

Explorer et comprendre les richesses du fond de l’océan

L’océan couvre un peu plus de 70 % de la surface de la planète Terre. Il reste très largement inexploré. Le ralentissement économique que nous connaissons depuis 2008 n’a pas fait diminuer les exigences environnementales concernant l’exploitation maîtrisée des ressources minérales et énergétiques des grands fonds. Le contexte de changement climatique pousse au contraire à profiter de ce ralentissement pour accélérer les efforts de recherche destinés à mieux connaître cet environnement, à développer les outils pour mesurer les impacts de l’activité industrielle dans ces conditions extrêmes et limiter les risques associés. En termes de ressources, dans un contexte de transition énergétique, il s’agit par ailleurs de développer les technologies qui nous permettront d’exploiter au mieux les sources d’énergies renouvelables que l’océan peut procurer.

Pour répondre à ces exigences, l’Ifremer mène des travaux de recherche et d’innovation sur quatre axes :

- **approfondir la connaissance géologique, géophysique et géochimique de l’océan profond en particulier sur les marges et les rides médio-océaniques ;**
- découvrir les mécanismes qui entretiennent la biodiversité de ces milieux et identifier les services écosystémiques associés ;
- développer les outils adaptés à la mesure de paramètres physiques, chimiques et biologiques dans ces environnements exigeants pour les matériels ;
- contribuer aux innovations concernant les énergies marines renouvelables.

De la réalisation de bilans géochimiques sur l’éventail sous-marin du fleuve Congo à l’accompagnement d’une PME dans son développement pour récupérer l’énergie des courants de marée, en passant par l’étude des aléas associés à la déstabilisation des hydrates de gaz en mer Noire, les travaux de l’Ifremer dans le domaine sont variés. Les faits marquants 2015 présentés dans ce chapitre donnent également un aperçu des différents types de financement mobilisés sur ces travaux de recherche (public, H2020, partenariat public/privé) et des collaborations-types engagées pour les mener à bien.

Fluctuations millénaires de la calotte glaciaire européenne au cours de la dernière période froide et impacts à l’échelle du globe

La compréhension des mécanismes climatiques passés constitue une base solide pour la compréhension des changements climatiques en cours et la modélisation de leur évolution future. Sur la base de carottes sédimentaires marines profondes, collectées dans le nord du golfe de Gascogne lors de plusieurs campagnes, les fluctuations de la calotte glaciaire européenne ont été récemment répertoriées avec une précision inédite lors de sa dernière avancée majeure (il y a entre 35 000 et 22 000 ans), puis lors de son retrait et de sa disparition (depuis 22 000 ans).

Cette reconstruction paléoclimatique est fondée sur trois points majeurs : **la reconnaissance fine de l’empreinte géochimique des dépôts sédimentaires au débouché du fleuve Manche aujourd’hui disparu**, qui reliait la calotte glaciaire, s’étendant du Nord de l’Irlande jusqu’au Nord de la Russie, au golfe de Gascogne au cours du dernier million d’années, **l’identification des sources sur le pourtour de la mer Baltique et des îles Britanniques**, là où sont encore visibles une partie des produits de l’érosion glaciaire, et la **construction d’un**

cadre stratigraphique haute-résolution. Outre le fait de proposer une reconstruction inédite et continue des oscillations glaciaires européennes, ces résultats ont permis pour la première fois de confronter les connaissances paléoclimatiques marines, très détaillées (résolution millénaire) aux connaissances terrestres, très parcellaires. Paradoxalement, des reculs glaciaires majeurs sont décrits lors des pics de froid extrêmes (les événements de Heinrich), remettant profondément en cause notre compréhension des interactions atmosphère-océan-cryosphère* passées.

**surface du globe où l'eau est présente à l'état solide (calottes glaciaires, etc.)*

Toucanne S. et al., 2015. Quaternary Science Reviews

Un écosystème étonnant à 5 000 m de profondeur, nourri par les apports du fleuve Congo

En Atlantique tropical Sud, les lobes terminaux de l'éventail sous-marin profond du fleuve Congo, localisés à 5 000 m de profondeur et à 800 km des côtes africaines, ont la particularité d'enregistrer de fréquents dépôts riches en matériel organique frais. Ces dépôts sont engendrés par les sédiments que déverse le fleuve Congo directement dans le canyon sous-marin relié à l'embouchure du fleuve et qui sont ensuite acheminés jusqu'aux lobes par des courants de turbidité. Ainsi, cette zone de lobes, malgré ses profondeurs abyssales, possède des caractéristiques proches de celles de zones deltaïques côtières, par exemple pour ses teneurs en carbone organique et la fréquence des apports sédimentaires. Ces conditions, exceptionnelles à ces profondeurs, favorisent le développement de communautés microbiennes et faunistiques particulières, notamment fondées sur une chimiosynthèse comparable à celles des sources de fluides froids ou des sources hydrothermales, et constituent ainsi une zone de forte biodiversité à grande profondeur. Le projet pluridisciplinaire de l'ANR « Congolobe », associant géologues, géochimistes, microbiologistes et écologistes benthiques du laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (UMR-CNRS, CEA, université de Versailles), de l'université Pierre et Marie Curie (UPMC) et de l'Ifremer, vise à faire le lien entre la nature et la magnitude des apports de matière organique en provenance du fleuve Congo et ces écosystèmes exceptionnels découverts en 2000 puis explorés et étudiés en 2011 au cours de deux campagnes avec l'engin téléopéré *Victor 6000*.

L'ensemble de la zone révèle des densités de macrofaune sédimentaire six à sept fois plus élevées qu'attendu et des demandes en oxygène anormalement fortes à ces profondeurs. Les conditions sont réunies pour le développement de communautés biologiques similaires à celles des pockmarks, zones d'émissions de fluides et gaz riches en méthane, situées plus en aval sur la marge. Des habitats formés par des tapis microbiens ou des bivalves vivant en symbiose avec des bactéries se développent de manière sporadique grâce à la présence de sulfures à des concentrations favorables à leur développement. Ces sulfures proviennent des forts apports en oxydes de fer venant du fleuve Congo. L'étude microbiologique des communautés a révélé, non seulement la présence d'archéobactéries et de diverses bactéries anaérobies, mais aussi des communautés bactériennes spécifiques réalisant l'oxydation du méthane en condition aérobie. Enfin, la présence de lignées microbiennes caractéristiques des environnements terrestres à 5 000 m de profondeur soulève des interrogations sur le fonctionnement de l'écosystème principalement contrôlé par la disponibilité en méthane, sulfure et fer.

Grâce à l'analyse conjointe des données géochimiques et biologiques, des hypothèses sont avancées sur l'évolution des habitats chimiosynthétiques mais des questions demeurent quant aux conditions d'installation et de persistance de ces habitats dans un environnement sédimentaire extrêmement instable, avec des **taux de sédimentation atteignant 10 cm/an.**

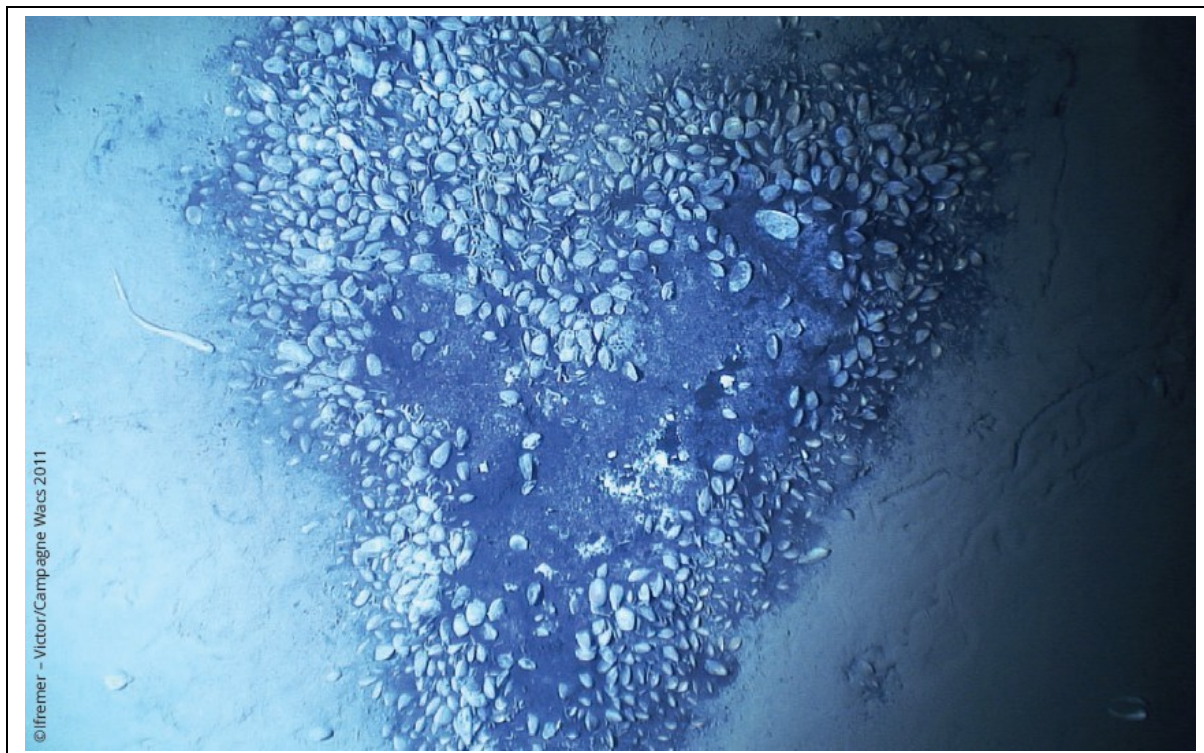


Fig. 1 : Amas de bivalves vésicomydés sur le site des lobes terminaux de l'éventail profond du fleuve Congo dans le golfe de Guinée (océan Atlantique)

Hydrates de gaz et fonds marins en mer Noire

Les hydrates de gaz sont des molécules d'eau qui forment une cage autour des molécules de gaz comme le méthane. Dans la nature, ils sont stables sous certaines conditions de température et de pression et ont la particularité de stocker les gaz sous une forme très concentrée. Un réchauffement des eaux et/ou une baisse de pression peuvent provoquer la déstabilisation des hydrates et donc une libération du méthane. Le sédiment est alors fragilisé, causant dans certaines conditions des glissements sous-marins. Le méthane est aussi un puissant gaz à effet de serre et son dégazage dans l'atmosphère contribue à augmenter la température globale.

En septembre 2015, la campagne océanographique Ghass a étudié les hydrates de gaz et le gaz libre et leur rôle sur les déformations sédimentaires et la déstabilisation des fonds marins en mer Noire. Cette campagne, menée par l'Ifremer et associée au projet européen Midas, mobilisant des chercheurs allemands (Geomar), roumains (GeoEcoMar), norvégiens (NGI) et espagnols (université de Barcelone), a permis d'effectuer des acquisitions acoustiques de la colonne d'eau et sismiques des fonds marins puis de procéder à leur échantillonnage à bord du *Pourquoi pas ?*. **Certains sites ont révélé la présence d'hydrates de méthane dans les sédiments marins superficiels** : une première dans cette zone située au large de la ville roumaine de Constanta. Des analyses précises sont en cours pour analyser le contexte chronostratigraphique de la zone d'étude afin d'aborder la chronologie des processus en jeu : déstabilisation sédimentaire, expulsion de gaz, formation des hydrates de gaz.

La quantification de la saturation en gaz et en hydrates et la dynamique des systèmes gaz/hydrates sont également étudiées. L'intégration des données devrait établir si un lien est avéré entre leur présence et les instabilités gravitaires et déformations observées durant la campagne.

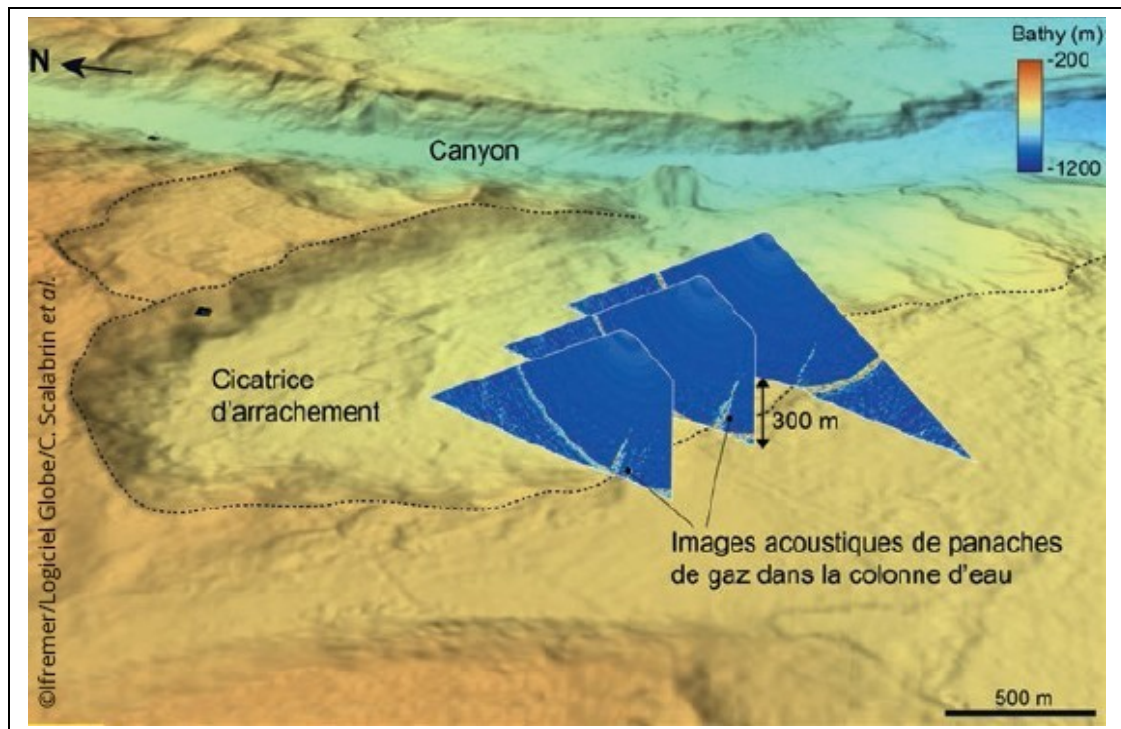


Fig. 2 : Image 3D du fond marin, d'une partie de la zone prospectée durant Ghass, montrant des cicatrices d'arrachement aux abords d'un canyon sous-marin. Les images acoustiques de la colonne d'eau révèlent une activité d'expulsion de gaz sur le pourtour d'une des cicatrices d'arrachement.

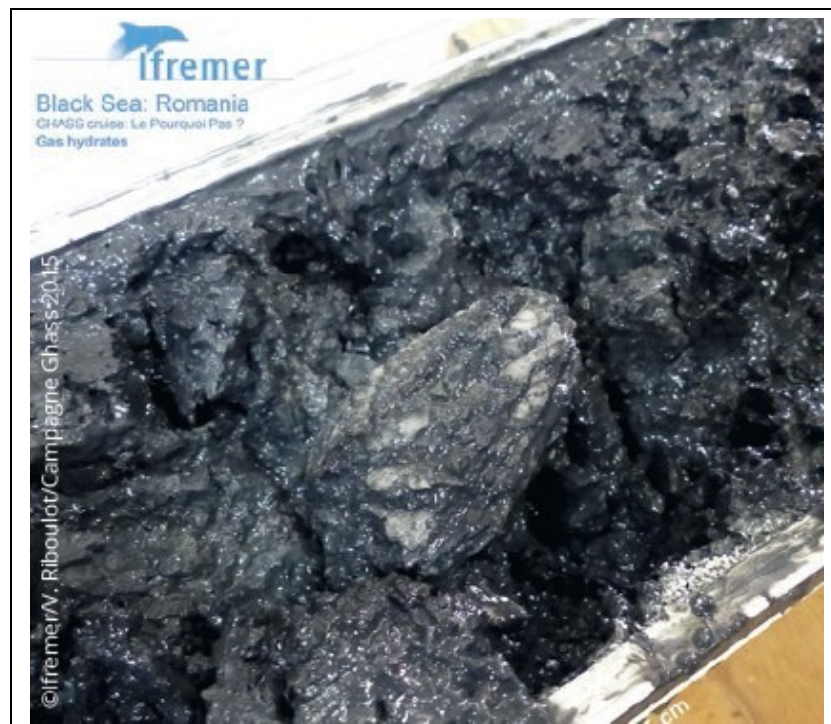


Fig. 3 : Carotte prélevée dans le secteur roumain de la mer Noire durant la mission Ghass, montrant pour la première fois la présence des hydrates de gaz (au centre).

Modéliser des effets tsunamis en Atlantique et en Manche

Financé dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (PIA) et porté par le CEA en collaboration avec l'Ifremer, EDF, le BRGM et le SHOM, le projet Tandem (projet ANR, 2014-2017) est dédié à l'évaluation des effets des tsunamis aux abords des côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche occidentale. Afin d'évaluer l'impact à la côte, ce projet permet d'une part une modélisation numérique pour générer et propager des tsunamis et d'autre part une identification et caractérisation des sources ou causes des tsunamis soit par séismes, soit par glissements sous-marins. **Un point clé du projet est l'identification des glissements passés et potentiels et la quantification du comportement mécanique des couches géologiques impliquées.** L'évolution du volume glissé dans les secondes ou minutes qui suivent le déclenchement détermine en effet le risque tsunamigène. Dans ce but, la campagne Gitan a été organisée sur le navire océanographique *Pourquoi pas ?* dans le golfe de Gascogne. Les résultats de cartographie, sismique et carottage permettront de quantifier les écoulements gravitaires sous-marins, pour modéliser les ondes tsunamigènes sur les côtes atlantiques françaises et en évaluer l'impact éventuel aux abords des installations nucléaires civiles.

Découverte d'un vaste système fluide de méthane biogénique sur le plateau aquitain

Le projet Pamela est un projet pluridisciplinaire de recherche partenariale avec la société Total, de plusieurs universités (Rennes, UBO, UPMC), le CNRS et l'Ifpen sur l'évolution des marges passives (zones de transition entre la croûte continentale et la croûte océanique en l'absence de subduction).

Dans ce cadre, deux campagnes océanographiques, Gascogne1 sur le navire océanographique *Le Suroît*, et Gascogne2 sur le navire océanographique *Pourquoi pas ?*, ont été menées sur la marge continentale aquitaine. **Un système fluide associé à des émissions de méthane biogénique et s'étendant sur 200 km² a été ainsi découvert sur le rebord du plateau aquitain.** Ces sorties gazeuses sont associées sur le fond à des monts de carbonates authigènes (formés sur place dans le sédiment) issus de l'oxydation anaérobie de méthane. Les scientifiques s'intéressent à la genèse, l'évolution et la préservation au cours du temps de ce système fluide, spécifique et unique.

Les campagnes océanographiques

Nom de la campagne	Lieu	Dates
Storm	Dorsale Sud-Est Indienne, sud de l'Australie	01/01/2015 au 04/02/2015
Polyplac2	Est des Tuamotu	21/04/2015 au 05/05/2015
Vespa	entre Nouvelle-Calédonie et Nouvelle-Zélande	22/05/2015 au 18/06/2015
Gitan	golfe de Gascogne	05/08/2015 au 15/08/2015
Ghass	mer Noire	31/08/2015 au 30/09/2015
Tecta	Sud Ouest Pacifique	02/09/2015 au 10/10/2015
Nodule 2015	Nord Est Pacifique	31/10/2015 au 01/12/2015

Retrouvez toutes ces campagnes sur le site des Géosciences Marines, dans l'onglet Campagnes et données, [campagnes 2015](#).

Apporter un appui aux politiques publiques

Le domaine sous-marin de la France s'agrandit de plus de 500 000 km² : programme EXTRAPLAC

En 2015, la France a étendu son domaine sous-marin de 579 000 km² soit à peu près la superficie de l'hexagone. Quatre décrets publiés le 25 septembre 2015 au *Journal officiel* ont ainsi fixé les **nouvelles limites du plateau continental au large de la Martinique, de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Nouvelle-Calédonie et des îles Kerguelen**. Cette extension accroît les droits de la France sur les ressources du sol et du sous-sol marins au-delà des 200 milles. **Les dossiers de demande d'extension du plateau continental sont déposés auprès de la Commission des limites du plateau continental (CLPC), commission spécifique des Nations Unies**. Cette extension peut être revendiquée à condition que les fonds marins répondent à des critères de prolongement naturel et de continuité géologique et morphologique depuis les terres émergées. Pour élaborer les demandes d'extension conformément à ces critères, la France a mis en place en 2002 un programme national dédié : Extraplac (EXTension RAisonnée du PLAtEAU Continental), coordonné par un comité de pilotage interministériel, sous la responsabilité du Secrétariat général de la mer. L'Ifremer pilote le groupe projet scientifique, en collaboration étroite avec le SHOM, l'Ifpen et l'Ipev. **Les demandes en cours d'étude concernent la Polynésie française dans l'océan Pacifique et l'archipel de Crozet, l'île de La Réunion et les îles Saint-Paul et Amsterdam dans l'océan Indien**. Toutes ces démarches se fondent sur les travaux à la mer réalisés antérieurement afin de préciser les caractéristiques géologiques des environnements sous-marins concernés.

Gestion durable des granulats marins

Suite à l'élaboration de la stratégie pour la gestion durable des granulats terrestres et marins et des matériaux et substances de carrières, le ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer a mobilisé un groupe de travail granulats marins (GTGM) afin de définir un guide méthodologique permettant une gestion durable des granulats marins à l'échelle des façades maritimes. Ce groupe de travail (constitué de représentants des différents acteurs de l'extraction de granulats marins, des acteurs socioprofessionnels marins, des représentants des élus du littoral ainsi que des établissements scientifiques, des ONG, des directions de l'administration centrale et des services déconcentrés de l'État) s'est organisé autour d'un groupe plénier chargé de l'orientation des travaux et de quatre groupes techniques. Dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, **l'Ifremer est intervenu dans deux groupes techniques :**

- le groupe « critère » pour établir un état des lieux des connaissances sur les pressions et impacts de l'extraction des granulats marins sur l'environnement ;
- le groupe « ressource » pour élaborer une synthèse des connaissances de la ressource minérale et des enjeux de leur exploitation. Ce groupe s'est fortement appuyé sur les résultats de l'étude Granulats marins Ifremer/MEDDE (2005-2012).

Un guide méthodologique a été rédigé pour l'élaboration de documents d'orientation pour une gestion durable des granulats marins (DOGGM) ; sa parution est prévue pour l'année 2016.



Interview : Stéphanie DUPRÉ, Laboratoire Aléas géologiques et dynamique sédimentaire ; Chef de mission de la campagne océanographique Gascogne2 (Ifremer)

Le plateau continental du golfe de Gascogne n'avait-il pas déjà été « scruté » avant votre campagne ?

Effectivement, mais malgré de nombreuses études dans la zone, aucun indice fluide n'avait été encore repéré. Ce n'est que très récemment, grâce à des levés acoustiques acquis lors de campagnes halieutiques, que les premières émissions fluides dans la colonne d'eau ont été découvertes.

Par quels moyens ces observations sont-elles réalisées ?

Ce sont les imageries acoustiques du fond de la mer et de la colonne d'eau, acquises par sondeur multifaisceau, qui ont permis d'identifier plus de 3 000 sorties de fluide. Les bulles de gaz émises en fond de mer, qui atteignent parfois l'interface eau-atmosphère, ont été échantillonnées en condition in situ avec le système Pegaζ déployé par l'engin sous-marin Victor 6000.

Ces émissions de fluides et de gaz sont-elles associées à un écosystème particulier ?

La faune directement liée à la chimiosynthèse microbienne y est très réduite malgré des conditions chimiques favorables. En revanche, l'activité microbienne est bien présente avec des assemblages microbiens, caractéristiques des sources dites froides. L'abondance de la faune fixée et mobile (éponges, poissons, etc.) est très certainement favorisée par les substrats et nutriments disponibles.

Ces émissions de fluides sont-elles les conséquences de mouvements sismiques ?

Non, pas du tout, ces émissions sont liées à l'architecture tectono-sédimentaire de la marge aquitaine. Mais la variabilité spatio-temporelle des expulsions de fluides en fond de mer en fonction du cycle sismique est un sujet d'étude auquel nous nous attelons dans le cadre du chantier de la mer de Marmara.