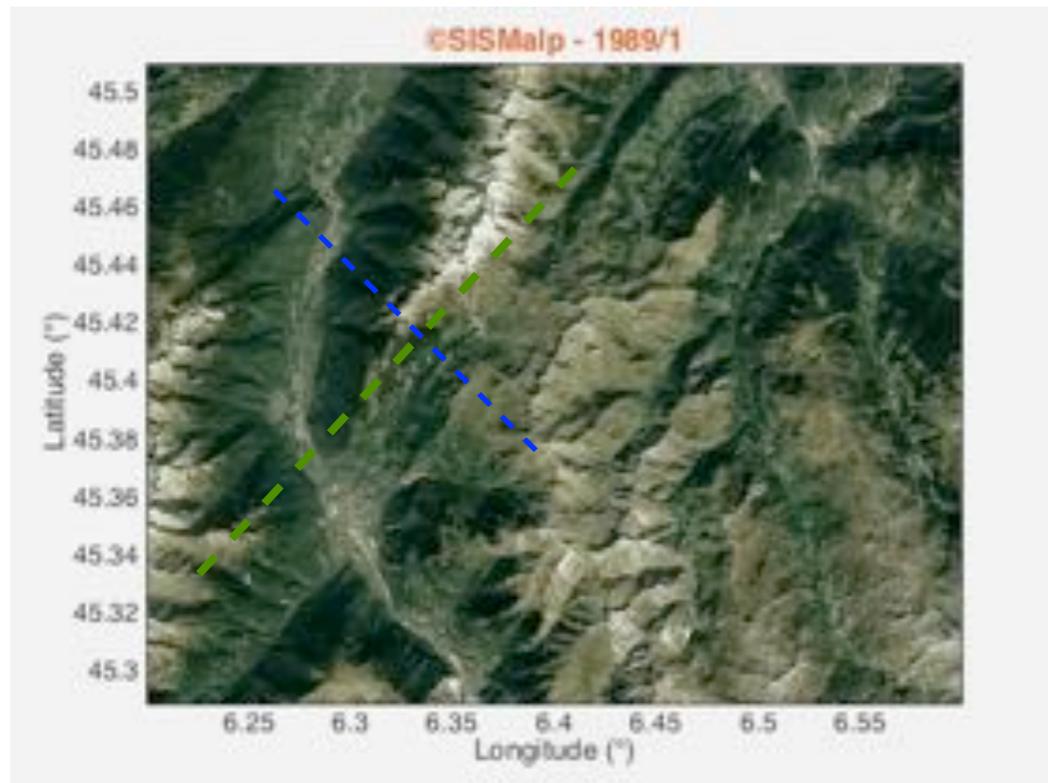


Et la Maurienne s'est mise à trembler...

N60 - Faille de Belledonne

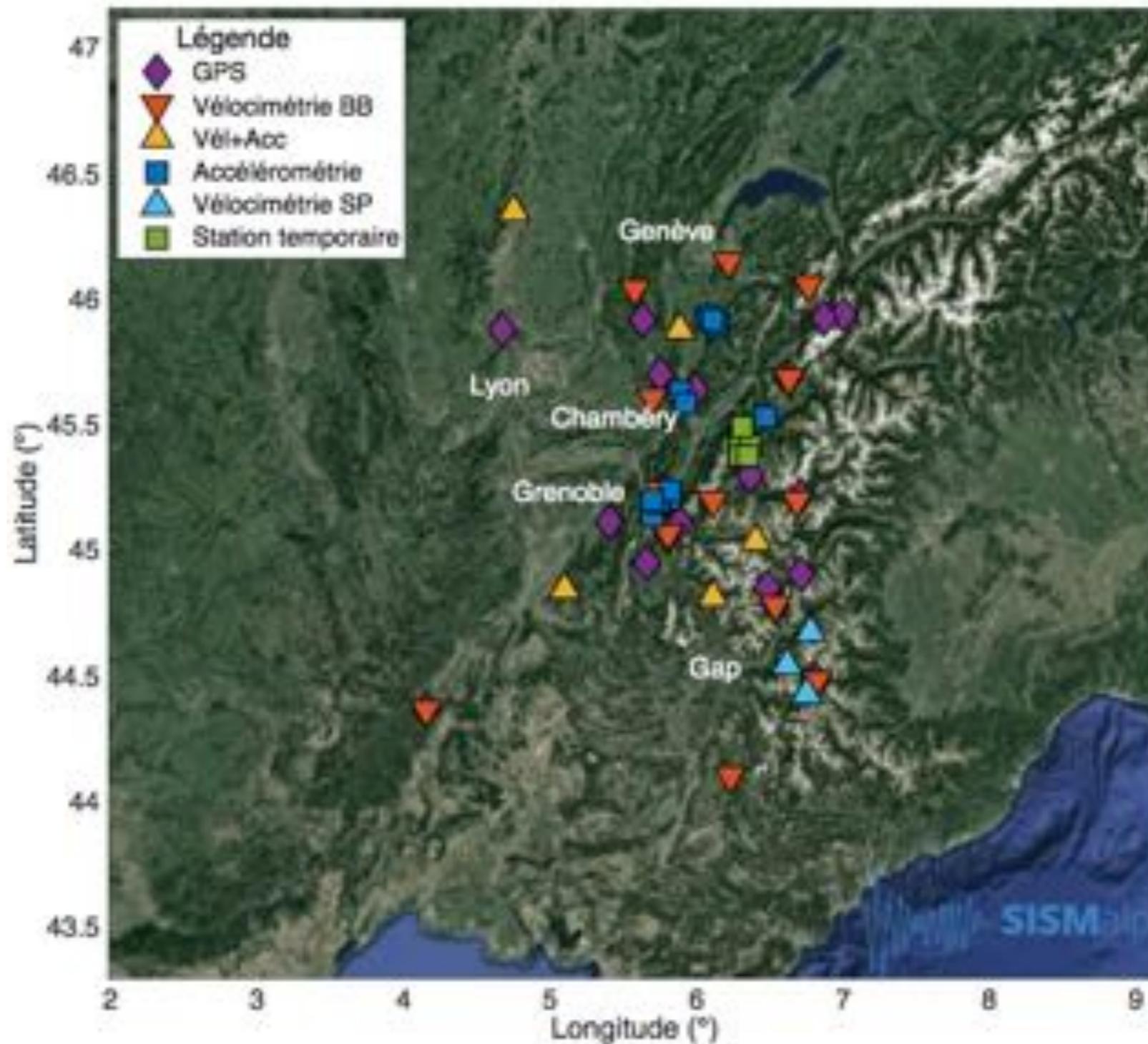


N120 - Faille secondaire

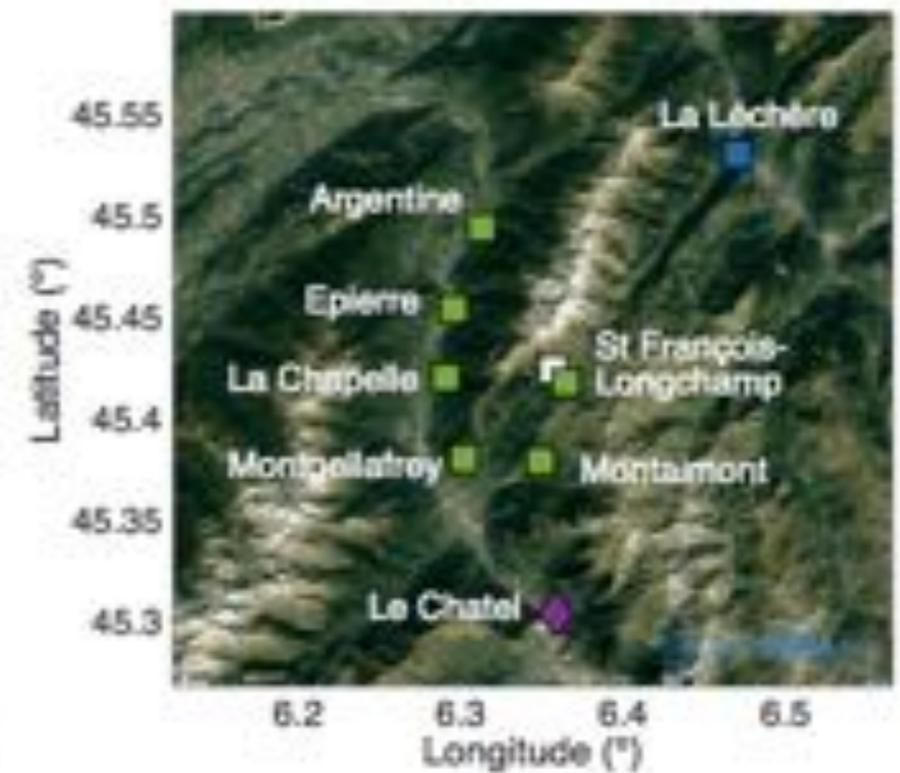


Schwartz, Guillot, Nomade, ISTerre

Et la Maurienne s'est mise à trembler...

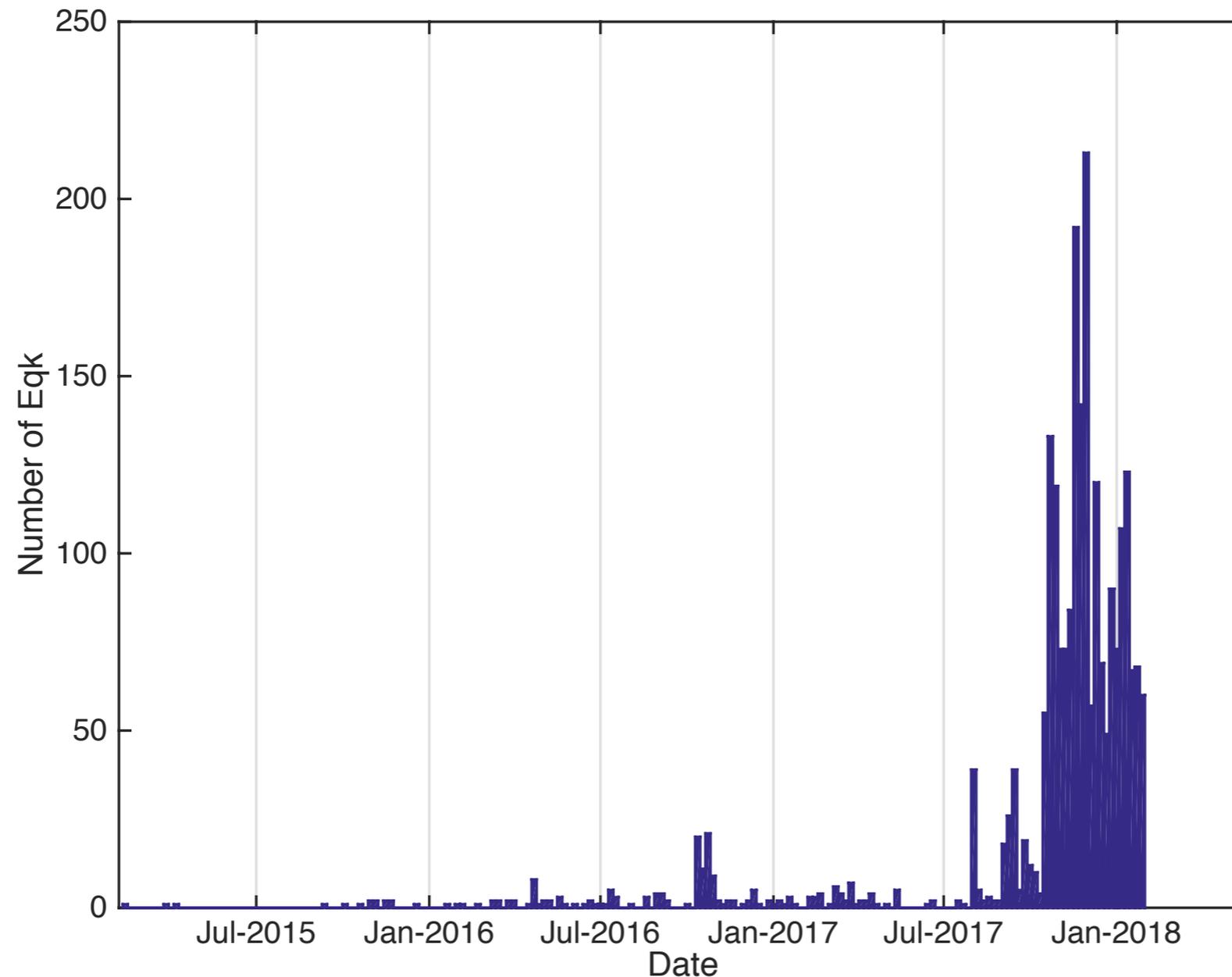


Zoom sur le secteur de la Maurienne



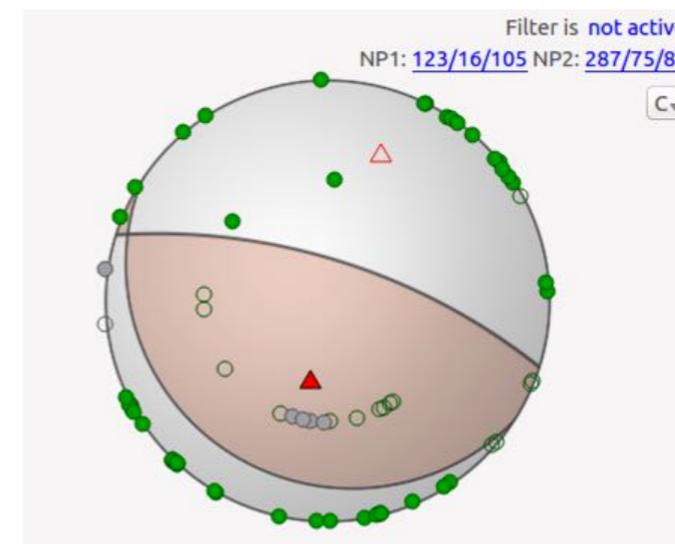
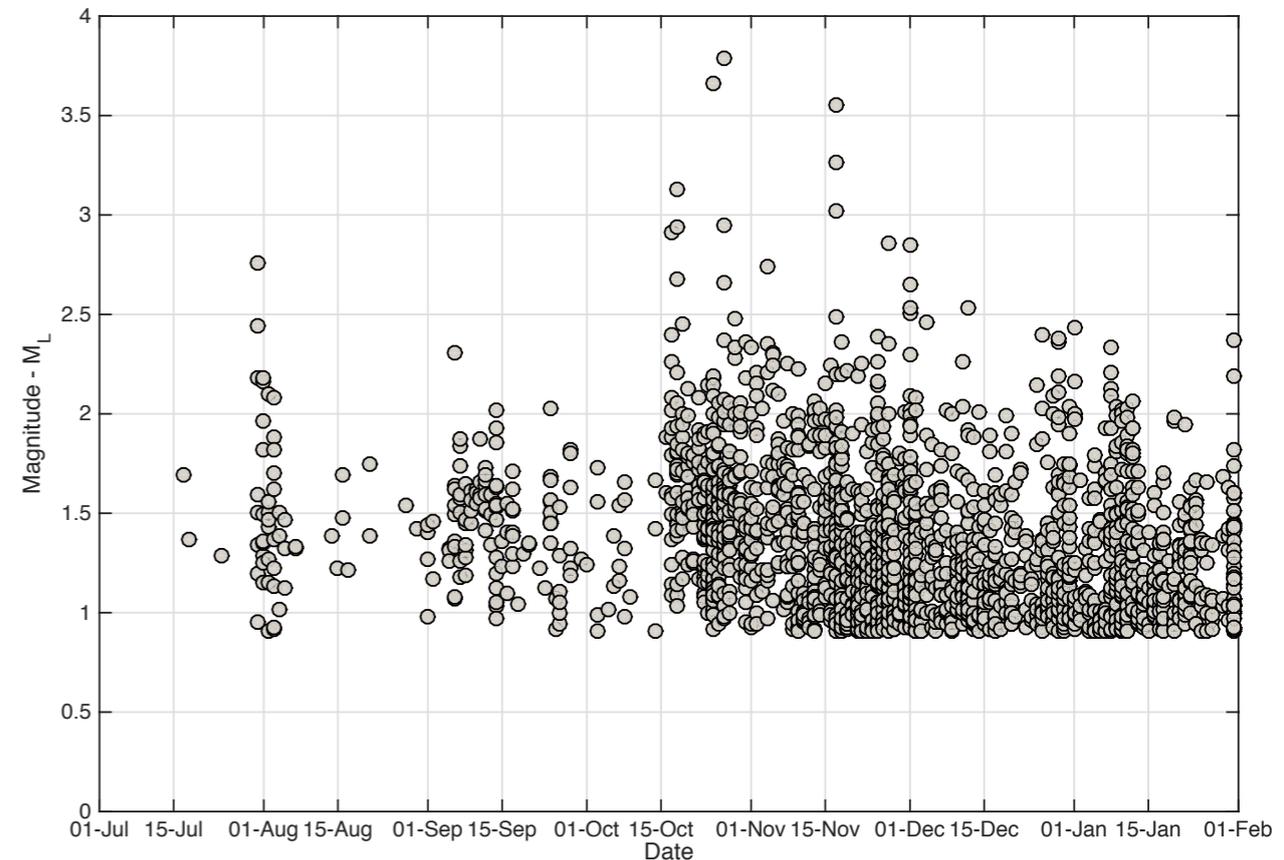
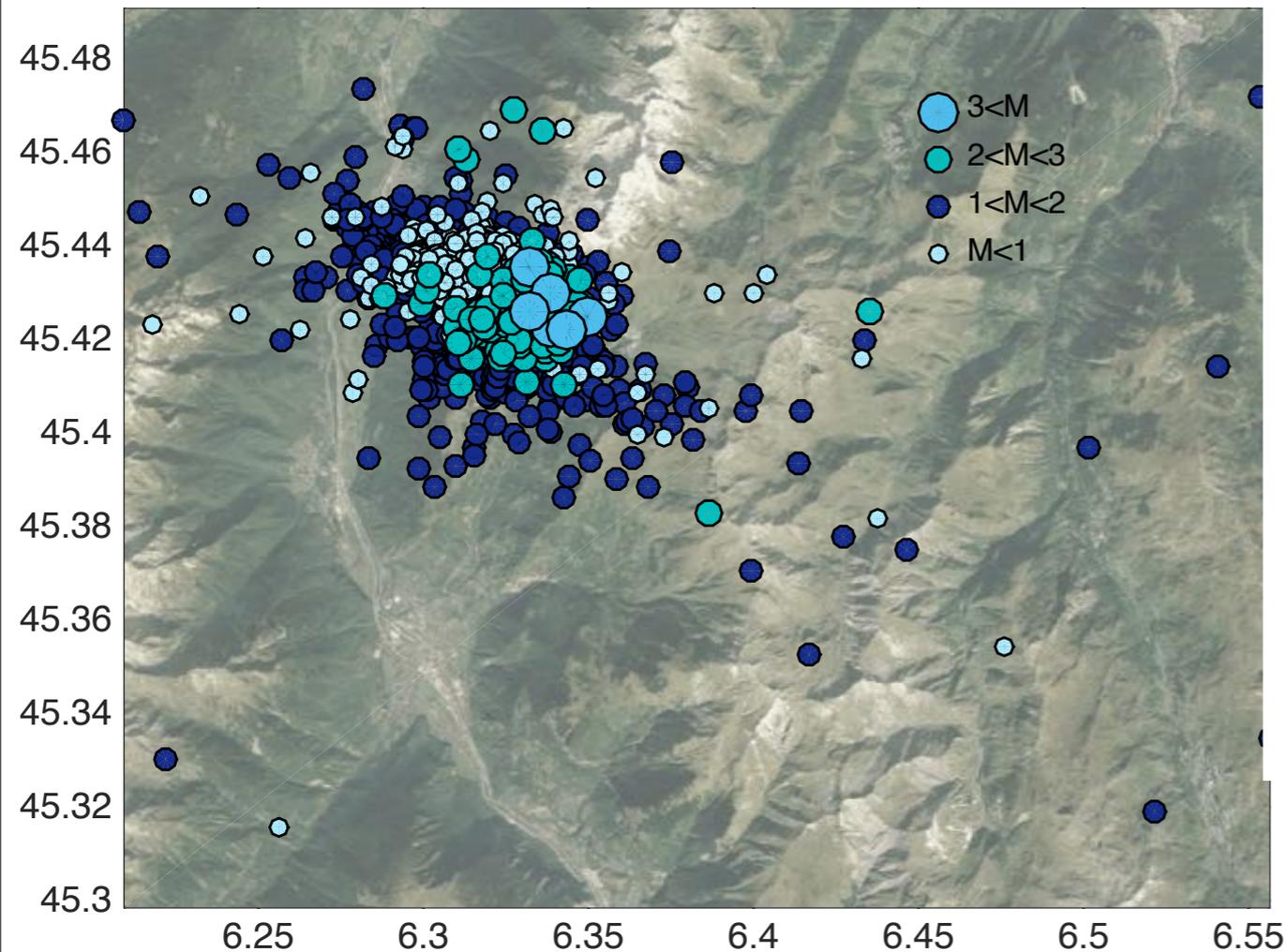
Et la Maurienne s'est mise à trembler....

Mc>0.9 - Jan2015-Feb2018



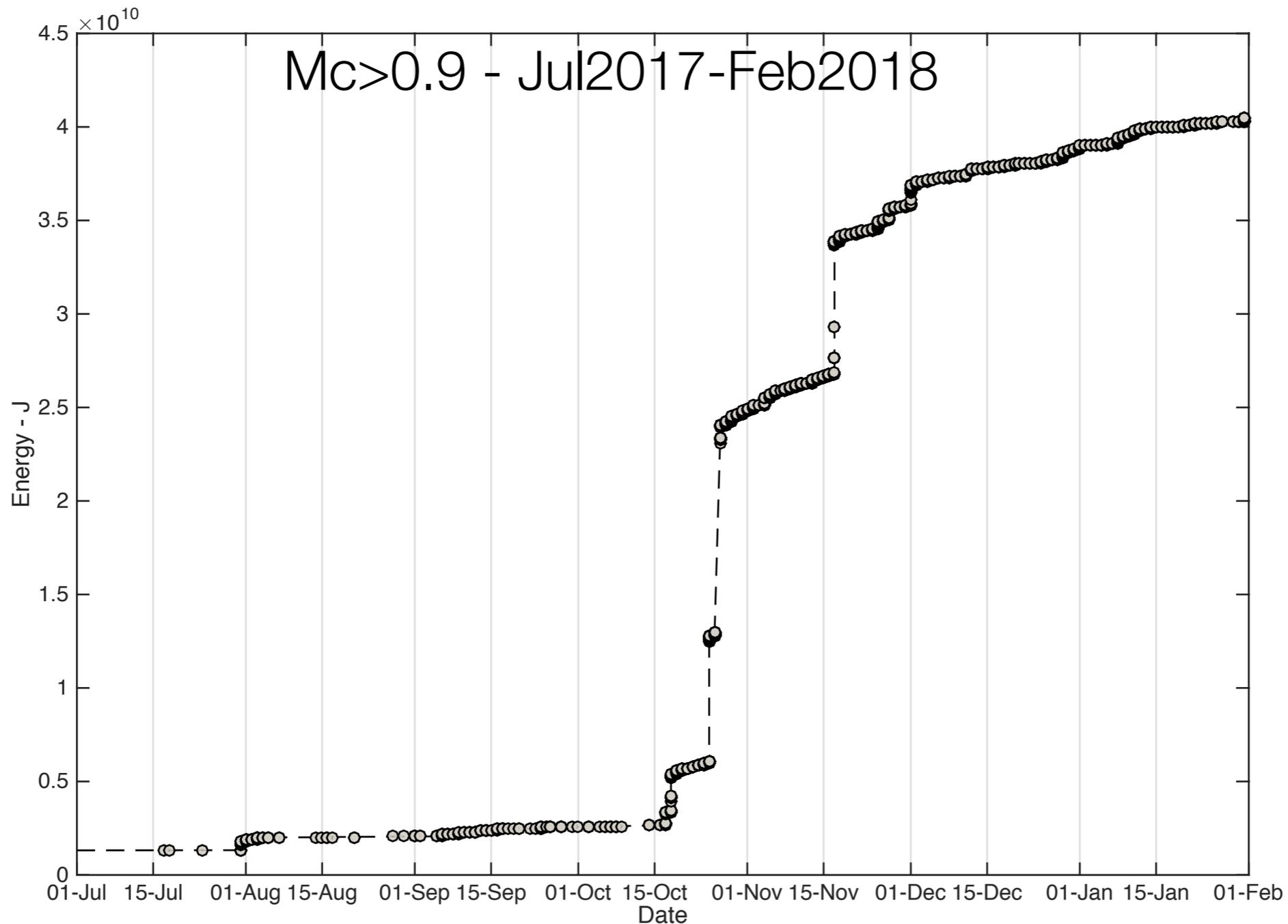
Et la Maurienne s'est mise à trembler...

Mc>0.9 - Jul2017-Feb2018



séisme du 27/10

Et la Maurienne s'est mise à trembler...



Et la Maurienne s'est mise à trembler...et maintenant?

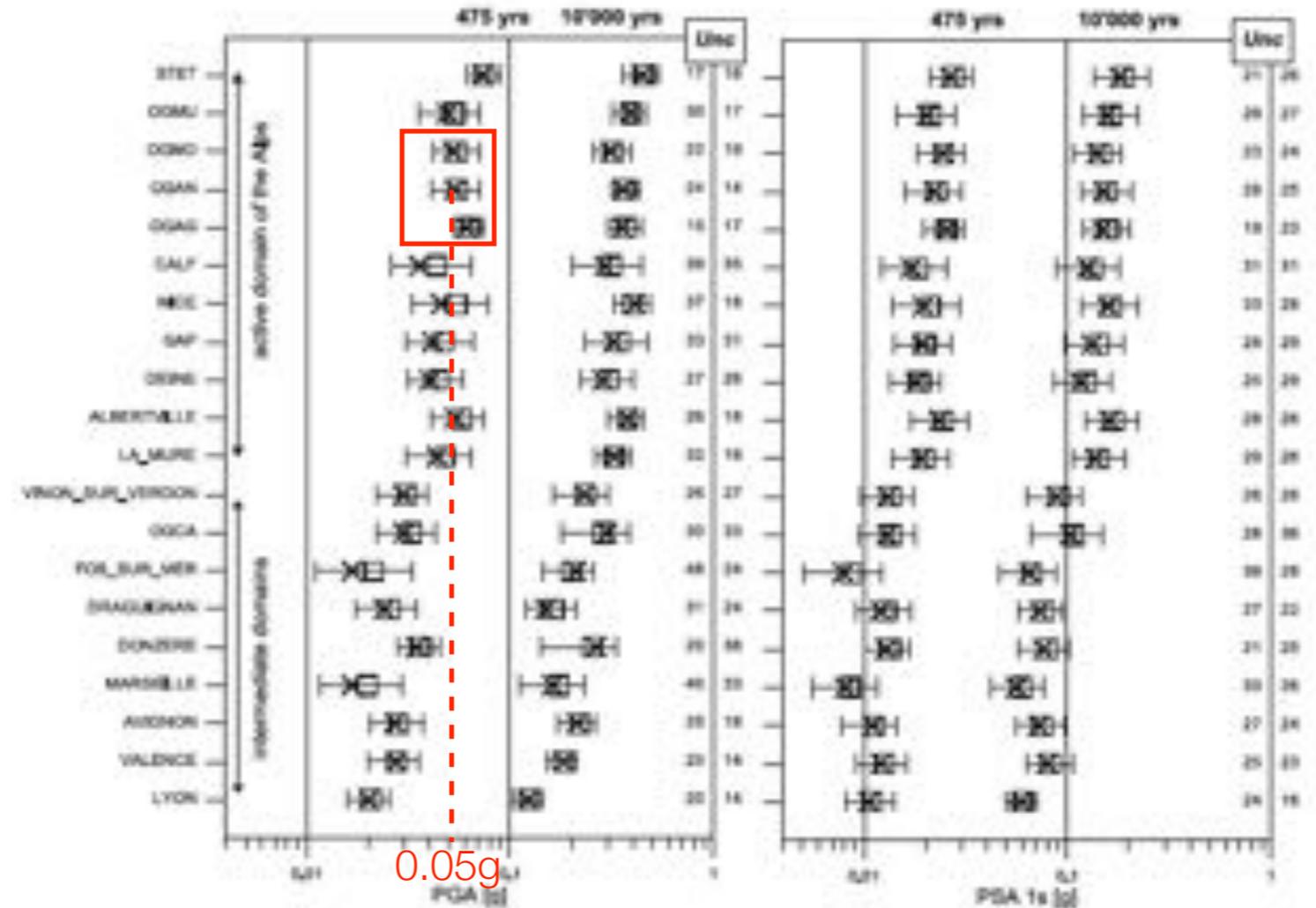
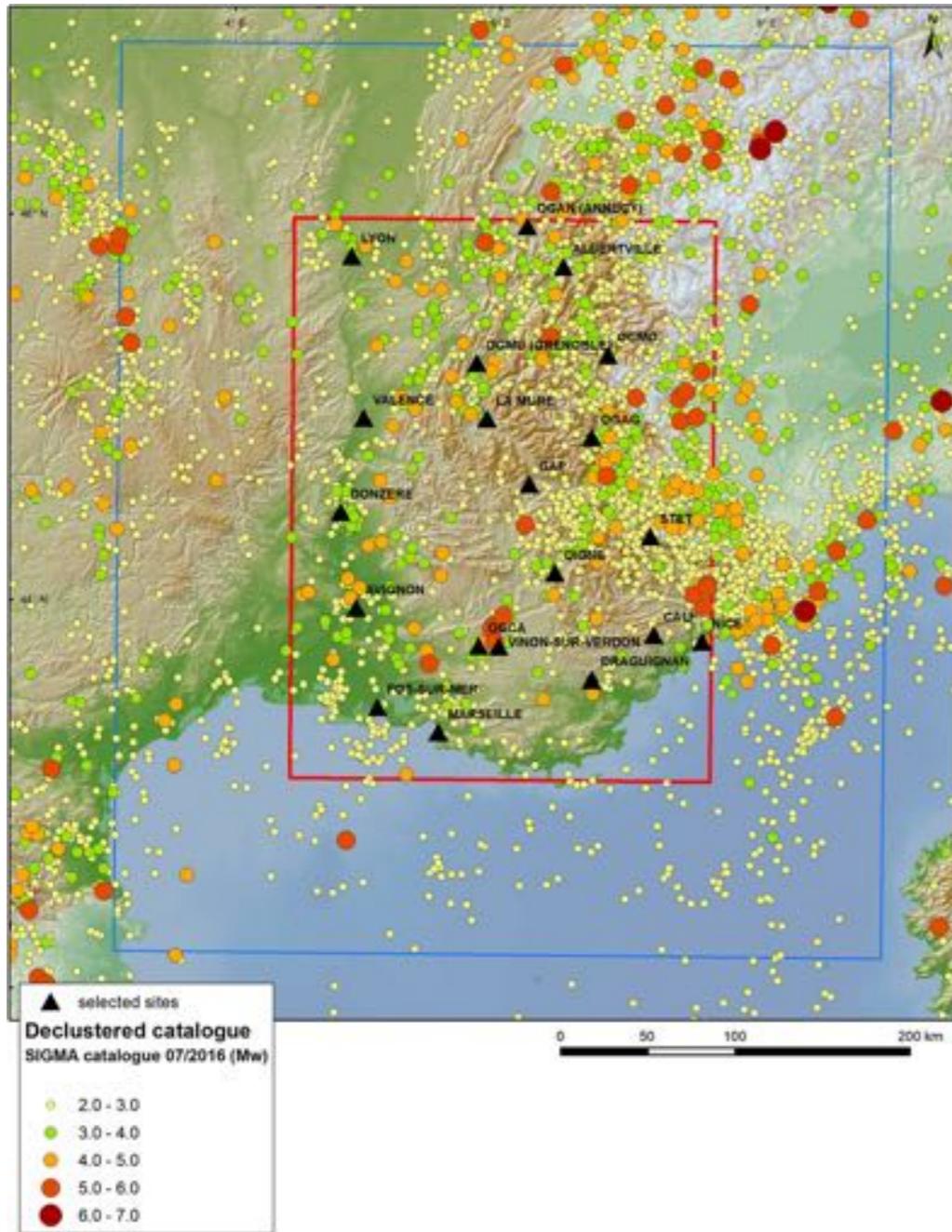
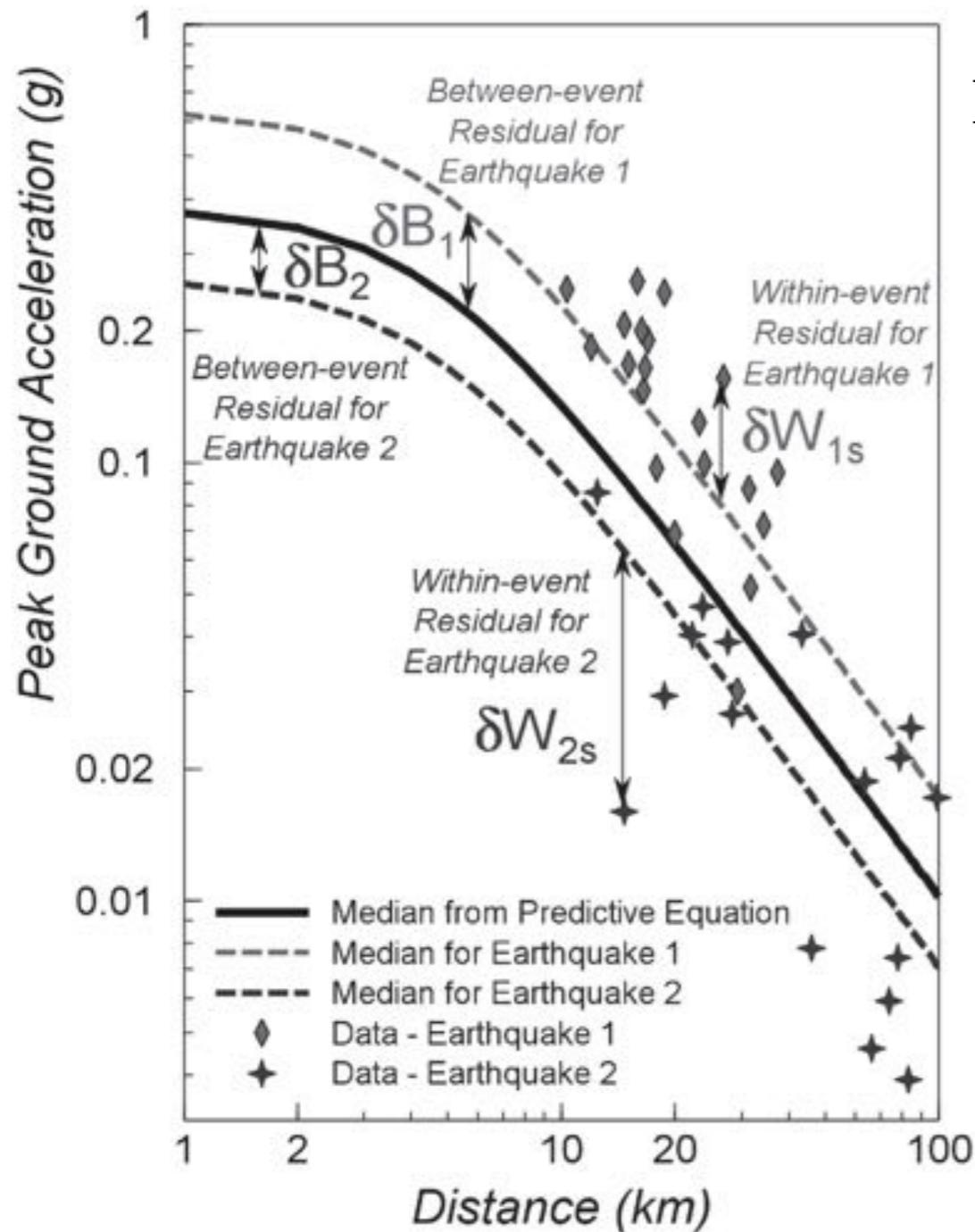


Fig. 12 PGAs (left) and spectral acceleration (PSA) at $T = 1$ s (right) for the 20 selected sites ($V_{s30} = 800$ m/s) for return periods of 475 and 10,000 years (bars, 16th–84th fractiles; crosses, medians; and squares, means) and the uncertainty metric $Unc = 100 \cdot \log(PSA_{475}/PSA_{10000})$. The uncertainty values are for 475 yrs (left) and 10,000 yrs (right) return periods

PGA max (Station AlpArray): 0.051g

Martin et al., 2018: New seismic hazard in South-East France

Et la Maurienne s'est mise à trembler...et maintenant?



$$\log(IM_{ij}) = f(M_i, R_{ij}, \theta_{ij}) + \tau\nu_i + \sigma\epsilon_{ij}$$

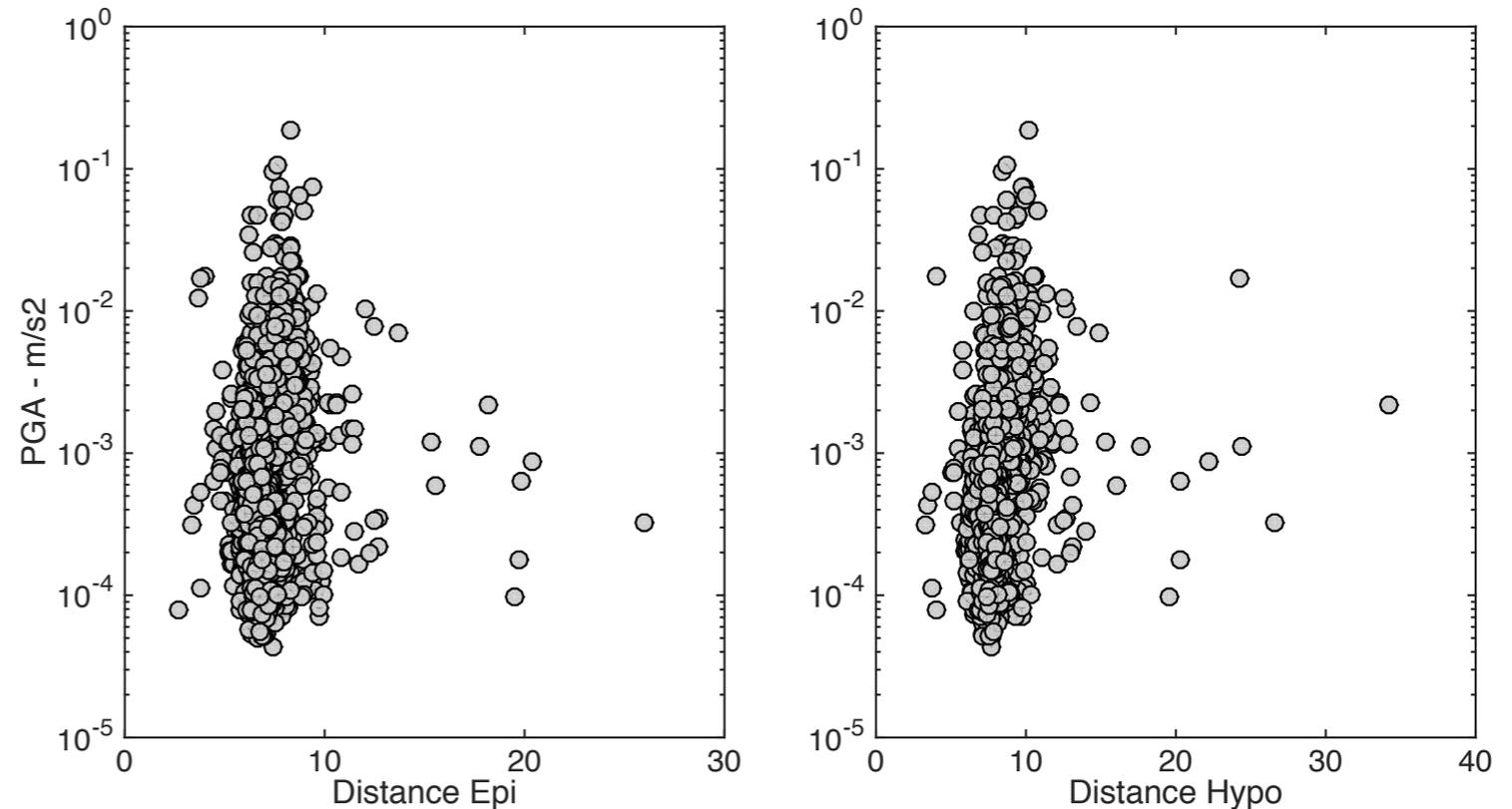
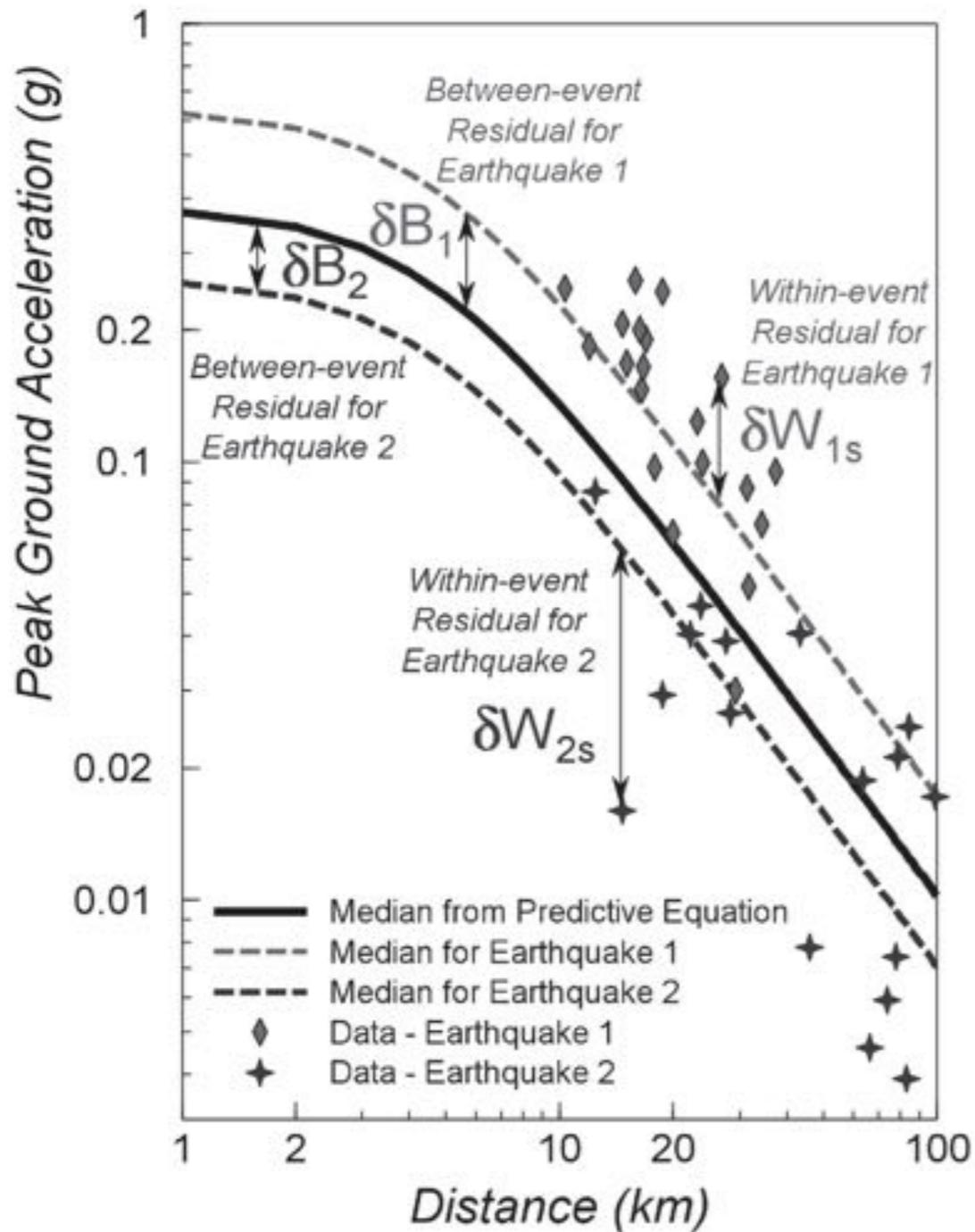
$\tau\nu_i$ inter-event term

$\sigma\epsilon_{ij}$ intra-event term

$\sigma\epsilon_{ij}$ is found to be spatially correlated, such that the coefficient of correlation between the intra-event residuals observed at two sites will decrease with increasing separation distance.

Al Atik et al., **2010**: Ground motion variability

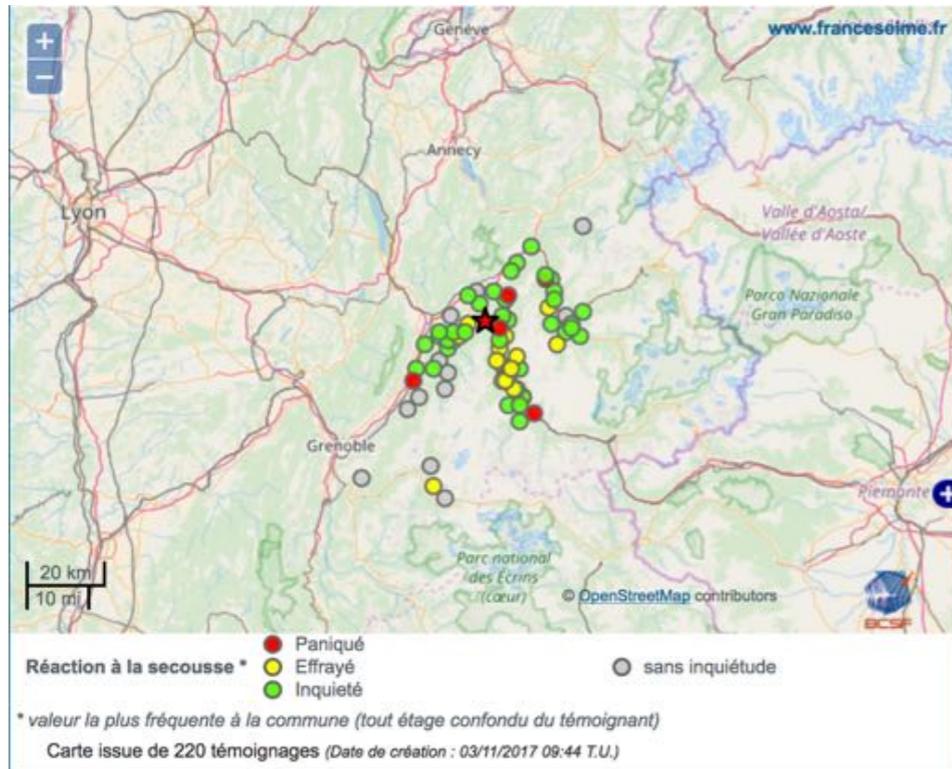
Et la Maurienne s'est mise à trembler...et maintenant?



Station EPIR

Al Atik et al., **2010**: Ground motion variability

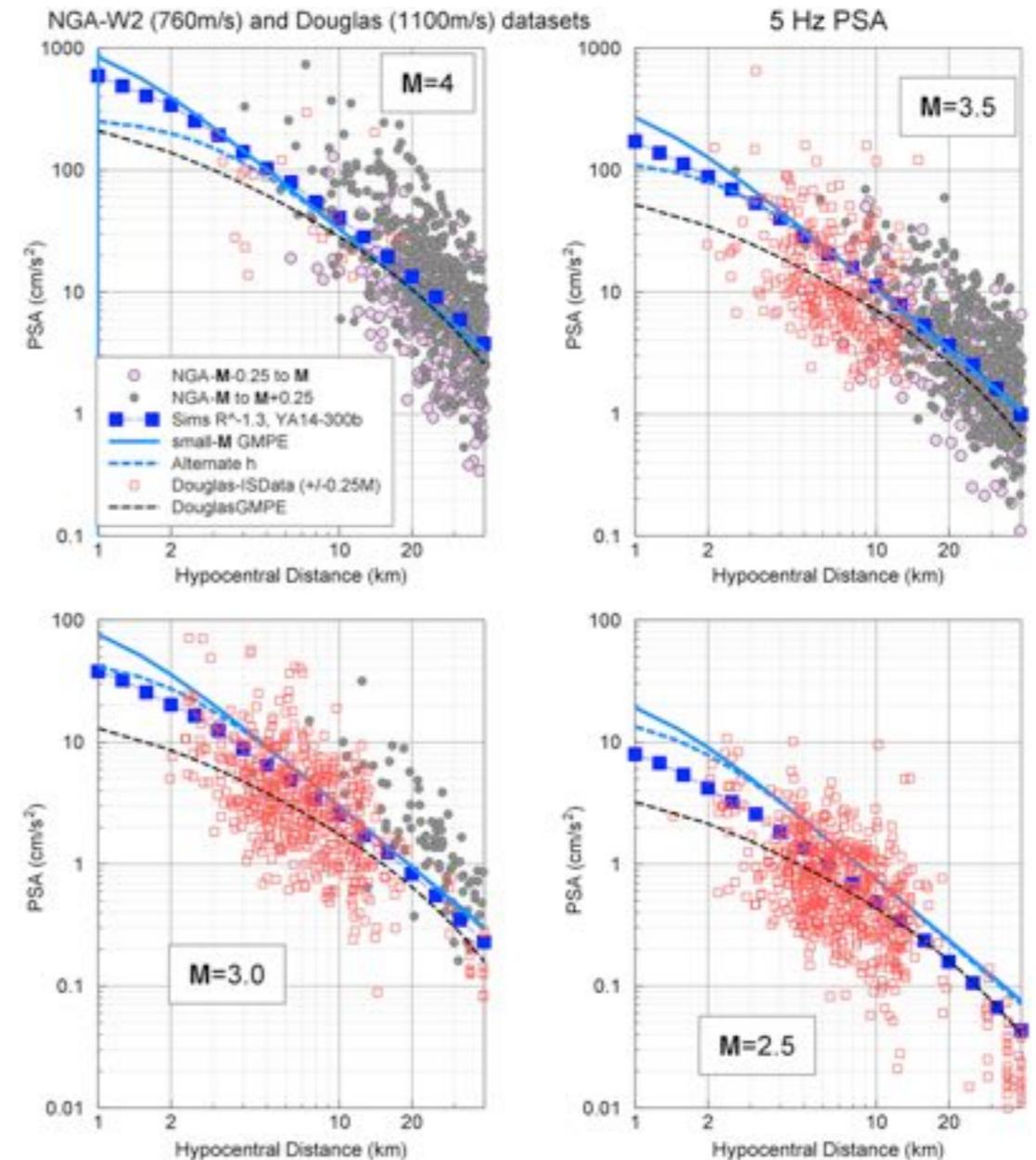
Et la Maurienne s'est mise à trembler...et maintenant?



Did you feel it?

what is the feeling of the population ?
what loss is envisaged?

Poor constraint at short distance.



Atkinson et al., **2015**: Short distance GMPE for natural and induced seismicity

Et la Maurienne s'est mise à trembler...et maintenant?

L'Aquila 2009



Séisme de l'Aquila: les sept scientifiques italiens acquittés

Condamnés en première instance à six ans de prison, les sept experts ont finalement été acquittés en appel ce lundi par la Cour

d'appel de l'Aquila. En 2012, ils avaient été accusés d'avoir sous-estimé les risques sismiques avant le séisme meurtrier de 2009.



11/2014

Since July 2017

Three public meetings convened by the prefecture, at the request of the mayors



Aquila: "Les sismologues ne possèdent pas la vérité absolue"

Au lendemain de la condamnation de scientifiques italiens à 6 ans de prison pour avoir sous-estimé les risques sismiques dans

la région de l'Aquila en Italie, la communauté scientifique est sous le choc. La réaction de Robin Lacassin, directeur de l'équipe de tectonique à l'Institut de physique du globe.



The questions:

- Mmax ?
- Duration of the swarm ?
- What instruction ?



Procès du séisme de l'Aquila: les experts condamnés à 6 ans de prison

Les scientifiques ont été reconnus coupables d'avoir sous-estimé les risques avant le séisme meurtrier de l'Aquila en Italie le 6 avril

2009. Le parquet avait requis quatre ans de prison.



The answers ? Vague and unsuitable



Aquila: "Ce n'est pas juste la sismologie qui a été jugée, mais toute la science"

La communauté scientifique dénonce à l'unanimité le jugement "incroyable" du procès du séisme de L'Aquila, survenu en

2009 en Italie. Il est, selon elle, rigoureusement impossible de prévoir un



10/2012

Merci de votre attention



IFSTTAR



Philippe Guéguen

Institut des Sciences de la Terre
Université de Grenoble / IFSTTAR

philippe.gueguen@univ-grenoble-alpes.fr