



HAL
open science

Quel risque sismique sur la Côte d'Azur et les Alpes du Sud ?

Francoise Courboulex, Bertrand Delouis, Christophe Larroque, Anne Deschamps

► **To cite this version:**

Francoise Courboulex, Bertrand Delouis, Christophe Larroque, Anne Deschamps. Quel risque sismique sur la Côte d'Azur et les Alpes du Sud ?. 2024. hal-04778858v3

HAL Id: hal-04778858

<https://hal.science/hal-04778858v3>

Submitted on 30 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quel risque sismique sur la Côte d'Azur et les Alpes du Sud ?

Un séisme (appelé aussi tremblement de terre) est dû à un **glissement rapide** de deux compartiments rocheux situés de part et d'autre d'une **faille**. C'est le frottement entre ces deux compartiments qui va produire des ondes se propageant jusqu'à la surface du globe. C'est un phénomène bref (de quelques secondes pour les séismes faibles à modérés à quelques minutes pour les séismes majeurs) qui génère des vibrations appelées **ondes sismiques**. Ces ondes **se propagent de la profondeur vers la surface du globe** à une vitesse très importante (plusieurs kilomètres par seconde). Ce sont les **vibrations du sol** qui sont responsables de la plupart des dommages aux structures (immeubles, maisons, ponts, infrastructures) et ce sont les effondrements de structures qui sont responsables de la plupart des pertes humaines. **Actuellement il n'est pas possible de prévoir les séismes mais les recherches scientifiques ont permis d'avancer dans la compréhension de leurs causes et de leurs conséquences.**

Le niveau des vibrations (1) du sol est fonction de deux paramètres de premier ordre : la taille du séisme (= la **magnitude** qui est une mesure de l'énergie émise par le séisme selon une échelle allant de -2 à plus de 9) et la **distance** entre la zone de rupture et le site considéré. Les conséquences d'un séisme sont diverses suivant ses caractéristiques :

- Un séisme de magnitude modérée peut engendrer de fortes vibrations du sol mais dans une zone réduite. Par exemple, le séisme de magnitude 5 survenu en 2019 dans la commune du Teil en Ardèche a montré qu'un séisme, même modéré, peut produire des destructions à proximité de la rupture (2). Cet événement a relancé l'intérêt des recherches sur le risque sismique en France (3).
- Un séisme de magnitude plus forte causera des vibrations dans une zone plus étendue (plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres pour un séisme de magnitude 7). Ce fut le cas du séisme de magnitude 7,8 à Kharamanmaras en Turquie en février 2023.
- Un séisme peut ne faire aucun dégât s'il est situé loin des zones habitées (exemple du séisme de magnitude 6 qui a eu lieu en mer entre la Corse et le continent en 1963).

Il est donc primordial de connaître où vont avoir lieu les séismes et quelle peut être leur magnitude.

En plus de la magnitude et de la distance, un autre effet doit être pris en compte. Il s'agit de l'**effet de site** (4). Ce terme désigne les amplifications des ondes sismiques engendrées par les couches géologiques superficielles ou le relief topographique. Cela peut paraître contre-intuitif, mais l'on sait maintenant que les ondes sont piégées et amplifiées si le sous-sol est « mou » (constitué par quelques dizaines de mètres de sédiments peu consolidés) en comparaison de sols formés de roches dures (granite ou de calcaire par exemple). Ainsi un séisme d'une même magnitude et à une même distance génèrera des vibrations de surface plus fortes dans une vallée remplie de sédiments que sur un site constitué par de la roche dure. Un effet d'amplification peut exister aussi dans les zones escarpées (on parle alors d'effet de site topographique). Cet effet de site peut concerner la vallée du Var (remplie de plusieurs dizaines de mètres d'alluvions) et certains villages de l'arrière-pays niçois perchés sur des promontoires, par exemple.

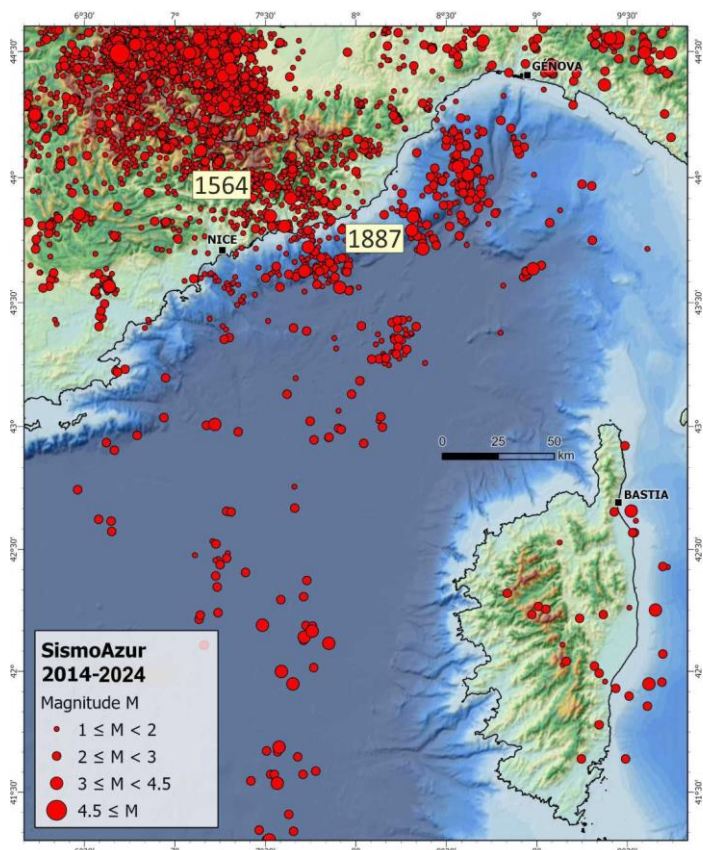
L'aléa* sismique sur la Côte d'Azur

Des séismes historiques destructeurs : la Côte d'Azur est une des zones les plus sismiquement actives de l'Europe de l'Ouest. Elle a subi dans l'histoire une dizaine de séismes destructeurs. En 1564, un séisme a engendré des dégâts considérables dans l'arrière-pays niçois et au moins 300 morts (5). En 1887, un séisme en mer a eu lieu à quelques

*Les (n°) et les * reportent à des références listées à la fin du document*

kilomètres du littoral Ligure causant la mort de plus de 600 personnes, des dégâts considérables et un tsunami de 2 mètres au maximum. Sa magnitude a été estimée entre 6.7 et 6.9 (6) et (7). Ce séisme ayant eu lieu près de San Remo en Italie, c'est dans cette zone qu'il a causé le plus de dégâts (Figure 1, photo en haut à droite). Dans la ville de Nice située à plus de 50 km du foyer, les vibrations ont été assez fortes pour pousser les habitants à camper pendant plusieurs semaines par crainte des répliques (Figure 1, photo en bas à droite).

C'est la reproduction actuelle de ce type de séisme que l'on craint le plus compte tenu de sa magnitude forte pour la région. Indépendamment du nombre de victimes, un tel événement pourrait générer plusieurs milliers de sans-abris dans les zones urbaines autour de Nice.



village de Diano Marina (Ligurie)
après le séisme de 1887



Centre ville de Nice après le séisme de 1887

Figure 1 : Carte de gauche : Les points blancs indiquent les épicentres des séismes localisés de 1980 à 2013 par le RENASS et les points rouges les séismes récents de 2014 à 2024 localisés par le laboratoire Géoazur. La localisation approximative des séismes historiques de 1564 et de 1887 est indiquée par un rectangle jaune. A droite : Photos prises après le séisme de 1887 en Italie (en haut) et au centre-ville de Nice (en bas), collection Didier Moulin.

Une microsismicité forte qui montre que la zone est active : les réseaux sismologiques actuels (réseau Epos-France : réseau sismologique national français, géré localement par Géoazur) détectent tous les séismes de magnitude supérieure à 1,8 dans la région (Carte figure 1). En mer, la détection est moins précise par manque de stations. Les vibrations du sol sont enregistrées par une quarantaine de capteurs dans la région et les valeurs sont transmises en temps quasi réel pour interprétation. Ces données, et les calculs de localisation et de magnitude, sont ouverts et accessibles au public via le portail <http://sismoazur.oca.eu/> géré par le laboratoire Géoazur**.

Les causes géologiques : le bassin méditerranéen est le lieu de la **convergence de deux grandes plaques tectoniques : Afrique et Eurasie**. Dans le passé géologique (les 60 derniers millions d'années) la convergence de ces deux plaques a entraîné la formation de la chaîne des Alpes. Durant les derniers millions d'années, la frontière entre ces deux plaques s'est déplacée vers le sud et elle se trouve maintenant au niveau des chaînes du Maghreb, de la Sicile et de la Calabre. Actuellement, le sud de la France est donc éloigné de plus de 1000 km de la frontière de plaques mais subit néanmoins les contrecoups de cette convergence comme le montre la figure présentant la sismicité de la zone des Alpes Maritimes et du bassin Ligure (figure 1). De plus, des travaux récents montrent que, dans les Alpes, la **fonte des glaciers**, commencée il y a 20 000 ans, entraîne un allègement de la croûte terrestre et contribue à modifier les forces agissant en profondeur sur les failles à l'origine des séismes.

Les causes non-géologiques : depuis plusieurs années les scientifiques ont détecté des séismes qui sont déclenchés par des processus non-géologiques. Cela peut être le cas lors de la vidange ou du remplissage d'un barrage, de l'exploitation d'une carrière ou de l'extraction des gaz des schistes, par exemple. Tous les processus capables de modifier les forces agissant sur les failles à quelques km en profondeur peuvent potentiellement déclencher un séisme. C'est ce qu'on appelle un **séisme induit**. Actuellement les observations montrent que ces séismes induits sont le plus souvent de magnitude faible à modérée. La vallée de la Tinée a ainsi été le siège d'une crise de microsismicité dans les 2 mois qui ont suivi la tempête Alex (octobre 2020). Durant cette tempête, des précipitations considérables (une hauteur de 600 mm d'eau en quelques heures) se sont abattues sur le massif de l'Argentera-Mercantour. Elles ont provoqué de très graves dégâts et plusieurs victimes dans les vallées de la Roya, de la Vésubie et de la Tinée. Dans la vallée de la Tinée, ces précipitations ont induit des infiltrations d'eau, en profondeur le long des failles, qui ont déclenché plusieurs dizaines de séismes de faible magnitude dans une zone normalement asismique.

Les failles actives : les séismes ont lieu sur des failles que l'on dit « actives » car elles sont capables d'engendrer un séisme dans la période actuelle. Des campagnes en mer de bathymétrie fine ont permis d'identifier un réseau de failles à environ 25 km des côtes qui s'étend de Nice à Savone en Italie (Figure 2). C'est ce réseau de failles qui est responsable du séisme destructeur de 1887. Si un séisme de magnitude similaire avait lieu sur ce réseau de failles au large de Nice, il aurait forcément des conséquences dramatiques sur le littoral dont la densité de population est maintenant très élevée. Il pourrait également être la cause d'un tsunami, qui pourrait causer des victimes supplémentaires, en particulier en période estivale lorsque les plages sont bondées.

A terre, des failles sont également actives puisqu'elles génèrent régulièrement des séismes de magnitude faible à modérée. Leur tracé est moins bien connu car le phénomène d'érosion, plus intense sur les zones émergées, a tendance à masquer les indices d'activité récents (durant les deux derniers millions d'années). Un séisme à terre pourrait avoir des conséquences plus fortes dans la zone épiscopale qu'un séisme en mer, en particulier si son hypocentre (zone d'initiation de la rupture en profondeur) est superficiel (dans les 5 premiers kilomètres de la croûte terrestre) et localisé sous des zones habitées. Cela a été le cas en Italie centrale en 2016 où le village d'Amatrice a été dévasté par un séisme de magnitude 6,1 qui a causé la mort de 298 personnes en quelques secondes à cause de l'effondrement de leur maison.

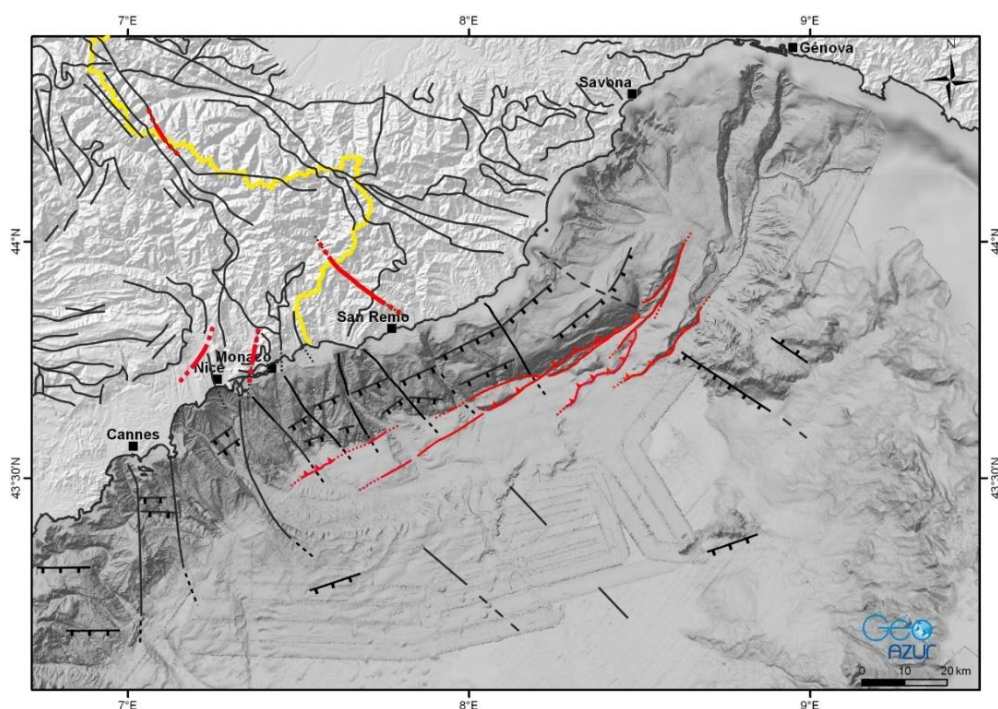


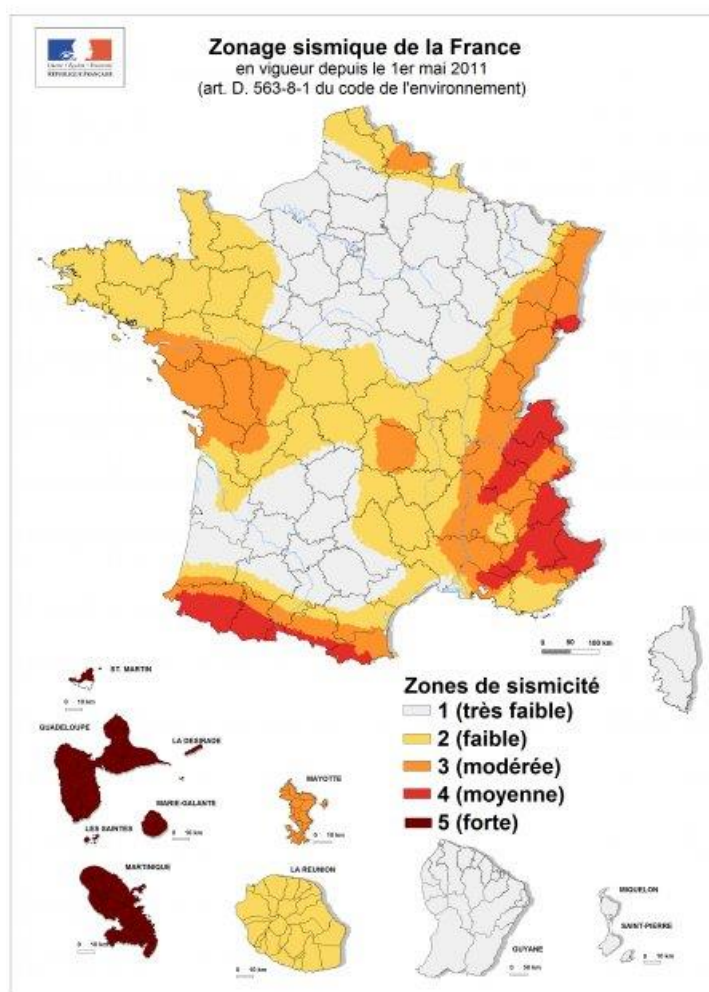
Figure 2 : Carte des failles de la région du bassin Ligurie et des Alpes du Sud. Le fond grisé représente la topographie ombrée y compris le fond de la mer. La frontière franco-italienne correspond au trait jaune et les autres traits représentent les traces des principales failles connues (d'après les cartes de Nice et de Gap, 1/250 000, BRGM). Les failles actives sont surlignées en rouge, dont la faille Ligurie en mer (document Géoazur).

A cet aléa sismique s'ajoute un **aléa tsunami** (ou raz de marée) : le littoral azuréen et ligure a subi deux tsunamis de faible intensité répertoriés par l'histoire récente. Le premier est directement lié au séisme du 23 février 1887 dont l'épicentre est en mer sur la faille Ligure à une vingtaine de kilomètres de la côte au large d'Imperia en Italie (Figure 1 et 2). Des témoignages attestent des mouvements de la mer de Gênes à Toulon avec des amplitudes variables d'au maximum 2 m sur quelques zones localisées (Notez que cette amplitude est bien inférieure à ce qui a été observé lors des grands tsunamis d'Indonésie le 26 décembre 2004 et du Japon le 11 mars 2011). Le deuxième tsunami observé n'est pas induit par un séisme : le 16 octobre 1979, un énorme glissement sous-marin a fait suite à l'effondrement d'une digue de remblais en construction pour l'extension de l'aéroport de Nice. Plusieurs dizaines de millions de m³ de matériaux ont alors glissé vers le fond de la mer et produit un tsunami qui fut limité à la baie des Anges et dont l'amplitude maximum atteignit 3 m sur la côte Est du Cap d'Antibes.

Les causes géologiques à l'origine des séismes et des tsunamis dans notre région perdurent sur des dizaines de milliers d'années et plus. On sait donc qu'il y aura des séismes dans le futur mais on ne sait malheureusement pas prédire quand.

Comment cet aléa sismique est-il pris en compte ?

A partir des informations sur les séismes historiques et de la sismicité actuelle enregistrée par les réseaux sismologiques, il est possible de calculer des **cartes d'aléa sismique probabilistes**. Ces cartes indiquent la valeur d'accélération du sol qui a une probabilité de 10% (ou plus) d'être dépassée dans une période de temps donnée (50 ans pour la réglementation nationale concernant les bâtiments courants). C'est ce calcul probabiliste qui permet de construire une carte réglementaire indiquant, dans chaque zone, les sollicitations sismiques à prendre en compte pour les constructions neuves (Figure 3).



Nice est dans la zone de niveau 4 (qualifiée de *moyenne*) c'est-à-dire la plus forte en France métropolitaine (le niveau 5, *très forte*, est atteint aux Antilles). La réglementation parasismique tient également compte des effets de site liés à la géologie des terrains superficiels en adaptant la résistance des constructions à ces effets. Les plans de prévention des risques (PPRs) permettent d'adapter la réglementation aux conditions géologiques et topographiques à l'échelle d'une commune.

Des études menées depuis une vingtaine d'années par le CEREMA*** dans la ville de Nice ont permis d'établir une carte de microzonage**** sismique et un PPRs (Plan de Prévention des Risques sismiques) qui a été approuvé par le préfet des Alpes Maritimes le 28 janvier 2019. Nice est ainsi la première grande métropole française dotée d'un microzonage.

Cette réglementation permet de minimiser les pertes en cas de séisme fort pour les bâtiments récents qui respectent les normes de construction. **Cependant, les bâtiments d'habitation courante construits avant les années 90 ne suivent aucune norme parasismique, ce qui représente 70 % à 80 % du parc immobilier de Nice.**

Figure 3 : Zonage sismique de la France. Nice et son arrière-pays se situent en zone 4.

Conclusion

Les Alpes Maritimes sont une zone à sismicité modérée : de petits séismes y sont enregistrés tous les jours par les réseaux de surveillance mais les séismes forts sont rares, et le risque sismique est souvent un peu oublié.

Pourtant, on sait que **la Côte d'Azur subira dans le futur un séisme capable de provoquer des destructions**. A partir des connaissances actuelles on suppose que ce séisme sera moins puissant que celui qui s'est produit en Turquie en février 2023, par exemple, **mais il n'est pour le moment pas possible de prévoir quand, ni sur quelle faille ce séisme aura lieu**. Il est donc indispensable de conforter les infrastructures, les réseaux de communication et de travailler des scénarios pour les administrations en charge des secours afin de limiter les dégâts humains et matériels. Il est également indispensable de sensibiliser les citoyens, les écoliers, les pouvoirs publics et les entreprises de l'urgence d'agir. Il est en outre important de continuer à **soutenir la recherche scientifique et les moyens d'observation qui permettent progressivement de mieux comprendre les phénomènes et de réduire les incertitudes dans les calculs d'impact des tremblements de terre**.

Pour plus d'informations :

Article de journaux de vulgarisation téléchargeables en cliquant sur le lien :

- (1) <https://hal.science/hal-02918385> : comment prévoir les vibrations qui entraînent la destruction des bâtiments.
- (2) <https://hal.science/hal-02934441> : les origines du séisme du Teil (Vallée du Rhône, 11 novembre 2019).
- (3) <https://hal.science/hal-04717029> : retour sur le risque sismique en France après le séisme du Teil.
- (4) <https://hal.science/hal-02918390> : explication des effets de site lors de la propagation des vibrations dans le sol.
- (5) <https://www.azurseisme.com/Vesubie-seisme-nissart-de-1564.html> : données historiques sur le séisme de la Vésubie.
- (6) <https://hal.science/hal-04717089> : scénario du séisme et du tsunami du 23 février 1887 sur la riviera Ligure.
- (7) <https://www.azurseisme.com/-Seisme-lique-de-1887-17-.html> : données historiques sur le séisme Ligure de 1887.

Sites internet :

- <https://sismoazur.oca.eu/#/> : un suivi des séismes en temps « réel » dans la région enregistrés par les réseaux de surveillance.
- <https://www.azurseisme.com/> : des informations sur les séismes historiques de la région.
- <https://observaterre.fr/> : un site national complet pour en savoir plus.
- <http://edumed.unice.fr/> : l'Observatoire Éducatif Méditerranéen pour les enseignants et élèves.

Publications des travaux scientifiques :

- Cinotti, B. et al. (2019). Aléa sismique à Nice. Passer du déni à une action volontaire dans la durée. Rapport n°012485-01 du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. <https://www.vie-publique.fr/rapport/272086-rapport-alea-sismique-nice>
- Courboux, F. et al. (2007). Seismic hazard on the French Riviera: observations, interpretations and simulations. *Geophysical Journal International*, 170(1), 387-400. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-246X.2007.03456.x>
- Duval, A. M. et al. (2013). Détection des effets de site sismiques : mise au point de méthodes expérimentales et application à Nice. *Bulletin du laboratoire des ponts et Chaussées* n 279. <https://hal.science/hal-00850952>
- Larroque, C., et al. (2001). Active and recent deformation at the Southern Alps-Ligurian basin junction. *Geologie en Mijnbouw*, 80(3/4), 255-272. <https://www.cambridge.org/core/journals/netherlands-journal-of-geosciences/article/active-and-recent-deformation-at-the-southern-alps-ligurian-basin-junction/398C8D3A7FE6A19EB641124D9B170169>
- Larroque, C. et al. (2011). Morphotectonic and fault–earthquake relationships along the northern Ligurian margin (western Mediterranean) based on high resolution, multibeam bathymetry and multichannel seismic-reflection profiles. *Marine Geophysical Research*, 32(1-2), 163-179. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11001-010-9108-7>
- Larroque, C. et al. (2012). Reappraisal of the 1887 Ligurian earthquake (western Mediterranean) from macroseismicity, active tectonics and tsunami modelling. *Geophysical Journal International*, 190(1), 87-104. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-246X.2012.05498.x>

Que faire en cas de séisme

Pendant la vibration, si l'on se trouve **à l'intérieur d'un bâtiment**, il est nécessaire de s'éloigner des fenêtres, de se mettre sous – ou collé – à un élément solide ou porteur (mur ou large meuble par exemple), de se protéger la nuque

avec les mains, ou de sortir prudemment en faisant attention à ce qui peut chuter du haut du bâtiment (balcons, cheminées, pots de fleurs, etc.). La position à terre collé à un élément solide est un bon réflexe appelé « triangle de survie », il s'agit d'un espace plus sécurisé en cas de chute d'objet ou du plafond. Si l'on se trouve à l'extérieur, il s'agit de faire attention à tout ce qui peut s'effondrer ainsi qu'aux fils électriques.



Aux Etats-Unis, on indique simplement "Drop, cover, hold on !" pour rappeler l'attitude à adopter en cas de [séisme](#), soit « Se baisser, s'abriter, s'agripper ! »

Après un séisme

Juste après un séisme, il faut également rester attentif aux **risques causés par les répliques**, la plus forte pouvant survenir seulement quelques minutes après le premier choc. Il est important de sortir avec précaution des bâtiments, sans utiliser les ascenseurs, et de s'informer en écoutant la radio (*Radio France* en France). Sauf en cas d'urgence, il faut éviter de téléphoner pour ne pas saturer les réseaux (privilégier les SMS pour donner de vos nouvelles brièvement), et de rester où vous êtes jusqu'à ce que la sécurité soit assurée. Il s'agit d'évaluer les dégâts et les points dangereux pour s'en éloigner, et de couper le gaz, l'eau et l'électricité si vous le pouvez.

Vous trouverez des informations plus complètes sur le [portail Géorisques](#).

- * L'aléa sismique est la probabilité qu'une valeur d'accélération du sol soit dépassée dans une période de temps donnée (50 ans pour la réglementation nationale concernant les bâtiments courants). C'est la prise en compte de l'aléa, conjointement avec la vulnérabilité de la zone étudiée, qui définit le niveau du risque sismique.
- ** Le laboratoire Géoazur a été créé à Sophia Antipolis dans le milieu des années quatre-vingt-dix par le Centre National de la Recherche Scientifique et l'Université de Nice, suite à la demande du secrétariat d'état aux risques majeurs dans le but d'améliorer l'observation et l'analyse de la sismicité de la région sud-est. C'est maintenant un laboratoire de recherches public en sciences de la Terre de plus de 200 personnes avec différentes tutelles (<https://geoazur.oca.eu/fr/>) : l'Université Côte d'Azur, le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), l'OCA (Observatoire de la Côte d'Azur), l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et le CEREMA (Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement). La surveillance sismique en temps réel est assurée par un groupe d'ingénieurs et de chercheurs en relation avec l'infrastructure de recherche Française EPOS-France (<https://www.epos-france.fr/>).
- *** CEREMA : Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement.
- **** Un microzonage sismique permet de définir des zones de petite étendue ayant un comportement homogène lorsqu'elles sont traversées par des ondes sismiques.

Ce document a été rédigé en 2024 par Françoise Courboux, Bertrand Delouis, Christophe Larroque et Anne Deschamps.