

Le risque sismique

Christophe Larroque (CNRS, Laboratoire Géoazur, Larroque@geoazur.unice.fr)

1/ Qu'est-ce qu'un tremblement de terre ?

Les tremblements de terre (qu'on appelle aussi séismes) sont des **vibrations du sol**. Lorsqu'elles sont fortes, ces vibrations produisent des destructions (document 1) et des modifications des paysages (document 2). Les tremblements de terre représentent un risque important pour l'Homme, on parle de risque sismique, car leurs conséquences peuvent être dévastatrices (document 1).

Les dégâts humain et matériel peuvent être considérables lors des séismes. Le 12 janvier 2010 le séisme d'Haïti a fait plus de 200 000 morts, plus de 300 000 blessés et la moitié de la capitale, Port-aux-Princes, a été détruite. Ce ne sont pas les vibrations du séisme qui tuent les personnes mais les maisons, immeubles et autres édifices qui s'effondrent.

2/ Quels sont les effets en surface d'un tremblement de terre ?

Après un tremblement de terre on évalue l'**intensité** des mouvements du sol à partir de l'analyse du **niveau des destructions occasionnées aux constructions humaines** dans la zone touchée. L'intensité est une estimation des effets en surface du séisme. L'intensité est notée de **0 à XII** (en chiffres romains, document 3). Après un séisme, de très nombreux points d'observation permettent de dessiner une carte des zones d'égale intensité du mouvement du sol (document 3).

3/ Comment mesure-t-on les tremblements de terre ?

Les vibrations du sol sont enregistrées par des capteurs très sensibles : les **sismomètres** (document 4). Il existe plusieurs milliers de sismomètres à la surface de la Terre qui enregistrent les vibrations en permanence. Les sismomètres mesurent les **caractéristiques des vibrations dans le temps** qui s'expriment sur un graphique nommé **sismogramme** (document 4).

C'est à partir de l'analyse de nombreux sismogrammes issus de différentes stations qu'on peut **localiser** un séisme et calculer sa **puissance**. La localisation du séisme à la surface de la Terre est appelée l'**épicerentre**. La puissance d'un séisme est exprimée par sa **magnitude** (M) sur une échelle, dite échelle de Richter (notée en chiffres Arabes : 0, 1, 2...). La magnitude est donc une mesure de la « taille » d'un séisme. Le plus fort séisme connu a été enregistré le 22 mai 1960 près de Valdivia au Chili, sa magnitude : $M=9,5$.

4/ Qu'est-ce qui contrôle l'amplitude des vibrations du sol ?

La comparaison de différents séismes montre que l'amplitude des vibrations du sol et des destructions produites à un endroit donné est fonction de la **magnitude** du séisme et de la **distance** entre l'épicentre et la zone considérée (document 5).

5/ Quelle est l'origine des vibrations du sol produites lors d'un séisme ?

Cette question a été comprise au début du XX^e siècle. Les vibrations du sol correspondent à des **ondes** (les ondes sismiques) qui se propagent à l'intérieur de la Terre jusqu'à sa surface.

Les ondes sont produites par la **rupture des roches** en profondeur, le long d'un plan de **faille** (document 6). C'est principalement le **glissement** l'un contre l'autre des 2 blocs de roches séparés par la faille qui produit les ondes et la Terre a la propriété de propager ces ondes sur de très grandes distances (document 4). On a pu montrer que plus la surface de glissement est grande, plus la quantité d'ondes produite est importante donc plus la magnitude du séisme est forte : pour un séisme de $M=7$, la surface de glissement est de l'ordre de 500 km^2 et pour un séisme de $M=4$, la surface de glissement est de 1 km^2 .

Un séisme est la conséquence de la mise en mouvement brutale de 2 blocs de roches suite à leur rupture. La puissance, ou **magnitude**, d'un séisme correspond donc à la quantité d'**énergie** qui est libérée par le glissement des 2 blocs de roches et qui est **transportée par les ondes**. Au fur et à mesure de la propagation des ondes dans la Terre, l'énergie se dissipe et il y a une **atténuation progressive** de l'amplitude des ondes avec la distance parcourue depuis la zone de rupture (document 4).

6/ Comment les roches cassent le long des failles ?

Les **failles** sont des cassures qui se produisent dans les roches suite à leur rupture. Pour que des ruptures se produisent il faut que des **forces** s'accumulent et dépassent le **seuil de résistance** des roches (document 7).

Dans la Terre, les forces sont produites par le déplacement des plaques de lithosphère et elles s'accumulent principalement à la limite de ces plaques, c'est la raison pour laquelle la plupart des séismes sont localisés le long des limites de plaques (document 8).

7/ Comment définir le risque sismique ?

Pour synthétiser les éléments précédents, on peut conclure que le risque sismique résulte de l'addition de 2 facteurs : l'**aléa** et la **vulnérabilité** (cette définition est valable pour tous les risques naturels : tsunamis, explosion volcaniques...).

L'**aléa sismique** correspond à la probabilité qu'un séisme de caractéristiques (principalement l'amplitude des mouvements du sol) données se produise dans une zone donnée. La **vulnérabilité** correspond aux enjeux (humains, industriels, environnementaux) dans la zone où pourrait se produire un séisme. Le risque est alors évalué en considérant ces 2 facteurs : **Risque Sismique = aléa sismique + vulnérabilité**.

Prenons 2 exemples pour illustrer l'évaluation du risque sismique :

- Dans le désert de Gobi, entre la Chine et la Mongolie, on trouve des grandes failles qui ont produit des séismes très forts, de magnitude supérieure à 8 (document 9). L'aléa sismique est donc très important. Mais cette région est désertique, elle est très peu peuplée, il n'y a pas d'installation industrielle importante et les enjeux environnementaux sont négligeables donc la vulnérabilité est faible. Par conséquent, dans cette région **le risque sismique est faible** en dépit d'un aléa sismique fort.

- Le 11 novembre 2019, il s'est produit un séisme dans la vallée du Rhône à proximité du village du Teil en Ardèche (France). Sa magnitude était de 5 et l'intensité des mouvements du sol a atteint VIII sur l'échelle EMS98 (document 3). L'intensité de ce séisme est modérée et représentative de ce qui est attendu par les scientifiques dans la région. L'aléa sismique est donc modéré mais dans cette région se trouvent de grandes villes (Montélimar, Valence : plusieurs centaines de milliers d'habitants), de nombreuses installations industrielles dont 2 centrales nucléaires et de nombreux axes de communication (voies ferrées, canaux, Rhône, autoroutes, document 10). La vulnérabilité est donc très forte, par conséquent **le risque sismique est fort** bien que l'aléa sismique soit modéré.

8/ Que peut-on faire pour se prémunir du risque sismique ?

Les chercheurs travaillent sur la possibilité de **prévoir** les séismes de la même façon que les services météorologiques sont maintenant capables de prévoir les très fortes tempêtes et les cyclones. Evidemment être capable de prévoir le lieu, l'heure et la puissance d'un séisme permettrait de mettre les populations à l'abri. Malheureusement la mécanique des séismes n'est pas encore suffisamment bien comprise pour que des prévisions soient opérationnelles. Pour atteindre cet objectif, il faudra encore beaucoup de temps et de recherches fondamentales.

Ce qui est bien compris ce sont les **conséquences d'un séisme** sur les mouvements du sol. Si on n'est pas encore capable de prévoir le moment où se produira un séisme, on sait prévoir, avec une incertitude acceptable, la puissance du séisme qui pourrait se produire à tel ou tel endroit. Cette connaissance a ouvert la voie à la **prévention** du risque sismique dont l'application principale est la **construction parasismique** (document 11). L'objectif de la construction parasismique est de **construire des bâtiments qui résisteront aux vibrations** produites par un éventuel séisme et qui ne s'écrouleront pas sur leurs habitants. Ainsi suivant les régions, les autorités ont édicté des règles de constructions parasismiques qui imposent aux constructeurs de bâtiments et autres ouvrages d'utiliser des **matériaux** particuliers et de **renforcer les structures des bâtiments** afin qu'ils résistent aux secousses les plus brutales que l'on suppose pouvoir se produire dans la zone considérée.

D'autre part l'**implication des populations** vivants dans une zone à risque est un élément fondamental permettant aux **habitants** d'adopter un bon **comportement** en cas de survenue d'un séisme et d'avoir la bonne réaction en fonction de leur situation. Les Japonais qui vivent dans un pays fortement sismique ont depuis longtemps démontré que cette capacité des populations est à même de sauver de nombreuses vies.

Enfin, les séismes majeurs de ces dernières années nous ont aussi appris que les capacités opérationnelles des **services de secours** (pompiers, secouristes, militaires, médecins...) et leur **coordination** par une autorité compétente est un élément important permettant de sauver un grand nombre de personnes dans les quelques jours qui suivent la catastrophe.



Document 1.

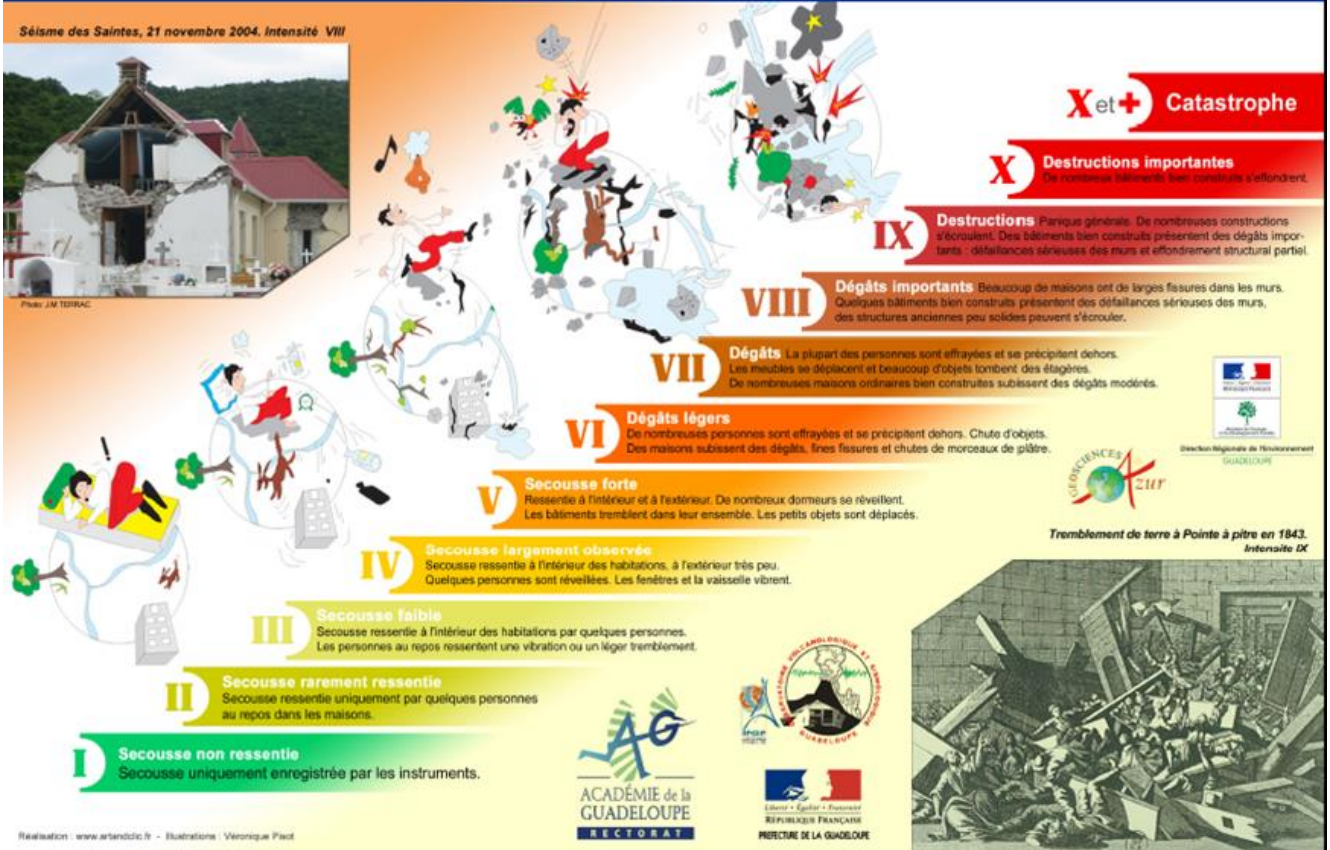
Haut : Photographie dans la ville de L'Aquila (Italie centrale) après le séisme du 6 avril 2009 (photo AFP). Bas : photographie dans la ville de Port-aux-Princes (Haïti) après le séisme du 12 janvier 2010 (photo E. Calais).



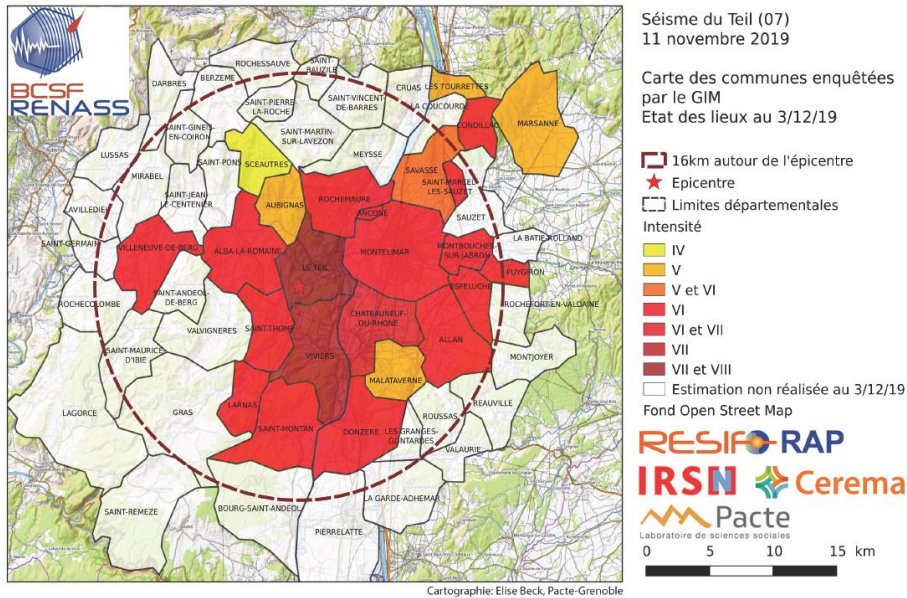
Document 2.

Glissement de terrain sur le flanc d'une vallée lors du séisme du Gorniy Altaï (Russie) le 27 septembre 2003 (photos E. Rogozhin). Sur la photo du haut la largeur du glissement de terrain qui affecte le flanc de la vallée est de 2 km.

ECHELLE D'INTENSITE MACROSISMIQUE (ECHELLE EMS98)



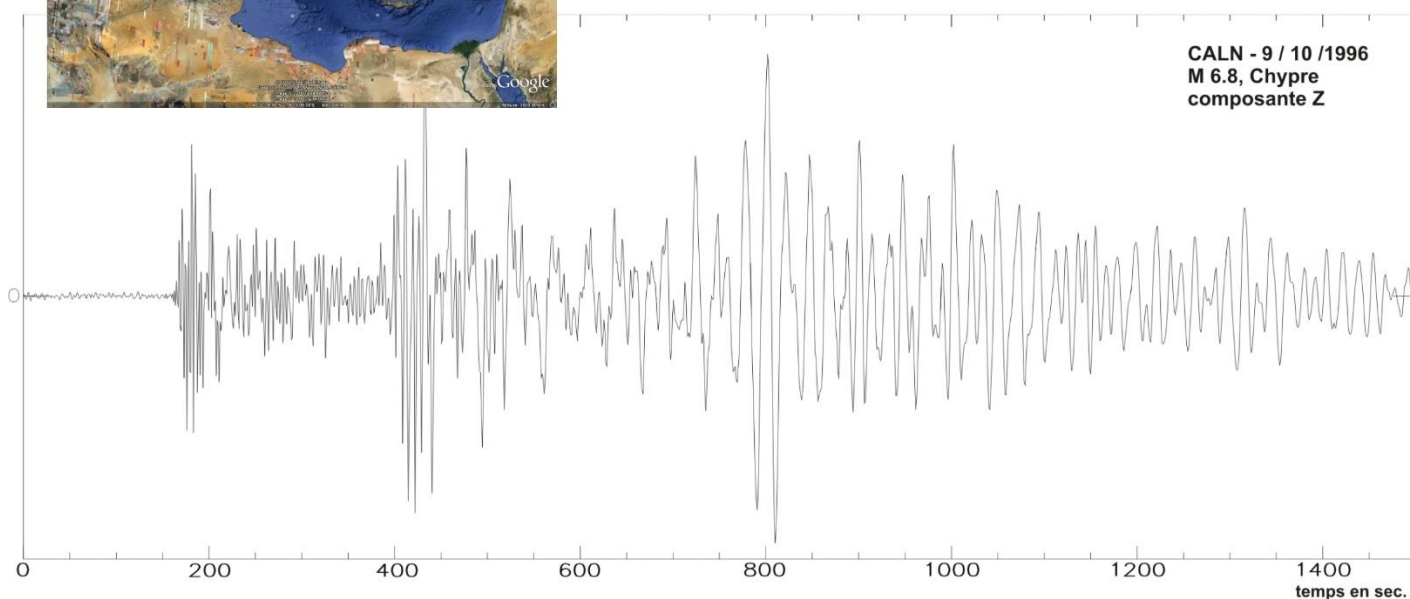
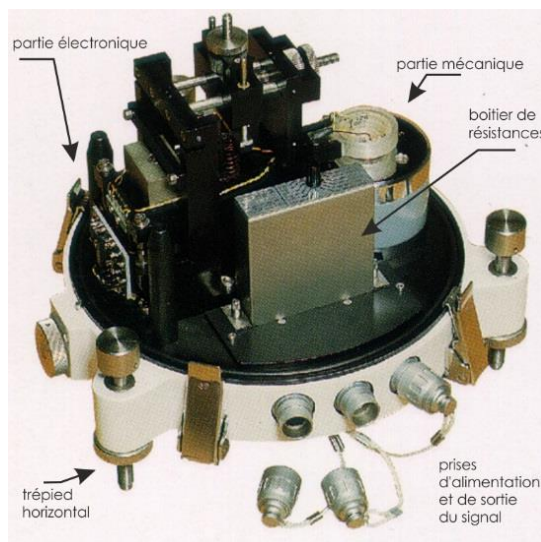
Carte des intensités EMS98 estimées par le GIM - Groupe d'intervention macrosismique



Document 3.

En haut : l'échelle d'intensité macrosismique (dites EMS98 pour European Macroseismic Scale) donne une évaluation de l'intensité du mouvement du sol produit lors d'un séisme à partir de l'analyse des destructions et des témoignages des habitants.

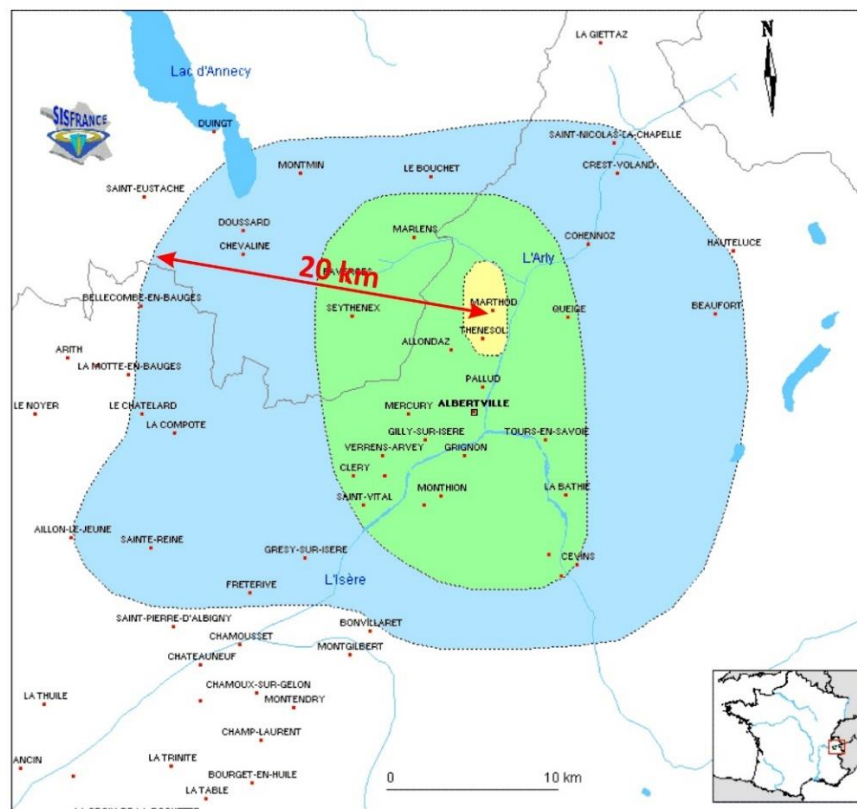
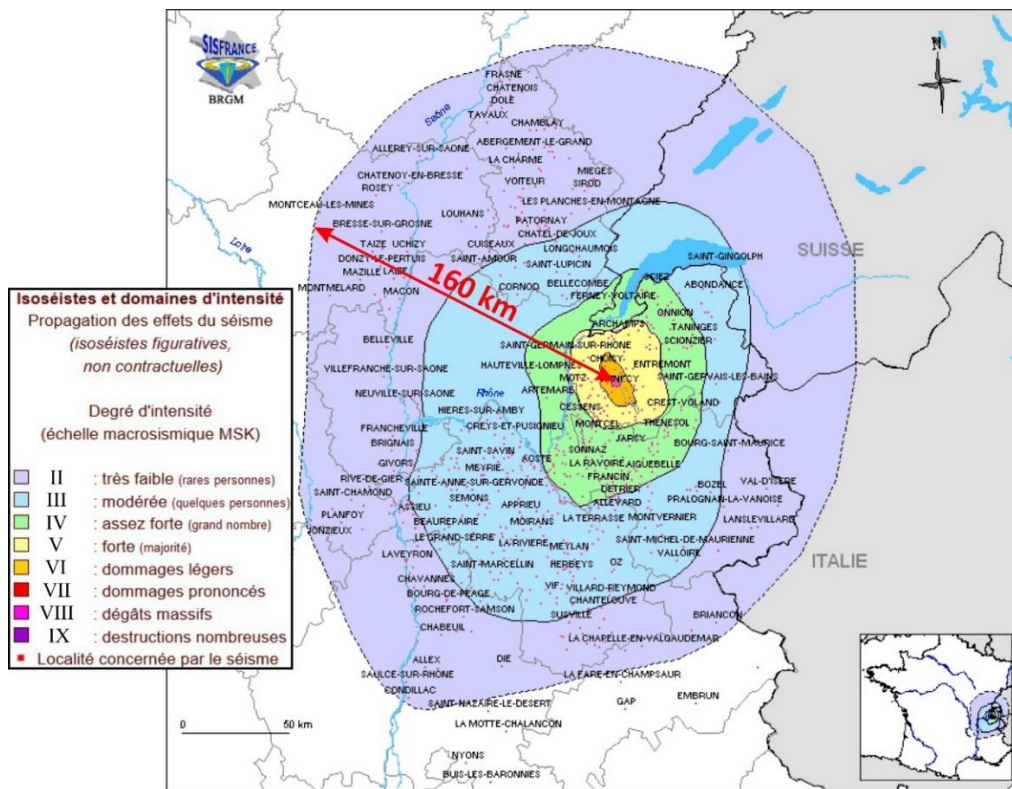
En Bas : Carte des intensités du mouvement du sol relevées après le séisme du Teil (Ardèche, France) le 11 novembre 2019. Lors de ce séisme, l'intensité maximum a été de VIII sur l'échelle EMS98.



Document 4.

En haut : Les sismomètres sont des capteurs posés sur le sol qui enregistrent les vibrations. Ce sont des appareils mécanique et électronique très sensibles.

En Bas : Les sismogrammes sont des graphiques qui correspondent à l'enregistrement des vibrations du sol dans le temps. L'abscisse correspond au temps et l'ordonnée à l'amplitude des vibrations. Sur cet exemple [séisme de Chypre (triangle rouge) le 9 octobre 1996, enregistré par le sismomètre de Calern dans le sud de la France (triangle jaune)]. Entre 0 et 150 sec on observe de très faibles vibrations (ce sont les vibrations de fond de la Terre), à partir de 150 sec on observe des vibrations beaucoup plus fortes : c'est l'arrivée des ondes sismiques au niveau du sismomètre. L'amplitude des vibrations varie dans le temps. Notez que l'amplitude est variable mais va globalement diminuer avec le temps jusqu'à retrouver la valeur de départ après 1400 sec (non visible sur ce sismogramme).

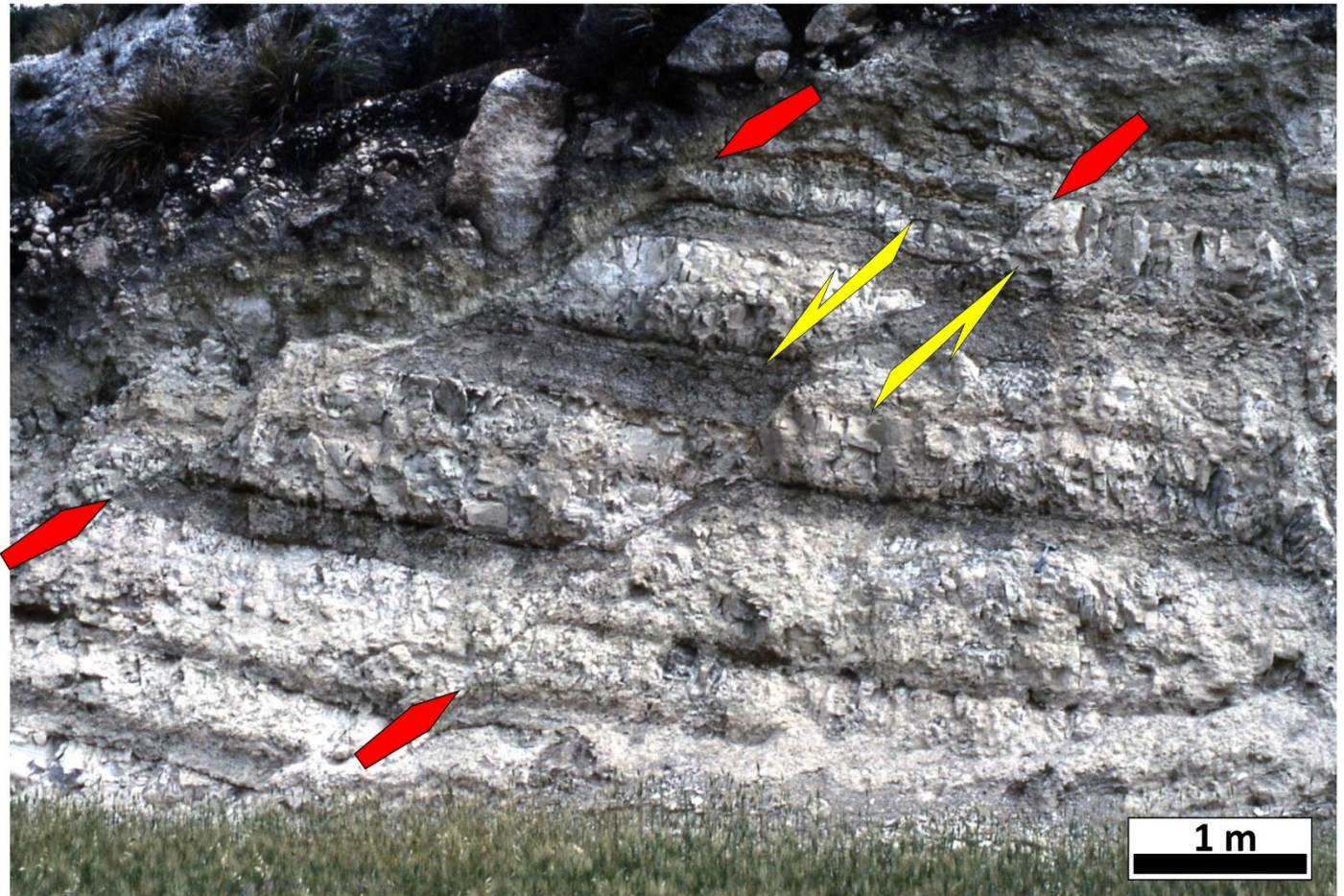


Document 5.

En haut : carte d'intensité du mouvement du sol dans la zone épacentrale pour le séisme d'Epagny (Haute Savoie) de M=5,2 survenu le 13 juillet 1996 (modifié d'après Sisfrance).

En bas : la même carte pour le séisme d'Albertville de M=4,1 survenu le 31 octobre 2005.

Notez que l'intensité maximum est de VIII à l'épicentre pour le séisme d'Epagny et de V pour le séisme d'Albertville. Notez aussi que l'étendue du ressenti des vibrations (intensité minimum III, document 3) est de 160 km pour le séisme d'Epagny et de 20 km pour le séisme d'Albertville.



Document 6.

Falaise formée par des couches calcaires. Ces couches sont coupées par 2 failles qui sont soulignées par les flèches rouges. Les flèches jaunes indiquent le sens du déplacement des 2 blocs de roches de part et d'autre du plan de faille de droite (photo C. Larroque).



Document 7.

Les forces exercées par le garçon vont dépasser le seuil de résistance de la barre de bois et entraîner sa rupture.



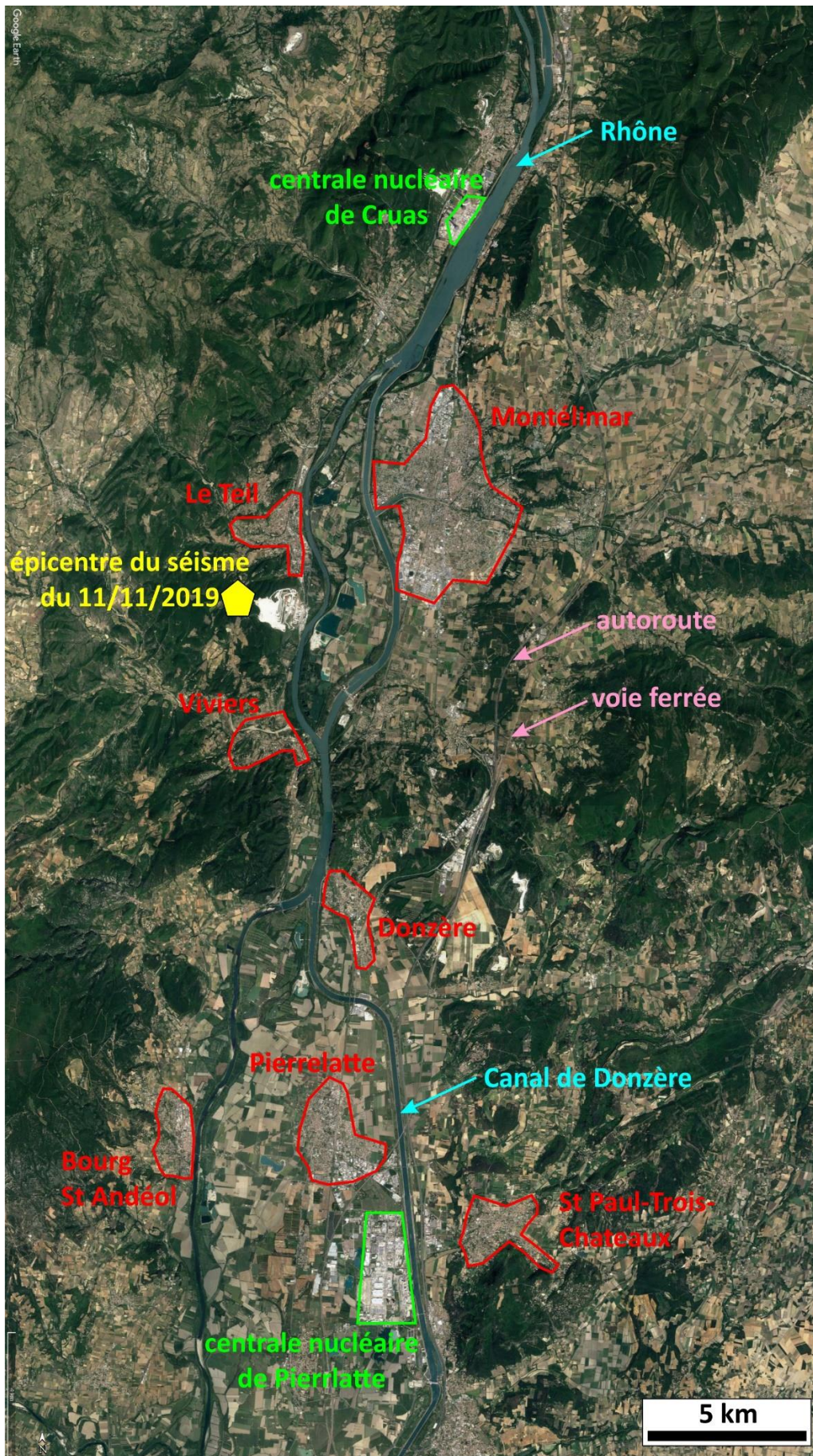
Document 8.

Les épicentres des séismes de magnitude supérieure à 4 sont représentés par des points jaunes. On observe que la plupart des séismes sont localisés le long des limites entre les plaques de lithosphère.



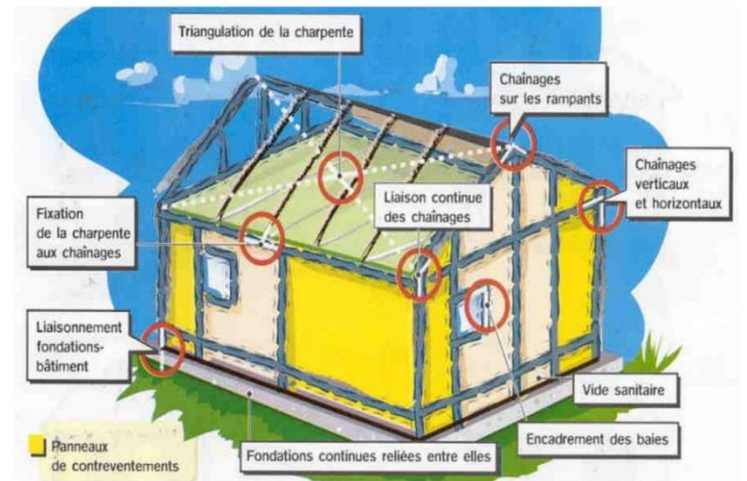
Document 9.

Trace d'une grande faille (au pied du personnage) dans le paysage désertique de Mongolie (photo H. Phillip). La faille est apparue en 1905 après un très fort séisme ($M > 8$) qui a secoué tout le nord la Mongolie et le sud de la Sibérie.



Document 10.

Carte de la zone épiscopentrale du séisme du Teill (France ; M=5 ; 11 novembre 2019) indiquant les grands points de vulnérabilité.



Document 11.

En haut : la construction parasismique impose l'usage de matériaux résistants aux vibrations produites lors des séismes, comme par exemple les blocs perforés de terre cuite (photo d'une publicité en Martinique) ainsi que des structures de renforcement des bâtiments comme le chaînage de l'ensemble des murs et de la charpente des maisons (schéma de droite).

En bas : Photo dans la ville de Port-aux-Princes (Haïti) après le séisme du 12 janvier 2010. On observe au deuxième plan un bâtiment de 12 étages construit suivant les normes parasismiques et peu endommagé. Au premier plan : le bâtiment de l'hôpital qui était construit en maçonnerie traditionnelle non-parasismique (photo P. Paultre).