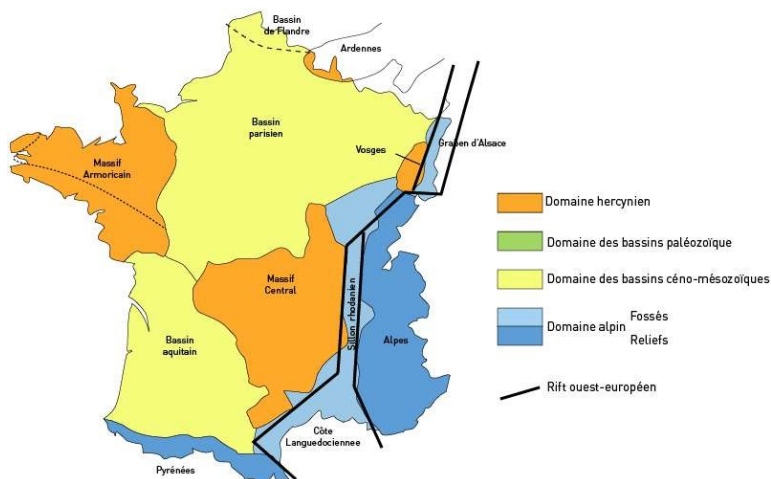
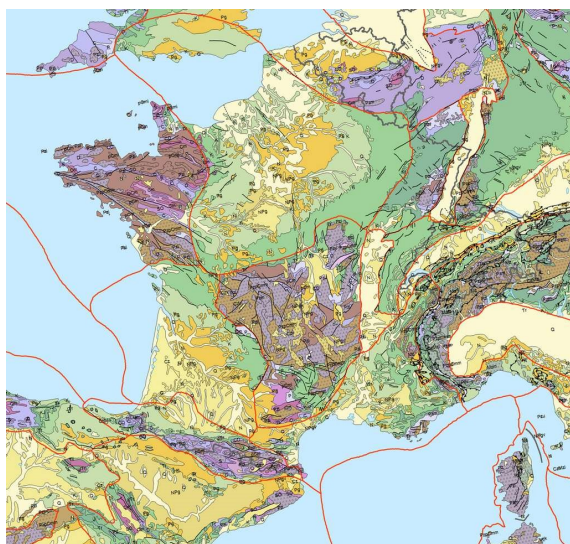


Quelques news de géologie - Avril 2022

Géologie de la France

Une belle synthèse de l'histoire géologique de la France vue simplement à partir de la carte géologique. Synthèse que je vous fais partager car la géologie très diverse de la France contribue largement à une biodiversité tout autant diverse de notre pays (voir, ci-après, l'étude du BRGM pour le compte du ministère de la transition écologique via le projet Carhab).



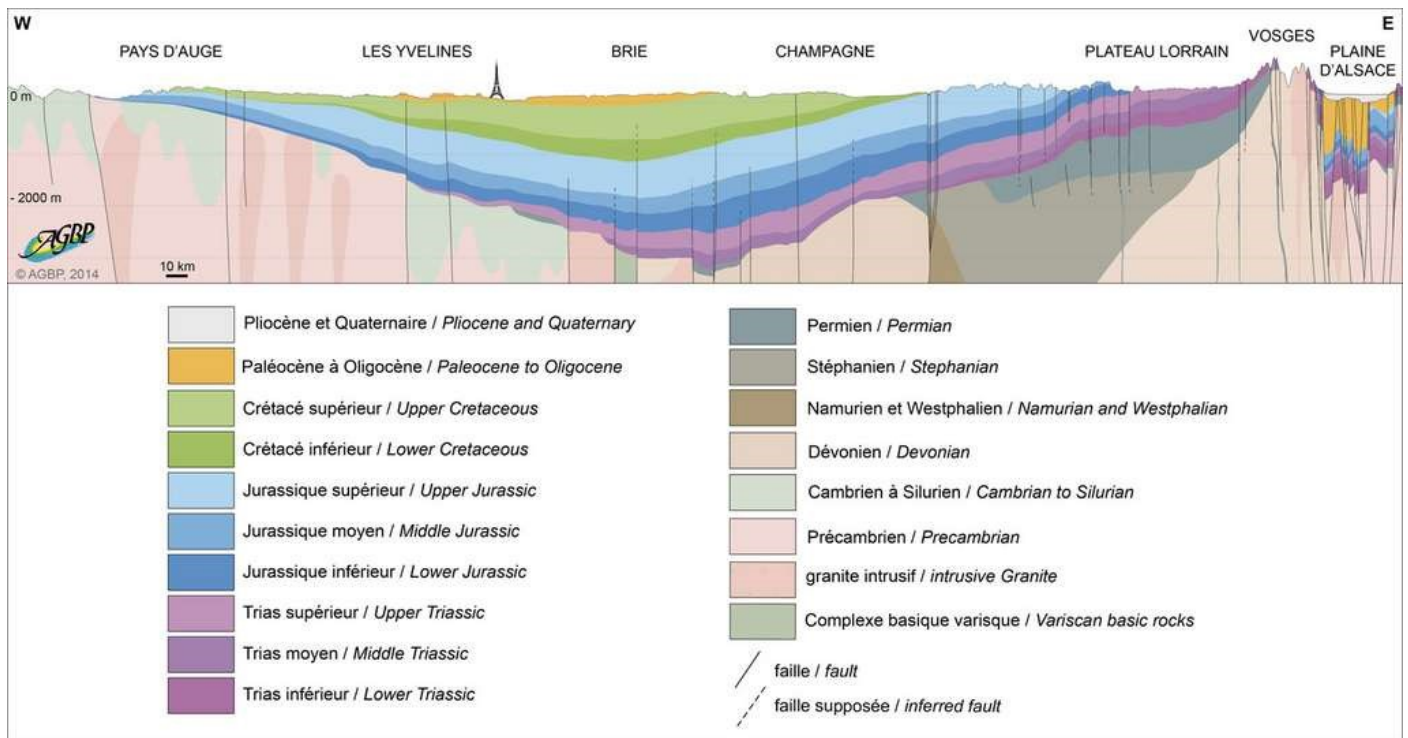
La France métropolitaine est caractérisée par plusieurs grands ensembles géologiques. On distingue facilement : le Massif armoricain, deux grands bassins sédimentaires (bassin parisien et bassin aquitain), le Massif central, les jeunes chaînes de montagnes des Alpes et des Pyrénées, ainsi que le sillon rhodanien, qui traverse l'est de la France, de la Camargue au sud à l'Alsace au nord en passant par la vallée du Rhône. Deux autres petits massifs peuvent également être observés : le Massif des Ardennes au nord, et les Vosges à l'est.

Le Massif armoricain est un massif cristallin, pâle relique de deux importantes et anciennes chaînes de montagnes : la chaîne cadomienne et la chaîne hercynienne (ou varisque). La ceinture cadomienne est très ancienne et date d'il y a 750 à 540 millions d'années. Les roches de cet âge ont été largement remaniées par le développement de la chaîne hercynienne au Dévonien (environ 400 millions d'années). Le Massif central, le Massif des Ardennes et les Vosges sont également des reliques de la chaîne hercynienne. Les roches les plus vieilles que l'on trouve aujourd'hui dans le Massif armoricain sont des granites d'âge protérozoïque, comme le granite de Saint-Brieuc (environ 530 millions d'années).

Bien que la région abrite un ensemble volcanique actif jusqu'au Quaternaire (6.000 ans), le Massif central est donc également hérité de la chaîne hercynienne. Le mont Lozère est un parfait exemple pour étudier les anciennes roches du socle hercynien. Les volcans de la chaîne des Puys illustrent bien, quant à eux, la superposition des événements géologiques au cours du temps.

Deux bassins sédimentaires majeurs, le Bassin parisien et le Bassin aquitain, sont facilement reconnaissables. Ces zones à faible relief s'étendent sur une large partie du centre et du nord de la France pour le Bassin parisien, alors que le Bassin aquitain s'étale sur une grande partie des régions du sud-ouest jusqu'au Massif central.

Bien que connectés, ces deux bassins n'ont pas la même origine ni le même âge. Le Bassin parisien est constitué d'une vaste cuvette remplie en moyenne par 3.000 mètres de sédiments. Cette cuvette s'est formée à partir de la fin du Carbonifère, par un affaissement du socle cristallin d'origine cadomienne, à la suite de la délamination de la chaîne hercynienne. Dans cette dépression vont se déposer des sédiments



détritiques issus de l'érosion de la chaîne hercynienne située à proximité, puis une mer tropicale peu profonde va y prendre place, au début du Trias (250 millions d'années). D'importants dépôts calcaires vont progressivement remplir le bassin, qui s'enfonce sous le poids des sédiments. Les épaisses couches de craies qui caractérisent la région sont également les témoins de la présence d'une mer chaude dans le passé de la France.

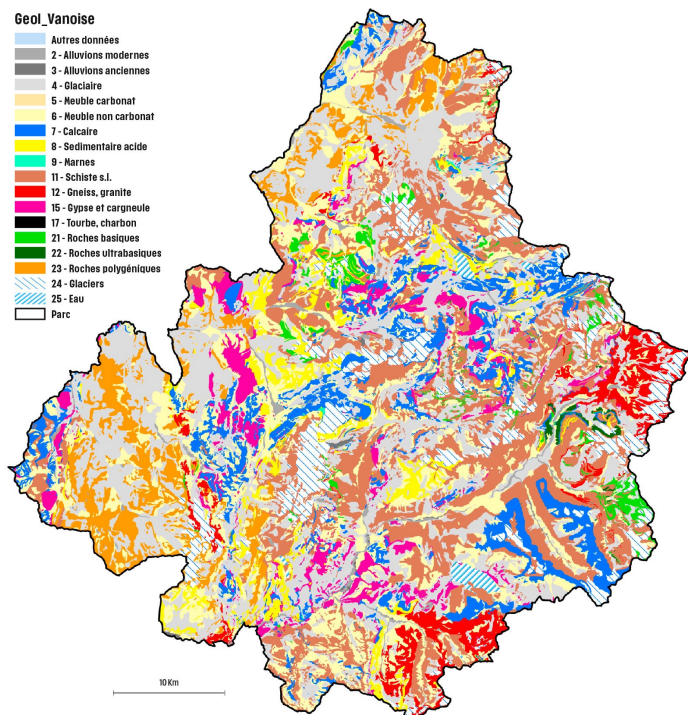
Le bassin aquitain est, quant à lui, un peu différent. Il s'agit d'un bassin dit d'avant-pays, lié à la formation des Pyrénées. La cuvette créée dans le socle hercynien est le résultat de la poussée tectonique et de la surrection de la chaîne. Les dépôts sédimentaires commencent dès le Trias (250 millions d'années). Comme pour le Bassin parisien, le Bassin aquitain va d'abord servir de centre de dépôts pour les sédiments issus de l'érosion de la chaîne en formation, puis va être occupé par une mer peu profonde. En témoignent les dépôts de roches évaporitiques. Un domaine marin plus profond va ensuite persister et donner lieu au développement notamment d'une barrière récifale. On retrouve ces récifs fossiles à l'est d'Angoulême, au nord de Périgueux et à l'est de Pau. Après de nombreuses variations de niveau, la mer finit par se retirer au Pliocène, soit il y a seulement 4 millions d'années.

L'arc alpin et la barrière des Pyrénées sont les deux reliefs majeurs en France. Ces deux chaînes de montagnes, relativement jeunes, sont associées à une importante réorganisation des plaques continentales. Tandis que les Alpes se soulèvent à la suite de la collision entre les plaques eurasiennne et africaine, les Pyrénées résultent de la rotation du bloc ibérique et de son indentation dans la plaque eurasiennne. Le soulèvement des Pyrénées débute ainsi il y a environ 60 millions d'années et celui des Alpes il y a 30 millions d'années. La formation des Alpes va entraîner également la formation des chaînes d'avant-pays, comme le Jura.

Le sillon rhodanien se repère comme une zone affaissée s'étirant de la Camargue à la plaine d'Alsace. Il s'agit de l'une des branches du rift ouest-européen, dont la formation est l'une des conséquences du soulèvement des Alpes. La compression alpine a en effet engendré un processus d'extension passif en arrière du front alpin. Cette extension a donné naissance à un fossé d'effondrement, ou rift intracontinental, associé à un fort amincissement de la lithosphère accompagné par des épisodes volcaniques. Cet héritage tectonique est toujours visible, notamment par l'anomalie thermique qui caractérise en particulier l'Alsace et qui en fait une région propice à la géothermie.

Source : <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/geologie-exploratorium-decouvrez-passe-geologique-france-97638/>

Carhab métropole : la cartographie géologique en appui aux enjeux de la biodiversité



Le BRGM est en charge de la production de la couche géologique de référence utilisée dans la modélisation des biotopes de France métropolitaine. Cette couche homogène est générée à partir des cartes géologiques harmonisées 1:50 000 qui sont expertisées et traduites en une nomenclature à l'interface entre géologie et écologie (voir cartographie du Parc de la Vanoise ci-contre). Élaborer une cartographie nationale des habitats naturels et semi-naturels : c'est l'objectif du projet Carhab lancé par le ministère de la Transition écologique. De nombreuses institutions sont impliquées dans ce vaste projet (MNHN, IGN, CBN, OFB, CNRS, ...).

Quand la géologie, monde minéral *inerte*, participe à la caractérisation de la biodiversité, monde du vivant.

Source : [https:// rapport-activite.brgm.fr/fr/faits-marquants-2021-geologie-connaissance-sous-sol](https://rapport-activite.brgm.fr/fr/faits-marquants-2021-geologie-connaissance-sous-sol)

Un nouveau type de gaz naturel

Le gaz naturel reste un combustible fossile de transition très utilisé à l'heure où le monde se détourne du charbon pour se tourner vers des sources d'énergie moins polluantes. Si d'importantes réserves conventionnelles existent sur différents continents, une partie significative de ce gaz naturel est, depuis le début de ce siècle, produit à partir de réservoirs d'hydrocarbures dits non conventionnels tels que les schistes noirs, notamment en Amérique du Nord.

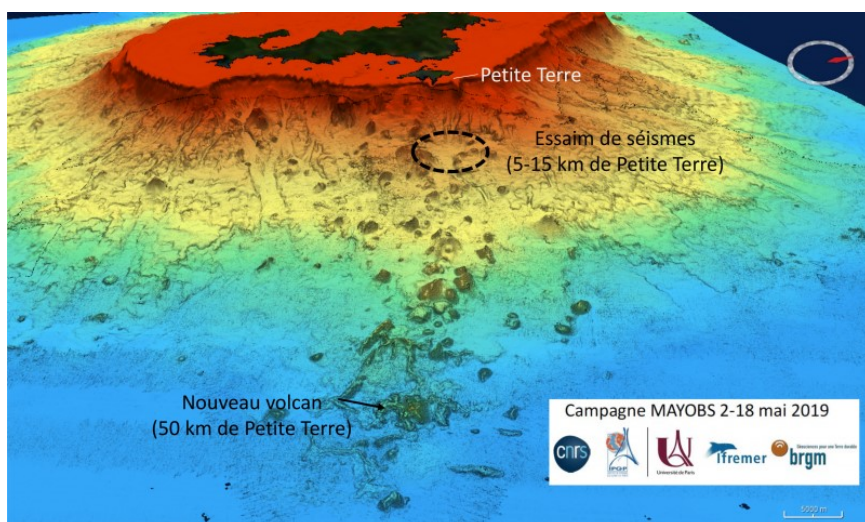
Historiquement, on distinguait trois origines dans la formation du gaz naturel. Les microorganismes qui se nourrissent de la matière organique produisent du gaz microbien formé dans des milieux sans oxygène et à basse température. Quand les schistes noirs, au cours de leur histoire géologique, sont enfouis à des profondeurs où règnent des températures élevées, la même matière organique se décompose en gaz dit thermogénique. Enfin, quand certaines roches s'altèrent au contact de l'eau, des réactions chimiques complexes impliquant de l'hydrogène naturel produisent du gaz dit abiotique.

L'étude entreprise par les chercheurs du BRGM et des experts canadiens et suisses démontre qu'il existe une quatrième source de gaz naturel, celle qui est générée par la radiolyse de la matière organique dans les schistes. En effet, outre la matière organique, les schistes noirs contiennent fréquemment des radioéléments tel que l'uranium. Leur radioactivité naturelle peut interagir, souvent sur des centaines de millions d'années, avec la matière organique pour produire ce nouveau type de gaz « radiolytique », contenant du méthane, de l'éthane et du propane. Sans être radioactif lui-même, il peut se mélanger au sein des schistes avec les gaz thermogéniques et, éventuellement, microbien. À première vue, ce gaz ne se distingue en rien des autres types de gaz naturel. Ce n'est qu'une analyse fine de sa nature chimique et des signatures isotopiques du carbone qui le compose qui a permis à l'équipe de recherche de mettre en évidence son existence dans de nombreuses formations schisteuses du monde entier.

Source : <https://brgm.fr/fr/actualite/communiqu%C3%A9-presse/decouverte-nouveau-type-gaz-naturel>

Mayotte et son nouveau volcan

Au moment où le sous-sol océanique de la région au large de Mayotte, dans les Comores, connaît la plus importante éruption volcanique des 250 dernières années, le projet [MARMOR](#) propose de construire au large de l'île des infrastructures et des équipements pour étudier et prédire ces aléas et mieux répondre aux défis liés à la gestion des risques.



En 2018 quand une série de tremblements de terre au large de Mayotte a créé une énorme confusion et poussé les pouvoirs publics à faire appel à la communauté scientifique pour en comprendre les causes. En mai 2019, les scientifiques découvrent l'origine de cette crise sismique : la naissance d'un volcan sous-marin jusqu'alors inconnu à 3500 mètres de profondeur (voir ci-contre). Cette apparition résulte d'une éruption sous-marine hors norme, alimentée par un système magmatique profond qui s'est développé avec la tectonique active de la région. La mission en mer [MAYOBS](#) a permis de récolter des données qui ont dévoilé un système volcanique complexe.

Relevés bathymétriques de Mayotte réalisés grâce au sondeur multifaisceaux EM122 du Marion Dufresne. © équipe MAYOBS – IGP/CNRS/Ifremer/BRGM

C'est la plus importante éruption sous-marine jamais documentée. Cet événement a alors mis en évidence le besoin de renforcer les méthodes de surveillance des aléas telluriques sous-marins.

En réponse à la crise sismo-volcanique en cours depuis mai 2018 au large de Mayotte, le projet prévoit le développement du premier observatoire sous-marin porté par l'Europe pour le suivi permanent, continu et long-terme de l'activité sismique et des déformations. L'infrastructure comportera un réseau de câbles électro-optiques et optiques pour un suivi temps réel. Cette infrastructure fournira aussi l'opportunité d'un suivi géochimique, biologique et écologique et sera mise à disposition de la communauté scientifique.

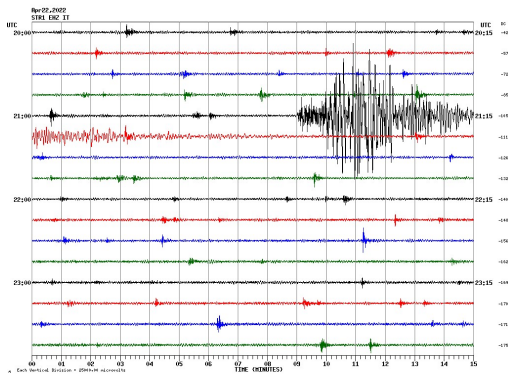
Source : <https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/marmor-quand-la-terre-sagite-sous-les-oceans>

Tour de France 2022

Pour les cyclistes amateurs de géologie et les géologues amateurs de vélo la géologie de chacune des étapes du tour de France 2022 est présentée sur le site de la Société Géologique de France ou directement sur : <https://storymaps.arcgis.com/stories/b0bf56c7e4114b5780362c19fa02c1a5>

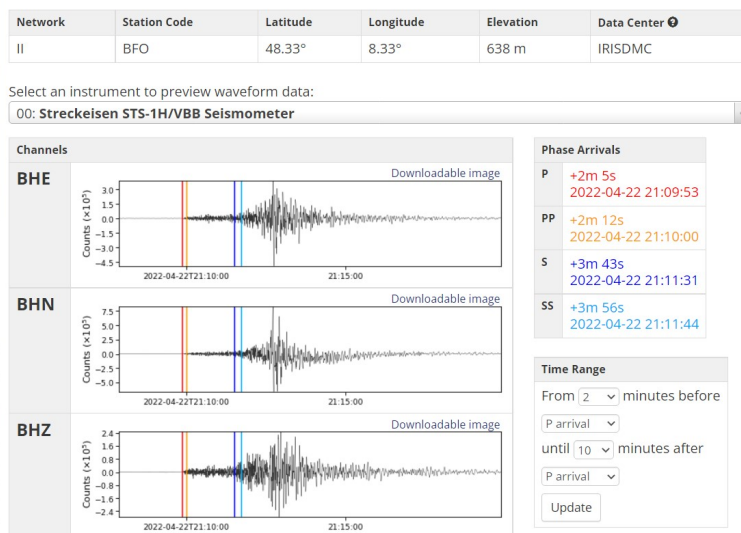
Séisme en Bosnie-Herzégovine les 22, 23 et 24 avril

Un séisme d'une intensité de 5,7 a été enregistré en Bosnie-Herzégovine le 22 avril (à 21h07mn48s) suivi les jours suivants par deux séismes d'intensité, respectivement, de 4,3 et 4,8 et à une profondeur de foyer similaire de 10 km.



Le séisme du 22 avril a été très bien enregistré sur l'un des sismomètres de Stromboli, selon la composante verticale, (voir ci-contre) et ce à partir de 21h09.

BFO: Black Forest Observatory, Schiltach, Germany

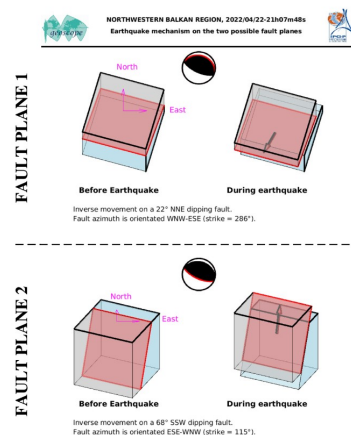
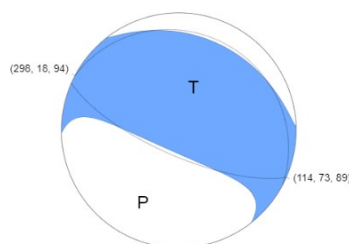


Les sismogrammes de la station sismique en Forêt noire (Allemagne), avec l'enregistrement des trois axes de déformation (horizontal E-W, horizontal N-S et vertical), montrent l'arrivée des différentes ondes de volume.

Les ondes P (primaires ou de pression) sont les premières car les plus rapides (vitesse de propagation d'environ 6km/s). Les ondes S (secondaires ou de cisaillement) arrivent ensuite (vitesse de propagation de 4 km/s).

L'étude du mécanisme au foyer montre les deux failles hypothétiques à l'origine de ce séisme. Il est également possible de supposer le mode de fonctionnement de chacune de ces failles.

Des études complémentaires sont alors nécessaires pour lever les incertitudes



Sources : <https://earthquake.usgs.gov>

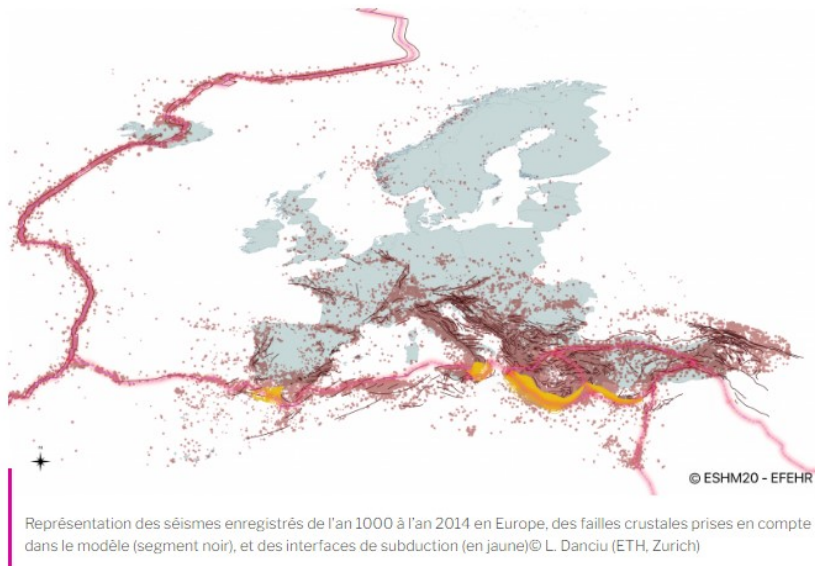
<https://www.iris.edu/ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/tools/event/11552651>

De nouveaux modèles européens pour mieux anticiper le risque sismique

Un nouveau modèle d'aléa sismique probabiliste, accompagné pour la première fois d'un modèle de risque sismique, dénommés respectivement ESHM20 et ESRM20¹, ont été développés à l'échelle euro-

péenne. Les cartes qui découlent de ces modèles vont permettre de mieux anticiper les risques liés aux tremblements de terre.

Au cours du 20^{ème} siècle, les séismes en Europe ont causé plus de 200 000 décès et plus de 250 milliards d'euros de pertes. Ces événements destructeurs ne peuvent être prédits avec précision. Néanmoins, grâce aux nouvelles connaissances scientifiques dans le domaine, la probabilité de survenue des séismes, des vibrations associées, et de leurs conséquences est de mieux en mieux évaluée.

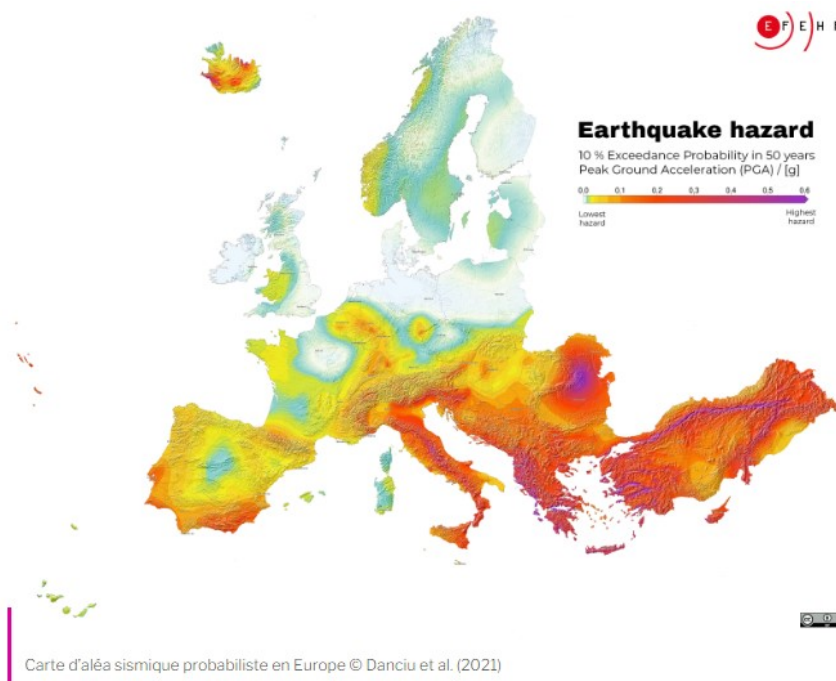


Toutes les décisions visant à atténuer les effets potentiels des séismes dépendent de modèles d'aléa et de risque sismiques. C'est sur la base des modèles d'aléa probabilistes que sont établis les codes de construction parasismique pour concevoir des bâtiments résistants aux séismes, règles qui varient en fonction de la zone géographique et du niveau d'aléa associé. Chaque pays doit se doter de modèles officiels pour établir des stratégies nationales d'adaptation et de réduction du risque.

Ces nouveaux modèles d'aléa (ESHM20, European Seismic Hazard Model) et de risque sismique

(ESRM20, European Seismic Risk Model) sont harmonisés à travers tout le territoire européen.

Finalement, le nouveau modèle ESHM20 interprète les séismes du passé, les informations géologiques, tectoniques et géodésiques, et les enregistrements sismiques de manière homogène sur l'ensemble de l'Europe.



La carte (ci-contre) montre la distribution spatiale de la vibration du sol ayant une probabilité de 10% d'être dépassée dans les 50 prochaines années. Autrement dit, ces vibrations ont une « période de retour » d'environ 475 ans, c'est-à-dire qu'on s'attend à ce qu'elles surviennent en moyenne une fois tous les 475 ans. Des périodes de retour plus longues sont également prises en compte selon les pays.

Cette vibration est donnée en pourcentage de g (l'accélération gravitationnelle de la Terre)...

Source : <https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/de-nouveaux-modeles-europeens-pour-mieux-anticiper-le-risque-sismique>

Routes de l'albâtre : les isotopes dévoilent partiellement l'énigme du Maître de Rimini

Qui était le Maître dit de Rimini, grand sculpteur du 15^{ème} siècle dont les œuvres en albâtre ont été exportées dans toute l'Europe ? Les historiens de l'art ont longtemps placé son atelier aux Pays-Bas ou dans le nord de la France, mais une étude publiée dans la grande revue scientifique PLoS ONE fournit une hypothèse alternative.



En analysant les isotopes de l'albâtre utilisé par le Maître, des équipes du Bureau de recherches géologiques et minières, du Laboratoire de recherche des monuments historiques, du Centre de recherche sur la conservation, du Centre interdisciplinaire de conservation et restauration du patrimoine et celles du Musée du Louvre, ont découvert que le matériau utilisé par son atelier provenait probablement d'une unique carrière de pierres située en Franconie (à proximité de Würzburg, nord de la Bavière), soit à près de 600 kilomètres des régions où l'historiographie plaçait jusqu'ici son travail...

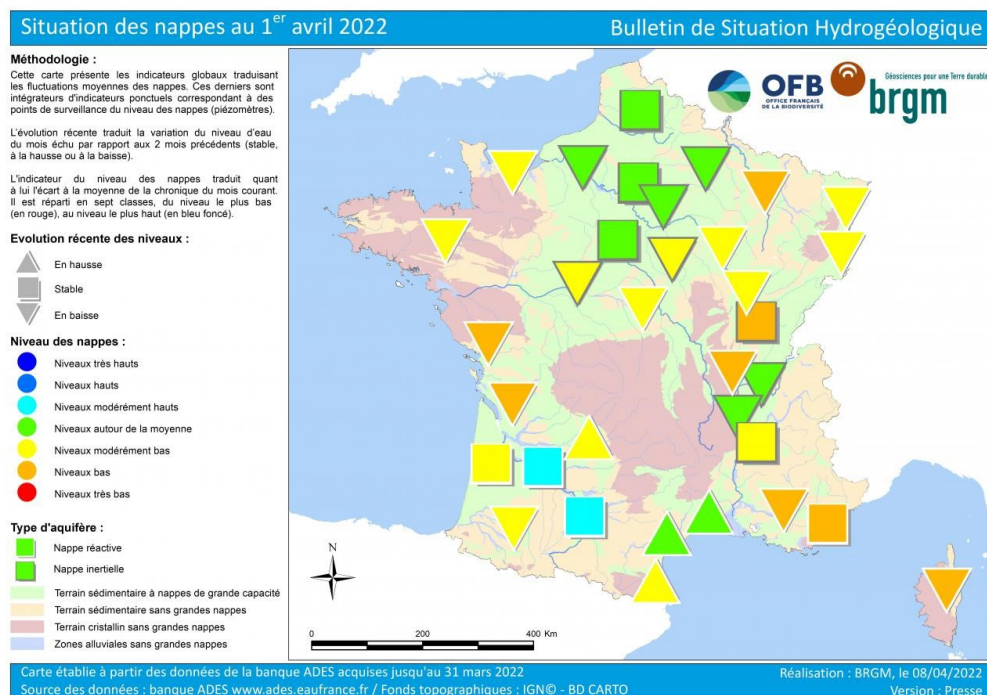
Évanouissement de la Vierge, 1430-1440, Musée du Louvre. Maître de Rimini.

Source : <https://www.brgm.fr/fr/actualite/routes-albatre-isotopes-devoilent-partiellement-enigme-maitre-rimini>

Situation hydrogéologique au 1^{er} avril 2022

La période de vidange a débuté dès février avec deux à trois mois d'avance. En mars, les niveaux des nappes sont généralement en baisse. Seules les nappes les plus inertielles, dont les niveaux sont stables, profitent encore de la lente infiltration des pluies hivernales. Au sud, les pluies efficaces récentes ont permis à certaines nappes d'enregistrer des épisodes de recharge et les niveaux sont stables ou en hausse.

Alors que l'étiage de l'automne 2021 était peu sévère, la situation s'est rapidement dégradée en février et mars 2022. La fin de l'hiver est une période charnière et les pluies insuffisantes ont fortement impacté l'état des nappes. La situation est particulièrement préoccupante sur les nappes entre Vendée, Périgord et Maine ainsi que sur les nappes de Provence et de la Côte d'Azur. En avril, sauf événements pluviométriques exceptionnels, les tendances des

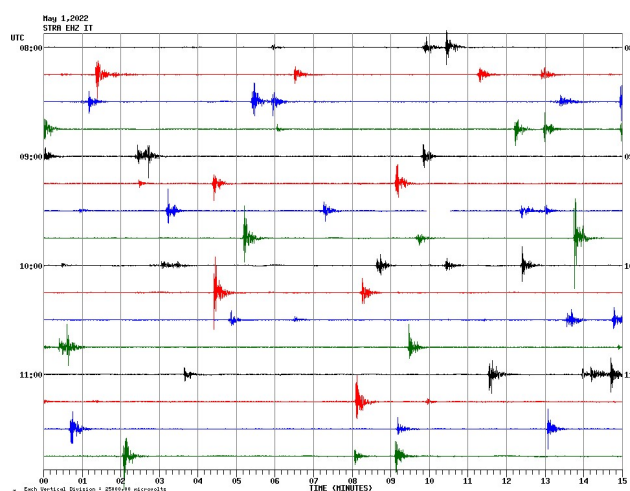
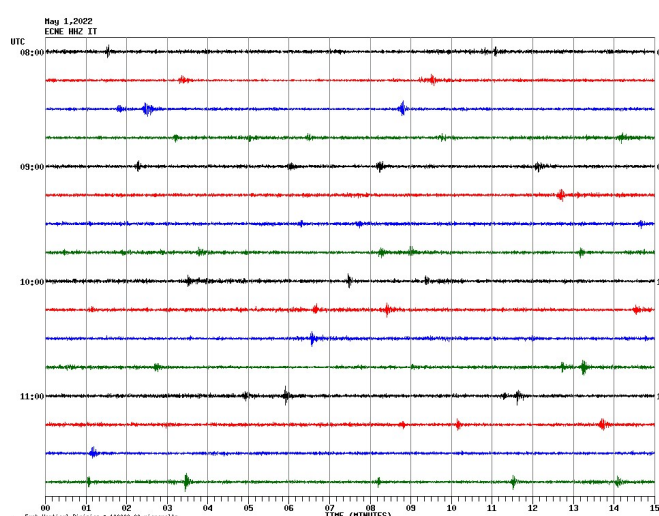


nappes devraient être orientées à la baisse. La situation des nappes inertielles ne devrait que peu évoluer durant les prochaines semaines. Sur les nappes réactives, les situations dépendront de la pluviométrie. En cas de précipitations insuffisantes, la vidange pourrait se poursuivre et l'état des nappes réactives devrait alors continuer à se dégrader. La situation devra être particulièrement surveillée sur l'ensemble des nappes réactives et sur les nappes inertielles affichant des niveaux actuels bas ainsi que sur les secteurs fortement sollicités par des prélèvements.

Source : <https://www.brgm.fr/fr/actualite/communiqu%C3%A9-presse/nappes-eau-souterraine-au-1er-avril-2022>

Nos volcans européens (Etna et Stromboli)

Ils sont bien calmes, comme le montre les sismogrammes (à gauche de l'Etna et à droite du Stromboli) ci-dessous :



Source : <https://www.ct.ingv.it/index.php/monitoraggio-e-sorveglianza/segnali-in-tempo-reale/segnali-sismici>