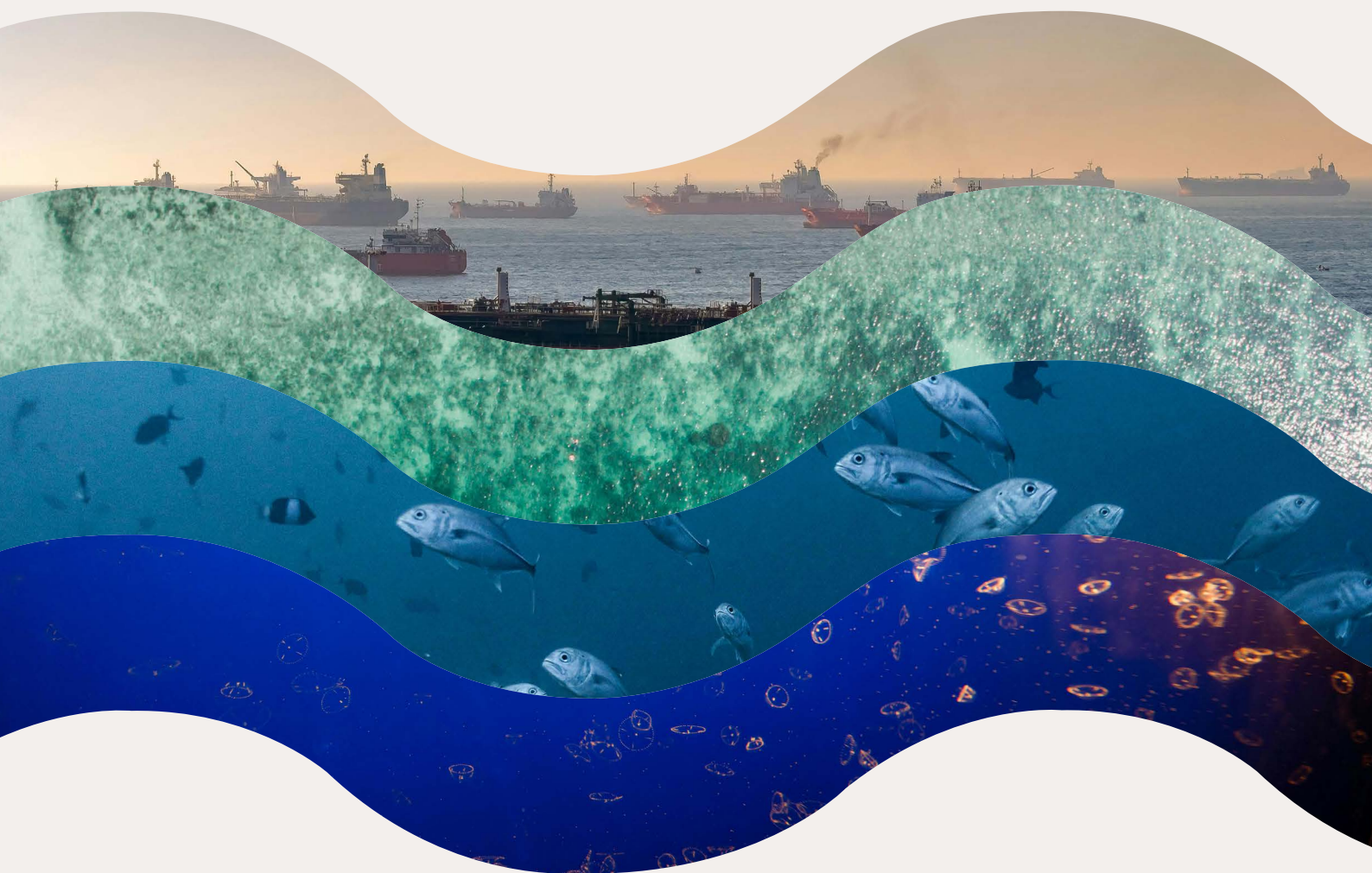


TECHNOLOGIES D'ÉLIMINATION DU CO₂ DANS L'OcéAN : PROMESSES ET MENACES



PLATEFORME
OcéAN & CLIMAT

À propos de la Plateforme Océan & Climat

Ce document a été réalisé par la Plateforme Océan & Climat

Secrétariat de la Plateforme Océan & Climat :

Victor Brun, Thomas Bridier, Gauthier Carle

Le Comité de Pilotage « Diffusion des connaissances » :

Corinne Bussi-Copin (Génération Mer), Christine Causse (Nausicaá), Didier Gascuel (Agro-Rennes), Marine de Guglielmo Weber (IRSEM), Michel Hignette (océanographe), Sarah Lelong (Consult Océan), Céline Liret (Océanopolis), Danielle McCaffrey (Waves of Change), Fabrice Pernet (Ifremer), Gabriel Picot (Aquarium de la Porte Dorée), Lou Stührenberg (École des Mines de Paris).

Mise en page :

Natacha Bigan

Photos de couverture (de haut en bas) :

Irfan Simsar, Mikhail Nilov, Maahidphotos, Isaac Mijangos

Pour citer le document :

PLATEFORME OCÉAN & CLIMAT, 2026, *Technologies d'élimination du CO₂ dans l'océan : promesses et menaces*, 28 pages

Juillet 2026

La Plateforme Océan & Climat (POC) est un réseau international de plus de 120 organisations de la société civile, comprenant des ONG, des instituts de recherche, des fondations, des entreprises, des autorités locales et des organisations intergouvernementales. Créée en amont de la COP21 à Paris, avec le soutien de la France et de la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO, la POC vise à promouvoir l'expertise scientifique sur le rôle que joue l'océan et ses écosystèmes dans le système climatique mondial, et à plaider pour une meilleure intégration des interactions océan-climat-biodiversité dans les processus de décision. Interface entre la science et les politiques publiques, la POC offre un espace de réflexion et de dialogue entre la communauté scientifique, la société civile et les décideurs, afin de favoriser une approche commune et holistique de la santé de l'océan face au changement climatique et à l'érosion de la biodiversité.

Produire, synthétiser et diffuser des connaissances sur l'océan, le climat et la biodiversité

Depuis 2018, la POC mobilise son réseau de scientifiques et de médiateurs sur la révision et la mise en valeur des connaissances sur l'océan, le climat et la biodiversité issues des grands rapports scientifiques. En 2019, elle publiait [« Océan et Climat : les nouveaux défis »](#) sur la base du Rapport Spécial du Groupe Intergouvernemental d'Experts pour le Climat (GIEC) sur l'Océan et la Cryosphère dans le contexte du Changement Climatique, puis en 2023, [« Quel océan pour demain ? Les écosystèmes marins face au changement climatique »](#) : un panorama des connaissances issues du Sixième Rapport d'Évaluation du GIEC sur les interactions entre écosystèmes marins, changement climatique et développement durable. Plus récemment en 2024, elle publiait [« La pêche et l'aquaculture à l'épreuve du changement climatique : défis et perspectives »](#) : une synthèse des connaissances issues des derniers rapports du GIEC, de la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Évaluation Mondiale de l'Océan (WOA).

En 2026, poursuivant son mandat en faveur de la réflexion et du débat à propos de sujets émergents sur le nexus océan-climat-biodiversité, la POC publie le dossier « Technologies d'élimination du CO₂ dans l'océan : promesses et menaces », une synthèse des connaissances scientifiques sur la géo-ingénierie marine.

TABLE DES MATIÈRES

5	Résumé
6	Introduction : éliminer du CO ₂ atmosphérique pour lutter contre le changement climatique ?
6	Le changement climatique et les trajectoires d'émission de gaz à effet de serre
7	Les promesses de l'élimination du CO ₂ en milieu marin
8	Une controverse grandissante
10	Géo-ingénierie et élimination du CO₂ en milieu marin
10	Les grands types de géo-ingénierie
11	L'océan, une pompe à carbone naturelle
12	Les technologies d'élimination du CO ₂ en milieu marin
14	Les recherches actuelles sur l'élimination du CO₂ en milieu marin
14	Recherche fondamentale en laboratoire et en milieu naturel
15	L'efficacité et les impacts potentiels de l'élimination du CO ₂ en milieu marin
16	Des acteurs publics et privés
18	L'élimination du dioxyde de carbone, un pari risqué
19	Un manque de connaissances pour juger de l'efficacité et des risques de l'EDCm
19	Des risques écologiques et sociaux
20	Une gouvernance fragmentée et inadaptée
21	Des questions éthiques
22	Conclusion : une controverse grandissante
23	Glossaire
26	Ressources
27	Ressources de la Plateforme Océan & Climat
27	Articles de recherche

Résumé

Face à l'urgence climatique, atteindre la neutralité carbone implique non seulement de réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de compenser les émissions dites « résiduelles » par des technologies d'élimination du CO₂ atmosphérique. Les scénarios climatiques synthétisés par le Groupe Intergouvernemental d'Experts pour le Climat (GIEC) estiment généralement les besoins d'élimination autour de 7 à 9 milliards de tonnes de CO₂ par an ; volume qui dépend des trajectoires de décarbonation que les États mettront en œuvre. C'est dans ce contexte que se développent les technologies exploratoires d'élimination du dioxyde de carbone en milieu marin (EDCm) qui visent à amplifier la capacité naturelle de l'océan à absorber le CO₂ atmosphérique.

L'océan joue un rôle majeur dans le cycle du carbone, absorbant environ 25 % des émissions annuelles de dioxyde de carbone d'origine anthropique grâce à deux grands processus (ou « pompes ») : une pompe physico-chimique, qui dissout le CO₂ dans les eaux froides et profondes, et une pompe biologique reposant sur le plancton et la photosynthèse. Les technologies d'EDCm ont pour ambition de renforcer ces mécanismes naturels à travers trois types d'approches : biologiques (fertilisation de l'océan au fer, culture de macro-algues, restauration des écosystèmes de « carbone bleu »), chimiques (alcalinisation de l'océan, capture directe du CO₂ dissous) et physiques (pompage artificiel des eaux de surface vers les profondeurs).

Si certaines projections optimistes estiment que ces technologies pourraient séquestrer jusqu'à plusieurs milliards de tonnes de CO₂ par an, leur maturité technologique reste très inégale et leurs risques encore mal compris. Trois limites majeures sont identifiées. D'abord, un manque criant de connaissances scientifiques sur l'efficacité réelle de ces méthodes et leurs impacts sur les écosystèmes marins. Ensuite, des risques écologiques et sociaux significatifs : pollution à grande échelle, perturbation des réseaux trophiques marins, impacts délétères pour les communautés côtières, etc. Enfin, une gouvernance internationale fragmentée et inadaptée, aucun cadre juridique contraignant ne régissant spécifiquement ces activités à ce jour. Ces limites s'accompagnent d'enjeux éthiques primordiaux, comme le risque que ces technologies dissuadent les efforts de décarbonation ou les conflits d'intérêts liés à la marchandisation de crédits carbone par des acteurs privés.

Introduction :

éliminer du CO₂ atmosphérique pour lutter contre le changement climatique ?

Le changement climatique et les trajectoires d'émission de gaz à effet de serre

Le changement climatique résulte de l'accumulation de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, en particulier du dioxyde de carbone (CO₂) émis par les activités humaines. En découlent le réchauffement, l'**acidification***¹ et la **désoxygénation***² de l'océan. Les conséquences menacent directement les écosystèmes marins et les sociétés humaines par la redistribution et l'extinction d'espèces, la hausse du niveau de la mer, ou encore l'intensification et la multiplication d'événements extrêmes comme les cyclones ou les inondations³.

En signant l'**Accord de Paris***, les États se sont fixé l'objectif de limiter le réchauffement global à +2 °C, voire +1,5 °C. Cet objectif implique d'atteindre la **neutralité carbone***, une situation dans laquelle les émissions de GES générées par les activités humaines sont réduites au maximum puis compensées par des absorptions, de sorte que le bilan net des émissions soit nul. Les émissions mondiales sont actuellement estimées à 40 milliards de tonnes (Gt) de CO₂ par an, auxquelles s'ajoutent d'autres GES comme le méthane et le protoxyde d'azote. Elles sont principalement générées par la production d'électricité et de chaleur, l'industrie, l'agriculture, le transport et les déchets.

Les scénarios climatiques permettent d'explorer les manières dont l'humanité peut réduire ses émissions de GES, en fonction des technologies disponibles, des priorités politiques établies et de différentes considérations économiques. Ils estiment que certains secteurs sont plus difficiles à décarboner, comme l'aviation, l'agriculture et le transport maritime, dont les émissions pourraient persister pendant plusieurs décennies au moins. Elles sont qualifiées de résiduelles et résultent à la fois de contraintes techniques, économiques, sociales, et aussi de choix politiques ayant trait à l'organisation des activités humaines. Elles sont généralement estimées entre 7 et 9 Gt de CO₂ par an.

Ainsi, pour atteindre la neutralité carbone, les émissions résiduelles devraient être contrebalancées par une élimination, au moins équivalente, du CO₂ atmosphérique. Cette approche est appelée EDC, signifiant **élimination du dioxyde de carbone***. Elle rassemble les interventions humaines utilisées pour capturer artificiellement les gaz à effet de serre stockés dans l'atmosphère, et les séquestrer durablement dans des réserves artificielles ou naturelles (cf. Glossaire). Des experts envisagent également l'EDC pour éliminer le CO₂ qui a déjà été émis dans l'atmosphère, un « stock historique » dont les effets sur le climat sont délétères. L'EDC entre dans la catégorie de la **géo-ingénierie***, des technologies visant à modifier les conditions environnementales afin d'atténuer ou de compenser les impacts du changement climatique. À défaut d'une éradication rapide et complète des émissions humaines de GES, lutter contre le changement climatique pourrait donc s'appuyer sur le développement de technologies d'EDC, sous réserve qu'elles puissent être fiables, permanentes et sans risque pour l'environnement et les sociétés.

1/ Les termes marqués d'un astérisque (*) sont définis dans le glossaire figurant à la fin du dossier.

2/ Ocean & Climate Platform (2019), Ocean & climate change: New challenges. Focus on 5 key themes of the IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere, <https://ocean-climate.org/ocean-et-climat-les-nouveaux-defis/>

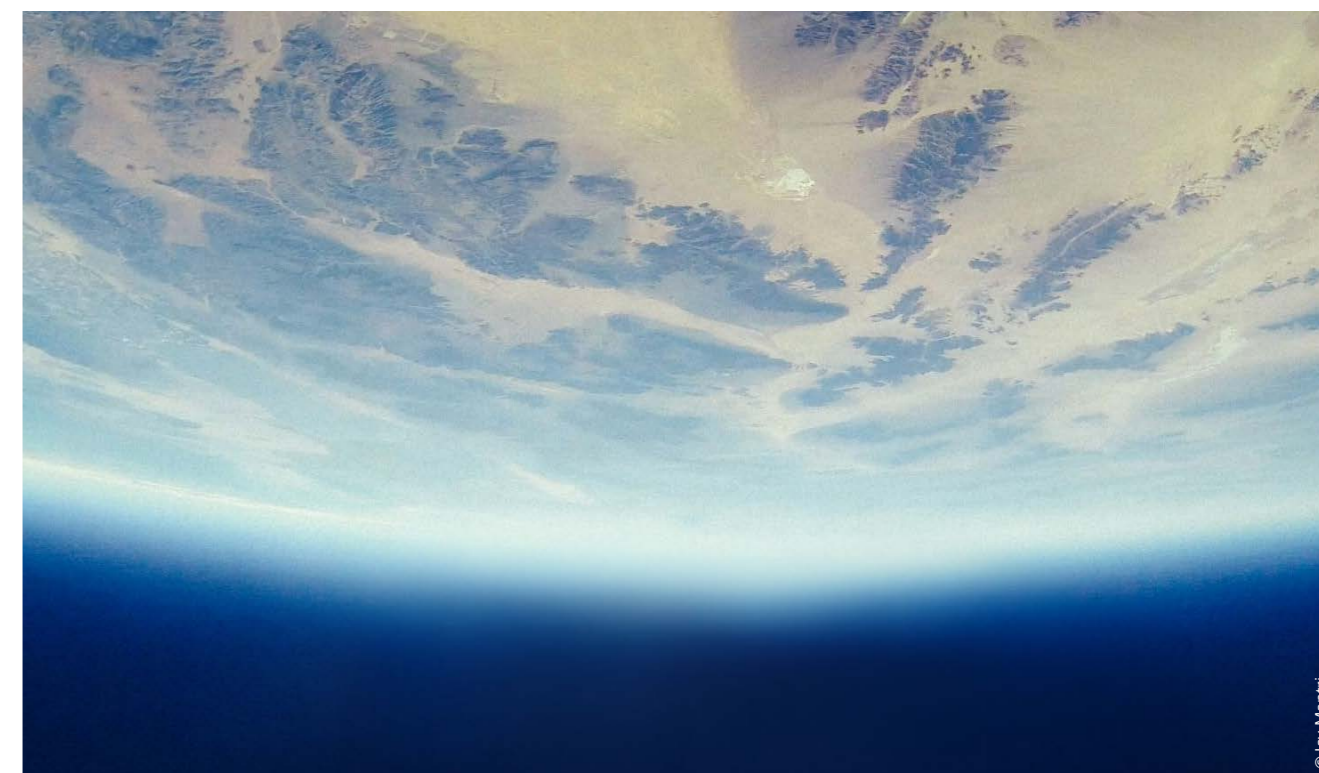
3/ Ocean & Climate Platform, 2024, Fishing and Aquaculture in a Changing Climate: Challenges and Perspectives, <https://ocean-climate.org/la-peche-et-laquaculture-a-lepreuve-du-changement-climatique-defis-et-perspectives/>

Les promesses de l'élimination du CO₂ en milieu marin

Certaines technologies permettent déjà d'éliminer du CO₂ atmosphérique. Actuellement, l'EDC capture 2,1 Gt de CO₂ par an et repose majoritairement sur des approches terrestres dites « conventionnelles », en particulier la reforestation⁴. Changer d'échelle pour éliminer des quantités plus importantes de CO₂ demeure un défi technique et comporte des risques importants pour la biodiversité et les communautés⁵. Des approches dites « nouvelles » sont également développées, comme la capture directe du CO₂ dans l'air, la production de biochar (un charbon végétal obtenu à partir de déchets organiques qui piège le carbone dans le sol) ou encore la bioénergie. Ces technologies, au succès limités, présentent toujours de nombreuses contraintes en termes de risques pour la biodiversité, coûts et consommation d'énergie, conflits d'usages, etc. Ces différentes limites interrogent sur l'intérêt de telles méthodes pour éliminer du CO₂ atmosphérique à court et moyen terme.

Considérant les limites actuelles de l'EDC terrestre, un nombre croissant de chercheurs et d'entrepreneurs se tournent vers l'océan. Connu pour être une gigantesque **pompe à carbone*** naturelle (voir Figure 3), l'océan élimine chaque année environ 25 % des émissions de CO₂ produites par les activités humaines⁶. Cette capacité repose sur des processus physico-chimiques et biologiques assurant la capture par l'océan d'une quantité importante de CO₂, et la séquestration d'une partie de celui-ci dans ses profondeurs.

De nouvelles approches d'EDC proposent de renforcer les processus naturels de la pompe à carbone océanique, afin d'augmenter la quantité de CO₂ éliminée. Ces méthodes, dont ce dossier fait l'objet, sont regroupées sous le terme d'**EDC en milieu marin*** (EDCm) (voir Figure 4). Parmi les idées explorées, certaines consistent par exemple à stimuler la croissance du plancton (Encadré 1) ou à modifier la chimie de l'eau de mer. Ces approches sont présentées comme pouvant contribuer à la lutte contre le changement climatique. Toutefois, leurs potentiels réels, leurs coûts et leurs effets à long terme demeurent incertains.



4/ Ce chiffre est issu du principal rapport sur le sujet, le State of Carbon Dioxide Removal Report. <https://www.stateofcdr.org/>

5/ Alexandra Deprez et al. (2024), Sustainability limits needed for CO₂ removal, Science. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.adj6171>

6/ Voir la fiche scientifique de la Plateforme Océan & Climat : « L'océan, Pompe à carbone ». https://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/02/ocean-pompe-carbone_FichesScientifiques_04-2.pdf

Une controverse grandissante

La recherche sur les EDCm et les investissements pour le développement de ces technologies font l'objet d'une forte croissance sous l'impulsion de scientifiques et d'entreprises. L'agence GESAMP, un groupe d'experts indépendants qui conseille le système onusien sur les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin, a identifié près de 200 projets d'EDCm portés en grande majorité par des start-up⁷. Dans un contexte où l'urgence climatique stimule la recherche de nouvelles solutions de décarbonation, l'efficacité et la sûreté des EDCm alimentent des débats scientifiques et sociétaux particulièrement vifs en raison de leur caractère incertain et de considérations éthiques.

Des projections estiment que certaines approches d'EDCm pourraient mener à l'élimination de plusieurs milliards de tonnes de CO₂ par an, selon des données issues des scénarios les plus optimistes (voir Figure 4). De plus, ces prévisions ne prennent pas suffisamment en compte l'ensemble des besoins en matériaux et en énergie qu'impliquerait leur déploiement massif.

Capter et séquestrer plusieurs milliards de tonnes de CO₂ par an modifierait à grande échelle les cycles physiques, chimiques et biologiques de l'océan. Une telle perturbation de fonctionnements complexes formés sur le temps long présente des risques importants pour la biodiversité : pollutions à grande échelle, modifications de la disponibilité en nutriments, dégradation des écosystèmes, etc. (voir Figure 4). Ces impacts écologiques pourraient avoir des répercussions en chaîne sur les populations côtières et le reste de l'humanité, dont l'existence même repose sur la santé de l'océan. Du fait de la taille et de la complexité de l'océan, et aussi de la rareté relative des expérimentations en milieu naturel, les conséquences à grande échelle de telles interventions d'EDCm demeurent difficiles à anticiper.

Au cœur de la controverse autour de l'EDCm se trouve également le risque qu'une promesse technologique nuise aux efforts de baisse des émissions de GES. Ainsi, il serait possible que des États justifient une réduction de leurs efforts de décarbonation en s'appuyant sur les scénarios de développement de l'EDCm les plus optimistes.

⁷ La liste complète peut être trouvée sur le site de GESAMP.
<https://www.gesamp.org/work/groups/41/ocean-climate-intervention-projects-2>

Encadré 1.

AUX ORIGINES DE LA GÉO-INGÉNIERIE MARINE

Dans les années 1990, sur la base des travaux de l'océanographe américain John Martin (1935–1993), les premiers essais en milieu naturel de géo-ingénierie marine sont menés dans l'océan Pacifique équatorial. Il s'agit de tester l'hypothèse selon laquelle l'ajout de fer dans l'océan (ou **fertilisation***) pourrait stimuler le développement du plancton végétal (phytoplancton) et ainsi éliminer du CO₂ de l'océan. En rejoignant les réseaux trophiques, une partie de ce carbone pourrait être transporté vers le fond de l'océan et y rester séquestrée sur de longues périodes.

Si les premiers essais montrent une augmentation de production de plancton, aucun résultat n'a démontré avec certitude que le CO₂ capturé demeurerait séquestré. D'autres éléments laissent par ailleurs penser que ces essais pourraient causer d'importants impacts écologiques : la fertilisation agit de manière non contrôlée sur les communautés planctoniques, favorisant certaines espèces au détriment d'autres. Ce déséquilibre dans la biodiversité planctonique pourrait se répercuter sur l'ensemble de l'écosystème marin, auquel s'ajoutent les conséquences de la décomposition du plancton stimulé, susceptible de consommer l'oxygène disponible et donc de raréfier l'oxygène dont les autres organismes ont besoin pour survivre.

Néanmoins, des acteurs privés s'emparent de cette idée dans un but lucratif : le CO₂ éliminé peut faire l'objet de **crédits carbone***. C'est notamment le cas de Russ George, qui mène en 2012 une large expérience de fertilisation au large du Canada sans encadrement scientifique et en contradiction avec les traités internationaux, en particulier la **Convention et le Protocole de Londres***. Une dizaine d'expériences ont ainsi été menées depuis, déclenchant une importante controverse scientifique et politique qui a contribué à marginaliser la fertilisation au profit de l'alcalinisation océanique, laquelle connaît depuis un véritable essor. Aujourd'hui, des acteurs académiques et privés se positionnent pour relancer de nouvelles expériences de fertilisation, à l'instar du consortium ExOIS, soulevant à nouveau des questions scientifiques, d'impacts environnementaux et de conformité au droit international.

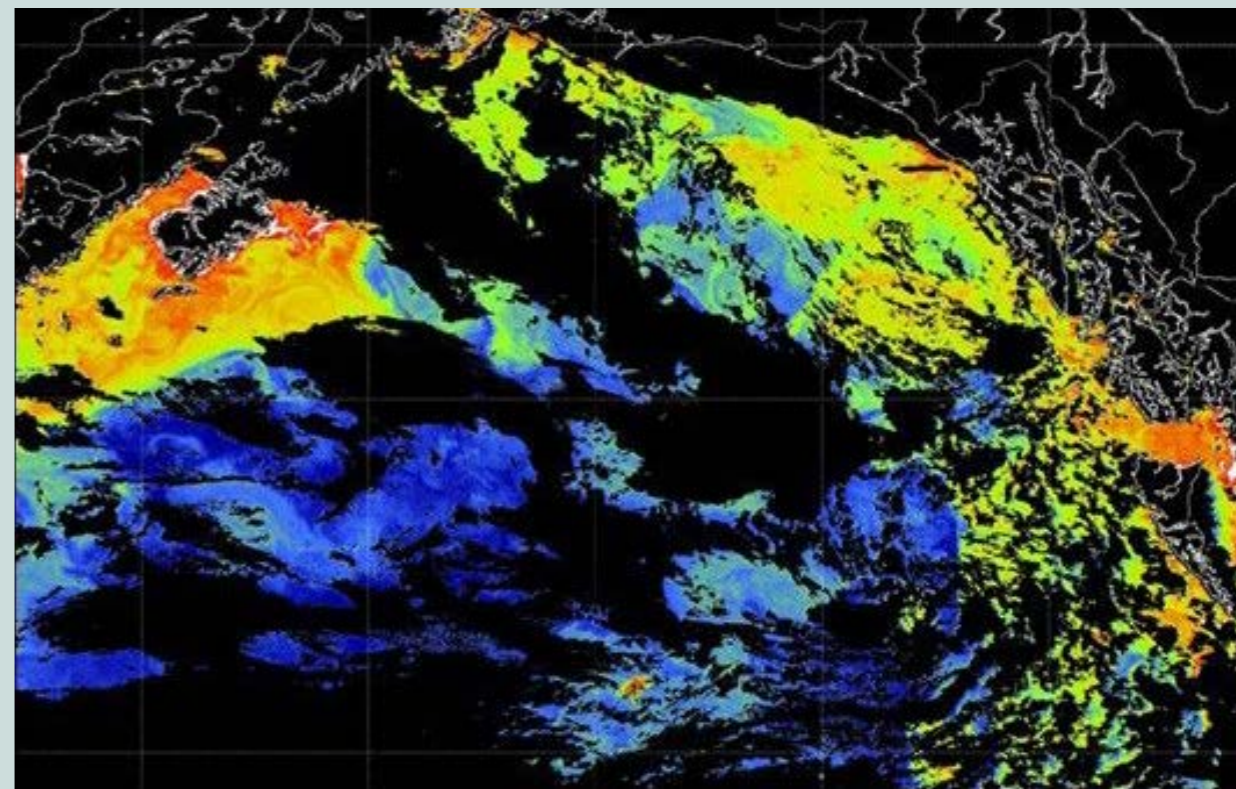


Figure 1. Développement de phytoplancton couvrant une surface d'environ 30 km de diamètre induit par fertilisation au fer lors de l'expérience SERIES (Pacifique Nord, 2002), observée par satellite (SeaWiFS, NASA). La zone rouge-jaune correspond à une forte concentration de chlorophylle liée au phytoplancton.



GÉO-INGÉNIERIE ET ÉLIMINATION DU CO₂ EN MILIEU MARIN

1 LES GRANDS TYPES DE GÉO-INGÉNIERIE

Deux grands types de géo-ingénierie sont généralement distingués (Figure 2) :

- **D'une part, les technologies basées sur l'affaiblissement du rayonnement du soleil en réfléchissant une partie en dehors de l'atmosphère (gestion du rayonnement solaire*, ou GRS).** Ces technologies visent à limiter le réchauffement de cette dernière, sans s'attaquer au CO₂ et aux autres GES qui constituent la source du problème. Très controversées, elles sont à ce stade expérimentales, malgré des perspectives de déploiement qui se rapprochent. Elles incluent par exemple des technologies formant de la mousse blanche réfléchissante à la surface de l'océan ou l'injection d'aérosols composés de soufre dans la stratosphère, qui réfléchissent les rayonnements solaires.

- **D'autre part les technologies, basées sur l'élimination durable du CO₂ atmosphérique* (EDC).** Il s'agit ici d'utiliser des technologies, ou de renforcer des processus naturels capturant dans l'océan le CO₂ atmosphérique en s'assurant de sa séquestration à long terme. La séquestration du CO₂ ou d'autres formes de carbone peut se faire dans les sols terrestres et marins ou par la restauration des forêts, des prairies marines, ou d'autres écosystèmes qui utilisent du carbone dans leur cycle de développement. Des approches technologiques sont également envisagées, à l'instar d'usines de capture directe du CO₂ dans l'atmosphère. Elles sont plus controversées que les approches de restauration, car plus risquées et moins matures.



LES DEUX GRANDS TYPES DE GÉO-INGÉNIERIE

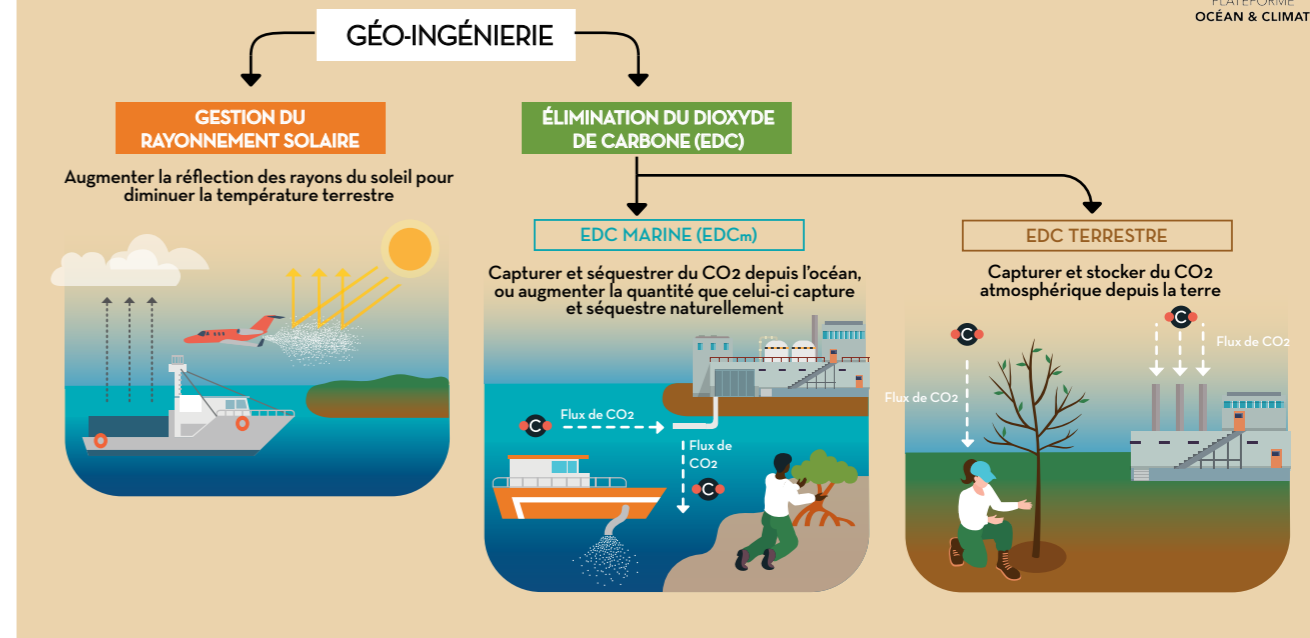


Figure 2. Schéma des deux grands types de géo-ingénierie : la gestion du rayonnement solaire et l'élimination du dioxyde de carbone (EDC).

2 L'OCÉAN, UNE POMPE À CARBONE NATURELLE

L'océan est un immense réservoir qui joue un rôle central dans le cycle du carbone (Figure 4). Il contient cinquante fois plus de carbone que l'atmosphère. Son absorption repose sur deux grands processus :

- D'une part, les processus physico-chimiques permettent la dissolution du CO₂ dans l'eau de mer et son transport vers les profondeurs par les courants marins. Ces processus permettent d'expliquer la grande majorité du CO₂ atmosphérique produit par les activités humaines éliminé par l'océan.

- D'autre part, les processus biologiques, via la photosynthèse du plancton et les réseaux trophiques marins, captent le carbone dont une partie est ensuite transférée vers les profondeurs sous forme de matière organique. Les écosystèmes de carbone bleu (mangroves, herbiers et marais salés) jouent également un rôle dans cette pompe biologique.

Flux de carbone et stockage de long terme doivent être différenciés. Bien qu'environ trois cents milliards de tonnes de CO₂ soient absorbées chaque année par l'océan et la vie qu'il abrite, la grande majorité est rapidement relâchée dans l'atmosphère, principalement par la respiration des organismes qui transforme le dioxygène en CO₂. Une fraction seulement de ces 300 milliards de tonnes, autour de 10 milliards de tonnes (soit un quart des émissions anthropiques), est capturée et séquestrée dans le fond de l'océan pour quelques centaines d'années, et parfois plus.

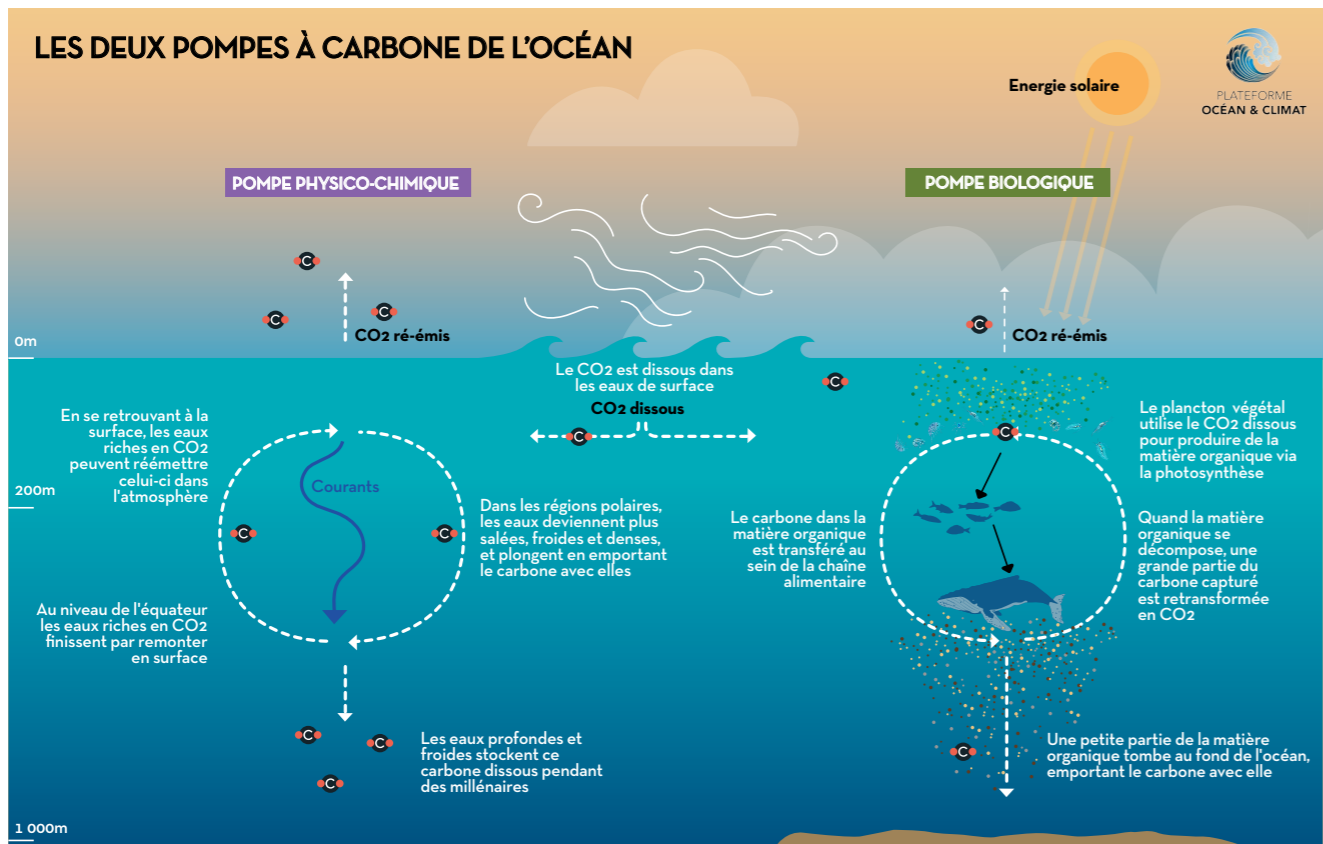


Figure 3. Les deux pompes à carbone de l'océan : la pompe physico-chimique dissout et stocke le CO₂ en profondeur, tandis que la pompe biologique le transforme via la photosynthèse, et en exporte une partie vers les fonds marins, grâce au fonctionnement des réseaux trophiques.

3 LES TECHNIQUES D'ÉLIMINATION DU CO₂ EN MILIEU MARIN

Trois principales catégories de technologies d'EDCm sont explorées à ce jour (Figure 4) :

Premièrement, la restauration des écosystèmes dits de **carbone bleu*** (mangroves, marais salés et herbiers marins), qui capturent et séquestrent naturellement du CO₂. Conserver et restaurer ces écosystèmes est à ce jour la seule approche sans risques écologiques majeurs. Elle présente généralement des co-bénéfices significatifs pour la conservation de la biodiversité marine. Son potentiel demeure toutefois limité, ne permettant d'éliminer, d'après les projections, que jusqu'à 0,4 Gt de CO₂ par an, soit 1 % des émissions humaines. D'autres approches biologiques incluent la **culture de macroalgues*** à grande échelle en pleine mer (sur des structures flottantes) ou la **fertilisation de l'océan par le fer***. Malgré un potentiel d'élimination du CO₂ théoriquement plus élevé que la restauration

de carbone bleu, ces technologies sont plus risquées et moins matures technologiquement.

Deuxièmement, les techniques chimiques qui visent à modifier les équilibres chimiques de l'océan. Parmi celles-ci on retrouve notamment la **capture directe du CO₂*** dans l'océan, qui repose sur différents procédés qui visent à séparer le CO₂ de l'eau de mer en utilisant des courants électriques et des procédés chimiques. La barrière principale demeure ici technique et financière : il est difficile et coûteux d'extraire le CO₂ de l'eau de mer. L'**alcalinisation de l'océan*** consiste à y ajouter des substances alcalines (minéraux ou composés chimiques), ou à retirer la composante acide de l'eau de mer, afin d'en augmenter l'alcalinité, c'est-à-dire sa capacité à

neutraliser les acides. Le CO₂ dissous réagit alors pour se transformer principalement en ions bicarbonate (HCO₃⁻) et carbonate (CO₃²⁻), ce qui accroît la capacité de l'océan à absorber du CO₂ atmosphérique. De nombreuses limites techniques sont également propres à ces approches chimiques en termes d'obtention et de dispersion des matériaux alcalins dans l'océan, et leur efficacité demeure remise en cause. Au-delà de la question de leur efficacité réelle, ces technologies pourraient contribuer à une pollution de l'océan à grande échelle, notamment en métaux (contenus dans les minerais) comme le nickel.

Troisièmement, les techniques physiques qui reposent sur la mise en mouvement des masses d'eau. L'unique technique physique explorée à ce jour concerne le **pompage des eaux de surface*** (ou downwelling artificiel). Elle repose sur le transport de l'eau de surface riche en CO₂ vers les profondeurs, via des pompes, pour reproduire la pompe à carbone physique et accroître la séquestration par l'océan en profondeur. Cette technologie est à ce stade entièrement théorique et pourrait requérir des quantités massives d'énergie pour sa mise en œuvre, une contradiction avec la nécessité de réduire les émissions de GES des activités humaines.

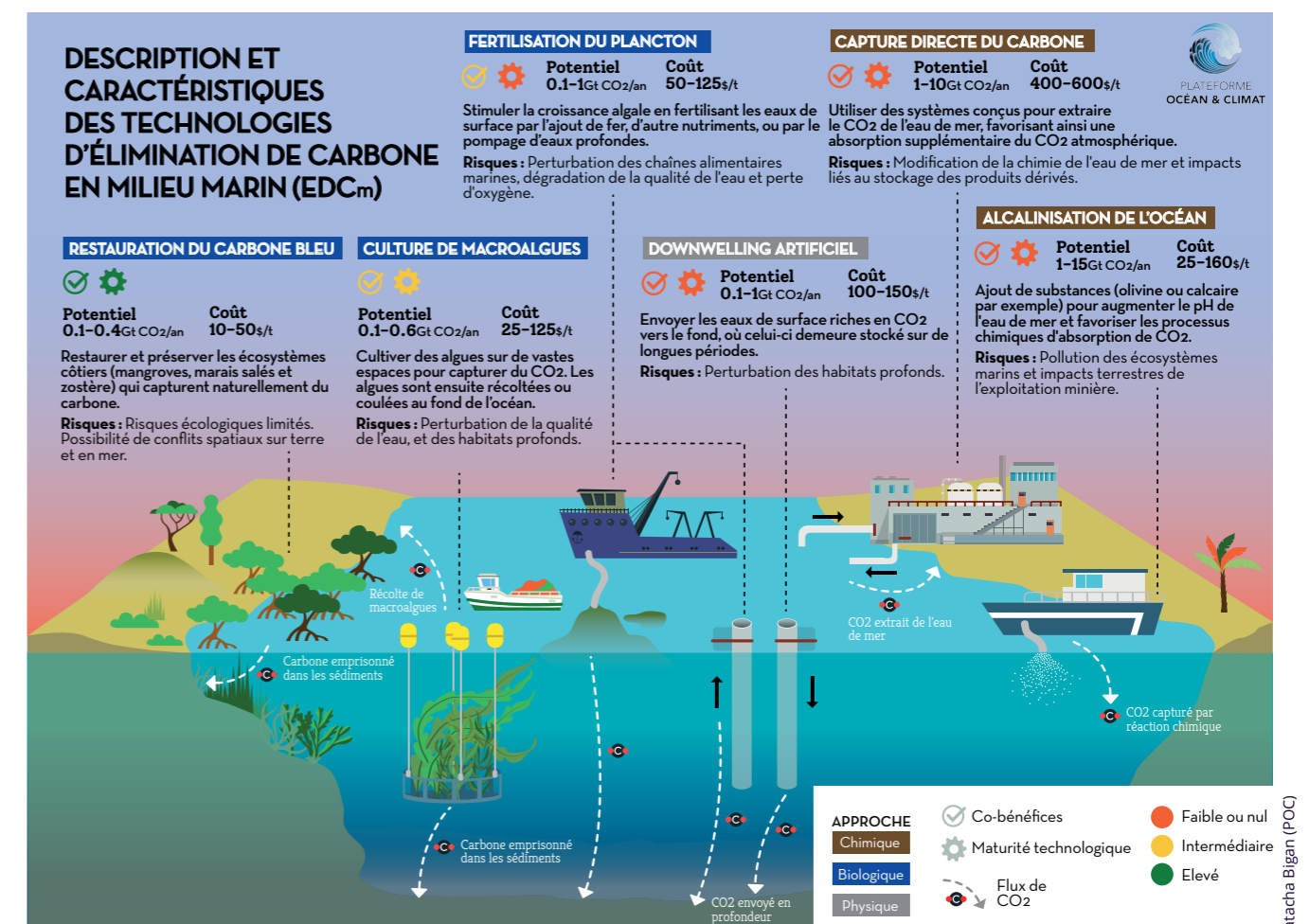


Figure 4. Panorama des technologies d'élimination du carbone en milieu marin (EDCm). Ce schéma synthétise les différentes approches fondées sur l'océan visant à éliminer du CO₂ atmosphérique. Pour chaque méthode, l'infographie synthétise le potentiel d'efficacité annuelle (en Gt de CO₂), les coûts opérationnels par tonne, ainsi que le niveau de maturité technologique et le potentiel que ces technologies aient des co-bénéfices sociaux et écologiques⁸.

8/ Les données et informations présentées sont issues d'un rapport de l'agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA): <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads/2023/06/mCDR-glossy-final.pdf> et d'un article de synthèse: Brun et al. (2026), Three challenges to marine carbon dioxide removal, npj Ocean Sustainability.

LES RECHERCHES ACTUELLES SUR L'ÉLIMINATION DU CO₂ EN MILIEU MARIN

1 RECHERCHE FONDAMENTALE EN LABORATOIRE ET EN MILIEU NATUREL

La recherche fondamentale : mieux comprendre le cycle du carbone

Dans le contexte de l'EDCm, la recherche fondamentale concerne principalement le cycle du carbone (Figure 4) qui reste insuffisamment compris, principalement en raison d'un manque de données d'observation⁹. Ces lacunes rendent difficile l'appréhension des impacts de l'EDCm. Renforcer la recherche fondamentale sur le cycle du carbone pourrait se décliner en trois axes :

- Développer les réseaux de mesure des variables clés (température, salinité, oxygène, carbone) ;
- Améliorer la **modélisation*** du cycle du carbone ;
- Intégrer l'EDCm dans ces modèles pour en simuler les effets.

Ces recherches dépassent par ailleurs la compréhension de l'EDCm et contribuent notamment à la prédiction des futurs effets du changement climatique.

Les expériences en laboratoire et en mésocosme : tester l'efficacité et les impacts de l'EDCm

Un **mésocosme*** est une reproduction d'un écosystème à une échelle réduite et en milieu contrôlé. Des expériences en laboratoire ou dans de grands bassins permettent de tester les différentes technologies d'EDCm et d'en mesurer l'efficacité et les effets sur la qualité de l'eau et sur le vivant. Une étude menée par l'université d'Anvers en 2023 a ainsi démontré que l'alcalinisation de l'eau par dispersion de minerai d'olivine s'accompagne d'une accumulation de métaux toxiques dans l'organisme des amphipodes, petits crustacés de 2 cm, affectant leur croissance et leur reproduction¹⁰. Les études en mésocosmes reposent toutefois sur d'importantes simplifications des écosystèmes naturels marins et sont limitées dans l'espace et dans le temps. C'est pourquoi de nombreux scientifiques soulignent la nécessité de compléter ces approches par des expériences en milieu naturel, ce qui soulève des questions.

9/ Les observations dédiées à mesurer les flux de CO₂ entre l'atmosphère et l'océan sont réalisées par des navires ou des bouées. Une étude récente estime que ces observations du système SOCAT ne couvrent qu'environ 1,5 % de l'océan : Gloege, L., McKinley, G. A., Landschützer, P., Fay, A. R., Frölicher, T. L., Fyfe, J. C., et al. (2021). Quantifying errors in observationally based estimates of ocean carbon sink variability. *Global Biogeochemical Cycles*, 35, e2020GB006788. <https://doi.org/10.1029/2020GB006788>

10/ Flipkens, G., Horoba, K., Bostyn, K., Geerts, L. J. J., Town, R. M., Blust, R., Acute bioaccumulation and chronic toxicity of olivine in the marine amphipod *Gammarus locusta*, *Aquatic Toxicology*, Volume 262, 2023, 106662, ISSN 0166-445X. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106662>

Les expériences en milieu naturel : étudier l'EDCm « grandeur nature »

Les expériences en milieu naturel désignent des essais menés directement dans l'océan qui testent les technologies d'EDCm et suivent leurs impacts à petite ou grande échelle. Les exemples les plus connus sont la fertilisation de l'océan et l'alcalinisation qui ont déjà fait l'objet d'une série d'expériences (voir Encadré 1). Les limites de ces expériences résident dans la difficulté à mesurer l'ensemble des paramètres pertinents pour distinguer les impacts causés par l'EDCm de la variabilité naturelle du milieu. Par exemple, l'océan échange du CO₂ avec l'atmosphère sur toute sa surface ; il apparaît ainsi difficile de mesurer uniquement le

flux de CO₂ lié à l'essai d'EDCm. En plus de ces limitations techniques, les expériences grandeur nature sont controversées :

risquées pour les écosystèmes et les populations côtières, elles pourraient également détourner le financement d'autres priorités de recherche en lien avec le changement climatique. Ces risques poussent certaines organisations environnementales à demander une interdiction des essais les plus risqués. Dans le même temps, les promoteurs de ces techniques plaident pour une mise en place progressive de celles-ci, d'abord à une échelle réduite, puis à plus grande échelle si les preuves de leur innocuité sont apportées.

2 L'EFFICACITÉ ET LES IMPACTS POTENTIELS DE L'ÉLIMINATION DU CO₂ EN MILIEU MARIN

Les expériences en milieu naturel doivent permettre de répondre à deux questions :

- Les technologies d'EDCm sont-elles efficaces, et permettent-elles de capturer et de séquestrer du CO₂ sur le long terme ?
- Quels sont les impacts (positifs ou négatifs) de l'usage de ces technologies sur l'environnement et le fonctionnement des écosystèmes marins ?

Trois approches complémentaires et non substituables permettent de répondre à ces questions :

• **Les protocoles de suivi et de vérification*** sont utilisés afin de certifier que les technologies déployées permettent réellement et durablement de capturer et séquestrer du CO₂. Ces protocoles reposent sur des mesures directes ou indirectes des flux de carbone, de nutriments et d'oxygène, dans l'atmosphère comme dans l'océan. Le recours unique à la modélisation ne constitue pas nécessairement une preuve formelle de l'efficacité de l'EDCm.

• **Les études d'impact*** comparent l'état d'un socio-écosystème avant et après une expérimentation et évaluent quelles en sont les conséquences sur les activités qui s'y déploient. En pratique, du fait de la taille de l'océan, de la connectivité de ses eaux, et

de la complexité des socio-écosystèmes, identifier tous les impacts semble illusoire. La question qui se pose est donc de savoir si, pour chaque technologie, il est possible, en cas de déploiement, de mesurer le degré de sûreté pour le vivant. En outre, évaluer le caractère cumulatif des impacts constitue toujours un défi scientifique.

• **Les analyses de cycle de vie*** permettent d'identifier les besoins énergétiques, ainsi que les impacts environnementaux, sociaux et économiques d'un projet, de sa conception à son démantèlement. Pour l'EDCm, elles permettent de prendre en compte l'ensemble des émissions de carbone, ainsi que les coûts en matériel, en énergie, ou en transport des processus ou des infrastructures construites. Or, les analyses de cycle de vie ne sont pas systématiquement conduites, ni intégrées aux études de faisabilité de l'EDCm, sous-estimant ainsi les difficultés de leur développement, notamment en termes de besoins énergétiques et en matériaux.

3 DES ACTEURS PUBLICS ET PRIVÉS

Dans ses premières années (1980-2000), la recherche sur l'EDCm était menée par des acteurs académiques soutenus par des financements publics, en particulier sur la fertilisation de l'océan. Par la suite, quelques acteurs privés se sont emparés du sujet, y percevant des opportunités économiques et commerciales (voir Introduction – Encadré 1). Aujourd'hui, ce sont des dizaines, voire des centaines de start-up naissantes qui s'emparent de l'EDCm. Elles s'intéressent à diverses technologies, allant de l'alcalinisation de l'océan à la culture massive d'algues en passant par la capture directe de CO₂ dans l'océan, ainsi qu'à des thématiques diverses : vérification et certification de l'élimination du CO₂, études d'impact, etc. Cette diversité rend difficile le suivi exhaustif de l'ensemble de ces acteurs et la mise en place d'une réglementation pour des activités différentes se déployant dans des géographies variées.

Le financement des entreprises d'EDCm repose aujourd'hui sur des subventions publiques, des fonds philanthropiques et des investissements privés, et aussi sur la vente anticipée de crédits carbone (voir Encadré 2). La recherche sur l'EDCm est également portée par des acteurs publics, en premier lieu des acteurs académiques, qui peuvent soutenir et s'associer à des entreprises privées. Au vu des questions éthiques que soulève le développement

des essais en milieu naturel d'EDCm, des guides de bonnes pratiques ont été développés pour encadrer la recherche. Ces guides, tel celui de l'Union Géophysique Américaine¹¹, incitent à respecter les principes tels que la justice climatique ou la participation citoyenne. Bien qu'explicitement conçus pour caractériser les projets d'EDCm, ces guides sont pour l'instant non contraignants, peu détaillés, et ne sont pas intégrés dans les cadres de gouvernance.

La recherche sur le changement climatique et l'observation de l'océan se trouvent bousculées par le contexte politique international avec notamment d'importantes coupes budgétaires¹². L'intérêt croissant pour la recherche sur l'EDCm et les controverses liées aux investissements privés pourraient dès lors justifier des financements publics, et ainsi soutenir une recherche plus indépendante. Néanmoins, cette captation des financements publics par l'EDCm pourrait se faire au détriment d'autres secteurs de recherche clés tels que la décarbonation et l'adaptation au changement climatique. Cet équilibre est à trouver dans une situation géopolitique et économique aux tensions exacerbées par la raréfaction des ressources allouées à la recherche et l'accélération du changement climatique.



© Olivier Dugornay (IFREMER)

11/ Le guide de l'union géophysique américaine inclut 5 grands principes pour le déploiement d'essais en milieu naturel d'EDC. Ceux-ci sont : (i) Une recherche responsable, (ii) Une justice climatique intégrée, (iii) Une participation publique inclusive, (iv) La transparence et (v) Une gouvernance informée American Geophysical Union. Ethical Framework Principles for Climate Intervention Research. ESS Open Archive. October 17, 2024. <https://doi.org/10.22541/essoar.172917365.53105072/v1>

12/ L'année dernière, l'administration Trump avait annoncé des projets de coupes dans les budgets de l'agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA), impactant l'observation à l'échelle mondiale.

Encadré 2.

COMPRENDRE LES CRÉDITS CARBONE

Les crédits carbone sont des titres qui certifient l'élimination d'une certaine quantité de carbone par une technologie d'EDC. Ils sont proposés à la vente par des acteurs privés aux entreprises émettrices pour compenser leurs émissions. Ces transactions sont effectuées sur un **marché volontaire***, en dehors de toute obligation contraignante de décarbonation.

Ces dernières années, l'émergence de l'EDCm et des premiers tests se sont accompagnés de préventes de ces crédits. En Nouvelle-Zélande, par exemple, l'entreprise Gigablu qui entreprend des essais de fertilisation de l'océan a conclu un contrat de vente de plus de 200 000 tonnes de crédits carbone avec l'entreprise d'aviation SkiesFifty qui devront être délivrés d'ici à 2029.

Le site internet www.cdr.fyi recense les crédits carbone vendus à travers le monde. Sur les 736 000 crédits (qui correspondent à autant de tonnes de CO₂) d'EDCm vendus jusqu'à ce jour (juin 2026), moins de 4 % sont considérés comme ayant été délivrés, c'est-à-dire vérifiés par l'entreprise ou un acteur tiers. La majorité de ces crédits ont été vendus par une seule entreprise, Running Tide.

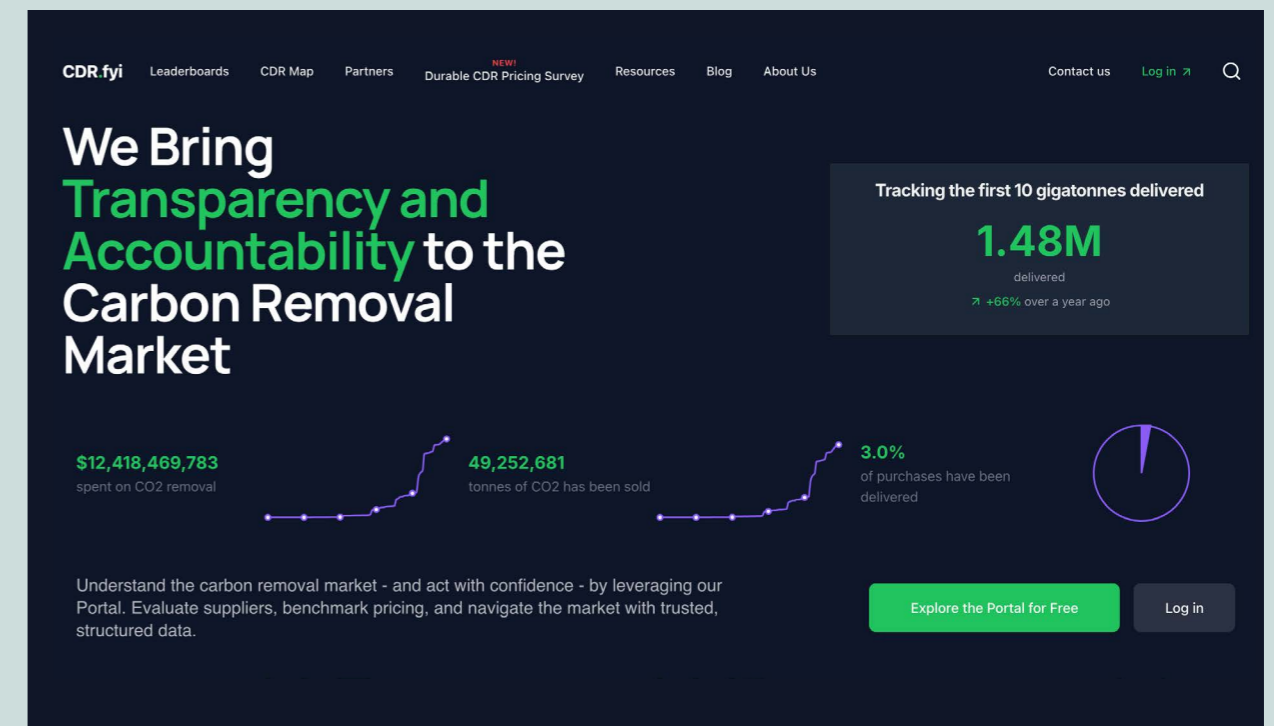


Figure 5. Le site www.cdr.fyi recense plus de 12 milliards de dollars de crédits carbone vendus à ce jour, dont seulement 3 % ont pour l'instant été délivrés par les entreprises. Ce dernier chiffre est par ailleurs difficilement vérifiable en l'absence de registre centralisé et vérifié de manière indépendante.

L'ÉLIMINATION DU DIOXYDE DE CARBONE, UN PARI RISQUÉ

© Manfred Langpapjg

Compte tenu des connaissances encore limitées quant à son efficacité et ses risques, l'EDCm ne peut pas être considérée comme une solution immédiate pour faire face au changement climatique. Trois limites majeures sont indissociables de ces technologies (Figure 6) :

- Le manque de connaissances concernant leur efficacité réelle et leurs impacts sur le stockage du carbone, les écosystèmes et les sociétés ;
- L'existence de risques écologiques et sociaux associés à leur développement ;
- Le manque de gouvernance internationale permettant la régulation de ces activités.

LES LIMITES DE L'ÉLIMINATION DU DIOXYDE DE CARBONE EN MILIEU MARIN (EDC_m)



MANQUE DE CONNAISSANCES



L'efficacité de l'EDCm et l'étendue de ses risques sont incertaines en raison d'un manque de connaissances scientifiques

RISQUES SOCIO-ÉCOLOGIQUES



Les expériences de terrain et le déploiement de l'EDCm pourraient avoir des conséquences écologiques et sociales négatives

GOVERNANCE INADAPTÉE



Les cadres de gouvernance ne permettent pas de réglementer l'EDCm de manière sûre et intégrée

RECOMMANDATIONS DES SCIENTIFIQUES

Effectuer plus de recherche pour mieux comprendre l'efficacité et les potentiels impacts socio-écologiques de l'EDCm et améliorer les processus de Suivi, Rapportage et Vérification (SRV)

Limiter au maximum les expériences et déploiements à grande échelle, et séparer les objectifs d'EDCm des objectifs de décarbonation

Renforcer les cadres de gouvernance existants pour réguler de manière efficace le développement de l'EDCm en incluant les communautés locales, autochtones et les représentants de la société civile

Figure 6. Les principaux défis liés à l'EDCm sont le manque de connaissances scientifiques, les risques socio-écologiques et la gouvernance inadaptée. Ces limitations, ainsi que des recommandations scientifiques pour y faire face, sont résumées dans un article publié récemment¹³.

13/ Voir: Brun V. et al. (2026), Three Challenges to Marine Carbon Dioxide Removal, npj Ocean Sustainability.

1 UN MANQUE DE CONNAISSANCES POUR JUGER DE L'EFFICACITÉ ET DES RISQUES DE L'EDC_m

En l'état actuel des connaissances, aucune des technologies d'EDCm n'est suffisamment mature ni comprise pour être déployée, mis à part la restauration des écosystèmes de carbone bleu¹⁴. Outre le manque de connaissance des réactions des écosystèmes face à l'EDCm et l'efficacité des méthodes, d'autres questions restent aujourd'hui en suspens : quelles ressources financières pourraient être allouées à des tests en milieu naturel ? Quel est le niveau de risque acceptable pour envisager le développement de ces technologies ? Quel niveau d'encadrement et de contraintes réglementaires à mettre en place ?

En plus des incertitudes scientifiques et techniques, le développement de la recherche sur l'EDCm soulève des questions éthiques, politiques et de gouvernance. La conduite même de recherches sur ces technologies pourrait les rendre progressivement plus légitimes et plus acceptables socialement et politiquement.

2 DES RISQUES ÉCOLOGIQUES ET SOCIAUX

Les technologies d'EDCm affectent les communautés locales dans les territoires où de premiers essais ont été envisagés ou mis en place. En Cornouailles, un projet d'alcalinisation porté par l'entreprise Planetary Technologies a ainsi suscité une forte opposition locale, notamment à travers la campagne « *Keep Our Sea Chemical Free!* », conduisant finalement à son abandon¹⁵. Le projet était critiqué pour le manque de consultation publique, les craintes de conséquences écologiques sur le littoral, les incertitudes scientifiques entourant les impacts sur les écosystèmes marins, ainsi que la volonté de commercialiser des crédits carbone associés à l'initiative. Les controverses autour des projets d'EDCm ne reposent donc pas uniquement sur les risques environnementaux, mais également sur des enjeux de gouvernance, de justice procédurale et d'acceptabilité sociale. Or, les études d'impact n'évaluent pas systématiquement le rapport coûts/bénéfices potentiels de ces approches, ni le degré de transparence et d'inclusivité des processus décisionnels. Cela peut renforcer les tensions et les conflits avec les parties prenantes locales, et exacerber des tensions préexistantes.



© Dmitry Spravko

14/ Selon le classement de la NOAA sur la maturité technologique des technologies d'EDC, la conservation et la restauration du carbone bleu est la seule technologie d'EDCm associée à un niveau élevé de maturité. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/52072>

15/ Un documentaire a été produit sur le sujet, disponible sur YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=uBP3r2kEjA>

3 UNE GOUVERNANCE FRAGMENTÉE ET INADAPTÉE

Le cadre juridique actuel n'est pas adapté aux spécificités des technologies d'EDCm. Bien que des principes généraux du droit international s'appliquent, comme le principe de précaution ou le principe pollueur-payeur, aucun texte du droit international n'a été conçu spécifiquement pour assurer la régulation de l'EDCm. Cette lacune réglementaire ignore ainsi le déploiement des expériences en milieu naturel ou encore les responsabilités en cas d'impacts négatifs sur l'environnement.

Pour l'instant, les cadres existants visent principalement à éviter les dommages environnementaux. Par exemple, la **Convention sur la diversité biologique*** (CDB) a instauré un moratoire *de facto*, exigeant qu'aucune activité de géo-ingénierie n'ait lieu sans fondement scientifique et évaluation des risques suffisante. De même, la **Convention de Londres et son Protocole***, qui régulent le rejet de déchets en mer, limitent la fertilisation de l'océan à la « recherche scientifique légitime » et tentent d'élargir cette logique aux autres technologies d'EDCm. Toutefois, ces décisions ne sont pas juridiquement contraignantes et l'effet du Protocole de Londres restera limité tant que les amendements de 2013 concernant la géo-ingénierie marine ne seront pas entrés en vigueur.

De plus, les écosystèmes marins étant connectés, toute activité d'EDCm peut avoir des conséquences transfrontalières, même si elle est menée dans les eaux d'un seul État. Le nouvel **accord BBNJ*** sur la haute mer, récemment entré en vigueur, pourrait apporter un cadre réglementaire sur les questions de sûreté. Bien qu'il propose des outils de régulation et d'évaluation des impacts environnementaux des activités qui ont lieu en haute mer, la manière dont cela pourrait s'appliquer à l'EDCm reste à clarifier.

D'autres évolutions récentes influencent le débat. En mai 2024, le Tribunal international du droit de la mer a rendu un avis consultatif historique dans lequel il estime que les émissions de gaz à effet de serre dues à l'activité humaine constituent une forme de pollution marine en vertu de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer. Les États signataires ont donc l'obligation de prendre toutes les mesures nécessaires pour prévenir cette pollution et protéger l'environnement marin contre le réchauffement, la hausse du niveau de la mer et l'acidification. Bien qu'il ne soit pas contraignant, cet avis pourrait faire évoluer les normes internationales et influencer la manière dont les États encadreront demain l'EDCm.

Encadré 3.

UN POLICY BRIEF POUR MIEUX ÉCLAIRER LA GOUVERNANCE DE L'EDCm

Alors que l'intérêt pour l'EDCm s'accroît, des questions majeures demeurent quant à leur efficacité, aux risques environnementaux, ainsi qu'aux implications sociales et économiques. Afin d'éclairer les débats sur cet enjeu émergent et complexe, la Plateforme Océan & Climat a élaboré un ensemble de recommandations à destination des décideurs¹⁶, visant à promouvoir une recherche sûre et équitable, tout en prévenant un déploiement prématuré. Les technologies d'EDCm ne sont pas, à ce jour, des solutions d'atténuation du changement climatique ; la priorité doit rester la réduction urgente et massive des émissions de gaz à effet de serre. La recherche scientifique est néanmoins nécessaire afin de mieux comprendre leur potentiel, leurs limites et leurs risques, à condition que celle-ci soit encadrée par des garanties robustes, notamment environnementales et sociales. Enfin, il apparaît indispensable de renforcer et d'harmoniser le cadre de gouvernance de l'EDCm, aujourd'hui fragmenté, afin d'encadrer la recherche et d'éviter tout déploiement prématuré de ces approches.

16/ Ocean & Climate Platform (2026), Navigating Hopes and Threats: How Precaution Should Guide Marine Carbon Dioxide Research and Governance, Policy Brief.»

4 DES QUESTIONS ÉTHIQUES

Le développement des activités d'EDCm pose également des questions éthiques, au premier rang desquelles :

• **La justice intergénérationnelle et la dissuasion de l'atténuation.** La promesse d'une solution technologique au changement climatique via la géo-ingénierie fait peser un double risque sur la transition écologique. D'une part, c'est un pari incertain sur l'avenir : intégrer des technologies non éprouvées dans les stratégies de décarbonation à long terme revient à reporter la charge de l'action, et des impacts climatiques démultipliés, sur les générations futures. D'autre part, cette perspective pourrait détourner l'attention et les financements massifs qui devraient être alloués à l'atténuation et à l'adaptation urgentes au changement climatique ; on parle également d'**aléa moral***. Planifier un recours massif, quoique incertain, à l'EDCm, risque ainsi de fragiliser l'action collective en rendant les efforts de sobriété inutiles aux yeux du grand public et des décideurs.

• **L'évaluation et l'arbitrage des besoins réels en EDC.** Si les rapports du GIEC soulignent la nécessité de recourir à l'EDC pour respecter l'objectif de limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C ou 2 °C, les volumes d'EDC requis ne découlent pas d'une fatalité absolue mais de choix politiques. Les trajectoires actuelles intègrent souvent des hypothèses socio-économiques (maintien de la croissance matérielle, déploiement tardif de la sobriété) qui gonflent mécaniquement la dépendance future aux technologies d'EDC. L'évaluation de ces besoins constitue donc un enjeu éthique majeur, car des choix alternatifs de société basés sur des transformations structurelles immédiates réduiraient drastiquement la nécessité de recourir à l'EDC.

• **Les risques d'une manipulation à grande échelle du système planétaire.** La géo-ingénierie propose d'atténuer le changement climatique anthropique par des interventions technologiques dans le fonctionnement de la planète. Toutefois, l'analyse des systèmes complexes montre que les interventions humaines dans la biosphère comportent des risques élevés de rétroactions imprévues. L'histoire environnementale illustre cette limite : les échecs passés d'introduction d'espèces pour la lutte contre d'autres espèces envahissantes rappellent que la modification de systèmes complexes produit souvent des effets secondaires délétères.

• **La marchandisation de l'EDCm et les conflits d'intérêts.** Le rôle du secteur privé génère des questions éthiques quant à la marchandisation d'une réponse à un problème global. À l'instar de la recherche biomédicale, par exemple, le développement de l'EDCm vise à offrir des solutions à une crise globale affectant l'humanité entière. Or, le développement et la commercialisation de technologies, d'infrastructures ou de crédits carbone associés permettraient aux entreprises de générer des profits substantiels. De façon similaire à l'encadrement de l'industrie pharmaceutique, l'EDCm nécessite ainsi des cadres réglementaires stricts régissant la conduite des recherches, la transparence des données et la communication des résultats, afin de s'assurer que les impératifs financiers ne supplantent pas l'intérêt général.

Conclusion : une controverse grandissante

Alors que l'urgence climatique appelle à mettre en place des actions concrètes, rapides, et efficaces, la réduction massive des émissions de gaz à effet de serre demeure la priorité absolue pour préserver un avenir habitable à notre planète et la vie qu'elle abrite. Les technologies d'élimination du CO₂ en milieu marin ne peuvent, à ce stade, être considérées comme des solutions éprouvées d'atténuation du changement climatique. Leur potentiel réel, leurs coûts et externalités, leurs besoins en énergie et en matériaux, ainsi que leurs impacts sur les écosystèmes marins et les sociétés humaines restent encore trop incertains. Si certaines approches d'EDCm devaient être poursuivies, elles devraient l'être dans un cadre strictement encadré, transparent, indépendant et orienté vers la recherche, en excluant tout déploiement prématuré. Les expérimentations ne devraient concerner que des technologies présentant des risques limités, et si possible, des co-bénéfices pour la biodiversité et les communautés côtières. Elles devraient également s'accompagner de protocoles robustes de suivi, de notification et de vérification, d'études d'impact complètes, d'analyses de cycle de vie et d'une participation effective des publics concernés. Dans ce contexte, l'EDCm doit être envisagée comme un champ de recherche plutôt que comme une promesse technologique déjà mobilisable à grande échelle. Son développement soulève des questions scientifiques, écologiques, sociales, juridiques et éthiques majeures : risques de dommages irréversibles, gouvernance internationale encore fragmentée, marchandisation des crédits carbone, conflits d'intérêts et possible dissuasion des efforts de décarbonation. La prudence impose donc de maintenir le cap : réduire les émissions à la source, renforcer la protection des écosystèmes marins et n'envisager l'EDCm que sous des garanties scientifiques et démocratiques robustes.

© Erick Morales Oyola

Glossaire

Accord BBNJ	Accord sur la biodiversité en haute mer, adopté en juin 2023 et entré en vigueur en janvier 2026. Il établit entre autres des processus pour la mise en place d'outils de gestion tels que la création d'aires marines protégées, la réalisation d'études d'impacts environnementaux, le partage équitable des ressources génétiques, le renforcement des capacités et le transfert de technologies marines.
Accord de Paris	Traité international adopté en décembre 2015 dans le cadre de la COP21 et entré en vigueur en novembre 2016. Signé par 195 pays, il vise à renforcer la réponse au changement climatique. Un de ses objectifs principaux est de limiter l'élévation de la température à 1,5°C par rapport à l'ère pré-industrielle.
Acidification de l'océan	Diminution du pH de l'océan due à une augmentation des concentrations en CO ₂ de l'eau.
Alcalinisation de l'océan	Augmentation du pH de l'océan liée à l'ajout de substances alcalines (roches carbonatées ou silicatées) dans l'eau de mer.
Aléa moral	Situation où la perception de l'existence d'une solution technologique au changement climatique peut réduire les efforts engagés pour baisser les émissions de gaz à effet de serre.
Analyse de cycle de vie	Méthode d'évaluation des impacts environnementaux d'un produit ou d'une technologie sur l'ensemble du processus : préparation, déploiement et fin de vie du produit ou de la technologie.
Carbone bleu	Carbone capté et stocké par les écosystèmes côtiers et marins comme les mangroves, les herbiers marins et les marais salés.
Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements climatiques (CCNUCC)	Convention adoptée en 1992 lors du Sommet de la Terre à Rio. Entrée en vigueur en 1994, elle est signée par 198 parties. Ce cadre de coopération internationale vise à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre à un niveau qui limiterait toute perturbation anthropique dangereuse pour le système Terre.
Convention sur la Diversité Biologique (CDB)	Convention internationale adoptée en 1992 lors du Sommet de la Terre à Rio. Entrée en vigueur en 1996, elle a été adoptée par 196 parties. Elle vise à la conservation de la biodiversité, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques.
Convention de Londres et son protocole	Traité international, adopté en 1972 et entré en vigueur en 1976 visant à prévenir la pollution des mers par l'immersion de déchets et autres matières. Cette convention est complétée par le protocole de Londres, adopté en 1996 et entré en vigueur en 2006, et amenée à remplacer ladite convention.

Crédit carbone	Certificat qui assure l'élimination d'une quantité définie de carbone par une technologie d'EDC. Ces crédits sont vendus à des entreprises pour compenser leurs émissions.
Culture de macro-algues	Technologie d'EDCm qui consiste à cultiver en masse des macro-algues pour absorber le CO ₂ . La biomasse produite est soit extraite du milieu, et utilisée ou stockée en milieu terrestre, soit elle sédimente naturellement ou artificiellement pour rejoindre les fonds marins.
Désoxygénation de l'océan	Diminution progressive du taux d'oxygène dissous dans les eaux marines, principalement provoquée par le réchauffement climatique et la pollution par les nutriments.
Élimination du dioxyde de carbone (EDC)	Interventions humaines pour capturer et séquestrer artificiellement les gaz à effet de serre stockés dans l'atmosphère, et les séquestrer durablement dans des réserves artificielles ou naturelles.
Élimination du dioxyde de carbone marin (EDCm)	Technologie d'élimination du dioxyde de carbone atmosphérique visant à renforcer artificiellement la capacité naturelle de l'océan à capturer et séquestrer du CO ₂ (voir pompe biologique et pompe physico-chimique).
Étude d'impact	Études qui permettent d'évaluer les impacts environnementaux d'un projet par comparaison avec l'état zéro défini en amont.
Fertilisation de l'océan	Intervention humaine visant à stimuler la production de phytoplancton par le processus de photosynthèse via l'ajout d'éléments chimiques limitants comme le fer.
Géo-ingénierie	Ensemble de technologies visant à modifier les conditions environnementales afin d'atténuer ou de compenser les impacts du changement climatique.
Gestion du Rayonnement Solaire (GRS)	Approches de géo-ingénierie visant à affaiblir le rayonnement du soleil en réfléchissant une partie de ses rayons vers l'espace pour refroidir l'atmosphère.
Marché volontaire du carbone	Marché qui permet aux entreprises et aux particuliers de compenser leurs émissions de gaz à effet de serre en achetant des crédits carbone, sans obligation réglementaire ni cadre légal.
Mésocosme	Dispositif expérimental de taille moyenne permettant de reproduire et de contrôler un écosystème pour étudier les réponses biologiques et écologiques à des variations environnementales.

Modélisation	Techniques permettant de représenter un objet, un système ou un phénomène sous forme virtuelle à l'aide d'ordinateurs et de logiciels spécialisés pour en tester le fonctionnement et prédire son comportement.
Neutralité carbone	Situation dans laquelle les émissions de CO ₂ générées par les activités humaines sont réduites au maximum et pour celles restantes (résiduelles) compensées par des absorptions équivalentes, de sorte que le bilan net des émissions de CO ₂ soit nul.
Pompage des eaux de surface ou des profondeurs (upwelling / downwelling artificiels)	Utilisation de technologies pour provoquer une remontée (<i>upwelling</i>) ou une descente (<i>downwelling</i>) forcée des eaux, afin de stimuler la production de phytoplancton ou de stocker du carbone en profondeur.
Pompe à carbone biologique	Ensemble des processus biologiques de l'océan qui transfèrent le carbone de la surface vers les fonds marins via le réseau trophique marin.
Pompe à carbone physico-chimique	Ensemble des processus physico-chimiques de l'océan qui permettent la dissolution du CO ₂ et son transfert dans les eaux profondes.
Protocoles de suivi et vérification	Méthodes scientifiques combinant mesures in situ, capteurs et modélisations océaniques pour quantifier et certifier précisément le CO ₂ réellement éliminé de l'océan et de l'atmosphère, ainsi que la durabilité de son stockage.

RESSOURCES

RAPPORTS SCIENTIFIQUES

- American Geophysical Union. 2024. "Ethical Framework Principles for Climate Intervention Research." ESS Open Archive. October 17, 2024. <https://doi.org/10.22541/essoar.172917365.53105072/v1>
- GESAMP. 2025. "The State of the Science for Marine Carbon Dioxide Removal (mCDR) - A Scientific Summary for Policy-Makers." Paris, UNESCO-IOC. (IOC Technical Series, 209). <https://doi.org/10.5281/zenodo.15490407>
- IOC of UNESCO. 2026. "Integrated Ocean Carbon Research: A Vision Primed for Implementation". Paris, UNESCO. (IOC Technical Series, 214). <https://doi.org/10.71245/FULK2623>
- NOAA. 2023. "Strategy for NOAA Carbon Dioxide Removal Research: A White Paper Documenting a Potential NOAA CDR Science Strategy as an Element of NOAA's Climate Interventions Portfolio." NOAA Special Report. Washington, DC: NOAA. <https://doi.org/10.25923/gzke-8730>
- Edwards, M. R., Geden, O., Gidden, M. J., Lamb, W. F., Minx, J. C., Nemet, G. F., Smith, S. M., Bellamy, R., Brutschin, E., Diaz Anadon, L., Fuss, S., Grassi, G., Johnstone, I., Lebling, K., Lunstrum, A., Müller-Hansen, F., Portugal-Pereira, J., Probst, B., Vaughan, N. E. (eds.) The State of Carbon Dioxide Removal 3rd Edition 2026. <https://www.stateofcdr.org/>

RESSOURCES DE LA PLATEFORME OCÉAN & CLIMAT

- Plateforme Océan & Climat, 2019. Fiches scientifiques. <https://ocean-climate.org/en/presentation-of-the-ocean-and-climate-scientific-items/>

ARTICLES DE RECHERCHE

- Boyd, P. W., Gattuso, J.-P., Hurd, C. L., & Williamson, P. 2024. "Limited Understanding of Basic Ocean Processes Is Hindering Progress in Marine Carbon Dioxide Removal." *Environmental Research Letters*, 19(6), 061002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad502f>
- Keller, D. P., Lenton, A., Littleton, E. W., et al. 2018. "The Effects of Carbon Dioxide Removal on the Carbon Cycle." *Current Climate Change Reports*, 4, 250-265. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0104-3>
- Oschlies, A., Bach, L. T., Fennel, K., Gattuso, J.-P., & Mengis, N. 2025. "Perspectives and Challenges of Marine Carbon Dioxide Removal." *Frontiers in Climate*, 6:1506181. <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1506181>
- Resplandy, L., Lévy, M., & Bopp, L. 2026. "Integrated Perspective on Ocean Carbon Cycle: Untangling Facts, Fluxes, and Fictions." *Science Advances*, 12(21): eaed2480. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aed2480>



PLATEFORME OCÉAN & CLIMAT

Avec le soutien de :



AFD
AGENCE FRANÇAISE
DE DÉVELOPPEMENT



Fondation
de
France



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE,
DE LA BIODIVERSITÉ
ET DES NÉGOCIATIONS
INTERNATIONALES
SUR LE CLIMAT ET LA NATURE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Fondation
VEOLIA