L'ÉCOLOGIE DES PAYSAGES SOUS-MARINS

Contrairement à ce que son nom, plutôt abstrait, pourrait faire penser, l'écologie du paysage est une discipline scientifique à part entière, créée il y a plus de 75 ans. Cette spécialité de l'écologie permet d'étudier la structure des biotopes terrestres et marins, et la répartition des organismes vivants afin de fournir aux gestionnaires des espaces naturelles et anthropisés une meilleure compréhension des processus en jeu. Cependant, si cette discipline scientifique est couramment utilisée en milieu terrestre pour des enjeux de conservation, il en est tout autrement en milieu marin où les informations sont beaucoup plus difficiles à obtenir. De ce fait, l'écologie du paysage en milieu marin reste encore peu appliquée dans un but de gestion et de conservation des écosystèmes océaniques.

Texte et photos : Arnaud Abadie

Pas plus compliqué qu'une photo de vacances

Le concept de l'écologie du paysage et né dans les années 1930 et s'est développé en Europe et en Amérique du Nord après la Seconde Guerre Mondiale jusqu'à être théorisé dans les années 1970. L'écologie du paysage est une discipline scientifique de l'écologie proche de la biogéographie*. Cette spécialité s'intéresse tout particulièrement à l'hétérogénéité des habitats (qu'ils soient naturels ou artificiels) et à son influence sur le fonctionnement des écosystèmes.

Il est très facile de comprendre le concept scientifique de paysage (landscape en anglais) en regardant n'importe quel panorama photographique terrestre. Sur le cliché ci-dessous, par exemple, l'alternance entre des zones urbaines, de couverts végétaux de différentes densités et d'une zone littorale sont immédiatement identifiées par tout le monde. Je suis d'ailleurs sûr que vous avez reconnu le campus de Luminy au milieu des calanques avec en arrière plan la ville de Marseille ! Comme vous allez le voir, l'écologie du paysage s'appuie sur l'analyse quantitative de la structure de ces alternances d'habitats.

La compréhension scientifique d'un paysage se base sur l'analyse que nous faisons tous automatiquement en regardant la photo d'un panorama. Instinctivement nous identifions les zones naturelles, urbaines et les différences de couvert végétal. Ici le campus de Luminy en périphérie de la ville de Marseille.

Théorie paysagère

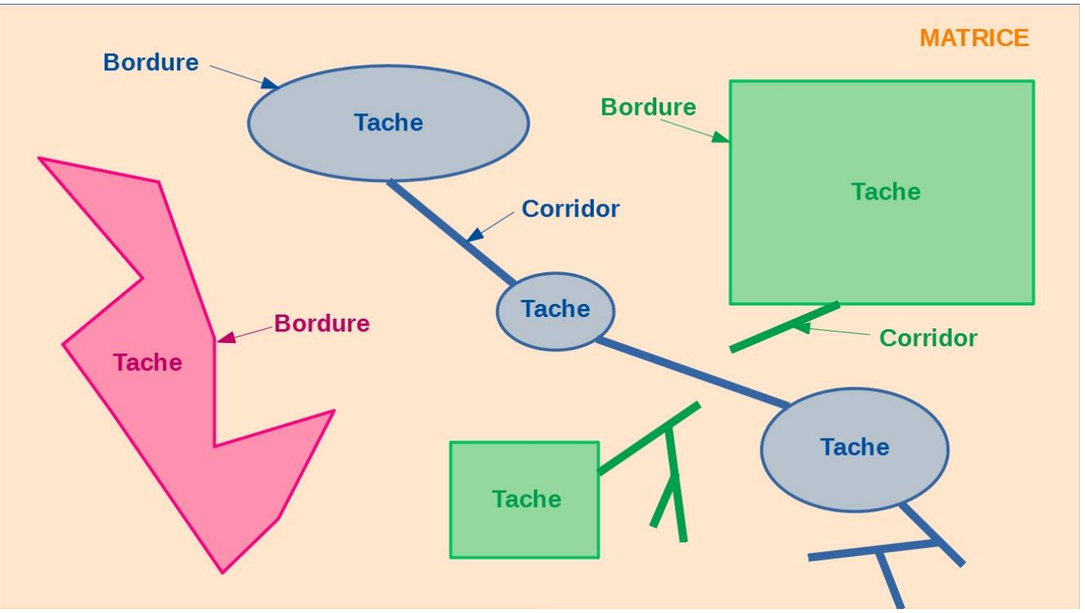
Avant de mettre la tête sous l'eau il est nécessaire d'avoir à l'esprit quelques notions fondamentales de l'écologie du paysage terrestre. Classiquement, trois aspects du paysage sont étudiés dans cette spécialité de l'écologie : sa structure, sa fonction et son évolution. La structure d'un paysage est assimilée à une mosaïque de taches ou « patchs » de types d'habitat. En fait c'est une espèce de patchwork sauf que chaque motif est irrégulier et représente un biotope**

La mosaïque si particulière d'un paysage composé d'une alternance de champs, de routes, de bois et d'habitations.Cette vue aérienne de la campagne du sud de l'Allemagne illustre parfaitement le concept scientifique de la structure paysagère.

particulier. La parfaite illustration de ce concept est la succession de champs séparés par des haies et des habitations comme sur la photo aérienne ci-dessous de la campagne du sud de l'Allemagne.

En conceptualisation scientifique cela se traduit par différents termes renvoyant aux différents éléments constituant le paysage. La matrice correspond au « fond » sur lequel viennent s'agencer les différents éléments. Par exemple sur la photo du dessus la matrice est formée par les champs. La tache est l'unité du paysage. Elle représente une entité avec des propriétés biologiques et physico-chimiques particulières. Si nous retournons une nouvelle fois à notre paysage allemand ce sont les zones boisées, les habitations et les lacs. L'interface tache/matrice ou tache/tache est appelée bordure. Nous verrons plus tard que ces bordures jouent un rôle primordial dans la distribution des espèces au sein des paysages. Enfin, le corridor constitue une bande étroite reliant (ou pas) des taches, de même nature ou de nature différente, entre elles. Par exemple les routes entre les zones urbaines sont des corridors, comme les rivières entre les lacs. Tout comme les bordures, les corridors jouent rôle déterminant dans la répartition des organismes vivants.

L'étude la structure du paysage passe par la réalisation de photographies aériennes servant de support à la création de cartographies des différents patchs avec des systèmes d'information géographique (SIG***). L'analyse quantitative du paysage est ensuite faite dans des logiciels spécifiques calculant les différentes variables telles que le nombre de taches selon leur type, la longueur des bordures ou la distance moyenne entre les taches. Des dizaines d'indices permettant de décrire la structure et la fonction du paysage



Conceptualisation schématique de la constitution d'un paysage permettant une analyse spatiale quantitative d'un paysage.

existent et sont inclus dans ces logiciels.

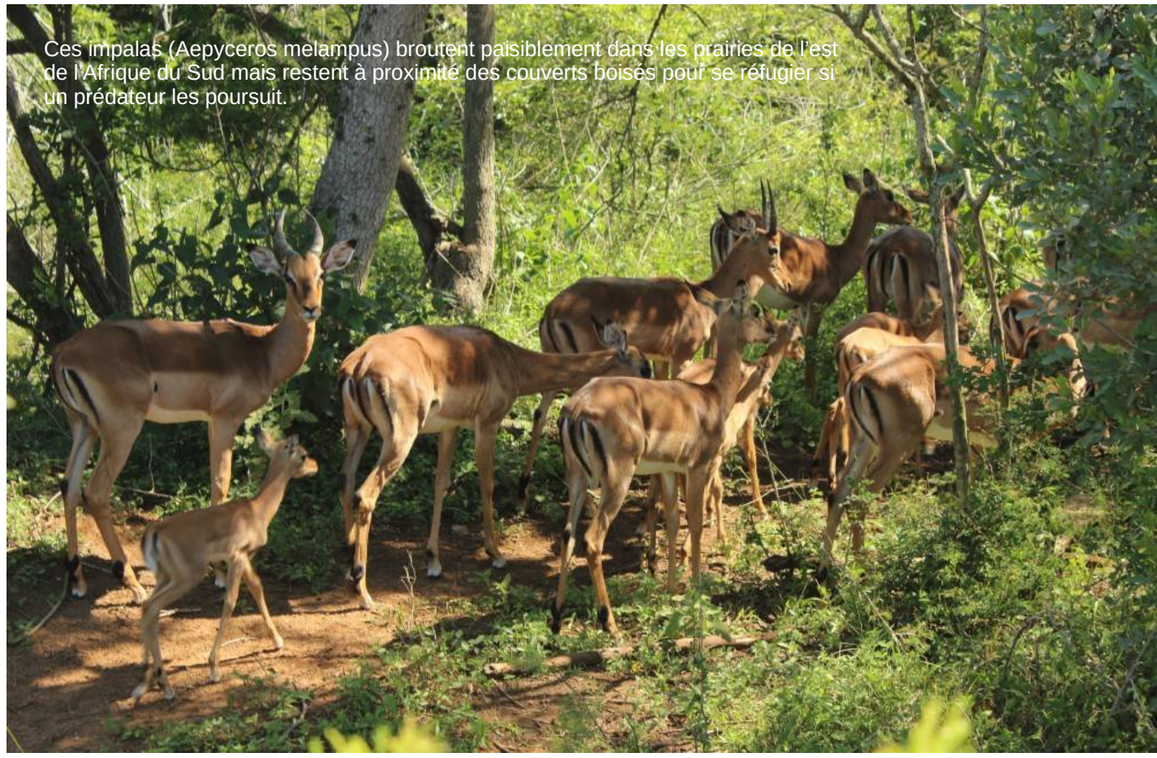
Après avoir vu à quoi correspond la structure, intéressons-nous au second pilier de l'écologie du paysage : la fonction. Comme nous parlons ici d'une spécialité de l'écologie, elle doit donc renseigner sur les interaction entre les organismes vivants et leur habitat. La fonction du paysage renvoie donc à la distribution des espèces en fonction de sa structure. Les espèces vont ainsi, soit être inféodées à un type de tache particulier, soit circuler entre les différentes taches de la mosaïque du paysage en passant par la matrice ou par les corridors. Ces derniers peuvent d'ailleurs avoir plusieurs fonctions selon les caractéristiques de l'espèce voire de l'individu (mobilité, taille, age, état de santé). Les corridors peuvent ainsi permettre la circulation mais aussi agir comme filtre, comme barrière ou bien comme un véritable habitat. Les bordures, quant à elles, constituent le lieu où les interactions entre organismes vivants sont les plus nombreuses. Par exemple, la limite entre un champs et une forêt représente pour certaines proies la démarcation entre une zone à découvert et un abri les protégeant de certains prédateurs. Les bordures sont aussi le lieu de nombreux processus biogéochimiques**** influençant également la distribution des espèces.

L'étude de la fonction du paysage implique des observations de terrain de la distribution et des déplacements des organismes vivants. Chaque espèce, voire chaque population, possède des caractéristiques propres de dispersion et de mouvement au travers de la structure du paysage. Ces données quantitatives permettent de déterminer si les habitats naturels remplissent « correctement » leur fonction. Elles sont implémentés dans les systèmes informatiques d'analyse afin d'étudier spatialement les interactions entre les espèces et la structuration du paysage.

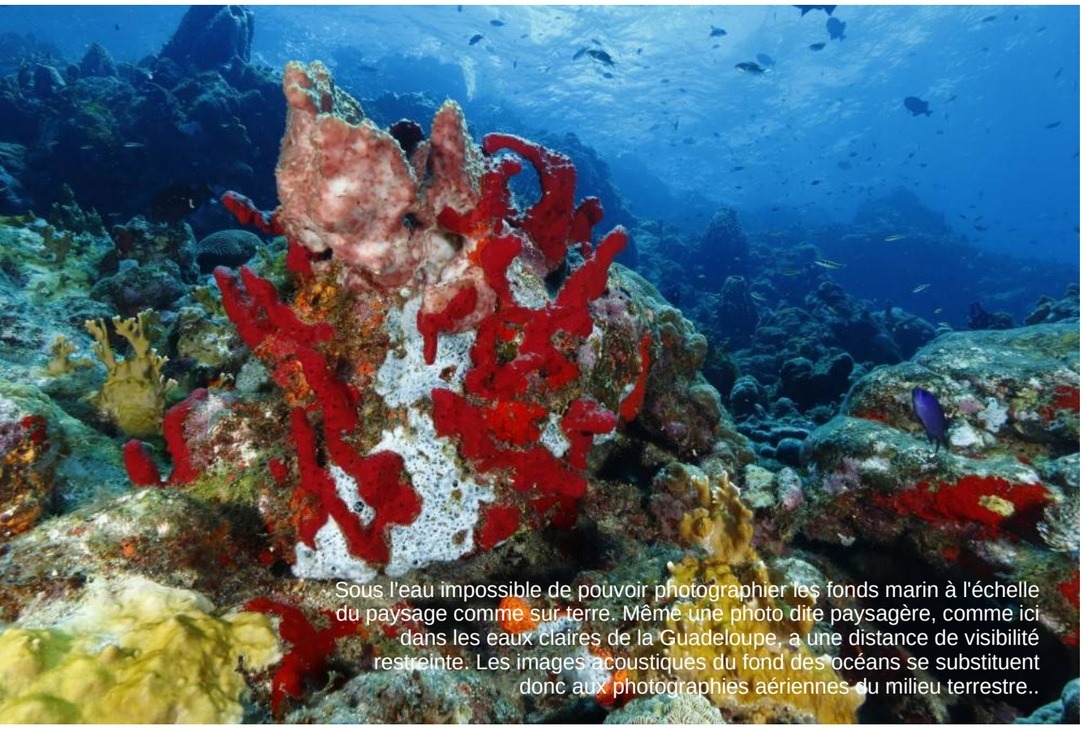
Enfin, le dernier pilier de l'écologie du paysage concerne l'évolution de la structure et de la fonction paysagère. L'aspect le plus étudié de l'évolution est la fragmentation des habitats c'est à dire l'augmentation du nombre de taches d'un biotope donné pour une diminution de sa superficie totale. La fragmentation des habitats naturels peut mener à la réduction des populations de certaines espèces en augmentant la distance entre les patches et en diminuant leur territoire. L'étude de l'évolution du paysage est très intéressante dans un but de conservation. Il permet, pour une espèce donnée ou pour une groupe d'organismes, de déterminer si les mesures de protection ont permit une amélioration du fonctionnement de l'écosystème. La modélisation des processus écosystémiques au sein du paysage fournit une projection dans le futur afin de disposer de plusieurs scénarios de gestion.

Transfert de la théorie au milieu marin…

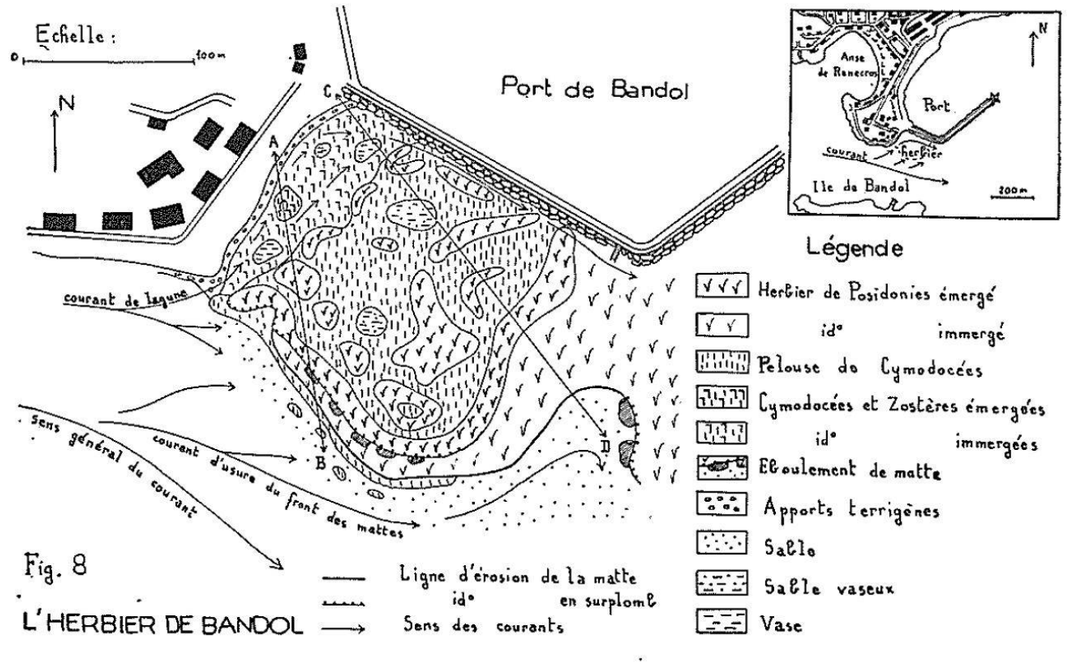
Avec ces quelques (nombreux?) éléments en tête, il est maintenant temps de regarder ce qui se passe dans les océans. La première étude des paysages sous-marins (seascape en anglais) date des années 1950 et s'intéressait aux caractéristiques des taches sableuses (intermattes*****) au sein des herbiers de posidonies de Méditerranée française. Un seconde étude sur le même sujet a été réalisées sur les herbiers sous-marins des Caraïbes au milieu des années 1970. Comme vous l'aurez peut-être remarqué, ces premières études, bien qu'assimilables à des approches paysagères, ont eu lieu en parallèle de la théorisation de l'écologie du paysage en milieu terrestre..



Ces impalas (Aepyceros melampus) broutent paisiblement dans les prairies de l'est de l'Afrique du Sud mais restent à proximité des couverts boisés pour se réfugier si un prédateur les poursuit.



Sous l'eau impossible de pouvoir photographier les fonds marin à l'échelle du paysage comme sur terre. Même une photo dite paysagère, comme ici dans les eaux claires de la Guadeloupe, a une distance de visibilité restreinte. Les images acoustiques du fond des océans se substituent donc aux photographies aériennes du milieu terrestre..

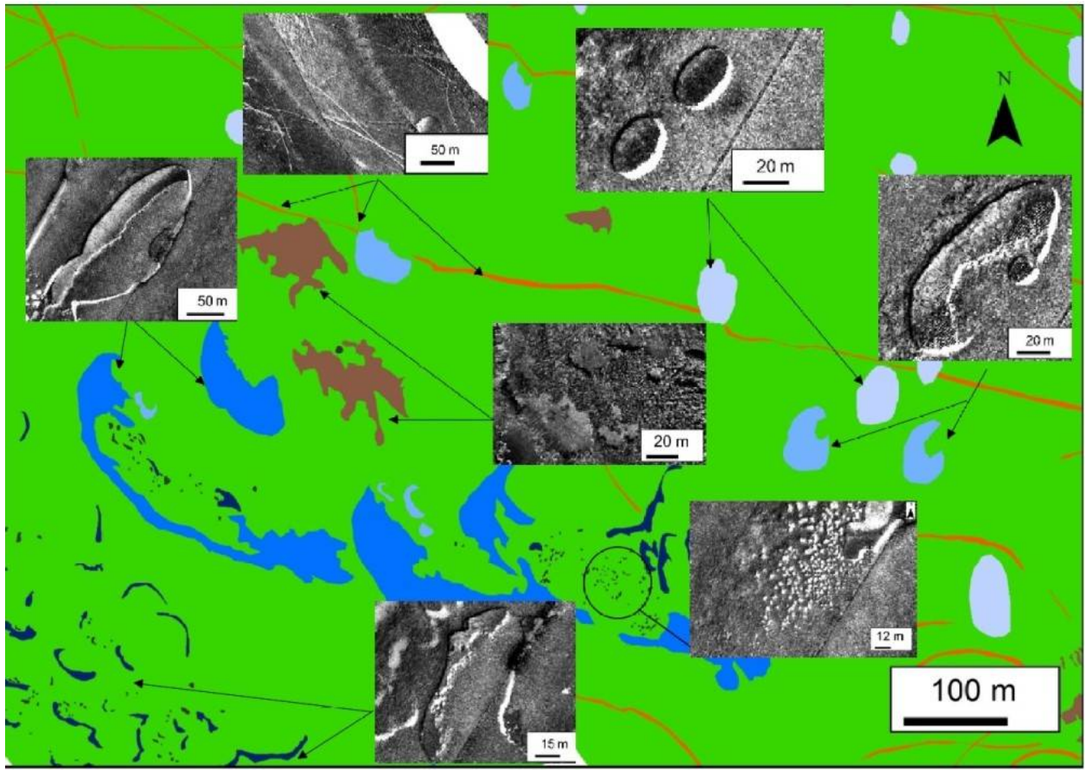


La première étude paysagère sous-marine s'intéresse aux étendues sableuses (intermattes) au sein des prairies de posidonies en Méditerranée française, ainsi qu'à la structure de ces derniers. Cette cartographie montre l'agencement des différents types d'herbiers à proximité du port de Bandol. Illustration tiré de Molinier et Picard (1952).

La théorie de l'écologie du paysage a été transférée au milieu marin dans les années 1980. Une fois encore c'est principalement la structure des paysages formés par les prairies sous-marines qui est principalement étudiée (en Australie et aux États-Unis). Les bancs de moules de la côte Est des États-Unis sont également analysés avec la méthode paysagère. Dans ces travaux précurseurs, les concepts et les métriques du milieu terrestre sont directement transférés au paysage sous-marin étudié. L'étendue spatiale de ces travaux est cependant restreinte du fait des capacités limitées des techniques de cartographie des fonds marins de l'époque. L'émergence des techniques acoustiques de cartographie des habitats marins à la fin des années 1990 a permit de réaliser des analyses à très grande échelle spatiale de la structure des paysages côtiers. La haute résolution des cartes actuelles fournit une détection accrue des taches d'habitat marin de surface très restreinte, et permet ainsi une analyse plus poussée du phénomène de fragmentation. Cependant, comme vous allez le voir dans la suite, si l'étude de la structure des paysages sous-marins à grande échelle spatiale est possible depuis une vingtaine d'années, les données concernant la distribution des organismes marins sont peu nombreuses.

...avec une application diFFicile

La fonction des paysages sous-marins est très difficile à étudier. Cela est



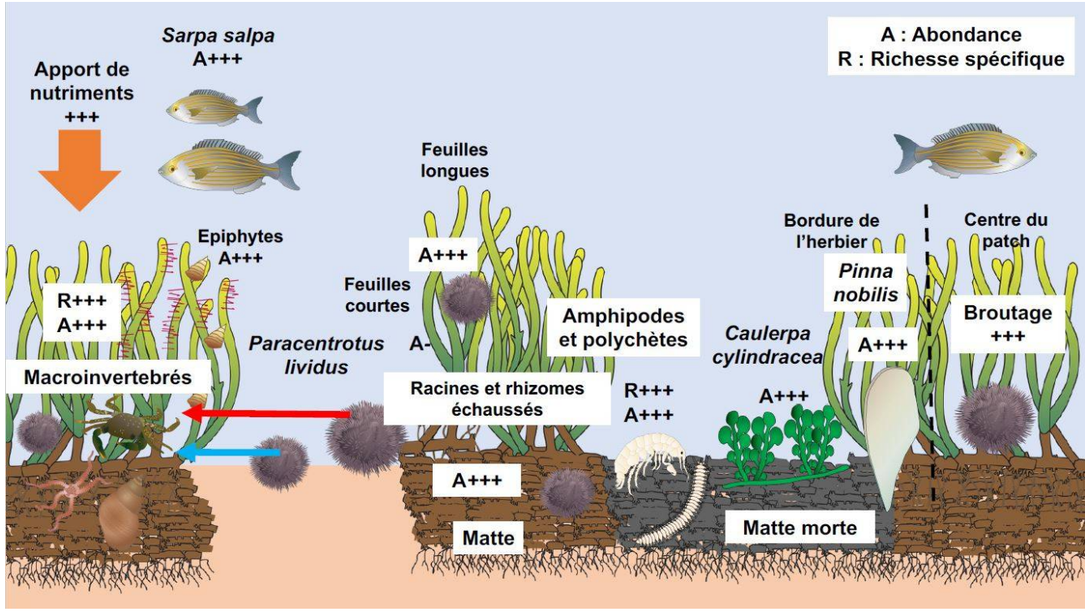
Cartographie d'un herbier sous-marin (en vert) au large de la Corse et des différents types de taches sableuses qu'il contient avec l'image acoustique correspondante.

Comment se déplace cette raie pastenague (Dasyatis chrysonata) dans le paysage sous-marin d'Aliwal Shoal (Afrique du Sud) constitué d'alternance de roches et d'étendues sableuses ? Quelle est l'influence des bordures rocheuses sur ses mouvements et la prédation de ses proies ? Très difficile de réaliser des mesures pour répondre à ces questions de façon quantitative.

bien évidemment dû à l'accessibilité réduite du milieu marin, les incursions des scientifiques pour recueillir des observations sur la distribution de la faune et de la flore marine étant limitées dans le temps et dans l'espace. De plus l'écologie du paysage se base sur des données spatiales et quantitatives qui sont, au mieux, peu nombreuses pour la plupart des écosystèmes marins. En effet il est difficile de mesurer, par exemple, la réaction d'une espèce de poisson en fonction de la configuration du paysage sous-marin. Ou encore l'impact de la bordure entre un récif corallien et une étendue sableuse sur le mouvement des arthropodes (crabes, langoustes, etc.). Vous l'aurez compris le déplacement des espèces sous-marines mobiles est très difficile à étudier. Des technologies, telles que les balises GPS, existent pour les espèces les plus grosses qui remontent à proximité de la surface comme les baleines, les tortues, les requins et les manchots. En revanche cartographier les déplacement à petite échelle d'un poisson de quelques centimètres de long est beaucoup plus complexe.

Les espèces immobiles ou fixées sont plus faciles à étudier et leur distribution est plus facile à cartographier. Il est notamment possible de reporter la position géographique de ces organismes, relevée en plongée, sur une carte des habitats réalisée avec des moyens acoustiques. Une autre méthode pour étudier la distribution des espèces en fonction de la structure du paysage sous-marin consiste à créer des configurations artificielles à l'aide de substrats synthétiques. Cette technique est particulièrement utilisées pour obtenir des informations sur la réponse des espèces marines à la configuration des prairies sous-marines. Il est très facile de reproduire des herbiers artificiels à faible coût en utilisant des lanières de plastiques.

Les mouvements de cette tortue verte (Chelonia mydas), observée dans les eaux martiniquaises, sont enregistrés grâce à la balise accrochée sur son dos. En superposant les positions de la balise à une carte des fonds marins il est possible de connaître l'influence du paysage sous-marin sur ses déplacements.

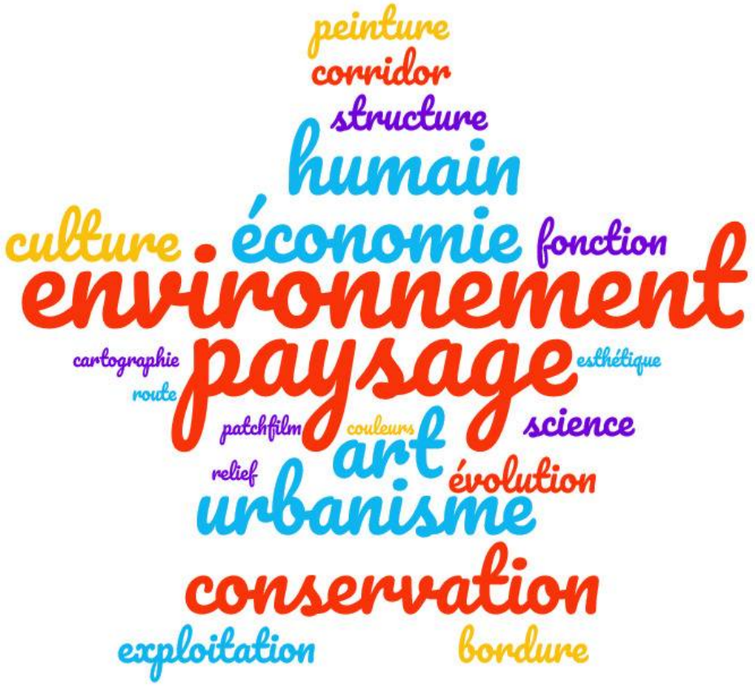


Synthèse des connaissances sur la distribution des organismes marins en fonction de la structure du paysage sous-marin formé par les prairies de posidonies. Traduit d'après Abadie et al. (2018).

Toutes ces difficultés d'acquisition de données quantitatives en milieu marin font que l'écologie paysagère est actuellement plus un sujet de recherche fondamentale que de sciences appliquées. Seules certains aspects de la structure du paysage sont cartographiés et analysés dans un but de gestion et de conservation de l'environnement marin, le plus souvent pour évaluer l'évolution des prairies sous-marines. Ce constat contraste avec ce qui se fait en milieu terrestre. L'écologie du paysage est notamment très utilisée dans les réserves naturelles afin de définir la taille et l'emplacement des zones protégées afin de permettre la bonne circulation des animaux mobiles tout en les protégeant. Si les aspects fonctionnels des écosystèmes et la distribution spatiale des organismes marin étaient plus considérés lors de la mise en place de zones océaniques protégées, cela mènerait certainement à une conservation plus efficace de ces espaces marins, ainsi qu'un effet réserve****** plus important.

Une approche pluridisciplinaire plus qualitative

Ces quelques mots vous ont donné un aperçu des éléments qui constituent l'écologie paysagère et des paramètres étudiés de façon précise et quantitative. Vous avez également pu voir que ces mesures sont très difficiles à réaliser en milieu marin. Si l'étude de ces éléments



La perception d'un paysage, qu'il soit terrestre ou sous-marin, varie énormément d'une personne à l'autre. Difficile de prendre en compte l'ensemble de ces multiples facettes lorsqu'il s'agit de l'étudier.

renseigne sur le fonctionnement des écosystèmes, en prenant notamment en compte l'influence des activité humaines sur l'environnement, ils ne considèrent pas la perception humaine des paysages qui varie d'une personne à l'autre. Cette perception disparate influe sur l'attrait et l'intérêt porté par l'être humain à un paysage, et par extension son usage et sa volonté de le préserver.

Sur terre il est clair qu'un berger, un citadin, un agriculteur et un touriste n'auront pas une perception identique d'un même paysage et de ses usages, comme par exemple une zone montagneuse. Il est important de noter que cela se vérifie même si les personnes n'ont jamais été sur place ou même n'ont jamais vu le paysage en question. En effet, dans notre monde moderne de nombreux vecteurs d'information (littérature, reportages, réseaux sociaux, photographies, peintures, dessins) permettent de nous forger notre propre perception sur des lieux que nous ne visiterons probablement jamais. De cette perception naît une opinion sur les usages à faire de l'environnement et le niveau de protection à accorder à tel ou tel écosystème.

En ce qui concerne les paysages sous-marins le constat est similaire. Cependant, comme ce milieu est beaucoup moins accessible que l'environnement terrestre, l'imaginaire joue un rôle bien plus important. De plus, l'immense majorité des êtres humains n'a jamais contemplé de ses propres yeux de paysage sous-marin et n'en a, au mieux, qu'une connaissance sans expérience.

Un plongeur muni d'une plaquette comportant les différents critères de notation du paysage sous-marin de Méditerranée dans le cadre du programme MedObs Sub.

Malgré ce fait, chaque personne à une perception des fonds marins souvent influencée par des notions esthétiques très personnelles. Comment prendre en compte la beauté et l'esthétique d'un paysage sous-marin ? Et surtout, est-ce qu'un paysage sous-marin (ou terrestre) perçu comme beau fournit une structure permettant un fonctionnement plus efficace des écosystèmes marins ?

Depuis une dizaine d'années, plusieurs travaux scientifiques visent à fusionner plusieurs disciplines (biologie, écologie, sociologie, histoire, économie, art) afin d'estimer la valeur écologique, patrimoniale et économique des paysages sous-marins. Des initiatives d'application de ce concept existe également au travers des programmes de sciences participatives impliquant les plongeurs loisir. Un bonne exemple de ce type d'étude s'est déroulé en Méditerranée française de 2011 à 2016 : le MedObs Sub. Ce projet, à l'initiative de l'Agence de l'Eau Rhône – Méditerranée – Corse, visait à obtenir des données qualitatives sur les paysages explorés lors des incursions sous-marines en notant leurs caractéristiques (relief, biodiversité, dégradations, etc.). L'ensemble de ces notes est compilé en un indice permettant un suivi de la qualité paysagère des sites de plongée. Ce type de sciences citoyennes est l'un des meilleurs moyens pour recueillir des données sur des aspects aussi abstraits que la beauté ou l'importance patrimoniale d'un paysage sous-marin.

Le mot de la Fin

L'écologie du paysage sous-marin est une science s'appuyant sur des données quantitatives difficiles à obtenir. De ce fait, son application dans un but de conservation et de gestion des espaces naturels marins reste encore marginal. Cependant, les techniques d'acquisition de données en milieu marin évoluent très rapidement et permettront, dans un futur assez proche, d'opter pour une approche spatiale de l'étude de la structure de l'environnement et du mouvement des organismes marins. De plus, les derniers outils d'analyse informatique permettent une étude en trois dimension des paysages.

En parallèle de l'acquisition de données, le concept même de paysage sous-marin évolue également. Ainsi l'étude des écosystèmes pélagiques, qui n'ont donc pas structure physique au sens classique du terme, transfert certaines métriques paysagère renseignant sur la distribution des organismes. Une autre évolution récente de la recherche scientifique est le concept de paysage de son (*soundscape* en anglais). Cette théorie utilisant l'acoustique sous-marine passive pour enregistrer les son permet d'identifier l'origine des sons (navigation, travaux, poissons, crustacés, mammifères marins) et d'évaluer leur distance pour dresser des cartographies. Pas de doute, les recherches sur les paysages sous-marins n'en sont qu'à leur débuts !

Glossaire

***Biogéographie** : croisement de différentes disciplines du vivant visant à comprendre la répartition des espèces sur la surface du globe en prenant en compte les caractéristiques géographiques à grande échelle.

****Biotope** : lieu de vie des organismes vivants définis par des caractéristiques physiques et chimiques particulières.

*****SIG** : système d'information géographique. Logiciel permettant de visualiser et d'analyser des données géoréférencées (disposant de coordonnées géographiques) afin de générer des cartes.

******Processus biogéochimique** : cycle de transport et de transformation d'éléments ou de composés chimiques entre les grands réservoirs (géosphère, hydrosphère, atmosphère) et la biosphère.

*******Intermatte** : patch de sable ou de matte morte au sein d'une prairie de posidonies.

********Effet réserve** : lorsque les populations d'espèces d'intérêt pour la pêche deviennent trop importantes dans une zone protégée, les juvéniles sortent des limites de l'espace protégés et peuvent être capturés par les pêcheurs.

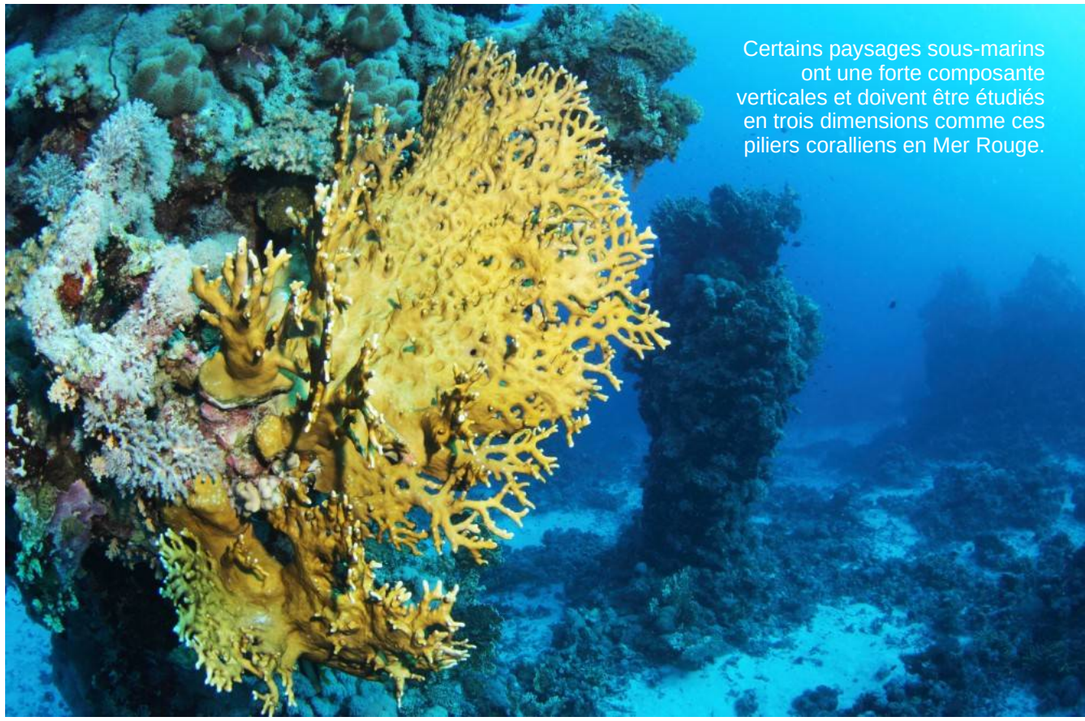
Pour en savoir (beaucoup) plus

Abadie A., Pace M., Gobert S., Borg J. A. (2018). Seascape ecology in *Posidonia oceanica* seagrass meadows: Linking structure and ecological processes for management. Ecological Indicators 87: 1-13

Boström C., Pittman S.J., Simenstad C., Kneib R.T. (2011) Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. Marine Ecology Progress Series 427: 191-217 (pdf)

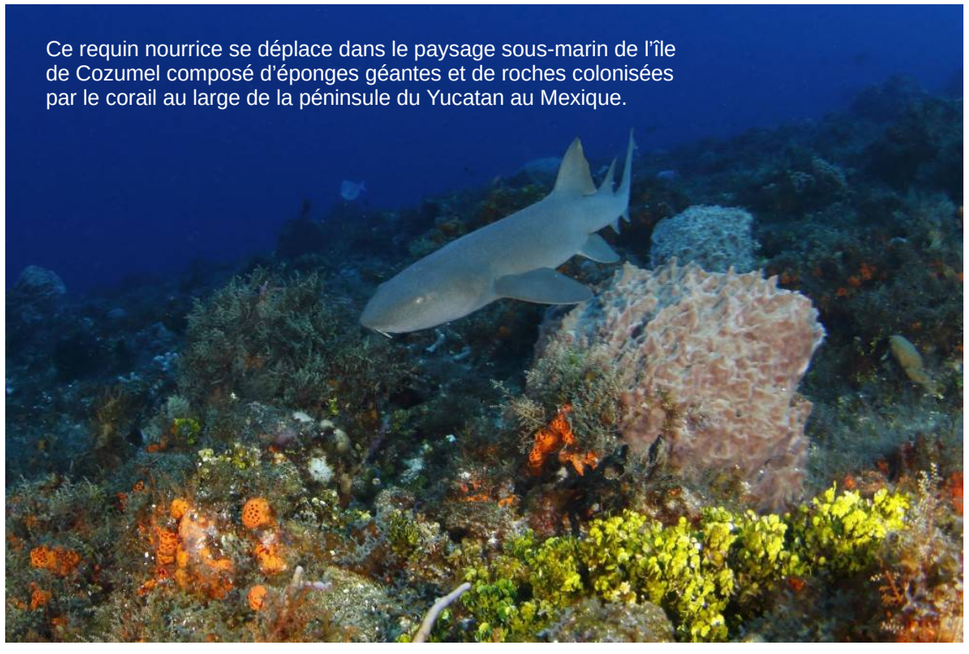
Musard O., Fournier J., Marchand J. (2007) Le proche espace sous-marin : essai sur la notion de paysage. L'Espace géographique, tome 36(2), 168-185 : https://www.cairn.info/revue-espace-geographique-2007-2-page-168.htm?contenu=article

Petit-Berghem Y., Deheul T. (2018) Le paysage sous-marin existe-t-il ? De la connaissance à la reconnaissance d'un concept émergent. Géoconfluences : http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/changement-global/articles-scientifiques/paysage-sous-marin

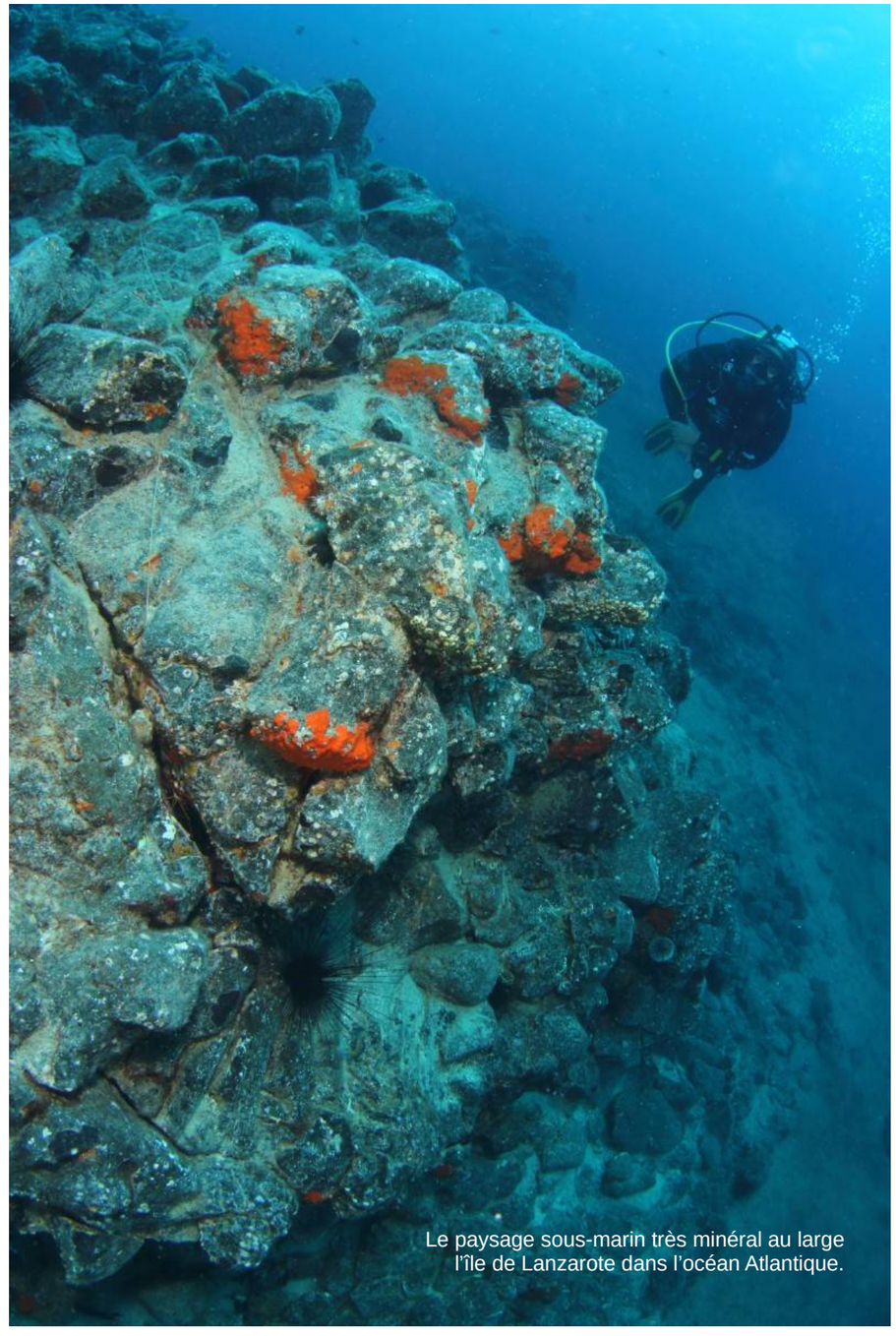


Certains paysages sous-marins ont une forte composante verticales et doivent être étudiés en trois dimensions comme ces piliers coralliens en Mer Rouge.

Les longues feuilles des herbiers de posidonies en Méditerranée cachent un paysage sous-marin à la structuration très complexe avec une alternance de trous de sédiment.



Ce requin nourrice se déplace dans le paysage sous-marin de l'île de Cozumel composé d'éponges géantes et de roches colonisées par le corail au large de la péninsule du Yucatan au Mexique.



Le paysage sous-marin très minéral au large l'île de Lanzarote dans l'océan Atlantique.