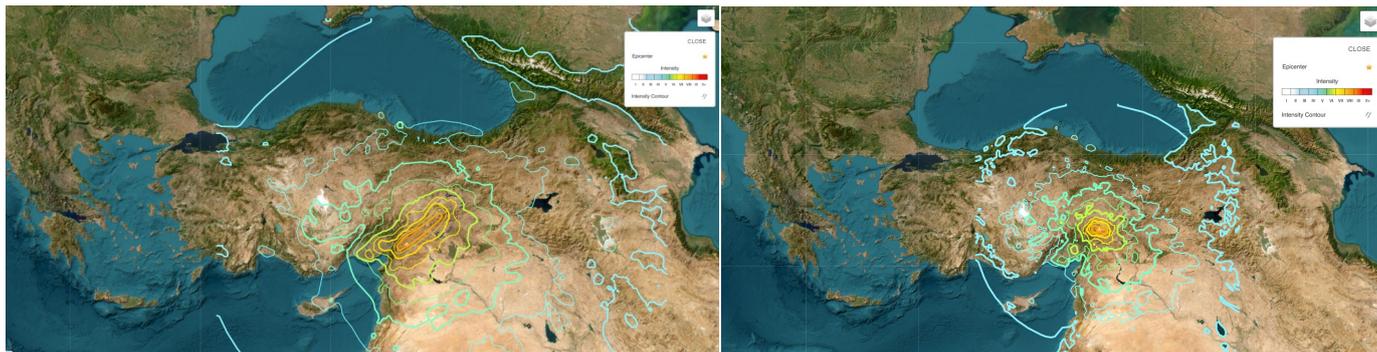


Quelques news de géologie - Février 2023

Dramatiques séismes en Turquie et Syrie

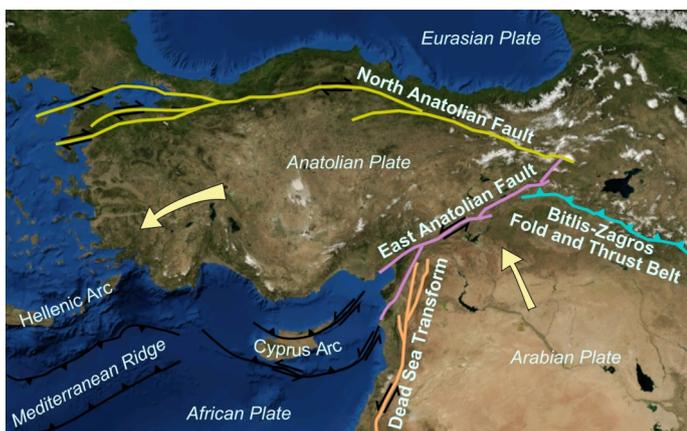
Dans nos « News de Géologie » de novembre 2022 nous vous relations la survenue d'un séisme conséquent, en Turquie, le long de l'une des deux failles majeures, la faille nord-anatolienne, qui traversent ce pays. C'est sur l'autre faille majeure, la faille est-anatolienne, qu'est survenu un séisme majeur faisant plusieurs milliers de morts, et encore plus de blessés, et causant des dégâts considérables.

Le 6 février 2023 à 01h17 (UTC), un séisme de magnitude 7,8 avec un foyer à 18 km de profondeur s'est produit dans le sud de la Turquie, près de la frontière nord de la Syrie. Le tremblement de terre a été suivi 11 minutes plus tard par une réplique de magnitude 6,7 puis d'une autre en milieu de matinée d'une magnitude de 7,5 et enfin d'une dernière importante à mi-journée d'une magnitude de 6,0.



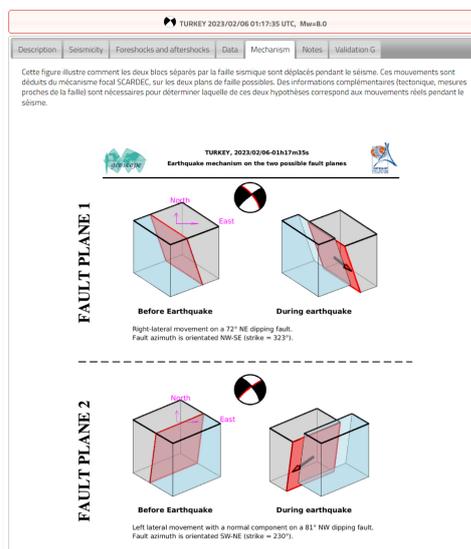
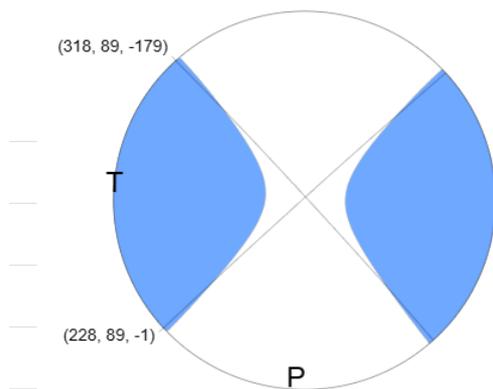
Cartes des iso-intensités des séismes de magnitude 7,8, à gauche, et de 7,5, à droite, et montrant leur vaste zone d'impact liée à la faible profondeur de leur foyer (18 et 10 km).

La région où le tremblement de terre s'est produit est sismiquement très active. Seuls trois tremblements de terre de magnitude 6 ou plus se sont produits dans un rayon de 250 km du séisme du 6 février depuis 1970. Le plus important d'entre eux, d'une magnitude de 6,7, s'est produit au nord-est du séisme du 6 février, en janvier 2020. Tous ces tremblements de terre se sont produits le long ou à proximité de la faille est-anatolienne.

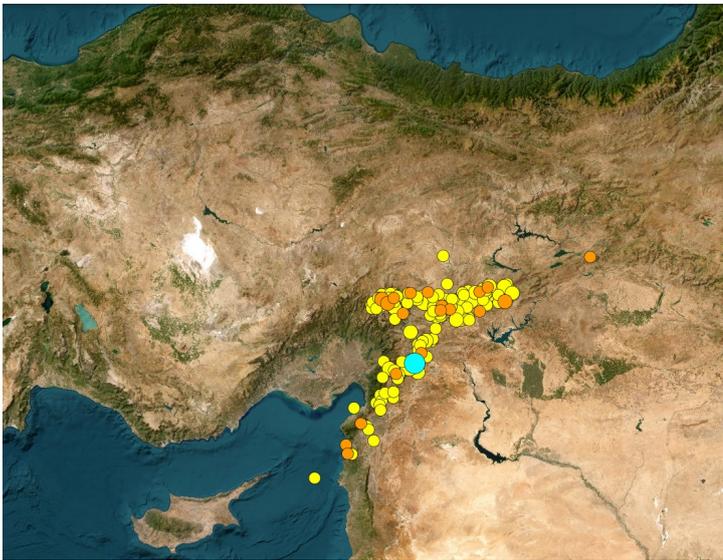


Rappelons que cette zone est le lieu d'affrontements entre les plaques tectoniques arabe au Sud, qui s'enfonce sous la plaque eurasiennne au Nord, et la micro-plaque anatolienne qui se déplace vers l'Ouest (voir ci-contre).

Les solutions du mécanisme au foyer, voir ci-dessous, indiquent que la rupture s'est produite soit sur une faille décrochante dextre orientée NW-SE, soit sur une faille décrochante senestre orientée NE-SW.



L'emplacement et le mécanisme focal sont cohérents avec la faille est-anatolienne



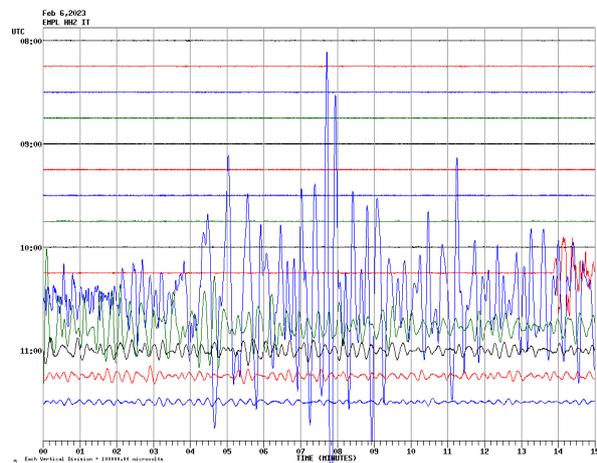
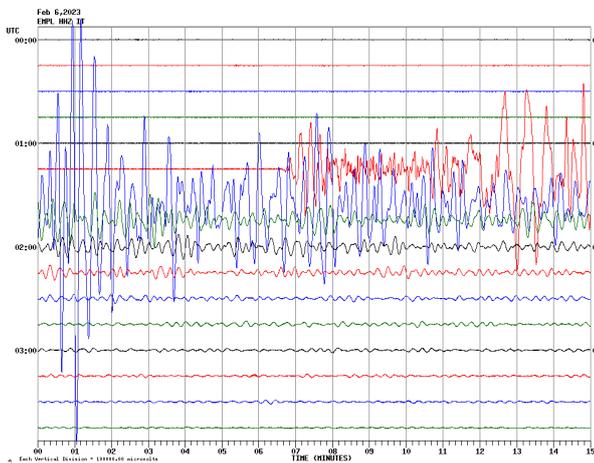
Les répliques ont été très nombreuses et localisées sur la même faille est-anatolienne (voir ci-contre). En fait le séisme de magnitude de 7,5 est vraisemblablement un nouveau séisme (et non une réplique) car il est localisé sur une autre faille, la faille de Cardak connectée à la faille est-anatolienne, que l'on devine ci-contre par son orientation Est-Ouest.

Un séisme de magnitude de 6,3 s'est produit le 20 février, plus au Sud, sur la faille du Levant (« bras » oriental de la Mer Rouge).

Séismes entre le 6 février (01h00 UTC) et le 8 février (06h00 UTC) 2023 avec en bleu le séisme principal de magnitude de 7,8.

On compte plus de 10 000 répliques suite à ces deux grands séismes.

Enfin les sismogrammes, issus des sismomètres (composante verticale) de l'Etna, des deux séismes principaux montrent leur intensité (voir ci-dessous) et la durée des secousses (chaque ligne correspond à 15 minutes).



Enregistrements sismiques (sismogrammes) issus des sismomètres de l'Etna des séismes de magnitude 7,8 (à gauche) et 7,5 (à droite).



Photographie du décalage de la route (environ 3 m) suite au séisme principal et qui montre bien un décrochement senestre.

Source : [M 7.8 - Central Turkey \(usgs.gov\)](https://www.usgs.gov)

[M 7.5 - 4 km SSE of Ekinözü, Turkey \(usgs.gov\)](https://www.usgs.gov)

[Segnali sismici \(ingv.it\)](https://www.ingv.it)

[IRIS: mww7.8 Turkey](https://www.iris.se)

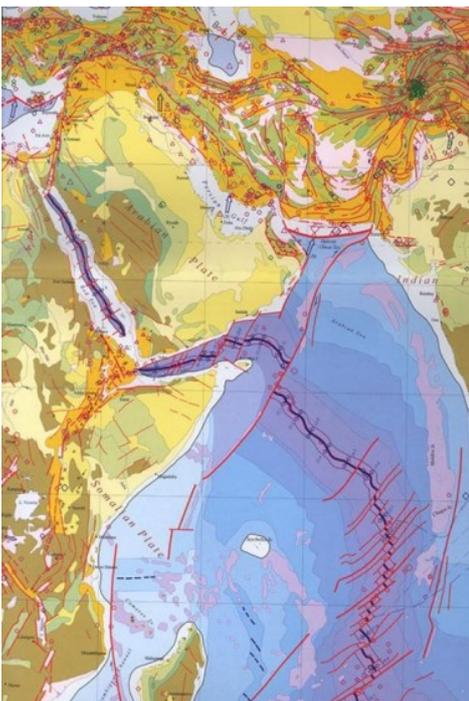
[Earthquake - Magnitude 7.8 - CENTRAL TURKEY - 2023 February 06, 01:17:36 UTC \(emsc-csem.org\)](https://www.emsc-csem.org)

Le Rift Est Africain : son potentiel géothermique ouvre des perspectives exceptionnelles de développement

Sous contrainte climat et déplétion des ressources fossiles, la géothermie ouvre une nouvelle géopolitique du développement : le berceau de l'humanité sera celui de son développement durable (Jacques Varet).

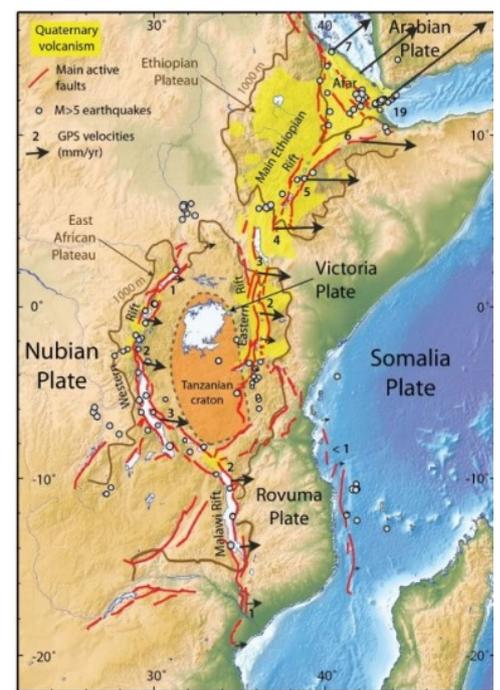
Résumé

L'Afrique de l'Est est une des rares régions du monde, avec l'Islande, où les mécanismes telluriques affectant la planète amènent le manteau terrestre à remonter à faible profondeur du fait de la dynamique des plaques. De ce phénomène d'extension résulte un flux de chaleur qui peut être jusqu'à dix fois supérieur à la moyenne terrestre et atteindre des valeurs de l'ordre du MW par km². En conséquence, des températures de 250°C peuvent être atteintes à 1.500 ou 2.000m de profondeur. Et dans l'axe du rift la convection amène souvent la vapeur en surface. De ce fait, une électricité renouvelable peut y être produite par forages exploitant de la vapeur directement envoyée en turbine. Avec un cycle binaire (centrale ORC), la totalité du fluide peut être utilisée pour la production électrique, et les usages directs offrent des perspectives encore peu développées. De très nombreux sites favorables à de tels développements ont été identifiés tout le long de la vallée du rift, depuis l'Érythrée au nord jusqu'au Mozambique au sud, et le Kenya a pris le leadership de ce développement avec plusieurs centaines de MWe (Méga watt électrique) installés sur le site d'Olkaria avec l'objectif d'atteindre 4 000 Mwe en 2030. Sous la contrainte climatique et du fait du renchérissement d'énergies fossiles de plus en plus rares, l'Afrique de l'Est est ainsi en passe de devenir une des régions du monde recherchées par les industries mondiales qui, tôt ou tard, décideront de relocaliser leurs sites de production en fonction de la disponibilité de ressources renouvelables au coût le plus compétitif. Ainsi se rebouclera un cycle long au terme duquel l'humanité trouvera sur ces terres qui l'ont vue naître une forme de civilisation durable basée sur la valorisation de l'énergie tellurique et de l'hydrothermalisme qui sont à l'origine même de la vie...



Les dorsales océaniques de l'Océan Indien, du golfe d'Aden et de la Mer Rouge (en violet), ces dernières séparant l'Afrique de l'Arabie se prolongent à l'intérieur du continent en Afar, un désert où elles rencontrent la terminaison nord de la vallée du rift africain (en orange).. Extrait de la carte géologique du monde

Source : <file.html> (geosoc.fr)



Carte schématique de la Vallée du Rift Est Africain avec indication des failles majeures (en rouge), des principaux séismes historiques (points blancs pour M > 5), du volcanisme tertiaire et quaternaire (en jaune) et des vecteurs de mouvement des plaques avec indication des vitesses GPS (flèches noires, chiffrées en mm/an). On observe une décroissance progressive des vitesses du Nord au Sud. La vitesse en Ethiopie centrale est de 5mm/an, 2 fois celle du rift kenyan à Olkaria (TM et O sur rectangles bleus). Des vitesses bien supérieures (10 à 20 mm/an) s'observent en Afar avec une augmentation corrélative de la puissance potentielle des sites géothermiques. (carte d'après E. Calais, 2016).

Vers une hydrogéologie 4D

Bien qu'invisibles, les eaux souterraines jouent un rôle essentiel pour la société en tant que source d'eau potable ou pour les écosystèmes en fournissant un débit de base aux rivières, mais elles sont également confrontées à des défis importants en termes de contaminations. Caractériser les réservoirs d'eau souterraine avec leur hétérogénéité spatiale et leur évolution temporelle est donc crucial pour leur gestion durable.

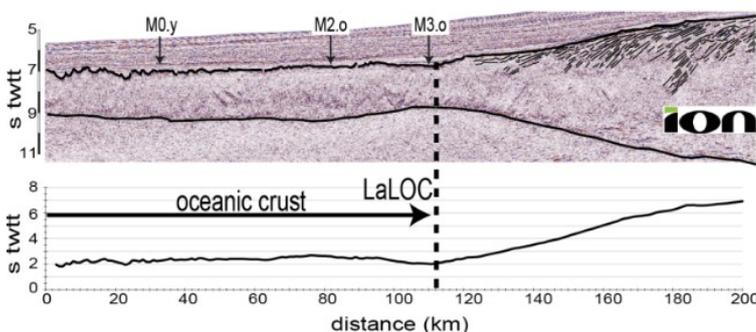
Dans cet article, une équipe de recherche identifie les processus hydrogéologiques pour lesquels une approche couplant la surveillance de la variabilité spatiale et temporelle, y compris l'imagerie 4D, est nécessaire : (1) les flux d'eau souterraine qui contrôlent (2) les processus de transport, de mélange et de réaction des solutés, (3) la dynamique de la zone non-saturée et (4) l'interaction entre l'eau de surface et l'eau souterraine à l'interface entre différents compartiments de la zone critique. L'étude met en évidence les innovations récentes dans ce domaine et préconise une caractérisation plus systématique de la nature dynamique des processus de subsurface. Ceci passe notamment par une harmonisation des bases de données ouvertes pour stocker les ensembles de données hydrogéologiques dans leurs composantes quadridimensionnelles, afin de répondre aux questions scientifiques émergentes et d'aborder les principaux enjeux sociétaux ([hess-2022-95.pdf \(copernicus.org\)](#)).

Source : [Vers une hydrogéologie 4D | INSU \(cnrs.fr\)](#)

De nouveaux résultats sur le démarrage de l'accrétion océanique dans l'Atlantique Sud

Le système du rift Est-Africain, qui s'étend sur des milliers de kilomètres de l'Afar au Mozambique, est un exemple bien connu de frontière de plaque naissante, divisant la plaque africaine en deux sous-plaques. La naissance d'une telle frontière de plaque s'est également produite dans le passé. Il y a 160 millions d'années, une nouvelle frontière de plaque a commencé à se former, divisant le supercontinent Gondwana en deux plaques, la plaque américaine et la plaque africaine. Aujourd'hui, les marges américaines et africaines, autrefois voisines, sont séparées par l'océan Atlantique.

Une équipe scientifique, dont le CNRS-INSU est impliqué (voir encadré), a utilisé 28 profils de sismique réflexion, pour déterminer le budget magmatique au démarrage de l'accrétion océanique. Sur ~75% de la longueur de la dorsale océanique initiale, l'épaisseur de la croûte est similaire à l'épaisseur océanique standard. Contrairement à ce qui était attendu, la majorité de la partie la plus méridionale de l'océan Atlantique s'est ouverte sans manteau anormalement chaud². Les résultats proposent que le volume de magma le long des marges volcaniques de l'Atlantique Sud doit être réévalué à la baisse et/ou que des explications autres qu'un manteau plus chaud, doivent être privilégiées pour expliquer la production massive de magma le long de la limite de plaque naissante... ([Ignition of the southern Atlantic seafloor spreading machine without hot-mantle booster | Scientific Reports \(nature.com\)](#))

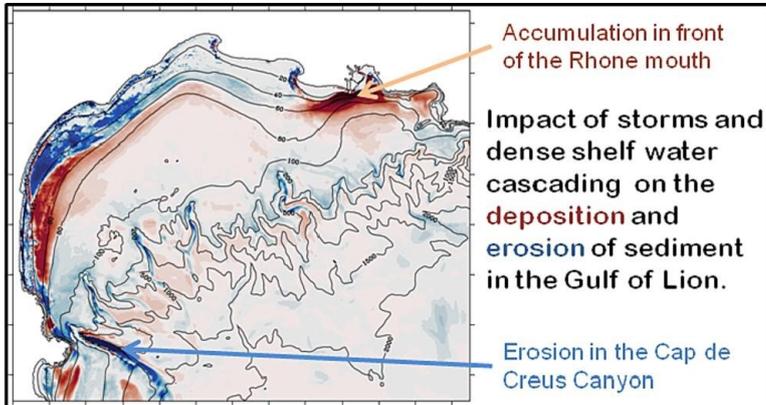


Variation de l'épaisseur crustale (panneau inférieur) le long d'un profil de sismique réflexion (panneau supérieur) à travers la marge ouest-africaine. Les lignes noires épaisses indiquent le sommet et la base de la croûte (Moho), tandis que les lignes noires fines montrent des coulées de laves dans le profil de sismique réflexion. La première croûte océanique produite par la dorsale océanique initiale (LaLOC) est située là où on observe le passage à la géométrie typique d'une croûte océanique (avec le sommet de la croûte globalement parallèle au Moho) qui témoigne du fonctionnement stable de l'accrétion océanique. Le Moho océanique s'y trouve en moyenne à ~2,08 s TWTT sous le sommet du socle, ce qui correspond à une épaisseur crustale moyenne de 6,65 km, similaire à une croûte océanique standard. Exagération verticale du profil de sismique réflexion : ~2x.

Source : [De nouveaux résultats sur le démarrage de l'accrétion océanique dans l'Atlantique Sud | INSU \(cnrs.fr\)](#)

Le déficit en sédiment du Rhône favorise l'érosion du plateau continental par les tempêtes

Une étude réalisée par un groupe de chercheurs issus de sept laboratoires français et espagnols, dont certains CNRS-INSU, et menée par des chercheurs du LEGOS a utilisé la modélisation numérique pour comprendre la variabilité spatiale et temporelle du transport sédimentaire (c'est-à-dire le dépôt, l'érosion et l'export vers les grandes profondeurs) dans le Golfe du Lion, depuis l'embouchure du Rhône, principal vecteur de sédiment, jusqu'à 2000 m de profondeur.



L'équipe a simulé des dépôts et remaniements sédimentaires dans le Golfe du Lion durant 2 années différenciées par leurs conditions météorologiques durant la période automne / hiver : la première caractérisée par des tempêtes du large et des fortes houles, la seconde par de nombreux coups de Mistral et Tramontane spécialement froids et secs.

Le modèle reproduit les grandes caractéristiques de la zone : le stockage massif des apports du Rhône devant son embouchure et le dépôt de sédiment fin sur la vaseuse

médiane située à 60 m de profondeur sur toute l'étendue du Golfe du Lion ...

Pour en savoir plus : [Sediment dynamics in the Gulf of Lion \(NW Mediterranean Sea\) during two autumn-winter periods with contrasting meteorological conditions - ScienceDirect](#) .

Source : [Le déficit en sédiment du Rhône favorise l'érosion du plateau continental par les tempêtes | INSU \(cnrs.fr\)](#)

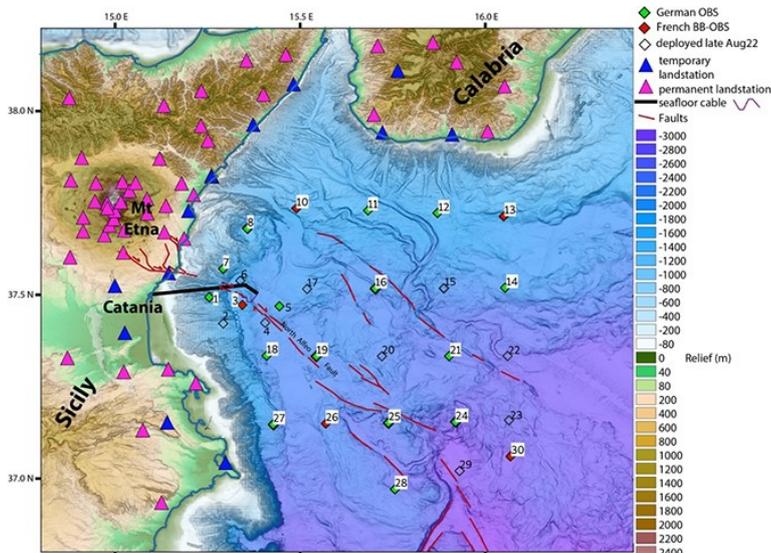
Une mission pour surveiller la faille sous-marine au pied de l'Etna

Des scientifiques du CNRS, de l'Ifremer et de l'Université de Bretagne occidentale (UBO) s'apprêtent à embarquer du 17 au 27 février 2023 avec leurs homologues allemands et italiens pour la mission FocusX3, au large de la Sicile. L'objectif est d'étudier une faille sous-marine (faille Nord Alfeo) située à plus de 2000 mètres de profondeur au pied du volcan Etna, et de mieux comprendre les mouvements d'eau à ces profondeurs.

Afin de mieux connaître l'activité de ce système de faille qui s'étend depuis la côte au pied de l'Etna vers le Sud-Est sur une longueur totale de plus de 100 km, les scientifiques du CNRS, de l'Ifremer et de l'UBO) ainsi que

leurs collègues allemands et italiens ont déjà mené deux premières campagnes Focus au large de la Sicile, à bord de navires de la flotte océanique française.

L'objectif est de montrer comment un câble de fibre optique peut surveiller une faille sous-marine. Pour ce faire, les scientifiques ont déployé un câble de six kilomètres de long qui mesure les mouvements de la faille par interférométrie laser. Cette technologie utilisée généralement pour surveiller des grandes infrastructures comme les ponts ou des barrages, déployée pour la première fois dans ces conditions, permet de détecter et de localiser le moindre mouvement, même d'une fraction de millimètre. Un réseau de 29



Carte montrant les stations sismologiques terrestres (triangles) sismomètres fond de mer (losanges), et le câble fibre optique (en noir et violet) déployés pour détecter les mouvements de la faille de nord Alfeo (en rouge).

© Marc-André GUTSCHER / GEO-OCEAN / FOCUS

sismomètres fond de mer permet par ailleurs de vérifier les mesures effectuées avec la fibre optique.

Durant la mission FocusX3 qui se déroulera du 17 au 27 février 2023, l'équipage va récupérer l'ensemble de ces sismomètres et redéployer la moitié d'entre eux pour une durée de six à douze mois. D'autres instruments, notamment treize stations de géodésie fond de mer, seront déployés pour mesurer le mouvement relatif entre deux blocs tectoniques de part et d'autre de la faille Nord Alfeo (considérée comme à l'origine du terrible séisme de Messine en 1908 qui avait fait 72 000 morts)...

Source : [Une mission pour surveiller la faille sous-marine au pied de l'Etna | CNRS](#)

Lancement d'un vaste programme de recherche pour un usage durable du sous-sol français

« Sous-sol, bien commun », tel est le nom du Programme et équipement prioritaires de recherche (PEPR) lancé lundi 13 février. Piloté par le CNRS et le BRGM, en lien avec plusieurs autres partenaires académiques, il bénéficie d'un financement de 71,4 millions d'euros sur sept ans dans le cadre de France 2030. Son ambition ? Identifier et anticiper les usages possibles du sous-sol français et mieux caractériser son potentiel mais aussi les conditions d'acceptabilité de ses usages.

C'est un réservoir de ressources minérales et d'énergies fossiles dont l'exploitation peut être source de changements globaux, mais qui peut aussi être une partie de la solution à ces changements. Du stockage à la production d'énergie avec la géothermie, de l'extraction de matériaux pour la transition énergétique à l'enfouissement de CO₂ ou d'hydrogène, le sous-sol porte des enjeux primordiaux pour notre futur. Il renferme également les fondations de nos infrastructures, et les réserves en eau indispensables à la vie. Quels en sont les usages possibles dans le cadre de la transition énergétique?

Le programme «Sous-sol, bien commun» vise à appréhender cette question dans son ensemble pour une vision plus intégrée du monde souterrain. Co-piloté par le Centre national de la recherche scientifique et le Bureau de recherches géologiques et minières, il est doté d'un budget de 71,4 millions d'euros pour sept ans.

Cinq utilisations prioritaires du sous-sol ont été identifiées : les ressources minérales, la géothermie profonde, le stockage de gaz divers comme le CO₂, l'hydrogène ou le méthane, la recherche sur l'hydrogène natif, et les infrastructures urbaines. Et cinq sites d'étude spécifiques ont été ciblés : le centre du bassin parisien (portant l'essentiel des enjeux socio-économiques en termes de gestion du sous-sol urbain), la Guyane (pour les conflits d'usage sur le développement du territoire), le «graben rhénan» (pour son potentiel de géothermie profonde), le bassin aquitain (pour le stockage de géo-ressources émergentes et les usages énergétiques), ainsi que le Massif central (pour son potentiel minéral et géothermique)...

Pour en savoir plus : [Le sous-sol, le grand oublié de la transition énergétique ? | CNRS Le journal](#)

Source : [Lancement d'un vaste programme de recherche pour un usage durable du sous-sol français | CNRS](#)

Les écosystèmes marins se sont remis rapidement de l'extinction massive du Permien-Trias

Près de Guiyang, dans le sud-ouest de la Chine, des chercheurs ont retrouvé des traces d'anciens fossiles datant du début du Trias. Leur diversité remet en question l'hypothèse selon laquelle les écosystèmes marins se seraient remis lentement de l'extinction massive du Permien-Trias.

Dans le sud-ouest de la Chine, se trouve une formation géologique particulièrement bien préservée, dans laquelle des paléontologues viennent de mettre au jour une quantité étonnante de fossiles. L'assemblage, appelé « Guiyang Biota », est le plus ancien « *lagerstätte fossile mésozoïque connu* », explique une étude publiée dans *Science* ([A Mesozoic fossil lagerstätte from 250.8 million years ago shows a modern-type marine ecosystem | Science](#)). Il contient en outre plusieurs dizaines d'espèces différentes, des poissons, des ammonites, des mollusques et des décapodes.

Diverses méthodes ont été utilisées pour dater les multiples fossiles, dont la datation à l'uranium-plomb et celle au carbone. Elles indiquent toutes une provenance d'il y a environ 250,83 millions d'années, soit seulement

1 million d'années après l'extinction de masse du Permien-Trias il y a 252 millions d'années ! Surnommée « la grande mort », cette extinction a été la pire de l'histoire du vivant et a tué plus de 70 % de la biodiversité terrestre, et près de 95 % des espèces marines. Elle fut causée par d'importants changements climatiques, et à leur origine un volcanisme intensif ...



Affleurement de la zone fossilifère de la coupe de Gujiao, composée de schistes noirs finement lités et de niveaux calcaires.

Source : [Les écosystèmes marins se sont remis rapidement de l'extinction massive du Permien-Trias \(futura-sciences.com\)](https://www.futura-sciences.com)
