

Cap sur l'économie **bleue durable**

D

“

Et si la transition
écologique se jouait
dans les océans ? ”

Cap sur l'économie bleue durable

Et si la transition écologique
se jouait dans les océans ?

Mars 2023



L'économie bleue durable : un nouveau champ d'exploration

L'urgence climatique et ses effets considérables nous poussent à toujours plus d'exigence, de proactivité et de conscience dans la conception et le développement de nos projets. Au sein de Leonard, plateforme de prospective et d'innovation du groupe VINCI, nous nous attachons à développer cette conscience en explorant les transformations en cours et à venir pour mieux accompagner les territoires face aux défis d'aujourd'hui et de demain. Depuis la création de Leonard en 2017, nous avons pris l'habitude de débattre du futur des villes et des infrastructures. Ramenées à l'échelle de la planète, les terres immergées qui les abritent ne représentent pourtant que 30% de la superficie terrestre. Dans l'étude que vous tenez entre vos mains, c'est des 70% restants que nous vous proposons de débattre. Avec cette exploration de l'économie bleue durable, nous avons voulu intégrer à nos réflexions les mers et océans, vecteurs essentiels de la transition écologique. Pouvoirs publics, secteur financier, entreprises privées et acteurs de l'innovation en général auront tous un grand rôle à jouer dans cette transformation ; il leur faudra apprendre à se connaître et à travailler ensemble.

Que signifie précisément le terme « économie bleue » ? Si la notion gagne du terrain dans les médias, ses contours demeurent encore imprécis. Quels acteurs s'y impliquent ? Quelles sont leurs activités et perspectives d'avenir ? C'est précisément pour explorer ces questions que nous nous sommes alliés à la Sustainable Ocean Alliance (SOA), association experte du secteur maritime, avec laquelle nous avons mené un tour d'horizon des grands enjeux de l'économie bleue durable : énergies marines renouvelables, infrastructures maritimes, adaptation de nos traits de côte ou encore moyens existants pour soutenir et régénérer ce bien commun dont nous bénéficions tous.

Atout inestimable pour la transition écologique, l'économie bleue durable permet de repenser les équilibres de notre planète ; dans le même temps, on sait désormais que les prochaines grandes découvertes et innovations seront issues de l'océan. C'est pour toutes ces raisons que nous vous invitons à explorer avec nous cette passionnante économie bleue.



Julien Villalongue
Managing Director, Leonard



L'économie bleue, source d'innovation... et d'espoir

L'océan est notre plus grande protection contre le changement climatique. Comme le montre ce rapport, le potentiel inexploité de l'économie bleue est aussi vaste que l'océan est profond. Cela me donne le bien le plus précieux qui soit : l'espoir.

J'ai fondé la Sustainable Ocean Alliance (SOA) pour rechercher et développer des solutions à la crise climatique mondiale. En moins de dix ans, nous avons créé une communauté capable de restaurer la santé de l'océan dans les décennies qui viennent. Aujourd'hui, plus de 7 000 jeunes leaders du secteur de l'océan mènent des initiatives locales dans le monde entier avec le soutien de notre mentorat collectif, de nos ressources et de nos micro-subventions. Et avec l'introduction du premier accélérateur de solutions océaniques au monde, la SOA a eu l'honneur de propulser 45 start-up à but lucratif aux innovations prometteuses pour faire avancer l'économie bleue durable.

Nous sommes honorés de nous associer à Leonard, la plateforme de prospective et d'innovation de VINCI, pour sensibiliser au pouvoir de l'économie bleue. Nous savions que cette collaboration et l'étude qui en résulterait permettraient de mettre au jour des solutions innovantes

pour les communautés côtières touchées par la crise climatique et les industries liées à l'océan.

Notre alignement ne pourrait pas être plus complémentaire, car Leonard a rassemblé sa propre et vaste communauté d'acteurs pour construire collectivement les villes durables de demain. Bon nombre des villes sur lesquelles ils travaillent se trouvent dans des régions côtières menacées par le réchauffement des océans, l'acidification et la montée des eaux, entre autres menaces liées à la crise climatique.

Grâce à la combinaison de leurs réseaux, Leonard et la SOA ont lancé en 2022 un cycle d'événements sur l'économie bleue durable. Ensemble, nous avons réuni des personnalités de premier plan dans tous les secteurs pour recueillir leur expertise sur des sujets allant de l'investissement dans l'avenir de l'océan à l'exploitation du potentiel inexploré des énergies marines renouvelables, en passant par l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les communautés côtières et la transformation des ports et du fret maritime pour relever les défis environnementaux.

Tout au long de ce rapport, vous découvrirez un aperçu des idées partagées au cours de ces discussions ainsi que d'innombrables start-up et programmes pilotes inspirants et disruptifs qui relèvent les défis d'aujourd'hui au profit de notre avenir commun.

J'encourage chacun de vous à réfléchir à la manière dont les ressources décrites dans ce rapport pourraient favoriser le progrès dans votre secteur. Que nous soyons des citoyens résidant dans des communautés côtières, des chefs d'entreprise faisant évoluer leurs pratiques commerciales pour réduire les émissions, des acteurs publics analysant et mettant en œuvre les technologies disponibles ou des investisseurs protégeant leurs portefeuilles des effets du changement climatique, nous devons tous nous mobiliser pour accélérer la transition vers une économie bleue émergente et durable.

Rejoignez-nous pour célébrer, amplifier et mettre en œuvre le travail révolutionnaire de ces leaders et rêveurs.



Daniela Fernandez
CEO, Sustainable Ocean Alliance (SOA)

Table des matières

- 5 **L'économie bleue durable : un nouveau champ d'exploration**
- 6 **L'économie bleue, source d'innovation... et d'espoir**
- 10 **2022 : l'océan au cœur de l'actualité**

15 **ÉCONOMIE BLEUE DURABLE : UNE TRANSITION SOUS PRESSION**

- 14 Investir durablement dans les océans
- 18 Starfish 2030 : mission régénération
- 18 La pollution marine, un défi planétaire
- 21 Exploration et exploitation des fonds océaniques : sous les flots, un nouvel eldorado ?

25 **LES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES, FIGURES DE PROUE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ?**

- 26 Les promesses de la houle et du vent
- 29 Énergies marines renouvelables : tour d'horizon de solutions d'avenir
- 30 Chiffres clés : les énergies marines renouvelables

31 **S'ADAPTER, RÉSISTER, INVENTER : LES LITTORAUX FACE À LA MONTÉE DES EAUX**

- 32 Une menace fantôme ? Les littoraux face à la montée des niveaux marins
- 36 Montée du niveau de la mer et adaptation des littoraux : chiffres clés
- 37 SEA'TIES : face à la montée des eaux, l'entraide
- 38 Océans et cryosphère : le GIEC donne l'alerte
- 39 RespectOcean : fédérer les acteurs engagés pour la préservation de l'Océan
- 40 Atlantides et arches de Noé : quand l'humanité imagine son avenir sur et sous l'eau

43 **PORTS ET INFRASTRUCTURES MARITIMES : L'HEURE DE LA RÉINVENTION**

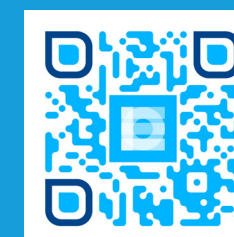
- 44 Les ports, nouveaux hubs de la transition énergétique et des mobilités
- 48 « Carbone bleu » : le rôle de la biodiversité marine dans le captage du carbone
- 50 Fret maritime : l'urgence de la décarbonation

53 **Glossaire**

56 **Bibliographie**

10 **Crédits**

SCANNEZ LE QR CODE POUR
REVOIR LES REPLAYS



2022 : l'océan au cœur de l'actualité

Qu'il s'agisse de reconnaître l'importance de sa préservation, de débattre des moyens de le protéger ou simplement de mieux le connaître, l'océan a suscité l'attention tout au long de l'année 2022. Rétrospective sur une année phare pour l'économie bleue durable.

31 octobre-12 novembre 2021	À Glasgow, une avancée pour l'océan La COP 26 de Glasgow marque l'adoption du Pacte du même nom, dont le préambule reconnaît l'importance de la protection des océans.
9-11 février 2022	Brest : de l'engagement à l'action Réunis sous l'égide de la France et à l'initiative d'Emmanuel Macron, 41 États s'engagent à préserver la biodiversité marine et à lutter contre la surexploitation et la pollution océaniques.
17 mars 2022	Comment mobiliser décideurs publics, industriels et investisseurs dans la transition vers une économie bleue durable ? Rendez-vous p.14
13 avril 2022	Cycle Leonard - Énergies marines renouvelables : les promesses de la houle et du vent Le potentiel encore peu exploité des énergies marines renouvelables fait naître de nombreuses innovations. Les océans seront-ils le moteur de la transition énergétique ? Rendez-vous p.26
23 juin 2022	Cycle Leonard - Une menace fantôme ? Les littoraux face à la montée des niveaux marins Comment protéger et adapter nos sociétés et territoires face à l'élévation du niveau de la mer ? Rendez-vous p.31
27 juin 2022	Une levée de fonds record pour la Sustainable Ocean Alliance La Sustainable Ocean Alliance recueille 15 millions de dollars pour financer des start-up et projets innovants visant à restaurer la santé des océans.
27 juin-1 ^{er} juillet 2022	Mobilisation internationale à Lisbonne « Il faut plus d'ambition à tous les niveaux pour répondre à la situation désastreuse de l'océan », affirme le Secrétaire Général de l'ONU, António Guterres, lors de ce sommet marqué par près de 700 engagements volontaires des États en faveur de la protection des océans.
3 octobre 2022	Cycle Leonard - Les ports : nouveaux hubs de la transition énergétique et des mobilités Comment les ports peuvent-ils relever le défi environnemental en devenant des lieux d'expérimentation des solutions de demain ? Rendez-vous p.43
15 octobre 2022	Retour au port pour la mission Microbiomes de la Fondation Tara Océan La goélette Tara rejoint le port de Lorient après deux années passées dans l'Atlantique sud. Sa mission : mieux comprendre les microorganismes marins et leurs interactions avec le climat et la pollution.

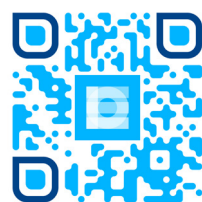
1. ÉCONOMIE BLEUE DURABLE: UNE TRANSITION SOUS PRESSION

Immense vivier de biodiversité offrant des services écosystémiques inestimables, l'océan se trouve aujourd'hui au centre de toutes les attentions. À la source d'innovations scientifiques et technologiques prometteuses, il fait naître d'importantes opportunités d'investissement et des espoirs nouveaux dans la lutte contre le réchauffement climatique. Dans le même temps, de nombreux acteurs se mobilisent pour la protection et la régénération des écosystèmes marins. Tour d'horizon des enjeux et conditions d'une économie bleue durable, pilier de la transition écologique.

Investir durablement dans les océans

Les océans recouvrent 70,8% de la superficie de la planète. Essentiels à la régulation du climat et à la sauvegarde de la biodiversité, ils sont aujourd'hui menacés par les effets de l'activité humaine. Comment mobiliser décideurs publics, industriels et investisseurs dans la transition vers une économie bleue durable, clé de voûte de la régénération océanique ?

Cet article rend compte d'un débat organisé par Leonard le 17 mars 2022. [Scannez le code pour voir le replay.](#)



DE GAUCHE À DROITE : LUDIVINE SERRIERE, CATHERINE CHABAUD, CHRISTIAN LIM, EMILIE GARCIA, GENEVIÈVE PONS
(CRÉDIT : LEONARD)

Innover pour régénérer les océans

Sans innovation, pas d'économie bleue durable ! Par chance, les expérimentations se multiplient en la matière. Christian Lim, Managing Director de SWEN Capital Partners, évoque ainsi l'exemple des nanosatellites de la société française Unseenlabs, qui luttent contre la pêche illégale grâce à des capteurs de signaux électromagnétiques, de la taille d'un sac à dos, capables de géolocaliser les navires ayant éteint leurs balises de positionnement. Au niveau européen, Geneviève Pons, directrice générale et vice-présidente d'Europe Jacques Delors et présidente de la mission Starfish 2030 (voir p.18), cite quant à elle un projet de « jumeau numérique », réplique de l'océan réalisée grâce à l'intelligence artificielle, dont les données aideront à concevoir des réponses à l'acidification, la montée du niveau de la mer ou encore la perte de biodiversité.

Si les innovations sont nombreuses, les chantiers à mener de front le sont tout autant : comme le rappelle Catherine Chabaud, ancienne navigatrice, députée européenne et ex-déléguée à la mer et au littoral, de nombreuses innovations restent à inventer pour développer, par exemple, des infrastructures à impact positif, capables de contribuer à la régénération des océans. Demain, les infrastructures en mer devront en effet apporter des co-bénéfices environnementaux et sociaux ; pour cela, la planification des espaces maritimes et la conciliation des usages seront clés. Le transport maritime, par lequel 90% des marchandises mondiales sont acheminées, devra lui aussi devenir plus durable : pour Emilie Garcia, responsable climat ESG (direction innovation) chez Bpifrance, les solutions en la matière proviendront du déploiement simultané de solutions multiples, de l'électrification des ports à la rénovation des bateaux en passant par le développement de l'énergie vélique ou des biocarburants.

“

On a longtemps parlé de conservation mais ce terme est désormais inadéquat. Que conserver maintenant que nous avons détruit une grande partie de l'océan ? Nous avons besoin de régénération ”

— Christian Lim, Managing Director,
SWEN Capital Partners

Le financement, nerf de la guerre

Mais ces projets de grande ampleur ne pourront réussir qu'à condition de trouver suffisamment de financements. Or, comme le rappelle Geneviève Pons, les investissements dans l'économie bleue sont encore trop souvent freinés ou redirigés vers des priorités jugées plus urgentes ou rentables. Face à ce défi, les investisseurs publics se mobilisent cependant : en 2021, la Commission européenne a ainsi débloqué 700 millions d'euros au soutien de l'économie bleue durable. En France, la Bpifrance a lancé en 2020 un plan climat soutenu par des dispositifs de financement et d'investissement spécifiques et des fonds dédiés. Et les investisseurs privés ne sont pas en reste : doté de 95 millions d'euros, le fonds SWEN Blue Ocean (voir ci-dessous), dirigé par Christian Lim, investit dans la régénération des océans en soutenant des start-up combinant impact systémique positif et opportunités de marché. Blue Ocean cible plus particulièrement trois problématiques : la surexploitation de l'océan, la pollution océanique (plastique, agriculture, sonore...) et les solutions au changement climatique fondées sur l'océan. Christian Lim relève un intérêt croissant des investisseurs pour la thématique de la régénération océanique : investissent ainsi dans le fonds aussi bien des institutions (Bpifrance, Ifremer...) que des banques, assurances, fonds de pension ou grands *family offices* européens et américains.

Starfish 2030, une ambition européenne

Lancée en 2020 par la Commission européenne dans le cadre du Programme Horizon Europe, la Mission Starfish 2030 vise à régénérer les écosystèmes marins et aquatiques à l'horizon 2030 en se concentrant sur cinq axes, qui feront l'objet de « projets phares » : le partage des connaissances à travers l'éducation, la gouvernance, la protection directe de milieux ciblés, la lutte contre les pollutions et l'économie bleue durable. Dans ce dernier domaine, la mission entend accélérer la décarbonation de l'économie maritime, avec le lancement, d'ici 2026, d'expérimentations en mer Baltique : ferries propulsés à l'hydrogène ou à l'ammoniaque, technologies de réduction des

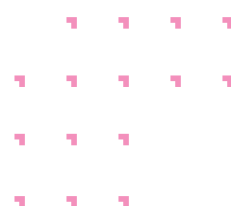
émissions des ports et infrastructures, développement de puits de carbone marins et d'énergies marines renouvelables... Alors que 14 millions de tonnes de plastique finissent chaque année leur course dans les océans, Starfish cherche également à prévenir, minimiser, éliminer et remédier aux pollutions océaniques, en soutenant la recherche de substituts, l'économie circulaire, la réutilisation des déchets et toutes les solutions techniques d'élimination de polluants. Un test prévu en Méditerranée doit permettre de déployer un système de surveillance des principaux flux et sources de pollution plastique.

Enfin, la transition vers une économie bleue durable ne se fera pas sans une gouvernance améliorée : holistique, systémique et interdépendante, elle permettra de faire de l'océan un élément structurant des politiques publiques ainsi que des actions des investisseurs et acteurs industriels. Une ambition qui devra notamment se traduire par la nomination, au sein de la Commission européenne, d'un Vice-Président chargé d'orchestrer les actions dédiées à la santé de l'océan.

“

Pour réussir la transition vers une économie bleue durable, trois enjeux fondamentaux : l'investissement, l'innovation et la formation ”

— *Geneviève Pons, présidente de la mission Starfish 2030*



QUAND LA FINANCE TIRE SUR LE BLEU

Pour devenir durable, l'économie bleue devra faire l'objet d'investissements colossaux. Il faudra financer aussi bien la décarbonation du fret maritime (voir p.50) et le déploiement d'énergies marines renouvelables (voir p.25) que l'adaptation des infrastructures, ports et activités humaines face à l'élévation du niveau de la mer (voir p.31). Le secteur de la finance s'y prépare déjà : la preuve avec un fonds engagé et un fonds indicel novateur.

Le fonds d'investissement SWEN Capital Partners a créé en 2021 un fonds intitulé SWEN Blue Ocean, dont la mission est d'investir dans les innovations capables de régénérer l'océan, en combinant impact systémique et retour sur investissement. Blue Ocean se concentre sur la lutte contre la surpêche, la pollution et le changement climatique ; il a notamment investi dans le développement d'une algue rouge destinée à l'alimentation des bovins pour diminuer leurs émissions de méthane et dans Unseenlabs, société française de nanosatellites à taille réduite permettant de géolocaliser les navires qui éteignent leurs balises de positionnement pour dégazer ou pêcher illégalement.

De son côté, BNP Paribas Asset Management a récemment créé un ETF (fonds indicel) permettant aux particuliers d'investir dans des entreprises impliquées dans plusieurs domaines de l'économie bleue durable : écotourisme et préservation des littoraux, énergies marines renouvelables, produits de la mer, diminution de la pollution ou encore fret maritime.



INTERVENTION DE GENEVIÈVE PONS
À LEONARD:PARIS
(CRÉDIT : LEONARD)

Starfish 2030 : mission régénération

Lancée dans le cadre du programme-cadre Horizon Europe et pilotée par la Commission européenne, la mission Starfish 2030 mobilise les acteurs de l'innovation, de la recherche et de la finance pour œuvrer à la régénération des écosystèmes marins et aquatiques. À cette fin, la mission intervient dans plusieurs domaines interconnectés : le partage des connaissances à travers l'éducation, la gouvernance, la protection directe de milieux ciblés, la lutte contre les pollutions et enfin l'économie bleue. Après une première enquête menée en décembre 2020, Starfish déploiera des « projets phares » géographiques et thématiques, testés localement puis étendus au reste de l'Europe.

- ◆ Surface de l'espace maritime mondial européen : **17 millions de km²**
- ◆ **5 axes de la mission Starfish** : enrichir les connaissances et créer un lien émotionnel ; atteindre le zéro pollution ; améliorer la gouvernance ; régénérer les écosystèmes marins et aquatiques ; décarboner nos océans, mers et eaux.
- ◆ **6 600 réponses recueillies** lors de l'enquête menée par l'Ifremer pour le compte de Starfish 2030, en novembre 2020.
- ◆ **Plus de 40 partenaires institutionnels**, dont le CNRS, l'Office français de la biodiversité, la plateforme Océan & Climat...

La pollution marine, un défi planétaire

Où finit une bouteille en plastique jetée au sommet d'une montagne ? Au fond des océans. La quasi-totalité des activités humaines génère des déchets et polluants dont la course se termine dans les mers. Un phénomène qui n'épargne aucun recoin de l'océan et met en danger la biodiversité marine comme la santé humaine. Si société civile, entrepreneurs et scientifiques se mobilisent sans relâche pour dépolluer les mers, c'est bien une évolution fondamentale des comportements qui est requise afin de réduire la quantité de déchets produits et d'améliorer leur gestion.

La pollution des mers commence... sur terre

Si elle évoque parfois les dégazages sauvages ou les fuites d'hydrocarbures, la pollution marine provient en réalité à 80% de la terre ferme. Les activités humaines en sont responsables au travers des émissions industrielles et ruissellements agricoles mais aussi des déchets jetés sur les côtes ou encore des rejets effectués dans les rivières¹. Cette pollution marine (hors pollution sonore) est composée à 85% de matières plastiques, dont, pour moitié, de plastiques à usage unique mais aussi de granulés industriels, intrants agricoles, revêtements, peintures²... Et l'ampleur du phénomène est considérable : 11 millions de tonnes de plastique seraient ainsi déversées chaque année dans les océans³, et il flotte actuellement dans l'océan Pacifique une nappe de déchets plastiques deux fois plus étendue que le Texas⁴. Mais la pollution marine ne se résume pas aux déchets plastiques : produits chimiques, nutriments, hydrocarbures, mais aussi caoutchouc, métal ou bois s'y retrouvent également⁵, auxquels s'ajoutent pollutions sonores et lumineuses.

Une menace à la vie sous les mers et sur les terres

Les déchets, qui s'accumulent aussi bien le long des côtes et estuaires qu'à la surface des mers ou sur les fonds marins⁶, emportent des conséquences dévastatrices sur la biodiversité marine et, partant, sur les activités et la santé humaines. Ainsi, le plastique, non biodégradable et se décomposant en microplastiques, nuit fortement à la vie marine : dans la mer du Nord, 94% des estomacs d'oiseaux contiennent des plastiques⁷. De nombreux animaux confondent ces derniers avec de la nourriture et les ingèrent (les sacs plastiques, notamment, évoquent pour les tortues de mer les méduses dont elles se nourrissent habituellement⁸) ou sont attirés par leur odeur et leur apparence (oiseaux de mer)⁹. Selon la Commission européenne, les plastiques accroissent la mortalité des animaux marins mais induisent également une détérioration des sols océaniques et une destruction des habitats.

D'autres polluants ont des effets tout aussi délétères sur la biodiversité marine : l'accumulation de phosphore et d'azote, en stimulant outre mesure la production de phytoplancton, peut affecter les services rendus par les écosystèmes marins, parmi lesquels le captage du CO₂ et la génération d'oxygène¹⁰. La pollution lumineuse, elle, dérègle les rythmes naturels (reproduction, migrations...) de nombreux animaux marins¹¹. En bout de chaîne alimentaire, les dégâts engendrés par la pollution sur les écosystèmes océaniques influent également sur la santé humaine, notamment par le biais de la consommation de poissons ayant ingéré du plastique. Plus largement, la pollution plastique, quelle que soit sa provenance, affecte aussi la santé humaine :

des microplastiques ont ainsi été détectés dans les poumons, foies et reins humains et jusque dans le placenta des nouveau-nés¹². Enfin, la pollution marine pèse sur l'économie : en 2014, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) estimait le coût annuel de la pollution plastique des océans à 13 milliards de dollars.

Au-delà des symptômes, s'attaquer aux causes

Les États se mobilisent depuis plusieurs décennies pour endiguer ce phénomène mondial : dès 1972, la Convention sur la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets entend protéger les milieux marins, tout comme, plus récemment, le protocole de Londres. La technologie et l'innovation ne sont pas en reste, de même que les actions de dépollution portées par la société civile pour nettoyer les littoraux ou estuaires. Mais l'effet de ces solutions demeure par essence limité face à un phénomène d'ampleur planétaire et au rythme auquel les polluants pénètrent les océans. C'est en amont, sur les terres et auprès des citoyens et des entreprises, que les efforts de lutte contre la pollution marine devront se concentrer. Encourager le recyclage, la réutilisation des plastiques ou leur remplacement par d'autres matières mais aussi sensibiliser chacun à la bonne gestion de ses déchets et améliorer la gouvernance et la coordination internationale sont autant de moyens indispensables de lutte contre la pollution océanique¹³.

Exploration et exploitation des fonds océaniques : sous les flots, un nouvel eldorado ?

Seules quatre personnes ont exploré les profondeurs marines... C'est trois fois moins que le nombre d'astronautes ayant marché sur la Lune ! Si les grands fonds marins, qui représentent une superficie de 320 millions de km², demeurent largement inexplorés, on sait déjà qu'ils recèlent de précieuses substances, suscitant l'intérêt de nombreux acteurs. Zoom sur les opportunités qu'offre l'exploitation de ce nouvel eldorado... et ses dangers.

Quand l'avenir de l'humanité se trouve sous les mers

Au fond des océans se cache un monde digne des romans de Jules Verne : champs de nodules polymétalliques à l'apparence de balles de tennis abritant une biodiversité extraordinaire et une forte concentration de métaux, montagnes sous-marines parsemées d'encroûtements riches en cobalt... Un monde encore largement mystérieux pour l'Homme, puisque, selon le Sénat, seuls 2% de la bathymétrie des fonds marins sont connus avec une résolution d'1 m et 20% avec une résolution raisonnable, tandis que 95% de la biodiversité des profondeurs reste encore inconnue. Rien que pour cartographier exhaustivement les fonds du domaine maritime français, deuxième au monde, il faudrait... 60 ans, estime encore le Sénat ¹⁴.

S'ils demeurent donc peu connus, les fonds marins suscitent déjà les convoitises : très largement accessibles à l'exploitation, ils recèlent cobalt, manganèse, nickel, lithium, baryum et autres métaux rares. Des matériaux indispensables notamment à la fabrication de batteries et donc à l'électrification, pilier de la transition écologique, ainsi qu'à une variété de secteurs économiques (automobile, technologies de

pointe, aéronautique...) dont dépendent la compétitivité et l'autonomie stratégique des États. Dans les sols français se trouvent ainsi des sulfures de fer, de l'or, de l'argent, de l'indium, du germanium, mais aussi du nickel, du cobalt et du lithium ¹⁵. Ces ressources ne sont pas les seules à susciter l'intérêt : c'est également le cas de la biodiversité des profondeurs, encore méconnue, mais qui pourrait s'avérer un vivier de futures innovations en matière de médecine et pharmacologie, chimie, nutrition... « Le potentiel est formidable », explique ainsi Françoise Gaill, directrice de recherche au CNRS, au journal L'Express. « Au total, 90% des séquences génétiques déposées dans les banques de brevet proviennent des zones hydrothermales profondes » ¹⁶.

États et acteurs économiques ne s'y sont pas trompés, impatients d'engager l'exploration et, à terme, l'exploitation de ces fonds. L'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), seule organisation compétente à autoriser l'exploitation de la « Zone » (ensemble des zones maritimes situées en dehors des zones économiques exclusives des États), a déjà accordé plus d'une trentaine d'autorisations à des instituts de recherche, gouvernements et entreprises issus de 22 pays (majoritairement pour la zone de Clarion-Clipperton, dans l'est de l'océan Pacifique ¹⁷). L'exploitation et l'activité minière pourraient, elles, débiter très rapidement. La Norvège a ainsi choisi d'accorder dès l'an prochain de premières autorisations d'exploitation de sa zone économique exclusive, tandis que l'an dernier, l'État de Nauru, dans le Pacifique, informait l'ONU de son souhait d'entamer l'extraction de métaux.

Des risques encore difficiles à cerner

Mais l'on estime difficilement les effets potentiels de cette exploitation minière, qui implique de briser et racler le sol et induirait donc la suspension massive de sédiments toxiques, libérés du sol. Selon Pierre-Marie Sarradin, responsable de l'unité de recherche Étude des écosystèmes profonds à l'Ifremer, ce phénomène altérerait alors la composition chimique de l'eau et le sol alentour¹⁸. Sans connaître parfaitement les écosystèmes des profondeurs, dont on sait seulement qu'ils présentent une extraordinaire richesse génétique, il est difficile de mesurer l'impact de ces sédiments et les effets précis de l'extraction. À cette déstabilisation des écosystèmes s'ajouterait également la libération du carbone séquestré dans les sols marins¹⁹, mais aussi des risques de nature géopolitique, l'intérêt suscité par ces ressources sous-marines pouvant attiser les tensions et conflits d'usage entre États. Tel est déjà le cas pour d'autres ressources marines : tensions américano-russes autour des hydrocarbures de l'océan Arctique, différend entre Israël et le Liban pour le gaz situé au large de leurs côtes... Ces facteurs de risque doivent conduire à tenter de mieux comprendre les écosystèmes pour déterminer la marge de manœuvre

en matière d'exploitation et viser un équilibre entre extraction de ressources indispensables et préservation des écosystèmes des profondeurs.

Vers une interdiction de l'extraction ?

Au-delà de l'édiction d'aires marines protégées, des voix s'élèvent aujourd'hui, du côté de certains gouvernements et d'associations de défense de l'environnement, pour demander l'interdiction ou du moins le strict encadrement des activités d'exploitation des fonds océaniques : lors de son congrès à Marseille en 2021, l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a ainsi réclamé un moratoire sur l'exploitation minière des fonds océaniques. Dans le sillage d'un rapport du Sénat estimant qu'il était trop tôt, compte tenu des connaissances limitées de ses effets potentiels pour autoriser l'exploitation, Emmanuel Macron a pris position contre cette dernière le 30 juin 2022, lors de la conférence des Nations Unies sur l'océan à Lisbonne²⁰. Une position que le Président français a confirmée lors d'un discours prononcé à la COP27, à Charm el-Cheikh (Égypte), le 7 novembre 2022.

POUR ALLER PLUS LOIN

- ◆ Sénat. Abysses : la dernière frontière ? Rapport d'information de M. Teva ROHFRTSCH, fait au nom de la MI Fonds marins n° 724 (2021-2022) - 21 juin 2022. URL : <https://www.senat.fr/notice-rapport/2021/r21-724-notice.html>
- ◆ Michael Lodge. L'autorité internationale des fonds marins et l'exploitation minière des grands fonds marins. Nations Unies. URL : <https://www.un.org/fr/chronicle/article/lautorite-internationale-des-fonds-marins-et-lexploitation-miniére-des-grands-fonds-marins>
- ◆ Fondation de la Mer. Les grands fonds marins – Quels choix stratégiques pour l'avenir de l'humanité ? URL : <https://www.fondationdelamer.org/wp-content/uploads/2022/06/Les-Grands-Fonds-Marins.pdf>



(CRÉDIT : SHAUN DAKIN - UNSPLASH)

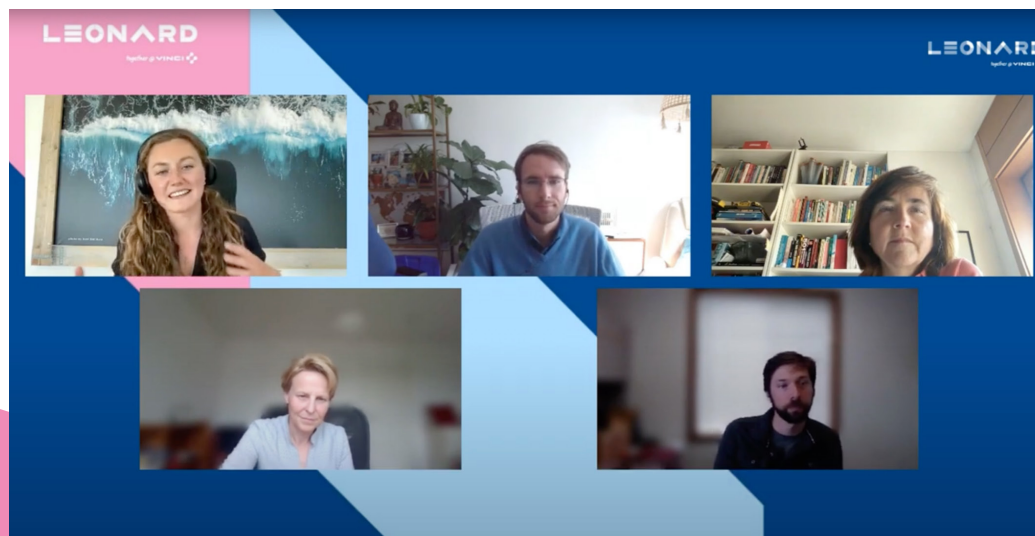
II. LES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES, FIGURES DE PROUE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ?

2022 : le retour de la guerre en Europe fait entrer les États du Vieux Continent dans une crise énergétique sans précédent. Dans le même temps, les engagements en faveur de la transition énergétique se font toujours plus ambitieux et les délais plus serrés. Face à cette équation complexe, une voie prometteuse s'ouvre : le développement des énergies marines renouvelables.

Les promesses de la houle et du vent

Défi majeur des décennies à venir, l'énergie soulève d'importants enjeux stratégiques, économiques et financiers. Alors que le vent, les marées et les courants marins font des mers une inépuisable source d'énergie, une compétition mondiale fait rage pour trouver les meilleures technologies permettant d'exploiter ce potentiel. Les pistes sont nombreuses : l'énergie houlomotrice, marémotrice, les courants marins et les gradients thermiques sont tous régis par des lois physiques distinctes, ouvrant la voie à un large éventail de solutions. Leonard a reçu en avril 2022 un panel d'experts de ces technologies qui façonneront l'avenir énergétique mondial.

Cet article rend compte d'un débat organisé par Leonard le 13 avril 2022. [Scannez le code pour voir le replay.](#)



(CRÉDIT : LEONARD)

Un secteur au potentiel considérable

Les technologies d'énergie marine sont appelées à jouer un rôle crucial dans la décarbonation de l'économie maritime (en contribuant, par exemple, à l'électrification du fret maritime) et, plus largement, dans la lutte contre le changement climatique et l'élimination du CO₂ à grande échelle, explique Robert Cavagnaro, ingénieur en génie mécanique au Pacific Northwest National Lab, laboratoire de recherche du ministère américain de l'Énergie. Le secteur offre dès lors d'importantes opportunités de marché : selon Rita Sousa, associée du fonds Faber Ocean / Climate Tech, le marché de l'énergie éolienne offshore devrait ainsi atteindre 87 milliards de dollars d'ici 2026, avec un taux de croissance annuel de 13%, et celui de l'énergie marémotrice et houlomotrice, évalué à 3 à 5 milliards de dollars, devrait croître de 40% par an.

Plus largement, les énergies marines renouvelables pourraient aussi jouer un rôle clé dans la sortie des énergies fossiles. Marcus Lehmann, président-directeur général de Calwave (voir plus bas), souligne que l'énergie marine pourrait satisfaire jusqu'à 30% de la demande d'électricité de l'Union européenne et des États-Unis. L'énergie éolienne, notamment, présente un fort potentiel : 120 GW d'éoliennes en mer sont actuellement installés ou planifiés, avec un facteur de charge de 50%, ce qui signifie que près de 60 GW de capacité excédentaire sont disponibles au niveau mondial, indique encore Marcus Lehmann. Les développeurs d'éoliennes en mer ont donc tout intérêt à anticiper le moment où les énergies marémotrice et houlomotrice seront suffisamment matures pour constituer des parcs à échelle industrielle, car il sera alors possible de les co-localiser et de les placer sur la même infrastructure d'exportation, augmentant ainsi le facteur de capacité, accélérant la rentabilisation des câbles et multipliant les synergies, des pièces de rechange à la maintenance.

“

On compte beaucoup sur l'émergence d'une solution miracle, comme la fusion, mais il faut aussi commencer à tirer parti d'autres ressources d'ores et déjà disponibles ”

— *Marcus Lehmann, cofondateur et PDG de Calwave*

D'importants défis à l'horizon

Pour Irina Lucke, Division Manager d'Omexom, entreprise du groupe VINCI spécialisée dans le cycle de vie des centrales électriques offshore, l'un des principaux défis que devra relever le secteur des énergies marines consiste à se fixer des objectifs clairs. Pour lutter contre le changement climatique et aider les énergies marines à franchir une nouvelle étape, souligne Irina Lucke, il est nécessaire d'établir des priorités précises et de débattre de la co-utilisation le plus tôt possible. À la clé : éviter les erreurs commises dans le secteur des énergies offshore, dans lequel la co-utilisation avec les industries du transport maritime et de la pêche ou encore avec les acteurs environnementaux et la marine s'avère compliquée, les négociations ayant débuté trop tard, engendrant des frustrations pour l'ensemble des parties.

Pour Robert Cavagnaro, les acteurs de l'énergie marine doivent apporter la preuve de l'efficacité de leurs technologies et de la valeur ajoutée qu'elles apportent aux marchés qu'elles desservent. Ces technologies doivent donc être développées dans des zones où le coût de l'énergie est élevé et où elles peuvent avoir un impact important sur la vie quotidienne.

Selon l'expert, le secteur doit également mieux convaincre de la sécurité des technologies d'énergie marine, en communiquant plus efficacement sur leurs avantages pour l'environnement. Aux États-Unis, l'industrie de l'éolien en mer a été affaiblie par le courant NIMBY (« Not in my backyard »), une expérience dont le secteur de l'énergie marine devrait tirer des enseignements, souligne encore Robert Cavagnaro, qui note également l'importance de partenariats solides entre le gouvernement et l'industrie, à l'abri des fluctuations politiques, pour insérer ces nouvelles technologies sur le marché.

Comment faciliter le développement du secteur à court terme ?

Selon Irina Lucke, la prochaine étape devrait consister, au niveau de l'Union européenne, à s'engager en faveur de la transition énergétique en établissant une feuille de route claire, partant de l'objectif à atteindre.

Pour Rita Sousa, des fonds privés spécialisés et des fonds de capital-risque supplémentaires devront être mobilisés pour soutenir la nouvelle génération d'entrepreneurs du secteur des énergies marines et les aider à pénétrer le marché. Le cadre réglementaire devra également être simplifié afin d'aider les solutions d'énergie marine à changer d'échelle.

Pour Marcus Lehmann, enfin, l'accent doit être mis sur la recherche de mécanismes de financement des technologies en phase de démarrage et pour soutenir les premiers 500 MW ou 1 GW, comblant ainsi une lacune du financement traditionnel, qui tend à ne soutenir que les technologies ayant atteint une maturité significative.

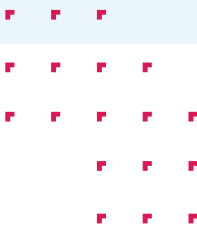
“

Des start-up innovantes en phase de démarrage ont aujourd'hui l'opportunité de répondre à une forte attente du marché en mettant en avant des technologies nouvelles ”

— Rita Sousa, associée au sein du fonds Faber Ocean / Climate tech

OFFSHORE WINDFARM: QUAND L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PRÉDIT LES AVARIES DES ÉOLIENNES EN MER

Pour aider l'énergie éolienne à atteindre son potentiel, les systèmes de production d'énergie doivent gagner en efficacité sur les plans opérationnel et infrastructurel. Or les éoliennes sont installées à dessein loin des côtes, dans des environnements difficilement accessibles et soumis à des conditions hostiles, engendrant d'importants défis techniques et compliquant l'intervention humaine. Les problèmes techniques s'avèrent dès lors très coûteux : la panne d'un générateur peut entraîner un coût de 50 000 euros par éolienne, tandis que l'expédition d'un générateur de remplacement peut prendre jusqu'à 30 jours. Face à ce constat, Omexom Offshore (VINCI Energies) et le parcours IA de Leonard ont développé Offshore Windfarm, une nouvelle solution d'intelligence artificielle visant à détecter en avance les avaries de générateurs en vue d'expédier immédiatement une pièce de remplacement et donc de limiter le temps d'arrêt de l'éolienne. Le projet Offshore Windfarm modélise le comportement typique de chaque éolienne en analysant les périodes de fonctionnement normal. Le différentiel entre ce modèle et les données en situation est utilisé pour détecter une situation anormale et donner l'alarme. Cette solution a permis à Omexom Offshore de procéder, pour la première fois, au remplacement par avance d'un générateur sur le site de Riffgat, au nord-ouest de l'île allemande de Borkum. Une première qui ouvre la voie à une généralisation de la maintenance prédictive, pour améliorer la fiabilité et la disponibilité de l'énergie éolienne.



Énergies marines renouvelables : tour d'horizon de solutions d'avenir

ÉNERGIES ÉOLIENNE ET HOULOMOTRICE

ÉNERGIE DU VENT

ÉOLIENNE OFFSHORE

PLATEFORME FLOTTANTE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

ÉNERGIE DE LA HOULE

HOULOMOTEUR
Mouvement des vagues

ÉNERGIE THERMIQUE

Différentiel de température entre eaux profondes et eaux de surface

Parmi les autres sources d'énergie marine : l'énergie osmotique, l'énergie des courants marins, l'énergie marémotrice.

(CREDIT : SOA)

ÉNERGIE HOULOMOTRICE
PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Fournisseur de technologie d'énergie houlomotrice, **Calwave** (États-Unis) est l'inventeur du « xWave », plateforme entièrement immergée (et donc protégée des tempêtes) fonctionnant à distance des côtes, là où la captation de l'énergie est la plus efficace. Calwave a reçu le *Wave Energy Prize* américain en 2016 et a conclu avec le ministère américain de l'Énergie des contrats d'un montant total de 19 millions de dollars, ce qui lui permet de développer aujourd'hui une deuxième gamme de produits.

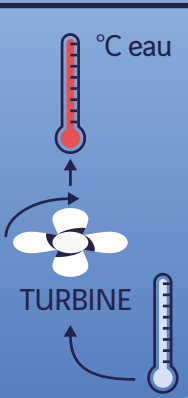
Fondée en 2011, **Ecowave Power** (Israël) produit de l'électricité houlomotrice abordable grâce à une technologie propriétaire fixée au rivage : des flotteurs attachés à des jetées ou à des structures existantes se déplacent de haut en bas, produisant de l'énergie propre. Une centrale a été installée à Jaffa en 2014 et une seconde à Gibraltar en 2016. À ce jour, Ecowave a obtenu 325 MW de projets à travers le monde.

ÉNERGIE ÉOLIENNE
PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Floating Power Plant (Danemark) commercialise une plateforme flottante constituée de panneaux modulaires, d'une turbine, d'un système d'amarrage à point unique et d'un réseau sous-marin pour acheminer l'électricité jusqu'au rivage. L'entreprise a éprouvé sa solution sur quatre sites en mer au cours de la dernière décennie et recherche actuellement des projets à grande échelle connectés au réseau, en se concentrant sur l'électrification de l'industrie pétrolière et gazière et des îles.

ÉNERGIE THERMIQUE
CLIMATISATION

Entreprise du groupe VINCI incubée par Leonard, **SWAC (Sea Water Air Conditioning) / Geoclean** exploite la température de l'océan et de la mer pour produire du froid. Après avoir été pompée dans l'océan et injectée dans une boucle ouverte ou fermée pour refroidir des bâtiments, l'eau est rejetée dans la mer sans traitement et à température identique, protégeant ainsi l'écosystème marin. SWAC compte parmi ses clients des hôtels et des hôpitaux, principalement dans l'océan Pacifique et à La Réunion. Sa technologie présente un potentiel important pour les îles, qui peinent à produire de l'énergie propre et ont d'importants besoins de refroidissement.



Chiffres clés :
les énergies marines
renouvelables

Puissance installée des installations de production d'électricité à partir d'énergies marines renouvelables en 2019 :	535 MW ²¹
Capacité installée des éoliennes offshore :	12 GW ²²
Objectifs affichés par l'Union européenne :	1 GW d'énergie océanique en 2030 40 GW ²³ en 2050
Montant des investissements publics et privés dans les énergies marémotrice et houlomotrice en 2021 :	70 M€ ²⁴
En Europe, capacité installée au cours de l'année 2021 pour l'énergie marémotrice :	2,2 MW
Et pour l'énergie houlomotrice :	681 KW ²⁵
Taille estimée du marché mondial de l'énergie houlomotrice et marémotrice entre 2010 et 2050 :	535 Mds€ ²⁶

III.
S'ADAPTER,
RÉSISTER,
INVENTER:
LES LITTORAUX
FACE À LA
MONTÉE DES
EAUX

Au 20^{ème} siècle, le niveau de la mer a crû de 29 cm en moyenne ; il augmente désormais de 3,7 mm par an. Alors que près de la moitié de l'humanité vit à moins de 150 km du littoral, comment préparer au mieux nos sociétés et territoires aux effets potentiellement dévastateurs de ce phénomène ?

Une menace fantôme ? Les littoraux face à la montée des niveaux marins

Le doute n'est plus permis : le niveau des océans augmente à une vitesse sans précédent dans l'histoire récente. Comment protéger et adapter nos sociétés et territoires face à ce phénomène inéluctable aux conséquences majeures ? La question est complexe : naturellement mobiles, les littoraux sont influencés par de nombreux phénomènes qui entremêlent les échelles spatiales. Et leur adaptation à la montée des eaux soulève d'importants enjeux d'acceptabilité sociale dans ces zones souvent densément peuplées.

Cet article rend compte d'un débat organisé par Leonard le 23 juin 2022. [Scannez le code pour voir le replay.](#)



DE GAUCHE À DROITE : LUDIVINE SERRIERE, PATRICK BAZIN, RAPHAËL CUVELIER, KARIM SELOUANE
(CRÉDIT : LEONARD)

Du trait à l'espace

Pour faire face à la montée des eaux, il faut d'abord l'appréhender dans toute sa complexité. Comme le rappelle Françoise Gaill, directrice de recherche au CNRS, le niveau de la mer a longtemps été assimilé à une ligne, élément mathématique facilement mesurable. Cette vision purement scientifique cède aujourd'hui sa place à une interprétation influencée par les sciences humaines : le littoral est désormais considéré comme une bande plus large, incluant des systèmes humains et influencée par l'hydrosphère (lequel intègre océan et eaux douces).

Autre élément majeur : le littoral n'est pas figé dans le temps. Comme l'explique Karim Selouane, dont la start-up Resalliance œuvre à l'adaptation des territoires et infrastructures au changement climatique, le trait de côte a toujours évolué au gré des événements climatiques et des conditions d'aménagement. L'enjeu consiste donc à comprendre ces phénomènes pour mieux aménager les littoraux. Un constat que partage Patrick Bazin, directeur de la gestion patrimoniale du Conservatoire du littoral, qui rappelle que le littoral est naturellement mobile. La preuve : entre 1706, date d'établissement de la première carte fiable de la côte Atlantique, et 1825, le trait de côte du sud de l'île d'Oléron s'était déplacé d'1 km, avant de retrouver aujourd'hui sa localisation de 1706 ! À l'influence du changement climatique s'ajoute donc le balancier naturel d'un fonctionnement sédimentaire très actif.

Agir à la bonne échelle

Face à la montée des eaux, plusieurs solutions : coloniser l'espace maritime, résister à l'élévation, composer avec elle ou inventer de nouveaux modèles d'adaptation, résume Françoise Gaill. Pour Raphaël Cuvelier, vice-président de la plateforme Océan & Climat, l'enjeu consiste à jongler entre ces différents types de solutions en conciliant protection et adaptation et en jouant autant sur l'infrastructure (surélévation du bâti) que sur des solutions fondées sur la nature (renforcement des mangroves et des systèmes coralliens). Parmi ces méthodes « soft », Patrick Bazin cite l'exemple de la gestion souple du trait de côte, qui consiste à faire des milieux naturels des zones tampon. À Hyères, des enrochements construits pour protéger le littoral produisaient une lame d'érosion ; le Conservatoire du littoral a décidé de les retirer pour recréer une plage, renaturation qui a permis de freiner l'érosion.

Les solutions sont donc nombreuses ; pour être efficaces, elles doivent cependant être mises en

œuvre à la bonne échelle. C'est tout l'objectif du Projet SEATIES (voir p.37), né en 2015 pour assurer que l'océan figure à l'agenda des Accords de Paris. Comme l'explique Raphaël Cuvelier, SEATIES a voulu se focaliser sur les villes, qui concentrent les populations et donc les vulnérabilités. Car les solutions seront en partie territoriales... même si les problèmes, eux, proviennent d'une échelle plus large. Karim Sellouane évoque ainsi le transit sédimentaire le long de la côte africaine, qui provient de tout le continent. « Penser que les solutions à la variation du trait de côte sont exclusivement locales, c'est voir la moitié de la réalité. Il y a d'une part des aléas que les acteurs locaux ne contrôlent pas, et d'autre part des besoins d'adaptation très locaux ».



**Le littoral est une interface
avec des entrées, des sorties,
des occupations changeantes.
C'est à travers ces dynamiques
qu'il faut appréhender leur
adaptation ”**

— Karim Selouane,
fondateur de Resalliance

- Une question d'échelles spatiales, donc, mais aussi temporelles. Car comme le note Patrick Bazin, si le temps de l'élévation du niveau de la mer est long (des décennies, voire des siècles), celui de l'investissement est plus court, pour ne rien dire de celui du mandat politique. Patrick Bazin rappelle ainsi que le premier appel à projets du ministère de l'Écologie pour aider les collectivités locales à réfléchir à des solutions de relocalisations s'est tenu en 2012 ; cinq communes ont déposé des projets, quatre de leurs maires n'ont pas été réélus aux élections municipales suivantes. Car répondre à l'élévation du niveau de la mer, c'est aussi relever un défi majeur : celui de l'acceptabilité sociale.

Le défi de l'acceptabilité sociale

Lutter contre la montée du niveau de la mer est largement une question d'ingénierie sociale, rappelle Patrick Bazin : « il faut co-construire avec les populations, qui n'accepteront pas des solutions qu'elles ne comprennent pas ». Parmi ces solutions controversées : la relocalisation d'habitants, comme le prévoit le gouvernement indonésien pour la ville de Jakarta, ou comme devra le faire la Floride, désormais inassurable tant ses villes sont exposées au risque de submersion. Comment convaincre les populations des littoraux de faire évoluer leur mode de vie ? Par la co-construction et la pédagogie, répond Raphaël Cuvelier. La Rochelle a ainsi lancé une démarche prospective pour réfléchir, avec l'ensemble de son territoire, à une trajectoire d'adaptation fondée sur un scénario correspondant à l'élévation observée pendant la tempête Xynthia + 20cm. À l'Université de Caen, des chercheurs ont mis au point un outil vidéo de modélisation visuelle de la montée du niveau de l'eau un jour de tempête, montrant des vagues déferler dans les rues. Une façon d'inciter les populations à prendre conscience du danger et à débattre des solutions. « Le champ des sciences sociales appliquées au changement climatique est encore balbutiant, explique Raphaël Cuvelier. Or il peut pousser les gens à rentrer dans une dynamique positive, en visualisant un futur souhaitable ».

“

Lorsqu'on parle adaptation avec les élus, deux grands enjeux se font jour : la solidarité financière à l'échelle internationale et l'acceptabilité sociale ”

— Raphaël Cuvelier, vice-président de la plateforme Océan & Climat



FRANÇOISE GAILL À LEONARD:PARIS (CRÉDIT : LEONARD)

ARCMARINE, RESALLIENCE : L'INNOVATION AU SERVICE DE LA PRÉSERVATION DES LITTORAUX ET DE L'ADAPTATION À LA MONTÉE DES EAUX

Les matériaux de protection sous-marine sont traditionnellement fabriqués à partir de béton à l'empreinte carbone très élevée et s'avèrent parfois toxiques pour l'environnement. C'est ce constat qui a incité Tom Birbeck, CEO d'ARCMarine, à concevoir des solutions basées sur la nature pour améliorer les projets de construction offshore. ARCMarine a ainsi créé le « marinecrete », un béton marin sans plastique, recyclé à 98% et neutre en carbone, avant de développer les « reef cubes », structures de défense côtière conçues pour servir de lieu de reproduction et de nurserie aux requins, raies et céphalopodes. Sept mois après leur installation, algues et varechs indigènes ont colonisé les structures, tandis qu'une micro-vie a conquis les bassins rocheux. La start-up travaille également sur un prototype de tuile portuaire vertueuse. « Nous concevons nos solutions en pensant dès le départ à la nature », souligne Tom Birbeck.

Grâce à des données satellitaires et climatiques et à la connaissance des infrastructures et environnements bâtis, Resallience modélise des systèmes complexes pour donner à voir des effets domino à différentes échelles. La start-up s'attelle notamment au problème de la montée du niveau de la mer avec deux projets. Le premier propose aux micro-États et États insulaires des outils de planification et de gestion dédiés à l'adaptation au changement climatique et fondés sur différents scénarios. Grâce à un diagnostic de résilience, des scénarios d'aléas sont proposés, qui permettent aux acteurs publics de mieux évaluer voir le coût social et celui des dommages physiques pour mieux dimensionner des solutions d'adaptation. Au Sénégal, Resallience a créé une méthodologie combinant données scientifiques et socio-économiques pour scénariser des investissements visant à réduire l'impact de l'élévation du niveau de la mer. À la clé : sensibiliser les acteurs locaux à une vision multirisque pour co-construire le littoral de demain.



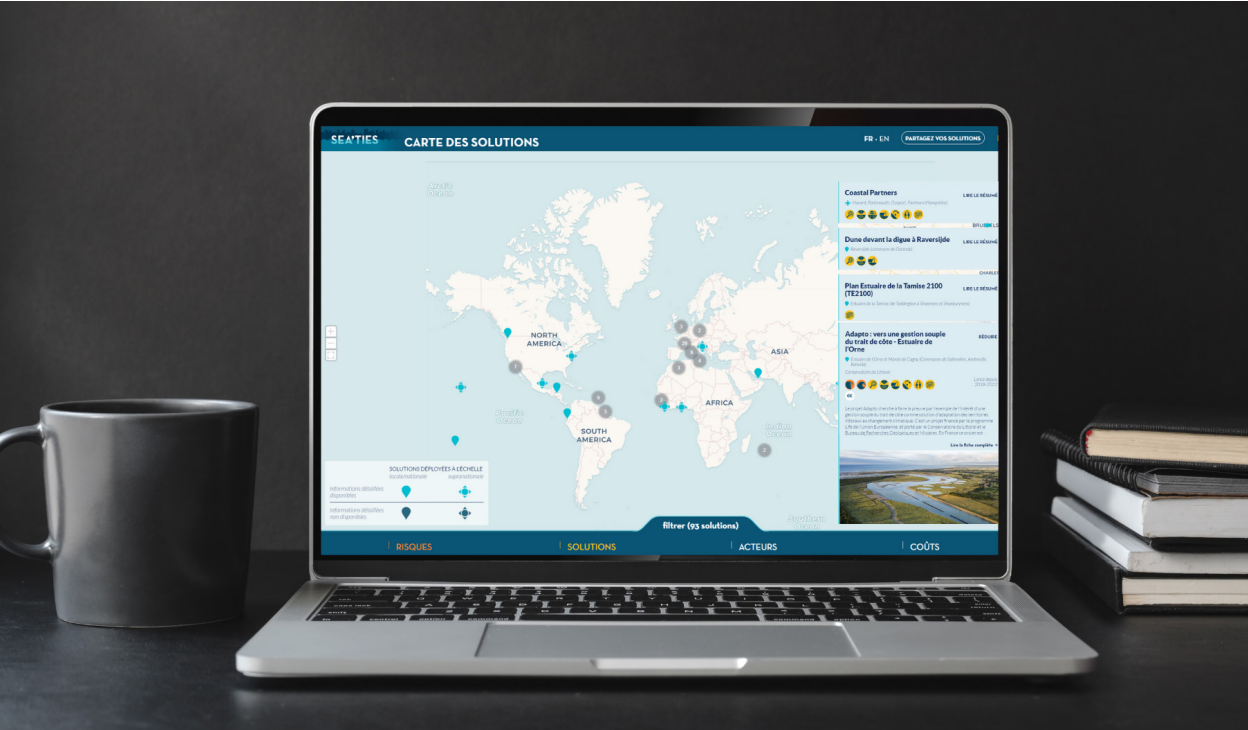
Montée du niveau de la mer
et adaptation des littoraux :
chiffres clés

Élévation actuelle moyenne du niveau de la mer :	3,2 mm par an ²⁷
Évolution du niveau de la mer d'ici 2050 :	+30 cm ²⁸ (soit autant que durant tout le 20 ^{ème} siècle ²⁹) et jusqu'à +77 cm d'ici 2100 ³⁰
Élévation estimée du niveau de la mer si les glaciers et calottes glaciaires fondaient :	+65 m submergeant la Floride ou encore le Bangladesh ³¹
Coût du mur construit pour protéger Jakarta de la montée du niveau de la mer :	35 Mds€ ³²
Part de la population mondiale vivant à moins de 30 km d'un littoral :	20%
Coût annuel des inondations dans les villes côtières :	750 Mds€ ³³
Plages menacées de disparition d'ici 2100 :	50% ³⁴
Longueur du littoral français :	20 000 km ³⁵

SEA'TIES : face à
la montée des eaux,
l'entraide

Le partage de connaissances entre villes
confrontées à de mêmes enjeux est l'une des clés
de la résilience urbaine. C'est pourquoi la plateforme
Océan & Climat a conçu le projet SEA'TIES, dont la
vocation est de diffuser des solutions d'adaptation des
villes face à la montée du niveau de la mer. SEA'TIES
rassemble connaissances scientifiques et données
sur les solutions mises en œuvre dans différentes
régions côtières pour identifier de « bonnes pratiques »
réplicables, puis accompagne les acteurs urbains
souhaitant mettre en œuvre ces solutions, tout en
les promouvant auprès d'instances nationales et
internationales.

<https://ocean-climate.org/seaties/>



CARTE DES SOLUTIONS IDENTIFIÉES PAR SEA'TIES
(CRÉDIT : SEA'TIES)

Océans et cryosphère : le GIEC donne l'alerte

En septembre 2019, à Monaco, les 195 gouvernements membres du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) présentaient les conclusions d'un rapport phare sur l'océan et la cryosphère (ensemble des surfaces terrestres où l'eau est présente sous forme solide). 100 auteurs originaires de 36 États y synthétisaient les résultats de quelques 7 000 publications pour en tirer un constat : le réchauffement de l'océan et de la cryosphère s'accélère et appelle des réponses urgentes et efficaces.

Dans ce rapport qui a fait date, les scientifiques du GIEC se sont attachés à démontrer les interactions entre la cryosphère et les océans : annonçant une poursuite de la fonte des glaces situées sur les terres (glacier, neige, pergélisol...), ils y anticipent une atrophie de 80 % des petits glaciers européens, est-africains, andins et indonésiens à l'horizon 2100³⁶ et attribuent à la fonte de la cryosphère une élévation du niveau de la mer qui pourrait atteindre 30 à 60 cm d'ici 2100³⁷. À cette élévation s'ajoutent d'autres effets du changement climatique sur les océans : le réchauffement (et donc la dilatation) des mers, directement lié à celui de l'air, et leur acidification progressive. Autant de facteurs majeurs de déstabilisation pour les écosystèmes marins, dont l'approvisionnement en oxygène et en nutriments s'appauvrit.

Le GIEC s'attache également à souligner les risques majeurs que font peser ces transformations sur les sociétés humaines. Face à l'élévation du niveau de la mer, îles et littoraux seront particulièrement vulnérables : « des événements qui se produisaient précédemment une fois par siècle se produiront chaque année d'ici 2050 dans de nombreuses régions, augmentant les risques auxquels sont confrontées de nombreuses villes côtières et petites îles de faible élévation », relèvent les scientifiques³⁸. Le réchauffement des océans entraîne

par ailleurs une perte de biodiversité préjudiciable à la santé humaine ainsi que des déplacements d'espèces susceptibles d'affecter la santé économique des collectivités qui dépendent de la pêche pour leur subsistance³⁹. Dans le même temps, la fonte de la cryosphère peut déclencher des catastrophes naturelles aux effets dévastateurs sur les sociétés humaines : avalanches, crues, glissements de terrain...

Face à ces défis, le GIEC appelle à la recherche de consensus autour de mesures ambitieuses, qui devront principalement viser à limiter et réduire les émissions de gaz à effet de serre, afin de minimiser les transformations de l'océan et de la cryosphère et les dommages subis par les écosystèmes et sociétés qui en dépendent⁴⁰. Les scientifiques appellent également à une exploitation maîtrisée des ressources océaniques, à la régénération des écosystèmes, ainsi qu'à la poursuite de solutions existantes : digues, replantation de mangroves, adaptation des littoraux... Autant d'actions qui doivent être menées de front pour préserver les océans, dont le destin est directement lié à celui de nos sociétés.



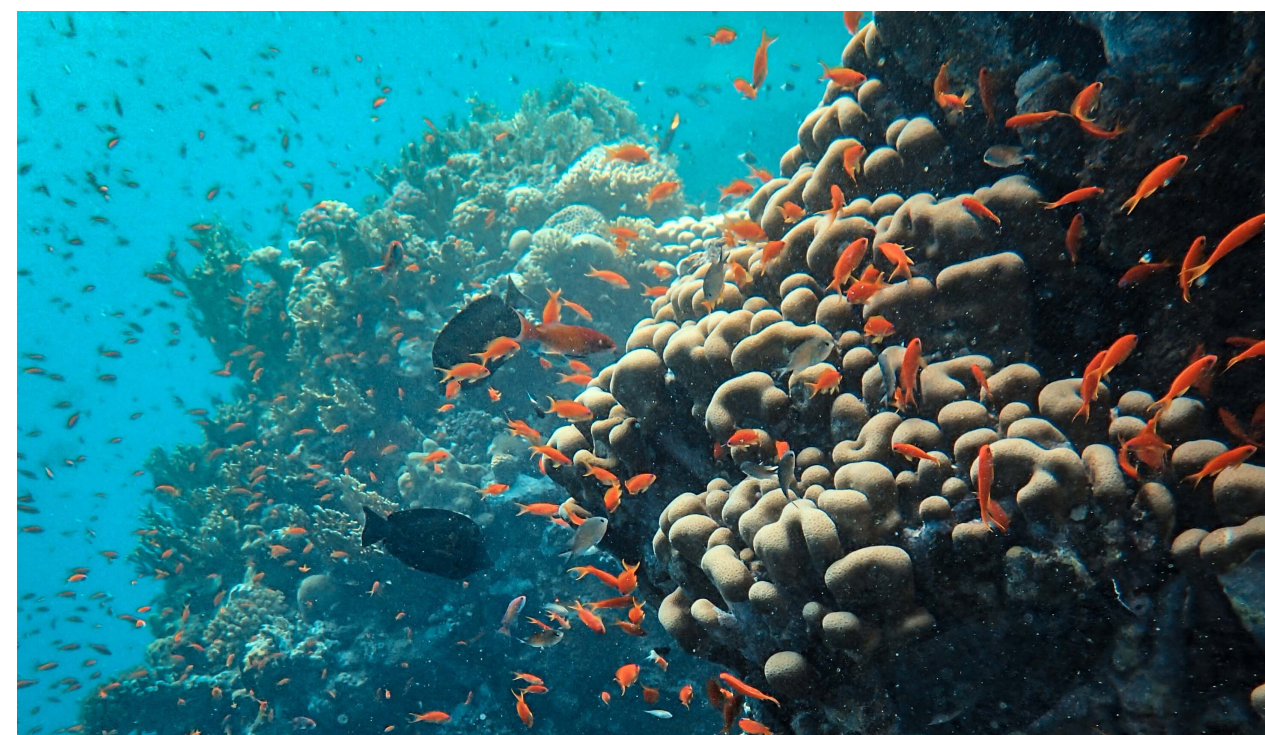
RespectOcean : fédérer les acteurs engagés pour la préservation de l'Océan

Afin de s'engager au service d'un développement durable propice à la préservation de l'Océan, près d'une centaine d'entreprises et d'acteurs économiques du territoire national se réunissent au sein de l'association RespectOcean, fondée par la navigatrice Raphaëla le Gouvello.

Présidée par Claude Fromageot, RespectOcean regroupe une grande diversité d'acteurs, qui ont en commun

la volonté de réduire l'impact de leurs activités sur les écosystèmes marins et côtiers. Ainsi, l'association a pour principales missions de contribuer à la promotion de solutions et d'innovations, de favoriser les synergies entre les projets et de participer à la montée en puissance de l'économie durable pour l'océan.

<http://www.respectocean.com/>



(CRÉDIT : FRANCESCO UNGARO - PEXELS)

Atlantides et arches de Noé : quand l'humanité imagine son avenir sur et sous l'eau

Face à la montée des eaux et au changement climatique, architectes et urbanistes imaginent des solutions innovantes, entre construction de villes flottantes et conception d'habitats sous-marins ; si certaines n'ont d'équivalent que dans la littérature ou la mythologie, d'autres s'inspirent d'expériences réelles dont certaines sont vieilles de plusieurs siècles. Autant de pistes d'avenir face à une vie sur terre de plus en plus menacée.

Les villes flottantes, une technologie ancestrale

Alors que le réchauffement climatique a fait 318 millions de déplacés depuis 2018 ⁴¹, la question de la durabilité des zones d'habitation implantées sur des zones côtières menacées par l'élévation du niveau de la mer se pose avec acuité. Et contribue à raviver l'intérêt pour les villes flottantes, notamment chez les États insulaires et les métropoles côtières, en première ligne face à ce danger. Plutôt que de fuir l'eau, pourquoi ne pas vivre à sa surface ? D'autant que l'idée a des précédents, parfois très anciens, dont certains subsistent encore : il y a près de 500 ans déjà, le peuple indigène des Uros, au Pérou, cherchant à se

prémunir des attaques des Incas, construisait des îles faites de roseaux et de racines de totora, une plante locale résistante à l'eau. 120 de ces îles flottent toujours à la surface du lac Titicaca, où elles abritent 1 300 habitants ⁴². Dans les années 1960, l'architecte Buckminster Fuller travailla quant à lui sur « Triton City », un projet de ville flottante destiné à la baie de Tokyo, qui ne vit jamais le jour ⁴³.

Ces projets soulèvent en effet d'importants défis techniques : au premier chef se pose la question de leur sécurité et de leur tenue en mer (flottaison, interaction avec les vagues, solidité face aux tempêtes...), suivie de près des enjeux d'approvisionnement en énergie, de gestion des déchets mais aussi de mobilité, le tout dans un impératif de durabilité et de préservation de l'environnement maritime. Pour autant, ils présentent un fort potentiel, tout en élargissant le champ des possibles urbanistiques : rien n'interdit ainsi d'imaginer une ville flottante dans laquelle stades, écoles, parcs et autres infrastructures de la vie quotidienne se déplaceraient d'un endroit à l'autre en fonction de la demande et des événements ⁴⁴.

Ce potentiel ne passe pas inaperçu : chaque année, de nouveaux projets de villes flottantes voient ainsi le jour. Sur le lac Eimer, près d'Amsterdam, le projet « Waterbuurt » ambitionne par exemple d'édifier jusqu'à 18 000 maisons flottantes, une solution d'avenir dans un pays particulièrement exposé à la montée des eaux ⁴⁵. Aux Maldives, une ville flottante construite dans un lagon devrait voir le jour d'ici 2027 et abriter près de 20 000 personnes. Enfin, en avril 2019, un sommet sur les villes flottantes ⁴⁶ organisé par UN-Habitat, le MIT Center for Ocean Engineering, OCEANIX et l'Explorers Club a abouti à un projet de construction de prototype de



UNE VILLE FLOTTANTE FAITE DE DÉCHETS PLASTIQUE - L'AEQUOREA DE VINCENT CALLEBAUT
(CRÉDIT : VINCENT CALLEBAUT ARCHITECTURES PARIS)

ville flottante. Deux ans plus tard, en novembre 2021, la Corée du Sud, UN Habitat et OCEANIX ont signé un accord pour la construction de la première « ville flottante durable » au monde, à Busan ⁴⁷.

Demain, des villes sous l'eau ?

Face aux enjeux de l'adaptation à la montée des eaux et de la conciliation entre préservation de l'environnement et logement d'une population mondiale croissante, une deuxième solution se fait jour : celle des villes sous-marines, dont la complexité technique en fait une piste plus prospective (et plus rare) que celle des villes flottantes. À ce jour, il n'existerait ainsi qu'une poignée d'habitats sous-marins, dont l'un sert de base d'entraînement à la marine américaine ainsi qu'aux astronautes de la NASA. Mais le potentiel est bien là : comme l'explique un expert à la BBC, l'état des savoir-faire technologiques existants permet d'ores et déjà de construire des colonies sous-marines

pouvant abriter jusqu'à une centaine d'habitants ⁴⁸. Ici, plus encore que pour les villes flottantes, les défis techniques sont impressionnants : il est impossible de construire à plus de 300 mètres en-deçà du niveau de la mer, en raison de pressions trop importantes, qui soumettraient les matériaux à un stress considérable et imposeraient de longues périodes de décompression à chaque remontée à la surface ⁴⁹. De même, de telles colonies nécessiteront un contrôle permanent des niveaux d'oxygène et d'humidité et la mise au point de systèmes d'évacuation extrêmement rapides en cas de danger. C'est sans compter, enfin, les questions techniques que soulèvent aussi les villes flottantes, entre évacuation des déchets et approvisionnement en alimentation, en eau ou encore en énergie. Mais les idées abondent en la matière : les villes sous-marines pourraient ainsi utiliser l'énergie houlomotrice (voir p.29) ou encore être alimentées en électricité par des panneaux solaires localisés en surface ⁵⁰.

IV.

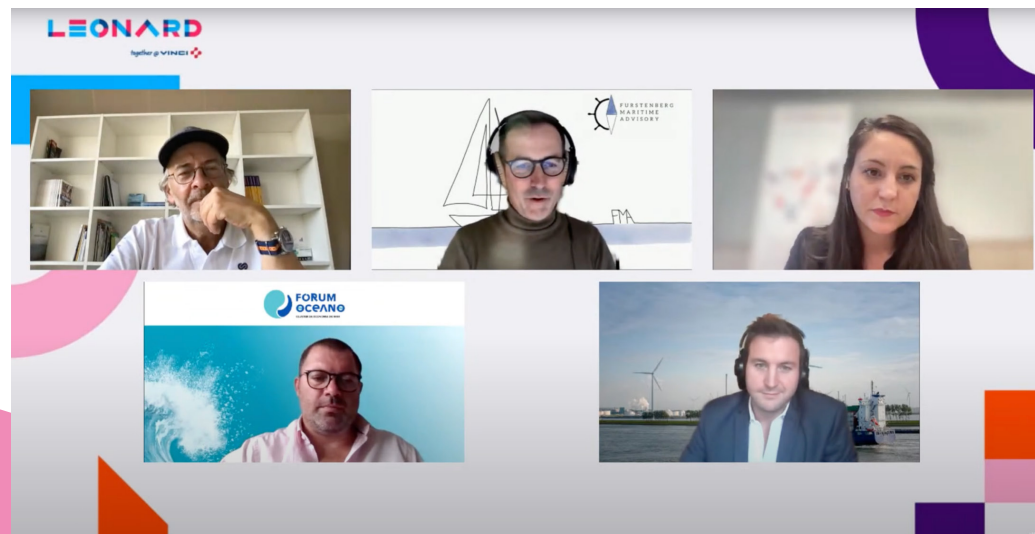
PORTS ET INFRASTRUCTURES MARITIMES : L'HEURE DE LA RÉINVENTION

Les ports sont sans conteste les plaques tournantes du commerce international. Parce qu'ils concentrent les flux logistiques et sont, *de facto*, notre interface première avec les océans, les zones portuaires et leurs hinterlands sont au cœur de la poursuite d'une économie bleue durable. Des ports au fret maritime, tour d'horizon des solutions innovantes qui s'inventent aujourd'hui dans les ports du globe.

Les ports, nouveaux hubs de la transition énergétique et des mobilités

Souvent à l'interface d'écosystèmes naturels vulnérables, les ports sont particulièrement bien positionnés pour relever le défi environnemental et mener la transition vers une économie bleue durable, en réduisant leur empreinte carbone et en devenant des lieux d'expérimentation des solutions de demain en matière d'énergie, de transport maritime ou d'aquaculture.

Cet article rend compte d'un débat organisé par Leonard le 3 octobre 2022. [Scannez le code pour voir le replay.](#)



(CRÉDIT : LEONARD)

Les ports aux avant-postes de l'économie bleue durable

Les ports sont des interfaces complexes qui impliquent une grande variété d'acteurs, des municipalités aux entreprises de transport maritime de marchandises en passant par les parcs éoliens offshore... à tel point qu'il semble presque impossible de dresser la liste exhaustive des rôles impliqués dans le fonctionnement d'un port, note Thierry Ducellier, directeur des ventes chez Sinay, start-up française spécialiste des données maritimes. Même nos comportements individuels, en tant que consommateurs désormais accoutumés à recevoir leurs commandes en moins de 24h, emportent des conséquences directes sur le fonctionnement et l'impact environnemental des ports, explique T. Ducellier. Pour Ruben Eiras, secrétaire général de Fórum Oceano, important groupement portugais d'entreprises de l'économie bleue, la responsabilité des ports va bien au-delà de la réduction de leur propre empreinte carbone : ils doivent désormais s'efforcer de devenir des plaques tournantes de l'économie bleue en se concentrant sur leurs avantages compétitifs. Grands ports industriels et petits ports de pêche ne sont pas en concurrence directe et peuvent améliorer leur attractivité en capitalisant sur leurs spécificités géographiques et historiques. Certains ports industriels peuvent ainsi s'avérer particulièrement adaptés au soutien de l'industrie éolienne offshore, explique R. Eiras, tandis que les ports de pêche, grâce à l'absence d'activités industrielles à proximité et à la propreté de leurs eaux, sont propices au développement d'installations d'aquaculture terrestre.

Les spécificités géographiques, économiques et historiques des ports sont au cœur du réseau Atlantic Smart Ports Blue Acceleration Network (ASPBEN), financé par le Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche et composé de 15 entités issues du Portugal, d'Espagne, de France, des Pays-Bas, de Norvège et des États-Unis. Son objectif : construire

une plateforme d'accélération de l'économie bleue reposant sur un réseau de ports de taille moyenne. ASPBEN a identifié dix défis basés sur les besoins exprimés par 33 ports situés le long de l'Atlantique, allant de l'augmentation de l'efficacité opérationnelle à la promotion des énergies marines et l'utilisation des infrastructures portuaires pour favoriser la biodiversité. Au total, plus de 140 projets pilotes seront mis en œuvre par 70 start-up, promouvant l'idée des spécificités culturelles des ports et de la nécessité d'instaurer la confiance et la collaboration entre ports pour encourager l'innovation.

Les ports face aux défis de l'énergie propre et de la digitalisation

La décarbonation est la clé de l'avènement d'une économie bleue durable. Pour Louis-Noël Vивиès, celle du transport maritime passe par le développement d'un hydrogène vert et abordable, transition dans laquelle les grands ports ont un rôle crucial à jouer. L.-N. Vивиès cite l'exemple de Singapour, port de premier plan abritant l'une des plus grandes raffineries de pétrole au monde. Au carrefour de nombreuses routes maritimes, la cité-État pourrait aisément jouer un rôle précurseur dans le développement de l'hydrogène vert en produisant de l'hydrogène comme source directe d'énergie propre plutôt que de s'en servir pour produire des carburants fossiles, estime Vивиès. Les grands ports, qui sont souvent avant des sites industriels majeurs, sont ainsi particulièrement bien placés pour investir dans les sources d'énergie propres.

“

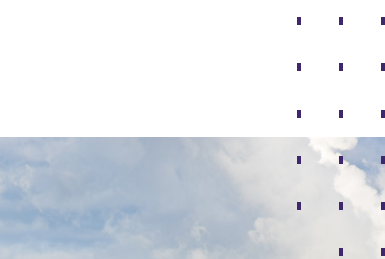
Pour attirer, les ports doivent être interopérables et connectés ”

— Ruben Eiras, secrétaire général de Fórum Oceano

•

Et les solutions numériques ne suffisent pas : bien que très efficaces, les systèmes communautaires intégrés, par exemple, nécessitent un personnel formé et une

En relevant ces défis, les ports peuvent passer du statut de catalyseurs historiques du commerce et du développement, selon Ruben Eiras, à celui de lieux d'expérimentation des solutions qui transformeront l'énergie, le transport maritime, l'aquaculture durable et la surveillance des océans. Les prochaines décennies nous diront s'ils sont capables de relever ce défi pour devenir les pionniers de l'économie bleue.



Si les entreprises, ports et organisations prennent aujourd'hui conscience de la nécessité de surveiller et d'atténuer leur impact sur la biodiversité marine, celle-ci demeure, contrairement au carbone, difficilement mesurable. C'est pourquoi Nature Metrics (Royaume-Uni) a mis au point une solution de surveillance de la biodiversité marine basée sur l'ADN environnemental.

« L'ADN environnemental est l'empreinte biologique qu'un organisme laisse dans l'eau pendant quelques heures à quelques jours après avoir quitté la zone. Nous utilisons un échantillon d'eau pour générer une liste de toutes les espèces présentes dans cette zone pendant ce laps de temps », explique Samuel Stanton, responsable du développement commercial de Nature Metrics. Les données font ensuite l'objet d'une

Sinay (France) propose une plateforme d'agrégation de données maritimes pour aider le secteur maritime à mieux estimer l'impact de ses activités sur l'environnement. L'entreprise offre aux parcs éoliens et aux extensions portuaires les informations précises nécessaires pour les aider à limiter leur impact environnemental. Grâce à une connaissance approfondie de l'océan, Sinay peut recommander des actions simples permettant de réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre (GES) : « sans même parler d'hydrogène ou d'électrification, une simple diminution de deux nœuds de la vitesse d'un porte-conteneurs peut réduire ses émissions de GES de plusieurs milliers de tonnes », affirme Thierry Ducellier, directeur des ventes chez Sinay. La plate-forme *big data* de Sinay, basée sur le *cloud*, agrège une grande variété de données pour aider les ports à surveiller en temps réel des paramètres environnementaux tels que la qualité de l'air ou de l'eau et à prendre les mesures appropriées lorsqu'un problème survient. Une approche nécessaire à l'heure où durabilité devient synonyme de compétitivité. C'est dans ce cadre que, le 9 novembre 2022, Sinay a annoncé la signature d'un contrat de 1,6 million d'euros avec l'Agence Spatiale Européenne pour la création d'une plate-forme maritime digitale.

« Carbone bleu » : le rôle de la biodiversité marine dans le captage du carbone

Le terme de biodiversité marine fait référence à la vaste multitude d'êtres vivants connus et inconnus qui peuplent la mer, des micro-organismes aux plantes en passant par les animaux^I. Quel rôle les écosystèmes et habitants de l'océan jouent-ils dans la capture du « carbone bleu » aquatique ?

Meilleure protection contre le changement climatique, l'océan est considéré par beaucoup comme le « poumon de la planète » ; il est scientifiquement prouvé qu'il constitue notre plus grand puits de carbone^{II}. Produisant 50% de l'oxygène dont nous avons besoin, l'ONU estime que l'océan « absorbe également 25% de toutes les émissions de dioxyde de carbone et capte 90% de l'excès de chaleur généré par ces émissions ».

Parmi les écosystèmes les plus importants qui servent de puits de carbone et offrent des services écosystémiques (à savoir des bénéfices pour l'homme^{III}) figurent les prairies sous-marines, les mangroves et les forêts de varechs.

Les herbiers marins ne couvrent que 0,1% des fonds marins mais stockent entre 10 et 18% de l'ensemble du carbone présent dans l'océan, selon une étude

publiée en janvier 2020^{IV}. Les herbes marines piègent principalement le CO₂ dans les sédiments autour de leurs racines, tiges et feuilles.

Ces prairies servent également d'habitats de reproduction et d'aires d'alimentation pour les animaux qui les broutent, comme les lamantins et les tortues de mer, en voie de disparition^V. Leur capacité à réduire l'acidité des eaux environnantes (résultant du réchauffement des océans) protège les espèces à exosquelette (plancton, krill...), source de nourriture essentielle pour les baleines. Au cours de leur vie, les baleines peuvent absorber 33 000 kilogrammes de CO₂ en moyenne^{VI} et, à leur disparition, les carcasses coulent, piégeant le carbone dans les sédiments des fonds marins.

Autre environnement côtier, situé quant à lui à l'intersection de la terre et de la mer, avec des racines semblables à des échasses : la forêt de mangroves. Selon The Nature Conservancy, ces systèmes côtiers sont particulièrement riches en biodiversité, offrant un refuge à 341 espèces menacées dans le monde.

Quant aux services écosystémiques, ils piègent jusqu'à quatre fois plus de carbone que les arbres et servent de première ligne de défense contre les inondations côtières. D'un point de vue économique, ils « évitent plus de 65 milliards de dollars de dommages matériels et réduisent les risques d'inondation pour quelques 15 millions de personnes »^{VII}.

Un dernier écosystème forestier aquatique essentiel, la forêt de varech, constitue une piste très prometteuse pour la capture du carbone bleu. Jusqu'à présent négligées (car, lorsque les forêts de varechs



(CRÉDIT : ALEXANDROS GIANNAKAKIS - UNSPLASH)

se détériorent, elles relâchent du carbone dans l'environnement), la recherche démontre de plus en plus que les écosystèmes verticaux d'algues brunes servent de puits de carbone. Ils stockent également le carbone dans les sédiments et le séquestrent lorsque les plantes coulent vers les profondeurs. En 2016, Nature Geoscience a publié un article estimant que ces écosystèmes stockent environ 175 millions de tonnes de carbone par an^{VIII}.

Tous ces écosystèmes inestimables servent de refuge contre le réchauffement des mers à leur propre biodiversité et soutiennent l'équilibre délicat de la chaîne alimentaire de l'océan et la circulation des nutriments, y compris le verrouillage du carbone dans les sédiments et au fond de l'océan. En tant que tel, le soutien à la résilience continue de la biodiversité dans ces écosystèmes garantit leur capacité à continuer de capturer du carbone bleu.

Fret maritime : l'urgence de la décarbonation

Le transport maritime de marchandises représente aujourd'hui 90% des échanges commerciaux mondiaux⁵¹. Et ces flux ne font que croître, à la faveur du développement de l'e-commerce et de la croissance démographique. Ainsi, 10 milliards de tonnes de marchandises transitent chaque année par les ports du globe. Des échanges dont l'empreinte carbone va également croissant : selon Carbone 4, si le fret maritime était un pays, il serait le sixième État émetteur de gaz à effet de serre au monde⁵². Comment décarboner un secteur dont les deux dernières années ont montré à quel point il conditionne la santé de l'économie mondiale ?

Une empreinte carbone en forte croissance

En 2018, quelques 54 000 navires marchands⁵³ ont émis près d'un million de tonnes de gaz à effet de serre (GES), dont près de 3% des émissions de CO₂ mondiales⁵⁴. En raison de la forte croissance des flux commerciaux, ces émissions ont crû de 30% depuis 1990 alors même que s'opérait un lent mouvement de décarbonation du fret maritime : entre 2008 et 2019, le CO₂ émis par tonne diminuait d'autant, à la faveur de la mise à l'eau de navires plus modernes et sobres et de nouvelles pratiques opérationnelles⁵⁵. Des avancées qui ne doivent pas masquer le fait que l'Agence internationale de l'énergie anticipe une augmentation de 135% de la quantité de gaz carbonique émis par le fret maritime entre 2018 et 2050⁵⁶.

Une régulation en pleine évolution

L'Organisation maritime internationale (OMI), forum international de gouvernance du secteur maritime, édicte des normes à valeur contraignante, applicables aux navires marchands internationaux et visant à limiter

leurs émissions de GES. Elle impose ainsi l'installation de limiteurs de puissance⁵⁷ et de systèmes permettant d'augmenter l'hydrodynamisme des navires, l'attribution à chaque navire d'une note de A à E, en fonction de son intensité carbone réelle⁵⁸, ainsi qu'un niveau minimal d'efficacité pour les navires neufs⁵⁹. En rendant possible une meilleure connaissance des émissions de chaque navire, ces mesures doivent, comme le relève le ministère français de l'Écologie, « permettre [...] aux États, aux financeurs, aux clients ou aux ports de mettre en place [...] des mesures additionnelles ou des mécanismes d'incitation de type bonus-malus⁶⁰ ». Ces mesures participent de l'objectif fixé par l'OMI d'une diminution de 50% des émissions de GES du secteur maritime à l'horizon 2050. Ses États-membres se sont récemment prononcés en faveur d'une réduction ciblée des émissions de CO₂ par le volet opérationnel de 11% entre 2020 et 2026, objectif insuffisamment ambitieux aux yeux du gouvernement français, qui proposait une cible de -22% sur la période 2019-2030⁶¹. Au niveau européen, le cap affiché dans le sillage de l'objectif d'une Europe neutre en carbone en 2050 est plus ambitieux : dès la fin de l'année, sur décision du Parlement européen, le fret maritime devrait être intégré au système européen d'échange de quotas d'émissions de CO₂⁶². Pour autant, le FMI se montre pessimiste sur cette mesure, affirmant qu'une taxe de 75 centimes de dollar par tonne entraînerait une diminution des émissions de 15% seulement⁶³.

Vent, hydrogène, électricité : les carburants maritimes du futur ?

Au-delà des solutions opérationnelles et d'efficacité énergétique ainsi que des tentatives mondiales de régulation, se font jour des solutions technologiques visant à substituer au fuel des énergies plus propres. La propulsion vélique suscite dans ce cadre un intérêt croissant. Une étude estime ainsi que jusqu'à 10 000 navires pourraient employer ce mode d'ici 2030,

permettant d'éviter l'émission de 3,5 à 7,5 millions de tonnes de CO₂⁶³. La société nantaise Neoline prévoit de mettre en exploitation à l'horizon 2024-2025 un cargo à propulsion vélique qui transportera des marchandises de la France aux États-Unis. À la clé, 90% de carburant consommé en moins par rapport à un cargo conventionnel de même taille⁶⁵. La région Bretagne a quant à elle récemment lancé la première filière de fret à propulsion vélique, regroupant 150 entreprises⁶⁶. L'électricité et l'hydrogène font également naître d'importants espoirs : le groupe norvégien Yara va mettre en service le Birkeland, premier cargo entièrement électrique et autonome⁶⁷, tandis que le suédois Green City Ferries a conçu un catamaran propulsé à l'électricité et l'hydrogène et neutre en carbone. Même enthousiasme du côté du méthanol, avec l'annonce par Maersk de la commande de plusieurs navires fonctionnant avec ce carburant. Des solutions prometteuses, mais qui ont également leurs limites : comme le rappelle Carbone 4⁶⁸, il sera difficile de propulser des navires de grande taille avec de l'électricité sur batteries ou des piles à combustible alimentées à l'hydrogène. Le cabinet de conseil souligne également la cherté des carburants synthétiques ou encore le coût environnemental du développement des biocarburants (usage des sols, déforestation...)⁶⁹.

FARWIND – GREEN SHIP

Spin-off de l'École Centrale de Nantes, la start-up FARWIND a pour ambition de décarboner le fret maritime en s'appuyant sur des technologies novatrices, parmi lesquelles le navire-énergie :

« Le navire-énergie est avant tout un voilier, c'est-à-dire un navire propulsé par le vent. Les voiles sont des rotors Flettner, qui sont des cylindres verticaux en rotation autour de leur axe et qui convertissent l'énergie du vent en force propulsive grâce à l'effet Magnus. Les navires énergie sont équipés d'hydroliennes qui convertissent l'énergie cinétique du navire en électricité. En fonction des besoins, elle est stockée dans des batteries, ou convertie en énergie. »

<https://farwind-energy.com/fr/technologie/>

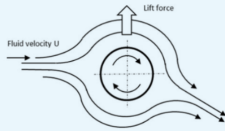
KIWIN – GREEN SHIP

KiWin est l'un des projets lauréats de l'AMI CORIMER 2022, annoncé aux Assises de l'économie de la mer, le 8 novembre 2022, à Lille :

« L'enjeu du projet collaboratif KiWin pour lequel Beyond the Sea est chef de file, est de proposer, via une innovation de rupture, une solution de propulsion aéro-tractée (traction de navires automatisée par kite), conçue pour venir en hybridation sur les navires existants ou futurs de plus de 60 mètres pour contribuer à la transition énergétique et la décarbonation des navires de pêche, de commerce. »

1. ÉNERGIE DU VENT

A l'aide de voiles modernes (rotors Flettner), l'énergie du vent est utilisée pour propulser le navire.



2. PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

La vitesse du navire fait tourner des hydroliennes qui produisent ainsi de l'électricité

3. STOCKAGE D'ÉNERGIE

L'électricité produite est stockée à bord. En fonction des marchés, elle est stockée dans des batteries, ou convertie en hydrogène par électrolyse ou en carburant liquide (méthanol) par une installation de power-to-X.

(CRÉDIT : FARWIND)

Glossaire

— Biodiversité océanique

Berceau de la vie, les océans abritent une biodiversité propre. Du plancton à la baleine bleue, celle-ci serait composée de 500 000 à 10 millions d'espèces (sans compter quelque... 10 milliards d'espèces microbiennes). Seules 240 000 d'entre elles sont aujourd'hui décrites⁷⁰.

— Carbone bleu (« blue carbon »)

Issu de la décomposition de plantes, bois, racines et animaux, le carbone bleu est le carbone organique stocké par les écosystèmes marins et côtiers, incluant les marais salés, herbiers marins et mangroves⁷¹. Hautement productifs, ces écosystèmes forment un gigantesque puits de carbone au rôle central dans l'atténuation du changement climatique.

— Économie bleue

Selon une définition de l'UNESCO qui fait désormais autorité, « une économie océanique durable émerge lorsque l'activité économique est en équilibre avec la capacité à long terme des écosystèmes océaniques à soutenir cette activité et à maintenir leur résilience et leur bonne santé »⁷².

— Espace protégé

Selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), un espace protégé est « un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré, par tout moyen efficace, juridique ou autre, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services écosystémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associés »⁷³.

— **Exploitation des fonds océaniques**

Désigne l'ensemble des exploitations des ressources océaniques, qu'elles soient animales (pêche) ou encore minérales (extraction d'hydrocarbures, de métaux et substances enfouies dans le plancher océanique). La poursuite de l'exploitation soulève la question des menaces que font peser ces activités extractives sur l'équilibre des écosystèmes océaniques.

— **Finance bleue**

Financement de l'économie bleue durable par des investisseurs publics et privés (particuliers et institutionnels), la finance bleue est un volet émergent de la finance climatique. L'Initiative financière du Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEPFI), la Commission européenne, le World Wildlife Fund (WWF), le World Resources Institute et la Banque européenne d'investissement ont défini ensemble une liste de 14 principes appelés à régir le financement d'une économie bleue durable ⁷⁴, désormais cadre de référence pour les banques, assureurs et investisseurs.

— **Géothermie marine**

La géothermie (étymologiquement, « chaleur de la terre ») marine désigne le fait d'utiliser l'énergie calorifique, c'est-à-dire les différentiels de température entre eaux de surface et eaux profondes, pour générer de l'énergie grâce à une pompe à chaleur (par exemple pour alimenter en chaud et/ou froid des bâtiments).

— **Mangroves**

Les mangroves sont des formations forestières (principalement constituées de palétuviers) qui se développent sur les littoraux tropicaux. Elles présentent un très fort intérêt écologique puisqu'elles sont à la fois des réservoirs de biodiversité, protègent les sols de l'érosion et fournissent du bois de construction et de chauffe pour de nombreuses communautés dans le monde ⁷⁵.

— **Gouvernance des océans**

La gouvernance des océans est la gestion conjointe, par les États, des océans et de leurs ressources dans un objectif de préservation et de productivité ⁷⁶. Elle est régie par la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de Montego Bay (1982), traité international qui établit les zones de compétence étatique en distinguant eaux intérieures, mers territoriales, zones contiguës et ZEE. À ces zones s'ajoute la haute mer (60% de la superficie terrestre), qui n'appartient à aucun État ⁷⁷.

— **Régénération des océans**

Ce terme désigne le renouvellement des espèces (faune et flore) océaniques, menacées par les activités humaines et le réchauffement climatique. De nombreux acteurs de l'économie bleue appellent à dépasser le simple objectif de protection des océans pour privilégier celui, plus ambitieux, de leur régénération.

— **Trait de côte**

Le trait de côte est la délimitation symbolique de la frontière entre la terre et les eaux marines. Il est mobile : l'érosion, l'accumulation de sédiments ou la construction de polders et de digues peuvent le déplacer ⁷⁸. Sur les 3 420 km de côtes que compte la France, 270 reculent de plus de 50 cm chaque année ⁷⁹.



PARCS ÉOLIENS, RAMPION (ROYAUME-UNI)
(CRÉDIT : NICHOLAS DOHERTY - UNSPLASH)

Bibliographie

Économie bleue durable

- ◆ Documentation issue de la Conférence des Nations Unies sur l’océan (Lisbonne, 2022). URL : <https://www.un.org/en/conferences/ocean2022/documentation>
- ◆ Mission Starfish 2030. URL : <https://starfish2030.ifremer.fr/>
- ◆ Groupe « Mer et littoral » de l’Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). URL : <https://uicn.fr/groupe-mer-littoral/>
- ◆ La Fresque océane. URL : <https://fresqueoceane.com/>
- ◆ Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer). URL : <https://www.ifremer.fr/>
- ◆ Rapport spécial du GIEC « L’océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique » (2019). Résumé à l’intention des décideurs. URL : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_fr.pdf
- ◆ Deep Sea, site éducatif sur la biodiversité marine (en anglais). URL : <https://neal.fun/deep-sea/>

Énergies marines renouvelables

- ◆ France Énergies Marines (Institut pour la transition énergétique dédié aux énergies marines renouvelables). URL : <https://www.france-energies-marines.org/institut/>
- ◆ Note du Secrétariat d’État chargé de la mer : Énergies marines renouvelables et innovation (2021). URL : <https://www.mer.gouv.fr/energies-marines-renouvelables-et-innovation>
- ◆ Note du Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires : Énergies marines renouvelables (2018). URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/energies-marines-renouvelables-0>

Littoraux et montée des eaux

- ◆ Projet SEA'TIES de la plateforme Océan et Climat. URL : <https://ocean-climate.org/seaties/>
- ◆ Portail du reseau national des observatoires du trait de côte. URL : <http://observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/>

Futur des ports et infrastructures côtières

- ◆ Green Marine Europe, le programme de certification environnementale pour l’industrie maritime européenne. URL : <https://greenmarineeurope.org/fr/>
- ◆ Note de l’Institut français des relations internationales (IFRI) : Commerce mondial. Les nouvelles routes maritimes. 24 avril 2020. URL : <https://storymaps.arcgis.com/stories/7d3a7a1492564cb2aabea79287566745>
- ◆ Note de Carbone 4 et Bertin Énergie Environnement. Le secteur maritime vogue-t-il vers la décarbonation ? Un état des lieux (2019). URL : <https://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2019/07/Publication-Carbone-4-Bertin-Secteur-maritime.pdf>

Le mot de la fin



— Benjamin Lesage,
Global coordinator
@soalliance

“

J'ai rencontré Benjamin Lesage à San Francisco en 2020. À l'époque, nous avions la même mission : faire de la veille technologique et rédiger des notes prospectives sur les grandes tendances mondiales pour nos entreprises respectives, de mon côté pour le groupe VINCI à travers Leonard et du sien, pour le groupe BNP Paribas. Nous avons longuement échangé autour des bouleversements auxquels nos entreprises et écosystèmes respectifs faisaient face, notamment liés à la prise de conscience du changement climatique. Le rôle de l'océan était souvent mentionné mais peu documenté au sein de nos entreprises. L'arrivée de Benjamin au sein de la Sustainable Ocean Alliance en 2021 nous a donné l'opportunité de réaliser cette exploration pour comprendre les grands enjeux de l'économie bleue durable mais aussi réfléchir ensemble aux perspectives de développement des énergies marines renouvelables, à l'avenir des ports et infrastructures ou encore à la résilience des côtes et écosystèmes marins. Nous espérons que les événements organisés et cette étude, qui en est la synthèse, ouvriront des pistes de collaborations fructueuses dans l'intérêt de la planète et de ceux qui l'habitent ”

— Ludivine Serrière, Innovation Program Manager, Leonard

Crédits

ÉQUIPE

Chef de projet
Ludivine Serrière

Conception éditoriale et rédaction
Marie Baléo

Édition
Ludivine Serrière

Graphisme et mise en page
Louis Robinet

Traduction
Marie Baléo

REMERCIEMENTS

Ce livret synthétise et complète ces débats, qui ont réuni des experts internationaux issus des secteurs public et privé, de la société civile et de la sphère académique, nous adressons nos sincères remerciements pour leurs contributions à nos réflexions :

Patrick Bazin, Laure Blanchard, Tom Birbeck, Robert Cavagnaro, Catherine Chabaud, Raphael Cuvelier, Aurélie Dubois, Thierry Ducellier, Ruben Eiras, Yuki Esser, Françoise Gaill, Emilie Garcia, Roy Issac, Anders Køhler, Marcus Lehmann, Benjamin Lesage, Christian Lim, Irina Lucke, Tor M. Østervold, Geneviève Pons, Rita Sousa, Isaac Rubinstein, Karim Selouane, Samuel Stanton, Conor Furstenberg Stott, Daniela V Fernandez, Julien Villalongue, Louis-Noël Vivies.

- ¹ European Commission (2022). The EU Blue Economy Report. 2022. Publications Office of the European Union. Luxembourg. URL : <https://www.politico.com/f/?id=00000181-b4cc-daca-a1ab-bdce990d0000&nname=the-long-game&nid=00000171-5b34-d92d-a5ff-db3ee8890000&nrid=00000165-7550-de7e-a7f7-775cbb4b0001&nlid=2672637>
- ² Ibid.
- ³ United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi. URL : <https://www.unep.org/interactive/pollution-to-solution/>
- ⁴ Howard, Jenny. Tout comprendre sur : la pollution marine. National Geographic. URL : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/tout-comprendre-sur-la-pollution-marine>
- ⁵ European Commission (2022). The EU Blue Economy Report. 2022. Publications Office of the European Union. Luxembourg. URL : <https://www.politico.com/f/?id=00000181-b4cc-daca-a1ab-bdce990d0000&nname=the-long-game&nid=00000171-5b34-d92d-a5ff-db3ee8890000&nrid=00000165-7550-de7e-a7f7-775cbb4b0001&nlid=2672637>
- ⁶ Ibid.
- ⁷ Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Déchets marins. 12 septembre 2022. URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-marins>
- ⁸ Howard, Jenny. Tout comprendre sur : la pollution marine. National Geographic. URL : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/tout-comprendre-sur-la-pollution-marine>
- ⁹ Ibid.
- ¹⁰ European Commission (2022). The EU Blue Economy Report. 2022. Publications Office of the European Union. Luxembourg. URL : <https://www.politico.com/f/?id=00000181-b4cc-daca-a1ab-bdce990d0000&nname=the-long-game&nid=00000171-5b34-d92d-a5ff-db3ee8890000&nrid=00000165-7550-de7e-a7f7-775cbb4b0001&nlid=2672637>
- ¹¹ Howard, Jenny. Tout comprendre sur : la pollution marine. National Geographic. URL : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/tout-comprendre-sur-la-pollution-marine>
- ¹² United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi. URL : <https://www.unep.org/interactive/pollution-to-solution/>
- ¹³ Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Déchets marins. 12 septembre 2022. URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-marins>
- ¹⁴ Sénat. L'essentiel sur le rapport d'information Abysses: la dernière frontière? URL : <https://www.senat.fr/rap/r21-724/r21-724-syn.pdf>
- ¹⁵ Julian, Sébastien. Océans : pourquoi l'exploitation minière des grands fonds devient une réalité. L'Express. 11 février 2022. URL : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/oceans-pourquoi-l-exploitation-mini%C3%A8re-des-grands-fonds-devient-une-r%C3%A9alit%C3%A9_2167818.html
- ¹⁶ Parmentier, Audrey. Pourquoi Emmanuel Macron relance l'exploration des fonds marins (et de ses ressources). L'Express. 23 octobre 2021. URL : https://www.lexpress.fr/actualite/societe/environnement/pourquoi-emmanuel-macron-relance-l-exploitation-des-fonds-marins-et-de-ses-ressources_2161046.html
- ¹⁷ Ibid.
- ¹⁸ Julian, Sébastien. Océans : pourquoi l'exploitation minière des grands fonds devient une réalité. L'Express. 11 février 2022. URL : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/oceans-pourquoi-l-exploitation-mini%C3%A8re-des-grands-fonds-devient-une-r%C3%A9alit%C3%A9_2167818.html
- ¹⁹ Fondation de la Mer. Les Grands fonds marins. Quels choix stratégiques pour l'avenir de l'humanité? 2022. URL : <https://www.fondationdelamer.org/wp-content/uploads/2022/06/Les-Grands-Fonds-Marins.pdf>
- ²⁰ Valo, Martine. Emmanuel Macron se prononce contre l'exploitation des grands fonds océaniques. Le Monde. 1er juillet 2022. URL : https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/07/01/emmanuel-macron-se-prononce-contre-l-exploitation-des-grands-fonds-oceaniques_6132819_3244.html
- ²¹ Source: EDF.
- ²² Commission européenne. Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au comité des régions. Une stratégie de l'UE pour exploiter le potentiel des énergies renouvelables en mer en vue d'un avenir neutre pour le climat. 19 novembre 2020. URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0741&from=EN>
- ²³ Ibid.
- ²⁴ Ocean Energy Europe. Ocean Energy: Key trends and statistics 2021. Mars 2022. URL : https://www.oceanenergy-europe.eu/wp-content/uploads/2022/03/OEE_Stats_and_Trends_2021_web.pdf
- ²⁵ Ibid.
- ²⁶ Source: Carbon Trust du Royaume-Uni.
- ²⁷ Nunez, Christina; National Geographic Staff. Élévation du niveau de la mer : les chiffres clés. National Geographic. URL : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/elevation-du-niveau-de-la-mer-les-chiffres-clefs>
- ²⁸ Ibid.
- ²⁹ Ibid.

- ³⁰ Ibid.
- ³¹ Ibid.
- ³² Ibid.
- ³³ Source: Banque Mondiale(2018).
- ³⁴ Source: GIEC (2022).
- ³⁵ INRAE. « Les conséquences de la montée du niveau de la mer » : Publication du rapport prospectif de la recherche française pour l'environnement. 25 octobre 2019. URL : <https://www.inrae.fr/actualites/consequences-montee-du-niveau-mer-publication-du-rapport-prospectif-recherche-francaise-lenvironnement>
- ³⁶ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Communiqué de presse du GIEC. 25 septembre 2019. URL : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/09/SROCC_PressRelease_FR.pdf
- ³⁷ Ibid.
- ³⁸ Ibid.
- ³⁹ Ibid.
- ⁴⁰ Ibid.
- ⁴¹ Antunes, Luisa; Hoffmann, Tobias; Delgado Callico, Laia. What if we built cities on water? Parlement européen. Juin 2022. URL : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729528/EPRS_ATA\(2022\)729528_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729528/EPRS_ATA(2022)729528_EN.pdf)
- ⁴² Montali, Stefano. The floating homes of Lake Titicaca. 15 août 2022. URL : <https://www.bbc.com/travel/article/20220814-the-floating-homes-of-lake-titicaca>
- ⁴³ Brandon, Elissaveta M. Are Floating Cities a Real Possibility? Smithsonian Magazine. 12 août 2021. URL : <https://www.smithsonianmag.com/innovation/in-face-rising-seas-are-floating-cities-real-possibility-180978409/>
- ⁴⁴ Antunes, Luisa; Hoffmann, Tobias; Delgado Callico, Laia. What if we built cities on water? Parlement européen. Juin 2022. URL : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729528/EPRS_ATA\(2022\)729528_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729528/EPRS_ATA(2022)729528_EN.pdf)
- ⁴⁵ McNulty-Kowal, Shawn. These floating homes in Amsterdam are designed to beat the rising sea levels and escape the growing city population. 20 décembre 2020. URL : <https://www.yankodesign.com/2020/12/20/these-floating-homes-in-amsterdam-are-designed-to-beat-the-rising-sea-levels-and-escape-the-growing-city-population/>
- ⁴⁶ UN Habitat. The Second UN Roundtable on Sustainable Floating Cities. Meeting the Rising Seas with Floating Infrastructure. 26 avril 2022. URL : https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/04/1_-_second_un_round_table_floating_cities.pdf
- ⁴⁷ Ibid.
- ⁴⁸ Nuwer, Rachel. Will we ever live in underwater cities? BBC. 30 septembre 2013. URL : <https://www.bbc.com/future/article/20130930-can-we-build-underwater-cities>
- ⁴⁹ Ibid.
- ⁵⁰ Ibid.
- ⁵¹ Cognasse, Olivier. Le transport maritime vogue à petite vitesse vers la transition énergétique. L'Usine nouvelle. 24 février 2020. URL : <https://www.usinenouvelle.com/editorial/le-transport-maritime-vogue-a-petite-vitesse-vers-la-transition-energetique.N925699>
- ⁵² Carbone 4, Bertin Énergie Environnement. Le secteur maritime vogue-t-il vers la décarbonation? Un étatdes lieux. Pôle mobilité. Juillet 2019: URL : <https://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2019/07/Publication-Carbone-4-Bertin-Secteur-maritime.pdf>
- ⁵³ Maréchal, Anaïs. Comment réduire l'empreinte carbone du fret maritime? Polytechnique insights. 4 mai 2021. URL : <https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/energie/les-innovations-bas-carbone-du-fret-maritime/comment-reduire-lempreinte-carbone-du-fret-maritime/>
- ⁵⁴ Ibid.
- ⁵⁵ Ibid.
- ⁵⁶ Ibid.
- ⁵⁷ Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Décarbonisation du transport maritime international : l'OMI adopte des mesures concrètes mais il reste beaucoup à faire. 18 juin 2021. URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/decarbonisation-du-transport-maritime-international-lomi-adopte-des-mesures-concretes-il-reste>
- ⁵⁸ Secrétariat d'État chargé de la Mer. Décarbonation du transport maritime international : des avancées substantielles à l'OMI. 26 novembre 2020. URL : <https://www.mergouv.fr/decarbonation-du-transport-maritime-international-des-avancees-substantielles-lomi>
- ⁵⁹ Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Décarbonisation du transport maritime international : l'OMI adopte des mesures concrètes mais il reste beaucoup à faire. 18 juin 2021. URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/decarbonisation-du-transport-maritime-international-lomi-adopte-des-mesures-concretes-il-reste>
- ⁶⁰ Ibid.

61

Ibid.

62

Maréchal, Anaïs. Comment réduire l’empreinte carbone du fret maritime? Polytechnique insights. 4 mai 2021. URL : <https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/energie/les-innovations-bas-carbone-du-fret-maritime/comment-reduire-lempreinte-carbone-du-fret-maritime/>

63

Ibid.

64

Maréchal, Anaïs. Navires marchands à voiles: utopie ou réalité? Polytechnique insights. 4 mai 2021. URL : <https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/energie/les-innovations-bas-carbone-du-fret-maritime/navires-marchands-a-voiles-utopie-ou-realite/>

65

Gambert, Philippe. Le Cargo à voile de Neoline accuse un nouveau retard de construction. Ouest France. 19 mai 2022. URL : <https://www.ouest-france.fr/mer/le-cargo-a-voile-de-neoline-accuse-un-nouveau-retard-de-construction-77e90b6a-d6e6-11ec-9b2d-786031940fdf>

66

Cognasse, Olivier. Lancement de la première filière de transport maritime à propulsion vélique en Bretagne. L’Usine nouvelle. 14 novembre 2021. URL : <https://www.usinenouvelle.com/article/lancement-de-la-premiere-filiere-de-transport-maritime-a-propulsion-velique-en-bretagne.N1159552>

67

Epitropakis, Roman. [L’idée verte] Le Yara Birkeland, premier cargo autonome électrique, est prêt à prendre le large. L’Usine nouvelle. 27 août 2021. URL: <https://www.usinenouvelle.com/article/l-idee-verte-le-yara-birkeland-premier-cargo-autonome-electrique-est-pret-a-prendre-le-large.N1134694>

68

Carbone 4, Bertin Énergie Environnement. Le secteur maritime vogue-t-il vers la décarbonation? Un état des lieux. Pôle mobilité. Juillet 2019. URL : <https://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2019/07/Publication-Carbone-4-Bertin-Secteur-maritime.pdf>

69

Ibid.

70

Ifremer. Biodiversité marine. URL : <https://www.ifremer.fr/Expertise/Eau-Biodiversite/Biodiversite-Marine>

71

Définition tirée de: UNESCO. Le patrimoine mondial marin de l’UNESCO : gardien des réserves mondiales de carbone bleu. 2021. URL : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375565_fre

72

UNESCO. Commission océanographique intergouvernementale. Économie bleue durable. 2020. URL : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374788_fre

73

Définition notamment citée dans: Estienne Rodary, Marie Bonnin, Cécile Bidaud, Philippe Méral. L’influence des services écosystémiques sur les aires protégées. Méral Philippe; Pesche Denis. Les services écosystémiques. Repenser les relations nature et société, Editions Quæ, pp.229-248, 2016, Nature et société, 978-2-7592-2469-2. hal-02569961

74

UN Environment Programme – Finance Initiative. Sustainable Blue Economy. The Principles. Sustainable Blue Finance. URL : <https://www.unepfi.org/blue-finance/the-principles/>

75

Voir: Géoconfluences. Mangrove. Dernière modification: août 2021. URL : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/mangrove>

76

Voir: Commission européenne. Gouvernance internationale des océans : la contribution de l’UE à la fixation du cap vers une planète bleue. Communiqué de presse. 24 juin 2022. Bruxelles. URL : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/FR/ip_22_3742#:~:text=La%20gouvernance%20internationale%20des%20océans%20consiste%20à%20gérer%20conjointement%20les,appuie%20sur%20celle%20de%202016.

77

Vie publique. Questions-réponses. Mers et océans : les espaces maritimes en six questions. URL : <https://www.vie-publique.fr/questions-reponses/274664-mers-et-oceans-les-espaces-maritimes-en-six-questions>

78

Voir notamment: Portail du réseau national des observatoires du trait de côte (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires). Qu’est-ce que le trait de côte? URL: <http://observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/qu-est-ce-que-le-trait-de-cote-r25.html>

79

Géoconfluences. Trait de côte. URL: <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/trait-de-cote>

À propos

Leonard est le nom de la plate-forme de prospective et d’accélération de projets innovants du groupe VINCI, lancée en juillet 2017. Pourquoi Leonard ? Pour répondre à certains des plus grands défis des métiers de VINCI : révolution digitale, accélération des cycles d’innovation et transition environnementale. Dans un monde en transformation, Leonard détecte les tendances, accompagne l’innovation et réunit tous les acteurs du futur des villes et des territoires.

leonard.vinci.com

Sustainable Ocean Alliance (SOA) a été fondée en 2014 par Daniela Fernandez, désignée personnalité 30 Under 30 par Forbes en 2019 et membre des Friends of Ocean Action du Forum économique mondial. SOA mobilise les jeunes de moins de 35 ans et soutient et investit dans les solutions innovantes pour restaurer les écosystèmes marins. L’association a bâti un large réseau international de jeunes leaders et entrepreneurs de l’océan et accompagne des start-ups innovantes, des organisations à but non lucratif et des campagnes dédiées à la lutte contre les menaces auxquelles font face les océans.

soalliance.org

