



ocean-climate.org

LES INTERACTIONS ENTRE
L'Océan ET LE CLIMAT

8 fiches d'information

AVEC LE CONCOURS DE:

Contributeurs: Corinne Bussi-Copin, Xavier Capet, Bertrand Delorme, Didier Gascuel, Clara Grillet, Michel Hignette, Hélène Lecornu, Nadine Le Bris et Fabrice Messal

Coordination: Nicole Aussedat, Xavier Bougeard, Corinne Bussi-Copin, Louise Ras et Julien Voyé

Infographies: Xavier Bougeard et Elsa Godet

Maquette graphique: Elsa Godet

CITATION

OCÉAN ET CLIMAT, 2016 – *Fiches d'information*, Tome 2.

Vous pouvez trouver le premier tome sur: www.ocean-climate.org

Avec le soutien de:





ocean-climate.org

COMMENT FONCTIONNE L'OCÉAN ?

LA CIRCULATION OCÉANIQUE.....	P.4
L'OCÉAN, THERMOMÈTRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	P.6
300 ANS D'OBSERVATION DU NIVEAU DE LA MER.....	P.8

La définition des mots signalés par un astérisque se trouvent en dernière page dans Le petit dico de la POC.



LA CIRCULATION OCÉANIQUE (1/2)

La circulation océanique joue un rôle clé dans la régulation du climat, en assurant le stockage et le transport de chaleur, de carbone, de nutriments et d'eau douce à travers le monde. Des mécanismes complexes et variés expliquent cette circulation et définissent ses propriétés à court et long terme.

La circulation océanique peut être conceptuellement divisée en deux composantes: une circulation rapide de surface, engendrée par les vents, et une circulation large et plus lente, gouvernée en majeure partie par la densité de l'eau.

En soufflant au-dessus de l'océan, les vents exercent une force de friction à sa surface, forçant ainsi l'apparition de courants marins superficiels. Sous l'effet de la rotation de la Terre, ces courants se dirigent perpendiculairement à la direction du vent, vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. Lorsque de tels courants se rencontrent, des zones de convergence ou de divergence d'eaux apparaissent, engendrant des phénomènes d'*upwelling* (les eaux profondes remontent à la surface) ou de *downwelling* (les eaux de surface s'enfoncent dans les profondeurs). Cette circulation engendrée par les vents est de loin la plus dynamique et la plus énergétique. C'est aussi celle qui contrôle la majeure partie des phénomènes de petite échelle.

À l'inverse, les variations dans la densité de l'eau contrôlent la circulation océanique à des échelles de temps et d'espace bien plus grandes. Cette dernière est donc gouvernée principalement par la température et la salinité de l'eau, mais pas uniquement: le mélange turbulent y exerce aussi un rôle majeur. Elle agit sur l'ensemble de l'océan et a donc une influence considérable sur les zones abyssales où la circulation engendrée par le vent n'a pas accès. Cependant, cette circulation est lente et génère des courants faibles, ce qui la rend bien plus difficile à observer. On estime par exemple qu'il faut 1 000 ans à une particule d'eau pour clôturer la circulation globale de retournement.

Une telle circulation est donc relativement stable sur de longues périodes de temps. En certains points très précis, essentiellement dans l'Atlantique nord et l'Antarctique, l'eau de surface se densifie et plonge vers les fonds marins. Sa densification est en lien avec un refroidissement des

eaux de surface et une augmentation de sa salinité par la formation de glace qui soustrait de l'eau douce. Les eaux se déplacent alors en surface pour compenser celles qui ont plongé. La manière dont ces eaux remontent des profondeurs vers la surface (les phénomènes d'*upwelling*) est encore peu comprise. En plus de l'importance des zones de divergence créées par les vents dans ces remontées d'eaux, la présence de turbulence au niveau de sols marins ayant une forte topographie peut également engendrer des phénomènes de convection qui ramènent les flux vers la surface.

Comme nous l'avons vu, la circulation océanique lente est très sensible au flux global d'eau douce, défini comme la différence entre [évaporation + formation de glace de mer] qui augmente la salinité et [précipitation + écoulement + fonte des glaces] qui réduit la salinité. Le réchauffement climatique va indéniablement conduire à un apport supplémentaire d'eau douce dans l'océan aux hautes latitudes à cause de la fonte des calottes polaires. Cet apport d'eau douce, en réduisant la densité des eaux de surface au niveau des pôles, pourrait limiter les phénomènes de *downwelling*, ralentissant ainsi la circulation globale en empêchant la formation d'eaux profondes.

Un tel processus pourrait avoir des conséquences considérables pour nos sociétés car il impliquerait une diminution de l'assimilation de carbone et de chaleur par l'océan, et donc une augmentation de ces valeurs dans l'atmosphère. Cela pourrait accélérer le rythme du réchauffement actuel et ses impacts socio-économiques.

Cependant, il est important de noter que les interactions entre la circulation océanique et le climat sont encore peu comprises, ce qui justifie le besoin de plus d'observations, d'une compréhension accrue des processus, et de modèles numériques fiables de la circulation océanique. De telles avancées pourraient améliorer considérablement les projections climatiques globales effectuées par le GIEC.



LA CIRCULATION OCÉANIQUE (2/2)

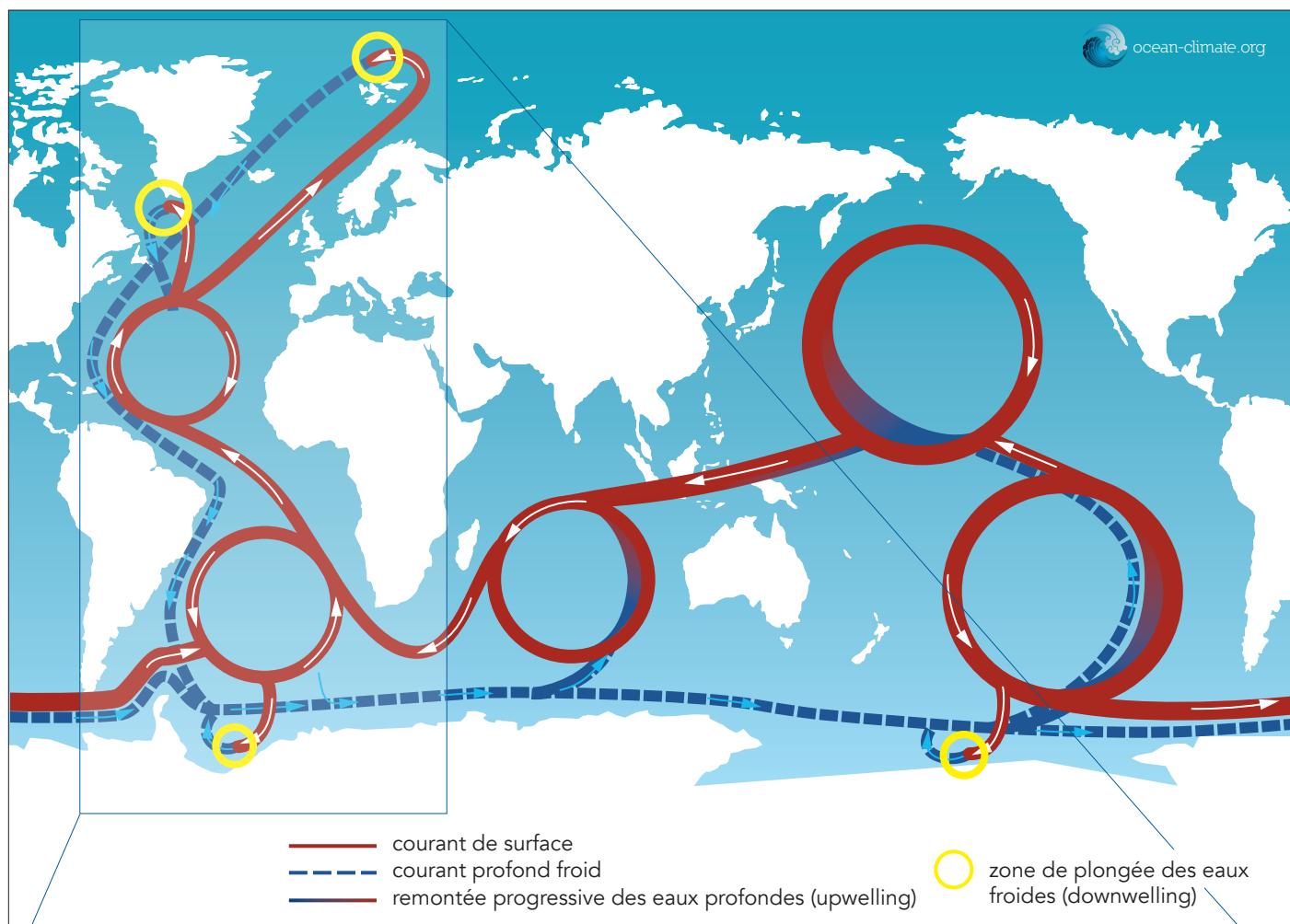
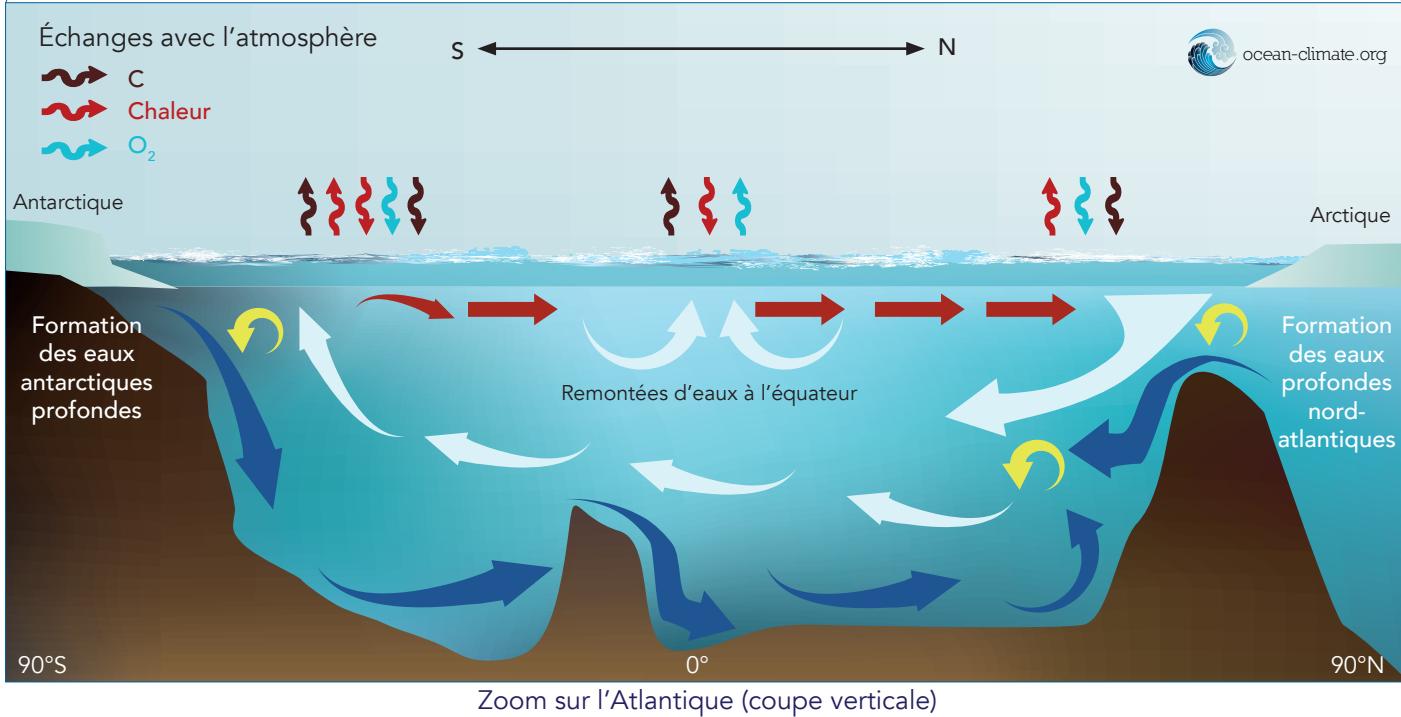


Schéma simplifié de la circulation océanique de grande échelle





L'OCÉAN, THERMOMÈTRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE (1/2)

Par ses échanges permanents avec l'atmosphère, l'océan joue un rôle déterminant pour le climat mondial. Quand la planète se réchauffe, c'est l'océan qui stocke la majeure partie de l'énergie reçue. En mesurant la quantité de chaleur stockée par l'océan, il est possible de quantifier et de suivre l'ampleur du réchauffement climatique.

Notre planète reçoit principalement de l'énergie du rayonnement solaire. Si une partie de cette énergie est captée par la Terre, une autre partie est renvoyée au-delà de l'atmosphère. L'augmentation rapide des gaz à effet de serre dans l'atmosphère provoque l'accumulation de chaleur au sein du système climatique.

L'océan absorbe plus de 90 % de l'excès de chaleur accumulé dans le système climatique et se réchauffe. C'est un rôle régulateur essentiel mais cette quantité de chaleur accumulée a aujourd'hui des conséquences sur l'évolution du niveau de la mer, l'augmentation des températures ou la fonte des glaces...

On évalue la quantité d'énergie emmagasinée dans l'océan en étudiant le contenu thermique des océans. La température de surface de l'océan est mesurée grâce à des capteurs embarqués sur des satellites. Ces données sont ensuite injectées dans des modèles*, ce qui permet de quantifier le contenu thermique des océans sur toute la colonne d'eau.

On estime que les océans emmagasinent chaque année l'équivalent de 10 fois la quantité d'énergie consommée par l'humanité sur la même période.

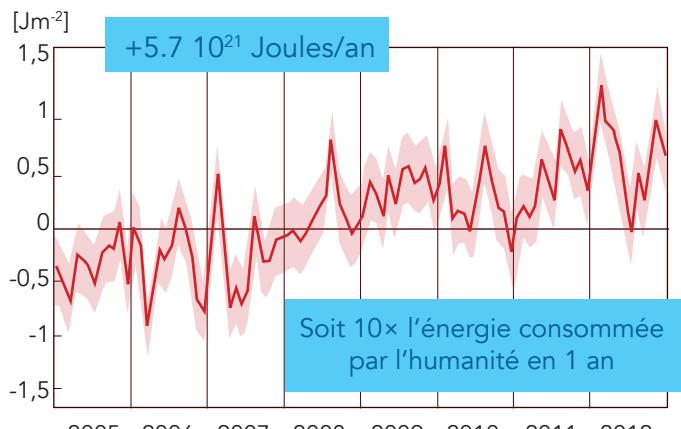
Surveiller l'évolution de cette quantité d'énergie est plus fiable que de suivre la température de surface. Cette dernière est particulièrement sensible aux mécanismes de redistribution verticale localement et n'est pas forcément représentative du réchauffement global.

À l'avenir, mieux connaître et suivre précisément au cours du temps cette quantité de chaleur captée par l'océan est indispensable pour améliorer les connaissances des scientifiques sur les changements dans le système climatique, les prédictions climatiques et analyser l'impact des politiques visant à atténuer l'amplitude du changement climatique.

ÉNERGIE THERMIQUE, *EL NIÑO* ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

À l'échelle saisonnière, l'énergie thermique emmagasinée dans l'océan influence fortement les conditions atmosphériques.

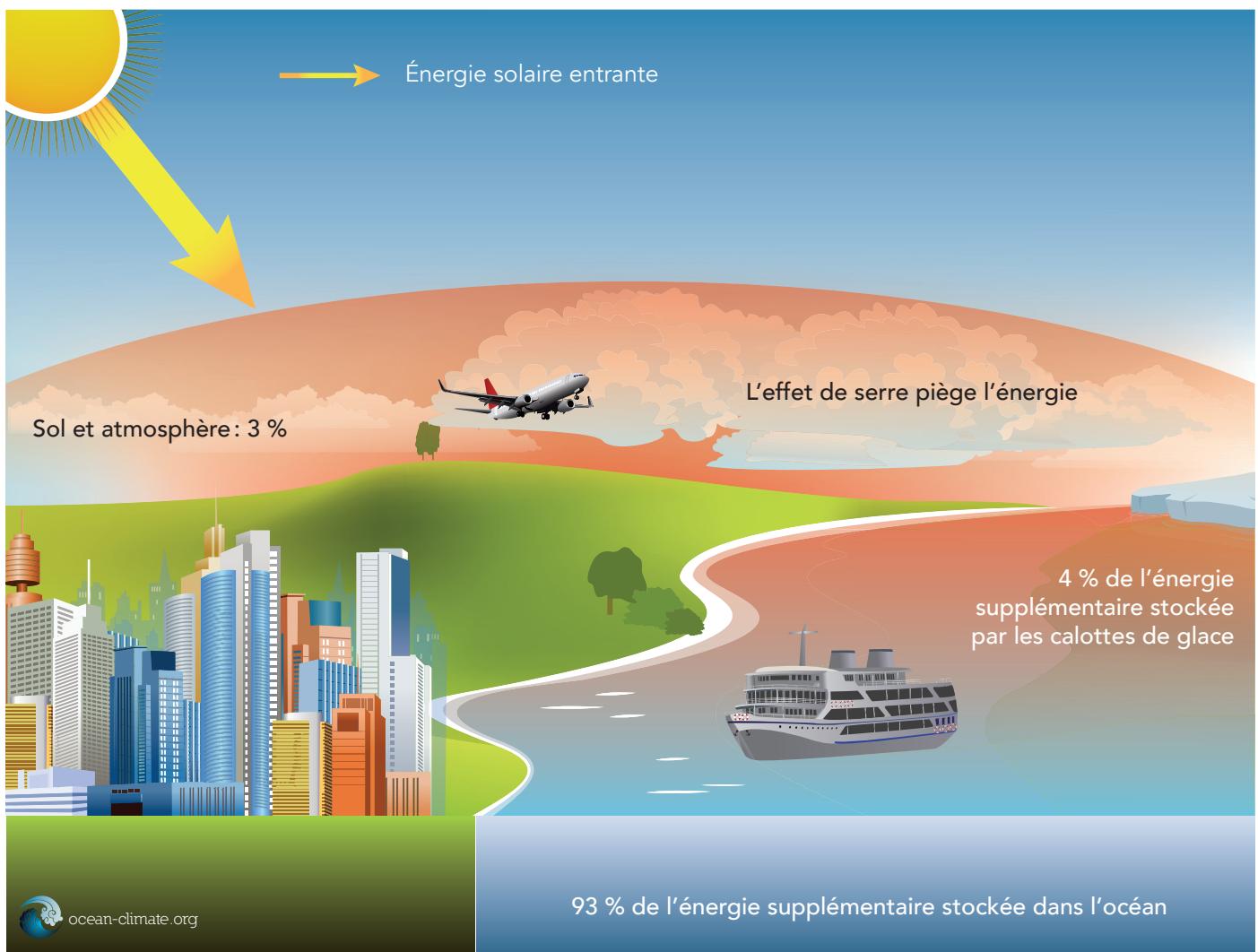
Par exemple, c'est en étudiant l'évolution du contenu thermique que l'on surveille l'évolution de l'intensité des cyclones ou le retour du phénomène *El Niño*. Ce phénomène bien connu des océanographes est un épisode de réchauffement accentué des eaux de surface du Pacifique (et jusqu'à 300 mètres de profondeur) près des côtes de l'Amérique du Sud qui a lieu régulièrement aux environs de Noël, d'où son nom en espagnol, *El Niño* désignant l'enfant Jésus. Quand ce phénomène a lieu, il affecte le régime des vents, la température de la mer, les précipitations et la répartition des ressources marines sur toute la ceinture tropicale du globe. De par son ampleur et l'étendue de la zone concernée, les scientifiques savent qu'*El Niño* affecte le climat mondial dans son ensemble. Par contre, le rôle du changement climatique sur la fréquence et l'ampleur du phénomène reste à découvrir.



Contenu de chaleur de l'océan, mise à jour de Von Schuckmann K. et P.-Y. Le Traon, 2011, Ocean Science, 7, 783–791, www.ocean-sci.net/7/783/20



L'OCÉAN, THERMOMÈTRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE (2/2)



Stockage de chaleur par les différents éléments de la planète



300 ANS D'OBSERVATION DU NIVEAU DE LA MER

L'attraction des zones littorales pour le développement des activités humaines a accru les besoins d'observation du niveau de la mer. La connaissance des hauteurs d'eau le long des côtes est devenue aujourd'hui primordiale car elle permet, entre autres, de mieux comprendre et quantifier les effets du changement climatique et de tenter de prévenir les phénomènes extrêmes sur le littoral (submersions marines, tsunamis...).

Ainsi, Brest, où des observations systématiques du niveau de la mer ont été réalisées depuis 1679, est un endroit privilégié, comme l'a d'ailleurs écrit l'astronome Pierre Simon de Laplace dans son *Mémoire sur le flux et reflux de la mer* (1789). La rade de Brest, par cette position avancée dans la mer, mais protégée, permet une meilleure visibilité du niveau de la mer. En s'affranchissant des variations interannuelles liées à de grands processus météorologiques régionaux ou mondiaux, l'évolution du niveau marin à Brest est régulière dans le temps.

Les observations se faisaient initialement par des échelles de marée. Ces outils de mesure n'ont cessé de se développer et de produire des résultats de plus en plus précis. Les marégraphes gérés par le SHOM dès le milieu du xxi^e siècle dans plusieurs ports métropolitains, ont évolué et leurs mesures automatiques et en continu sont aujourd'hui plus que jamais irremplaçables.

La construction de ces très longues séries d'observations du niveau marin apporte le recul suffisant pour la compréhension des processus liés au changement climatique, et pour comprendre son évolution. Plus de trois siècles de mesures à Brest ont permis de mesurer une augmentation locale d'environ 30 centimètres du niveau de la mer, comme le montre ce graphique, avec une augmentation qui semble de plus en plus marquée au cours des dernières décennies. Les différentes mesures faites dans le monde permettent d'observer que les variations du niveau de la mer ne sont pas identiques partout.

En France, dans le cadre du Système d'observation des variations du niveau de la mer à long terme (SONEL), l'évolution du

niveau des mers est calculée pour l'ensemble des ports français. SONEL fournit des données de grande qualité obtenues à partir de marégraphes pour calculer les niveaux relatifs de la mer, et à partir de techniques modernes de géodésie pour déterminer les déplacements verticaux et les niveaux absolus de la mer.

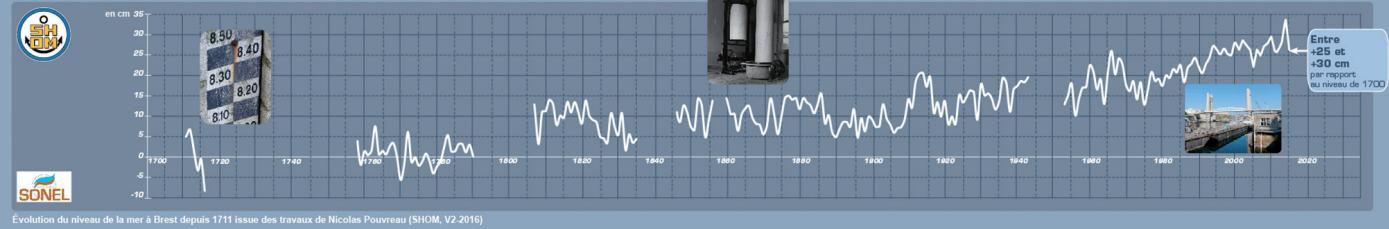
Partout dans le monde, l'observation du niveau de la mer représente une donnée quantifiable des effets du changement climatique en étant l'un des indicateurs physico-chimiques utilisés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

L'observation régulière des hauteurs d'eau, notamment lors des épisodes de tempête, est une information irremplaçable pour l'analyse des niveaux extrêmes et des phénomènes de submersions marines qui sont une autre manifestation des changements en cours. En temps réel, la prévision de ces phénomènes est primordiale pour les centres d'alertes aux tsunamis ainsi que pour la vigilance météorologique aux submersions marines. Il est aussi possible de calculer la période de retour des événements extrêmes pour les besoins des politiques de prévention comme le Plan submersions rapides qui couvre les risques d'inondation par submersions marines, crues soudaines ou ruissellements localisés et ruptures de digues.

Ainsi, le dispositif en place pour l'observation et la diffusion de l'information sur les hauteurs d'eau est essentiel pour comprendre, analyser et prévenir les manifestations du réchauffement climatique potentiellement parmi les plus dévastatrices pour les zones basses en lien direct avec la mer, que ce soit à moyen terme par le processus lent de l'élévation du niveau moyen, ou lors de violents phénomènes météorologiques.

Les observations des hauteurs d'eau en temps réel, issues des marégraphes gérés par le SHOM et ses partenaires (coordination REFMAR), sont accessibles sur le portail data.shom.fr.

300 ans d'observations du niveau de la mer à Brest



Évolution du niveau de la mer à Brest depuis 1711 issue des travaux de Nicolas Pouvreau (SHOM, V2-2016)



ocean-climate.org

À QUOI NOUS SERT L'OCÉAN ?

LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES MARINS ET CÔTIERS.....	P.10
L'OCÉAN, PUITS DE CARBONE.....	P.11
PÊCHE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	P.12
L'OCÉAN PROFOND: UN ACTEUR DU CLIMAT ET DES ÉCOSYSTÈMES À PROTÉGER.....	P.14

La définition des mots signalés par un astérisque se trouvent en dernière page dans Le petit dico de la POC.



LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES (SE) MARINS ET CÔTIERS

Notre environnement est constitué d'une multitude d'écosystèmes qui fournissent chaque jour de nombreux services. On appelle écosystème un complexe dynamique composé de multiples plantes, animaux, micro-organismes et leur environnement non vivant qui interagissent ensemble. Les interactions au sein d'un écosystème fournissent des services très variés: les poissons constituent la première source de protéines pour un milliard de personnes à travers le monde, les forêts absorbent une grande quantité des rejets de gaz à effet de serre, etc. Le concept de SE consiste donc à identifier et quantifier toutes ces interactions bénéfiques aux populations humaines. Un exemple très connu est celui de la pollinisation par les abeilles: en butinant les fleurs, elles transportent les grains de pollen d'une plante à une autre et participent à la fécondation des végétaux.

Mais les SE ne sont pas limités au milieu terrestre. Au contraire, l'océan joue un rôle prépondérant dans la régulation du climat. Des études ont montré que les mers absorbent près du tiers du dioxyde de carbone émis chaque année. En outre, les écosystèmes marins et côtiers abritent de nombreuses espèces animales et végétales qui rendent à l'homme de nombreux services. Par exemple, les mangroves retiennent le sol friable des côtes et empêchent l'érosion du littoral. Rempart naturel face aux courants, elles constituent également un habitat privilégié pour la naissance de nombreuses espèces de poissons et permettent d'assurer le renouvellement des populations. Les baleines, quant à elles, rejettent dans leurs excréments une quantité élevée de fer, qui est un nutriment essentiel dans le processus de photosynthèse. Or le niveau de fer présent dans l'océan a un impact direct sur le développement du phytoplancton, base de la chaîne alimentaire qui engendre la captation de carbone...

L'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA) a défini quatre types de services écosystémiques. Les écosystèmes marins et côtiers produisent donc des services multiples, tels que:

- des services d'approvisionnement: pêches, matériaux de construction;
- des services de soutien: maintien du cycle de vie pour la faune et la flore, cycle des éléments et des nutriments;
- des services de régulation: séquestration et stockage du carbone, prévention de l'érosion, traitement des eaux usées, modération des phénomènes météorologiques extrêmes;
- des services culturels: tourisme, loisirs, bénéfices esthétiques et spirituels.

La valeur totale des SE marins et côtiers est évaluée à plus de 20 900 milliards de dollars par an. Cette somme est considérable et dépasse le PIB des États-Unis (2015). Mais la qualité de ces services dépend de la résilience et de la protection des écosystèmes. Lorsqu'un écosystème est dégradé, il fournit moins de services. Par exemple, les herbiers de posidonie sont de vastes étendues de plantes sous-marines présentes dans la mer Méditerranée. Ces plantes sont très vulnérables à l'activité humaine. L'urbanisation croissante des côtes, et l'augmentation du nombre de bateaux dont les ancrages arrachent les plants, détruisent petit à petit ces habitats naturels. Or ces herbiers sont cruciaux pour lutter contre l'érosion du trait de côte. De plus, les herbiers constituent un habitat privilégié pour les jeunes poissons, en leur fournissant une protection contre les prédateurs. Leur destruction réduit le nombre de poissons, ce qui a un impact négatif pour les pêcheurs et les amateurs de plongée sous-marine.

Par ailleurs, les écosystèmes, tant marins que côtiers, offrent des perspectives enrichissantes et souvent méconnues. Les services culturels sont souvent négligés dans la prise en compte de la valeur de l'océan car difficiles à évaluer. Si l'on sait à quel point la pêche est une activité économique de premier ordre dans bon nombre de pays, on oublie parfois combien la mer est un espace culturel important. Du tourisme balnéaire aux arts plastiques, en passant par la navigation, la mer est un lieu de détente et d'inspiration. Elle peut également être vecteur de croissance économique, notamment dans le cadre des biotechnologies, qui développent des produits à partir de principes biologiques observés dans la nature. Par exemple, l'analyse du poison de certains coquillages a permis d'isoler la ziconotide, un analgésique désormais utilisé en médecine. Or l'océan reste encore relativement peu étudié. De nombreuses autres applications utiles à l'homme pourraient encore être trouvées.

Pour que les écosystèmes continuent à fournir autant de services, il faut préserver ces écosystèmes, c'est-à-dire protéger la biodiversité et réduire à un niveau minimal les impacts de l'homme sur leur fonctionnement. Protéger la biodiversité marine, c'est donc protéger le climat et par là même protéger les êtres humains.



L'OCÉAN, PUITS DE CARBONE (1/2)

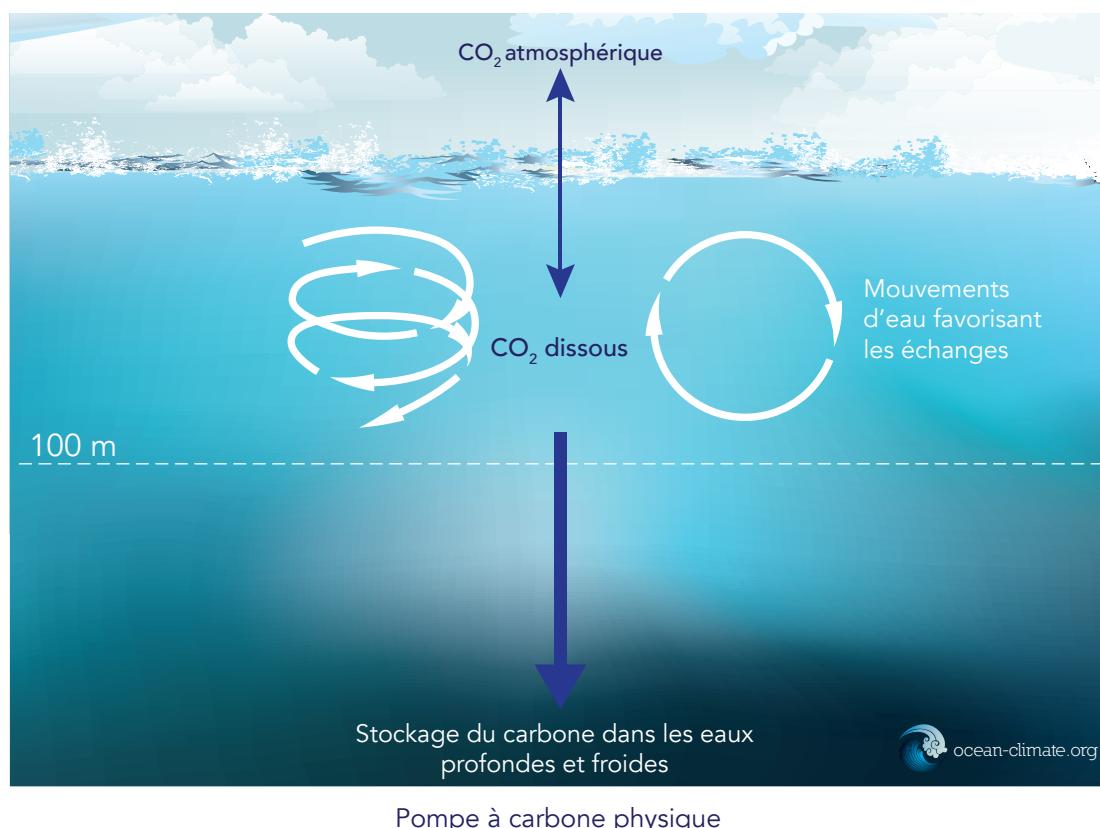
Un puits de carbone est un réservoir naturel ou artificiel qui absorbe et stocke le carbone de l'atmosphère, grâce à des mécanismes physiques et biologiques. Le charbon, le pétrole, les gaz naturels, les hydrates de méthane et les roches calcaires sont autant d'exemples de puits de carbone. À la suite de processus très longs, et sous certaines conditions, ces puits ont pu stocker du carbone depuis des millénaires. A contrario, l'utilisation de ces ressources, qualifiées de fossiles, réinjecte le carbone qu'ils contiennent dans l'atmosphère. Aujourd'hui, d'autres puits de carbone entrent en jeu: les sols qui accumulent de l'humus (comme les tourbières), certains milieux en voie de végétalisation (comme les forêts en formation) et bien sûr certains processus biologiques et physiques qui se passent en milieu marin.

Ce sont ces derniers qui forment la « pompe à carbone océanique », aujourd'hui bien connue. Elle se compose de deux compartiments: d'une part une pompe biologique* qui transfère le carbone de la surface vers les fonds marins via la chaîne alimentaire (il y est alors stocké à long terme) et, d'autre part, la pompe physique* qui elle, découle de la circulation océanique. Aux pôles, l'eau plus dense coule vers les profondeurs, entraînant le carbone dissout avec elle. C'est dans les hautes latitudes en effet, que l'eau se charge plus facilement en CO₂ car la dissolution du CO₂ atmosphérique y est facilitée par la température moins élevée (d'où l'importance des régions polaires dans le cycle du carbone). Il est difficile de déterminer quelle quantité de carbone est stockée par ces mécanismes, mais on estime que l'océan concentre 50 fois plus de carbone que l'atmosphère. Pour certains scientifiques, la haute mer et sa colonne d'eau serait le plus grand puits de carbone de la

planète, mais son avenir à grande échelle est encore inconnu, d'autant plus qu'avec l'acidification des océans, ce processus pourrait devenir moins efficace car il y aura moins de carbonates* disponibles.

Quand on parle de stockage de carbone, la notion de temps est essentielle. La pompe biologique répond vite aux perturbations. Elle peut donc se déséquilibrer jusqu'à rééquilibrer du carbone dans l'atmosphère. La pompe physique, quant à elle, agit sur une autre échelle de temps. Les perturbations l'affectent plus difficilement mais pour plus longtemps. Une fois la machine en marche, il sera difficile de l'arrêter. Le carbone emmené vers le fond, par la circulation océanique, est temporairement soustrait du cycle de surface, mais ce processus est mal quantifié. Par ailleurs, après un voyage de plusieurs centaines d'années, qu'adviendra-t-il de ce carbone lors de la remontée de ces eaux à la surface ?

La pompe biologique est donc la plus facile à mesurer. Elle repose sur la bonne santé des écosystèmes. En haute mer par exemple, l'écosystème planctonique est un acteur majeur. Tout ce qui est matière organique et qui tombe sur le fond participe





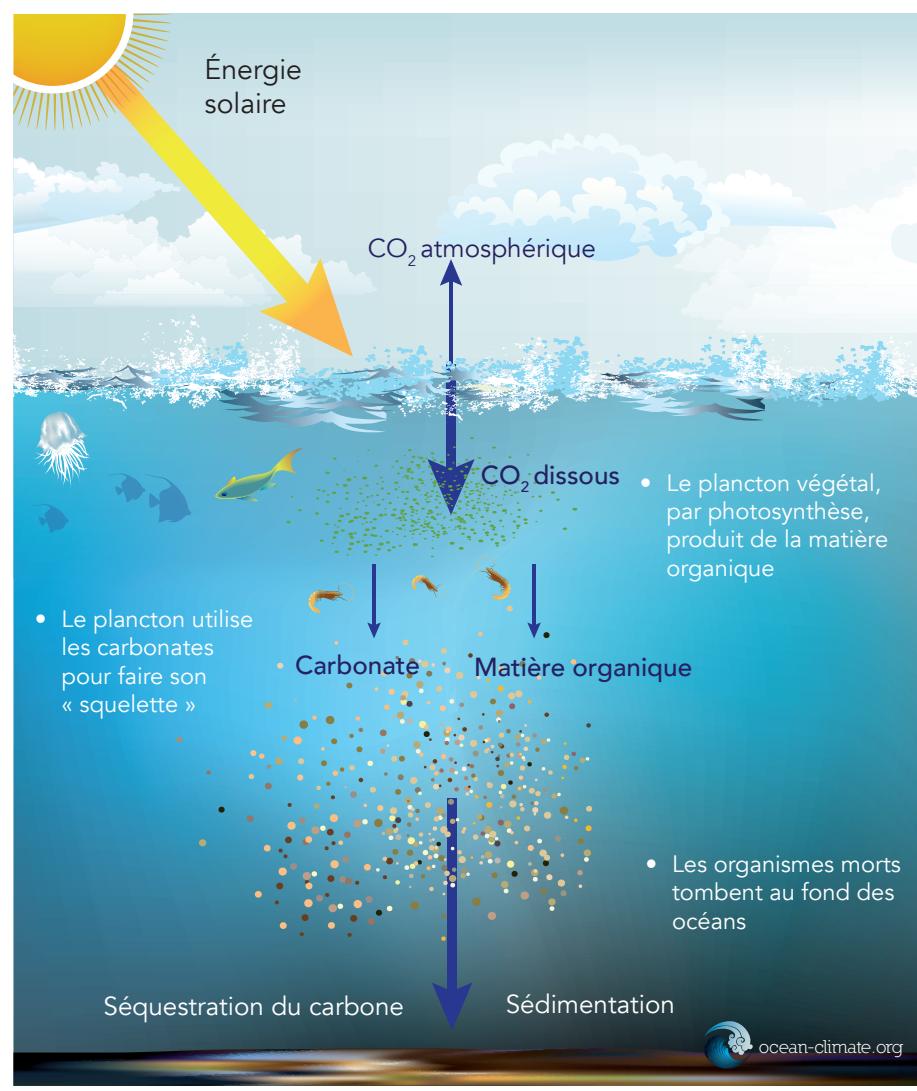
L'OCÉAN, PUITS DE CARBONE (2/2)

à la pompe biologique et, quand les conditions le permettent, à la formation du pétrole. Les organismes calcaires comme les coccolithophorides, algues unicellulaires microscopiques participent aussi à soustraire le carbone du cycle naturel. Quand elles meurent, elles génèrent un flux net vertical de carbone. Ce carbone peut alors être stocké dans les profondeurs sur de longues périodes géologiques. Ces processus peuvent laisser des traces. Par exemple, les falaises de craies ne sont rien d'autre que l'accumulation de coccolithes (plaques calcaires recouvrant ces micro-algues) au fond des océans, qui se sont retrouvées plus tard en surface des continents, suite à des mouvements géologiques.

Les écosystèmes côtiers en bonne santé jouent déjà un rôle d'atténuation* face au changement climatique, notamment en captant du carbone pour leur développement. Par exemple, les mangroves, les herbiers et les marais salants sont d'importants puits de carbone. Ces trois derniers exemples stockent environ dix fois plus de carbone que les forêts continentales pour une même surface et pour une même période. Les coraux constructeurs de récifs deviennent puits de carbone quand ils se développent en emprisonnant du carbone dans leurs squelettes calcaires. Cependant ces écosystèmes côtiers couvrent peu de surface à l'échelle de la planète. De plus, ce sont des écosystèmes déjà fragilisés par l'urbanisation des côtes et les activités économiques littorales. La restauration de ces écosystèmes reste une priorité pour améliorer le stockage du carbone libéré en trop grande quantité dans l'atmosphère et nécessite des politiques ambitieuses.

Afin de lutter contre le changement climatique, des techniques de géo-ingénierie* sont étudiées pour stocker artificiellement du CO₂ dans le puits de carbone océanique mais inquiètent la communauté scientifique car on n'a actuellement aucune idée des conséquences

négatives d'éventuels déséquilibres ainsi induits. Cependant, la notion de puits de carbone est très controversée. Le cycle du carbone est complexe, d'autant plus qu'il est associé à des cycles d'autres éléments qui favorisent le réchauffement climatique. Ainsi, stocker du CO₂ libère aussi de la vapeur d'eau qui joue un rôle dans l'effet de serre. Par ailleurs, à cause de l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre, la température de l'eau et son acidité sont en train de changer. Cela modifie les équilibres physico-chimiques et biologiques et risque d'affecter la pompe océanique. Toutes ces données devraient nous inciter à réfléchir au devenir des écosystèmes marins. Ces incertitudes devraient nous inciter à appliquer le principe de précaution et à protéger les écosystèmes marins.





PÊCHE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

De nombreux travaux scientifiques démontrent que les conséquences du changement climatique sur l'océan affectent déjà la pêche maritime. Des espèces tropicales apparaissent sur nos côtes, tandis que plusieurs espèces d'eau froide sont moins abondantes. Dans les décennies qui viennent le réchauffement et l'acidification de l'océan risquent de nuire à la croissance et à la reproduction de nombreux organismes marins, réduisant les stocks disponibles pour de nombreuses espèces commerciales importantes. Par exemple, les coquillages (huîtres, moules...) sont particulièrement sensibles à l'acidification. De même, certaines prévisions font état d'une disparition quasi totale des écosystèmes coralliens dans les zones tropicales à l'horizon 2050, écosystèmes pourtant essentiels pour l'économie des petites îles et l'alimentation humaine. Le changement climatique va également impacter les communautés bactériennes et phyto-planctoniques, qui sont centrales dans la chaîne alimentaire marine. Ainsi, si nous continuons à émettre des gaz à effet de serre au rythme actuel, les changements attendus avant la fin du siècle, en matière de biodiversité marine, pourraient être d'une ampleur comparable à ceux intervenus au cours des 20 ou 30 millions d'années qui nous ont précédés.

À l'échelle mondiale, les modèles* aujourd'hui disponibles prévoient des modifications très significatives de la production primaire* des océans, qui est à la base de la majorité des chaînes alimentaires. La productivité globale des océans devrait augmenter dans les régions polaires, mais diminuer de manière importante en zone intertropicale, ce qui affectera les pêcheries. À proximité des pôles, les captures de poissons pourraient augmenter de 30 à 70 %, favorisant des pays comme la Norvège, l'Islande, la Russie ou l'État de l'Alaska. En zone intertropicale au contraire, les captures pourraient diminuer de 10 à 40 %, avec des répercussions considérables pour des pays proches, fortement dépendants de la pêche, comme le Pérou, l'Angola, le Bangladesh, l'Inde, le Vietnam ou l'Indonésie. Les prédictions concernant l'Afrique sont plus incertaines, mais plusieurs études scientifiques prévoient une véritable crise des pêches, aggravant les inégalités politiques et économiques nord-sud. Les impacts en Europe devraient être relativement limités, légèrement positifs pour les pays du nord, et négatifs pour ceux du sud.

En réponse aux modifications des conditions de vie dans

l'océan, les modèles* prévoient un déplacement vers les pôles de la plupart des espèces exploitées. D'ici 2050, ces déplacements se chiffrent en centaines de kilomètres. Ce changement devrait notamment favoriser les espèces à vie courte, plus abondantes dans les eaux tropicales, avec des répercussions sur le fonctionnement des écosystèmes qui sont encore mal connues. Ainsi, les espèces capturées ne seront en partie plus les mêmes à l'échelle mondiale. C'est particulièrement le cas dans les régions tempérées, où l'arrivée des espèces à affinité tropicale devrait s'accélérer, alors que d'autres espèces de poissons européens seront comme repoussées vers le nord. C'est par exemple le cas de la morue, dont le stock de mer du Nord est déjà en régression, alors que le stock de la mer de Barents, plus au nord, se développe.

Les pêcheurs devront s'adapter aux conséquences du changement climatique sur les stocks de poissons et leur répartition géographique, en changeant de modes d'exploitation, parfois d'engins, de calendriers et de zones de pêche. Les politiques publiques de gestion, de contrôle et de gouvernance devront également être repensées, pour que les efforts entrepris pour reconstituer les stocks de poissons depuis plusieurs dizaines d'années ne soient pas remis en cause. Un exemple de mauvaise gestion est celui de la morue du golfe du Maine, dont le stock s'est récemment effondré parce que les quotas de pêche* avaient été déterminés sans tenir compte du réchauffement climatique. Il va donc falloir apprendre à évoluer en permanence, et cette adaptation aura un coût et ne se fera pas sans difficultés.

Limiter les émissions de CO₂ est donc un enjeu majeur, pas seulement pour atténuer les changements en cours, mais aussi pour en réduire la vitesse et donner une (petite ?) chance aux écosystèmes de s'adapter. À l'inverse, des évolutions trop rapides rendraient plus difficiles, voire largement inefficaces, tous les processus d'adaptation que mettent en place les humains, pour eux-mêmes et pour les écosystèmes. Des évolutions chaotiques et des situations de crises exacerbées seraient alors à prévoir, en particulier pour le monde de la pêche.



L'OCÉAN PROFOND : UN ACTEUR DU CLIMAT ET DES ÉCOSYSTÈMES À PROTÉGER (1/2)

La profondeur des océans est en moyenne de 4000 mètres. 200 mètres sous la surface seulement, la lumière du soleil disparaît et il règne dans cet « océan profond » de fortes pressions et des températures beaucoup plus stables qu'en surface. Dans ces conditions la vie existe et nous découvrons un peu plus chaque jour sa diversité, sa fragilité et les services essentiels qu'elle rend à l'ensemble de la planète.

En stockant une large part du CO₂ émis par les activités humaines et en absorbant la chaleur accumulée par effet de serre, l'océan ralentit le réchauffement des eaux de surface et des terres émergées. C'est grâce à cette immense masse d'eau que les modifications du climat sont encore « supportables ».

De plus, les écosystèmes des grands fonds jouent un rôle majeur dans le stockage durable du carbone, absorbé par le phytoplancton et les plantes terrestres. Les micro-organismes y servent aussi de filtre au méthane formé par cette matière fossilisée. En utilisant comme énergie le méthane, ils transforment ce gaz à effet de serre plus puissant que le CO₂ en minéraux l'empêchant ainsi de remonter à la surface.

Les organismes des profondeurs océaniques sont très dépendants de ce qui se passe dans l'atmosphère et à la surface des océans. Ils dépendent largement de particules issues de la photosynthèse. La neige marine, cette pluie de matière organique qui tombe de la surface y est bien souvent la base de la chaîne alimentaire. Les eaux de surface apportent aussi leur oxygène aux abysses, lorsqu'elles plongent en profondeur au niveau des pôles.

Ainsi les modifications qui se produisent en surface, comme l'appauvrissement en oxygène ou la diminution du phytoplancton, ont des conséquences sur la vie dans les grands fonds et peuvent affecter le fonctionnement des écosystèmes. On observe déjà des changements significatifs dans les apports de nourritures à plusieurs milliers de mètres de profondeur. S'agit-il d'événements « naturels » ou des premiers signes de perturbations de l'ensemble de la colonne d'eau de la surface aux plaines abyssales ? Les séries d'observations d'à peine 15 à 25 ans sont encore trop courtes pour conclure, mais elles confirment que la biodiversité en profondeur change très vite dès que les ressources disponibles sont modifiées.

Ces écosystèmes sont donc tributaires des changements qui se déroulent actuellement sur toute la planète. Paral-

lèlement aux modifications du climat, l'exploitation des ressources (minérales, hydrocarbures, pêche) s'étend vers les grandes profondeurs et apporte aussi son lot de perturbations de ces milieux fragiles.

Un point mérite une attention particulière. Lorsque les eaux de surface sont plus chaudes, elles se mélangent moins bien avec les eaux profondes. En réduisant la « ventilation » des profondeurs, le réchauffement réduit encore les faibles teneurs en oxygène des eaux dites « intermédiaires » (quelques centaines de mètres de profondeur) sur de larges régions de l'océan tropical. Dans les régions très productives du nord de l'océan Indien, de la côte ouest des États-Unis ou encore du Pérou, du Chili ou de Namibie, des observations montrent que les eaux privées d'oxygène s'étendent et réduisent largement les espaces habitables pour certaines espèces, comme les thons, au profit d'autres espèces comme les calamars qui en proliférant peuvent affecter tout l'écosystème.

D'autres modifications plus subtiles peuvent avoir des conséquences radicales sur les écosystèmes. L'augmentation de la température de l'eau, même d'un dixième de degré tous les 10 ans dans certaines régions polaires, permet à certains crabes prédateurs d'étendre leur territoire et de décimer des espèces protégées jusqu'alors par des eaux très froides (-1,5 °C).

Dans d'autres régions, ce sont les effets de l'acidification des eaux, ayant absorbé de grandes quantités de CO₂, qui font craindre une dégradation de l'état des récifs coralliens profonds, dont dépendent de nombreuses espèces de poissons et de crustacés. Les études en laboratoire montrent que la combinaison de ce phénomène avec la désoxygénéation des eaux comme dans le Golfe du Mexique, où avec le réchauffement d'eaux profondes déjà inhabituellement chaudes comme en Méditerranée, est particulièrement critique.

La rapidité avec laquelle la biodiversité profonde réagit aux changements appelle à prendre en compte sans tar-



L'OCÉAN PROFOND : UN ACTEUR DU CLIMAT ET DES ÉCOSYSTÈMES À PROTÉGER (2/2)

der ces risques pour ne pas compromettre la capacité d'atténuation des perturbations climatiques par l'océan et bien d'autres services assurés par la biodiversité des fonds océaniques.

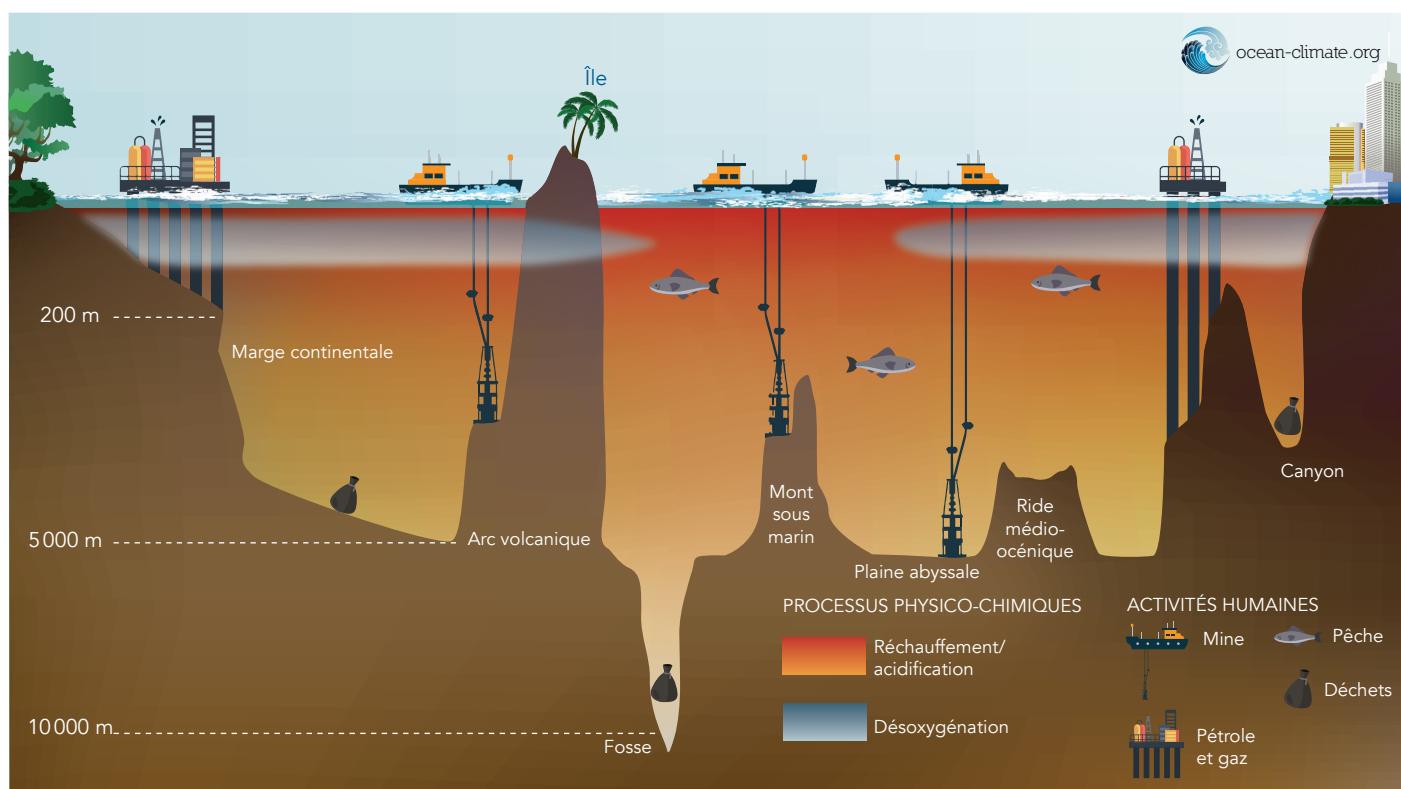
La première étape sera de reconnaître, explicitement, le rôle de l'océan profond dans l'atténuation du changement climatique, la sensibilité particulière des espèces profondes et les effets qu'elles pourraient exercer sur la surface des océans ou l'atmosphère. La régulation des excès de CO₂ et de chaleur a un coût pour les organismes des grandes profondeurs qui peut avoir des conséquences irréversibles à très court terme.

Un effort partagé sera indispensable pour développer la connaissance et les outils nécessaires à une protection efficace des écosystèmes les plus vulnérables. L'écologie des grands fonds reste une science jeune. Il y a à peine 150 ans, les scientifiques excluaient que la vie marine soit possible à plus de 500 mètres de profondeur. Depuis, chaque exploration apporte de nouvelles preuves de l'extraordinaire diversité du vivant dans l'océan et de la capacité des espèces à vivre dans des conditions excep-

tionnelles (de température, d'oxygénéation, d'acidité, de pression, etc.). Reste à savoir si cette capacité d'adaptation suffira pour répondre aux perturbations induites par le changement climatique ? Cependant, nous devons reconnaître que nous n'avons aujourd'hui qu'une vision très limitée de la déstabilisation de ces écosystèmes prédictée par les scénarios d'émission de gaz à effets de serre.

Dans ce contexte, les Aires marines protégées sont précieuses, en particulier lorsqu'elles s'étendent au large et qu'elles intègrent des écosystèmes remarquables, comme ceux des canyons ou des monts sous-marins, qui assurent des fonctions importantes en interaction avec les écosystèmes de surface. En protégeant et en permettant un suivi à long terme de ces « hotspots » de biodiversité, elles sont aussi des laboratoires naturels pour mieux comprendre les effets du changement climatique sur ces écosystèmes et leurs conséquences.

Anticiper les vulnérabilités et définir des mesures de protection efficaces est un enjeu crucial, alors que les nombreuses urgences climatiques tendent à laisser de côté ce patrimoine exceptionnel mais qui reste ignoré.





ocean-climate.org

PERSPECTIVES

LES CONSÉQUENCES À (PLUS) LONG TERME DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....P.17



LES CONSÉQUENCES À (PLUS) LONG TERME DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La majeure partie du débat politique concernant les mesures d'atténuation* et d'adaptation* à prendre face aux changements climatiques s'appuie sur des données récoltées sur les 150 dernières années, par exemple des mesures de température. Sont aussi utilisées les projections climatiques pour les 85 prochaines années, à l'horizon 2100. Parallèlement aux conséquences du changement climatique à moyen terme sur notre planète, des scientifiques établissent des scénarios pour élargir notre champ de vision au-delà de l'horizon 2100 et envisager les scénarios du futur. Ces études fournissent des informations cruciales pour éclairer le destin de long terme du climat de la Terre et le débat public sur les mesures à prendre.

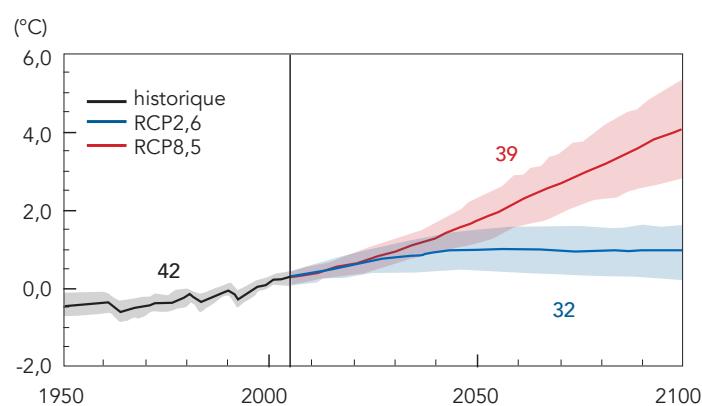
L'étude basée sur des simulations numériques considère 4 scénarios d'émissions totales de carbone émis dans l'atmosphère. Elle démontre que même si nous utilisons environ 15 % des ressources existantes, des modifications très conséquentes de notre environnement sont à prévoir: une forte probabilité de dépasser la limite des +2 °C inscrite dans l'Accord de Paris et une hausse globale du niveau de la mer d'une dizaine de mètres. Dans ce scénario d'émissions réduites, la population habitant en 2010 des terres ultérieurement submergées par la future montée des eaux est de 1,3 milliard. Ce scénario nous laisse émettre encore 1,5 fois la quantité totale de CO₂ émise depuis le début de la révolution industrielle ce qui, au rythme actuel d'émission, prendrait environ 70 ans, après quoi toute émission devrait cesser.

Le scénario le plus pessimiste, l'utilisation de 70 à 90 % des ressources existantes, conduirait à une hausse de température dépassant très probablement 5 °C pendant plus de 10000 ans. Parallèlement, il faudrait s'attendre à une hausse du niveau global de la mer de 2 à 4 mètres par siècle durant le prochain millénaire. La mer finirait par dépasser son niveau actuel de 25 à 50 m.

L'ensemble de ces résultats vient confirmer l'importance d'une action efficace pour laisser enfouie une part aussi grande que possible du combustible fossile disponible. À l'inverse, se contenter de réduire, même de manière importante, les taux d'émission ne résout rien sur la longue durée.

Pour bien comprendre ces effets de long terme de nos émissions actuelles, il faut prendre en considération deux facteurs: 1) une grande partie du CO₂ anthropique que nous émettons reste actif dans l'atmosphère pendant des temps très longs; 2) le système climatique terrestre possède une inertie très grande (essentiellement due à l'océan) de telle sorte que, lorsqu'il est perturbé, il met de nombreux millénaires à s'ajuster, par exemple en température.

Il en résulte que les générations actuelles et celles de nos enfants ne subiront qu'une petite part des conséquences des émissions actuelles de CO₂ anthropique. La majeure partie de ces conséquences sera subie par les descendants de nos enfants pendant des centaines de générations. Les auteurs invitent donc à une présentation des risques climatiques qui ne se limite pas aux 85 prochaines années afin que les décisions prises et les débats publics qui les accompagnent intègrent les conséquences de très long terme des émissions actuelles.



Évolution de la température moyenne de la température selon les scénarios d'émissions (GIEC)



PETIT DICO DE LA POC

ADAPTATION. Mesures individuelles ou collectives visant à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains en adoptant des pratiques qui permettront de faire face aux changements climatiques.

ATTÉNUATION. Toute action de stabilisation des concentrations des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui empêche des conséquences irrémédiables pour la survie des écosystèmes et de l'homme.

CARBONATES. L'ion carbonate (CO_3^{2-}) qui contient du carbone s'associe à d'autres éléments comme le calcium. Le carbonate de calcium est le constituant principal des coquilles de nombreux organismes. La formation et la stabilité du carbonate de calcium dépendent de la disponibilité des ions calcium et de l'acidité de l'eau. En milieu acide, le carbonate de calcium se transforme en bicarbonate de calcium très soluble dans l'eau.

GÉO-INGÉNIERIE. Ensemble des techniques qui visent à manipuler et modifier le climat et l'environnement de la Terre.

MODÈLE. Représentation idéalisée/conceptualisée d'un phénomène naturel permettant de le comprendre ou de le prédire. Les modèles climatiques couplent des représentations de l'atmosphère, de l'océan, des glaces de mer, des processus biogéochimiques... Pour être validés, les modèles sont testés avec des données connues. Ensuite, on leur injecte des valeurs différentes pour obtenir des résultats prévisionnels à différentes échelles de temps.

POMPE BIOLOGIQUE. Extraction du carbone du milieu physique dans lequel il se trouve par des processus biologiques. Tout ce qui est matière organique et qui tombe sur le fond des océans participe à la pompe biologique.

POMPE PHYSIQUE. Processus de dissolution du CO_2 qui est fonction de la température de l'eau. Plus l'eau est froide, plus le CO_2 se dissout, d'où l'importance des régions polaires dans le cycle du carbone.

PRODUCTION PRIMAIRE. Production de matière vivante, très généralement liée à la fixation du carbone atmosphérique par les plantes lors du processus de photosynthèse. Dans l'océan cette production est majoritairement due aux micro-algues du phytoplancton.

QUOTAS DE PÊCHE. Dans la plupart des pays industrialisés, et notamment en Europe, des quotas de pêche sont fixés chaque année, pour chacun des grands stocks exploités, afin de limiter le prélèvement et donc la pression de pêche exercée sur la ressource. Longtemps inefficaces en Europe (parce que fixés bien au-dessus des recommandations des scientifiques), ces quotas de pêche sont devenus progressivement plus contraignants et constituent aujourd'hui l'outil principal de la politique de gestion commune des pêches.