

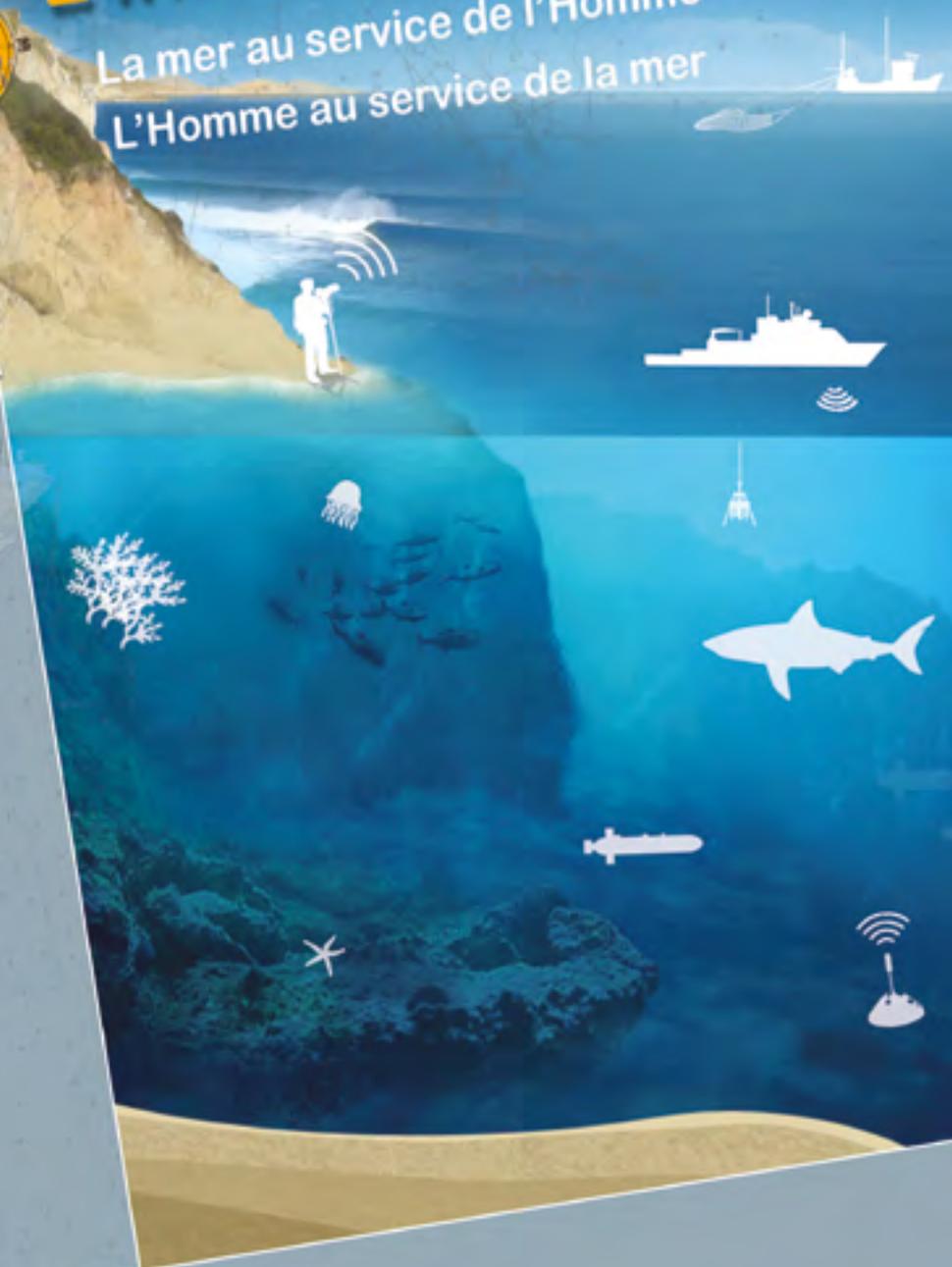


L'innovation

La mer au service de l'Homme

L'Homme au service de la mer

Cap sur ...



« Il faut protéger l'inconnu pour des raisons inconnues »

Jean Rostand

La mer a toujours fasciné l'Homme. C'est une richesse inestimable qui lui procure nourriture, énergie, eau et bien être.

Elle regorge d'innombrables richesses qu'il sait reconnaître, tester, imiter, exploiter, voire surexploiter et même détruire.

Depuis quelques décennies, Il envisage différemment la relation qu'il entretient avec la mer : elle n'est plus une ressource uniquement exploitable, mais un bien précieux à protéger. En particulier, l'Homme a compris aujourd'hui que la mer, grâce à sa fonction régulatrice, joue un rôle indispensable pour notre avenir. Il est de plus en plus urgent et de notre devoir de la préserver.

Ce livret Cap sur l'innovation est là pour présenter des exemples d'utilisations de la mer, car elle est depuis toujours au service de la vie et du bien-être de l'Homme grâce à son rôle de régulateur de l'atmosphère, à ses ressources nutritives, énergétiques et à ses applications pour le transport, les loisirs, la médecine, ... Le monde marin inspire le monde terrestre, c'est une source d'inspiration inestimable pour les inventeurs dans tous les domaines.

Et parce qu'il veut mieux connaître la mer, pour finalement mieux la protéger, l'Homme se met à son service conscient que ces bénéfices mutuels doivent être équilibrés pour pouvoir durer.

LA MER AU SERVICE DE L'HOMME

SOIGNER



Pages 4 à 7

EMBELLIR



Page 8

SE NOURRIR



Page 9

PRODUIRE



Page 10

INSPIRER



Pages 11 à 15

REGULER



Pages 16 à 17

L'eau de mer pour soigner

La thalassothérapie est un traitement thérapeutique datant du 19^{ème} siècle qui utilise les caractéristiques de l'eau de mer riche en minéraux (chlorures, magnésium, fluor...), ainsi que ses propriétés hydratantes, cicatrisantes et exfoliantes pour le traitement de la peau et des douleurs rhumatismales.

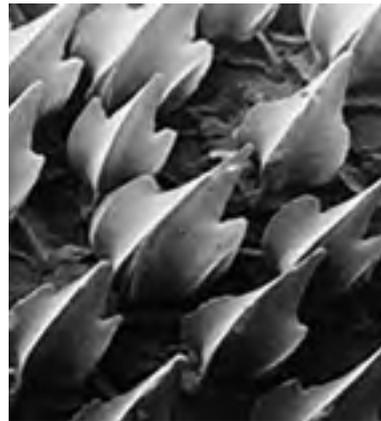
Les algues dans nos troussees de secours

Il existe plus de 10 000 espèces d'algues dans les océans. Parmielles, deux espèces de laminaires, *Laminaria digitata* et *Laminaria hyperborea*, intéressent particulièrement l'industrie pharmaceutique. Ces grandes algues brunes sont composées de

**MILLE ET UNE
UTILISATIONS
POUR
SOIGNER
L'HOMME**

sucres : les alginates, utilisés dans la fabrication de pansements à fort pouvoir absorbant. En se gélifiant au contact de la plaie, les fibres d'alginate piègent les bactéries et favorisent la cicatrisation.

Peau de requin : un matériau sans additif chimique, ni antibiotique



La peau de requin est composée de minuscules denticules cutanées, en forme de pointe. Au microscope électronique, on peut aussi observer des structures complémentaires « en nid d'abeille ». Cette particularité empêche les micro-organismes tels que les bactéries de s'accrocher. Une société américaine a imité ce principe de très petite taille (environ 3 microns) pour en faire un revêtement qui réduit de 94 % la propagation des bactéries. Cette innovation pourrait permettre de lutter contre les infections et les maladies nosocomiales qui infectent 450 000 personnes chaque année en France dans les hôpitaux.

Un venin comme antidouleur

Certains animaux marins produisent des venins mortels ! C'est le cas du coquillage *Conus magus* ou cône de mer. Mais, bien que redoutable, son venin a attiré l'attention des chercheurs, car il contient une molécule dont les effets suppriment ou atténuent la douleur : la ziconotide. Approuvée pour son usage thérapeutique par les autorités européennes en 2005, cette molécule s'utilise aujourd'hui en remplacement ou en complément de la morphine.

L'étoile de mer lutte contre le cancer

A partir des œufs de l'étoile de mer *Marthasterias glacialis*, des chercheurs de Roscoff sont parvenus à isoler la roscovitine. Cette molécule a la particularité de contrôler la division des cellules et donc de limiter la prolifération notamment de certains cancers.

Véritable découverte, la roscovitine a fait l'objet de nombreux essais cliniques dans le monde pour ses effets bénéfiques dans le traitement de maladies comme la mucoviscidose.

Des vaisseaux marins

Les algues marines sont des organismes qui ont la particularité d'être flexibles tout en étant compacts et solides. Ces propriétés sont dues à leur composition moléculaire particulière, constituée de longues chaînes de molécules : les polysaccharides.

Ces polysaccharides marins sont biocompatibles c'est-à-dire qu'ils peuvent servir de matériaux de substitution pour le corps humain. Des chercheurs essaient de les façonner en vaisseaux artificiels lorsque les veines et les artères nécessitent d'être remplacées à la suite d'une pathologie cardiovasculaire. Leurs caractéristiques de souplesse et de résistance sont uniques et très prometteuses.





Stéphane Jamme - Aquanaute

Une huître pour nous aider à comprendre le développement du cancer chez l'homme ?

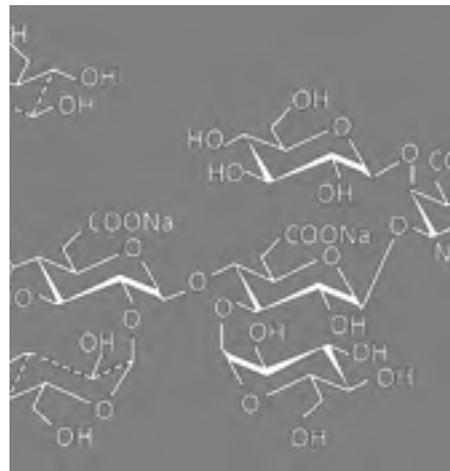
Qu'est-ce qu'une huître comme *Magallana gigas* a de commun avec l'Homme ? L'effet Warburg. C'est ainsi qu'est nommé le phénomène de développement cellulaire, responsable de la croissance des cancers. Il n'a jamais pu être neutralisé depuis sa découverte en 1930. Mais l'huître creuse, elle, parviendrait à l'activer et le désactiver en fonction de l'environnement dans lequel elle se trouve. Elle est aujourd'hui un modèle d'étude pour mieux comprendre cet effet.

Une bactérie marine pour soigner l'arthrose

C'est ce qu'ont découvert des chercheuses de l'IFREMER avec la bactérie marine, *Alteromonas inferus*. Elle est capable de produire un sucre

complexe, le GY785 permettant de stimuler la régénération des tissus animaux (cartilage, peau, os) à partir des cellules souches (cellules indifférenciées). Bel espoir en médecine régénérative !

Autre espoir, ce sucre aurait aussi des propriétés anticancéreuses intéressantes *in vitro* et *in vivo* dans le cas du cancer primaire de l'os...



Un ver marin, donneur de sang universel

L'annélide *Arenicola marina* est un ver marin capable de cesser de respirer pendant 6 h lorsqu'il se retrouve émergé à marée basse. Son hémoglobine, 250 fois plus petite que l'hémoglobine humaine, est capable de fixer 156 molécules d'oxygène contre 4 pour celle de l'être humain.

Aujourd'hui, cette hémoglobine est utilisée pour les greffes d'organes, car elle augmente la durée de conservation des greffons en attente d'une transplantation.



Hemarina

Une autre application peut être envisagée dans le cas d'une détresse respiratoire importante. En effet, cette hémoglobine pourrait agir comme une sorte de respirateur moléculaire.

[ENQUÊTE] DEUX PRIX NOBEL POUR LES MÉDUSES

Les méduses sont des organismes planctoniques synonymes de piqures et de baignades déplaisantes. Elles ont pourtant un potentiel thérapeutique intéressant.

Prix Nobel de médecine en 1913 : lors d'une expédition océanographique avec le prince Albert 1^{er} de Monaco, deux chercheurs français étudient les propriétés toxiques des physalies (siphonophores) et des actinies (anémones). Cherchant à immuniser l'organisme face à ce poison, ils constatent qu'à la suite d'une deuxième injection la réaction de l'organisme animal est beaucoup plus intense. C'est ainsi qu'ils découvrent l'existence du choc anaphylactique, réaction allergique cutanée.

Prix Nobel de Chimie en 2008 : *Aequorea victoria* est une méduse bioluminescente, capable d'émettre de la lumière grâce à une protéine (Green Fluorescent Protein, GFP). Cette fluorescence sert essentiellement à la prédation, mais elle présente aussi un intérêt en recherche biologique.



Sharon Ang

En greffant à des protéines la GFP de la méduse, on les dote d'une extrémité fluorescente. C'est ainsi que la croissance de cellules cancéreuses, l'évolution de certaines maladies ou encore le développement de bactéries pathogènes peuvent être facilement suivis et anticipés.

L'argile de mer, une boue marine bénéfique

Cette boue, riche en minéraux dont l'iode, est capable de freiner l'action des radicaux libres responsables du vieillissement de la peau. Par ailleurs, sa teneur élevée en nutriments peut stimuler la croissance des cheveux, la force des dents et la santé buccale.

Du sel pour une peau douce

Avec ses gros cristaux, le sel de mer est utilisé comme gommage naturel pour exfolier la peau. De plus, sa teneur en minéraux contribuerait à restaurer la barrière protectrice de la peau et son hydratation.

Du chitosan pour des cheveux plus souples

Naturellement présent dans les carapaces de crustacés (homards, langoustes, crabes...), le chitosan est un produit de la mer biodégradable, renouvelable, hydratant, filmogène, non toxique, cicatrisant, antibactérien et fongicide. Il est reconnu pour donner de la souplesse aux cheveux, en extraire les graisses, maintenir les coiffures en cas d'humidité et avoir un effet antistatique.



Stéphane Jamme - Aquanaute

Du cuir de poisson pour nos sacs



Déjà à la mode au 18^{ème} siècle sous le nom de galuchat, le cuir marin résulte d'un processus complexe. Les peaux de poissons récupérées sont dégraissées, écaillées, puis tannées. Une fois sèches, elles passent à la presse pour prendre forme.

En France, les principaux clients sont des artisans maroquiniers, des chausseurs, des bijoutiers ainsi que des entreprises qui s'occupent de l'aménagement de bateaux de luxe.

Des algues pour nous habiller

Des vêtements à base d'algues sont fabriqués : chaussures qui absorbent les odeurs et la transpiration grâce à leurs semelles à base d'algues, laine d'algues, vêtements de pluie imperméables grâce aux propriétés imperméabilisantes et plastifiantes des algues. On les retrouve même dans la papeterie car elles permettent d'agglomérer les fibres de papier.

MILLE ET UNE UTILISATIONS POUR LA BEAUTÉ DE L'HOMME

Le sel : alimentation et santé

Le sel est un minéral extrêmement abondant dans la mer. On le retrouve sous forme de cristaux, que l'on récupère dans les marais salants lorsque l'eau s'est évaporée sous l'action du soleil et du vent.

Le sel relève le goût des aliments, les conserve en agissant sur leur couleur, tenue et texture. Mais il est aussi indispensable pour la santé. Il fournit au corps des nutriments essentiels : chlorure, sodium, magnésium et potassium.

Mais attention à ne pas consommer plus de 5 g par jour pour éviter l'hypertension.



MILLE ET UNE UTILISATIONS AU QUOTIDIEN DES PRODUITS DE LA MER

Les poissons et autres espèces à consommer

Lors des pêches, 50 % des captures ne sont pas destinées à l'alimentation. Il s'agit des « coproduits de la mer ». Ils contiennent de nombreux éléments bénéfiques pour notre santé : protéines à haute valeur nutritive, acides gras insaturés (oméga 3), vitamines, antioxydants, ... Tout cela se retrouve dans une grande gamme de produits dérivés (huiles, collagène, gélatine...) utilisables dans différents domaines comme l'agriculture, l'alimentation, la

diététique, la cosmétique, la médecine, la pharmacie, l'agroalimentaire ! Autant d'usages extrêmement variés qui touchent notre quotidien.



Euriell Gazan - CSIL

Les algues dans notre alimentation

Les algues sont les premiers végétaux à être apparus sur Terre. Riches en nutriments et pauvres en lipides, ce sont des aliments de base dans l'alimentation humaine depuis les temps préhistoriques (les premières évidences remonteraient à plus de 20 000 ans) avant la consommation de

nombreux végétaux terrestres. Elles sont recherchées notamment dans les pays asiatiques comme le Japon qui consomme le Wakame, le Nori et le Kombu.

[FOCUS] Des bactéries dans notre assiette !

La spiruline est une cyanobactérie ou algue bleue. Consommée depuis des siècles, elle contient une très grande quantité d'acides aminés indispensables à l'organisme, c'est pourquoi elle est très recherchée comme complément alimentaire ou pour combattre la malnutrition. On la consomme sous forme de poudre ou de comprimés.

Spiruline de Provence, spiruline de la Côte Bleue et depuis 2016 spiruline de Cannes. Les fermes de production existent en région Sud !

Les énergies marines renouvelables (EMR)

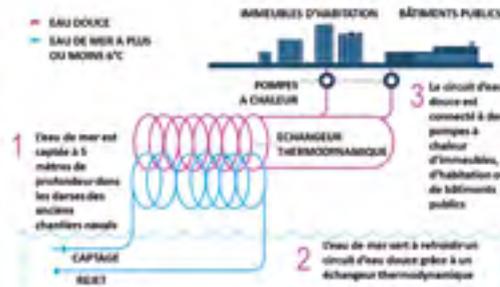
Pour faire face aux besoins croissants d'énergie et à la nécessité de mettre fin à l'utilisation des énergies fossiles, la Méditerranée doit s'ouvrir aux EMR. Il s'agit de produire de l'électricité à partir des forces du milieu marin : le vent, la houle, les courants, les gradients de températures, la marée.

Les côtes méditerranéennes sont propices à l'installation d'éoliennes en mer : le vent souffle fort et de manière régulière. En plus de l'acceptation par la société, le principal défi est la profondeur. En effet, nos côtes plongent vite sous la mer, il est donc nécessaire de développer les technologies flottantes : les éoliennes fixées sur un socle flottant ancré au fond de la mer par des câbles.

La thalassothermie

Le principe de fonctionnement est celui de la pompe à chaleur : de l'eau de mer, dont la température varie entre 12 et 20 °C selon la saison, est prélevée

à faible profondeur et échange ses calories avec une boucle d'eau douce secondaire, puis retourne en mer.



La boucle est reliée à des pompes à chaleur réversibles qui augmentent ou diminuent la température de l'eau afin de produire du chauffage, de l'eau chaude ou de la climatisation.

DE L'ÉNERGIE EN MER



LE SAVIEZ-VOUS ?

A Marseille le réseau de thalassothermie Massileo, dessert plus de 500 000 m² de bâtiments en eau chaude sanitaire, chauffage et climatisation grâce à la récupération des calories de l'eau de mer.

[ENQUÊTE] L'ÉOLIEN EN FRANCE

La France est pionnière dans la conception de flotteurs. Ils représentent environ 35 % du coût de l'éolienne et jouent un rôle essentiel dans la performance et donc la rentabilité. D'ici 2022, huit parcs pilotes devraient



être mis en service en Europe, dont trois en Méditerranée française !

Coût estimé de la production d'énergie en euros par Méga Watt/heure

- Energie hydraulique : 32 à 149 €
- Energie nucléaire : 50 €
- Charbon : 100 €
- Eolien posé en mer les coûts sont descendus à 44 € en juin 2019 !

On estime que les prix du flottant vont rejoindre ceux du posé à l'horizon 2030 !

[FOCUS] Fabien Lombard : recherche sur les méduses dépolluantes

L'Observatoire Océanologique de Villefranche-sur-Mer, dans les Alpes-Maritimes, a découvert que le mucus que secrètent les méduses, notamment au moment de la ponte, a le pouvoir d'agréger les nanoparticules ; ces toutes petites molécules d'or, de platine, de titane, d'argent..., si petites qu'elles passent au travers de tous les filtres. Une aubaine pour neutraliser ces molécules fortement suspectées d'avoir des effets négatifs sur l'environnement et la santé !



Des bactéries gloutonnes, friandes d'hydrocarbures, un exemple de bio remédiation

Grâce à leur pouvoir adaptatif, des bactéries marines sont capables de traiter les pollutions accidentelles. Pour elles, les hydrocarbures (combustibles non renouvelables) constituent une source de carbone et d'énergie nécessaire à leur respiration et à leur croissance. Elles dégraderaient ainsi les hydrocarbures, des plus simples aux plus complexes, puis les assimilerait. Des recherches sont en cours pour utiliser ces propriétés.

Les molécules marines, sources d'inspiration pour la découverte de nouveaux médicaments

De nombreux organismes marins, en particulier les invertébrés comme les spongiaires, les cnidaires..., représentent une source de substances naturelles dotées d'activités

biologiques variées : cytotoxique, antibiotique, antifongique, antifouling (ou encore appelé antisalissure), etc. L'équipe du Dr. Mohamed Mehiri de

IMITER LA NATURE

l'Institut de Chimie de Nice (Université Côte d'Azur) est spécialisée dans la recherche de nouvelles molécules actives en médecine. Actuellement, une vingtaine de ces nouveaux médicaments d'origine marine sont à divers stades des phases cliniques et cinq sont déjà commercialisés : une molécule anticancéreuse (la Trabectedine®), isolée de l'ascidie coloniale *Ecteinascidia turbinata*, et un analogue synthétique de halichondrine B, l'Halaven®, isolé de l'éponge marine *Halichondria okadai*.



Bio-inspiration, biomimétisme, bionique....

Il s'agit d'observer la Nature pour mieux apprendre d'elle et améliorer les inventions. En mer, les modèles sont très nombreux.

La baleine à bosse

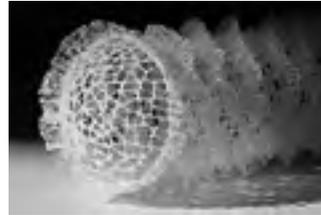
Elle a permis de créer des éoliennes plus performantes. En effet, la morphologie de ses nageoires pectorales dont le bord est dentelé, lui assure une très grande fluidité dans l'eau. La société canadienne WhalePower s'en est inspirée pour créer des pales d'éoliennes améliorant de 20 % la production d'énergie.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Les pales des ventilateurs de vos ordinateurs imitent déjà la nageoire de la baleine !

Une éponge en verre appelée Corbeille de Vénus



Son squelette est de la dentelle de verre aux propriétés optiques assez semblables à celles des fibres optiques utilisées en communication, mais plus performantes grâce aux ions sodium que l'éponge a ajouté à ses spicules (sécrétions minérales extracellulaires). Par ailleurs, les spicules contiennent aussi une substance organique, la spiculine, qui les rend plus résistants que les très fragiles fibres optiques. Cette éponge est une véritable inspiration pour la fabrication de verre innovant !

Le requin

Le secret de la nage rapide des requins (jusqu'à 50 km/h) n'est pas une peau lisse. Au contraire, leur peau est couverte de denticules cutanés qui forment de fines rainures dans lesquelles l'eau est entraînée. Les tourbillons créés le long du corps du requin augmentent ainsi sa vitesse. C'est l'effet Riblet. Cette observation a été mise à profit des combinaisons de nageurs dont celle de Michael Phelps qui a remporté huit médailles d'or sur huit aux jeux olympiques de Pékin en 2008.

Autre avantage, et non des moindres pour l'environnement, la reproduction de cette structure particulière de la peau de requin empêche le fouling, constitué d'organismes vivants qui se fixent sur la coque des bateaux. Une bonne utilisation à la place des peintures antifouling très nocives pour l'environnement !

Les écailles de poisson productrices d'électricité



Stéphane Jamme - Aquanaute

Formées par des millions de fibres de collagène 20 000 fois plus fines qu'un cheveu, les écailles de poissons ont

des propriétés piézoélectriques : elles produisent du courant électrique lorsqu'elles se déforment sous l'effet du bruit, du vent ou d'un mouvement.

Des chercheurs ont montré qu'assemblées en série, 4 écailles de poissons produiraient une tension de 14 V et pourraient ainsi alimenter plus de 50 LED. Constituées de collagène, elles pourraient donc servir de nanogénérateurs biocompatibles. Une application en médecine comme stimulateur cardiaque !

Des écailles de poissons, base d'un plastique biodégradable

Ce bioplastique est composé de restes de poissons et d'algues rouges. Les algues servent à lier les protéines extraites de peaux et d'écailles de poisson pour créer une feuille translucide et souple. Il ressemble à son équivalent à base de pétrole, mais il serait plus résistant et moins dangereux pour la santé et l'environnement. Son principal avantage : il se dégrade dans la terre en 4 à 6 semaines, pouvant donc être jeté avec les déchets organiques ou dans le compost.



Anthony Berberian





Stéphane Jamme - Aquanaute

Le poulpe

Il est doté d'une ingénieuse force motrice pour se déplacer : une nage à réaction. Il récupère l'eau à travers un siphon placé à l'arrière de sa tête et l'expire avec force, le faisant ainsi reculer par mouvements successifs. Ce mécanisme est totalement silencieux et supporte très bien la pression des eaux profondes ! Cette particularité a intéressé les scientifiques qui s'en sont servis comme modèle pour créer des hélices de sous-marins.

La biocolle de la moule

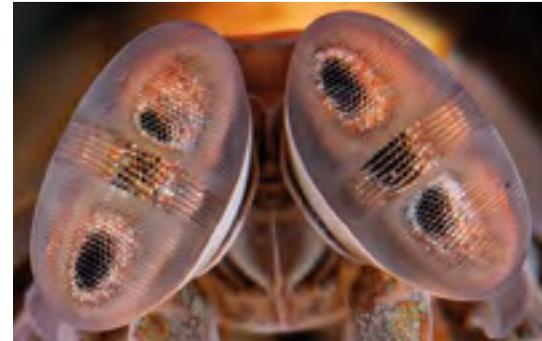
La moule est capable de se fixer sur un support humide. Les chercheurs ont

voulu comprendre cette particularité alors que généralement les colles ne tiennent pas une fois humidifiées. Ils sont parvenus à mettre en évidence le catéchol, capable de lier une protéine à un ion métallique. Ils s'en inspirent aujourd'hui pour créer de nouvelles colles qui pourront être notamment utiles en médecine !



Stéphane Jamme - Aquanaute

Les yeux super puissants de la crevette mante



Notre œil détecte les couleurs grâce à plusieurs types de cellules photo réceptrices, sensibles à des longueurs d'onde différentes.

Avec douze types de cellules photo réceptrices alors que l'Homme n'en a que quatre, la crevette mante a une vision nettement plus évoluée. Son système peut distinguer des rayons lumineux proches de l'infrarouge ou de l'ultraviolet.

Des scientifiques ont commencé à fabriquer une caméra qui imiterait son extraordinaire vision, dans le but de détecter les tumeurs cancéreuses, de les localiser avec une extrême précision pour les retirer très finement.

La nacre de l'ormeau ultra résistante

Essayez d'écraser le coquillage avec un camion ! L'extérieur de la coquille sera cassé en morceaux mais la nacre, à l'intérieur, restera intacte. Les chercheurs se sont intéressés à cette résistance...



Stéphane Jamme - Aquanaute

La coquille est formée à 95 % d'aragonite, une forme de carbonate de calcium et de 5 % de matière organique fabriquée par l'animal. Ces matières sont arrangées comme un mur de briques, avec des masses minérales soudées entre elles par la matière organique, cela dans un arrangement tel qu'il est fait pour éviter l'apparition de plans de clivage. Aucune propagation de fracture possible !

Ceci inspire les chercheurs qui souhaitent reproduire cette structure aux carrosseries automobiles ainsi capables d'absorber localement un choc important sans se fracturer.

Des micro-algues dans les façades : les bio façades de l'avenir

Les micro-algues sont des petits photo bioréacteurs qui captent la lumière du soleil. Incorporées aux façades, elles leur donnent une fonction bioclimatique : l'hiver, la bio façade agit comme une serre en accumulant l'énergie solaire et améliore ainsi l'isolation du bâtiment ; l'été, elle ventile et rafraîchit la structure. Cela permettrait d'économiser jusqu'à 50 % d'énergie de chauffage !

Par ailleurs, les micro algues consomment le dioxyde de carbone (CO₂), principal gaz à effet de serre, et produisent de l'oxygène. Elles peuvent donc absorber le CO₂ produit par le bâtiment et contribuer ainsi à dépolluer la ville.

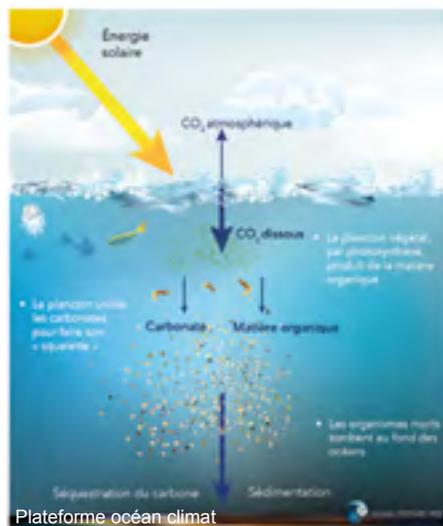


L'océan : véritable pompe à carbone

L'océan contient 50 fois plus de dioxyde de carbone (CO_2) que l'atmosphère (soit 40 000 milliards de tonnes). Sans les océans, la quantité de CO_2 atmosphérique serait beaucoup trop importante et conduirait à une augmentation massive des températures.

Une fois absorbé, le carbone océanique se dissout. Il quitte la couche de surface et plonge en profondeur. Cette action est réalisée par deux processus naturels : un physique et un biologique.

Processus biologique



Plateforme océan climat

Les végétaux ont la capacité de fabriquer de la matière organique et de l'oxygène à partir du CO_2 et de la lumière du soleil. C'est la photosynthèse.

Les micro-végétaux marins fournissent aussi de l'oxygène atmosphérique. Ils

sont directement consommés par le plancton animal ou zooplancton, lui-même consommé par les poissons et ainsi de suite vers les plus grands prédateurs. C'est donc via la chaîne alimentaire que la matière organique, créée à partir du CO_2 , est transférée en profondeur. Grâce à ce processus, le CO_2 est naturellement retiré de l'atmosphère et piégé au fond de l'océan.

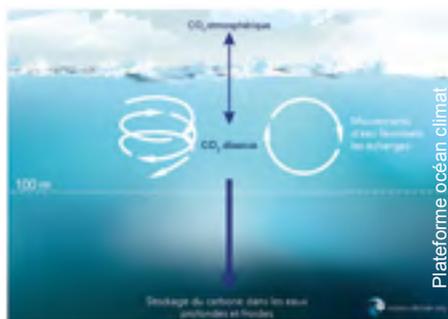
Chaque année, 0,2 milliard de tonnes de carbone sont stockées dans les sédiments profonds.

LE SAVIEZ-VOUS ?
Présent à de faibles quantités (< 1 %), le CO_2 est un gaz à effet de serre qui permet de réchauffer naturellement notre planète. Sans ce gaz, la température de la Terre avoisinerait -18°C .

MER ET OCÉAN, LES THERMOSTATS DE LA PLANÈTE

Processus physique

Il s'explique par le refroidissement des eaux de surface au niveau des pôles. Une eau froide est plus dense qu'une eau chaude, elle plonge donc en profondeur emportant avec elle le CO_2 .



Plateforme océan climat

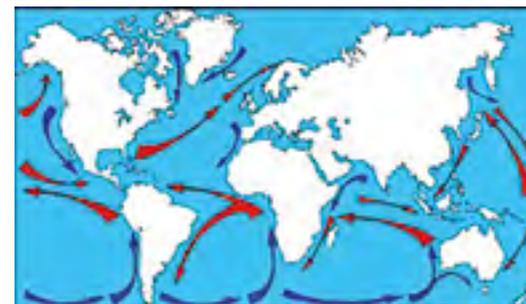
qui rend la fabrication de coquilles et squelette calcaire plus difficile. A grande échelle, ce phénomène entraîne un déséquilibre au niveau des écosystèmes marins.

Et pour l'Homme ?

Les organismes impactés par cette acidification ne joueront plus le rôle de proie pour les poissons dont les stocks, déjà amoindris par la surpêche, pourraient diminuer et affecter la sécurité alimentaire mondiale.

Aujourd'hui, la solution la plus efficace pour limiter ces phénomènes d'acidification et de saturation des puits de carbone est de réduire considérablement les rejets de CO_2 dans l'atmosphère. Cette réduction se fait à plusieurs niveaux et passe notamment par l'action de chacun.

L'océan : régulateur du réchauffement climatique



LE SAVIEZ-VOUS ?

Le pH est une unité permettant de mesurer l'acidité d'un liquide. L'échelle va de 0 à 14, avec un pH neutre à 7 (eau pure). Le pH de l'eau de mer est en moyenne de 8,2.

Quel impact sur les organismes ?

Le carbonate de calcium est un élément indispensable à de nombreux organismes pour la fabrication de leur squelette et de leur coquille.

Lorsque l'acidité de l'eau de mer augmente, la quantité de carbonate diminue ce



Euriell Gazan - CSIL

La démarche adoptée par l'Homme pour surveiller la santé de la mer est similaire à celle mise en œuvre en médecine pour surveiller le corps humain. A partir de technologies innovantes, d'observations satellitaires, aériennes ou sous-marines, les scientifiques obtiennent des images comparables à des échographies ou des IRM.

Hormis les techniques classiques d'études du milieu marin utilisant la plongée, la pêche, les prélèvements, les comptages..., d'autres techniques d'observation plus fines, qu'on pourrait assimiler aux analyses médicales, permettent de caractériser le vivant. On parle d'ADN de l'environnement ou d'écologie acoustique par exemple. En rassemblant toutes ces observations dans un Système d'Informations Géographiques (SIG ou cartographie informatique), l'Homme établit un diagnostic précis de la santé de la mer.

Il peut alors évaluer l'état de dégradation de l'écosystème et définir des actions permettant de le restaurer. Cette ingénierie écologique exploite de nouvelles technologies prometteuses.

L'HOMME AU SERVICE DE LA MER

ECOUTER



Pages 20 à 22

SE POSITIONNER



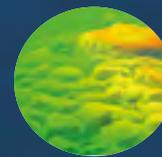
Page 23

LOCALISER



Pages 24 à 25

SONDER



Pages 26 à 27

SURVEILLER



Pages 28 à 29

RESTAURER

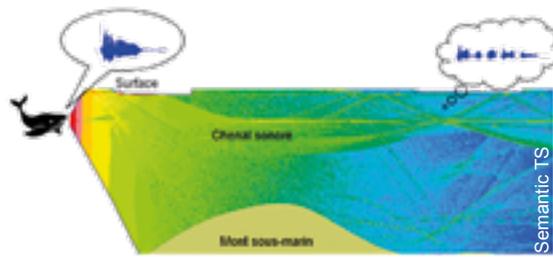


Pages 30 à 31



L'acoustique sous-marine

Le milieu marin est un excellent guide des ondes sonores. Le son peut s'y propager sur des centaines de kilomètres alors que la lumière n'y pénètre que sur quelques mètres...



Répartition du son émis par une baleine située à 200 m de profondeur dans une tranche verticale de l'océan.

Le monde du silence ?

Contrairement à ce que disait Cousteau, la mer n'est pas le « monde du silence ». De nombreuses espèces marines utilisent le son pour communiquer, se situer ou encore repérer leurs proies, tout comme le font les chauves-souris sur terre avec leur sonar.

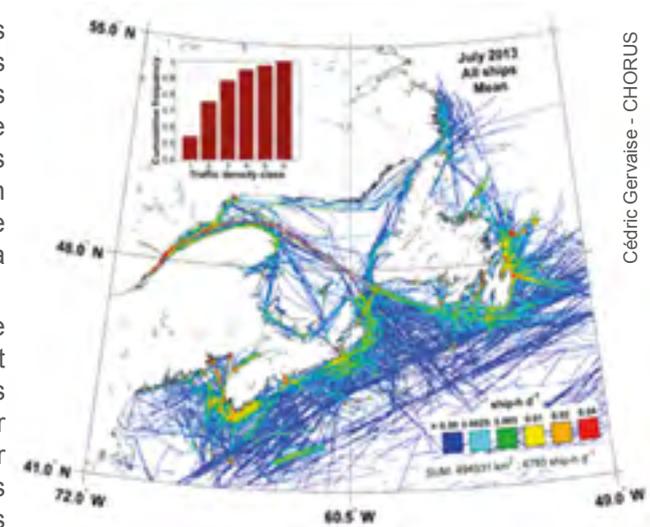
ENREGISTRER ET ETUDIER LES SONS MARINS

Entre les sons des animaux, les bruits de la mer et de la terre (vent, orage, vagues, séisme...) et ceux des activités humaines (jet ski, bateau à moteur de loisir, ferry, cargo, sonar, explosion...), c'est une véritable cacophonie sous l'eau !

C'est grave docteur ?

L'excès de bruits engendrés par les activités humaines peut « couvrir » les sons des animaux marins et mettre en danger la santé des écosystèmes. Un dauphin qui n'entend plus l'écho de son sonar peut perdre sa proie ou son groupe.

Grâce à des logiciels de modélisation, on peut surveiller et prédire les bruits sous-marins tout autour du globe. Ceci permet par exemple d'effaroucher les cétacés à proximité des activités de pêche, d'anticiper des tsunamis ou encore de détecter et localiser l'énergie dégagée par un événement naturel ou une explosion qui pourrait se produire dans l'eau. C'est ce qu'on appelle la surveillance hydroacoustique.

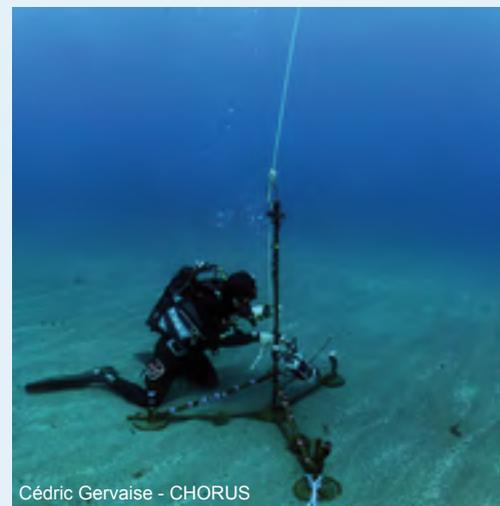


Répartition du bruit sonore selon les routes habituelles des navires.

Cédric Gervaise - CHORUS



[FOCUS] Hydrophone, quésaco ?



Cédric Gervaise - CHORUS

Pour capter les sons sous-marins on utilise un microphone adapté : l'hydrophone. En utilisant plusieurs, on obtient une antenne acoustique qui permet par exemple de reconstituer les trajectoires des mammifères marins en pleine eau.

Grâce à des outils informatiques et de traitement du signal, on définit la signature acoustique d'une espèce. Il est même parfois possible d'identifier le ou les individus qui ont émis des sons.

«Muet comme une carpe» ?
Et bien, non !

Chaque espèce émet des sons spécifiques volontairement comme les vocalises des mammifères marins, ou naturellement lorsqu'elle mange ou se déplace (bruits des mandibules des crustacés, frottements d'écaillés...). L'étude de ces bruits s'appelle la bio-acoustique. Utilisée depuis plusieurs décennies pour étudier les mammifères marins, elle s'applique désormais pour les autres espèces marines comme le corb, poisson protégé, dont les mâles chantent lors de la reproduction entre mai et octobre.



Cédric Gervaise - CHORUS

existante. Plus le chorus est complexe, plus on peut supposer que le nombre d'espèces animales présentes est grand. L'écologie acoustique permet, avec des hydrophones, d'estimer et de suivre les évolutions de la vie sous-marine sur de larges échelles temporelles et spatiales et d'évaluer l'impact des perturbations (dégradation, pollution, destruction...). Ceci est appliqué à l'habitat herbier de posidonies dans le cadre du réseau CALME (Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses Ecosystèmes) de l'Agence de l'eau.

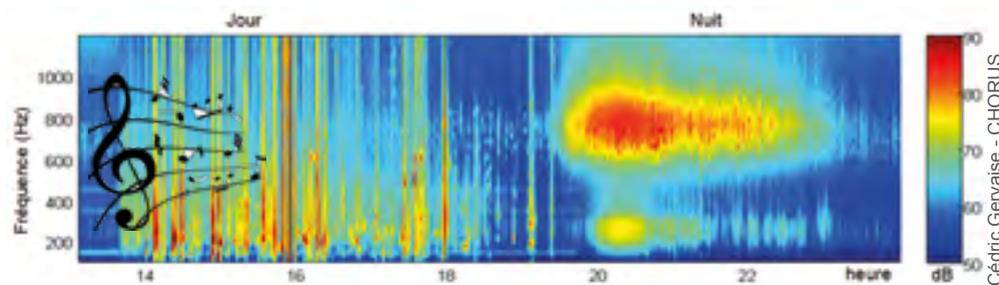


LE SAVIEZ-VOUS ?

ANALOGIE MUSICALE : la bio-acoustique se focalise sur le son de chaque instrument, l'écologie acoustique étudie le son global émis par l'orchestre mixant celui de tous les instruments.

Les paysages sonores

En écoutant l'ensemble des sons présents en un lieu donné, le chorus, on peut y caractériser la biodiversité



Représentation temporelle d'un chorus sous-marin dans l'herbier de posidonies.

Avec son GPS-GALILEO, l'Europe fait la course en tête !



Le GPS (Global Positionning System) européen GALILEO est aujourd'hui le système le plus performant du monde ! Il est capable d'avoir une précision métrique là où le GPS américain donne une localisation de 5 à 10 m près. Si le GPS peut dire dans quel bassin portuaire vous naviguez, le GPS-GALILEO dit sur quel ponton vous êtes !

A 50 cm près

La précision d'un GPS étant au mieux métrique, on a recours à des stratégies diverses pour l'améliorer. Le système DGPS en est un exemple. En plus de recevoir les informations des satellites, ce système utilise un réseau de stations

fixes de référence (installées à terre) qui transmettent l'écart entre leurs positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues. Ainsi, la position indiquée par un DGPS est corrigée des erreurs liées au décalage d'horloge, aux imperfections des trajectoires des satellites et aux trajets variables des signaux dans les différentes couches de l'atmosphère.

Un DGPS peut dire de quel côté du ponton vous êtes !

A 1 cm près

Lorsque l'observateur se déplace vite, une précision encore meilleure est nécessaire. C'est le cas lorsque les observations sont réalisées depuis un bateau en navigation, pour la mesure de la topographie du littoral ou de la bathymétrie des fonds marins (profondeur). On utilise alors des systèmes dit RTK (pour cinématique en temps-réel) qui permettent un positionnement en mer au centimètre près et ce, en temps réel. La précision d'un DGPS-RTK vous permet de savoir lequel de vos pieds est posé au sol !

BIEN SE POSITIONNER : LA BASE DE TOUTE OBSERVATION

[FOCUS] Quel système utiliser ?

- Pour géo-référencer des photographies de baleines en pleine mer ou indiquer sa position au système AIS, un GPS suffit.
- Pour repérer en plongée la limite de l'herbier de posidonies, un DGPS est nécessaire.
- Pour mesurer et surveiller l'ensablement d'une baie un DGPS-RTK est adapté.



CartOcean

Surveiller en temps réel l'occupation du plan d'eau pour protéger la mer

La connaissance en temps réel de la position des navires grâce au GPS a permis de les équiper d'un Système d'Identification Automatique (AIS : Automatic Identification System en anglais). Il communique par signal radio VHF l'identité, les coordonnées GPS, la vitesse et la route du navire. Les marques flottantes (bouées de filets de pêche par exemple) ou fixes (phares) peuvent aussi être équipées d'AIS.

Les applications de l'AIS au service de la mer sont nombreuses :

- contrôle des infractions des navires de pêche dans les parcs marins
- alerte aux navires faisant route vers des secteurs où des baleines ou des icebergs sont observés
- prévention auprès d'un navire naviguant dans une zone protégée ou ancré sur un herbier de posidonies.



Visualisation en temps réel des positions des navires reçues par l'AIS
En vert : herbier de posidonies



Baie de Pampelonne (Saint-Tropez)

Surveiller le trait de côte pour anticiper ses mouvements futurs

Le trait de côte est l'interface mobile entre la terre et la mer. Il change au gré des tempêtes et des saisons. Le plus souvent, il recule. On parle d'érosion du littoral. Lorsque la mer gagne du terrain sur la terre dans des secteurs urbanisés, l'érosion peut devenir problématique, en particulier avec la montée du niveau marin liée au dérèglement climatique.

La position du trait de côte peut être mesurée manuellement avec un GPS ou être extraite d'images aériennes ou satellitaires. En utilisant un SIG

(voir p.19), on peut comparer les positions du trait de côte mesurées régulièrement dans le temps, ce qui permet d'étudier les mouvements du littoral.

Des solutions à l'étude

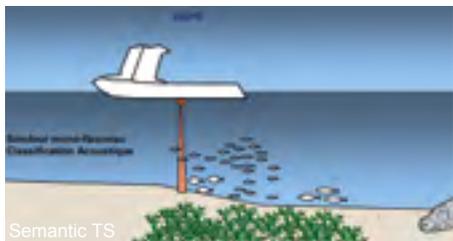
Le projet national LIFE adaptO initié par le Conservatoire du littoral explore actuellement des solutions préconisant une libre évolution du trait de côte (par opposition à sa fixation avec des digues et des épis) pour équilibrer les transports de sédiments, renforcer les milieux naturels côtiers et ainsi réduire les risques d'érosion et de submersion sur le littoral.



Embouchure du Rhône en 1932 (en haut) et de nos jours

Des sondeurs pour cartographier et surveiller

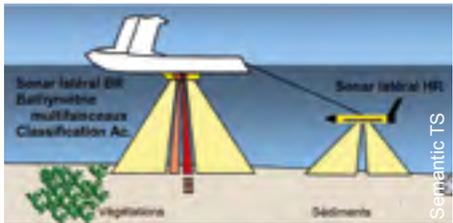
Le sondeur ou sonar est un appareil utilisant la propagation du son dans l'eau pour détecter et situer des objets. La sonde installée sous la coque du navire émet une onde sonore qui se propage vers le fond.



Semantic TS

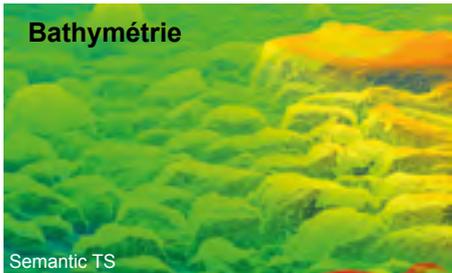
Lorsque le faisceau sonore heurte le fond ou un objet présent dans la colonne d'eau, l'onde revient en écho vers la sonde plus ou moins intensément selon la consistance de l'obstacle rencontré. Plusieurs types de sondeurs existent : mono-faisceau ou écho-sondeur, multi-faisceaux à balayage latéral.

Le relief sous-marin



Semantic TS

Un sondeur multi-faisceaux est un appareil qui émet simultanément plusieurs centaines de faisceaux sonores et analyse leurs échos. En balayant ainsi une large bande de fond



Semantic TS

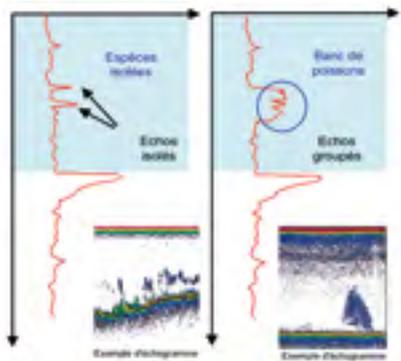
en un seul passage, on mesure très finement sa bathymétrie (topographie du fond) et on obtient un Modèle Numérique de Terrain (MNT) en 3D.

Le sonar (à balayage) latéral fonctionne sur le même principe, avec un nombre encore plus élevé de faisceaux (plusieurs milliers). Par contre, il n'est pas installé sur la coque, mais est tracté près du fond.

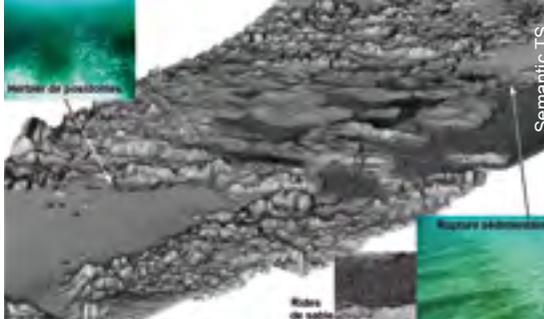
CONNAITRE LES FONDS MARINS

1, 2, 3... compter

En analysant la forme et l'amplitude de l'écho, on peut mettre en évidence acoustiquement la présence de bancs de poissons ou d'individus isolés. Cette méthode permet de réaliser des observations justes en naviguant de façon non invasive, et de les répéter régulièrement, à large échelle, de jour comme de nuit !



Semantic TS



Echographie 3D du fond marin

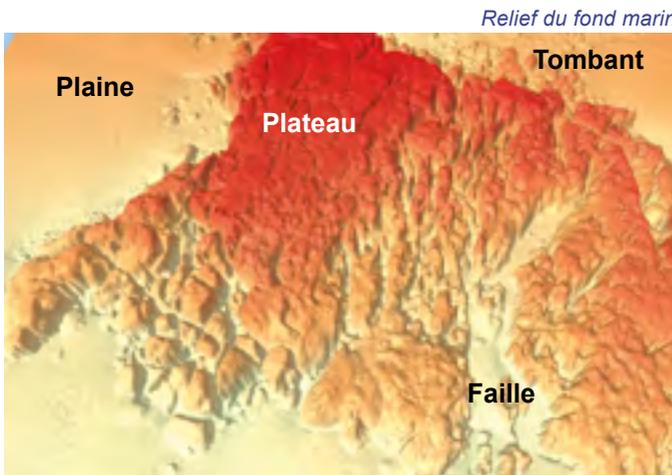
Des échographies 3D pour repérer...

En croisant données acoustiques et observations de terrain (en plongée ou par caméra vidéo), on arrive à décrire parfaitement le paysage sous-marin et caractériser notamment les habitats (roche, sable, galets, vase, herbier, etc.).

Grâce à ces technologies, on peut même repérer les macro-déchets (câbles, pneus, corps-morts, etc.) présents sur le fond : plus facile pour les extraire et surveiller leur apparition !

... Et suivre l'évolution dans le temps

La compilation de données dans un SIG (voir p.19) permet de les comparer à d'autres acquises dans le temps et d'étudier ainsi les modifications des milieux sous-marins. On peut ainsi suivre par exemple l'impact de la construction d'une digue sur un herbier de posidonies.

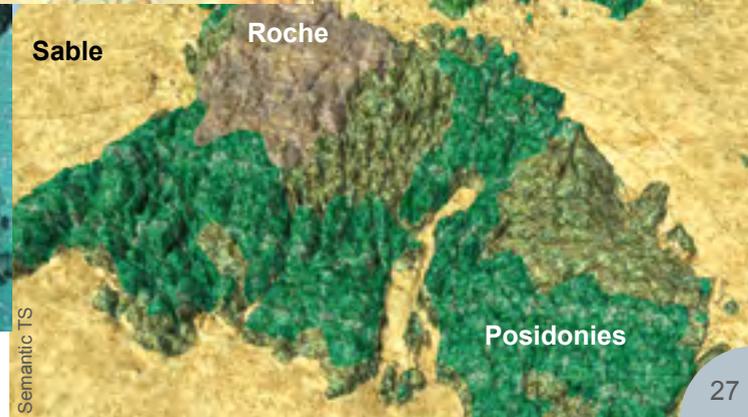


Relief du fond marin

LE SAVIEZ-VOUS ?
La résolution de l'image bathymétrique (c'est-à-dire la taille du pixel) peut actuellement atteindre environ 10 cm. La précision de localisation est identique.



Vue aérienne



Semantic TS

Nature du fond marin

Des images haute résolution depuis les airs...

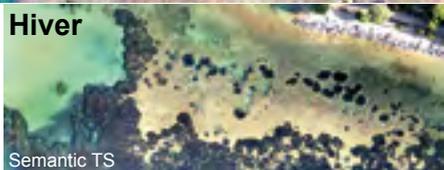
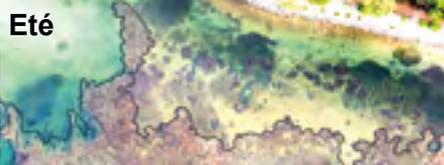
Hormis les prises de vues classiques par avion, les drones télé-opérés équipés d'une caméra à haute résolution sont très bien adaptés au suivi des zones littorales car ils permettent la réalisation de nombreux clichés d'un même endroit avec un fort recouvrement et des images 2D ou 3D très précises (on peut atteindre une résolution d'1 cm).



Semantic TS

En corrigeant la géométrie d'une photographie aérienne, c'est-à-dire en la mettant bien « à plat » et à taille réelle, on obtient une orthophotographie en 2D. En lui attribuant des coordonnées géographiques, celle-ci devient orthogéoréférencée.

Pour obtenir une grande précision, il faut cependant se souvenir que la terre n'est pas plate, et que l'image doit en réalité être calée sur une surface arrondie (géoïde). Cela est possible grâce à la photogrammétrie qui exploite l'effet stéréoscopique de la vision humaine. A partir de plusieurs photographies aériennes d'un même endroit, la méthode permet de reconstituer la vision en 3D. En utilisant des cibles géoréférencées placées dans la zone de mesure avant les prises de vue, on arrive à recalcr



Semantic TS

Suivi des végétations sous-marines

l'image en relief dans le monde réel et réaliser ainsi un MNT (voir p.26) très précis.

Par petits fonds, la répétition dans le temps de cette technique innovante et légère permet de réaliser un suivi performant de l'évolution de la surface des herbiers de posidonies et de cymodocées par exemple.

SURVEILLER LES HABITATS MARINS

... Et sous la mer

La photogrammétrie sous-marine est à présent aussi utilisée pour le suivi d'autres habitats sous-marins, et en particulier les populations de corail rouge.

Le principe reste identique : prendre des photographies par plongeur ou avec un ROV (véhicule sous-marin) sous divers angles de vue et avec un fort recouvrement puis reconstituer le modèle 3D de la paroi du tombant.

Les systèmes les plus performants permettent des mesures au millimètre près !



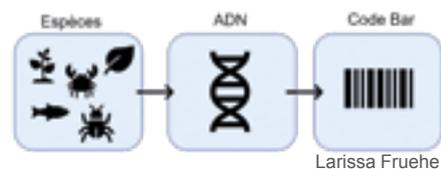
Septentrion

L'ADN de l'environnement pour inventorier la biodiversité marine



Pour évaluer l'état écologique du milieu marin, des indicateurs de qualité biologiques sont suivis régulièrement dans le temps. Il s'agit par exemple d'estimations portant sur les populations aquatiques. Les méthodes utilisées jusqu'à présent sont intrusives, assez chères et pas toujours fiables : pêches pour capture, recensements visuels en plongée, caméras fixées sur un leurre de pêche... A partir d'un simple échantillonnage d'eau et d'un séquençage génétique, la technique de l'ADN de l'environnement (ADNe) permet de détecter et d'inventorier toutes les espèces présentes, même celles que l'on ne compte pas habituellement (car invisibles à l'œil nu, vivant la nuit... ou cachées !).

Cette technique attribue un code barre à chaque prélèvement, décrivant la composition génétique de l'échantillon.



Ce catalogage moléculaire (barcoding en anglais) est possible grâce à l'apparition, à la fin des années 2010, de séquenceurs d'ADN rapides, portables et bon marché permettant, par exemple, de travailler en pleine mer. En intégrant les paramètres physico-chimiques du prélèvement

et en répétant ce travail dans le temps (métabarcoding), les chercheurs parviennent à décrire le fonctionnement d'une communauté et suivre l'évolution de la biodiversité.

LE SAVIEZ-VOUS ?

L'Acide DésoxyriboNucléique (ADN) est la molécule support du patrimoine génétique de tout être vivant contenue dans le noyau de chaque cellule.

Depuis l'espace, les « Sentinelles » de l'Europe surveillent la mer

Dans l'objectif de recueillir des données de surveillance et d'observation des océans, de l'atmosphère, des situations d'urgence, de la sécurité et des dérèglements climatiques, l'Union Européenne (UE) a lancé en 2014 le programme COPERNICUS. Grâce à une famille de plus de 10 satellites dédiés à l'observation de la planète (les Sentinelles), l'UE se dote d'une source cohérente et indépendante de données de haute qualité. Celles-ci sont accessibles au public sans limite et gratuitement via le site www.copernicus.eu.



ESA



Françoise Loquès - CSIL

Les petits fonds côtiers sont le « berceau » de la vie sous-marine. Ils s'étendent depuis la surface jusqu'à environ 20 m de profondeur et offrent une grande diversité d'habitats essentiels. C'est dans les petits fonds côtiers que beaucoup de mâles et de femelles se regroupent pour se reproduire et que les juvéniles grandissent (nursérie).

Or les petits fonds côtiers subissent fortement les activités humaines : pollutions, aménagements urbains, mouillage, surpêche, transport maritime, etc. Les écosystèmes se retrouvent fragmentés et déconnectés. Avec les dérèglements climatiques, ces pressions s'aggravent.

Il est donc crucial de limiter ces atteintes et d'agir pour restaurer ces milieux avant qu'ils ne soient totalement détruits. Pour cela, on recourt à l'ingénierie écologique

L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE AU SERVICE DE LA RESTAURATION DU MILIEU MARIN

avec une approche écosystémique et la recherche de solution fondée sur la Nature.

Après avoir délimité la zone d'action, évalué l'état de dégradation de l'écosystème, assuré une bonne qualité

de l'eau et maîtrisé les pressions à l'origine de la dégradation, des actions de restauration écologique peuvent être entreprises.

De nouveaux habitats en mer

Dans la rade de Marseille, des structures immergées, appelées récifs artificiels ont été installées pour créer de nouveaux habitats. Trois ans plus tard, plus de 180 espèces, dont 48 espèces de poissons, y ont été recensées alors que cette zone était quasiment déserte.

En Corse, la restauration écologique s'inscrit en plus dans une démarche de R&D en innovant sur l'architecture et la texture des récifs ainsi que sur

les techniques de fabrication. On s'appuie sur le biomimétisme en reproduisant les formes des habitats naturels où nourriture, abris et zones de reproduction existent. Et pour compléter cette initiative, des lests éco-conçus pour le balisage en mer ont été mis en place.



Office de l'Environnement de la Corse

Des solutions pour protéger les herbiers de Méditerranée

La posidonie est une plante marine, strictement méditerranéenne. Les herbiers qu'elle constitue sont un habitat clé de la Méditerranée (voir Cap sur la posidonie). La croissance de la posidonie étant très lente (1 m par siècle en dehors de toute pression), la plante est particulièrement vulnérable et une fois détruite, il est à ce jour, impossible de la restaurer. Or depuis 50 ans, les herbiers de posidonies ont régressé de 30 % à cause de diverses pressions comme les aménagements côtiers, le chalutage, les mouillages...

Pour limiter l'effet des mouillages, l'arrêté 123-2019 règlemente celui des



CSIL

grands navires de 20 m et plus.

Localement des zones de mouillages et d'équipements légers (ZMEL) sont mises en place. Elles sont dotées d'installations écologiques permettant un mouillage non destructeur pour la posidonie.

L'application informatique pour smartphone et tablette « DONIA » permet à tout capitaine de positionner son bateau en fonction de la nature des fonds et ainsi d'éviter les herbiers de posidonie fragiles.



Des ports engagés

Pour les ports de plaisance, la démarche « Ports propres » est une certification devenue européenne dont l'objectif est de réduire les apports de polluants. Aujourd'hui, 90 % des ports de Provence Alpes-Côte d'Azur sont engagés dans cette démarche et 40 % sont certifiés.



Dans le Port Canto de Cannes par ailleurs, des biohuts (nurseries artificielles) ont été installées pour que les poissons puissent grandir en toute sécurité. Ces habitats fixés le long des quais et dans les digues permettent à des poissons juvéniles de se développer à l'abri des prédateurs.



Rémy Dubas - Ecocéan



« Cap sur l'innovation » est le onzième ouvrage de la collection initiée par le Réseau Mer en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Cette collection est destinée à sensibiliser le public sur les enjeux de la gestion durable de la mer et du littoral.



Un livret du



Ce document a été conçu et réalisé par :



Conception et rédaction : Françoise Loquès, Euriell Gazan, Sarah Founeau Cazale (Conseil Scientifique des Îles de Lérins), Claire Noël, Marion Coquet, Michel Coquet (CartOcean),
Co-conception et graphisme : Estelle Bellanger et Amandine Franc (Méditerranée 2000)
Illustrations couverture et p.2-3, 18-19 : Ifremer - Diateam - Virtualys (2014)
Photo dos de couverture : Ifremer - S. Lesbats (2018)

Nous tenons à remercier Benoît Agassant, Alexandra Agostini, Luc Aribaud, Céline Brossard, Eric Charbonnel, Yannick Galvin, Jean-Pierre Gattuso, Sylvie Guignonnet, Didier Laurent, Mohamed Mehiri, Léon Obolensky, Stéphanie Oudin, Patricia Pacini, Michel Reynier, Joseph Salvini, Caroline Vieillard, Philippe Vennégues, Marc Verlaque ainsi que l'ensemble des personnes ayant participé à la réalisation de cet ouvrage.



Pour en savoir plus : www.reseamer.org

Rejoignez-nous sur Facebook : www.facebook.com/reseamer



Imprimé sur papier cocoon silk - 100% recyclés - Edition 2020

