

Labex Mer « A Changing Ocean »

L'océan dans le changement

L'OCEAN GLOBAL

Axe 1 : La machine océan à très haute résolution

La capacité de l'océan à réguler le climat se joue aussi dans les petits tourbillons !

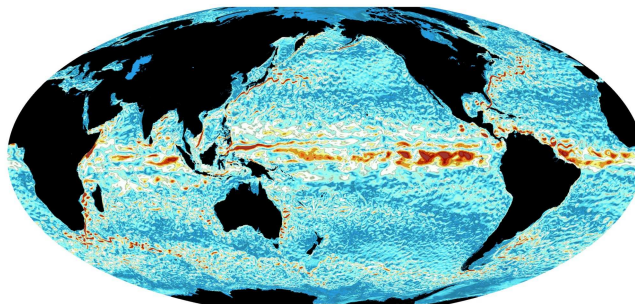
L'océan est une machine complexe qui fonctionne à des échelles extrêmement différentes, certains processus se déroulant sur des milliers de kilomètres, d'autres sur quelques mètres ou même quelques centimètres. C'est l'échelle intermédiaire (tourbillons inférieurs à 200 km de diamètre) qui concentre 90% de l'énergie des mouvements des masses d'eau, conditionnant en grande partie les courants, le transport de chaleur et les systèmes biogéochimiques. S'appuyant sur des outils d'observation de plus en plus fins et des calculateurs de plus en plus puissants, les recherches récentes ont cependant démontré que ces processus mésoéchelles sont fortement influencés par ceux qui se déroulent à une échelle plus petite dite "submésoéchelle", comme des couches d'eau homogène très fines, des filaments allongés d'une dizaine de kilomètres de large, ou le déferlement des vagues en surface.

L'étude des interactions entre échelles différentes apparaît désormais essentielle pour l'amélioration des modèles climatiques et de prévision océanique. L'approche prévue au sein du Labex Mer est globale, non seulement par la large gamme d'échelles étudiées, mais aussi par la complémentarité entre données d'observation et résultats de simulations numériques et par la collaboration entre scientifiques de domaines différents. Quelques-unes des questions que les équipes aborderont sont :

- L'interaction entre vagues de surface et couche océanique brassée par le vent ;
- L'étude de la dynamique tridimensionnelle des 500 premiers mètres de l'océan, à l'aide de données de surface à haute résolution fournies par différents satellites ;
- La dissipation de l'énergie dans l'océan profond, par l'analyse de données de sismique, réflexion de la colonne d'eau et de simulations numériques à très haute résolution ;
- La quantification des mécanismes par lesquels les structures de méso-échelle interagissent avec celles de plus petite taille et leur transfèrent de l'énergie ;
- Les nouveaux paramètres à intégrer dans la prochaine génération de modèles climatiques pour tenir compte de ces petites échelles.

Les scientifiques de Bretagne sont des acteurs de premier plan dans ces domaines, sur lesquels ils ont accumulé depuis plusieurs années une forte compétence numérique, théorique et expérimentale au sein du Laboratoire de physique des océans (UBO, CNRS, Ifremer, IRD), du Laboratoire d'océanographie spatiale (Ifremer), et du Département géosciences marines (Ifremer).

Coordonnateurs : P. Klein (LPO), B. Chapron (LOS)



Carte d'énergie cinétique de l'océan global obtenue à l'aide d'une simulation numérique (Mercator-Ocean, France) avec une résolution au 1/12^e de degré. Cette carte illustre que TOUS les océans sont peuplés de tourbillons mésoéchelles (100km de diamètre).

© LPO (CNRS-Ifremer-IRD-UBO, Brest, France) et Mercator-Ocean (France)

Axe 2 : La complexité et l'efficacité de la "pompe biologique" de carbone

La machine du vivant piège le carbone de l'atmosphère et l'enfouit au fond des océans, c'est la « pompe biologique » ! La biodiversité et son fonctionnement pourraient être au cœur de son efficacité...

Une partie du carbone introduit dans le réseau alimentaire par la photosynthèse des algues planctoniques échappe au recyclage des couches de surface pour être exporté vers les profondeurs sous forme de particules entraînées par la pesanteur (déchets, débris et agrégats organiques). Avec la "pompe physique" (entraînement du gaz carbonique dissous par les courants descendants), cette "pompe biologique" permet l'accumulation du carbone dans les eaux profondes et les sédiments océaniques. En contribuant à réduire le taux de CO₂ atmosphérique, elle joue un rôle important dans la régulation du climat, tant à l'échelle des cycles glaciaires et interglaciaires que dans le contexte du changement climatique actuel.

Malgré l'importance de prévoir la réaction de la pompe biologique à l'augmentation du CO₂ atmosphérique, les mécanismes très complexes qui en contrôlent l'efficacité sont encore très mal connus des scientifiques. Cela tient à la complexité des processus en cause, qui tiennent à la fois de la dynamique océanique, de la biogéochimie et de l'écologie, et qui concernent toutes les échelles d'organisation biologique, de l'individu à la population et au niveau trophique. Les travaux du Labex Mer vont s'organiser autour de deux grandes questions scientifiques :

- Qu'est-ce qui contrôle la nature, la quantité et la qualité des particules organiques en rapport avec la production primaire du phytoplancton, avec quelles conséquences sur l'exportation de carbone vers l'océan profond ?
- Comment ces particules se dégradent-elles au cours de leur descente, du fait de leur consommation par des organismes des couches profondes et de la reminéralisation de leurs molécules organiques ?

Pour répondre à ces questions, les scientifiques auront recours à des approches complémentaires et des outils adaptés à chaque échelle étudiée. Des techniques de modélisation novatrices seront associées au recueil de données en mer au cours de campagnes océanographiques et à des expérimentations dans des enceintes de grande taille appelées mésocosmes, où les processus naturels peuvent être reproduits de façon réaliste.

Les laboratoires impliqués dans cet axe sont le Laboratoire des sciences de l'environnement marin (UBO, CNRS, IRD) et le Département Dynamiques de l'environnement côtier (Ifremer).

Coordonnateurs : O. Ragueneau (LEMAR), H. Stibor (IUEM)

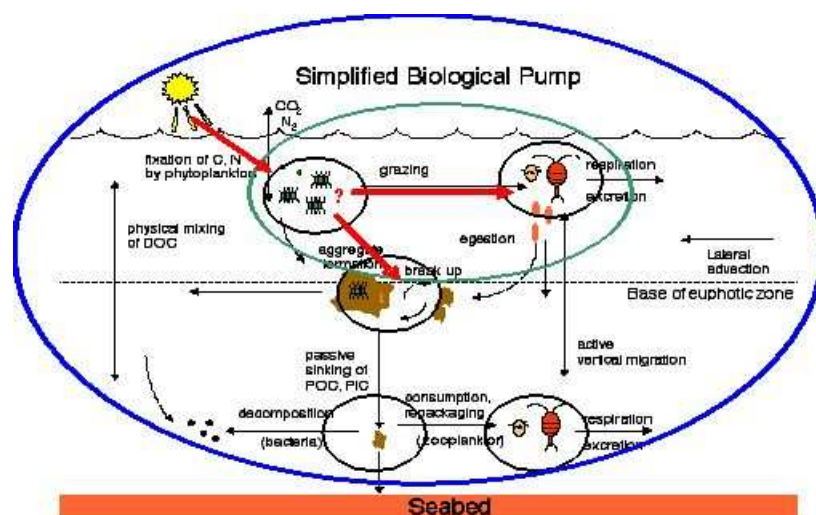


Schéma simplifié de la pompe biologique

Axe 3 : Interactions géobiologiques dans les environnements extrêmes

Vivant et minéral se croisent et interagissent dans les abysses. Seule la connaissance approfondie de ces environnements nous permettra de les utiliser et de les protéger de manière durable.

Dernière frontière inexplorée sur la planète, l'océan profond est un enjeu majeur pour la communauté scientifique internationale à cause de la variété des processus géologiques qui s'y déroulent, du potentiel de ses ressources minérales et biologiques, de la richesse et la spécificité de sa biodiversité, et des défis technologiques posés par son étude. **Les recherches entreprises au sein de cet axe conduiront à une meilleure maîtrise des activités d'exploration ou d'utilisation des ressources biologiques, minérales et énergétiques des grands fonds, en apportant les bases scientifiques indispensables à la définition des moyens de préservation de ces écosystèmes uniques et d'intérêt majeur.** Les milieux concernés sont ceux où se manifestent des interactions géobiologiques contrastées : dorsales océaniques (lieux d'interactions tectonique/volcanisme, sites hydrothermaux actifs et inactifs), volcans sous-marins (sites actifs et zones à encroutements), plaines abyssales (zones à nodules, flancs de dorsales sédimentés), marges continentales (zones d'émission de fluides froids et de formation d'hydrates de méthane, coraux froids).

La recherche se concentrera sur 3 grandes questions scientifiques :

- Quels sont les processus tectoniques, magmatiques et sédimentaires qui contrôlent la circulation des fluides et leur variabilité dans l'espace et dans le temps ?
- Quels sont les facteurs environnementaux qui contrôlent la dynamique de la diversité biologique et fonctionnelle des écosystèmes profonds ?
- Quel est l'impact de l'activité des communautés microbiennes sur leur environnement et les grands cycles biogéochimiques ?

Dans ces milieux profonds où les contraintes sont très fortes, l'acquisition de données est étroitement liée au progrès technologique en matière d'échantillonnage, de suivi et d'analyse. Des outils innovants seront développés : systèmes d'observation en continu, cartographie de l'intérieur du substrat rocheux, techniques de culture de microorganismes sous haute pression, géochimie isotopique, etc.

Ces problématiques associent dans des approches pluridisciplinaires les laboratoires leaders sur l'étude des écosystèmes de grands fonds : Laboratoire domaines océaniques (CNRS, UBO), Laboratoire de microbiologie des environnements extrêmes (CNRS, UBO, Ifremer), Département géosciences marines (Ifremer), Laboratoire environnement profond (Ifremer). Outre les moyens propres de leurs laboratoires, les scientifiques s'appuieront sur des moyens mutualisés de haute performance comme le Pole de spectrométrie océan (PSO) partagé par l'IUEM et l'Ifremer.

Coordonnateurs : O. Rouxel (IUEM), M. Maia (LDO), P-M Sarradin (DEEP)



Cheminée hydrothermale prise à bord du Nautille lors de la campagne PARISUB sur l'axe de la dorsale Est Pacifique. Il y a une galathée (crabe) sur la gauche.

Axe 4 : Transfert de sédiments de la côte aux abysses

Flux continus ou événements catastrophiques, les chemins de la particule qui vont du bassin versants aux fonds des canyons marins sont encore mal connus. Ressources, mais parfois aussi menaces, ces sédiments marins dans leurs dynamiques spatiale et temporelles sont au cœur du projet.

Si l'on connaît depuis longtemps les grands traits des transferts sédimentaires entre la terre et la mer à l'échelle d'une partie du système, des questions majeures restent encore sans réponse dès lors qu'il s'agit de quantifier et de modéliser précisément les phénomènes de transport de matière, depuis les zones sources (bassins versants) jusqu'aux aires de dépôt en profondeur (à plusieurs milliers de mètres) au pied du talus continental. Ces processus, leur origine et leurs conséquences ne sont connus que de façon très partielle, et les modèles qui les décrivent sont encore très simplistes.

Améliorer ces connaissances permettrait de mieux comprendre et anticiper des évolutions lourdes de conséquences, comme les risques naturels (tsunamis, tempêtes), la vulnérabilité des littoraux (montée du niveau de la mer) ou le changement climatique, mais aussi de mieux connaître certaines ressources naturelles.

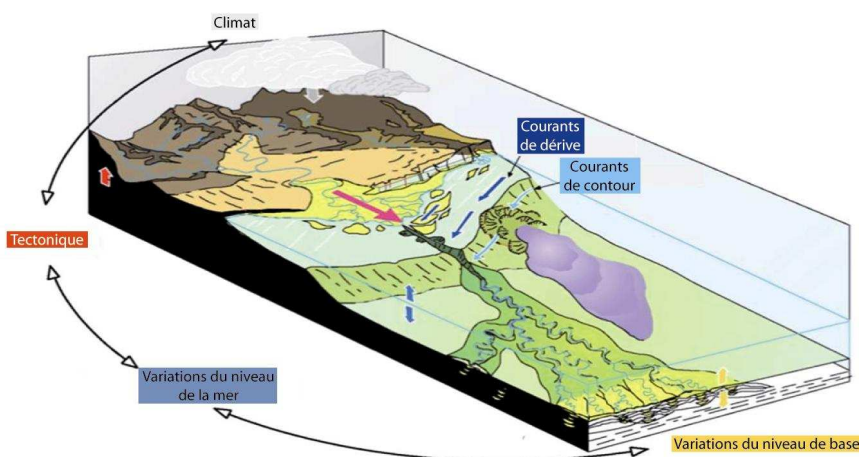
Les interrogations les plus importantes portent sur :

- La part des événements extrêmes (tempête, cyclone par exemple) par rapport aux événements plus continus (cycle de sédimentation annuel, pluriannuel voire plus long) ;
- Le transport sédimentaire vers le domaine profond via les canyons sous-marins mais aussi plus largement sur la pente continentale.

La plupart de ces questions se posent à plusieurs échelles de temps, de l'échelle événementielle (jour, semaine) à celle de l'année et aux échelles géologiques (millier voire million d'années). L'importance de l'échelle temporelle conduit à une modélisation en 4 dimensions de l'architecture comprise entre les plateaux continentaux et le pied des talus sur un même bassin sédimentaire. Pour développer une telle approche "terre-mer" de modélisation sur l'ensemble du continuum littoral-abysses, qui n'a pas encore été réalisée dans la communauté internationale, les équipes du Labex Mer mettront en œuvre un ensemble de méthodes complémentaires : observations, mesures géophysiques, prélèvements sédimentologiques et forages en mer, mesures géochimiques et biogéochimiques, modélisations numériques.

Ces travaux mobiliseront des scientifiques du laboratoire Domaines océaniques (UBO, CNRS), du Département dynamiques de l'environnement côtier (Ifremer), du Département géosciences marines (Ifremer), du Laboratoire des sciences de l'environnement marin (UBO, CNRS, IRD) et du Laboratoire environnement profond (Ifremer).

Coordonnateurs : M. Rabineau (LDO), G. Lericolais (Ifremer/GM)



Bloc diagramme d'une marge continentale illustrant les transferts sédimentaires du littoral aux abysses et les facteurs de contrôle en jeu.

© Source : <http://www.conjugatemargins.com>, modifié par Rabineau & Droz, 2011 (CNRS/IUEM)

Axe 5 : Observation, modélisation, élaboration de scénarios en zone côtière

Tendance lourde et mondiale : l'humanité se concentre sur une mince bande côtière. Observer et comprendre pour préparer les scénarios utiles à une utilisation durable de ces espaces.

Connaître et comprendre les risques naturels et sociétaux est un des enjeux majeurs pour le développement durable des zones côtières, confrontées à la fois aux interactions nature-société (événements météorologiques, pollution, surpêche, pression touristique,...) et aux enjeux économiques de leurs multiples usages (préservation, patrimoine, urbanisation, agriculture, tourisme, pêche, transports,...). Une connaissance approfondie des systèmes socio-économiques et des services fournis par les ressources est indispensable pour évaluer les seuils acceptables de pression et estimer la contribution de ces pressions à un niveau plus général, par exemple en termes d'empreinte écologique.

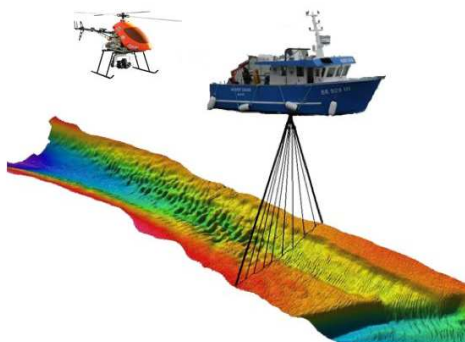
La recherche s'intéressera aux questions suivantes :

- Quels protocoles d'observation et de mesure mettre en place pour connaître et comprendre les mécanismes conduisant aux situations critiques dans ces zones sous forte pression ?
- Quelles approches spatiales, systémiques et intégrées proposer pour reproduire le changement spatial dans ces zones et accompagner les avancées de la gestion collaborative ?
- Comment identifier les changements passés et l'occupation actuelle qui ont des impacts significatifs sur l'environnement et les sociétés ?
- Peut-on établir des liens entre les changements de l'intensité des activités humaines et la détérioration de certains cycles, observée à différentes échelles spatiales ?
- Comment modéliser ces changements et leurs impacts pour construire des scénarios prédictifs fiables ?

La complexité de l'objet de la recherche imposera d'utiliser en synergie différents outils d'observation (mesures de terrain, enquêtes socio-économiques, imageries satellitale, aéroportée, navale, et terrestre) fournissant des données intégrées au sein de Systèmes d'information géographique.

Les laboratoires impliqués dans cet axe (Laboratoire littoral, environnement, télédétection, géomatique et Laboratoire domaines océaniques) ont chacun une expérience unique en France dans certains des domaines couverts par la thématique de cet axe.

Coordonnateurs : M. Robin (LETG), C. Delacourt (LDO)



Axe 6 : Evolution des habitats marins et adaptation des populations

Nationalement et internationalement, la mise à disposition d'indicateurs de la qualité des milieux marins est une exigence de plus en plus prégnante des sociétés. Actuellement fortement teintés d'empirisme, les indicateurs du futur ont besoin que se développe une véritable science des habitats marins et de leur évolution.

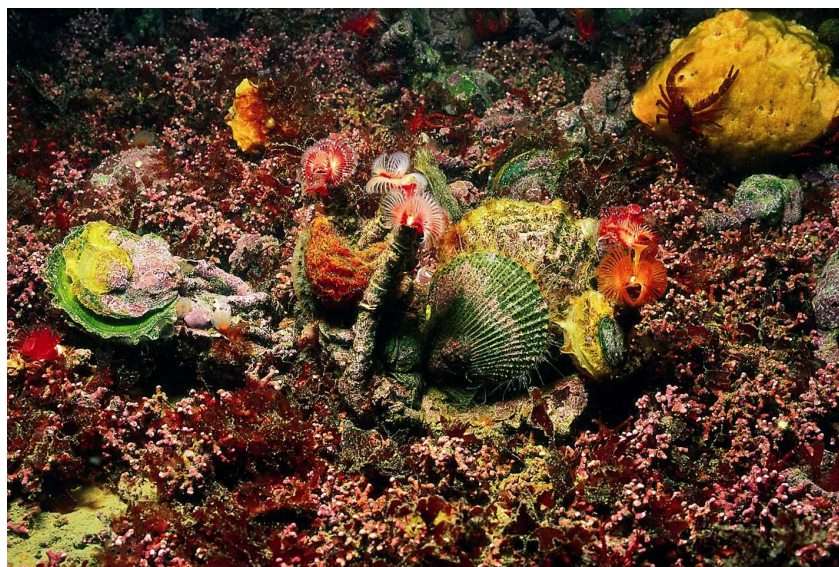
Les perturbations que subissent les écosystèmes marins dans le cadre du changement global suscitent des réponses au niveau individuel (comportement, physiologie, etc.), qui affectent les traits de vie (croissance, reproduction, etc.) et la capacité des organismes à s'adapter. Ces modifications portent également sur l'évolution des populations dans le temps et dans l'espace, ainsi que sur les habitats et la structure des communautés. Au niveau temporel, le défi sera de reconstruire les évolutions passées pour mieux comprendre les interactions organisme/environnement. Il devient ainsi nécessaire d'intégrer plus complètement les approches d'écophysiologie, de biologie évolutive, de macroécologie et de niche écologique, afin de traiter des questions de conservation de la biodiversité. Alors que ce couplage est en train d'émerger en écologie terrestre, son application en milieu marin relève encore d'une démarche innovante.

Plus précisément, les questions scientifiques qui seront abordées dans cet axe de recherche sont les suivants :

- comment, et à quel niveau, formaliser les interactions entre l'adaptabilité physiologique, l'évolution des populations et les changements de milieu ?
- quelles sont les conséquences de ces interactions sur les niches écologiques, et à quelles échelles peuvent-elles être observées ?
- quels modèles mathématiques faut-il développer pour représenter l'évolution spatio-temporelle des habitats, des espèces et des communautés ?
- quels sont les effets des stratégies de conservation et de restauration de la biodiversité sur ces niveaux biologiques ?

Ces thèmes seront développés par les scientifiques du Laboratoire des sciences de l'environnement marin (UBO, CNRS, IRD), du Département dynamiques de l'environnement côtier (Ifremer), du Département physiologie fonctionnelle des organismes marins, du Laboratoire d'océanographie spatiale (Ifremer) et du Laboratoire environnement profond (Ifremer)

Coordonnateurs : C. Bacher (DYNECO), C. Paillard (LEMAR)



Maërl et pétoncles
© Yves Gladu

Axe 7 : Mécanique des mouvements de la mer et interactions avec les systèmes marins

Fluides contre structures solides, les interactions sont complexes, et parfois décisives pour les entreprises humaines (déferlement des vagues, tenues des structures, tsunamis, etc). Les simulations que permettent les nouvelles capacités de calcul et d'expérimentation permettront d'améliorer la prévision et la conception des structures.

A une petite échelle (moins d'un kilomètre) les mouvements de l'océan sont dominés par les vagues, qui ont une forte interaction avec les systèmes naturels et les structures artificielles comme les navires, les plateformes pétrolières, les dispositifs d'énergies marines renouvelables, les digues et jetées, etc. L'importance des enjeux économiques de ces interactions pour les activités humaines et le rôle de plus en plus reconnu des interactions entre échelles dans l'océan imposent d'améliorer la compréhension de cette mécanique des fluides à petite échelle.

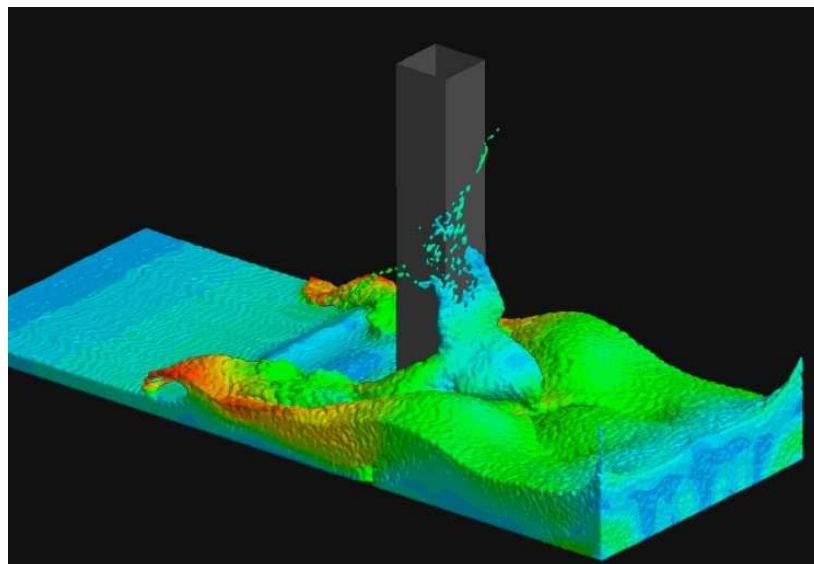
A long terme, l'objectif est d'être capable de produire des simulations numériques fiables sur les interactions entre l'eau, l'air et les solides sur toute la gamme d'échelles, de moins d'un mètre à quelques kilomètres. De tels modèles serviront à concevoir les systèmes marins de demain, mais aussi à gérer les infrastructures actuelles et à étudier l'impact de conditions extrêmes sur l'évolution de systèmes naturels ou humains. Un deuxième objectif consistera à être capable de transférer ces simulations micro-échelle aux modèles de très grande échelle (circulation océanique, météorologie marine).

Les travaux de cet axe porteront notamment sur :

- La modélisation numérique de la formation du déferlement et son influence sur l'évolution des vagues ;
- L'interaction entre les courants, les vagues et les structures marines ;
- Les impacts hydrodynamiques impliquant des vitesses élevées et le déferlement de vagues.

D'un point de vue plus concret, les thèmes visés concernent la propagation de la houle océanique, la prédiction de la houle à court terme et d'évènements exceptionnels, la turbulence d'ondes, la cinématique du déferlement, l'interaction houle/banquise, les énergies marines.

Coordonnateurs : B. Alessandrini (LMF), F. Ardhuin (LOS)



Modélisation numérique de l'impact d'une vague sur une structure
© LMF/EHGO (ECN-CNRS)