

# Eclairage scientifique

## L'océan, vital mais fragile

Cycles 1, 2, 3 et 4

### Résumé

Depuis l'Antiquité, les civilisations humaines ont vite compris le potentiel de l'océan : dompté pour naviguer et explorer, il fournit également le poisson. La nacre et le corail sont devenus bijoux. Du pétrole (transporté par voie maritime... et même parfois extrait sous le plancher océanique), dévolu jadis au calfatage des navires, l'industrie a tiré des carburants, du plastique, du textile... Les algues sont utilisées pour leurs vertus pharmaceutiques, les biomatériaux utilisent la chitine des coquillages pour la chirurgie plastique...

Mais l'expansion exponentielle des activités humaines ne se fait pas sans conséquences : changement climatique, épuisement des ressources, surpêche, pollution...

Cependant, les mentalités évoluent. Alors que les pêcheries dépérissent, l'aquaculture est en plein essor. Les énergies renouvelables sont à l'étude : marémotrice, éolienne, hydrolienne... La découverte du « 7e continent » a montré l'ampleur des déchets et sensibilisé l'opinion publique. L'océan est précieux, mais fragile.

# L'océan, vital mais fragile

Depuis l'Antiquité, les civilisations humaines ont vite compris le potentiel de l'océan: dompté pour naviguer et explorer, il fournit également le poisson. La nacre et le corail sont devenus bijoux. Du pétrole (transporté par voie maritime... et même parfois extrait sous le plancher océanique), dévolu jadis au calfatage des navires, l'industrie a tiré des carburants, du plastique, du textile... Les algues sont utilisées pour leurs vertus pharmaceutiques, les biomatériaux utilisent la chitine des coquillages pour la chirurgie plastique...

Mais l'expansion exponentielle des activités humaines ne se fait pas sans conséquences: changement climatique, épuisement des ressources, surpêche, pollution...

Cependant, les mentalités évoluent. Alors que les pêcheries dépérissent, l'aquaculture est en plein essor. Les énergies renouvelables sont à l'étude: marémotrice, éolienne, hydrolienne... La découverte du «7<sup>e</sup> continent» a montré l'ampleur des déchets et sensibilisé l'opinion publique. L'océan est précieux, mais fragile.

## L'océan, source de nourriture

Avant l'ère industrielle, la fécondité des poissons était telle qu'il était impensable que l'action humaine pût avoir le moindre impact. Dans *L'Histoire naturelle des animaux* (1756), Arnault de Nobleville et Salerne décrivent l'abondance des harengs en termes imagés: «On peut dire que leur nombre est véritablement infini, c'est-à-dire qu'il surpasse tous les nombres connus.» La situation actuelle contraste amèrement avec cette perception. Les années 50 ont marqué le début de la croissance effrénée de l'activité de pêche: elle passe en 20 ans de 18 à 56 millions de tonnes de prises par an. Mais dans les années 70 et 80, l'accroissement annuel chute à 2%, puis cesse dès les années 90. Pourquoi, alors que le nombre de bateaux et leur efficacité ne cessent d'augmenter? Parce que les ressources se raréfient! Selon les Nations unies (FAO 2012), 87% des populations de poissons de la planète sont désormais pleinement exploités, voire surexploités.

L'exploitation humaine impacte bien évidemment les populations de poissons ciblées par les pêcheurs: les poissons à haute valeur commerciale sont les plus gros et les plus carnivores, mais leur longévité est incompatible avec la cadence de pêche. L'espèce doit s'adapter en arrivant à maturité sexuelle bien plus rapidement, et ses individus sont de plus en plus malingres. L'écosystème dépendant des cibles pêchées se

trouve également bouleversé (cf. p. 21). Par exemple, à cause de la surpêche du thon rouge du Pacifique, les méduses foisonnent, au détriment de leurs concurrents directs, les petits poissons pélagiques.

L'impact humain peut être encore plus radical. La pêche au chalut est particulièrement dévastatrice, car des centaines d'espèces collatérales sont pêchées, puis rejetées, mortes, à la mer. Chaque année, des milliers de dauphins, phoques, tortues périssent dans les filets. Citons également la pollution ou les déchets plastiques qui peuvent empoisonner les grands prédateurs (bioaccumulation de plomb, mercure, nickel...), ou le rejet des engrais dans les fleuves: bien que cela favorise la croissance du phytoplancton, en l'absence de prédateurs celui-ci s'accumule et se décompose, dégradant la qualité de l'eau (comme dans le golfe du Mexique ou la mer de Chine).

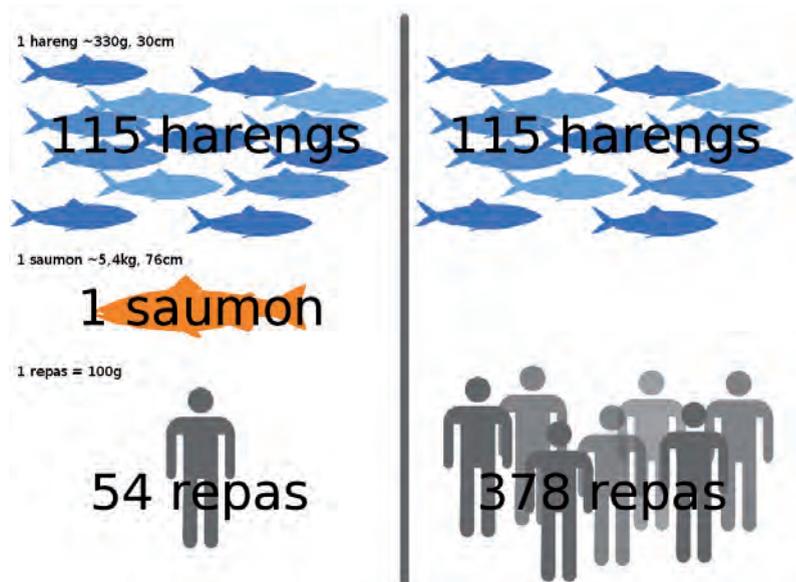
Enfin, il existe des effets saisonniers sur les ressources halieutiques, effets que le changement climatique ne manquera pas d'accentuer. (De surcroît, si les espèces deviennent plus petites à cause de la surpêche, elles seront d'autant plus sensibles aux variations climatiques.) À l'équateur, les alizés brassent la mer en profondeur, ramenant à la surface des eaux chargées en sels minéraux, ce qui nourrit le phytoplancton. À cause d'El Niño, tous les 2 à 7 ans, les alizés faiblissent et diminuent cet apport surfacique en sels minéraux, ce qui raréfie la chaîne trophique jusqu'à diminuer drastiquement les produits de la pêche. Aux latitudes tempérées, c'est l'alternance des saisons qui favorise l'efflorescence planctonique: en hiver, l'eau de surface est plus froide que l'eau des profondeurs, donc plus dense, et enclenche une circulation locale qui remonte les sels minéraux. Puis en été l'ensoleillement réchauffe la surface des eaux, stoppe cette circulation et favorise la photosynthèse planctonique. À cause du changement climatique, il est à craindre que la stratification des eaux tempérées se fige même en hiver. Un autre écosystème phytoplanctonique se formerait, au détriment des prédateurs que nous connaissons.

Le dioxyde de carbone, un des acteurs du réchauffement planétaire, aura également d'autres impacts, comme l'acidification des eaux (cf. 1.9). L'océan n'est pas acide (son pH moyen était plutôt de 8,2 ces derniers millions d'années), mais il s'acidifie (pH de 8.0). Ceci influence directement la calcification de certaines espèces (ptéropodes, coraux, etc.). L'acidification aura également un effet inattendu: l'océan sera plus bruyant! Un océan acide propagera mieux le son, ce qui perturbera les cétacés et toutes les espèces dépendantes de l'écholocation.

Les conséquences économiques de ces bouleversements sont prévisibles. Aujourd'hui, 2,6 milliards d'individus vivent de la pêche (de façon alimentaire ou professionnelle). Le poisson est la denrée alimentaire la plus échangée au niveau mondial (40% des captures sont exportées). L'Europe doit déjà importer 65% de sa consommation! Au niveau financier, la rentabilité des pêcheries suréquipées est problématique: leur coût de fonctionnement atteint 51 milliards de dollars, alors que le produit de la pêche ne se revend que 85 milliards

de dollars (source: Banque mondiale). Les subventions ne font que retarder l'inévitable. Certains chercheurs n'hésitent pas à dire que la pêche en milieu marin deviendra une activité récréative à l'aube de 2048, à l'instar de ce qu'est devenue la chasse en milieu terrestre il y a 2000 ans.

Il y a 2000 ans, donc, l'homme abandonnait la chasse pour se concentrer sur l'élevage. L'aquaculture est-elle une solution? En un demi-siècle, l'aquaculture (qui



était une activité anecdotique) est devenue comparable à la pêche pour ce qui est de sa contribution à la production alimentaire mondiale, en particulier en Asie. Mais ce n'est pas la panacée pour autant. L'aquaculture doit impérativement prendre en compte la santé des animaux aquatiques (maladies, fort taux de parasitisme), la qualité et l'innocuité des produits de l'aquaculture, la préservation de l'environnement (dégradation critique des habitats, introduction d'espèces, pollution). De plus, l'aquaculture est un très gros consommateur de ressources aquatiques : dans les pays riches, la production aquacole favorise les espèces à haute valeur commerciale, comme le saumon, les daurades, les bars, les thons rouges..., carnivores et nourries de petits poissons pélagiques (sardine, anchois, hareng, etc.); mais elles requièrent 3 à 10 fois plus de nourriture qu'elles ne produisent de biomasse. Autant de nourriture potentielle qui pourrait être dédiée à la consommation humaine. Ce type d'aquaculture ne peut raisonnablement pas subvenir aux besoins des régions les plus défavorisées.

Pour pallier les besoins grandissants et qui seront nécessaires à l'alimentation humaine, il faudra se résoudre à développer simultanément une aquaculture durable de poissons herbivores et gérer l'exploitation des ressources marines renouvelables de manière soutenable. Plusieurs pays (par exemple l'Australie, l'Afrique du Sud ou la Nouvelle-Zélande) ont déjà montré qu'une gestion écosystémique effective de leurs ressources marines permet aux pêches locales de maintenir les emplois tout en conservant l'état de santé et la productivité des océans.

## L'océan, source d'énergie

L'océan a longtemps été perçu comme un moyen de transport ou un réservoir de nourriture. Mais au xx<sup>e</sup> siècle, il est également devenu une source d'énergie.

La première énergie n'est pas exclusivement marine, car elle peut être récoltée sur les continents : le pétrole (et le gaz naturel). Le pétrole se présente sous la forme d'une huile minérale noirâtre, plus ou moins visqueuse, composée principalement d'hydrocarbures. Il s'agit des pyrolysats d'un dépôt de matière organique morte, piégée dans la roche. Il faut des millénaires pour transformer cette matière organique en hydrocarbures, légers (type méthane, gazeux) ou lourds (type bitume, huileux). Si parmi les sédiments se trouve une couche imperméable qui empêche les gaz et/ou les huiles de sourdre à la surface, alors le gisement peut être préservé sur des temps géologiques.

L'exploitation du pétrole sur les continents remonte à l'Antiquité, au Moyen-Orient en particulier. Il a connu un succès inégalé à l'ère industrielle : le calfatage des bateaux, le chauffage, l'éclairage, les carburants, la distillation, la pharmacie, les plastiques... Mais la demande toujours croissante a forcé les prospecteurs à entamer des gisements moins accessibles : dans les années 50, on construit dans le golfe du Mexique les premières plateformes offshore. Aujourd'hui, on peut exploiter les gisements pétrolifères à plus de 2500 m de profondeur.

L'exploitation des gisements pétrolifères océaniques souffre néanmoins de nombreux défauts. La menace des tempêtes est réelle, comme l'a démontré le naufrage de la plateforme Alexander-Kielland en 1980. La manipulation et le transport du pétrole ou du gaz sont également problématiques. En 1988, la plateforme Piper-Alpha explose, faisant 167 morts. En comparaison, l'explosion de Deepwater Horizon le 20 avril 2010 n'a fait que 11 morts, mais les conséquences furent tout autres : une marée noire de 780 000 tonnes de pétrole répandue dans le golfe du Mexique, et un désastre écologique sans précédent... Car une marée noire peut asphyxier un biotope marin ou côtier, empoisonner les animaux filtreurs, contaminer le réseau trophique, détruire les fonds marins et ruiner l'habitat des animaux... L'impact économique se mesure également à la contamination des produits de la pêche, la perte touristique et le coût du nettoyage. Outre les marées noires accidentelles liées aux supertankers (le *Torrey Canyon* en 1967, l'*Amoco Cadiz* en 1978, l'*Exxon Valdez* en 1989, l'*Erika* en 1999, le *Prestige* en 2002...), la simple pollution par les activités pétrolières déverse annuellement 3 millions de tonnes d'hydrocarbures dans les eaux. Enfin, le dégazage de dioxyde de carbone par l'utilisation de ce pétrole

est également un grand facteur du changement climatique actuel. Autant de raisons d'étudier d'autres sources d'énergie renouvelable.

Parmi les énergies renouvelables de l'océan, on peut différencier l'énergie des océans eux-mêmes et l'énergie de leur biomasse.

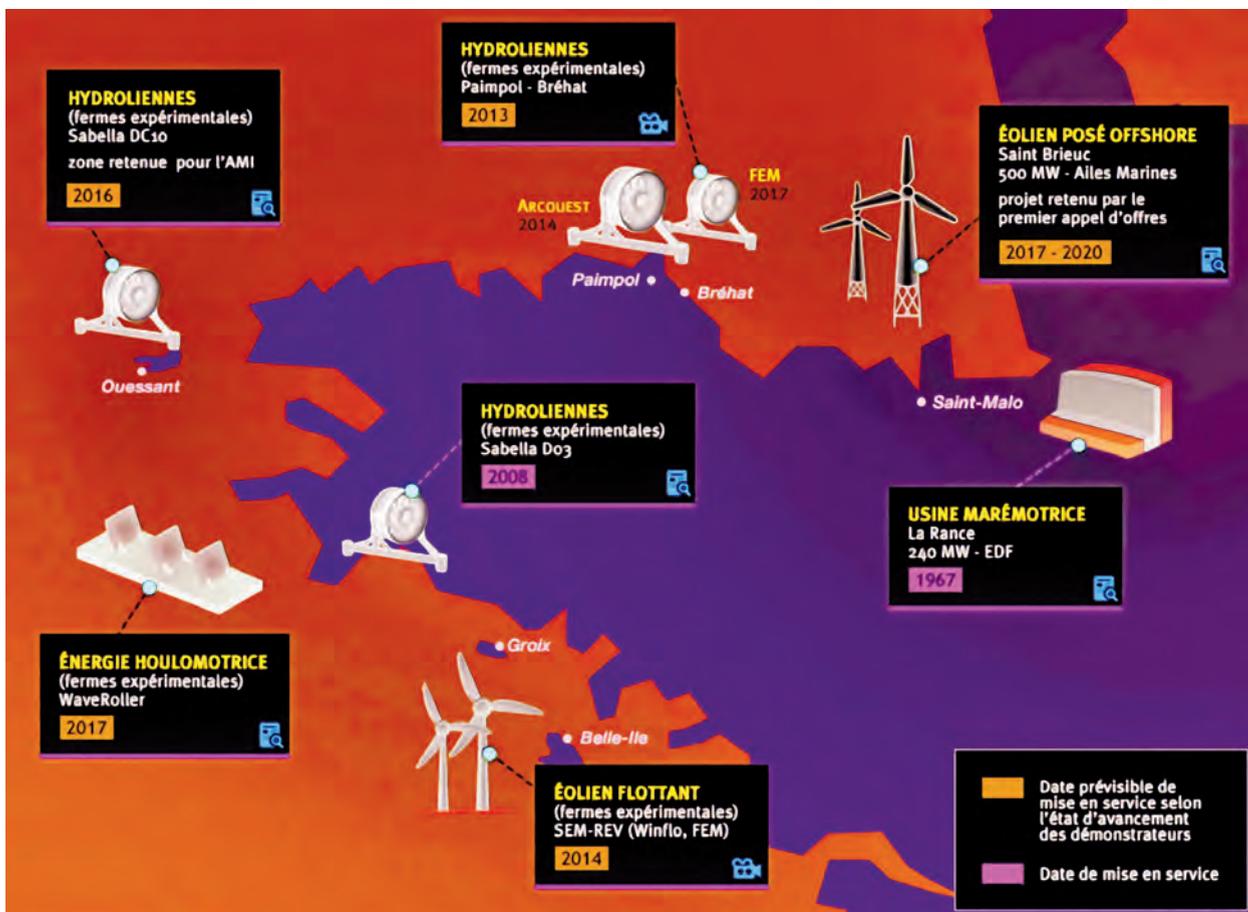
– En 1966 est inaugurée l'usine marémotrice de la Rance (qui est aujourd'hui encore une des plus puissantes du monde); elle remplit un barrage temporaire à marée montante, pour le vider ensuite à marée basse via des turbines.

– L'énergie houlomotrice utilise le mouvement régulier des vagues pour faire osciller verticalement des flotteurs, qui entraînent à leur tour l'arbre d'un alternateur. Si des centaines de brevets décrivent ce principe, rares en sont les applications à échelle industrielle.

– L'éolien offshore est bien plus efficace: au Royaume-Uni, leader dans ce domaine, les 175 éoliennes du London Array fournissent 0,8% de la production du pays, sur un parc représentant simplement 0,04% de la superficie du pays. Cependant, les contraintes techniques et de sécurité maritime sur ces pales de 60 m de longueur ralentissent la mise à l'échelle de ce système.

– Que se passerait-il si l'on plongeait une turbine dans l'eau pour profiter de la force du courant au lieu de la force du vent? Voilà le principe de l'hydrolienne, qui n'a pas besoin d'être aussi grande qu'une éolienne car l'eau est 800 fois plus dense que l'air. Attention cependant à l'érosion de l'hélice et à sa colonisation par des algues ou des organismes encroûtants (coquillages). Plusieurs projets sont en cours de construction au Royaume-Uni (déroit des Orcades), en France (raz Blanchart), en Norvège (Hammerfest Strøm)...

– Encore à l'étude, l'énergie thermique repose sur la différence de température de l'eau entre la surface et à 1 000 m de profondeur: on évapore (partiellement) un fluide de travail (ammoniacque, eau douce) dans les eaux chaudes de surface et on alimente une turbine avec ce gaz qu'on recondense grâce aux eaux froides de profondeur.



Les énergies renouvelables océaniques en Bretagne, en cours d'exploitation ou en projet

– L’osmose est le passage de molécules à travers une membrane qui sépare deux solutions de composition différente. Ici, la différence de salinité entre deux eaux permettrait le passage d’ions à travers une membrane. Le déplacement même de ces ions produirait de l’électricité.

Finissons notre tour d’horizon des énergies renouvelables par les énergies biologiques, en particulier l’utilisation des micro-algues. La simple combustion ou transformation chimique de la biomasse de ces algues, riches en lipides, permettrait de les utiliser comme biocarburant (à l’image du bois de chauffage). Mais on pourrait également les utiliser comme outils (à l’instar des levures) : la fermentation de ces micro-algues génère en effet du biogaz (du méthane à 70-80%), qui peut être brûlé dans une chaudière pour alimenter une turbine. Reste encore à sélectionner, parmi le million d’espèces d’algues, celles qui seront les plus efficaces pour optimiser le rendement de cette technique.

## Les océans, particulièrement touchés par le changement climatique

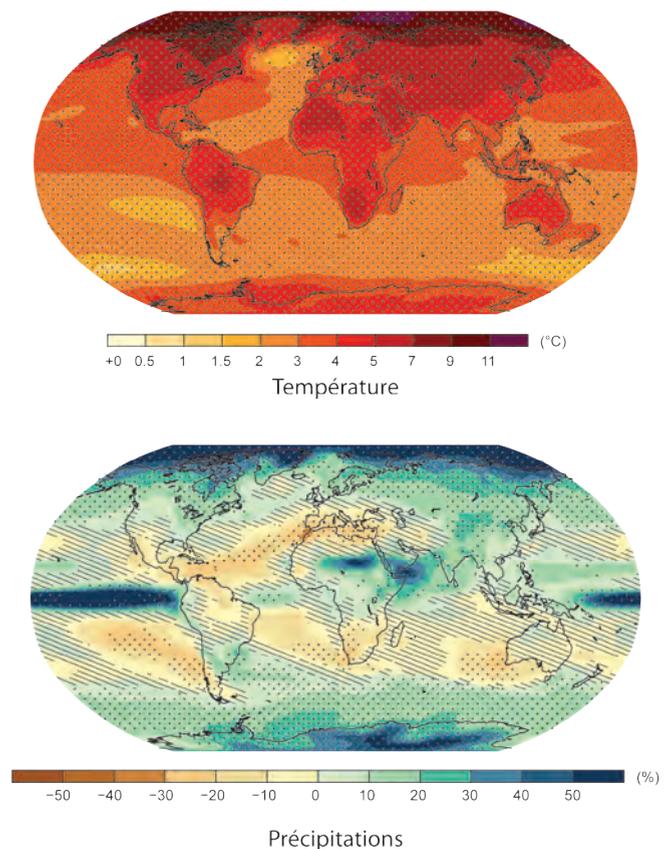
Si la question des énergies renouvelables se pose avec autant d’acuité, c’est à la fois pour des raisons économiques (les énergies fossiles et nucléaires reposent sur des stocks finis, sont amenées à voir leurs coûts augmenter et entraînent une forte dépendance économique et stratégique à l’égard des pays exportateurs) et environnementales (le changement climatique, pour l’essentiel). Les interactions entre l’océan et l’atmosphère font que, d’un côté, les océans jouent un rôle clé dans la régulation du climat global (nous l’avons vu page 16), et, de l’autre, sont particulièrement touchés par les conséquences du changement climatique : montée du niveau des mers, fonte de la banquise, acidification des eaux, chute de la biodiversité...

Le changement climatique est désormais un fait avéré et bien documenté. Il se manifeste principalement par une augmentation de la température globale. D’environ 1 °C depuis un siècle, cette élévation s’accélère et devrait atteindre entre 3 et 5 °C au cours du XXI<sup>e</sup> siècle selon les scénarios les plus probables.

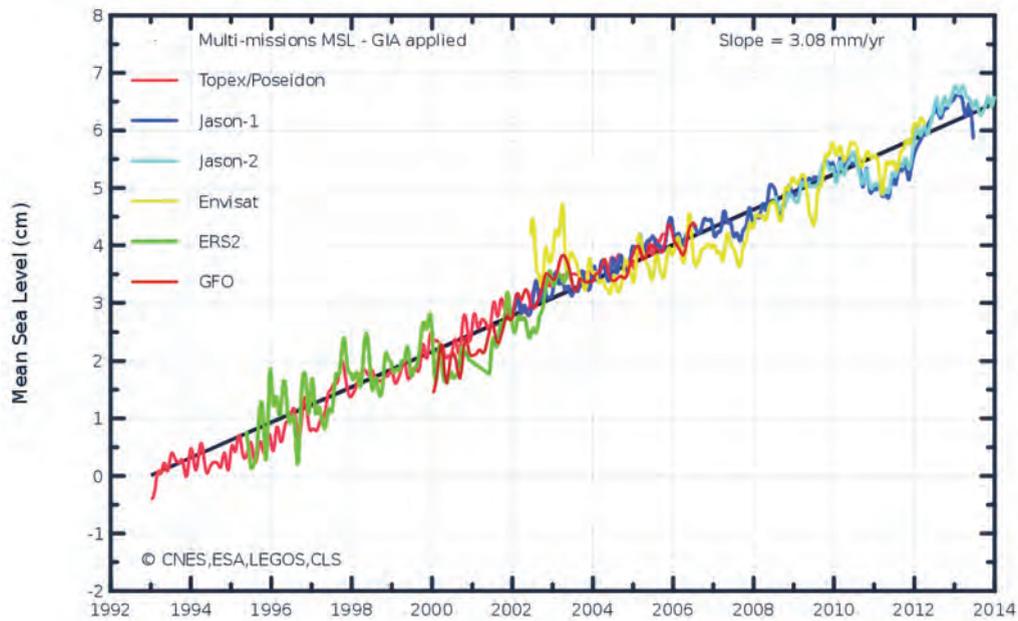
Le réchauffement n’est pas uniforme, comme le montre la première carte ci-dessous : il est plus prononcé dans l’hémisphère Nord que dans l’hémisphère Sud, et dans les terres que sur le littoral. On retrouve ici le rôle de l’inertie thermique des océans.

Le changement climatique entraîne également une redistribution des précipitations à l’échelle du globe, que l’on peut résumer en disant que les régions humides deviendront encore plus humides et les régions sèches encore plus arides. Ces différences tirent leurs origines dans le réchauffement des océans. Le réchauffement des océans de l’hémisphère Sud et de l’océan Indien, par exemple, ont modifié les grands courants atmosphériques et ont conduit aux grandes sécheresses que connaît le Sahel depuis les années 1970. Paradoxalement, ces grandes sécheresses alterneront, de plus en plus souvent, avec des épisodes de très forte pluie, car l’augmentation de la température et de l’humidité globale favorise les événements météorologiques extrêmes.

Comparaison des climats actuel et futur (2100) selon le scénario RCP 8.5 du GIEC 2013

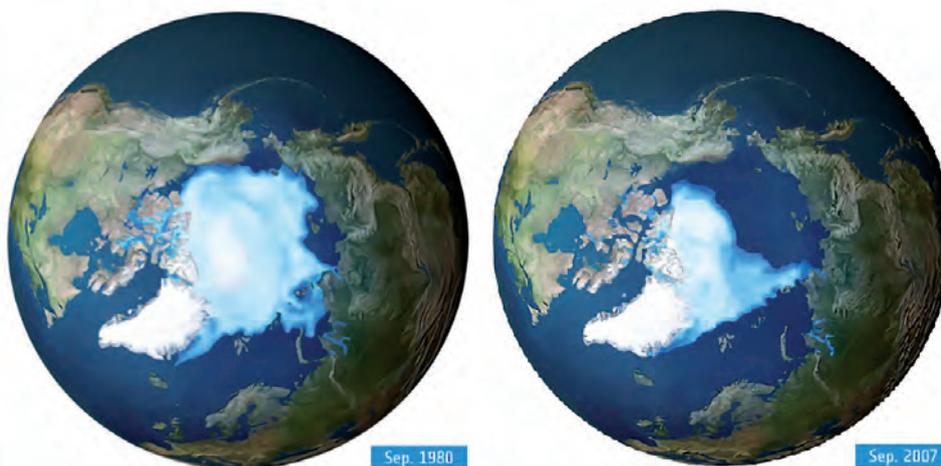


L'énergie thermique accumulée par les océans est largement supérieure à celle absorbée par le sol et l'atmosphère. Le réchauffement des océans devrait atteindre 1 à 2 °C sur les 100 premiers mètres de profondeur d'ici la fin du siècle, entraînant une augmentation de 50 cm à 82 cm du niveau des mers. Sur le long terme, cette augmentation devrait dépasser plusieurs mètres. Si cette augmentation s'est effectuée à une vitesse relativement lente au cours du xx<sup>e</sup> siècle (1,7 mm/an), elle s'est fortement accélérée ces vingt dernières années, atteignant 3,1 mm/an.



**Élévation du niveau moyen des océans (3,08 mm/an)** déterminée à partir des observations d'altimètres radars embarqués sur satellites

Deux phénomènes expliquent cette hausse du niveau des mers. D'une part, la dilatation thermique de l'eau qui, comme tous les corps, augmente de volume quand on la chauffe. D'autre part, la fonte des glaciers continentaux, qui déverse de grandes quantités d'eau dans la mer. Plus d'un milliard de personnes vivent dans les basses terres côtières : on s'attend donc à ce que l'augmentation du niveau des mers occasionne de grandes vagues de migrations de population.



Évolution de la surface de la banquise arctique

Les premiers réfugiés climatiques ont fait leur apparition en 2006 : 10 000 habitants de l'île de Lohachara, dans le golfe du Bengale, ont dû fuir leur île submergée par la montée des eaux et se réfugier sur une

île voisine, elle aussi menacée à terme... Nous renvoyons à la fiche documentaire de la page 76 et, surtout, à l'animation multimédia décrite page 233, pour plus de détails. La montée du niveau des mers va également entraîner une pollution par le sel de certaines réserves d'eau douce, dans un contexte où ces réserves tendent déjà à diminuer. L'eau douce pourrait bien devenir au XXI<sup>e</sup> siècle une ressource aussi convoitée que ne l'était le pétrole au XX<sup>e</sup> siècle. Il y a fort à parier que bon nombre des prochains conflits armés seront des « guerres de l'eau ».

En 40 ans, la superficie de la banquise arctique est passée de 26 à 19 millions de kilomètres carrés. Son épaisseur, qui ne se voit pas sur l'image ci-dessus, a diminué de moitié. Cette fonte s'avère bien plus rapide que ne le prévoient les modèles, et l'on pense aujourd'hui que la banquise arctique est amenée à disparaître entièrement, au moins l'été, d'ici 40 ans. Or, cette immense surface blanche agit comme un miroir en renvoyant 90% de la lumière du Soleil. Sans elle, l'océan Arctique, beaucoup plus sombre, absorbera cette lumière et se réchauffera en conséquence. La régression de la banquise (ainsi que des glaciers continentaux) accentue et accélère le réchauffement planétaire : c'est un cercle vicieux.

### **L'acidification des océans**

Les émissions de CO<sub>2</sub> contribuent, comme nous venons de le voir, au changement climatique, qui affecte fortement les océans. Mais ces émissions ont également une autre conséquence, indépendante du réchauffement : elles sont responsables de l'acidification des océans. Le dioxyde de carbone, en se dissolvant dans l'eau, augmente la concentration en ions H<sup>+</sup> (ce que mesure l'échelle de pH, qui est une échelle logarithmique : une solution à pH 6 est 10 fois plus acide qu'une solution à pH 7, elle-même 10 fois plus acide qu'une solution à pH 8, etc.) et diminue la concentration en ions carbonates CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, nécessaires à l'édification des coquilles ou squelettes calcaires de nombreux organismes.

Depuis la révolution industrielle, l'acidité des océans a augmenté de 30% (le pH est passé de 8,2 à 8, avec une accélération notable ces dernières années. En conséquence, de nombreuses espèces (dont les coraux) sont menacées, avec un impact direct et massif sur la biodiversité marine, mais aussi sur l'économie et la sécurité alimentaire humaine. Le coût global de cette acidification pourrait représenter 1 000 milliards de dollars par an d'ici la fin du siècle.

Réchauffement des océans, montée du niveau des mers, acidification, migration d'espèces invasives, disparition de la banquise, modification de certains grands courants marins : les conséquences du



▲ Récif corallien mort

◀ Récif corallien vivant, abritant une importante biodiversité

changement climatique sur les océans sont préoccupantes... d'autant plus qu'elles s'ajoutent à d'autres pressions humaines sur ces écosystèmes marins : surpêche, prolifération des déchets, pollutions, etc.

## Déchets et pollutions : le 7<sup>e</sup> continent

Pendant très longtemps, nous nous sommes représentés l'océan comme une étendue infinie, ou du moins suffisamment grande pour absorber toutes les pollutions versées par l'homme. Mais aujourd'hui nous savons que la santé globale des océans souffre de ces nombreux rejets : hydrocarbures, plastiques, métaux lourds, polluants chimiques (dont les nitrates)... 90 % des déchets, en mer, proviennent... des continents et surtout des grandes villes de notre civilisation industrialisée, acheminés notamment par les fleuves et les rivières.

10 à 20 millions de tonnes de déchets sont déversées annuellement dans les océans, dont une grande majorité de matières plastiques qui représentent la quasi-totalité des objets flottants en surface.

Si certains s'échouent sur les côtes, d'autres se trouvent pris dans les gyres océaniques (grands tourbillons). Entraînés sur des distances énormes, ils s'accumulent dans des zones reculées de la planète où ils s'amassent. C'est le cas dans l'océan Pacifique où a été découverte la « grande plaque de déchets du Pacifique » qui s'étendrait maintenant sur 3,43 millions de km<sup>2</sup>, soit cinq fois la superficie de la France. Il existe ainsi, sur tous les océans du globe, pas moins de sept « continents de plastique ».

Loin d'être une île d'ordures émergeant de l'océan, il s'agit plutôt d'une forte concentration de débris flottants : quelques gros déchets (bouteilles d'eau, sacs plastiques, autres emballages...), mais surtout des particules de moins de 5 mm, appelées microplastiques, formant une véritable « soupe » dont les propriétés et les risques sont étudiés par les scientifiques. Les animaux marins l'ingèrent et les polluants persistants se retrouvent, en bout de chaîne alimentaire, dans nos assiettes.

Les bactéries, ces êtres unicellulaires microscopiques, sont les seuls organismes capables de dégrader les plastiques dans le milieu marin. Certaines d'entre elles, cependant, pourraient être dangereuses pour l'homme. Deux interrogations se posent donc pour les scientifiques : les bactéries peuvent-elles représenter une source d'espoir pour la dégradation des plastiques en mer ? les bactéries pathogènes peuvent-elles représenter un danger sanitaire ?



Les amas du « continent de plastique » entourés d'algues flottent à la surface de l'océan

---

## Auteurs

Mathieu HIRTZIG, David WILGENBUS, Gabrielle ZIMMERMANN

**Cette ressource a été produite avec le soutien des éditions Le Pommier**

## Date de publication

2015

## Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



*Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.*

## Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75 006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

Site : [www.fondation-lamap.org](http://www.fondation-lamap.org)

