

Les super-pouvoirs de l'Océan

Les solutions
au changement climatique

Gilbert Barnabé



edp sciences

BARNABÉ



Les super-pouvoirs de l'Océan

Les solutions au changement climatique

Gilbert Barnabé

Les rejets de gaz carbonique (CO_2) dans l'air ont contribué à modifier le fonctionnement de l'atmosphère et engendré le dérèglement climatique qui nous oblige aujourd'hui à trouver des solutions pour en limiter les effets.

Or, les données de la Science montrent que les océans, qui absorbent déjà plus de la moitié du CO_2 , constituent à la fois le cœur du climat et le thermostat planétaire; ils peuvent ainsi jouer un rôle décisif dans la lutte contre le réchauffement climatique.

Les potentiels multiples de l'Océan permettent de déployer un faisceau de réponses concrètes, intégrées au fonctionnement naturel des eaux marines. Les solutions, aussi innovantes que bien souvent ignorées, sont exposées dans ce livre: elles supposent une réelle coopération entre l'espèce humaine et l'Océan, mais constituent surtout un portail d'accès à un futur durable.

Ce récit illustré, distrayant et accessible à tous présente une synthèse pluridisciplinaire précise, basée sur une mise à jour des dernières avancées scientifiques.

Plongeur et scientifique, Gilbert Barnabé est professeur honoraire d'écologie marine à la faculté des sciences de Montpellier. Inventeur de l'élevage du loup et de la daurade (300 000 tonnes par an), il est l'auteur ou le coordonnateur d'ouvrages de référence en aquaculture et écologie marine traduits en plusieurs langues.

978-2-7598-3523-2



9 782759 835232

Les super-pouvoirs de l'Océan

Les super-pouvoirs de l'Océan

Gilbert Barnabé

 **edp sciences**

17, avenue du Hoggar – P.A. de Courtabœuf
BP 112, 91944 Les Ulis Cedex A

Remerciements

On doit à France Citrini, éditrice aux Éditions EDP Sciences, l'idée de cet ouvrage. Qu'elle en soit grandement remerciée : sans elle, il n'aurait jamais vu le jour. Il faut y associer l'équipe d'EDP Sciences, de Sophie Hosotte à Isabelle Garric sans oublier Aurélie Lorot dont la minutie et l'expertise ont permis bien des corrections et rectifications du texte initial. Grand merci à vous toutes pour votre aide !

Tous les travaux cités dans le texte, toutes les figures ou graphiques repris ou adaptés ont constitué les éléments de base de cet essai ; ces scientifiques en sont donc les coauteurs et ils doivent être remerciés à ce titre.

Illustration de couverture :

Laurence Barnabé Richard, *Dans le bleu de l'océan* – Série 3,
Encres et feutres à alcool - Papier Narapaper 48 x 34 cm

Imprimé en France

ISBN (papier) : 978-2-7598-3523-2

ISBN (ebook) : 978-2-7598-3524-9

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2024



Sommaire

1. État des lieux	13
Le changement climatique	13
D'autres menaces, tout aussi inquiétantes	14
Les données de la géologie et de l'histoire	15
Les bouleversements engendrés par l'homme moderne	17
Un manque d'informations accessibles	19
L'intrication climat-océan demande une approche globale	21
Les menaces d'une incertitude angoissante	21
L'alerte : les limites de la planète sont dépassées	22
La transition énergétique contre le développement économique	24
Conclusions : l'Océan devient la seule solution	25
2. Le monde des océans et des mers	29
Le vaste monde des eaux marines	29
L'eau de mer, quel mélange !	31
Température et densité de l'eau : imbriquées et primordiales	34
L'immense inertie thermique de l'océan	35
Interactions entre l'atmosphère et les gaz dissous dans l'eau	36

Les vagues, les vents, le mélange.....	37
L'importance de la couche limite océan-atmosphère.....	38
L'eau mélangée de surface (couche de mélange).....	40
La stratification des eaux en profondeur et la thermocline.....	40
Les courants en mer.....	42
L'eau douce en mer.....	46
La glace en mer ou cryosphère.....	46
Conclusions : océans et mers, des eaux en mouvement...	46
3. Atmosphère, Océan, changement climatique.....	49
Le rayonnement solaire, base de toute vie sur terre.....	49
Redistribution de chaleur dans l'atmosphère et l'Océan ..	50
Le grand réservoir de froid océanique et son origine.....	51
Océan et atmosphère, transports atmosphériques.....	52
Température de l'air et teneur en CO ₂ évoluent de pair.....	54
Les gaz à effet de serre et leur accumulation.....	54
Températures des terres et mers.....	58
Le niveau des mers augmente très lentement.....	59
Les océans deviennent plus acides.....	60
Prévisions climatiques, controverse et incertitude.....	60
Les faits : accroissement de la température et du CO ₂	62
Conclusions.....	63
4. La vie dans l'immensité océane.....	65
Une vie petite et diluée dans l'immensité.....	65
Le plancton photosynthétiseur à l'origine de la vie aquatique.....	66
La photosynthèse et la stratification des eaux.....	69
Photosynthèse dans les eaux agitées.....	71
La neige marine, les plus fortes chutes sur terre.....	73
Microbes de pleine eau et boucle microbienne.....	74

Le plancton animal, mangeur de microalgues et de microbes.....	75
Le zooplancton proie des poissons... jusqu'aux baleines....	77
La fixation du CO ₂ par le plancton ou pompe à carbone...	80
Les matières plastiques : polluant et leurre mortel.....	82
La vie sur le fond : corail, macroalgues, herbiers	83
Conclusion : le rôle climatique crucial de l'océan.....	84
5. La vie marine, ravagée par la pêche	87
Valeur vitale et économique quasi infinie de l'océan	87
Les insolubles problèmes des pêches	89
La conservation illusoire de l'Océan face à la surpêche.....	95
Les bénéfiques des vraies aires marines protégées	97
Le nouveau traité pour la protection de la haute mer	98
Conservation partielle des pêches par l'aquaculture	98
Conclusions : le potentiel de l'Océan pour sauver le climat.....	99
6. La terrifiante menace des pollutions humaines en mer.....	101
Les apports d'eaux continentales polluées en mer.....	102
Les rejets d'émissaires en mer	108
Quelques grandes pollutions typiques des océans	109
Des îlots de plastique au large, peuplés d'espèces côtières	114
Conclusions : des menaces vitales à maîtriser	116
7. Production-épuration, le miracle sapé par les pollutions	119
Auto-organisation et auto-épuration naturelle des eaux... 119	
Systèmes aquatiques épurateurs et productifs	121
Production et épuration dans les eaux littorales	124
La culture des microalgues	126
Microalgues, Épuration et double fixation du CO ₂	129
Un processus d'épuration-production à haute intensité ..	131

Du fer pour absorber le CO ₂ de l'air et refroidir le climat ...	132
Les limites de l'épuration, contraintes par les pollutions ...	133
Conclusion : la révolution climatique des océans.....	134
8. Les macroalgues, solution alimentaire et climatique	137
Une révolution imminente	137
Diminution du CO ₂ et de l'acidité des océans	139
La culture des principales macroalgues	140
Les macroalgues envahissantes	142
Conclusion : la capacité d'inverser le changement climatique	143
9. La révolution des écloséries et de l'aquaculture ...	145
Fécondité et survie naturelle des espèces marines	145
Obtention de juvéniles dans l'aquaculture traditionnelle ..	146
L'éclosérie, origine de l'aquaculture marine	148
Les potentialités nouvelles des océans	150
Conclusion : une révolution planétaire incontournable ..	153
10. Les filtres de fond, épurateurs et capteurs de CO₂	155
Les substrats durs : des fonds vivants en mer	155
La consommation du plancton végétal par les filtres... ..	156
Une vie pauvre sur les fonds meubles agités	158
Les moules, huîtres et autres filtres d'écosystèmes	159
Décontamination biologique des eaux côtières (bioremédiation).....	160
L'exploitation des populations naturelles par la pêche.....	161
La conchyliculture et ses multiples écosystèmes aménagés	162
Les cultures en suspension en mer ouverte	163
Des fonds vivants très productifs	166
L'aquaculture multitrophique ou intégrée, l'aquaponie ..	167
Capture du CO ₂ atmosphérique	167

Conclusions : filtration, substrat, alimentation, puits à CO ₂	168
11. Récifs artificiels, substrats durs, fonds vivants	171
Les substrats durs : des fonds vivants en mer	171
Les récifs artificiels et leurs matériaux	171
Les divers types et utilisations des récifs artificiels.....	173
Le rôle d'habitat artificiel des brise-lames, jetées, épis	176
Fonctionnement des ra : un effet alimentaire prouvé.....	177
Création de récifs par précipitation électrochimique	177
Les récifs artificiels dans le monde.....	178
Les dispositifs de concentration de poissons ou DCP	179
Conclusions : des arches de Noé, sauf en Europe.....	183
12. Mise en mouvement et fertilisation des eaux : l'autre révolution bleue	185
La circulation de l'eau dépend de la météo, imprévisible ...	185
Les eaux océaniques profondes et la « révolution bleue »..	186
Mise en mouvement des eaux : un faible coût énergétique.....	187
Les résurgences ou <i>upwellings</i> artificiels en mer	188
Conclusions : des solutions déjà disponibles.....	189
13. Les propositions de la géoingénierie atmosphérique	191
Éradiquer tout le CO ₂ atmosphérique : mission impossible !	191
Les objectifs de la géoingénierie atmosphérique.....	192
Les solutions naturelles pour lutter contre le CO ₂	195
Conclusions : des solutions déjà disponibles.....	196
14. Réhabiliter les eaux des plateaux continentaux, pour changer le climat	197
Des révolutions de proximité, sur des immensités.....	197
Installer des récifs artificiels, disséminés sur les fonds.....	198

L'immersion de vieux navires, pour de multiples valorisations	199
Des compléments aux implantations d'éoliennes.....	201
Déploiement de cultures de filtres.....	201
Transformer les fonds des plateaux en fonds vivants	202
Les cultures de macroalgues	203
Les capacités des écloséries pour repeupler les plateaux	204
Les élevages en mer, au large	205
La fixation de CO ₂ , pour limiter le changement climatique	206
Autres bénéfices rendus par l'implantation sur les plateaux.....	208
Tourisme, aquaculture, énergie sur les plateaux continentaux.....	209
Aspect économique : un transfert de financement	212
Conclusion : un manifeste climatique, écologique et économique	213
15. Réhabiliter les grands espaces océaniques	215
Le plus vaste espace de vie de la planète, surexploité.....	215
Des productions naturelles faibles, malgré l'immensité ..	216
L'importance des carences en fer, l'océan et le climat.....	218
De nombreux épandages de fer programmés	224
Les <i>upwellings</i> artificiels pour revitaliser les grands gyres	225
D'autres potentialités concernant 40 % de la planète.....	228
Des aspects économiques, financiers et... vitaux.....	229
Conclusions : une coupable inertie des acteurs impliqués	230
16. Les navires sentinelles des mers.....	233
Une présence humaine au large déjà bien établie.....	233
Les bateaux sentinelles au large pour réhabiliter l'Océan	235
La polyvalence : base et sentinelle en haute mer	239
Les navires itinérants pour enrichir les eaux en fer	246

Évaluation économique et financière de l'enrichissement en fer	247
Solutions : épandage de fer et remontées d'eaux profondes.....	247
17. Les énergies marines	249
La mer, source d'énergie	249
Les limites des énergies solaires et éoliennes	252
Conclusion.....	252
18. Conclusions générales	255
L'Océan détermine le climat qui permet la vie sur terre ..	255
Les capacités productrices titanesques de l'Océan	256
La valeur économique infinie de l'Océan	256
Beaucoup de résultats antérieurs à 2020 sont obsolètes ..	257
La confiscation de l'Océan par les corporations.....	257
Les capacités de la planète sont dépassées	258
Urgence climatique et duperie de la transition énergétique	259
Un manifeste d'intervention en huit propositions concrètes	259
Des solutions financières accessibles.....	262
Des actions obligatoires pour rendre le futur possible....	262
Glossaire	265
Bibliographie	273

1

État des lieux

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

De très nombreuses institutions autant que d'éminents scientifiques ont averti que les températures moyennes de l'atmosphère de notre planète augmentaient depuis le début de la période préindustrielle. L'année 2023 est la plus chaude jamais enregistrée dans l'histoire ; cette hausse progresse actuellement de 0,3 °C par décennie et, au niveau mondial, l'élévation globale de la température de l'atmosphère a atteint 1,46 °C. en 2023 par rapport à l'ère préindustrielle (1850-1900), devenue la période de référence, selon plusieurs sources. Dans le même laps de temps, la concentration en dioxyde de carbone (gaz carbonique ou CO₂) de l'air est passée de 280 parties par million (ppm*) en 1750 à 423 ppm. Cette accumulation aurait causé le changement climatique que l'on constate, car il s'agit d'un gaz qui retient dans l'atmosphère la chaleur du rayonnement solaire, une sorte de couverture chauffante : c'est l'effet de serre (chapitres 3, 5 et 6). Ce fait est maintenant admis par tous ; il ne se situe plus au centre des débats.

Ces variations devraient se poursuivre dans l'avenir, puisque l'excédent de gaz carbonique ou CO₂ émis dans l'at-

mosphère proviendrait pour 81 %, aujourd'hui comme en 1999, de notre consommation d'énergies fossiles (pétrole, charbon et gaz), et il s'accumule dans l'air ! Même si on réduit ces émissions, l'effet ne sera pas la réduction de la température, mais le ralentissement de ce réchauffement, une différence fondamentale : pour abaisser les températures, il faut éliminer ce CO₂ de l'atmosphère, mais personne n'a dit comment !

La météorologie concerne l'étude des vents, des pluies, de la température, etc., à court terme, tandis que selon la définition de l'Intergovernmental Panel on Climate Change l'IPCC¹ (appellation internationale) ou GIEC² en français, le changement climatique désigne tout changement sur 30 ans au moins, du système climatique, quelle que soit son origine.

D'AUTRES MENACES, TOUT AUSSI INQUIÉTANTES

L'envolée des températures et du CO₂ atmosphérique a été accompagnée d'autres phénomènes : les mers se sont acidifiées et menacent de submerger les côtes, les matières plastiques envahissent les océans déjà pollués par les produits chimiques, tandis que la surpêche en mer diminue la biodiversité* en affectant aussi le changement climatique !

Les alertes se sont multipliées depuis 2020. En janvier 2020, à Davos, les décideurs mondiaux ont classé l'inaction climatique au 1^{er} rang des dangers pour l'humanité et l'Assemblée nationale française a voté le 27 juin 2020, l'article 1^{er} du projet de loi énergie et climat, en décrétant « l'urgence écologique et climatique ».

1. Les chiffres en exposant renvoient à la bibliographie en fin d'ouvrage et les astérisques au glossaire.

Les décideurs politiques s'appuient sur les modélisations de l'IPCC, des calculs compliqués censés représenter le climat de notre futur. Ces multiples prévisions nous menacent d'un avenir brûlant, bien que les données climatiques observées depuis 1990 diffèrent de ces annonces, par bonheur largement surestimées ; l'intelligence artificielle (IA) serait plus précise.

Que nous disent les événements passés sur ces sujets ?

LES DONNÉES DE LA GÉOLOGIE ET DE L'HISTOIRE

Il y a 56 millions d'années, le maximum de chaleur du Paléocène-Eocène fut l'exemple le plus important de réchauffement climatique causé par d'intenses éruptions volcaniques qui propulsèrent dans les océans et dans l'air des quantités époustouflantes de CO₂. Sa concentration dépassa 5 fois la teneur actuelle dans l'atmosphère et augmenta l'acidité des mers (révélé par les modifications des compositions des coquilles³). Des alligators peuplaient l'Arctique et des palmiers l'Antarctique ! Aujourd'hui, nous injectons pourtant le CO₂ dans l'atmosphère à un rythme 20 fois plus rapide que lors de telles éruptions⁴ !

La plus récente teneur en CO₂ dépassant les 400 ppm remonte à 23 millions d'années, soit le Miocène, selon de nouvelles méthodes d'analyses⁵. Or ce CO₂ persiste pendant des siècles dans l'atmosphère et l'Océan !

Depuis la naissance de l'homme, les soubresauts de notre planète et de l'astre solaire ont infligé bien des désastres à nos ancêtres, des glaciations aux tsunamis, des tremblements de terre aux inondations répétées qui engendrent les épidémies, jusqu'au volcanisme qui assombrit durablement le ciel et génère famines ou séche-

resses. Ils ont vécu et survécu sous ces menaces naturelles. Jamais pourtant l'humanité n'avait causé ces fléaux : elle les subissait ! Ces événements ponctuels, égrenés de loin en loin au fil des siècles, laissaient revenir la normalité de la nature dans l'intervalle, faisant oublier le pire, puisque rien n'était écrit.

Dans le passé, les chasseurs-cueilleurs européens se sont terrés en Espagne pour échapper à la dernière période glaciaire recouvrant de glaces notre continent, qui a débuté il y a 115 000 ans et s'est terminée il y a 11 700 ans. Les analyses génétiques d'ADN ont montré que ces humains réfugiés dans la péninsule ibérique ont repeuplé l'Europe occidentale après la fin de cette glaciation⁶.

Plus près de nous, selon historiens et vulcanologues, l'année 536 fut la pire de toutes : les éruptions obscurcirent le ciel pendant 18 mois, refroidissant l'atmosphère de plus de 2 °C, ce qui déclencha la plus glaciale décennie de ces 2 500 dernières années, répandant les pandémies telles que la grande peste justinienne de 541-543. Les disparitions des empires romains et mayas en seraient la conséquence ! Une période de mortalité et de déclin s'installa sur l'Europe pendant un siècle⁷. Autour de 1350, l'épidémie de peste noire fit environ 25 millions de morts sur le continent européen, soit la moitié de la population de l'époque ! Le climat aurait joué le rôle d'élément déclencheur.

La teneur en CO₂ de l'atmosphère est pourtant restée stable depuis des milliers d'années, jusqu'à la révolution industrielle (1850-1900), l'absorption par les végétaux compensant les émissions des êtres vivants, des volcans et des autres sources naturelles.

LES BOULEVERSEMENTS ENGENDRÉS PAR L'HOMME MODERNE

Changement climatique et acidification des mers

En 150 ans, l'impact de la civilisation humaine a donc bouleversé l'évolution de notre planète. Les progrès de la science et de la technique ont ouvert l'accès aux réserves d'énergie, restes d'anciens végétaux ou d'ancien plancton*, stockés pendant les ères géologiques dans les profondeurs du sol. Déterrées sous forme de pétrole, de charbon, de gaz, nous usons de ce pactole pour nous transporter, nous chauffer, construire nos maisons ; chaque année, nous dépensons ce que la planète a mis un million d'années à emmagasiner : les activités humaines émettent ainsi en continu 1 200 tonnes de CO₂ par seconde ! Depuis 1900, la consommation d'énergie de l'humanité a été multipliée par près de 30 et, depuis 1850, par plus de 150 !

En une quarantaine d'années, la couche superficielle des eaux marines, devenue trop chaude, a tué et blanchi une partie des coraux, pour la 4^e fois, en avril 2024 selon la NOAA. Le niveau des mers, à peu près stationnaire depuis la fin de la dernière glaciation, augmente lentement et menace de submersion plaines basses et villes littorales.

L'eau constitue l'un des meilleurs accumulateurs de chaleur connus et fait de l'Océan, de par son immense volume et ses courants, le volant d'inertie thermique, le thermostat et le cœur régulant et animant le climat terrestre : 90 % de la chaleur excédentaire émise dans l'atmosphère par l'humanité depuis la révolution industrielle y ont été absorbés⁸. Sans l'Océan, la température de l'atmosphère serait trop élevée pour la vie et la surface de la Terre serait complètement grillée !

Les échanges de CO₂ entre air et mer ont aussi conduit à une augmentation de l'acidification des eaux marines au cours du XX^e siècle, avec des effets sur la formation des coquilles d'espèces marines, atteintes d'une sorte d'ostéoporose. Ce changement est 10 à 100 fois plus rapide qu'au cours des 50 millions d'années passées⁹. Avec un nouveau record en mars 2024, les douze derniers mois ont été les plus chauds jamais enregistrés avec 1,58 °C de plus que la période de référence 1850-1900. Ce n'est donc pas une catastrophe naturelle classique et réversible qui a commencé, mais un changement climatique et écologique d'une intensité et d'une rapidité inconnue au cours des temps géologiques : les niveaux actuels de CO₂ et d'acidification des mers, autrefois atteints en des millions d'années, l'ont été en un siècle, avec bien d'autres fléaux humains !

La surpêche, les plastiques et autres pollutions des mers

On sait, depuis peu, que l'impact biogéochimique de la pêche sur le CO₂ et le climat est comparable au changement climatique induit par l'homme (chapitre 5) !

Concernant la pollution, la « Grande zone poubelle » ou « Continent de plastique » allant des îlots de bouées et filets de pêche à la soupe microscopique de plastiques qui occupe tout le centre de l'océan Pacifique, a été très médiatisée, bien qu'il en existe dans tous les océans. Les pollutions bactériennes, virales ou chimiques, plus toxiques, restent diluées et invisibles. Comme l'a dit depuis longtemps Lavoisier, l'eau de mer résulte du lavage de toute la Terre (et ajoutons de l'humanité). Tout individu présente des traces de méthyl-mercure, un poison, dans ses tissus¹⁰. Il ne constitue que l'une des dizaines de milliers de substances nocives dissoutes en mer ; on en dénombre bien d'autres, retrouvées jusque dans les cheveux des députés écologistes européens.

- 302 Newman R., Noy I (2023). The global costs of extreme weather that are attributable to climate change. *Nat Commun*, 14: 6103 (20 https://www.nature.com/articles/s41467-023-41888-1?utm_campaign=climat_ece&utm_source=email&utm_medium=push_info_231126&codespec=7013V0000005hiM#citeas)
- 303 Emerson D, Michaud AB, Stephen D. Archer S D, *et al.* (2024). A cost model for ocean iron fertilization as a means of carbon dioxide removal that compares ship- and aerial-based delivery, and estimates verification costs. *Under review at "Earth's Future"*

