

# HERBIERS MARINS

**UN POUJON VERT INESTIMABLE  
POUR LA PLANÈTE ET L'HUMANITÉ**

**Copyright** © Programme des Nations Unies pour l'environnement 2020

**ISBN** : 978-92-807-3780-6

**Numéro de dossier** : DEP/2278/NA

Sous réserve de mentionner la source, la présente publication peut être reproduite intégralement ou en partie, sous quelque forme que ce soit, à des fins pédagogiques ou non lucratives sans autorisation spéciale du détenteur des droits d'auteur.

Le Programme des Nations Unies pour l'environnement souhaiterait recevoir un exemplaire de toute publication ayant utilisé le présent document comme source. Cette publication ne peut être utilisée pour la revente ni à quelque autre fin commerciale que ce soit sans l'autorisation préalable écrite du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Toute demande d'autorisation doit être adressée à la direction de la Division de la communication et de l'information du Programme des Nations Unies pour l'environnement, P. O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya, et comporter des indications précises relatives à l'objet et à l'étendue de la reproduction.

**Citation suggérée** : Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2020. *Herbiers marins : un poumon vert inestimable pour la planète et l'humanité*. PNUE, Nairobi.

#### **Clause de non-responsabilité**

Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent aucune prise de position de la part du Programme des Nations Unies pour l'environnement quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Pour toute information générale relative à l'utilisation de cartes dans des publications, veuillez consulter le lien ci-après : <https://www.un.org/Depts/Cartographic/french/htmain.htm>

La mention de firmes et de produits commerciaux ne signifie pas que le Programme des Nations Unies pour l'environnement ou les auteurs du présent rapport recommandent lesdits firmes et produits commerciaux. L'utilisation à des fins publicitaires d'informations contenues dans ce document est interdite. Les noms et symboles de marques sont utilisés à des fins rédactionnelles, sans aucune intention de contrevenir aux droits des marques ou au droit d'auteur.

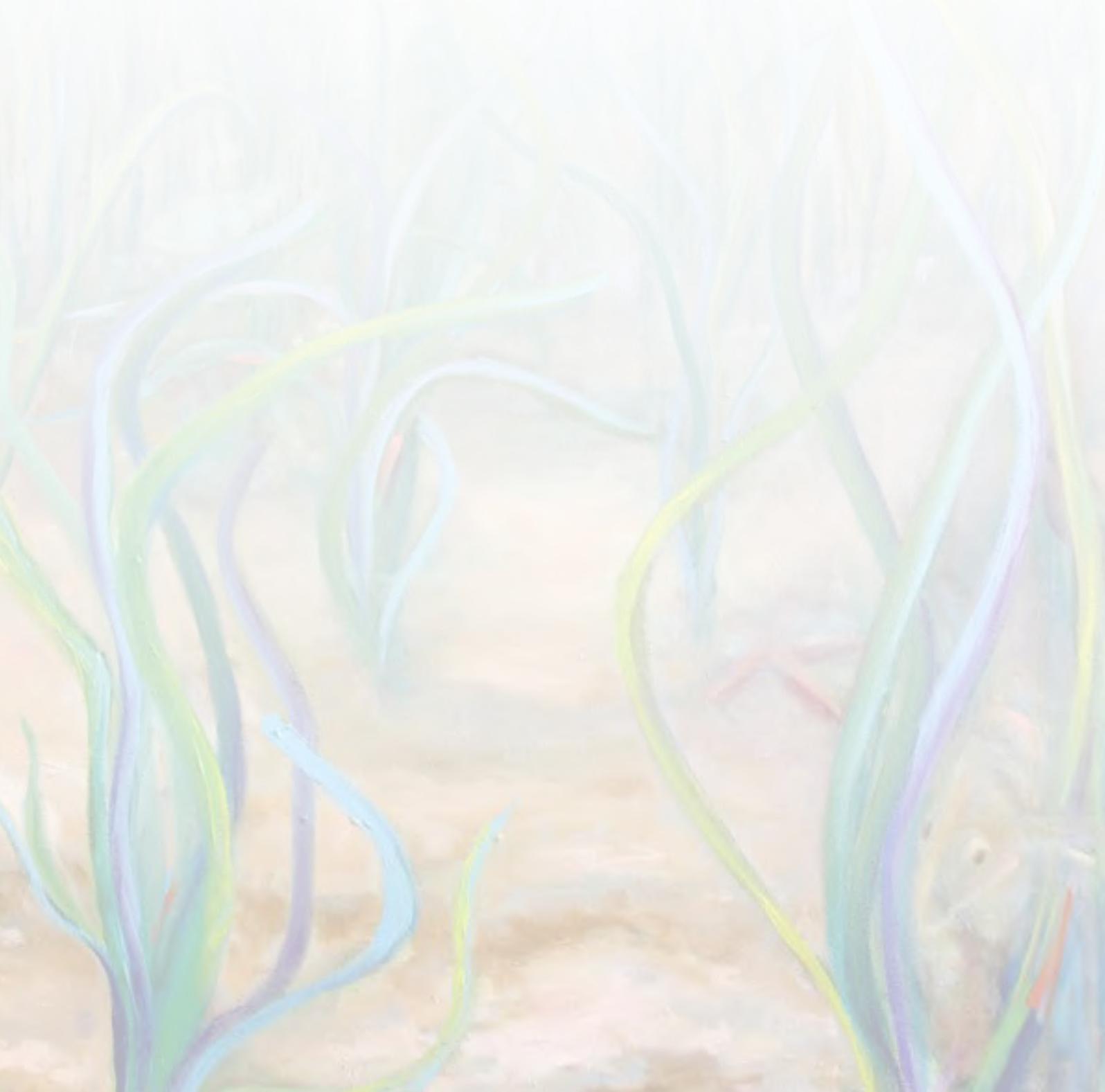
Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les points de vue du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Nous nous excusons par avance de toute erreur ou omission qui pourrait avoir été commise par inadvertance.

---

# HERBIERS MARINS

---

**UN POUJON VERT INESTIMABLE  
POUR LA PLANÈTE ET L'HUMANITÉ**



**Rédactrice en chef :** Maria Potouroglou (GRID-Arendal)

**Équipe éditoriale :** Gabriel Grimsditch (PNUE), Lauren Weatherdon (PNUE-WCMC) et Steven Lutz (GRID-Arendal)

**Comité de pilotage :** Emmett Duffy (Tennenbaum Marine Observatories Network, Smithsonian Institution), Jane Glavan (Initiative d'Abu Dhabi sur les données environnementales mondiales), Jared Bosire (PNUE), Jessie Jarvis (Université de Caroline du Nord à Wilmington) et Takehiro Nakamura (PNUE)

**Auteurs principaux chargés de la coordination :**

**Chapitres:**

- *Services écosystémiques des herbiers marins : évaluation et ampleur des avantages* – Carmen B. de los Santos (Centre des sciences marines, Université de l'Algarve)
- *Menaces pesant sur les herbiers marins et la résilience des écosystèmes* – Rod Connolly (Université Griffith)
- *Cartographie et suivi des herbiers marins* – Dimosthenis Traganos (Centre aérospatial allemand) et Dimitris Poursanidis (Fondation pour la recherche et la technologie – Hellas)
- *Faire évoluer la conservation et la compréhension des écosystèmes d'herbiers marins avec les sciences participatives* – Richard K.F. Unsworth (Université de Swansea)
- *Politiques publiques et mesures de gestion envisageables* – Miguel Fortes (Université des Philippines)
- *Incitations financières* – Mark Huxham (Université Napier d'Édimbourg) et Mat Vanderkluft (Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth, CSIRO)

**Encadrés :**

- *Adopter des pratiques justes de conservation des herbiers marins* – Maricela de la Torre-Castro (Université de Stockholm)
- *Les herbiers marins dans l'économie bleue* – Christopher J. Brown (Université Griffith)

**Direction technique :** GRID-Arendal

**Cartographie :** Levi Westerveld (GRID-Arendal) et Hisham Ashkar

**Conception :** GRID-Arendal

**Révision et traduction :** Strategic Agenda

**Illustrations de la couverture et des pages d'interfoliage :** Nedret Andre

**Remerciements**

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux experts, auteurs et réviseurs ci-après qui ont contribué à l'élaboration de ce rapport en rédigeant des textes ou des études de cas, en fournissant des photos, en prodiguant des conseils, ou encore en sollicitant des pairs externes. Nous les remercions de nous avoir consacré leur temps précieux, d'avoir mis leurs connaissances et leur expertise à notre disposition et de nous accorder leur confiance, et nous saluons leur professionnalisme et leur collaboration remarquables.

**Auteurs collaborateurs :** Abbi Scott (Université James Cook), Anchana Prathep (Université du Prince de Songkla), Ariane Arias-Ortiz (Institut des sciences et technologies environnementales, Université autonome de Barcelone), Benjamin Jones (Université de Stockholm), Catherine Collier (Université James Cook), Genki Terauchi (NOWPAP CEARAC), Fanny Kerninon (Université de Bretagne Occidentale), Hilary Kennedy (Université de Bangor), Inés Mazarrasa (Université de Cantabrie), Janmanee Panyawai (Université du Prince de Songkla), Jennifer O'Leary (The Nature Conservancy), Joel Creed (Université d'État de Rio de Janeiro), Laura Griffiths (Université de Griffith), Len McKenzie (Université James Cook et Seagrass-Watch), Lina Mtwana Nordlund (Université d'Uppsala), Milica Stankovic (Université du Prince de Songkla), Patricia Arenas González (GRID-Arendal), Peter Macreadie (Université Deakin), Rohani Ambo-Rappe (Université Hasanuddin), Salomão Bandeira (Université Eduardo Mondlane), Tantely Tianarisoa (Wildlife Conservation Society, Madagascar), Tatsuyuki Sagawa (Centre japonais pour la technologie de la télédétection), Teruhisa Komatsu (École de commerce de Yokohama), Wawan Kiswara (Indonesian Seagrass Foundation).

**Réviseurs :** Andi Rusandi (Ministère indonésien des affaires maritimes et de la pêche), Erin Satterthwaite (NCEAS et Future Earth), Firdaus Agung (Ministère indonésien des affaires maritimes et de la pêche), Helena Rodríguez (London School of Economics), Katelyn Theuerkauf (The Pew Charitable Trusts), Katia Ballorain (CEDTM), Kristin Jinks (Université de Griffith), Lars Lindström (Université de Stockholm), Margot Hession-Lewis (Institut Hakai), Michael Njoroge Githaiga (Université d'Embu), Mike van Keulen (Université Murdoch), Mohamed Ahmed (PNUE), Mohamed Ahmed Sidi Cheikh (Caisse des Dépôts et de Développement, Mauritanie), Novi Susetyo Adi (Ministère indonésien des affaires maritimes et de la pêche), Nurul Dhewani Mirah Sjafrie (Ministère indonésien des affaires maritimes et de la pêche), Stacy Baez (The Pew Charitable Trusts), Tibor Vegh (Université Duke).

Le présent rapport a bénéficié du financement du gouvernement norvégien.

---

# HERBIERS MARINS

---

## UN POUMONT VERT INESTIMABLE POUR LA PLANÈTE ET L'HUMANITÉ

Avant-propos .....	7
Préface : Herbiers marins – leur santé, notre richesse .....	8
Note de la World Seagrass Association .....	9
Résumé à l'intention des responsables politiques .....	11
Introduction .....	14
<b>CHAPITRE 1 — DONNÉES SCIENTIFIQUES .....</b>	<b>19</b>
Services écosystémiques des herbiers marins : évaluation et ampleur des avantages .....	21
Menaces pesant sur les herbiers marins et la résilience des écosystèmes .....	38
Cartographie et suivi des herbiers marins .....	50
Faire évoluer la conservation et la compréhension des écosystèmes d'herbiers marins avec les sciences participatives .....	58
<b>CHAPITRE 2 — POLITIQUES PUBLIQUES ET MESURES DE GESTION ENVISAGEABLES .....</b>	<b>63</b>
<b>CHAPITRE 3 — INCITATIONS FINANCIÈRES .....</b>	<b>75</b>
Interventions recommandées .....	87
Références .....	92
Annexe .....	100



# Avant-propos

Figurant parmi les écosystèmes côtiers et marins les plus précieux de la planète, les herbiers marins offrent divers avantages environnementaux, économiques et sociaux essentiels.

Ils fournissent de la nourriture et des moyens de subsistance à des centaines de millions de personnes, et contribuent à la richesse de la biodiversité, leur sédiments constituant l'un des réservoirs de carbone les plus efficaces au monde.

Cependant, l'aménagement du littoral, la croissance démographique, l'augmentation de la pollution et les changements climatiques menacent la survie de cet écosystème vital. Ce rapport de synthèse mondial, le premier sur ce sujet, vise à mieux nous faire comprendre l'importance des herbiers marins, et formule des recommandations sur la manière de les protéger et de les gérer.

Un milliard de personnes vivent à moins de 100 km de prairies de phanérogames, et 20 % des principales zones de pêche du monde dépendent de ces écosystèmes. On estime que les émissions dues à la disparition des herbiers marins contribuent au rejet dans l'atmosphère de 299 Tg de carbone par an.

Compte tenu de l'urgence climatique actuelle, la disparition préoccupante des zones d'herbiers marins, estimée à près de 30 % depuis la fin du XIXe siècle, exige la mise en place d'une série de mesures et de politiques reconnaissant les multiples avantages de ces écosystèmes.

Il importe de préserver la santé des écosystèmes d'herbiers marins, tant pour garantir la pérennité de la vie marine que pour garantir le bien-être de l'humanité. Ils représentent des solutions naturelles précieuses pour lutter contre les changements climatiques et promouvoir le développement durable.



A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Inger Andersen'. The signature is stylized and fluid.

**Inger Andersen**

Directrice exécutive

Programme des Nations Unies pour l'environnement

# Préface : Herbiers marins – leur santé, notre richesse

Omniprésents le long des côtes du monde entier – ils occupent une superficie de plus de 300 000 km répartis sur 159 pays et six continents – , les herbiers marins sont pourtant des écosystèmes trop souvent oubliés. Ondulant doucement sous la surface de l’océan, les herbiers sont trop souvent loin des yeux et loin du cœur, éclipsés par les récifs coralliens hauts en couleur et les mangroves majestueuses. Lorsqu’on les remarque, c’est parfois pour les trouver gênants, alors qu’ils sont une source précieuse de bienfaits pour l’humanité.

Les prairies de phanérogames revêtent une importance essentielle pour la nature et l’humanité. Depuis quelque 100 millions d’années, ils protègent les eaux côtières, les créatures qui les peuplent, et, plus récemment, l’espèce humaine. Les herbiers marins figurent parmi les habitats naturels terrestres et maritimes les plus productifs : ils purifient l’eau, nous

protègent contre les tempêtes, nourrissent des centaines de millions de personnes, et se caractérisent par la richesse de leur biodiversité, leurs sédiments constituant l’un des réservoirs de carbone les plus efficaces au monde.

Compte tenu des services qu’ils rendent à l’homme et à la nature, il est essentiel de les protéger et de les restaurer. Les écosystèmes d’herbiers marins peuvent nous aider à honorer nombre des engagements internationaux en matière d’environnement qui sont nécessaires pour sauver notre planète, comme les objectifs de développement durable, l’Accord de Paris et la Convention sur la diversité biologique.

Il est temps de promouvoir le rôle de cet écosystème marin sous-estimé et de mettre en lumière les différents rôles qu’il peut jouer pour nous aider à affronter nos principaux enjeux environnementaux.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Jumeau', with a long horizontal line extending to the right.

**Ronald Jumeau**

Représentant permanent de la République des Seychelles auprès de l’Organisation des Nations Unies, Ambassadeur itinérant pour le changement climatique.

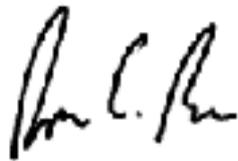
# Note de la World Seagrass Associatio

Bien que les herbiers marins soient indispensables aux écosystèmes côtiers, leur rôle pourtant essentiel a longtemps été sous-estimé. Nos connaissances sur leurs contributions à la fonctionnalité, à la diversité et à la beauté des régions côtières s'étoffent chaque année au gré des études et des observations des chercheurs et des scientifiques citoyens. À cela s'ajoutent les efforts soutenus des décideurs et des responsables des zones côtières ; c'est ainsi que la compréhension profonde de l'importance écologique et socioéconomique des herbiers marins aux échelons local, régional et mondial prend de plus en plus corps. Malheureusement, l'amélioration de nos connaissances va de pair avec l'intensification des pressions à l'origine du déclin des herbiers marins à l'échelle mondiale. Il est par conséquent nécessaire de sensibiliser davantage à l'importance de cette ressource, et de définir les mesures indispensables pour protéger cet habitat essentiel à notre avenir.

Ce rapport de synthèse mondial repose sur les fondations posées par d'innombrables personnes aux quatre coins du monde, lesquelles ont consacré leur temps, leur énergie et leurs ressources à l'étude de ces habitats exceptionnels. La World Seagrass Association (WSA) a été créée en 2000 par 11 personnes issues de sept pays pour sensibiliser à l'importance

des herbiers marins, faciliter les formations et l'échange d'informations, recueillir des données de gestion et les rendre facilement accessibles afin d'assurer la conservation des habitats des herbiers marins, et apporter un appui politique à la durabilité, à la biodiversité et à la résilience de l'environnement marin. Elle compte désormais des membres représentant plus de 20 pays, et a favorisé les échanges scientifiques en organisant les « International Seagrass Biology Workshops », des ateliers internationaux sur la biologie des herbiers marins. Elle a en outre participé à l'élaboration du premier atlas mondial des herbiers marins, et plus récemment, été le fer de lance d'une campagne visant à instaurer une « Journée mondiale des herbiers marins » informelle afin d'attirer l'attention de la communauté internationale sur ces écosystèmes. L'association espère que le présent rapport contribuera à accroître davantage la visibilité de ces ressources naturelles sous-estimées et à promouvoir leur conservation et l'approche scientifique de leur gestion.

En tant que présidente de la WSA, c'est avec plaisir que je soutiens ce rapport de synthèse mondial, et avec impatience que j'attends les répercussions positives qu'entraînera la reconnaissance internationale de l'importance des herbiers marins.



**Dr Jessie Jarvis**

Présidente, World Seagrass Association



# Résumé à l'intention des décideurs

Les herbiers marins sont composés de plantes à fleurs et sont présents dans les eaux peu profondes dans de nombreuses régions du globe, des tropiques au cercle arctique. Ils occupent une superficie de plus de 300 000 km<sup>2</sup> répartis sur 159 pays et six continents, ce qui en fait l'un des plus vastes habitats côtiers de la planète. Ces plantes forment de grandes prairies marines, créant un écosystème complexe, très productif et d'une grande richesse biologique. Elles fournissent également une multitude de services écosystémiques extrêmement précieux, qui contribuent largement à la préservation des écosystèmes, au bien-être humain et à la sécurité des habitants du littoral.

Les herbiers marins revêtent une importance fondamentale pour la production halieutique mondiale : ils constituent une zone de nurserie très prisée pour plus d'un cinquième des 25 plus grandes pêcheries du monde, ainsi qu'un abri et une source d'alimentation pour des milliers d'espèces, notamment des poissons, des mollusques et des crustacés, et des espèces menacées, en danger ou emblématiques (dugong, hippocampe, tortue de mer, etc.). Ils améliorent la qualité de l'eau en filtrant, en assimilant et en stockant les nutriments et les substances polluantes, et réduisent l'incidence des bactéries marines pathogènes. Ils contribuent ainsi directement à la protection des êtres humains, mais également à la prévention des maladies des coraux et de la contamination des aliments d'origine marine. Ils jouent également un rôle sur le plan culturel puisqu'ils sont bénéfiques au tourisme et à la pratique de loisirs dans le monde entier.

Les herbiers marins fournissent un excellent moyen naturel d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses effets. Bien qu'ils ne couvrent que 0,1 % des fonds marins, ils constituent des puits de carbone très efficaces pouvant stocker jusqu'à 18 % du carbone océanique à l'échelle mondiale. Ils permettent également de lutter contre l'acidification des océans, ce qui favorise la résilience des espèces et écosystèmes les plus vulnérables, tels que les récifs coralliens. Enfin, ils forment un rempart contre la houle, qui protège les populations côtières des risques croissants d'inondation et de tempête.

On observe toutefois un recul des herbiers marins à l'échelle mondiale depuis les années 1930. Selon les dernières estimations, 7 % de cet habitat marin essentiel disparaît chaque année, l'équivalent d'un terrain de football toutes les demi-heures. Seules 26 % des prairies recensées se trouvent dans des aires marines protégées (AMP), contre 40 % des récifs coralliens et 43 % des mangroves. Les rejets agricoles et industriels, l'aménagement du littoral et les changements climatiques constituent les principales menaces pour les herbiers marins. La pêche non réglementée, l'ancrage des bateaux, le piétinement et le dragage posent également des risques importants. Bien que les herbiers marins soient

globalement en déclin, ils ont tendance à reculer plus lentement, voire à bien se régénérer dans certaines zones, ce qui est encourageant. Ces progrès sont généralement le fruit d'interventions humaines visant à réduire l'effet des pressions d'origine anthropique.

Une meilleure reconnaissance de l'importance des écosystèmes d'herbiers marins pour la biodiversité et le bien-être humain permettrait de renforcer, partout dans le monde, les programmes de conservation, de gestion efficace et de restauration de ces écosystèmes. En garantissant leur protection, les pays peuvent atteindre de multiples objectifs économiques, sociétaux et nutritionnels, en s'appuyant sur des cadres politiques mis en œuvre à l'échelon national, régional ou mondial. En outre, les bénéfices découlant de la conservation et de la restauration des herbiers marins peuvent les aider à atteindre 26 cibles et indicateurs de dix objectifs de développement durable (ODD). Non seulement les herbiers marins sont indispensables à la vie sous-marine, mais ils fournissent également des avantages très divers aux populations terrestres. Les herbiers marins peuvent capter et stocker le CO<sub>2</sub>, d'où la possibilité pour les pays de les inclure dans leurs contributions déterminées au niveau national (CDN) afin d'accroître leurs chances d'atteindre les objectifs fixés au titre de l'Accord de Paris et de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Ils doivent également figurer dans le cadre mondial pour la diversité pour l'après-2020 et dans la Convention sur la diversité biologique (CDB) afin de préserver l'intégrité de la biodiversité et des écosystèmes marins. Enfin, la restauration des prairies est l'occasion pour les pays de mettre en œuvre les engagements qui seront pris au titre de la future Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes.

Ce rapport de synthèse mondial souligne les bienfaits uniques des herbiers marins pour les populations du monde entier. Il résume, en s'appuyant sur des données scientifiques, les nombreux services écosystémiques associés aux herbiers marins et les risques auxquels nous serions exposés s'ils venaient à disparaître à l'ère du changement climatique, et il fait le point sur la perte et la dégradation de cet habitat dans le monde. Il propose également des mesures de gestion et des politiques publiques aux échelons local, régional et mondial, en vue de partager les bonnes pratiques et d'enrayer le déclin des herbiers marins. Enfin, il explique en quoi la conservation efficace, la gestion durable et la restauration réussie des écosystèmes d'herbiers marins permettraient aux gouvernements d'atteindre leurs cibles et objectifs internationaux en matière de politique environnementale et de respecter leurs engagements en la matière. Nous espérons que grâce à ce rapport, les décideurs s'intéresseront davantage au sort des herbiers marins afin de garantir l'avenir durable de ces écosystèmes essentiels, mais sous-estimés.

# Principaux messages et conclusions

→ **Les herbiers marins sont l'un des plus vastes habitats côtiers de la planète.** Ils sont présents dans les eaux peu profondes partout dans le monde, des régions subarctiques aux tropiques, dans 159 pays sur six continents. On recense environ 300 000 km<sup>2</sup> de prairies marines à l'échelle mondiale, mais cette surface pourrait être beaucoup plus importante selon les dernières estimations.

→ **Les herbiers marins offrent aux êtres humains divers avantages environnementaux, économiques et sociaux, ce qui en fait l'un des écosystèmes côtiers et marins les plus précieux de la planète.** Ils contribuent grandement à l'amélioration de la sécurité alimentaire, à l'atténuation des effets du changement climatique, à l'enrichissement de la biodiversité, à la purification de l'eau, à la protection du littoral et au contrôle des maladies dans le monde. Les herbiers marins sont mieux protégés et fournissent davantage de services écosystémiques s'ils se trouvent à proximité d'autres écosystèmes côtiers (marais littoraux, récifs coralliens, mangroves et forêts de kelp, bancs d'huîtres et de moules, etc.) et y sont reliés. Il est primordial de préserver ces services écosystémiques afin de favoriser le bien-être humain et le développement.

→ **Les herbiers marins subissent des pressions d'origine naturelle et anthropique partout dans le monde.** Près de 30 % des prairies ont disparu depuis la fin du XIXe siècle et au moins 22 des 72 espèces d'herbiers marins sont en voie d'extinction. Les rejets urbains, agricoles et industriels, l'aménagement du littoral, le dragage, la pêche et la navigation non réglementées, ainsi que les changements climatiques constituent les principales menaces. Au vu des nombreux services écosystémiques

qu'elles fournissent, la disparition des prairies à l'échelle planétaire a de graves conséquences pour les êtres humains. La conservation, la réhabilitation et la restauration de ces habitats permettraient d'inverser la tendance et de recréer les services écosystémiques perdus.

→ **Il est urgent d'élaborer et de mettre en œuvre des politiques publiques et des mesures de gestion intégrées tenant compte des multiples avantages des écosystèmes d'herbiers marins.** La conservation et la restauration des prairies peuvent aider les pays à honorer de multiples engagements internationaux, contribuant ainsi directement ou indirectement à l'atteinte de 26 cibles des ODD et d'autres objectifs stratégiques internationaux, tels que les objectifs d'Aichi relatifs à la diversité biologique, les objectifs de l'Accord de Paris, de la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes, de la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable, de la Convention de Ramsar sur les zones humides, et du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe.

→ **Plusieurs pratiques permettent de protéger efficacement les écosystèmes d'herbiers marins à l'échelle régionale, nationale et locale.** Il convient notamment de tenir compte des multiples pressions et des effets cumulés des activités marines et terrestres sur ces écosystèmes. Les cadres de gestion doivent reposer sur des approches transversales et être intégrés au sein des juridictions. Ils doivent s'inscrire dans la transition mondiale en cours vers des économies maritimes globales, inclusives et durables.

→ **Les sciences participatives permettent d'infléchir et d'améliorer les politiques publiques, et ainsi de renforcer la conservation des phanérogames.** Les scientifiques citoyens peuvent aider à produire des données scientifiques aux fins de conservation, mettre en œuvre des projets de restauration, partager des idées, et participer à la gestion des ressources naturelles et de l'environnement et à l'élaboration des politiques en la matière. La cogestion avec les riverains des écosystèmes d'herbiers marins ou des aires protégées qui les abritent permet de mener des programmes plus efficaces et complets.

→ **Il existe de nombreux dispositifs privés ou publics de financement de la conservation et de la restauration d'herbiers marins, plus efficaces s'ils sont utilisés dans le cadre d'une approche mixte.** Les programmes de paiements pour services liés aux écosystèmes (PSE) appliqués aux herbiers marins sont encore rares, mais ils présentent un potentiel de développement et d'efficacité très prometteur. Des stratégies incluant la gestion, la conservation et la restauration des écosystèmes d'herbiers marins seront essentielles pour garantir l'avenir durable de l'économie bleue.



# Interventions recommandées

**1 Soutenir la constitution d'un groupe d'experts en politiques s'intéressant spécifiquement aux herbiers marins** afin d'analyser en détail l'efficacité des politiques publiques actuelles en la matière et de formuler des recommandations à l'intention de la communauté internationale.

**2 Réaliser une carte mondiale complète de la répartition et de l'état de santé des prairies marines.** Poursuivre et coordonner les programmes visant à combler les lacunes des corpus de données mondiaux relatifs à la superficie et à la répartition des écosystèmes d'herbiers marins : consolider les réseaux de suivi déjà en place sur le terrain ; étudier le potentiel de la télédétection ; et investir dans la gestion des données en vue de maintenir une base de données mondiale sur le long terme.

**3 Financer des projets visant à mieux comprendre et quantifier la valeur des biens et des services écosystémiques des herbiers marins.** Il convient de tenir compte des différentes espèces d'herbiers marins et d'accorder la priorité aux biotopes sous-représentés (littoraux d'Amérique du Sud, d'Asie du Sud-Est et d'Afrique de l'Ouest).

**4 Faire prendre conscience de l'importance économique et sociale des herbiers marins et des conséquences de leur disparition.** Sensibiliser davantage le public au caractère emblématique des herbiers marins en mettant en évidence les biens et les services qu'ils fournissent à l'humanité.

**5 Élaborer des plans d'action nationaux en faveur des écosystèmes d'herbiers marins.** Ces plans doivent être en phase avec les divers engagements internationaux et contribuer à leur réalisation. Ils doivent être correctement intégrés et tenir compte des liens existant entre les herbiers marins et les autres écosystèmes à proximité (récifs coralliens, mangroves, forêts de kelp, marais salés, bancs de mollusques ou de crustacés, etc.).

**6 Intégrer la protection des herbiers marins dans la planification et la mise en œuvre du cadre mondial pour la diversité pour l'après-2020.** Il convient d'adopter des objectifs spécifiques, mesurables, réalisables, pertinents et limités dans le temps applicable aux écosystèmes d'herbiers marins à l'échelle mondiale. Ce point pourrait être inscrit à l'ordre du jour de la Conférence des parties (CDP) à la CDB de 2020 et constituerait une avancée positive pour la protection de ces écosystèmes et du littoral en général.

**7 Intégrer des interventions en faveur des écosystèmes d'herbiers marins dans les plans relatifs à la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes et à la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable.** Fixer des objectifs en matière de restauration des écosystèmes d'herbiers marins et financer des programmes de recherche

et de suivi des herbiers marins axés sur la sécurité alimentaire, la réduction des risques de catastrophe, et l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets.

**8 Reconnaître dans les CDN le rôle essentiel des herbiers marins dans l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets.** Inclure les écosystèmes d'herbiers marins dans les inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre, dans les rapports de différents niveaux soumis au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), et dans les rapports d'avancement des CDN.

**9 Valoriser la protection des herbiers marins dans les ODD, le Programme de développement durable à l'horizon 2030, et les autres programmes politiques internationaux.** Intégrer des indicateurs relatifs aux herbiers marins dans les dispositifs de suivi sur le terrain et par télédétection, notamment ceux établis dans le cadre des ODD, de l'Accord de Paris, de la CDB et du Cadre de Sendai.

**10 Accroître les financements nationaux, bilatéraux et multilatéraux nécessaires pour mener des interventions globales de conservation et de gestion durable des écosystèmes d'herbiers marins.** Repérer les volets de financement intéressants des fonds multilatéraux pour l'environnement. Étudier la possibilité de mettre en place un fonds mondial de protection et de restauration des herbiers marins et de renforcement des capacités en la matière.

**11 Mobiliser les parties prenantes à tous les niveaux et encourager l'établissement de partenariats visant à faciliter l'intégration de programmes de conservation des herbiers marins dans la planification et la mise en œuvre.** La participation et les connaissances des communautés locales et autochtones sont primordiales pour garantir la réussite et la pérennité des interventions.

**12 Augmenter le nombre d'AMP ou d'aires marines gérées localement (AMGL) qui incluent la gestion des écosystèmes d'herbiers marins ou sont axées sur cette activité.** Sachant que seules 26 % des formations d'herbiers marins recensées se trouvent dans des aires protégées, c'est une intervention essentielle pour prévenir leur disparition et préserver les services écosystémiques qu'ils rendent à l'humanité.

**13 Mettre en place des subventions et des incitations économiques pour favoriser la conservation et la restauration des herbiers marins.** Encourager la mise en place d'incitations économiques ou incorporer la protection des herbiers marins dans les programmes PSE en cours afin de financer des activités locales de protection et de restauration. Élaborer des méthodes et des guides visant à faciliter l'introduction des écosystèmes d'herbiers marins sur le marché de droits d'émission de carbone.

# Introduction

Souvent ignorés, les herbiers marins sont pourtant un élément essentiel du paysage marin. Décrits comme les « poumons » et les « ingénieurs de l'écosystème » marin, leur contribution à la santé de la planète et au bien-être humain est cependant éclipsée par celle d'autres écosystèmes marins, tels que les récifs coralliens et les mangroves. Face à ce « manque de charisme » (Unsworth et al., 2019), le présent rapport offre une synthèse des connaissances actuelles en matière d'écosystèmes d'herbiers marins, souligne leurs nombreux bienfaits pour la population, et formule des recommandations politiques pour que ces bienfaits soient pleinement reconnus.

Souvent interconnectés et interdépendants, les herbiers marins, les récifs coralliens et les mangroves soutiennent les communautés côtières dans le monde entier. On recense plus de 70 espèces d'herbiers marins dans le monde (Short et al., 2011), réparties sur 159 pays et six continents, soit une superficie probablement supérieure à 300 000 km<sup>2</sup> (voir la figure 1). Plus d'un milliard de personnes vivent à moins de 100 km de prairies de phanérogames (Small et Nicholls, 2003). À ce jour, leur superficie totale est estimée à 160 387 km<sup>2</sup>, répartis sur 103 pays et territoires (niveau de confiance modéré à élevé), auxquels s'ajoutent 106 175 km<sup>2</sup> supplémentaires, répartis sur 33 autres pays (niveau de confiance faible) (McKenzie et al., 2020).

Les herbiers marins fournissent de multiples avantages aux populations terrestres et contribuent à leur bien-être ; citons, entre autres, la sécurité alimentaire découlant de la pêche, la

filtration de l'eau et l'amélioration de sa qualité, la protection des littoraux contre l'érosion, les tempêtes et les inondations, ou encore la séquestration et le stockage de carbone. D'après les estimations, 20 % des principales zones de pêche du monde dépendent des herbiers marins (Unsworth et al., 2018). Dans la seule mer Méditerranée, ces zones de pêche génèrent au moins 200 millions d'euros chaque année (Jackson et al., 2015). Le déclin de leur habitat est lié à la diminution rapide des stocks de poissons (McArthur et Boland, 2006). Les herbiers marins réduisent de 50 % l'incidence des bactéries marines pathogènes dans l'eau de mer (Lamb et al. 2017) et d'environ 40 % la houle déferlant sur les côtes, atténuant ainsi les dommages subis par ces dernières (Fonseca et Cahalan, 1992). Leur croissance annuelle, supérieure à celles des zones dépourvues de végétation (la différence pouvant atteindre 30 mm), représente un atout pour l'adaptation des populations terrestres à l'élévation du niveau de la mer (Potouroglou et al., 2017). Les écosystèmes d'herbiers marins sont des acteurs importants de l'atténuation des effets des changements climatiques, et les émissions annuelles dues à leur déclin mondial sont susceptibles d'atteindre 0,65 GtCO<sub>2</sub> (Hoegh-Guldberg et al., 2018), ce qui correspond approximativement aux émissions annuelles de l'ensemble de l'industrie mondiale des transports maritimes. Les prairies de phanérogames sont en outre exploitées dans une large gamme de biens et de services, notamment à des fins pharmaceutiques et alimentaires (comme le saké japonais), et en tant que matériaux. Cette polyvalence soutient les économies locales,





© Benjamin Jones, Project Seagrass



© Diritis Poursanis, Foundation for Research and Technology – Hellas

tout en offrant des solutions naturelles et en prodiguant des bienfaits aux échelons national, régional et mondial. Ce rapport souligne les nombreux bienfaits de la protection et de la restauration des écosystèmes d'herbiers marins pour la communauté internationale.

Malheureusement, les prairies de phanérogames figurent parmi les écosystèmes côtiers les moins protégés (Centre mondial de surveillance pour la conservation du Programme des Nations Unies pour l'environnement et Short, 2018 ; Programme des Nations Unies pour l'environnement et Union internationale pour la conservation de la nature, 2019), et subissent souvent des pressions cumulées dues à l'aménagement du littoral, à la déperdition des éléments nutritifs et aux changements climatiques. Seules 26 % des prairies recensées se trouvent dans des aires marines protégées, contre 40 % des récifs coralliens et 43 % des mangroves. La plupart ne font pas l'objet de plans de gestion ou ne sont pas protégés contre les pressions anthropiques. Les chiffres les plus récents montrent que près de 50 % de zones humides côtières ont disparu ces 100 dernières années et que 20 à 90 % des zones restantes risquent de disparaître d'ici à 2100 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], 2019). Les prairies de phanérogames seules ont diminué de plus de 10 % par décennie entre 1970 et 2000 (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, 2019), et les projections actuelles laissent à penser que leur aire de répartition se déplacera vers les pôles dans les décennies à venir en raison des changements climatiques (GIEC, 2019).

Compte tenu de l'importance des herbiers marins pour les populations du monde entier, il est urgent de remédier aux principaux facteurs cumulés de leur dégradation au moyen de mesures de gestion intersectorielles et de politiques publiques intégrées tenant compte des dépendances au niveau de l'interface terre-mer. Comme le montre le présent rapport, la mise en œuvre d'interventions efficaces en matière de gestion, de conservation et de restauration des écosystèmes d'herbiers marins peut aider les pays à atteindre de multiples objectifs économiques, sociétaux et nutritionnels conformes à leurs objectifs de développement durable (ODD) nationaux. Plus concrètement, les avantages découlant de la conservation et de la restauration de ces écosystèmes facilitent la réalisation

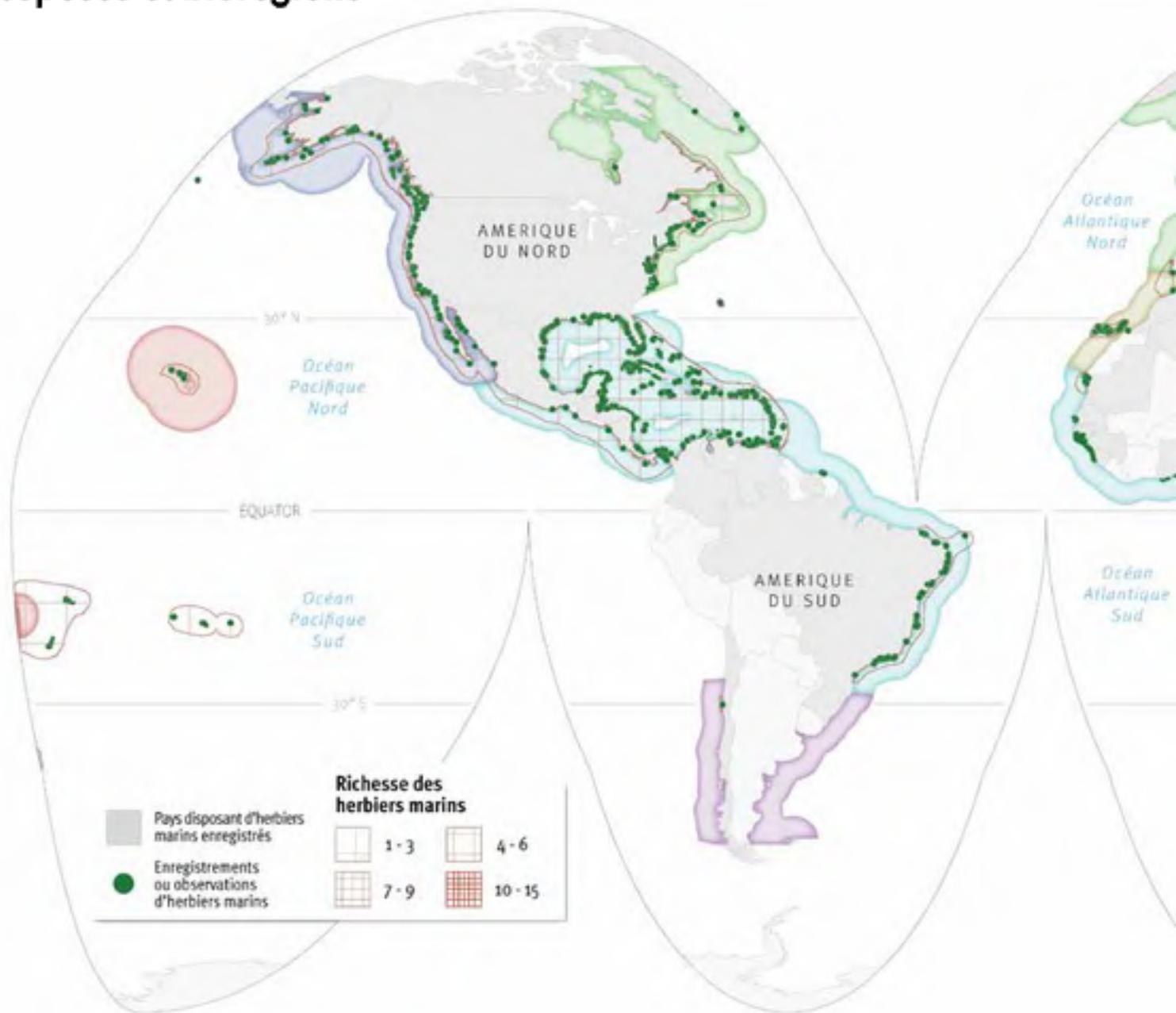
de 26 cibles et indicateurs de dix ODD (à savoir, les ODD 1, 2, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14 et 17). Non seulement les herbiers marins sont indispensables à la vie sous-marine, mais ils fournissent également des avantages importants aux populations terrestres. Les phanérogames peuvent capter et stocker le CO<sub>2</sub>, d'où la possibilité pour les pays de les inclure dans leurs contributions déterminées au niveau national afin d'accroître leurs chances d'atteindre les objectifs fixés au titre de l'Accord de Paris et de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Ils doivent figurer dans le cadre mondial pour la biodiversité pour l'après-2020 et dans la Convention sur la diversité biologique (CDB) afin de préserver l'intégrité de la biodiversité et des écosystèmes marins. Par ailleurs, la restauration des prairies est l'occasion pour les pays de mettre en œuvre les engagements qui seront pris au titre de la future Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes. Le présent rapport explique dans quelle mesure la conservation, la gestion et la restauration des écosystèmes d'herbiers marins permettraient aux gouvernements nationaux d'atteindre leurs cibles et objectifs internationaux en matière de politique environnementale.

Enfin, le financement de la conservation et de la restauration représente un obstacle de taille à la gestion durable des écosystèmes d'herbiers marins, à la mise en œuvre efficace des politiques et au suivi des progrès vers la réalisation des objectifs politiques et de gestion. Ce rapport présente les différentes options existantes en matière de financement public et privé et de paiements pour services liés aux écosystèmes, avec à l'appui une série d'études de cas du monde entier. Par ailleurs, les services fournis par les écosystèmes d'herbiers marins soutenant diverses activités économiques et sources de revenus, leur gestion durable est essentielle à la pérennité des « économies bleues ». Des stratégies incluant la gestion, la conservation et la restauration des écosystèmes de phanérogames seront essentielles pour garantir l'avenir durable de l'économie bleue.

Ce rapport mondial est le premier que les Nations Unies consacrent au rôle essentiel des écosystèmes d'herbiers marins pour l'environnement et les populations terrestres ; il est à espérer qu'il contribuera à sensibiliser à l'importance, mais également à la vulnérabilité, de ces écosystèmes marins précieux et souvent sous-estimés.

FIGURE 1

# Carte mondiale des herbiers marins : répartition, richesse des espèces et biorégions



Sources: Short, F.T. et al. (2007) United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) et Short, F.T. (2018)

## Pays et zones disposant d'herbiers marins enregistrés :

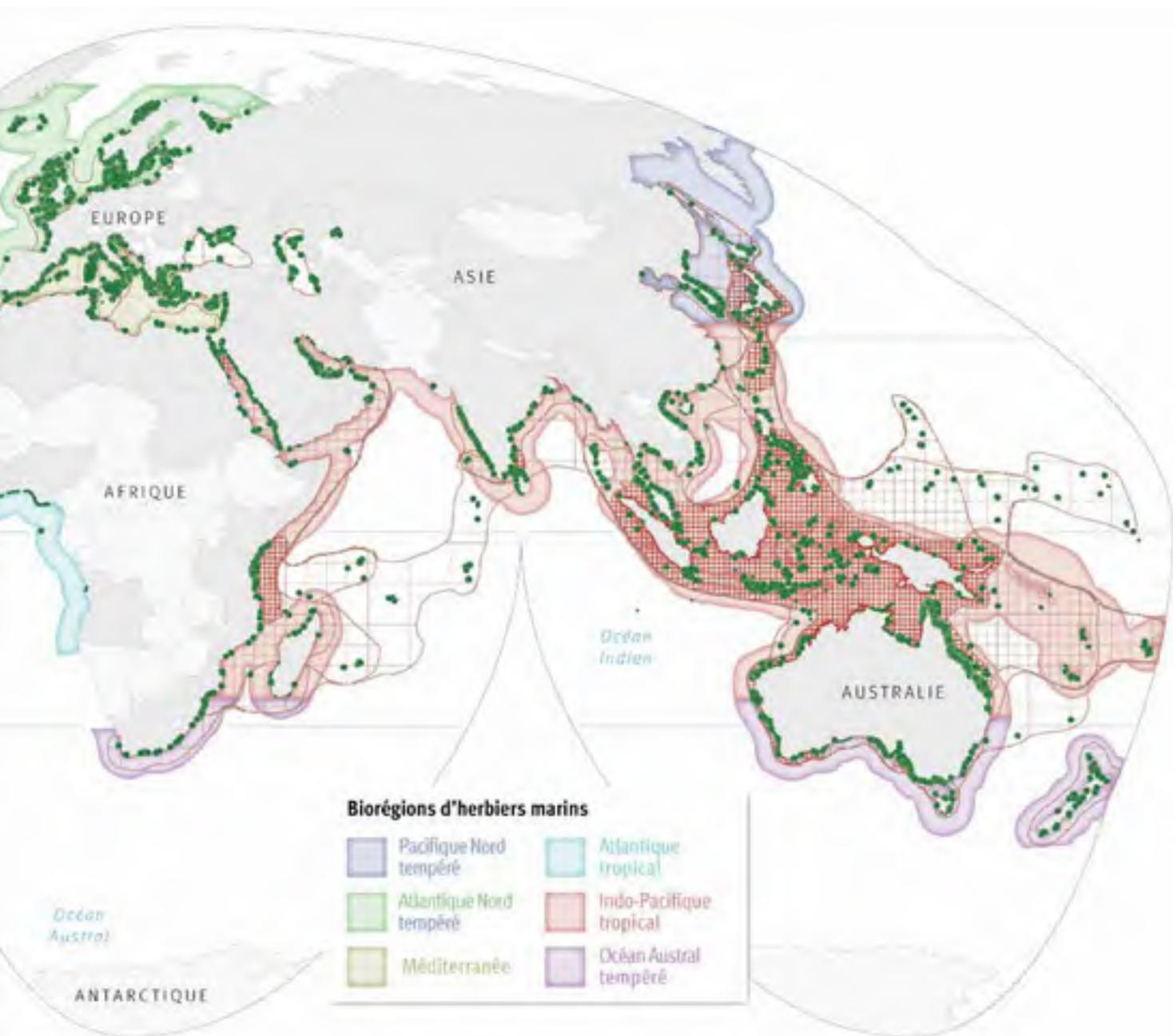
**AMÉRIQUE DU NORD :** Canada, États-Unis.

**AMÉRIQUE DU SUD :** Brésil, Chili, Colombie, Suriname, Venezuela.

**AMÉRIQUE CENTRALE ET CARAÏBES :** Anguilla, Antigua et Barbuda, Aruba, Bahamas, Barbade, Belize, Bermudes, Costa Rica, Cuba, Dominique, Grenade, Guadeloupe, Guatemala, Haïti, Honduras, Îles Caïmanes, Îles Turques-et-Caïques, Îles Vierges américaines, Îles Vierges britanniques, Jamaïque,

Mexique, Montserrat, Nicaragua, Panama, République dominicaine, Saint-Barthélemy, Saint-Kitts-et-Nevis, Sainte-Lucie, Saint-Martin, Saint-Vincent-et-les-Grenadines, Trinité-et-Tobago.

**EUROPE :** Albanie, Allemagne, Croatie, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Groenland, Guernesey, Île de Man, Irlande, Islande, Italie, Jersey, Lituanie, Malte, Monaco, Monténégro, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède, Ukraine.



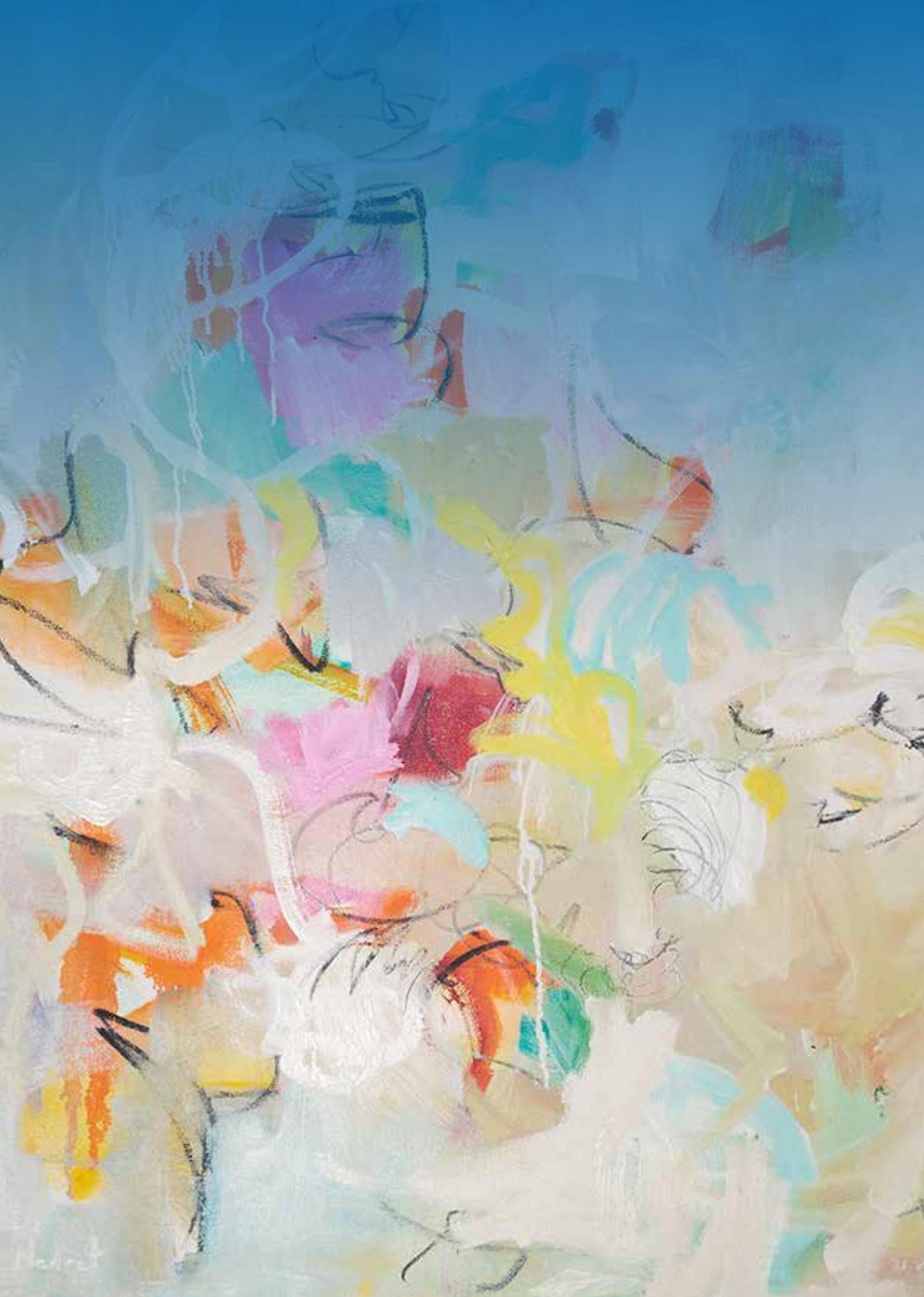
Carte produite par by Leiri Westerveld/ERID-A andel (2015).  
Projection: Grille Hémisphère

**AFRIQUE** : Afrique du Sud, Algérie, Angola, Bénin, Comores, Égypte, Érythrée, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Kenya, La Réunion, Libye, Madagascar, Maroc, Maurice, Mauritanie, Mayotte, Mozambique, Nigéria, Sao Tomé et Príncipe, Sénégal, Seychelles, Sierra Leone, Somalie, Soudan, Tanzanie, Terres australes et antarctiques françaises, Togo, Tunisie.

**ASIE** : Arabie saoudite, Azerbaïdjan, Bahreïn, Bangladesh, Birmanie, Cambodge, Chine, Corée du Nord, Corée du Sud, Émirats arabes unis, Hong Kong, Île Christmas, Îles Cocos, Inde, Indonésie,

Iran, Iraq, Israël, Japon, Jordanie, Kazakhstan, Koweït, Liban, Malaisie, Maldives, Oman, Palaos, Papouasie Nouvelle-Guinée, Philippines, Qatar, Russie, Singapour, Sri Lanka, Syrie, Taïwan, Territoire britannique de l'Océan Indien, Thaïlande, Turkménistan, Turquie, Viet Nam, Yémen.

**OCÉANIE** : Australie, Fidji, Guam, Îles Mariannes du Nord, Îles Marshall, Île Norfolk, Îles Salomon, Kiribati, Martinique, Micronésie, Nouvelle-Calédonie, Nouvelle-Zélande, Polynésie française, Samoa, Samoa américaines, Timor-Leste, Tonga, Vanuatu.



---

**CHAPITRE 1**

**PROVAS  
CIENTÍFICAS**

---

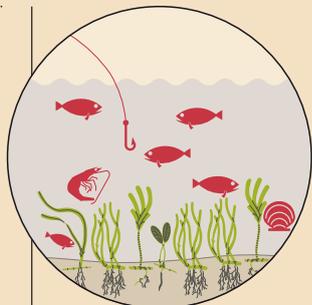


FIGURE 2

# SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DES HERBIERS MARINS

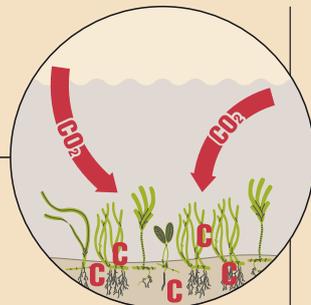
## PÊCHE

LES HERBIERS MARINS SOUTIENNENT LES ACTIVITÉS DE PÊCHE À L'ÉCHELLE MONDIALE ET CONSTITUENT DES ZONES DE NURSERIE POUR LES ESPÈCES DE POISSONS, DE BIVALVES ET DE CRUSTACÉS DESTINÉES AU COMMERCE.



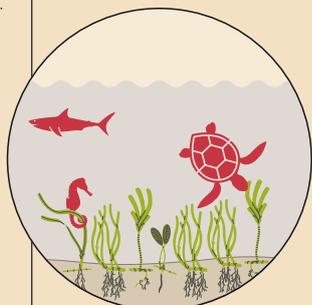
## RÉGULATION DU CLIMAT

LES PRAIRIES SOUS-MARINES STOCKENT D'IMPORTANTES QUANTITÉS DE CARBONE DANS LA BIOMASSE ET LES SÉDIMENTS, CE QUI CONTRIBUE À ATTÉNUER LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.



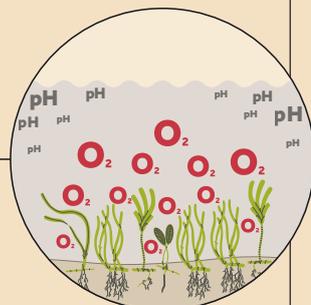
## BIODIVERSITÉ

LES HERBIERS MARINS SONT UN HAUT LIEU DE LA BIODIVERSITÉ MARINE, NOTAMMENT POUR DES ESPÈCES PROTÉGÉES ET CHARISMATIQUES, TELLES QUE LES DUGONGS, LES TORTUES DE MER, LES REQUINS ET LES HIPPOCAMPE.



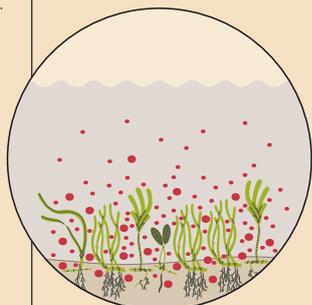
## TAMPON CONTRE L'ACIDIFICATION DES OcéANS

LES PRAIRIES SOUS-MARINES RÉGULENT LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'EAU DE MER EN LIBÉRANT DE L'OXYGÈNE ET EN ÉLIMINANT LE DIOXYDE DE CARBONE PENDANT LA JOURNÉE, CE QUI OXYGÈNE L'EAU ET ATTÉNUÉ L'ACIDIFICATION DES OcéANS.



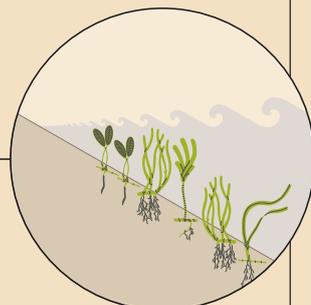
## FILTRATION DE L'EAU

LES HERBIERS MARINS SONT DES FILTRES NATURELS QUI RETIENNENT LES SÉDIMENTS ET L'EXCÈS DE NUTRIMENTS HORS DE L'EAU.



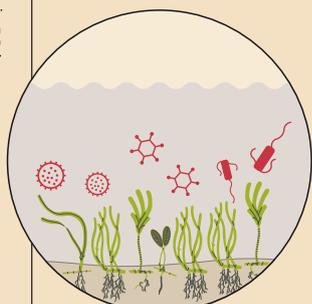
## PROTECTION CÔTIÈRE

LES HERBIERS MARINS EMPÊCHENT L'ÉROSION DES LITTORAUX ET PROTÈGENT DES INONDATIONS ET DES ONDES DE TEMPÊTE.



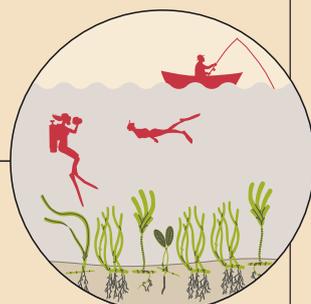
## CONTRÔLE DES MALADIES

LES HERBIERS MARINS CONTRÔLENT LES MALADIES DES HUMAINS, DES POISSONS ET DES CORAUX EN RÉDUISANT L'EXPOSITION AUX AGENTS PATHOGÈNES.



## TOURISME

LES PRAIRIES SOUS-MARINES ONT UNE IMPORTANCE CULTURELLE EN CE QU'ELLES FAVORISENT UN SENTIMENT D'IDENTITÉ POUR LES COMMUNAUTÉS LOCALES ET OFFRENT DES ACTIVITÉS DE LOISIR (PAR EXEMPLE, L'OBSERVATION DES OISEAUX, LA PLONGÉE, LA PÊCHE).



Source : GRID-Arendal (2020).

# SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DES HERBIERS MARINS : ÉVALUATION ET AMPLEUR DES AVANTAGES

Carmen B. de los Santos, Abbi Scott, Ariane Arias-Ortiz, Benjamin Jones, Hilary Kennedy, Inés Mazarrasa, Len McKenzie, Lina Mtwana Nordlund, Maricela de la Torre-Castro, Richard K.F. Unsworth, Rohani Ambo-Rappe

Les institutions dont dépendent les auteurs sont indiquées en page 4

Les écosystèmes d'herbiers marins fournissent une large gamme de services qui contribuent au bien-être humain dans le monde entier (Barbier et al., 2011). D'après les estimations, plus d'un milliard de personnes vivent à moins de 100 km de côtes bordées de prairies sous-marines, et peuvent bénéficier de leurs services dans différents domaines (approvisionnement, régulation et culture). Les phanérogames contribuent grandement à l'amélioration de la sécurité alimentaire, à l'atténuation des effets des changements climatiques, à l'enrichissement de la biodiversité, à la purification de l'eau, à la protection du littoral et au contrôle des maladies dans le monde (figure 2). Ils sont mieux protégés et fournissent davantage de services écosystémiques s'ils se trouvent à proximité d'autres écosystèmes côtiers (marais littoraux, récifs coralliens, mangroves et forêts de kelp, bancs d'huîtres et de moules, etc.) et y sont reliés. Il est par conséquent primordial de préserver et de réglementer ces services écosystémiques afin de favoriser le bien-être humain et le développement.

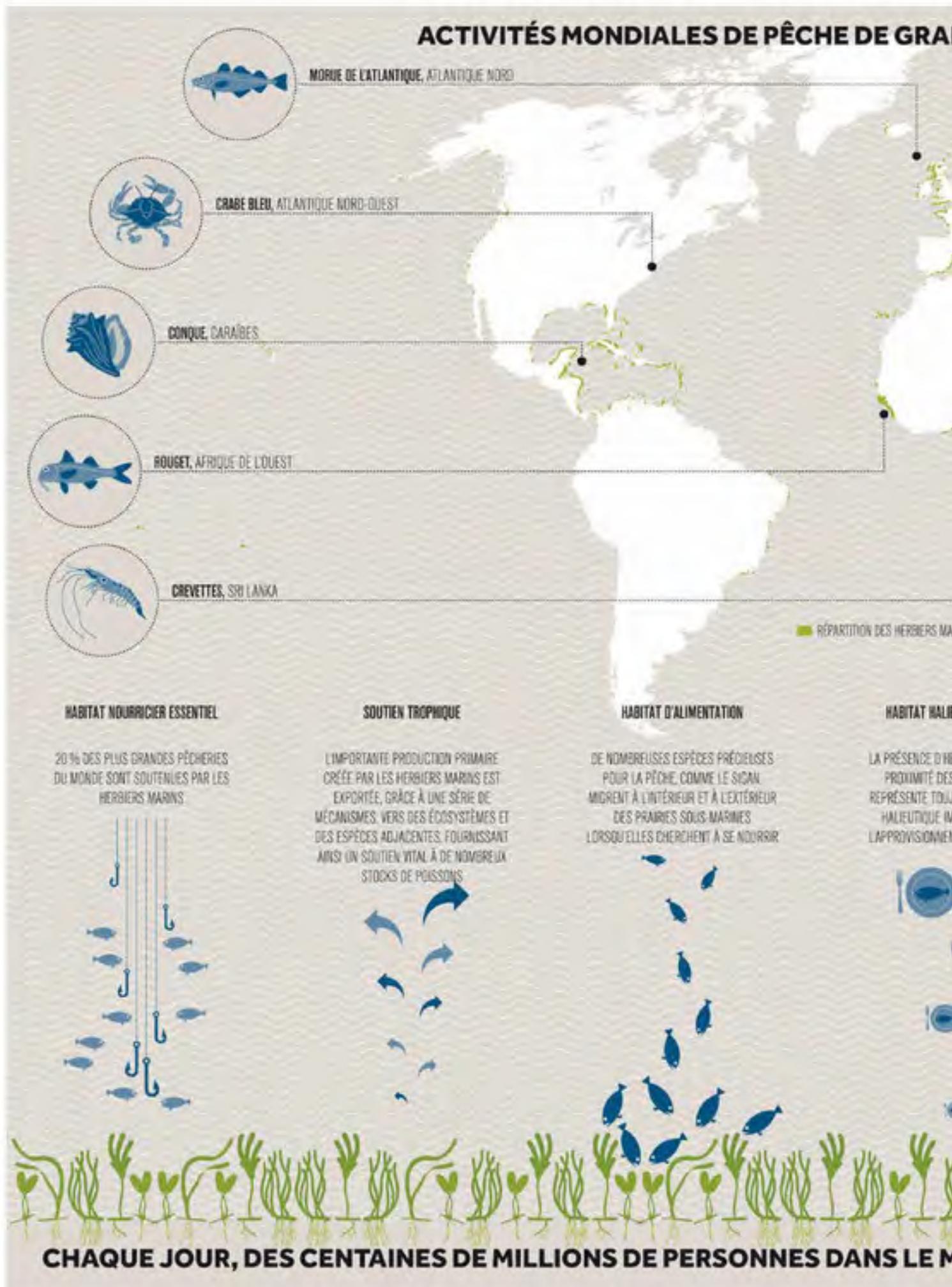
## Les herbiers marins, alliés de la production halieutique

Les prairies de phanérogames revêtent une importance fondamentale pour la production halieutique mondiale des vertébrés comme des invertébrés et ce, à différents égards (Nordlund et al., 2018 ; Unsworth et al., 2019), (figure 3). Elles constituent des zones de nurserie très prisées pour plus d'un cinquième des 25 plus grandes zones de pêche de la planète, accueillant notamment le colin d'Alaska, l'espèce la plus pêchée au monde (Unsworth et al., 2019). Les juvéniles des espèces à forte valeur, comme la morue de l'Atlantique, qui choisissent intentionnellement les prairies sous-marines comme habitat affichent de meilleurs indices de survie et taux de croissance (Lilley et Unsworth, 2014). Dans le monde entier, les zones de pêche dotées d'herbiers marins sont d'importantes sources d'activités commerciales, de moyens de subsistance et de loisirs, et ciblent toutes les ressources pouvant être consommées, vendues ou utilisées comme appâts. Lorsque les prairies de phanérogames sont situées à proximité de communautés humaines, elles constituent souvent des habitats de poissons essentiels pour l'approvisionnement alimentaire local (Nordlund et al., 2018). La capture par glanage des invertébrés dans les prairies de phanérogames

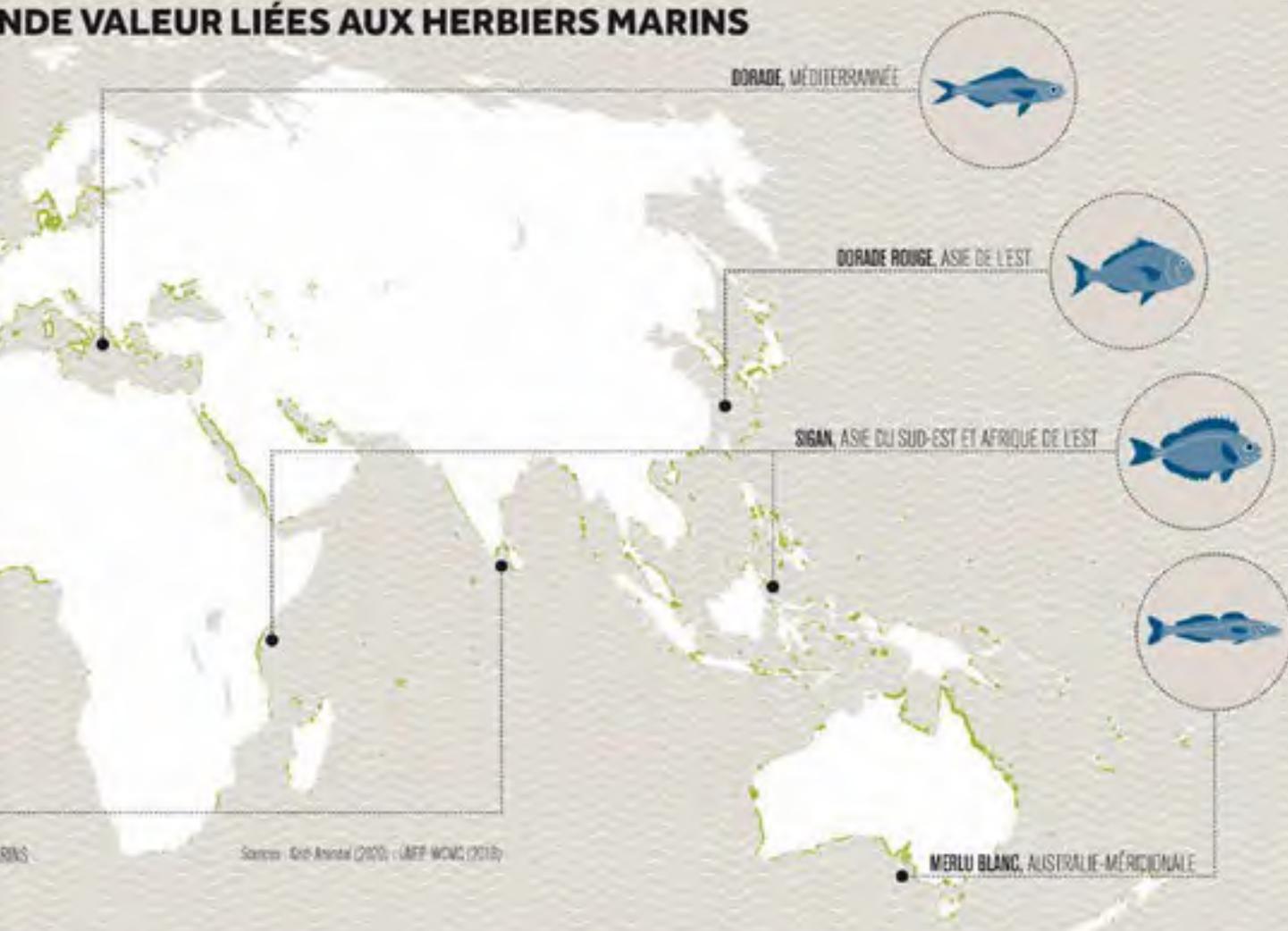
est considérée comme une activité de pêche accessible car se déroulant près du littoral, dans des eaux peu profondes, et consistant en des gestes simples (Unsworth et al., 2019). Dans de nombreux endroits de la région indo-pacifique, ces zones de pêche par glanage sont essentielles pour satisfaire les besoins quotidiens en protéines de la population et réduire la pauvreté (Unsworth et al., 2014). Très souvent, les bénéficiaires des zones de pêche dotées de prairies de phanérogames vivent dans des régions éloignées. En effet, ces prairies n'offrent pas seulement des avantages aux populations locales ou côtières, comme le montre l'exemple de la morue de l'Atlantique (voir l'étude de cas 1). Elles contribuent également indirectement à l'amélioration des zones de pêche en alimentant le réseau trophique dont bénéficie la pêche hauturière ou en eau plus profonde, ou en filtrant les effluents terrestres.

Dans un environnement mondial en constante évolution, où de nombreux habitats marins, comme les récifs coralliens, ne cessent de se dégrader, on ne peut que s'attendre à ce que les pêcheurs compensent la dégradation de ces ressources en exploitant de nouveaux habitats et zones. Étant potentiellement moins vulnérables aux changements climatiques, de nombreuses prairies de phanérogames risquent d'être davantage ciblées en raison de la composition de leurs populations de poissons, ce qui compromet leur durabilité (Unsworth et al., 2019). Si les herbiers marins sont reconnus pour les services qu'ils rendent aux zones de pêche, les conséquences de leur disparition sur ces mêmes zones sont peu documentées. Dans de nombreuses régions du monde (au Royaume-Uni par exemple), le fort déclin des herbiers marins, éclipsé par la surexploitation des ressources halieutiques, n'a pas été récemment documenté. Ce « décalage du point de référence » explique le peu d'attention accordée à l'importance des habitats pour la pêche, et l'absence de liens entre, d'une part, la conservation de la biodiversité et de l'habitat et, d'autre part, la gestion des zones de pêche (Sundblad et al., 2013). De nouvelles méthodes et bases de données mondiales sur les tendances en matière d'habitat et leur utilisation par les espèces pêchées sont nécessaires afin de définir clairement les raisons de leur déclin dans le secteur halieutique (Brown et al., 2018). L'exploitation durable des stocks de poissons exige de ne pas tenir uniquement compte des modèles de production mais également du rôle de l'habitat dans la production halieutique.

FIGURE 3



# NDE VALEUR LIÉES AUX HERBIERS MARINS



## EUTIQUE CIBLÉ

ERBIERS MARINS À  
POPULATIONS  
OURS UN HABITAT  
PORTANT POUR  
ENT ALIMENTAIRE

## RÉDUCTION DES AGENTS PATHOGÈNES DANS LES STOCKS DE POISSONS

RÉDUCTION DE 50 % DE L'ABONDANCE  
RELATIVE DES POTENTIELS PATHOGÈNES  
BACTÉRIENS POUVANT PROVOQUER DES  
MALADIES CHEZ L'HOMME ET LES  
ORGANISMES MARINS

## HABITAT DE FRAI

LES PRAIRIES SOUS-MARINES OFFRENT  
UN ENVIRONNEMENT AGRÉABLE OÙ LES  
POISSONS PEUVENT PONDRE. LE HARENG  
DU PACIFIQUE POND COMMUNÈMENT  
SES ŒUFS DANS LES FEUILLES DES  
HERBIERS MARINS

## SOUTIEN DE LA BIODIVERSITÉ

LES PRAIRIES SOUS-MARINES ABRITENT  
AU MOINS 200 ESPÈCES DE POISSONS  
DANS LE MONDE, DONT PLUSIEURS SONT  
IMPORTANTES POUR  
L'APPROVISIONNEMENT ALIMENTAIRE



# MONDE MANGENT DES FRUITS DE MER ASSOCIÉS AUX HERBIERS MARINS



### ÉTUDE DE CAS 1

## Les contributions des prairies sous-marines ne se limitent pas aux zones de pêche qu'elles peuplent, comme l'illustre l'exemple de la morue de l'Atlantique

Dans la région de l'Atlantique Nord, les prairies de zostères marines contribuent de manière déterminante au maintien des stocks de morue de l'Atlantique, l'une des espèces les plus commercialisées au monde (Lilley et Unsworth, 2014). Les morues juvéniles quittent rarement les zones côtières peu profondes, où se trouvent généralement les prairies de phanérogames. Les densités de juvéniles y sont particulièrement élevées, car elles sont propices à leur croissance et à leur survie, et augmentent leurs chances d'atteindre l'âge adulte. Des données expérimentales suggèrent que ces juvéniles choisissent délibérément cet habitat. Dans l'Atlantique Nord, les morues juvéniles affectionnent les eaux littorales peu profondes des côtes orientales (Allemagne, Angleterre, Écosse, Norvège, Pays de Galles et Suède), occidentales (Canada, États-Unis d'Amérique et Groenland), ainsi que les eaux plus profondes des Grands Bancs de Terre-Neuve. Ces dernières comprennent deux importantes zones de pêche (zones 21 et 27 de la FAO), où interviennent des flottes nationales et étrangères. La plupart des prises (81 %) sont le fait de la Fédération de Russie, de l'Islande, et de la Norvège et, dans une moindre mesure, de l'Allemagne, du Canada, du

Danemark, de l'Espagne, de la France, du Groenland, des Îles Féroé, de la Pologne, du Portugal et du Royaume-Uni. Après le transport et la préparation (par exemple, le salage et le séchage) de la morue de l'Atlantique, le poisson est distribué dans de nombreux pays d'Europe, notamment en Espagne, aux Pays-Bas, au Portugal et en Suède, ainsi qu'au Brésil, en Chine et au Nigéria, entre autres (figure 4). Cet exemple illustre la manière dont les bienfaits de la nature, plus spécifiquement des herbiers marins, peuvent s'étendre au-delà de la zone d'influence de l'écosystème. En fournissant des habitats aux morues de l'Atlantique juvéniles, les prairies sous-marines offrent des avantages nutritionnels (alimentation humaine) et économiques (création d'emplois), dont les bénéficiaires ne sont pas seulement les populations des pays situés à proximité de ces nurseries, mais également celles des pays importateurs, comme l'Espagne, les Pays-Bas et le Portugal. La gestion locale des zostères marines dans les eaux côtières peu profondes de la région de l'Atlantique Nord ne doit pas viser simplement à maintenir les zones de pêche de la morue de l'Atlantique, mais également à préserver l'incidence de cette espèce sur le flux des services écosystémiques et ses avantages à grande échelle.

FIGURE 4

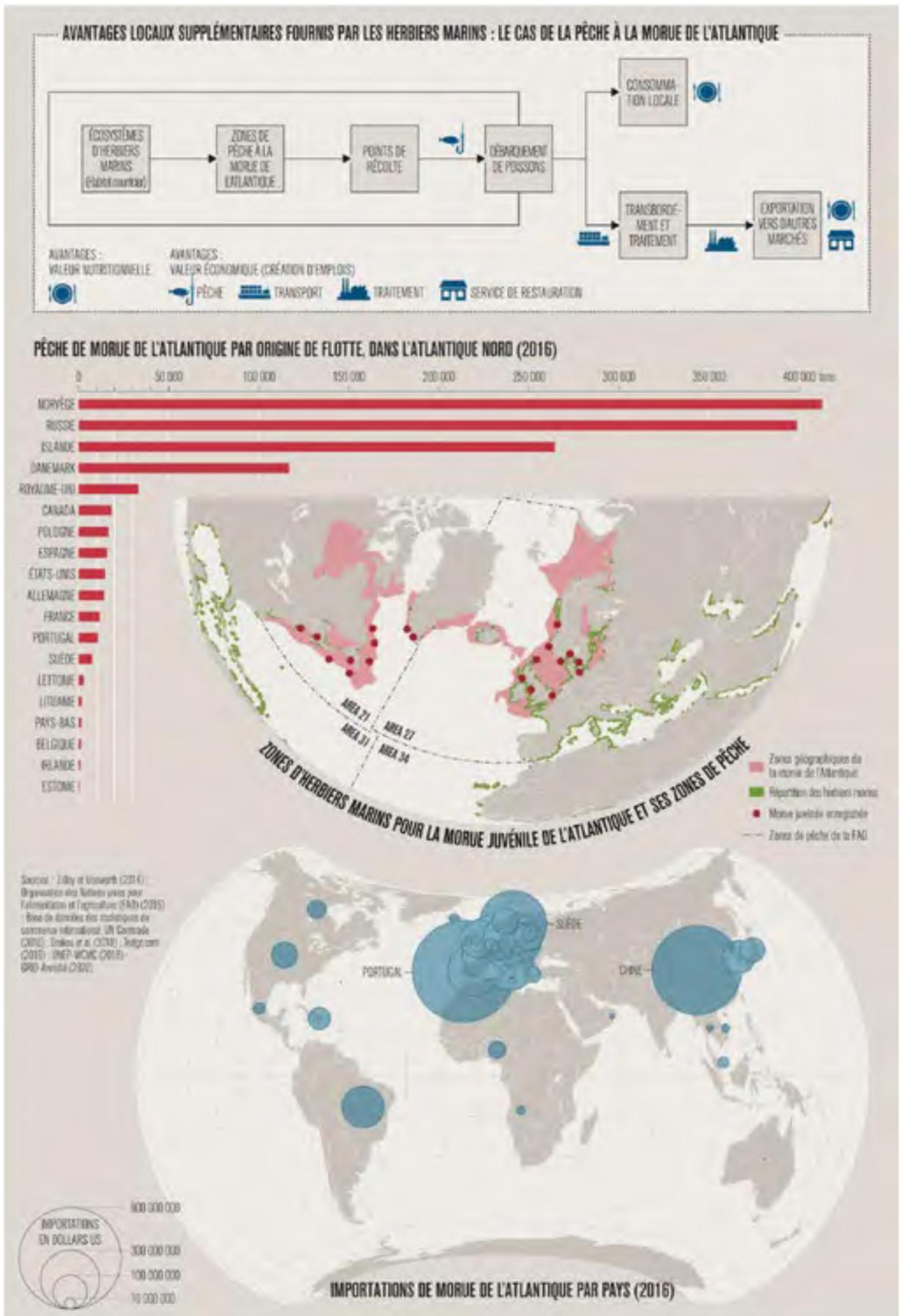


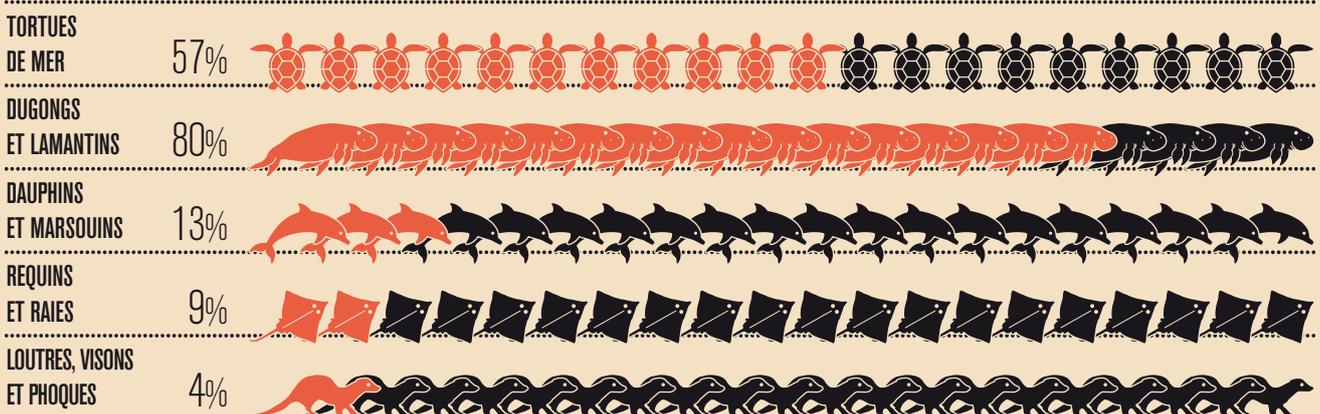
FIGURE 5

## LES HERBIERS MARINS SOUTIENNENT LA MÉGAFAUNE

UTILISATION DES HERBIERS MARINS PAR LA MÉGAFAUNE MARINE

	PRÉSENTS	SE NOURRISSENT	BROUTENT	SE REPRODUISENT	
TORTUES DE MER					ENVIRON 60 % DE L'INTÉGRALITÉ LES ESPÈCES DE TORTUES DE MER UTILISENT LES HERBIERS MARINS COMME HABITAT D'ALIMENTATION OU DE REPRODUCTION
DUGONGS ET LAMANTINS					LES DUGONGS UTILISENT LES PRAIRIES SOUS-MARINES COMME PRINCIPAL HABITAT D'ALIMENTATION DANS LA RÉGION INDO-PACIFIQUE
DAUPHINS ET MARSOUINS					AU MOINS SIX ESPÈCES DE DAUPHINS ET DE MARSOUINS, Y COMPRIS L'ESPÈCE MENACÉE DU MARSOUIN APTÈRE, ONT ÉTÉ REPERÉES DANS LES PRAIRIES SOUS-MARINES
REQUINS ET RAIES					ENVIRON 100 ESPÈCES DE REQUINS ET DE RAIES SONT PRÉSENTES DANS LES PRAIRIES SOUS-MARINES, QU'ELLES UTILISENT POUR SE NOURRIR OU SE REPRODUIRE
LOUTRES, VISIONS ET PHOQUES					LE LION DE MER AUSTRALIEN ET LA LOUTRE DE MER UTILISENT LES HERBIERS MARINS COMME HABITAT D'ALIMENTATION

PROPORTION DE L'ENSEMBLE DES GROUPES D'ESPÈCES QUI UTILISENT LES ZONES D'HERBIERS MARINS



Sources : GRID-Arendal (2020) ; Sievers et al. (2019).

## Les herbiers marins contribuent à la richesse et à l'unicité d'une biodiversité marine menacée

Dans le monde entier, les prairies de phanérogames fournissent des services écosystémiques essentiels (abri, alimentation, nurserie), d'où l'abondance et la grande diversité de la faune qu'elles accueillent. Nombre de ces animaux revêtent un intérêt particulier et comptent parmi des espèces menacées, en danger ou charismatiques, notamment la mégafaune marine comme les dugongs, les tortues marines et les requins (Sievers et al., 2019) (figure 5). L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) considère que plusieurs espèces marines ayant pour zone de nurserie les herbiers marins sont en danger, en danger critique d'extinction ou menacées (Lefcheck et al., 2019), à l'instar de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Dans la région indo-pacifique, les herbiers marins constituent la base de l'alimentation des dugongs et des tortues vertes adultes, qui en consomment respectivement jusqu'à 40 kg et 2 kg par jour. Cette chaîne alimentaire est importante en ce qu'elle facilite l'exportation de nutriments vers les écosystèmes environnants, tels que les récifs coralliens, et favorise le stockage de carbone dans les substrats des prairies (Scott et al., 2018). Les hippocampes passent la plupart de leur temps accrochés par la queue aux herbiers marins pendant qu'ils se nourrissent. Quelque 30 % des espèces d'hippocampes, dont les prairies de phanérogames sont le principal habitat, figurent sur la Liste rouge de l'UICN (Hughes et al., 2009). Les espèces

d'hippocampes sont considérées comme emblématiques de la conservation des herbiers marins et de la faune associée (Shokri et al., 2008).

## Les herbiers marins purifient l'eau en éliminant les nutriments, les particules et les substances polluantes

Les herbiers marins améliorent la qualité de l'eau en filtrant, en assimilant et en stockant les nutriments et les substances polluantes à l'aide de leurs feuilles ou leurs racines. À titre d'exemple, ils agissent en tant que biofiltres naturels de l'ammoniaque produit par l'ostréiculture intensive (Sandoval-Gil et al., 2016). Ils accumulent également les substances polluantes, comme les métaux-traces, qu'ils stockent dans les sédiments pendant des millénaires (comme la posidonie de Méditerranée *Posidonia oceanica* en mer Méditerranée) (Serrano et al., 2011). Néanmoins, un niveau très élevé de concentration de substances polluantes nuit non seulement aux herbiers marins, mais également à leurs réseaux trophiques en raison de l'amplification biologique. Du fait de leur capacité de bioaccumulation et de leur sensibilité aux changements environnementaux, ils constituent des indicateurs biologiques de la qualité de l'eau (Marbà et al., 2011). Il est possible d'envisager d'exploiter leur capacité à purifier l'eau dans le cadre de la gestion des substances polluantes émergentes, comme les microplastiques ou les substances chimiques se dégageant des plastiques, mais les recherches dans ce domaine en sont encore à un stade embryonnaire.



© Benjamin Jones, Project Seagrass

## Les herbiers marins contribuent à la prévention des maladies en éliminant les pathogènes présents dans l'eau

En éliminant la contamination microbiologique, les herbiers marins réduisent l'exposition des poissons, des invertébrés et des êtres humains aux pathogènes bactériens. Ils produisent des métabolites secondaires bioactifs dotés de propriétés antibactériennes et antifongiques. Des études ont montré que les extraits de trois espèces d'herbiers marins tropicaux – *Halophila stipulacea*, *Cymodocea serrulata* et *Halodule pinifolia* – sont efficaces contre le staphylocoque doré (*Staphylococcus aureus*), une bactérie à l'origine d'une série de maladies humaines (Kannan et al., 2010). En outre, autour des petites îles situées au centre de l'archipel indonésien, la présence de prairies de phanérogames a réduit de 50 % le nombre de bactéries marines pathogènes qui affectent les personnes, les poissons et les invertébrés (Lamb et al., 2017). Les prairies adjacentes aux récifs coralliens réduisent de moitié le nombre de maladies affectant ces derniers (Lamb et al., 2017). Elles contrôlent également les efflorescences d'algues nuisibles grâce à leur action algicide et à leur effet inhibiteur sur la croissance des microalgues à l'origine de ces efflorescences (Inaba et al., 2017).

## Les herbiers marins contribuent à l'atténuation des effets des changements climatiques en séquestrant et en stockant le carbone

Les prairies de phanérogames sont d'importants puits de carbone en raison de leur capacité à capter et à stocker de grandes quantités de carbone dans les sédiments. Ce carbone est connu sous l'appellation « carbone bleu » (Nellemann et al., 2009). D'après les estimations, à l'échelle mondiale, elles stockent jusqu'à 19,9 Pg de carbone organique (Fourqurean et al., 2012), et, de ce fait, sont susceptibles de contribuer de manière déterminante à la lutte contre les changements climatiques et de rendre service à l'ensemble de la planète (étude de cas 2). Le carbone est séquestré et stocké de deux manières : dans la biomasse des herbiers marins (carbone organique autochtone) et par la capture des particules organiques dérivées des écosystèmes adjacents (carbone organique allochtone). L'anoxie des sédiments favorise la préservation du carbone organique sédimentaire (tissu souterrain et carbone organique allochtone), entraînant parfois la formation de grands réservoirs de carbone qui, sauf perturbation, peuvent se conserver pendant des millénaires. Le carbone stocké dans la biomasse vivante aérienne (par exemple, les feuilles) étant davantage exposé au broutage, à l'exportation

### ÉTUDE DE CAS 2

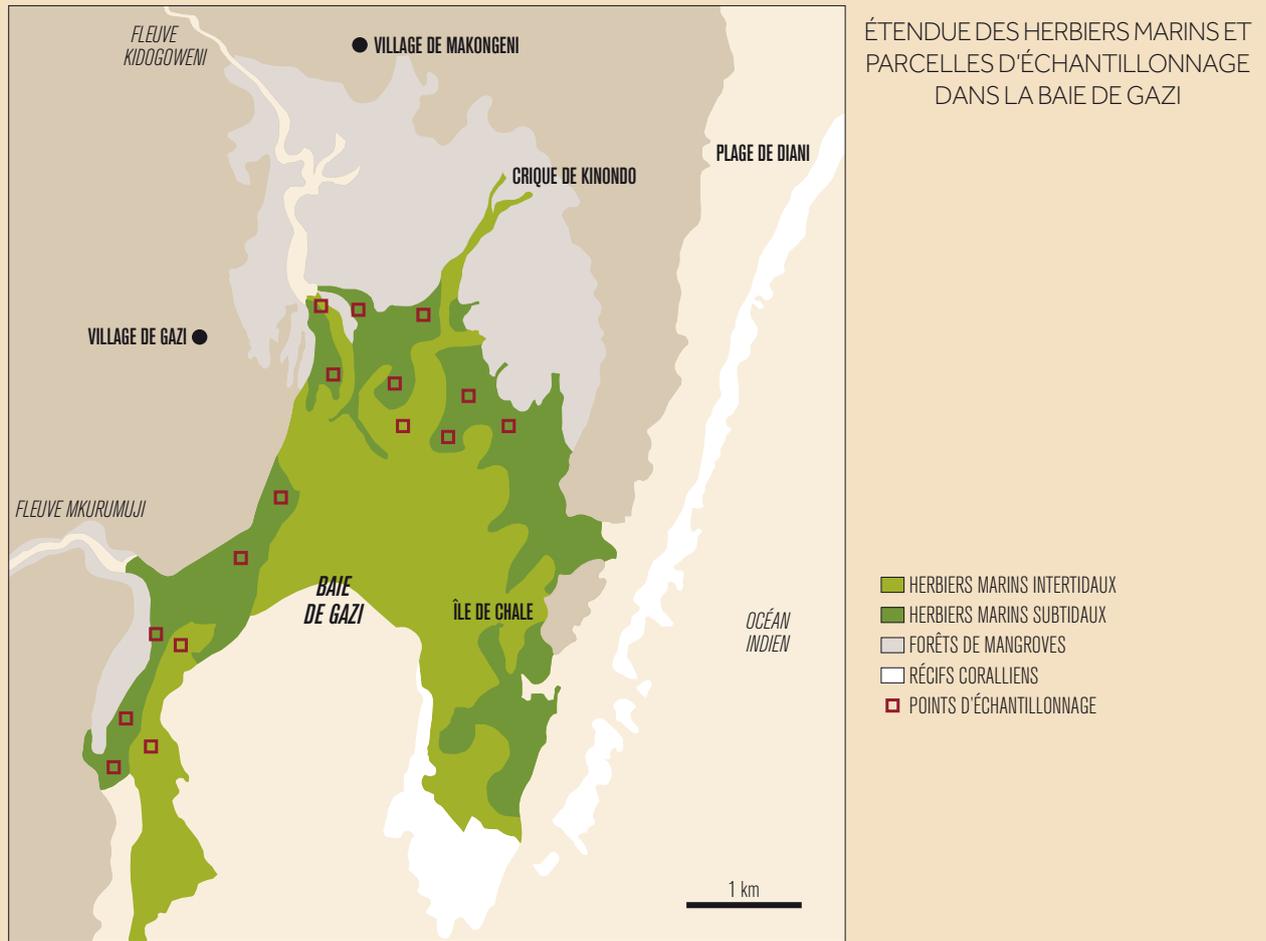
## Application du cadre des services écosystémiques s'étendant au-delà de l'échelle locale au service de régulation du climat rendu par les herbiers marins dans la baie de Gazi, au Kenya

Bien que le nombre de cartes rendant compte de la capacité des herbiers marins à séquestrer et à stocker le carbone ait considérablement augmenté ces dernières années, les bénéficiaires de ces services écosystémiques sont rarement spécifiés ou répertoriés. D'une manière générale, il est possible d'affirmer qu'il s'agit de la population mondiale, étant donné que la régulation et l'atténuation des effets des changements climatiques profitent au monde entier. La mesure dans laquelle les populations bénéficient de ces services varie cependant d'un pays à l'autre, en fonction de la vulnérabilité de la population aux changements climatiques, des régimes d'investissement et du produit intérieur brut. Cet exemple illustre les retombées positives à l'échelle mondiale de la régulation du climat assurée par les herbiers marins tropicaux dans la baie de Gazi, au Kenya. Cette baie se situe dans la réserve marine nationale de Diani-Chale, sur la côte sud du pays. Elle occupe une superficie de 17 km<sup>2</sup> et dispose d'une profondeur moyenne inférieure à cinq mètres. Situés au centre de la baie, les herbiers marins couvrent une superficie de 7 km<sup>2</sup>, les espèces dominantes étant *Thalassodendron ciliatum*, *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides* et *Syringodium isoetifolium*. Le montant total de leurs stocks de carbone, en incluant la biomasse vivante

(5,9 Mg C ha<sup>-1</sup>) et le premier mètre de sédiments (235,6 Mg C ha<sup>-1</sup>), est d'environ 620 000 Mg (Githaiga et al., 2017). Les estimations relatives aux bénéficiaires de ce service ne se limitent pas à l'échelle locale (Drakou et al., 2017 ; Ganguly et al., 2018), et tiennent compte du coût social du carbone (CSC) dans les différentes régions du globe. Le CSC indique la valeur des dommages évités suivant une unité de réduction de CO<sub>2</sub> ou ses émissions équivalentes. D'après le modèle dynamique intégré climat-économie DICE-2016R, la valeur monétaire de l'ensemble des stocks de carbone dans les prairies sous-marines de la baie de Gazi serait de quelque 19 millions de dollars à l'échelle mondiale. Comme le montre la figure 6, cette valeur est inégalement répartie dans le monde, les principaux bénéficiaires étant la Chine, les États-Unis d'Amérique et l'Europe. Certes, cette analyse est fortement influencée par les estimations régionales en matière de CSC, mais son but principal est de montrer que si les écosystèmes d'herbiers marins du Kenya sont des fournisseurs importants de ce service, la population kenyane n'en est pas la seule bénéficiaire. Cet exemple illustre parfaitement la manière dont les avantages de la régulation du climat fournis par les prairies sous-marines dans une région spécifique du monde s'étendent également aux populations de régions éloignées.

FIGURE 6

## LES SERVICES DE RÉGULATION DU CLIMAT RENDUS PAR LES HERBIERS MARINS DE LA BAIE DE GAZI, AU KENYA, AU PROFIT DE DIFFÉRENTES RÉGIONS DU GLOBE

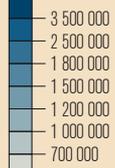


**STOCKAGE DU CARBONE × SUPERFICIE TOTALE D'HERBIERS MARINS × COÛT SOCIAL DU CARBONE = BÉNÉFICE DE LA RÉGULATION DU CLIMAT**

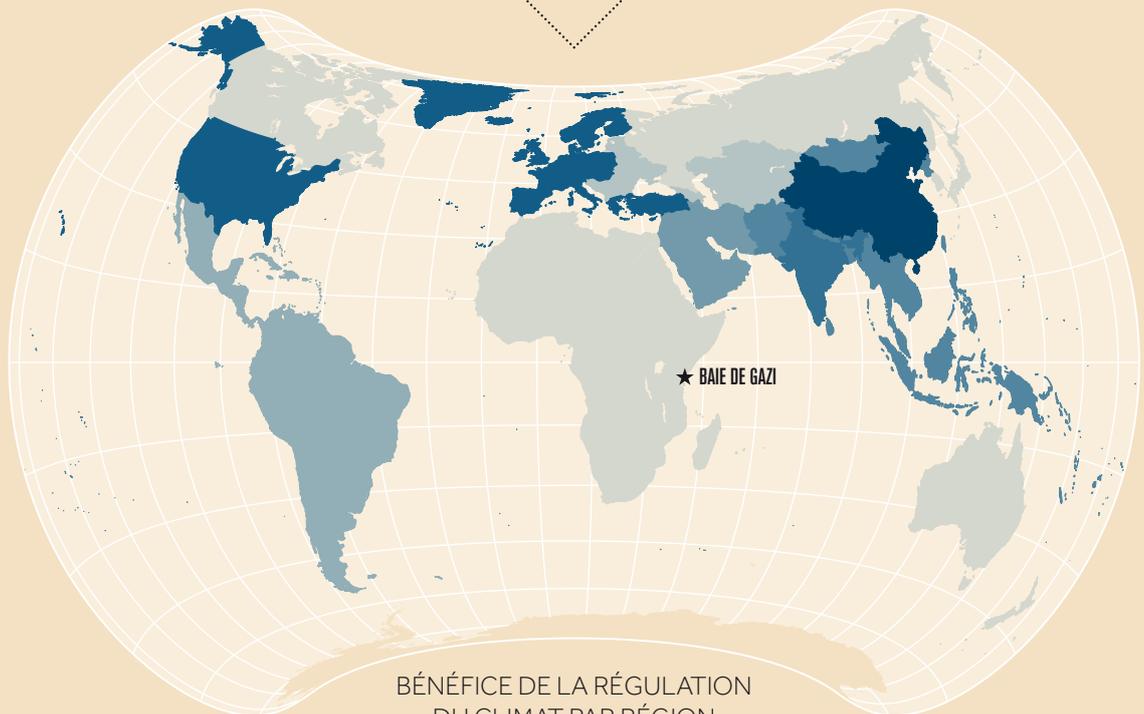
(BIOMASSE DES SOLS ET DES HERBIERS MARINS)

BÉNÉFICE IMPORTANT

USD



FAIBLE BÉNÉFICE



BÉNÉFICE DE LA RÉGULATION DU CLIMAT PAR RÉGION

Sources : Githaiga et al. (2017) ; GRID-Arendal (2020).



et à la décomposition, il est considéré comme un puits de carbone à court terme. L'essentiel du carbone séquestré par les prairies de phanérogames est stocké dans les sédiments. La capacité de séquestration de carbone varie en fonction des espèces d'herbiers, des caractéristiques des prairies et des conditions environnementales. Généralement, les principaux réservoirs de carbone organique se trouvent dans les prairies de phanérogames intactes, composées d'espèces persistantes, de grande taille, dotées de canopées complexes, et situées dans des environnements protégés, peu profonds et peu énergétiques, et dont les apports en nutriments sont soit faibles soit moyens. Les espèces d'herbiers marins de plus petite taille situées dans des baies abritées et des lagons aux fonds vaseux stockent également de grandes quantités de carbone dans les sols, notamment en accumulant des matières organiques produites dans d'autres écosystèmes. La disparition des prairies de phanérogames réduit la capacité de séquestration et de stockage du carbone et augmente les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la reminéralisation des dépôts de carbone organique du sol. Si le déclin actuel se poursuit, on estime que les herbiers pourraient libérer jusqu'à 299 Tg de carbone par an (Fourqurean et al., 2012) Il est possible que la perte d'écosystèmes d'herbiers marins, à l'instar de la dégradation des puits de carbone terrestres, contribue de manière substantielle aux émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> et à l'accélération des changements climatiques.

En dépit du rôle important des prairies de phanérogames en tant que puits de carbone et du risque d'émissions de CO<sub>2</sub> qu'entraîne leur dégradation, les inventaires des émissions de gaz à effet de serre n'en ont généralement pas tenu compte, pas plus que les stratégies subséquentes d'atténuation des effets des changements climatiques, qui tendent toutes à se centrer sur les écosystèmes terrestres (dont le Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts dans les pays en développement [REDD+]). Deux rapports novateurs, publiés par Nellemann et al. (2009), et Laffoley et Grimsditch (2009), ont souligné que la restauration et la conservation des prairies de phanérogames (ainsi que des mangroves et marais salés) peuvent contribuer à l'atténuation des effets des changements climatiques au sein d'un nouveau cadre rassemblant les stratégies relatives au carbone bleu. Depuis, d'importants progrès scientifiques et politiques ont été accomplis dans la mise en œuvre de ces stratégies. Les lignes directrices du GIEC invitent les pays à inclure la comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre et les puits de carbone dérivés de la conservation et la restauration des prairies de phanérogames dans leurs inventaires nationaux (GIEC, 2013). Par ailleurs, grâce à de nouvelles normes relatives au carbone, les projets de restauration peuvent bénéficier de crédits d'émission de carbone (comme



dans le cadre du « Verified Carbon Standard » un programme de normes vérifiées sur le carbone) (Needelman et al., 2018). Néanmoins, la mise en œuvre généralisée de ces stratégies continue de se heurter à des obstacles, comme l'absence de stocks et de taux de séquestration du carbone organique dans certaines régions, le manque de cartographie précise des herbiers marins, la variabilité spatiale des émissions de gaz à effet de serre due à la dégradation des herbiers, ou encore les incertitudes soulevées par des questions juridiques, telles que la propriété des terres, les limites des zones intertidales ou les responsabilités juridiques (Herr et al., 2017 ; Needelman et al., 2018 ; Lovelock et Duarte, 2019). Si à ce jour aucun projet n'a recours aux herbiers marins pour réduire les émissions, des marchés et des méthodes sont cependant en cours d'élaboration, et devraient faire l'objet de tests et deancements prochains (voir le chapitre sur les incitations financières).

### **Les herbiers marins atténuent les effets de l'acidification des océans**

La forte productivité des herbiers marins altère la chimie des carbonates de l'eau de mer environnante en raison des quantités importantes de carbone inorganique dissous absorbé pendant la photosynthèse. Par conséquent, les

herbiers tendent à élever le pH de l'eau de mer pendant la journée, compensant ainsi les effets délétères de l'augmentation du CO<sub>2</sub> anthropique. Les organismes marins vivant au sein ou à proximité des herbiers marins, notamment s'ils sont calcifiants comme les coraux (Manzello et al., 2012), les crustacés et les mollusques (Wahl et al., 2017), bénéficient de cette action, qui les protège contre l'acidification des océans. Si leur effet tampon contre l'acidification des océans dépend des conditions environnementales (Koweek et al., 2018), les prairies de phanérogames en bonne santé renforcent la résilience à court terme des espèces les plus vulnérables à ce problème (Wahl et al., 2017).

### **Les herbiers marins protègent les littoraux et contribuent à l'adaptation aux changements climatiques**

Les prairies de phanérogames contribuent de manière déterminante à la protection des littoraux contre l'érosion, les inondations et les ondes de tempête (Duarte et al., 2013 ; Ondiviela et al., 2014). Leurs feuilles réduisent la vitesse des courants et l'énergie de la houle, favorisant ainsi la sédimentation, tandis que les racines et les rhizomes préviennent l'érosion et stabilisent les sédiments. Quant aux résidus des herbiers marins qui s'accumulent sur les plages,

ils contribuent à la formation des dunes de sable. S'agissant plus particulièrement des espèces de grande taille, comme la posidonie, les vastes amas échoués sur les plages, appelés « banquettes » (qui peuvent atteindre jusqu'à trois mètres de hauteur), protègent le littoral contre l'érosion. Les prairies de phanérogames améliorent également l'accumulation verticale des sédiments et l'élévation des fonds marins (Potouroglou et al., 2017) en accumulant la biomasse souterraine et les particules attrapées dans la colonne d'eau. En contribuant à la protection des zones côtières, les prairies de phanérogames jouent un rôle particulièrement important dans le contexte des changements climatiques, qui devraient accroître la fréquence et la puissance des ondes de tempête et des vagues. Du fait de leur capacité à élever le niveau des fonds marins et à migrer vers les terres qui ne sont pas aménagées, il est possible qu'elles s'adaptent à l'élévation du niveau de la mer (Duarte et al., 2013). Les solutions techniques traditionnelles, qui consistent à construire des infrastructures dites « grises » (par exemple, les digues), peuvent cependant entraîner une perte directe d'habitats côtiers. Elles doivent par ailleurs être entretenues et améliorées afin de garantir leur efficacité face aux futurs effets des changements climatiques, ce qui ne les rend pas viables d'un point de vue économique (Morris et al., 2018). À l'inverse, les obstacles naturels fournis par les écosystèmes, dont les herbiers marins, se régénèrent et s'adaptent à l'élévation du niveau de la mer tout en offrant de multiples services

écosystémiques. Dans les régions tropicales, les herbiers marins et les algues calcifiantes productrices de sédiments ont prouvé leur efficacité pour remblayer les plages, et constituent des solutions durables et autonomes à même de remplacer les ouvrages de génie civil et de renforcer la résilience des zones côtières aux changements climatiques (James et al., 2019). De ce fait, les herbiers marins figurent parmi les principaux écosystèmes au service de l'ingénierie écologique et des solutions naturelles.

## Les prairies de phanérogames fournissent une gamme de services culturels

Les prairies de phanérogames fournissent des services culturels dans le monde entier : elles sont bénéfiques au tourisme et à la pratique de certains loisirs, et revêtent également une importance spirituelle et religieuse. Ce rôle culturel, rarement pris en compte dans les recensements des écosystèmes aux niveaux national, régional ou mondial, est difficilement mesurable. La langue, indicateur de la diversité culturelle, peut permettre de déterminer géographiquement l'importance culturelle des herbiers marins. À titre d'exemple, si des noms spécifiques leur sont attribués dans une langue donnée, on peut en déduire que leurs ressources sont valorisées (en d'autres termes, les populations les identifient et reconnaissent leurs caractéristiques propres). De nombreuses



## Utilisations directes des herbiers marins

### Les herbiers marins dans l'industrie de la fermentation

Depuis l'année 2000, la production de bioéthanol fait l'objet d'un nombre croissant de recherches, centrées notamment sur des espèces d'eau douce comme la jacinthe d'eau et sur des macroalgues marines, dont le kombu (*Saccharina japonica*) et les algues vertes (*Ulva* spp). En 2014, des scientifiques japonais ont étudié la possibilité d'utiliser les graines de zostères marines pour obtenir des produits fermentés à forte teneur en éthanol (Uchida et al., 2014). Ils se sont inspirés de la méthode de fabrication du saké ou alcool de riz, et ont obtenu une solution contenant 16,5 % d'éthanol, soit plus que la plupart des vins. Les zostères marines étant largement répandues dans l'hémisphère Nord, elles peuvent, à l'avenir, être utiles dans différents secteurs, dont les biocarburants, les produits alimentaires et les boissons. Elles peuvent également être cultivées et récoltées, facilitant le développement d'une nouvelle industrie de fermentation des produits marins.

### Les herbiers marins en tant que source de biochar

Les herbiers marins échoués sur les plages peuvent être utiles aux écosystèmes terrestres et marins, ainsi qu'aux êtres humains. Le biochar, un matériau solide à forte teneur en charbon, est produit en soumettant la

biomasse à des processus thermochimiques dans une atmosphère faible en oxygène. Depuis peu, il est reconnu pour sa capacité à accroître la séquestration de carbone atmosphérique et, ce faisant, à contribuer à l'atténuation des effets des changements climatiques. Les herbiers marins ont un rendement de conversion élevé, comparable à l'amendement en biochar des sols de grande qualité (Macreadie et al., 2017).

### Les herbiers marins au service de la médecine

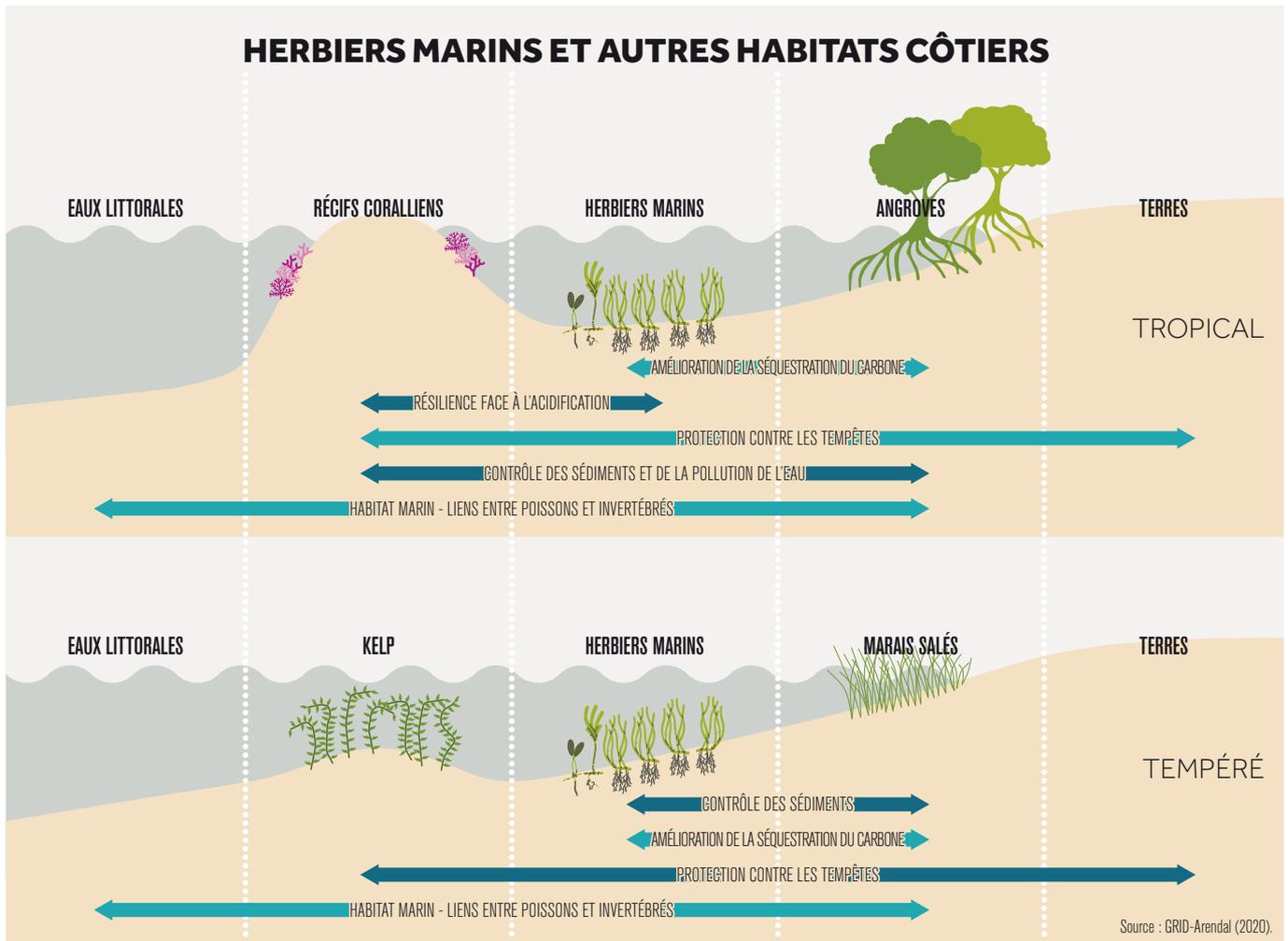
En dépit des avancées prometteuses de la biotechnologie pharmaceutique et de la mise au point de nouveaux médicaments, le cancer et les maladies infectieuses continuent d'être les principales causes de mortalité et de morbidité dans le monde. La « synthèse verte » est une nouvelle approche de la synthèse des nanoparticules, simple, économiquement viable et respectueuse de l'environnement, au cours de laquelle les composés biologiques (comme les extraits de plantes) agissent en tant qu'agents réducteurs et stabilisateurs de la production des nanoparticules souhaitées, dotées de caractéristiques prédéfinies. L'espèce d'herbiers marins *Cymodocea serrulata* constitue une bioressource précieuse pour l'élaboration rapide et écologique des nanoparticules bioactives utilisées dans le traitement du cancer du poumon (Palaniappan et al., 2015).

langues reconnaissent la valeur des herbiers marins en tant qu'entités biologiques, et leur attribuent des noms spécifiques, comme l'indonésien « Lamun » et le swahili « Nyasi bahari ». Dans d'autres cas, l'accent est mis sur les services importants qu'ils rendent ; les Moken de l'archipel des îles Mergui (Myanmar) utilisent l'appellation « Leik-Sar-Phat-Myet », soit « la nourriture des tortues marines » (Jones et al., 2018). Au Mexique, les Seri privilégient l'écologie de la reproduction et appellent le mois d'avril « xnoois ihaat iizax », à savoir « le mois où les herbiers marins fleurissent » (Felger et Moser, 1973).

La contribution des herbiers marins aux secteurs du tourisme et des loisirs est rarement reconnue, malgré les importants revenus indirects qu'ils génèrent. À titre d'exemple, les lagons peuplés d'herbiers marins de la région de Quintana Roo, au Mexique, sont un haut lieu de la pêche sportive où abondent les tarpons, bananes de mer, brochets de mer et pompanos. Les prairies sous-marines d'Akumal, au Mexique, et de Marsa Alam, en Égypte, sont également prisées des touristes qui, respectivement, y nagent avec les tortues vertes, ou s'adonnent à la plongée ou à la randonnée palmée avec les dugongs. Dans les régions tempérées, les bernaches cravants, ainsi que de nombreux autres oiseaux, attirent les ornithologues dans des zones peuplées de prairies de phanérogames, telles que le Solent au Royaume-Uni et Puget Sound aux États-Unis d'Amérique (Plummer et al., 2013).

Dans de nombreuses régions du monde, les prairies de phanérogames sont également indissociables de l'identité et du mode de vie traditionnel des pêcheurs et des communautés côtières, et constituent une source directe d'approvisionnement et de moyens de subsistance, voire d'épanouissement spirituel (de la Torre-Castro et Rönnbäck, 2004). Ainsi, à Zanzibar, en Tanzanie, les herbiers marins sont considérés comme un don de Dieu ayant pour fonction de décorer la mer (de la Torre-Castro et Rönnbäck, 2004), tandis que dans les Îles Salomon, les pêcheurs dans le lagon Roviana invoquent les esprits des herbiers marins en entrelaçant leurs feuilles tout en criant « Kuli pa Kovi ! » (herbiers marins de Kaovi!) afin qu'ils leur soient favorables (Lauer et Aswani, 2010). L'encens utilisé dans certaines cérémonies religieuses est parfois produit à partir de l'opercule des mollusques récoltés dans les prairies de phanérogames. Dans le monde entier, les dépôts sédimentaires des herbiers marins sont essentiels à la préservation du patrimoine historique et archéologique, comme les épaves phéniciennes et romaines, les sites préhistoriques et les cités anciennes submergées, et constituent des archives historiques du développement culturel de l'être humain au fil du temps (Krause-Jensen et al., 2019). Par conséquent, afin de mieux comprendre et intégrer les services culturels des herbiers marins dans le cadre en question, il convient de recourir à des outils socio-écologiques pour rendre manifestes les liens entre, d'une part, leurs structures et fonctions, et, d'autre part, leurs rôles et avantages culturels.

FIGURE 7



## Connectivité des paysages marins et fourniture de services écosystémiques

Loin d'être isolés, les écosystèmes d'herbiers marins sont interconnectés tout au long de l'interface terre-mer, dénommée le paysage marin. Dans les régions tropicales, les prairies de phanérogames sont généralement situées à proximité des mangroves et des récifs coralliens, et dans les régions tempérées, à côté des marais salés, des estuaires, des forêts de kelp ou des récifs peuplés de bivalves (figure 7). Les liens entre les écosystèmes du paysage marin suggèrent des transferts directs de carbone, de nutriments et de sédiments (Gillis et al., 2013 ; Huxham et al., 2018), et sont également importants pour l'ontogenèse et les déplacements de la faune marine à des fins d'alimentation (Campbell et al., Plusieurs exemples illustrent la manière dont ces écosystèmes interconnectés améliorent les services qu'ils fournissent (figure 7). Dans les régions tropicales, les herbiers marins et les récifs coralliens atténuent les effets des vagues et des tempêtes, et renforcent de ce fait la protection des côtes assurée par les mangroves (Huxham et al., 2018). Pour leur part, les mangroves empêchent les nutriments et les rejets sédimentaires excessifs provenant de sources terrestres d'atteindre les écosystèmes d'herbiers marins (Gillis et al., 2014). Cette connectivité du paysage marin peut s'avérer particulièrement importante dans le contexte des changements climatiques, étant donné que l'association des

habitats est susceptible de renforcer leur résilience et, ce faisant, de maintenir les services qu'ils fournissent. À titre d'exemple, la présence de prairies de phanérogames dans les eaux peu profondes des régions tropicales dépend de la mesure dans laquelle les récifs coralliens atténuent la houle ; cette interdépendance peut être affectée par l'élévation du niveau de la mer. Des scénarios modérés de ce phénomène prévoient qu'une croissance des coraux de 3 mm par an<sup>-1</sup> est susceptible d'atténuer les effets négatifs de la profondeur accrue de l'eau sur l'adéquation des habitats d'herbiers marins jusqu'en 2050 ; cela étant, ces prévisions ne conviennent pas à des scénarios plus pessimistes ou à des projections à plus long terme (Saunders et al., 2014). La manière dont la connectivité du paysage marin affecte les différents services fournis par les phanérogames comporte toujours des zones d'ombre. Cette connectivité doit donc faire l'objet de recherches afin d'identifier les services qui y sont les plus sensibles et de déterminer de quelle manière elle influe sur l'accès des personnes aux services écosystémiques et les avantages qui en découlent.

## Cartographie des services écosystémiques des herbiers marins

La cartographie des services fournis par les écosystèmes d'herbiers marins est essentielle pour suivre leur évolution temporelle et spatiale. Par ailleurs, la présentation spatiale

de ces services et de leurs bénéficiaires est efficace pour éclairer l'élaboration de politiques et la prise de décisions. La cartographie est également l'une des étapes des recensements des écosystèmes, qui ont pour but de suivre l'évolution des richesses des écosystèmes et de relier ces données avec les activités humaines, notamment économiques (PNUE-WCMC, 2017). En dépit des progrès dans l'évaluation des services écosystémiques des herbiers marins et la représentation de leur étendue, les lacunes de données sont encore importantes et empêchent de cartographier ces

services de manière exhaustive. À titre d'exemple, les cartes de répartition des phanérogames étant encore incomplètes dans de nombreuses régions, la cartographie des habitats est une priorité absolue de l'évaluation de leurs services écosystémiques. En outre, une meilleure compréhension des liens existant entre l'étendue, l'état et les services des prairies sous-marines, ainsi que des indicateurs des services et de leurs avantages clairement définis sont indispensables pour cartographier les services écosystémiques à différentes échelles temporelles et spatiales.

## Évaluation des services écosystémiques des herbiers marins : quantification et cartographie

L'évaluation des services écosystémiques repose sur l'utilisation d'indicateurs relatifs à leurs capacités, à leurs flux ou à leurs avantages (Liquete et al., 2013). À titre d'exemple, les études évaluant la contribution des herbiers marins à la production halieutique sont généralement fondées sur la biomasse des poissons appartenant aux espèces commercialisées associées aux prairies sous-marines, ainsi que sur des indicateurs relatifs aux flux, comme les prises annuelles, et d'autres indicateurs relatifs aux avantages, dont le prix des poissons sur les marchés. Il est ainsi possible d'estimer les revenus annuels des prises de poissons associés aux herbiers marins. S'agissant des prairies sous-marines de *Cymodocea nodosa* de l'île Grande Canarie (Tuya et al., 2014), les services fournis à la pêche sont estimés à 895 kg ha<sup>-1</sup> d'espèces de poissons commercialisées, d'après le recensement visuel des poissons. Ces services représentent des gains économiques à hauteur de 866 € ha<sup>-1</sup>, ou quelque 600 000 € par an<sup>-1</sup> pour l'ensemble des prairies sous-marines de l'île. Une autre approche repose sur l'indice de résidence dans les herbiers marins des espèces présentant une importance économique, et vise à estimer la proportion de la valeur des débarquements de poissons commercialisés et des dépenses totales liées à la pêche sportive qui peut être attribuée aux herbiers marins. Il apparaît ainsi que les prairies sous-marines de *Posidonia oceanica* présentes en mer Méditerranée contribuent directement chaque année à 4 % de la valeur totale des débarquements d'espèces commercialisées et à 6 % des dépenses totales liées à la pêche sportive, bien qu'elles ne couvrent que moins de 2 % de l'aire marine (Jackson et al., 2015). Les estimations des services rendus par les herbiers marins à la pêche n'intègrent généralement pas de données spatiales ou temporelles, qui sont pourtant essentielles pour mieux comprendre la dynamique de la fourniture et de la demande de services écosystémiques, et pour éclairer les décideurs et les gestionnaires. Les estimations des autres services écosystémiques rendus par les herbiers marins, comme la purification de l'eau ou la protection du littoral, s'appuient rarement sur les indicateurs relatifs aux avantages générés. Ainsi, la quantification des services de purification de l'eau fait généralement appel aux indicateurs

sur les flux, comme les taux d'élimination ou d'absorption de l'azote (Asmala et al., 2019), mais ignore souvent les indicateurs relatifs aux avantages ou aux valeurs associées. Quant à la cartographie des services écosystémiques, elle requiert des données dont le niveau de précision varie en fonction de l'échelle spatiale (allant de l'échelon local à l'échelon mondial) et de l'objectif ciblé (Burkhard et Maes, 2017). Il est indispensable d'obtenir des données sur l'étendue et l'état de l'écosystème, ainsi que des cartes plus élaborées afin de visualiser le flux des services associés en unités biophysiques, et les avantages et les valeurs en unités socioéconomiques. Les estimations locales requièrent généralement des cartes à haute résolution de la superficie concernée et une connaissance approfondie des processus écologiques inhérents à la fourniture des services, ce qui peut nécessiter des mesures, in situ et onéreuses, des indicateurs connexes. Par ailleurs, les estimations mondiales peuvent s'appuyer sur des cartes à faible résolution et, par conséquent, sur l'extrapolation des quantifications locales ou régionales des services. Le manque de données requises correspondant à l'échelle souhaitée est identifié comme l'une des entraves à la cartographie des services écosystémiques des herbiers marins. Certains pays et régions possèdent davantage de données, ce qui facilite l'évaluation rigoureuse des services écosystémiques des phanérogames. À cet égard, l'évaluation récente des ressources de l'Australie en matière de carbone bleu (Serrano et al., 2019), fournit un exemple parlant ; plus de 40 chercheurs ont compilé les données scientifiques sur les taux de séquestration et de stockage de carbone dans le sol et la biomasse recueillies dans 637 prairies sous-marines. Cette initiative montre que le partage des données peut ouvrir la voie à l'établissement de cartes plus complètes sur les services rendus par les herbiers marins à l'échelle nationale ou régionale. Dans les zones où les données sont insuffisantes, la cartographie des habitats d'herbiers marins doit faire figure de priorité, et leurs services peuvent être recensés et estimés de manière approximative à l'aide d'une série d'indicateurs écologiquement pertinents tirés de données disponibles relatives à des services évalués dans des zones similaires.

## Dégradation et perte de services écosystémiques

Les activités anthropiques sont à l'origine de la dégradation des services écosystémiques qui contribuent au bien-être humain ; cela est devenu particulièrement évident au cours des 50 dernières années avec l'accélération et l'intensification inédites des changements. Les écosystèmes d'herbiers marins subissent les effets de l'aménagement du littoral et de la pollution de l'eau, ainsi que d'autres activités entraînant le déclin ou la dégradation des côtes. Cela risque de nuire à leurs fonctions écologiques, ainsi qu'aux services et aux avantages qu'ils procurent, et d'entraîner à terme des répercussions économiques et sociales négatives. La perte de services écosystémiques des herbiers marins a été signalée dans de nombreuses régions du monde. Elle s'accompagne du déclin de la faune associée à ces habitats, comme les dugongs, les hippocampes et les espèces commercialisées (Scott et al., 2018 ; Sievers et al., 2019). Par ailleurs, la diminution de la capacité des herbiers marins à séquestrer et à stocker le carbone est une source de préoccupation majeure, puisque leur disparition entraîne à terme une augmentation importante des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Arias-Ortiz et al., 2018). À titre d'exemple, dans la baie Shark, en Australie, l'une des plus grandes prairies de phanérogames au monde, a été fragilisée à la suite d'une vague de chaleur marine en 2010/2011, entraînant, d'après les estimations, le rejet de 2 à 9 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et le déclin des espèces associées à cet habitat, dont de nombreuses espèces commercialisées ou dont la conservation fait l'objet de préoccupations (voir l'étude de cas 4 et le chapitre sur les menaces et la résilience). Dans la baie de Chesapeake, aux États-Unis d'Amérique, la diminution de 29 % de la surface des prairies de zostères entre 1991 et 2006 a entraîné de graves conséquences écologiques et économiques. D'après les estimations, la libération de 693 000 à 1 859 000 tonnes de carbone a engendré des pertes économiques estimées entre 96,5 et 259 millions de dollars. À cela s'ajoute

la disparition de 523 à 1 403 millions de crabes bleus juvéniles et la perte de 47 800 à 80 200 tonnes de perches argentées, soit une valeur économique égale à, respectivement, 1 à 2 ans et 10 à 20 ans d'exploitation de leur zone de pêche (Lefcheck et al., 2017).

## Restauration des services écosystémiques des herbiers marins

La restauration des écosystèmes d'herbiers marins dégradés, que ce soit par plantation ou par recolonisation naturelle, peut s'avérer efficace pour inverser la perte de biodiversité et rétablir les services écosystémiques. Ainsi, la faune associée aux phanérogames peut se développer grâce à la recolonisation naturelle des prairies, comme le prouve l'exemple d'une prairie de *Zostera muelleri* dans un estuaire urbain de Nouvelle-Zélande (Lundquist et al., 2018). On a observé, sur une période de 15 ans, l'augmentation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune benthique, qui s'est traduite par l'amélioration des cycles des éléments nutritifs et du carbone. D'autres études à long terme ont également montré que la restauration des herbiers marins contribue de manière efficace au rétablissement de leurs services, comme à Oyster Harbour, en Australie Occidentale (étude de cas 3), et dans les baies de Virginie, aux États-Unis d'Amérique, où la replantation des zostères marines ont nettement amélioré l'élimination de l'azote et le stockage de carbone (Reynolds et al., 2016). Les prairies restaurées ont éliminé 4 100 tonnes d'azote par absorption végétale ou stockage sédimentaire, atteignant des niveaux de stockage et d'accumulation de carbone similaires à ceux des prairies naturelles, et séquestrant quelque 15 000 tonnes de carbone. La valeur économique du rétablissement de ces services est estimée à 8 millions de dollars par an. Ces avantages importants, tant économiques qu'environnementaux, soulignent l'importance et la nécessité d'investir dans les ressources facilitant la restauration des herbiers marins. Plus précieuses encore, les méthodes de restauration naturelle fondées sur le contrôle de la qualité de l'eau et de la pollution par les éléments nutritifs ont permis, par exemple, de restaurer de larges étendues d'herbiers marins dégradés dans la baie de Chesapeake (Lefcheck et al., 2017) et la baie de Tampa, aux États-Unis d'Amérique (Greening et al., 2011).

## Besoins en matière de recherche sur les services écosystémiques des herbiers marins

Trois grands axes de recherches ont été définis en vue d'approfondir les connaissances actuelles sur les services écosystémiques des herbiers marins : 1) étudier la diversité des services écosystémiques en tenant compte de la répartition des différentes espèces d'herbiers marins, des caractéristiques des prairies et des conditions environnementales ; 2) étudier les services écosystémiques des herbiers marins au sein du paysage marin en comparant les services fournis dans les différents habitats côtiers et marins, et déterminer les effets de la connectivité des habitats, de leur juxtaposition, de la configuration des parcelles d'habitats



## Perda e recuperação de sumidouros de carbono de ervas marinhas na sequência da degradação e restauração das pradarias – Oyster Harbour, Austrália Ocidental

Disparition et rétablissement des puits de carbone des herbiers marins à la suite de la dégradation et de la restauration des prairies – Oyster Harbour, Australie-Occidentale. La documentation d'une initiative menée à Oyster Harbour, un estuaire situé sur la côte sud de l'Australie-Occidentale, permet de suivre la perte puis la restauration réussie des herbiers marins. Jusqu'au début des années 1960, l'estuaire était colonisé par d'abondantes prairies sous-marines. Vingt ans plus tard, l'eutrophisation et l'envasement, dus au défrichement intensif à des fins agricoles et à l'utilisation d'engrais, avaient entraîné la disparition d'environ 80 % de ces prairies. Un projet de restauration, couronné de succès, a été mené de novembre 1994 à janvier 2006, lequel a compté cinq campagnes de plantation de l'espèce *Posidonia australis*, soit le projet de restauration des herbiers marins le plus long jamais documenté. Vint-cinq ans après le premier essai pilote de restauration (1994), le succès de la régénération

est manifeste (voir photo) grâce aux plantations initiales, aux efforts continus de gestion du bassin de drainage et de contrôle de la qualité de l'eau, ainsi qu'aux faibles taux de précipitations. Le suivi à long terme de la restauration des herbiers marins a permis d'étudier l'évolution de la capacité de séquestration et de stockage du carbone organique ( $C_{org}$ ). La perte de canopée a réduit la capacité des herbiers marins à séquestrer le carbone et a favorisé l'érosion des anciens dépôts de carbone accumulés avant la régression de l'habitat. Les prairies restaurées ont des stocks de carbone organique quatre fois plus importants que les sédiments découverts, et il leur faut 18 ans à compter de leur plantation pour atteindre le même taux d'enfouissement du carbone organique que les prairies intactes. Cet exemple montre que la restauration des herbiers marins peut contribuer à accroître la séquestration de  $CO_2$ , à réduire les émissions de  $CO_2$  et à rétablir d'autres services écosystémiques.

### Oyster Harbour : projet de réseau de restauration des herbiers marins

Images aériennes de parcelles de transplantation d'herbiers de *Posidonia* à Oyster Harbour à Albany, en Australie.



**Sources :** Photographies aériennes montrant les détails des parcelles de transplantation d'herbiers de *posidonie* à Oyster Harbour à Albany, après 3,6 ans de croissance (octobre 2001) et montrant l'évolution sur une décennie (janvier 2010) de plantes séparées ayant poussé ensemble pour former une prairie dense et continue. (Photos : Geo Bastyan).

et de la dynamique du paysage marin ; et 3) améliorer la transmission d'informations sur les services écosystémiques des herbiers marins auprès du public en identifiant les messages les plus efficaces, en déterminant comment atteindre des pans plus larges de la société et en identifiant les mécanismes de communication adéquats (Nordlund et al., 2017). Les services écosystémiques des herbiers marins sont particulièrement importants pour les populations locales des régions économiques pauvres, qui sont également souvent les zones les moins cartographiées et étudiées. Les recherches sur les caractéristiques des écosystèmes d'herbiers marins et des services qu'ils rendent doivent être élargies aux zones

géographiques actuellement sous-représentées, comme les côtes d'Amérique du Sud, d'Asie du Sud-Est et d'Afrique de l'Ouest. Il faut accorder davantage d'attention aux services culturels afin qu'ils soient mieux compris, au même titre que les services d'approvisionnement et de régulation. Enfin, les services écosystémiques des herbiers marins doivent être étudiés en tant qu'éléments des systèmes socio-écologiques, en soulignant la manière dont ils apportent des avantages aux populations terrestres, et en ayant recours non seulement aux unités biophysiques, mais également aux indicateurs sociaux et économiques intéressant les décideurs et les gestionnaires.

# MENACES PESANT SUR LES HERBIERS MARINS ET LA RÉSILIENCE DES ÉCOSYSTÈMES

Rod Connolly, Catherine Collier, Jennifer O'Leary, Len McKenzie,  
Rohani Ambo-Rappe, Salomão Bandeira, Wawan Kiswara

As instituições em que os autores estão afiliados são indicadas na página 4

On observe un recul des prairies de phanérogames à l'échelle mondiale depuis les années 1930 (Orth et al., 2006). Selon les dernières estimations, 7 % de cet habitat marin essentiel disparaît chaque année, soit l'équivalent d'un terrain de football toutes les demi-heures (Waycott et al., 2009). Les prairies sous-marines subissent des pressions d'origine naturelle et anthropique, attribuées à divers éléments physiques (hausse des températures, modification la salinité, hypoxie, phénomènes climatiques extrêmes, sédimentation et modification de la dynamique des vagues et des courants, etc.) et biologiques (espèces invasives, prolifération d'algues, eutrophisation, modification des régimes de pâturage, concurrence entre les espèces, maladies, etc.) (Short et Wyllie-Echeverria, 1996). Ces effets sont amplifiés dans l'ensemble de l'écosystème car les herbiers marins structurent leur environnement et sont le socle de communautés entières. Compte tenu des nombreux services écosystémiques qu'elles fournissent, la disparition des prairies sous-marines à l'échelle planétaire a de graves conséquences pour les êtres humains.

Les herbiers marins sont composés de plantes à fleurs qui produisent des graines. Ces plantes se développent sur le substrat en étendant leurs rhizomes sous-terrains et produisent de nouvelles feuilles qui forment des faisceaux appelés pousses. Plusieurs paramètres biophysiques déterminent la capacité de croissance et de reproduction des phanérogames : température, salinité, hydrodynamique, profondeur, substrat et luminosité (Unsworth et al., 2011). Les niveaux requis pour chaque besoin varient selon les 72 espèces de phanérogames présentes dans le monde (Erftemeijer et Robin Lewis III, 2006). Ces besoins peuvent être regroupés en trois catégories :

1. adéquation de l'habitat : profondeur, substrat sédimentaire, température et courants
2. qualité de l'eau : lumière suffisante pour la photosynthèse, salinité, absence d'agents toxiques
3. processus de pâturage et de recrutement : assemblages appropriés de populations d'animaux brouteurs, courants favorisant le transport des graines et des fragments végétaux.

Il est essentiel d'évaluer les pressions qui s'exercent sur les herbiers marins et la résilience de ces derniers afin de définir des stratégies de gestion. Les herbiers marins sont particulièrement menacés par les effluents urbains et

industriels, le développement des infrastructures urbaines et portuaires, ainsi que les effluents agricoles et le dragage (Grech et al., 2012). L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes tropicales est la menace climatique la plus importante, car elle accroît l'incertitude quant aux effets de la hausse des températures et du niveau de la mer. Par exemple, l'agitation des eaux marines provoquée par les cyclones peut directement arracher les herbiers marins, et les précipitations extrêmes associées aux épisodes cycloniques peuvent augmenter les niveaux de pollution en troublant la limpidité de l'eau et en altérant la luminosité. La pêche, le mouillage, le piétinement et le dragage présentent également des risques importants (Erftemeijer et Robin Lewis III, 2006).

Bien qu'elles ne soient pas toujours prises en compte, il est essentiel de comprendre et de reconnaître les différentes ampleurs et intensités de ces menaces dans l'espace et dans le temps. Les effets de plusieurs activités simultanées peuvent interagir, augmentant ou réduisant ainsi les répercussions de chacune d'elles (Grech et al., 2011). À ce stade, les aspects quantitatifs de ces interactions sont mal compris et ne sont pas pris en compte dans les plans de gestion (Griffiths et al., 2019). La sensibilité des herbiers marins à certaines menaces peut varier en fonction de la saison, ce qui signifie que le calendrier des activités à risque peut jouer un rôle déterminant. Par exemple, de nombreuses espèces sont davantage exposées pendant leurs phases de croissance et de reproduction. Au cours de ces phases, les menaces qui pèsent sur la production de semences durant une seule année peuvent avoir des conséquences catastrophiques sur les générations suivantes (van Katwijk et al., 2010). Les phanérogames vivaces à croissance lente sont capables de résister plus longtemps à de telles menaces. Toutefois, du fait de leur stratégie de croissance moins rapide, il faut parfois plusieurs décennies pour réparer les pertes causées, même à une échelle relativement réduite. C'est notamment le cas des études sismiques, qui peuvent provoquer l'apparition d'intermattes sableuse dans des prairies ininterrompues de *Posidonia australis* (Meehan et West, 2017). Outre les effets saisonniers, la fréquence des menaces peut également être problématique, en particulier si la répétition des processus à l'origine de ces menaces est plus rapide que la capacité de régénération des herbiers (O'Brien et al., 2017 ; Wu et al., 2017). Qu'il s'agisse de menaces d'origine terrestre, marine ou climatique (figure 8), toutes peuvent avoir des effets directs ou indirects sur les herbiers marins.

## Menaces terrestres

Les herbiers marins étant essentiellement présents dans les eaux côtières peu profondes (à quelques exceptions près) (Coles et al., 2009), ils se situent à proximité de zones parmi les plus massivement utilisées par l'homme. On recense plusieurs grandes menaces d'origine terrestre. Par exemple, les effluents agricoles, urbains et industriels transportent des polluants (y compris des quantités excessives de sédiments et de nutriments), des flux d'eau à la salinité réduite et des agents toxiques (herbicides, etc.) vers les habitats d'herbiers marins (Grech et al., 2012). Les effluents terrestres peuvent également affecter de manière indirecte les prairies sous-marines, en modifiant les différents besoins essentiels en matière d'habitat par un processus d'« eutrophisation », c'est-à-dire la prolifération de plantes ou d'algues provoquée par des apports excessifs de nutriments (principalement l'azote et le phosphore) dans l'eau (Burkholder et al., 2007). Le risque de pollution est particulièrement élevé dans les régions présentant des niveaux importants d'activité agricole ou de développement urbain (Bainbridge et al., 2018). Les cours d'eau pouvant charrier les polluants sur des centaines voire des milliers de kilomètres, et les sédiments étant capables de retenir les polluants pendant de longues périodes, la pollution peut avoir des effets étendus et durables (Thangaradjou et al., 2014). Ces menaces peuvent se répéter en raison de la remise en suspension des sédiments sous l'effet de la houle provoquée par le vent ou les navires, qui peut réduire la pénétration de la lumière et libérer les polluants ou les nutriments qui étaient piégés (Bainbridge et al., 2018). La reminéralisation saisonnière de la matière organique peut également libérer les nutriments contenus dans les sédiments et prolonger les effets des charges en matières nutritives (van Katwijk et al., 2010). Sur le plan quantitatif, déterminer l'influence relative des menaces terrestres nécessite des données ou des modélisations locales qui permettent de prendre en compte les spécificités des charges, de l'hydrodynamique et des processus biologiques au niveau local (Serrano et al., 2016). Par exemple, dans un estuaire californien, la modification de l'hydrodynamique sous l'effet de la sédimentation serait à l'origine de la disparition massive des zostères (en recul de 90 %) provoquée par le réchauffement de l'eau, la hausse de la salinité, la dégradation de l'oxygénation et l'augmentation de la turbidité (Walter et al., 2018).

L'aménagement du littoral représente une autre menace terrestre susceptible de réduire directement ou indirectement la surface d'habitat nécessaire aux herbiers marins (Yaakub et al., 2014). La mise en valeur des terres incultes permet la construction de structures urbaines sur ce qui constituait autrefois l'habitat des herbiers, provoquant la disparition permanente et irréversible des prairies sous-marines ou leur assombrissement (Yaakub et al., 2014). L'aménagement de l'espace littoral peut également assombrir l'habitat des herbiers marins ou créer un phénomène de « compression côtière » qui, combiné à l'élévation du niveau de la mer, réduit l'habitat des prairies de phanérogames et les autres zones humides côtières (marais salés et mangroves). L'aménagement du littoral peut réduire ou transformer (par exemple, en parois

rocheuses) l'espace nécessaire à l'implantation de ces types d'habitat, entraînant une disparition généralisée de ces derniers à mesure qu'augmente le niveau de la mer (Holon et al., 2015). La hausse du niveau de la mer est abordée plus en détail dans la section relative aux menaces climatiques.

## Menaces d'origine marine

Il existe également de nombreuses menaces liées aux activités pratiquées en mer et dans les estuaires où poussent les phanérogames. Les zones côtières peu profondes généralement occupées par les herbiers marins peuvent attirer un grand nombre d'activités industrielles et récréatives, ce qui pose des risques divers allant des dommages physiques directs à des dégradations à long terme. Plusieurs éléments peuvent être à l'origine des dommages physiques directs causés aux herbiers marins, tels que le dragage, la navigation de plaisance (hélices et amarrages), les accidents maritimes, l'exploitation des ressources halieutiques (notamment la pêche, en particulier au chalut), l'aquaculture et les espèces envahissantes (en particulier les animaux brouteurs) (Grech et al., 2012). Par exemple, le long de la côte kényane, les herbiers marins ont été dégradés par le recours massif aux sennes de rivage dans la pêche artisanale. Dans l'un des cas étudiés, la densité des herbiers marins situés dans les zones de pêche était inférieure de moitié à celle d'une aire protégée située dans un parc marin à proximité. Une fois l'utilisation de ces filets abandonnée, les herbiers avaient retrouvé une densité comparable à celle du parc marin en 18 mois (voir [www.smartseas.org](http://www.smartseas.org)).

Outre les dommages physiques directs, le rejet des boues de dragage peut également asphyxier les prairies sous-marines, car la remise en suspension de particules sédimentaires fines peut toucher les phanérogames à plusieurs dizaines de kilomètres du site de dragage (Lavery et al., 2009). La remise en suspension des sédiments peut provoquer un stress persistant ou récurrent d'une manière très semblable à celle des menaces terrestres par le rejet de sédiments et de polluants (Erftemeijer et al., 2006). Toutefois, dans certaines zones, la mise en place de protocoles de gestion (mesures d'atténuation et d'application) et de nouvelles techniques de dragage a permis de minimiser les effets du dragage sur les habitats d'herbiers (Erftemeijer et al., 2006). Le déplacement des structures aquacoles peut créer des zones d'ombre directement au-dessus des prairies sous-marines. Il peut également provoquer un assombrissement et un stress indirects en augmentant la turbidité et les quantités de nutriments et de polluants présents dans l'eau, ou en introduisant des espèces exotiques et des agents pathogènes. La navigation de plaisance, la pêche et le chalutage ont souvent des effets marqués et localisés dus à l'arrachage direct des herbiers lorsque ces activités ne sont pas correctement réglementées (Orth et al., 2002). La navigation de plaisance et la pêche ont également des conséquences indirectes, comme les dommages à long terme causés par les déversements d'hydrocarbures lors des ravitaillements ou des accidents. Par ailleurs, la navigation crée une houle qui peut provoquer la remise en suspension des sédiments et réduire la pénétration de la lumière. La pêche peut modifier la composition de la

# MENACES POUR LES ÉCOSYSTÈMES D'HERBIERS MARINS

MENACES AFFECTANT :

-  LA PERTINENCE DE L'HABITAT
-  LA QUALITÉ DE L'EAU
-  LE PÂTURAGE ET LE RECRUTEMENT



## HAUSSE DES TEMPÉRATURES

PERTE D'HABITAT LIÉE AU STRESS THERMIQUE, À L'AUGMENTATION DES RISQUES DE MALADIES ET À LA DIMINUTION POTENTIELLE DES COMMUNAUTÉS D'ANIMAUX DE PÂTURAGE

## EFFLUENTS DES TERRES AGRICOLES

LES APPORTS EXCESSIFS DE NUTRIMENTS ET DE SÉDIMENTS RÉDUISENT LA PÉNÉTRATION DE LA LUMIÈRE NÉCESSAIRE À LA PHOTOSYTHÈSE



## NAVIGATION

ENDOMMAGEMENT DES PRAIRIES PAR LES HÉLICES ET LES AMARRAGES DE BATEAUX, RÉDUCTION DE LA CLARTÉ DE L'EAU DUE À LA MISE EN SUSPENSION DES SÉDIMENTS DANS LE SILLAGE DES BATEAUX

## MONTÉE DU NIVEAU DE LA MER

PERTE DE SURFACE D'HABITAT LORSQUE LA MIGRATION DES HERBIERS MARINS VERS LE RIVAGE EST ENTRAVÉE

## CHALUTS ET FILETS DE PÊCHE

DOMMAGES DIRECTS CAUSÉS PAR LE MATÉRIEL DE PÊCHE, NOTAMMENT LES CHALUTS, ALTÉRATION DES COMMUNAUTÉS D'ANIMAUX DE PÂTURAGE

## RÉCOLTE

PERTES LOCALES LIÉES À LA RÉCOLTE DES PLANTES

## ESPÈCES ENVAHISSANTES

PERTE D'HERBIERS MARINS LIÉE AUX PLANTES ENVAHISSANTES ET AU CHANGEMENT DU TAUX DE PÂTURAGE DES HERBIERS MARINS PAR LES ANIMAUX ENVAHISSANTS

LA PLUPART DES HERBIERS MARINS POUSSENT À MOINS DE 15 MÈTRES DE PROFONDEUR

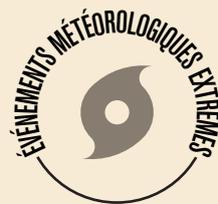
LES ÉLÉMENTS DE CETTE ILLUSTRATION NE SONT PAS À ÉCHELLE  
CERTAINES MENACES SONT ENCORE PLUS PROCHES QU'ELLES N'Y PARAISSENT

INFRASTR  
DESTRUCT  
ET FRAGM  
DE CONNE

AQ  
PE  
DIRE

**PRÉCIPITATIONS MODIFIÉES**   

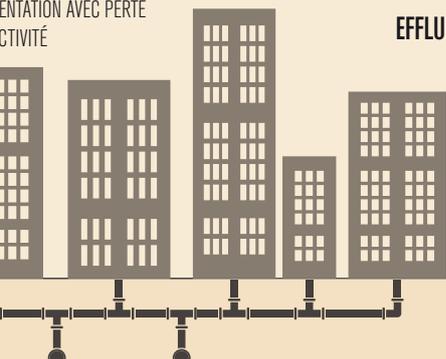
LES HERBIERS MARINS SONT AFFECTÉS PAR LES CHANGEMENTS DE SALINITÉ, ET DANS LES BASSINS VERSANTS OÙ LES PRÉCIPITATIONS AUGMENTENT, PAR L'AUGMENTATION DES SÉDIMENTS ET DES NUTRIMENTS



AUGMENTATION DE LA FRÉQUENCE DE LA DESTRUCTION DES HERBIERS MARINS CÔTIERS, DIMINUTION DE LA CLARTÉ DE L'EAU SUITE À DE FORTES PRÉCIPITATIONS

**STRUCTURES URBAINES**   

IMPACT DIRECTE DES PRAIRIES SOUS-MARINES  
CONTAMINATION AVEC PERTE D'ACTIVITÉ



**EFFLUENTS URBAINS ET INDUSTRIELS**   

LES APPORTS EXCESSIFS DE NUTRIMENTS RÉDUISENT LA PÉNÉTRATION DE LA LUMIÈRE NÉCESSAIRE À LA PHOTOSYNTHÈSE



**USINES DE DESALEMENT**   

UNE SALINITÉ ÉLEVÉE PEUT PROVOQUER UN STRESS LOCAL ET LA MORTALITÉ DES HERBIERS MARINS



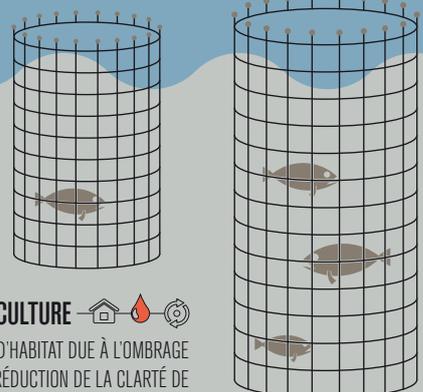
**ACCIDENTS DE NAVIGATION**   

POLLUTION PAR PÉTROLE OU AUTRES CONTAMINANTS APRÈS DES DÉVERSEMENTS MAJEURS ET MINEURS



**AQUACULTURE**   

Perte d'habitat due à l'ombrage, impact, réduction de la clarté de l'eau résultant d'un excès de nutriments



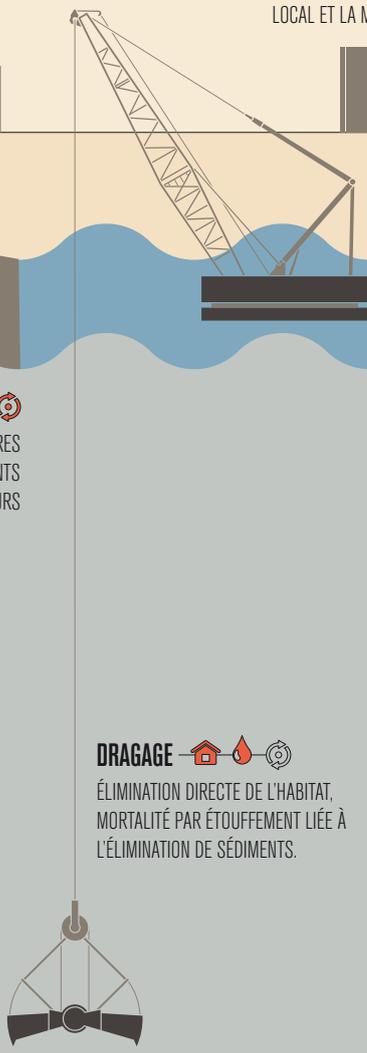
**ACIDIFICATION DES OCÉANS**   

ÉQUILIBRE ENTRE LES EFFETS POSITIFS POTENTIELS SUR LA CROISSANCE DES PLANTES ET LES EFFETS NÉGATIFS SUR LES ANIMAUX DE PÂTURAGE



**DRAGAGE**   

ÉLIMINATION DIRECTE DE L'HABITAT, MORTALITÉ PAR ÉTOUFFEMENT LIÉE À L'ÉLIMINATION DE SÉDIMENTS.



Source : GRID-Arendal (2020).

faune présente dans les herbiers et modifier les régimes de pâturage (par exemple, la disparition d'espèces prédatrices peut entraîner la prolifération des proies). Cette modification peut avoir plusieurs effets directs, notamment la diminution de la biomasse des herbiers due à la consommation des brouteurs, l'altération des processus favorisant la reproduction des phanérogames (comme la dissémination des graines), ou encore des cascades trophiques entraînant une prolifération algale. En général, bien que les activités maritimes soient visibles et souvent mises en évidence par la communauté, si l'on prend en compte leur échelle et leur fréquence, la menace qu'elles font peser sur les herbiers marins est généralement moins importante que celle, plus diffuse, des activités terrestres (Grech et al., 2012).

## Menaces climatiques

Les menaces liées aux changements climatiques couvrent une zone géographique très vaste à l'échelle mondiale et ont des

conséquences à la fois sur terre et en mer. Il peut s'agir, par exemple, de l'élévation des températures de l'atmosphère et des océans, de la hausse du niveau de la mer, de l'acidification des océans, de la modification des régimes pluviométriques, ainsi que de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes. Chacun de ces éléments peut réduire de manière spectaculaire la surface des herbiers marins à court et à long terme.

Actuellement, les prévisions concernant les effets probables des changements climatiques sur les herbiers sont d'une précision limitée, et ce pour deux raisons. D'une part, il est difficile de réduire les modèles climatiques mondiaux à l'échelle biologique des herbiers (Hobday et Lough, 2011). D'autre part, il existe peu d'études analysant l'interaction des effets des changements climatiques et examinant les réponses à long terme, les variations au sein des espèces et entre elles, l'acclimatation locale et le potentiel d'adaptation (Duarte et al., 2018). Les prévisions des changements à venir reposent

**Tableau 1.** Surfaces perdues et gagnées par les herbiers marins – exemples de biorégions

↑ gains ↓ pertes

Biorégion*	Lieu	Type de menace	Pressions et mesures de restauration	Área de estudo (km <sup>2</sup> )	Évolution de la surface couverte (%)	Periodo de estudo
Atlantique Nord tempéré	Baie de Chesapeake, Maryland, Virginie (États-Unis d'Amérique)	Terrestre	Accumulation de nutriments et de sédiments	11 600	29 ↓	1984–2015
Atlantique tropical	Baie de Tampa, Floride (États-Unis d'Amérique)	Terrestre	Réduction des nutriments <sup>a</sup>	959	25 ↑	1982–2004
Pacifique Nord tempéré	Baie de San Quintín, Baja California (Mexique)	Terrestre	Sédiments	48	13 ↓	1987–2000
Indo-Pacifique tropical	Détroit de Great Sandy, Queensland (Australie)	Terrestre	Régénération naturelle <sup>b</sup>	500	86 ↑	1998–2002
Méditerranée	Mer Méditerranée	Terrestre et marine	Multiplés (pêche, navigation, nutriments et sédiments)	2,5×106	20 ↓	1869–2016
Indo-Pacifique tropical	Kenya, Afrique de l'Est	Terrestre et marine	Pêche et sédiments	NA	26 ↓	1986–2016
Mers du Sud tempérées	Rottneest Island, Australie-Occidentale (Australie)	Marine	Navigation (mouillage)	1	5 ↓	1930–2009
Indo-Pacifique tropical	Baie Shark, Australie-Occidentale (Australie)	Climatique	Vague de chaleur de 2011 (température de l'eau supérieure de 2 à 4°C à la moyenne)	8900	22 ↓	2002–2014

Remarques : S'agissant des gains, la colonne « pressions » indique les mesures ayant permis la régénération des herbiers. Les lignes sont classées par type de menace.

\* Biorégions extraites des travaux de Short et al. (2007).

a Amélioration des pratiques de gestion de la qualité des eaux visant à réduire la charge d'azote après traitement des eaux usées.

b Régénération naturelle après élimination des charges élevées en matières nutritives et en sédiments à la suite d'une puissante tempête en février 1999.

toujours sur des avis d'experts et des évaluations semi-quantitatives portant par exemple sur le risque relatif (Aumen et al., 2015).

Les futures hausses de température des océans modifieront la composition des communautés et des services écosystémiques en raison des écarts qui se créeront entre la température optimale pour la croissance de chaque espèce et les conditions locales. Certaines espèces tolèrent bien les variations de température de l'eau, tandis que d'autres ont une capacité d'adaptation limitée aux changements de température

(Collier et al., 2017), ce qui entraîne une surmortalité pendant les épisodes de réchauffement prolongés (Marbà et Duarte, 2010). Les herbiers marins situés à la limite de leur aire de répartition sont les plus exposés au risque d'augmentation des températures. Il s'agit des espèces localisées en limite latitudinale (Hyndes et al., 2016) et dans les eaux peu profondes susceptibles de se réchauffer bien au-dessus de la température environnante, en particulier à marée basse (Seddon et al., 2000). Les répercussions des canicules peuvent être confondues avec d'autres effets cumulatifs tels qu'une salinité élevée (Thomson et al., 2015).

## Océan indien : des menaces de faible ampleur peuvent être lourdes de conséquences

Les répercussions à grande échelle de menaces largement connues, telles que les phénomènes climatiques extrêmes ou les effluents de terres dégradées, reçoivent souvent davantage d'attention. Par exemple, les cyclones ont contribué à la disparition de plus de la moitié des herbiers marins dans la baie d'Inhambane, au Mozambique (Amoné-Mabuto et al. 2017), et ont engendré des pertes majeures dans le sud-ouest de Madagascar (Côté-Laurin et al., 2017). Les menaces et les activités locales de plus faible ampleur (en général, sur une superficie inférieure à 100 km<sup>2</sup>) sont souvent négligées, même si elles sont plus fréquentes et préoccupent davantage les communautés côtières. Les effets des menaces locales sur les herbiers marins peuvent être rares, comme les déversements d'hydrocarbures, mais la majorité d'entre eux sont réguliers ou persistants. Bien que certaines menaces localisées aient des effets de faible ampleur, comme le mouillage ou l'amarrage des navires, elles se produisent parfois à plus grande échelle et à des fréquences si élevées qu'elles rendent les herbiers marins fortement vulnérables (Grech et al., 2012). En outre, la nature des menaces locales diffère en fonction de la situation géographique, en particulier selon les conditions socioéconomiques (Grech et al., 2012). Par exemple, au Kenya et en Tanzanie, les herbiers marins ont subi des pertes importantes en raison de la culture d'algues (Eklöf et al., 2008) et du pâturage excessif de l'oursin *Tripneustes gratilla*, dont les prédateurs ont été victimes de la surpêche. En Indonésie, l'extraction du sable et du corail pour la production de matériaux de construction a fortement détérioré les prairies locales de phanérogames. Outre la nature de la menace, les conséquences des effets locaux peuvent être aggravées lorsque les sources d'alimentation et de revenus des communautés côtières proviennent des services écosystémiques rendus par les herbiers. Par exemple, à Zanzibar (Tanzanie), le déclin des herbiers marins dû à la surpêche des invertébrés, aux sillons creusés par les bateaux et aux activités de dragage ont eu des répercussions négatives sur le bien-être et les moyens de subsistance des populations, notamment des femmes (Cullen-Unsworth et al., 2014). La plupart des effets locaux



© Mawan Kiswara, Indonesian Seagrass Foundation

sont d'origine accidentelle : dommages physiques causés par les échouages de navires, sillons laissés par le passage des hélices et pêche au chalut. Toutefois, certains effets résultent d'une action délibérée, comme la récupération de zones côtières à des fins d'aménagement du littoral, ou l'arrachage des herbiers afin de créer des lagunes ou des plages de sable à des fins touristiques (Daby, 2003). Fort heureusement, les initiatives actuellement déployées aux Maldives ont permis d'atténuer ces effets en persuadant plus de 25 % des complexes touristiques de protéger leurs prairies de phanérogames (Malsa, 2019). Les menaces locales se manifestant rarement de manière isolée, et leur incidence accrue au niveau local résulte de leur accumulation. Par exemple, sur la rive ouest de la baie de Maputo, au Mozambique, on a constaté récemment une régression annuelle de plus de 7 % des herbiers marins due à la sédimentation, aux inondations et à la pêche des palourdes (Bandeira et al., 2014). Les effets localisés de faible ampleur provoquent non seulement la disparition des herbiers, mais ils les rendent surtout plus vulnérables aux répercussions et aux changements climatiques à plus grande échelle. Il est donc essentiel d'identifier et de gérer les menaces locales pour définir les objectifs de conservation et de gestion (Unsworth et al., 2018).

## Événement climatique extrême : une vague de chaleur marine entraîne la destruction massive de l'un des écosystèmes d'herbiers continus les plus vastes au monde – baie Shark

Situé en Australie-Occidentale, le parc marin de la baie Shark est classé au patrimoine mondial de l'UNESCO et contribue à l'économie locale grâce au tourisme et à la pêche. Il possède plusieurs particularités naturelles exceptionnelles, dont la plus grande population mondiale de stromatolites et l'une des prairies ininterrompues de phanérogames les plus étendues (plus de 4 000 km<sup>2</sup>) et les plus diversifiées au monde.

Au cours de l'été austral 2011, une vague de chaleur marine a frappé la côte occidentale australienne (Wernberg et al., 2012), entraînant une destruction massive des prairies de phanérogames de la baie Shark. La cartographie réalisée dans le parc marin en 2014 a mis en évidence une régression nette d'environ 22 % des habitats d'herbiers par rapport à 2002. Le paysage sous-marin s'est trouvé radicalement modifié dans une grande partie de la baie, la surface couverte par les prairies denses et continues de phanérogames étant passée de 72 % en 2002 à 46 % en 2014 (Arias-Ortiz et al., 2018). L'espèce des zones tempérées *Amphibolis antarctica*, qui occupait 85 % de la surface totale et dont les buissons hauts et denses fournissaient une nourriture abondante et un abri à de nombreuses espèces, a été la plus fortement touchée. Compte tenu de son implantation massive et de son importance écologique, sa destruction et sa dégradation ont eu des conséquences catastrophiques (Kendrick et al., 2019).

Selon les estimations, la structure des habitats d'herbiers a été détruite sur plus de 1 000 km<sup>2</sup>, perturbant le

fonctionnement de services écosystémiques importants (voir la carte ci-dessous). La disparition de la canopée formée par les herbiers a progressivement dégradé la clarté et la qualité de l'eau. Défoliés et transformés en zones sableuses inertes, les herbiers ont perdu leur capacité à piéger et à stabiliser les sédiments ; la décomposition de la biomasse des herbiers et la libération du carbone organique (C<sub>org</sub>) stocké dans les sédiments sous l'effet de l'érosion ont alors augmenté les charges de nutriments dans la colonne d'eau, entraînant la prolifération du phytoplancton et des bactéries (Nowicki et al., 2017). Cette situation a créé des conditions favorables aux émissions de CO<sub>2</sub> (2 à 9 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> estimées dans les trois années qui ont suivi), réduisant la capacité de stockage du carbone de 52 ± 14 Gg C par an, un chiffre qui n'évoluera pas tant que les herbiers sous-marins ne se seront pas régénérés (Arias-Ortiz et al. 2018).

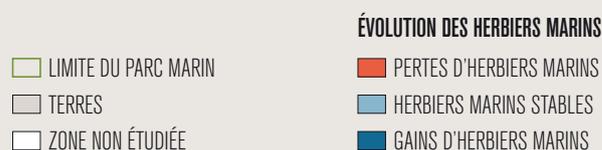
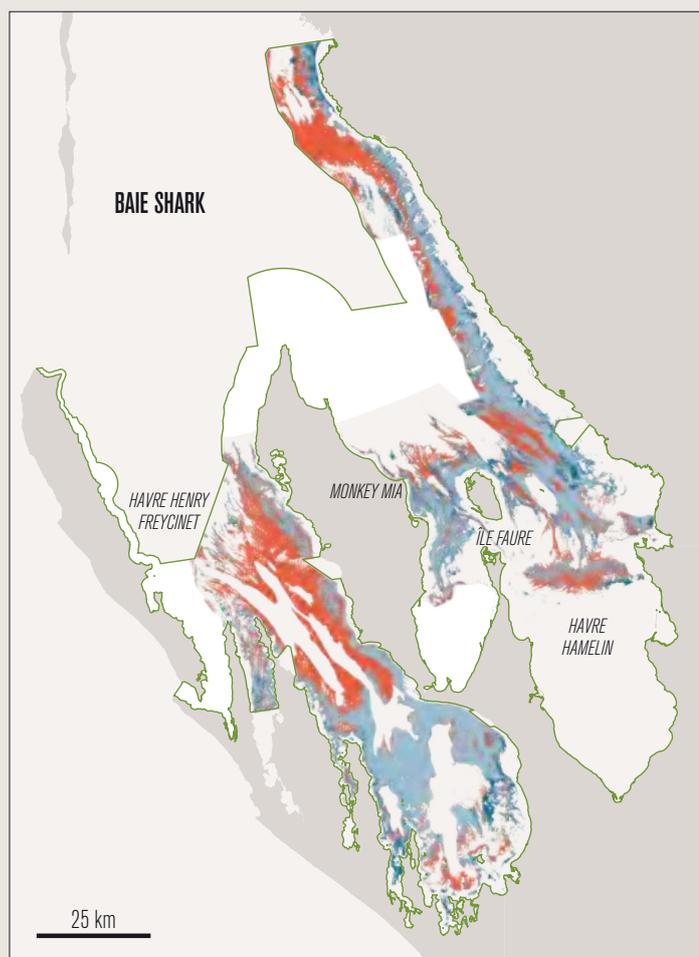
La destruction de la structure et de la composition des habitats d'herbiers a également des effets indirects sur les consommateurs des différents niveaux trophiques. La disparition des habitats nourriciers a entraîné le déclin d'espèces menacées comme la tortue verte, le dugong et différents serpents de mer, et a mis en péril la survie et la reproduction du grand dauphin (Kendrick et al., 2019) qui se nourrit de poissons peuplant les herbiers. En outre, les populations de crabes et de pectinidés qui alimentent la pêche commerciale ont fortement régressé en raison d'effets directs (par exemple, mortalité liée aux températures) ou indirects (liés à la disparition des herbiers). Le pêche de ces espèces a dû être provisoirement interdite, ce qui a eu des conséquences

La hausse des températures, outre ses effets indirects sur les herbiers eux-mêmes, peut également avoir des répercussions sur les organismes qui sont associés à ces derniers (à savoir les animaux qui se nourrissent des herbiers ou des algues concurrentes) et les agents pathogènes (Sullivan et al., 2018). Ainsi, la hausse des températures a déjà modifié la répartition des espèces, amenant les animaux brouteurs connus pour leur rôle d'ingénieur écosystémique à quitter les zones tropicales pour rejoindre les zones tempérées (par exemple, les oursins et les sigans, ou poissons lapins), et intensifiant le pâturage de la végétation submergée (Vergés et al., 2014). Par ailleurs, l'augmentation des températures peut altérer les capacités de broutage des animaux, c'est-à-dire la quantité de végétation qu'ils peuvent absorber (Pearson et al., 2018). Cette modification des régimes de pâturage peut aussi avoir des conséquences sur le nombre de taxons servant d'habitat à d'autres espèces, dont les phanérogames. Des températures anormalement chaudes sont également associées à la maladie du dépérissement qui a décimé les zostères de l'hémisphère Nord dans les années 1930.

Sous l'effet de la montée du niveau de la mer, les habitats d'herbiers marins se déplaceraient naturellement vers des sites plus élevés afin de maintenir une zonation optimale par rapport à la profondeur d'eau. Toutefois, cette migration pourrait être entravée par des conditions défavorables aux herbiers telles que le durcissement du littoral, qui entraîne une réduction de la surface habitable. Dans ce cas, l'amélioration de la clarté de l'eau permettrait aux parties profondes des herbiers de résister, réduisant ainsi les pertes dues à la hausse du niveau de la mer (Saunders et al., 2013).

Il est difficile de prédire comment réagiront les herbiers face à la pression partielle du dioxyde de carbone (pCO<sub>2</sub>) ou à l'acidification des océans (Koch et al., 2013). En outre, il n'y a pas assez de données probantes pour déterminer si les prairies marines parviendront à surmonter l'acidification des océans (Fabricius et al., 2011), ou si elles seront simplement moins touchées que les habitats plus sensibles (par exemple, les récifs coralliens). Leur capacité à faire face à l'augmentation

## ÉVOLUTION DE L'ÉTENDUE DES HERBIERS MARINS DANS LE PARC MARIN DE LA BAIE SHARK POUR LA PÉRIODE 2002–2014



Sources : Arias-Otiz et al. (2018) ; Gouvernement de l'Australie-Occidentale, Département de la biodiversité, de la conservation et des attractions ; GRID-Arendal (2020).



désastreuses sur le secteur halieutique. L'ampleur des ravages causés aux herbiers marins par les changements climatiques et océanographiques est généralement bien plus importante que les pertes associées aux effets anthropiques directs au niveau local, et peut donc occasionner les effets les plus importants

à l'échelle des écosystèmes. Il est nécessaire de savoir comment réagiront les écosystèmes d'herbiers face aux menaces des changements climatiques et de renforcer leur résilience afin de garantir le fonctionnement de l'écosystème dans son ensemble.

de la  $pCO_2$  dépend d'autres conditions telles que la lumière disponible (Kroeker et al., 2017). La  $pCO_2$  peut également entraîner une régulation à la baisse, de sorte que les gains de productivité nette à court terme observés au cours d'épisodes aigus ne seront pas nécessairement maintenus à long terme (Smith et Dukes, 2013). Les niveaux de  $pCO_2$  sont par ailleurs extrêmement fluctuants sur le littoral, et les taux de variation diffèrent par rapport aux zones situées plus au large (Uthicke et al., 2014), ce qui complique encore davantage la prévision des réponses futures à l'acidification des océans.

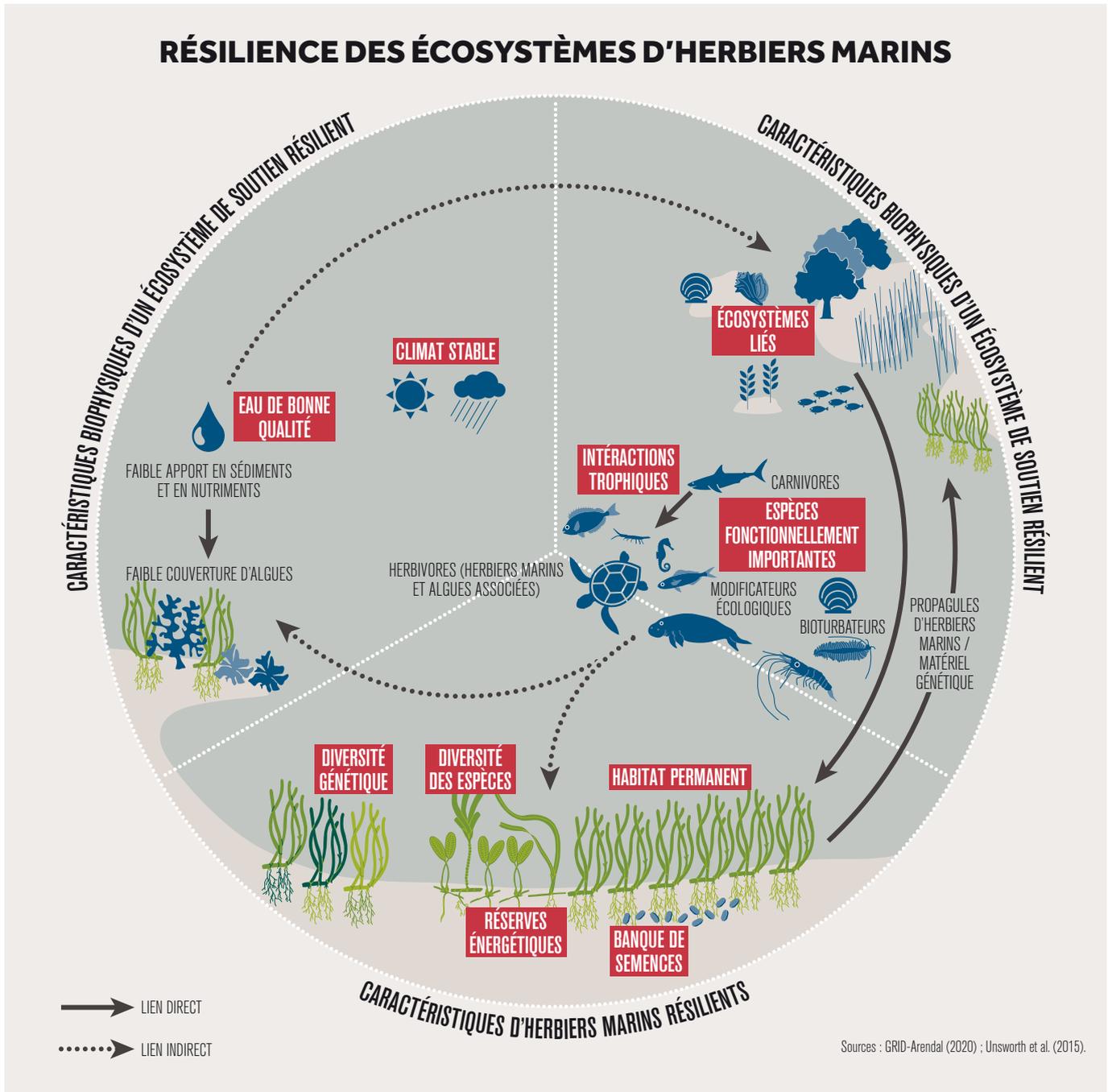
de polluants d'origine terrestre résultant d'événements climatiques extrêmes peuvent être étendues et durables. Cependant, certains objectifs de gestion visant à favoriser la diversité des communautés de phanérogames et à réduire les menaces chroniques peuvent diminuer la vulnérabilité des herbiers marins face à ces événements extrêmes (Steward et al., 2006 ; Cole et al., 2018).

### Résilience des écosystèmes d'herbiers marins

Les événements climatiques (ouragans, cyclones, précipitations) sont susceptibles de devenir plus extrêmes à l'avenir, mais leur intensité sera variable d'une région à l'autre. Les fortes houles d'origine cyclonique peuvent directement arracher les herbiers marins et disperser les semences, laissant place à des paysages marins modifiés vulnérables aux dégradations persistantes (O'Brien et al., 2017 ; McKenzie et al., 2019). Comme décrit précédemment, les répercussions des effluents et des charges

Le concept de résilience écosystémique est aujourd'hui couramment pris en compte dans la gestion des habitats côtiers. La résilience désigne la capacité d'un écosystème à conserver sa structure et sa fonction écologiques face aux perturbations engendrées par les phénomènes naturels ou les activités humaines. Elle résulte d'un ou deux facteurs, à savoir : la résistance au changement et la rapidité de régénération après une régression temporaire (Folke et al., 2004). S'agissant plus

FIGURE 9



particulièrement des herbiers marins, la résilience est devenue un aspect prépondérant de la gestion et de la recherche en raison de leurs nombreux services écosystémiques et de leur vulnérabilité à de multiples menaces (York et al., 2017). L'un des changements les plus fréquemment observés dans le cas des prairies sous-marines est leur transformation en habitat exempt de végétation ou dominé par les algues, qui entraîne une réduction du nombre de services écosystémiques rendus. Il est donc important d'assurer la résilience des écosystèmes d'herbiers, c'est pourquoi celle-ci est aujourd'hui largement prise en compte (voir le chapitre consacré aux services écosystémiques).

Les connaissances scientifiques sur les facteurs qui soutiennent la résilience des herbiers marins ont progressé rapidement ces dernières années. Dans une étude et une enquête auprès d'experts menées à l'échelle mondiale sur les facteurs

contribuant à la résilience des herbiers marins (et d'autres habitats biogènes) confrontés à des perturbations climatiques, 40 % des travaux portant sur les perturbations climatiques et 70 % des experts mondiaux interrogés (n=17) faisaient état de la résilience des herbiers marins (O'Leary et al., 2017). Les facteurs de résilience définis comme importants peuvent être classés selon qu'ils sont propres à une prairie de phanérogame ou à l'environnement biologique ou biophysique (figure 9). Dans une autre étude, les herbiers marins éloignés des embouchures de rivières présentaient une plus grande résilience car l'écoulement des cours d'eau modifiait la salinité, la turbidité et les floraisons de phytoplancton à la suite des ouragans, dont les effets étaient plus sévères que les pertes initiales (Carlson Jr. et al., 2010). En général, les facteurs déterminant la résilience des herbiers sont liés à leur emplacement, à leur diversité, à la qualité de l'eau, à la connectivité et aux interactions du réseau alimentaire (« interactions trophiques » ; voir le tableau

**Tableau 2.** Caractéristiques de résilience des herbiers marins, mesures de gestion et méthodes utilisées pour renforcer la résilience des écosystèmes d'herbiers

Caractéristique	Mesure	Méthode
Diversité – espèces et génétique	Accroître la diversité génétique	Disséminer les graines sur une zone plus étendue Améliorer la connectivité génétique (p. ex., minimiser les barrières artificielles)
Eau de bonne qualité	Réduire les effets physiques	Assurer une gestion locale afin d'éviter les effets directs (p. ex., ancrage et enfouissement des appâts)
	Ralentir la prolifération algale	Améliorer la qualité des eaux et gérer les activités de pêche afin de renforcer la place du broutage dans le réseau alimentaire
	Augmenter la production photosynthétique	Améliorer la qualité des eaux (p. ex., assurer une meilleure gestion des terres)
	Réduire la toxicité chimique	Contrôler les rejets de substances toxiques dans les cours d'eau
	Renforcer l'application des réglementations environnementales relatives aux herbiers marins	Renforcer les connaissances sur la localisation des prairies de phanérogames, leur valeur et leurs sensibilités
Connexion des écosystèmes et continuité de l'habitat	Reconnecter les paires isolées et reconstituer les prairies fragmentées	Pratiquer une restauration ciblée
	Maintenir la connectivité	Garantir la présence constante et la santé des habitats associés (p. ex., récifs, mangroves)
Équilibre des interactions trophiques	Encourager un broutage et une bioturbation équilibrés	Gérer les espèces halieutiques, y compris les prédateurs, par la gestion des pêches et des habitats (p. ex., réserves marines)
	Alerter rapidement sur les enjeux requérant une attention particulière	Surveiller les structures et les fonctions intervenant dans les processus dynamiques

Sources : Unsworth et al. (2015) ; Connolly et al. (2018)

2). La diversité génétique et la variété des espèces d'herbiers peuvent également favoriser la résistance aux facteurs de stress. Une diversité génétique importante permet d'accroître la production de pousses florales, la germination des graines et la production de pousses foliaires (Williams, 2001), soit autant de facteurs qui améliorent le recrutement et la reproduction clonale. En outre, l'implantation de plusieurs espèces de phanérogames augmente davantage la survie et la superficie de la prairie que l'implantation d'une seule espèce.

Selon leur espèce, les phanérogames présentent des caractéristiques différentes en matière d'adaptation et de régénération face aux perturbations. Certaines espèces peuvent recevoir des quantités de lumière moins importantes pendant une courte durée en faisant des réserves de glucides (Fraser et al., 2014), tandis que d'autres adaptent leur photosynthèse (Campbell et al., 2007). La résilience dépend également en grande partie de la reproduction asexuée et sexuée : taux de croissance rapides, dissémination, longévité des semences, et capacité des fragments de plantes à être transportés par les courants vers de nouvelles zones (McMahon et al., 2014). L'augmentation de la surface occupée par les herbiers dans le paysage marin s'est déroulée sur plusieurs décennies, au cours desquelles le recrutement de semis a joué un rôle clé dans la colonisation et la régénération (Kendrick et al., 2000).

Ces processus dynamiques jouent un rôle important dans le maintien des fonctions écologiques des écosystèmes d'herbiers. Ils correspondent aux propriétés de chaque prairie de phanérogames, par exemple : éliminer efficacement les nutriments en excès, empêcher la remise en suspension des sédiments, ou faire vivre les populations de petits animaux brouteurs. Ces dernières années, les recherches ont montré que la transformation des herbiers en fonds marins moins productifs, exempts de végétation ou dominés par les algues se produisait lorsque ces processus dynamiques étaient affaiblis par des facteurs de stress environnementaux. Des effets tels qu'une dégradation de la qualité de l'eau peuvent annuler les principaux processus à l'œuvre, car l'écosystème atteint alors un point de basculement qui modifie considérablement son état (Maxwell et al., 2016). Il est à souligner que différents processus dynamiques interviennent dans cet état modifié, ce dont doivent tenir compte les responsables de la gestion des zones côtières. Dans la mesure où les processus dynamiques s'opèrent dans des conditions dégradées (par exemple, des fonds marins dépourvus de végétation), les actions mises en œuvre pour maintenir le nouveau système en réduisant ou en éliminant simplement le facteur de stress initial seront généralement insuffisantes pour permettre la régénération des herbiers (Maxwell et al., 2015). Il est parfois nécessaire de ramener le facteur de stress (par exemple, des concentrations

excessives de nutriments dans les eaux côtières) à un niveau très inférieur à celui ayant déclenché initialement la disparition des herbiers marins (Duarte et al., 2009). D'autres mesures de restauration active peuvent également s'avérer nécessaires, comme le recouvrement du sable en vue de réduire la remise en suspension des sédiments fins (Flindt et al., 2016) et la plantation de graines ou de jeunes pousses en vue de favoriser la repousse des herbiers (van Katwijk et al., 2016). Pour les responsables de la gestion des zones côtières, une meilleure connaissance des mécanismes de résilience des herbiers marins peut contribuer à réorienter la gestion vers la protection des processus dynamiques clés (Connolly et al., 2018).

## **Menaces pesant sur la connectivité des écosystèmes**

Les liens entre les prairies de phanérogames et les autres habitats du paysage sous-marin sont essentiels pour fournir des services écosystémiques ou des avantages ne se limitant pas à leur zone de peuplement (voir le chapitre consacré aux services écosystémiques). Les herbiers marins sont connectés à d'autres habitats, tels que les mangroves, les récifs coralliens, les marais salés et les forêts de kelp. Ces liens étroits sont particulièrement visibles dans les déplacements d'animaux, la dissémination des propagules végétales et des larves animales, ainsi que dans le transfert des nutriments et des matières organiques (Lavery et al., 2013 ; Kendrick et al., 2017). La connectivité joue un rôle vital dans la structuration des populations biologiques et le maintien de la biodiversité (Sheaves, 2009). La connectivité des herbiers marins avec d'autres habitats active de nombreux processus écologiques qui sont essentiels pour la bonne santé des écosystèmes d'herbiers. Par exemple, les prairies de phanérogames situées à proximité immédiate des mangroves font vivre des populations de poissons et de crustacés plus abondantes et plus diversifiées, dont des espèces halieutiques importantes (Jelbart et al., 2007). En outre, les poissons de récifs sont plus nombreux lorsque les récifs coralliens sont reliés à des prairies sous-marines situées à proximité (Berkström et al., 2013), ce qui suggère que la connectivité est un avantage à la fois pour les herbiers et pour les habitats auxquels ils sont connectés. Il apparaît également que les animaux dont les habitats sont davantage connectés sont en meilleure santé. Ainsi, les sébastes vivant dans des herbiers situés à proximité de forêts de kelp consomment des proies de meilleure qualité et présentent un meilleur état physique que ceux vivant dans des herbiers adjacents à des zones sableuses non végétalisées (Olson et al., 2019). Enfin, la connectivité entre les herbiers marins et les autres habitats côtiers peut atténuer les effets des vagues et des tempêtes, améliorer les conditions des espèces servant d'habitat à d'autres espèces – à l'instar des coraux – en modifiant la composition chimique de l'eau (Unsworth et al., 2012), et accroître les capacités globales de stockage du carbone (Huxham et al., 2018). D'une manière générale, la connectivité des herbiers marins avec d'autres habitats contribue à rendre des services écosystémiques majeurs.

Cependant, à l'échelle mondiale, la destruction et la modification des habitats mettent en péril la connectivité entre ces derniers, ce qui menace les avantages importants qu'en retirent l'homme et l'environnement (Gerber et al. 2014 ; Bishop et al. 2017). La perte d'habitat est le perturbateur le plus manifeste de la connectivité, car elle peut supprimer totalement un type d'habitat ou modifier la configuration des parcelles d'habitat restantes. Par exemple, la compression côtière entraîne la disparition des marais salés dans de nombreuses régions du monde, car la montée du niveau de la mer repousse les marais vers l'intérieur des terres, dans des zones périurbaines empêchant cette migration (Saintilan et al., 2014). La disparition des marais salés aura des répercussions considérables, car l'association – et donc, l'interconnexion – de ces derniers avec les herbiers marins et les mangroves joue un rôle important dans la productivité des ressources halieutiques (Nagelkerken et al., 2013). Lorsque la diversité et la répartition des herbiers marins sont limitées, les pertes engendrées ont généralement des conséquences très lourdes sur la biodiversité et la santé des écosystèmes (Short et al., 2011). Par exemple, sur la côte Pacifique des États-Unis d'Amérique, les populations de phanérogames (*Zostera marina*) sont relativement éparses (elles sont présentes dans 17 à 36 % des estuaires de l'État de Washington, de l'Oregon et de Californie), et donc séparées par de grandes distances (Sherman et DeBruyckere, 2018). La disparition des phanérogames dans l'un de ces estuaires (comme ce fut récemment le cas à Morro Bay, en Californie) entraînera des ruptures de connectivité importantes chez les espèces dépendantes des herbiers (Walter et al., 2018). De même, la construction de barrières physiques telles que des digues peut limiter ou modifier la connectivité entre les herbiers et les terres humides adjacentes, comme les marais salés ou les mangroves (Bishop et al., 2017). Il en résulte une diminution des transferts d'individus et de ressources entre les habitats, qui pourrait nuire à la productivité des écosystèmes.

La pêche peut également modifier le degré de connectivité entre les herbiers marins et les autres habitats. Ainsi, la surpêche des poissons et des crustacés a des répercussions directes et indirectes sur la connectivité (par exemple, diminution des réserves larvaires), car elle réduit les transferts de ressources entre habitats (Hyndes et al., 2014). À titre d'exemple, la surpêche des prédateurs situés à l'extrémité de la chaîne alimentaire est susceptible d'interrompre les connexions du réseau alimentaire entre les herbiers marins, les mangroves et les récifs coralliens (Hyndes et al., 2014). Parmi les menaces anthropiques pesant sur les systèmes côtiers, comme l'eutrophisation et la pollution environnementale, certaines touchent les animaux qui utilisent différents types d'habitat et peuvent avoir des effets similaires sur la connectivité en perturbant les schémas de répartition et les flux d'énergie. D'une manière générale, un grand nombre des menaces qui pèsent sur la connectivité des habitats côtiers du fait de la croissance démographique littorale demeurent hypothétiques. Néanmoins, on constate une prise de conscience croissante quant à l'intérêt de définir plus précisément ces menaces (Bishop et al., 2017).

## **Soyons optimistes : quelques bonnes nouvelles à propos des herbiers marins**

Bien que les herbiers marins soient en déclin à l'échelle mondiale, ils ont tendance à reculer plus lentement, voire à bien se régénérer dans certaines zones. Ces progrès sont généralement le fruit d'interventions humaines visant à réduire l'effet des pressions anthropique. Par exemple, les plans de gestion ciblés destinés à améliorer la qualité de l'eau en vue de favoriser la régénération des herbiers se sont révélés particulièrement efficaces dans certains domaines, notamment lorsqu'ils visaient à réduire les sources et les apports de nutriments. Cette section présente deux études de cas portant sur des herbiers qui ont pu se régénérer après avoir subi des pertes majeures. Ces exemples montrent les avantages associés à l'amélioration de la qualité de l'eau pour la santé des herbiers.

Dans la baie de Tampa, en Floride (États-Unis d'Amérique), la superficie couverte par les herbiers marins a régressé de 46 % entre 1950 et 1980 à mesure que la population littorale augmentait. Dans ces eaux tropicales, les prairies de phanérogames étaient essentiellement composées des espèces *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* et *Halodule wrightii* (Greening et Janicki, 2006 ; Sherwood et al., 2017). Cette régression est largement attribuée à l'augmentation des charges en matières nutritives (en particulier d'azote) dans les estuaires voisins, sous l'effet d'une croissance démographique rapide et du changement d'affectation des terres. La reconnaissance de ce problème dans les années 1980 et 1990 a débouché sur la mise en œuvre de mesures de gestion destinées à améliorer la qualité des eaux afin de favoriser la santé des herbiers et la restauration des niveaux de couverture des années 1950 (Sherwood et al., 2017). Depuis, les charges d'azotes ont été réduites de 90 % environ dans la baie de Tampa, essentiellement grâce à la gestion des sources de nutriments (Tomasko et al., 2018). Outre cette amélioration de la qualité des eaux, une augmentation notable de la surface des herbiers a également été constatée, laquelle a doublé par rapport à 1982 (8 761 ha) pour retrouver des niveaux équivalents à ceux des années 1950 (supérieure à 16 300 ha) en 2014 (Tomasko et al., 2018).

Dans les eaux tempérées froides de la mer des Wadden, en mer du Nord, on a également observé une régénération remarquable des herbiers intertidaux. Cet habitat de prairies sous-marines fait partie des plus grands systèmes d'estrans plats au monde (de los Santos et al., 2019). Bien qu'il s'agisse ici d'un herbier situé de l'autre côté de l'Océan atlantique et composé d'espèces différentes (*Zostera marina* et *Zostera noltii*), cette étude de cas présente de nombreuses similitudes avec celle de la baie de Tampa. Au cours du XXe siècle, les charges en matières nutritives ont augmenté de façon spectaculaire dans la mer des Wadden jusqu'aux années 1980 environ, où les niveaux ont commencé à diminuer (van Beusekom, 2010). Les prairies de phanérogames situées dans cette zone ont fortement régressé, atteignant des niveaux très inférieurs à ceux enregistrés dans les années 1930 et 1950. Les premiers signes encourageants ont été

observés à la fin des années 1980, plusieurs années après que la qualité des eaux a commencé à s'améliorer. Ces progrès se sont poursuivis jusqu'aux alentours de l'année 2012, parallèlement à l'amélioration de la qualité de l'eau et à certaines initiatives de restauration (Dolch et al., 2017). Selon les estimations, en 2005, la superficie totale couverte par les prairies de phanérogames représentait environ 16 % de l'habitat intertidal disponible, soit des niveaux à peu près équivalents à ceux observés par photographie aérienne dans les années 1930, et largement supérieurs à ceux enregistrés dans les années 1990 (moins de 5 %). La surface des herbiers marins a continué d'augmenter en mer des Wadden jusqu'en 2012 environ, où elle a atteint un niveau maximal resté stable depuis (Dolch et al., 2017).

Compte tenu des effets démontrés des sennes de rivage sur les herbiers marins le long des côtes est-africaines ([www.smartseas.org](http://www.smartseas.org)), la mise en application récente (septembre 2019) de l'interdiction de ce type de filets au niveau national devrait permettre une régénération massive des herbiers sur ces côtes.

Ces études de cas prouvent que la réduction des apports en nutriments dans les cours d'eau bénéficie indéniablement à l'amélioration de l'adéquation des habitats d'herbiers marins. Toutefois, comme le souligne ce chapitre, outre la qualité des eaux, de nombreux autres facteurs de stress et possibilités de gestion doivent être pris en compte pour limiter la disparition des écosystèmes d'herbiers ou favoriser leur régénération. Par exemple, d'après Dolch et al., (2017), bien que la menace d'eutrophisation ait aujourd'hui disparu en mer des Wadden, il est possible qu'une modification de la dynamique sédimentaire ou la montée du niveau de la mer provoque de nouvelles pertes à l'avenir.

Le recours accru au suivi environnemental automatisé permet également d'améliorer la gestion des activités qui menacent les herbiers marins. À ce jour, il est encore trop coûteux ou trop difficile de suivre l'évolution de la surface couverte par les herbiers marins ainsi que les fonctions écologiques qui leur sont associées. De plus, la gestion pâtit d'un manque de données de suivi actualisées. La mise en place de plateformes numériques avancées intégrant des flux de données et des analyses de mégadonnées pourrait permettre de surmonter ces difficultés. Analyse automatisée des images de télédétection envoyées par satellite (voir le chapitre consacré à la cartographie et au suivi), qualité des eaux in situ ou données météorologiques ; il est aujourd'hui possible d'obtenir toutes ces informations presque en temps réel. L'enjeu consiste à associer la télédétection avec la validation in situ afin d'améliorer les algorithmes de reconnaissance et de cartographie des herbiers marins. Combinée aux sciences participatives, l'automatisation peut contribuer à rendre la gestion adaptative plus efficace.

# CARTOGRAPHIE ET SUIVI DES HERBIERS MARINS

Dimosthenis Traganos, Genki Terauchi, Jane Glavan, Janmanee Panyawai, Joel Creed, Lauren Weatherdon, Len McKenzie, Milica Stankovic, Tatsuyuki Sagawa, Teruhisa Komatsu, Dimitris Poursanidis

As instituições em que os autores estão afiliados são indicadas na página 4

La cartographie et le suivi de l'étendue et de la couverture des herbiers marins, ainsi que des espèces les composant, sont essentiels pour comprendre ces écosystèmes complexes et dynamiques, mettre en évidence les zones de résilience et de vulnérabilité, et prévoir leur réaction face aux pressions découlant des changements climatiques. La cartographie et le suivi des herbiers visent également à inclure des données moins évidentes, telles que les avantages, les processus et les pressions liés aux réglementations alimentaires, à la production halieutique, au cycle global du carbone, à la biodiversité et aux changements climatiques.

Cartographier les herbiers marins est néanmoins une tâche difficile. En effet, en s'appuyant sur les meilleures connaissances disponibles, il est estimé que les prairies de phanérogames occupent plus de 300 000 km<sup>2</sup> de fonds marins dans le monde, soit l'équivalent de la superficie de l'Allemagne, répartis sur tous les continents sauf l'Antarctique (Figure 1). Toutefois, ces informations se fondent sur le regroupement de plusieurs ensembles de données recueillies entre 1934 et 2015 à différentes échelles spatiales, parmi lesquelles figurent des données collectées sur le terrain (points GPS), des données obtenues par télédétection (souvent des polygones) et des connaissances techniques. Compte tenu de la nature de ces informations et de l'échelle de temps sur laquelle elles se répartissent, la superficie totale couverte par les herbiers marins pourrait être sous-estimée. À ce jour, leur superficie totale est estimée à 160 387 km<sup>2</sup>, répartis sur 103 pays et territoires (niveau de confiance modéré à élevé), auxquels s'ajoutent 106 175 km<sup>2</sup> supplémentaires, répartis sur 33 autres pays (niveau de confiance faible) (McKenzie et al., 2020).

La diversité des écosystèmes d'herbiers marins rend difficile le suivi de leur emplacement et de leur état de santé au fil du temps. Les prairies de phanérogames sont présentes à de nombreuses gammes de profondeur, de la zone intertidale jusqu'à 80 mètres de profondeur. En outre, elles poussent aussi bien dans des eaux très claires que dans des eaux très turbides. Les prairies sous-marines se caractérisent également par une densité et une diversité variables : ainsi, elles peuvent être constituées de quelques parcelles éparses ou de kilomètres carrés de prairie homogène, et être caractérisées par une seule espèce de phanérogame ou par des terrains mixtes abritant plus de dix espèces différentes (Green and Short 2003).

Il convient d'adopter une approche matricielle coordonnée à l'échelle mondiale afin de parvenir, dans les meilleurs délais,

à cartographier et surveiller les herbiers marins de manière innovante. Cette matrice doit intégrer des approches descendantes et ascendantes (de la télédétection aux mesures sur le terrain) à toutes les échelles spatio-temporelles (de l'échelon local à l'échelon mondial, et de la saison à la décennie). La télédétection (satellites, avions, drones, sonars), seule, risquerait de manquer des informations sur les herbiers marins, notamment des variables susceptibles d'indiquer l'état de l'écosystème (la densité des pousses et la composition des espèces, par exemple), tandis que l'échantillonnage sur le terrain, seul et à l'échelle mondiale, requiert des ressources considérables et peut se heurter à des calendriers variables, à un manque d'uniformité et à des méthodologies différentes. Une fois combinées, les données spatio-temporelles obtenues à partir de ces deux méthodes peuvent fournir des informations cruciales sur l'état de santé et les tendances des écosystèmes d'herbiers marins pour les chercheurs, les responsables politiques et les décideurs, notamment au sein des gouvernements, des entreprises et des communautés locales. Les trois piliers de la matrice visant à réaliser la cartographie et le suivi des herbiers marins à l'échelle mondiale et dans un avenir proche sont la technique, la technologie et les données.

## La technique

Il existe trois principales techniques de cartographie et de suivi des herbiers marins : 1) les techniques optiques, qui utilisent des instruments de télédétection tels que des satellites et des drones ; 2) les techniques acoustiques, qui recourent à des instruments de télédétection tels que les sonars latéraux ; et 3) les techniques de terrain, qui nécessitent de faire de la plongée sous-marine ou avec un tuba, ou d'effectuer un suivi écologique.

### 1) Techniques optiques : satellites et drones

Les techniques d'observation de la Terre, c'est-à-dire la collecte d'informations sur les propriétés biologiques, physiques et chimiques de la planète au moyen de techniques de télédétection, ont évolué au cours des 20 dernières années. Actuellement, la télédétection par satellite peut identifier et cartographier les herbiers marins à des résolutions spatiales de 30 cm à 30 m, des résolutions temporelles de 1 à 17 jours, et des bandes spectrales de 400 à 700 nm (à savoir le spectre électromagnétique visible pour l'être humain). Dans le cadre de ces limites, les satellites permettent d'observer les herbiers marins avec une précision et une fréquence satisfaisantes, à

des profondeurs maximales de 40 m dans la plupart des cas, en fonction de la clarté de l'eau. Le choix du capteur satellite dépend, en fin de compte, de l'ampleur du projet (échelle et surface), des capacités spatiales et temporelles des capteurs, ainsi que des fonds disponibles (Figure 10).

La récente mise au point de drones légers, également appelés Systèmes d'aéronef sans pilote, vient compléter la liste des techniques d'observation de la Terre et s'ajouter aux outils de télédétection disponibles. Les drones ont déjà été utilisés dans une série d'études de suivi des herbiers marins intertidaux (Duffy et al., 2018 ; Konar et al., 2018 ; Nahirnick et al., 2019), qui ont tiré parti de leur résolution spatiale très élevée, souvent inférieure au décimètre, pour un coût relativement faible et avec une grande flexibilité de déploiement et de personnalisation. En outre, la capacité des drones à suivre la même trajectoire à maintes reprises et à recueillir des données au besoin en a fait un outil très utile dans le suivi de routine des écosystèmes d'herbiers marins. Toutefois, les drones capturent des images à une altitude plus basse (l'élévation maximale dépend des autorisations, mais ne dépasse généralement pas les 300 m de hauteur), couvrant ainsi une surface inférieure à celle couverte par les satellites, et requièrent des autorisations spéciales et des permis.

Les drones et les satellites peuvent travailler en synergie : les drones peuvent recueillir des données de référence de haute qualité et à haute résolution pour valider les cartes de prairies sous-marines à résolution plus faible élaborées à partir des

données recueillies par les satellites. Cette approche permet de réduire les coûts associés à la collecte de données de validation sur le terrain (par plongée sous-marine et/ou avec un tuba), augmentant ainsi la viabilité d'un projet donné de cartographie des herbiers marins..

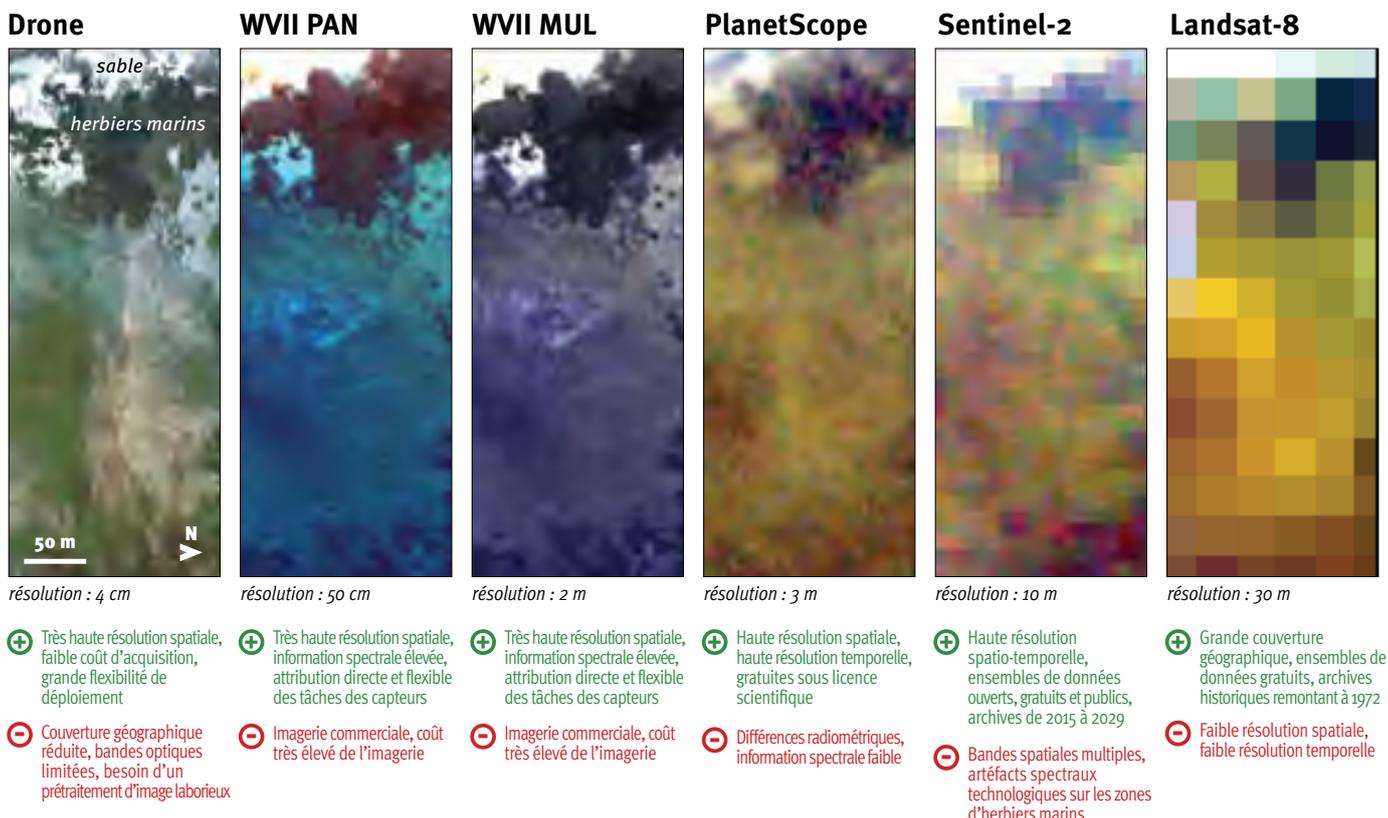
## 2) Techniques acoustiques : sonars latéraux, échosondeurs multifaisceaux et échosondeurs à faisceau unique

Les capteurs acoustiques sont communément utilisés pour cartographier les propriétés physiques et biologiques des fonds marins. Grâce à des techniques à ultrasons, il est possible de cartographier les prairies sous-marines à l'aide d'un équipement acoustique généralement tracté par ou installé sur un bateau. La superficie de la zone étudiée se situe généralement entre celle des méthodes sur le terrain et celle de l'imagerie satellite. Les sonars latéraux sont utilisés pour cartographier les formations d'herbiers marins dans la mer Méditerranée depuis les années 1970 (Newton et Stefanon 1975 ; Meinesz et al., 1981 ; Pasqualini et al., 1998 ; Fakiris et al., 2019), bien qu'il soit difficile de mesurer les densités et les hauteurs de la canopée. Les échosondeurs multifaisceaux figurent parmi les outils acoustiques les plus efficaces, car ils peuvent créer une image tridimensionnelle des prairies sous-marines (Kamatsu et al., 2003). Les échosondeurs à faisceau unique ont été conçus pour étudier la répartition des bancs de poissons et la topographie des fonds marins. De ce fait, ils se sont avérés très utiles pour cartographier la limite inférieure

FIGURE 10

## Les herbiers marins vus du ciel – drones et satellites

Exemple d'images de Lesbos, Grèce. 39°09'30.6"N 26°32'01.8"E



Sources : Topouzelis, K. Université de l'Égée (2018) ; Digital Globe (2018) ; PlanetScope (2018) ; données du satellite Copernicus Sentinel (2018) ; Landsat-8 (2018) Institut d'études géologiques des États-Unis.

## Les réseaux mondiaux de suivi des herbiers marins

Lancé en 1998, **Seagrass-Watch** est un programme mondial de suivi scientifique participatif et d'éducation scientifique. Il s'appuie sur des protocoles normalisés à l'échelle mondiale pour mesurer avec précision l'évolution et les tendances des herbiers marins sur 408 sites répartis dans 21 pays. Afin de garantir la qualité et la précision des données, les évaluations sont essentiellement menées par des scientifiques expérimentés et des praticiens de l'environnement, en partenariat avec l'ensemble de la communauté. L'état d'un herbier marin est évalué à partir de 33 quadrats (50 cm x 50 cm), établis sur des sites de suivi permanents et répétés (d'une surface de 0,25 à 5,5 ha) et sélectionnés dans des prairies représentatives (McKenzie et al., 2003). Le taux de couverture et la composition des espèces sont notamment mesurées, ainsi que la hauteur de la canopée, la couverture des épiphytes, la couverture des macro-algues ou encore la granulométrie des sédiments (McKenzie et al., 2003). En fonction des capacités locales, des mesures supplémentaires peuvent être réalisées sur les fleurs et les fruits des prairies sous-marines, les densités des semences, le paysage marin (par exemple, sa fragmentation), l'herbivorisme, les concentrations en nutriments dans les tissus foliaires, la température et la pénétration de la lumière. La fréquence des évaluations dépend également des capacités locales. Ainsi, elle peut être trimestrielle (tous les trois mois), semestrielle, annuelle ou ponctuelle. Les rapports sur l'état des herbiers marins sont disponibles sur le site internet du programme ([www.seagrasswatch.org](http://www.seagrasswatch.org)) et les résultats sont utilisés aux échelons local et régional pour contribuer à la réalisation des objectifs de conservation et à gérer les menaces.

Le **Global Seagrass Monitoring Network (SeagrassNet)**, lancé en 2001, enquête sur l'état des prairies sous-marines et documente ses conclusions. Dans cette perspective, le programme assure le suivi de 126 sites répartis dans 33 pays.

Il s'appuie sur protocole mondial de suivi dérivé de techniques d'échantillonnage normalisées et utilise un système de transmission des données en ligne ([www.seagrassnet.org](http://www.seagrassnet.org)). Chaque zone surveillée comporte trois transects permanents de 50 mètres avec 12 points d'échantillonnage répétés, l'échantillonnage étant principalement réalisé par les autorités locales et les praticiens de l'environnement jusqu'à quatre fois par an (Duffy et al., 2019). Les paramètres biologiques prennent en compte, entre autres, les espèces, la couverture, la hauteur de la canopée, la biomasse, les fleurs et les fruits, ainsi que l'expansion ou le retrait des prairies ; ils sont mesurés en même temps que la température et la salinité de l'eau, la pénétration de la lumière et les caractéristiques des sédiments. Les résultats de SeagrassNet mettent en évidence l'évolution des herbiers marins à des échelles de temps pertinentes pour leur gestion, tout en éclairant des conclusions scientifiques sur l'état des habitats d'herbiers marins et le besoin urgent d'agir. Au Brésil, le protocole SeagrassNet (adapté) a été adopté comme norme nationale (Copertino et al., 2015).

Le **Système mondial d'observation des océans (GOOS)** et le **Réseau d'observation de la biodiversité marine (MBON)** ont collaboré afin de coordonner ces efforts de suivi mondial des herbiers marins (SeagrassNet et Seagrass-Watch, par exemple) dans le cadre des systèmes de variables essentielles, à savoir les variables océaniques essentielles (VOE) du GOOS et les variables essentielles de biodiversité (VEB) du Réseau d'observation de la biodiversité du Groupe sur les observations de la Terre (GEOBON). L'approche biologique des VOE, y compris des VOE des herbiers marins, vise à créer des communautés de spécialistes dans le monde entier afin de mesurer des variables biologiques clés, comme les herbiers marins, de manière coordonnée et intercomparable au niveau mondial.

de profondeur de répartition des herbiers marins. Toutefois, contrairement aux sonars latéraux et aux échosondeurs multifaisceaux, les échosondeurs à faisceau unique ne couvrent pas l'intégralité du plancher océanique.

### 3) Échantillonnage et suivi sur le terrain

Le suivi de terrain peut fournir des informations sur l'état de santé (état écologique) des prairies de phanérogames, car diverses variables sont recueillies à petite échelle, notamment le taux de couverture, la densité des pousses, la hauteur de la canopée, la biomasse et la composition des espèces, entre autres. Le taux de couverture est la variable la mieux maîtrisée et la plus communément utilisée pour le suivi des herbiers marins. L'étude de la couverture des herbiers marins, qui désigne la surface foliaire projetée horizontalement de la canopée, a de nombreuses applications et peut contribuer à réduire les erreurs d'échantillonnage grâce

à sa simplicité et à sa reproductibilité. Bien que l'estimation de la couverture puisse être subjective, l'utilisation de cartes de référence communes et de procédures d'assurance et de contrôle qualité peut nettement améliorer la précision de cette méthode.

Les réseaux de suivi coordonnés renforcent le pouvoir et l'importance du suivi local en liant les ensembles de données et en normalisant les protocoles, facilitant ainsi les comparaisons dans le temps et l'espace. Ces réseaux permettent de réunir, efficacement et à moindre coût, des données normalisées et comparables sur l'évolution des prairies sous-marines et divers facteurs connexes issues de différentes régions du monde et de manière continue. Il existe de nombreux programmes de suivi des herbiers marins dans le monde, qui recueillent une variété de données sur ces écosystèmes. Une récente enquête mondiale a permis de déterminer que 19 programmes de suivi à long terme des prairies sous-marines étaient actifs (Duffy et

## Données ouvertes sur la répartition des herbiers marins : état des lieux et perspectives d'avenir

À ce jour, les efforts déployés pour réunir des données sur la répartition des herbiers marins ont mené à la création de l'ensemble de données Global Distribution of Seagrasses (Green et Short, 2003 ; UNEP-WCMC et Short, 2003), ainsi qu'à des inventaires régionaux ou nationaux des données détenues par des organisations intergouvernementales, gouvernementales et non gouvernementales (par exemple, la carte à grande échelle du Réseau européen d'observation et de données du milieu marin (EMODNET) sur les habitats des fonds marins, qui comprend des ensembles de données récemment publiés sur les VOE des herbiers marins, des macro-algues et des coraux vivants). Des relevés de points GPS sont également disponibles par l'intermédiaire du Système mondial d'information sur la biodiversité et de la Commission océanographique intergouvernementale (COI) du Système d'informations sur la biodiversité des océans de l'UNESCO, et peuvent être utilisés pour compléter ceux qui se trouvent déjà dans l'ensemble de données mondial. Bien que ces efforts contribuent à renforcer la compréhension de la répartition des herbiers marins, des lacunes restent à combler. À l'exception des séries chronologiques sur l'état

d'herbiers marins spécifiques fournies par des programmes d'observation coordonnés, tels que SeagrassNet et Seagrass-Watch, les séries chronologiques exhaustives et à grande échelle sur l'état des prairies de phanérogames restent rares. Les technologies émergentes ont du mal à refléter toute la diversité des herbiers marins, et leur utilisation, pour peu qu'elle soit régulière, peut vite devenir coûteuse. Les projets à court terme établissent des données de référence essentielles, mais ne fournissent pas, la plupart du temps, les informations cohérentes et à long terme nécessaires pour la prise de décision. Afin de surmonter ces difficultés, le Système mondial d'observation des océans de la COI-UNESCO a entrepris d'élaborer des ensembles de VOE, dont une sur la couverture et la composition des herbiers marins. Les fiches techniques et les protocoles de suivi qui en résulteront permettront de normaliser la collecte de données sur les herbiers marins à l'échelle mondiale, contribuant ainsi à l'élaboration de normes de données et de bonnes pratiques visant à garantir que les inventaires de données nationaux, régionaux et mondiaux puissent être correctement comparés.

al., 2019), les plus importants étant les programmes mondiaux Seagrass-Watch ([www.seagrasswatch.org](http://www.seagrasswatch.org)) et SeagrassNet ([www.seagrassnet.org](http://www.seagrassnet.org)) (voir l'encadré sur les réseaux mondiaux de suivi des herbiers marins). Ces deux réseaux visent à fournir des systèmes de mise en ligne de données actualisées, et mettent à disposition des ressources d'aide au suivi, tels que des manuels ou des protocoles, des guides pratiques et des fiches techniques (McKenzie et al., 2003 ; Short et al., 2006), des bulletins d'information, ainsi que des informations sur les sites de suivi et sur les acteurs du réseau. Lorsque des méthodes normalisées sont employées, les données provenant de différents sites de suivi sont directement comparables et peuvent être utilisées pour évaluer leur état écologique.

### La technologie

Au cours des dix dernières années, l'accroissement de la puissance de calcul du matériel informatique a permis de sensiblement améliorer les deux socles de la cartographie et du suivi par imagerie satellite et aéroportée, à savoir les plateformes informatiques en nuage et l'intelligence artificielle, cette dernière incluant l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond. Ces technologies ouvrent la voie à des techniques très modulables, reproductibles et précises, qui peuvent faciliter la cartographie et le suivi des herbiers marins.

### Les plateformes informatiques en nuage

Les plateformes informatiques en nuage ont émergé et pris de l'ampleur. Elles incarnent une approche innovante des sciences

et de la gestion, fondée sur les « mégadonnées ». Cette approche met l'accent sur l'analyse de volumes importants de données, sur un accès économique et rapide aux données, sur l'importance de disposer de capacités de calcul considérables et sur la visualisation haut de gamme (Goodchild et al., 2012). Ce modèle de « mégadonnées » peut faciliter l'estimation de la surface globale des herbiers marins, mais aussi la transmission d'informations à leur sujet et, par conséquent, renforcer la connaissance des prairies sous-marines. À compter du premier trimestre 2019, quatre grandes plateformes en nuage avaient été développées et mises à disposition pour stocker, traiter, analyser et visualiser des données relatives à l'observation de la Terre : la plateforme Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017), Amazon Web Services (2019), Microsoft Azure (2019) et les services d'accès aux données et à l'information du programme Copernicus de la Commission européenne (2019). En 2018, une nouvelle méthode de travail en nuage a été mise au point et appliquée sur Google Earth Engine afin d'exploiter plus de 1 000 images satellites publiques à haute résolution cartographiant l'étendue des herbiers marins de *Posidonia oceanica*, répartis sur plus de 16 000 km le long du littoral grec, avec une précision globale de 72 % (voir l'étude de cas 2).

### L'Intelligence artificielle

Sans intelligence artificielle, les scientifiques rencontreraient davantage de difficultés pour effectuer et étendre la portée de leurs estimations spatio-temporelles relatives aux herbiers marins. Cette technologie s'appuie sur des programmes ou des modèles non humains capables de résoudre des problèmes

mathématiques sophistiqués. L'intelligence artificielle comprend désormais l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond. Le premier fait référence à un programme informatique qui recourt à des données saisies pour élaborer et appliquer un modèle prédictif. Le deuxième désigne un domaine plus large de l'apprentissage automatique, qui s'inspire de la structure et du fonctionnement du cerveau pour élaborer et mettre en œuvre des réseaux de neurones artificiels. Ces algorithmes et cadres de travail pourraient mener à des innovations révolutionnaires en matière de suivi des herbiers marins axé sur les données, notamment dans les environnements en nuage, grâce a) à une classification plus précise, b) à une meilleure automatisation du traitement et de l'analyse des données, et c) au développement de la détection automatique de l'évolution des herbiers marins.

## Les données

### Les données de référence : données d'apprentissage et de validation

Afin d'analyse des données d'observation de la Terre à l'aide de méthodes d'apprentissage automatique, il convient de calibrer divers algorithmes, ce qui requiert des données d'apprentissage de haute qualité. De telles données peuvent être recueillies grâce à des campagnes de terrain visant à recueillir des observations sur le terrain combinées à des données GPS, ou au moyen d'applications mobiles personnalisées. D'autre part, les images satellites ou aéroportées, géoréférencées et à haute résolution si possible, peuvent servir de cartes de référence à des utilisateurs expérimentés qui élaborent des ensembles de données d'apprentissage sous forme de points spatiaux ou de polygones. La validation de données, ou la vérification de terrain, désigne le processus d'évaluation de la précision et de la qualité des images classées. Les données de validation doivent être représentatives de la population, notamment de ses différentes catégories (même nombre de catégories que pour les données de classification et d'apprentissage). Les ensembles de données de validation peuvent provenir de plusieurs sources, telles que des cartes et inventaires existants, des images en haute résolution prises par des satellites ou des drones, et des sites abritant les herbiers marins (plongée sous-marine ou avec un tuba, ou à pied dans les zones intertidales).

### Les métadonnées

Des métadonnées précises sont une condition essentielle, mais souvent négligée, pour l'utilisation ultérieure des données recueillies, selon le principe d'une seule collecte pour de multiples usages. Les métadonnées fournissent des informations sur chaque bloc de données (source, lieu, période, version et méthodologies) et permettent de les comparer afin de déterminer les possibilités de combinaison et de comparaison en vue d'éclairer les décideurs et élaborer des indicateurs. Des normes mondiales et régionales, à l'instar de la norme ISO 19115 et de la directive INSPIRE, ainsi que diverses plateformes, peuvent recenser les ensembles de données collectées sur

## De la cartographie locale...

### Évolution des prairies sous-marines tropicales et intertidales de Koh Libong, en Thaïlande

Les prairies sous-marines intertidales de Koh Libong font partie des plus grandes prairies de Thaïlande. Elles contribuent à de nombreux services écosystémiques, dans la mesure où elles abritent des pêcheries vitales pour la population locale et constituent des sites d'alimentation pour les dugongs, une espèce menacée de mammifère marin.

Afin d'y étudier l'évolution de la répartition des herbiers marins, une série d'images de télédétection a été prise par le capteur TM du satellite Landsat 5 et le capteur OLI du satellite Landsat 8 tous les cinq ans à partir de 1999. Cette zone a été classée à l'aide d'un système de classification supervisée reposant sur l'apprentissage automatique, tandis que la précision a été évaluée grâce à des données de terrain datant de 2014 et 2019, et à la superposition d'images datant de 1999, 2004 et 2009.

Au cours des années qui ont précédé le tsunami de 2004, l'aire des herbiers marins augmentait à un rythme de 0,94 km<sup>2</sup> par an. De vastes zones (8,85 km<sup>2</sup>) étaient constamment recouvertes de prairies de phanérogames, et seule une petite partie de la prairie marine (2,62 km<sup>2</sup>) a disparu. Après le tsunami (2004-2009), il restait de vastes zones d'herbiers marins (9,3 km<sup>2</sup>), mais une grande partie des prairies a été perdue (6,88 km<sup>2</sup>). Des tendances similaires de déclin (avec un taux de perte de presque 0,6 km<sup>2</sup> par an) ont été détectées jusqu'en 2014, lorsque les prairies sous-marines ont commencé à se rétablir à une vitesse de 0,38 km<sup>2</sup> par an. D'ici 2019, la superficie totale des prairies sous-marines (11,98 km<sup>2</sup>) excédait légèrement les superficies initiales de 1999. Le début de la régression des prairies sous-marines coïncide avec le tsunami indo-pacifique de 2004. Toutefois, les prairies n'ont pas été directement impactées par le tsunami. Il semblerait plutôt que l'élévation du niveau de l'eau ait pu entraîner leur perte.

le terrain disponibles (voir, par exemple, le DEIMS-SDR, un système dynamique de gestion de l'information écologique) et contribuer à l'amélioration de l'accessibilité et la réutilisation des données écologiques. Les normes relatives aux métadonnées communément utilisées pour les données biologiques et écologiques comprennent le Langage de métadonnées écologiques et la norme Darwin Core (Madin et al., 2007). Les cadres de variables essentielles, tels que les variables océaniques essentielles et les variables essentielles de biodiversité, visent à encourager l'utilisation généralisée de ces normes de métadonnées dans les communautés d'observation.

## À la cartographie nationale...

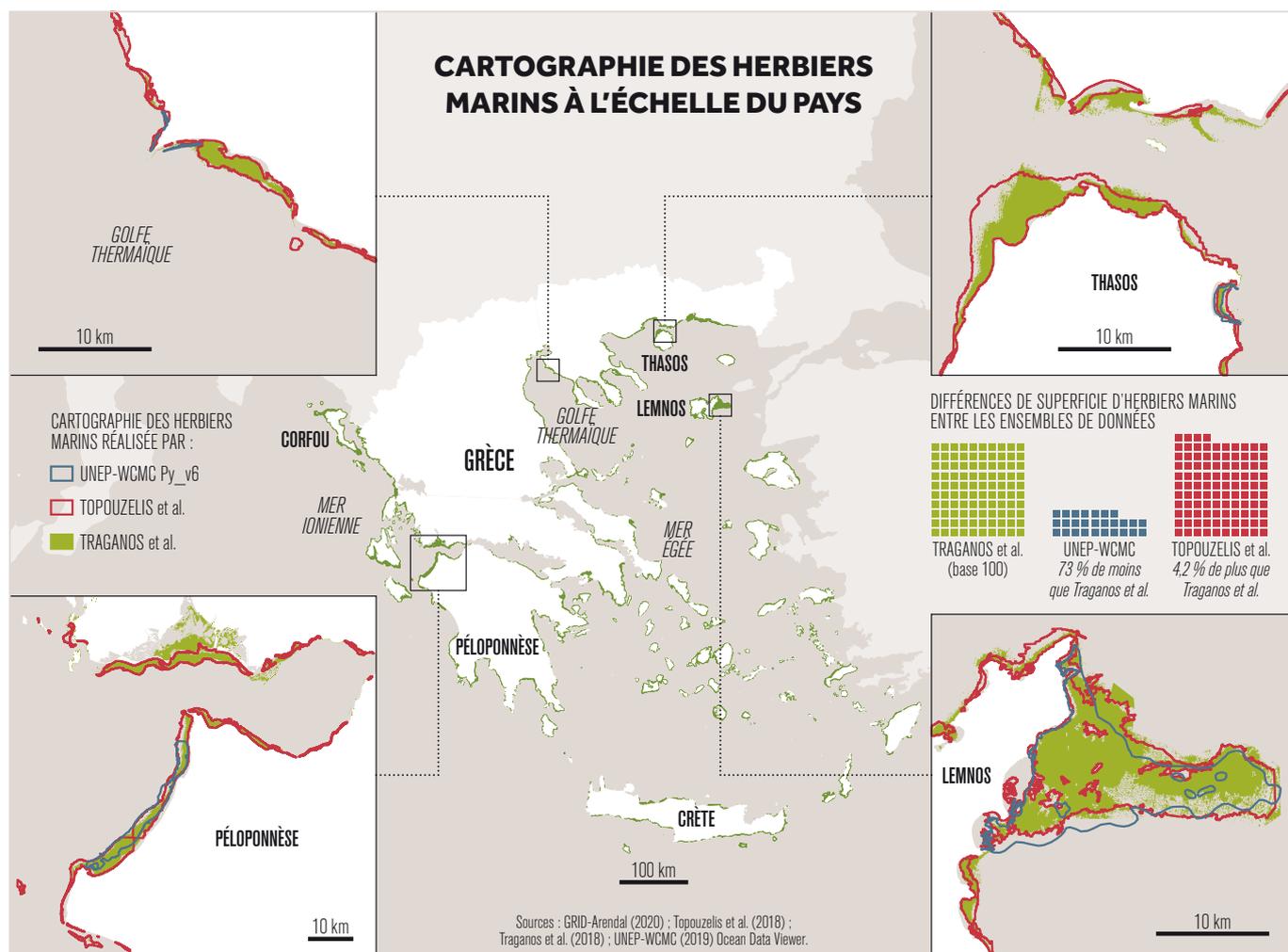
### Les eaux territoriales grecques

Situé dans la biorégion méditerranéenne, le littoral grec s'étend sur environ 16 000 km et comprend plus de 1 400 îles ou îlots, une grande diversité de plages de sable, de rivages rocheux, de falaises, de lagunes côtières et de systèmes deltaïques, ainsi qu'une grande variété d'habitats côtiers, parmi lesquels figurent les herbiers marins subtidaux.

En s'appuyant sur 1 045 images satellites obtenues dans le cadre de la mission Sentinel-2, environ 1 457 polygones de données d'apprentissage et un système de classification fondé sur l'apprentissage automatique, et en les intégrant dans un processus récemment mis au point de cartographie de bout en bout incluant des services d'informatique en nuage, Traganos et al. (2018) ont estimé qu'environ 2 510 km<sup>2</sup> d'herbiers marins tempérés se situaient entre 0 et 40 m de profondeur sur l'ensemble des 40 951 km<sup>2</sup> d'eaux territoriales grecques (Figure 11). D'une manière générale, la précision de la détection des herbiers marins était de

72 %, comme l'a révélé un ensemble indépendant de données de validation sur le terrain. Ces résultats suggèrent qu'il y a 4,2 % d'herbiers marins de moins que d'après les calculs réalisés à l'échelle de la Grèce à l'aide des images satellites du Landsat 8 (Topouzelis et al., 2018). Cet écart s'explique principalement par des différences méthodologiques relatives à la résolution spatiale (10 m d'une part, 30 m de l'autre), ainsi qu'à des approches différentes en matière d'analyse et de classification des données de terrain et des images. Par ailleurs, et plus important encore, l'inventaire de Traganos et al. (2018) intègre environ quatre fois plus d'herbiers marins que les estimations résultant de l'inventaire des herbiers marins de la Grèce (639,5 km<sup>2</sup>) réalisé par l'UNEP-WCMC et Short (2018). Il est possible d'en conclure que ce dernier inventaire sous-estime la surface couverte par les prairies sous-marines, probablement en raison du choix de la source des données et des points GPS, et de l'interpolation des connaissances des experts. De même, cela pourrait indiquer que la répartition des herbiers marins à l'échelle mondiale a été sous-estimée jusqu'à présent.

FIGURE 11



## Aux solutions de cartographie régionale

### Efforts régionaux de cartographie des herbiers marins en Asie

Dans le cadre du projet Ocean Remote Sensing Project (ORSP) pour la cartographie des habitats côtiers de la Sous-Commission de la COI pour le Pacifique occidental (WESTPAC), les herbiers marins ont été cartographiés en analysant les images satellites de la région Pacifique occidentale depuis 2010. À ce jour, les membres de l'ORSP ont cartographié les herbiers marins au Cambodge (Phauk et al., 2012), en Indonésie (Nuridin et al., 2019), au Japon (Tsujimoto et al., 2016), en Malaisie (Hashim et al., 2014), en Thaïlande (Komatsu et al., 2012), et au Viet Nam (Van Luong et al., 2012), après avoir normalisé les méthodes d'analyse des images satellites. Le Plan d'action du Pacifique du Nord-Ouest (NOWPAP), un des programmes relatifs aux mers régionales du Programme des Nations Unies pour l'environnement, a également commencé à cartographier

les herbiers marins par télédétection en Chine, au Japon, en Corée et dans la Fédération de Russie depuis 2016. L'ORSP et le NOWPAP ont décidé d'employer les mêmes méthodes pour cartographier les prairies sous-marines à l'aide d'images satellites. Récemment, les deux organisations ont commencé à élaborer un système automatisé en ligne pour analyser les images satellites dans la région de l'Asie et du Pacifique occidental à l'aide de technologies d'informatique en nuage. Cette méthode de cartographie fondée sur l'informatique en nuage, utilisée aux échelons national et régional, offre une grande flexibilité, notamment en matière de temps, d'espace et de saisies de données. Avec suffisamment de données de validation, cet outil peut être utilisé pour soutenir des efforts et des projets de cartographie et de suivi des herbiers marins à grande échelle dans d'autres zones et biorégions, bien qu'il soit plus adapté aux régions caractérisées par des eaux claires et à certaines espèces.



## Vers une vue d'ensemble de la répartition et de la santé des herbiers marins

En combinant les informations obtenues par des techniques de télédétection et de suivi de terrain, les technologies émergentes et les données de référence existantes ou nouvelles, il est possible de concevoir et d'appliquer des méthodologies normalisées afin d'étudier les sites et l'état des écosystèmes d'herbiers marins à l'échelle mondiale de manière précise, efficace, reproductible et comparable (Duffy et al., 2019 ; Traganos et al., 2018). Les inventaires qui en découleraient renforceraient la compréhension des points de bascule ou des changements de régime des écosystèmes dans l'environnement marin général, ce qui faciliterait potentiellement les prévisions de changements écosystémiques. Ils pourraient en outre renforcer la gestion, la conservation et l'utilisation durable des ressources dans ces régions. Pour atteindre cet objectif, des efforts similaires de cartographie et de suivi à l'échelle mondiale portant sur d'autres habitats marins côtiers, comme Allen Coral Atlas, Global Mangrove Watch et Global Forest Watch, doivent être déployés à des fins de sensibilisation et de renforcement des capacités. Ces plateformes en ligne, qui associent des avancées liées à l'informatique en nuage à l'utilisation d'archives d'images satellites publiques et gratuites, à l'intelligence artificielle et à des données de base adéquates, ont été mise au point en vue de fournir des données de référence et de suivi pertinentes.

La cartographie des herbiers marins à l'échelle mondiale est de plus en plus susceptible de devenir une réalité grâce à l'exploitation des avancées ci-dessus. En utilisant les ensembles de données d'images satellites en libre accès de la mission Sentinel-2, à une résolution spatiale de 10 m, et environ 15 960 tuiles (zone de 100 km x 100 km par tuile) ou 159 600 000 km<sup>2</sup> de mosaïques d'images satellites trimestrielles, les herbiers marins pourraient être cartographiés à l'échelle mondiale en seulement un an. Afin de renforcer de telles mesures de référence et de quantifier les modèles spatio-temporels des herbiers marins, tant passés que futurs, il convient de :

1. mettre au point et normaliser un système algorithmique ;
2. concevoir et recueillir de nouvelles données de référence à l'échelle mondiale pour former et valider les outils d'intelligence artificielle ;
3. renforcer et adapter l'interopérabilité et la complémentarité entre les différentes plateformes en nuage, leurs codes et leurs formats de données ;
4. trouver des méthodes appropriées pour détecter les espèces d'herbiers marins à courte durée de vie, dynamiques, moins denses et profondes.

Combinées aux efforts nationaux et locaux de suivi sur le terrain pour fournir des informations supplémentaires sur la santé des espèces et des écosystèmes, les approches de télédétection peuvent offrir une vision plus complète de l'état et de l'emplacement des écosystèmes d'herbiers marins à l'échelle mondiale.



© Dimitris Poursanidis, Foundation for Research and Technology – Hellas

# TRANSFORMER LA CONSERVATION ET LA COMPRÉHENSION DES ÉCOSYSTÈMES D'HERBIERS MARINS GRÂCE AUX SCIENCES PARTICIPATIVES

Richard K.F. Unsworth, Benjamin Jones, Miguel Fortes, Abbi Scott, Peter Macreadie, Fanny Kerninon, Len McKenzie

As instituições em que os autores estão afiliados são indicadas na página 4

Les individus consignent leurs observations de la nature depuis des siècles (Miller-Rushing et al., 2012). Aujourd'hui, alors que les sciences écologiques se sont professionnalisées, le fait de solliciter des volontaires issu du grand public permet de collecter des données à moindre coût. Ces volontaires forment une main-d'œuvre incontournable, prête à faire le lien entre, d'une part, la science, la politique et la pratique, et, d'autre part, la gestion des ressources naturelles côtières (Jones et al., 2018). Les volontaires s'informent sur l'objet du projet de science participative auquel ils sont formé, ce qui leur permet de communiquer sur son importance au-delà de la seule sphère scientifique. Compte tenu de l'intérêt limité de la société pour les herbiers marins, il convient d'identifier les mesures qui permettront de mobiliser le public en faveur de ces écosystèmes (Duarte et al., 2008).

## Les sciences participatives et les herbiers marins

De nombreux défis majeurs liés à la conservation peuvent être relevés grâce aux sciences participatives. En effet, a) elles permettent de mener à bien des projets scientifiques qui, autrement, ne seraient peut-être pas réalisables pour des raisons d'échelle ou d'autres raisons pratiques et (2) elles offrent au public la possibilité de participer au processus de prise de décision (McKinley et al., 2017). Concernant les herbiers marins, divers programmes d'évaluation et de suivi intègrent de plus en plus les sciences participatives (Jones et al., 2018) (Tableau 3). Près d'un tiers des réseaux actuels d'observation à long terme des prairies sous-marines comprennent, à différents degrés, une composante consacrée aux sciences participatives, à l'instar de Seagrass-



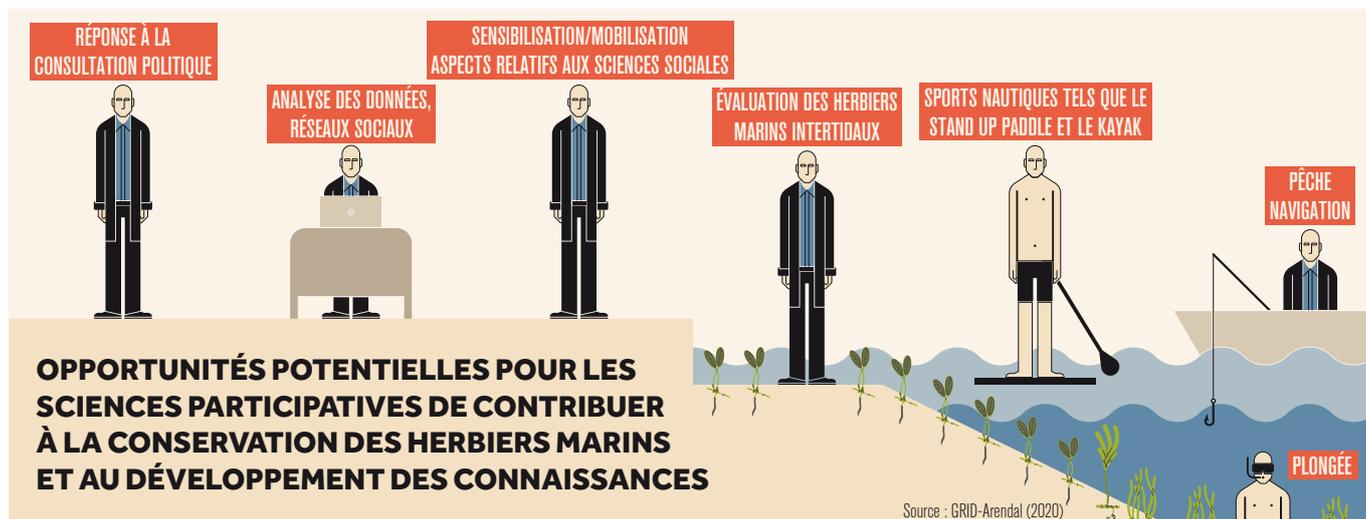
© Dimitris Poursanidis, Foundation for Research and Technology – Hellas

**Tableau 3.** Projets relatifs aux herbiers marins fondés sur ou utilisant les sciences participatives et ayant contribué aux politiques environnementales

Projet	Type de projet	Organisation responsable	Portée	Description de la composante « sciences participatives »	Exemple d'influence sur les politiques et la gestion
<b>Seagrass-Watch</b> <i>seagrasswatch.org</i>	Programme scientifique principal intégrant une composante de sciences participatives et prévoyant la collaboration de volontaires ainsi qu'un engagement citoyen	Seagrass-Watch, Australie	Mondiale	Recours à des groupes de volontaires formés pour recueillir des données de suivi.	Données recueillies par des volontaires de Seagrass-Watch, à l'aide du plan de zonage du parc national Great Sandy (sud du Queensland). À Bantay, aux Philippines, Seagrass-Watch a milité en faveur du Décret 02-01 Ordonnance municipale 04-01 (une ordonnance pour la conservation des herbiers marins dans la municipalité de Puerto Galera).
<b>SeagrassSpotter</b> <i>seagrassspotter.org</i>	Sciences participatives et engagement citoyen	Project Seagrass	Mondiale	Recours à une application mobile et un site Internet où les utilisateurs fournissent des images géoréférencées d'herbiers marins et répondent à des questions élémentaires sur la santé des herbiers et les menaces qui pèsent sur eux.	Transmission de données à l'organisme gouvernemental chargé de la conservation sur les sites d'herbiers marins en Écosse pour aider à la planification de la conservation.
<b>Communityeelgrass mapping initiative</b> <i>www.seagrassconservation.org/conservation</i>	Sciences participatives	Seagrass Conservation Working Group, Colombie-Britannique, Canada	Régionale	Recours à des groupes de volontaires formés pour recueillir des données de suivi.	Utilisation des données de cartographie par le ministère canadien pour analyser la valeur des écosystèmes d'herbiers marins.
<b>Enquête sur les herbiers marins du comté de Sarasota</b>	Sciences participatives et engagement citoyen	Comté de Sarasota, États-Unis d'Amérique	Régionale	Recours à un grand groupe de volontaires pour aider à la réalisation d'une enquête annuelle de suivi.	Création de cartes annuelles des herbiers marins pour aider le programme SWIM du Southwest Florida Water Management District.
<b>Plongée volontaire dans la zone de conservation marine de l'île de Skomer</b>	Sciences participatives	Le Royaume-Uni	Locale	Formation et recours à des volontaires pour aider à la réalisation d'études et de cartographies détaillées sur les herbiers marins.	Les données éclairent l'élaboration des rapports relatifs aux zones spéciales de conservation et sont directement liées à la gestion des zones de conservation marine. Les données sont également envoyées au gouvernement gallois pour appliquer la Section 7 de la loi environnementale galloise de 2016 (Environment Act 2016), qui prévoit l'établissement de rapports sur les espèces et les habitats clés.
<b>Seasearch (Royaume-Uni)</b>	Sciences participatives	Le Royaume-Uni	Locale	Recours à des groupes de volontaires formés pour recueillir des données de suivi.	Aide à la cartographie des herbiers marins dans les zones spéciales de conservation et à la compréhension des impacts au sein de ces zones pour appuyer leur gestion.
<b>Seagrass Ocean Rescue</b> <i>www.projectseagrass.org/seagrass-ocean-rescue</i>	Sciences participatives	Le Royaume-Uni	Locale	Recours à des groupes de volontaires formés pour recueillir du matériel pour des projets de restauration des herbiers marins.	Utilisation des informations pour créer un document d'orientation nationale sur les bonnes pratiques de restauration des herbiers marins.

Source : Adapté de Jones et al. (2018)

FIGURE 12



Watch et SeagrassSpotter (Duffy et al., 2019). En outre, un nombre croissant de projets de recherche et de conservation des prairies de phanérogames prévoit d'intégrer une forme de volontaire (par exemple, TeaComposition H2O ou Seagrass Ocean Rescue). Dans plusieurs régions du monde, des entités gouvernementales ont créé leurs propres programmes de suivi des herbiers marins, sur mesure, et ont nommé des volontaires pour les diriger. L'un des exemples les plus significatifs de ces programmes prend place dans la baie de Sarasota, en Floride, aux États-Unis d'Amérique. Le Southwest Florida Water Management District (département de gestion des eaux du sud-est de la Floride) y a déployé un programme d'amélioration de la qualité et de la gestion des eaux de surface (Surface Water Improvement and Management – SWIM), auquel des centaines de scientifiques citoyens contribuent en recueillant des données sur l'étendue spatiale des herbiers marins en vue de dresser des cartes annuelles des prairies sous-marines. Ces scientifiques citoyens étudient des eaux et

des zones intertidales prédéterminées, qu'ils rejoignent le plus souvent avec leurs propres bateaux. Les données sont recueillies par l'intermédiaire d'une application mobile ou reportées par écrit, sur un support en papier. Les informations disponibles indiquent que les sciences participatives sont plus efficaces lorsqu'elles nécessitent peu d'équipements et de ressources spécialisés (Duffy et al., 2019). Ainsi, les sciences participatives ont tiré parti des technologies de l'information et de la communication, qui leur ont permis d'élargir leur portée. SeagrassSpotter illustre bien ce phénomène, dans le mesure où, à ce jour, cet outil bénéficie de données collectées dans 75 pays et d'observations relatives à 36 espèces grâce à une approche axée sur Internet et les applications mobiles. D'autres programmes, comme l'Indo-Pacific Seagrass Network, qui intègrent des composantes axées sur les volontaires, ont été des pionniers de l'utilisation de Open Data Kit comme plateforme de TIC, facilitant ainsi la collecte rapide des données ainsi que le contrôle de leur qualité.

**Tableau 4.** Exemples de défis en matière de recherche et de conservation que les sciences participatives peuvent contribuer à relever

Sujet	Approche	Activité
Comprendre la phénologie dans le contexte des changements climatiques	Biologique	Identification de la présence de fleurs Comptage des graines dans les sédiments
Comprendre l'étendue et les causes des maladies	Biologique	Apparition de la maladie du dépérissement
La répartition et l'abondance des herbiers marins	Écologique	Présence d'herbiers marins à l'échelon local, régional, national ou mondial Abondance des espèces spécifiques à un site
La biodiversité dans les herbiers marins	Écologique	Présence de poissons dans les herbiers marins Présence d'invertébrés dans les herbiers marins Identification de la grande faune marine dans les herbiers marins
Les menaces et la gestion des herbiers marins	Socio-écologique	Identification des menaces actuelles, p. ex. enquête sur l'amarrage
La déclin historique des herbiers marins	Socio-écologique	Utilisation des connaissances écologiques locales
L'exploitation halieutique	Socio-écologique	Identification de l'exploitation halieutique dans les prairies sous-marines
Les réponses aux changements d'utilisation des sols	Socio-écologique	Suivi des changements dans le temps
La restauration	Biologique	Collecte de matériaux

Source : Adapté de Jones et al. (2018)

## Les sciences participatives au service du changement politique

Les sciences participatives peuvent non seulement aider le grand public à jouer un rôle actif dans la création d'une base de preuves scientifiques destinée à éclairer l'élaboration des politiques, mais aussi lui permettre de mieux comprendre et de surveiller les changements qui s'opèrent autour de lui. Elles peuvent améliorer les politiques de conservation et leurs résultats de deux façons (McKinley et al., 2017). D'une part, il s'agit d'acquérir des connaissances scientifiques, à l'instar de la recherche conventionnelle. Les volontaires aident alors à produire des informations scientifiques à l'intention des spécialistes de la conservation, des responsables des ressources naturelles et de l'environnement, et d'autres décideurs (McKinley et al., 2017). D'autre part, il s'agit de stimuler les contributions et l'engagement du public en faveur de la gestion de l'environnement et des ressources naturelles, et en faveur de l'élaboration des politiques y afférentes. Les volontaires peuvent directement contribuer à la prise de décisions, en mobilisant par exemple les connaissances qu'ils ont acquises dans le cadre d'un projet pour commenter les mesures du gouvernement (Figure 12). Le grand public étant généralement peu renseigné sur les herbiers marins et leur importance, les sciences participatives peuvent servir de levier pour accroître l'influence des volontaires sur l'élaboration des politiques et renforcer ainsi la conservation des prairies sous-marines. Dans le contexte des herbiers marins, de nombreux exemples témoignent des avantages que les politiques publiques pourraient tirer des données recueillies grâce aux sciences participatives (voir le tableau 4).

## Nouer des partenariats en faveur des sciences participatives axées sur les herbiers marins

Bien que de nombreux projets de science participative dépendent de la bonne volonté de membres du public sincèrement intéressés, il convient de trouver des moyens d'augmenter le nombre de participants afin de renforcer l'impact des sciences participatives. Une approche consiste à permettre aux écologistes et aux scientifiques d'établir des partenariats avec des organisations publiques et privées, des entreprises, des clubs et des associations. Il pourrait s'agir, par exemple, de collaborer avec des groupes de scouts et des clubs de jeunes pour entreprendre des activités d'échantillonnage sur le terrain. Cette approche présente l'avantage de permettre un niveau élevé d'organisation des groupes et de garantir le nombre de participants à ces activités. Elle permet en outre de gérer plus facilement la participation des groupes au projet. Les entreprises cherchent de plus en plus, dans le cadre de leurs programmes de responsabilité sociale des entreprises, à permettre à leurs salariés de participer bénévolement à des projets environnementaux, notamment afin d'améliorer leur bien-être (Ondiviela et al., 2014). Le programme HSBC/Earthwatch en collaboration avec l'université Deakin illustre bien ce phénomène. En effet, des membres du personnel de l'entreprise aident l'université en recueillant des données sur le stockage de carbone de plusieurs environnements littoraux. En outre, Project Seagrass a récemment noué un partenariat avec une entreprise internationale de recherche-tourisme afin d'étendre l'utilisation de la plateforme SeagrassSpotter aux volontaires.



© Dimitris Poursanidis, Foundation for Research and Technology – Hellas



---

## CHAPITRE 2

# POLITIQUES PUBLIQUES ET MESURES DE GESTION ENVISAGEABLES

---



# POLITIQUES PUBLIQUES ET MESURES DE GESTION ENVISAGEABLES

Miguel Fortes, Laura Griffiths, Catherine Collier, Lina Mtwana Nordlund, Maricela de la Torre-Castro, Mat Vanderklift, Rohani Ambo-Rappe, Gabriel Grimsditch, Lauren Weatherdon, Steven Lutz, Maria Potouroglou

Les institutions dont dépendent les auteurs sont indiquées en page 4

Les programmes de protection et de restauration des écosystèmes d'herbiers marins peuvent aider les pays à atteindre plusieurs cibles nationales liées aux objectifs de développement durable (ODD), tout en renforçant les économies locales et en honorant de multiples engagements internationaux. Comme expliqué dans le chapitre sur les services écosystémiques des herbiers marins, les biens et les services fournis par les prairies de phanérogames sont indispensables au bien-être de nombreuses communautés côtières. Elles contribuent notamment directement à la sécurité alimentaire, aux économies locales et à la résilience aux changements climatiques. Pourtant, en dépit de leur rôle majeur, les herbiers marins sont rarement la priorité des politiques publiques et des mesures de gestion. Sur l'ensemble des herbiers marins connus recensés, un quart seulement (26 %) se trouve dans des aires marines protégées (UNEP-WCMC et Short, 2018), et on ne recense que quelques exemples d'approches de gestion intégrée qui font référence aux prairies sous-marines de façon explicite et tiennent compte des pressions cumulées qu'elles subissent. De plus, ce niveau de protection n'est pas équitablement réparti entre les différentes biorégions d'herbiers marins, puisque 17 % seulement des prairies de la biorégion indo-pacifique tropicale se trouvent dans des aires marines protégées. En comparaison, 40 % des récifs coralliens d'eau chaude, 43 % des mangroves, 42 % des

marais salés et 32 % des coraux d'eau froide se trouvent dans des aires marines protégées. Par conséquent, les herbiers marins sont l'écosystème marin le moins protégé (tableaux 5 et 6). Certes, le fait de les intégrer à une aire marine protégée ne suffit pas nécessairement à protéger les écosystèmes marins, et de nombreuses aires marines protégées ne sont pas respectées ou ne disposent pas d'un plan de gestion efficace. Néanmoins, ces chiffres montrent bien que les herbiers marins ne sont pas la priorité des politiques publiques et des stratégies de gestion. Pour atteindre les objectifs et les cibles en matière de biodiversité et de développement durable fixés par la communauté internationale pour les dix prochaines années, des politiques et des mesures de gestion intégrées tenant compte des multiples avantages des écosystèmes d'herbiers marins doivent être élaborées et mises en œuvre de toute urgence.

Ces tableaux ont été créés à partir des données disponibles les plus fiables ; ils sont donc susceptibles de contenir des erreurs ou d'être améliorés si de nouvelles données plus fiables sont publiées.

## Cadres politiques

### Programme de développement durable à l'horizon 2030 et objectifs de développement durable (ODD)

Les écosystèmes d'herbiers marins contribuent directement ou indirectement à l'atteinte de la plupart des ODD des Nations Unies et sont essentiels à l'atteinte des cibles relatives aux changements climatiques et à la sécurité alimentaire. Plus concrètement, les avantages découlant de la conservation et de la restauration de ces écosystèmes facilitent la réalisation de 26 cibles et indicateurs de dix ODD, à savoir les ODD 1, 2, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14 et 17 (figure 13). Par exemple, les prairies sous-marines participent à l'atténuation des changements climatiques en séquestrant et stockant le carbone. Elles aident également à atténuer les effets des phénomènes climatiques extrêmes et améliorent ainsi la résilience climatique des communautés locales. En outre, les herbiers marins contribuent à la sécurité économique et alimentaire grâce aux zones de nurserie, qui améliorent le rendement des activités halieutiques, et au tourisme, dont les communautés locales tirent des revenus (voir le chapitre sur les services économiques). Ces approches, lorsqu'on les associe à des subventions économiques telles que les programmes de paiements pour services liés aux écosystèmes (PSE), peuvent fournir des revenus aux communautés locales grâce à un ensemble de solutions naturelles (voir le chapitre

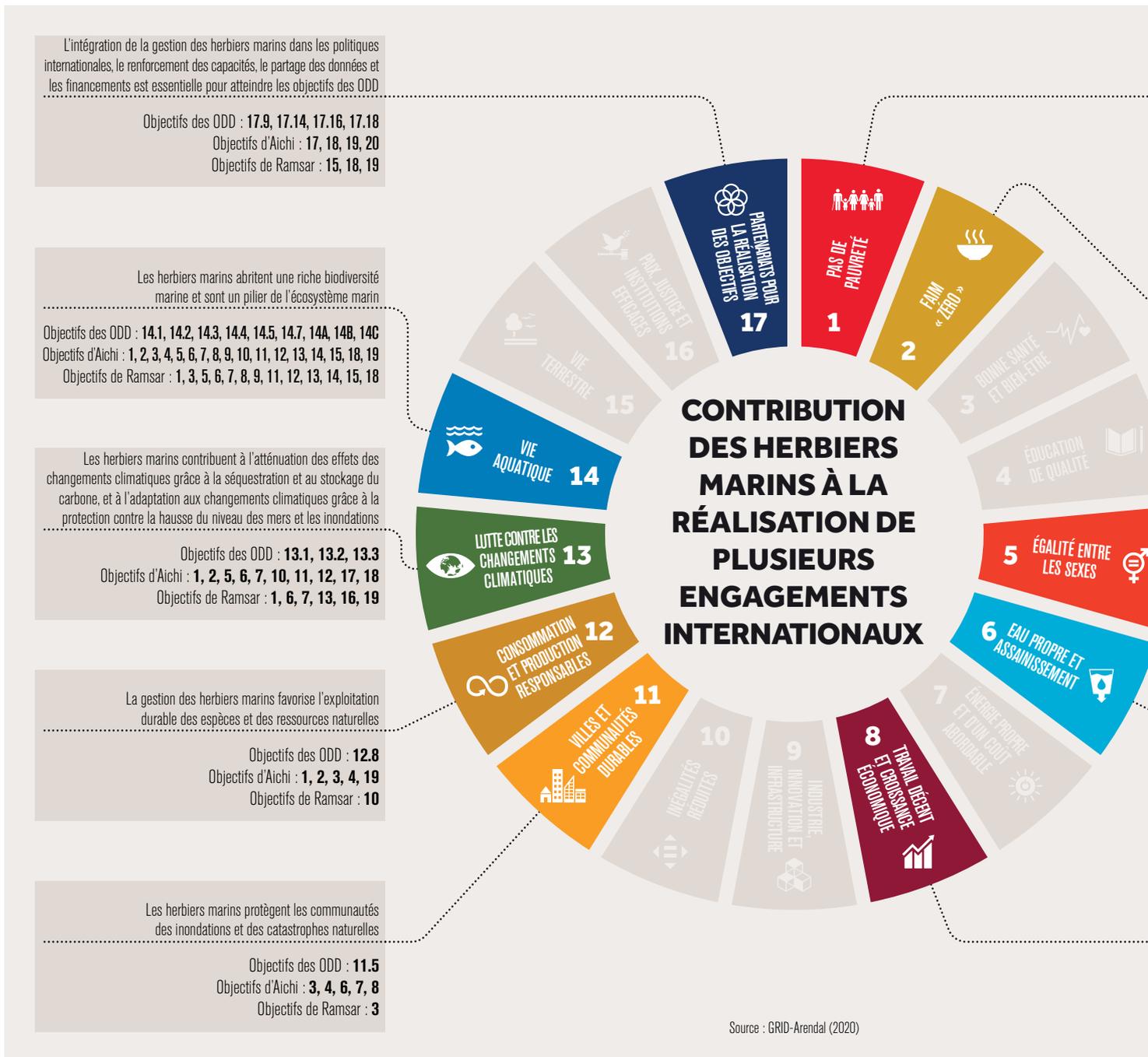
**Tableau 5.** Superficie des différents écosystèmes et présence au sein des aires marines protégées (en pourcentage)

Type d'écosystèmes	Superficie recensée à travers le monde (km <sup>2</sup> )	% situés dans des AMP
Herbiers marins	324 248	26
Mangroves	152 233	43
Marais salés	54 661	42
Coraux d'eau froide	18 993	32
Coraux d'eau chaude	150 045	40

**Tableau 6.** Superficie des herbiers marins par biorégion et présence au sein des aires marines protégées (en pourcentage)

Biorégion d'herbiers marins	Superficie d'herbiers marins recensée (km <sup>2</sup> )	% situés dans des AMP
Méditerranée	25 777	35
Atlantique Nord tempéré	3031	77
Pacifique Nord tempéré	1134	70
Mers du Sud tempérées	19 609	48
Atlantique tropical	108 887	32
Indo-Pacifique tropical	165 663	17

FIGURE 13



sur les incitations financières). Les pratiques de gestion des herbiers marins doivent tenir compte des questions de genre, et notamment des différents savoirs, rôles et besoins des femmes et des hommes, pour favoriser l'égalité des genres au sein des processus de gouvernance et de prise de décision. La conservation et la restauration des prairies peuvent ainsi apporter de nombreux bénéfices aux pays et les aider à honorer les engagements pris au titre de leurs cibles nationales.

### Les objectifs d'Aichi relatifs à la diversité biologique et le cadre mondial pour la biodiversité pour l'après-2020

Sur les 20 objectifs d'Aichi relatifs à la diversité biologique (qui constituent le Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 de la Convention sur la diversité biologique (CDB) et se divisent en cinq buts stratégiques), bon nombre sont liés aux herbiers marins, directement ou indirectement (voir la figure

13). Plusieurs objectifs, en particulier ceux qui concernent l'appauvrissement des habitats naturels (objectif d'Aichi numéro 5), les stocks de poissons et d'invertébrés (objectif d'Aichi numéro 6), la pollution (objectif d'Aichi numéro 8), les aires marines protégées (objectif d'Aichi numéro 11), les services écosystémiques contribuant aux moyens de subsistance et au bien-être (objectif d'Aichi numéro 14) ainsi que la sécurité climatique (objectif d'Aichi numéro 15), font directement référence aux avantages fournis par les herbiers marins ou aux activités qui contribuent à les protéger et à les restaurer. Le Plan d'action 2015-2020 pour l'égalité entre les sexes au titre de la CDB, adopté en 2014 par la Conférence des Parties lors de sa douzième réunion, constitue un important mandat pour les Parties en ce qui concerne l'intégration des considérations relatives au genre ; il comprend également un cadre d'actions renforcé destiné au Secrétariat en vue d'intégrer l'égalité des genres dans quatre domaines de travail (politique générale,

Au moins 1 milliard de personnes vivent à moins de 100 km de prairies sous-marines et leurs moyens de subsistance (pêche, tourisme, etc.) dépendent potentiellement des écosystèmes d'herbiers marins.

Objectifs des ODD : **1.5**  
Objectifs d'Aichi : **1, 2, 14**  
Objectifs de Ramsar : **11**

Les besoins quotidiens en protéines de centaines de millions de personnes dépendent des herbiers marins.

Objectifs des ODD : **2.1, 2.3**  
Objectifs d'Aichi : **3, 4, 7, 8, 18**  
Objectifs de Ramsar : **3, 10**

Les femmes jouent un rôle central dans la gestion et la préservation des écosystèmes d'herbiers marins

Objectifs des ODD : **5.5**  
Objectifs d'Aichi : **14, 18**  
Objectifs de Ramsar : **10**

Les herbiers marins filtrent les nutriments, les polluants et les maladies, et fournissent de l'eau propre

Objectifs des ODD : **6.1, 6.3, 6.6**  
Objectifs d'Aichi : **2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12**  
Objectifs de Ramsar : **1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 12**

Les herbiers marins soutiennent les moyens de subsistance issus de la pêche et du tourisme

Objectifs des ODD : **8.9**  
Objectifs d'Aichi : **2, 6, 7**  
Objectifs de Ramsar : **1, 13**

organisation, prestation et groupes cibles). Les zones humides côtières, telles que les herbiers marins et les mangroves, sont également mentionnées dans les stratégies et plans d'action nationaux pour la diversité biologique (SPANDB) et les rapports nationaux élaborés par les pays, et peuvent également jouer un rôle dans leur mise en œuvre. Les SPANDB et les rapports nationaux visent à dresser l'état actuel de la biodiversité et à définir les stratégies et les actions nécessaires pour la protéger et utiliser ses composantes de façon durable, conformément à la CDB et à la Vision à l'horizon 2050 pour la diversité biologique consistant à « Vivre en harmonie avec la nature ». Par ailleurs, des consultations sont actuellement menées pour élaborer le cadre mondial pour la biodiversité pour l'après-2020 ; ces consultations sont l'occasion d'encourager une gestion efficace des herbiers marins et des écosystèmes associés au moyen d'objectifs SMART (spécifique, mesurable, réalisable, pertinent et limité dans le temps).

## Reconnaissance des herbiers marins et des autres écosystèmes côtiers et marins dans les contributions déterminées au niveau national

**197** : pays ont signé l'Accord de Paris

**185** : pays ont communiqué leurs CDN (en 2019)

**64** : pays font référence aux écosystèmes côtiers et marins dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques et de l'atténuation de leurs effets

**64** : pays font référence aux écosystèmes côtiers et marins dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques

**34** : pays font référence aux écosystèmes côtiers et marins dans le contexte de l'atténuation des effets des changements climatiques

**21** : pays ont fixé des cibles mesurables pour les écosystèmes côtiers et marins

**45** : pays font référence aux mangroves dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques et de l'atténuation de leurs effets

**10** : pays font référence aux herbiers marins dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques et de l'atténuation de leurs effets \*

**8** : pays font référence aux herbiers marins dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques

**5** : pays font référence aux herbiers marins dans le contexte de l'atténuation des effets des changements climatiques

**1** : pays a fixé une cible mesurable incluant les herbiers marins

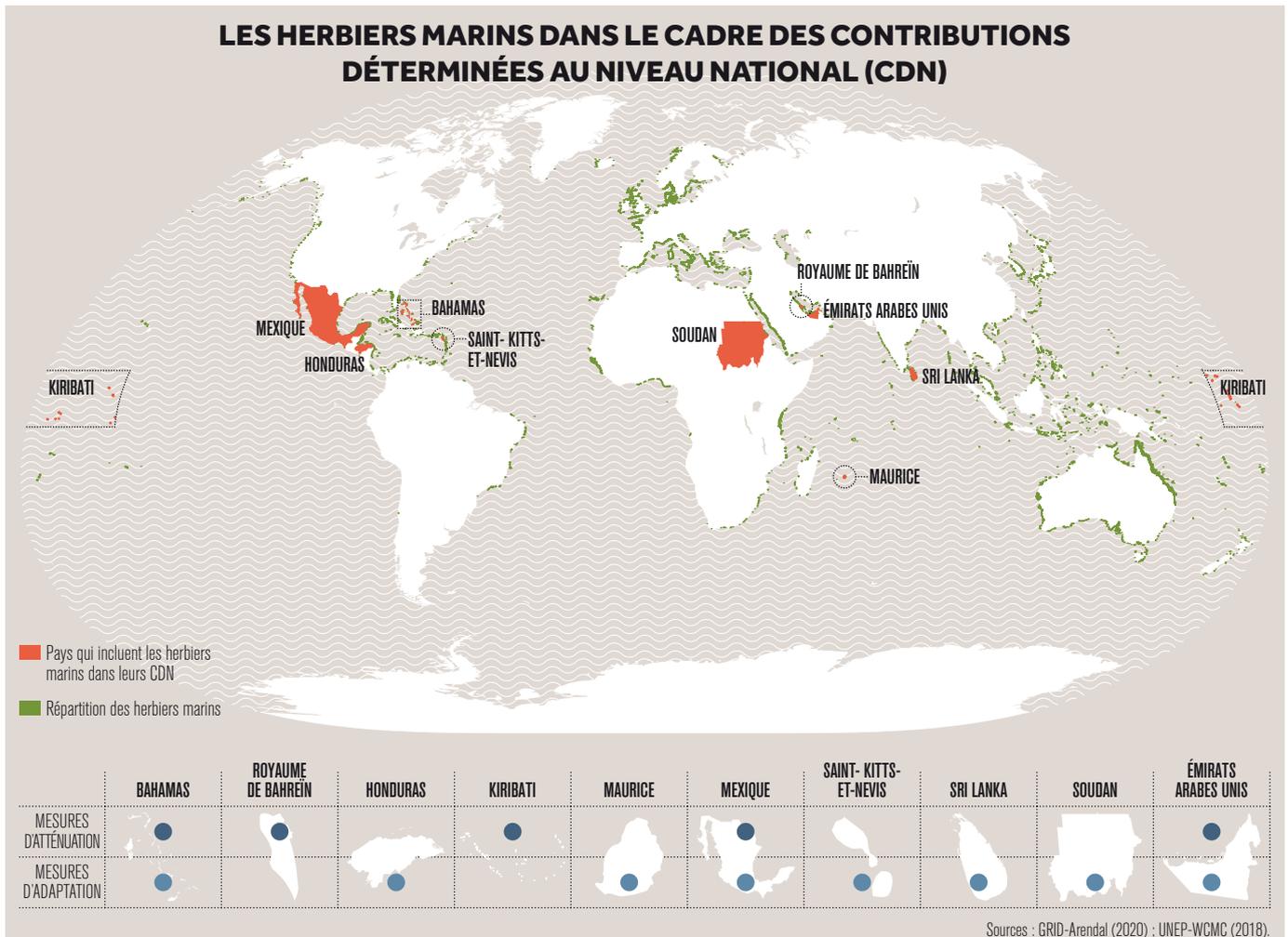
\* voir l'annexe pour plus de détails sur ces CDN

### Accord de Paris et contributions déterminées au niveau national

Les herbiers marins sont une excellente solution naturelle d'adaptation aux changements climatiques (Potouroglou et al., 2017) et d'atténuation de leurs effets (Fourqurean et al., 2012). Dans le contexte de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), plusieurs accords internationaux fournissent des cadres pertinents pour la question des herbiers marins. Par exemple, le Protocole de Kyoto, un traité international qui est entré en vigueur en 2005, a défini plusieurs mécanismes. L'un des points les plus intéressants concerne la mise en place d'un système d'échange international de droits d'émission de carbone, notamment par l'intermédiaire du mécanisme pour un développement propre prévu dans le protocole, qui permet aux investisseurs de financer des projets de réduction

FIGURE 14

## LES HERBIERS MARINS DANS LE CADRE DES CONTRIBUTIONS DÉTERMINÉES AU NIVEAU NATIONAL (CDN)



des émissions de gaz à effet de serre. L'Accord de Paris, qui a été adopté en 2015 et signé en 2016, promeut encore davantage la mise en œuvre de mesures d'atténuation des changements climatiques et vise à contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et à poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C. L'un des principaux instruments de l'Accord de Paris est l'élaboration de contributions déterminées au niveau national (CDN), qui incarnent les actions définies par chaque pays pour réduire ses émissions. Pour élaborer leurs CDN, les pays doivent procéder à un inventaire national des gaz à effet de serre ; à cette fin, le GIEC a publié un ensemble de directives pour favoriser la prise en compte des gaz à effet de serre dans les zones humides, qui incluent les herbiers marins. À l'instar des autres écosystèmes côtiers stockant du carbone bleu (par exemple, les mangroves et les marais salés), ces valeurs sont prises en compte par les pays dans leur CDN. En 2016, Martin et al. a noté que 28 pays reconnaissaient l'importance des écosystèmes côtiers stockant du carbone bleu du point de vue de l'atténuation des effets des changements climatiques, et que 59 pays faisaient référence aux écosystèmes côtiers dans le contexte des stratégies d'adaptation. En septembre 2019, on estime que, dans leurs CDN, 64 pays faisaient référence aux écosystèmes côtiers et marins dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques et de l'atténuation de leurs effets. Sur ces 64 pays, seulement dix

mentionnaient les herbiers marins de façon explicite ; huit y faisaient référence en lien avec l'adaptation aux changements climatiques et cinq en lien avec l'atténuation de leurs effets, sans nécessairement inclure de cible mesurable. Pour l'instant, un seul pays a inclus une cible mesurable faisant référence aux écosystèmes d'herbiers marins dans ses CDN. Ainsi, les Bahamas ont fixé un objectif de protection de 20 % du milieu marin côtier du pays d'ici à 2020. Ces zones protégées visent à préserver et protéger les habitats servant aux agrégations de frai des mérous et des bananes de mer, les récifs coralliens, les prairies de phanérogames, les mangroves servant de nurserie et les zones importantes pour la conservation des oiseaux migrateurs. Il convient de reconnaître le rôle essentiel des herbiers marins dans l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de leurs effets pour élaborer des politiques capables de protéger et de restaurer ces écosystèmes. Le fait d'associer ces bénéfices aux autres avantages économiques fournis par les herbiers marins et à des subventions (voir le chapitre sur les incitations financières) pourrait favoriser des actions durables à long terme aux fins des CDN.

### Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe

En plus de capter et de stocker le carbone, les herbiers marins contribuent à protéger les populations et les infrastructures



côtières des risques liés aux phénomènes climatiques extrêmes comme les ondes de tempête et les inondations (Duarte et al., 2013 ; Ondiviela et al., 2014). En atténuant les effets de ces phénomènes, les prairies sous-marines permettent également de limiter les pertes économiques, conformément aux objectifs du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe. Bien que les solutions naturelles ne soient pas particulièrement mises en avant, le Cadre mentionne bien la nécessité de « renforcer, dans une optique de durabilité, l'exploitation et la gestion des écosystèmes et de mettre en œuvre des stratégies intégrées de gestion de l'environnement et des ressources naturelles tenant compte de la nécessité de réduire les risques de catastrophe » (Nations Unies, 2015).

### **Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030) et Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable (2021-2030)**

Ces deux Décennies des Nations Unies, qui ont été proclamées par l'Assemblée générale des Nations Unies le 1er mars 2019 dans sa résolution 73/284, sont l'occasion idéale d'attirer l'attention sur la protection et la restauration des écosystèmes d'herbiers marins, et d'encourager les financements dans ce domaine. L'objectif de la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030) est, entre

autres, d'appuyer et d'intensifier les efforts visant à éviter, enrayer et inverser la dégradation des écosystèmes dans le monde et à sensibiliser à l'importance d'une restauration réussie des écosystèmes, y compris les écosystèmes côtiers et marins. Pour atteindre les objectifs de la Décennie, les parties prenantes peuvent inclure les herbiers marins dans leurs engagements et leurs actions. Le principal objectif de la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable (2021-2030) est d'appuyer les efforts visant à inverser le cycle de déclin de la santé des océans et à rassembler les acteurs du secteur océanique à travers le monde autour d'un cadre commun qui permettra aux sciences océaniques d'aider pleinement les pays à créer de meilleures conditions pour le développement durable des océans. Les prairies de phanérogames étant un habitat marin essentiel, il convient de les inclure dans cette démarche.

### **Convention de Ramsar sur les zones humides**

La Convention de Ramsar est un accord international qui promeut la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides, lesquelles incluent les herbiers marins. Sa résolution XIII.20, adoptée en 2018 lors de la Conférence des Parties contractantes à la Convention, vise expressément à promouvoir la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides intertidales et des habitats associés sur le plan écologique, et fait référence aux herbiers marins de façon explicite.

## Résolutions de l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement

Bien qu'aucune des résolutions adoptées par l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement ne concerne expressément la gestion durable des écosystèmes d'herbiers marins, plusieurs résolutions sont liées à ces derniers, notamment la résolution 4/11 sur la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres, la résolution 4/12 sur la gestion durable pour la santé des écosystèmes mondiaux de mangroves ainsi que les résolutions 2/12 et 4/13 sur la gestion durable des récifs coralliens. Même si elles ne mentionnent pas explicitement les écosystèmes d'herbiers marins, de nombreux facteurs responsables de leur dégradation sont cités dans ces résolutions, qui exhortent les États membres à prendre les mesures nécessaires pour remédier aux multiples facteurs de stress agissant en synergie. Afin de faire progresser les politiques internationales relatives aux écosystèmes d'herbiers marins, il conviendrait de faire adopter par l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement une résolution portant spécifiquement sur la gestion durable des herbiers marins.

## Stratégies régionales, nationales et locales

Bien que les herbiers marins ne soient pas spécifiquement au centre des politiques publiques et des mesures de gestion, certaines stratégies régionales, nationales et locales ont permis d'améliorer la protection de ces écosystèmes. Une analyse récemment menée à l'échelle mondiale a identifié 20 études de cas couvrant cinq des six biorégions d'herbiers marins et mettant en exergue l'ensemble des pressions potentielles et

des structures de gouvernance (Griffiths et al., 2019). Cette analyse a déterminé que les cadres de gestion devaient reposer sur des approches plus transversales, être intégrés au sein des juridictions et s'inscrire dans la transition mondiale en cours vers des économies maritimes globales, inclusives et durables.

## Stratégies régionales

- Dans l' **Union européenne**, l'Annexe I de la directive « Habitats » fait référence de façon explicite aux herbiers marins, qui peuvent ainsi être désignés comme « zones spéciales de conservation », mais aussi comme « éléments de qualité biologiques » ou indicateurs de la santé globale des écosystèmes dans la directive-cadre sur l'eau de l'Union européenne. Une récente étude réalisée par de los Santos et al. (2019) fait état d'un ralentissement de la disparition de la plupart des espèces de phanérogames marines des eaux européennes. Elle indique que la tendance s'est même inversée pour les espèces à croissance rapide et que la surface occupée par les prairies sous-marines a augmenté au cours des années 2000.
- Dans la **région des Caraïbes**, la Convention de Cartagena est le seul traité environnemental contraignant au niveau régional ; il inclut un Protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées (SPAW), qui a été signé en 1990. Ce protocole a notamment pour objectif de « mobiliser la volonté politique et les actions des gouvernements et d'autres partenaires en faveur de la conservation et de l'utilisation durable des récifs coralliens et des écosystèmes associés, tels que les mangroves et les herbiers marins » et de « communiquer efficacement sur la valeur et l'importance des récifs coralliens,



des mangroves et des herbiers marins, y compris sur leurs services écosystémiques, les menaces qui pèsent sur leur durabilité et les actions nécessaires à leur protection » (PNUE, Programme pour l'environnement des Caraïbes).

- En **Asie de l'Est**, des plans d'action nationaux ont été élaborés en faveur des herbiers de la mer de Chine méridionale et du golfe de Thaïlande, y compris en ce qui concerne la législation requise pour préserver les zones d'habitat importantes à l'échelle nationale (PNUE et Fonds pour l'environnement mondial, 1999).
- Le **Mémorandum d'entente sur la conservation et la gestion des dugongs et de leurs habitats dans l'ensemble de leur aire de répartition** (qui est entré en vigueur le 31 octobre 2007) vise à promouvoir une action internationale coordonnée afin de garantir la survie à long terme de ces animaux et des prairies sous-marines qui constituent leur habitat dans l'ensemble de leur aire de répartition. Il concerne 46 États de l'aire de répartition, en Afrique, en Asie et en Océanie (Dugong and Seagrass Conservation Project).

### Stratégies nationales

- En **Inde**, les herbiers marins font partie des zones vulnérables sur le plan écologique, conformément à la notification de 2011 relative à la Réglementation des zones côtières (Coastal Regulation Zone) (Ramesh et al., 2018).
- En **Nouvelle-Zélande**, la gestion des prairies sous-marines est inextricablement liée à celle des estuaires et des écosystèmes côtiers. Une approche écosystémique holistique est donc mise en œuvre pour gérer ces systèmes et leurs bassins de drainage (Turner et Schwarz, 2006).

- En **Australie**, la gestion des récifs de la Grande Barrière repose sur plusieurs politiques et programmes, notamment les Reef 2050 Cumulative Impact Management Policy and Net Benefit Policy (politiques Corail 2050 sur la gestion des effets cumulés et sur le bénéfice net), adoptées en juillet 2018. Les politiques Reef 2050 incluent les herbiers marins dans leur Programme de suivi et de rapport intégré.
- En Indonésie, un plan d'action national a été élaboré pour favoriser la conservation des dugongs et des herbiers marins.

### Stratégies locales

- Dans le **Maryland, aux États-Unis d'Amérique**, le Clean Water Act, les Watershed Implementation Plans et la collaboration entre des administrations fédérales, des organismes de l'État, des collectivités locales et des organisations scientifiques (le Chesapeake Bay Program) ont favorisé la réduction des nutriments présents dans la **baie de Chesapeake**, permettant ainsi de restaurer les herbiers marins de l'estuaire. Leur surface a augmenté de 5 % entre 2016 et 2017, et une amélioration globale de 32 % a été enregistrée depuis 1986.
- Dans la **baie de Tampa, en Floride, aux États-Unis d'Amérique**, les acteurs locaux et régionaux collaborant dans le cadre du Tampa Bay Estuary Program (TBEP) ont fixé des objectifs chiffrés de protection et de restauration des prairies de phanérogames, des cibles relatives à la transparence de l'eau et des taux annuels de charge d'azote. Ces objectifs et cibles ont été définis à l'issue d'un processus en plusieurs étapes reposant sur la coopération des secteurs public et privé qui a abouti à la formation d'un partenariat public-privé ad hoc, connu sous le nom de Tampa



© Dimitris Poursandis, Foundation for Research and Technology – Hellas

Bay Nitrogen Management Consortium (TBNMC). La surface couverte par les herbiers marins a augmenté de plus de 65 % depuis les années 1980 ; en 2014, l'objectif de restauration fixé en 1996 a même été dépassé (Greening et al., 2016).

## Mesures de gestion

Afin d'atteindre efficacement les objectifs fixés par les politiques en vue de garantir l'avenir durable des herbiers marins, plusieurs mesures et outils de gestion sont disponibles aux niveaux national, régional et mondial. Les responsables politiques et les décideurs peuvent envisager de mettre en œuvre les mesures clés suivantes :

- **Élaborer des plans d'action nationaux en faveur des écosystèmes d'herbiers marins.** À l'heure actuelle, très peu de pays ont élaboré des plans visant spécifiquement à protéger et à gérer les écosystèmes de phanérogames, alors que bon nombre d'entre eux disposent de plans nationaux relatifs aux récifs coralliens et aux écosystèmes des mangroves. L'élaboration de plans nationaux de gestion des herbiers marins, fixant des cibles en matière de protection et de santé de ces écosystèmes, représente une étape importante en vue de leur protection et de leur gestion durable. Les plans d'action nationaux en faveur des herbiers marins doivent être liés aux CDN de l'Accord de Paris, aux cibles de la CDB et aux ODD, et contribuer à leur réalisation. Par ailleurs, ces plans doivent être correctement intégrés et tenir compte des liens existant entre les herbiers marins et les autres écosystèmes à proximité (récifs coralliens, mangroves, forêts de kelp ou marais salés, par exemple).
- **Élaborer des plans de gestion intégrée des zones côtières ou des plans de gestion de l'espace marin incluant des mesures de gestion des herbiers marins.** Les stratégies de planification spatiale qui tiennent compte des consultations des parties prenantes et interministérielles favorisent l'élaboration de mesures de gestion plus globales et efficaces le long de l'interface terre-mer et qui diminuent le cumul de pressions pesant sur les herbiers et les écosystèmes associés.
- **Mettre en œuvre des mesures de gestion des pêches fondées sur les écosystèmes.** Adopter l'approche écosystémique des pêches de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) permet d'intégrer la protection des habitats qui contribuent à la viabilité des pêches, en mettant l'accent sur la réduction des pressions exercées sur les phanérogames et les espèces associées, et en diminuant ou en abandonnant l'utilisation d'engins de pêche destructeurs (Garcia et al., 2003).
- **Établir des zones interdites à la pêche ou fermer certaines zones à certaines périodes pour stimuler la production larvaire et réduire les pressions exercées sur les zones dégradées.** Ces interdictions et fermetures doivent être décidées en collaboration avec les communautés et de manière concertée, afin de renforcer l'adhésion des populations et d'accroître l'efficacité de ces mesures.
- **Renforcer la protection explicite des prairies sous-marines dans les zones protégées.** Les aires marines protégées, les aires marines gérées localement ou d'autres mesures efficaces de conservation par zone qui visent spécifiquement à protéger les herbiers marins et les écosystèmes associés ont des chances d'être plus efficaces pour garantir la conservation de ces écosystèmes.
- **Remédier aux facteurs directs et indirects de la dégradation des herbiers marins.** Pour enrayer la dégradation des herbiers et promouvoir leur restauration, les mesures de gestion doivent tenir compte des facteurs nécessaires pour renforcer la résilience de ces écosystèmes et éviter les « changements de régime » qui nuisent profondément à leur capacité de restauration. Les mesures qui favorisent la diversité génétique, la diversité et les caractéristiques biologiques des espèces, la connectivité des écosystèmes et la continuité des habitats (et évitent leur fragmentation) peuvent contribuer à la résilience des écosystèmes d'herbiers marins. Par exemple, pour remédier aux problèmes de qualité de l'eau dus aux charges en matières nutritives, il est notamment possible de traiter les eaux usées, de lutter contre la déforestation en amont ou de diminuer l'utilisation d'engrais agricoles. De même, la gestion des eaux de ballast contribue à réduire le risque d'introduction d'espèces invasives dans les herbiers marins. Si ces facteurs de dégradation ou de fragmentation des écosystèmes, qui diminuent la résilience des herbiers marins, ne sont pas pris en considération, les initiatives de restauration ont peu de chances d'être efficaces (Unsworth et al., 2015).
- **Investir dans la restauration des écosystèmes d'herbiers marins.** Bien que le nombre de tentatives de restauration des herbiers marins soit relativement faible, une analyse de 1 789 tentatives réalisées a déterminé que la réussite de ce type d'entreprise dépendait de plusieurs facteurs, notamment de l'élimination des menaces ainsi que de la proximité – et la restauration – d'herbiers donneurs (van Katwijk et al., 2015). Le choix du site joue également un rôle important, à l'instar des techniques de plantation (la plantation à grande échelle peut augmenter le taux de survie des plantes). Non seulement la restauration des écosystèmes d'herbiers marins est bénéfique à l'échelle locale grâce aux services écosystémiques associés (en matière d'alimentation et de protection du littoral, par exemple), mais elle contribue également à l'atteinte des cibles mondiales, notamment celles associées à la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes.
- **Instaurer une télédétection et une surveillance régulières sur le terrain des herbiers marins.** Cette stratégie peut aider à suivre l'efficacité des mesures de gestion adoptées en identifiant les tendances interannuelles et en favorisant la gestion adaptative et la planification des activités futures. La surveillance peut également contribuer à définir des ambitions en matière de développement durable, à suivre les

avantages associés aux services écosystémiques et à rendre compte des engagements nationaux pris dans le cadre des cibles mondiales.

- **Multiplier les campagnes de sensibilisation et les programmes d'éducation.** Le fait de sensibiliser davantage les communautés locales et les touristes à l'importance des écosystèmes d'herbiers marins favorise le respect des mesures de gestion et permet de mettre en exergue le caractère emblématique de ces écosystèmes, trop souvent méconnus.
- **Encourager l'utilisation des savoirs écologiques traditionnels et locaux lors de l'élaboration des stratégies de gestion.** La cogestion avec les riverains des écosystèmes d'herbiers marins ou des aires protégées qui les abritent permet de mener des programmes plus efficaces et complets.

Pour être efficaces, ces mesures doivent être envisagées aux échelles et niveaux de gouvernance adaptés, et leurs stratégies de mise en œuvre doivent être bien comprises (analyse de l'état initial, gestion adaptative, participation des parties prenantes, par exemple). Le caractère inclusif et la répartition équitable des impacts, privilèges et possibilités (par exemple en ce qui concerne les rôles liés aux genres et l'accès aux ressources) sont des éléments importants qui doivent également être pris en considération. Par ailleurs, différents facteurs biorégionaux, politiques, culturels et spécifiques aux espèces déterminent le choix des méthodes les plus à même d'inciter les responsables politiques et les décideurs à mettre en œuvre des mesures de gestion qui réduisent les répercussions sur les écosystèmes d'herbiers marins. Chaque situation nécessite donc d'examiner attentivement divers facteurs socioécologiques (Coles et Fortes, 2001).

## Adopter des pratiques justes de conservation des herbiers marins

Dans le secteur maritime, le concept de justice est une question émergente, mais essentielle pour les décideurs, les chercheurs et les professionnels (Bennett, 2018 ; Jentoft, 2019; Martin et al., 2019). Des programmes relatifs à la « croissance bleue » sont élaborés sur la base des nombreuses perspectives économiques offertes par les océans, mais des craintes émergent concernant la marginalisation des populations côtières, de la pêche artisanale et des femmes. Le concept de « justice bleue » se développe en parallèle en réponse à ces évolutions économiques. La justice est inconsciemment associée à ce qui est perçu comme équitable et correct par les membres d'une société. Elle possède à la fois une composante formelle liée au droit et une composante informelle liée à la morale, à l'éthique et à l'idéologie. Compte tenu de la complexité de ce concept et des débats qui l'entourent, la justice doit être appliquée dans le secteur maritime en général et du point de vue des herbiers marins en particulier. Garantir la justice dans les systèmes socioécologiques des herbiers marins est un moyen prometteur d'améliorer la gouvernance, la gestion, la conservation et la pérennité de ces systèmes. Non seulement le fait d'intégrer la notion de justice dans les processus de gouvernance et de gestion augmente la probabilité de leur application et de leur efficacité, mais c'est également souhaitable d'un point de vue éthique et moral.

Dans le cas des herbiers marins, au moins trois niveaux de justice peuvent être dégagés :

1. la justice individuelle (par exemple, garantir les droits d'usage des femmes qui pêchent des invertébrés dans les prairies sous-marines) ;
2. la justice sociale (par exemple, gestion et législation en faveur d'une communauté côtière qui recourt aux herbiers marins pour satisfaire ses besoins quotidiens en protéines) ;
3. la justice environnementale (application du principe de justice aux non-humains [Nussbaum, 2006] et prise en compte de la valeur intrinsèque des herbiers marins).

L'objectif principal est de garantir l'existence de systèmes socioécologiques d'herbiers marins productifs sur le long terme. Pour y parvenir, il convient de garantir des pratiques justes pour les écosystèmes et les populations. La valeur intrinsèque des herbiers marins doit être préservée, et les activités et les besoins des personnes doivent être pris en compte et étayés par une profonde considération pour la nature. Lorsque les activités humaines sont nombreuses et que les populations dépendent des services et des biens fournis par les herbiers marins, il est possible de mettre en œuvre une « gestion inclusive » (de la Torre-Castro, 2019) et/ou d'autres approches pour promouvoir efficacement la justice. La diversité des individus qui utilisent ces ressources (hommes et femmes pratiquant la pêche, personnes âgées, enfants, responsables, chefs d'entreprise, hôteliers, touristes, etc.) doit être prise en considération et incluse dans tous les processus.

Pour garantir la justice dans les systèmes socioécologiques d'herbiers marins, il faut notamment :

- investir des ressources appropriées afin d'acquérir une connaissance approfondie des systèmes socioécologiques spécifiques d'herbiers marins, et définir des objectifs clairs ainsi que l'étendue des considérations liées à la justice à prendre en compte ;
- atteindre tous les acteurs essentiels du système socioécologique d'herbiers marins, en particulier en cas de forte dépendance aux ressources, et prendre en compte expressément les différences, les rôles, les activités et les dynamiques de pouvoir liés aux genres ;
- renforcer la légitimité des processus en accordant une importance adéquate aux différents acteurs ;
- créer des institutions qui garantissent un juste accès aux herbiers marins ainsi qu'aux biens et services qu'ils fournissent ;
- tenir compte de la valeur intrinsèque des prairies sous-marines et de leur valeur pour l'humanité ;
- adapter les plans de gestion et/ou la législation aux personnes vulnérables.



---

**CHAPITRE 3**

**INCITATIONS  
FINANCIÈRES**

---





# INCITATIONS FINANCIÈRES

Mark Huxham, Christopher J. Brown, Richard K.F. Unsworth,  
Milica Stankovic, Mat Vanderklift

Les institutions dont dépendent les auteurs sont indiquées en page 4

## Quelles sont les sources actuelles d'investissement en faveur de la conservation des herbiers marins ?

La protection et la restauration des herbiers marins relèvent de deux grands domaines d'investissement, à savoir a) la conservation et b) l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs effets. Si ces domaines sont généralement indépendants, ils peuvent cependant être regroupés. Ces domaines étant vastes et complexes, les occasions qu'ils fournissent et les contraintes qu'ils imposent sont souvent mal comprises. Leur développement propre est dû à différents facteurs, qui sont eux-mêmes multidimensionnels et complexes. À titre d'exemple, tandis que les accords intergouvernementaux définissent un programme général, et que les gouvernements et les institutions financières déterminent le montant des fonds disponibles, les activités de restauration sont souvent réalisées par de petits groupes d'individus. L'enjeu est donc d'y voir clair dans cet enchevêtrement complexe d'acteurs et de ressources afin d'obtenir des résultats optimaux en matière de protection et de restauration des herbiers marins.

Démêler cette complexité passe par la reconnaissance de la forte dichotomie entre investissements publics et privés, qui peuvent cependant s'associer. Aux fins du présent rapport, le terme « investissement » désigne globalement tout type de contribution financière, qu'elle soit accompagnée de contreparties telles que des remboursements ou

### Fonds pour l'environnement mondial

Le site Internet de l'initiative Coral Reef Funding Landscape ([www.coralfunders.com](http://www.coralfunders.com)) constitue une source d'information très utile sur les investissements en faveur de la conservation des coraux, des herbiers marins et des mangroves. Il héberge un ensemble de données sur 314 projets ; le Fonds d'affectation spéciale du Fonds pour l'environnement mondial est sa principale source de financement. Le Fonds pour l'environnement mondial fait office de mécanisme financier pour de nombreuses conventions protégeant l'environnement, et aide les pays à s'acquitter de leurs obligations au titre, entre autres, de la CDB et de la CCNUCC. Depuis 1994, il a mobilisé plus de 1,05 milliard de dollars pour plus de 40 projets de conservation et de restauration des herbiers marins.

des rendements financiers, ou qu'elle n'entraîne aucune contrepartie financière, par exemple, les subventions. À l'échelle mondiale, il existe des fonds publics importants ayant pour vocation d'aider les pays, en particulier les pays en développement, à remplir leurs obligations au titre d'accords et de traités internationaux, comme les ODD, les objectifs d'Aichi relatifs à la diversité biologique, le Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris. Citons, entre autres, le Fonds pour l'environnement mondial (voir encadré) et le Fonds vert pour le climat (<https://www.greenclimate.fund/who-we-are/about-the-fund>), créé dans le but d'aider financièrement les pays, en particulier les pays les moins avancés et les petits États insulaires en développement, à honorer leurs engagements dans le cadre de l'Accord de Paris.

Certaines organisations intergouvernementales octroient des fonds publics supplémentaires pour soutenir les initiatives de leurs États membres dans des régions spécifiques. Ainsi, le Climate Finance Access Hub du Commonwealth (<http://thecommonwealth.org/climate-finance-access-hub>) accorde des fonds aux États membres (actuellement au nombre de 53) pour les aider à faire face aux changements climatiques, y compris pour lever des financements auprès de sources telles que le Fonds vert pour le climat.

Par ailleurs, de nombreux pays ont créé des fonds publics afin d'atteindre des objectifs spécifiques dans les domaines du climat et de la conservation, tant à l'échelle nationale que dans le cadre de l'aide publique au développement, en vue de soutenir des activités à l'étranger. Certains pays suivent le schéma classique des fonds issus de donateurs, par exemple l'aide bilatérale, c'est-à-dire l'octroi de ressources pour la réalisation d'activités sans attendre de rendement financier direct en retour. Cependant, les efforts se multiplient pour créer des interactions financières plus innovantes susceptibles de mobiliser davantage d'investissements, comme la conversion de créances en investissements écologiques, qui suscitent un ensemble renouvelé d'attentes.

Réunis, ces fonds publics représentent des financements s'élevant à des dizaines de milliards de dollars. Mais, d'après les estimations, la réalisation des objectifs mondiaux en matière de conservation et de climat nécessite des centaines de milliards, voire des milliers de milliards de dollars (Huwyler et al., 2014). Par conséquent, des efforts significatifs ont été consentis pour mettre au point des mécanismes facilitant les investissements privés des particuliers et des entreprises. La philanthropie en est peut-être la manifestation la plus simple. À l'instar des

fonds publics, les dons ne s'accompagnent généralement pas de l'attente explicite d'un rendement financier, même s'ils sont parfois motivés par le besoin de mettre en œuvre des stratégies de responsabilité sociale des entreprises. Si la philanthropie joue un rôle important dans certains contextes, les ressources qu'elle mobilise sont, en général, comparativement minimales (Huwylar et al., 2014).

La compensation des atteintes à la biodiversité (ou atténuation compensatoire) peut représenter une autre source de fonds. Elle prévoit que les entités (particuliers, gouvernements ou entreprises) qui entreprennent des interventions ayant des effets néfastes sur la nature versent une compensation financière qui servira à restaurer ou à renforcer des écosystèmes similaires situés dans d'autres pays. Dans certaines juridictions, comme aux États-Unis d'Amérique, au Royaume-Uni et dans certains États australiens, la compensation est une composante obligatoire ou facultative des processus de planification (Bull et al., 2013). Il convient de noter que la « compensation des atteintes à la biodiversité » se distingue de la compensation des émissions de carbone, décrite ci-après.

Le financement représente une source croissante, et potentiellement très importante, d'investissements ; dans ce cas, l'octroi d'argent (ou d'actifs) s'accompagne explicitement d'un ensemble d'attentes sous forme de rendements financiers directs ou indirects. Les modalités sont nombreuses, allant de simples prêts remboursables à l'achat de biens et de services spécifiques (Vanderklift et al., 2019). Plusieurs rapports publiés par des institutions financières suggèrent que ce domaine présente un fort potentiel de développement (Suttor-Sorel, 2019). À titre d'exemple, d'après les projections de la Société financière internationale, membre du Groupe de la Banque mondiale, il suffit que 21 pays honorent leurs obligations au titre de l'Accord de Paris pour ouvrir la voie à de nouveaux investissements s'élevant à 23 mille milliards de dollars d'ici à 2030 (Société financière internationale, 2016).

Certains mécanismes financiers sont déjà en place, mais sont actuellement peu sollicités pour assurer la protection et la restauration des herbiers marins. De nouveaux mécanismes doivent être créés, ce qui exigera des réformes structurelles. Ainsi, le « capital naturel », à savoir toutes les ressources vivantes et non vivantes des écosystèmes qui rendent des services écosystémiques aux populations, n'est généralement pas explicitement pris en compte dans les transactions commerciales (par exemple, le bois provenant des forêts de mangroves) ; il en résulte un déclin progressif de ce capital et, par conséquent, de la valeur qu'il génère. Ce phénomène, dû au défaut de perception et de prise en compte de la valeur des écosystèmes naturels qui offrent des biens et des services, est dénommé « défaillance du marché » (Guerry et al., 2015). Les conséquences en sont nombreuses, y compris la création de problèmes dont la résolution est nettement plus onéreuse que les revenus générés par les transactions originales (comme le coût de la réparation des infrastructures à la suite d'une tempête, lesquelles auraient pu être protégées par des mangroves).

## En quoi consistent les mécanismes de paiement pour services liés aux écosystèmes ?

Les PSE sont un type d'investissement prometteur. Ils reposent sur le principe selon lequel le bénéficiaire achète des biens et des services écosystémiques en reconnaissant la valeur du capital naturel qui en est la source. L'argent versé par l'acquéreur d'un service écosystémique est perçu par les personnes chargées de le produire ou de le maintenir. Le concept est simple et, si son application est récente, il ne date cependant pas d'hier (Gómez-Baggethun et al., 2010). La mise en œuvre des mécanismes de PSE n'est pas chose aisée, et le concept a par ailleurs fait l'objet de vastes débats théoriques (Hejnowicz et al., 2015). Dans son ouvrage, Wunder (2005) apporte des éclaircissements utiles et déterminants, et définit les cinq piliers des mécanismes de PSE :

1. une transaction volontaire, dans le cadre de laquelle les prestataires négocient avec les acheteurs ou les intermédiaires. Cela sous-entend que les prestataires sont (politiquement, culturellement et économiquement) libres de faire des choix ;
2. un service écosystémique clairement défini (plutôt que la simple « conservation » d'un habitat) ;
3. les paiements émanent d'au moins un acheteur de services écosystémiques ; ces paiements sont généralement de type monétaire mais peuvent adopter d'autres formes ;
4. au moins un prestataire responsable de la fourniture du service écosystémique ;
5. la conditionnalité ; les paiements ne sont effectués que si les services sont fournis. Par conséquent, le respect des objectifs négociés fait généralement l'objet d'un suivi dans le cadre des PSE.

Les services écosystémiques marchandisés les plus fréquents sont la séquestration et le stockage de carbone, la biodiversité (généralement à des fins touristiques), la protection du paysage, ainsi que les services hydrologiques tels que la propreté de l'eau et la régulation des inondations. Parmi eux, le marché le plus vaste et développé est celui du carbone. Étant donné que les herbiers marins fournissent l'ensemble de ces services, il est nettement plus envisageable d'appliquer les PSE à leur conservation et à leur restauration.

En théorie, les PSE peuvent présenter des avantages économiques et éthiques par rapport à d'autres approches plus traditionnelles du financement de la conservation, telles que les projets descendants faisant appel à des donateurs. Sur le plan économique, la conditionnalité est davantage susceptible d'accroître l'efficacité de l'allocation de ressources que de simples transferts d'espèces. Sur le plan éthique, les inégalités propres aux transactions peuvent être mises en évidence (par exemple, des prestataires, souvent comparativement pauvres, maintiennent le flux des services destinés à des bénéficiaires comparativement riches et ce, sans compensation d'aucune sorte), et éclairer la prise de décisions. En dépit de ces avantages et du nombre croissant de documents stratégiques et universitaires qui insistent sur la possibilité d'appliquer les

PSE aux écosystèmes côtiers (Locatelli et al., 2014 ; Hejnowicz et al., 2015), les exemples d'initiatives abouties dans ce domaine demeurent rares.

## **Vers un financement axé sur les paiements pour services liés aux écosystèmes**

En raison de l'importance de l'atténuation des effets des changements climatiques sur la scène politique internationale, et de la marchandisation généralisée du carbone, l'application la plus courante des PSE est l'échange de crédits d'émission de carbone (également appelé « compensations ») sur les marchés du carbone. D'une manière générale, ces opérations s'effectuent sur les marchés réglementés ou volontaires.

Les marchés réglementés (également appelés marchés de conformité) imposent certaines lois ou réglementations, comme le plafond d'émissions de gaz à effet de serre auquel doit se conformer une entreprise. Ils existent sous diverses formes, comme les programmes de plafonnement des émissions et d'échange de droits d'émission, en vertu desquels la compensation des émissions de carbone peut être achetée et vendue afin d'atteindre la neutralité réglementaire. En général, ils concernent les grands émetteurs et favorisent les solutions peu coûteuses. D'ordinaire, les solutions naturelles (dont la restauration des herbiers marins) ne figurent pas parmi les options les plus économiques et, de ce fait, ne représentent

pas une part importante de ces marchés. Les marchés réglementés encadrent les activités au sein d'une juridiction donnée (comme le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne), mais les marchés du carbone étant internationaux, les mesures d'atténuation des émissions ne sont pas tenues de se conformer à une juridiction.

Le mécanisme pour un développement propre, institué par le Protocole de Kyoto, fournit un cadre international aux transactions sur lesquelles repose la compensation du carbone. D'une manière générale, son objectif consistait à faire en sorte que les financements disponibles dans les pays développés soutiennent les efforts d'atténuation des effets des changements climatiques dans les pays en développement. Les projets de reboisement ont prédominé, en particulier dans les habitats terrestres, et dans une moindre mesure dans les mangroves, mais les herbiers marins ont été laissés de côté en raison des coûts élevés des transactions et de l'incertitude liée à leur efficacité dans la réduction des émissions de carbone.

En 2007, la Conférence des parties à la CCNUCC a adopté le Plan d'action de Bali, à l'origine du lancement du programme REDD+, que l'on connaît aujourd'hui comme « l'ensemble des initiatives et des politiques visant à réduire les émissions générées par le secteur forestier dans les pays en développement » (Angelsen et al., 2018). Le programme, qui privilégie le maintien et l'amélioration des stocks de carbone



© Dimitris Poursanis/ Foundation for Research and Technology – Hellas

des écosystèmes plutôt que la plantation de nouveaux arbres ou forêts, était conçu à l'origine comme une forme de PSE. Les projets REDD+ sont plus susceptibles de stimuler la gestion du carbone bleu à l'avenir que les premiers protocoles de boisement et de reboisement du mécanisme pour un développement propre. Le fait d'éviter la destruction des habitats qui stockent le carbone bleu peut rapidement donner des résultats positifs (si les taux de destruction sont élevés et entraînent la perte de carbone stocké dans le sol), tandis que la restauration ou la création d'habitats est généralement un projet au long cours qui, dans un premier temps, n'augmente que modestement le taux de carbone stocké. À l'heure actuelle, la plupart des projets de REDD+ continuent d'être centrés sur les forêts, bien que le supplément sur les zones humides du GIEC intègre des méthodes standard pour les herbiers marins et d'autres zones humides de carbone bleu. Le programme REDD+ et les mesures d'atténuation appropriées au niveau national instaurées par la plateforme de Durban ouvrent la voie à la réglementation des investissements internationaux en matière de conservation des herbiers marins. Néanmoins, ils doivent d'abord être formalisés, et plusieurs obstacles politiques, financiers et techniques doivent être surmontés à cette fin. Si tel est le cas, il est probable que le financement de la conservation des herbiers marins axé sur ces mécanismes fasse appel à une forme ou une autre de PSE, ou à des programmes plus classiques financés par l'État ou des donateurs. Les projets REDD+ actuels fournissent quelques précisions sur la portée et les enjeux du développement du carbone bleu. Quelque 350 projets REDD+ sont en cours dans 53 pays. Parmi eux, environ un tiers a déjà vendu des crédits de carbone, tandis qu'un autre tiers s'est abstenu de générer des crédits, préférant avoir recours à d'autres sources de financement, telles que l'aide bilatérale (Angelsen et al., 2018). Cet exemple est édifiant et montre que les marchés de droits d'émission de carbone sont atones.

L'existence des marchés volontaires est due à la décision de certains émetteurs (particuliers, organisations ou entreprises) de réduire les émissions pour des raisons qui leur sont propres. Celles-ci sont diverses, allant de l'acquisition d'un avantage compétitif à l'amélioration de la perception de la marque, en passant par l'adhésion à un ensemble de valeurs liées à la durabilité. Avec moins de 1 % des transactions (Hejnowicz, 2015), les marchés volontaires sont nettement moins développés que les marchés réglementés, mais offrent de nouvelles solutions plus souples, innovantes et mieux adaptées aux contextes locaux. Par ailleurs, la compensation du carbone sur les marchés volontaires repose généralement sur des prix plus élevés que sur les marchés réglementés, en partie en raison de l'inclusion d'avantages connexes (à savoir, des avantages autres que l'atténuation des émissions de carbone), comme l'amélioration des moyens de subsistance et la conservation de la biodiversité, auxquels souscrivent les acheteurs intervenant sur ces marchés. Les solutions naturelles étant populaires sur les marchés volontaires, les projets de boisement et de reboisement sont nombreux (y compris pour les mangroves). Des organisations tierces délivrent des accréditations indépendantes aux projets et mettent au point des méthodes

garantissant la rigueur et la transparence des processus. Plusieurs méthodes visant la restauration des herbiers marins sont en cours d'élaboration, dont la Verified Carbon Standard (qui relève de Verra, une organisation faitière).

## **Exemples de projets communautaires ciblant les herbiers marins et fondés sur des paiements pour services liés aux écosystèmes**

Le tableau 7 présente des exemples de projets portant ou centrés sur la conservation des herbiers marins, auxquels participent les communautés locales et/ou qui intègrent des éléments de PSE. Ces exemples sont extraits de publications, de sites Internet, et de consultations auprès d'experts, mais ne constituent qu'un échantillon et ne sauraient être représentatifs de l'ensemble des projets existant. Le tableau inclut des projets menés dans des pays développés et en développement ; dans certains cas, les PSE sont envisagés mais ne sont pas encore en place. Si certains projets satisfont à une partie ou à la plupart des critères définis par Wunder (2005), aucune initiative communautaire faisant appel à des PSE ne semble viser principalement les herbiers marins ou remplir tous les critères.

À titre d'exemple, aux Fidji, dans le cadre des PSE relatifs au tourisme dans les récifs, les herbiers marins sont cités comme éléments du paysage marin, mais ne constituent jamais l'axe central de ces mécanismes (Sykes et al., 2018). Ces derniers prévoient que les touristes contribuent financièrement à la conservation des habitats marins qu'ils explorent en s'adonnant à la plongée sous-marine ou à la randonnée palmée. Aux Fidji, la propriété des terres et de l'espace marin relève d'un système traditionnel, et la population vit en rapport très étroit avec l'environnement, ce qui facilite les activités de conservation à l'échelon communautaire. Le rôle économique important du tourisme dans les récifs facilite également la mise en place des PSE. La présence de longue date des organisations non gouvernementales spécialisées dans la conservation a permis l'acquisition de l'expertise technique et des capacités nécessaires pour trouver des sources de financement et développer des projets basés sur des PSE ou des mécanismes similaires, bien qu'à l'heure actuelle aucun ne se concentre sur les herbiers marins. Certaines communautés mettent en place des projets de restauration des récifs et des zones de pêche, financés au moyen de PSE, ce qui laisse à penser que ces initiatives pourraient s'étendre à la restauration des herbiers marins.

Au Kenya, Mikoko Pamoja, un projet communautaire en cours ciblant les mangroves et utilisant des PSE, fournit un autre exemple (Huff et Tonui, 2017). L'initiative, qui prévoit de s'étendre au carbone des herbiers marins en 2019, permet d'entrevoir les possibilités et les enjeux propres aux projets de protection des herbiers marins financés par des PSE. Le projet illustre la possibilité de regrouper les services écosystémiques et le carbone des herbiers marins avec les écosystèmes des mangroves afin de promouvoir une approche intégrée de la

**Tableau 7.** Exemples de projets de conservation et de restauration des herbiers marins à assise communautaire, financés par des paiements pour services liés aux écosystèmes, et ciblant explicitement les herbiers marins

Projet	Objectifs	Description	Participation des communautés	Utilisation des paiements pour services liés aux écosystèmes	Attention accordée aux herbiers marins	Source
Mikoko Pamoja, Kenya	Conservation des mangroves et herbiers marins avec bénéfices locaux.	Mécanisme de PSE qui assure la vente des crédits de carbone liés à la conservation des mangroves, et vise à intégrer les crédits liés aux prairies sous-marines.	Élevée.	Élevée (mais le mécanisme n'est pas encore en place)	Moyenne (regroupement avec les mangroves)	www.aces-org.co.uk
Accords de conservation marine, Fidji	Premièrement, soutenir les activités touristiques, notamment la plongée sous-marine ou la randonnée palmée, et l'observation de la mégafaune. Deuxièmement, garantir la sécurité et la sûreté (p. ex., les établissements touristiques contrôlent l'accès aux plages ou limitent l'accès aux zones de plongée à la pêche sous-marine). Un projet inclut la restauration des mangroves à des fins de compensation des émissions de carbone.	Un rapport de la Société pour la conservation de la faune sauvage indique que 56 voyageurs des Fidji participent aux accords de conservation marine. Les dispositions de ces accords correspondent généralement aux caractéristiques des PSE définies par Wunder (2005). La plupart étant centrés sur les activités touristiques en lien avec les récifs et la mégafaune, la protection des herbiers marins est accessoire.	Alta. Les membres des communautés participent à tous les accords de conservation marine.	Élevée. De nombreux accords de conservation marine prévoient des paiements ou d'autres incitations économiques destinés aux communautés locales. Certains accords étaient des ententes informelles entre les voyageurs et les communautés, tandis que d'autres étaient officiellement reconnus par le gouvernement.	Faible à moyenne. Les herbiers marins sont protégés s'ils font partie du paysage marin des récifs. Aucune activité touristique centrée spécifiquement sur les herbiers marins n'a été signalée.	Sykes et al., 2018
Réserve marine de Waitabu, île Taveuni, Fidji	Entreprise d'écotourisme en tant que source d'emplois et de revenus pour les communautés locales.	L'entreprise d'écotourisme est gérée par une coopérative communautaire locale. Elle emploie les membres de la communauté et les fonds excédentaires sont versés à cette dernière.	Élevée.	La communauté locale gère l'entreprise sous forme de coopérative. L'entrée est payante pour les touristes ou les groupes d'étude. Les services écosystémiques sont en lien avec le tourisme/la culture. La communauté assure les services et surveille l'aire marine protégée.	Faible à moyenne. Les prairies sous-marines sont explicitement reconnues comme des éléments du paysage marin inclus dans cette zone protégée.	Sykes et al., 2018

Tableau 7 (suite)

Projet	Objectifs	Description	Participation des communautés	Utilisation des paiements pour services liés aux écosystèmes	Attention accordée aux herbiers marins	Source
Ataúro, projet d'écotourisme, Timor-Leste	Encourager la gestion communautaire des ressources naturelles via les aires marines gérées localement.	Les écotouristes logent chez les habitants et paient des droits d'accès, générant des revenus qui sont destinés à la cartographie des herbiers marins et à la gestion des aires marines gérées localement.	Élevée.	Faible.	Élevée.	Piludu 2010,
Parc national du Banc d'Arguin, Mauritanie	Conservation de l'habitat marin, en particulier en tant que zone de nurserie, pour la pêche commerciale.	Paiements de l'Union européenne en contrepartie de l'accès aux zones de pêches mauritaniennes.	Faible. Accord souscrit par le gouvernement.	Élevée (mais sans conditionnalité).	Moyenne (les herbiers marins sont des habitats clés).	Binet et al., 2013
Entretien de la plage, Tarquinia Lido, Italie	Analyse des coûts et des bénéfices d'un projet d'entretien de la plage qui couvre les dégâts subis par les herbiers marins.	Analyse de la valeur actuelle nette d'un programme utilisant du sable dragué pour « alimenter » une plage touristique, la conclusion étant qu'un PSE serait utile pour atténuer les dégâts subis par les herbiers marins.	Faible.	Moyenne (l'utilisation des PSE est hypothétique)	Élevée.	Martino et al. 2015
Tourisme côtier, île Pai, Indonésie	Mobilisation de ressources financières pour maintenir les écosystèmes côtiers, notamment les sites de ponte des tortues.	L'île Pari, dans l'archipel de Seribu en Indonésie, est une destination prisée des touristes étrangers, ce qui accroît la pression sur les ressources naturelles. Il est suggéré que les touristes contribuent financièrement à la conservation des habitats.	Faible.	Moyenne (l'utilisation des PSE est hypothétique)	Faible.	Hidayati et al., 2018
Baie de Jobos, réserve nationale et centre de recherche sur les estuaires, Porto Rico	Restauration des prairies sous-marines et des mangroves endommagées par des ouragans et promotion de la résilience de la nature.	Projet de restauration géré par l'Ocean Foundation et financé en partie par des contributions sous forme de compensations de « bienveillance » (sans certification de crédits) pour le carbone vendu sur le site Internet SeagrassGrow.	Faible.	Moyenne (les compensations de « bienveillance » constituent une source de financement).	Élevée (herbiers marins et mangroves).	www.oceanfdn.org/calculator

Tableau 7 (suite)

Projet	Objectifs	Description	Participation des communautés	Utilisation des paiements pour services liés aux écosystèmes	Attention accordée aux herbiers marins	Source
Écotourisme scientifique et plongée, parc national marin de Wakatobi, Sulawesi, Indonésie	Promotion de la santé des récifs et des écosystèmes associés en établissant des zones interdites à la pêche et à la collecte.	Une entreprise de plongée et d'écotourisme scientifique verse une compensation aux communautés locales au titre de la « location des récifs ». Les pêcheurs locaux acceptent de ne pas exploiter les zones protégées.	Média.	Élevée (mais assortis d'une conditionnalité limitée)	Faible (l'accent est mis sur les récifs coralliens)	Clifton, 2013
Koh Libong, Thaïlande	Conservation de plus de 1 000 hectares d'herbiers marins en ayant recours au financement d'une entreprise privée (compensation des émissions de carbone).	La Thailand Greenhouse Gas Management Organization supervisera un projet, financé par la compensation du carbone d'une entreprise privée thaïlandaise, de conservation des herbiers marins, et envisagera par la suite leur restauration. Il est prévu que le projet commence fin 2019.	Faible. Les bénéfices pour les moyens de subsistance de la population locale seront pris en considération.	Moyenne. Les modalités de la conditionnalité et de l'accréditation ne sont pas claires.	Élevée. L'accent est mis sur les herbiers marins	Stankovic (communication personnelle)

Remarque : La pertinence de la « participation des communautés », de « l'utilisation des PSE » et de « l'attention accordée aux herbiers marins » pour chaque projet est indiquée de la manière suivante : élevée (vert), moyenne (beige) et faible (gris).

gestion du paysage marin. L'utilisation des mécanismes de PSE dans le cadre des projets ciblant les herbiers marins se heurte à d'importants obstacles techniques et financiers, et, par conséquent, il est recommandé d'envisager le regroupement des services écosystémiques avec les écosystèmes adjacents (comme les mangroves, les marais salés ou les récifs coralliens) afin d'accroître leur viabilité financière et la possibilité d'une mise à l'échelle.

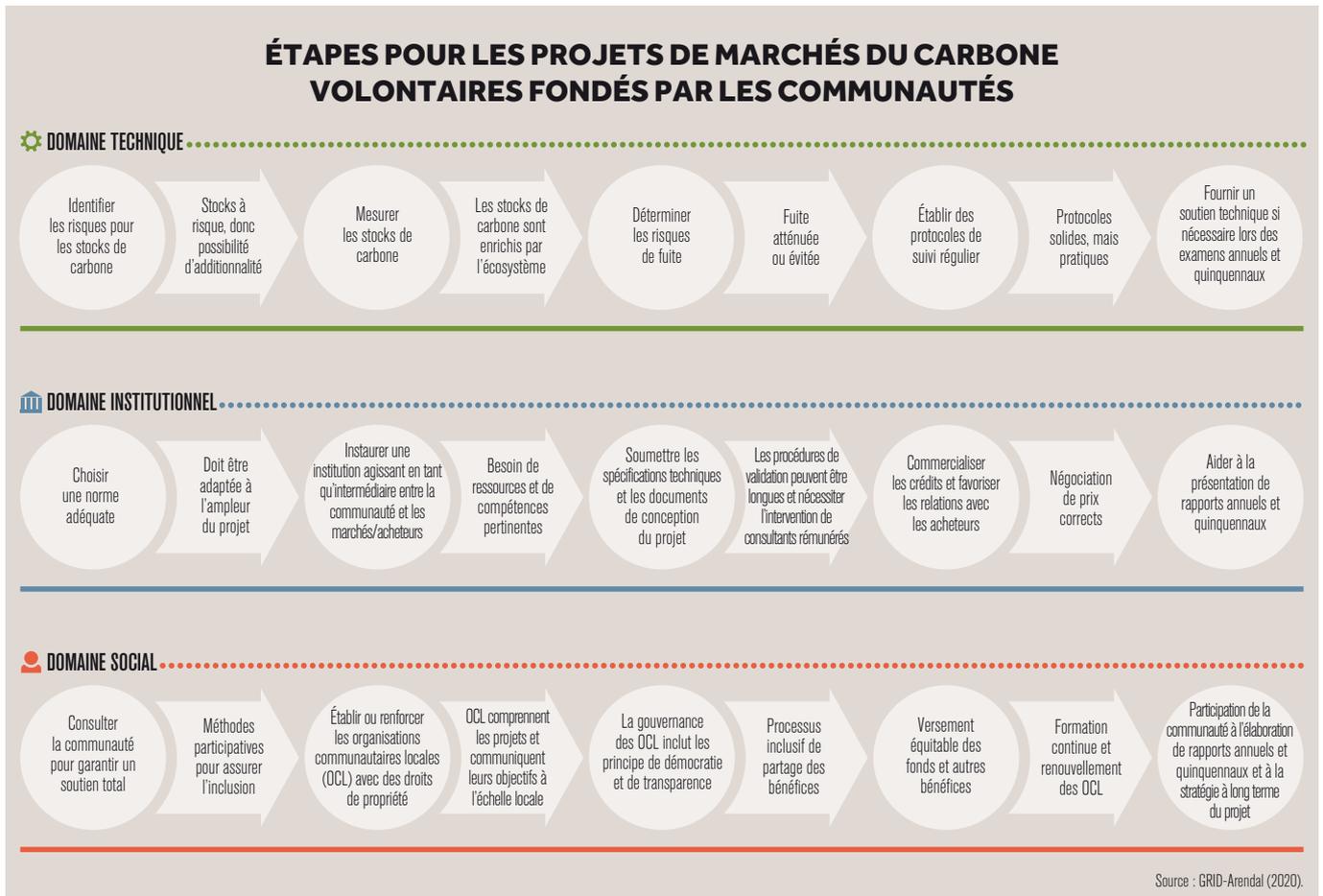
### Dans quelle mesure est-il possible d'étendre les paiements liés aux services écosystémiques aux habitats d'herbiers marins ?

En dépit de leur importance politique et écologique manifeste, et de leur utilisation au service d'autres habitats depuis des décennies (Hejnowicz et al., 2015), aucun projet communautaire s'appuyant sur des PSE ciblant les herbiers marins ne remplit tous les critères de Wunder (2005) (tableau 7). Il convient donc d'identifier quels obstacles et contraintes sont susceptibles d'être à l'origine de cette lacune, et de déterminer s'il est envisageable qu'elle soit comblée dans un avenir proche. C'est dans cette perspective que cette section s'inspire des expériences du projet Mikoko Pamoja au Kenya. La situation

locale ne manque pas de faciliter ou de compliquer tout projet de PSE, mais le but est ici de souligner les caractéristiques générales qui peuvent être pertinentes pour tous les projets de même type.

L'élaboration du projet Mikoko Pamoja a exigé de travailler et d'innover dans trois sphères – technique, institutionnelle et sociale – qui se recoupent, chacune étant importante pour tout projet communautaire ciblant les herbiers marins et utilisant un PSE. Si les publications scientifiques s'intéressent surtout aux aspects techniques (comme la mesure des stocks et flux de carbone, ainsi que la vulnérabilité), l'exemple de Mikoko Pamoja suggère que les aspects institutionnels et sociaux sont tout aussi importants. Un enjeu consiste à veiller à ce que ces trois sphères soient complémentaires et se développent simultanément pendant la durée de vie des projets, de manière à ne pas contrarier les efforts, l'énergie et la bonne volonté déployés ; par exemple, l'établissement hâtif d'une représentation locale et l'anticipation des avantages dont bénéficieront les communautés peuvent se heurter à de longs délais avant l'obtention des accréditations et la concrétisation des ventes de crédits. La figure 15 présente quelques étapes et processus inhérents à ces trois sphères, ainsi que leur complémentarité.

FIGURE 15



Séquence des objectifs et processus nécessaires dans les domaines technique, institutionnel et social au cours de l'élaboration et du fonctionnement des projets communautaires relevant des marchés volontaires du carbone. Les cercles indiquent les objectifs et les flèches les processus. Ces séquences s'inspirent de l'étude de cas du projet Mikoko Pamoja.

La figure 15 permet également d'entrevoir la complexité de la mise en œuvre des projets de PSE communautaires, et de comprendre pourquoi ils demeurent rares (voire inexistantes) s'agissant des écosystèmes d'herbiers marins. La création et la gestion d'un projet de PSE communautaire accrédité sur le marché volontaire du carbone nécessitent des ressources substantielles. En ce qui concerne Mikoko Pamoja, le coût de la mise en place du projet s'est élevé à quelque 400 000 dollars, dont 360 000 dollars émanant d'organismes de bienfaisance et de subventions de recherche, le reste étant principalement constitué d'aides non financières. Les frais de fonctionnement s'élèvent à environ 4 000 dollars par an : commissions (retrait des crédits, etc.), dépenses liées à la gouvernance de l'association, réunions des administrateurs, site Internet et marketing. Ce montant ne comprend ni les salaires, l'association étant gérée par des bénévoles, ni les coûts directs générés par la protection des forêts et la plantation d'arbres. La vente des crédits de carbone (dont le prix varie de 10 à 15 dollars par tonne) rapporte entre 12 000 et 15 000 dollars par an<sup>-1</sup>. Ces coûts reflètent en partie les difficultés liées à l'obtention et au maintien de l'accréditation sur le marché volontaire. Certains mécanismes de commerce du carbone fonctionnent sans accréditation (à l'instar du programme Climate Stewards) ; par ailleurs, il est possible d'élargir les PSE à d'autres services écosystémiques dont les coûts de suivi sont susceptibles d'être inférieurs.

Ces chiffres montrent que les ressources financières disponibles sur le marché volontaire sont limitées, et que les coûts initiaux et les frais de transaction sont élevés. Le succès du projet Mikoko Pamoja est en grande partie dû au fait qu'aucun bénéfice n'est réalisé et que les bénévoles travaillent gratuitement au Kenya et au Royaume-Uni. Il est probable que les activités communautaires de PSE portant sur les herbiers marins et le carbone se heurtent à des contraintes financières similaires, sinon pires. Cela est en partie dû au fait que les herbiers marins ont généralement une teneur en carbone inférieure à celle des mangroves (ce qui signifie qu'il y a moins de carbone par hectare à protéger ou à restaurer) et que les coûts de suivi et de contrôle peuvent être plus élevés (en particulier lorsqu'il faut plonger pour atteindre les herbiers subtidiaux). À titre d'exemple, dans la baie de Gazi (site du projet Mikoko Pamoja), la teneur moyenne en carbone des prairies sous-marines est de 236 tC par ha<sup>-1</sup> (Githaiga et al., 2017), soit nettement moins que le stock souterrain de carbone des forêts de mangroves adjacentes, qui est supérieur à 1 500 t par ha<sup>-1</sup> (Gress et al., 2017). Les tendances récentes suggèrent que la superficie des herbiers marins dans la baie a diminué de 1,68 % par an<sup>-1</sup> (Harcourt et al., 2018), et que ce recul entraîne des pertes de carbone de 3,14 tC par ha<sup>-1</sup> et par an<sup>-1</sup> (Githaiga et al., 2019). Par conséquent, un projet mené dans cette zone visant la conservation de 300 ha d'herbiers marins et la vente des émissions évitées



peut négocier  $300 \times 3,14 \times 0,0168 = 15,8$  tC par an<sup>-1</sup>, soit l'équivalent de ventes à hauteur d'environ 158 à 237 dollars par an<sup>-1</sup> sur le marché volontaire du carbone. Ces calculs montrent que les petits projets communautaires de PSE ne seront pas viables s'ils dépendent uniquement de la vente de crédits de carbone. Pour être réalisables, ils doivent être de plus grande envergure, mobiliser d'autres sources de revenus (par exemple, inclure des crédits pour d'autres services écosystémiques) et/ou regrouper le carbone des herbiers marins avec d'autres écosystèmes. Mikoko Pamoja devrait opter pour cette dernière option, et associer la conservation des mangroves à celle des herbiers marins.

### **Paiements liés à la conservation des herbiers marins : perspectives à court et à long terme**

Du fait de leurs coûts élevés par rapport aux rendements, les projets de protection et de restauration des herbiers marins ne sont pas adaptés aux marchés du carbone. Les financements mixtes, qui existent sous différentes formes, sont une solution à ce problème. Dans certains cas, l'investissement initial est couvert par des subventions ou des dons (comme le projet Mikoko Pamoja présenté ci-dessus), ouvrant la voie à la viabilité financière du projet. Dans d'autres cas, l'investissement est souscrit au moyen d'une garantie ou d'un prêt souple assorti d'un faible taux d'intérêt, et remboursable sur une

période flexible. Il est probable que ces formules jouent un rôle important dans le développement des projets en rapport avec les herbiers marins, comme ils l'ont fait (et continuent de le faire) pour d'autres solutions naturelles d'atténuation des effets du changement climatique. Les obligations d'État peuvent également être envisagées. Par conséquent, quelles sont les principales options de financement possibles en matière de protection et de restauration des herbiers marins ? Une publication de Herr et al. (2015) présente de multiples sources potentielles de fonds et de financements pour la protection et la restauration des mangroves, mais leur utilisation pour les herbiers marins a rarement été envisagée. La liste ci-après présente brièvement les principales sources de financement potentielles :

- Le financement volontaire du carbone : La disponibilité d'une méthode accréditée pour la protection des herbiers marins (évitement des émissions) ou leur restauration (séquestration de carbone) – par exemple la méthode Verified Carbon Standard, VM0033 – fournit de nouvelles possibilités d'investissement dans la compensation du carbone en rapport avec les herbiers marins, mais ne devrait pas à elle seule générer suffisamment de fonds, à moins que les projets de protection et de restauration soient de plus grande envergure ou que le carbone des herbiers marins soit regroupé avec d'autres résultats souhaités..

- Les mécanismes de transfert des risques, comme les assurances, ou l'atténuation des risques : S'ils sont encore en phase de développement, les mécanismes visant à assurer les « actifs » du capital naturel semblent prometteurs. Le concept fondamental de ce mécanisme consiste à vendre des primes, puis d'affecter les fonds à des activités en lien avec la nature qui réduisent les risques associés aux événements extrêmes. S'ils se concrétisent, les détenteurs de primes reçoivent un paiement. L'adaptation de ces mécanismes aux écosystèmes d'herbiers marins n'a pas été étudiée.
- Les obligations : Il existe différents types d'obligations (une forme d'emprunt) adaptées à la conservation ou à d'autres activités en lien avec le climat, dont les obligations vertes (émises par des institutions, dont la Banque mondiale). Elles ont pour objectif de faciliter les investissements en faveur d'activités spécifiques et comportent généralement un éventail d'avantages (comme les incitations fiscales). Le rôle important des herbiers marins pour les zones de pêche peut leur ouvrir la porte aux obligations « bleues » qui visent à améliorer la durabilité des zones de pêche.
- Une solution simple consiste à concevoir les herbiers marins comme des actifs pouvant être achetés ou loués. Généralement, la plupart des pays ne conçoivent pas que des portions de leurs océans soient achetées directement de la même manière qu'une propriété terrestre, mais les accords de location sont communs (par exemple, pour l'extraction de pétrole ou de gaz, ou pour l'aquaculture). Dans certaines régions, la location des prairies sous-marines peut permettre à l'écotourisme d'avoir un accès exclusif à ces zones ; dans d'autres cas, elle octroie des droits d'exploitation à long terme qui couvrent la fourniture de services écosystémiques spécifiques, comme les zones de pêche. Ainsi, dans les zones où les systèmes de gouvernance informelle ou formelle sont suffisamment sophistiqués, l'instauration des droits d'usage territoriaux en matière de pêche peut s'avérer efficace. Ils consistent à octroyer à des individus des droits de pêche (dans des zones spécifiques ou pour des espèces données) et peuvent faire figure d'investissements négociables en faveur de la santé à long terme des zones de pêche. Des données empiriques montrent que de telles approches peuvent stimuler les initiatives de conservation (Costello et al., 2008). Naturellement, les droits doivent s'accompagner de restrictions spécifiques visant à éviter les utilisations susceptibles de dégrader ou de fragiliser les herbiers marins.

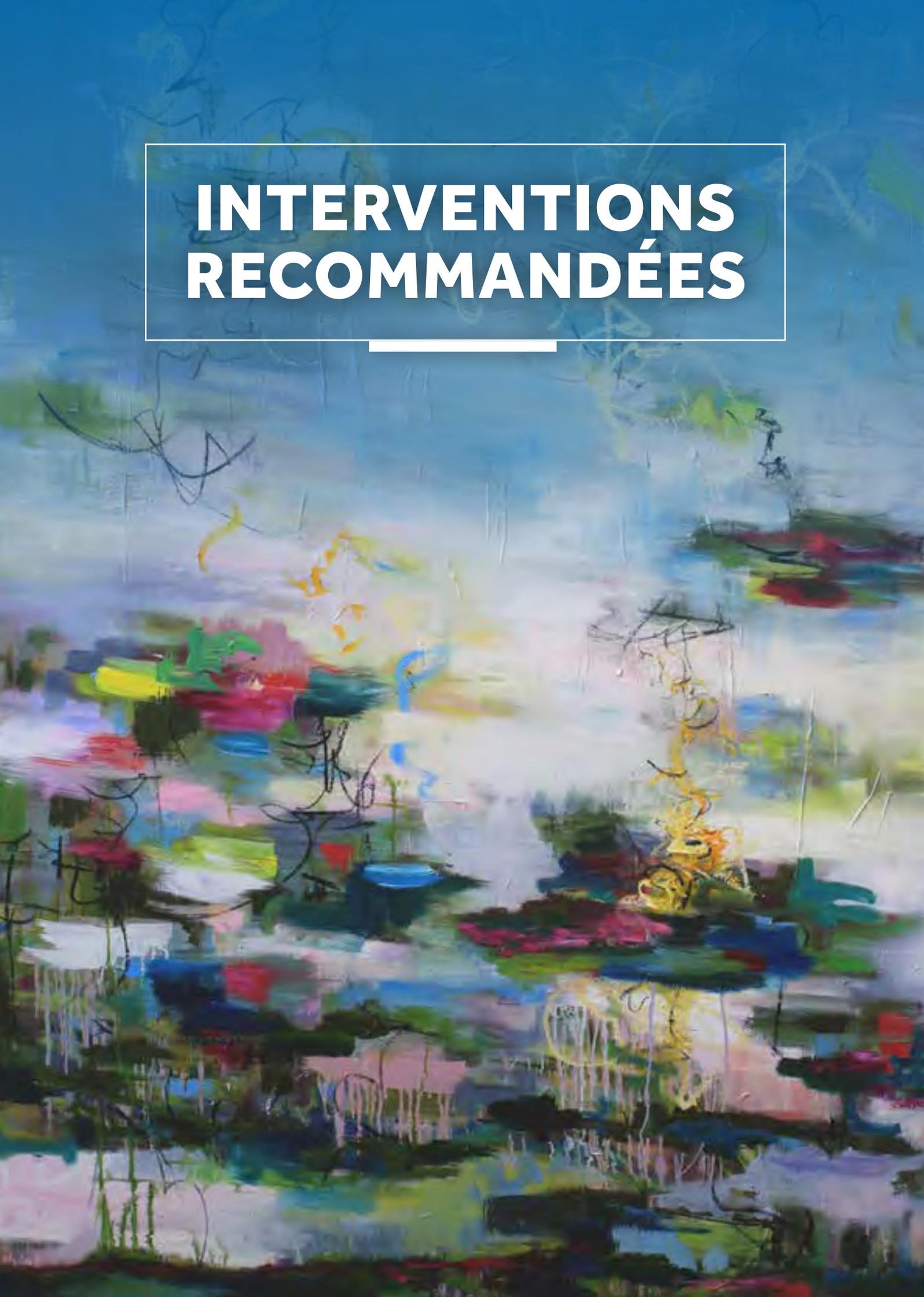
## Les herbiers marins dans l'économie bleue

Les politiques en faveur d'une économie bleue durable visent à encourager un développement durable inclusif et intégré des océans. Les prairies sous-marines fournissent de nombreux services écosystémiques et peuvent donc jouer un rôle essentiel au sein d'économies bleues durables. Cependant, à ce jour, les stratégies nationales et internationales relatives à l'économie bleue ne mentionnent pas explicitement les herbiers marins ; lorsqu'ils sont évoqués, c'est souvent pour leur valeur en tant que puits de carbone bleu. Ainsi, un rapport de la Banque mondiale portant sur le soutien qu'il convient d'accorder à l'économie bleue dans les petits États insulaires en développement (Banque mondiale et Département des Nations Unies pour les affaires économiques et sociales, 2017) et un rapport de l'Union européenne sur l'économie bleue (Commission européenne, 2019) reconnaissent tous deux l'importance de la protection et de la restauration des puits de carbone bleu que constituent certains écosystèmes, notamment les herbiers marins, en vue d'atténuer les changements climatiques et, par conséquent, soutenir indirectement le développement économique.

Les herbiers marins peuvent également être concernés par d'autres aspects des stratégies en faveur d'une économie bleue durable : ceux qui reconnaissent l'importance des habitats marins en raison des services de soutien qu'ils fournissent et qui contribuent à la stabilisation des côtes et à la création de conditions favorables à la pêche. La faible représentation des herbiers marins dans les stratégies relatives à l'économie bleue représente une menace pour la préservation des écosystèmes

d'herbiers marins, car d'autres activités économiques liées à l'économie bleue risquent de participer à leur destruction.

Cependant, ces stratégies offrent une occasion incontournable d'organiser efficacement la préservation et la restauration des herbiers marins. De nombreuses stratégies mentionnent par exemple la nécessité d'une planification des espaces marins et d'une gestion fondée sur les écosystèmes (Banque mondiale et Département des Nations Unies pour les affaires économiques et sociales, 2017 ; National Marine Science Committee, 2015) et admettent ouvertement que les zones côtières sont fréquemment le théâtre de nombreuses activités économiques susceptibles d'entraîner une dégradation des herbiers marins. Des plans intégrés d'aménagement du territoire garantiraient la préservation des herbiers marins tout en permettant la mise en place de différentes activités économiques de manière rentable (Giakoumi et al., 2015). L'un des principaux obstacles à l'inclusion des prairies sous-marines dans les stratégies relatives à l'économie bleue est le manque de compréhension de la valeur économique réelle des services de soutien qu'elles fournissent. À l'avenir, les priorités relatives aux herbiers marins dans le cadre de l'économie bleue pourraient donc comprendre la résolution des problèmes techniques liés à la valorisation des écosystèmes et le renforcement de la prise en compte de la valeur des services écosystémiques des herbiers marins lors de l'élaboration des politiques (Nordlund et al., 2018). Ne pas inclure les herbiers marins dans les stratégies relatives à l'économie bleue revient à manquer une opportunité.

An abstract painting with a vibrant, multi-colored palette. The background is a mix of blue, green, yellow, red, and white, with visible brushstrokes and splatters. The overall style is expressive and textured.

# **INTERVENTIONS RECOMMANDÉES**

# Interventions recommandées

**1 Soutenir la constitution d'un groupe d'experts en politiques s'intéressant spécifiquement aux phanérogames afin d'analyser en détail l'efficacité des politiques publiques actuelles en la matière et de formuler des recommandations à l'intention de la communauté internationale.**

L'International Seagrass Experts Network (réseau international de spécialistes des herbiers marins) a joué un rôle important dans la synthèse des connaissances scientifiques relatives aux herbiers marins. Cependant, il n'existe à ce jour aucune étude exhaustive ni aucun consensus sur l'efficacité des politiques existantes relatives aux herbiers marins dans le monde. Un groupe d'experts du sujet, sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'environnement, pourrait analyser l'état et l'efficacité actuels des politiques relatives aux herbiers marins et formuler des recommandations pour les États membres. Par ailleurs, ces derniers pourraient envisager de soumettre une résolution portant sur la gestion durable des écosystèmes de phanérogames à l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement.

**2 Réaliser une carte mondiale complète de la répartition et de l'état de santé des prairies marines.**

Pour ce faire, il convient de combler les lacunes des corpus de données mondiaux relatifs à la superficie et à la répartition des écosystèmes de phanérogames en consolidant les réseaux de suivi déjà en place sur le terrain, en étudiant le potentiel de la télédétection et en investissant dans la gestion des données en vue de maintenir une base de données mondiale sur le long terme. Il convient également d'investir dans des ressources complémentaires pour la cartographie de prairies sous-marines, et de concevoir et mettre en œuvre des méthodologies normalisées visant à combler les lacunes relatives à la répartition des herbiers marins et à évaluer l'état des écosystèmes de phanérogames à l'échelle mondiale de manière précise, économique et reproductible. En outre, il est fortement recommandé que tous les projets qui recueillent des données concernant la répartition des herbiers marins : a) partagent librement ces données (par exemple au moyen de licences Creative Commons) ; b) transmettent ces données aux réseaux régionaux ou mondiaux et/ou les intègrent dans les bases de données mondiales, par exemple la base de données Global Distribution of Seagrasses. Il est par ailleurs possible de mettre en place un partenariat technique, réunissant des organisations des Nations Unies, des organismes gouvernementaux et des organisations non gouvernementales, destiné à préparer une carte mondiale complète et actualisée de la répartition et de l'état de santé des herbiers marins. Cette carte pourrait compléter les initiatives existantes de cartographie des écosystèmes côtiers, par exemple l'Allen Coral Atlas ou Global Mangrove Watch. Le chapitre relatif à la cartographie et au suivi des herbiers marins du présent rapport propose des recommandations techniques



à cette fin. La carte mondiale devrait s'efforcer en priorité de combler les lacunes des cartes actuelles, en particulier dans pour certaines régions d'Afrique et d'Amérique du Sud.

**3 Financer des projets visant à mieux comprendre et quantifier la valeur des biens et des services écosystémiques des herbiers marins.**

Il convient de financer des recherches visant à mieux comprendre et quantifier la valeur des services et des biens écosystémiques des herbiers marins, y compris des prairies associées à différentes espèces et régions biogéographiques. Les régions biogéographiques actuellement sous-représentées dans les recherches relatives aux herbiers marins sont les côtes d'Afrique de l'Ouest, d'Amérique du Sud et d'Asie du Sud-Est. Des recherches complémentaires sont également nécessaires concernant les flux de carbone dans les écosystèmes de phanérogames et le devenir des réserves de carbone en cas de dégradation des herbiers marins, afin de comprendre le rôle que ces derniers pourraient jouer dans l'atténuation des changements climatiques. Par ailleurs, des études portant sur les services écosystémiques, notamment le stockage et la fixation du carbone, devraient être entreprises afin d'appuyer la possibilité de mettre en place un système de rémunération des activités liées à ces services et de contribuer à la comptabilité du capital naturel des pays.



#### **4 Faire prendre conscience de l'importance économique et sociale des herbiers marins et des conséquences de leur disparition.**

Le public doit être mieux sensibilisé à l'importance des prairies sous-marines. Pour cela, il convient de garder à l'esprit les préférences du public cible des pays et territoires visés lors de l'élaboration des messages et du choix des médias. Le public doit être sensibilisé au caractère emblématique des herbiers marins, en mettant en évidence les biens et les services qu'ils fournissent à l'humanité. La reconnaissance de la valeur des herbiers marins par la population et les gouvernements du monde entier est essentielle, et elle requiert la mise en place de stratégies de communication ciblées. Ces stratégies peuvent comprendre la création d'organes médiatiques spécifiques, de documentaires, de notes d'orientation ou de campagnes sur les réseaux sociaux traitant de l'importance et de la vulnérabilité des herbiers marins. Au fil du temps, le mois de mars est devenu dans de nombreuses régions du monde le mois de la sensibilisation aux herbiers marins. Les pays devraient envisager de faire du 1er mars la Journée mondiale des herbiers marins, et profiter de cette journée internationale pour sensibiliser à la nécessité de préserver les prairies sous-marines.

#### **5 Élaborer des plans d'action nationaux en faveur des écosystèmes d'herbiers marins.**

À l'heure actuelle, très peu de pays ont élaboré des plans visant spécifiquement à protéger et à gérer les écosystèmes de phanérogames, alors que bon nombre d'entre eux disposent de plans nationaux relatifs aux récifs coralliens et aux écosystèmes des mangroves. L'élaboration de plans nationaux de gestion des herbiers marins, fixant des cibles en matière de protection et de santé de ces écosystèmes, représente une étape importante en vue de leur protection et de leur gestion durable. Les plans nationaux d'action en faveur des écosystèmes des herbiers marins doivent être liés aux contributions déterminées au niveau national de l'Accord de Paris, aux cibles de la CDB et aux objectifs de développement durable, et contribuer à leur réalisation. Par ailleurs, ces plans doivent être correctement intégrés et tenir compte des liens existant entre les herbiers marins et les autres écosystèmes à proximité (récifs coralliens, mangroves, forêts de kelp ou marais salés, par exemple).

#### **6 Intégrer la protection des herbiers marins dans la planification et la mise en œuvre du cadre mondial pour la diversité pour l'après-2020.**

Le cadre mondial de la biodiversité pour l'après-2020 nous donne l'occasion de redéfinir notre relation à la nature et de fixer de nouvelles cibles de protection et de restauration des écosystèmes. Il convient d'adopter des objectifs spécifiques, mesurables, réalisables, pertinents et limités dans le temps applicables aux écosystèmes d'herbiers marins à l'échelle mondiale. Ce point pourrait être inscrit à l'ordre du jour de la Conférence des parties à la CDB de 2020 et constituerait une avancée positive pour la protection de ces écosystèmes. De plus, les pays devraient tenir compte des écosystèmes d'herbiers marins et les intégrer dans leurs rapports au titre de la CDB.

#### **7 Intégrer des interventions en faveur des écosystèmes d'herbiers marins dans les plans relatifs à la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes et à la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable.**

Il convient de financer la restauration des herbiers marins et de définir des cibles de restauration de ces écosystèmes en vue de réaliser les objectifs de la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030). Les investissements en faveur de l'étude scientifique des herbiers marins peuvent également contribuer à la réalisation des objectifs de la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable, en particulier en ce qui concerne les applications de la science en matière de sécurité alimentaire, de réduction des risques de catastrophe, d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets.

**8 Reconnaître dans les contributions déterminées au niveau national le rôle essentiel des herbiers marins dans l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de leurs effets.**

Il convient de reconnaître l'importance des écosystèmes de phanérogames en tant que puits de carbone et les inclure dans les inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre, dans les rapports de différents niveaux soumis au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), et dans les rapports d'avancement des CDN. Il est également nécessaire de déterminer des cibles de préservation et de restauration des herbiers marins qui soient spécifiquement destinées à favoriser l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs effets. Ces cibles doivent inclure des mesures variées, allant de la simple reconnaissance de la valeur des herbiers marins pour l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs effets à des actions plus concrètes et mesurables.

**9 Valoriser la protection des herbiers marins dans les ODD, le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et les autres programmes politiques internationaux.**

Il convient de favoriser la collaboration entre les coordonnateurs nationaux des différentes conventions et les coordonnateurs de la planification et de la mise en œuvre des ODD, afin de mettre en avant des approches de la préservation et du développement durable qui tiennent compte d'une plus grande partie du paysage marin. Les progrès réalisés en matière de préservation et de restauration des écosystèmes de phanérogames doivent être mentionnés dans les rapports nationaux relatifs aux ODD. En outre, il convient de comprendre et de mesurer les contributions de la préservation et de la restauration de ces écosystèmes en faveur de la réalisation, par les gouvernements nationaux, des engagements politiques internationaux et des ODD, mais aussi pour la rédaction de rapports à ce sujet. Il faut également intégrer des indicateurs relatifs aux herbiers marins dans les dispositifs de suivi des processus mondiaux, notamment ceux établis dans le cadre des ODD, de l'Accord de Paris, de la CDB et du Cadre de Sendai. Par conséquent, les herbiers marins doivent figurer dans les stratégies nationales de développement durable.

**10 Accroître les financements nationaux, bilatéraux et multilatéraux nécessaires pour mener des interventions globales de conservation et de gestion durable des écosystèmes d'herbiers marins.**

Il convient de repérer les volets de financement spécifiques aux écosystèmes d'herbiers marins des fonds multilatéraux pour l'environnement, et de déterminer les priorités des financements bilatéraux en faveur de ces écosystèmes, notamment dans le cadre des accords multilatéraux sur l'environnement ou des objectifs politiques internationaux. La possibilité de mettre en place un fonds mondial destiné à la protection et à la restauration des herbiers marins, ainsi qu'au renforcement des capacités en la matière, doit être étudiée.

**11 Mobiliser les parties prenantes à tous les niveaux et encourager l'établissement de partenariats visant à faciliter l'intégration de programmes de conservation des herbiers marins dans la planification et la mise en œuvre.**

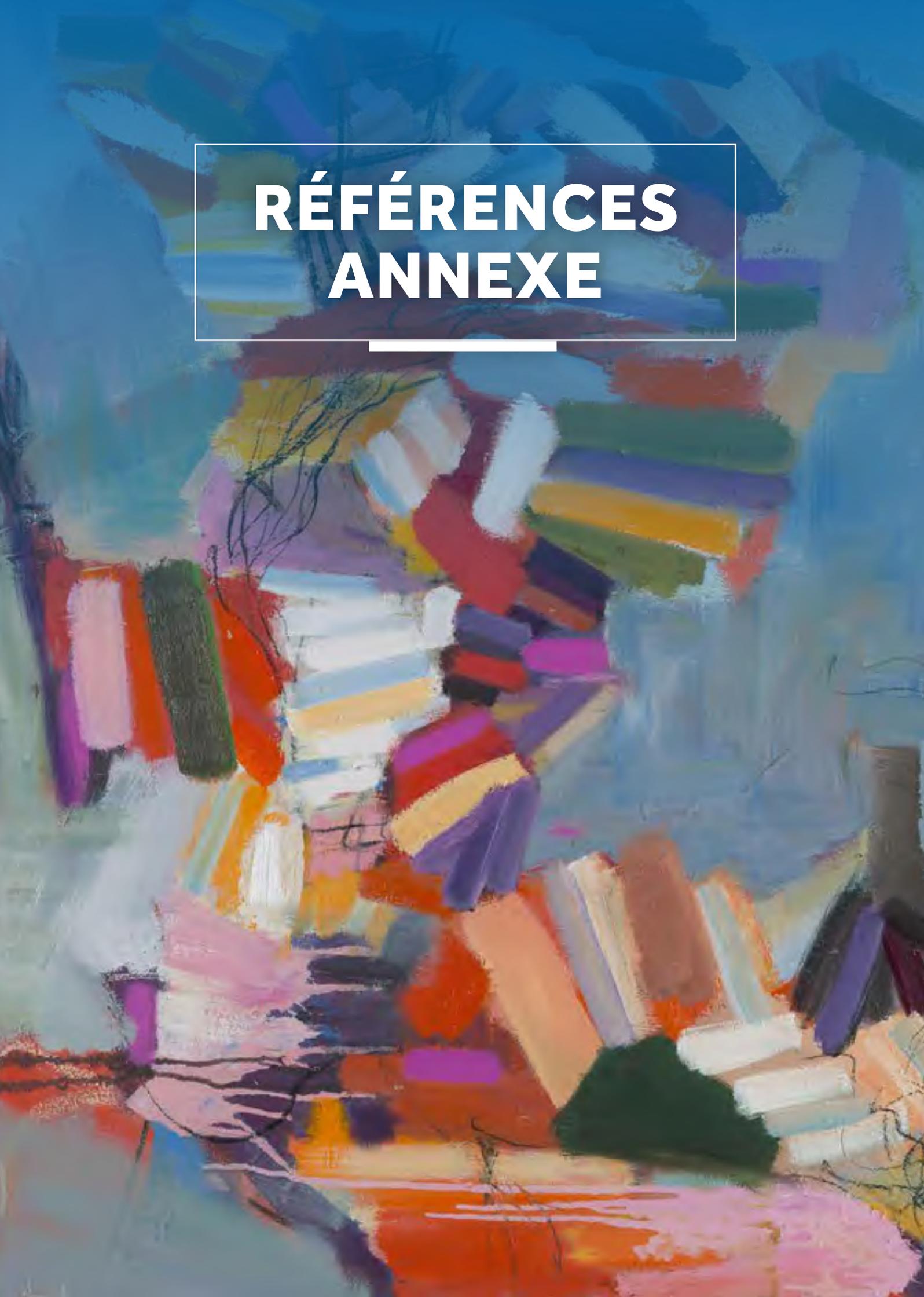
Il est également nécessaire d'inclure des cibles relatives aux écosystèmes de phanérogames dans la planification des espaces marins aux échelons régional, national et infranational. Enfin, il faut étudier la mise en place et la médiatisation des aires marines protégées, des aires marines gérées localement et des autres mesures de protection par zone géographique efficaces et dotées de plans de gestion qui mentionnent explicitement les écosystèmes d'herbiers marins, tout en instituant des zones de protection spécifiquement destinées aux herbiers marins et aux écosystèmes qui leur sont associés. La participation et les connaissances des communautés locales et autochtones sont primordiales pour garantir la pérennité des interventions.

**12 Créer davantage d'aires marines protégées ou d'aires marines gérées localement qui incluent des écosystèmes d'herbiers marins ou se concentrent sur ces écosystèmes.**

À l'heure actuelle, les herbiers marins sont sous-représentés dans les aires marines protégées et dans les aires marines gérées localement à l'échelle mondiale : seuls 26 % des prairies connues se trouvent dans des aires marines protégées, contre 40 % des récifs coralliens et 43 % des mangroves. La plupart des herbiers marins ne font pas l'objet de plans de gestion et ne sont pas protégés contre les effets anthropiques. La création de nouvelles aires marines protégées ou d'aires marines gérées localement contenant des écosystèmes d'herbiers marins, ou centrées sur ces écosystèmes, représente une étape cruciale pour freiner la destruction des prairies sous-marines et préserver les services écosystémiques qu'elles fournissent à l'humanité.

**13 Mettre en place des subventions et des incitations économiques pour favoriser la conservation et la restauration des herbiers marins.**

Il convient d'encourager la mise en place d'incitations économiques ou d'incorporer la protection des herbiers marins dans les programmes PSE en cours afin de financer des activités locales de protection et de restauration une source de revenus locaux. En outre, il faut élaborer des méthodologies et des directives visant à intégrer les herbiers marins au marché du carbone, soit dans le cadre de projets indépendants, soit en collaboration avec des projets relatifs aux mangroves. Néanmoins, en raison de la persistance des obstacles financiers et techniques à l'élaboration de mécanismes de PSE relatifs aux herbiers marins, il est recommandé d'associer les mesures centrées sur les herbiers marins à des mesures centrées sur les écosystèmes voisins (par exemple, les mangroves) afin de renforcer la viabilité financière et l'extensibilité de ces mécanismes.

An abstract painting with a vibrant, multi-colored palette. The background is a mix of blues, purples, and greens. Overlaid on this are numerous horizontal and vertical brushstrokes in various colors including red, orange, yellow, green, purple, pink, and white. The strokes vary in thickness and texture, creating a layered, textured effect. The overall composition is dynamic and expressive.

# RÉFÉRENCES ANNEXE

# Références

- Amazon Web Services. 2019. [Consulté le 25 juin 2019] <https://aws.amazon.com/fr/>
- Amone-Mabuto, M., Bandeira, S. et da Silva, A. 2017. « Long-term changes in seagrass coverage and potential links to climate-related factors: the case of Inhambane Bay, southern Mozambique ». *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, vol. 16, no 2, p. 13-25.
- Angelsen, A., Martius, C., De Sy, V., Duchelle, A. E., Larson, A. M. et Pham, T. T. 2018. *Transforming REDD+: Lessons and New Directions*. Bogor : Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR). [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.17528/cifor/007045>].
- Arias-Ortiz, A., Serrano, O., Masqué, P., Lavery, P. S., Mueller, U., Kendrick, G. A. et al. 2018. « A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks ». *Nature Climate Change*, vol. 8, p. 338-344. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0096-y>].
- Asmala, E., Gustafsson, C., Krause-Jensen, D., Norkko, A., Reader, H., Staehr, P. A., et Carstensen, J. 2019. « Role of eelgrass in the coastal filter of contrasting Baltic Sea environments ». *Estuaries and Coasts*, vol. 42, no 7, p. 1882-1895. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00615-0>].
- Aumen, N. G., Havens, K. E., Best, G. R. et Berry, L. 2015. « Predicting ecological responses of the Florida Everglades to possible future climate scenarios: Introduction ». *Environmental Management* vol. 55, p. 741-748. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0439-z>].
- Bainbridge, Z., Lewis, S., Bartley, R., Fabricius, K., Collier, C., Waterhouse, J. et al. 2018. « Fine sediment and particulate organic matter: A review and case study on ridge-to-reef transport, transformations, fates and impacts on marine ecosystems ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 135, p. 1205-1220. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.002>].
- Bandeira, S., Gullström, M., Balidy, H., Samussone, D. et Cossa, D. 2014. « Seagrass meadows in Maputo Bay ». In : Bandeira, S. et Paula, J. (éd.). *The Maputo Bay Ecosystem*. Ville de Zanzibar : Association des sciences de la mer de l'océan Indien occidental (WIOMSA). Chapitre 8, p. 147-169.
- Banque mondiale et Département des Nations Unies pour les affaires économiques et sociales. 2017. *The Potential of the Blue Economy: Increasing Long-term Benefits of the Sustainable Use of Marine Resources for Small Island Developing States and Coastal Least Developed Countries*. Washington D. C. : Banque mondiale. [Consultable à l'adresse <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26843/115545.pdf?sequence=1&isAllowed=y>].
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C. et Silliman, B. R. 2011. « The value of estuarine and coastal ecosystem services ». *Ecological Monographs*, vol. 81, no 2, p. 169-193. [Consultable à l'adresse : <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>].
- Bennett, N. J. 2018. « Navigating a just and inclusive path towards sustainable oceans ». *Marine Policy*, vol. 97, p. 139-146. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.06.001>].
- Berkström, C., Lindborg, R., Thyresson, M. et Gullström, M. 2013. « Assessing connectivity in a tropical embayment: fish migrations and seascape ecology ». *Biological Conservation*, vol. 166, p. 43-53. [Consultable à l'adresse : <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.06.013>].
- Binet, T., Failler, P., Chavance, P. N. et Mayif, M. A. 2013. « First international payment for marine ecosystem services: the case of the Banc d'Arguin National Park, Mauritania ». *Global Environmental Change*, vol. 23, no 6, p. 1434-1443. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.09.015>].
- Bishop, M. J., Mayer-Pinto, M., Airoidi, L., Firth, L. B., Morris, R. L., Loke, L. H. L. et al. 2017. « Effects of ocean sprawl on ecological connectivity: impacts and solutions ». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 492, p. 7-30. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.021>].
- Brown, C. J., Broadley, A., Adame, M. F., Branch, T. A., Turschwell, M. P. et Connolly, R. M. 2018. « The assessment of fishery status depends on fish habitats ». *Fish and Fisheries*, vol. 20, no 1, p. 1-14. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/faf.12318>].
- Bull, J. W., Suttle, K. B., Gordon, A., Singh, N. J. et Milner-Gulland, E. J. 2013. « Biodiversity offsets in theory and practice ». *Oryx*, vol. 47, no 3, p. 369-380. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1017/S003060531200172X>].
- Burkhard, B. et Maes, J. (éd.) 2017. *Mapping ecosystem services*. Sofia : Pensoft Publishers, Advanced Books no 1. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3897/ab.e12837>].
- Burkholder, J. M., Tomasko, D. A. et Touchette, B. W. 2007. « Seagrasses and eutrophication ». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 350, no 1 et 2, p. 46-72. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.024>].
- Campbell, S. J. et McKenzie, L. J. 2004. « Flood related loss and recovery of intertidal seagrass meadows in southern Queensland, Australia ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 60, no 3, p. 477-490. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.02.007>].
- Campbell, S. J., McKenzie, L. J., Kerville, S. P. et Bité, J. S. 2007. « Patterns in tropical seagrass photosynthesis in relation to light, depth and habitat ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 73, p. 551-562. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.02.014>].
- Campbell, S. J., Kartawijaya, T. et Sabarini, E. K. 2011. « Connectivity in reef fish assemblages between seagrass and coral reef habitats ». *Aquatic Biology*, vol. 13, no 1, p. 65-77. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3354/ab00352>].
- Carlson Jr., P. R., Yarbro, L. A., Kaufman, K. A. et Mattson, R. A. 2010. « Vulnerability and resilience of seagrasses to hurricane and runoff impacts along Florida's west coast ». *Hydrobiologia*, vol. 649, no 1, p. 39-53. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0257-0>].
- Centre mondial de surveillance pour la conservation du Programme des Nations Unies pour l'environnement. 2017. *Experimental Seagrass Ecosystem Accounts: A Pilot Study for One Component of Marine Ecosystem Accounts*. [Consultable à l'adresse [https://ec.europa.eu/environment/nature/capital\\_accounting/pdf/Seagrass%20Marine%20Accounts.pdf](https://ec.europa.eu/environment/nature/capital_accounting/pdf/Seagrass%20Marine%20Accounts.pdf)].
- Centre mondial de surveillance pour la conservation du Programme des Nations Unies pour l'environnement et Short, F.T. 2018. *Global Distribution of Seagrasses (version 6.0)*. Sixième mise à jour de la couche de données utilisée dans Green et Short (2003). Cambridge : Centre mondial de surveillance pour la conservation du Programme des Nations Unies pour l'environnement. [Consulté le 26 novembre 2019] <https://data.unep-wcmc.org/datasets/7>
- Clifton, J. 2013. « Compensation, conservation and communities: an analysis of direct payments initiatives within an Indonesian marine protected area ». *Environmental Conservation*, vol. 40, no 3, p. 287-295. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1017/s0376892913000076>].
- Cole, A. M., Durako, M. J. et Hall, M. O. 2018. « Multivariate analysis of water quality and benthic macrophyte communities in Florida Bay, USA reveals hurricane effects and susceptibility to seagrass die-off ». *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, article 630. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00630>].
- Coles, R. et Fortes, M. D. 2001. « Protecting seagrasses – approaches and methods ». In : Short, F. T. et Coles, R. G. (éd.). *Global Seagrass Research Methods*. Amsterdam : Elsevier. Chapitre 23, p. 445-463. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00307-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00307-1)].
- Coles, R., McKenzie, L. J., De'ath, G., Roelofs, A. et Long, W. L. 2009. « Spatial distribution of deepwater seagrass in the inter-reef lagoon of the Great Barrier Reef World Heritage area ». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 392, p. 57-68. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3354/meps08197>].
- Collier, C. J., Ow, Y. X., Langlois, L., Uthicke, S., Johansson, C. L., O'Brien, K. R. et al. 2017. « Optimum temperatures for net primary productivity of three tropical seagrass species ». *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, article 1446. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01446>].
- Connolly, R. M., Jackson, E. L., Macreadie, P. I., Maxwell, P. S. et O'Brien, K. R. 2018. « Seagrass dynamics and resilience ». In : Larkum, A. W. D., Kendrick, G. A. et Ralph, P. J. (éd.). *Seagrasses of Australia*. Suisse : Springer, Cham. Chapitre 7, p. 197-212. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71354-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71354-0_7)]. Services d'accès aux données et à l'information du programme Copernicus, 2019. [Consulté le 25 juin 2019] <https://www.copernicus.eu/fr/acces-aux-donnees/dias>
- Copertino, M. S., Creed, J. C., Magalhães, K., Barros, K., Lanari, M., Arévalo, P. R. et al. 2015. « Monitoramento dos fundos vegetados submersos (pradarias submersas) ». In : Turra, A. et Endadai, M. R. (éd.). *Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos*. São Paulo : Université de São Paulo. Chapitre 2, p. 17-47.
- Costello, C., Gaines, S. D. et Lynham, J. 2008. « Can catch shares prevent fisheries collapse? ». *Science*, vol. 321, p. 1678-1681. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1126/science.1159478>].
- Côté-Laurin, M. C., Benbow, S. L. P. et Erzini, K. 2017. « The short-term impacts of a cyclone on seagrass communities in Southwest Madagascar ». *Continental Shelf Research*, vol. 138, p. 132-141. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.03.005>].
- Cullen-Unsworth, L. C., Nordlund, L. M., Paddock, J., Baker, S., McKenzie, L.

- J. et Unsworth, R. K. F. 2014. « Seagrass meadows globally as a coupled social-ecological system: implications for human wellbeing ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 83, no 2, p. 387-397. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.001>].
- Daby, D. 2003. « Effects of seagrass bed removal for tourism purposes in a Mauritian bay ». *Environmental Pollution*, vol. 125, no 3, p. 313-324. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00125-8)].
- de la Torre-Castro, M. 2019. « Inclusive management through gender consideration in small-scale fisheries: the why and the how ». *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, article 156. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00156>].
- de la Torre-Castro, M. et Rönnbäck, P. 2004. « Links between humans and seagrasses—an example from tropical East Africa ». *Ocean & Coastal Management*, vol. 47, no 7 et no 8, p. 361-387. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.07.005>].
- de los Santos, C. B., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Marbà, N., Duarte, C. M., van Katwijk, M. M. et al. 2019. « Recent trend reversal for declining European seagrass meadows ». *Nature Communications*, vol. 10, article 3356.
- Dolch, T., Folmer, E. O., Frederiksen, M. S., Herlyn, M., van Katwijk, M. M., Kolbe, K. et al. 2017. « Seagrass ». In : Klopper, S., Bostelmann, A., Busch, J. et Klöpffer, S. (éd.). *Wadden Sea Quality Status Report 2017*. Wilmshaven : Secrétariat commun de la mer des Wadden.
- Drakou, E. G., Pendleton, L., Effron, M., Carter Ingram, J. et Teneva, L. 2017. « When ecosystems and their services are not co-located: oceans and coasts ». *ICES Journal of Marine Sciences*, vol. 74, no 6, p. 1531-1539. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx026>].
- Duarte, C. M., Conley, D. J., Carstensen, J. et Sánchez-Camacho, M. 2009. « Return to Neverland: shifting baselines affect eutrophication restoration targets ». *Estuaries and Coasts*, vol. 32, no 1, p. 29-36. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s12237-008-9111-2>].
- Duarte, C. M., Dennison, W. C., Orth, R. J. W. et Carruthers, T. J. B. 2008. « The charisma of coastal ecosystems: addressing the imbalance ». *Estuaries and Coasts*, vol. 31, no 2, p. 233-238. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s12237-008-9038-7>].
- Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I., Mazarrasa, I. et Marbà, N. 2013. « The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation ». *Nature Climate Change*, vol. 3, p. 961-968. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/nclimate1970>].
- Duarte, B., Martins, I., Rosa, R., Matos, A. R., Roleda, M. Y., Reusch, T. B. H. et al. 2018. « Climate change impacts on seagrass meadows and macroalgal forests: An integrative perspective on acclimation and adaptation potential ». *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, article 190. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00190>].
- Duffy, J. E., Benedetti-Cecchi, L., Trinanés, J., Muller-Karger, F. E., Ambi-Rappe, R., Boström, C. et al. 2019. « Toward a coordinated global observing system for seagrasses and marine macroalgae ». *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, article 317. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00317>].
- Duffy, J. P., Pratt, L., Anderson, K., Land, P. E. et Shutler, J. D. 2018. « Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 200, p. 169-180. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.11.001>].
- Dugong and Seagrass Conservation Project. (n. d.) [Consulté le 26 novembre 2019] <http://www.dugongconservation.org/>
- Eklöf, J. S., de la Torre-Castro, M., Gullström, M., Uku, J., Muthiga, N., Lyimo, T. et al. 2008. « Sea urchin overgrazing of seagrasses: a review of current knowledge on causes, consequences, and management ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 79, no 4, p. 569-580. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.05.005>].
- Erfteemeijer, P. L. A. et Robin Lewis III, R. R. 2006. « Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 52, no 12, p. 1553-1572. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.09.006>].
- Commission européenne. 2019. *The EU Blue Economy Report 2019*. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne. [Consultable à l'adresse <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/676bbd4a-7dd9-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-98228766>].
- Fabricius, K. E., Langdon, C., Uthicke, S., Humphrey, C., Noonan, S., De'ath, G. et al. 2011. « Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations ». *Nature Climate Change*, vol. 1, p. 165-169. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/nclimate1122>].
- Fakiris, E., Blondel, P., Papatheodorou, G., Christodoulou, D., Dimas, X., Georgiou, N. et al. 2019. « Multi-frequency, multi-sonar mapping of shallow habitats—efficacy and management implications in the National Marine Park of Zakynthos, Greece ». *Remote Sensing*, vol. 11, article 461. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3390/rs11040461>].
- Felger, R. et Moser, M. B. 1973. « Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Gulf of California ». *Science*, vol. 181, no 4097, p. 355-356. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1126/science.181.4097.355>].
- Flindt, M. R., Rasmussen, E. K., Valdermarsen, T., Erichsen, A., Kaas, H. et Canal-Vergés, P. 2016. « Using a GIS-tool to evaluate potential eelgrass reestablishment in estuaries ». *Ecological Modelling*, vol. 338, p. 122-134. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.07.005>].
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. et al. 2004. « Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management ». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 35, p. 557-581. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>].
- Fonseca, M. S. et Cahalan, J. A. 1992. « A preliminary evaluation of wave attenuation for four species of seagrass ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 35, no 6, p. 565-576. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(05\)80039-3](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(05)80039-3)].
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A. et al. 2012. « Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock ». *Nature Geoscience*, vol. 5, p. 505-509. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>].
- Fraser, M. W., Kendrick, G. A., Statton, J., Hovey, R. K., Zavala-Perez, A. et Walker, D. I. 2014. « Extreme climate events lower resilience of foundation seagrass at edge of biogeographical range ». *Journal of Ecology*, vol. 102, p. 1528-1536. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12300>].
- Ganguly, D., Singh, G., Purvaja, R., Bhatta, R., Paneer Selvam, A., Banerjee, K. et al. 2018. « Valuing the carbon sequestration regulation service by seagrass ecosystems of Palk Bay and Chilika, India ». *Ocean & Coastal Management*, vol. 159, p. 26-33. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.009>].
- García, S. M., Zerbi, A., Aliaume, C., Do Chi, T. et Lasserre, G. 2003. *The ecosystem approach to fisheries. Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), FAO Document technique sur les pêches no 443. [Consultable à l'adresse <http://www.fao.org/3/a-y4773e.pdf>].
- Gerber, L. R., Del Mar Mancha-Cisneros, M., O'Connor, M. I. et Selig, E. R. 2014. « Climate change impacts on connectivity in the ocean: implications for conservation ». *Ecosphere*, vol. 5, no 3, p. 1-18. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1890/ES13-00336.1>].
- Giakoumi, S., Brown, C., Katsanevakis, S., Saunders, M. et Possingham, H. 2015. « Using threat maps for cost-effective prioritization of actions to conserve coastal habitats ». *Marine Policy*, vol. 61, p. 95-102. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.07.004>].
- Gillis, L. G., Bouma, T. J., Jones, C. G., van Katwijk, M. M., Nagelkerken, I., Jeuken, C. J. L. et al. 2014. « Potential for landscape-scale positive interactions among tropical marine ecosystems ». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 503, p. 289-303. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3354/meps10716>].
- Githaiga, M. N., Frouws, A. M., Kairo, J. G. et Huxham, M. 2019. « Seagrass removal leads to rapid changes in Fauna and loss of carbon ». *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 7, p. 1-12. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00062>].
- Githaiga, M. N., Kairo, J. G., Gilpin, L. et Huxham, M. 2017. « Carbon storage in the seagrass meadows of Gazi Bay, Kenya ». *PLoS One*, vol. 12, no 5, e0177001. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177001>].
- Goodchild, M., Guo, H., Annoni, A., Bian, L., de Bie, K., Campbell, F. et al. 2012. « Next-generation digital Earth ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, p. 11088-11094. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1073/pnas.1202383109>].
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L. et Montes, C. 2010. « The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes ». *Ecological Economics*, vol. 69, no 6, p. 1209-1218. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>].

- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. et Moore, R. 2017. « Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, p. 18-27. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>].
- Grech A., Chartrand-Miller, K., Erfteimeijer, P., Fonseca, M., McKenzie, L. J., Rasheed, M. et al. 2017. « A comparison of threats, vulnerabilities and management approaches in global seagrass bioregions ». *Environmental Research Letters*, vol. 7, no 2, p. 1-8. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024006>].
- Grech, A., Coles, R. et Marsh, H. 2011. « A broad-scale assessment of the risk to coastal seagrasses from cumulative threats ». *Marine Policy*, vol. 35, no 5, p. 560-567. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2011.03.003>].
- Green, E. P. et Short, F. T. 2003. *World Atlas of Seagrasses*. Préparé par le Centre mondial de surveillance pour la conservation du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Berkeley : Université de Californie. Base de données consultable à l'adresse <http://data.unep-wcmc.org/datasets/9>.
- Greening, H. et Janicki, A. 2006. « Toward reversal of eutrophic conditions in a subtropical estuary: water quality and seagrass response to nitrogen loading reductions in Tampa Bay, Florida, USA ». *Environmental Management*, vol. 38, p. 163-178. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0079-4>].
- Greening, H., Cross, L. M. et Sherwood, E. T. 2011. « A multiscale approach to seagrass recovery in Tampa Bay, Florida ». *Ecological Restoration*, vol. 29, no 1 et no 2, p. 82-93. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3368/er.29.1-2.82>].
- Greening, H., Janicki, A. et Sherwood, E. T. 2016. « Seagrass recovery in Tampa Bay, Florida (USA) ». In : Finlayson, C. M., Everard, M., Irvine, K., McInnes, R. J., Middleton, B. A., van Dam, A. A. et al. (éd.). *The Wetland Book II : Distribution, Description, and Conservation*. New York : Springer. Chapitre 38, p. 495-506. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5\\_269-1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_269-1)].
- Gress, S. K., Huxham, M., Kairo, J. G., Mugi, L. M. et Briers, R. A. 2017. « Evaluating, predicting and mapping belowground carbon stores in Kenyan mangroves ». *Global Change Biology*, vol. 23, no 1, p. 224-234. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/gcb.13438>].
- Griffiths, L., Connolly, R. M. et Brown, C. J. 2019. « Critical gaps in seagrass protection reveal the need to address multiple pressures and cumulative impacts ». *Ocean & Coastal Management*, à paraître. [Consultable à l'adresse : <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104946>].
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2013. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Genève : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. [Consultable à l'adresse [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands\\_Supplement\\_Entire\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf)].
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2019. « Résumé à l'intention des décideurs ». In : Abram, N., Adler, C., Bindoff, N. L., Cheng, L., Cheong, S.-M., Cheung, W. W. L. et al. *Rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans le contexte des changements climatiques*. Genève : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. [Consultable à l'adresse [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC\\_SPM\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_fr.pdf)].
- Guerry, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R. et al. 2015. « Natural capital and ecosystem services informing decisions: from promise to practice ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, p. 7348-7355. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1073/pnas.1503751112>].
- Harcourt, W. D., Briers, R. A. et Huxham, M. 2018. « The thin(ning) green line? Investigating changes in Kenya's seagrass coverage ». *Biology Letters*, vol. 14, no 11, article 20180227. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0227>].
- Hashim, M., Misbari, S., Yahya, N. N., Ahmad, S., Reba, M. N. et Komatsu, T. 2014. « An approach for quantification of submerged seagrass biomass in shallow turbid coastal waters ». *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, p. 4439-4442. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6947476>].
- Hejnovicz, A. P., Kennedy, H., Rudd, M. A. et Huxham, M. R. 2015. « Harnessing the climate mitigation, conservation and poverty alleviation potential of seagrasses: prospects for developing blue carbon initiatives and payment for ecosystem service programmes ». *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, article 32. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00032>].
- Herr, D., Agardy, T., Benzaken, D., Hicks, F., Howard, J., Landis, E. et al. 2015. *Coastal "Blue" Carbon: A Revised Guide to Supporting Coastal Wetland Programs and Projects Using Climate Finance and Other Financial Mechanisms*. Gland : Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN). [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2015.10.en>].
- Herr, D., von Unger, M., Laffoley, D. et McGivern, A. 2017. « Pathways for implementation of blue carbon initiatives ». *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 27, no S1, p. 116-129. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1002/aqc.2793>].
- Hidayati, N., Karuniasa, M., Patria, M. P. et Suparmoko, M. 2018. « Developing payment for ecosystem services scheme on Pari Island Kepulauan Seribu ». *E3S Web of Conferences*, vol. 68, article 02010. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186802010>].
- Hobday, A. J. et Lough, J. M. 2011. « Projected climate change in Australian marine and freshwater environments ». *Marine and Freshwater Research*, vol. 62, p. 1000-1014. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1071/MF10302>].
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I. et al. 2018. « Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems ». In : Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R. et al. (éd.). *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Genève : Organisation météorologique mondiale. Chapitre 3, p. 175-311. [Consultable à l'adresse : <https://www.ipcc.ch/sr15/>].
- Holon, F., Boissery, P., Guilbert, A., Freschet, E. et Deter, J. 2015. « The impact of 85 years of coastal development on shallow seagrass beds (*Posidonia oceanica* L. (Delile)) in South Eastern France: A slow but steady loss without recovery ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 165, p. 204-212. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.017>].
- Huff, A. et Tonui, C. 2017. *Making 'Mangroves Together': Carbon, Conservation and Co-management in Gazi Bay, Kenya*. Brighton : STEPS Centre. [Consultable à l'adresse <https://steps-centre.org/publication/making-mangroves-together-carbon-conservation-co-management-gazi-bay-kenya/>].
- Hughes, A. R., Williams, S. L., Duarte, C. M., Heck Jr., K. L. et Waycott, M. 2009. « Associations of concern: declining seagrasses and threatened dependent species ». *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 7, no 5, p. 242-246. [Consultable à l'adresse <https://www.doi.org/10.1890/080041>].
- Huwylar, F., Kaeppli, J., Serafimova, K., Swanson, E. et Tobin, J. 2014. « Making conservation finance investable ». *Stanford Social Innovation Review*. [Consultable à l'adresse [https://ssir.org/up\\_for\\_debate/article/making\\_conservation\\_finance\\_investable#](https://ssir.org/up_for_debate/article/making_conservation_finance_investable#)].
- Huxham, M., Whitlock, D., Githaiga, M. et Dencer-Brown, A. 2018. « Carbon in the coastal seascape: how interactions between mangrove forests, seagrass meadows and tidal marshes influence carbon storage ». *Current Forestry Reports*, vol. 4, no 2, p. 101-110. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s40725-018-0077-4>].
- Hyndes, G. A., Heck Jr., K. L., Vergés, A., Harvey, E. S., Kendrick, G. A., Lavery, P. S. et al. 2016. « Accelerating tropicalization and the transformation of temperate seagrass meadows ». *BioScience*, vol. 66, no 11, p. 938-948. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1093/biosci/biw111>].
- Hyndes, G. A., Nagelkerken, I., McLeod, R. J., Connolly, R. M., Lavery, P. S. et Vanderklift, M. A. 2014. « Mechanisms and ecological role of carbon transfer within coastal seascapes ». *Biological Reviews*, vol. 89, no 1, p. 232-254. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/brv.12055>].
- Inaba, N., Trainer, V. L., Onishi, Y., Ishii, K., Wyllie-Echeverria, S. et Imai, I. 2017. « Algicidal and growth-inhibiting bacteria associated with seagrass and macroalgae beds in Puget Sound, WA, USA ». *Harmful Algae*, vol. 62, p. 136-147. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.04.004>].
- Jackson, E. L., Rees, S. E., Wilding, C. et Attrill, M. J. 2015. « Use of a seagrass residency index to apportion commercial fishery landing values and recreation fisheries expenditure to seagrass habitat service ». *Conservation Biology*, vol. 29, no 3, p. 899-909. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/cobi.12436>].
- James, R. K., Silva, R., van Tussenbroek, B. I., Escudero-Castillo, M., Mariño-Tapia, I., Dijkstra, H. A. et al. 2019. « Maintaining tropical beaches with seagrass and algae: a promising alternative to engineering solutions ». *BioScience*, vol. 69, no 2, p. 136-142. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1093/biosci/biy154>].
- Jelbart, J. E., Ross, P. M. et Connolly, R. M. 2007. « Fish assemblages in seagrass beds are influenced by the proximity of mangrove forests ». *Marine Biology*, vol. 150, no 5, p. 993-1002. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0419-9>].
- Jentoft, S. 2019. *Life above Water. Essays of Human Experiences in Small-Scale Fisheries*. St John's : Too Big to Ignore. [Consultable à l'adresse <https://tbtiglobal.net/wp-content/uploads/2019/10/Life-Above-Water-Jentoft-2019959-1.pdf>].

- Jones, B. L., Cullen-Unsworth, L. C., Howard, R. et Unsworth, R. K. F. 2018. « Complex yet fauna-deficient seagrass ecosystems at risk in southern Myanmar ». *Botanica marina*, vol. 61, p. 193-203. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1515/bot-2017-0082>].
- Jones, B.L., Unsworth, R.K.F., McKenzie, L.J., Yoshida, R.L. et Cullen-Unsworth, L.C. 2018. « Crowdsourcing conservation: the role of citizen science in securing a future for seagrass ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 134, p. 210-215. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.005>].
- Kannan, R.R.R., Arumugam, R. et Anantharaman, P. 2010. « Antibacterial potential of three seagrasses against human pathogens ». *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, vol. 3, no 11, p. 890-893. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(10\)60214-3](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(10)60214-3)].
- Kendrick, G. A., Hegge, B. J., Wyllie, A., Davidson, A. et Lord, D. A. 2000. « Changes in seagrass cover on Success and Parmelia Banks, Western Australia between 1965 and 1995 ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 50, p. 341-353. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1006/ecss.1999.0569>].
- Kendrick, G. A., Nowicki, R. J., Olsen, Y. S., Strydom, S., Fraser, M. W., Sinclair, E. A. et al. 2019. « A systematic review of how multiple stressors from an extreme event drove ecosystem-wide loss of resilience in an iconic seagrass community ». *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, article 455. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00455>].
- Kendrick, G. A., Orth, R. J., Statton, J., Hovey, R., Ruiz Montoya, L., Lowe, R. J. et al. 2017. « Demographic and genetic connectivity: the role and consequences of reproduction, dispersal and recruitment in seagrasses ». *Biological Reviews*, vol. 92, p. 921-938. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/brv.12261>].
- Koch, M., Bowes, G., Ross, C. et Zhang, X-H. 2013. « Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae ». *Global Change Biology*, vol. 19, no 1, p. 103-132. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02791.x>].
- Komatsu, T., Igarashi, C., Tatsukawa, K., Sultana, S., Matsuoka, Y. et Harada, S. 2003. « Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku Coast of Japan ». *Aquatic Living Resources*, vol. 16, no 3, p. 223-230. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00045-7)].
- Komatsu, T., Sagawa, T., Sawayama, S., Tanoue, H., Mohri, A. et Sakanishi, Y. 2012. « Mapping is a key for sustainable development of coastal waters: examples of seagrass beds and aquaculture facilities in Japan with use of ALOS images ». In : Ghenai, C. (éd.). *Sustainable Development – Education, Business and Management – Architecture and Building Construction – Agriculture and Food Security*. Londres : IntechOpen. Chapitre 8, p. 145-160. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.5772/26613>].
- Konar, B. et Iken, K. 2018. « The use of unmanned aerial vehicle imagery in intertidal monitoring ». *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 147, p. 79-86. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.04.010>].
- Kowek, D. A., Zimmerman, R. C., Hewett, K. M., Gaylord, B., Giddings, S. N., Nickols, K. J. et al. 2018. « Expected limits on the ocean acidification buffering potential of a temperate seagrass meadow ». *Ecological Applications*, vol. 28, no 7, p. 1694-1714. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1002/eap.1771>].
- Krause-Jensen, D., Serrano, O., Apostolaki, E. T., Gregory, D. J. et Duarte, C. M. 2019. « Seagrass sedimentary deposits as security vaults and time capsules of the human past ». *Ambio*, vol. 48, no 4, p. 325-335. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1083-2>].
- Kroeker, K. J., Kordas, R. L. et Harley, C. D. G. 2017. « Embracing interactions in ocean acidification research: confronting multiple stressor scenarios and context dependence ». *Biology Letters*, vol. 13, no 3, article 20160802. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0802>].
- Laffoley, D. et Grimsditch, G. D. (éd.) 2009. *The management of natural coastal carbon sinks*. Gland : Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN). [Consultable à l'adresse <https://www.iucn.org/content/management-natural-coastal-carbon-sinks-0>].
- Lamb, J. B., van de Water, J. A. J. M., Bourne, D. G., Altier, C., Hein, M. Y., Fiorenza, E. A. et al. 2017. « Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates ». *Science*, vol. 355, no 6326, p. 731-733. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1126/science.aal1956>].
- Lauer, M. et Aswani, S. 2010. « Indigenous knowledge and long-term ecological change: detection, interpretation, and responses to changing ecological conditions in Pacific Island communities ». *Environmental Management*, vol. 45, no 5, p. 985-997. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9471-9>].
- Lavery, P. S., McMahon, K., Mulligan, M. et Tennyson, A. 2009. « Interactive effects of timing, intensity and duration of experimental shading on *Amphibolis griffithii* ». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 394, p. 21-33. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3354/meps08242>].
- Lavery, P. S., McMahon, K., Weyers, J., Boyce, M. C. et Oldham, C. E. 2013. « Release of dissolved organic carbon from seagrass wrack and its implications for trophic connectivity ». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 494, p. 121-133. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3354/meps10554>].
- Lefcheck, J. S., Hughes, B. B., Johnson, A. J., Pfirmann, B. W., Rasher, D. B., Smyth, A. R. et al. 2019. « Are coastal habitats important nurseries? A meta-analysis ». *Conservation Letters*, vol. 12, no 4, article e12645. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/conl.12645>].
- Lefcheck, J. S., Orth, R. J., Dennison, W. C., Wilcox, D. J., Murphy, R. R., Keisman, J. et al. 2018. « Long-term nutrient reductions lead to the unprecedented recovery of a temperate coastal region ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, no 14, p. 3658-3662. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1073/pnas.1715798115>].
- Lefcheck, J. S., Wilcox, D. J., Murphy, R. R., Marion, S. R. et Orth, R. J. 2017. « Multiple stressors threaten the imperiled coastal foundation species eelgrass (*Zostera marina*) in Chesapeake Bay, USA ». *Global Change Biology*, vol. 23, no 9, p. 3474-3483. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/gcb.13623>].
- Lilley, R. J. et Unsworth, R. K. F. 2014. « Atlantic cod (*Gadus morhua*) benefits from the availability of seagrass (*Zostera marina*) nursery habitat ». *Global Ecology and Conservation*, vol. 2, p. 367-377. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.10.002>].
- Liquete, C., Piroddi, C., Drakou, E. G., Gurney, L., Katsanevakis, S., Charef, A. et Egoh, B. 2013. « Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review ». *PLoS One*, vol. 8, no 7, article e67737. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067737>].
- Locatelli, T., Binet, T., Kairo, J. G., King, L., Madden, S., Patenaude, G. et al. 2014. « Turning the tide: how blue carbon and payments for ecosystem services (PES) might help save mangrove forests ». *Ambio*, vol. 43, no 8, p. 981-995. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0530-y>].
- Lovelock, C. E. et Duarte, C. M. 2019. « Dimensions of Blue Carbon and emerging perspectives ». *Biology Letters*, vol. 15, no 3, article 20180781. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0781>].
- Lundquist, C. J., Jones, T. C., Parkes, S. M. et Bulmer, R. H. 2018. « Changes in benthic community structure and sediment characteristics after natural recolonisation of the seagrass *Zostera muelleri* ». *Scientific Reports*, vol. 8, article 13250. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31398-2>].
- Macreadie, P. I., Trevathan-Tackett, S. M., Baldock, J. A. et Kelleway, J. J. 2017. « Converting beach-cast wrack into biochar: a climate-friendly solution to a coastal problem ». *Science of the Total Environment*, vol. 574, p. 90-94. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.021>].
- Madin, J., Bowers, S., Schildhauer, M., Krivov, S., Pennington, D. et Villa, F. 2007. « An ontology for describing and synthesizing ecological observation data ». *Ecological Informatics*, vol. 2, no 3, p. 279-296. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2007.05.004>].
- Malsa, M. 2019. « Quarter of luxury resorts commit to Seagrass Protection ». *The Edition*, 30 juin. [Consulté le 1er août 2019] <https://edition.mv/news/11271>
- Manzello, D. P., Enochs, I. C., Melo, N., Gledhill, D. K. et Johns, E. M. 2012. « Ocean acidification refugia of the Florida Reef Tract ». *PLoS One*, vol. 7, no 7, article e41715. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041715>].
- Marbà, N. et Duarte, C. M. 2010. « Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality ». *Global Change Biology*, vol. 16, p. 2366-2375. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02130.x>].
- Marbà, N., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Birk, S., Pedersen, A., Neto, J. M. et al. 2013. « Diversity of European seagrass indicators: patterns within and across regions ». *Hydrobiologia*, vol. 704, no 1, p. 265-278. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1403-7>].
- Martin, J. A., Gray, S., Aceves-Bueno, E., Alagona, P., Elwell, T. L., Garcia, A. et al. 2019. « What is marine justice? ». *Journal of Environmental Studies and Sciences*, vol. 9, no 2, p. 234-243. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s13412-019-00545-0>].
- Martin, A., Landis, E., Bryson, C., Lynaugh, S., Mongeau, A. et Lutz, S. 2016. *Blue Carbon – Nationally Determined Contributions Inventory*. Arendal : GRID-Arendal.
- Martino, S. et Amos, C. L. 2015. « Valuation of the ecosystem services of beach nourishment in decision-making: the case study of Tarquinia Lido, Italy ». *Ocean & Coastal Management*, vol. 111, p. 82-91. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.012>].

- Maxwell, P. S., Eklöf, J. S., van Katwijk, M. M., O'Brien, K. R., de la Torre-Castro, M., Boström, C. et al. 2016. « The fundamental role of ecological feedback mechanisms for the adaptive management of seagrass ecosystems – a review ». *Biological Reviews*, vol. 92, p. 1521-1538. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/brv.12294>].
- Maxwell, P. S., Pitt, K. A., Olds, A. D., Rissik, D. et Connolly, R. M. 2015. « Identifying habitats at risk: simple models can reveal complex ecosystem dynamics ». *Ecological Applications*, vol. 25, p. 573-587. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1890/14-0395.1>].
- McArthur, L. C. et Boland, J. W. 2006. « The economic contribution of seagrass to secondary production in South Australia ». *Ecological Modelling*, vol. 196, no 1 et no 2, p. 163-172. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.030>].
- McKenzie, L. J., Campbell, S. J. et Roder, C. A. 2003. *Seagrass-Watch: Manual for Mapping & Monitoring Seagrass Resources by Community (citizen) Volunteers*. Deuxième édition. Cairns : Département des Industries primaires du Queensland.
- McKenzie L. J., Collier, C. J., Langlois, L. A., Yoshida, R. L., Uusitalo, J., Smith, N. et al. 2019. *Marine Monitoring Program: Annual Report for Inshore Seagrass Monitoring 2017-18*. Townsville : Autorité du parc marin du récif de la Grande Barrière.
- McKenzie L. J., Nordlund, L. M., Jones, B. L., Cullen-Unsworth, L. C., Roelfsema, C. et Unsworth, R. K. F. 2020. « The global distribution of seagrass meadows ». *Environmental Research Letters*, vol. 15, no 7, article 074041. [Consultable à l'adresse : <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d06>].
- McKinley, D. C., Miller-Rushing, A. J., Ballard, H. L., Bonney, R., Brown, H., Cook-Patton, S. C. et al. 2017. « Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection ». *Biological Conservation*, vol. 208, p. 15-28. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>].
- McMahon, K., van Dijk, K.-J., Ruiz Montoya, L., Kendrick, G.A., Krauss, S.L., Maycott, M. et al. 2014. « The movement ecology of seagrasses ». *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 281, article 20140878. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0878>].
- Meehan, A. J. et West, R. J. 2000. « Recovery times for a damaged *Posidonia australis* bed in south eastern Australia ». *Aquatic Botany*, vol. 67, no 2, p. 161-167. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00097-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00097-2)].
- Meinesz, A., Cuvelier, M. et Laurent, R. 1981. « Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de phanérogames marines ». *Vie et Milieu*, vol. 31, no 1, p. 27-34. Microsoft Azure. 2019. [Consulté le 25 juin 2019] <https://azure.microsoft.com/fr-fr/>
- Miller-Rushing, A., Primack, R. et Bonney, R. 2012. « The history of public participation in ecological research ». *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 10, no 6, p. 285-290. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1890/110278>].
- Morris, R. L., Konlechner, T. M., Ghisalberti, M. et Swearer, S. E. 2018. « From grey to green: Efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence ». *Global Change Biology*, vol. 24, p. 1827-1842. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/gcb.14063>].
- Nagelkerken, I., Sheaves, M., Baker, R. et Connolly, R. M. 2013. « The seascape nursery: a novel spatial approach to identify and manage nurseries for coastal marine fauna ». *Fish and Fisheries*, vol. 16, no 2, p. 362-371. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/faf.12057>].
- Nahirnick, N. K., Reshitnyk, L., Campbell, M., Hessing-Lewis, M., Costa, M., Yakimishyn, J. et al. 2019. « Mapping with confidence; delineating seagrass habitats using Unoccupied Aerial Systems (UAS) ». *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, vol. 5, p. 121-135. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1002/rse2.98>]. National Marine Science Committee. 2015. *National Marine Science Plan 2015-2025: Driving the Development of Australia's Blue Economy*.
- Needelman, B. A., Emmer, I. M., Emmett-Mattox, S., Crooks, S., Megonigal, J. P., Myers, D. et al. 2018. « The science and policy of the Verified Carbon Standard Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration ». *Estuaries and Coasts*, vol. 41, no 8, p. 2159-2171. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s12237-018-0429-0>].
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L. et Grimsditch, G. 2009. *Blue carbon*. The role of healthy oceans in binding carbon. Nairobi : Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUe) et Arendal : GRID-Arendal. [Consultable à l'adresse [https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/\\_s\\_document/83/original/BlueCarbon\\_screen.pdf?1483646492](https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/_s_document/83/original/BlueCarbon_screen.pdf?1483646492)].
- Newton, R. S. et Stefanon, A. 1975. « Application of side scan sonar in marine biology ». *Marine Biology*, vol. 31, p. 287-291. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/BF00387155>].
- Nordlund, L. M., Jackson, E. L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Becar-Carretero, P. et Creed, J. C. 2017. « Seagrass ecosystem services – What's next? ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 134, p. 145-151. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.014>].
- Nordlund, L. M., Unsworth, R. K. F., Gullström, M. et Cullen-Unsworth, L. C. 2018. « Global significance of seagrass fishery activity ». *Fish and Fisheries*, vol. 19, p. 399-412. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/faf.12259>].
- Nowicki, R. J., Thomson, J. A., Burkholder, D. A., Fourqurean, J. W. et Heithaus, M. R. 2017. « Predicting seagrass recovery times and their implications following an extreme climate event ». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 567, p. 79-93. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3354/meps12029>].
- Nuridin, N. et al. 2019. « Long-term changes of coral reef habitats in two islands with and without residents in outer Spermonde Archipelago, South Sulawesi revealed by satellite remote sensing ». *Philippine Journal of Natural Sciences*, vol. 24, p. 91-103. [Consultable à l'adresse [http://digilib.unhas.ac.id/uploaded\\_files/temporary/DigitalCollection/YzImMj-BmYjNmNTNkZGUyNDc3ZGVmYmQ5N2YyNWVhMzZiMTZhZDNkZA==.pdf](http://digilib.unhas.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/YzImMj-BmYjNmNTNkZGUyNDc3ZGVmYmQ5N2YyNWVhMzZiMTZhZDNkZA==.pdf)].
- Nussbaum, M. C. 2006. *Frontiers of Justice: Disability, Nationality and Species Membership*. Cambridge, Massachusetts et Londres : The Belknap Press of Harvard University Press.
- O'Brien, K. R., Waycott, M., Maxwell, P., Kendrick, G. A., Udy, J. W., Ferguson, J. P. et al. 2017. « Seagrass ecosystem trajectory depends on the relative timescales of resistance, recovery and disturbance ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 134, p. 166-176. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.006>].
- O'Leary, J. K., Micheli, F., Airoidi, L., Boch, C., De Leo, G., Elahi, R. et al. 2017. « The resilience of marine ecosystems to climatic disturbances ». *BioScience*, vol. 67, no 3, p. 208-220. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1093/biosci/biw161>].
- Olson, A. M., Hessing-Lewis, M., Haggarty, D. et Juanes, F. 2019. « Nearshore seascape connectivity enhances seagrass meadow nursery function ». *Ecological Applications*, vol. 29, no 5, article e01897. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1002/eap.1897>].
- Ondiviela, B., Losada, I. J., Lara, J. L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T. J. et al. 2014. « The role of seagrass in coastal protection in a changing climate ». *Coastal Engineering*, vol. 87, p. 158-168. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.005>].
- Organisation des Nations Unies. 2015. *Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030)*. Genève : Organisation des Nations Unies.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L. et al. 2006. « A global crisis for seagrass ecosystems ». *BioScience*, vol. 56, no 12, p. 987-996. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2)].
- Orth, R. J., Fishman, J. R., Wilcox, D. J. et Moore, K. A. 2002. « Identification and management of fishing gear impacts in a recovering seagrass system in the coastal bays of the Delmarva Peninsula, USA ». *Journal of Coastal Research*, vol. 37, p. 111-129.
- Palaniappan, P., Sathishkumar, G. et Sankar, R. 2015. « Fabrication of nano-silver particles using *Cymodocea serrulata* and its cytotoxicity effect against human lung cancer A549 cells line ». *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 138, p. 885-890. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.10.072>].
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P. et Pergent, G. 1998. « Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side scan sonar: application off Island of Corsica (France) ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 47, p. 359-367. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0361>].
- Pearson, R. M., Jinks, K. I., Brown, C. J., Schlacher, T. A. et Connolly, R. M. 2018. « Functional changes in reef systems in warmer seas: Asymmetrical effects of altered grazing by a widespread crustacean mesograzers ». *Science of the Total Environment*, vol. 644, p. 976-981. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.051>].
- Phauk, S., Komatsu, T., Sawayama, S. et Noiraksar, T. 2012. « Marine habitat mapping: using ALOS AVNIR-2 satellite image for seagrass beds around Rabbit (Koh Tonsay) Island, Cambodia ». In : Frouin, R. J., Ebuchi, N., Pan, D. et Saino, T. (éd.). *Remote Sensing of the Marine Environment II*. Proceedings of SPIE, volume 8525, article 85250V. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1117/12.999310>].
- Piudu, N. 2010. « Incentivising community engagement in dugong and seagrass conservation in Timor-Leste through volunteer ecotourism (TL2) ». [Consulté le 26 novembre 2019] <https://www.dugongconservation.org/project/incentivising-community-engagement-dugong-seagrass-conservation-timor-leste-volunteer-ecotourism-tl2/>
- Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques. 2019. *Résumé à l'intention des décideurs*

- du rapport sur l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques. Panama : Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques. [Consultable à l'adresse [https://ipbes.net/sites/default/files/ipbes\\_7\\_10\\_add.1\\_fr.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/ipbes_7_10_add.1_fr.pdf)].
- Plummer, M., Harvey, C. J., Anderson, L., Guerry, A. D. et Ruckelshaus, M. H. 2013. « The role of eelgrass in marine community interactions and ecosystem services: results from ecosystem-scale food web models ». *Ecosystems*, vol. 16, no 2, p. 237-251. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9609-0>].
- Potouroglou, M., Bull, J.C., Krauss, K.W., Kennedy, H. A., Fusi, M., Daffonchio, D. et al. 2017. « Measuring the role of seagrass in regulating sediment surface elevation ». *Scientific Reports*, vol. 7, article 11917. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12354-y>].
- Programme des Nations Unies pour l'environnement et Fonds pour l'environnement mondial. 1999. South China Sea Project. Reversing Environmental Degradation Trends in the South China Sea and Gulf of Thailand. [Consultable à l'adresse : <http://www.unepscs.org/>].
- Programme des Nations Unies pour l'environnement et Programme pour l'environnement des Caraïbes (n. d.). « Conservation and sustainable use of marine and coastal ecosystems ». [Consulté le 26 novembre 2019] <http://cep.unep.org/content/about-cep/spaw/conservation-and-sustainable-use-of-marine-and-coastal-ecosystems-1>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement et Union internationale pour la conservation de la nature. 2019. Protected Planet. WDPA data set. [Consulté le 26 novembre 2019] <https://www.protectedplanet.net/>
- Ramesh, R., Banerjee, K., Paneer Selvam, A., Lakshmi, A., Krishnan, P et Purvaja, R. 2018. « Legislation and policy options for conservation and management of seagrass ecosystems in India ». *Ocean & Coastal Management*, vol. 159, p. 46-50. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.12.025>].
- Reynolds, L.K., Waycott, M., McGlathery, K.J. et Orth, R.J. 2016. « Ecosystem services returned through seagrass restoration ». *Restoration Ecology*, vol. 24, no 5, p. 583-588. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/rec.12360>]
- Rondinelli, D.A. et Berry, M.A. 2000. « Environmental citizenship in multinational corporations: social responsibility and sustainable development ». *European Management Journal*, vol. 18, no 1, p. 70-84. [Consultable à l'adresse : [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(99\)00070-5](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(99)00070-5)].
- Saintilan, N., Wilson, N.C., Rogers, K., Rajkaran, A. et Krauss, K.W. 2014. « Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits ». *Global Change Biology*, vol. 20, no 1, p. 147-157. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/gcb.12341>].
- Sandoval-Gil, J., Alexandre, A., Santos, R., et Camacho-Ibar, V.F. 2016. « Nitrogen uptake and internal recycling in *Zostera marina* exposed to oyster farming: eelgrass potential as a natural biofilter ». *Estuaries and Coasts*, vol. 39, no 6, p. 1694-1708. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s12237-016-0102-4>].
- Saunders, M.I., Leon, J.X., Callaghan, D.P., Roelfsema, C.M., Hamylton, S., Brown, C.J. et al. 2014. « Interdependency of tropical marine ecosystems in response to climate change ». *Nature Climate Change*, vol. 4, p. 724-729. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/nclimate2274>].
- Saunders, M.I., Leon, J.X., Phinn, S.R., Callaghan, D.P., O'Brien, K.R., Roelfsema, C.M. et al. 2013. « Coastal retreat and improved water quality mitigate losses of seagrass from sea level rise ». *Global Change Biology*, vol. 19, p. 2569-2583. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/gcb.12218>].
- Scott, A.L., York, P.H., Duncan, C., Macreadie, P.I., Connolly, R.M., Ellis, M.T. et al. 2018. « The role of herbivory in structuring tropical seagrass ecosystem service delivery ». *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, article 127. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00127>].
- Seddou, S., Connolly, R.M. et Edyvane, K.S. 2000. « Large-scale seagrass dieback in northern Spencer Gulf, South Australia ». *Aquatic Botany*, vol. 66, no 4, p. 297-310. [Consultable à l'adresse [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00080-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00080-7)].
- Serrano, O., Lavery, P., Masqué, P., Inostroza, K., Bongiovanni, J. et Duarte, C.M. 2016. « Seagrass sediments reveal the long-term deterioration of an estuarine ecosystem ». *Global Change Biology*, vol. 22, no 4, p. 1523-1531. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/gcb.13195>].
- Serrano, O., Lovelock, C.E., Atwood, T.B., et al. 2019. « Australian vegetated coastal ecosystems as global hotspots for climate change mitigation ». *Nature Communications*, vol. 10, no 1, p. 1-10. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12176-8>].
- Serrano, O., Mateo, M.A., Dueñas-Bohórquez, A., Renom, P., López-Sáez, J.A. et Martínez Cortizas, A. 2011. « The Posidonia oceanica marine sedimentary record: A Holocene archive of heavy metal pollution ». *Science of the Total Environment*, vol. 409, no 22, p. 4831-4840. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.001>].
- Serrano, O., Ruhon, R., Lavery, P.S., Kendrick, G.A., Hickey, S., Masqué, P. et al. 2016. « Impact of mooring activities on carbon stocks in seagrass meadows ». *Scientific Reports*, vol. 6, article 23193. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/srep23193>].
- Sheaves, M. 2009. « Consequences of ecological connectivity: the coastal ecosystem mosaic ». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 391, p. 107-115. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3354/meps08121>].
- Sherman, K. et DeBruyckere, L. A. 2018. Eelgrass habitats on the U.S. West Coast: State of the knowledge of eelgrass ecosystem services and eelgrass extent. Portland : Pacific Marine and Estuarine Fish Habitat et Arlington : The Nature Conservancy. [Consultable à l'adresse : [http://www.pacificfishhabitat.org/wp-content/uploads/2017/09/EelGrass\\_Report\\_Final\\_ForPrint\\_web.pdf](http://www.pacificfishhabitat.org/wp-content/uploads/2017/09/EelGrass_Report_Final_ForPrint_web.pdf)].
- Sherwood, E.T., Greening, H.S., Johansson, J.R., Kaufman, K. et Raulerson, G.E. 2017. « Tampa Bay (Florida, USA). Documenting seagrass recovery since the 1980's and reviewing the benefits ». *Southeastern Geographer*, vol. 57, p. 294-319. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1353/sgo.2017.0026>].
- Shokri, M.R., Gladstone, W. et Jelbart, J. 2008. « The effectiveness of seahorses and pipefish (Pisces: Syngnathidae) as a flagship group to evaluate the conservation value of estuarine seagrass beds ». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 19, no 5, p. 588-595. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1002/aqc.1009>].
- Short, F.T. et Wyllie-Echeverria, S. 1996. « Natural and human-induced disturbance of seagrasses ». *Environmental Conservation*, vol. 23, no 1, p. 17-27. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1017/S0376892900038212>].
- Short, F.T., Carruthers, T., Dennison, W. et Waycott, M. 2007. « Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model ». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 350, no 1 et no 2, p. 3-20. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.012>].
- Short, F.T., McKenzie, L.J., Coles, R.G., Vidler, K.P. et Gaeckle, J.L. 2006. SeagrassNet Manual for Scientific Monitoring of Seagrass Habitat. Worldwide edition. Durham : Université du New Hampshire. [Consultable à l'adresse <https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1446&context=prep>].
- Short, F.T., Polidoro, B., Livingstone, S.R., Carpenter, K.E., Bandeira, S., Bujang, J.S. et al. 2011. « Extinction risk assessment of the world's seagrass species ». *Biological Conservation*, vol. 144, no 7, p. 1961-1971. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.010>].
- Sievers, M., Brown, C.J., Tulloch, V.J.D., Pearson, R.M., Haig, J.A., Turschwell, M.P. et al. 2019. « The role of vegetated coastal wetlands for marine megafauna conservation ». *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 34, no 9, p. 807-817. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.04.004>].
- Small, C. et Nicholls, R.J. 2003. « A global analysis of human settlement in coastal zones ». *Journal of Coastal Research*, vol. 19, no 3, p. 584-599. [Consultable à l'adresse [https://www.researchgate.net/publication/244956994\\_A\\_Global\\_Analysis\\_of\\_Human\\_Settlement\\_in\\_Coastal\\_Zones](https://www.researchgate.net/publication/244956994_A_Global_Analysis_of_Human_Settlement_in_Coastal_Zones)].
- Smith, N.G. et Dukes, J.S. 2013. « Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO2 ». *Global Change Biology*, vol. 19, p. 45-63. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02797.x>].
- Société financière internationale. 2016. Climate Investment Opportunities in Emerging Markets. Washington D. C. : Société financière internationale.
- Steward, J.S., Virmstein, R.W., Lasi, M.A., Morris, L.J., Miller, J.D., Hall, L.M. et al. 2006. « The impacts of the 2004 hurricanes on hydrology, water quality, and seagrass in the central Indian River Lagoon, Florida ». *Estuaries and Coasts*, vol. 29, no 6, p. 954-965. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/BF02798656>].
- Sullivan, B.K., Trevathan-Tackett, S.M., Neuhauser, S. et Govers, L.L. 2018. « Review: Host-pathogen dynamics of seagrass diseases under future global change ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 134, p. 75-88. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.030>].
- Sundblad, G., Bergström, U., Sandström, A. et Eklöv, P. 2013. « Nursery habitat availability limits adult stock sizes of predatory coastal fish ». *ICES Journal of Marine Science*, vol. 71, no 3, p. 672-680. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst056>].
- Suttor-Sorel, L. 2019. Making Finance Serve Nature. Ford, G. (éd.). Bruxelles : Finance Watch. [Consultable à l'adresse [https://www.finance-watch.org/wp-content/uploads/2019/05/Making-Finance-Serve-Nature\\_Finance-Watch-Report\\_24May2019\\_web.pdf](https://www.finance-watch.org/wp-content/uploads/2019/05/Making-Finance-Serve-Nature_Finance-Watch-Report_24May2019_web.pdf)].
- Sykes, H., Mangubhai, S. et Manley, M. 2018. Contribution of Marine Conservation Agreements to Biodiversity Protection, Fisheries Management and Sustainable Financing in Fiji. Suva : Wildlife Conservation Society. [Consultable à l'adresse <https://www.marineecologyfiji.com/wp-content/uploads/2018/04/WCS-MCA-Fiji-Report-040518-2.pdf>].
- Thangaradjou, T., Subhashini, P., Raja, S., Dilipan, E. et Nobi, E.P. 2014. «

- Evidences for heavy metal contamination in surface sediments of seagrass ecosystem of Lakshadweep archipelago, India ». *Environmental Earth Sciences*, vol. 71, no 3, p. 1135-1146. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2517-6>].
- Tomasko, D., Alderson, M., Burnes, R., Hecker, J., Leverone, J., Raulerson, G. et al. 2018. « Widespread recovery of seagrass coverage in Southwest Florida (USA): temporal and spatial trends and management actions responsible for success ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 135, p. 1128-1137. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.049>].
- Thomson, J.A., Burkholder, D.A., Heithaus, M.R., Fourqurean, J.W., Fraser, M.W., Statton, J. et al. 2015. « Extreme temperatures, foundation species, and abrupt ecosystem change: an example from an iconic seagrass ecosystem ». *Global Change Biology*, vol. 21, p. 1463-1474. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/gcb.12694>].
- Topouzelis, K., Makri, D., Stoupas, N., Papakonstantinou, A. et Katsanevakis, S. 2018. « Seagrass mapping in Greek territorial waters using Landsat-8 satellite images ». *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 67, p. 98-113. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.013>].
- Traganos, D., Aggarwal, B., Poursanidis, D., Topouzelis, K., Chrysoulakis, N. et Reinartz, P. 2018. « Towards global-scale seagrass mapping and monitoring using Sentinel-2 on Google Earth Engine: the case study of the Aegean and Ionian Seas ». *Remote Sensing*, vol. 10, no 8, article 1227. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.3390/rs10081227>].
- Tsujimoto, R., Terauchi, G., Sasaki, H., Sakamoto, S.X., Sawayama, S., Sasa, S., Yagi, H. et al. 2016. « Damage to seagrass and seaweed beds in Matsushima Bay, Japan, caused by the huge tsunami of the Great East Japan Earthquake on 11 March 2011 ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 37, no 24, p. 5843-5863. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1249300>].
- Turner, S. et Schwarz, A.-M. 2006. *Management and conservation of seagrass in New Zealand: an introduction*. Wellington : Ministère de la Conservation de Nouvelle-Zélande, Science for Conservation, vol. 264. [Consultable à l'adresse <https://www.doc.govt.nz/documents/science-and-technical/SFC264.pdf>].
- Uchida, M., Miyoshi, T., Kaneniwa, M., Ishihara, K., Nakashimada, Y. et Urano, N. 2014. « Production of 16.5% v/v ethanol from seagrass seeds ». *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 118, no 6, p. 646-650. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2014.05.017>].
- Unsworth, R.K.F., Coles, R., Grech, A., McKenzie, L.J., Rasheed, M.A. et Short, F.T. 2011. « Seagrass ecology and threats in the tropical Indo-Pacific bioregion ». In : Pirog, R. S. (éd.). *Seagrass: Ecology, Uses and Threats*. Hauppauge : Nova Science Publishers, Inc.
- Unsworth, R.K.F., Collier, C.J., Henderson, G.M. et McKenzie, L.J. 2012. « Tropical seagrass meadows modify seawater carbon chemistry: implications for coral reefs impacted by ocean acidification ». *Environmental Research Letters*, vol. 7, no 2, article 024026. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024026>].
- Unsworth, R.K.F., Collier, C.J., Waycott, M., McKenzie, L.J. et Cullen-Unsworth, L.C. 2015. « A framework for the resilience of seagrass ecosystems ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 100, p. 34-46. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.016>].
- Unsworth, R.K.F., Hinder, S.L., Bodger, O.G. et Cullen-Unsworth, L.C. 2014. « Food supply depends on seagrass meadows in the coral triangle ». *Environmental Research Letters*, vol. 9, no 9, article 094005. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/094005>].
- Unsworth, R.K.F., McKenzie, L.J., Collier, C.J., Cullen-Unsworth, L.C., Duarte, C.M., Eklöf, J.S. et al. 2019. « Global challenges for seagrass conservation ». *Ambio*, vol. 48, no 8, p. 801-815. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1115-y>].
- Unsworth, R.K.F., Nordlund, L.M. et Cullen-Unsworth, L.C. 2019. « Seagrass meadows support global fisheries production ». *Conservation Letters*, vol. 12, no 1, article e12566. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/conl.12566>].
- Uthicke, S., Furnas, M. et Lønborg, C. 2014. « Coral reefs on the edge? Carbon chemistry on inshore reefs of the Great Barrier Reef ». *PloS One*, vol. 9, no 10, article e109092. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109092>].
- van Beusekom, J. 2010. « Decreasing eutrophication of the Wadden Sea: how low should we go? ». In : Marencic, H., Eskildsen, K., Farke, H. et Hedtkamp, S. (éd.). *Science for Nature Conservation and Management: The Wadden Sea Ecosystem and EU Directives*. Proceedings of the 12th International Scientific Wadden Sea Symposium in Wilhelmshaven, Germany on 30 March – 3 April 2009. Wadden Sea Ecosystem 26. Wilhelmshaven : Secrétariat commun de la mer des Wadden, p. 29-33.
- van Katwijk, M.M., Bos, A.R., Kennis, P. et de Vries, R. 2010. « Vulnerability to eutrophication of a semi-annual life history: A lesson learnt from an extinct eelgrass (*Zostera marina*) population ». *Biological Conservation*, vol. 143, no 1, p. 248-254. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.08.014>].
- van Katwijk, M.M., Thorhaug, A., Marbà, N., Orth, R.J., Duarte, C.M., Kendrick, G.A. et al. 2016. « Global analysis of seagrass restoration: the importance of large-scale planting ». *Journal of Applied Ecology*, vol. 53, no 2, p. 567-578. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12562>].
- Van Luong, C., Van Thao, N., Komatsu, T., Ve, N.D. et Tien, D.D. 2012. « Status and threats on seagrass beds using GIS in Vietnam ». In : Frouin, R.J., Ebuchi, N., Pan, D. et Saino, T. (éd.). article 852512. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1117/12.977277>].
- Vanderklift, M.A., Marcos-Martinez, R., Butler, J.R.A., Coleman, M., Lawrence, A., Prislán, H. et al. 2019. « Constraints and opportunities for market-based finance for the restoration and protection of blue carbon ecosystems ». *Marine Policy*, vol. 107, article 103429. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.001>].
- Vergés, A., Tomas, F., Cebrian, E., Ballesteros, E., Kizilkaya, Z., Dendrinis, P. et al. 2014. « Tropical rabbitfish and the deforestation of a warming temperate sea ». *Journal of Ecology*, vol. 102, p. 518-527. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12324>].
- Wahl, M., Schneider Covachá, S., Saderne, V., Hiebenthal, C., Müller, J.D., Pansch, C. et al. 2017. « Macroalgae may mitigate ocean acidification effects on mussel calcification by increasing pH and its fluctuations ». *Limnology and Oceanography*, vol. 63, no 1, p. 3-21. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1002/lno.10608>].
- Walter, R.K., Rainville, E.J. et O'Leary, J.K. 2018. « Hydrodynamics in a shallow seasonally low-inflow estuary following eelgrass collapse ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 213, p. 160-175. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.026>].
- Ward, D.H., Morton, A., Tibbitts, T.L., Douglas, D.C. et Carrera-González, E. 2003. « Long-term change in eelgrass distribution at Bahía San Quintín, Baja California, Mexico, using satellite imagery ». *Estuaries*, vol. 26, article 1529. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1007/BF02803661>].
- Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnik, S. et al. 2009. « Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, no 30, p. 12377-12381. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>].
- Wernberg, T., Smale, D.A., Tuya, F., Thomsen, M.S., Langlois, T.J., de Bettignies, T. et al. 2012. « An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot ». *Nature Climate Change*, vol. 3, p. 78-82. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1038/nclimate1627>].
- Williams, S.L. 2001. « Reduced genetic diversity in eelgrass transplantations affects both population growth and individual fitness ». *Ecological Applications*, vol. 11, no 5, p. 1472-1488. [Consultable à l'adresse : [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1472:RGDIET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1472:RGDIET]2.0.CO;2)].
- Wohner, C., Peterseil, J., Poursanidis, D., Kliment, T., Wilson, M., Mirti, M. et al. 2019. « DEIMS-SDR – A web portal to document research sites and their associated data ». *Ecological Informatics*, vol. 51, p. 15-24. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.01.005>].
- Wu, P.P.-Y., McMahon, K., Rasheed, M.A., Kendrick, G.A., York, P.H., Chartrand, K. et al. 2017. « Managing seagrass resilience under cumulative dredging affecting light: Predicting risk using dynamic Bayesian networks ». *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, no 3, p. 1339-1350. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13037>].
- Wunder, S. 2005. *Payments for Environmental Services: Some Nuts and Bolts*. Bogor : Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR). [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.17528/cifor/001760>].
- Yaakub, S.M., McKenzie, L.J., Erfteimeijer, P.L., Bouma, T. et Todd, P.A. 2014. « Courage under fire: seagrass persistence adjacent to a highly urbanised city-state ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 83, no 2, p. 417-424. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.012>].
- York, P.H., Smith, T.M., Coles, R.G., McKenna, S.A., Connolly, R.M., Irving, A.D. et al. 2017. « Identifying knowledge gaps in seagrass research and management: An Australian perspective ». *Marine Environmental Research*, vol. 127, p. 163-172. [Consultable à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.06.006>].

# Nedret Andre

Nedret Andre est une artiste contemporaine du quartier de SoWa, à Boston. Ses activités de process art ont pour thème principal la vie sous-marine et les habitats d'herbiers marins. Ses peintures gestuelles s'inspirent de ses déplacements sur le terrain, auprès des scientifiques, et de sa participation aux efforts de restauration des herbiers marins dans le Massachusetts. Elle est diplômée de la licence de beaux-arts du Massachusetts College of Art et du master de beaux-arts du Maine College of Art.

Nedret Andre montre, d'un point de vue artistique, la résilience de la nature et les efforts de la communauté scientifique pour atténuer les effets des changements climatiques. Son art met en lumière le rôle essentiel des herbiers marins pour la santé de nos océans.

Nedret Andre représente l'eau par des lavis de peinture, qu'elle recouvre de peinture plus opaque afin de constituer ses compositions abstraites.

Nedret a effectué des performances individuelles : à la galerie Beacon, dans les ateliers de la Chashama à New York, à la galerie Art Square du Copley Square Hotel, à la galerie Enso, à la galerie Hess, à Artlery, à l'Université de Boston, à la galerie Stetson et à la galerie Touch. Elle a participé à des performances de groupe : au musée de Monmouth, au musée de Danforth, à la galerie Walsingham, à la galerie Carole Calo, à la galerie Soprafina, à la galerie Kingston et à la galerie Piano Craft.

Ses œuvres figurent dans des collections aux États-Unis, en Suisse, en Égypte, en France, en Allemagne, en Turquie et en Angleterre.

De plus, l'hôpital de Mount Auburn, l'hôpital de Cape Cod et la banque Danvers ont également acquis certaines de ses peintures, dans le cadre du programme de prêt d'œuvres d'art à des entreprises du musée de Cordova. Deux de ses peintures font partie de la collection d'art publique de Lasell Village.

Les peintures de Nedret Andre ont par ailleurs été commentées dans les magazines Art New England et ArtScope Magazine.



**Seagrass** (couverture)  
Huile sur toile, 46" x 36", 2016



**02 Bubbles** (pp.16-17)  
Huile sur toile, 36" x 60", 2019



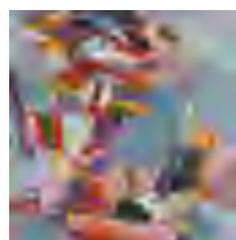
**Intertidal** (pp.56-57)  
Huile sur toile, 68" x 50", 2016



**Harvest Moon** (pp.66-67)  
Huile sur toile, 36" x 60", 2019



**Carbon Capture** (p.77)  
Huile sur toile, 60" x 48", 2017



**Bubblegum Somersault** (p.81)  
Huile sur toile, 36" x 36", 2016

# Annexe.

## Herbiers marins et contributions déterminées au niveau national

Pays	Année	Actions au titre des contributions déterminées au niveau national
Bahamas	2020–2030	<p><b>Le rôle des herbiers marins est pris en compte dans les mesures d'atténuation et d'adaptation, et ces dernières comprennent notamment la protection des environnements marins proches du littoral.</b></p> <p>« Atténuation : [...] Une gestion améliorée aura des effets bénéfiques sur nos écosystèmes forestiers ainsi que sur les relations entre crêtes et récifs en vue de protéger les coraux, les herbiers marins essentiels à la pérennité des moyens de subsistance et la fonctionnalité de nos écosystèmes de mangroves, ce qui renforcera leur capacité de stockage du carbone. »</p> <p>« Adaptation : [...] Les environnements marins proches du littoral jouent un rôle à part entière dans la protection des infrastructures cruciales de l'archipel. Par conséquent, les Bahamas prennent des mesures non seulement dans le cadre de la CCNUCC, mais aussi de la CDB, de la Convention sur la lutte contre la désertification et d'autres accords et initiatives multilatéraux ou régionaux pertinents et relatifs à l'environnement. Le pays s'est ainsi engagé en 2008 à participer à l'initiative Défi des Caraïbes, une nouvelle initiative centrée sur les Caraïbes qui s'inscrit dans le Programme de travail sur les zones protégées de la CDB. Cette initiative s'appuie sur les efforts réalisés dans le cadre de la CDB pour assurer la protection de 20 % des environnements marins proches de nos littoraux d'ici à 2020. Cette année, nous avons atteint la moitié de nos objectifs. Ces zones protégées visent à préserver et protéger les habitats servant aux agrégations de frai des mérous et des bananes de mer, les récifs coralliens, les prairies de phanérogames, les mangroves servant de nurserie et les zones importantes pour la conservation des oiseaux migrateurs. En outre, pour la première fois dans l'histoire des Bahamas, la Loi sur la forêt [...] protège les mangroves et les écosystèmes de mangrove identifiés ainsi que les services biologiques et écosystémiques importants menacés par la hausse du niveau de la mer. »</p>
Royaume de Bahreïn	2030	<p><b>Le rôle des herbiers marins pour l'atténuation des changements climatiques est pris en compte et décrit explicitement comme du carbone bleu.</b></p> <p>« Les prairies sous-marines, qui constituent un puits de carbone important, sont présentes le long des côtes sud-est et ouest du Bahreïn. À l'heure actuelle, le Royaume de Bahreïn ne comprend pas encore pleinement la fonction de puits de carbone que jouent ses zones d'herbiers marins, et prévoit donc de collaborer davantage avec l'Union internationale pour la conservation de la nature afin de remédier à cette lacune. »</p>
Honduras		<p><b>Le rôle joué par les herbiers marins en matière d'adaptation est pris en compte, et les mesures d'adaptation comprennent notamment la protection, la conservation et la restauration des écosystèmes littoraux et marins identifiés.</b></p> <p>« Adaptation : [...] plans et actions visant à protéger, à préserver et à restaurer les écosystèmes littoraux et marins et leur biodiversité. [...] Mesures d'adaptation : Le département des Islas de la Bahía, formé des îles Roatán, Útila et Guanaja et de l'archipel des Cayos Cochinos, comporte l'un des plus beaux récifs du pays, essentiel au développement de son secteur touristique. Les îles en question sont entourées de récifs coralliens qui accueillent de nombreuses espèces de poissons. La côte nord de l'île Roatán est dotée d'une barrière récifale presque continue. Outre les récifs coralliens, d'autres caractéristiques des écosystèmes marins littoraux sont essentielles à leur santé et à leur productivité : il s'agit des mangroves, des zones humides, des prairies sous-marines et des plages de sable. »</p>
Kiribati	2025	<p><b>Le rôle joué par les herbiers marins en faveur de l'atténuation des changements climatiques est pris en compte, et leur gestion durable figure parmi les mesures d'atténuation.</b></p> <p>« Atténuation : [...] Au-delà de ces objectifs quantitatifs, le Kiribati s'engage à protéger activement et à gérer de manière durable ses ressources de mangroves, ainsi qu'à protéger et à développer sa végétation littorale et ses prairies sous-marines. Ensemble, ces mesures permettront une gestion efficace, notamment en assurant le stockage de plus de six millions de tonnes de dioxyde de carbone, un total plus de cent fois supérieur aux émissions nationales annuelles recensées. [...] Approche de comptabilisation par secteur terrestre : Des méthodologies appropriées, tirées des bonnes pratiques internationales, sont utilisées pour quantifier le volume de carbone retenu par les mangroves plantées. »</p>
Maurice	2030	<p><b>Le rôle des herbiers marins en faveur de l'adaptation est pris en compte, et les mesures d'adaptation comprennent la protection et la réhabilitation des zones humides, des herbiers marins et des mangroves.</b></p> <p>« Mesures d'adaptation : [...] Gestion des littoraux : Améliorer la sensibilisation, accroître la restauration et renforcer les cadres réglementaires en faveur de la protection des plages, des dunes et de la végétation. [...] Renforcement de la résilience de la biodiversité terrestre et marine : Améliorer la gestion des zones marines et terrestres protégées et étendre le réseau de zones protégées, notamment par la restauration des zones humides et des herbiers, la plantation de mangroves, l'augmentation de la couverture forestière, ainsi que la restauration des récifs coralliens et la coraliculture. »</p>

Pays	Année	Actions au titre des contributions déterminées au niveau national
Mexique	2020–2030	<p><b>Le rôle des herbiers marins en faveur de l'atténuation des changements climatiques est pris en compte, et les mesures d'adaptation et d'atténuation comprennent notamment la protection des mangroves, des herbiers marins et des autres écosystèmes littoraux et marins identifiés.</b></p> <p>« Adaptation écosystémique : Les actions à mettre en œuvre dans ce domaine pour la période 2020-2030 sont les suivantes : [...] Accroître la retenue de carbone et renforcer la protection des côtes grâce à la création d'un dispositif de conservation et de régénération des écosystèmes littoraux et marins tels que les récifs coralliens, les mangroves, les herbiers marins et les dunes. »</p>
Saint-Kitts-et-Nevis		<p><b>Le rôle des herbiers marins en faveur de l'adaptation aux changements climatiques est pris en compte et les écosystèmes littoraux sont considérés comme l'un des secteurs les plus vulnérables.</b></p> <p>« Contribution à l'adaptation : [...] À Saint-Kitts-et-Nevis, les zones et secteurs les plus vulnérables sont : [...] les écosystèmes littoraux [...]. Saint-Kitts-et-Nevis, État composé de deux îles, est doté d'abondantes ressources marines et proches des côtes, qui constituent la base de nombreuses activités économiques et sociales liées aux secteurs du tourisme et de la pêche. Parmi ces ressources marines figurent des récifs coralliens, des plages, des mangroves, des lagunes d'eau douce et des prairies sous-marines. »</p>
Sri Lanka		<p><b>Le rôle des herbiers marins en faveur de l'adaptation aux effets des changements climatiques est pris en compte, et la restauration et la préservation de ces écosystèmes figurent parmi les mesures d'adaptation.</b></p> <p>« Contributions déterminées au niveau national en matière d'adaptation aux effets défavorables des changements climatiques : [...] Secteur littoral et marin : [...] En raison de la nature insulaire du pays, l'élévation du niveau de la mer posera de nombreux problèmes aux communautés côtières, menaçant leurs moyens de subsistance et les écosystèmes littoraux. Cette élévation aura des conséquences négatives pour les systèmes côtiers et les zones à faible altitude, par exemple la submersion, l'inondation des côtes, des intrusions salines et l'érosion des côtes. [...] Contributions déterminées au niveau national relatives au secteur littoral et marin : [...] 3. Restauration, préservation et gestion des coraux, des herbiers marins, des mangroves et des dunes de sable dans les zones sensibles. 3.1 Recenser et cartographier les habitats littoraux (coraux, herbiers marins, mangroves et dunes de sable) de toute la région côtière, au moyen d'une méthode compatible avec les méthodes de l'organisme chargé des enquêtes. 3.2 Identifier de manière scientifique des sites adaptés à des activités de préservation, de réhabilitation et de restauration. 3.3 Mener des projets pilotes sur les sites à priorité élevée [...] 5. Planter 1 000 ha sous forme de forêts côtières et de ceintures vertes le long du littoral de l'île. »</p>
Soudan		<p><b>Le rôle des herbiers marins en faveur de l'adaptation aux effets des changements climatiques est pris en compte, et la protection de ces écosystèmes ainsi que la gestion des zones littorales figurent parmi les mesures d'adaptation.</b></p> <p>« Adaptation : [...] Zone littorale : [...] Mettre en œuvre une gestion intégrée des zones côtières : approche intégrée de la planification de l'usage des sols, création de zones tampons écologiques, mise en place de zones protégées dans les terres afin de préserver les marais salés, les mangroves et les herbiers marins. »</p>
Émirats arabes unis		<p><b>La minimisation des effets négatifs sur les systèmes de stockage de carbone côtiers est considérée comme une mesure d'atténuation dotée de retombées bénéfiques dans le domaine de l'adaptation.</b></p> <p>« Mesures d'adaptation dotées de retombées bénéfiques dans le domaine de l'atténuation : [...] Préservation des zones humides et des environnements littoraux et marins (carbone bleu) : Les environnements littoraux et marins des Émirats arabes unis sont variés : ils comprennent des forêts de mangroves, des marais salés, des sebkhas, des vasières intertidales à tapis de cyanobactéries et de vastes prairies sous-marines. Les Émirats arabes unis ont élaboré et mis en œuvre différents plans et stratégies visant à améliorer la compréhension des zones humides, y compris les systèmes de stockage de carbone côtiers, et contribueront également à la minimisation des effets anthropiques. Par ailleurs, ils ont entrepris des efforts considérables de restauration et de plantation de mangroves et d'herbiers marins, dans le cadre de l'adaptation écosystémique. En 2013, les Émirats arabes unis ont lancé le Blue Carbon Demonstration Project, afin de permettre aux décideurs de mieux comprendre le potentiel de séquestration de carbone de l'Émirat d'Abou Dhabi. En 2014, le projet a vu son champ d'application étendu à l'ensemble du pays, et est désormais connu comme le Projet national carbone bleu des Émirats arabes unis. »</p>

**Programme des Nations Unies  
pour l'environnement**

United Nations Avenue, Gigiri  
PO Box 30552, 00100  
Nairobi, Kenya

Téléphone : +254 (0)20 762 1234  
Courriel : unenvironment-info@un.org

[www.unep.org/fr](http://www.unep.org/fr)

Courriel relatif aux publications :  
[unep-publications@un.org](mailto:unep-publications@un.org)

**GRID-Arendal**

Teaterplassen 3  
PO Box 183, N-4802 Arendal  
Norvège

Téléphone : +47 4764 4555  
Courriel : [grid@grida.no](mailto:grid@grida.no)

[www.grida.no](http://www.grida.no)

**Centre mondial de surveillance pour la  
conservation du Programme des Nations Unies  
pour l'environnement**

219 Huntingdon Road  
Cambridge CB3 0DL  
Royaume-Uni

Téléphone : +44 (0)1223 277314  
Courriel : [info@unep-wcmc.org](mailto:info@unep-wcmc.org)

[www.unep-wcmc.org](http://www.unep-wcmc.org)

