

« Valorisation du carbone bleu, cas de la Baie d'Ambaro et sa haute mer, Madagascar ».

Par : Dr RATOVOHAJA Hanitra 1

Enseignant-Chercheur à l'Université de Mahajanga, EAD à l'EDEN/UMG,
032 83 917 41 , 034 07 577 85, e-mail : ratovohaja@gmail.com/hanitra_ratovohaja@yahoo.fr

Intervenants :

Dr RAVELOJAONA Dorient 2

Enseignant-Chercheur à l'Université de Toamasina

E-mail : velojaoana@gmail.com et dorientr@yahoo.com

Tel : 032 11 982 33 – 032 45 390 20

Dr. Tsimangataka Tsimiovalaza 3

Enseignant-Chercheur à l'IUGM Mahajanga

E-mail : tsimiovalaza@yahoo.fr ou tsimiovalaza@gmail.com

Tel : 320 60 532 34

M. RAVELOJAONA Félicien 4

Doctorant à l'Université de Mahajanga, EDEN E-mail : felicienravejoana@yahoo.fr

Tel : 032 93 199 63

M. RAJAONA Richard 5

Doctorant à l'Université de Toamasina

E-mail : rjrissard@yahoo.fr

Tel : 032 11 982 78



RÉSUMÉ

Les écosystèmes de carbone bleu peuvent aider à réduire les impacts du changement climatique, à soutenir l'adaptation et à garantir des résultats sociaux, économiques et environnementaux. Des écosystèmes sains de carbone bleu stockent et séquestrent le carbone, contribuant ainsi à atténuer les changements climatiques, à soutenir la biodiversité et à fournir des services écosystémiques précieux aux communautés côtières. Lorsqu'ils sont dégradés ou perdus, ils contribuent au changement climatique en libérant des gaz à effet de serre (GES) stockés dans l'atmosphère et peuvent devenir des sources d'émission significatives. Un projet de carbone bleu utilise la valeur d'atténuation du changement climatique des écosystèmes marins et côtiers pour soutenir leur conservation, leur utilisation durable et leur restauration. Les avantages de la connaissance de carbone bleu en matière d'atténuation des changements climatiques sont déterminés en comparant les modifications de la réduction des émissions de GES et des émissions résultant du projet aux réductions des émissions de GES et des émissions qui auraient eu lieu en l'absence du projet.

Mots clés : écosystèmes, carbone, bleu, stockés, séquestrés.

ABSTRACT

Blue carbon ecosystems can help reduce the impacts of climate change, support adaptation and ensure social, economic and environmental outcomes. Healthy blue carbon ecosystems store and sequester carbon, helping to mitigate climate change, support biodiversity and provide valuable ecosystem services to coastal communities. When degraded or lost, they contribute to climate change by releasing greenhouse gases (GHGs) stored in the atmosphere and can become significant sources of emissions. A blue carbon project uses the climate change mitigation value of marine and coastal ecosystems to support their conservation, sustainable use and restoration. The benefits of knowledge of blue carbon in climate change mitigation are determined by comparing changes in GHG emission reductions and project emissions to GHG and GHG emission reductions emissions that would have occurred in the absence of the project.

Keywords: ecosystems, carbon, blue, stored, sequestered.

CONTEXTE GÉNÉRAL

Le carbone bleu correspond au carbone stocké et piégé dans les habitats forestiers bleus (mangroves, herbiers marins, marais intertidaux, lits et forêts de varech). Les écosystèmes de mangrove contiennent ainsi jusqu'à 12 fois plus de carbone que les forêts primaires en Amazonie (Amérique Centrale), bien réputées d'être les plus riches en carbone. La conservation de ces forêts apparaît donc primordiale dans la lutte contre le changement climatique.

Couvrant 71 % de la surface du globe, l'océan mondial est un écosystème complexe qui fournit des services essentiels au maintien de la vie sur la Terre.

Plus de 25 % du CO₂ émis chaque année par les humains dans l'atmosphère est absorbé par l'océan et il est également le premier fournisseur net d'oxygène de la planète, jouant un rôle tout aussi important que les forêts. L'océan constitue donc le principal poumon de la planète et se trouve au cœur de la machine climatique planétaire.

Si l'océan continue à limiter le réchauffement climatique global, depuis plusieurs décennies, la pression anthropique, principalement les émissions de CO₂, la surexploitation des ressources et les pollutions, ont dégradé les écosystèmes marins. L'océan risque donc de voir son rôle de régulateur du climat perturbé.

Les mesures d'atténuation et d'adaptation à prendre face aux changements climatiques s'appuient sur des observations et des projections portant sur une fenêtre de moins de 250 ans. Une étude récente de Clark et de ses collaborateurs, publiée dans *Nature Climate Change*, s'intéresse aux conséquences climatiques sur de très longues durées (plus de 10 000 ans). Leur ampleur est liée aux émissions de CO₂. Selon les scénarios, la hausse de température pourrait s'élever bien au-delà des 2 °C et on pourrait s'attendre à une hausse du niveau global de la mer de 2 à 4 mètres par siècles durant le prochain millénaire.

Ces résultats confirment l'importance de laisser inutilisée une grande quantité de ressources fossiles.

Les mangroves, ces écosystèmes littoraux uniques capables de survivre dans des conditions de forte salinité, sont présentes dans plus de 120 pays à travers les tropiques, fournissent bon nombre de ressources essentielles pour les populations côtières, dès l'approvisionnement en

produits de pêche, en bois de construction et pour la cuisine, jusqu'à la protection du littoral et le maintien d'une riche biodiversité marine et terrestre. Malgré leur valeur considérable, plus de la moitié des mangroves mondiales ont disparu depuis 1960, suivant un rythme estimé entre 1 et 2% de déforestation par an.

Les résultats de recherche de certains ONG scientifiques et des chercheurs étrangers et locaux, montrent également que la Baie d'Ambaro et d'Ambanja constitue un « point chaud » de déforestation : au fil des années 90 jusqu'à ce jour, la surface de mangrove y a régressé de plus de 15 %.

Dans un pays où 92% de la population vit en dessous de deux dollars par jour, la pauvreté a conduit la population de cette région à exploiter les mangroves pour la production de charbon de bois. Ce défrichage illégal constitue le premier facteur de déforestation de mangrove et introduit de menace du mode de vie des communautés côtières ainsi que la biodiversité unique qu'abrite cet écosystème.

Le carbone atmosphérique capté sur terre, 55% est séquestré par les écosystèmes marins dits à « carbone bleu » comme les mangroves, les herbiers d'algues et les marais salants. Les sols profonds et boueux des écosystèmes de mangrove, riches en matière organique, contiennent la majorité du carbone stocké dans ces forêts.

Cette étude révèle une concentration en carbone organique très importante dans les mangroves et les sols ainsi qu'aux alentours de littoraux qu'elles maintiennent en place. Dans la Baie d'Ambaro et d'Ambanja, les forêts de haute stature à canopée fermée contiennent en moyenne 147 Mg/ha de carbone dans leur végétation et 446 Mg/ha dans leurs sols. La perturbation des couches superficielles du sol peut conduire à des émissions considérables de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, responsable du changement climatique. Bien que les mangroves ne représentent que 3% de la couverture forestière mondiale, la perte de ces habitats produits jusqu'à 19% des émissions globales liées à la déforestation. Leur destruction équivaut de plus à une perte économique estimée entre 6 à 42 milliards de dollars chaque année, en particulier dans le secteur de la pêche et de l'aquaculture.

Les résultats des études faits par les ONG scientifiques et les chercheurs scientifiques mondiaux visent le développement de mécanismes permettant de valoriser les services écosystémiques de la mangrove, en particulier le carbone et la pêche afin de financer leur conservation tout en contribuant à l'amélioration des conditions de vie des communautés côtières.

Sur le littoral malgache, protéger et restaurer les mangroves est vital pour assurer un développement économique harmonieux, augmenter la capacité des populations à s'adapter au changement climatique et conserver la biodiversité.

Les forêts de mangrove à Madagascar constituent des écosystèmes essentiels, tant sur la biodiversité exceptionnelle qu'elles abritent, que sur l'apport fondamental en services et biens qu'elles offrent aux populations côtières.

Les baies contiguës d'Ambaro et d'Ambanja, sur la côte nord-ouest du pays, recèlent la deuxième plus grande mangrove de l'île. Mais, avec 25% de forêt disparue de 1990 à ce jour, ces mangroves sont parmi les plus menacées du pays.

La déforestation servant à tous les intérêts de la production locale de charbon, conduit à des pertes irréversibles en termes de la biodiversité, a des effets dévastateurs sur la pêche, et met les populations en danger en ôtant d'importantes protections côtières.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1.MATÉRIELS

1.1.1- Océan, puits de carbone

Selon un rapport des Nations Unies, des océans sains constituent le système de piégeage et de stockage du carbone le plus efficace et le plus rentable. Les écosystèmes marins tels que les forêts de mangroves, les herbes marines ainsi que les marais d'eau salée, peuvent capturer et stocker une quantité importante de carbone. Ces "puits de carbone bleu" représentent aujourd'hui la solution la plus efficace et la plus rentable pour lutter contre le changement climatique selon l'ONU.

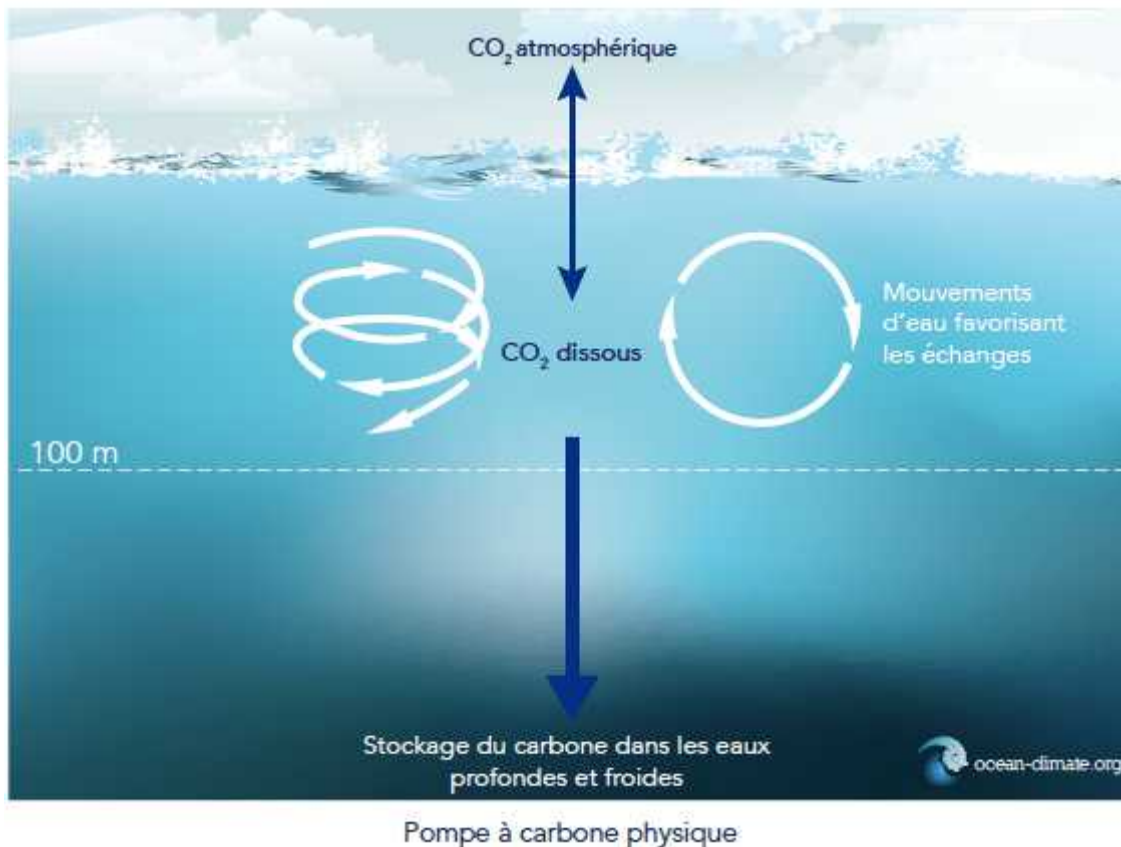
1.1.2-Limites d'études

Une approche écosystémique à la gestion des océans peut améliorer leur capacité de puits de carbone naturels.

Tout d'abord, nous devons faire connaître qu'est ce qu'un puits de carbone ? Un puits de carbone est un réservoir naturel ou artificiel qui absorbe et stocke le carbone de l'atmosphère, grâce à des mécanismes physiques et biologiques s'agissant : le charbon, le pétrole, les gaz naturels, les hydrates de méthane et les roches calcaires...

À la suite de processus très longs, et sous certaines conditions, ces puits ont pu stocker du carbone depuis des millénaires. *A contrario*, l'utilisation de ces ressources, qualifiées de fossiles, réinjecte le carbone qu'ils contiennent dans l'atmosphère. Aujourd'hui, d'autres puits de carbone entrent en jeu : les sols qui accumulent de l'humus (comme les tourbières), certains milieux en voie de végétalisation (comme les forêts en formation) et bien sûr certains processus biologiques et physiques qui se passent en milieu marin.

Schéma 1 : Pompe à carbone physique



Source : www.ocean-climate.org , septembre 2019.

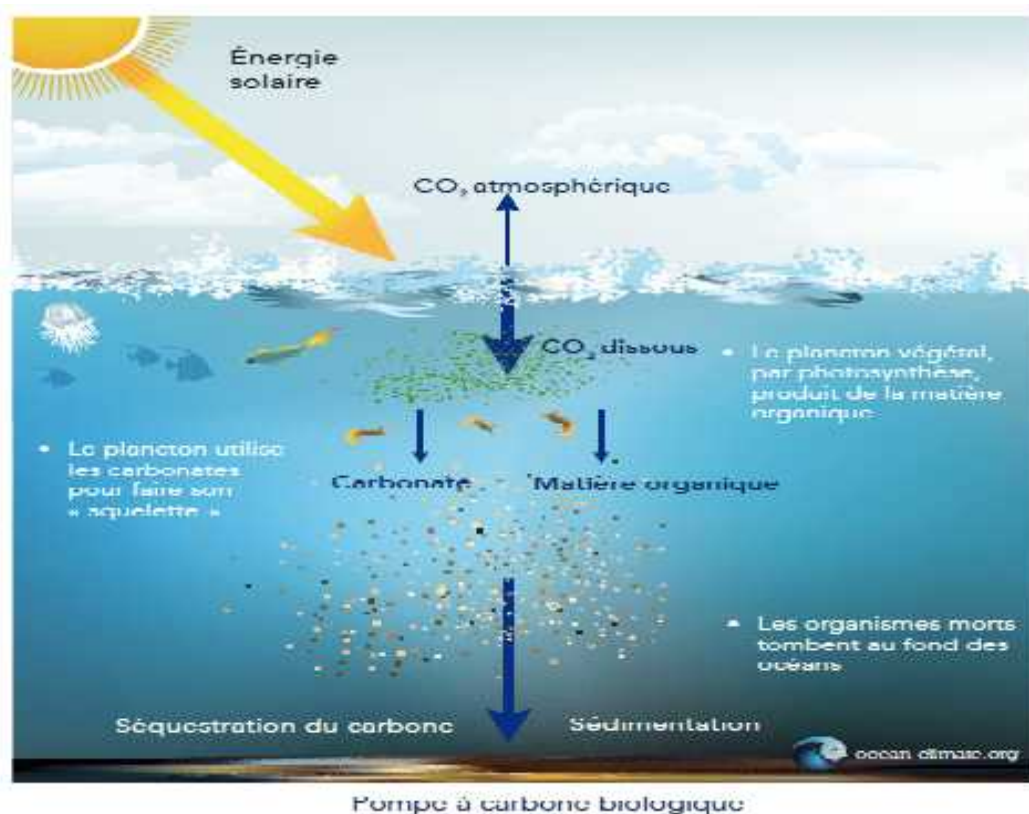
Ce sont ces derniers qui forment la « pompe à carbone océanique », aujourd'hui bien connue. Elle se compose de deux compartiments : d'une part une pompe biologique qui transfère le carbone de la surface vers les fonds marins via la chaîne alimentaire (il y est alors stocké à long terme) et, d'autre part, la pompe physique qui elle, découle de la circulation océanique. Aux pôles, l'eau plus dense coule vers les profondeurs, entraînant le carbone dissout avec elle. C'est dans les hautes latitudes en effet, que l'eau se charge plus facilement en CO₂ car la dissolution du CO₂ atmosphérique y est facilitée par la température moins élevée (d'où l'importance des régions polaires dans le cycle du carbone).

Il est difficile de déterminer quelle quantité de carbone est stockée par ces mécanismes, mais on estime que l'océan concentre 50 fois plus de carbone que l'atmosphère.

Pour certains scientifiques, la haute mer et sa colonne d'eau serait le plus grand puits de carbone de la planète, mais son avenir à grande échelle est encore inconnu, d'autant plus qu'avec l'acidification des océans, ce processus pourrait devenir moins efficace car il y aura moins de carbonates disponibles.

Quand on parle de stockage de carbone, la notion de temps est essentielle. La pompe biologique répond vite aux perturbations. Elle peut donc se déséquilibrer jusqu'à réémettre du carbone dans l'atmosphère. La pompe physique, quant à elle, agit sur une autre échelle de temps. Les perturbations l'affectent plus difficilement mais pour plus longtemps. Une fois la machine en marche, il sera difficile de l'arrêter. Le carbone emmené vers le fond, par la circulation océanique, est temporairement soustrait du cycle de surface, mais ce processus est mal quantifié. Par ailleurs, après un voyage de plusieurs centaines d'années, qu'advient-il de ce carbone lors de la remontée de ces eaux à la surface ?

Schéma 2 : Pompe à carbone biologique



Source : www.ocean-climate.org, Septembre 2019.

La pompe biologique est donc la plus facile à mesurer. Elle repose sur la bonne santé des écosystèmes. En haute mer par exemple, l'écosystème planctonique est un acteur majeur. Tout ce qui est matière organique et qui tombe sur le fond participe à la pompe biologique et, quand les conditions le permettent, à la formation du pétrole. Les organismes calcaires comme les coccolithophorides, algues unicellulaires microscopiques participent aussi à soustraire le carbone du cycle naturel. Quand elles meurent, elles génèrent un flux net vertical de carbone. Ce carbone peut alors être stocké dans les profondeurs sur de longues périodes géologiques. Ces processus peuvent laisser des traces. Par exemple, les falaises de craies ne sont rien d'autre que l'accumulation de coccolithes (plaques calcaires recouvrant ces micro-algues) au fond des océans, qui se sont retrouvées plus tard en surface des continents, suite à des mouvements géologiques.

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

Afin de lutter contre le changement climatique, des techniques de géo-ingénierie sont étudiées pour stocker artificiellement du CO₂ dans le puits de carbone océanique mais inquiètent la communauté scientifique car on n'a actuellement aucune idée des conséquences négatives d'éventuels déséquilibres ainsi induits. Cependant, la notion de puits de carbone est très controversée. Le cycle du carbone est complexe, d'autant plus qu'il est associé à des cycles d'autres éléments qui favorisent le réchauffement climatique. Ainsi, stocker du CO₂ libère aussi de la vapeur d'eau qui joue un rôle dans l'effet de serre. Par ailleurs, à cause de l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre, la température de l'eau et son acidité sont en train de changer. Cela modifie les équilibres physico-chimiques et biologiques et risque d'affecter la pompe océanique. Toutes ces données devraient nous inciter à réfléchir au devenir des écosystèmes marins.

Ces incertitudes devraient nous inciter à appliquer le principe de précaution et à protéger les écosystèmes marins. Une méthode de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau de mer conjointe à des réactions avec certains minéraux permettrait, tout à la fois, de stocker de l'énergie et de soustraire du gaz carbonique de l'atmosphère. En bonus, elle permettrait de diminuer l'acidité des océans.

1.1.3.-Homme et les puits de carbone bleu

L'important potentiel que représentent ces niches de carbone bleu pour atténuer les effets pervers du changement climatique est aujourd'hui complètement négligé. Alors que ces "puits de carbone bleu" sont des alliés naturels dans la lutte contre le changement climatique, ils continuent cependant à se dégrader ou à disparaître à un rythme alarmant.

Surexploitation des produits du bois, conversion en bassins d'aquaculture, urbanisation, détournement de l'écoulement d'eau douce... autant de facteurs qui font qu'aujourd'hui, plus de la moitié des forêts de mangrove dans le monde a disparu. Dans certaines zones du Sud-Est asiatique, jusqu'à 90 % des mangroves ont ainsi disparu depuis les années 1940. Et c'est ainsi l'effet inverse d'augmentation des gaz à effet de serre qui se produit. La pollution des eaux marines et la destruction des écosystèmes côtiers ont en effet pour conséquences de diminuer les capacités de stockage de carbone des océans.

"Les écosystèmes marins plus particulièrement les écosystèmes d'origine végétale des zones côtières, tels que les mangroves, les herbiers marins et les marais salants, ont démontré leur capacité à capturer le carbone sur le long terme, aussi bien dans la biomasse des plantes au dessus des fonds marins que dans les couches de sédiments enterrés. C'est la raison pour laquelle il est aujourd'hui largement reconnu que tous ces endroits où se trouvent des végétaux représentent un évier naturel important où vont se déverser les gaz à effets de serre. La dégradation et la destruction de ces écosystèmes aboutissent à la transformation de ces évier naturels en sources significatives de gaz à effets de serre, puisque le carbone capturé au long des siècles dans les couches de sédiments peut se déverser en très peu de temps dans l'environnement" expliquent ainsi le groupe de travail scientifique international sur le carbone bleu de l'UNESCO.

Selon l'ONU, les puits de carbone bleu et les estuaires piègent et séquestrent entre 235 et 450 terragrammes (Tg C, c'est-à-dire 870 to 1,650 millions de tonnes de CO₂) par an, soit l'équivalent de la moitié des émissions de l'ensemble du secteur mondial des transports, estimé à environ 1000 Tg C par an.

En évitant la disparition et la dégradation de ces écosystèmes et en favorisant leur remise en état, on pourrait compenser 3 à 7 % des émissions actuelles de combustible fossile (7 200 Tg C par an) en vingt ans. L'effet serait comparable à au moins 10 % des réductions nécessaires pour que les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère se maintiennent en-dessous des 450 ppm pour que le réchauffement climatique ne dépasse pas 2° C.

1.1.4. Océans

Les océans sont les principaux puits naturels de carbone, assimilé via le plancton, les coraux et les poissons, puis transformé en roche sédimentaire ou biogénique. On estime qu'ils concentrent 50 fois plus de carbone que l'atmosphère, 90 % par la pompe physique (en), 10 % par la pompe biologique. Mais ces chiffres de stock doivent être nuancés par les flux annuels. Une estimation sur la période 2000–2006 donne les chiffres suivants : les émissions anthropiques de dioxyde de carbone sont absorbées à 45 % dans l'atmosphère, 30 % par la terre et 24 % par les océans.

50 % environ des coraux des eaux chaudes semblent malades ou morts ces dernières décennies, et lorsque le niveau de CO₂ s'accroît au-delà d'un seuil critique dans l'atmosphère, en augmentant également l'acidité des eaux marines, créant potentiellement de désastreux océans acides qui pourraient tuer le plancton qui piègeait le mieux le carbone, et rendant l'océan plus acide encore. De plus des zones mortes s'étendent dans les océans, qui deviennent émettrices de carbone ou de méthane. Les mers contiennent une quantité variable de CO₂ dissoute, fonction de la biomasse et de la nécromasse, de la disponibilité en nutriments, de la température et de la pression.

Le phytoplancton marin, à l'instar des arbres, utilise la photosynthèse pour extraire le carbone du CO₂. Il est le point de départ de la chaîne alimentaire océanique. Le plancton et d'autres organismes marins utilisent le CO₂ dissous dans l'eau ou prélevé dans leur nourriture pour constituer leurs squelettes et coquilles à base de calcaire minéral, CaCO₃. Ce mécanisme élimine le CO₂ contenu dans l'eau et favorise la dissolution de celui contenu dans l'air. Les squelettes et coquilles calcaires ainsi que le « carbone organique » (nécromasse, excréta et excréments) de ces organismes tombent finalement en une « pluie » continue (dite « *Neige marine* ») dans les fonds marins où ils sédimentent pour lentement former des roches sédimentaires.

Le carbone des cellules du plancton doit être immergé entre 2 000 et 4 000 mètres de profondeur pour être emprisonné pour plusieurs milliers à millions ou milliards d'années sous forme de roche, les sédiments superficiels étant pour partie brassés, remis en suspension et réutilisés comme nutriments par la biosphère.

1.1.5. Nations Unies et "le portail du Carbone Bleu"

Afin de valoriser l'importance du carbone bleu, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) vient ainsi de lancer un portail internet, "Le portail du Carbone Bleu". : <http://bluecarbonportal.org>

Ce portail offre une plate-forme dynamique pour discuter des enjeux de carbone bleu, illustrer les initiatives à travers le monde, et créer un réseau de différents projets pour partager des informations, des idées et des ressources.

1.2. MÉTHODES

1.2.1. Lancement du portail du carbone bleu

Explique le Programme des Nations Unies pour l'Environnement : "L'objectif est de développer un partenariat globale pour faire progresser la gestion rationnelle des écosystèmes côtiers et marins afin de s'assurer que soient maintenues leurs fonctions de séquestration et de stockage afin de lutter contre les émissions de gaz à effet de serre".

Christian Nellemann, directeur du rapport sur le Carbone bleu de l'ONU publié en 2009 : "C'est maintenant qu'il faut agir pour conserver et améliorer ces puits de carbone. Depuis les années 40, plus de 30 % des mangroves, près de 25 % des marais et plus de 30 % des prairies sous-marines ont été détruits. Nous sommes en train de perdre ces importants écosystèmes et ceci au moment même où nous en avons besoin. Et ils pourraient bien avoir totalement disparu d'ici une vingtaine d'années."

En absorbant le CO₂, l'océan joue un rôle majeur de tampon aux perturbations de l'atmosphère. On estime ainsi qu'il a absorbé un tiers des émissions de CO₂ dues à l'activité humaine depuis le début de l'ère industrielle. Mais cette absorption de quantités croissantes de CO₂ n'est pas sans conséquences ; la principale est l'acidification des eaux, qui menace la biodiversité océanique et risque donc de réduire l'efficacité de la pompe biologique.

1.2.2. Changement climatique

La hausse de la température, associée à la hausse de la concentration en carbone dissous dans les eaux de surfaces, réduit de plus la solubilité du CO₂ dans l'eau : plus l'eau est chaude, moins la pompe physique est efficace, donc moins l'océan absorbe de carbone.

L'augmentation de la température de l'eau augmente aussi la stratification de l'océan, limitant la circulation verticale : l'eau chaude, moins dense, reste en surface, et il y a peu d'échange et de mélange avec les eaux profondes plus froides et plus riches en nutriments. Cela menace la biodiversité, contribue à modifier la productivité du plancton, et réduit la part de carbone dissous qui sera entraînée vers les fonds océaniques.

Il semblerait donc que la capacité des océans d'agir comme des puits à carbone s'affaiblisse à l'avenir, avec quelques signes tendant à indiquer que cette tendance est d'ores et déjà détectable.

Ainsi, s'il est aujourd'hui indispensable de préserver les écosystèmes marins pour valoriser les puits de carbone bleu et atténuer le réchauffement climatique, c'est la sobriété énergétique qui doit rester la priorité stratégique de toute politique durable et responsable pour freiner le réchauffement climatique et ainsi sauver l'humanité.

1.2.3. Comptabilisation des puits de carbone naturels

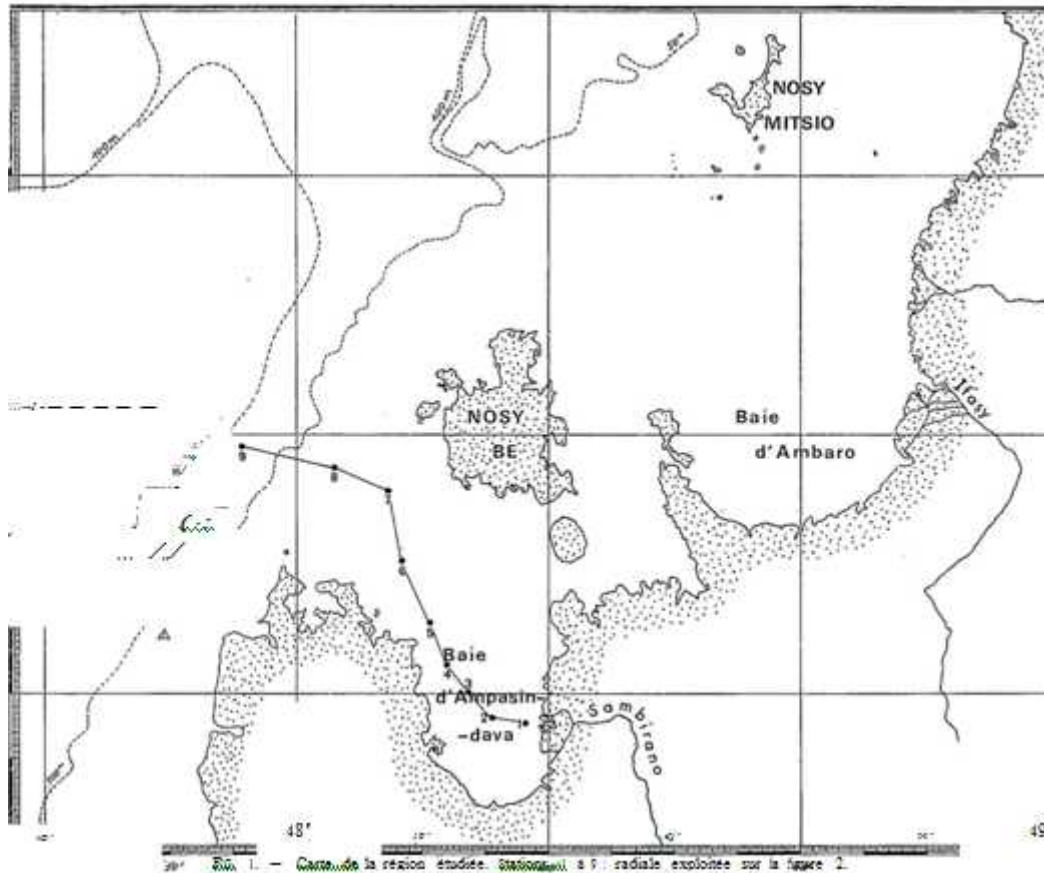
Les manières de comptabiliser les différents puits de carbone naturels sont complexes et peuvent différer selon les pays. Il est en particulier souvent difficile, voire impossible, de faire la part du naturel et de l'anthropique pour les émissions et absorptions liées à l'usage des sols et aux forêts. Pour surmonter cette difficulté, la CCNUCC a décidé de considérer comme anthropiques toutes les émissions et absorptions ayant lieu sur des terres déclarées comme « gérées », bien que celles-ci soient en partie naturelles et considérées comme telles dans les bilans carbone du GIEC.

D'autre part, la prise en compte ou non du « carbone bleu », le carbone biogénique stocké dans les écosystèmes marins et côtiers (mangroves, herbiers et zones humides côtières) fait encore l'objet de discussions.

1.2.4. Intégration de compensation de carbone

La compensation carbone consiste à contrebalancer ses propres émissions de CO₂ par le financement de projets de réduction d'émissions de GES en dehors de son périmètre ou de retrait de CO₂ de l'atmosphère.

Schéma 3 Carte de la côte Nord Ouest de Madagascar (Baie d'Ambaro)



Source : Serge FRONTIER (Bull. écologique, 1978)

1.2.5. Conservation des zones humides intactes

Les sols de terres humides sont des réservoirs de carbone importants, empêchant ainsi le drainage et la dégradation des terres humides permettant d'éviter d'importantes émissions de CO₂. Les activités du projet peuvent inclure: le contrôle des sources de stress (pollution côtière, surexploitation et développement côtier) et la collaboration avec les planificateurs de l'utilisation des sols, les agences de tourisme et les communautés pour s'assurer que les écosystèmes de carbone bleu existants sont protégés et que le développement est ciblé loin des zones vulnérables, les habitats avec des stocks de carbone importants et les habitats qui apportent d'autres avantages humains importants (par exemple, la protection du littoral, la pêche).

1.2.6. Restauration et création de zones humides végétalisées

Les activités du projet peuvent inclure: l'abaissement des niveaux d'eau dans les anciennes zones humides mises en fourrière; Supprimer les barrières anti-marées; Réhumidification des zones humides drainées; Soulever des surfaces de sol avec des matériaux de dragage;

Augmenter l'apport de sédiments en supprimant les barrages; Restauration des conditions de salinité (réduction du CH₄ émissions); Améliorer la qualité de l'eau, par exemple pour les herbiers marins; Création de zones humides ou d'herbiers marins - conversion de terres ou de zones marines de zones non humides en zones humides ou d'herbiers marins en habitats d'herbiers marins où il n'existait auparavant aucune zone humide / herbiers marins.

Schéma 4 Ecosystèmes côtiers de carbone bleu : herbiers marins



Les écosystèmes côtiers de carbone bleu, tels que les herbiers marins, jouent un rôle essentiel dans la séquestration et le stockage à long terme du carbone. Photo © Tim Calver

1.2.7. Cinq Phases pour les projets Blue Carbon

Scoping

- Communautés locales qui dépendent des écosystèmes de carbone bleu pour l'alimentation / les moyens de subsistance (y compris les hommes et les femmes)
- Opérateurs touristiques / hôtels / organisations de pêche qui tirent des revenus d'écosystèmes sains de carbone bleu
- Agences d'assurance fournissant une protection contre les inondations
- Entreprises qui achètent des crédits de carbone ou paient pour des services écosystémiques
- Développeurs côtiers
- Scientifiques / Universités travaillant sur le carbone bleu

-Décideurs sous-nationaux, nationaux et internationaux (par exemple, les dirigeants locaux des ministères de l'environnement / du changement climatique au sein du gouvernement)

-Engagements internationaux (RAMSAR, UNFCCC, CDB)

-Organisations féminines pour l'économie, la santé, le développement et / ou l'environnement

Identifier les zones géographiques cibles des écosystèmes de carbone bleu et les principales préoccupations / facteurs de perte et de dégradation des zones humides:

- J La zone cible devrait inclure la limite géographique, la limite temporelle (c.-à-d. La période de comptabilisation), les réservoirs de carbone impliqués (par exemple, la biomasse, le carbone organique du sol) et les GES pris en compte (CO₂, CH₄ et N₂O)
- J Les limites du projet doivent englober la zone à contrôler ou à contrôler sous le contrôle des participants au projet. En outre, il est important de déterminer comment les frontières peuvent se déplacer en réponse au changement climatique, telles que l'élévation du niveau de la mer (par exemple, les mangroves migrant vers le sol). Identifier les services écosystémiques potentiels dont la valeur pourrait être mise à profit pour soutenir les activités et les objectifs du projet (par exemple, la protection des rives, la protection des stocks de pêche commerciale, la pêche côtière, la gestion de la mangrove, l'aquaculture d'algues, etc.)
- J Faisabilité technique, y compris une évaluation des meilleures pratiques de restauration, des avantages attendus en matière de GES, des méthodologies disponibles, de l'aptitude des terres, des limites du projet, de l'additionnalité et de la permanence. Il est important d'établir une base de référence et une région de référence, d'évaluer les menaces existantes (causes principales et activités pouvant être mises en place pour réduire / éliminer les menaces).
- J Faisabilité financière, comprenant une estimation des revenus et des dépenses, des parties prenantes, des flux financiers sur la durée du projet et des meilleures pratiques de structuration de la finance carbone
- J Faisabilité juridique et institutionnelle, y compris droits de carbone et droits fonciers, garantissant un «consentement préalable donné librement et en connaissance de cause», des questions fiscales et des exigences réglementaires
- J Évaluer le risque de non-permanence - en cas de perte de carbone (en raison de la dépollution / du drainage des zones humides, de l'élévation du niveau de la mer).

- J Le risque de non-permanence sera réduit en sélectionnant des sites capables de résister à l'élévation du niveau de la mer (disponibilité élevée de sédiments, forte croissance de la végétation et / ou pente progressive pour la migration des zones humides).
- J Évaluer les pratiques de gestion existantes (par exemple, leur incidence sur les hommes et les femmes, les migrants, les communautés autochtones) et la capacité scientifique
- J Illustrer clairement la nécessité et la portée d'un projet potentiel - décrire les avantages et les contraintes potentiels liés au projet

Planification

- J Identifier des objectifs généraux clairs et des objectifs mesurables
- J Cartographier les parties prenantes et identifier les partenaires du projet
- J Effectuer une analyse, une évaluation et un plan d'action liés au genre
- J Identifier les sources potentielles de financement et obtenir un financement pour le projet, y compris des fonds pour des activités et / ou une formation liées au genre
- J Évaluer les options de gouvernance et les cadres juridiques à l'appui de la gestion multisectorielle
- J Évaluer les impacts environnementaux ou sociaux potentiels du projet, veiller à ce que les garanties sociales nécessaires soient mises en place et à intégrer le genre dans toutes les phases, de la planification à la mise en œuvre, en passant par le suivi et l'évaluation
- J Choisir les méthodologies pour l'évaluation du carbone bleu
- J Développer une stratégie de suivi et d'évaluation qui couvre les impacts environnementaux, sociaux et économiques du projet

Démonstration

- J Mettre en œuvre des évaluations du carbone bleu, notamment l'évaluation du carbone, des services écosystémiques, des politiques et de la gestion, et évaluer le succès du projet pour éclairer la gestion adaptative
- J Donner la priorité aux menaces et aux opportunités, évaluer les options de gestion et examiner les compromis
- J Continuer à communiquer et à éduquer (politique et sensibilisation)

Exécution

- J Mesurer, consigner et vérifier le carbone - Pour que les réservoirs de carbone bleu soient inclus dans les mécanismes politiques (par exemple, pour générer des crédits de carbone), ils doivent être mesurés, rapportés et vérifiés. Cela permet un suivi précis des réductions d'émissions de GES et l'émission de quantités précises de crédits de carbone au niveau des projets.
- J Avant que le carbone puisse être vendu sur le marché, les projets carbone doivent être enregistrés auprès d'organismes de vérification (par exemple, Verified Carbon Standard; American Carbon Registry). L'enregistrement se produit lorsqu'un projet est officiellement dans une norme carbone et qu'une fois celui-ci inscrit dans le registre, il devient éligible pour la négociation et l'octroi de crédits. Les rapports de surveillance doivent être envoyés à une tierce partie pour vérification. En cas de succès, des crédits carbone seront émis.
 - o Les projets d'accréditation carbone doivent démontrer *additionnalité*- le carbone séquestré doit s'ajouter à ce qui aurait été réalisé si le projet carbone n'était pas mis en œuvre; *permanence*- le carbone stocké devrait le rester sur de longues périodes; *fuite*— Quand les projets Blue Carbon entraînent des émissions dans des zones situées en dehors des limites du projet.
- J Un logiciel sécurisé financé durable pour la mise en œuvre du projet de carbone bleu dans le temps (via le marché du carbone, l'approche du paiement multiple pour les services écosystémiques et / ou un autre mécanisme)

Suivi et évaluation

Surveiller, évaluer et adapter - Un suivi et une évaluation réguliers sont nécessaires pour tenir une équipe de projet informée de l'utilité et du succès des activités du projet et pour soutenir la gestion adaptative.

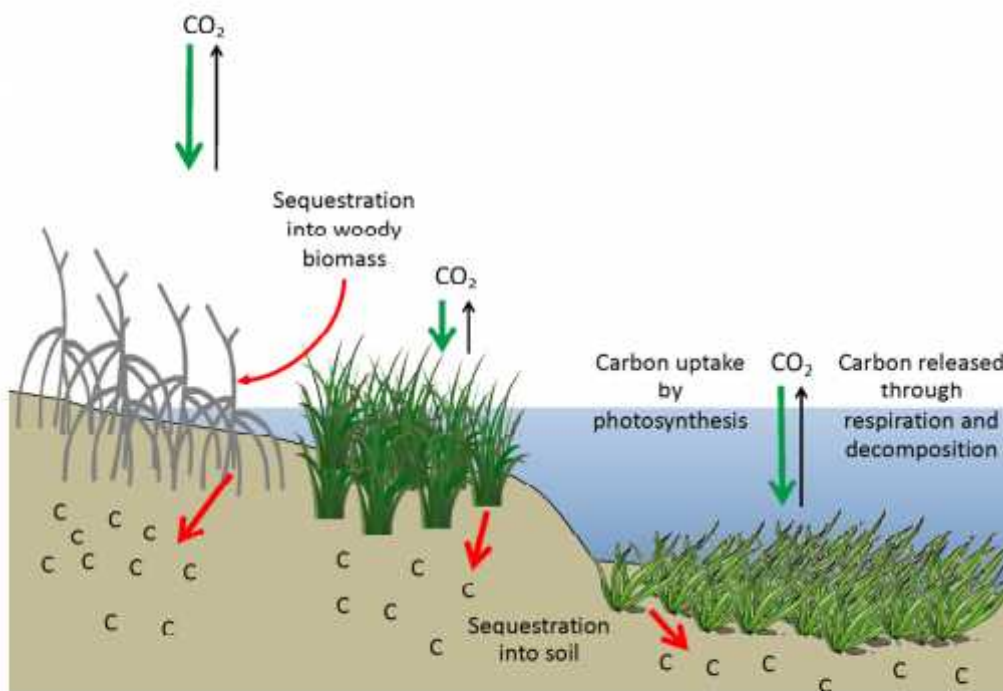
- J Identifier les problèmes potentiels, reformulez les stratégies et modifiez les stratégies si nécessaire
- J Inclure la capacité de suivi et d'évaluation car ils sont nécessaires pour appuyer *permanence* et vérification (comme indiqué ci-dessus)
- J Surveiller et évaluer les dimensions sociales du projet (par exemple, pour s'assurer que les propriétaires de ressources disposent d'une part équitable des avantages du projet; réduire les impacts non intentionnels liés au genre).

2. RÉSULTATS

2.1. Zones humides saines favorisent l'atténuation et l'adaptation au changement climatique :

Les zones humides stockent certaines des plus grandes réserves de carbone de la planète, mais lorsqu'elles sont drainées ou réchauffées, elles libèrent les trois principaux gaz à effet de serre qui captent la chaleur dans l'atmosphère, le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux. La protection des zones humides contre les perturbations liées à l'activité humaine contribue donc à limiter l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère.

Schéma 5 : Efficacité des herbiers marins, des marais salés et des mangroves



Efficacité des herbiers marins, des marais salés et des mangroves en tant que réservoirs de carbone : le carbone bleu. Crédit photo: Howard et al., 2017, *Frontiers in Ecology and the Environment*

En outre, les sécheresses compromettent la capacité des zones humides d'eau douce à fournir d'autres services écosystémiques, notamment l'amélioration de l'approvisionnement en eau et de la qualité, le contrôle des inondations et la protection contre les tempêtes, avec leurs impacts écologiques et socio-économiques négatifs. Les réseaux de zones humides sont également des corridors clés et des tremplins permettant aux espèces de se déplacer vers des zones plus froides et de s'adapter ainsi à la hausse des températures.

Schéma 6 : Zones humides, rôle d'amortissement climatique



Les zones humides agissent comme des zones tampons pour lutter contre le changement climatique (Source : Dubreuil-Imbert, Plan Bleu)

Jusqu'à présent, le changement climatique a été presque négligé dans la planification de la conservation des zones humides dans la région Sud Ouest de l'océan Indien dont fait partie Madagascar.

2.2. Cycle du carbone

Ce cycle est le cycle biogéochimique (ensemble des échanges d'un élément chimique) du carbone sur une planète.

Celui de la Terre est rendu plus complexe par l'existence d'importantes masses d'eau océaniques, et surtout par le fait que la vie (et donc les composés carbonés qui en sont le substrat) y tient une place importante.

Il existe quatre réservoirs de carbone : l'hydrosphère, la lithosphère, la biosphère et l'atmosphère. La plus grande partie du carbone terrestre est piégée dans des composés qui participent peu au cycle : roches sous forme de carbonates et océan profond.

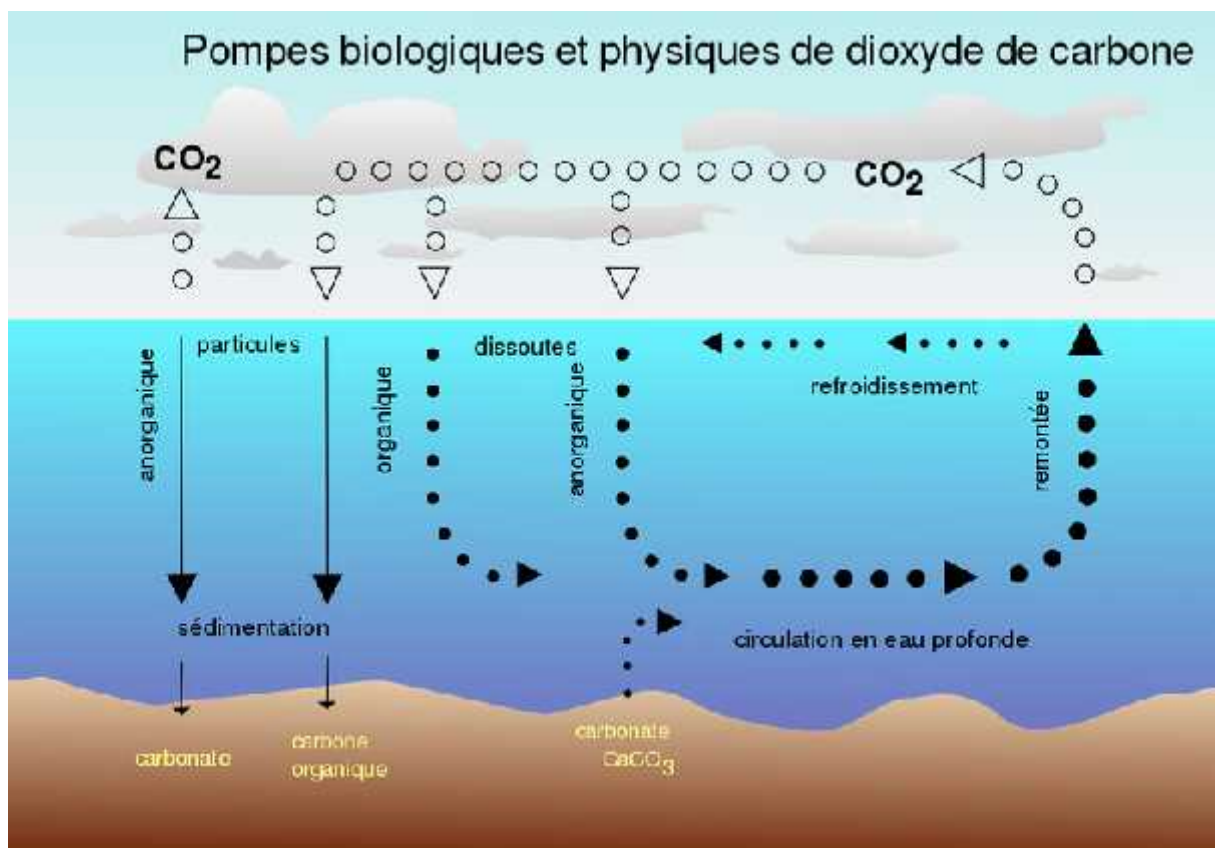
L'essentiel du cycle se fait entre l'atmosphère, les couches superficielles du sol et des océans, et la biosphère (biomasse et nécromasse).

En mer, le carbone se trouve surtout sous forme de carbonate et de biomasse planctonique.

Sur les continents, les tourbières, prairies et forêts, mais aussi certains sols jouent un rôle plus ou moins important de stockage de carbone ou de puits de carbone.

Les échanges de carbone s'expriment en *milliards de tonnes (gigatonnes)* par an (*Gt/an*).

Schéma 7 Pompes biologiques et physiques de dioxyde de carbone



Source : www.ocean-climate.org

Le cycle du carbone est très important pour la biosphère, puisque la vie est fondée sur l'utilisation de composés à base de carbone : la disponibilité en carbone fait partie des facteurs primordiaux pour le développement des êtres vivants sur Terre.

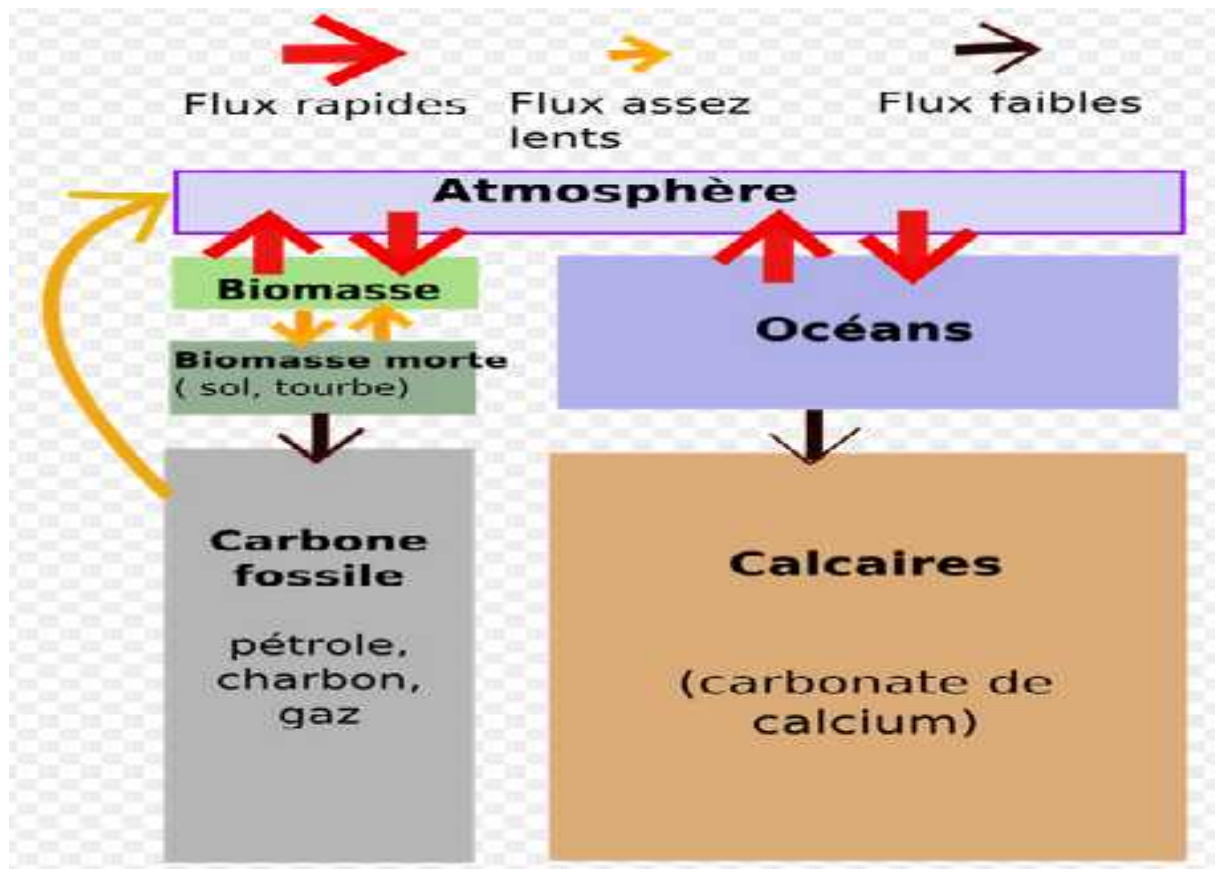
Enfin l'étude de ce cycle a récemment pris un relief tout particulier dans le cadre de la question du réchauffement climatique : deux des gaz à effet de serre en cause, le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), participent au cycle du carbone, dont ils sont la principale forme atmosphérique. Plus largement que les questions climatiques, l'étude du cycle du carbone permettra de déterminer les effets du relargage par les activités humaines du carbone stocké sous forme de combustibles fossiles.

2.3. Réservoirs du carbone

Le cycle naturel du carbone dans le système Terre peut être évalué en analysant la dimension, les flux d'échanges et le temps de résidence d'un atome de carbone dans les différents réservoirs. Par ordre de taille décroissante, on distingue :

-) un immense réservoir (> à 50 millions de Gt de carbone) qui correspond aux sédiments et roches sédimentaires présentes dans la lithosphère océanique,
-) un réservoir de taille moyenne (39 000 Gt de carbone) constitué par les masses d'eaux océaniques superficielles et profondes,
-) il existe plusieurs réservoirs de petite taille, c'est-à-dire inférieure à 2 000 Gt de carbone comprenant : l'atmosphère, la biosphère (plantes, sols, animaux).

Schéma 8 Cycle simplifié du carbone



2.4.Échanges atmosphère-hydrosphère (dissolution et dégazage)

Du fait de la forte solubilité du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'eau et de l'importance du volume des océans, la capacité de stockage des couches supérieures de l'hydrosphère, c'est-à-dire jusqu'à 100 m, est impressionnante : 63 fois plus élevée que celle de l'atmosphère.

Le carbone s'y retrouve sous diverses formes. En milieu aqueux, le CO_2 est en équilibre avec les formes hydrogénocarbonate (HCO_3^-) et ion carbonate (CO_3^{2-}).

La répartition du CO_2 dans l'océan est approximativement la suivante :

1 % dans le dioxyde de carbone (CO_2)

90 % dans l'hydrogénocarbonate (HCO_3^-)

9 % dans les ions carbonates (CO_3^{2-})

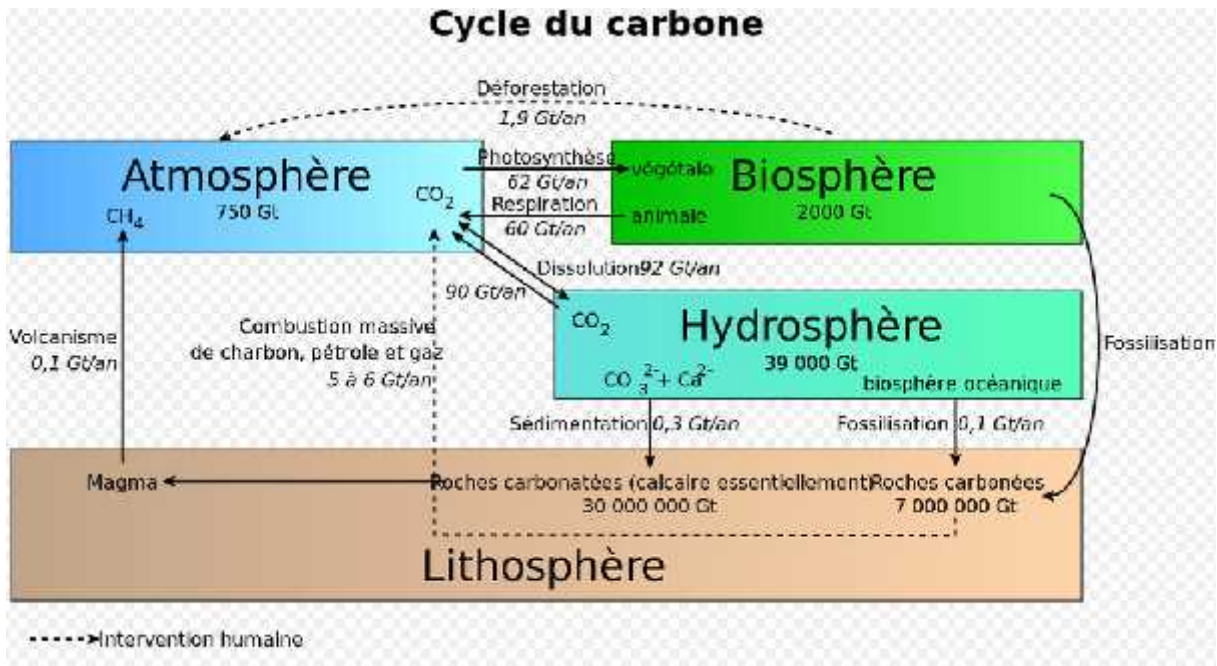
Ces proportions dépendent du pH de l'eau et par conséquent sont très variables dans les eaux continentales.

Les ions carbonates seront eux-mêmes en équilibre avec des formes précipitées (carbonate de calcium, qu'on retrouve notamment dans les coquilles d'animaux marins qui formeront le calcaire).

Enfin, le développement des être vivants qui captent le CO_2 (photosynthèse, construction d'une coquille) ou en rejettent (respiration) a une importance non négligeable sur la quantité de carbone dissous et représente une part de la biomasse.

Les variations de la pression partielle du CO_2 dans l'air modifie les flux entre l'atmosphère et les eaux. Ces variations dépendent de la latitude car les flux de CO_2 dépendent aussi de la température de l'eau des océans (les eaux froides contiennent plus de gaz dissous que les eaux chaudes), mais aussi de l'état de l'interface air-eau, donc du vent et de la hauteur de la houle : plus la surface de l'eau sera agitée et plus les échanges seront facilités... Étant donné les valeurs très élevées des flux d'échanges dans les deux sens, une augmentation de teneur en CO_2 atmosphérique de 2 à 3 % correspond à une arrivée dans l'océan d'environ 2 à 3 milliards de tonnes de carbone par an.

Schéma 9 Cycle du carbone sur l'atmosphère, biosphère et hydrosphère, lithosphère



Source : ocean-climate.org

2.5. Puits de carbone

Au sens large, un **puits de carbone** ou **puits CO_2** est un réservoir (naturel ou artificiel) qui absorbe du carbone en circulation dans la biosphère. Ce carbone est alors piégé dans de la matière vivante puis par la suite plus ou moins durablement séquestré dans de la matière organique morte ou dans une roche « biogénique ». En contribuant à diminuer la quantité de CO_2 atmosphérique, les puits de carbone influent sur le climat planétaire et donc sur toutes les composantes de l'environnement qui dépendent du climat. Jusqu'à la fin du carbonifère, les principaux puits étaient les processus biologiques de production de charbon, pétrole, gaz naturels, hydrates de méthane et roches calcaires. Aujourd'hui, ce sont les océans, les sols (humus) et la flore (forêt, tourbière, prairies). La séquestration du carbone (ou *piégeage*, ou *emprisonnement du carbone*) désigne les processus extrayant le carbone ou le CO_2 de l'atmosphère terrestre et le stockant dans un puits de carbone.

La biosphère absorbe aujourd'hui environ 20 % du carbone anthropique émis dans l'air, grâce à la photosynthèse qui est la base du mécanisme naturel et actif de séquestration du carbone. Les bactéries photosynthétiques, les organismes végétaux et la chaîne alimentaire ainsi que la nécromasse qui en dépendent sont considérées comme contributeurs des puits de carbone.

3.DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

3.1. DISCUSSIONS

3.1.1. Approches systémiques de la gestion des océans

-14 octobre 2009, Le Cap / Nairobi / Rome / Paris - La mise en place d'un fonds "Carbone bleu" destiné à l'entretien et la restauration des principaux écosystèmes marins devrait être prise en considération par les gouvernements désireux de lutter contre le changement climatique.

Une baisse de la déforestation terrestre combinée à une réhabilitation de la couverture et de l'état de ces écosystèmes marins permettrait une baisse de 25 % de ces émissions, réduction nécessaire pour éviter un changement climatique "dangereux".

Cependant, trois agences des Nations Unies et d'éminents scientifiques soulignent que loin d'entretenir et de favoriser ces puits de carbone naturels, l'humanité les détruit et les dégrade à vitesse accélérée.

- Agir avant qu'il ne soit trop tard

Jusqu'à 7 % de ces "puits de carbone bleu" sont détruits chaque année, soit sept fois plus vite qu'il y a cinquante ans.

"Si nous n'agissons pas pour conserver ces écosystèmes vitaux, ils pourraient disparaître d'ici vingt ans", selon le rapport *Blue Carbon: The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon* présenté par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'UNESCO.

Achim Steiner, Secrétaire général adjoint des Nations Unies et Directeur exécutif du PNUE, déclare: "Nous savons déjà que les écosystèmes marins pèsent plusieurs milliards de dollars dans des secteurs comme le tourisme, la protection côtière, la pêche et les services d'assainissement des eaux. On découvre maintenant qu'ils sont nos alliés naturels dans la lutte contre le changement climatique."

"En fait, la fin des destructions et la remise en état des écosystèmes marins pourraient permettre de compenser jusqu'à 7 % des émissions actuelles de combustible fossile à un prix bien inférieur à celui des machines qui piègent et séquestrent le carbone dans les centrales" selon Achim Steiner.

Vers Copenhague

Ce rapport arrive moins de soixante jours avant la rencontre importante de la Convention sur le changement climatique à Copenhague où les gouvernements devront signer un nouvel accord global.

Il est probable que les nations accepteront de payer pour que les économies en développement conservent le "carbone vert" des forêts dans le cadre d'un partenariat pour la réduction des émissions de carbone forestier (REDD).

Et M. Steiner d'ajouter: "Les liens entre la déforestation et le changement climatique sont clairement affichés sur le radar politique, mais le rôle et la chance que représentent les autres écosystèmes sont peut-être moins connus et encore sous-estimés."

"Si le monde se décide à lutter véritablement contre le changement climatique, chaque source d'émission et chaque possibilité de réduction doit être évaluée scientifiquement et portée à l'attention de la communauté internationale. Cela inclut toutes les couleurs du carbone, y compris maintenant le bleu qui concerne les mers et les océans.

Le Dr Carlos Duarte, l'un des chercheurs ayant participé à l'élaboration de ce rapport et basé à l'Institut méditerranéen de hautes études en Espagne, affirme: "Nous savons que la modification de l'utilisation des terres participe au défi du changement climatique.

Ce que nous savons peut-être moins c'est que la destruction généralisée de ce que nous pourrions appeler les habitats de la "forêt bleue" comme les mangroves et les prairies sous-marines, est en fait l'une des principales causes de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre provoquée par ces nouvelles formes d'utilisation."

Christian Nellemann, directeur de ce rapport, insiste: "C'est maintenant qu'il faut agir pour conserver et améliorer ces puits de carbone. Depuis les années 40, plus de 30 % des mangroves, près de 25 % des marais et plus de 30 % des prairies sous-marines ont été détruits. Nous sommes en train de perdre ces importants écosystèmes - et ceci au moment même où nous en avons besoin. Et ils pourraient bien avoir totalement disparu d'ici une vingtaine d'années.

- Nomura: pêche et aquaculture pâtiront

"Les secteurs pêche et aquaculture seront fortement touchés par les changements climatiques, et ont un rôle important à jouer dans le maintien des écosystèmes océaniques sains", déclare Ichiro Nomura, Directeur général adjoint de la pêche et de l'aquaculture à la FAO.

"Une approche écosystémique à la gestion des océans peut non seulement améliorer leur capacité de puits de carbone naturels, mais offre aussi un moyen de sauvegarder et de renforcer la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance pour les communautés totalement dépendantes de la pêche", ajoute-t-il.

Les fonctionnaires de l'UNESCO ont également souligné le rôle important que les océans jouent déjà pour compenser les impacts du changement climatique et de l'humanité, mais préviennent que cela a des conséquences aussi.

"Etant donné que l'océan a déjà absorbé 82 % de l'énergie supplémentaire total accumulé dans la planète à cause du réchauffement global, il est juste de dire qu'il nous a déjà protégés des dangers du changement climatique", explique Patricio Bernal, Directeur général adjoint de l'UNESCO, Secrétaire exécutif de la COI. "Mais chaque jour, nous jetons environ 25 millions de tonnes de carbone dans l'océan. En conséquence, il devient plus acide, ce qui constitue une menace pour les organismes avec des structures calcaires".

Luciano Fonseca de l'UNESCO-COI explique que l'absorption de l'excès de chaleur par l'océan "est un verre de whisky avec des glaçons. Aussi longtemps que la glace est là, le whisky reste frais. L'énergie qui entre dans le verre (votre main, la température ambiante) travaille pour transformer la glace en liquide.

Dès que la glace fond, le whisky devient chaud.

Actuellement, on estime qu'en moyenne entre 2 et 7 % de nos puits de carbone bleu disparaissent chaque année, soit sept fois plus vite qu'il y a un demi-siècle.

) Dans certaines zones du Sud-Est asiatique, jusqu'à 90 % des mangroves ont disparu depuis les années 40.

) Des projets de réhabilitation à grande échelle des mangroves ont été réalisés avec succès, notamment dans le delta du Mékong au Viet Nam, ainsi dans les marais en Europe et aux États-Unis.

- Comment rester sous le seuil des 1,5°C de réchauffement ?

Le dernier rapport du GIEC préconise de retirer du carbone de l'atmosphère et envisage le déploiement de technologies dites "à émissions négatives". En clair : nous pouvons continuer à émettre du CO₂, les technologies de demain régleront le problème. Or, la concrétisation de ces technologies est plus qu'hypothétique, et leurs effets pourraient être dangereux pour les générations futures, selon Kévin Jean, de l'association Sciences Citoyennes.

Contenir le réchauffement climatique à 1,5 °C reste possible, mais cela nécessite des changements rapides et sans précédent. Si nous tardons à réduire drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre, le seul espoir d'atteindre cet objectif reposera sur le déploiement de technologies à émissions négatives, ou *TEN*. En servant de support aux négociations climatiques, ils rendent ces futurs plus susceptibles d'advenir. Au détriment d'autres trajectoires trop peu explorées.

3.1.2. Technologies à émissions négatives

Les technologies à émissions négatives, les TEN donc, regroupent un ensemble de techniques visant à capter le CO₂ atmosphérique pour le déplacer dans des compartiments (principalement géologiques ou océaniques) où il ne participe pas à l'effet de serre.

Les TEN vont donc au-delà de technologies neutres en carbone (le captage du CO₂ en sortie de centrales à charbon par exemple), et présentent un bilan CO₂ négatif – au moins sur le plan théorique. Le terme regroupe différentes techniques aux niveaux de développement variés. Certaines, comme celles basées sur le boisement (reforestation ou afforestation) sont bien maîtrisées, d'autres comme l'ensemencement des océans (l'apport de nutriments dans les océans pour booster la croissance du phytoplancton) ou la capture directe du carbone atmosphérique (via de grands échangeurs permettant de le concentrer) semblent encore techniquement incertaines.

Parmi celles-ci, la BECCS (*Bio-Energy with Carbon Capture and Sequestration* en anglais) semble la plus prometteuse : elle consiste à faire pousser des végétaux, puis à les brûler pour produire de l'énergie tout en captant le CO₂ issu de la combustion. Le carbone capté durant la croissance des plantes est ainsi déplacé vers des compartiments géologiques (d'anciens gisements de gaz par exemple).

Si, sur le papier, la BECCS présente le double avantage de produire de l'énergie tout en captant du carbone, les incertitudes quant à la faisabilité technique de la capture du CO₂ en sortie de centrale à biomasse, tout comme les incertitudes relatives aux coûts associés (la technique s'avère très énergivore), restent énormes. Sans même parler des questions engendrées par la production massive de biomasse.

-Accapement de terres, fuites de gaz carbonique, mouvements de terrains...

Car en effet, un recours à la BECCS qui permettrait de contenir le réchauffement climatique à 1,5 °C d'après les modèles climatiques évalués par le GIEC dans son dernier rapport, impliquerait d'utiliser – et c'est ici que les choses commencent à se corser – près de 20 % des terres arables disponibles à l'échelle mondiale pour la culture de biomasse.

On imagine aisément les conséquences sur la production agricole. Prélever cette surface sur des terres naturelles (forêts, prairie) plutôt que cultivées pourrait avoir le même effet délétère sur la biodiversité qu'un réchauffement d'environ 3°C.

De manière générale, les TEN posent également la question de la permanence et de la sécurisation du stockage du carbone. Les expérimentations menées ont mis en évidence des risques de fuites, de mouvements de terrain voir même de réactivation de failles sismiques associé au stockage géologique de CO₂. Des doutes planent également au-dessus des techniques mieux maîtrisées comme l'afforestation ou la reforestation : les forêts ne sont pas à l'abri des feux (d'ailleurs de plus en plus fréquents sur une planète qui se réchauffe), ce qui aurait pour effet de renvoyer subitement à l'atmosphère tout le carbone capté.

- Quatre scénarios climatiques sur cinq impliquent un recours à ces technologies

Malgré toutes les questions qu'elles soulèvent quant à leur faisabilité technique et à leur acceptabilité sociale, les TEN constituent une composante centrale des modèles climatiques. En effet, parmi les 400 scénarios évalués offrant une chance raisonnable de contenir le réchauffement en deçà de 2 °C, plus de 80 % impliquaient un recours rapide et massif aux TEN.

Même si le dernier rapport du GIEC met l'accent sur les impacts négatifs des TEN, la majorité des scénarios évalués envisagent un début des émissions négatives à large échelle à partir de 2030, et même une captation du carbone qui surpasserait les émissions entre 2050 et 2070.

Cette place surdimensionnée laissée aux TEN dans les scénarios climat n'est d'ailleurs pas dénoncée par des militants écologistes en mal de catastrophisme, mais par le *European Academies Science Advisory Council*, le regroupement des académies nationales des sciences des pays de l'Union européenne dans un rapport publié en février 2018.

Selon cette institution des plus respectables, « *se reposer sur les TEN pour compenser l'échec des réductions d'émissions aurait des implications sérieuses pour les générations futures* ».

-Hypothèse d'une croissance économique continue jusqu'en 2100

De quoi remettre sérieusement en question la place laissée aux TEN dans les modèles des climatologues. Ces derniers ne peuvent pourtant ignorer leur excès de confiance dans la technologie, mais alors pourquoi y ont-ils recours ? Une piste de réponse pourrait passer par l'examen des hypothèses sous-jacentes à l'ensemble des scénarios modélisés.

En effet, les modèles synthétiques utilisés par le GIEC sont des modèles couplant des trajectoires socio-économiques à des émissions de CO₂ et à la réponse correspondante du système Terre.

Or, un point commun entre tous ces scénarios est l'hypothèse d'une croissance économique continue jusqu'en 2100. Est-ce pour compenser les émissions inévitablement liées à une croissance économique continue que les modélisateurs n'ont d'autre choix que de faire des hypothèses peu réalistes quant aux possibilités de captation de CO₂ ? Cela ressemble fort à une démonstration par l'absurde de l'incompatibilité d'une croissance ininterrompue avec l'objectif d'un changement climatique contenu...

- Excès de confiance dans des technologies non abouties

Tout cela pourrait ne rester qu'un débat entre climatologues et modélisateurs, mais ce serait ignorer le rôle de ces modèles dans les négociations climatiques. Comme le rappellent les politologues Silke Beck and Martin Mahony, l'objectif des 2°C est devenu politiquement consensuel à l'échelle internationale parce que des modèles climatiques ont réussi à trouver des trajectoires d'émissions nous y conduisant.

Or, en reposant massivement sur des technologies encore hypothétiques, comme la BECCS, ces modèles ont eu l'effet indirect de réduire les débats portant plutôt sur les moyens de réduire rapidement et drastiquement les émissions de CO₂.

De fait, pour bien des décideurs, les options pour réduire rapidement et drastiquement nos émissions (transition vers 100% d'énergies renouvelables, changement des pratiques agricoles, sobriété volontaire) semblent actuellement peu raisonnables. Mais est-il plus raisonnable d'émettre aujourd'hui du CO₂ dans l'atmosphère tout en croisant les doigts pour réussir à l'en retirer demain ? L'excès de confiance dans des technologies non abouties pourrait bien nous enfermer dans des trajectoires d'émissions conduisant à un réchauffement non contenu.

À quelques semaines de la prochaine conférence internationale sur le climat (COP24 à Katowice, en Pologne), où les États devront dévoiler leurs contributions à l'Accord de Paris, il faudra donc veiller à ne pas nous laisser enfumer par les émissions négatives.

- Avantages de la conservation et la réhabilitation des écosystèmes marins

Les eaux côtières représentent à peine 7 % de la surface totale des océans. Cependant, la productivité des écosystèmes comme les récifs de corail et ces puits de carbone bleu montrent que cette petite étendue constitue la base des principales zones de pêche du monde, fournissant 50 % de la production piscicole mondiale.

Elles assurent l'alimentation de base de près de 3 milliards de personnes ainsi que 50 % des protéines animales et des minéraux de 400 millions d'habitants des pays les moins développés. Les zones côtières, dont la productivité dépend largement de ces puits de carbone bleu, offrent de nombreux avantages à la société humaine.

Il s'agit notamment du filtrage de l'eau, qui diminue les effets de la pollution côtière, favorise le chargement en nutriment, la sédimentation, la protection des côtes contre l'érosion et limite les conséquences des événements climatiques extrêmes.

- J Les services de l'écosystème côtier ont été estimés à 25 000 milliards de dollars par an, ce qui en fait l'un des écosystèmes les plus intéressants économiquement.
- J La dégradation de ces écosystèmes n'est pas uniquement due à une utilisation non durable des ressources naturelles mais aussi à une mauvaise gestion des bassins
- J versants, à un développement côtier irraisonné et à une gestion insuffisante des déchets.
- J Les communautés de ces zones tireraient de la protection et de la réhabilitation des zones côtières, grâce à une gestion intégrée coordonnée, des avantages multiples et importants en matière de santé, de productivité au travail et de sécurité alimentaire.
 - J Ils ne représentent que 0,05 % de la biomasse végétale terrestre mais séquestrent la même quantité de carbone par an et se classent parmi les pièges les plus efficaces de la planète.
 - J Les puits de carbone bleu et les estuaires piègent et séquestrent entre 235 et 450 terragrammes de carbone par an (Tg C), c'est-à-dire de 870 à 1 650 millions de tonnes
 - J de CO₂, soit l'équivalent de la moitié des émissions de l'ensemble du secteur mondial des transports, estimé à environ 1000 Tg C par an.
 - J En évitant la disparition et la dégradation de ces écosystèmes et en favorisant leur remise en état, on peut compenser 3 à 7 % des émissions actuelles de combustible fossile (7 200 Tg C par an) en vingt ans, plus de la moitié de la réduction prévue en diminuant la destruction des forêts pluviales.
 - J L'effet serait comparable à au moins 10 % des réductions nécessaires pour que les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère se maintiennent en-dessous des 450 ppm pour que le réchauffement climatique ne dépasse pas 2° C.

- J Avec l'action conjuguée du REDD, la fin des dégradations et la réhabilitation des écosystèmes marins disparus pourraient représenter une réduction jusqu'à 25 % des émissions pour que le réchauffement climatique ne dépasse pas 2°C.
- J Contrairement à ce qui se passe sur terre, où le carbone peut rester séquestré plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, celui des océans reste pendant des millénaires.
- J Actuellement, on estime qu'en moyenne, entre 2 et 7 % de nos puits de carbone bleu disparaissent chaque année, soit sept fois plus vite qu'il y a un demi-siècle.
- J Dans certaines zones du Sud-Est asiatique, jusqu'à 90 % des mangroves ont disparu depuis les années 1940.
- J Plusieurs pays dont les côtes sont étendues et peu profondes pourraient envisager d'améliorer leurs puits de carbone marin, notamment l'Inde, de nombreux pays du Sud-Est asiatique, des pays riverains de la Mer Noire, d'Afrique de l'Ouest, des Caraïbes, de la Méditerranée, la côte Est des États-Unis et la Russie.

Outre les fonctions évidentes de ces écosystèmes pour le piégage du carbone, ceux-ci sont indispensables pour les pêcheries et le tourisme.

En effet, ils assurent l'alimentation de base de près de 3 milliards de personnes ainsi que 50 % des protéines animales et des minéraux de 400 millions d'habitants des pays les moins développés.

Enfin, les zones côtières, qui ne représentent que 7 % de la surface totale des océans, fournissant 50 % de la production piscicole mondiale, assurent le filtrage de l'eau, diminuent les effets de la pollution côtière, favorisent la sédimentation, la protection des côtes contre l'érosion et limitent les conséquences des événements climatiques extrêmes.

Madagascar possède 2% de la mangrove mondiale. La déforestation et la dégradation de ces mangroves commencent à se généraliser.

Ces dégradations s'aggravent par les effets de changement climatique et la dépendance des communautés locales vulnérables.

Entre 2010 à 2015, le taux annuel de dégradation des mangroves de Madagascar était de 0,05%. En 2014, cette réalité a conduit le Gouvernement à mettre en place une loi en interdisant l'exploitation. Malgré cette interdiction, l'exploitation illicite de la mangrove continue toujours à faire des ravages.

3.2. RECOMMANDATIONS

-Reconnaître à juste titre et sensibiliser davantage aux écosystèmes du carbone bleu, en tant que solutions orientées vers la nature, aux fins d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.

- Les Aires Marines Protégées (AMP) peuvent constituer des outils efficaces pour pérenniser les stocks de carbone et enrayer les pertes. Il convient d'avoir une collaboration plus transdisciplinaire afin d'achever les inventaires.

- Intégrer une politique naturelle carbone bleu en vue d'atténuer les émissions (notamment les Contributions prévues déterminées au niveau national) pour permettre le financement des activités dans les AMP.

Même si le marché du carbone ne se penche pas encore sur les herbiers marins en particulier à Madagascar, il est nécessaire de stocker le carbone (fixation et puits) pour l'avenir lorsque l'option sera ouverte ...

Les écosystèmes côtiers de carbone bleu – herbiers marins, marais salants et mangroves – fournissent des services essentiels tels que la protection du littoral, la réduction des risques de catastrophe, la filtration de l'eau et des habitats pour les poissons.

3.2.1. Neuf recommandations concrètes en faveur de l'océan

Car il y a désormais urgence à corriger ce paradoxe, ce plaidoyer présente 9 recommandations concrètes en faveur de l'océan, pierre angulaire de l'adaptation au changement climatique :

- Produire pour les décideurs un état de la science sur les enjeux et les mesures appropriées concernant les océans et les changements climatiques, notamment par le biais d'un Rapport Spécial du GIEC sur l'océan.

- Considérer l'importance d'écosystèmes sains et fonctionnels face au changement climatique, en accélérant la mise en place d'un réseau cohérent et résilient d'aires marines protégées.

- Reconnaître le rôle des écosystèmes marins et côtiers en tant que puits naturels de carbone (carbone bleu).

- Développer les Énergies Marines Renouvelables (éolien, hydrolien, énergies marémotrices et houlomotrices), tout en préservant la biodiversité marine.

- Accompagner la transition énergétique du transport maritime et développer des solutions technologiques innovantes pour des navires plus sûrs et plus respectueux de l'environnement.

- Soutenir prioritairement les mesures d'adaptation pour les régions les plus vulnérables, en particulier les zones côtières des pays en développement (PED), les territoires et les petits Etats insulaires.
- Renforcer le transfert de technologies, vers les pays et les régions océaniques et côtières les plus vulnérables. La coopération internationale doit compter des projets d'adaptation et de préservation des écosystèmes marins.
- Dédier explicitement une part du Fonds Vert aux projets marins et côtiers (protection des mangroves, zones humides et vulnérables dont la capacité de stockage du CO₂ est très importante).
- Mieux articuler la Convention-Cadre des Nations unies sur les Changements climatiques avec les accords existants relatifs à l'océan, notamment les « Objectifs du Développement Durable (ODD) »

Le principe du *Blue Carbon* (en jargon onusien) est simple: utiliser les capacités à stocker le gaz carbonique de certains végétaux marins pour défalquer le CO₂ ainsi capté du bilan carbone national.

3.2.2. Mangroves et Herbiers

De nombreux écosystèmes océaniques ou littoraux font figure de candidats potentiels à l'aspiration du carbone: les mangroves et les herbiers. Tous deux ont la bonne idée de ne pas être trop éloignés du littoral. Et leur appétit pour les molécules de CO₂ semble insatiable. Même si les données robustes manquent encore, prairies sous-marines et marais maritimes pourraient stocker le quart des émissions carbonées anthropiques: près de 10 milliards de tonnes de CO₂ par an ! Astronomique. Mais incertain. Car, ces milieux naturels sont attaqués de toutes parts. *«Chaque année, 1,9% des mangroves disparaissent, ce qui contribue au relâchement de 240 millions de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère»*, estime l'UICN.

Les mangroves sont des écosystèmes dynamiques qui peuvent apparaître et disparaître en quelques années. Comment comptabiliser le carbone stocker puis relargué? *«Même si les connaissances sont encore fragmentaires, on sait que du carbone, contenu par exemple dans les animaux morts, descend sur le fond et finit par être sédimenté. Mais une fraction de ce carbone est remise en circulation dans l'océan, et potentiellement dans l'atmosphère, par des phénomènes naturels»*, complète la spécialiste des grands fonds.

3.2.3. Comptabilité du carbone

Comment modéliser de tels flux, imparfaitement connus? Nul n'en sait rien. Or, sans connaissance intime de ce cycle, sa comptabilisation sera inévitablement biaisée. Et avec elle son intégration au bilan carbone des Etats océaniques. Avec la baisse des crédits de recherches, les scientifiques peinent à réunir les données. Et lorgnent avec appétit sur les résultats des recherches effectuées par l'industrie pétrolière, bonne connaisseuse des questions de la sédimentation au fond des océans.

Un peu par pragmatisme, un peu par idéologie, certaines organisations environnementales, telles l'UICN ou Conservation International, militent pour la préservation des mangroves, des herbiers et des marais salants pour y stocker du carbone. Leur idée: lancer des marchés de certificats d'économie d'émission, sur le modèle du système REED+, dont le produit des ventes financerait la conservation des écosystèmes marins menacés.

3.2.4. Océan, un puits de carbone

L'océan concentre 50 fois plus de carbone que l'atmosphère ; c'est un puits de carbone. Des mécanismes physiques et biologiques contribuent à l'absorption et au stockage du carbone océanique dont l'écosystème planctonique est un acteur majeur. Si la pompe à carbone biologique est identifiée, l'ampleur de son action reste à préciser. Il faut savoir que la diversité marine spécifique ne représente que 13 % des espèces vivantes décrites, ce qui est peu au regard de l'immensité du volume océanique.

Est-ce lié à un manque de connaissances ? L'avenir le dira, mais l'espace encore inconnu des grands fonds marins pourra peut-être apporter une réponse s'il est exploré, car plus de 98 % du volume de l'océan est profond. L'image d'un milieu stable et homogène sur de vastes espaces désertiques, biologiquement peu actif, ne reflète en fait ni la diversité des écosystèmes profonds, ni leur sensibilité aux changements climatiques. Surface et fond de l'océan sont liés, au moins le constate-t-on déjà pour la biodiversité.

Lorsque la température de l'eau augmente, l'océan se dilate et la mer monte, et ce d'autant plus vite que la fonte des glaces s'accroît.

Les modèles envisagent une hausse de plus d'un quart de mètre dès la fin de notre siècle avec un maximum de plus de 80cm. Quelles sont les causes et les variabilités de ce phénomène sont des questions abordées dans la rubrique Science de ce site qui présente aussi des exemples de conséquences socio-économiques comme celles qui concernent les petites îles, ou encore l'aquaculture et les ressources vivantes exploitées.

Tout n'a pas pu être traité ici, et de nouveaux textes viendront compléter le paysage des thèmes que nous pensons pertinents, comme les questions liées à l'anoxie des eaux marines, à l'Arctique et au polaire, celles liées au littoral et au côtier qui ne sont abordées ici qu'à travers les îles, et plus généralement celles des vulnérabilités liées aux phénomènes océaniques. Et c'est à partir de ces synthèses sur des domaines précis que l'on pourra avancer sur la question des solutions possibles, des stratégies et des propositions concrètes.

3.2.5. Océan, réservoir de chaleur

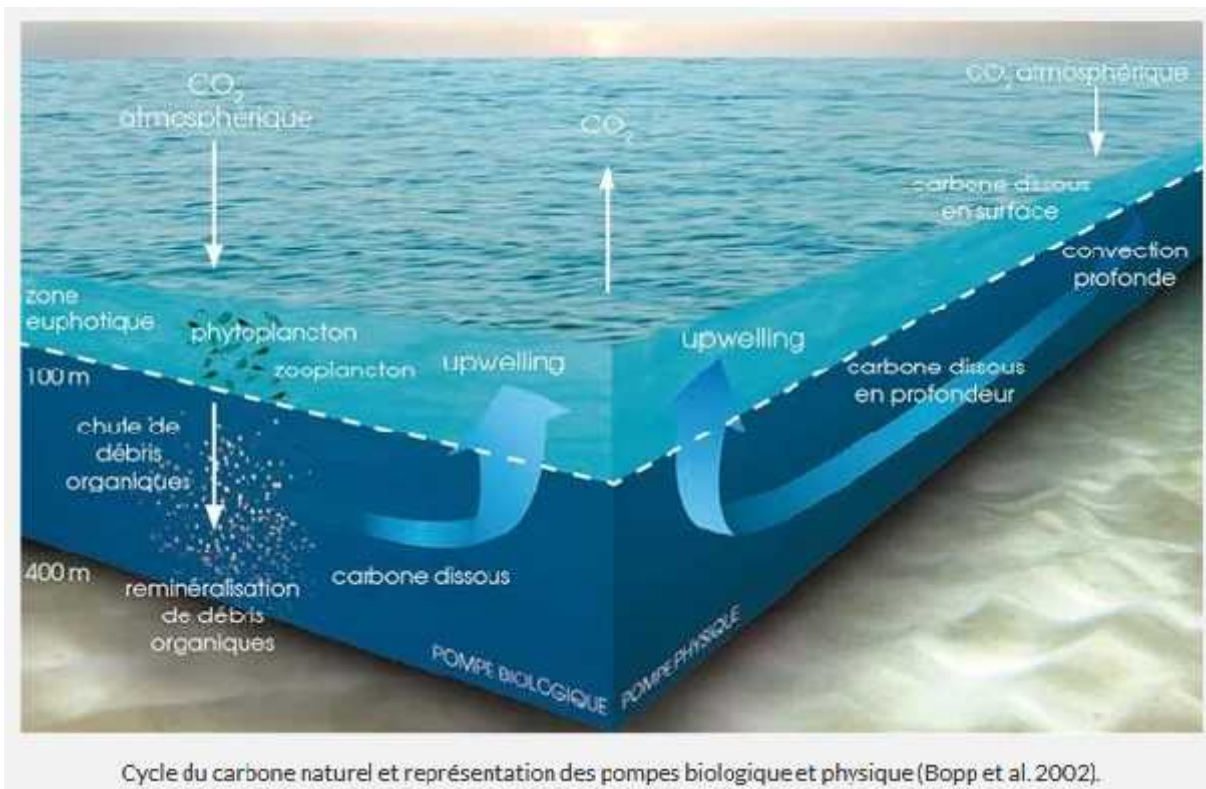
Le climat de notre planète est régi en grande partie par l'océan qui est le principal régulateur du climat mondial grâce à ses échanges radiatifs, mécaniques et gazeux continus avec l'atmosphère. En particulier, l'océan absorbe, stocke et transporte dans son mouvement la chaleur du soleil en affectant la température et la circulation de l'atmosphère. En outre, l'Océan est la source principale des précipitations. La capacité de l'océan à stocker la chaleur est bien plus efficace (absorption de 93% de l'excédent d'énergie résultant de l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre due aux activités humaines) que les continents (3%) et l'atmosphère (1%). Il a ainsi un effet modérateur sur le climat et ses changements. Toutefois, comme conséquence de l'absorption par l'Océan de l'excès de chaleur induit par l'augmentation du contenu atmosphérique des gaz à effet de serre, les eaux marines se réchauffent, ce qui a des conséquences sur les propriétés et la dynamique de l'océan, sur ses échanges avec l'atmosphère et sur les habitats des écosystèmes marins. Pendant longtemps, les discussions sur le changement climatique n'ont pas pris les océans en compte. Ceci tout simplement parce que très peu était connu à leur sujet. Cependant, notre capacité à comprendre et d'anticiper l'évolution du climat terrestre, dépend de notre connaissance fine des océans et de leur rôle sur le climat.

3.2.6. Océan, pompe à carbone

L'océan contient 50 fois plus de carbone que l'atmosphère et il échange chaque année des quantités importantes de carbone avec cette dernière. Au cours des dernières décennies, l'océan a ralenti le rythme du changement climatique anthropique en absorbant près de 30% des émissions anthropiques de dioxyde de carbone. Alors que cette absorption de carbone anthropique est le résultat de processus physico-chimiques, la biologie marine joue un rôle clé dans le cycle du carbone naturel en séquestrant de grandes quantités de carbone dans les eaux de l'océan profond.

Des modifications de ces processus physiques, chimiques ou biologiques, pourraient conduire à des rétroactions dans le système climatique et ainsi accélérer ou ralentir le changement climatique en cours. Ces rétroactions entre le climat, l'océan et ses écosystèmes ont besoin d'être mieux comprises afin de pouvoir prédire de façon plus solide l'évolution des caractéristiques de l'océan du futur, et l'évolution combinée du CO₂ atmosphérique et de notre climat.

Schéma 10 Cycle du carbone naturel et représentation des pompes biologique et physique



3.2.7. Océan acquiert-t-il sa composition chimique ?

A toute époque géologique, l'état chimique de l'océan détermine sa capacité à absorber du gaz carbonique, donc à participer à la régulation du climat. Cet état dépend du bilan entre les apports et départs d'éléments chimiques à l'océan, deux termes particulièrement complexes à quantifier. Cet article dresse l'état de nos connaissances sur les apports dissous et solide entre océan et continent d'une part et océan et croûte océanique (soit les flux hydrothermaux) d'autre part.

3.2.8. Acidification des océans

Chaque jour, les océans absorbent un quart du CO₂ produit par l'homme d'où une modification chimique de l'eau de mer qui se traduit par une acidification des océans. La dissolution du CO₂ dans l'eau de mer entraîne une diminution du pH (plus le pH est faible, plus l'acidité est importante) et de la quantité d'ions carbonates (CO₃²⁻) qui sont l'une des briques nécessaires aux plantes et animaux marins pour fabriquer leurs squelettes, coquilles et autres structures calcaires. L'acidité des océans a augmenté de 30% en 250 ans et ce phénomène continue à s'amplifier. Ses effets et son interaction avec d'autres modifications environnementales restent mal connus. L'acidification menace directement des espèces comme les huîtres et les moules consommées par l'homme et aura aussi un impact sur les chaînes alimentaires marines.

3.2.9. Océan à bout de souffle

La diminution du contenu en oxygène (désoxygénation) des eaux marines et côtières s'est aggravée ces dernières décennies dans différentes régions de l'océan mondial. Les causes principales sont d'une part le changement climatique (les eaux plus chaudes contiennent moins d'oxygène et l'augmentation de la stratification en surface réduit la ventilation et donc l'oxygénation de l'intérieur des océans et des estuaires) et d'autre part l'eutrophisation (enrichissement des eaux en nutriments) des zones côtières, due à l'intensification des activités humaines. La désoxygénation de l'océan ouvert, le réchauffement et l'acidification – tous liés à l'augmentation de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère – constituent ainsi des stress multiples sur l'écosystème océanique et une menace globale dont les conséquences socio-économiques commencent juste à être reconnues.

CONCLUSION

Plusieurs pays dont les côtes sont étendues et peu profondes pourraient envisager d'améliorer leurs puits de carbone marin, notamment l'Inde, de nombreux pays du Sud-Est asiatique, des pays riverains de la mer Noire, d'Afrique de l'Ouest, des Caraïbes, de la Méditerranée, la côte Est des États-Unis et la Russie.

En ce XXI^e siècle, l'Humanité est prise entre le marteau et l'enclume. D'un côté, sa consommation d'énergie doit augmenter pour donner une vie décente aux bientôt neuf milliards de Terriens et de l'autre il va nous falloir rapidement arrêter d'utiliser des sources d'énergies fossiles carbonées alors qu'elles sont les plus efficaces, et de loin, pour atteindre ce but. En effet, le réchauffement climatique produit par l'utilisation des énergies fossiles tout au long du XX^e siècle va provoquer des crises sans précédent dans l'histoire de l'Homme si l'on continue à injecter massivement du CO₂ dans l'atmosphère (sans parler d'une extinction massive dans la biosphère, déjà amorcée).

Les énergies renouvelables, seules, ne nous permettront pas de relever ces défis, il va nous falloir développer massivement l'énergie nucléaire en complément. Sans être totalement pessimistes, nous pouvons penser que nous n'arriverons pas vraiment à nous passer des énergies fossiles et que d'autres solutions doivent être envisagées. La géo-ingénierie est un jeu d'apprenti sorcier auquel il n'est nullement assuré qu'elle ne soit en fait pas pire que le problème qu'elle veut résoudre. Même si elle permettait de refroidir la Planète, il resterait le redoutable problème de l'acidification des océans qui menace des formes de vie essentielles pour la biosphère, à savoir le plancton et les coraux, et donc l'Homme.

L'Initiative Blue Carbon vise à :

- Elaborer des approches de gestion, des incitations financières et des mécanismes politiques pour assurer la conservation, la restauration et l'utilisation durable des écosystèmes côtiers « carbone bleu »;
- Engager les gouvernements locaux, nationaux et internationaux afin de promouvoir des politiques qui appuient la conservation, la gestion et le financement du carbone bleu côtier;
- Élaborer des méthodes complètes d'évaluation des stocks et des émissions de carbone bleu;
- Mettre en œuvre, dans le monde entier, des projets qui démontrent la faisabilité de la quantification, de la gestion et des accords incitatifs en matière de carbone bleu; et

- Soutenir la recherche scientifique sur le rôle des écosystèmes côtiers de carbone bleu pour l'atténuation du changement climatique.

Enfin, les zones côtières, qui ne représentent que 7 % de la surface totale des océans, fournissant 50 % de la production piscicole mondiale, assurent le filtrage de l'eau, diminuent les effets de la pollution côtière, favorisent la sédimentation, la protection des côtes contre l'érosion et limitent les conséquences des événements climatiques extrêmes.

Madagascar possède 2% de la mangrove mondiale. La déforestation et la dégradation de ces mangroves commencent à se généraliser. Ces dégradations s'aggravent par les effets de changement climatique et la dépendance des communautés locales vulnérables.

Entre 2010 à 2015, le taux annuel de dégradation des mangroves de Madagascar était de 0,05%. En 2014, cette réalité a conduit le Gouvernement à mettre en place une loi interdisant l'exploitation. Malgré cette interdiction, l'exploitation illicite de la mangrove continue toujours à faire des ravages.

En 40 ans, une perte de 10% de la superficie mondiale des mangroves a été enregistrée par les spécialistes, comme c'est le cas du côté de Mahajanga, Morondava et Tuléar où l'écosystème est largement menacé.

Les mangroves, ces forêts longtemps sous-estimées hébergent de nombreuses espèces marines et protègent les côtes vulnérables des tempêtes et de l'érosion. Ils constituent ainsi un service vital pour la planète. Outre ses rôles écologiques comme des zones de développement des crevettes et des crabes, les mangroves jouent un rôle économique important. En effet, des mangroves en bonne santé produisent jusqu'à 2,5 tonnes de crabe au kilomètre carré. Les 236.400 hectares que le pays possède représenteraient ainsi une production potentielle de crabe estimée à 4 millions de dollars par an.

Les AMP offrent des moyens légitimes de stocker le carbone et de compenser certains des impacts du changement climatique. Les AMP en tant qu'outil de gestion jouent un rôle très important pour les écosystèmes « carbone bleu ». En protégeant ces zones, les AMP aident à réduire et à éviter les émissions de carbone des écosystèmes carbone bleu. Et lorsque les AMP impliquent une restauration active de l'écosystème - comme les mangroves, les marais salants et les herbiers marins - elles aident également à accroître la séquestration du carbone.

Les praticiens et les réseaux d'AMP du monde entier commencent à explorer certaines de ces possibilités.

En outre, une gestion efficace des AMP existantes ou la création de nouvelles AMP peuvent être financées par des mécanismes de financement du Carbone Bleu. «L'objectif des efforts côtiers pour le carbone bleu est d'encourager une meilleure gestion de ces systèmes en utilisant une variété de politiques en matière de changement climatique et d'incitations financières» (Dorothee Herr, UICN). Ces mesures comprennent le programme REDD + (Réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts), qui crée une valeur financière pour le carbone stocké dans les forêts et offre des incitations financières aux pays en développement pour favoriser la conservation et l'amélioration de leurs stocks de carbone forestier.

L'océan est le principal régulateur du climat mondial : couvrant 71% de la surface du globe, il produit plus de 50% de l'oxygène de l'air que nous respirons, absorbe environ 30% du CO₂ et 93% de l'excès de chaleur générés par les activités humaines.

Limiter le réchauffement de la planète à 2°, voire 1,5° est essentiel pour maintenir cette capacité de régulation de l'océan et pour limiter les bouleversements qui sont en cours.

Les projets de carbone bleu peuvent aider les gouvernements et les communautés nationales à atteindre plusieurs objectifs, notamment: l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à celui-ci; moyens de subsistance durables; conservation et restauration des écosystèmes de carbone bleu.

Les projets de carbone bleu peuvent aider les gouvernements à atteindre leurs objectifs nationaux d'atténuation et d'adaptation, ainsi que leurs engagements à atteindre les objectifs de développement durable et environnementaux. Ils peuvent soutenir les efforts nationaux visant à calculer les services écosystémiques des environnements côtiers, fournissant ainsi des incitations supplémentaires à une meilleure gestion des écosystèmes. Ils peuvent fournir un financement supplémentaire pour soutenir les stratégies de gestion environnementale existantes. Par exemple, la compensation de carbone peut être utilisée pour générer des fonds pour la conservation en permettant à une entité d'acquérir la capacité de compenser sa pollution de carbone en échange de carbone non émis ailleurs - ainsi, les écosystèmes de carbone bleu sont préservés, restaurés ou gérés de manière à et augmenter leurs stocks de carbone. Voir un exemple de projet à Madagascar soutenir les moyens de subsistance des communautés et l'atténuation du carbone.

Au niveau local, les projets de carbone bleu peuvent directement améliorer les moyens de subsistance des communautés côtières en fournissant des revenus, des ressources de subsistance et des avantages supplémentaires (par exemple, la protection du littoral assurée par des zones humides intactes).

Une meilleure gestion des écosystèmes de carbone bleu peut donc renforcer la sécurité alimentaire, sécuriser les moyens de subsistance, augmenter la résilience et contribuer à la fourniture de contributions déterminées au niveau national (CDN) par la séquestration et l'adaptation du carbone.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ouvrages généraux

Anderson K, Peters G. The trouble with negative emissions. *Science* 2016 ; 354 : 182–3.

Beck S, Mahony M. The IPCC and the politics of anticipation. *Nat. Clim. Change*. 2017 ; published online April 28. DOI:10.1038/nclimate3264

Christian Nellemann, directeur du rapport sur le Carbone bleu de l'ONU publié en 2009, explique : « Agir pour conserver et améliorer les puits de carbone. »

Clark A. Miller and Paul N. Edwards « Changing the Atmosphere, Expert knowledge and Environmental Governance, The MITT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 2001 Massachusetts Institut of Technology, GE 300, C48 2001

Serge FRONTIER « Ecosystèmes d'estuaire dans les baies de Nord Ouest de Madagascar, *Bull. écologique*, 1978, Tome 9, p 39-50.

Stork AL, Verdon JP, Kendall J-M. The microseismic response at the In Salah Carbon Capture and Storage (CCS) site. *Int J Greenh Gas Control* 2015 ; 32 : 159–71.

Williamson P. Emissions reduction : Scrutinize CO2 removal methods. *Nature* 2016 ; 530 : 153–5.

Ouvrages spécifiques

Deuxième Conférence science ouverte de Diversitas (Biodiversity and Society : understanding connections, adapting du change)

«L'objectif des efforts côtiers pour le carbone bleu est d'encourager une meilleure gestion de ces systèmes en utilisant une variété de politiques en matière de changement climatique et d'incitations financières» (Dorothee Herr, UICN).

Negative emission technologies. What role in meeting Paris Agreement targets ? EASAC, 2018.(accessed Sept 27, 2018).

Bâtir des projets de carbone bleu – Guide d'introduction

Principes directeur pour la réalisation de projets sur le carbone des zones humides côtières

Autres

<http://bluecarbonportal.org> du 01.09.2019 à 10 h 00

www.healthy Oceans New Key to Combating Clim du 02.09.2019 à 07 h 00

www.ocean-climate.org du 02.09.2019 à 08 h 00

LISTE DES SCHÉMAS

Schéma 1 Pompe à carbone physique	5
Schéma 2 Pompe à carbone biologique	6
Schéma 3 Carte de la côte Nord Ouest de Madagascar (Baie d'Ambaro)	12
Schéma 4 Ecosystèmes côtiers de carbone bleu :herbiers marins	13
Schéma 5 Efficacité des herbiers marins, des marées salées et des mangroves	17
Schéma 6 Zones humides, d'amortissement climatique	18
Schéma 7 Pompes biologiques et physique de dioxyde de carbone	19
Schéma 8 Cycle simplifié du carbone	20
Schéma 9 Cycle de carbone sur l'atmosphère, biosphère, hydrosphère et lithosphère.....	22
Schéma 10 Cycle de carbone naturel et représentation des pompes biologique et physique	35

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

- AMP** : Aires Marines Protégées
- BECCS** : Bio-Energy with Carone Capture and Sequestration
- CCNUCC** : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
- CDB** : Convention sur la Diversité Biologique
- CDN** : Contributions Déterminées au niveau National
- COI** : Commission de l’Océan Indien
- CO2** : Dioxyde de Carbone
- COP 24** : Conférence des Parties 24^{ème} de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
- FAO** : Food and Agricultural Organization of the United UN
- GES** : Gaz à Effet de Serre
- GIEC** : Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Evolution du climat
- NCC** : Nature Climate Change
- ODD** : Objectifs du Développement Durable
- ONG** : Organisation Non Gouvernementale
- ONU** : Organisation des Nations Unies
- PED** : Pays En Développement
- PNUE** : Programme des Nations Unies pour l’Environnement
- REDD** : Réduction des Emissions dans la Déforestation et à la Dégradation
- UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l’Education, la Science et la culture
- UNFCCC** : United Nations Framework Convention on Climate Change
- TEN** : Technologies à Emissions Négatives.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ et ABSTRACT	1
CONTEXTE GENERAL	1
1. MATÉRIELS ET MÉTHODES	4
1.1. MATÉRIELS	4
1.1.1. Océan, puits de carbone	4
1.1.2. Limites d'études	4
1.1.3. Homme et les puits de carbone bleu	8
1.1.4. Océans	9
1.1.5. Nations Unies et le portail du carbone bleu	10
1.2. MÉTHODES	10
1.2.1. Lancement du portail du carbone bleu	10
1.2.2. Changement climatique	11
1.2.3. Comptabilisation des puits de carbone naturels	11
1.2.4. Intégration de compensation de carbone	11
1.2.5. Conservation des zones humides intactes	12
1.2.6. Restauration et création de zones humides végétalisées	12
1.2.7. Cinq phases pour les projets carbone bleu	13
2. RÉSULTATS	17
2.1. Zones humides saines favorisent l'atténuation et adaptation au C.C.	17
2.2. Cycle du carbone	18
2.3. Réservoirs du carbone	20
2.4. Echanges atmosphère-hydrosphère	21
2.5. Puits de carbone	22
3. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	23
3.1. DISCUSSIONS	23
3.1.1 Approches systémiques de la gestion des océans	23

3.1.2. Technologies à émissions négatives	26
3.2. RECOMMANDATIONS	31
3.2.1. Neuf recommandation concrètes en faveur de l'océan	31
3.2.2. Mangroves et herbiers	32
3.2.3. Comptabilité du carbone	33
3.2.4. Océan, un puits de carbone	33
3.2.5. Océan, un réservoir de chaleur	34
3.2.6. Océan, pompe à carbone	34
3.2.7. Océan acquiert sa composition chimique	35
3.2.8. Acidification des océans	36
3.2.9. Océan à bout du souffle	36
Conclusion.....	37
Références bibliographiques	I
Liste des schémas	II
Liste des abréviations, sigles et acronymes	III