

Ressources et écosystèmes grands fonds océaniques

L'exploration des sources hydrothermales

Les avancées technologiques et l'arrivée des sous-marins d'exploration, au début des années 1960, ont permis l'acquisition de connaissances fondamentales sur le fonctionnement de l'océan profond, avec notamment la découverte de vie en l'absence de lumière grâce à la chimiosynthèse. Les explorations scientifiques ont depuis identifié différents types d'environnements, de ressources minérales ou biologiques qui suscitent un intérêt croissant, dans un contexte lié à la raréfaction des ressources continentales, aux changements climatiques et aux impacts anthropiques.

Situées à des grandes profondeurs, les sources hydrothermales sont associées à des écosystèmes particuliers dont le fonctionnement reste encore peu connu. Le développement potentiel des activités d'exploitation de ces ressources relance les activités d'exploration et nécessite de se poser, en amont, la question de leur impact sur les écosystèmes. C'est le cas des écosystèmes liés à la circulation de fluides.



Exploration des sources hydrothermales (©Ifremer - Victor 6000/Campagne CNRS Momar08)

De nouvelles minéralisations hydrothermales

Trois campagnes dédiées à l'exploration de la zone économique exclusive (ZEE) de Wallis et Futuna (Futuna 2010, 2011 et 2012) ont mis en lumière une zone active hydrothermale très étendue, notamment grâce à une approche systématique de mesures chimiques et physiques dans la colonne d'eau. Les résultats de ces analyses, publiés en 2016, ont mis en lumière une diversité chimique exceptionnelle. Ces observations montrent l'importance des zones volcaniques liées à l'enfoncement des plaques, au même titre que les zones de dorsale, dans la circulation hydrothermale et pour les cycles biogéochimiques globaux.

Ces travaux d'exploration ont aussi identifié de nombreuses zones hydrothermales actives et fossiles et découvert un nouveau type de minéralisation hydrothermale jusqu'alors inconnu dans les océans. Ces minéralisations à base de manganèse, localisées dans la ZEE française des îles Wallis et Futuna, présentent des enrichissements anormaux en nickel, cobalt et cuivre équivalents à ceux connus pour les nodules polymétalliques et dépassant même les concentrations enregistrées dans les encroûtements ferromanganésifères. Les travaux menés sur ces dépôts conduisent à réévaluer l'importance des processus hydrothermaux de basse température dans le transfert des métaux de la lithosphère à l'hydrosphère et demandent à repenser totalement les schémas « classiques » d'identification des dépôts fer-manganèse océaniques.

KONN C. et al., 2016. Deep-Sea Research. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2016.07.012>



Fumeurs noirs (©Ifremer - Nautile/Campagne Futuna)

La dynamique de l'érosion glaciaire des derniers 50 000 ans

La capacité des systèmes continentaux (bassins-versants, glaciers, fleuves, etc.) à transmettre les perturbations d'ordre climatique et les phénomènes d'érosion jusqu'aux bassins sédimentaires constitue un questionnement majeur de l'étude des transferts sédimentaires terre-mer. Cette question est complexe pour les périodes glaciaires : il est nécessaire de contraindre avec une précision extrême la stratigraphie des dépôts dans des environnements sédimentaires pour lesquels l'activité passée des fleuves est mal enregistrée à terre. L'étude haute-résolution des levées turbiditiques marines autorise une telle approche. Elle a été abordée au large du Var, système de référence reconnu. À cette fin, une approche couplée sédimentologie/géochimie a été réalisée sur des carottes longues et a examiné la dynamique des transferts terre-mer au cours des derniers 50 000 ans. Les résultats obtenus démontrent, de manière inédite, que les bassins océaniques ont la capacité d'enregistrer en continu les transferts terre-mer avec une résolution millénaire et que la variabilité climatique rapide affecte directement l'érosion continentale et les transferts sédimentaires. Les outils géochimiques ont souligné qu'un faible pourcentage du bassin-versant, couvert par les glaciers jusqu'au début de l'interglaciaire actuel, expliquait à lui seul la majorité de la dynamique observée et que les flux sédimentaires en période glaciaire étaient 2,5 fois supérieurs à ceux observés aujourd'hui. Ce résultat quantifié démontre plus largement l'importance de l'érosion glaciaire vis-à-vis de l'érosion fluviale et répond en partie au débat focalisé sur les relations érosion-climat (via le piégeage du CO₂) aux échelles de temps longues. Enfin, un modèle conceptuel de réactivité des systèmes (en fonction de leur taille) a été proposé sur la base des résultats obtenus au laboratoire.

BONNEAU L. et al., 2017. Earth and Planetary Science Letters. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2016.11.004>



Charriage des sédiments issus de l'érosion glaciaire par le Var, à soixante-dix kilomètres de son embouchure en mer Méditerranée (©CNRS - V. Rinterknecht)

Les processus de diffusion du méthane

Plusieurs études récentes ont soulevé la question du lien possible entre la décomposition des hydrates de gaz (molécules de gaz entourées par un réseau de molécules d'eau disposées en cage) - et des hydrates de méthane en particulier - et les changements climatiques passés. Pour mener de telles études, il est essentiel, dans un premier temps, de caractériser la dynamique des systèmes d'hydrates de gaz au cours des processus géologiques et sédimentaires naturels (circulation de gaz, déformation sédimentaire, glissements de pente sous-marine). Ceci est habituellement traité par une analyse verticale unidimensionnelle de la réduction des sulfates couplée à l'oxydation anaérobie du méthane au sein des couches sédimentaires.

À l'Ifremer, une étude de la réduction des sulfates couplée à l'oxydation du méthane a été traitée en tant que problème bidimensionnel (directions horizontale et verticale) en considérant les processus d'advection et de diffusion qui régissent le transport de soluté (méthane et sulfate). Ceci a été appliqué à une structure de dépression (*pockmark*) située à 1 100 mètres de profondeur d'eau dans le delta profond du Niger, où l'on soupçonnait la présence d'une advection latérale du méthane à travers des couches de turbidité perméables. L'équipe scientifique a ainsi montré, en analysant les données acquises le long de plusieurs forages réalisés lors d'une campagne à la mer et après modélisation numérique, que seule une approche bidimensionnelle était capable de décrire avec précision la dynamique passée d'un tel système naturel complexe. Ainsi, la zone de transition sulfate-méthane ne doit pas être considérée comme une barrière à la circulation du sulfate dissous et du méthane. Une telle modélisation est en outre capable d'évaluer les courtes variations temporelles des processus de transport du méthane, essentielles pour estimer l'impact des changements externes globaux sur la stabilité des hydrates de gaz et des structures sédimentaires associées.

SULTAN N. et al., 2016. Scientific Reports. <https://www.nature.com/articles/srep26701>



Hydrates de gaz observés par 3800 mètres de profondeur (© Ifremer - Victor 6000/Campagne WACS)

Infrastructure marines et numériques

Jouvence des équipements de sismique

L'objectif du projet de jouvence est de moderniser et d'augmenter la capacité des équipements sismiques pour mettre à la disposition de la communauté scientifique deux équipements principaux s'appuyant sur la technologie de flûtes sismiques solides : SIS 1 (dispositif 2D comprenant une flûte sismique de 6 000 mètres de long) et SIS 2 (un dispositif 3D comprenant deux flûtes sismiques de 600 mètres de long).

Le projet, lancé en 2014, est organisé en cinq étapes afin de réaliser progressivement la mise au point des nouveaux équipements. L'année 2015 a été marquée par la finalisation des deux premières étapes du projet (mise au point de l'équipement SIS 2 avec une flûte de 600 mètres et de l'équipement SIS 1 avec une flûte de 4 500 mètres). Les équipements ont été mis en oeuvre en 2015 et 2016 au cours des campagnes scientifiques Ghass, Tecta, Pamela-Moz4, Pamela-Moz3-5, Antithesis et Caseis.

La poursuite de la mise au point de l'équipement SIS 2 a été effectuée en 2016, avec des essais de validation de la configuration 3D en septembre. Les deux dernières étapes du projet (modernisation de la source sismique SIS 1 et allongement de la flûte sismique SIS 1 à 6 000 mètres) ont débuté en 2016 et se termineront en 2017 avec une phase d'intégration et les essais en mer.



Déploiement de l'équipement sismique SIS2 sur L'Atalante (© Ifremer/IMN/NSE)

Deux exemples de campagnes océanographiques

MoMarsat (Açores)

La campagne MoMarsat s'est déroulée en septembre 2016 à bord de *L'Atalante* aux Açores dans la zone économique exclusive du Portugal.

Co-dirigée par l'Ifremer et l'Institut de physique de globe de Paris (IPGP), cette campagne vise à maintenir l'observatoire EMSO-Açores sur un champ hydrothermal, Lucky Strike. Cet observatoire de fond de mer est opéré depuis 2010 et contribue à acquérir des séries temporelles d'au moins dix ans afin de comprendre les processus hydrothermaux, tectoniques, volcaniques et les écosystèmes d'un site hydrothermal actif de la dorsale médio-atlantique.

Le dispositif comporte une infrastructure d'observatoire au sens strict : une bouée (Borel) assurant le transfert des données vers un serveur à terre ainsi que la communication avec les instruments connectés, et deux boîtes de jonction (Seamon) au fond, qui communiquent par acoustique avec la bouée de surface et sur lesquelles sont branchés les instruments (OBS, caméra, modules de colonisation, capteurs géochimiques).

La campagne 2016 a vu l'augmentation de la capacité de mesure de l'observatoire en remplaçant le cœur électronique des deux stations par un système plus performant (Costof2) et en intégrant de nouveaux capteurs (réseau de quatre hydrophones et des capteurs géochimiques). Les données transmises par satellite sont immédiatement disponibles sur un serveur EMSO (<http://www.emso-fr.org/EMSO-France>). Le dispositif comprend en outre des instruments autonomes, qui stockent les données en interne. Des mesures *in situ* ainsi que des prélèvements de fluides et d'échantillons biologiques sont effectués pour compléter le jeu de paramètres et intégrer une composante spatiale lors de chaque maintenance.

Le projet d'observatoire sous-marin de la région des Açores est une des composantes des programmes européens FixO3 (*Fixed point Open Ocean Observatory network*) et EMSO, soutenu en France par l'infrastructure de recherche EMSO-France) dont le pilotage est assuré par une collaboration CNRS-Ifremer).

Plusieurs instituts de recherche font partie intégrante du projet : l'IPGP et l'Ifremer qui conduisent les missions MoMarsat, mais aussi l'université des Açores, l'université de Lisbonne, l'université de Brême, et plusieurs laboratoires français rattachés au CNRS (INSU et INEE) : l'IUEM/UBO, l'OMP-GET, le LOPS et l'UPMC/Locean.



Observatoire EMSO-Açores : installation par le ROV Victor 6000 d'un capteur de chlorinité dans un fumeur actif à 1700 mètres de profondeur (© Ifremer - Victor 6000/Campagne MoMarsat)

Caseis (Antilles)

La campagne Caseis, dirigée par l'IPGP, vise à retrouver les traces des grands séismes de l'arc antillais (dont celui de 1843) et à mieux contraindre le cycle sismique de la zone de subduction à partir d'une étude de paléo-sismologie sous-marine fondée sur l'enregistrement sédimentaire des turbidités/homogénites. Avec le soutien de l'Ifremer, qui a développé et mis en oeuvre le logiciel Cinema d'amélioration du carottage et qui a géré l'instrumentation développée en partenariat avec l'INSU et l'IPEV, le nouveau carottier du *Pourquoi pas ?* a été opéré avec une masse maximale de huit tonnes et une longueur de 36 mètres. Il est équipé d'un dispositif de largage du train de tubes qui permet la récupération du carottier lorsque l'effort d'arrachement est supérieur aux capacités de l'installation. Trente-quatre opérations de carottage ont été effectuées à des profondeurs allant de 1 111 à 6 898 mètres. La longueur totale de carottes prélevées est de 506 m. Le taux de récupération est tout à fait correct compte tenu de la nature des sites carottés avec une moyenne de l'ordre de 75 %.

Les campagnes océanographiques

Nom de la campagne	Lieu	Dates
Leve-SMF	Atlantique Nord	30/01/2016 au 13/02/2016
Pamela-Moz3 Pamela-Moz5	Marges de la vallée de Natal et Est Limpopo, Canal du Mozambique	12/02/2016 au 03/04/2016
Antithesis 3	Petites Antilles	07/05/2016 au 23/05/2016
Volt2	Canyon de Capbreton, France et Espagne	20/07/2016 au 27/07/2016
Margats	Large de la Guyane et du Suriname	20/10/2016 au 16/11/2016

Retrouvez toutes ces campagnes sur le site des Géosciences Marines, dans l'onglet Campagnes et données, [Campagnes 2016](#).

Interopérabilité des données marines aux niveaux national, européen et international

EMODnet, *European Marine Observation and Data Network*, est une initiative de la DG Mare de la Commission européenne pour favoriser les inventaires de données marines, préparer des produits numériques de synthèse et développer l'accès à l'information pour les acteurs du domaine maritime, dans un cadre d'harmonisation des données à l'aide de standards intra- et inter-disciplinaires. Plus de cent organismes européens sont ainsi associés dans la mise en place de la diffusion des données, inter-opérables et libres d'usage. L'Ifremer est engagé dans de nombreuses thématiques : géologie, bathymétrie, physique, bio-géochimie, biologie et sur des éléments plus techniques comme le système d'ingestion de données.



Traçabilité des échantillons géologiques et biologiques

Si les données numériques collectées par les équipements des navires océanographiques de l'Ifremer sont de longue date bancarisées de façon pérenne, les opérations de collecte d'échantillons, en particulier géologiques ou biologiques, étaient encore souvent consignées manuellement (« cahier de quart »), suivant des méthodes propres à chaque équipe scientifique.

Afin de décrire de façon uniforme les opérations de prélèvement et échantillons obtenus, le logiciel SeaLog, développé par l'Ifremer, est désormais progressivement rendu disponible à bord des navires océanographiques de la TGIR FOF. Ce logiciel permet de recueillir la procédure d'échantillonnage (instrument, lieu géographique et date) et de décrire le devenir de l'échantillon à la sortie du bord (détendeur, conditionnement, étiquetage).

Dans le but de garantir la traçabilité des échantillons prélevés, les descriptions sont bancarisées dans la « base des campagnes » à l'issue de la campagne, et l'information sur leur destination finale est également enregistrée à l'aide du logiciel Archimède : carothèque, lithothèque, collections de l'unité Étude des écosystèmes profonds, Muséum national d'Histoire naturelle, etc. Ce logiciel, utilisé à terre, facilite la poursuite du travail en laboratoire ou dans les dépôts d'échantillons. Il a été développé dans le cadre d'un financement Carnot et propose les fonctionnalités suivantes : saisie et mise à jour de métadonnées (plongées, opérations de prélèvements et/ou mesures, échantillons), gestion en lithothèque (adresse de stockage, mouvements, sous-échantillonnage), visualisation et interrogation des opérations et des échantillons, import/export de métadonnées notamment vers les systèmes d'informations géographiques.



Remontée du carottier multitubes, récupération des échantillons de sédiment à bord du Pourquoi pas ?
(©Ifremer - G. Bourret/Campagne WACS)

Valorisation et partenariats économiques

Accords cadres

Salsa

Salsa (*Sergipe Alagoas Seismic Acquisition*) est issu de la collaboration entre le groupe pétrolier Petrobras et l'Ifremer, établie dès 2009 et centrée sur les compétences et l'expérience en géophysique et en géodynamique de l'institut. Ce projet fait suite aux projets Sanba (2010-2013) et Magic (2012-2015). Douze profils de sismique multi-trace et grand-angle et leur prolongation à terre ont été traités et interprétés, complétant l'élaboration du catalogue typologique des marges passives. Positionnées sur un large segment de la marge brésilienne, allant de Jequitinhonha à Sergipe (Nordeste, Brésil), de part et d'autre du point triple de Camamu, ces données ont éclairé la dynamique du processus d'aminçissement de la croûte continentale, le rôle de l'héritage tectonique et les phases géodynamiques qui gouvernent les déplacements des continents. Les résultats remettent par ailleurs en cause les modèles communément utilisés, en particulier en terme d'évolution thermique, de mouvements tectoniques et d'enregistrement sédimentaire, essentiel pour la quantification de l'évolution de la matière organique au cours des temps géologiques.

Passive Margin Exploratory Laboratories – Projet Pamela

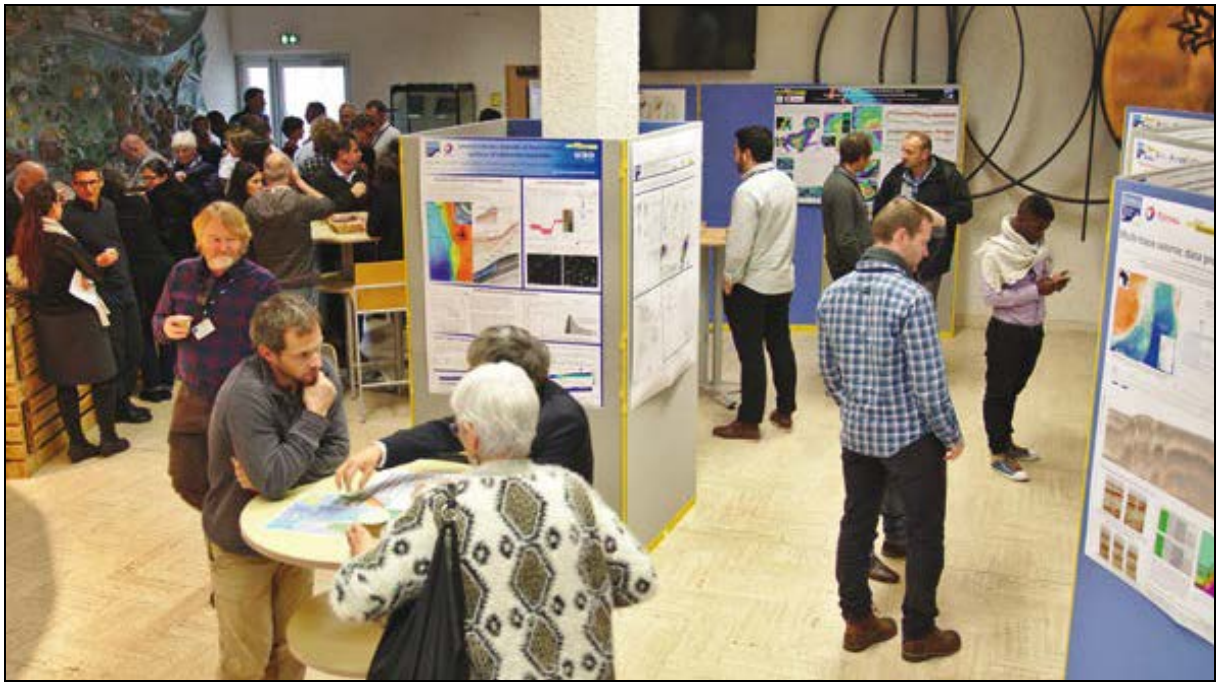
Les marges continentales constituent la zone de transition entre les continents et les grands fonds océaniques. Les marges dites actives sont le siège de tensions intenses car ce sont des zones de collision entre deux plaques tectoniques. Les marges dites passives, de séparation de deux plaques continentales où se crée un océan, sont *a priori* plus calmes.

Le projet Pamela s'intéresse à certaines marges passives à l'activité complexe, en particulier :

- au magmatisme et au volcanisme en profondeur et en surface ;
- aux mouvements verticaux des couches géologiques et aux positions du niveau marin sur des périodes de temps variées (de quelques dizaines à des millions d'années) ;
- aux cycles érosion/dépôt, depuis les bassins versants continentaux jusqu'aux accumulations du fond de mer et à l'impact des variations climatiques sur les systèmes sédimentaires continentaux ou carbonatés ;
- à l'origine et au rôle des fluides migrant des couches profondes jusqu'à la surface ;
- à l'impact des courants sur les sédiments des fonds et les écosystèmes profonds.

Ces phénomènes sont étudiés à travers plusieurs chantiers, comme ceux du golfe de Gascogne, de l'est de la Corse et principalement du canal du Mozambique. En 2016, deux campagnes d'exploration sismique Pamela-Moz3 et Pamela-Moz5 se sont focalisées sur la structure profonde de la marge du canal du Mozambique et spécifiquement sur la transition continent-océan.

Le projet est mené conjointement par Total et l'Ifremer et associe les universités de Paris VI, Rennes I, Bretagne occidentale, le CNRS et l'Ifpen. Le partenariat est géré dans le cadre d'un consortium permettant la réalisation d'actions spécifiques comme les campagnes à la mer et leurs études associées et des thèses ou des post-doctorats sur des sujets innovants. Il rassemble des ingénieurs et des chercheurs, de compétences variées.



Séminaire Pamela 2016 au centre Ifremer Bretagne (©Ifremer - M. Grönwoldt)

Communication

Dans le prolongement de ses missions de recherche et d'expertise, l'Ifremer participe à la diffusion des connaissances scientifiques et techniques.

Conférences

Chaque année, le centre Ifremer Bretagne organise un cycle de conférences destinées à tout public. Cette année, l'Unité de Recherche Géosciences Marines a participé à l'évènement avec une présentation sur les hydrates de gaz.

Une conférence a été donnée à l'Université de Bretagne Sud à Vannes sur les "Iles Eparses, les joyaux de la République".

Refonte du site web

Une refonte du site Internet de l'Ifremer est intervenue en mai 2016 et a concerné aussi bien l'outil lui-même (*EzPublish*) que la charte graphique, qui offre désormais aux internautes un accès plus convivial à l'information, notamment grâce à un graphisme renouvelé, au passage à l'affichage adaptatif en fonction de la taille de l'écran et à un système de navigation évolué.

Pour le site des Géosciences Marines, ces changements se sont accompagnés d'une refonte éditoriale : révision des contenus, plan du site repensé avec la création de nouvelles rubriques comme celle des Actualités, la création de petits films présentés par des scientifiques sur des sujets d'actualité ...