



merigéo

de la côte à l'océan
L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE
en mouvement

20 au 22 mars 2018

Aix-en-Provence

www.merigeo.fr

contact@merigeo.fr

organisé par :



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



L'édition 2018 de MerIGéo est co-organisée par l'Ifremer, l'Agence française pour la biodiversité, le SHOM et le CRIGE PACA.



Comité d'organisation

Ifremer

Catherine Satra Le Bris
Erwann Quimbert
Mathilde Pitel-Roudaut
Julie Tourolle
Mickaël Vasquez

Agence française pour la biodiversité

Steven Piel
Marie Mahier

SHOM

Nathalie Leidinger
Corine Lochet

CRIGE PACA

Loredane Cuffolo

Sommaire

Communications orales

Session 1 - Imagerie et Vidéo

Présentation du HROV <i>Ariane</i> et de ses capacités d'imagerie optique et acoustique	11
MATISSE : Cartographie optique en environnement sous-marin	15
Mesure de l'état des coraux d'eaux froides à partir d'une reconstruction vidéo en 3-Dimensions	19
Complexité structurale des récifs biogéniques d'hermelles (<i>Sabellaria alveolata</i>) par drone aérien.....	23
Gestion des doublons dans le cadre du recensement de la mégafaune marine par imagerie aérienne.....	27

Session 2 - Suivi du littoral

Suivis Vidéo de la dynamique hydro-sédimentaire côtière : exemples d'applications sur le littoral méditerranéen.....	31
Utilisation du LiDAR pour des indicateurs du suivi géomorphologique du littoral sableux aquitain.....	35
La stratégie de suivi du littoral Manche Est-Mer du Nord : des levés topo-bathymétriques au service des acteurs du littoral	39
Une application WEB-SIG de suivi de la vulnérabilité systémique des littoraux (projet OSIRISC)	43
Le Système d'Information Géographique (SIG): un outil pour l'évaluation des terres à risque d'inondation côtière liée au changements climatiques. Cas du littoral de Larache, Nord du Maroc	47

Session 3 – Géosciences

La géomatique : une discipline opérationnelle en mer	51
Apport de la géomatique à l'étude des aléas géologiques	53
Apport de l'imagerie acoustique multifaisceaux pour la caractérisation de l'état physique des récifs artificiels du parc naturel marin du golfe du Lion	57

Modèles raster des fonds marins : un indice- qualité pour la pertinence de l'analyse scientifique	61
---	----

Session 4 - Pêche et Aquaculture

Planification spatiale des activités aquacoles en Normandie : co-construction d'un outil d'aide à la décision	65
L'utilisation du SIG au service de la connaissance des pêches en direction inter régionale de la mer.....	69
Cartographie des captures et rejets d'espèces commerciales et planification spatiale des pêcheries chalutières dans le golfe du Lion	72

Session 5 - Trafic maritime et Plaisance

LES SIGNAUX AIS ET LES SIG POUR L'ETUDE DU TRAFIC MARITIME	76
Concertation et cartographie participative : l'élaboration du schéma global d'organisation des mouillages du Parc national des Calanques	79

Session 6 - Suivi du milieu marin

Monitoring 3D par fusion multi-capteurs: vers des réseaux de surveillance du milieu marin	83
Utilisation de la photogrammétrie pour la cartographie et le suivi des herbiers de Posidonies	87
De l'océanographie opérationnelle à l'hydrogéodiversité: vers un outil d'aide à la décision.	91
Les traitements en ligne pour l'analyse du milieu marin	95

Session 7 - Études des pressions et impacts cumulés

Les traitements en ligne pour l'analyse du milieu marin	95
Cartographie de l'impact du chalutage sur les fonds marins en Méditerranée et Manche/Mer du Nord.....	98
Evaluation des risques anthropiques sur les habitats benthiques en lien avec les pressions physiques du milieu.....	102
Pressions et effets cumulés produits par les usages de loisir en mer et sur l'estran: détermination et analyse par saison à l'échelle d'une aire marine protégée.	106
Cartographie du risque d'effets concomitants. Avancement du projet Carpediem : méthodes, outils, premiers résultats	110

Session 8 - EMODnet et Projets européens

EMODnet (tour d'horizon)	114
EMODnet Bathymetry : le Modèle Numérique de Terrain bathymétrique européen	118
EMODnet Checkpoints : évaluation de la capacité des systèmes d'information européens à répondre aux défis maritimes de l'UE.....	122
Une Infrastructure de Données Spatiales au service de la Planification de l'Espace Maritime transfrontalière en Europe.....	126

Session 9 - Systèmes d'Informations et Référentiels géographiques

Vers une ortho littorale V3.....	130
Les actions du groupe de travail GIMeL.....	133
Evaluation 2018 de la DCSMM : le chantier de collecte des données.....	137
La mise en place d'un Système d'Information fédérateur sur le milieu marin : le SIMM	142

Posters

La plateforme PHOTOCEAN : Un nouveau système de photogrammétrie sous-marine géoréférencée	149
Gamme de MNT bathymétriques de la France d'outre-mer	151
Quelles contributions des données spatialisées de surveillance à la Planification des Espaces Maritimes ?.....	153
La cartographie des fonds marins par approche multicapteurs : Un aide à la compréhension de la dynamique sédimentaire d'une zone littorale menacée	156
SENVISAT : de l'image satellite THRS à l'indicateur de suivi - application au suivi du couvert végétal dunaire du Parc Naturel Marin du Golfe du Lion	158
Surveillance des écosystèmes profonds à partir de reconstruction vidéo 3D.....	160
Cartographie des habitats de l'étang de Berre par imagerie hyperspectrale aéroportée : application aux herbiers de zostères	162
Les signaux AIS pour l'étude économique et environnementale de la circulation maritime.	164
SIGnalisation maritime aux phares et balises	166
Analyse spatiale des pratiques des usagers de trois plages urbaines de Marseille.....	167

Apports de l'imagerie pour la cartographie des habitats profonds.....	170
Outils intégrés pour mieux connaître, surveiller et protéger les herbiers de posidonie.....	172
La base de données ESTAMP une appli Web d'accompagnement à la saisie, à la bancarisation, et à la consultation des données.....	174
Déploiement d'applications mobiles et stratégie d'acquisition de données pour les parcs naturels marins.....	176

Communications orales

Présentation du HROV *Ariane* et de ses capacités d'imagerie optique et acoustique

E. Raugel, P. Jaussaud, R. Piasco, L. Somaglino, A. Arnaubec

Ifremer, Seyne sur mer, France.

Introduction

Dernier né des engins sous-marins de l’Ifremer, le ROV hybride *Ariane* est entré en flotte début 2017 pour une première année d’opération marquée par une succession de campagnes scientifiques et technologiques qui ont permis de mettre en avant le fort potentiel de ce nouveau système que ce soit pour la cartographie, l’exploration ou l’intervention sous-marine. Plus particulièrement, la campagne CARTOHROV, réalisée en novembre 2017 sur le navire océanographique *L’Europe*, a été l’occasion d’expérimenter le ROV Hybride dans une nouvelle configuration de charges utiles dédiée à la réalisation de cartographies acoustiques et optiques, intégrant à la fois un sondeur multifaisceaux et un appareil photo numérique.



Figure 1 : déploiement du HROV Ariane depuis le N/O L’Europe lors de la campagne VIDEOCOR1 ©Ifremer, O. Dugornay

Présentation du ROV hybride *Ariane*

Le ROV hybride est une nouvelle génération d’engins sous-marins télé-opérés, qui intègre sa propre source d’énergie sous forme de batteries Lithium-ion. Ainsi, l’unique lien avec la surface est une fibre optique. La spécificité d’*Ariane* est la régulation de la longueur de la fibre déployée à l’aide d’un treuil intégré au ROV, de façon à maintenir une tension

constante quels que soient ses déplacements ou ceux du navire support. L'intérêt premier est de permettre un déploiement à partir d'une large gamme de navires ne disposant pas forcément de capacités de positionnement dynamique, et donc d'offrir une grande flexibilité dans la programmation des opérations à la mer tout en optimisant leurs coûts. A ce jour, *Ariane* est déployé à partir des navires océanographiques de la flotte côtière notamment *L'Europe*, *L'Antea* et le *Côtes de la Manche*. Il permet des plongées, dites à la journée, jusqu'à des immersions de 2500m, pour des missions d'intervention, de prélèvement, d'inspection ou de cartographie optique et acoustique. Son architecture propulsive et ses capteurs de navigation lui permettent de travailler sur tout type de fond, y compris des zones très accidentées comme les canyons. Equipés de caméras HD et d'un appareil photo numérique orientable, *Ariane* permet des inspections optiques de haute qualité et la réalisation de photogrammétriques (ou mosaïque optique) haute résolution.

Deux configurations de charges utiles sont proposées. La première, appelée « exploration & prélèvement » intègre des bras télémanipulateurs et des outillages de prélèvement et répond à une large gamme d'opérations, de l'étude des habitats à l'intervention sur des observatoires sous-marins. La seconde configuration intègre un sondeur multifaisceaux EM2040 (Kongsberg Maritime) qui permet la réalisation de cartographie acoustique très haute résolution grâce à une navigation proche du fond. Par ailleurs, elle permet de conjuguer les données acoustiques avec celles fournies par les capteurs optiques (camera HD ou appareil photo numérique) et d'associer au survey acoustique, les possibilités d'inspection visuelle ou de photogrammétrie.

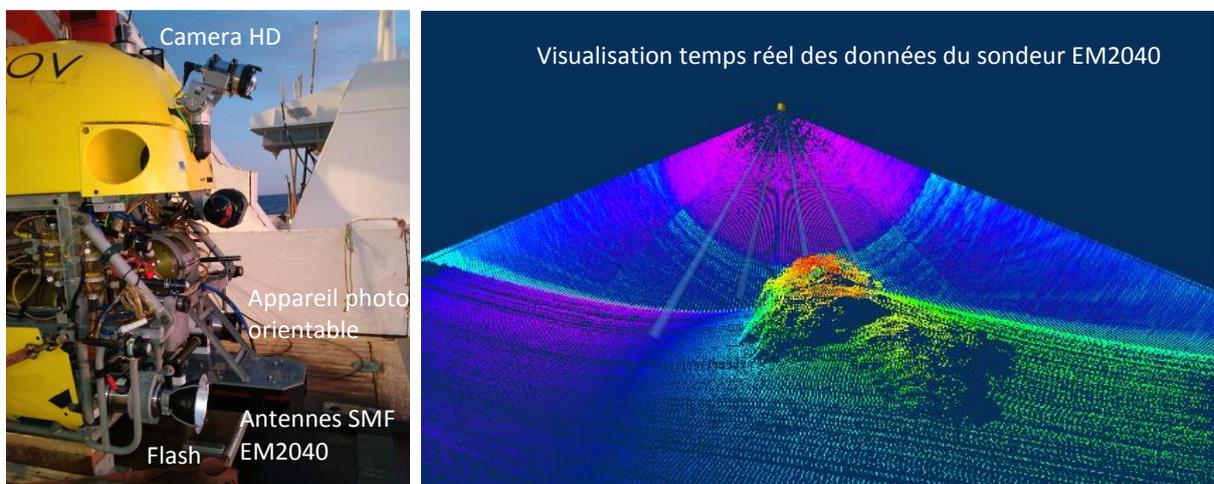


Figure 2 : HROV Ariane en configuration « cartographie » (campagne CARTOHROV, novembre 2017)

Les premiers résultats opérationnels de la configuration “cartographie”

Opérationnel depuis fin 2016, le ROV hybride *Ariane* a d'ores et déjà effectué plusieurs campagnes scientifiques en configuration « exploration et prélèvement » durant l'année 2017. La configuration « cartographie » a quand a elle été testée pour la première fois en novembre 2017 lors de la campagne CARTOHROV. Après plusieurs plongées de mise au point

du sondeur multifaisceaux, il a été possible de réaliser des plongées de démonstration des nouvelles capacités d'*Ariane*.

Le sondeur EM2040 permet la combinaison de relevés bathymétriques et de mesures de la réflectivité des fonds. Par ailleurs, ce sondeur permet l'acquisition des données d'imagerie de la colonne d'eau, offrant la possibilité de détecter des panaches de bulles, des bancs de poissons ou encore des objets. Les données brutes issues du sondeur sont affichées sous forme de nuages de points dans une fenêtre de visualisation 3D temps réel (voir figure 2). Cela permet une première interprétation des données tout en offrant une très bonne perception de l'environnement dans lequel évolue le ROV hybride. Il est ainsi possible de le piloter de façon à avoir la meilleure acquisition possible, ou d'adapter la plongée en cours en fonction des relevés obtenus. Un des exemples rencontrés lors des essais en mer a été la détection d'une anomalie bathymétrique lors d'une plongée. Il a été décidé de suspendre les opérations de cartographie acoustique pour en identifier la nature en procédant à une inspection visuelle ; une épave de navire a ainsi été identifiée. Une photogrammétrie a alors été réalisée avec l'appareil photo numérique, avant de reprendre les opérations de cartographie initialement prévues (voir figure 3).

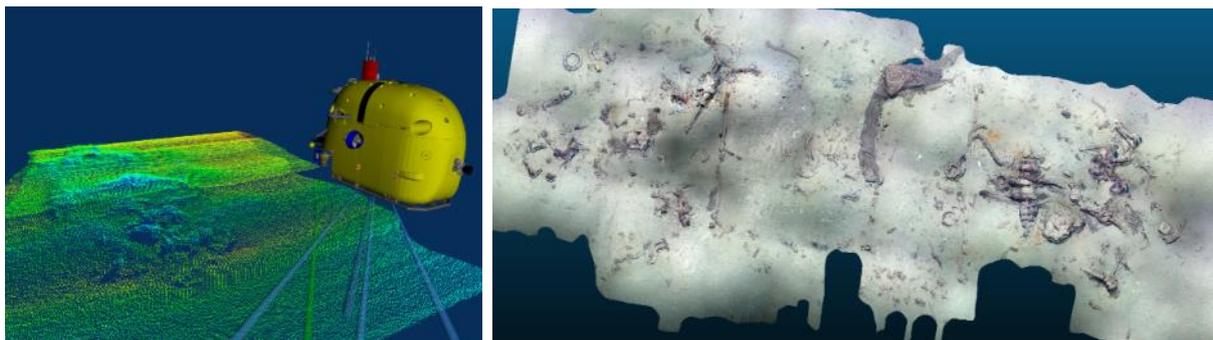


Figure 3 : identification d'une épave par cartographie acoustique et réalisation d'une mosaïque optique du site (campagne CARTOHROV, novembre 2017)

Avec une navigation à une altitude comprise entre 3 et 50m, les fréquences d'émissions de 300 et 400 kHz sont utilisées en routine afin d'obtenir les meilleurs précisions de sondes. A 400 kHz, la précision de la détection bathymétrique est centimétrique. De plus, le mode haute densité du sondeur fournit plusieurs détéctions par faisceau, ce qui permet l'obtention d'une bathymétrie plus fine qu'avec la méthode usuelle d'une détection par faisceau. La fréquence de 300 kHz permet d'élargir l'ouverture angulaire maximale du sondeur de 120° à 140° afin d'explorer des zones plus larges. Sur une plongée, la couverture possible est de l'ordre de 0,1 km² pour un survey à 5m d'altitude (400kHz) à plus de 1,5 km² à une altitude de 50m (300kHz). Le ROV hybride *Ariane* permet ainsi la réalisation de cartographies de très haute résolution (centimétrique dans les conditions les plus favorables) sur des zones ciblées et en environnement très escarpé. Il offre une très bonne complémentarité avec les autres engins sous-marins de l'Ifremer, notamment avec les AUVs Aster^x et Idef^x qui assurent une grande couverture, de l'ordre de 10km², avec une résolution décimétrique en restant limités à des pentes de 30%.

Associé au sondeur, un appareil photo numérique permet la réalisation de mosaïques optiques 2D ou 3D sur des zones plus restreintes. L'altitude est à ajuster en fonction de la résolution souhaitée et de la turbidité de l'eau. Il est possible, sous certaines conditions, de réaliser de l'imagerie jusqu'à 10 mètres. A 5 mètres d'altitude, la couverture pour un survey 2D est de l'ordre de 25 000 à 30 000m², avec une résolution millimétrique (0,7mm par pixel).

L'une des particularités de la configuration « cartographie » est le réglage de l'inclinaison des antennes du sondeur, soit à l'horizontale pour une utilisation classique, soit à 45° pour la réalisation de cartographies acoustiques 3D. Les premières expérimentations ont été effectuées lors des 3 dernières plongées de la campagne CARTOHROV, et les résultats obtenus sont très encourageants, avec une capacité à reconstruire facilement des reliefs en superposant les différentes passes de l'engin sur le site (voir figure 4). Les premières analyses ont été réalisées avec un logiciel libre et gratuit permettant l'affichage et le traitement de nuages de points 3D. L'Ifremer doit à présent adapter ses propres logiciels de traitement de façon à développer toutes les potentialités de cette configuration innovante.

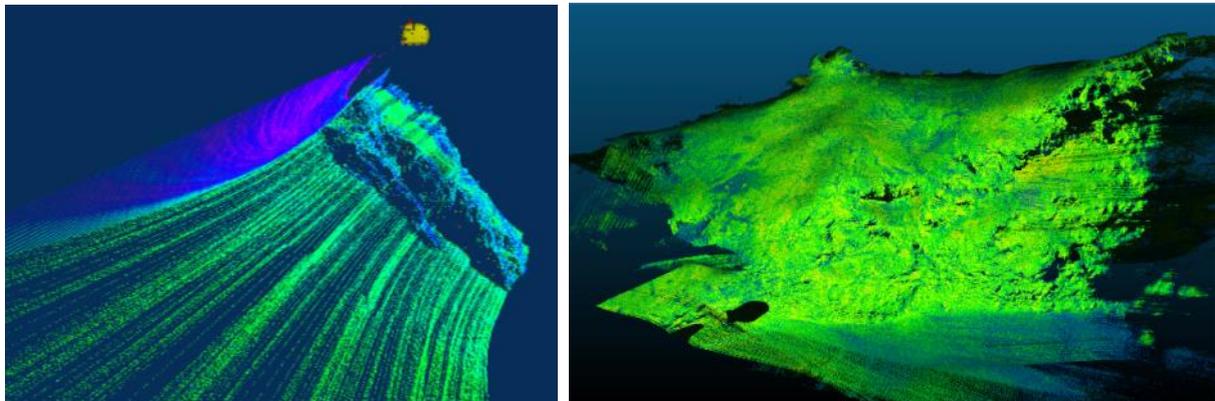


Figure 4 : données de cartographie acoustique 3D sur relief (campagne CARTOHROV, novembre 2017)

Conclusion

Mise à disposition de la communauté scientifique à partir de 2018, la configuration « cartographie » vient compléter les fonctionnalités scientifiques du ROV hybride *Ariane* jusqu'à présent consacré aux tâches d'inspection, de photogrammétrie, de prélèvement et d'intervention sous-marine. Il est aujourd'hui possible de réaliser des opérations de cartographie acoustique et optique de très haute résolution, sur tout type de relief, à partir d'un navire océanographique côtier comme *L'Europe* (Ifremer) ou le *Côtes de la Manche* (DT/INSU). Les travaux sur la cartographie acoustique 3D avec les antennes inclinées à 45° vont se poursuivre de façon à proposer des méthodologies et des moyens de traitement des données, en s'axant par exemple sur les outils développés pour la réalisation des mosaïques optiques.

MATISSE : Cartographie optique en environnement sous-marin

Aurélien Arnaubec¹, Anne-Gaëlle Allais¹, Marie Claire Fabri¹, Ewen Raugel¹, Jan Opderbecke¹

¹IFREMER, La Seyne-sur-mer, France.

Introduction

La cartographie optique consiste à utiliser un ensemble d'images géo-référencées afin de fournir une vision d'ensemble de la scène imagée. La représentation finale de la scène peut être une carte 2D en vue de dessus, on parle dans ce cas de mosaïque géo-référencée, ou un modèle 3D. Dans les deux cas, la représentation est à l'échelle et l'ensemble des éléments sont mesurables et donc utilisables pour des analyses scientifiques. Cette approche est particulièrement utile dans le cadre de l'étude des environnements sous-marin car la visibilité y est assez limitée et il n'est pas possible d'effectuer des mesures précises sur la scène sans ces représentations.

La robustesse des techniques actuelles permet de plus en plus d'effectuer les traitements nécessaires à ce type de représentation de manière automatique. Partant de ce constat nous avons développé une suite logicielle (MATISSE) intégrant des algorithmes de l'état de l'art permettant de générer des modèles 2D/3D et de les analyser pour des études scientifiques. Le point de vue adopté est de fournir des logiciels suffisamment simples d'utilisation pour qu'une personne non experte en traitement de signal puisse dans la majorité des cas être autonome.

Dans la première partie nous présentons le logiciel de traitement ainsi que les contraintes d'acquisition et dans la seconde l'outil d'analyse des cartographies optiques.

Traitements pour la cartographie optique

Acquisition d'images

Certaines conditions doivent être respectées pour que l'acquisition soit utilisable pour une reconstruction. Les algorithmes de reconstruction utilisent la redondance d'informations entre les différentes images pour estimer le déplacement et la structure de la scène. Il faut donc un recouvrement important entre deux images successives, le strict minimum est de 50% pour une reconstruction 3D (limite théorique pour que l'ensemble des points aient été vus 2 fois). D'expérience, nous recommandons au moins 50% de recouvrement pour une reconstruction 2D et 70% pour une reconstruction 3D. L'autre contrainte se porte sur la qualité de la navigation engin. L'utilisation de l'optique seule ne permet pas de résoudre l'échelle de la reconstruction (pas de mesure absolue) et la mise à l'échelle est donc faite grâce à la navigation engin. La qualité de la mesure dépend donc de la précision de la

navigation. Empiriquement, sur les reconstructions déjà réalisées nous avons observé (par comparaison à des mesures laser) une précision de mesure meilleure que 2% avec une navigation ayant un écart type d'un ordre de grandeur en dessous de l'échelle de la scène.

A Ifremer, les engins sous-marins capables de respecter ces contraintes sont le Nautille, engin habité 6000M, le Victor, ROV télé opéré 6000M et le HROV, engin hybride (mode ROV ou autonome) 2500M (voir Figure 1). Le HROV est d'autant plus adapté aux reconstructions 3D, qu'il a été conçu pour pouvoir travailler de près sur des zones à fort relief, zones pour lesquelles seul un modèle 3D permet d'obtenir une reconstruction précise.

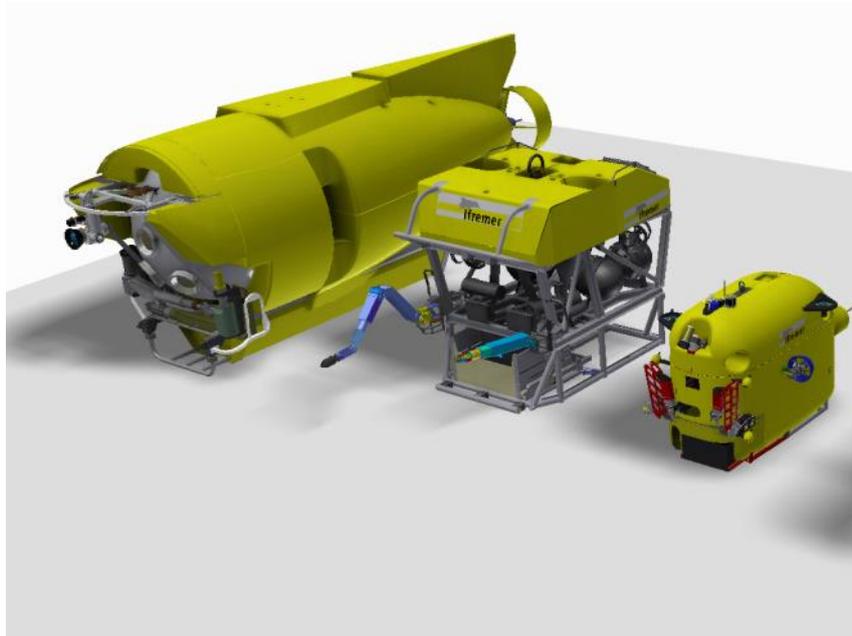


Figure 1 : Engins sous-marins Ifremer adaptés à la cartographie optique sous-marine. De gauche à droite : Nautille, Victor, HROV, atteignant respectivement 6000, 6000 et 2500 M de profondeur.

Matisse : traitement pour la reconstruction 2D et 3D

Nous avons développé le logiciel de traitement MATISSE, qui intègre des algorithmes de l'état de l'art, pour la reconstitution 2D et 3D (voir figure 2). Ce logiciel a été pensé pour être utilisable par les scientifiques eux même pour la majorité des situations rencontrées. Ce logiciel peut être distribué gratuitement pour toute application de recherche sur demande mail à l'adresse « aurelien.arnabec@ifremer.fr ».

MATISSE intègre les prétraitements nécessaires pour améliorer la qualité des reconstructions, qui consistent en une correction d'illumination, pour compenser la non-uniformité de l'éclairage, ainsi que la correction de couleur, afin de compenser la variation de couleur avec la distance à la scène [1].

Pour la reconstruction 2D, les algorithmes ont été développés en interne [1]. Pour la reconstruction 3D, MATISSE se base sur le travail de plusieurs équipes de recherche au travers des bibliothèques : OpenMVG [2], OpenMVS[3] et texrecon [4].

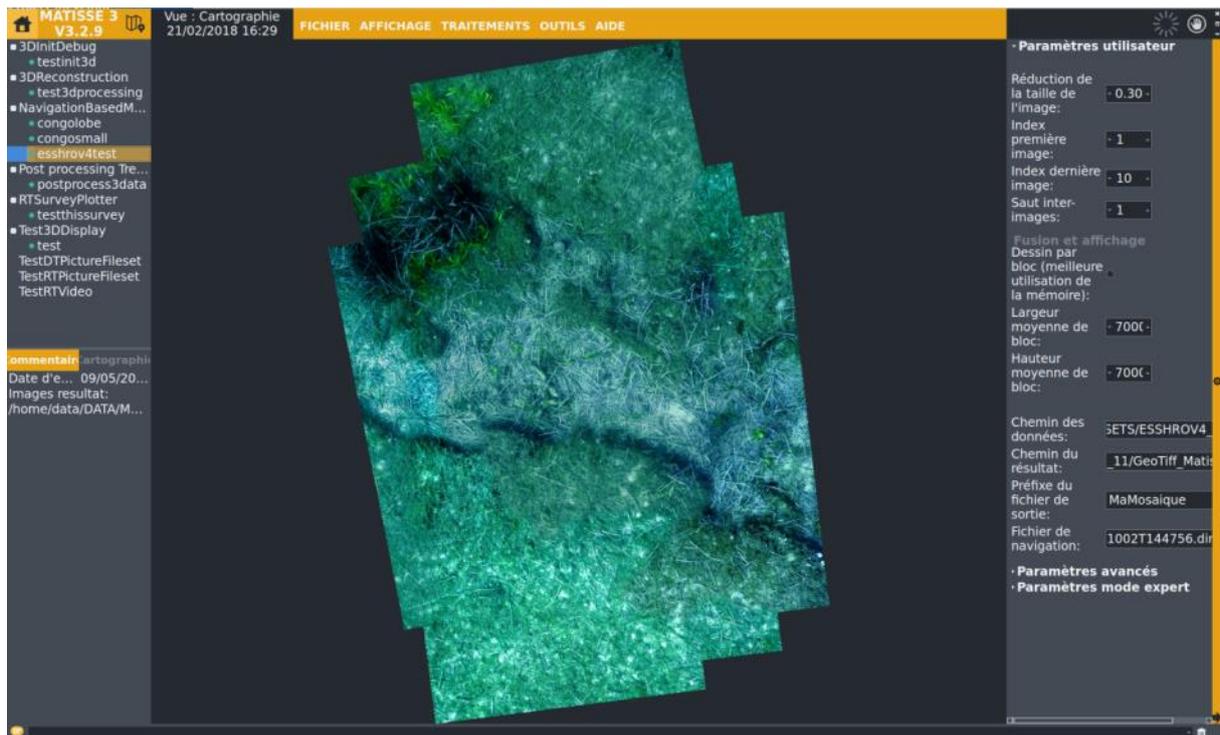


Figure 2 : Interface utilisateur du logiciel MATISSE. A gauche se trouve la liste des traitements effectués avec leur visualisation au centre et les paramètres du traitement à droite.

Outils pour l'analyse scientifique

La finalité du logiciel MATISSE est de pouvoir produire des représentations 2D et 3D pour des analyses scientifiques en biologie, géologie, archéologie... L'objectif commun est de pouvoir annoter des points d'intérêt, mesurer des distances, des surfaces et d'effectuer des statistiques sur l'ensemble de ces mesures.

Pour la reconstruction 2D le problème est relativement standard, puisque la donnée de sortie est un geoTiff, importable dans un outil GIS tel que QGis ou Arcgis, qui dispose des fonctions de mesure souhaitées.

Pour les reconstructions 3D il n'existe pas encore d'équivalent pour travailler sur des modèles 3D géo-référencés. Nous avons donc développé un outil simple, 3D Metrics, pour répondre à ce besoin (voir figure 3). L'outil permet d'ouvrir un ensemble de modèles géo-référencés (et donc les situer les uns par rapport aux autres) et d'effectuer des mesures de distance, de surface et la localisation de points d'intérêt. La localisation de la représentation 3D est assurée par un fichier kml décrivant la position spatiale. Les données de mesure sont enregistrables et exportables vers un fichier texte exploitable pour effectuer les statistiques nécessaires.

Ces outils ont été mis en œuvre sur la campagne scientifique VideoCor (citation), dont l'objectif est de comprendre la distribution des coraux d'eau froide en méditerranée [5,6] (voir figure 3).

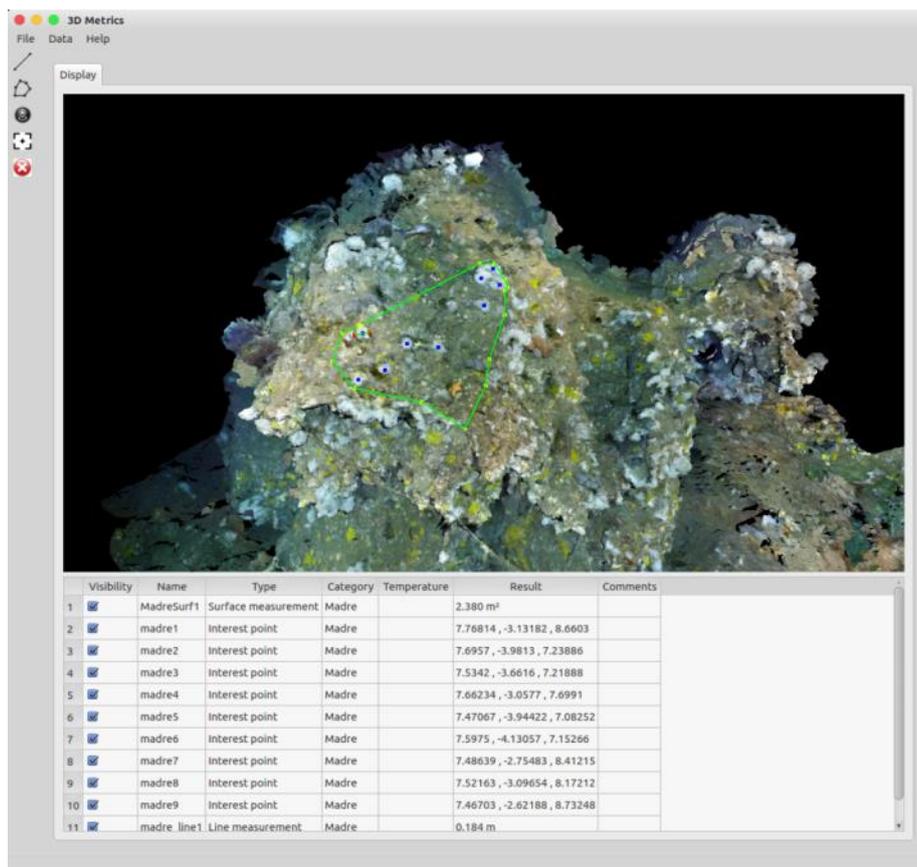


Figure 3 : Exemples de mesure avec 3D Metrics (données de la campagne VideoCor).

Conclusion

Nous avons présenté une suite logicielle complète pour la cartographie optique sous-marine. Le logiciel MATISSE permet de réaliser des reconstructions 2D et 3D géo-référencées et l'outil 3D Metrics permet de réaliser des mesures sur les modèles 3D. Ces outils ont été évalués sur une campagne scientifique sur laquelle une vingtaine de modèles 3D ont été réalisés.

[1] Arnaubec, A., Opderbecke, J., Allais, A.G., Brignone, L., 2015. Optical mapping with the ARIANE HROV at IFREMER: The MATISSE processing tool. OCEANS 2015 - Genova, pp. 1-6.

[2] Pierre Moulon and Pascal Monasse and Renaud Marlet and Others, cOpenMVG. An Open Multiple View Geometry library. <https://github.com/openMVG/openMVG>.

[3] openMVS, <https://github.com/cdcseacave/openMVS>

[4] Michael Waechter et al, Let There Be Color! – Large-Scale Texturing of 3D Reconstructions, ECCV 2014, Zürich

[5] Vinha et al, Mesure de l'état des coraux d'eaux froides à partir d'une reconstruction vidéo en 3-Dimensions, Mérigeo 2018

[6] Fabri et al, Surveillance des écosystèmes profonds à partir de reconstruction vidéo 3D, Mérigeo 2018

Mesure de l'état des coraux d'eaux froides à partir d'une reconstruction vidéo en 3-Dimensions

VINHA Beatriz^{1*}, ARNAUBEC Aurélien¹, ALLAIS Anne-Gaëlle¹, BOUHIER Marie-Edith¹, FABRI M-Claire¹

¹Ifremer Centre de Méditerranée, La Seyne sur Mer, France.

Introduction

Les coraux d'eaux froides font partie des groupes d'espèces remarquables par leur diversité associée dans les eaux profondes de la Méditerranée. Ils contribuent à la complexité des fonds marins, car ils forment des habitats en 3 dimensions, offrant un abri et un soutien à d'autres espèces épi-benthiques. De plus, ils constituent un habitat important pour certaines espèces de poissons commercialement exploitées. Dans les canyons sous-marins, les caractéristiques topographiques favorisent l'apport de particules en suspension à la faune fixée, notamment les coraux d'eau froide, ce qui permet leur nutrition et leur croissance.

Cependant, certaines caractéristiques biologiques des coraux profonds, comme leur faible taux de croissance et de fécondité, leur fragilité et leur longévité élevées, ainsi qu'une reproduction tardive, les rendent très vulnérables aux perturbations anthropiques dans le milieu marin.

Afin de mesurer l'état écologique des coraux d'eaux froides dans le canyon de Cassidaigne, des actions ont été menées dans le contexte de la Directive Cadre pour la Stratégie Marine sur le Milieu Marin (DCSMM). La DCSMM (European Parliament, 2008) encourage les Etats membres de l'UE à appliquer une approche éco-systémique à la gestion des activités humaines. L'objectif final étant d'atteindre ou de maintenir le bon état écologique dans le milieu marin d'ici 2020, au plus tard. La directive a établi une liste de 11 descripteurs, avec des critères et des normes méthodologiques pour évaluer et surveiller l'état écologique des eaux marines. La diversité biologique et l'intégrité des fonds marins figurent parmi ces descripteurs.

L'objectif de cette étude est de construire des cartes de densité de population des coraux d'eau froide dans le canyon de Cassidaigne, en utilisant d'une part les outils Adélie Vidéo et Adélie Observation (©Ifremer) dans un Système d'Information Géographique (SIG), d'autre part le logiciel 3D Metrics (©Ifremer) (voir **Arnaubec et al., ce volume**). Les structures en tailles des populations seront aussi étudiées. Cela contribuera à l'évaluation de l'état écologique des Ecosystèmes Marins Vulnérables (VME) dans le canyon de Cassidaigne.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Le canyon de Cassidaigne est situé sur la partie orientale du golfe du Lion (nord-ouest de la Méditerranée). La tête du canyon se trouve à une profondeur de 200 m, à 7 km de la côte, en bordure de la baie de Cassis. C'est l'un des sites de la Méditerranée où l'on trouve des coraux scléactiniaires, tels que *Madrepora oculata*, avec une forte densité. Dans le canyon il y a 3 sites connus où les colonies *M. oculata* se sont installées: Cassis-200, Cassis-500 et The Wall (Fabri *et al.*, 2017).

Acquisition des données

Les données ont été recueillies lors de la première campagne scientifique VIDEOCOR1 (2017) du nouvel engin sous-marin H-ROV ARIANE (©Ifremer). Au cours des plongées, des vidéos et des images HD des différents sites particulièrement accidentés dans le canyon ont été enregistrées.

Traitement des images et des vidéos

Les vidéos du H-ROV ont été analysées à l'aide des logiciels Adélie Vidéo (©Ifremer) ou 3D Metrics (©Ifremer) selon le type de site/plongée.

L'outil Adélie Vidéo (©Ifremer) a été utilisé pour traiter les données des plongées rectilignes afin d'identifier, compter et cartographier les différentes espèces dans un SIG (ArcMap ©ESRI). Puis les densités ont été calculées à l'aide de l'outil Adélie Observation (©Ifremer).

Pour traiter les données sur les sites accidentés ayant une structure complexe, les reliefs ont dans un premier temps été reconstruits en 3 dimensions à partir des images optiques à l'aide du logiciel 3D Metrics (©Ifremer) (voir **Arnaubec *et al.*, ce volume**) (Arnaubec *et al.*, 2015) Dans un deuxième temps, le logiciel 3D Metrics sera utilisé pour compter les différentes espèces afin de calculer leur densité, et pour mesurer les colonies des différentes populations de cnidaires afin de déterminer leur structure en taille (travail en cours).

Résultats

Adélie Vidéo et Observation

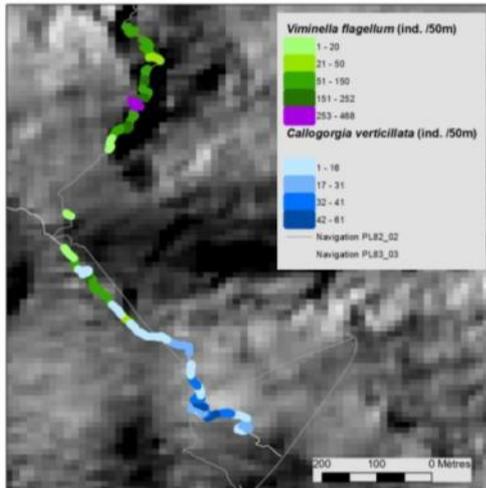


Figure 1 : Distribution des densités de cnidaires calculées avec Adélie-Observation.

Reconstruction 3D

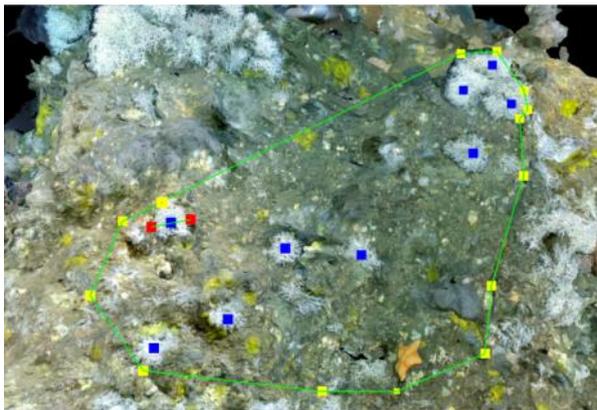
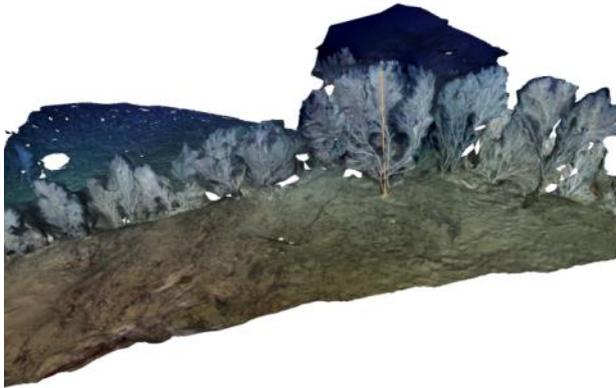


Figure 2 : Exemple d'interface du logiciel 3D Metrics pour les mesures de surface et de densité des espèces sur une reconstruction 3D.

Les densités de population le long des trajets de navigation linéaires sont cartographiées dans ArcMap (©ESRI) à l'aide de l'outil Adélie Observation (©Ifremer).

Les reconstructions en 3 dimensions (logiciel 3D Metrics ©Ifremer) permettent de mesurer des surface non horizontales et de comptabiliser les colonies, permettant ainsi d'obtenir des densités.

Structure en taille des populations



La taille des colonies des différentes espèces est mesurée grâce au logiciel 3D Metrics (©Ifremer).

Les premières mesures réalisées sont mentionnées ci-après :

Callogorgia verticillata = 140 cm

Viminella flagellum = 60 cm

Leiopathes glaberrima = 40 à 50 cm

Madrepora oculata = 40 cm

(travail en cours)

Figure 3 : Exemple de reconstruction 3D et de mesure de taille des colonies de *Callogorgia verticillata*.

Conclusion

La méthodologie utilisée dans cette étude permettra de cartographier la répartition spatiale des différentes espèces de coraux d'eau froides en terme de densité et de structure de populations dans le canyon de Cassidaigne. La composition en espèces accompagnatrices (mégafaune) sur les 3 principaux sites du canyon, ainsi que les densités et les structures en taille des populations de cnidaires, permettront d'évaluer les descripteurs 1 et 6 de la DCSMM. Les impacts anthropiques observés sur les trois sites de coraux, lors du traitement de données, seront également répertoriés, selon les critères de la DCSMM. L'évaluation de l'état écologique des communautés benthiques dans le canyon de Cassidaigne sera le reflet de l'état (densité, taille) des espèces structurantes ainsi que de la diversité spécifique associée (voir **Fabri *et al.*, ce volume**).

Références

Arnaubec, A., Opderbecke, J., Allais, A.G., Brignone, L., 2015. Optical mapping with the ARIANE HROV at IFREMER: The MATISSE processing tool. OCEANS 2015 - Genova, pp. 1-6.

European Parliament, 2008. Directive (2008/56/EC) establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). Off. J. Eur. Union (www.eur-lex.europa.eu), pp. 1-22.

Fabri, M.C., Bargain, A., Pairaud, I., Pedel, L., Taupier-Letage, I., 2017. Cold-water coral ecosystems in Cassidaigne Canyon: An assessment of their environmental living conditions. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 137, 436-453.

Complexité structurale des récifs biogéniques d'hermelles (*Sabellaria alveolata*) par drone aérien

Collin Antoine^{1*}, Dubois Stanislas², James Dorothée¹, Ramambason Camille¹, Gloria Hélène¹, Feunteun Eric³ et Etienne Samuel¹

¹Ecole Pratique des Hautes Etudes-PSL Research University, CNRS LETG 6554, Dinard, France.

²IFREMER, Centre de Bretagne, DYNECO LEBCO, Plouzane, France

³Museum National d'Histoire Naturelle, CNRS BOREA 7208, Dinard, France.

Introduction

Les récifs d'hermelles, érigés par le polychète grégaire et tubicole *Sabellaria alveolata* (Linnaeus, 1767), au sein de la Baie du Mont-Saint-Michel, constituent la plus grande bioconstruction intertidale en Europe (Desroy et al. 2011). Evoluant sur l'estran sablo-vaseux, les récifs fournissent de précieux services écosystémiques, tels qu' (1) une diversité de niches écologiques (Jones et al. 2018); (2) la stabilisation et le piégeage de sédiments (Dubois et al. 2005); et (3) la pêche à pied (Plicanti et al. 2016). Toutefois, ces récifs sont menacés par les activités anthropiques locales, telles que l'aquaculture industrielle de l'huître (*Magallana gigas*) et de la moule (*Mytilus edulis*), compétiteurs de nourriture et d'espace (Dubois et al. 2006), et la pêche à pied non durable, piétinant et fragmentant les récifs (Plicanti et al. 2016). Ces pressions ont provoqué une forte dégradation de l'état de santé des récifs entre 1970 et 2007 (Desroy et al. 2011, Rollet et al. 2015).

Malgré le caractère interdisciplinaire (sédimentologie, biologie et écologie), le précédent diagnostic est basé sur une équipe de 15 personnes échantillonnant 307 stations, de 75 m × 75 m chacune, ce qui correspond difficilement à la fine résolution spatiale des colonies d'hermelles (de 1 à 2 m de diamètre). Situés à 5 km du trait de côte et entre 2 et 4 m au-dessus du zéro hydrographique, les récifs sont difficiles d'accès et n'émergent que sporadiquement. L'approche de télédétection par satellite ou avion est donc contrainte par l'émersion des récifs, ce qui n'a pu être réalisée que lors d'un levé LiDAR en 2002 (Noernberg et al. 2010), et de l'acquisition des produits *Ortholittorale* V1 (2000) et V2 (2014). Ce dernier produit, offrant une résolution spatiale de 0.5 m pour quatre bandes spectrales (bleu-vert-rouge-infrarouge), a permis la première cartographie à très haute résolution (THR) de l'abondance des tubes d'hermelles (Collin et al. 2018). Néanmoins, le coût logistique et financier d'un survol reste conséquent.

Nous proposons, ici, une méthode aisément transférable de cartographie THR de l'abondance des tubes d'hermelles de la Baie du Mont Saint Michel (Fig. 1) par une caméra visible (bleu-vert-rouge) montée sur un drone aérien, calibrée et validée par des vérités-terrain et une modélisation de réseau de neurones artificiels.

Matériels et Méthodes

Site d'étude

Les récifs d'hermelles de Sainte-Anne (48°38'50"N, 1°40'W) sont composés de cinq récifs adjacents, situés dans la partie centrale de la Baie du Mont Saint Michel, soumise à des variations de 14 m d'amplitude lors des marées de vive-eau. Ils s'étendent sur 2.23 km² et leur volume a été estimé à 96 301 m³ (Noernberg et al. 2010). Le paysage récifal des hermelles englobent chenaux de marée, sédiments sablo-vaseux secs et humides, micro- et macroalgues, ainsi que divers bivalves sessiles (*M. gigas*, *M. edulis*, *Crepidula fornicata*).

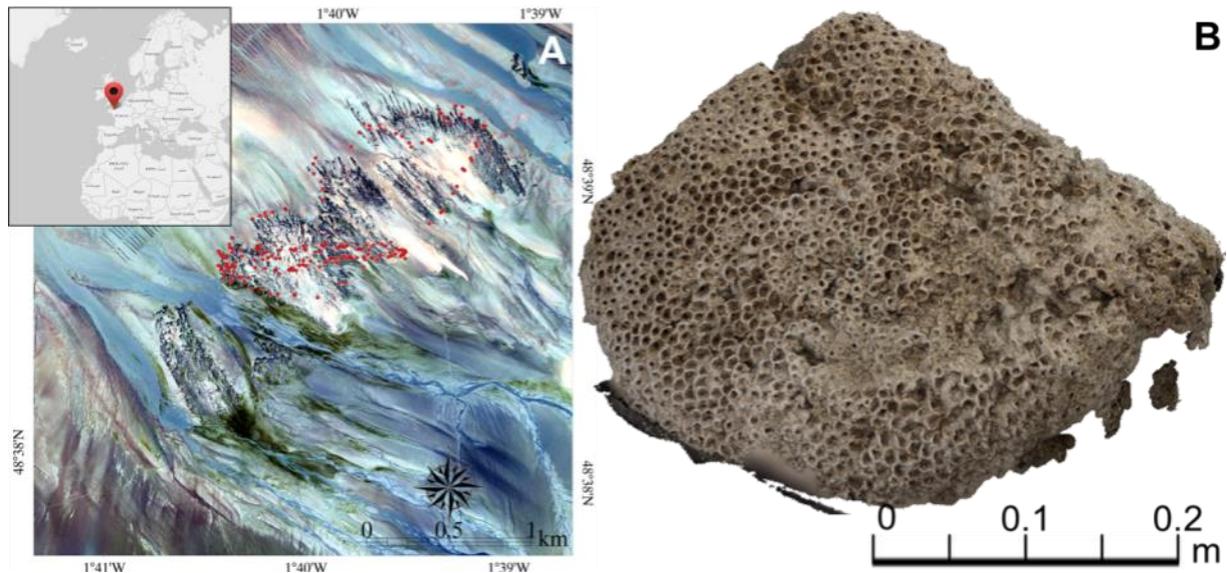


Figure 1 : (A) Imagerie aérienne en couleur naturelle acquise pour l'Ortholittorale V2 (10 septembre 2014, 6547 x 6566 pixels, 0.5 m de résolution) au-dessus des récifs d'hermelles de Sainte-Anne. Les points rouges représentent les vérités-terrain. (B) Modèle 3D d'une colonie d'hermelles.

Photoquadrats comme réponses

Une campagne d'échantillonnage a été menée le 26 juin 2017 par deux personnes munies, chacune, d'une caméra visible et d'un quadrat de 0.5 m × 0.5 m, totalisant 303 photoquadrats géoréférencés (WGS 84). Le jeu de données a été scindé en 202 échantillons de calibration et 101 de validation. Chaque photoquadrat a été standardisé et analysé (cf. Collin et al. 2018) pour construire une matrice de données, caractérisant l'abondance relative de deux polychètes (*S. alveolata* et *Lanice conchilega*), trois bivalves (*M. gigas*, *M. edulis* et *C. fornicata*), des algues, des coquilles vides, du gravier, sable, vase et de l'eau.

Trois bandes du visible comme prédicteurs

Trois bandes spectrales ont été acquises par un levé de drone aérien (DJI Phantom 3) à basse altitude (100 m) le 22 septembre 2017. Une planification de vol a permis de collecter 109 photographies aériennes dont le centre de l'image était géoréférencé en XYZ (Fig. 2A). Une mosaïque a été élaborée par assemblage (Fig. 2B) et calée sur l'Ortholittorale V2.

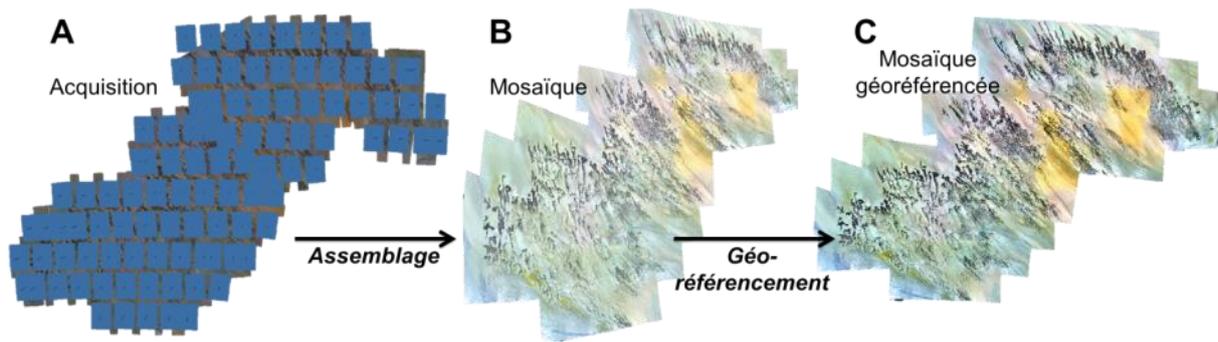


Figure 2 : (A) Acquisition des 109 images (bleu-vert-rouge) par drone aérien. (B) Assemblage des images en mosaïque. (C) Recalage de la mosaïque par géoréférencement se basant sur l'Ortholittorale V2.

Réseau de neurones artificiels comme modèle

La modélisation par réseau de neurones artificiels a été sélectionnée du fait de ses meilleures performances par rapport aux régresseurs linéaires multiples et généralisés (Collin et al. 2017). La réponse, spatialement discrète, de l'abondance des tubes d'hermelles est modélisée par la combinaison des trois prédicteurs spectraux, spatialement continus. Le réseau de neurones minimise les moindres carrés en utilisant une couche intermédiaire pour approximer la réponse, $h(X)$, avec les prédicteurs spectraux, X , par le biais de fonctions pondérées, w_i , appelées neurones, n_i (Heermann and Khazenie 1992):

$$h(X) = k\left(\sum_i w_i n_i(X)\right)$$

Résultats et Discussion

Le jeu de données de calibration (N=202) a permis de construire un réseau de neurones très satisfaisant ($R^2=0.82$, EQM=0.06). Le pouvoir prédictif de ce réseau est aussi robuste (N=101, $R^2=0.75$, EQM=0.06). Les trois formules de la couche intermédiaire ont été appliquées aux trois bandes spectrales, créant les trois images neuronales, qui, à leur tour, ont permis de créer le modèle THR de l'abondance des tubes d'hermelles (Fig. 3). Le modèle spatial montre une spatialisation nette de l'abondance des tubes : grande abondance face à la mer et faible abondance en arrière. Le front abondant est exposé à l'hydrodynamisme et potentiellement à des sédiments plus grossiers, contrairement, à l'arrière, plus abrité, et donc baignant dans des environnements plus vaseux. L'activité de construction des tubes peut donc être favorisée sur le front, alors que les sédiments fins ne sont pas favorables à une activité de bioconstruction et limitent l'activité d'alimentation par colmatage des structures de filtration (Dubois et al. 2005).

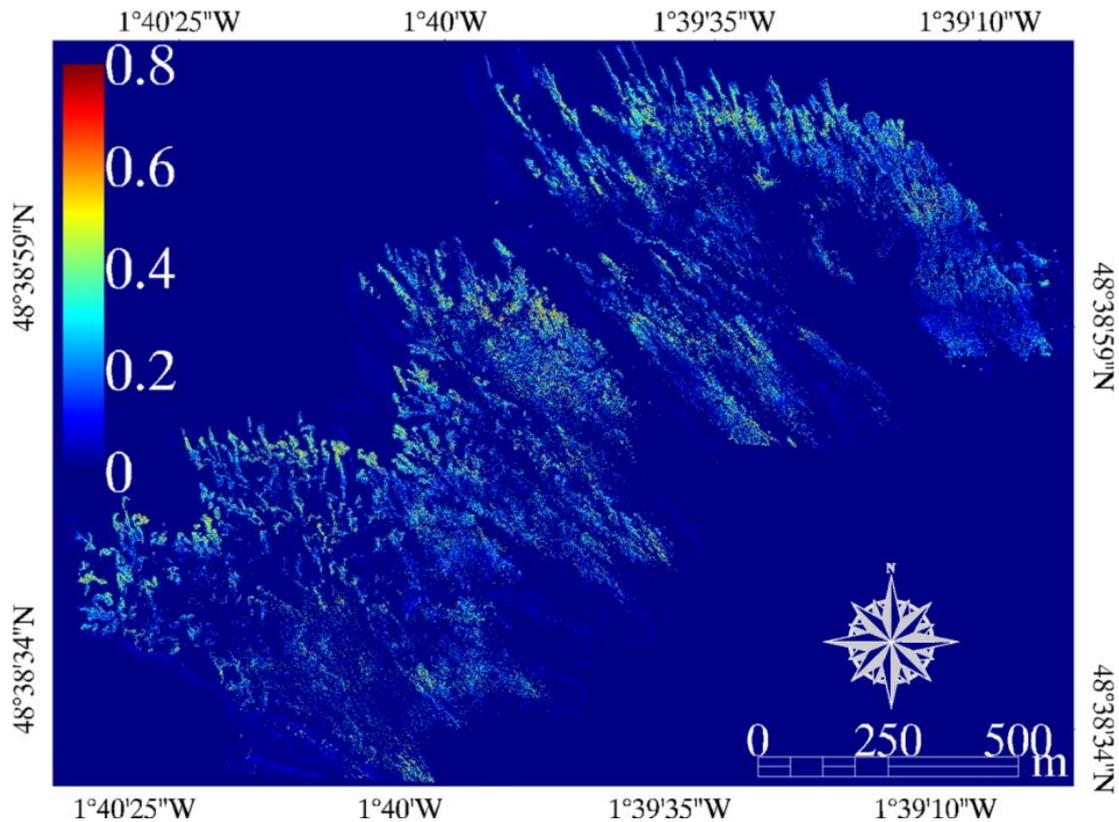


Figure 3 : Modélisation spatiale de l'abondance des tubes d'hermelles par une caméra visible montée sur un drone et un réseau de neurones artificiels (24731 x 18277 pixels, 0.08 m de résolution).

Conclusion

Cette recherche originale démontre qu'une caméra visible montée sur un drone aérien « grand public » permet de modéliser spatialement l'abondance des tubes d'hermelles de la plus grande bioconstruction intertidale d'Europe à très haute résolution (0.08 m). Par assemblage de 109 images, une mosaïque volumineuse (24731 x 18277 pixels) peut être géoréférencée. Calibré par des photoquadrats rapidement collectés, un réseau de neurones artificiels construit un modèle robuste de l'abondance des tubes d'hermelles ($R^2=0.75$, EQM=0.06). Les perspectives de développement sont nombreuses et impliquent l'utilisation d'un capteur hyperspectral dans la caractérisation de l'état de santé de ces bioconstructions.

- Collin, A., S. Dubois, C. Ramambason, S. Etienne, E. 2018. Rapid fine-scale mapping of honeycomb worm (*Sabellaria alveolata*) reef abundance using airborne multispectral imagery and neural network. *International J. Remote Sensing* submitted.
- Collin, A., S. Etienne, E. Feunteun, E. 2017. VHR coastal bathymetry using WorldView-3: colour versus learner. *Remote Sensing Letters* 8(11): 1072-1081.
- Desroy, N., S. Dubois, J. Fournier, L. Ricquiers, P. Le Mao, P., L. Guérin, L., ... , A. Legendre. 2011. The conservation status of *Sabellaria alveolata* (L.) (Polychaeta: Sabellariidae) reefs in the Bay of Mont-Saint-Michel. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 21(5): 462-471.
- Dubois, S., C. Retière, F. Olivier. 2002. Biodiversity associated with *Sabellaria alveolata* (Polychaeta: Sabellariidae) reefs: effects of human disturbances. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 82(5): 817-826.
- Dubois, S., L. Barillé, B. Cogne, P.G. Beninger. 2005. Particle capture and processing mechanisms in *Sabellaria alveolata* (Polychaeta: Sabellariidae). *Marine Ecology Progress Series* 301: 159-171.
- Heermann, P.D., N. Khazenie. 1992. Classification of multispectral remote sensing data using a back-propagation neural network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 30(1): 81-88.
- Jones, A.G., S.F. Dubois, N. Desroy, J. Fournier. 2018. Interplay between abiotic factors and species assemblages mediated by the ecosystem engineer *Sabellaria alveolata* (Annelida: Polychaeta). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 200: 1-18.
- Noernberg, M.A., J. Fournier, S. Dubois, J. Populus. 2010. Using airborne laser altimetry to estimate *Sabellaria alveolata* (Polychaeta: Sabellariidae) reefs volume in tidal flat environments. *Estuarine, coastal and shelf science* 90(2): 93-102.
- Plicanti, A., R. Dominguez, S. Dubois, I. Bertocci. 2016. Human impacts on biogenic habitats: Effects of experimental trampling on *Sabellaria alveolata* (Linnaeus, 1767) reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 478: 34-44.
- Rollet, C., Matherion, D., Desroy, N., Le Mao, P. 2015. Suivi de l'état de conservation des récifs d'hermelles (*Sabellaria alveolata*). Rapport Final. Ifremer/ODE/LITTORAL/LER/BN-15-008.

Gestion des doublons dans le cadre du recensement de la mégafaune marine par imagerie aérienne

R. Dambreville¹, K. Ballorain^{2,3}, C. Jean⁴, G. Duclos^{1*}

¹WIPSEA, Rennes, France.

²Agence française pour la biodiversité, Parc Naturel Marin de Mayotte, Mayotte, France

³ Association Escale, Mayotte, France

⁴Kélonia, La Réunion, France

Introduction

L'utilisation de drones aériens pour l'acquisition de données écologiques, et notamment pour la création de cartes de distribution de ressources naturelles, s'impose petit à petit comme une solution majeure. Le projet SemmaDrone, présenté il y a 2 ans lors du précédent colloque Merigéo, s'inscrit dans cette dynamique en proposant une solution de recensement semi-automatique de la mégafaune marine, couvrant l'intégralité de la chaîne de traitement: de l'acquisition des photos à la production de cartes de distribution spatiale de données géoréférencées. Une première application du projet vise l'étude et le suivi de populations de tortues marines au sein d'habitats côtiers peu profonds (<2 m) [1][2]. L'une des principales limites de cette méthode de recensement réside dans la création artificielle de "doublons", définis comme des individus présents sur différentes images acquises au cours d'un même vol. Des doublons peuvent apparaître en raison du recouvrement entre des photos successives, appelés « doublons de recouvrement », ou suite au déplacement d'un individu le long de la trajectoire du drone, nommés « doublons de transect » (Figure 1). L'identification et l'extraction des doublons sont des étapes nécessaires à l'estimation fine de la taille des populations étudiées, mais considérablement chronophages via les logiciels de SIG classiques. Si la détection automatique des doublons de transect semble pour l'instant inenvisageable avec les moyens actuels, celle des doublons de recouvrement semble, elle, possible. En effet, si les photos successives d'un transect sont prises à quelques secondes d'intervalle, la position des individus d'une photo à l'autre peut être considérée comme fixe. Dans ces conditions, la création d'une mosaïque géoréférencée de l'ensemble des photos acquises permettrait de résoudre l'affichage des doublons. Cependant, aujourd'hui les mosaïques construites à partir d'images aériennes prises en milieu marin n'offrent pas de précisions géographiques suffisantes en raison de leur homogénéité et du manque de points de référence. Cette précision, généralement de l'ordre de plusieurs mètres, est alors insuffisante pour différencier un individu fixe d'un autre se déplaçant. Aussi nous proposons dans cet article une méthode de détection des doublons de recouvrement pour laquelle un algorithme a été développé en s'appuyant sur les positions relatives des individus les uns par rapport aux autres et en s'affranchissant de la précision du géoréférencement.

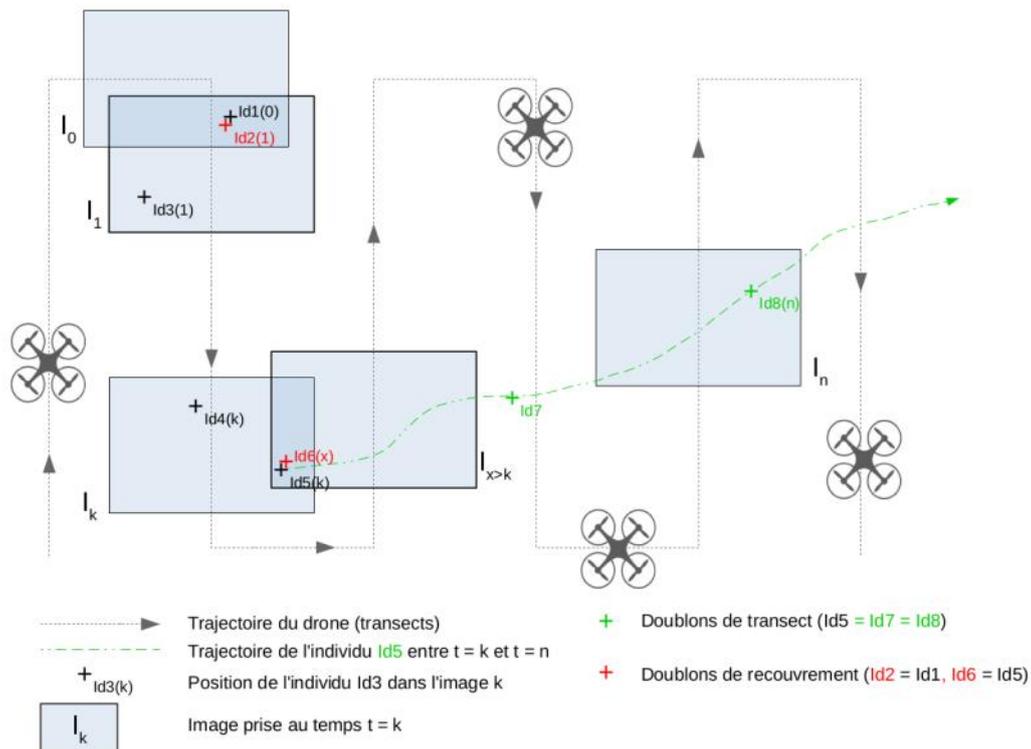


Figure 1: Doublons de recouvrement et de transect au sein d'images acquises lors d'un même vol drone

Méthodologie

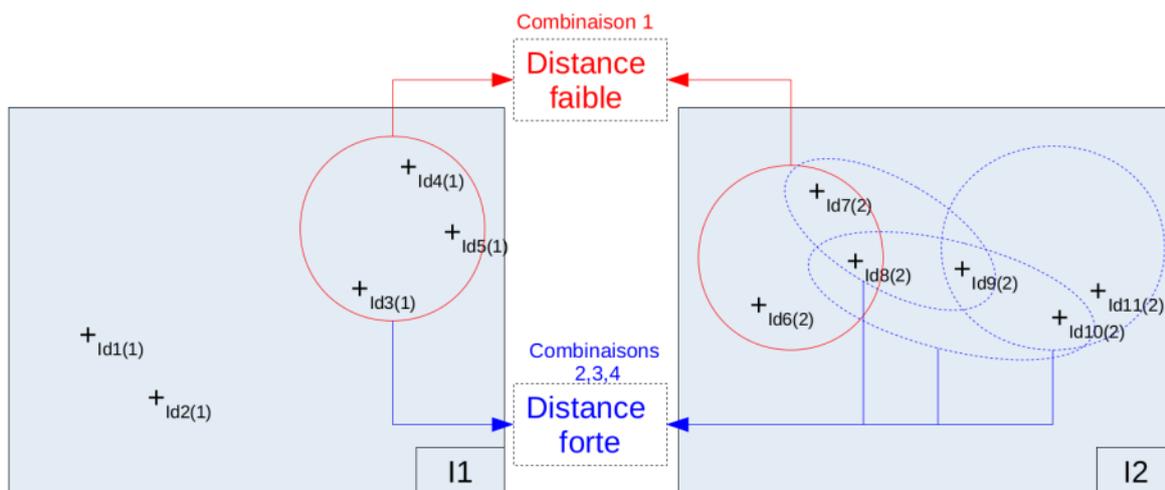
L'algorithme de détection des doublons de recouvrement présenté ici s'inscrit dans le processus de recensement du système [SemmaDrone](#). Dans ce système, les photos géoréférencées acquises par le drone ont d'abord été projetées, puis analysées afin d'extraire (automatiquement ou manuellement) pour chaque photo, les coordonnées géographiques de tous les individus présents (tortues et autres cibles.). C'est à partir de ces coordonnées que sont détectés les potentiels doublons entre deux images successives **I1** et **I2** en suivant la procédure suivante :

- 1) Ordonner les individus (Est-Ouest/Nord-Sud) sur **I1** et **I2**
- 2) Lister toutes les combinaisons de doublons possibles
- 3) Calculer une « distance » correspondant à la moyenne des distances entre les individus d'une même combinaison
- 4) Identifier et sélectionner la meilleure correspondance de « distance » pour la paire (**I1**, **I2**)

Le fait d'ordonner les individus permet de réduire considérablement le nombre de combinaisons possibles en s'appuyant sur l'hypothèse que l'ordre des individus n'est pas modifié d'une image à l'autre (hypothèse vérifiée lorsque les images sont très proches). L'étape **2)** consiste à lister l'ensemble des combinaisons possibles, c'est à dire trouver pour toutes les paires, triplets etc. de l'image **I1**, les potentiels doublons (paires, triplets, etc.) de l'image **I2**. Le cœur de l'algorithme réside alors dans le calcul d'une distance (indice)

caractéristique pour chacune de ces combinaisons. Cette distance est représentative de la différence entre les configurations des individus dans chaque image.

L'exemple donné en Figure 2 illustre ce procédé : la combinaison 1 obtient une distance plus faible puisque la configuration du triplet $\{6,7,8\}$ de l'image **I2** est plus proche de celle du triplet $\{3,4,5\}$ de l'image **I1** que de toutes les autres configurations de triplets de l'image **I2**. Les individus $\{6, 7, 8\}$ de l'image **I2** seront donc proposés comme doublons des individus $\{3, 4, 5\}$ de l'image **I1**. Le procédé expliqué en Figure 2 pour les triplets est également répété pour toutes les autres possibilités (paires, quadruplets, etc.). Il s'agira alors de trouver parmi l'ensemble des scores de distances résultant un minimum qui définira la proposition de doublons pour la paire (**I1,I2**) s'il est inférieur à un seuil S préalablement établi. Ce seuil est le paramètre principal de la méthode. Il permet de régler la tolérance de mouvement que l'on souhaite accepter pour les doublons : plus il est haut, plus il autorise à appairer des individus dont la configuration a évolué entre les deux images. Il est donc intimement lié à la vitesse estimée des individus et à la fréquence d'acquisition des images. Enfin, il existe un cas particulier pour lequel cette procédure ne peut s'appliquer : le cas de la tortue isolée (seule dans une photo), ne permettant pas de calcul de configuration. Dans ce cas, la détection de doublon s'appuie uniquement sur un calcul de distance brute entre les individus.



+_{Id1(1)} Individu 1 de l'image I1

Proposition : $Id6(2) = Id3(1)$
 $Id7(2) = Id4(1)$
 $Id8(2) = Id5(1)$

Figure 2: Procédé de comparaison des combinaisons de doublons de recouvrement au sein de deux images successives (I1 et I2) acquises lors d'un même vol drone

Résultats expérimentaux

La méthode précédemment décrite a été évaluée sur un vol de recensement de tortues marines effectué dans la baie de N'Gouja à Mayotte, grâce à un drone SenseFly swinglet CAM. Une première identification visuelle des doublons, effectuée par un expert, a permis d'établir une "vérité terrain" utilisée par la suite pour quantifier les résultats de la méthode proposée. Ces résultats sont présentés dans la table 1 :

Table 1. Comparaison des résultats de la vérité terrain à ceux de l’algorithme de détection de doublons au sein d’un jeu de photos test.

Données brutes		Résultats de l’algorithme	
Nombre de photos	64	Doublons détectés	61
Résolution	4000x3000	Détections correctes	57 (90%)
Nombre d’individus	175	Détections fausses	4 (7%)
Doublons (vérité terrain)	63	Détections manquées	6 (10%)

Ces performances, plus qu’encourageantes, mettent en évidence la pertinence de ces travaux. En effet, la détection manuelle des doublons au sein de la plateforme QGIS est une opération relativement coûteuse en temps de travail. Le temps nécessaire à l’identification et à l’annotation d’un doublon est estimé à 1 min en moyenne ; le gain de temps total pour l’ensemble du projet est dépendant du nombre de photos et du nombre de doublons détectés au sein d’une photo.

Conclusion

La méthode de détection des doublons présentée ici constitue une étape supplémentaire vers l’automatisation du procédé de recensement de la mégafaune marine par imagerie aérienne. Les résultats obtenus permettent déjà un gain de temps non négligeable et sont, par construction, robustes face aux éventuels manques de précision des outils de géoréférencement. Cependant, l’algorithme développé lors de cette étude a été testé sur un seul vol de 64 photos, et nécessite une validation qui s’appuiera sur les projets à venir. Par ailleurs, nous n’avons traité ici qu’une partie du problème global, puisque le cas des doublons de transect reste encore sans solution à l’heure actuelle. La réponse à ce problème viendra très probablement d’un travail en synergie entre la planification du plan de vol et le développement d’une méthode de détection spécifique que nous étudierons prochainement. L’ensemble de ces travaux permettra, à terme, de faciliter considérablement le recensement de la mégafaune marine et d’assurer un suivi régulier des populations.

[1] Sykora-Bodie, S. T. et al : Quantifying Nearshore Sea Turtle Densities : Applications of Unmanned Aerial Systems for Population Assesments. Nature Scientific Reports. DOI:10.1038/s41598-017-17719-x

[2] Rees, A. F. et al. : The potential of unmanned aerial systems for sea turtle research and conservation : a review and future directions : Endangered Species Research (In Press) <https://doi.org/10.3354/esr00877>

Suivis Vidéo de la dynamique hydro-sédimentaire côtière : exemples d'applications sur le littoral méditerranéen

BALOUIN Yann^{1*}, BELON Rémi², BOUVIER Clément^{1,3}, PALVADEAU Eric¹, STEPANIAN Alexis⁴

¹BRGM, Univ Montpellier, Montpellier, France.

²BRGM, Saint-Denis, France.

³UMR CNRS 5805 EPOC, OASU, Université Bordeaux I, Talence, France

⁴BRGM, Marseille, France.

Introduction

Le suivi vidéo de la dynamique littorale s'est développé depuis les années 80 (Holman et Stanley, 1997), et de nombreux outils ont été mis en place pour analyser les signatures optiques des morphologies côtières et de l'hydrodynamique. L'intérêt majeur du suivi vidéo réside dans l'acquisition à haute fréquence et en continu, y compris lors des tempêtes, fournissant des données originales quantitatives inaccessibles à l'heure actuelle avec les moyens de suivi classiques dont on dispose (levés bathymétriques, mesures de houle, courants).

Différents systèmes sont actuellement à disposition : des appareils time-lapse bon marché à des systèmes éprouvés comme ARGUS, VM4GIS, CAM-ERA, ... On peut ainsi avoir rapidement accès à des indicateurs qualitatifs de l'état du littoral, ou par des traitement plus complexes à des indicateurs quantitatifs tels que les vagues, les courants, la bathymétrie.

En Méditerranée, des dispositifs à différentes résolutions ont été utilisés ces dernières années pour le suivi du littoral et la compréhension des mécanismes hydro-sédimentaires, en réponse notamment à des aménagements côtiers (atténuateur de houle, brise-lames) ou à la dynamique des banquettes de feuilles de posidonies déposées sur les plages.

Méthodes

Selon les objectifs de suivis, plusieurs techniques vidéo sont à disposition, plus ou moins coûteuses, plus ou moins faciles à mettre en œuvre, et avec des résolutions plus ou moins fines. Le choix de la technique doit donc répondre à des critères tels que : la superficie de la zone à suivre, la durée du suivi, les contraintes d'installation, les besoins en termes de résolution qui sont très variables selon les applications et la dynamique des phénomènes observés.

Quel que soit le choix du matériel, la méthode consiste à installer sur le littoral des caméras à haute résolution, suffisamment en hauteur, et à une distance proche des morphologies à observer. Un levé de points de contrôle par GPS est effectué sur le site pour obtenir les informations indispensables au traitement. Des techniques de photogrammétrie sont par la

suite utilisées pour rectifier et géo-référencer les images obtenues. On peut alors mettre en œuvre des traitements thématiques de ces images rectifiées. Ces algorithmes, développés sous Matlab®, permettent par exemple la détection automatique du trait de côte (Armaroli *et al.*, 2006), l'analyse des vagues et des courants de surface (Holman et Stanley, 2007), la détection des barres sableuses sous-marines (Balouin *et al.*, 2013), dans certains cas la topographie émergée (Balouin *et al.*, 2004), et la bathymétrie, et enfin la reconnaissance d'objets permettant par exemple le comptage des usagers sur la plage (Balouin *et al.*, 2015) ou la détection des banquettes à posidonies ou à sargasses.

Applications sur le littoral méditerranéen

L'objectif de ce travail est de présenter, au travers d'exemples utilisant différents systèmes vidéo, les développements récents réalisés en terme de traitement et d'analyse pour le suivi du littoral. Trois technologies ont été utilisées ces dernières années sur le littoral méditerranéen : le dispositif ARGUS à Sète, le dispositif VM4GIS au Barcarès et des systèmes *low cost* sur le littoral de Corse.

Suivi du Lido de Sète à Marseillan

La plage du Lido de Sète a fait l'objet d'un important programme d'aménagement ces dernières années, avec le recul de la route littorale, la réhabilitation de la plage et du cordon dunaire, et l'expérimentation de techniques de lutte contre l'érosion côtière. Afin de suivre cette expérimentation, un dispositif ARGUS a été mis en place en 2011. Il est constitué de 2 masts de 20 m supportant 8 caméras et permettant le suivi en continu de 4 km de plage du triangle de Villeroy aux trois digues.

Ce dispositif permet le suivi de la position du trait de côte, des barres d'avant-côte, mais sa résolution permet également le suivi des forçages hydrodynamique et la reconstitution de la bathymétrie. Pour cette dernière, la technique cBathy (Holman *et al.*, 2013) s'appuie sur l'observation du champ de vagues de surface. Cet outil permet d'obtenir la profondeur d'eau en se basant sur la relation linéaire de dispersion :

$$\sigma^2 = gk \tanh(kh)$$

Où σ et k sont la fréquence ($2\pi/T$ avec T la période des vagues) et le nombre d'onde ($2\pi/\lambda$ avec λ la longueur d'onde des vagues) respectivement. g est la gravité et h la profondeur. L'algorithme consiste à estimer la vitesse de propagation des vagues (σ/k) qui permettra d'obtenir la profondeur h .

L'application de cet outil sur le littoral de Sète permet d'obtenir des résultats très intéressants qui sont toujours en cours de validation (levé bathymétrique programmé début 2018 pour une estimation fine des erreurs). La figure 1 présente ainsi le résultat pour la journée du 15 Janvier 2018.

Suivi de la plage du Barcarès

Sur la plage du Barcarès, dans les Pyrénées-Orientales, un dispositif VM4GIS (Rihouet *et al.*, 2011) a été mis en place en 2014 suite à l'implantation de 3 brise-lames. L'objectif de ce suivi réside dans la compréhension des modifications de la dynamique littorale par ces ouvrages, et dans l'évaluation de leur efficacité.

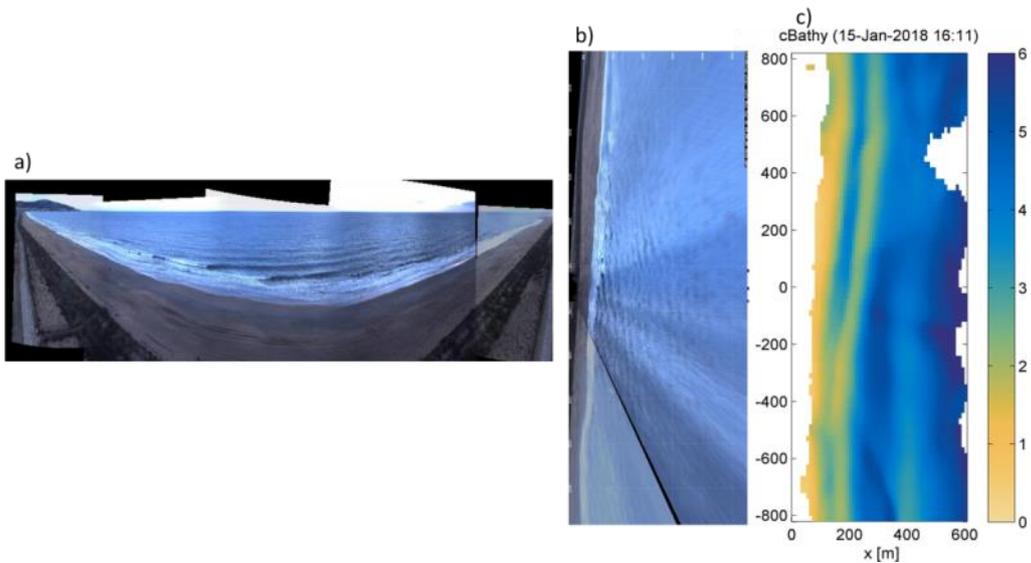


Figure 1 : Résultat de la reconstruction bathymétrique du 15 janvier 2018 : a) panorama des images brutes ; b) image rectifiée, et c) résultats de cBathy.

La figure 2 présente le suivi temporel de la position du trait de côte en fonction des conditions météo-marines (épisodes de tramontane et tempêtes marines), ainsi que les phases de rechargement de plage qui sont réalisées annuellement depuis la mise en place des brise-lames. Les analyses ont notamment permis de mieux comprendre le rôle des forçages météo-marins sur le développement et la dynamique des tombolos derrière les brise-lames. Les tempêtes marines tendent à linéariser le trait de côte, alors que les épisodes de tramontane (vent quasi-parallèle au trait de côte) ont tendance à développer les tombolos. Ces variations semblent s’effectuer à volume sableux constant, bien que le volume global (levés bathymétriques non présentés ici) est en augmentation du fait de rechargements réguliers.

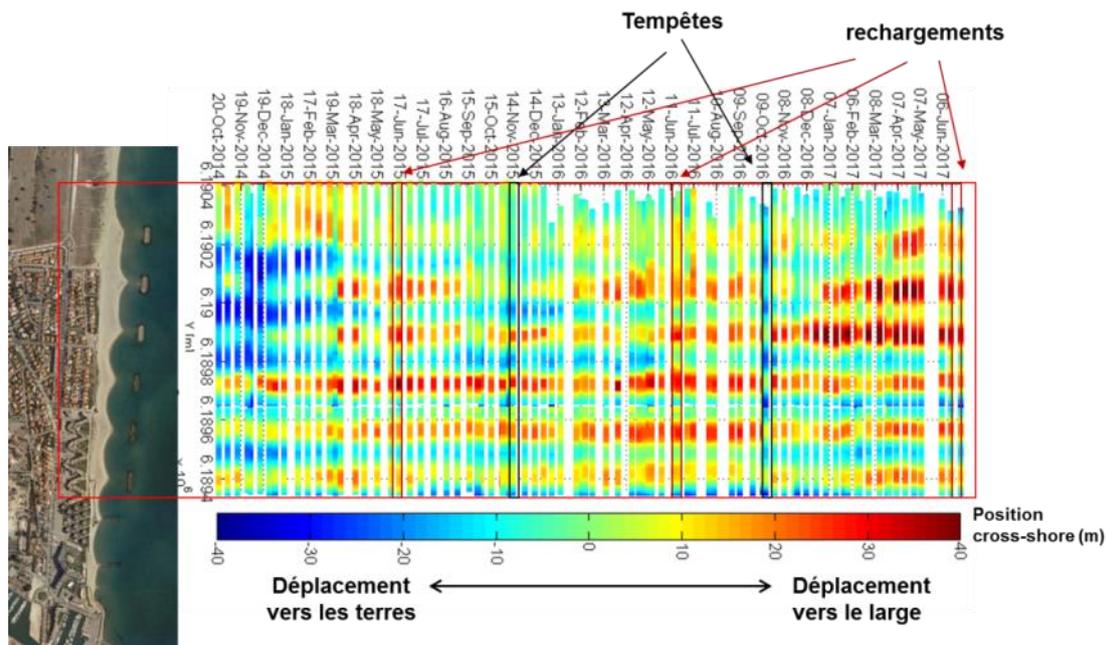


Figure 2 : Evolution temporelle et spatiale de la position du trait de côte sur la plage du Barcarès.

Suivi de la plage de l'Ostriconi en Corse

Sur le littoral de Corse, des appareils photo time-lapse (©Solarcam) ont été disposés sur plusieurs plages pour analyser le rôle des banquettes à posidonies sur l'évolution du trait de côte. L'objectif était à la fois de mieux comprendre la dynamique des banquettes (érosion/dépôt), mais également d'évaluer l'effet protecteur de ces banquettes pendant les tempêtes. Des outils de traitement similaires à ceux des systèmes vidéo ont été développés, et si ces appareils ont une résolution nettement moins bonne que les systèmes vidéo précédents, ils permettent tout de même d'obtenir des informations quantitatives intéressantes sur les petites plages de poche de Corse.

La figure 3 présente un exemple de traitement réalisés sur la plage de l'Ostriconi. Les résultats ont notamment permis de caractériser l'influence de la direction de la houle sur les dépôts/érosion des banquettes, ainsi que les phénomènes de basculement des plages lors de vagues obliques. Ils permettent également d'attester du rôle protecteur de ces banquettes lors des tempêtes, qui reste toutefois à investiguer plus en détail.

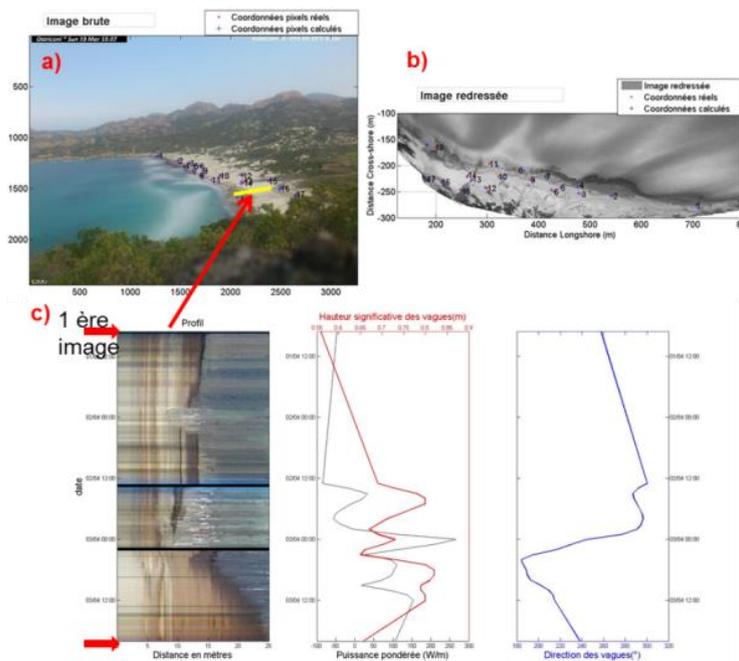


Figure 3 : Traitement réalisés sur les images low cost sur la plage de l'Ostriconi : a) image brute moyennée sur 10 min, b) image redressée, et c) analyse temporelle d'un profil d'intensité transverse mettant en évidence la mobilité du trait de côte et de la banquette au cours d'une tempête.

Conclusion

Les systèmes d'observation vidéo du littoral sont en plein développement ces dernières années. Les résultats présentés ici montrent le potentiel de ces outils pour obtenir des données quantitatives en continu, y compris pendant les épisodes de tempêtes pendant lesquels les mesures in-situ restent difficiles et risquées (pour le matériel et les hommes).

Utilisation du LiDAR pour des indicateurs du suivi géomorphologique du littoral sableux aquitain

Ayache B.¹, Ulvoas B.¹, Bernon N.¹

¹BRGM, Pessac, France.

Contexte

Le littoral sableux aquitain évolue rapidement et est soumis localement à de fortes érosions. La succession de plusieurs évènements de forte agitation météo-marine entre novembre 2013 et mars 2014 a généré un contexte érosif « exceptionnel » sur le littoral sableux aquitain. Un recul généralisé du trait de côte de plusieurs mètres (5 à 10 m en moyenne, jusqu'à 20 m par endroit) a été observé, de même qu'un abaissement de l'altitude des plages de 1 à 2 mètres (Bulteau et al., 2014).

Afin de quantifier et qualifier cette évolution, l'Observatoire de la Côte Aquitaine procède à des campagnes de mesures annuelles et fait l'acquisition d'un levé exhaustif du relief du littoral aquitain en période automnale. La technologie LiDAR permet actuellement de modéliser avec une précision correcte le relief de la côte Aquitaine (BRGM/RP-67188-FR).

Sur les 6 dernières années, l'Observatoire de la Côte Aquitaine dispose de trois jeux de données LiDAR topographiques permettant d'observer et de mesurer des différences ou encore de calculer des bilans sédimentaires lors des expertises locales.

Ce projet s'est déroulé en 2017 dans le cadre des missions de l'Observatoire de la côte aquitaine. Il a ainsi été financé par le SGAR Aquitaine, la Région Aquitaine, les Conseils départementaux des Landes, de Gironde et des Pyrénées Atlantique, le SIBA et le BRGM. Il a également fait l'objet d'une convention de partenariat avec l'IGN pour les levés LiDAR.

Objectifs et méthode

Nous exposons ici les travaux d'exploitation de ces jeux de données LiDAR topographiques à l'échelle de la côte sableuse de l'ex Aquitaine proposant des indicateurs de suivis des évolutions géomorphologique du littoral.

Les analyses présentées ont été réalisées à partir des différentiels altimétriques fournis par l'IGN entre les levés LiDAR 2011, 2014 et 2016 ainsi que les MNT LiDAR et les orthophotographies infrarouges (lorsque disponible) correspondants.

Si le LiDAR 2014 présente quelques interrogations soulevées dans le rapport BRGM/RP-67188-FR, les deux différentiels constituent néanmoins une information très utile pour proposer une analyse géomorphologique à l'échelle du littoral aquitain sur ces 5 années marquées par les tempêtes de l'hiver 2013-2014.

Les différentiels sont des rasters contenant des mailles de 1 m² avec pour valeur la différence entre le LiDAR 2014 et le LiDAR 2011, puis entre le LiDAR 2016 et 2014.

Les différentiels sont faits à partir de l'année la plus récente, ainsi une valeur positive représente un gain d'altitude, assimilable à une accrétion sur le littoral sableux aquitain, tandis qu'une valeur négative signifie une perte d'altitude, soit une érosion.

Trois indicateurs proposés à partir de traitements géomatique (traitements raster, vectorisation, détection des formes et calculs des caractéristiques géométriques) ont été réalisés à l'échelle régionale, le premier permet de localiser et de quantifier le recul du trait de côte, le second permet de mettre en évidence les banquettes le long du trait de côte marquant le retour à une situation géomorphologique normal après de fortes érosions, enfin le troisième traitement a permis de réaliser un bilan sédimentaire sur les 2 périodes.

Un second axe de travail a permis d'explorer différentes techniques de détermination du trait de côte. Celui-ci peut être matérialisé par la présence de végétation sur la côte sableuse, auquel cas les traitements se font sur les orthophotographies infrarouges. Un trait de côte peut également correspondre à des ruptures de pentes : celles-ci utilisent le LiDAR alliant calculs de dérivées (pentes) et dérivées secondes (ruptures de pentes) à des techniques de traitements d'images (appliquées sur les MNT ou les cartes de pentes).

Résultats

Détection d'entailles d'érosion dunaire sur la période 2011-2014

Une érosion dunaire correspond selon notre méthodologie à un secteur homogène ayant une différence d'altitude de plus de -3 m entre le LiDAR 2014 et le LiDAR 2011.

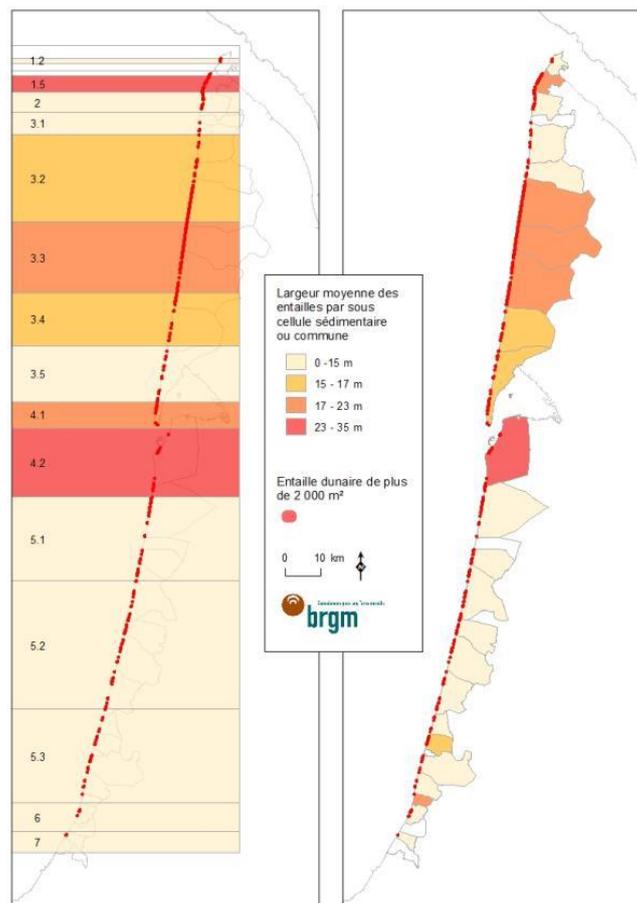


Figure 1 : Entailles d'érosion dunaire sur la période 2011-2014

La répartition spatiale des 153 polygones de plus de 2 000 m² présentée ci-dessus montre une érosion plus importante sur le département de la Gironde que sur le département des Landes pour la période 2011-2014 confirmant le constat post-tempête 2014 réalisé par Bulteau *et al.* (2014), à savoir que l'érosion a été plus forte le long des côtes girondines que landaises.

En détail les entailles d'érosion dunaires ont des largeurs allant de 6 à 37 m, des longueurs allant de la centaine de mètres à plus de 3 km et des superficies pouvant dépasser 60 000 m². En moyenne, ces entailles font 520 m de long sur une largeur de 16 m et une surface de 9 000 m².

Détection de banquettes sur la période 2014-2016

Une banquette correspond selon notre méthodologie à un secteur homogène ayant une différence d'altitude de plus de +1 m entre le LiDAR 2016 et le LiDAR 2014.

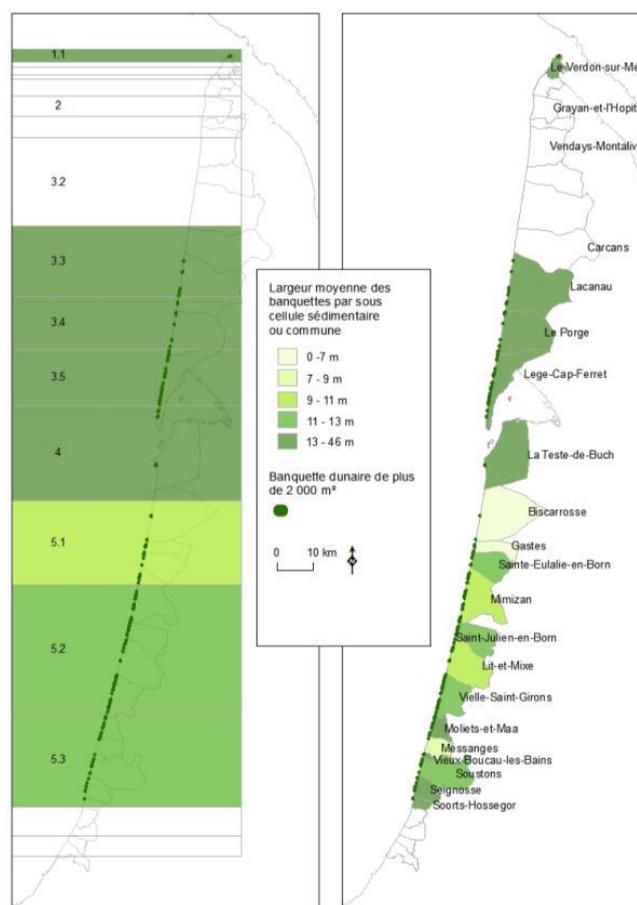


Figure 2 : Banquettes dunaires sur la période 2016-2014

La répartition spatiale des 85 polygones de plus de 2 000 m² marquant un retour progressif à une situation géomorphologique normale après de fortes érosions, et ainsi une phase d'accrétion. La figure ci-dessus montre notamment l'absence de formation de banquette dans le nord du département de la Gironde.

Aide à la décision pour la détection du trait de côte

Les différents contextes géomorphologiques de la côte Aquitaine (côte rocheuse et côte sableuse) ainsi que la variabilité des profils de plages sableuses (dune marquée, absence de dune, ouvrage de protection) rendent une automatisation complète inapplicable, les méthodes présentées ci-dessous constituent un outil d'aide à la décision pour délimiter le trait de côte lors de nouvelles acquisitions LiDAR.

Notons en particulier la dérivée seconde du MNT. Parallèle à la pente, la courbure longitudinale s'appuie sur ce calcul et indique la direction de la pente maximale. Les courbures négatives correspondent à des surfaces convexes, tandis que les courbures positives correspondent à des formes concaves.

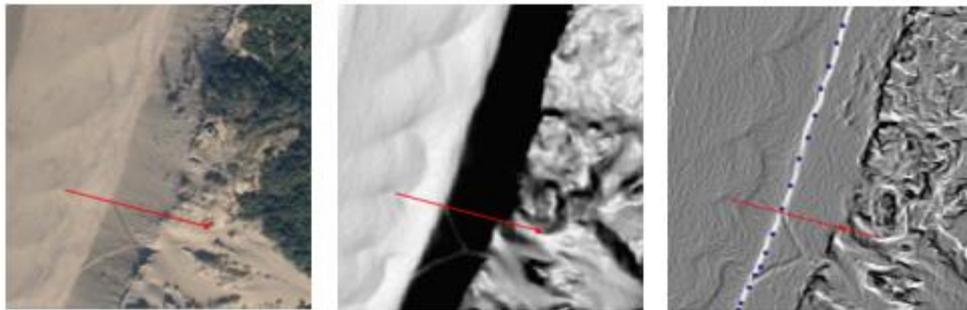


Figure 3 : Exemple de courbure longitudinale sur une plage sableuse à la dune marquée

Dans des secteurs où la dune est bien marquée, le calcul de la courbure longitudinale permet de déterminer aisément la position du pied de la dune, marquant le trait de côte, en blanc sur la carte de droite sur une largeur d'un voire deux mètres. Le sommet de la dune de forme convexe, est repérable par le liseré noir marquant de fortes valeurs positives sur la figure en bas à droite. Le pied de la dune, de forme concave, est représenté par la polygone blanche, correspondant à des valeurs « fortement » négatives. Les points bleus matérialisent les mesures du trait de côte sur le terrain.

Conclusion

Les jeux de données LiDAR se démocratisant grâce à l'amélioration des techniques et la diminution des coûts ou encore grâce aux efforts de mutualisation, offrent la possibilité de proposer des indicateurs de suivi géomorphologique de nos littoraux.

En Aquitaine le BRGM et l'ONF, dans le cadre de l'Observatoire de la Côte Aquitaine, s'appuient sur de nouveaux outils pour cibler les secteurs à forte variabilité et pour évaluer l'évolution du trait de côte.

A l'avenir la disponibilité d'un LiDAR bathymétrique permettra d'envisager de nouveaux indicateurs, notamment pour identifier les formations de baie.

La stratégie de suivi du littoral Manche Est-Mer du Nord : des levés topo-bathymétriques au service des acteurs du littoral

Sandrine Le Jeune¹, Arnaud Thulie²

¹Shom, Brest, France.

²ROLNP, Caen, France.

Fournir une donnée de base nécessaire au suivi de la dynamique côtière

Face aux risques littoraux de plus en plus prégnants, les autorités locales ont besoin de données scientifiques fiables leur permettant de prendre en toute connaissance de cause les décisions qui leur incombent.

Si un levé précis du littoral côté terre est disponible depuis 2012¹, il n'existait pas, jusqu'à présent, de données permettant une vision précise du continuum terre-mer homogène sur le littoral depuis la Baie du Mont Saint Michel jusqu'à la frontière belge. Or, les phénomènes liés à la dynamique côtière sont à appréhender à une échelle géographique pertinente -à minima celle de la cellule hydrosédimentaire- et grâce à des séries de données produites sur des pas de temps suffisamment longs. Cette vision globale est possible grâce à des données acquises selon des protocoles interopérables, une emprise spatiale de suivi cohérente et des fréquences d'acquisition adaptées. La stratégie de suivi du littoral de Normandie et des Hauts-de-France a pour objectif de fournir à l'ensemble des acteurs du littoral une donnée topo-bathymétrique haute résolution, homogène spatialement, récurrente et de permettre de mutualiser les moyens pour de multiples utilisations.

Depuis 2013, le Réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard coordonne cette opération qui permet d'acquérir une cartographie en 3 dimensions du littoral de Normandie et des Hauts-de-France.

Une approche interrégionale et multi-partenariale unique en France

Suite à une mission de préfiguration en partenariat avec l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM) dans le cadre du programme COCORISCO, le ROLNP a organisé un tour de table des partenaires intéressés pour s'engager dans la gouvernance et le financement de cette stratégie. L'Etat, les Régions de Normandie et des Hauts-de-France, les Agences de l'Eau Seine-Normandie et Artois-Picardie et le Parc Naturel Marin des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale ainsi que le Shom se sont associés et constituent aujourd'hui le comité de suivi de la stratégie.

¹ Volet terrestre du produit Litto3D, IGN.

Un partenariat diversifié à l'image des utilisations que l'on peut en faire

Cette stratégie permet ainsi :

- de comprendre le système hydrosédimentaire dans son ensemble
- d'alimenter les réflexions dans les domaines de dynamique côtière, de risque, de suivi de la qualité des masses d'eau, de suivi des habitats naturels, d'aménagement du territoire, d'envasement/ensablement, des politiques de dragages des ports etc.
- de constituer des séries temporelles, à l'image des données météorologiques, permettant d'alimenter des modèles et à terme faire des prévisions pour être capable d'anticiper.
- de réaliser des économies d'échelle afin de regrouper les coûts des levés en mutualisant les démarches.
- d'étayer des recommandations pour les choix de gestion et d'aménagement mais aussi de hiérarchiser l'action publique.

Collectivités, services de l'Etat, acteurs socio-économiques, chercheurs peuvent ainsi bénéficier de données topographiques et bathymétriques fines, denses et qualifiées : information de base nécessaire notamment pour le suivi et la compréhension de la dynamique du trait de côte.

Les spécifications des données topo-bathymétriques

	Domaine marin	Domaine terrestre
Etendue longitudinale	Isobathe 5 à 10 mètres pour couvrir les petits fonds	400 mètres à l'intérieur des terres à minima (avec prise en compte des estuaires)
Etendue latérale	De la Baie de Cancale à la frontière belge	
Précision z^2	Meilleure que 40cm (2σ)	< 10 cm
Précision xy^3	2,80m (2σ)	<20 cm
Densité	1pt/25m ² à 1pt/9m ²	> 5 pts/m ²

Modalités d'acquisition

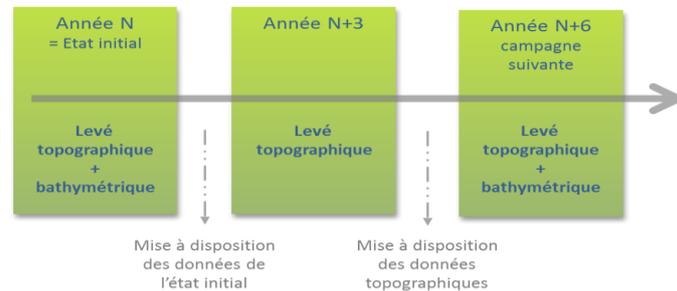
La réalisation d'un cycle complet de la stratégie repose sur la mise en œuvre d'un volet acquisition et traitement de la donnée qui s'organise selon 2 phases :

- phase 1 : réalisation d'un levé topo-bathymétrique par laser aéroporté (lidar). L'acquisition, le traitement et la qualification des données sont réalisées par le Shom.

² Précision relative calculée à partir de l'erreur relative selon les données constructeur

³ Précision relative calculée à partir de l'erreur relative selon les données constructeur

- phase 2 : réalisation d'un levé topographique trois ans plus tard par laser aéroporté (lidar). Cette opération est contractualisée par le ROLNP auprès d'un prestataire/partenaire dans le cadre d'un marché public/d'une convention.



Un partenariat technique ROLNP/Shom s'est mis en place pour la première phase d'acquisition des données topo-bathymétriques. L'adéquation entre les besoins exprimés pour l'état initial de la stratégie de suivi portée par le ROLNP et les spécifications de la stratégie nationale du produit Litto3D®, partie maritime, a encouragé le ROLNP et le Shom à mutualiser leurs démarches.

Les données sont acquises par le Shom grâce à la technologie d'un lidar aéroporté topo-bathymétrique composé de trois capteurs :

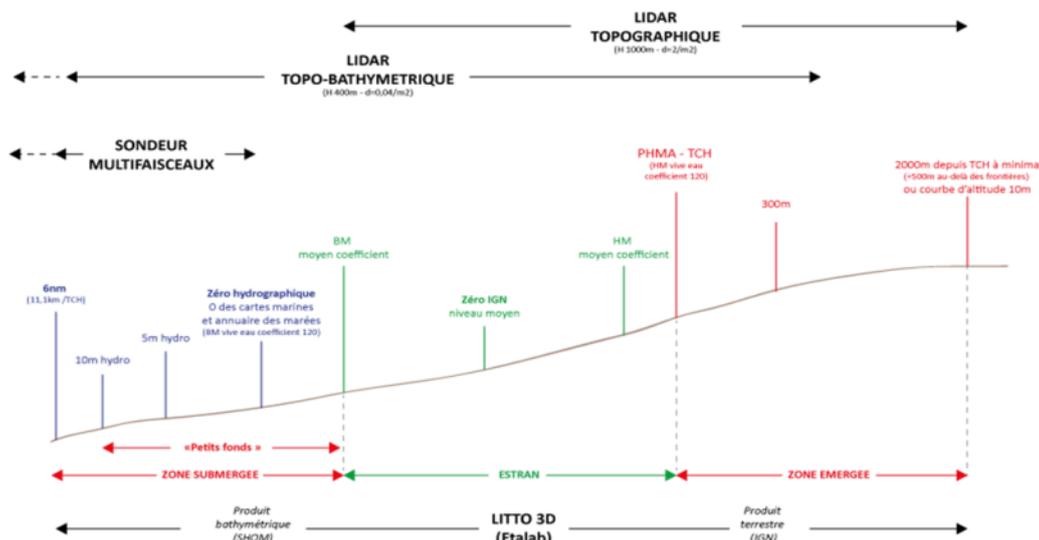
- topographique (terre)
- topo-bathymétrique (interface terre-mer)
- bathymétrique (mer)

Ces levés sont réalisés grâce à un laser aéroporté de dernière génération (Lidar HawkEye III) dont la technologie est la plus adaptée face aux eaux turbides de la Manche.

La partie acquisition sur le terrain par le Shom consiste en la planification et l'exécution des vols mais également le prétraitement de la donnée (invalidation ou revalidation de sondes). A l'issue de ces traitements, la couverture de la zone est réalisée et d'éventuels revols sont programmés.

Un levé de contrôle est effectué à chaque sortie sur une zone préalablement nivelée afin de s'assurer de la qualité de la donnée.

Une fois la partie acquisition terminée, les données sont transmises aux équipes de techniciens du Shom à Brest pour effectuer le traitement de la donnée.



Pour la phase 1, la zone définie s'étend de l'isobathe 5m (sous le zéro hydrographique proche des plus basses mers astronomiques) jusqu'à 400 m à l'intérieur des terres (sur la base du référentiel trait de côte Histolitt du Shom), en prenant en compte les estuaires et fonds de baies.

Mise à disposition : format

Les livrables finaux fournis par le Shom par dalle de 1km*1km sont exprimés dans le système de projection Lambert 93 associée au système géodésique Réseau Géodésique de la France 1993 (RGF93) et dans le système altimétrique IGN 1969 sont :

- des nuages de points xyz séparés sol et sursol (la distinction sol/sursol ne sera faite que jusqu'à une limite stable comme une route côtière, avec une emprise minimale de 400 mètres à l'intérieur des terres après TCH (Trait de côte Histolitt du Shom) ;
- des MNT 1m et 5m de résolution ;

Outre ces livrables, de nombreuses données d'acquisition ainsi que des données pré/post-traitées pourront être mises à disposition sur demande. Cependant, ces dernières sont extrêmement volumineuses et potentiellement inexploitable sans logiciels propriétaires. Elles peuvent néanmoins intéresser la sphère recherche.

Les données sont en accès libre sous licence ouverte / Open Licence Etalab (www.etalab.gouv.fr), accessible sur demande auprès du ROLNP (rolnp@conservatoire-du-littoral.fr), sur les sites de diffusion de donnée du Shom : www.data.shom.fr pour de la visualisation ou www.diffusion.shom.fr pour du téléchargement.

Valorisation des données et animation de la démarche

L'acquisition de données sera accompagnée d'un volet animation et valorisation des données réalisé par le ROLNP.

- **Valorisation des données** acquises auprès des acteurs locaux dans l'objectif d'alimenter les politiques littorales régionales et d'éclairer la prise de décision. Formation à l'utilisation des données pour une meilleure connaissance et appropriation par les acteurs locaux (en collaboration avec les structures de formation existantes).
- **Aide à l'émergence de projets collaboratifs** pour interpréter les données dans différents domaines, notamment au travers d'un appel à projets.

Retrouvez l'avancement du projet sur le site www.rolnp.fr

Exemples d'utilisation de ce type de données :
<http://georezo.net/blog/litto3d/category/cas-dusages/>

Une application WEB-SIG de suivi de la vulnérabilité systémique des littoraux (projet OSIRISC)

Olivier Marcel^{1*}, Iwan Le Berre¹, Mathias Rouan¹, Manuelle Philippe², Alain Henaff¹

¹LETG, UMR6554 CNRS, IUEM-Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, Pays.

²Amure, UMR6308 CNRS, IUEM-Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, Pays

Vers une gestion systémique des risques côtiers

La gestion de la submersion marine et de l'érosion côtière s'est longtemps inspirée d'une approche classique du risque, entendue comme le produit entre aléas et enjeux. Or, le concept de vulnérabilité a connu une expansion sémantique considérable, embrassant jusqu'aux sciences cognitives (Hénaff et al., 2014). Ainsi, le projet OSIRISC, porté à l'IUEM par le laboratoire LETG et soutenu par la Fondation de France et la DREAL Bretagne, articule quatre composantes dynamiques et interdépendantes : aléas et enjeux mais également gestion et représentations. Cette approche permet de restituer beaucoup plus finement la contextualisation et la dynamique temporelle du phénomène. En revanche, l'opérationnalisation de ces acquis scientifiques par les gestionnaires des risques littoraux est problématique. C'est là l'enjeu majeur d'OSIRISC : développer un outil qui soit compatible avec les pratiques et l'expertise locale, opérationnel dans l'évaluation et le suivi des risques côtiers et qui ne sacrifie pas les acquis de l'approche systémique.

OSIRISC consiste en une application permettant d'archiver les données spatio-temporelles d'indicateurs décrivant les quatre composantes, de les exploiter pour calculer des indices décrivant la vulnérabilité des territoires, puis de les représenter graphiquement. Adressé autant aux chercheurs qu'aux gestionnaires, le pilote de cette application en cours de développement doit servir d'interface d'analyse multicritère et d'aide à la gestion de la vulnérabilité. Sa conception repose sur deux principes directeurs. D'une part, l'intégrité scientifique des données repose sur le partage d'une méthodologie élaborée par une équipe pluridisciplinaire et permettant de mettre en œuvre une analyse systémique de la vulnérabilité littorale. D'autre part, la pertinence de l'outil s'appuie sur l'intégration des équipes techniques des collectivités territoriales partenaires, depuis la conception des indicateurs jusqu'à la visualisation de la donnée. A ce jour, les données sont en production pour les communes du Parc Naturel régional du Golfe du Morbihan.

Comment concilier la nécessaire homogénéité des protocoles de production de l'information avec les spécificités des contextes et des besoins locaux ? Cette communication vise à présenter la stratégie du projet OSIRISC et les arbitrages technologiques pour parvenir à concilier les spécificités des contextes et des besoins locaux, avec la nécessaire homogénéité des protocoles de production de l'information.

Une méthodologie partagée

Les données d'entrée se présentent selon différents niveaux de granularité et d'implantation spatiale. Pour les harmoniser, elles sont transformées en donnée maillée, ce qui réduit considérablement leur volume de stockage et leur temps de chargement puisque la donnée

est restituée sous forme tabulaire, avec une simple clé étrangère pour la relier à une géométrie commune. En l'absence de carroyage de référence pour le littoral, nous avons choisi une maille de 200 mètres de côté en cohérence avec le carroyage de l'INSEE, et en projection conforme suivant la recommandation de la directive INSPIRE. Ce choix répond à un compromis entre, d'une part, la recherche d'une certaine finesse des sorties cartographiques et, d'autre part, la volonté d'anonymiser les données.

La dimension opérationnelle d'OSIRISC repose sur la collaboration des collectivités locales, qui seront amenées à produire elles-mêmes les données qui alimenteront une batterie d'indicateurs de suivi de la vulnérabilité. Il est donc crucial que les géotraitements permettant de restituer la donnée au carreau soient libres, accessibles techniquement, et qu'ils utilisent les mêmes algorithmes. Pour cela, nous produisons des scripts PyQGIS afin d'automatiser le carroyage et le catalogage de la donnée et de garantir l'intégrité des données qui seront chargées sur une base PostgreSQL.

La donnée sous forme maillée permet surtout de faciliter le croisement des indicateurs selon des logiques systémiques. Nous pouvons synthétiser comme suit le gradient d'intégration dont l'application doit faire la pédagogie :

1. la donnée brute est collectée selon un protocole méthodologique prédéfini ;
2. la donnée raffinée est mise en forme et découpée selon la géométrie du carroyage ;
3. l'indicateur est discrétisée et sa variation est corrélée au phénomène à analyser ;
4. enfin, l'indice est une combinaison plus ou moins complexe d'indicateurs pointant vers une tendance générale et dont la lecture est cette fois autonome.

Dans l'esprit de notre application, les aller-retour interactifs au sein de ce gradient peuvent servir à l'exploration et donc à la compréhension de la vulnérabilité systémique. A partir de la structure de nos indicateurs, nous avons établi une série de modes de calculs possibles pour aboutir à des indices de vulnérabilité. Nous proposons des indices de composante, en isolant thématiquement l'arborescence de familles d'indicateurs. Nous avons également identifié une lecture transverse, traitant de mêmes objets : par exemple le bâti résidentiel ou les digues peuvent être approchées de manières différentes et complémentaires dans les 4 composantes. Enfin, la lecture globale consistera en l'implémentation d'indices de vulnérabilité systémique identifiés dans la littérature. Elle pourrait s'appliquer à un socle d'indicateurs de référence communs à l'ensemble des territoires partenaires.

L'architecture de l'application

Afin de répondre aux enjeux d'un projet multi-sites, nous avons expérimenté deux architectures pour faire circuler la donnée du SGBD jusqu'à l'interface utilisateur. La première consistait à programmer une API REST basée sur Node.js permettant de servir les données en format JSON et ainsi de les manipuler directement côté client. Afin d'être plus en accord avec les recommandations de la directive Européenne INSPIRE en matière d'interopérabilité, nous avons exploré une solution alternative utilisant le *Table Joining Service* (TJS). Ce nouveau standard de l'OGC est un webservice très prometteur pour la

diffusion de données tabulaires sans géométrie, bien que son implémentation en tant qu'extension de Geoserver soit encore expérimentale (ill. 1).

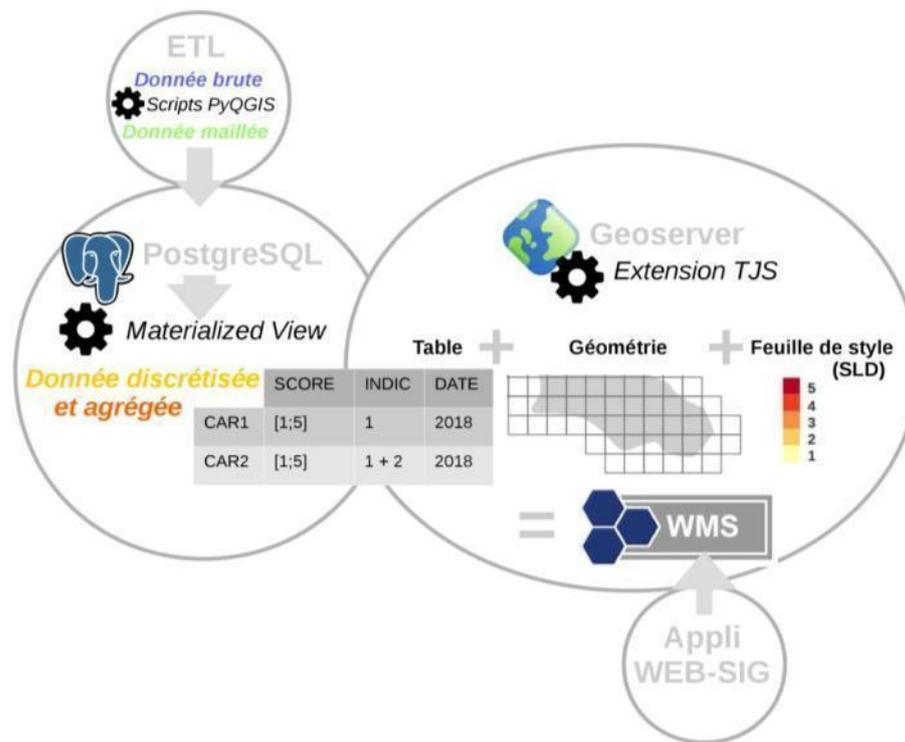


Illustration 1 : Traitement et circulation de l'information

Un des écueils rencontrés concerne le filtrage de la donnée, encore non-fonctionnel. Cela nous a conduit à effectuer cette opération à partir de vues configurées depuis PostgreSQL. Celles-ci se chargent de traiter la discrétisation en suivant le calibrage précisé dans les fiches d'indicateurs. C'est aussi là que les méthodes de calculs d'indices peuvent être définies. Le TJS prend les données de cette vue, effectue la jointure attributaire avec la géométrie du carroyage et la diffuse à travers un flux WMS interopérable. Les discussions avec les partenaires scientifiques et institutionnels ont démontré la supériorité de cette dernière solution. D'abord, elle permet de séparer physiquement le traitement et la visualisation de la donnée. En terme de maintenance, elle permet de modifier le calcul des indices de manière centralisée, ce qui pourra s'avérer précieux par exemple pour ajuster la discrétisation d'un indicateur. Surtout, elle permet de diffuser la donnée et les métadonnées des indicateurs sur une Infrastructure de Données Géographiques, et si besoin d'en maîtriser l'accès.

Un observatoire intégré

Cette architecture basée sur les webservices permet d'envisager l'application utilisateur comme une simple interface « client », autonome et non exclusive. Celle-ci devra offrir deux grandes fonctionnalités :

- 1) d'abord mettre l'inventaire complet des indicateurs, indices et de leurs métadonnées à la disposition des chercheurs et des gestionnaires ;

- 2) ensuite mettre en œuvre un tableau de bord graphique et cartographique permettant de suivre la vulnérabilité dans toutes ses dimensions spatiale, thématique et temporelle.

En reprenant certains principes de notre premier prototype, le pilote de l'application devrait tenir sur une simple page web articulant ces deux fonctionnalités de manière dynamique. L'utilisateur pourra explorer les indicateurs renseignés dans un territoire donné et les interpréter à travers une série de propositions graphiques.

L'expérience d'OSRISC s'inscrit dans un mouvement de diffusion des Technologies de l'Information Géographique dans les territoires et d'ouverture et de la mutualisation de données. La méthodologie du projet a permis de co-concevoir des indicateurs et d'homogénéiser leurs protocoles de production. Leur mise en œuvre dans les territoires partenaires doit maintenant permettre d'enrichir une base de données permettant d'accroître les connaissances, mais aussi de fournir une aide à la gestion des risques côtiers. L'architecture de l'application et la séparation du stockage, du traitement et de la visualisation des données, assurent un partage clair des rôles dans l'hébergement et la diffusion de données sensibles (ill. 2).

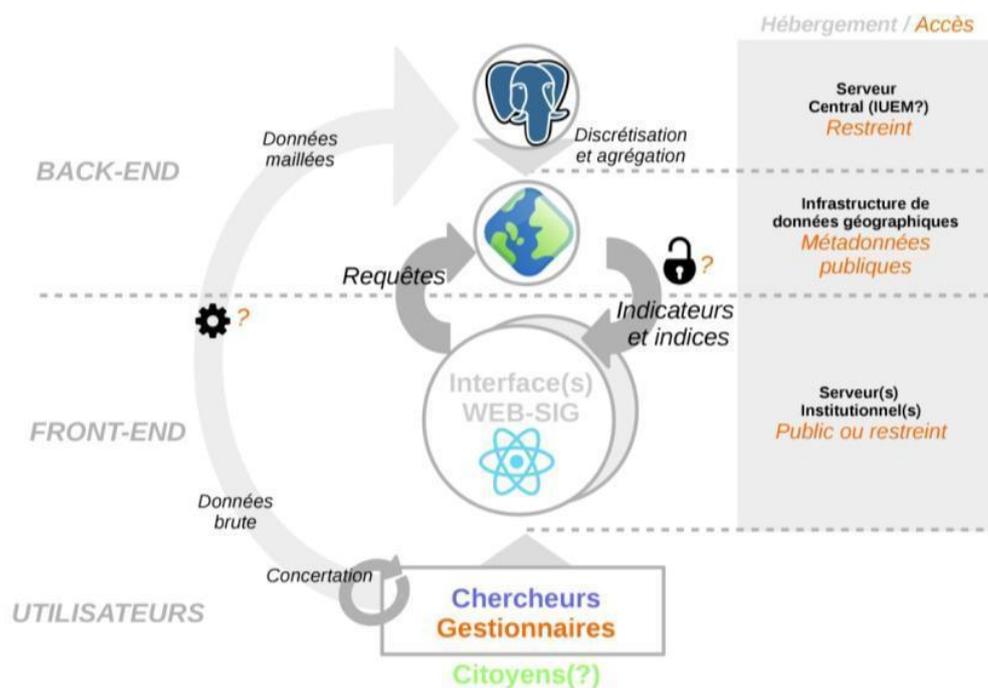


Illustration 2 : Un modèle de coproduction et de valorisation de données spatio-temporelles

Au final, l'outil WEB-SIG développé dans le cadre d'OSIRISC peut devenir une interface fertile entre scientifiques et gestionnaires des risques littoraux et faciliter la circulation des savoirs respectifs. Il constitue à la fois une solution de géomatique décisionnelle orientée métier et une plateforme d'observation et de suivi de la vulnérabilité systémique du littoral permettant de valoriser et d'enrichir des bases de données interopérables.

Le Système d'Information Géographique (SIG): un outil pour l'évaluation des terres à risque d'inondation côtière liée au changements climatiques. Cas du littoral de Larache, Nord du Maroc

Mohamed Dahmani^{1*}, Abderahim Watfeh², Mohamed Tailassane²

¹Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc.

²Université Mohamed V, Rabat, Maroc.

Introduction

L'une des premières et principales conséquences attendues du changement climatique dans le siècle à venir est l'augmentation des risques côtiers, due notamment à l'élévation du niveau de la mer (Vinchon et al, 2009). Les conséquences de cette élévation se répéteront au niveau de l'érosion des côtes et sur les risques de submersion des zones basses proches du rivage.

Le Système d'Information Géographique (SIG), en plus de certains modèles mathématiques, constituent des outils primordiaux pour mieux apprécier l'exposition future des zones côtières aux submersions marines et à l'érosion.

Cette étude a pour but d'évaluer les terres à risque d'inondation dû à une remontée du niveau marin, d'une part, et de déterminer des sites sensibles à l'érosion et d'estimer les surfaces et les volumes de sable qui peuvent être érodés dans les prochaines décennies d'autre part.

Méthodologie :

1-Estimation des niveaux d'inondations (2050 et 2100)

L'approche empirique utilisée pour estimer les niveaux d'inondations est basée sur les éléments suivants :

- Les scénarios de remontée du niveau de la mer

En absence de valeurs sur les variations du niveau marin local (séries de mesures marégraphiques historiques), la valeur moyenne, estimée par les satellites altimétriques sur l'océan Atlantique entre 1993 et 2014 (2,5 mm/an) (Fig. 3), sera considérée dans cette étude comme le scénario de base.

- Estimation du niveau d'inondation en cas d'événement extrême

La méthode utilisée pour estimer le niveau d'inondation (Dft) est basée sur la formule de Hoozemans et al. 1993) : $Dft = MHW + S_i + W_f + P_f$

Avec, MHW = le niveau moyen des hautes eaux ; St = l'élévation relative du niveau marin ; Wf = la hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ; Pf = l'élévation du niveau marin sous l'effet d'une baisse de pression.

- Détermination de l'élévation topographique de la zone d'étude

La réalisation d'un (MNT) provenant de la restitution aérienne de 2010 au 1/17 500. Nous avons adopté une interpolation polynomiale du 5e ordre avec une triangulation irrégulière de Delaunay pour transformer les courbes de niveau en une grille de valeurs altimétriques couvrant toute la zone d'étude.

Les zones à risque d'inondation ont été déterminées à l'aide du MNT et par superposition des niveaux d'inondation choisis sur la carte d'occupation du sol qui a été générée à partir des mosaïques orthorectifiées des photos aériennes.

2-Estimation des terres à risque d'érosion pour la plage sableuse de Ras E'rmal

Pour estimer l'accélération de l'érosion liée à l'élévation du niveau marin, nous avons utilisé la loi de Bruun (1962) selon la formule suivante : $R = G \cdot S \cdot L / (B+d)$

Dont, R = recul du trait de côte (m) ; G=Facteur de remplissage du matériel devant être érodé (G= 1, quand le sédiment relève du sable) ; S = élévation du niveau de la mer (m) ; B= Hauteur de la berme (m) ; d= La profondeur de fermeture de plage (m) ; L= Largeur du profil actif compris entre la base du cordon littoral et la profondeur de fermeture du profil (en m).

En ce qui concerne la translation du trait de la côte liée à l'élévation du niveau marin nous l'avons calculé à partir de cette règle qui suppose que le recul horizontal se fait parallèlement à lui même entre la berme du haut de plage et la profondeur de fermeture de plage. Elle est ensuite convertie au changement volumétrique en utilisant la longueur du littoral et la hauteur du profil de plage.

L'analyse prospective des pertes en terre par érosion côtière a été appliquée sur la plage de Ras E'rmel, dont les caractéristiques utilisées figurent dans le tableau 1.

Longueur (km)	Hauteur de la berme (m)	Largeur plage aérienne	Largeur plage sous marin (m)	profondeur de fermeture de plage (m)	sédiment
					Sable bioclastique à grains moyens
2,7	10	100	350	-5	

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques et sédimentologiques de la plage de Ras E'rmel

Résultats :

1-Estimation des zones à risque de submersion en cas d'élévation du niveau marin

Dans cette étude, deux scénarios d'élévation future du niveau marin ont été utilisés :

- Un niveau d'inondation de 1 m d'ici 2100.

- Un niveau d'inondation de 7 m d'ici 2050 correspondrait aux phénomènes extrêmes déterminé à partir des valeurs de hautes eaux, des hauteurs de houle de tempêtes exceptionnelles et de la plus forte estimation de la remontée du niveau marin.

Pour le premier scénario, environ 13% de la totalité du littoral étudié présenterait un risque d'inondation (Fig. 1). Selon Le second scénario (submersion exceptionnelle), les superficies inondées seraient environ 2 fois plus importantes : 37% de la totalité du littoral de Larache (Fig. 2).

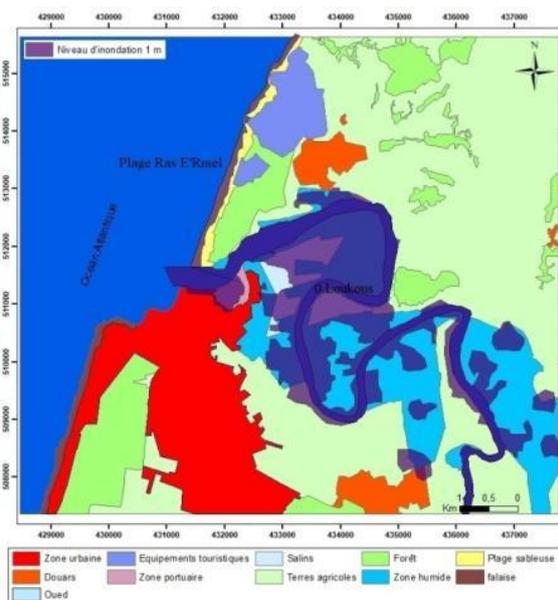


Figure 1. Carte d'occupation du sol avec le niveau d'inondation 1 m

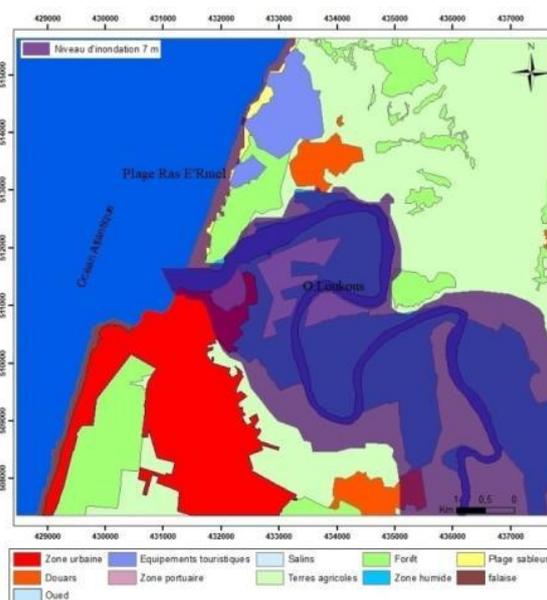


Figure 2. Carte d'occupation du sol avec le niveau d'inondation 7 m

Quelque soit le niveau d'inondation, les zones les plus menacées sont situées particulièrement au bord de l'oued Loukous et au long de la côte sableuse de Ras E'rmel (figure 1 et 2). Les conséquences de cette submersion marine seraient lourdes pour les écosystèmes côtiers : 48% de la superficie de la zone humide de l'oued Loukous serait submergée avec un niveau d'eau de 1 m, et elle risque d'être complètement inondée d'ici 2050 en cas d'inondation extrême. Quant aux plages de Ras E'rmel, environ 47% de sa superficie serait submergée avec un niveau d'eau de 1 m. Pour les aménagements et les infrastructures, l'évaluation des risques d'inondation sur ce littoral montre que 21% de la superficie des zones urbaines et périurbaines du littoral de Larache risquent d'être endommagées avec un niveau d'inondation de 7 m d'ici 2050. Les impacts sur les digues de port pourraient être importants en cas d'intensité et fréquence accrues des houles de tempêtes qui coïncideraient avec la période des vives eaux. Ceci entraînerait probablement une submersion totale de port d'ici 2050.

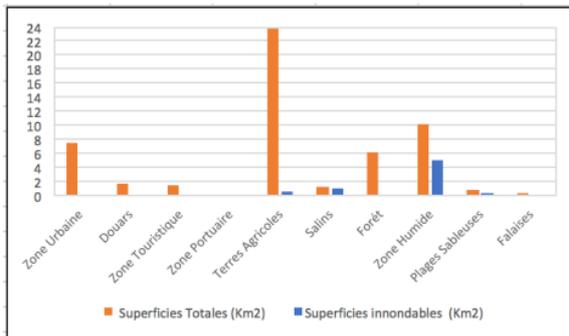


Figure 3. Les superficies inondables avec le niveau d'inondation 1 m

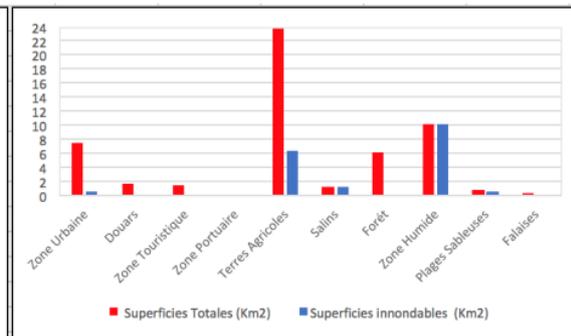


Figure 4. Les superficies inondables avec le niveau d'inondation 7 m

2-Scénarios d'érosion côtière aux horizons 2050 et 2100 pour la plage de Ras E'rmel

L'accélération de l'érosion au sein de la plage de Ras E'rmel représentera l'une des conséquences probables de la submersion des zones côtières du littoral de Larache au cours des prochaines décennies. A l'horizon 2100, pour un niveau d'inondation de 1 m les superficies érodées atteindront environ 10% de la superficie actuelle de la plage. Le volume de sable érodé dépassera d'après les calculs 400.950 m3. A l'horizon 2050, les pertes issues de l'accélération d'élévation du niveau marin seront aussi importantes. Elles culmineront à environ 14% de la superficie actuelle de la plage. Les volumes de sédiments érodés atteindront probablement plus de 567.000 m3.

Conclusion : Malgré quelques incertitudes qui entravent plausiblement les hypothèses formulées dans cette étude à propos de l'élévation du niveau marin à l'échelle locale, elle est à souligner tout de même que les résultats obtenus incitent à une sérieuse considération des enjeux que peut courir cette zone suite aux risques probables d'inondations et d'érosion dans la zone côtière de Larache. Cette étude témoigne aussi de l'utilité des SIG, comme étant un outil efficace qui aide à la prise de décision dans ce territoire si sensible et fragile.

Bibliographie:

-**Bruun, P. 1962.** "Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion." Journal of Waterways and Harbors Division (ASCE) 1:116-130.

-**Hoozemans, F.M.J., Marchand, M., and Pennekamp, H.A., 1993.** A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale. 2nd edition. Delft Hydraulics, the Netherlands.

-**Vinchon C., Aubie S., Balouin Y., Closset L., Garcin m., Idier D., Mallet C., 2009,** "Anticipate response of climate change risks at regional scale in Aquitaine and Languedoc Roussillon (France)", Ocean and Coastal Management, vol. 52, No. 1, 47-56.

La géomatique : une discipline opérationnelle en mer

Pitel-Roudaut Mathilde¹, ,Alix Anne-Sophie¹, Jorry Stephan¹, Pelleter Ewan¹, Bermell-Fleury Sylvain¹

¹ Ifremer, Brest, France.

Toute étude scientifique dont l'enjeu est la connaissance des fonds marins nécessite une étape fondamentale d'acquisition de données en mer, réalisée au travers des missions océanographiques de l'Ifremer.

Dans le domaine des géosciences marines, l'évolution des technologies d'acquisition de données (indirectes ou directes) des fonds marins et la multi-disciplinarité des missions océanographiques a entraîné depuis ces dernières années :

- une diversité de capteurs de mesure in-situ et d'outils de prélèvement mis en œuvre,
- une augmentation de volume de données acquises,
- une variété de formats numériques
- des approches multi échelles temporelles et spatiales,
- sans oublier un nombre croissant d'utilisateurs de données SIG pendant les missions à la mer.

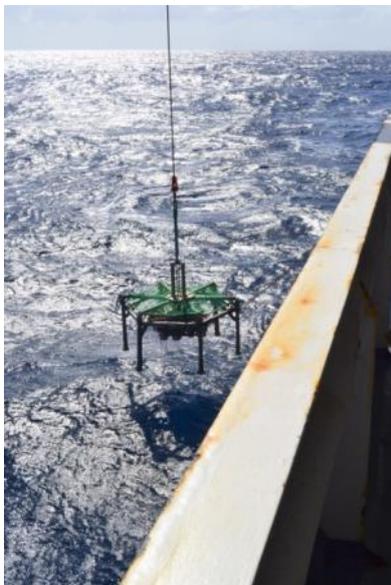


Figure 2 : Mise à l'eau d'un carottier tube à 3600 m de profondeur

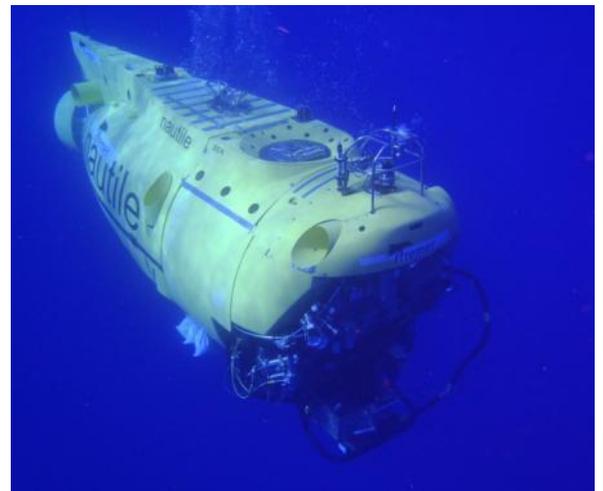


Figure 1 : Plongée du sous-marin Nautilie sur les sources hydrothermales à 3700 m de profondeur

La géomatique se place à la croisée de tous ces chemins et prend une place phare pendant une mission océanographique (de 20 à 50 jours).

Une caractéristique d'une mission en mer porte sur son temps limité d'action dans un contexte de travail isolé. Une difficulté majeure est donc de conjuguer réactivité et qualité des pratiques SIG.

Le SIG remplit différentes fonctions nécessaires à la réalisation d'une mission océanographique :

- Il centralise l'ensemble des données disponibles sur la zone d'étude, collectées antérieurement à la mission ; et les données géographiques collectées pendant la mission.
- Par l'édition cartographique, le SIG devient un support de discussion et de communication entre toutes les personnes embarquées, de la passerelle au pont, en passant par les scientifiques et renforce la cohésion entre les acteurs de la mission.
- Un point fort de son rôle est d'assurer le volet opérationnel des opérations. Au jour le jour, les données SIG sont exploitées avec les outils géomatiques pour déterminer les points ou les zones d'exploration en fonction des résultats obtenus pendant la mission. En aval direct de l'acquisition, les traitements géomatiques assurent le contrôle qualité des positions géographiques utiles à la prochaine programmation des opérations.

Des exemples de ce volet opérationnel seront présentés pendant la communication au colloque merIGéo2018.

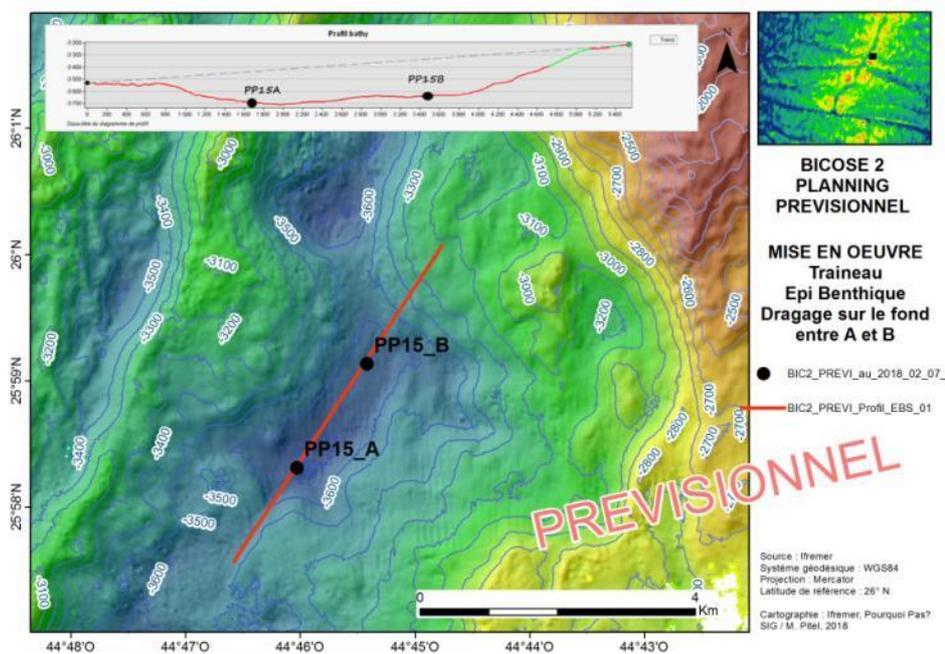


Figure 2 : Carte prévisionnelle de la mise en œuvre d'un traineau épi benthique

Apport de la géomatique à l'étude des aléas géologiques

V. Riboulot⁽¹⁾ & S. Ker⁽¹⁾

⁽¹⁾ IFREMER, REM-GM, BP70, 29280 Plouzané, France.

L'étude des aléas géologiques en milieu marin nécessite une exploration des fonds marins et de la colonne d'eau avec les sondeurs multifaisceaux (montés sur coque ou sur submersible) afin d'identifier les déformations sédimentaires et les activités de dégazage dans la colonne d'eau (Figure 1). Cette exploration est la première étape pour l'étude des aléas géologiques et pour la découverte des objets géologiques d'intérêt. Les aléas géologiques peuvent être observés à différentes échelles spatiales allant de la dizaine de mètres pour les *pockmarks* à la dizaine de kilomètres pour les glissements sous-marins. Les systèmes d'information géographique (SIG), permettant d'étudier rapidement les objets géologiques observés, sont aussi des outils de premier ordre pour la réalisation de la phase opérationnelle des missions océanographiques. Les SIG sont des outils nécessaires à la réalisation d'études géomorphologiques régionales, ou de détail, des fonds marins qui seront mises en relation avec les analyses de la colonne d'eau et de la pile sédimentaire.

L'identification des aléas géologiques observés sur les fonds marins en utilisant les outils de la géomatique se basera sur des exemples pris sur les marges continentales de la mer Noire et de l'Afrique de l'ouest ; données acquises durant les missions océanographiques ERIG3D et GHASS (doi:10.17600/15000500) qui ont respectivement eu lieu en 2008 et 2015.

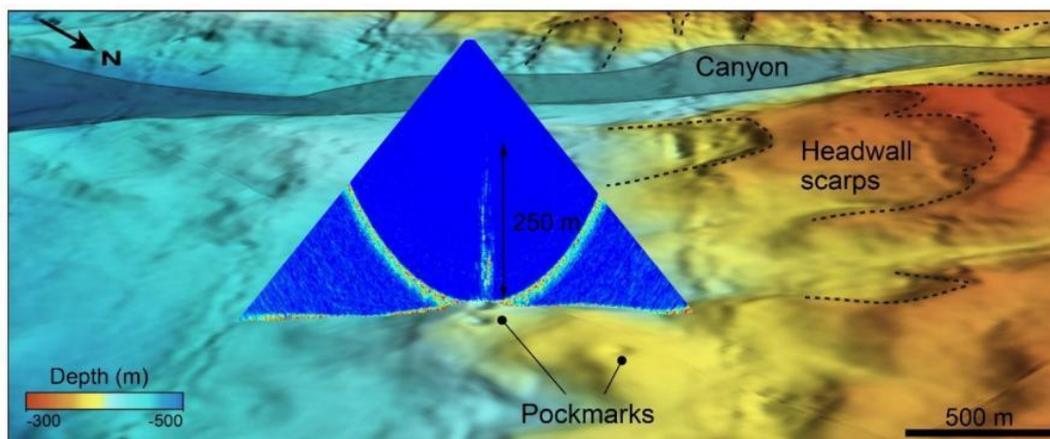


Figure 1 : Vue 3D du fond marin du secteur roumain de la mer Noire et un échogramme polaire de la colonne d'eau (GLOBE software © Ifremer) montrant un pockmark actif avec un panache de gaz dans la colonne d'eau de 250 m de hauteur (Riboulot et al., 2017). D'autres objets géologiques sont observés : 3 cicatrices de glissement sous-marin, un canyon et deux autres pockmarks.

Aide à l'étude de la géomorphologie des fonds marins et à la découverte des aléas

Afin d'identifier les objets géologiques d'intérêts, la première étape est l'étude des données bathymétriques. L'étude géomorphologique passe par la création de cartes dérivées de

l'information de base que constitue la donnée bathymétrique afin d'identifier les morphologies façonnées par les processus sédimentaires. Ces cartes spécifiques, dites d'attributs de surface, montrant par exemple les reliefs ou les courbures des structures présentes sur les fonds marins, sont réalisées sous SIG. Les cartes des attributs décrites ci-après sont présentées dans la figure 2.

Le pendage : plus connue sous le nom de carte des pentes ou *dip map*. Cette carte est l'élément de base pour identifier les glissements récents, les figures sédimentaires liées aux dégazages ou à la présence d'hydrates de gaz, les volcans de boue, les encroûtements carbonatés, les constructions sédimentaires, les figures d'érosion, etc.

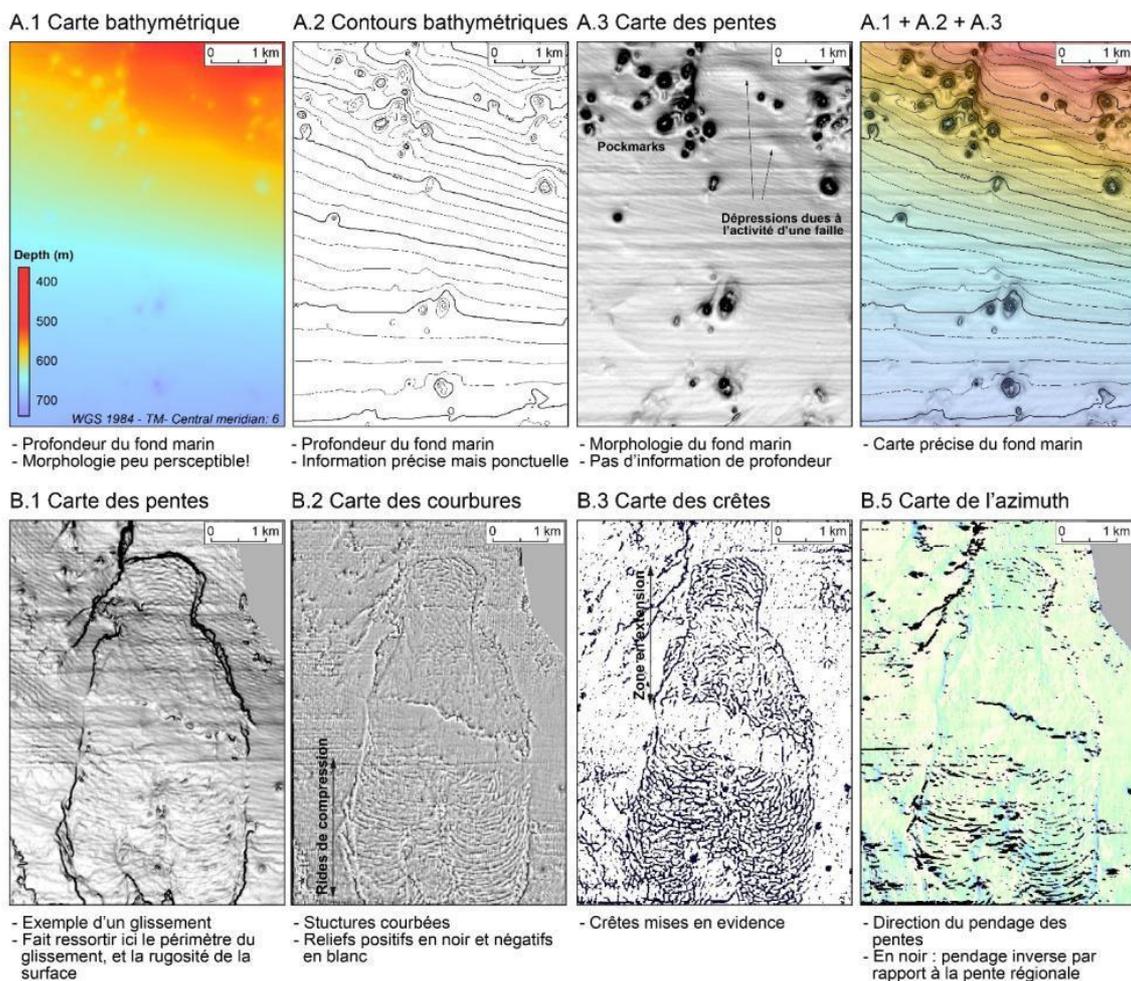


Figure 2 : Caractérisation des pockmarks et d'un glissement au large du delta du Niger. A : Quatre exemples de visualisation de la donnée bathymétrique montrant comment l'association de plusieurs attributs permet d'obtenir une image précise montrant clairement la morphologie du fond marin ; B : Caractérisation d'un glissement sous-marin. La carte de pente montre l'extension du glissement tandis que la carte des courbures montre l'architecture du glissement mettant en évidence la zone en compression dominée par des rides concentriques.

La courbure : une carte de la courbure fait ressortir des structures sédimentaires cohérentes telles que des rides sédimentaires, des rides de compression, des objets arrondis comme des volcans de boue, les pockmarks, etc.

Les crêtes : contrairement à l'attribut courbure, une carte de crête va permettre d'isoler l'information relative aux reliefs positifs qu'ils soient cohérents ou chaotiques.

L'azimut : cet attribut donne une information sur la direction des pendages. Il s'agit de faire ressortir les pendages inverses à la pente régionale. Dans le cas du glissement présenté en figure 2B4, le résultat du déplacement du sédiment de l'amont vers l'aval engendre une zone en compression en bas de pente et la formation de rides de chevauchement qui sont marquées par un pendage inverse au sens du glissement.

Ces cartes d'attributs sont interprétées et pointées manuellement ou de manière semi-automatique sur SIG. La confrontation de ces informations est utilisée pour réaliser une carte de la géomorphologie et identifier les aléas géologiques (Figure 3C).

Aide à l'étude des aléas géologiques

Les études de la géomorphologie des fonds marins du secteur roumain de la mer Noire ont montré la présence du canyon du Danube (Popescu et al., 2004) et d'un des plus grands systèmes de dépôts silico-clastiques du monde (Winguth et al., 2000). Ce système sédimentaire est affecté par la présence d'un vaste système fluide très actif dominé par la présence d'hydrates de gaz à partir de 660 m de profondeur d'eau (Riboulot et al., 2017; Riboulot et al., 2018).

Les récentes acquisitions au sondeur multifaisceaux de la mission océanographique GHASS ont permis de découvrir une morphologie très accidentée au nord-est du canyon du Danube (Figure 3A). Cette zone est dominée par la présence de 2 canyons, de pockmarks dans une zone comprise entre 200 et 400 m de profondeur d'eau, d'une multitude de glissements sous-marins entre 200 et 900 m de profondeur d'eau, de rides sédimentaires localisées entre 500 et 600 m de profondeur d'eau, de petits monts sous-marins, etc. La mise en relation de la carte de géomorphologie (Figure 3C), de la localisation de plus de 1400 panaches de gaz et de la limite de stabilité des hydrates de gaz à 660 m de profondeur d'eau (déterminée par modélisation numérique) se fait aussi sur SIG. Cela a permis d'émettre l'hypothèse que le gaz contenu dans les sédiments entre 100 et 660 m de profondeur d'eau a migré latéralement et verticalement suivant des drains (failles, canyons, cheminées, fractures, couches sédimentaires plus perméables, etc.) tandis que celui contenu dans les sédiments à l'intérieur de la zone de stabilité des hydrates de gaz (au-delà de 660 m de profondeur d'eau) devait être sous la forme « hydrate » dans les 200 premiers mètres de sédiment empêchant le passage du gaz dans la colonne d'eau (Figure 3D). La comparaison avec des données issues de la bibliographie conforte cette hypothèse (Figure 3D).

Durant la mission GHASS l'utilisation du SIG durant les phases d'acquisitions permettait de positionner en temps réel les points des futures sites de carottage et de mesures *in situ* afin d'échantillonner par exemple les panaches de gaz détectés dans la colonne d'eau 2 jours auparavant ou les hydrates suspectés d'être proche de l'interface eau/sédiment. Du point de

vue opérationnel la géomatique devient un outil indispensable à la réalisation des campagnes océanographiques multidisciplinaires.

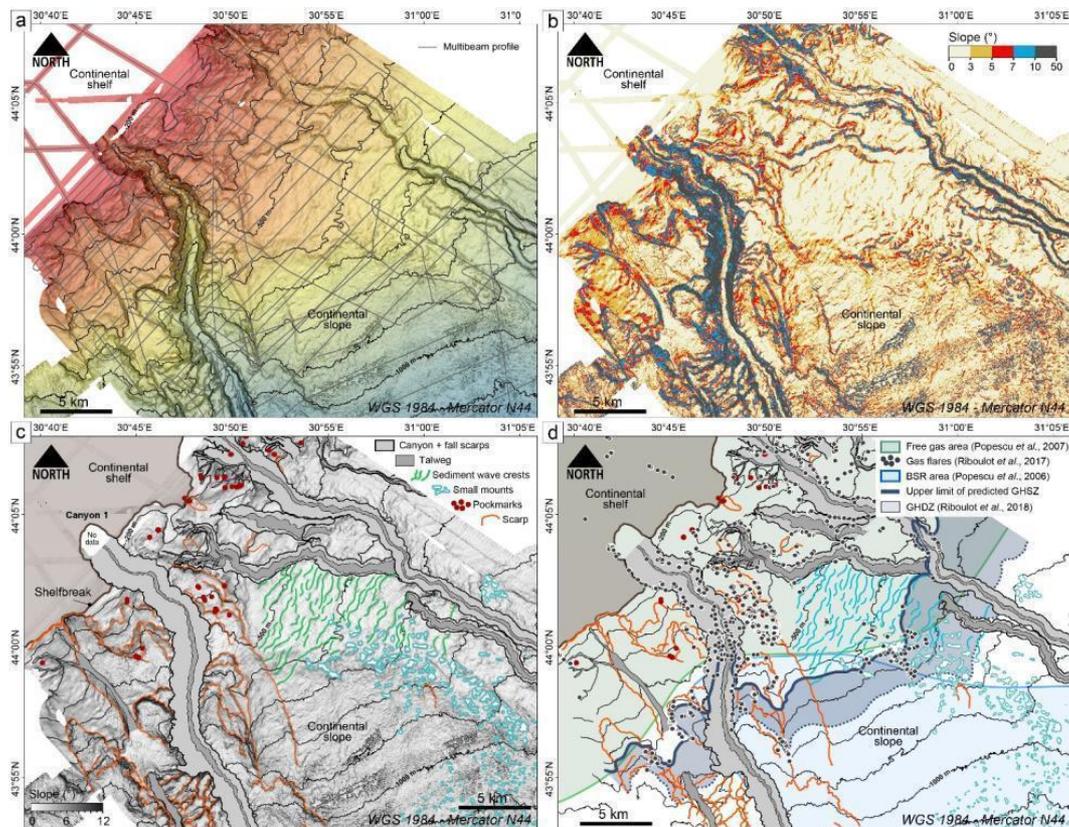


Figure 3 : Carte de synthèse des informations obtenues par analyse de la colonne d'eau, de la bathymétrie et des résultats de la modélisation de la stabilité des hydrates de gaz sur la marge roumaine de la mer Noire. A : carte associant les données bathymétriques et de pente, B : carte des pentes, C : carte des pentes associée à la distinction d'objets géologiques pointés sur SIG en suivant des paramètres morphologiques, et D : carte de synthèse en associant des informations issues de la littérature, de la modélisation numérique et du pointé des anomalies acoustiques détectées dans la colonne d'eau.

Références

- Popescu, I., Lericolais, G., Panin, N., Normand, A., Dinu, C., Le Drezen, E., 2004. The Danube submarine canyon (Black Sea): morphology and sedimentary processes. *Marine Geology* 206, 249-265.
- Riboulot, V., Cattaneo, A., Scalabrin, C., Gaillot, A., Jouet, G., Ballas, G., Marsset, T., Garziglia, S., Ker, S., 2017. Control of the geomorphology and gas hydrate extent on widespread gas emissions offshore Romania. *BSGF-Earth Sciences Bulletin* 188, 26.
- Riboulot, V., Ker, S., Sultan, N., Thomas, Y., Marsset, B., Scalabrin, C., Ruffine, L., Boulart, C., Ion, G., 2018. Freshwater lake to salt-water sea causing widespread hydrate dissociation in the Black Sea. *Nature communications* 9, 117.
- Winguth, C., Wong, H.K., Panin, N., Dinu, C., Georgescu, P., Ungureanu, G., Krugliakov, V.V., Podshuveit, V., 2000. Upper Quaternary water level history and sedimentation in the northwestern Black Sea. *Marine Geology* 167, 127-146.

Apport de l'imagerie acoustique multifaisceaux pour la caractérisation de l'état physique des récifs artificiels du parc naturel marin du golfe du Lion

CHAIZE Carole^{1*}, AGIN Gregory², LAFORET Victor¹

¹iXblue Division Opération Marine, 46 quai François Mitterrand, 13 600 LA CIOTAT.

²Parc naturel marin du golfe du Lion, 2 Impasse de Charlemagne, 66 700 ARGELES-SUR-MER.

Contexte et problématique

Plusieurs zones de récifs artificiels ont été implantées dans le périmètre Parc naturel marin du golfe du Lion en 1985, sur les concessions de Canet-en-Roussillon et de Saint Cyprien, puis en 2004, sur les concessions de Leucate et Barcarès. Un suivi scientifique a été conduit sur ces sites dans les deux premières années suivant l'immersion, les dernières investigations datant ainsi respectivement de 1987 et 2006, en fonction des périodes d'immersions. Une actualisation de l'état physique de ces récifs apparaissait donc nécessaire afin d'évaluer leur efficacité, telle que définie initialement : protéger la ressource halieutique et soutenir les pêcheurs artisanaux.

Cet état de référence comprend trois principaux objectifs :

- Localiser et cartographier l'ensemble des modules ;
- Mesurer et qualifier précisément l'état physique des structures ;
- Caractériser l'environnement morpho-sédimentaire.

Les problématiques soulevées relèvent de l'exhaustivité, de la répétabilité et de la précision des mesures qui doivent permettre d'identifier et de caractériser l'ensemble des structures ainsi que leur environnement physique. Le sondeur bathymétrique multifaisceaux répond à ces problématiques en termes d'opération marine et de qualité de mesure. Les données résultantes sont ensuite analysées et interprétées de manière à fournir des indicateurs pertinents de l'état physique des récifs.

Méthodologie

Système d'acquisition et paramètres de levé

La campagne de mesure en mer est réalisée à partir de l'iXS, vedette aluminium de 7 m de longueur dédiée aux investigations hydrographiques en milieu côtier. La chaîne d'acquisition comprend un sondeur bathymétrique multifaisceaux R2Sonic 2024 monté sous-coque, une centrale inertielle iXblue PHINS II et un système de positionnement GNSS en mode cinématique (RTK).

Les paramètres de levé sont ajustés de manière à assurer la détection d'une cible de 1 mètre de côté, correspondant à la taille des plus petits modules, dans un environnement de 15 à 30 mètres de profondeur. Le plan de position des profils de sondage multifaisceaux permet d'obtenir une couverture totale des fonds avec un recouvrement de 15 à 20 %. Sur les zones de récif, le levé est densifié pour améliorer la définition des ouvrages. Ainsi, la densité de sondes atteint en moyenne 200 pts/m² sur les secteurs aménagés.

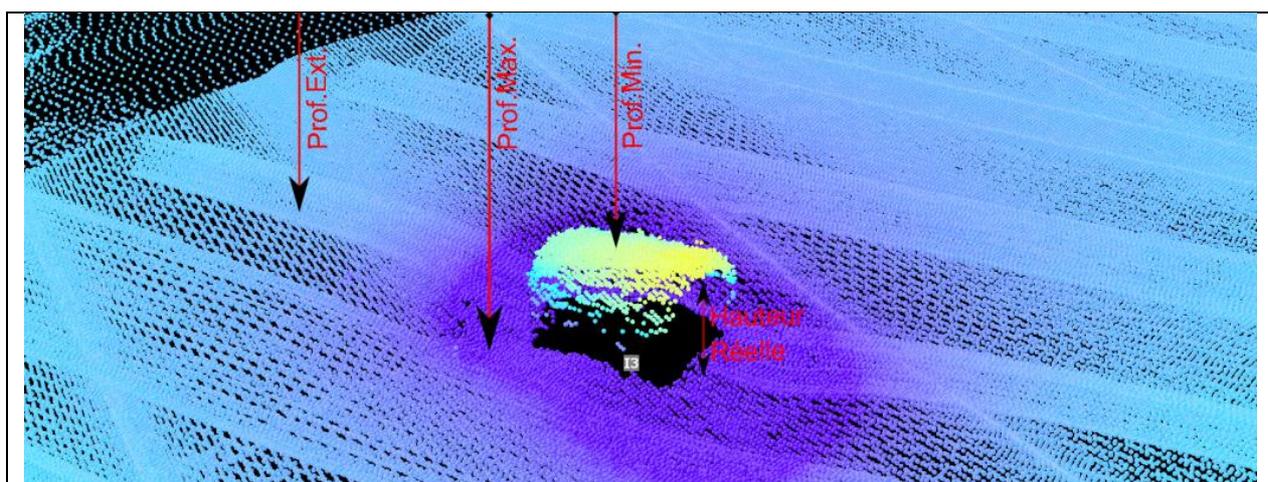
Analyse des données et adaptation du protocole de suivi

Les précédents suivis reposaient sur un protocole de mesures réalisées en plongée sous-marine à l'aide d'un profondimètre qu'il convient d'adapter à l'usage des données multifaisceaux.

L'état physique des récifs est caractérisé par plusieurs indices déterminés à partir d'une série de mesures automatisées sur le nuage de sondes bathymétriques multifaisceaux (Figure 4) :

- Profondeur maximale (P_{max} , en mètres) : profondeur mesurée au point le plus profond à proximité du module, généralement au fond de la cuvette d'affouillement formée autour du module ;
- Profondeur minimale (P_{min} , en mètres) : profondeur mesurée au point le moins profond du module, généralement la partie supérieure de celui-ci ;
- Profondeur extérieure (P_{ext} , en mètres) : profondeur mesurée à l'extérieur de la souille d'affouillement, supposée ne pas être affectée par les perturbations hydrodynamiques induites par le récif. Elle correspond à la profondeur moyennée des sondes incluses dans un périmètre de 50 m autour du module.

Figure 4 : Mesures automatisées et calcul des indices de suivi.



Indice	Description	Calcul	Limites
E_m	Emergence	$P_{min} - P_{ext}$	Inclinaison du module
P_c	Profondeur de la cuvette	$P_{max} - P_{ext}$	Asymétrie de la souille
H_r	Hauteur réelle	$P_{max} - P_{min}$	Inclinaison du module et asymétrie de la souille
Enf	Enfouissement	$H_t^* - (P_{max} - P_{min})$	Inclinaison du module et asymétrie de la souille
I_{enf}	Indice d'enfouissement	Enf x 100	Inclinaison du module et asymétrie de la souille

* H_t correspond à la hauteur théorique du module considéré.

Ainsi, pour chaque récif artificiel détecté, les informations suivantes sont fournies :

- Position et profondeur ;
- Identification du type de module, par corrélation avec les données initiales disponibles (plan d'aménagement, description des modules, etc.) ;
- Longueur, Largeur, Direction (pour les modules asymétriques, en °N) ;
- Indices et paramètres de suivi : hauteur réelle, émergence, profondeur de la cuvette, enfouissement, indice d'enfouissement (Figure 4).

Cette méthodologie comporte des approximations sur les valeurs des indices de suivi, inhérentes à la détermination des mesures référentes (Pmax, Pmin), les paramètres d'inclinaison des modules et de la structure de la souille d'affouillement n'étant pas pris en compte.

Résultats

Sur chaque site, les investigations au sondeur multifaisceaux ont permis de reconstituer et d'actualiser le plan d'aménagement des différents villages de récifs artificiels (Figure 5), de localiser précisément les modules et de les caractériser (Figure 6). Une fiche de synthèse est réalisée pour décrire chaque module individuellement.

Figure 5 : Plan de localisation des récifs repérés sur le site de Saint Cyprien.

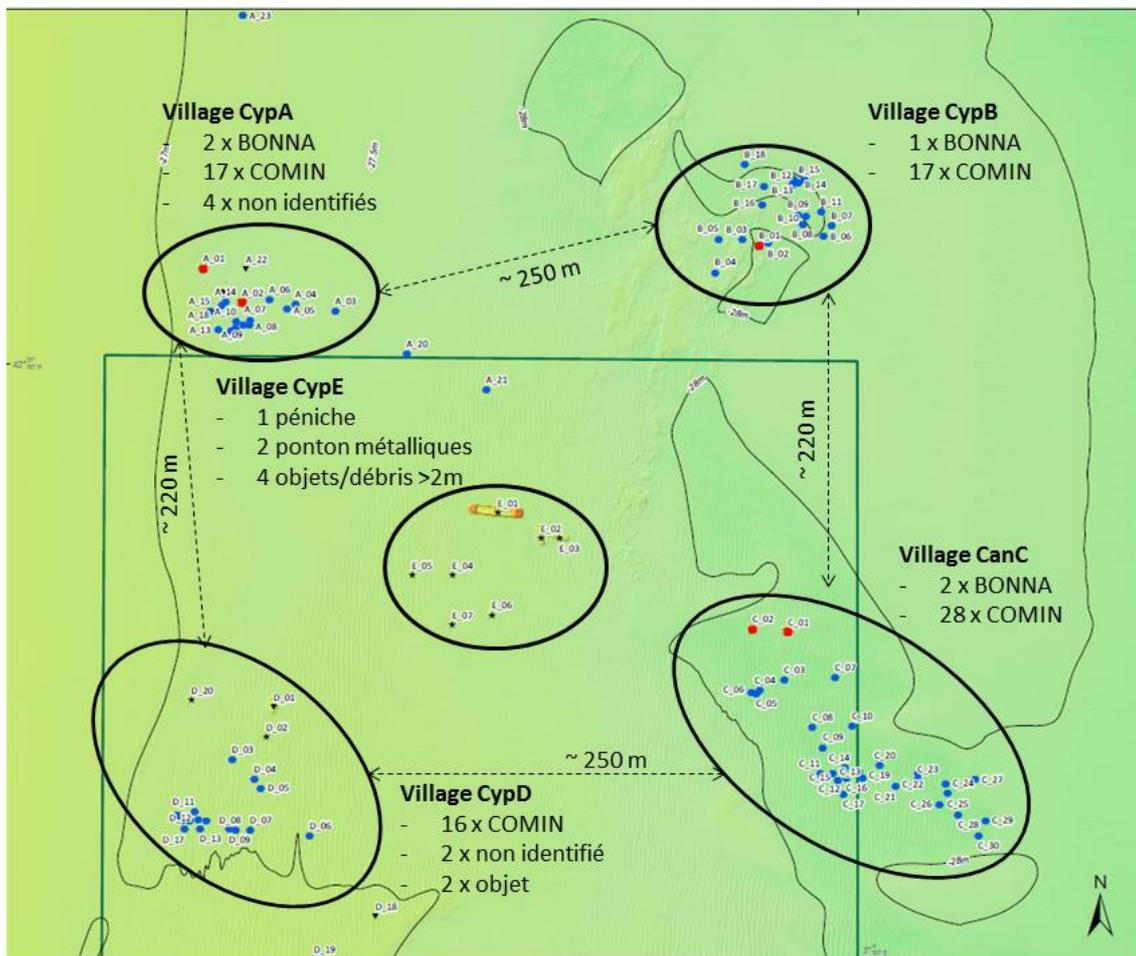
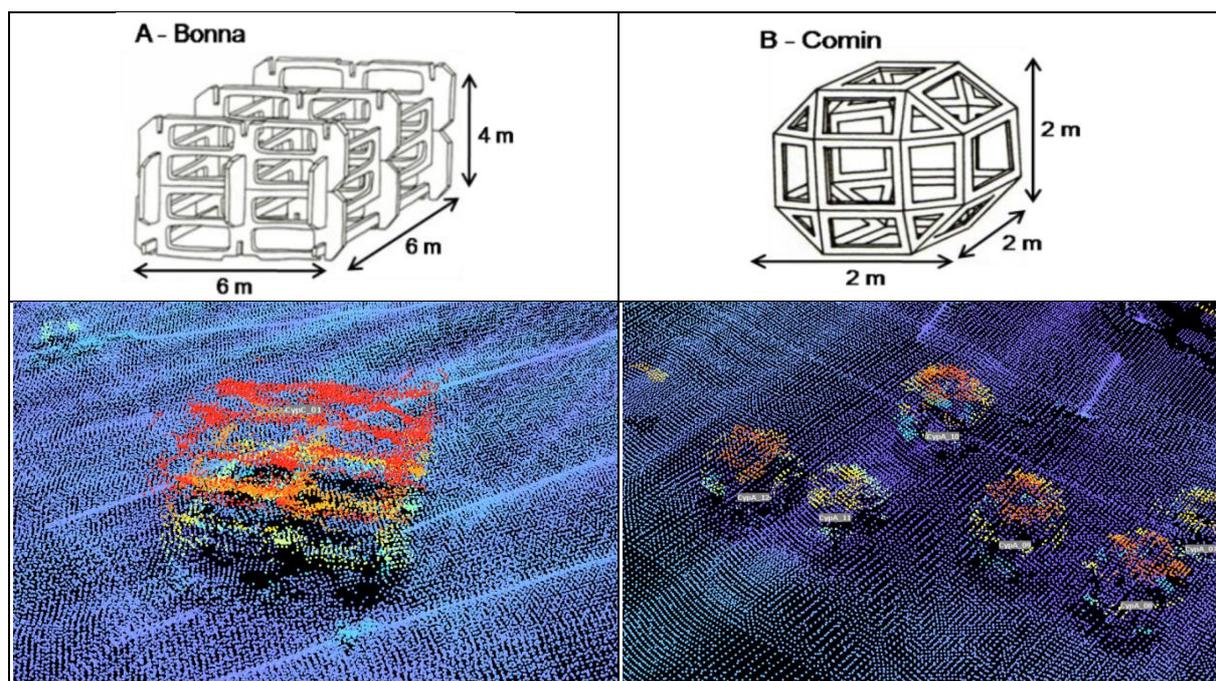


Figure 6 : Identification et caractérisation des modules immergés.



Discussion et perspectives

La méthodologie de suivi proposée présente de multiples avantages :

- Exhaustivité d'échantillonnage permettant de repérer tous les modules affleurants : 236 modules ont été repérés et localisés ;
- Identification et caractérisation précise de l'état physique des récifs repérés. Le type de récif n'a pu être déterminé sur seulement 9 modules (soit moins de 4 %).
- Répétabilité et précision des mesures qui constituent l'état physique et fonctionnel de référence ;
- Etude simultanée de l'environnement morfo-sédimentaire.

Malgré les approximations liées à la détermination des indices, les résultats restent représentatifs de l'état physique et de la fonctionnalité des modules. Ils constituent un état de référence pertinent pour optimiser les futures investigations *in situ*, et décider des récifs à étudier en fonction du cadre d'étude.

La méthode de détermination des indices de suivi pourrait être améliorée en considérant l'inclinaison des modules et la morphologie des fonds à travers une approche volumique.

L'apport technologique démontré lors de ces investigations assure une plus-value future d'aide à la décision pour les gestionnaires en raison de la multiplication des usages ou en raison des nombreux projets d'aménagements maritimes (installations portuaires, digues, enrochements de toutes sortes, récifs artificiels, éoliennes), tout comme les impacts en cours ou à venir liés au changement climatique, qui pourraient mettre en péril les services rendus par les écosystèmes.

Modèles raster des fonds marins : un indice- qualité pour la pertinence de l'analyse scientifique

Sylvain BERMELL-FLEURY¹, Benoît LOUBRIEU¹, Hugo RAMBURE², Anne Jaouen³

¹ Ifremer, Brest, France

² ENSG, Nancy, France

³ INSA, Strasbourg, France

Introduction

La connaissance des fonds marins commence le plus souvent par l'exploration bathymétrique. Les équipements multifaisceau modernes fournissent un niveau de détail et une résolution de plus en plus fine de la morphologie sous-marine. Ces données acoustiques permettent d'obtenir une « image » des fonds marins.

L'acquisition de données en mer est sujette à des paramètres externes qui peuvent grandement influencer sur le succès de la mesure : conditions météorologique, état de mer, valeurs de température/salinité des masses d'eau. Les données acoustiques multifaisceau sont soumises à un contrôle et une validation, avant d'être interpolées sous la forme d'un fichier rasterle généralement dénommé Modèle Numérique de Terrain (MNT).

Un MNT se présente comme une grille régulière avec pour chacune de ses cellules une valeur de profondeur. Lors de l'analyse scientifique, les MNT sont le plus souvent exploités conjointement à d'autres types de données : sismiques, sédimentologiques, imagerie.... Ils peuvent être également combinés entre eux dans l'objectif de produire des synthèses bathymétriques.

Pour ces phases d'analyse, il nous est apparu indispensable de fournir à l'utilisateur une information qualifiant le MNT, ceci dans le but de minimiser les erreurs d'interprétation scientifique. Pour fournir cette information relative à la qualité, nous avons opté pour une méthode géomatique de croisement de variables, pour d'une part générer une couche d'indice-qualité, et d'autre part fournir des outils de pondération des rasters les uns par rapport aux autres, dans le cas de production de synthèses bathymétriques. Dans le cas d'acquisitions océanographiques par sondeurs multifaisceau, l'utilisation combinée des couches disponibles d'écart type, d'angle d'incidence et de densité de sondes, permet d'établir une information normalisée sur la qualité des MNT.

La couche d'indice-qualité produite est au format raster standard, et s'avère donc lisible via un logiciel SIG (ArcGis, QGIS, Caris...), ou via une interface WEBSIG. La couche d'indice-qualité tient ainsi en compte de la variabilité spatiale de la qualité au sein du MNT produit. Cette nouvelle approche visant à la fourniture de couches d'indice qualité pour tout MNT de bathymétrie s'inscrit dans une double démarche, à la fois d'aide à l'interprétation scientifique en géosciences marines ou en écologie benthique, et de développement dans le cadre du processus EMODnet Bathymetry visant à la fabrication de synthèses bathymétriques à l'échelle des mers européennes.

Les critères d'évaluation de la qualité

La démarche s'applique à des données acoustiques de sondeur multifaisceau. Les critères d'évaluation cherchent à prendre en compte les particularités d'acquisition et de traitement de ces données.

Sur cette base, 3 critères ont été jugés significatifs pour définir la qualité des données acquises dans le MNT résultant des traitements et fourni à la communauté scientifique:

- L'angle d'incidence : indicateur pour les données multifaisceau d'une qualité de réception du sondeur. Les données acoustiques de sondeur multifaisceau sont reconnues pour une qualité à priori décroissante vers la partie externe de la fauchée (norme OHI).
- Le pourcentage de sondes invalides : le MNT est produit à la suite d'un travail de validation de données par un expert cartographe. La validation se traduit en particulier par une opération d'épuration de sondes. Le pourcentage de sondes invalidées est un indicateur de ces opérations de validation et de la qualité des mesures dans chacune des cellules.

L'écart type : l'écart type des sondes dans une cellule est un indicateur statistique de la dispersion de la donnée. La dispersion peut être due à une faible qualité de l'information, mais elle peut être également représentative d'une dispersion naturelle liée à la variabilité du fond marin dans la cellule. Il est proposé une valeur dérivée de l'écart type pour filtrer et écarter les forts écarts type associés au relief.

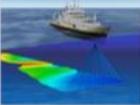
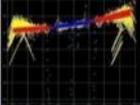
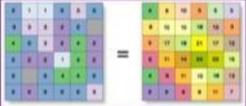
PARAMÈTRE	SEUILS	POIDS ATTRIBUÉ	ILLUSTRATION
ANGLE D'INCIDENCE	$\leq 10^\circ$ OU $\geq 65^\circ$	1	
% DE SONDES INVALIDES	10 %	2	
Δ (ECART-TYPE, σ)	1	3	

Figure 7 : Paramètres mis en œuvre dans la production d'un indice-qualité. Pour chacun des trois paramètres un seuil est fixé et si ce dernier est dépassé un 'poids' est attribué à la cellule du raster. La somme des poids des paramètres fournit la valeur de l'indice-qualité de la cellule du raster de bathymétrie.

Résultats et aide à l'interprétation

Les résultats sont illustrés ici sur la base d'un jeu de données acquis au large de la Corse : Campagne Sigolo, 2002, N/O Le Suroit, sondeur Kongsberg Simrad EM300.

Le résultat est un indice qualité qui se présente sous forme de 5 classes combinant les paramètres mentionnés précédemment. Les classes 4 et 5 indiquent le cumul d'au moins deux des paramètres d'alerte et pointe donc les cellules du raster qui seront à considérer comme potentiellement douteuses.

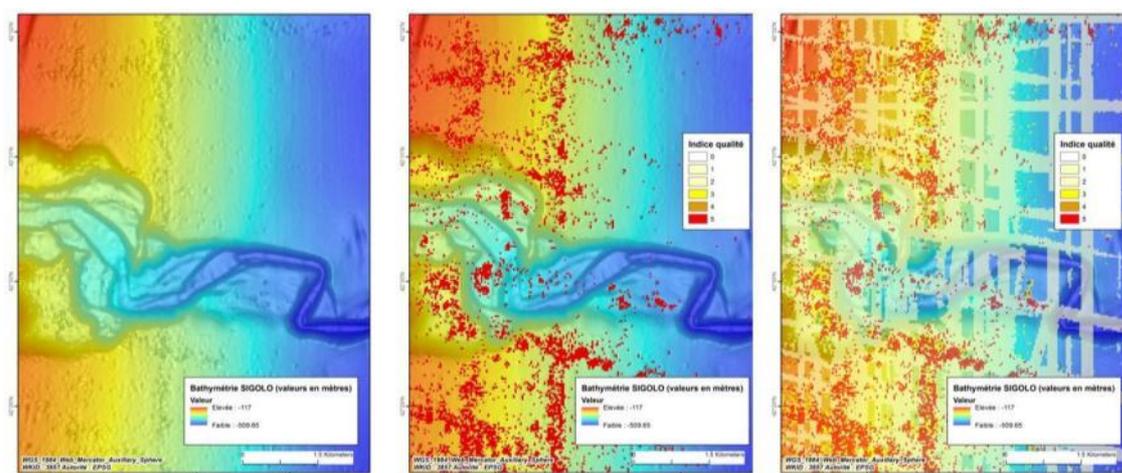


Figure 8 : Résultat du calcul de l'indice-qualité de l'exemple. Une cellule avec un indice-qualité de valeur 5 est une cellule qui cumule un dépassement des seuils sur les paramètres relatifs au taux de sondes invalides et à l'écart-type (carte au centre, cellules en rouge)). La carte de droite présente une couche d'indice-qualité complète avec des cellules présentant des valeurs allant de 0 à 5. L'interprétation scientifique devra considérer les cellules de bathymétrie avec des valeurs d'indice-qualité 4 et 5 comme douteuses au regard de la réalité des fonds.

Perspectives

La méthode proposée ci-dessus est appliquée à un jeu de données d'un levé unique, provenant d'une seule et même campagne à la mer. Notre étude aborde également la compilation de données de sources différentes.

Jusqu'à-là les logiciels utilisés offrent essentiellement des options de fusion par ordre de priorité, ou bien de compilation par moyenne dans les zones de recouvrement. Pour faire évoluer ces approches rudimentaires, nos travaux ont porté sur l'utilisation du paramètre d'écart-type de la cellule et comparativement à son voisinage comme un nouveau facteur de pondération des grilles raster à l'occasion de leur fusion.

Cependant, l'évaluation de la qualité reste un exercice complexe du fait de la nature de la donnée acoustique, des conditions très diverses de leur acquisition et du niveau de traitement appliqué. L'étude présentée ici devra naturellement s'enrichir de nouveaux paramètres susceptibles d'affiner la classification de l'indice-qualité. Il s'agira par exemple de mieux définir la qualité acoustique, et de mieux apprécier la qualité de l'acquisition au regard de la diversité des levés océanographiques. Dans le cas des compilations, le défi est également d'évaluer la résolution native(?) des différents rasters.

Planification spatiale des activités aquacoles en Normandie : co-construction d'un outil d'aide à la décision

A. Gangnery¹, M. Ropert¹, M. Callier², J.-P. Blancheton², J. Meillon³, C. Satra Le Bris³, C. Bacher⁴, E. Roque d'Orbcastel⁵

¹ Ifremer, LERN, Port En Bessin, France.

² Ifremer, L3AS, Palavas Les Flots, France.

³ Ifremer, SISMER, Plouzané, France.

⁴ Ifremer, DYNECO, Plouzané, France.

⁵ Ifremer, LERLR, Sète, France.

Introduction

Face au constat que l'écart ne cesse de se creuser entre la quantité de produits de la mer consommés dans l'Union Européenne et les volumes fournis par le secteur de la pêche, l'UE a fait le choix de promouvoir fortement le développement durable de l'aquaculture au travers de sa Politique Maritime Intégrée et de la réforme de la Politique Commune des Pêches. L'aquaculture marine se pratique généralement sur le littoral côtier au même titre que de nombreuses autres activités (e.g. pêche, tourisme, navigation maritime, industrie pétrolière et nucléaire, énergie renouvelable, extraction de matière première) et auxquels s'ajoutent différentes mesures de protection environnementale (e.g. zones Natura 2000, réserves naturelles) susceptibles de représenter des contraintes au développement aquacole. Dans ce contexte, un réel besoin de planification existe. Il a été formulé au niveau européen par la Directive PEM (Planification de l'Espace Maritime) visant à organiser la répartition spatiale et temporelle des activités humaines se déroulant en mer pour garantir leur efficacité et leur durabilité. Le projet AquaSpace (Making Space for Aquaculture - 2015-2018 ; <http://www.aquaspace-h2020.eu/>) a pour objectif de contribuer au cadre décisionnel européen de la planification spatiale en aquaculture en développant des outils d'aide à la décision en association étroite avec les parties prenantes. Cette démarche (développement d'outils & concertation) sont appliqués à 21 cas d'étude, dont la Normandie, région à forte dominante conchylicole, la pisciculture marine se limitant à deux entreprises. En Normandie, le démonstrateur SISAQUA (Système d'Information Spatiale pour l'AQUaculture ; <http://sisaqua.ifremer.fr>) a été réalisé à partir d'une application originellement développée en Norvège, Akvavis, dans le cadre d'un précédent projet. Ses fonctions sont de regrouper et visualiser différents types de données spatialisées à la fois d'intérêt pour l'aquaculture mais également susceptibles d'être contraignantes et de proposer le calcul d'indicateurs permettant de fournir une aide à la décision. Grâce au projet AquaSpace, SISAQUA a pu évoluer en termes de contenu, par la mise en place d'un processus de concertation avec les

parties prenantes locales, ainsi que sur un plan technique en faisant migrer le démonstrateur au sein de l'Infrastructure de Données Géographiques Sextant de l'Ifremer. La concertation a également permis de communiquer autour de l'existence de SISAQUA et de faire émerger des discussions plus générales autour des enjeux du développement de l'aquaculture en Normandie.

Processus de concertation

Deux ateliers de travail ont été organisés en 2016 et 2017 avec le soutien des services de l'Etat en charge de la gestion et de l'occupation domaniale des activités en mer (Direction Inter-Régionale de la Mer Manche Est-Mer du Nord et Directions Départementales des Territoires et de la Mer du Calvados et de la Manche). Ils ont réuni un large panel de parties prenantes régionales incluant plusieurs services de l'Etat, les collectivités territoriales, des représentants de la production aquacole (conchyliculture et pisciculture marine), des centres techniques et instituts de recherche appliquée, des organisations non gouvernementales et des instituts publics, soit une vingtaine de structures au total.

Le premier atelier avait pour objectif d'identifier et de hiérarchiser les informations nécessaires à la planification des activités aquacoles en Normandie et de vérifier leur disponibilité. Cet atelier a également permis de discuter des enjeux du développement de l'aquaculture dans cette région. L'acceptabilité sociale des activités aquacoles est apparue, entre autres, comme un enjeu très important. Après une présentation de SISAQUA présentant son évolution depuis le premier atelier (intégration de nouvelles données qui avaient été identifiées et migration sous Sextant), un second atelier a été organisé avec comme principal objectif la co-construction de nouveaux indicateurs (Figure 1). Ce travail a été conduit en organisant simultanément deux groupes de travail, l'un dédié aux indicateurs spatialisés reposant plutôt sur des données physiques et biologiques de nature géographique et l'autre dédié aux indicateurs de type gouvernance et société dont l'acceptation par la société civile et les autres usagers.



Figure 1 : clichés du second atelier qui s'est déroulé en juin 2017, présentation à l'assemblée (gauche) et travail en groupes sur les indicateurs (droite).

Evolution de SISAQUA

Evolution technique

Lors de son développement en Norvège, SISAQUA reposait déjà sur l'utilisation de technologies SIG et web. Structurellement, l'application se partage entre une partie client, accessible en ligne, et un serveur, alors situé en Norvège. Ce dernier assure le stockage de des données, permet leur manipulation (affichage des couches et combinaison pour calculer des indicateurs). La partie client correspond à l'interface utilisateur dynamique et autorise les communications avec le serveur ainsi qu'avec des services externes (protocoles WMS par exemple). Au cours du projet AquaSpace, l'application a été transférée sous l'Infrastructure de Données Géographiques de l'Ifremer : Sextant. Ceci a permis de conserver l'ensemble des fonctionnalités initiales (interface Web SIG) mais également d'en ajouter de nouvelles : catalogage de métadonnées et service d'extraction, le tout dans le respect des exigences de la Directive Inspire garantissant l'interopérabilité entre bases de données. Un module de traitement en ligne a été développé spécifiquement afin de générer des indicateurs.

Nouvelles données et nouveaux indicateurs

Suite au premier atelier de concertation et au recensement des données, de nouvelles couches d'information ont été intégrées à SISAQUA qui agrège aujourd'hui 127 couches d'information. Une arborescence regroupe ces couches par thématique (Figure 2) : données environnementales à terre, sur estran et en mer ; informations sur les protections & inventaires, les autres usages et l'état & la qualité de l'environnement et enfin des données en lien avec l'aquaculture. Parmi ces données, certaines sont issues de modélisation numérique hydrodynamique et/ou biologique (écophysiologie) : paramètres physiques décrivant le fonctionnement des écosystèmes (e.g. température, salinité, courant, vagues) ou encore paramètres biologiques décrivant les performances d'élevage des espèces conchylicoles (e.g. longueur de coquille ou indice de condition atteints après 1 an d'élevage, temps mis pour atteindre la taille commercialisable). Les simulations ont été réalisées offline et les résultats intégrés à SISAQUA.

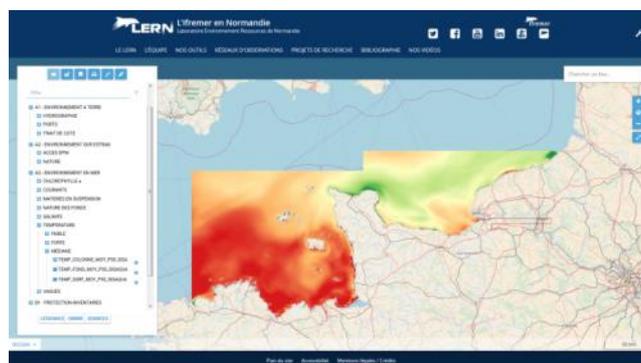


Figure 2 : page d'accueil de SISAQUA transféré sous Sextant, la structuration des informations apparaît dans la partie gauche de l'écran.

Ces informations peuvent avoir différentes sources. Elles peuvent avoir été produites dans le cadre du développement de SISAQUA (typiquement les données issues de modélisation) ou

dans le cadre d'autres projets et diffusées par l'Ifremer (accès via des WMS portés par Sextant). Enfin, de nombreuses couches d'information (70 %) sont diffusées par service web et moissonnées à partir d'autres infrastructures. Parmi les données diffusées par SISAQUA, certaines sont disponibles et peuvent être téléchargées depuis l'application dans le respect des règles fixées par leurs ayants droits.

Trois indicateurs sont aujourd'hui accessibles et applicables dans SISAQUA. Le premier, déjà présent dans la première version de SISAQUA, permet d'identifier des zones potentiellement propices à de nouvelles installations conchylicoles (ostréiculture et mytiliculture) sur la base de 3 critères : la longueur de coquille, l'indice de condition (ratio entre la masse totale et la masse de chair) et la bathymétrie. L'utilisateur sélectionne lui-même ses seuils à travers une boîte de dialogue qui répercute une requête au serveur hébergeant les données. Ce même serveur retourne ensuite un résultat cartographique identifiant l'aire géographique qui satisfait aux seuils requise par l'utilisateur. Deux nouveaux indicateurs ont pu être intégrés suite au second atelier de travail participatif. Le premier concerne l'identification de sites propices au regard de techniques d'élevage. Il est basé sur 4 critères : la vitesse des courants, la bathymétrie, la température de l'eau et le type de substrat (Figure 3). Le second concerne l'identification de zones propices au développement d'une activité de salmoniculture qui limiterait le risque de parasitisme. Il est basé sur 3 critères : la salinité, la bathymétrie et le type de substrat.

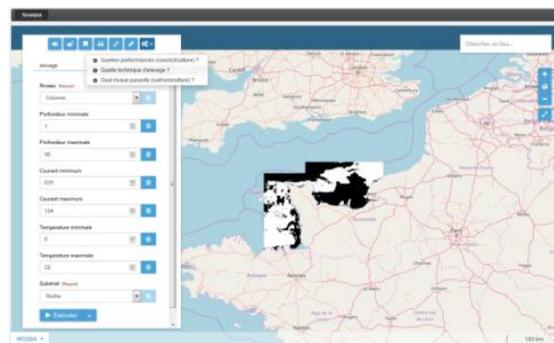


Figure 3 : exemple de requête pour l'indicateur portant sur zones propices relatives aux techniques d'élevage.

Conclusion

SISAQUA est aujourd'hui un outil de partage d'informations qui permet notamment d'éclairer le débat public. Il permet, entre autres, aux scientifiques de transférer utilement les connaissances acquises par le biais d'une infrastructure technique solide et efficace. Il rassemble des informations de nature diverse (issues de mesures comme de modélisation numérique) et d'origine multiple (son interopérabilité garantit l'accès et la visualisation de données externes) qui par combinaison permettent de produire des indicateurs synthétiques. L'accessibilité via un portail web rend son utilisation aisée et conviviale tout en respectant les normes et standards de diffusion des données.

Utilisation d'une cartographie dynamique pour la valorisation du géoréférencement des arrêtés de pêche

Les informations et données sur l'activité de pêche sont nombreuses, éparses et parfois difficiles d'accès pour l'utilisateur.

La Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) a réalisé un premier outil de connaissance, de gestion et d'aide à la décision sur l'activité halieutique française, complémentaire du Système d'Information Halieutique (SIH) porté par l'Ifremer. Ces outils apportent des informations essentielles sur la flotte, sa nature, la répartition spatio-temporelle de son activité, l'économie de la pêche professionnelle d'une manière générale.

En revanche, ils n'ont pas vocation à accompagner la pratique quotidienne de la pêche par les usagers de la mer, qu'ils soient professionnels ou pêcheurs de loisir.

La Méditerranée connaît aujourd'hui deux tendances en matière de pêche : une augmentation et une diversification de sa réglementation ; un accroissement significatif des pêcheurs récréatifs, avec des équipements de plus en plus performants et des captures plus importantes. Recenser, clarifier et présenter au mieux la réglementation de la pêche est une volonté affirmée des services de l'État.

Le Portail Halieutique Méditerranéen poursuit cet objectif : mettre à disposition de l'ensemble des usagers de la mer les zones de réglementation en vigueur. En informant, il contribue à la sensibilisation des pêcheurs à la gestion de la ressource et participe à la sécurité en mer.

Accessible à tous, il permet de consulter rapidement sur une zone déterminée la nature de l'interdiction, le type de pêche, engins, espèces concernés, la date et la durée de mise en œuvre, l'existence ou non d'une liste de pêcheurs autorisés. Un lien permet à l'utilisateur de télécharger directement la réglementation.

La réalisation de ce portail est inscrite dans le programme de mesures du Plan d'action pour le milieu marin (PAMM).

Disponible en mars 2018 sur la plateforme MEDTRIX.

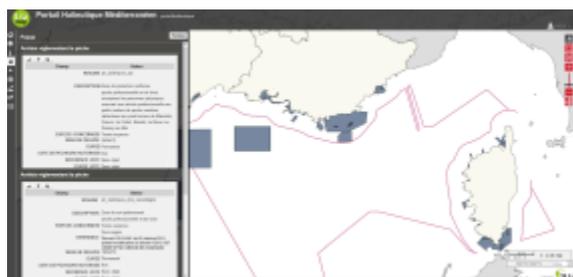


Illustration 3: Capture d'écran du PHM (Portail Halieutique Méditerranéen)

Spatialisation de l'activité pêche

Parallèlement à l'exercice de leurs missions régaliennes originelles, les DIRMs ont vu se développer leur rôle dans la planification maritime intégrée, notamment dans le cadre des documents stratégiques de façade. L'établissement d'une situation de l'existant nécessite la connaissance et la spatialisation des activités humaines en mer, dont l'exercice des pêches. La cartographie de l'activité des pêches professionnelles est basée sur l'exploitation des données VMS (Vessel Monitoring System). Ces données sont disponibles pour tous les navires de plus de 12 mètres et tous les navires pêchant la coquille Saint-Jacques. Le traitement de la donnée VMS a été effectué par le CEREMA Dter Normandie Centre pour la DIRM NAMO. Les analyses sont disponibles sous forme de données carroyées (mailles de 3x3 milles et 1x1 mille), et permettent notamment d'observer la répartition spatiale des navires selon plusieurs critères discriminant (engins de pêche, nationalité, quartier d'immatriculation, saisonnalité...). Même si ces analyses ne reflètent pas l'exhaustivité des pêches, elles permettent néanmoins d'établir une photographie à petite échelle de l'activité. D'une meilleure connaissance de l'activité de pêche viendra une meilleure prise en compte de celle-ci dans les exercices de planification et de prospective en mer.



Illustration 4: Exemple de rendu cartographique

Conclusion

Ces pratiques mises en œuvre par les DIRMs, pour parfaire et consolider les données pêches existantes, concourent à une harmonisation des pratiques SIG dans leur giron de compétences.

Cartographie des captures et rejets d'espèces commerciales et planification spatiale des pêcheries chalutières dans le golfe du Lion

Sandrine Vaz¹, Anais Médiéu¹, Angélique Jadaud¹

¹Ifremer, UMR MARBEC, Sète, France

Contexte et méthode

En Méditerranée française, la flottille chalutière est composée de 70 navires qui représentent 5% du nombre total de navires de la façade méditerranéenne et fournit entre 85 et 90% des apports en produits frais de la mer en Méditerranée. Le chalut de fond, ou chalut démersal, est l'engin le plus utilisé par la flottille chalutière et il cible un grand nombre d'espèces comme le merlu, la baudroie, les rougets, les cephalopodes, etc... En Méditerranée, en l'absence de gestion par quota, une trentaine d'espèces exploitées bénéficient de tailles minimales de capture (TMC) réglementaires qui ont pour but de favoriser la survie des juvéniles (poissons sexuellement immatures) et ainsi permettre un renouvellement suffisant des stocks. Malheureusement, la majorité des stocks sont dans un état critique de surexploitation ou en déséquilibre écologique. Le rejet, capture non débarquée et rejetée en mer morte ou vivante, est estimé à environ 18,6% de l'ensemble des captures réalisées en Méditerranée⁴. La pêche chalutière, parce qu'elle est multi-spécifique et non sélective, est en grande partie responsable de ce fort taux de rejets. De plus, le chalutage démersal est considéré comme le plus impactant des arts traînants pour les sédiments et les habitats benthiques.

Cette étude s'intègre dans le premier volet du projet Galion⁵ et a pour but de réduire les captures d'individus sous TMC d'espèces commerciales. Elle se doit donc de répondre aux questions suivantes : i) où se situent dans l'espace et le temps les individus sous-taille d'espèces exploitées, ii) quelles sont les zones économiquement intéressantes pour les pêcheurs car riches en captures et, iii) quelles stratégies de zonage faudrait-il adopter pour limiter les rejets tout en assurant un maintien des pêcheries chalutières et en évitant les habitats benthiques sensibles aux chalutages. Pour ce faire, deux grands objectifs ont été définis dans cette étude : 1) Cartographier la distribution des captures et des rejets (individus sous TMC) des espèces commerciales et mettre en évidence de zones de récurrence multi-annuelles fortes où les espèces cibles sont dominées par des individus sous-taille. 2) Proposer des planifications spatiales des pêcheries chalutières en identifiant des zones d'évitement (saisonniers ou pérennes) de telle sorte que d'une part les taux de

⁴ Tsagarakis K., Palialexis A. & Vassilopoulou V. 2013 – Mediterranean fishery discards : Review of the existing knowledge.- *ICES Journal of Marine Science*, 71, p. 1219 – 1234

⁵ <http://galion.amop.fr/> et <https://fr-fr.facebook.com/Projet-Galion-910339892354202/>

rejets et la sensibilité des habitats au chalutage soient forts, et d'autre part que l'effort de pêche soit faible.

Quatre jeux de données ont été utilisés pour cartographier la distribution spatio-temporelle des captures et des rejets dans le golfe du Lion. Les données de la campagne annuelle MEDITS (chalutage de fond standardisé avec maillage fin, suivant un plan d'échantillonnage scientifique, 1994-2015). Pour chaque coup de chalut, les espèces contenues dans chaque capture sont triées, comptées, mesurées et pesées⁶ et il est possible de déterminer une densité totale ou de rejets (pour les individus sous TMC). Les données issues de la campagne scientifique PELMED (2003-2015), suivi acoustique couplé à des chalutages d'identification, permettent également d'estimer des densités par espèces et de discriminer les individus sous-taille du reste de la capture. Pour compléter les abondances de rejets issues des campagnes scientifiques, des données d'observation en mer de l'activité de pêche ont également été utilisées permettant d'obtenir tout au long de l'année et par mois le nombre total et la taille des individus échantillonnés. Finalement les données VMS de surveillance satellite des pêcheries croisées aux données de production déclarées par chaque navire permettent de calculer et de localiser l'effort de pêche (en nombre d'heure de pêche) et de géoréférencer les captures et leur valeur a posteriori. Au total 19 espèces démersales, dont deux crustacés, et deux espèces de poissons pélagiques ont donc été ciblées pour cette étude.

Les données de campagne et d'observation de la pêche ont été interpolées annuellement suite à des analyses variographiques et du krigeage ordinaire. Les données de captures été agrégées sur une grille de 3'x3' à une fréquence mensuelle (2005-2015). Les valeurs des captures ont été représentées par port de débarquement principal. L'identification des zones de fermetures saisonnières ou pérennes aux pêcheries chalutières s'est faite grâce au logiciel Marxan⁷, un logiciel d'aide à la décision très utilisé pour la création de zones protégées. Cet outil permet de fixer des cibles de conservation chiffrées (de zones où les juvéniles sont présents ou de zones d'habitats benthiques sensibles) tout en évitant de limiter l'usage de zones dont l'intérêt économique pour la flottille de pêche est importante.

Résultat et discussion

Parmi les 19 espèces démersales cibles de cette étude, il a été possible de distinguer des individus sous-taille pour dix d'entre elles avec MEDITS et pour 18 d'entre elles avec OBSMER auquel s'ajoutent deux espèces pélagiques obtenues avec PELMED et OBSMER. En fonction de la quantité d'observations disponibles, les données n'ont pas toujours pu être cartographiées chaque année et ont pu faire l'objet de regroupement sur des périodes plus

⁶ MEDITS Working group. 2013. International bottom trawl survey in the Mediterranean – Instruction manual. Version 7. 120p.

⁷ Game E.T. & Grantham H.S. 2008 – Marxan User Manual: for Marxan version 1.8.10. University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia & Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada.

Ball I.R., Possingham H.P. & Watts M.E. 2009 – Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritization. – *Spatial conservation prioritisation : Quantitative methods and computational tools*, Chapter 14, p. 185-195.

large. L'étude de ces cartes révèle par ailleurs que la structure spatiale des rejets pour les espèces analysées annuellement paraît globalement stable au cours des années (Fig. 1A).

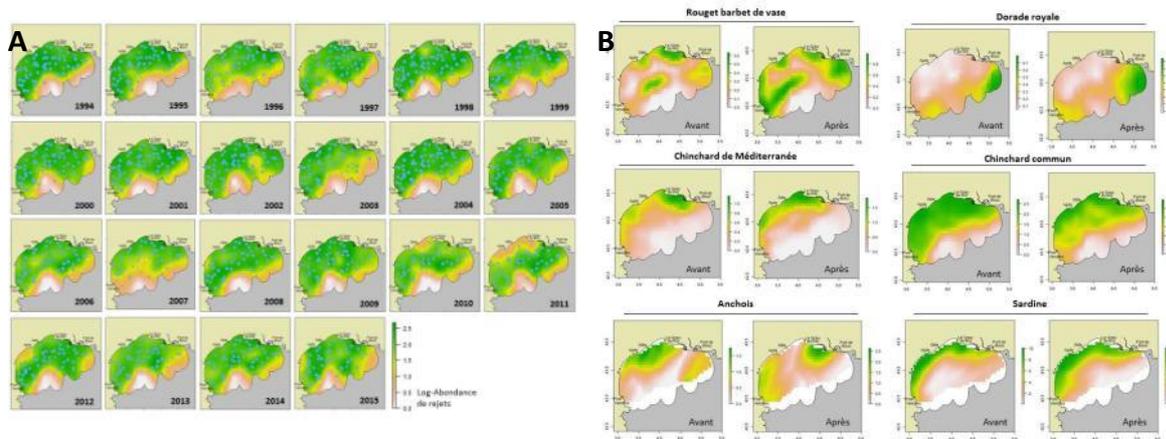


Figure 1 : A . Distribution des rejets de Merlu de 1994-2015 (MEDITS). B. Distribution des rejets par espèces avant et après 2009 (MEDITS et PELMED)

En revanche les cartes des données d'observation à la mer montrent que la distribution spatiale des rejets échantillonnés n'est pas stable au cours du temps. Les tests de regroupement en saison ont permis de définir trois « saisons » ou groupements de mois durant lesquels la distribution spatiale des rejets observés est semblable. La première saison regroupe les mois de novembre, janvier, février et mars, la seconde va d'avril à août et la troisième réunit les mois de septembre, octobre et décembre.

Pour certaines espèces, les rejets sont présents de façon homogène sur une large bande côtière (sardine), voire sur l'ensemble de la zone (merlu, chinchard commun). Pour d'autres, les rejets sont plus dispersés en patch près des côtes et autour des ports (anchois, pageot commun, sole) ou au large (rouget barbet de vase, langoustine, crevette rose) (Fig 1.B). En revanche, les captures des chalutiers sont essentiellement localisées près des côtes et autour des ports principaux de débarquement et restent très stables au cours du temps.

La cible de protection des zones avec individus sous TMC et des habitats sensibles a été fixée à 30%. Au total, 96 scénarios de gestion ont été testés avec MARXAN, 2 engins sur 2 périodes (avant et après 2009), trois saisons et toute l'année, trois niveaux de préservation des zones importantes à l'activité de pêche, la prise en compte ou non d'AMP déjà existantes. Il résulte de l'ensemble de ces résultats que les zones côtières sont les secteurs privilégiés à protéger pour éviter la capture d'individus sous TMC d'espèces commerciales et préserver les habitats sensibles au chalutage. La protection de l'activité chalutière force Marxan à sélectionner des zones plus au large pour éviter les secteurs abondants en individus sous TMC et sensibles au chalutage. Plus le degré de maintien de la pêche est élevé, plus il est difficile pour Marxan d'atteindre les cibles de protection des rejets et des habitats (Fig.2).

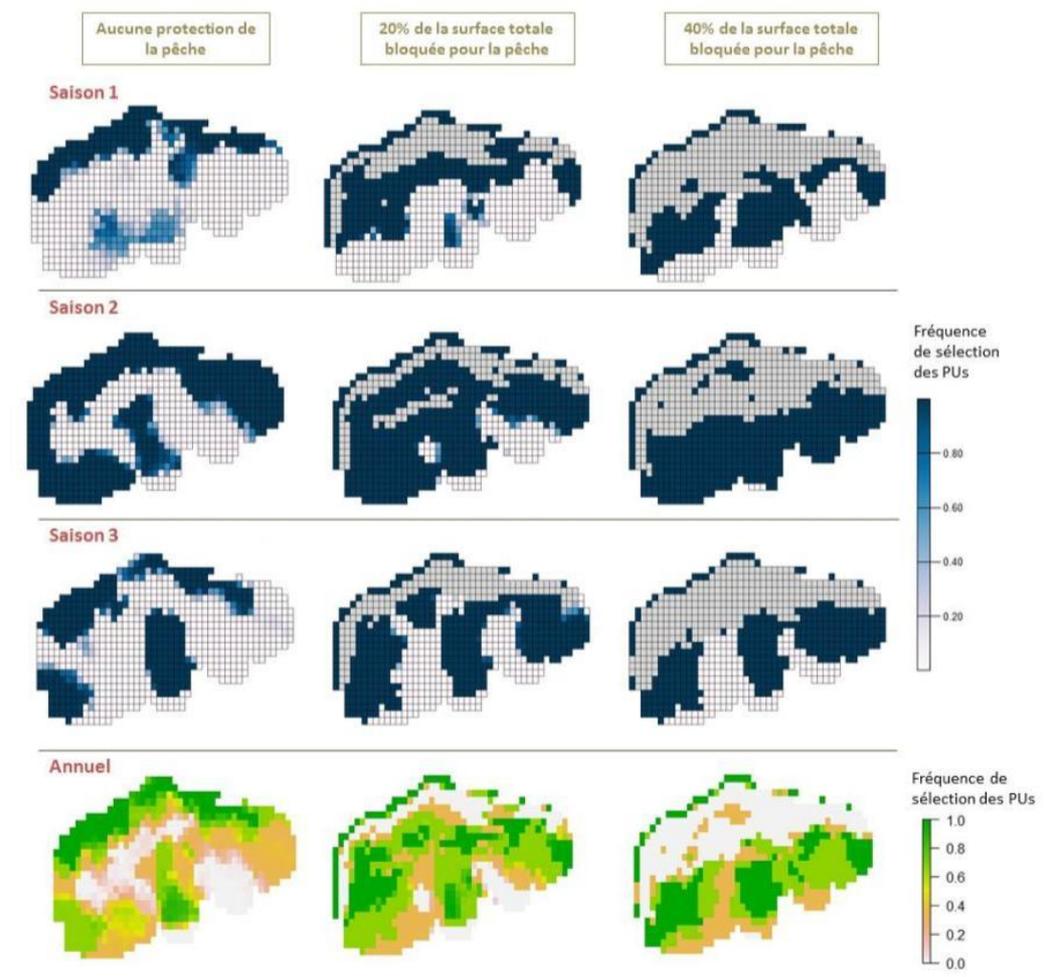


Figure 2 : Scénarios saisonniers et annuel de planification de la pêche chalutière. Cas des chaluts de fond, après 2009.

Conclusion

La cartographie des captures et rejets ainsi que la planification spatiale des pêcheries a permis de souligner l'importance de la bande côtière dans le golfe du Lion. En effet, ce secteur est à la fois le plus abondant en individus sous-taille d'espèces commerciales, mais aussi le plus prisé par les pêcheurs car c'est dans cette zone que se font l'essentiel de leurs captures journalières. Des compromis entre exploitation et préservation des individus sous taille devraient être trouvés afin d'assurer l'exploitation durable des ressources. Les scénarios de planification spatiale, parce qu'ils intègrent à la fois la protection des individus sous-taille, la préservation des habitats sensibles au chalutage et le maintien de l'activité chalutière, constituent un outil intéressant pour aider les pêcheurs et les scientifiques dans l'établissement d'une gestion adaptée des stocks exploités. La réduction, voire la suppression de l'effort de pêche dans les zones protégées existantes pourrait en partie aider à limiter les captures d'individus sous TMC sans trop impacter l'activité chalutière.

Les signaux AIS et les SIG pour l'étude du trafic maritime

Arnaud SERRY¹, Laurent LÉVÊQUE², Ronan KERBIRIOU³

¹²³Laboratoire IDEES, Université du Havre, France.

Le fonctionnement des signaux AIS

L'AIS (*Automatic Identification System*) est un système d'échange de données entre navires rendu obligatoire par l'Organisation Maritime Internationale (OMI) depuis 2004 afin de renforcer la sécurité maritime. Ces règlements font partie du chapitre V de la convention SOLAS⁸. Cette réglementation concerne spécialement les navires d'une jauge brute égale ou supérieure à 300 tonneaux (tjb⁹) qui effectuent des voyages internationaux et les navires à passagers quelles que soient leurs dimensions. Ce système se nomme Automatic Identification System (AIS). Ces systèmes embarqués ou à terre sont d'autant plus importants que le trafic maritime est dense et augmente comme dans les principaux points de passages obligés que sont les détroits et canaux ou dans les zones de concentration portuaire (Mer du Nord par exemple).

L'AIS présente des avantages pour les acteurs du transport maritime : amélioration de la sécurité, amélioration de la gestion des flottes et de la navigation. Sa diffusion présente aussi de nombreux avantages pour la gestion de la voie maritime. Cependant, la généralisation de l'AIS pose des problèmes de confidentialité pour les armateurs, voire de sécurité. Les données transmises par l'AIS sont en effet à la portée de tous, y compris de la communauté scientifique (Serry & Lévêque, 2015).

L'AIS est considéré comme le système de détection actuellement le plus efficace même si sa fiabilité est loin d'être parfaite. Ce système qui permet de visualiser les navires sur leur parcours est un dispositif qui permet également la traçabilité des navires, mais aussi d'anticiper leurs mouvements. Le fait de disposer en temps réel de données précises sur la position des navires permet de gérer efficacement la circulation, de réagir plus promptement en cas d'accident ou d'incident, tout en disposant d'une information plus précise sur les cargaisons dangereuses ou encore d'améliorer le contrôle des navires à des fins de sécurité. L'AIS est, par ailleurs, appelé à devenir un élément important pour lutter contre les pollutions marines d'origine circulatoire (Serry & Lévêque, 2015).

⁸ Safety Of Life at Sea [<http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-%28SOLAS%29,-1974.aspx>].

⁹ Tjb : le tonneau de jauge brute est l'une des unités de mesure de la capacité de transport d'un navire.

L'utilisation de l'AIS repose sur le caractère multi scalaire ; échelles spatiales (local/global) et temporelles (temps court/temps long) de l'information produite par les signaux AIS couplée à d'autres bases. Elle permet des applications opérantes dans des domaines variés. Une application potentielle des données AIS archivées consiste ainsi à extraire des statistiques de temps de voyage pour une population de navires (Mitchell et al, 2014).

La mise à disposition de données AIS archivées ouvre d'intéressantes perspectives pour la caractérisation des activités maritimes sur les plans spatiaux, temporels et quantitatifs. Les potentialités de l'AIS pour la recherche scientifique sont en fait multiples : analyse des routes maritimes empruntées par les navires, estimation des rejets des navires, identification des escales et de leurs durées, analyse des stratégies des compagnies maritimes, cartographie des flux de navires, analyse des interactions avec des éléments d'environnement du navire comme les conditions météorologiques, l'état de la mer, ou la densité du trafic.

La mise en place du projet CIRMAR

Afin de construire et d'exploiter une plateforme d'intégration de données et de développement applicatif fondé l'utilisation des signaux AIS, le projet CIRMAR implique une collaboration multidisciplinaire entre géographes, aménageurs et informaticiens notamment.

L'utilisation des signaux pour la recherche touche aussi bien la sécurité de la navigation que l'économie maritime ou encore les relations du trafic maritime avec la conjoncture mondiale ou régionale. Nous avons axé nos recherches autour de trois grands domaines :

- Le domaine géoéconomique portant sur l'insertion de la circulation maritime dans les chaînes logistiques globales,
- Le domaine de la sécurité de la navigation qui correspond à la finalité première du dispositif AIS,
- Le domaine de l'évaluation des impacts environnementaux de la circulation maritimes en corrélation avec de l'analyse d'image aérienne ou satellitaire.

Le projet CIRMAR s'appuie sur un réseau de chercheurs qui permet de développer et de tester des outils de traitement, d'analyses et de représentation des données. Dans le champ du transport maritime, l'exploitation des signaux AIS peut être considérée comme du « big data » étant donné la quantité de messages échangés quotidiennement. Ainsi, une plateforme informatique est en cours de développement permettant de recevoir, décoder, nettoyer, stocker, analyser et à terme diffuser les informations issues des messages AIS.

Les membres du projet CIRMAR ont commencé à exploiter les données récoltées et traitées. Plusieurs études de cas ont ainsi été mises en œuvre. Cette dernière partie propose de

s'appuyer sur celles-ci afin de mettre en avant les potentialités liées à l'utilisation des données AIS pour les acteurs du shipping et du monde portuaire.

Le projet CIRMAR en couplant AIS et SIG offre donc des développements applicatifs qui peuvent répondre aux problématiques des différentes parties prenantes du transport maritime (autorités portuaires, compagnies maritimes, opérateurs de terminaux notamment). Ces analyses peuvent répondre à différents types de besoins et de trafics (RORO, conteneurs...) et s'étendre à différentes échelles et zones géographiques. Le projet CIRMAR s'est consacré dans un premier temps au développement d'applications géoéconomiques, géomarketing et d'intelligence économique sur l'insertion du trafic maritime dans la chaîne logistique globale :

- Analyse des stratégies des compagnies maritimes : routes maritimes, choix des ports d'escales, capacité des navires,
- Identification et étude des réseaux maritimes,
- Calcul des taux de chargement et déchargement par port,
- Identification et durée des escales permettant de réaliser des diagnostics de performances des terminaux portuaires,
- Diagnostic fin des avants-pays portuaires via l'analyse des liaisons privilégiées : ports d'origine - ports de destination,
- Détermination des transit times et des vitesses de navigation selon les compagnies, les types de navires,
- Analyse des temps d'attente en rade avant la remontée d'un estuaire ou l'obtention d'un poste à quai,
- Analyse de la ponctualité des navires dans les ports par rapport aux plannings des compagnies maritime et impact sur les maillons terrestres de la chaîne logistique,
- Cartographie des flux de navires.

Exemples d'applications géoéconomiques

La présentation, illustrera à titre d'exemples des analyses consacrées aux applications géoéconomiques. Les analyses proposées s'intéresseront à différents aspects du transport maritime et de l'activité portuaire et s'appliqueront à des échelles d'étude différentes.

Concertation et cartographie participative : l'élaboration du schéma global d'organisation des mouillages du Parc national des Calanques

Hélène ROSSIGNOL¹, Sylvie MAUBOURGUET¹

¹Parc national des Calanques, Marseille, France

Le projet d'élaboration d'un schéma global de l'organisation des mouillages dans le Parc national : enjeux, objectifs et démarche

Enjeux

Le Parc national des Calanques fait l'objet d'une forte fréquentation du fait de son insertion dans le territoire d'une métropole de plus d'un million d'habitants et de sa notoriété croissante. La maîtrise des pressions qu'exerce la fréquentation des publics à terre et en mer sur les patrimoines naturels et culturels est un des axes forts de la politique de l'établissement public. Il élabore aujourd'hui un schéma global d'organisation des mouillages, élément fondateur de sa stratégie d'accueil dans l'aire marine protégée de son territoire.

Un grand nombre d'activités nautiques se déploient sur le territoire. Deux types de pratiques peuvent affecter le bon état écologique des écosystèmes côtiers : le mouillage des navires et le débarquement des canoë-kayaks et des stand-up-paddle.

Le mouillage forain concerne la plaisance, la plongée, les navires de transport de passagers pour la visite commerciale des Calanques, la pêche. La fréquentation régulière des sites de mouillage s'est accrue depuis dix ans. Concentrée sur les zones côtières de moins de 40 mètres de fond, elle est marquée par des pics saisonniers (printemps et été), essentiellement dans les calanques et autour des archipels.

Le développement des loisirs de pagaie (kayak, stand-up-paddle) s'accompagne du débarquement sur le littoral par les pratiquants et du stationnement des embarcations sur le plan d'eau, à l'interface de la mer et de la terre, lieu de confluence de multiples usages et pratiques (baignade, retournement des navettes à passagers, mouillage, etc.) et de conflits potentiels. Les écosystèmes des petits fonds côtiers et de la zone de déferlement, emblématiques des paysages de Méditerranée, sont soumis à une forte pression et sont fragilisés par cette fréquentation et ses effets cumulatifs. Il s'agit des herbiers de Posidonie, des algues photophiles, du coralligène et des encorbellements à *Lithophyllum* qui en subissent les impacts directs ou indirects : dégradation du substrat, arrachage des rhizomes et des feuilles par l'action mécanique des ancres et des chaînes (arrachage des feuilles et rhizomes, etc.), diminution de la luminosité nécessaire à la photosynthèse, piétinement, etc.

La dégradation des écosystèmes des petits fonds côtiers et des trottoirs à lithophyllum est préjudiciable à l'ensemble des fonctions qu'ils assurent : lieux de nurserie et de nourricerie, production d'oxygène et de biomasse, fonctions récréatives, économiques et sociétales, etc.

Objectifs du projet

Le Parc national des Calanques a aujourd'hui l'ambition d'élaborer un schéma global de l'organisation du mouillage, intégrant tous les sites et activités (traditionnelles et récentes), en conciliant trois objectifs : limiter les impacts des pratiques de mouillage et de débarquement sur les patrimoines naturels et paysagers, organiser la fréquentation nautique, préserver le caractère du parc national (nature, resourcement, etc.) et réduire les conflits d'usages.

Pour susciter une appropriation de ce futur schéma, le Parc national des Calanques souhaite conduire un travail de co construction avec l'ensemble des parties prenantes : usagers, administrations de l'Etat, collectivités territoriales, scientifiques, acteurs économiques, habitants des calanques, etc. Une démarche de concertation et d'intelligence collective permettra tout au long de l'année 2018 (12 mois) d'atteindre plusieurs résultats : l'élaboration d'un diagnostic co-construit, une vision partagée des futurs souhaitables en matière d'organisation du mouillage, la représentation d'un schéma cartographié débouchant sur la mise en place de dispositifs pérennes et d'une gestion environnementale qui en découleront.

Méthode

Le projet se décompose en trois phases principales :

- La synthèse et la représentation cartographiée simultanée des connaissances scientifiques disponibles sur l'état écologique des habitats marins potentiellement affectés par les mouillages et sur la fréquentation des sites de mouillage forains, mesurée par des données collectées et traitées par le Parc national des Calanques ; il s'agit par-là de disposer d'une base commune visuelle et scientifiquement fondée, à partager avec les usagers et acteurs, en concertation, pour établir un diagnostic commun sur le 'niveau de charge' actuel des sites et sur la 'durabilité' de la poursuite de la tendance actuelle.
- Une démarche de concertation territoriale et multi acteurs, conduite à la fois en ateliers et 'en ligne', animée par une équipe de sociologues externes et alimentée par un benchmark de quelques aires marines protégées de référence (ayant elles-mêmes conduit des projets d'organisation des mouillages sur leur territoire). Le support de la concertation est la cartographie *participative*, qui permet l'expression et la représentation du lien fort qu'ont les acteurs à leur territoire de pratique, tout en permettant de créer de la distance, nécessaire pour dépassionner les débats. La concertation est alors jalonnée par la production de quatre séries de cartographies : cartes interactives des pratiques actuelles par communautés d'utilisateurs croisées avec l'état écologique des habitats marins impactés (diagnostic partagé), cartes interactives

des projets futurs de mouillage à l'échelle de chaque communauté (vision future communautaire), cartes de la vision globale des projets 'intercommunautaires' (vision future globale)

- Une phase stratégique de co-conception du schéma d'organisation du mouillage et de débarquement avec les acteurs du territoire, fondée sur des scénarios articulant modes de gestion et d'encadrement, mesures d'accompagnement et aspects technicoéconomiques. Le choix concerté du schéma final constituera un *compromis* entre les parties prenantes, pour concilier enjeux d'accueil durable des publics et préservation des patrimoines. Une cartographie du schéma final est élaborée et présentée lors d'une restitution publique de la démarche de concertation.

L'outil numérique « cartographie participative », base de la concertation : un outil facilitateur de l'expression démocratique et distanciée des usagers et acteurs

La technologie de la cartographie participative est envisagée dans ce projet pour faciliter l'accompagnement de la concertation ; en effet la libre pratique du mouillage forain est aujourd'hui guidée par la recherche des intérêts individuels des usagers, globalement peu enclins à changer spontanément leurs pratiques pour aller vers une gestion concertée du patrimoine commun « Calanques ». Le défi de la concertation est de les amener à s'approprier le diagnostic et de contribuer à co construire le schéma de mouillage. Un accompagnement bienveillant facilitera la prise de conscience des impacts cumulés des pratiques actuelles sur les écosystèmes ; mais l'outil interactif de représentation cartographique nous a semblé être un bon moyen pour recentrer les débats sur la production d'effets globaux par agrégation des comportements individuels libres.

Il restait à trouver un outil cartographique web qui permette de toucher le plus grand nombre de participants possibles, notamment ceux habitant loin des lieux où se tiendrait la concertation, suffisamment intuitif pour en faciliter l'appropriation par les différents acteurs et suffisamment souple pour pouvoir s'adapter aux besoins de la concertation.

D'un point de vue plus technique, l'outil proposé doit permettre la centralisation des données recueillies tout au long de la concertation dans une base de données accessible pour faciliter leur traitement, et garantir un accès personnel et sécurisé à chaque contributeur pour qu'il puisse saisir dans un projet dédié ses propositions sans modifier ni voir les propositions d'autres personnes. En revanche, l'ensemble des contributions doit pouvoir être restitué dans un projet à part.

Le choix du générateur d'applications libre Lizmap

Après un premier tour d'horizon des solutions disponibles, le générateur d'applications Lizmap, développé par la société montpelliéraine 3Liz, a semblé répondre à un grand nombre de ces contraintes. En permettant la publication de projets entièrement paramétrés depuis QGIS et l'édition de couches PostGIS, le générateur d'applications s'intègre

parfaitement dans le SIG du Parc national, basé sur ces deux solutions. L'utilisation du serveur cartographique QGIS Server permet un rendu fidèle sur le web des options d'affichage choisies par l'utilisateur dans QGIS.

Chaque projet QGIS peut ainsi faire l'objet d'une application cartographique dédiée dans le portail Lizmap web client et paramétrée à l'aide du plugin Lizmap disponible dans QGIS (choix des niveaux d'échelles, des outils, des fonds de plan accessibles dans l'application, etc). Dans le cadre d'un projet d'envergure, comme l'élaboration du schéma de mouillage, on peut ainsi imaginer publier plusieurs applications cartographiques : un projet de saisie pour chacune des trois phases de concertation, plusieurs cartes de restitution des résultats, des cartes de consultation des données issues du diagnostic préalable, etc.

A ce stade, aucune compétence en web ou en développement n'est nécessaire et le générateur permet de publier très rapidement et de manière très simple une application web cartographique de qualité.

Un atout pour la concertation : une gestion fine des droits utilisateurs

Mener à bien la concertation implique de pouvoir garantir aux utilisateurs les meilleures conditions possibles pour recueillir leurs contributions. En proposant un panel très élargi de possibilités pour une gestion fine des droits des utilisateurs, Lizmap est particulièrement adapté à cet exercice. Le portail web dispose tout d'abord d'une option pour activer un formulaire de demande d'accès : chaque participant peut ainsi créer son propre compte. En fonction du groupe d'utilisateur auquel il est affecté, l'utilisateur peut avoir accès à tout ou partie non seulement des projets, mais aussi des outils et des données disponibles sur le portail.

La gestion des droits est extrêmement fine et plusieurs options, bien emboîtées les unes avec les autres, permettent d'aller assez loin pour autoriser ou bloquer l'accès aux utilisateurs. Dans le cadre de ce projet, on autorise l'accès aux personnes demandant un compte d'accéder aux cartes conçues pour la concertation. Puis, dans un projet dédié à la saisie, on parvient à créer un filtre qui permet à l'utilisateur connecté de ne pouvoir ajouter, modifier ou supprimer que des entités qu'il a lui-même créées, sans même voir les contributions des autres utilisateurs, alors que celles-ci sont stockées dans la même couche PostGIS. Toutefois, pour que la concertation reste publique, on propose un projet global de restitution qui permet de visualiser l'ensemble des contributions, mais cette fois, sans pouvoir les modifier.

Une méthode qui reste à construire ...

A ce jour, le bureau d'étude chargé de mener à bien la concertation n'a pas encore été choisi. La méthode de concertation basée sur l'outil de cartographie participative sera définie conjointement entre lui et le Parc national pour adapter au mieux l'outil aux besoins de la concertation. Si le projet est celui-là, tout reste encore à construire !

Monitoring 3D par fusion multi-capteurs: vers des réseaux de surveillance du milieu marin

C. NOEL¹ - S. MARCHETTI¹ - E. BAUER¹ - JM TEMMOS¹ - S. SIGNORET¹ - R. RANVIER¹
P. BOISSERY² - M. COQUET³

¹SEMANTIC TS, SANARY s/Mer, France.

²Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, MARSEILLE, France.

³CARTOCEAN Centre Associatif de Recherche et Technologie de l'Océan - 83110 SANARY s/Mer, France.

Introduction

SEMANTIC TS, bureau d'études en océanographie acoustique, utilise le son pour inférer et monitorer l'environnement aquatique : colonne d'eau (ressources halieutiques, observation d'espèces, comptage, cartographie...), végétations (Posidonies, zostères, cymodocées, laminaires ...), fond (topographie, nature, espèces : moules, crépidules ...), sous-sol.

Moyens & Méthodes

Cartographie par fusion multi-capteurs

Dans le cadre de travaux de recherche menés depuis 2004 en cartographie 3D et du monitoring du milieu marin, nous avons développé des méthodes de fusion des informations des données acoustiques provenant de différents appareillages acoustiques (écho-sondeur, sonar latéral, sondeur multi-faisceaux), ainsi que des données optiques issues de vidéos géoréférencées, les appareillages étant opérés simultanément ou non.

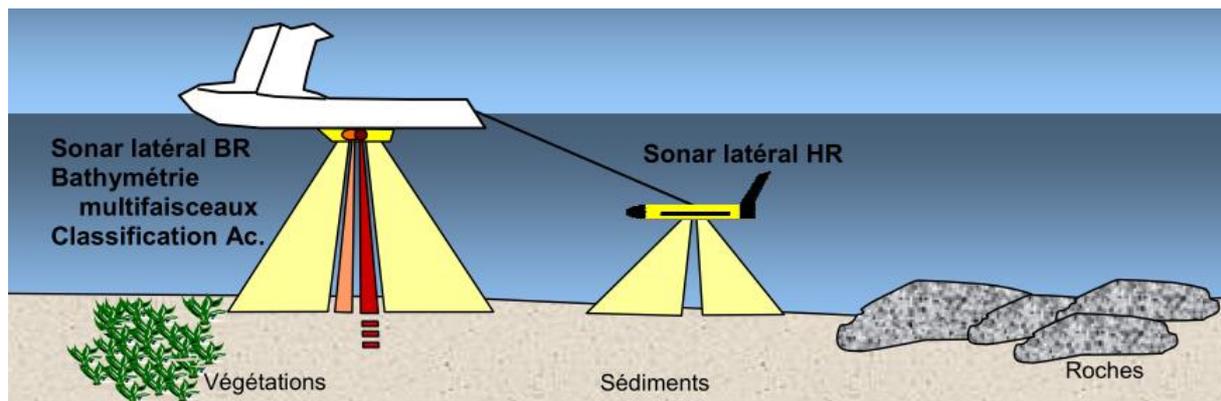


Figure 1 : Principe de la méthode de monitoring par fusion multi-capteurs de SEMANTIC TS

Ces systèmes fonctionnent à différentes fréquences et apportent donc des informations complémentaires sur le milieu marin. Les données en provenance de différents instruments sont très précisément géoréférencées par le même système de positionnement DGPS RTK/Centrale d'inertie (précision centimétrique) et sont synchronisées sur la même base temps. Nous avons, dans cet objectif, développé un logiciel superviseur, dont le rôle est de

cadencer les mesures : acquisitions en provenance des différents appareillages, communications avec la station d'acquisition et gestion des synchronisations, enregistrement des données dans la même base temps et le même référentiel géodésique. Un SIG scientifique spécifique a été développé intégrant le traitement des différentes données acoustiques et la fusion de leurs informations. Les données étant enregistrées dans le même référentiel "position-temps", la fusion des données est extrêmement performante dans le cadre de l'amélioration de la connaissance et du suivi du milieu marin.

Monitoring des fonds marins

Si produire des cartes précises des fonds marins est un challenge, assurer leur reproductibilité est encore plus complexe. Or c'est la condition requise, puisque c'est l'évolution entre deux cartes qui fournit des informations pertinentes pour qualifier les changements. Les techniques de monitoring des fonds aquatiques, mises au point par SEMANTIC TS, sont accessibles à la fois aux organismes militaires et au monde civil, et reposent sur trois axes de développement :

- Fusion de données à partir de différents capteurs et à différentes fréquences
- Design de plate-formes de sondage légères
- Mise au point d'une méthode acoustique de classification pour la nature des fonds & suite logicielle dédiée (SACLAF SIVA)

Le Système Acoustique innovant de Classification Automatique des natures de Fonds (SACLAF) appelé SIVA (Système d'Inspection Verticale Acoustique) que nous avons mis au point, permet le monitoring simultané des échos dans la colonne d'eau, de la nature, de la profondeur et de la couverture végétale du fond. Il est utilisable depuis fin 2017 à faible profondeur, permettant de suivre pertinemment aussi les très faibles fonds aquatiques et les milieux lagunaires.

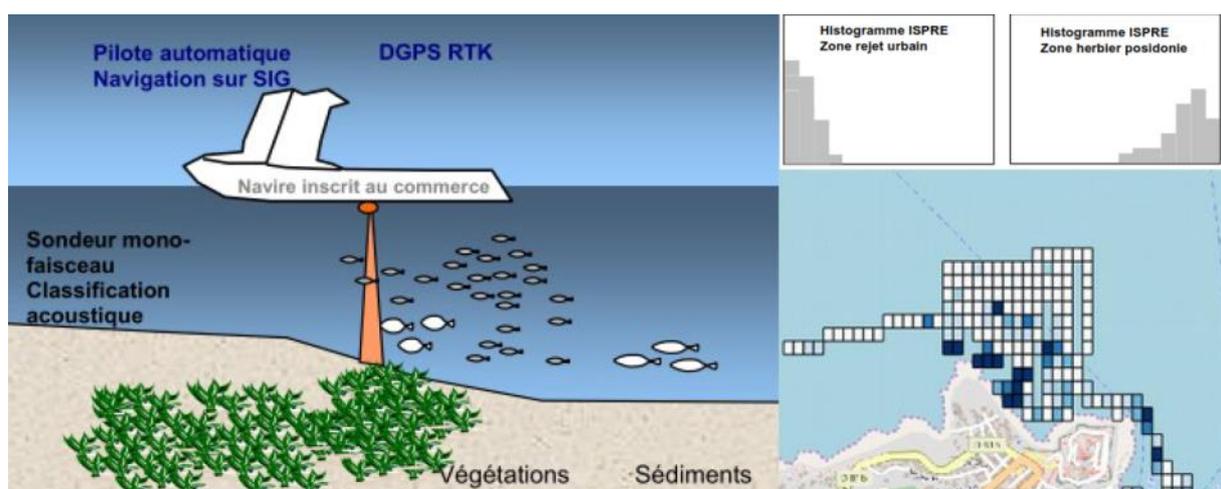


Figure 2 : A gauche : Principe de l'acquisition SACLAF – A droite : résultat du calcul de l'indicateur de présence des ressources halieutiques : répartition spatiale & histogramme

Un écho-sondeur émet du son à la verticale du navire et l'analyse du signal sonore réfléchi par le fond permet d'extraire des caractéristiques du fond qui aident à la classification. Pour cela il est nécessaire de disposer d'un écho-sondeur qui enregistre et restitue le signal réfléchi ; des traitements spécifiques du signal (Suite Logicielle DIVA/CLASS/FISH) sont ensuite effectués sur la réponse impulsionnelle afin d'en déduire de façon automatisée les caractéristiques géo-référencées de la végétation fixée (présence, absence, hauteur de la canopée) ou du sédiment superficiel (sable fin ou grossier, vase, roche...).

Surveillance de merritoires

Pour cartographier et monitorer les fonds marins, on utilise tout d'abord une méthode de type surfacique qui permet d'obtenir une image multi-faisceaux (imagerie sonar latéral) et d'y contourer (segmenter) des zones de réponses acoustiques homogènes.

Les méthodologies mises au point s'appliquent à la surveillance et à la modélisation de merritoires et en particulier de sites sous-marins sensibles en tant que hot-spots de haute biodiversité ou comme secteur à enjeux.

Réseau SIRENHA : Suivi des Ressources Naturelles Halieutiques par Acoustique (Réseau SIRENHA)

Le système SACLAF mis au point s'applique à la surveillance du milieu marin, notamment dans le cadre des suivis des ressources halieutiques en Méditerranée. Le principe du protocole technique d'usage de la méthode linéaire utilisant un sondeur mono faisceau est le suivant : Le navire se déplace le long de trajectoires prédéfinies qui échantillonnent spatialement le domaine à surveiller. Le sondeur mono-faisceau installé sous le navire acquiert des données acoustiques dans la colonne d'eau, qui sont post-traitées de façon automatisée et aboutissent à une cartographie surfacique des caractéristiques des détections de présence de ressources halieutiques. Le système s'opère à partir de plateformes instrumentées et géoréférencées, permettant de couvrir la gamme de profondeurs des fonds côtiers, dont les fonds lagunaires (quelques dizaines de cm de profondeur).

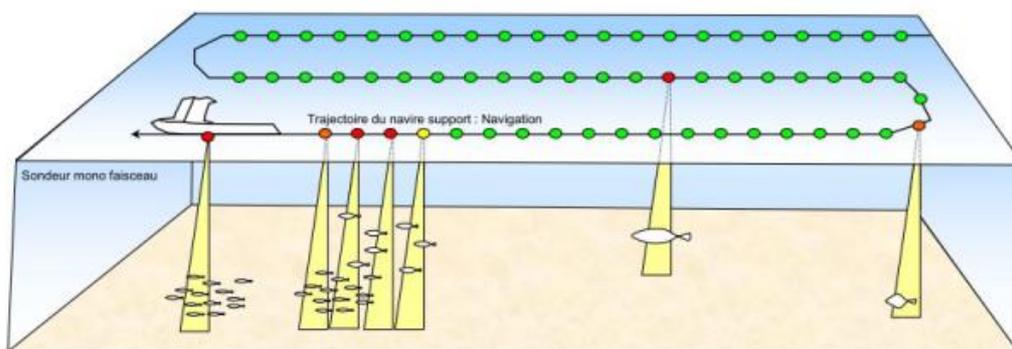


Figure 3 : Principe du protocole technique d'usage de la méthode linéaire utilisant un sondeur mono faisceau

Un indicateur surfacique "poissons" appelé ISPRE-MED (Indicateur Surfacique de PRésence de poissons de pleine Eau) a été défini. Correspondant au ratio, par unité de surface du nombre de détections par le nombre total de pings émis, il permet de passer d'un indicateur linéaire à un indicateur surfacique. (CF Figure 2 - A droit : exemple de résultats obtenus).

Réseau SIMON : Suivi de l'Impact du MOuillage de Navires

Nous présentons enfin les stations dédiées de suivi AIS que nous avons spécifiquement mises au point avec des fonctionnalités temps-réel et des objectifs de connectivité développés pour permettre le suivi de l'impact des navires sur l'herbier de posidonies.

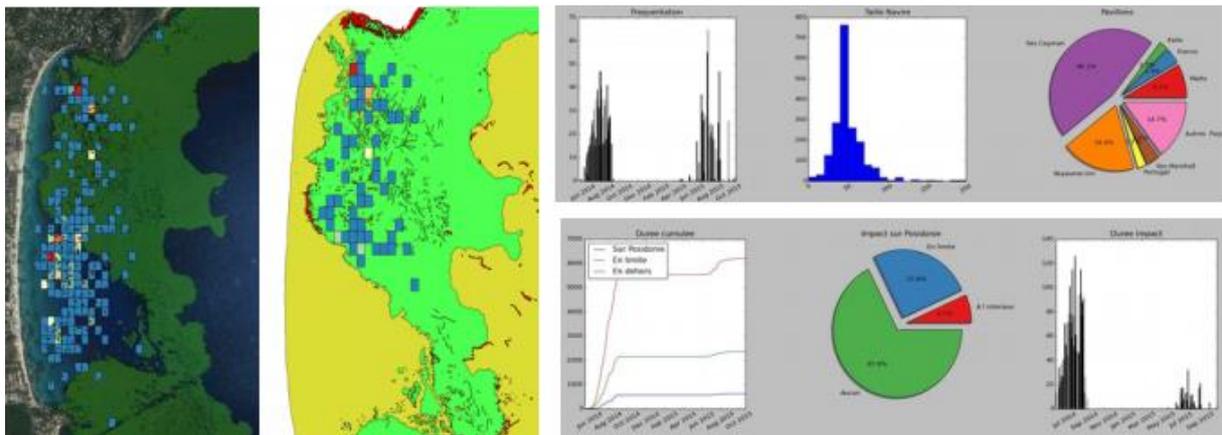


Figure 4 : A gauche : Nombre de navires au mouillage / ha - Au centre : indice de pression de mouillage à l'ha sur l'herbier de posidonies - A droite : exemple de données générées sur la station de traitement mise au point selon des requêtes dynamiques : analyse fréquentation, taille navires, répartition pavillon.

Conclusions

Les techniques opératoires préconisées par les méthodes de monitoring présentées sont à présent assez légères, à la fois en coût et en maniabilité, pour servir des besoins de suivis opérationnels. Ils peuvent intégrer dès à présent les obligations de surveillance liées à la bonne application des directives européennes (DCE, DCSMM, Natura 2000, MSP). Notons qu'elles requièrent une déclinaison rigoureuse de la chaîne précision-résolution des appareillages acoustiques opérés et des systèmes de positionnement géodésiques associés.

Remerciements

Les travaux relatifs au développement de la méthode de fusion multi-capteurs ont été soutenus par la D4S/MRIS de la DGA. Les travaux relatifs aux applications de ces méthodologies dans le cadre de réseaux de surveillance sont soutenus par l'Agence de l'Eau RMC et le développement du mini système SACLAF réalisé avec le concours des Investissements d'Avenir de l'Etat confiés à l'ADEME.

Utilisation de la photogrammétrie pour la cartographie et le suivi des herbiers de Posidonies

C. Reveret¹, C. Madelaine¹, A. Juif²

¹Créocéan, la Seyne-sur-Mer, France. ²Créocéan, La Rochelle, France

Introduction

Créocéan, bureau d'études en Océanographie, développe des applications liées à la photogrammétrie depuis plus de 10 ans. Des modèles 2D et 3D ont été réalisés par photogrammétrie pour divers habitats sous-marins et notamment dans le cadre du suivi du corail rouge. D'autres applications ont concerné la surveillance de falaises et d'ouvrages à l'aide de drones. En 2017, Créocéan en association avec GEOLAB et l'IRD a débuté un projet de recherche concernant l'utilisation de la photogrammétrie appliquée à l'écologie des récifs coralliens. Ce travail doit pouvoir être appliqué en Méditerranée pour le suivi de la colonisation de structures artificielles. Depuis janvier 2018, un stage de master 2 est mené pour dans un premier temps, analyser les modèles déjà réalisés par Créocéan sur l'herbier de Posidonies pour obtenir des microcartographies. Dans un deuxième temps, préparer la transposition des travaux de recherche en Méditerranée.

Matériels et méthodes

Il s'agit de réaliser une mosaïque photographique au moyen d'un drone ou par plongeur sous-marin sur des limites d'herbier de Posidonies grâce à la prise de photo à la verticale quelques mètres au-dessus de l'herbier. Ensuite, un logiciel de photogrammétrie permet de réaliser une orthophoto en 2D. Le but est d'obtenir une cartographie qui permet de mesurer l'étendue d'un herbier, de relever le recouvrement de celui-ci et de réaliser un suivi spatio-temporel en observant l'évolution des limites de l'herbier.

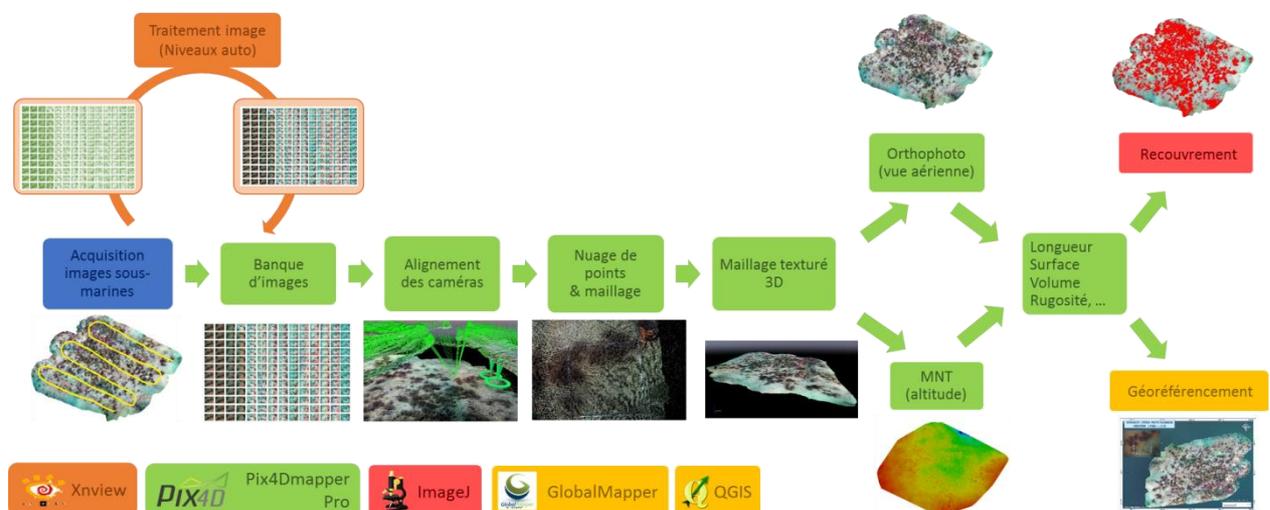


Figure 1 : Schéma de synthèse de la méthodologie

Résultats

Les sites suivants ont servi de site atelier :

- Cargèse (Corse), profondeur : 0-12 m,



Figure 2 : Cargèse / Ortho-photo drone et cartographie de la nature des fonds

- Lavéra (Bouches-du-Rhône), profondeur : 9 m lim. supérieure et 12 m lim. inférieure

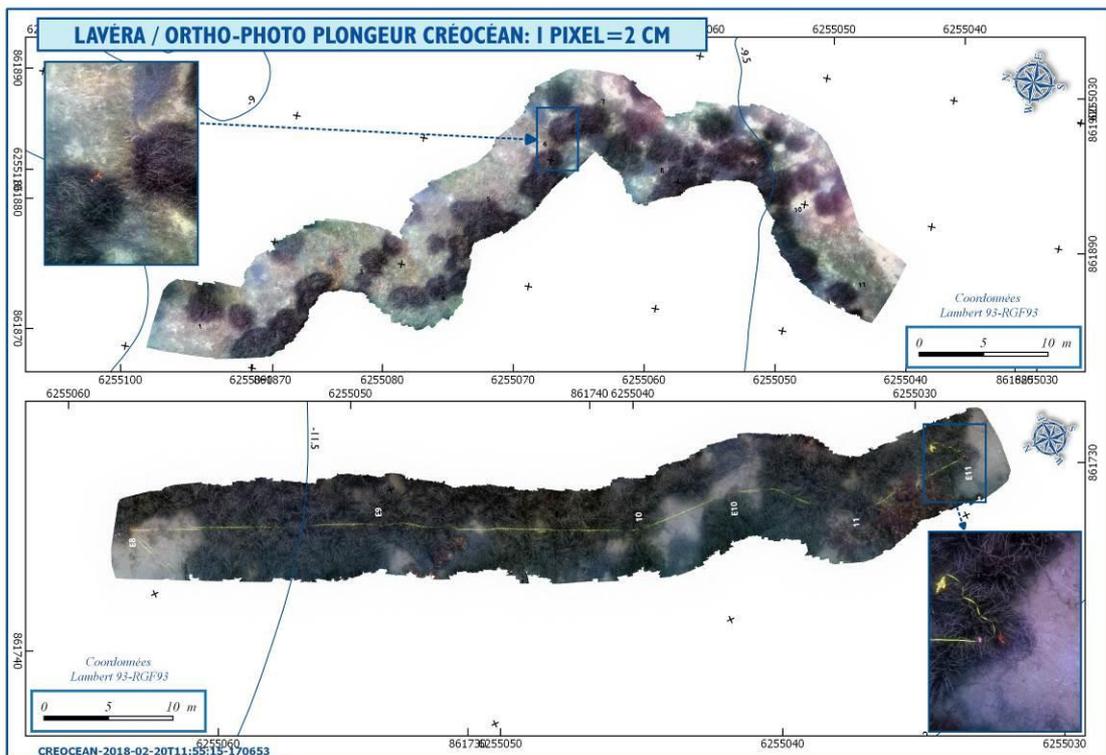


Figure 3 : Lavéra / Ortho-photo réalisée par des plongeurs de Créocéan

- Cavalière (Var), profondeur : 13 m



Figure 4 : Cavalière / Ortho-photo réalisée par des plongeurs de Créocéan

- Bonifacio (Corse), profondeur : 5 m

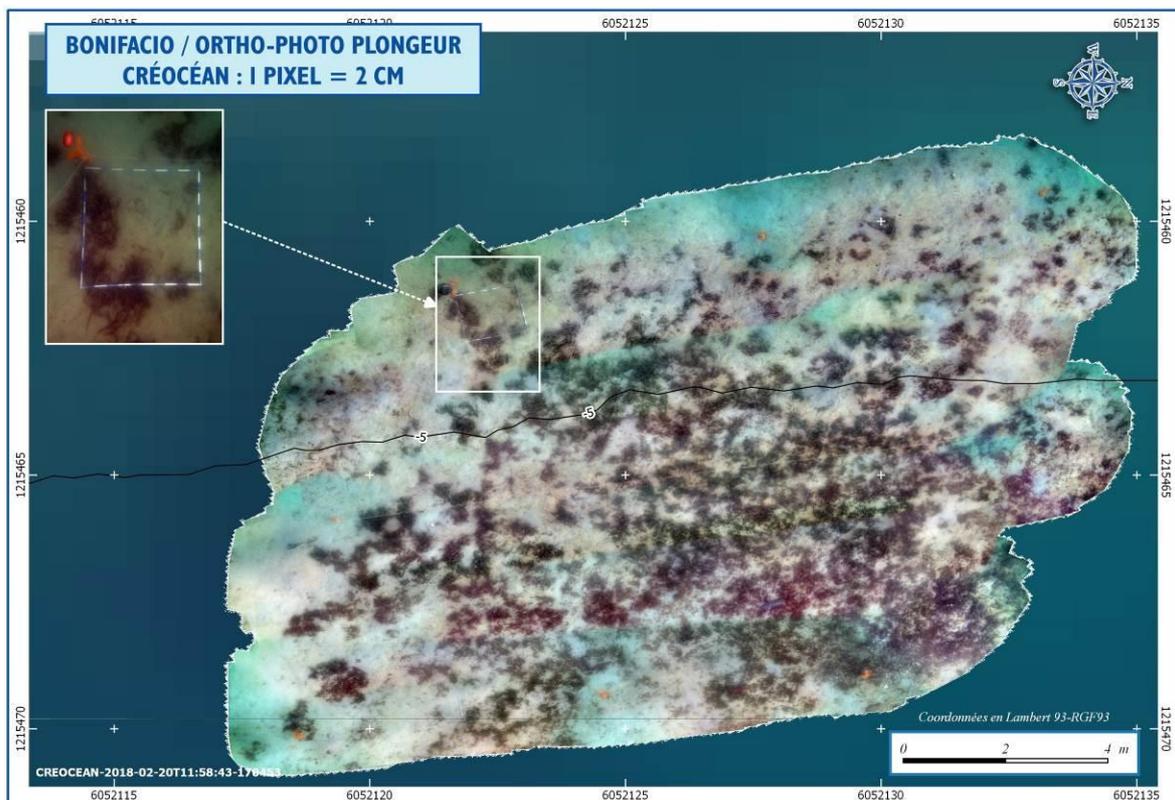


Figure 5 : Bonifacio / Ortho-photo réalisée par des plongeurs de Créocéan

Les surfaces cartographiées sont :

Zone	Surface	Temps d'acquisition
Cargèse	84 907 m ² (drone)	40 (8 vols de 5 min)
Lavéra	430 m ² 139 m ²	15 (limite inférieure) 8 (limite supérieure)
Bonifacio	146 m ²	13
Cavalaire	183 m ²	9

Conclusion

Ces cartes vont permettre :

- d'envisager, à Cargèse, des retraits de blocs et des reprises de la digue sans risque de dégradation des Posidonies, plantes protégées,
- le suivi spatio-temporel de la limite et du recouvrement de l'herbier, à Lavéra, Cavalière et Bonifacio.

Cette technique offre une rapidité et une simplicité de mise en œuvre pour un résultat d'une grande précision (1 pixel= 2 cm qui permet la visualisation des feuilles de Posidonies pour les mosaïques faites par plongeur). Ces premiers résultats sont très encourageants pour les suivis en milieu marin et vont être généralisés très prochainement.

Perspectives

La photogrammétrie permet des cartographies précises et géoréférencées des herbiers tout en diminuant le temps d'acquisition sous l'eau si on le compare à d'autres techniques traditionnelles. Il pourrait aussi être envisagé des suivis de surfaces plus importantes.

De plus, la photogrammétrie est très utilisée pour réaliser des modèles en 3 dimensions (3D) de récifs coralliens (Anelli et al., 2017; Burns et al., 2016; Young et al., 2017), en archéologie pour la modélisation d'épaves sous-marines (Aragón et al., 2018; Repola et al., 2018), afin de cartographier des herbiers de Posidonies (Rende et al., 2015b) et aussi pour suivre la croissance de grandes nacres.



Figure 6 : Exemple de modèles photogrammétrique 3D Créocéan (à gauche : nacres, à droite : corail)

De l'océanographie opérationnelle à l'hydrogéodiversité: vers un outil d'aide à la décision

M.Cachera¹, M.Boutet¹, E. Tew-Kai¹

¹SHOM, 13 rue Chatellier, 29200 Brest, France

Introduction

La gestion intégrée des écosystèmes face aux développements des activités anthropiques représente un défi important dans le cadre de la planification de l'espace marin et la gestion durable des ressources. Pour y répondre, il apparaît nécessaire de décomposer l'espace marin en zones présentant des propriétés océanographiques particulières, afin de mettre en place des mesures de gestion efficaces ¹. Ces zones marines ont déjà été définies pour les communautés biologiques (EUNIS), mais il est peu courant d'adopter l'environnement physico-chimique pour les caractériser et estimer la mosaïque des zones en présence. Cette mosaïque, appelée hydrogéodiversité, est un socle pour les écosystèmes puisqu'elle agit comme un filtre pour la mise en place des communautés biologiques et contraint donc la mise en place de la biodiversité (« environmental filtering », ²). La difficulté majeure pour définir l'hydrogéodiversité est qu'elle devrait, idéalement, suivre les changements saisonniers et interannuels de la dynamique des océans ^{3,4}. Or, bien que la dynamique de l'océan soit un facteur déterminant pour son fonctionnement, la plupart des études réalisées en milieu marin définit, au final, une cartographie statique de zones à propriétés environnementales particulières associées à des communautés biologiques singulières ^{5,6}. Néanmoins, l'écologie des paysages marins (« seascapes ecology ») tend à devenir une discipline prenant en compte la dynamique océanique dans sa temporalité et ses processus ^{4,7-9}. Elle définit ces zones marines basées sur leurs caractéristiques physico-chimiques, appelées « paysages marins », comme « *des espaces hétérogènes et dynamiques pouvant être délimités par une grande variété d'intervalle de temps et d'espace* » ¹. Dans le domaine côtier, l'estimation des paysages marins présente des limitations dues aux processus haute fréquence avec des échelles de temps et d'espace beaucoup plus réduites qu'en milieu hauturier. Néanmoins l'utilisation d'un modèle d'océanographie côtière opérationnelle permet de générer des données de circulation côtière à hautes résolutions spatiale et temporelle afin de capter cette variabilité haute fréquence et de l'intégrer dans le processus de modélisation des paysages marins. Cependant, le modèle générant un nombre important de données, il nécessite l'apport d'une expertise attentive afin de (i) sélectionner les variables caractérisant au mieux l'environnement physico-chimique et dont on sait également qu'elles sont impliquées dans le filtre des communautés biologiques, (ii) prendre en compte leur dynamique temporelle intrinsèque.

Cette étude a pour but de discriminer et caractériser les paysages marins en utilisant un modèle océanographique côtier afin d'estimer l'hydrogéodiversité de la ZEE métropolitaine dans le but d'une gestion intégrée des écosystèmes marins.

Matériels et méthodes

3) Modélisation : Système intégré OCO Océanographie Côtière Opérationnelle

La production de rejeux a permis d'obtenir une série temporelle cohérente de 2012 à 2016, avec une résolution horizontale fixée à une minute d'arc (~1.8 km). Le modèle utilisé est l'Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM), utilisant différentes coordonnées verticales et définissant des densités cibles pour chacune des couches afin de reproduire au mieux les processus, tout en limitant le nombre de couches. Les rejeux sont composés, pour la période disponible (2012-2014), de la ré-analyse GLORYS pour les forçages en dynamique lente aux frontières ; et des analyses pour la période non disponible (2015-2016). Pour les forçages en dynamique rapide, les forçages de marée fournis par le LEGOS ont été utilisés. Concernant les forçages météorologiques, les ré-analyses fournies par l'ECMWF avec les produits ERA-interim ont été utilisées. Afin de représenter l'influence des panaches fluviaux, les débits des principaux fleuves ont été pris en compte après avoir été obtenus auprès de Coriolis ou du SCHAPI.

4) Validation du rejeu

La validation du rejeu s'est faite à partir des calculs de scores de comparaisons avec les observations *in situ* et/ou satellites. Les processus haute fréquence ont été validés avec les données de hauteur d'eau issues du Réseau d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM). Les données en point fixe des réseaux Service d'Observation en Milieu Littoral (SOMLIT) et des bouées mises en œuvre par Météo France, réparties sur toute l'étendue de la configuration utilisée, ont permis une validation robuste des variables hydrologiques en surface (température et salinité).

5) Variables sélectionnées

Outre les variables classiques issues des sorties du modèle (SST, SSS et courant), des variables dérivées ont été calculées. Elles permettent de traduire, entre autre, le caractère dynamique de la masse d'eau (front, tourbillon). Le choix de ces variables a été motivé par la littérature (Huret et al, 2010, Tew-Kai et al, 2008 ; Testor et Gaspar, 2005, Weiss, 1991, Okubo, 1970). Les moyennes mensuelles de 12 variables hydrologiques et hydrographiques classiques et dérivées ont été sélectionnées grâce à leur pertinence dans la caractérisation des paysages : Température de surface, Salinité de surface, Gradient horizontal de la température de surface, Gradient horizontal de la salinité de surface, Profondeur de la couche de mélange, Déficit d'énergie potentielle, Courant de marée, Courant basse fréquence, Energie cinétique moyenne, Energie cinétique turbulente, Vorticité relative et Critère d'Okubo-Weiss.

6) Data mining

Une Analyse en Composante Principales (ACP) sur les 12 variables d'intérêt, suivi d'une sélection de ses axes a d'abord permis de garder les composantes principales représentant un minimum de 90% de la variance expliquée, pour chaque mois. Afin de discriminer les paysages marins à chaque pas de temps, une méthode de classification de ces composantes principales a été utilisée. La classification a été générée par un clustering hiérarchique construit selon la distance Euclidienne et la méthode de Ward afin d'avoir une approche

sans *a priori*. Le nombre de paysages a été limité à une plage allant de 3 à 20, permettant d'avoir un nombre changeant de paysages au gré des mois. Une analyse d'évolution de clusters a ensuite été effectuée pour estimer la proximité des paysages à un instant t_{+1} avec ceux de l'instant t , permettant ainsi de détecter les paysages redondants au cours du temps. Chaque paysage a finalement été caractérisé par les valeurs de ses 12 variables d'intérêts issues du modèle HYCOM.

Résultats

La mosaïque des paysages marins en Atlantique a montré de grandes masses d'eaux homogènes réparties au large de la ZEE et l'entrée des eaux en provenance de la mer du Nord dans la partie Est de la Manche, entre autre (Fig. 1). Au niveau côtier, les eaux estuariennes ont été détectées au long de l'année, associées à des paysages dont les étendues spatiales varient au cours de l'année et qui peuvent être définies comme la zone d'influence du panache fluvial. Enfin, des paysages marins à forte hydrodynamique ont été détectés saisonnièrement, notamment à la pointe du Cotentin (Fig. 1).

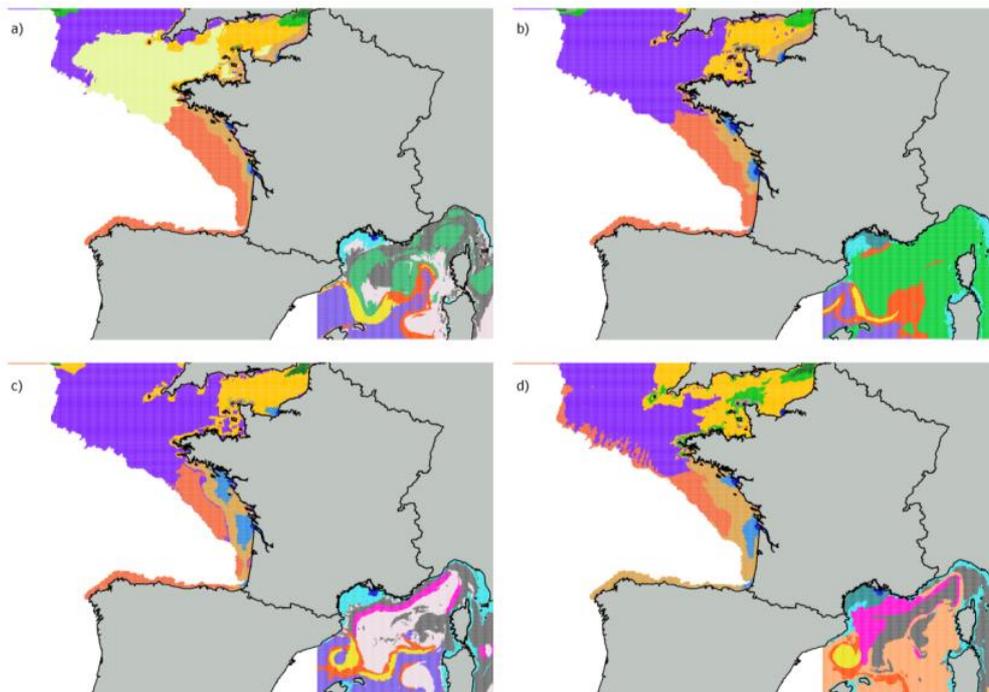


Figure 1 : Exemples de cartes des paysages marins sur la façade française. a) Janvier 2016 ; b) Février 2016 ; c) Mars 2016 ; d) Avril 2016.

Concernant la zone méditerranéenne, la topographie des paysages marins a permis de retrouver les grandes structures de cette zone, telles que le courant liguro-provençal, l'embouchure du Rhône et la zone frontale du Nord des Baléares ; ces deux structures varient temporellement (Fig. 1). Cette analyse a également permis de mettre en lumière des structures à méso-échelle et saisonnière, telles que l'instabilité de l'Ouest de la Corse (Fig. 1).

Discussion

Cette étude a permis de caractériser la mosaïque dynamique de paysages marins présents entre 2012 et 2016 sur les façades Atlantique et Méditerranée de la ZEE métropolitaine.

Le calcul de plusieurs variables dérivées a permis de synthétiser l'information fournie par les variables d'état du modèle de circulation océanique. A ce titre, elles sont un outil pertinent pour décrire, par exemple, (i) la stratification dans les couches superficielles (profondeur de la couche de mélange, intensité de la stratification, ...) à partir de données hydrologiques, (ii) les structures énergétiques remarquables, comme les structures frontales et tourbillonnaires, à partir des données de courant (vorticité et critère d'Okubo-Weiss). Ces variables ont été utilisées dans une nouvelle combinaison statistique. Le développement de la classification combinée à une analyse de clusters évolutifs a permis de (i) s'affranchir de l'hypothèse forte de connaissances *a priori* du nombre de paysages, et de (ii) suivre la dynamique de la mosaïque des paysages marins. Ce développement méthodologique inédit peut devenir un premier pas dans la prise en compte des dynamiques spatiale et temporelle dans l'étude des paysages marins^{4,7-9}.

L'hydrogéodiversité pélagique présente en ZEE française sur la période étudiée a permis de montrer la coexistence de structures permanentes et de grande étendue spatiale au large, avec des paysages marins dynamique dans le temps et dans l'espace, généralement en zone côtière. Les résultats ont mis en lumière l'évolution temporelle des structures dynamiques, notamment l'apparition de structures fortement hydrodynamiques près du Cotentin et le développement d'une structure tourbillonnaire saisonnière à l'Est de la Corse. Elle a également montré le développement spatial des panaches fluviaux et leurs zones d'influence associée.

La définition et la caractérisation des paysages marins ont des implications concrètes dans la gestion intégrée du milieu marin. Elles permettent en effet la mise en lumière de zones caractérisés par une hydrologie et/ou une hydrographie d'intérêt pour les activités humaines (zones de fort courant pour les EMR par exemple) ; mais aussi la détection de zones stables, abritant potentiellement des biocénoses écologiquement matures, et de paysages singuliers et dynamiques, possiblement associés à des communautés biologiques singulières, qui pourraient nécessiter des mesures de gestion spécifiques.

Références

1. Pittman, S. J. *Seascape Ecology*. (John Wiley & Sons, 2017).
2. Ferry-Graham, L. A., Bolnick, D. I. & Wainwright, P. C. Using functional morphology to examine the ecology and evolution of specialization. *INTEG COMP BIOL* **42**, 265–277 (2002).
3. Pittman, S., W. Connor, D., Radke, L. & Wright, D. Application of Estuarine and Coastal Classifications in Marine Spatial Management. **1**, (2011).
4. Reygondeau, G. *et al.* Dynamic biogeochemical provinces in the global ocean. *Glob. Biogeochem. Cycles* **27**, 1046–1058 (2013).
5. Spalding, M. D. *et al.* Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience* **57**, 573–583 (2007).
6. Longhurst, A. R. *Ecological Geography of the Sea*. (Elsevier, 2010).
7. Reygondeau, G. *et al.* Global biogeochemical provinces of the mesopelagic zone. *J. Biogeogr.* **45**, 500–514 (2018).
8. Nieblas, A.-E. *et al.* Defining Mediterranean and Black Sea Biogeochemical Subprovinces and Synthetic Ocean Indicators Using Mesoscale Oceanographic Features. *PLOS ONE* **9**, e111251 (2014).
9. Sutton, T. T. *et al.* A global biogeographic classification of the mesopelagic zone. *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* **126**, 85–102 (2017).

Les traitements en ligne pour l'analyse du milieu marin

Julien Meillon¹, Stevonn Lamarche¹, Mickael Treguer²

¹Ifremer SISMER, Plouzané, France

²Ifremer ISI, Plouzané, France

Un rapide historique est indispensable pour mesurer l'arrivée des traitements en ligne à partir de protocoles normalisés qu'ils soient spécifiques au milieu marin ou non.

Les années 80s-90s marquent l'arrivée des premiers logiciels bureautiques de cartographie ou Systèmes d'Information Géographiques (SIG). La société ESRI lance sa première version d'ArcView en 1999 bien après que Pitney Bowes ne lance Mapinfo (1986) ou Bentley Systems son outil Microstation (1984).

Dans la continuité, les premières formations Universitaires axées sur la pratique de la cartographie voient le jour au début des années 2000. L'amélioration continue de la puissance de calcul des ordinateurs va petit à petit offrir aux géomaticiens la possibilité d'afficher, de manipuler et de produire des données géographiques de plus en plus volumineuses et complexes : modèles climatiques, bathymétries régionales haute définition, imagerie satellite, etc.

Par la suite, l'arrivée de l'ADSL puis de la fibre optique va multiplier par plus de 200 (entre 1995 et aujourd'hui) les débits internet. Les outils cartographiques en ligne vont alors se démocratiser au point qu'aujourd'hui tout le monde manipule de la donnée géographique.

Qui n'utilise pas Google Map pour calculer un trajet ? Ou encore qui n'a jamais ouvert Google Earth pour « voyager » à travers un écran ? Openstreetmap, carte collaborative en ligne se targue de compter plus d'un million de contributeurs. Et au niveau national, les Infrastructures de données géographiques (IDG) foisonnent (Géoportail pour l'IGN, Sextant pour l'Ifremer, etc.)



Pour autant, combien de personnes maîtrisent les concepts de base des SIG : géodésies, systèmes de coordonnées, informations attributaires, requête spatiale, etc. ? Forcément beaucoup moins que le nombre d'utilisateurs de ces applications. Cela n'est en rien une

critique mais plutôt le constat que les responsables de ces outils doivent prendre en compte cette problématique pour les développements actuels et futurs.

Pour ce qui est des IDG, la très grande majorité d'entre elles s'appuie sur des standards. Et dans le domaine de l'information géographique, c'est l'Open Geospatial Consortium (OGC) qui fait foi. Si ces standards obligent à rester dans un certain cadre, ils apportent surtout de l'interopérabilité dont l'intérêt se mesure chaque jour. Parmi les classiques, on retrouve le protocole Web Map Service (WMS) qui permet l'affichage de données en ligne et dont les premières spécifications ont été établies en 2000. Le Web Feature Service (WFS), protocole de téléchargement a lui été décrit en 2005. Dernier exemple avec le protocole Catalog Service for the Web (CSW) qui a vu le jour en 1999 et qui permet l'échange et le partage de métadonnées (information décrivant une donnée).

Pour en revenir au sujet qui nous intéresse ici, c'est-à-dire les traitements en ligne, c'est le protocole Web Processing Service (WPS) qui s'applique. Il est un peu plus récent que les trois exemples cités précédemment mais les premières spécifications datent tout de même de 2005 avec une publication en 2007. L'intérêt de ce protocole est d'offrir aux utilisateurs, au travers de services normalisés, des outils d'analyse du territoire (algorithmes SIG) directement sur des plateformes cartographiques en ligne. Ces calculs spatiaux peuvent être complexes mais leur usage simplifié et interactif permet une utilisation grand public. En effet, si ces traitements reposent sur des scripts parfois complexes (langage de type python, r, model), côté utilisateur de ces traitements, de simples boîtes de dialogues lui sont proposées (cf. Figure 1).

The image shows a web-based interface for a climate data processing tool. It features several input fields, each with a dropdown arrow and a trash icon to the right. The fields are labeled as follows:

- climatologie (required)**: CLIM_JSAS13
- climatologie reference (required)**: CLIM_JSAS11
- parameter (required)**: TEMP
- month (required)**: 01
- year (required)**: 2003
- immersion (required)**: 50

Below these fields is a section labeled **limits** containing four input boxes with numerical values: -18,98, 59,265, 33,046, and 29,993. A central blue button with a trash icon is positioned between the 59,265 and 29,993 boxes. At the bottom of the interface is a blue button labeled **Execute** with a play icon.

Figure 1 : Exemple d'interface de traitement

Ces interfaces offrent la possibilité de relancer autant de fois que nécessaire les traitements en ajustant les variables qui sont proposées : un paramètre physique, un modèle climatique, une date, une emprise, etc.

Sur la plateforme Iremare, sans télécharger aucune forme de données et sans disposer d'un logiciel bureautique de SIG, il devient extrêmement simple de simuler les performances environnementales d'une ferme éolienne en mer (cf. Figure 2). De même sur Sextant, on va pouvoir en quelques clics générer l'ombrage d'un modèle bathymétrique (cf. Figure 3) ou encore réaliser une comparaison entre 2 modèles climatiques (cf. Figure 4).

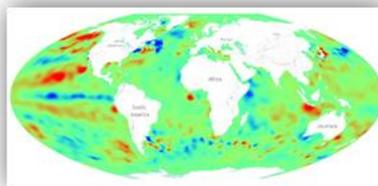
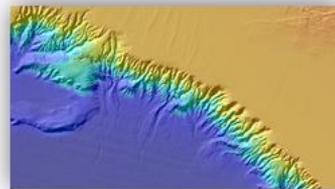
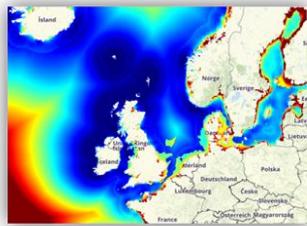


Figure 2 : Simulation éolienne

Figure 3 : Ombrage

Figure 4 : Comparaison climato.

La donnée produite est alors directement visualisée sur l'interface cartographique mais elle peut tout aussi bien être téléchargée pour intégration dans un rapport.

Conclusion

La mise en place de chacun de ces traitements correspond à un besoin bien spécifique et à ce jour ils n'ont pas vocation à venir remplacer un logiciel bureautique. D'autre part, bien que destinés à un usage grand public, il serait intéressant d'associer à ces traitements des métadonnées : paramètres saisis par l'utilisateur, données en entrée, algorithmes utilisés, objectif du traitement, etc. Cela permettrait sans doute une meilleure interopérabilité et une utilisation moins confidentielle des services WPS.

Cartographie de l'impact du chalutage sur les fonds marins en Méditerranée et Manche/Mer du Nord

Cyrielle JAC^{1*}, Nicolas Desroy², Sandrine VAZ¹

¹MARBEC, Ifremer, Univ Montpellier, IRD, CNRS, Sète, France.

²Laboratoire Environnement et Ressources Bretagne Nord, Ifremer, France.

Résumé

L'Union Européenne a élaboré, en 2008, la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) dans le but d'atteindre le Bon Etat Ecologique (BEE) des eaux marines à l'horizon 2020. En tentant de relier les changements observés en milieu marin aux pressions subies, cette directive se définit comme un outil destiné à mieux contrôler les facteurs de dégradation du milieu et à en gérer les conséquences. Plusieurs descripteurs sont définis dans le cadre de la DCSMM et notamment le descripteur 1 (D1) portant sur la diversité biologique des fonds marins et le descripteur 6 (D6) portant sur l'intégrité des fonds (c'est-à-dire sur la qualité de leurs structures et de leurs fonctions). La pêche aux arts trainants (chalut et dragues) étant la principale source de perturbation des fonds du plateau continental, il paraît nécessaire d'étudier son impact. Cette étude a donc pour objectif de déterminer les effets du chalutage dans le Golfe du Lion et en Manche/ Mer du Nord. Ces effets sont connus pour être dépendants de la distribution spatiale et temporelle de l'effort de pêche ainsi que des habitats ciblés. Ainsi, la structure des communautés benthiques présentes dans ces zones a été étudiée à l'aide des données issues des campagnes halieutiques : MEDITS pour le Golfe du Lion et IBTS, CGFS et CAMANOC pour Manche/Mer du Nord. Différents indicateurs (univariés ou fonctionnels) ont été utilisés pour comparer l'état des communautés biologiques en fonction de l'intensité de chalutage et des types d'habitats rencontrés. Ce travail permettra d'évaluer les indicateurs les plus pertinents pour cette approche et de réaliser une cartographie de l'impact potentiel du chalutage dans le Golfe du Lion et en Manche/Mer du Nord.

1. Introduction

Afin de maintenir ou atteindre un bon état écologique pour un certain nombre de composantes de l'écosystème marin dont le compartiment benthique, l'Union Européenne a élaboré, en 2008, la « Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin » (Rijnsdorp *et al.*, 2016). Cette directive définit une politique européenne globale de protection de l'environnement marin des eaux placées sous la juridiction des Etats Membres [EM (sauf l'outre-mer)] dans le but d'atteindre le bon état écologique (BEE) à l'horizon 2020. Cette directive a donc comme objectifs de mieux contrôler les facteurs de dégradation du milieu marin et en gérer les conséquences.

Différents descripteurs ont été définis dans le cadre de la DCSMM, dont le descripteur 1 (D1) portant sur la diversité biologique des fonds marins et le descripteur 6 (D6) portant sur l'intégrité des fonds (c'est-à-dire sur la qualité de leurs structures et de leurs fonctions).

Dans ce contexte, il apparaît nécessaire d'évaluer l'impact de la pêche aux arts trainants (chaluts et dragues), considérée comme la principale source de perturbation des fonds du plateau continental. De récentes études ont montrées l'existence d'effets très variables selon les milieux considérés, le chalutage ayant des effets généralement moins marqués dans les environnements fortement perturbés naturellement (Diesing *et al.*, 2013). Les effets sont également dépendants de la distribution spatiale et temporelle des efforts de pêche, des engins utilisés et des habitats ciblés, dont le cortège d'espèces benthiques est spécifique (Rijnsdorp *et al.*, 2016).

Cette étude a donc pour objectif d'évaluer l'impact des activités de pêche aux arts trainants dans deux secteurs ayant des contextes hydrodynamiques et sédimentaires différents : la Manche où l'hydrodynamisme est très fort et dont les fonds sont essentiellement grossiers et le Golfe du Lion où les fonds sont dominés par les sédiments fins et un hydrodynamisme plutôt faible.

2. Données et méthodes

a. Les données des communautés benthiques

Afin d'avoir des informations sur les espèces et les assemblages de l'épifaune benthique sur de grandes étendues géographiques, les données utilisées lors de cette étude sont issues de différentes campagnes halieutiques : MEDITS pour le Golfe du Lion, IBTS, CGFS et CAMANOC pour le secteur Manche/Mer du Nord. Mise à part CAMANOC qui a été réalisée uniquement en 2014, les autres campagnes de chalutage de fond sont annuelles. Sur toutes ces campagnes, la mégafaune benthique capturée a intégralement été identifiée, comptée et pesée (depuis 2006 en Manche/Mer du Nord et 2012 pour le Golfe du Lion).

b. Les données d'effort de pêche

Pour le Golfe du Lion, la distribution spatiale et temporelle de l'effort de pêche a été estimée à partir des données VMS agrégées avec une résolution de 2'x2'. Ces données sont exprimées en nombre total d'heures de pêche par mois et ont été sommées sur l'année de 2008 à 2017.

Pour le secteur Manche/Mer du Nord, les données VMS de l'effort de pêche ont été agrégées avec la vitesse des navire, la durée de pêche et le type d'engin utilisé afin d'obtenir un pourcentage d'abrasion du fond pour chaque cellule de 3'x3' (Eigaard *et al.*, 2016). Ce travail permet d'obtenir une distribution spatiale annuelle de l'impact de la pêche sur le fond marin sur la période 2009-2013.

c. L'évaluation de l'impact

Afin de faciliter l'étude de la biodiversité, il est courant d'utiliser un ensemble d'indicateurs dans le cadre de programmes de gestion ou d'évaluation. Pour évaluer l'état d'un écosystème, des indicateurs simples (*e.g.* le nombre d'espèce dans une communauté benthique) ou des indicateurs plus complexes (*e.g.* l'indice de Shannon) peuvent être employés (Pedel *et al.*, 2013).

Dans le cadre d'une évaluation l'effet du chalutage sur les communautés benthiques du Golfe du Lion et de la Manche/Mer du Nord, différents indicateurs univariés (abondance, biomasse, richesse spécifique) et fonctionnels (AZTI Marine Biotic Index, Trawling Disturbance Impact...) ont été utilisés puis comparés entre eux. Leur corrélation avec l'effort de pêche a ensuite été testée statistiquement. Une corrélation négative et significative soulignerait la pertinence des indices dans la détection de l'impact de la pêche sur l'intégrité des fonds.

d. Spatialisation des données

Les indicateurs ont été calculés à partir de données de campagne et ont été interpolés suite à des analyses variographiques et du krigeage ordinaire.

Les données d'effort étaient déjà agrégées sur des grilles de 2'x2' et de 3'x3' en Méditerranée et en Manche respectivement. Ces données initialement disponibles à une fréquence annuelle ont été agrégées sur l'ensemble de la période en utilisant la valeur maximale (2009-2013) en Manche et le percentile 90 (2008-2017) en Méditerranée.

3. Résultats

Les premiers résultats indiquent que l'effort de pêche et donc l'impact du chalutage est inégalement répartis dans les deux zones étudiées (Figure 1 et 2).

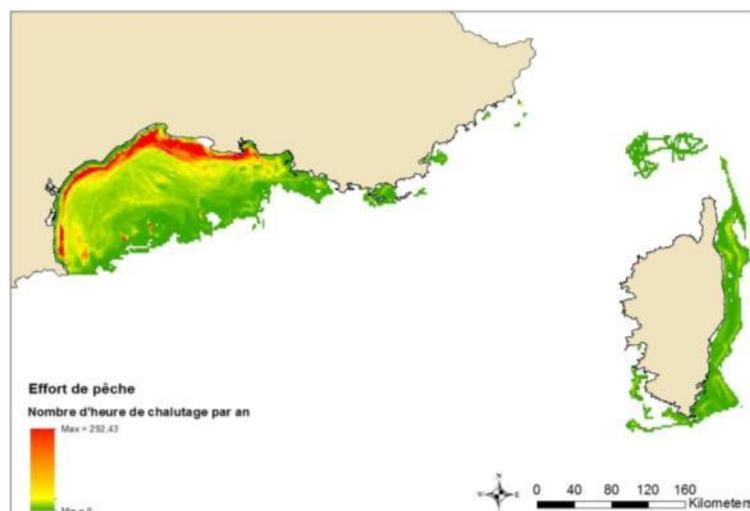


Figure 1 : Effort de chalutage dans le Golfe du Lion

La représentation cartographique des différents indices utilisés lors de cette étude (Figure 2) a pu mettre en évidence des différences de pertinences entre ces indicateurs qui pourra ensuite être démontrée statistiquement.

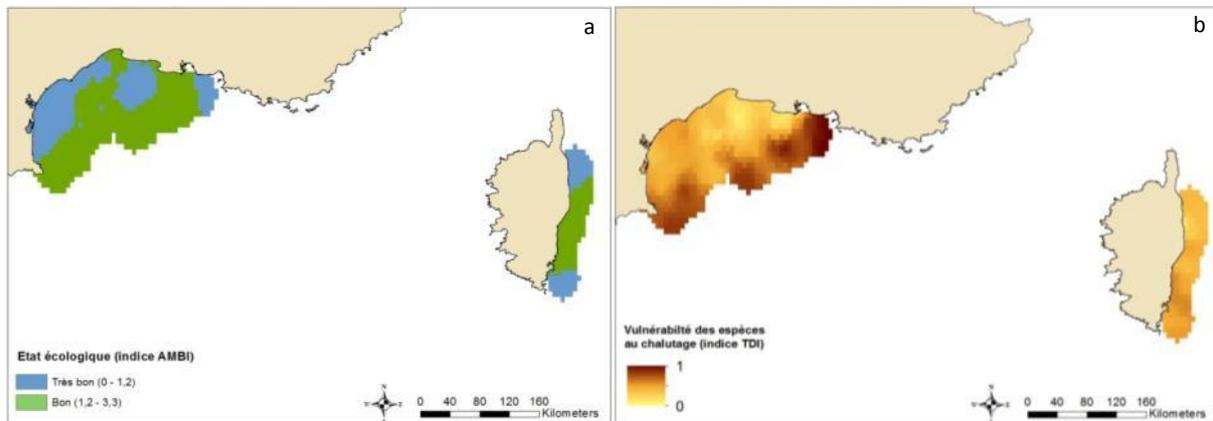


Figure 2 : Cartographie de (a) l'AMBI et (b) TDI dans le Golfe du Lion

4. Conclusion

Ce travail a permis d'identifier les variations spatiales d'effort du chalutage dans le Golfe du Lion et en Manche/Mer du Nord. Il a également permis de tester les différences de pertinences entre différents indices en ce qui concerne l'évaluation de l'impact du chalutage sur les communautés benthiques. La pertinence de ces indicateurs en fonction des habitats à l'aide d'une caractérisation fine des types sédimentaires devrait aussi être évaluée dans des études ultérieures.

Références

- Diesing, M., Stephens, D., Aldridge, J. 2013. A proposed method for assessing the extent of the seabed significantly affected by demersal fishing in the Greater North Sea. ICES J. Mar. Sci. 70, 1805-1096.
- Eigaard, O.R., Bastardie, F., Breen, M., Dinesen, G., Hintzen, N.T., Laffargue, P., Mortensen, L.O., Rasmus Nielsen, J., Nilsson, H.C., O'Neill Hans Polet, F.G., Reid, D.G., Sala, A., Sköld, M., Smith, C., Sorensen, T.K., Tully, O., Zengin, M., Rijnsdorp, A.D. 2016. Estimating seabed pressure from demersal trawls, seines, and dredges based on gear design and dimensions. 73, i27-i43.
- Pedel, L., Fabri, M-C., Menot, L., van den Beld, I. 2013. Mesure de l'état écologique des habitats benthiques du domaine bathyal à partir d'imagerie optique. IFREMER. pp. 50.
- Rijnsdorp, A.D., Bolam, S.G., Garcia, C., Hintzen, N. 2016. Impact of Bottom Trawling on Sea Bed Integrity. Programme BENTHIS. pp. 39.

Evaluation des risques anthropiques sur les habitats benthiques en lien avec les pressions physiques du milieu

Emilie Tew-Kai^{1*}, Marie Cachera¹, Martial Boutet¹

¹Shom, Brest, France.

Introduction

La gestion intégrée des écosystèmes mise en œuvre dans la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) implique l'évaluation du bon état écologique des eaux marines et littorales soumises à des pressions anthropiques. Les activités en mer génèrent en effet des pressions de modifications des conditions abiotiques de l'environnement marin pouvant impacter les habitats benthiques et pélagiques. L'objet de ce travail est de présenter des estimations de risques potentiels d'altération des habitats benthiques liés à des modifications de conditions abiotiques induites par les activités anthropiques. L'évaluation des risques cumulatifs fournit un cadre analytique et hiérarchique pour synthétiser l'influence de multiples pressions sur les habitats (Wyatt et al. 2016). Le formalisme d'évaluation des risques sera explicité comme un processus logique, basé sur des sources d'information très diverses (dire d'expert, données géographiques) et composé de différentes étapes. Il est construit sur une mutualisation de travaux récents sur les évaluations de pressions et d'impacts cumulatifs (*cumulative pressure and impact assessments (CPIA)*), notamment en s'appuyant sur les travaux de Halpern et al. (2008) de Tillin et al. (2010) et la Rivière et al. (2015 ; 2016). Dans un premier temps, les résultats de l'implémentation concrète de ce formalisme seront présentés en Atlantique et Méditerranée. Le modèle d'évaluation des risques a été utilisé sur 15 habitats et 5 pressions hydrographiques en Atlantique, contre 11 habitats et 3 pressions hydrographiques en Méditerranée. Dans un deuxième temps, l'évaluation de l'incertitude associée au risque est présentée ainsi qu'une discussion sur les améliorations méthodologiques à mettre en œuvre.

Matériel et méthode

Zones d'étude

Les zones évaluées concernent l'ensemble des eaux marines de la zone économique exclusive métropolitaine. L'ensemble des analyses réalisées ont été effectuées sur des données grillées au 1/60^{ième} de degré.

Habitats benthiques

La carte de grands habitats types benthiques d'EMODNET a été utilisée afin de correspondre aux besoins de la DCSMM (Populus et al. (2017)). La correspondance entre la typologie EUNIS et la typologie spécifiée dans la DCSMM a été définie par Manca et al. (2017) et

utilisée afin de la croiser avec la matrice de sensibilité des habitats aux pressions physiques, définie sur la nomenclature EUNIS.

Matrices de sensibilité

La sensibilité de l'habitat est définie en fonction de matrices de sensibilité qui permettent de caractériser les conséquences d'une pression sur un habitat benthique donné. La matrice de sensibilité utilisée en Atlantique est issue de la matrice Marine Evidence-based Sensitivity Assessment (MarESA)¹⁰ et la matrice de sensibilité utilisée en Méditerranée est celle du MNHN¹¹ (La Rivière, et al., 2016). Les sensibilités des habitats benthiques aux pressions sont définies à des niveaux inférieurs (niveau 5 et 6) au niveau d'intérêt des grands habitats types de la DCSMM (niveau 3). Une agrégation des scores de sensibilité est donc indispensable, et il a été choisi d'attribuer la sensibilité maximale trouvée dans les habitats de niveau 6 à l'habitat benthique correspondant de niveau 3 en accord avec le principe de précaution (La Rivière et al. 2015)

Méthodologie

Des données spatialisées et grillées (1/60^{ième} de degré) de 8 secteurs d'activités générant potentiellement 5 pressions hydrographiques en Atlantique et 3 en Méditerranée, sur 22 grands types d'habitats ont été utilisées. Des zones d'influence (aire autour de l'activité où il est probable que la pression aura un impact sur le milieu) ont été déterminées à partir d'estimations prises dans la littérature et selon trois scénarii afin de pondérer les diagnostics et d'évaluer l'incertitude autour du scénario médian. Le risque est calculé selon une méthodologie adaptée de Halpern et al. (2008), Tillin et al, (2010) et la Rivière et al. (2016) tel que : $R_{ix} = IE_x * S_{ix}$, avec IE_x l'indice d'exposition à la pression x , standardisé (entre 0 et 1), et S_{ix} la sensibilité de l'habitat i à ladite pression (S_{ix}), c'est-à-dire la capacité de l'habitat à résister à la pression et sa résilience. Les cartographies d'habitats et de pressions sont donc croisées. L'étendue spatiale d'un habitat à risque est mesurée par le pourcentage de couverture spatiale de l'habitat potentiellement exposé à l'ensemble des pressions. Le risque final pour un habitat i donné, lié à l'ensemble des pressions potentiellement générées est tel que : $R_i = \sum_{x=1}^X R_{ix}$. Le risque de dégradation d'un habitat benthique est donc caractérisé par la somme des risques relatifs à chaque pression potentielle exercée sur ledit habitat (effet additif). La caractérisation des sources d'incertitude permet de construire une matrice d'incertitude, afin de réaliser une analyse qualitative de celle-ci (Walker et al. 2003). Pour exploiter ces classements et les transformer en poids, la méthode des rangs est utilisée. Cette méthode consiste à multiplier les rangs attribués pour chaque source d'incertitude, à les transformer en ratio par rapport à la valeur maximale et à définir une classification de l'incertitude pour chaque couple habitat-pression, puis à l'addition des incertitudes pour l'ensemble des couples.

¹⁰ http://www.marlin.ac.uk/species/sensitivity_rationale

¹¹ <https://inpn.mnhn.fr/programme/sensibilite-ecologique>

Résultats

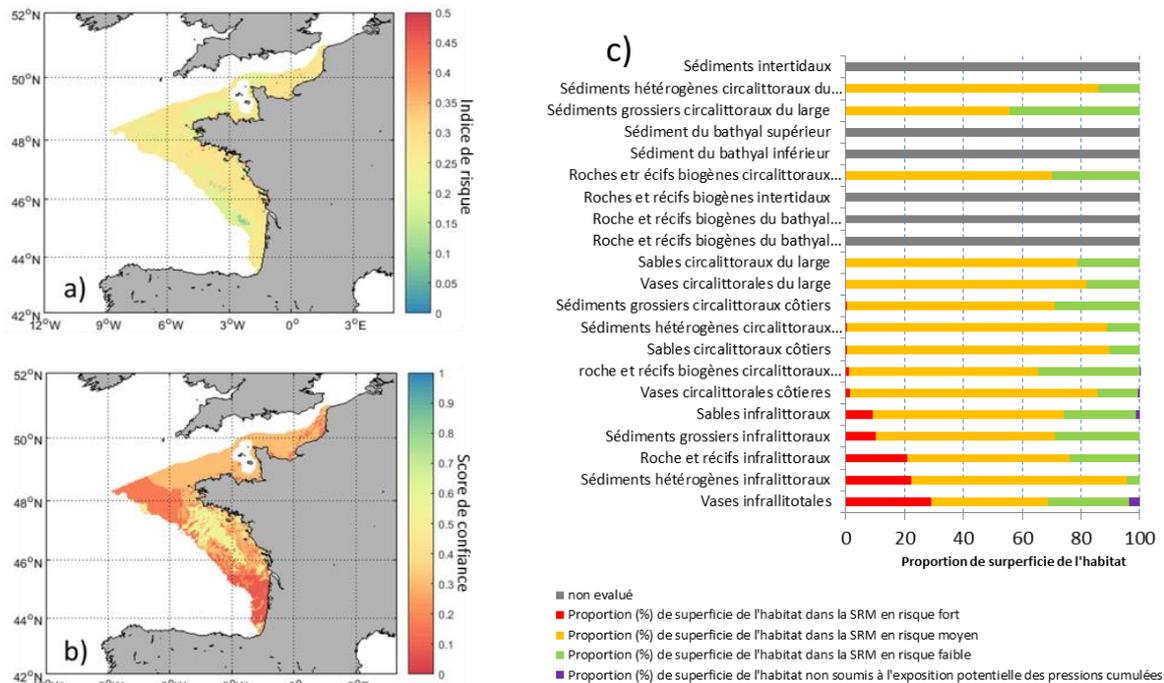


Figure 1 Carte des risques cumulés des modifications potentielles des conditions hydrographiques sur les habitats benthiques en atlantique (a), score de confiance associé au risque (b). (c) Distribution des risques cumulés des modifications potentielles des conditions hydrographiques sur les habitats benthiques en Atlantique.

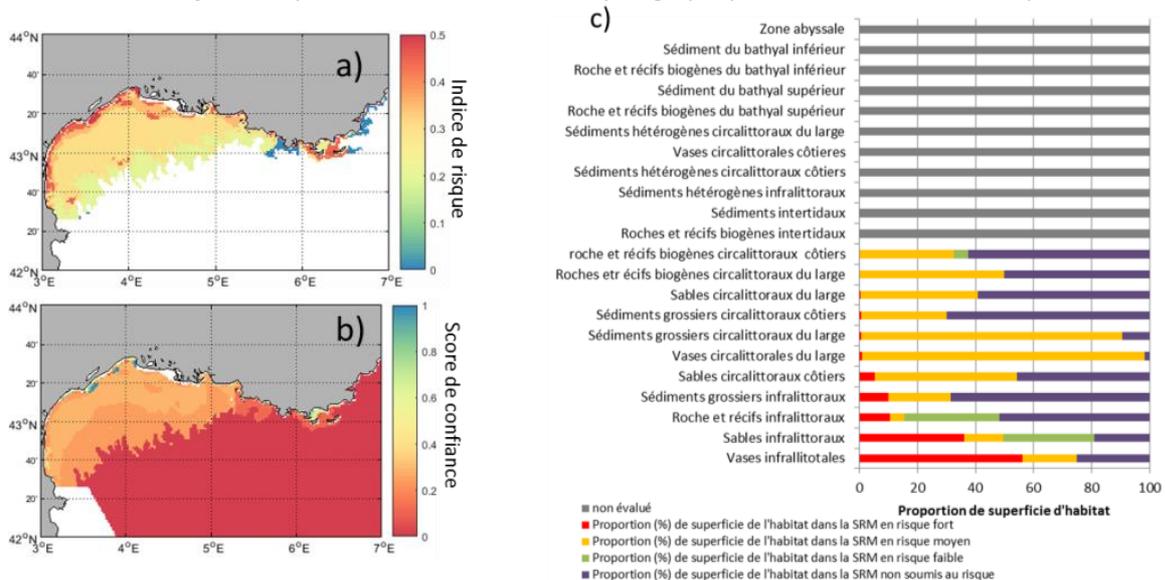


Figure 2 Carte des risques cumulés des modifications potentielles des conditions hydrographiques sur les habitats benthiques dans le golfe du Lion (a), score de confiance associé au risque (b). (c) Distribution des risques cumulés des modifications potentielles des conditions hydrographiques sur les habitats benthiques dans le golfe du Lion.

En Atlantique et en Méditerranée, les habitats les plus potentiellement menacés comprennent les habitats des zones infralittorales (figures 1.c et 2.c). Les habitats non évalués correspondent à des habitats dont les données ne sont pas présentes dans les données EMODNET ou bien, dont la sensibilité n'est pas connue. L'indice de risque potentiel d'altération des habitats benthiques en lien avec des modifications des conditions hydrographiques est plus élevé le long de la côte, où un grand nombre de pressions se

trouve à proximité (figures 1.a et 2.a). Les habitats de Méditerranée apparaissent moins soumis à des risques d'altération, mais il est à noter que l'évaluation du risque dans cette zone a été réalisée sur 3 pressions contre 5 dans la zone Atlantique. L'étude des scores de confiance spatialisés montre que les diagnostics restent soumis à une très forte incertitude (figures 1.b et 2.b) avec des scores bien en deçà de 0.5.

Discussion

Nous proposons une approche hiérarchisée et normalisée d'estimation de risques potentiels de modifications des grands types d'habitats benthiques soumis à un cumul de pressions hydrographiques, basée sur les travaux de Halpern et al. (2008), Tillin et al. (2010) et La Rivière et al. (2016). Les résultats illustrent l'hétérogénéité de la distribution des risques entre la côte et le large des habitats les plus soumis potentiellement à risque de modification de leur étendue spatiale. Néanmoins, l'incomplétude et les incertitudes liées aux données d'entrée, ainsi que l'utilisation du dire d'expert et de règles de décisions subjectives, impliquent une propagation importante de l'incertitude. La diminution de l'incertitude nécessite une meilleure connaissance des relations entre les activités et les pressions afin de caractériser des courbes de réponse source-pression et de définir des distributions de probabilité objective. De même, les liens entre les pressions et la sensibilité des habitats présentent également des biais bien documentés dans La Rivière et al. (2015). Un apport de connaissance sur la sensibilité des habitats aux pressions anthropiques est donc indispensable, tant sur la mise en place de protocole de matrice à dire d'expert, que sur la validation *in situ*, et sur la détermination de courbes état-réponse. Les estimations de risque de modifications potentielles des habitats benthiques présentées ici, ne fournissent donc pas une information exacte, définitive et complète.

Conclusion

Malgré les faiblesses liées au manque d'information, et dans une optique d'amélioration des connaissances, ces résultats suggèrent que l'outil mis en œuvre peut s'avérer précieux dans le cadre des politiques publiques de la mer et du littoral en aidant à restreindre les espaces de décision, en concentrant l'attention sur les habitats et les emprises les plus à risque.

Références

- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., . . . al., e. (2008). A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science*, 319, 948-952.
- La Rivière, M., Aish, A., Gauthier, O., Grall, J., Guérin, L., Janson, A.-L., & Labrune, C. (2015). *Méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques aux pressions anthropiques*. Rapport SPN, MNHN. Paris, 52.
- La Rivière, M., Michez, M., Aish, A. B.-S., Bellan, G., Chevaldonné, P., Dauvin, J., . . . Velarque, M. (2016). *Evaluation de la sensibilité des habitats benthiques de Méditerranée aux pressions physiques*. Rapport SPN, 2015-70. MNHN-paris.
- Manca, E., Lillis, H., Annunziatellis, A., S., A., Mo, G., L., T., . . . Al-Hamdani, Z. (2017). *The MSFD Benthic Broad Habitat Types Tables*. Annex to :Populus et al, 2017. EUSeaMap, a European broad-scale seabed habitat map. Ifremer, 174p.
- Populus, J., Vasquez, M., Albrecht, J., Manca, E., Agnes, S., Al Hamdani, Z., . . . Todorova, V. (2017). *EUSeaMap. A European broad-scale seabed habitat map*.
- Tillin, H., Hull, S., & Tyler-Walters, H. (2010). *Development of a sensitivity matrix (pressures-MCZ/MPA features)*. London: Report to the Department of the Environment, Food and Rural Affairs from ABPmer, Southampton and the Marine Life Information Network (MarLIN) Plymouth: Marine Biological Association of the UK., Defra Contract no. MB0102 Task 3A Report no. 22.
- Wyatt, K. H., Griffin, R., Guerry, A. D., Ruckelshaus, M., Fogarty, M., & Arkema, K. K. (2017). *Habitat risk assessment for regional ocean planning in the US Northeast and Mid-Atlantic*. *PLoS one*, 12(12), e0188776.

Pressions et effets cumulés produits par les usages de loisir en mer et sur l'estran: détermination et analyse par saison à l'échelle d'une aire marine protégée.

Damien Le Guyader ^{1*}, Nicolas Jannic ², Xavier Harlay ², Marie-Christine Gruselle ²

¹ Terra Maris, Plouzané, France.

² Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale- AFB, Boulogne-sur-Mer, France.

Introduction

La gestion durable des milieux marins et littoraux implique de disposer d'une connaissance réaliste et dynamique du déroulement des activités humaines, et d'indices caractérisant la qualité des écosystèmes. Depuis quelques années, les travaux portant sur la compréhension et la cartographie des effets cumulés des activités humaines sur les écosystèmes marins et littoraux connaissent un fort essor et gagnent en pertinence au regard de la nécessité des évaluations associées aux approches écosystémiques préconisées par les politiques de gestion des ressources naturelles. Dans ce contexte, l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) a lancé une étude sur la détermination et l'analyse des pressions et des effets cumulés produits par les usages de loisir en mer et sur l'estran sur le périmètre du Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale (le Parc). L'étude vise particulièrement à déterminer la répartition spatiale et l'intensité des effets cumulés en tenant compte de la cooccurrence (dans l'espace et dans le temps – *i.e* par saison) des pressions et des composantes de l'écosystème. Cette contribution présente la méthodologie générale de l'étude en cours ainsi que les premiers résultats.

Matériel et méthode

L'évaluation des effets cumulés au sens d'Halpern *et al.* (2008) mobilise une méthode d'analyse spatiale et quantitative. Elle considère les effets cumulés potentiels comme la résultante de pressions anthropiques s'exerçant sur des composantes de l'écosystème. L'étude est menée en 3 étapes:

- (1) Collecter les données relatives aux activités et aux composantes de l'écosystème;
- (2) Identifier les pressions exercées par les activités de loisir sur les composantes de l'écosystème et élaborer des indices de sensibilité;
- (3) Calculer les indices d'effets cumulés par saison et analyser l'incertitude et la sensibilité du modèle.

Cette contribution porte sur les phases de collecte de données à partir de sources hétérogènes (Tableau 1).

Tableau 1. Modalités de collecte des données.

Données	Acquisition	Numérisation	Modélisation	Dires d'experts
Activités		✓	✓	
Composantes	✓	✓		
Indices de sensibilités				✓

Caractérisation des activités de loisir

Les données relatives aux activités anthropiques ont été structurées au sein d'une Base d'Information Géographique et Temporelle (BIGT). Deux modalités complémentaires ont été mobilisées afin de caractériser la distribution spatiale temporelle et quantitative des activités de loisirs.

La première, visant à caractériser les activités de loisirs (hors manifestations sportives), a été réalisée à partir de la modélisation de la fréquentation par apprentissage statistique à partir de données de comptages. Les comptages réalisés dans le cadre du programme "LIFE+ pêche à pied de loisir" ont été étendus, sur le territoire du Parc, aux autres activités concomitantes. La base de données comprend 5 415 comptages réalisés de 2014 à 2016 et répartis sur 36 sites. L'algorithme des forêts aléatoires (*Random Forest*) a été retenu pour l'estimation de la densité relative classée du nombre de pratiquants par activité. Les variables explicatives testées (n=17) correspondent aux conditions météorologiques, marégraphiques, temporelles, démographiques, ou d'accessibilité aux sites. Nous avons procédé aux validations croisées et répétées avec des données réparties dans les échantillons d'entraînement et de test. Chaque modèle a été évalué par la valeur d'*Area Under the Curve* (AUC). Les abondances quotidiennes puis les écarts types autour de la médiane ont été sommés par saison puis moyennés sur les trois années, pour chaque site et pour chaque activité.

La seconde, visant à caractériser les activités encadrées lors de manifestations sportives, a été menée par la numérisation de documents administratifs (Autorisation d'Occupation Temporaire et Demande d'Autorisation) émis en 2015 et 2016. 110 cartes exploitables ont été géoréférencées et numérisées. Certaines manifestations ne disposant pas de cartes ont été caractérisées par coordonnées GPS lorsqu'elles étaient fournies. Les données temporelles et quantitatives ont été saisies sous forme de tableurs à partir du dépouillement des 341 documents contenus dans les dossiers relatifs aux demandes.

Caractérisation des composantes de l'écosystème

Les composantes de l'écosystème ont été caractérisées à partir de la collecte de l'information géographique existante et disponible provenant de sources multiples (GEMEL Picardie, Picardie-nature, AFB, UMR LOG CNRS, programmes CARTHAM, SAMM ...). Ces informations ont été complétées par la numérisation des cartes concernant les enjeux environnementaux du Diagnostic Territorial Approfondi des Sports de Nature (PNM EPMO). Les 26 cartes ont été géoréférencées et numérisées.

Evaluation des indices de sensibilités à dire d'experts

L'élaboration d'indices de sensibilités des composantes de l'écosystème face aux pressions anthropiques a été menée par la co-construction d'un référentiel local à dire d'experts en 4 temps (Figure 1).

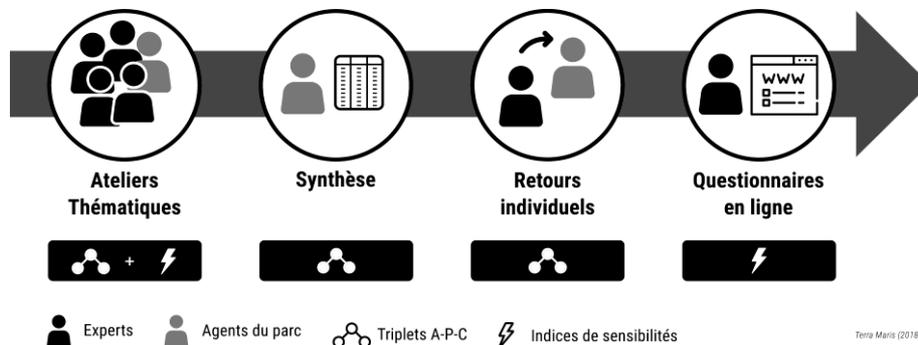


Figure 1 : Etapes de co-construction du référentiel local à dire d'experts.

Des ateliers thématiques (« Flore/habitat » et « Faune ») ont été réalisés afin, d'une part d'identifier quelles sont les pressions générées par des activités de loisirs susceptibles de s'exercer sur les composantes de l'écosystème sur le territoire du Parc (triplet « Activité-Pression-Composante»), et d'autre part, d'évaluer l'indice de sensibilité de la composante associé à chaque triplet (La Rivière *et al.*, 2016). A l'issue des 4 ateliers ayant mobilisé 34 experts, une synthèse dressant l'inventaire des triplets a été renvoyée aux experts afin qu'ils dressent une liste de triplets non-identifiées. Enfin, une évaluation des indices de sensibilités pour ces triplets a été proposée via un questionnaire en ligne.

Résultats

Les abondances quotidiennes pour 22 activités de loisirs (hors manifestations sportives) sont estimées pour chaque jour et chaque site par des modèles pouvant être considérés de bonne qualité prédictive (Test AUC médian = 0,75). Les manifestations sportives (n= 380) sont décrites par 1407 occurrences se déroulant au sein de 168 entités spatiales. Le nombre de participants par occurrence varie de 1 à 6500 (médiane=50). La BIGT est exploitée afin de décrire le déroulement des activités en présence/absence et en abondance par jour. Un prototype permettant l'analyse exploratoire en ligne de la BIGT a été élaboré (Figure 2). La BIGT permet enfin le calcul la distribution spatiale de l'abondance moyenne par activité et par saison. L'inventaire et la collecte de données existantes sur les composantes de l'écosystème ainsi que la numérisation des données du DTA permettent de caractériser les habitats benthiques, intertidaux et les habitats des prés-salés en Baie de Somme, ainsi que les habitats fonctionnels pour des espèces à fort enjeux environnemental. Ils mettent également en avant certaines lacunes informationnelles à l'échelle du Parc concernant, par exemple, les habitats fonctionnels de l'avifaune. Le référentiel local identifie 74 triplets relatifs à la Faune et 178 aux composantes Flore/Habitat. Actuellement, 51% des indices de sensibilités pour la flore et les habitats sont renseignés et 81% pour la faune. 8% des indices de sensibilités relatifs à la faune (et 5% pour la flore et les habitats) sont incomplets en

raison de l'absence d'un des critères de résistance ou de résilience. Cette absence s'explique par des connaissances jugées insuffisantes par les experts afin de réaliser l'évaluation. 11 pressions différentes ont été identifiées pour la faune et 5 pour la flore et les habitats. La pression de «Dérangement de la faune» a été identifiée pour 68% des triplets associés à cette catégorie et la pression d'«Abrasion» pour 84% des triplets relatifs aux composantes Flore/Habitat.

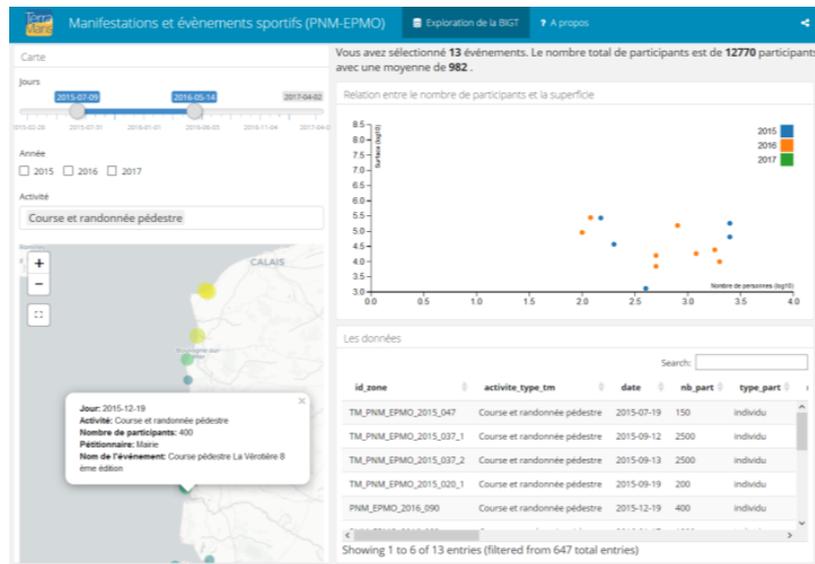


Figure 2 : Prototype de géo-visualisation interactive de la BIGT (<https://is.gd/PKuFpw>).

Conclusion

Les premiers résultats ont permis la construction d'une base d'information cohérente, directement mobilisable à court-terme, pour le calcul des effets cumulés de ces activités. Par ailleurs, l'étude a mis en évidence des déficits en termes de connaissances à l'échelle locale, qu'il conviendra de combler à moyen terme afin de renouveler l'analyse. Les enjeux pour le Parc consistent alors à mieux évaluer les pressions et impacts potentiels liés aux différentes activités dans la perspective de mettre en œuvre des mesures permettant d'adapter les activités à la sensibilité des milieux marins et littoraux. Plus particulièrement, deux modes d'intervention seront privilégiés : (1) l'accompagnement des organisateurs pour la réalisation de manifestations sportives compatibles avec la sensibilité environnementale des sites; (2) la constitution d'un outil d'aide à la décision pour le Parc marin dont le Conseil de gestion peut être saisi pour rendre des avis sur des projets susceptibles d'avoir des incidences sur le milieu marin.

Bibliographie

- Halpern B. S., Walbridge S., Selkoe K. A., Kappel C. V., Micheli F., D'Agrosa C., *et al.*, 2008, « A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems », *Science*, vol.319, No.5865, 948- 952.
- La Rivière M., Aish A., Gauthier O., Grall J., Guérin L., Janson A.-L., *et al.*, 2016, *Assessing benthic habitats' sensitivity to human pressures: a methodological framework*. Paris, MNHN.

Cartographie du risque d'effets concomitants. Avancement du projet Carpediem : méthodes, outils, premiers résultats

Frédéric Quemmerais-Amice¹, Julien Barrere², Gabriel Contin³

¹Agence Française pour la Biodiversité, Brest, France.

² Agence Française pour la Biodiversité, Brest, France

³Université de Bretagne Occidentale UMR Amure, Plouzané, France.

Introduction

A l'échelle européenne, la politique maritime intégrée est une politique transversale et intersectorielle qui vise à soutenir le développement durable de l'économie maritime et à développer une coordination entre les différents domaines d'activité. Le développement de cette gestion plus cohérente des enjeux de l'espace maritime s'appuie notamment sur la directive cadre stratégie pour le milieu marin (2008/56/CE), qui est le pilier environnemental de la PMI et sur la directive cadre pour la planification de l'espace maritime (2014/89/UE). L'Agence française pour la biodiversité (AFB) assure un rôle de coordination technique nationale pour la Directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) et contribue à la mise en œuvre de la Directive de planification de l'espace maritime (PEM), dont la DCSMM constitue le volet environnemental. Dans ce contexte marqué par une grande complexité des processus naturels et anthropiques, les questions liées à la mobilisation et à la synthèse de l'expertise scientifique et des données sont capitales. La définition des objectifs de gestion doivent notamment s'appuyer sur :

- la connaissance de l'état écologique des différents compartiments de l'écosystème, et de leur répartition spatiale,
- la connaissance de la répartition spatiale des pressions engendrées par les activités humaines,
- la connaissance des effets que les différentes pressions sont susceptibles d'avoir sur les différents compartiments de l'écosystème.

Dans ce cadre, l'AFB développe un outil d'analyse spatiale des interactions entre les activités humaines et les compartiments de l'écosystème. L'objectif opérationnel est de produire des cartographies de pressions concomitantes, des cartographies de risque d'exposition à ces pressions concomitantes et enfin des cartographies de risque d'effets concomitants. L'année 2016 et le premier semestre 2017 ont été consacrés aux développements méthodologiques en s'appuyant notamment sur la réalisation d'un état de l'art et sur la consultation de l'ensemble des partenaires scientifiques et institutionnels impliqués dans la mise en œuvre des directives DCSMM et PEM.

Vue d'ensemble de la méthodologie

La méthodologie proposée fait suite à une analyse bibliographique et à un travail de récolte de l'expertise scientifique menées en 2016 et 2017 dans le cadre du projet Carpediem. L'analyse bibliographique a permis d'identifier les projets européens abordant concrètement la question de l'évaluation des « impacts cumulés » et de comparer les différentes méthodologies mise en œuvre. Un travail d'animation avec les équipes de pilotages scientifiques impliquées dans l'évaluation 2018 de la DCSMM en France, a permis de poser les bases d'une méthode d'évaluation acceptable et partagée.

L'analyse repose sur une structuration des données descriptives du milieu marin. Les données statistiques et spatiales descriptives des activités humaines, des pressions et des composantes écologiques sont synthétisées, harmonisées et distribuées dans un maillage de l'espace marin au $1/60$ de degré. Les principales étapes de l'analyse des données sont présentées dans la figure 1. A chaque étape de l'analyse des cartographies des résultats intermédiaires sont produites - cartes multi-activités, cartes multi-pressions, carte du risque d'exposition – et fournissent une synthèse des données nécessaire pour l'interprétation du résultat final de l'évaluation des effets concomitants pour les habitats benthiques.

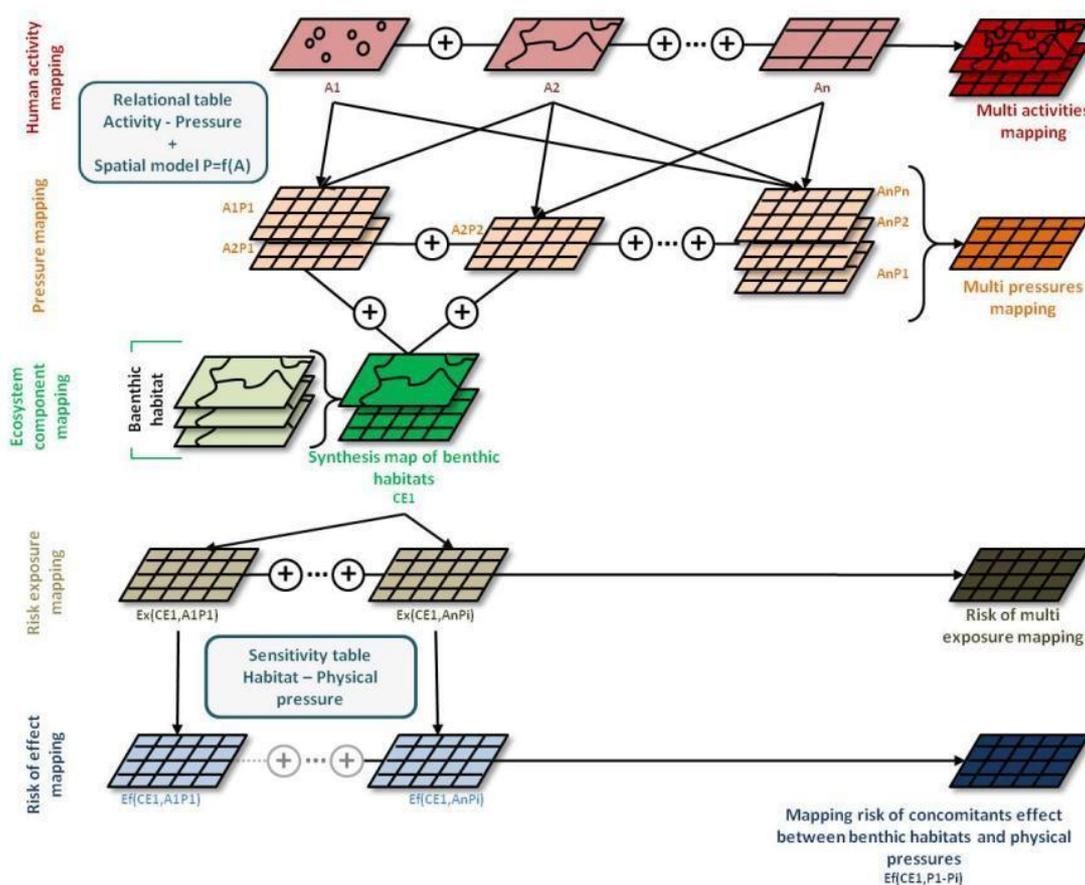


Figure 1 : Principales étapes, composants et résultats intermédiaires du processus d'analyse (d'après Vanhoutte-Brunier A., 2017)

Résultats : premiers tests des options méthodologiques et des outils

Approche multi activités

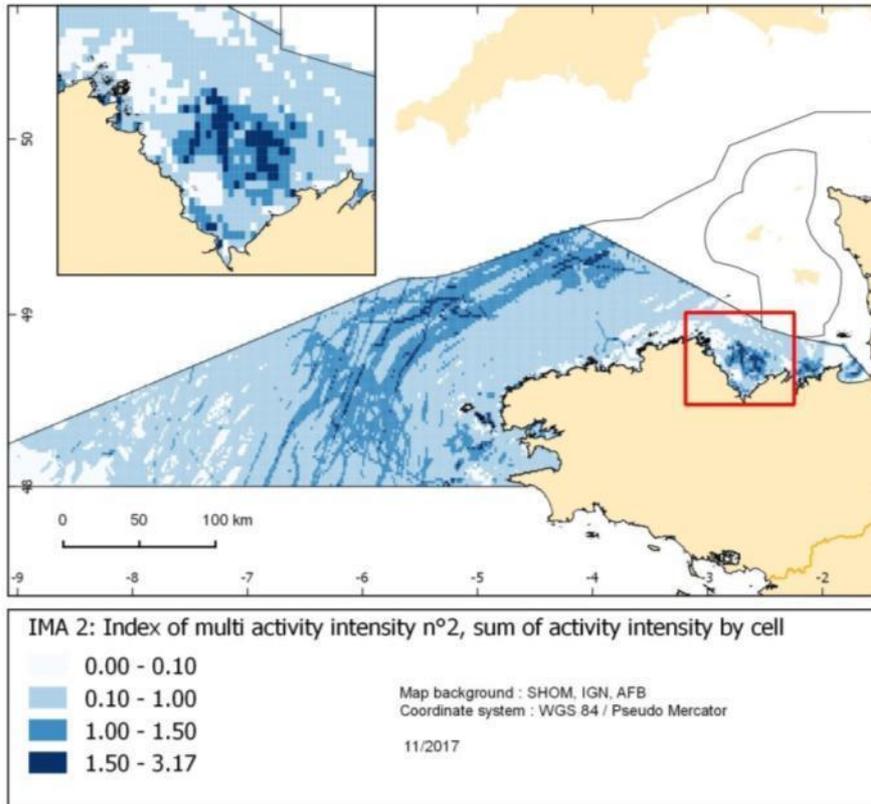


Figure 2 : IMA2, Indice Multi Activités n°2 (somme des intensités des activités humaines log normalisées)

Approche multi pressions

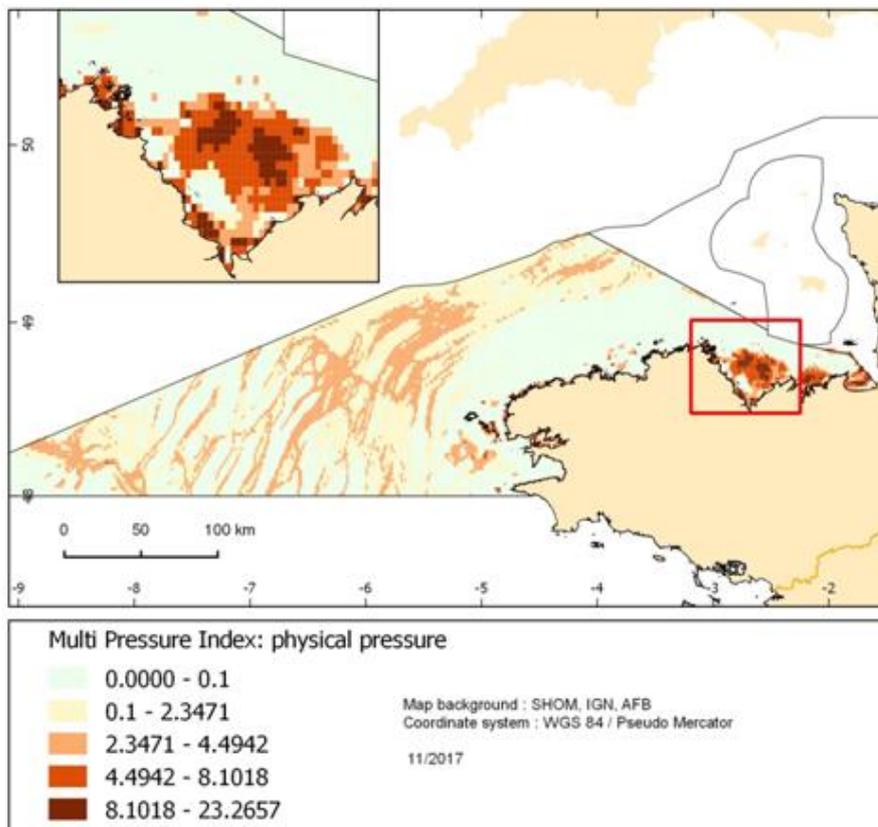


Figure 3 : IPC2, Indice de Pressions Concomitantes n°2 (somme des intensités des pressions physiques)

Risque d'effets concomitants

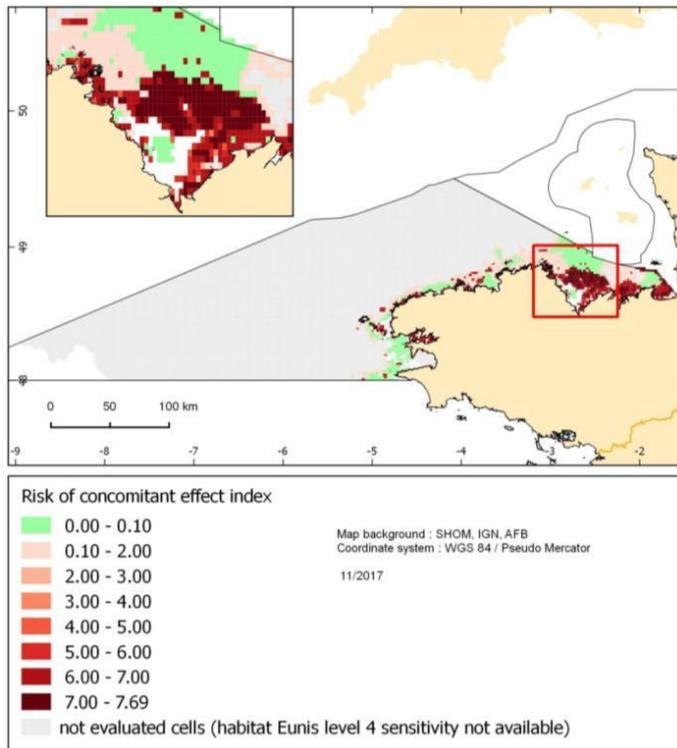


Figure 4 : REFC, Risque d'Effets Concomitants entre les pressions physiques et les habitats benthiques

Conclusion - perspectives

L'année 2017 a permis de fixer les bases conceptuelles et méthodologiques, de développer la première version de l'outil d'analyse spatiale et statistique et de mobiliser les principaux jeux de données sources. L'année 2018, dernière année du projet, est consacrée aux actions suivantes :

- La mise en forme et l'intégration dans le modèle des données activités humaines, pressions et composantes écologiques à l'échelle métropolitaine ;
- Le développement de nouvelles fonctionnalités dans l'outil d'analyse ;
- Le développement d'un indice de confiance et d'une méthode d'analyse de la variabilité des résultats en fonction des hypothèses de travail.

Bibliographie

Vanhoutte-Brunier A., 2017. Cartographie des pressions anthropiques concomitantes et de leur risque d'effets sur le milieu marin. Rapport méthodologique du projet Carpediem, version 1. Agence française pour la biodiversité. 104 p.

EMODnet (tour d'horizon)

Vasquez Mickaël¹, Blanc Frédérique², Chini Nicolas³, Gatti Julie¹, Hamdi Anouar⁴, Le Moigne Morgan¹, Loubrieu Benoit¹, Monpert Coralie⁵, Moussat Eric¹, Populus Jacques¹, Pouliquen Sylvie¹, Quimbert Erwann¹, Schmitt Thierry⁵

¹Ifremer, ²CLS, ³ACRI-HE, ⁴Auto-entrepreneur, ⁵Shom

Introduction

La difficulté d'accès à la donnée est un phénomène qui se vérifie (à divers degrés, certes) en tous lieux et toutes disciplines. Les raisons d'être de ce phénomène sont multiples. Celle qui vient le plus rapidement à l'esprit est bien entendu la réticence de certains propriétaires de donnée au partage libre et sans contrepartie. Si ce manque de volonté, souvent lié à des considérations commerciales, politiques, stratégiques ou autres est bien réel ici et là, celui-ci est tous comptes faits assez peu répandu et ne constitue en rien le frein principal à l'accès libre à la donnée. Les véritables raisons du caractère partiel de l'accès à la donnée sont en réalité plutôt d'ordre structurel. On peut citer, pêle-mêle: donnée "enfouie", i.e. mise à disposition par le biais de media à portée limitée (ex. site web de projet, espace ftp); donnée non référencée dans des catalogues; temps d'accès trop long; donnée disponible mais peu exploitable car ne répondant à aucun standard; absence de standard ou jeux de données trop éparpillés pour la thématique considérée.

C'est un phénomène universel, donc, auquel ne déroge malheureusement pas la donnée marine. Et c'est en vue d'améliorer cette situation qu'EMODnet (**E**uropean **M**arine **O**bservation **D**ata **n**etwork, *réseau de données européennes d'observation du milieu marin*) a été créé. EMODnet est né en 2009 à l'initiative de la DG Mare de l'Union Européenne. Cantonné dans un premier temps au développement en comité restreint de démonstrateurs d'accès à la donnée marine pour un nombre limité de paramètres et de régions, le réseau s'est graduellement (trois phases ont émaillé son parcours) fortifié en quantité (150 instituts de toute l'Europe participent aujourd'hui, jeux de données toujours plus nombreux) et en qualité (services d'accès en constante amélioration).

Selon le secrétariat d'EMODnet, le réseau repose sur cinq piliers : i) les portails thématiques, ii) le portail de mise à disposition de la donnée (data ingestion portal), iii) les checkpoints, iv) le portail central, et v) le secrétariat. La présentation propose un tour d'horizon de ces différentes composantes, dont certaines sont illustrées plus en détail par d'autres présentations (Moussat *et al* et Monpert *et al* présentent respectivement un exemple de checkpoint et un exemple de portail thématique).

Des portails thématiques pour l'accès à la donnée d'observation et la constitution de produits

EMODnet est depuis son origine découpé en 7 lots thématiques (fig.1): bathymétrie, géologie, chimie, physique, biologie, habitats benthiques, activités humaines. Ces lots sont des projets constitués de spécialistes issus de la recherche, de la gestion du milieu marin et du secteur privé. Chaque lot possède son propre portail proposant des services d'accès génériques pour les uns et "métier" pour les autres. Les lots ont deux missions:

- 1) Collecter et/ou indexer les données d'observation existant partout en Europe, et les mettre à disposition dans un référentiel *ad hoc* au moyen de services de découverte, visualisation et téléchargement standardisés, si possible sans accès restreint (à défaut porter leur existence à connaissance)
- 2) constituer des produits à valeur ajoutée, par interpolation des données ponctuelles d'observation (typiquement l'émblématique MNT à 250m), par la compilation de cartes existantes (exemple: la carte au 1:1 000 000 de la nature géologique des fonds marins) ou par le biais d'analyses multicritères (exemple: la carte européenne des habitats benthiques)

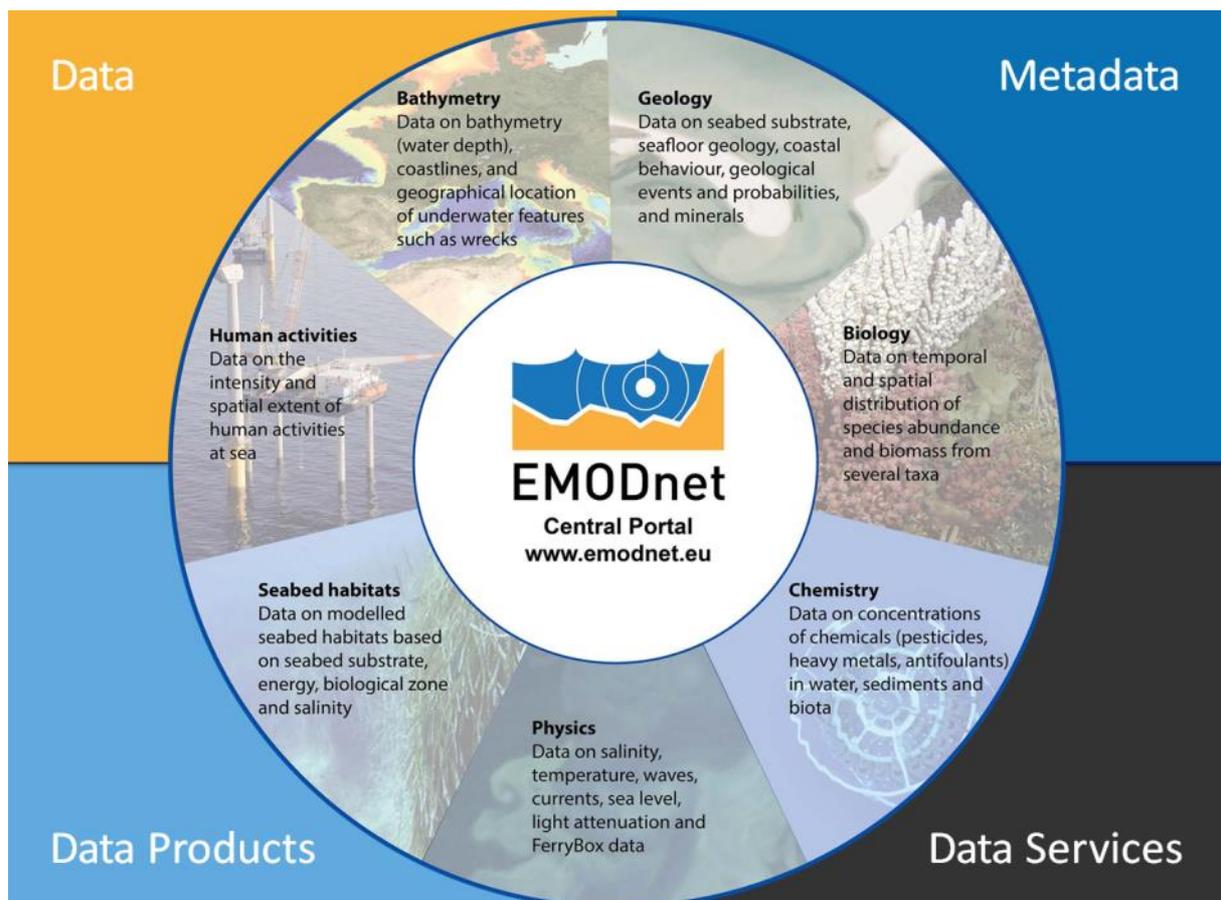


Figure 1 (fournie par le secrétariat EMODnet): les 7 portails thématiques centralisent l'accès à la donnée d'observation (Data) par le biais de services de découverte (Metadata), de téléchargement et de visualisation (Data services) standardisés, et l'agglomèrent sous forme de produits (Data Products)

Un portail de mise à disposition de la donnée

En anglais *Data Ingestion Portal*, ce portail très récent (2017) fournit des outils permettant à tout un chacun souhaitant partager sa donnée de la "confier" à EMODnet pour archivage et mise à disposition en ligne sur le portail thématique *ad hoc*. Un ensemble d'utilitaires en ligne permet au fournisseur de téléverser sa donnée et de remplir quelques métadonnées. La donnée rentre ensuite dans la chaîne de traitement EMODnet (il s'agit essentiellement de la mettre en conformité avec les référentiels) avant mise en ligne sur le portail thématique. On est dans un rapport "gagnant – gagnant" entre le fournisseur et EMODnet, le second s'engageant envers le premier à sécuriser sa donnée (i.e. la rendre pérenne) en contrepartie de sa mise à disposition à un large public. Le fournisseur conserve l'entière propriété de la donnée.

Des checkpoints

Les checkpoints ont fait leur apparition dans EMODnet dans un second temps, à partir de 2013, quand les portails thématiques sont arrivés à une maturité jugée satisfaisante. L'idée était de "challenger" les infrastructures de donnée marine et les données elles-mêmes en évaluant au travers de petits défis thématiques l'efficacité des premières et l'adéquation des secondes aux exigences liées à certaines grandes thématiques du milieu marin: délimitation de zones potentielles pour l'installation d'éoliennes, aires marines protégées, gestion des pêches, effets de la pêche sur les écosystèmes benthiques, changement climatique, eutrophisation, apports de rivières, bathymétrie, espèces invasives, évolution du trait de côte, impact des accidents pétroliers. Six checkpoints ont ainsi été créés: Arctique, Atlantique, Baltique, Mer Noire, Méditerranée, et Mer du Nord.

Ces projets, qualifiés de "stress tests", ont pour mission de mettre le doigt sur les défauts en termes d'efficacité des infrastructures de données marines (EMODnet, Copernicus, plateformes nationales) en vue de les améliorer, et sur les grandes lacunes de la donnée marine en termes d'exhaustivité (spatiale, temporelle, thématique) en vue de mieux cibler les programmes futurs d'acquisition de données. A l'automne 2018 les checkpoints seront arrivés à leur terme.

Un portail central

Comme son nom l'indique et comme il apparait en figure 1, le portail central est au centre du dispositif. C'est le "hub" du réseau, puisqu'il offre un point d'accès unique aux portails thématiques (menu *Data Portals*) et aux portails des checkpoints (menu *Checkpoints*). Il permet, surtout, de découvrir (menu *Data Services > Catalogue*) et consulter (menu *Data Services > Map Viewer*) les produits élaborés par les différents lots thématiques.

Un Secrétariat

Le secrétariat d'EMODnet a été créé en 2013. Il coordonne le réseau dans ses grandes lignes : lien avec les parties prenantes, présidence du comité de pilotage (steering committee, composé des coordonateurs des lots thématiques et des checkpoints), communication, organisation d'évènements, établissement de partenariats/collaborations avec les autres initiatives de partage de données marines, etc. Le secrétariat d'EMODnet, constitué de sept postes permanents, est basé sur la côte Belge, à Ostende.

Conclusion

Des cinq piliers d'EMODnet présentés ici, les portails thématiques constituent le seul à être présent depuis le début du dispositif, et ils apparaissent clairement comme celui sans lequel rien n'est possible. A ce titre il serait plus judicieux de les imaginer comme la clé de voute du système plutôt que comme un pilier parmi d'autres. Ces lots thématiques ont accompli en quelques 10 ans leur mission en collectant les jeux de données isolés autant que faire se peut et en constituant des plateformes d'accès fiables et performantes.

La phase 3 court jusque fin 2020, après quoi EMODnet s'oriente vers des changements organisationnels profonds. Son avenir est certainement d'aller vers plus d'opérationnel, et par conséquent cette organisation par projets thématiques va peut-être à terme laisser place à une organisation structurelle. Tout reste à construire. 2018 sera très certainement une année charnière pour cela.

Remerciements

Nous remercions le secrétariat EMODnet, en particulier Belén Martín Míguez, pour la mise à disposition d'un diaporama de présentation intitulé "EMODnet: your gateway to marine data in Europe – A stroll through the EMODnet landscape". Le diaporama présenté en est une adaptation assez fidèle. La figure 1 en est également issue.

EMODnet Bathymetry : le Modèle Numérique de Terrain bathymétrique européen

Coralie MONPERT^{1*}, Thierry SCHMITT¹, Benoît LOUBRIEU², Cyrille PONCELET², George SPOELSTRA³, Dick SCHAAP⁴ et l'ensemble des partenaires.

¹Shom, Brest, France.

²Ifremer, Brest, France

³GGSgc, Breda, Pays-Bas

⁴MARIS B.V., Voorburg, Pays-Bas

Introduction

Le projet EMODnet Bathymetry s'intègre dans la démarche européenne de recueil de données descriptives de l'environnement marin, European Marine Observation and Data Network. Il vise à synthétiser la connaissance bathymétrique, initialement fragmentée au sein des services hydrographiques et centres de recherche nationaux, au sein d'une infrastructure distribuée et d'un portail de découverte et d'accès : www.emodnet-bathymetry.eu. Au-delà d'un inventaire et d'une localisation de ces données, celles-ci sont fusionnées dans un Modèle Numérique de Terrain (MNT) bathymétrique allant de la Mer du Groenland à la Mer Méditerranée, de la Mer Noire à la dorsale médio-atlantique, en passant par les Açores. Depuis Décembre 2016, une nouvelle phase du projet a été lancée au profit de la Commission Européenne. Elle regroupe 41 partenaires qui ont pour objectifs principaux de produire un MNT à une résolution plus fine (100m), d'enrichir les métadonnées et d'intégrer des sources de connaissances de données bathymétriques non conventionnelles (Bathymétrie par satellites).

I- EMODnet Bathymetry : principes

I-1. Données et Métadonnées

Dans un objectif d'inventaire et de localisation de la donnée bathymétrique, le projet regroupe deux catalogues de données (Figure 1, [1]):

- Le catalogue SeaDataNet, qui répertorie des lots de données bathymétriques.
- Le catalogue Sextant, qui inventorie des Modèles Numériques de Terrain.

Ces derniers sont alimentés par des contributeurs, membres du consortium EMODnet Bathymetry. Les catalogues donnent accès à des fiches de métadonnées pour chaque source. Celles-ci sont conformes avec la directive INSPIRE [2] et intègrent le vocabulaire commun préconisé par les institutions européennes. On y retrouve de nombreuses informations sur la donnée, sa provenance, son accessibilité et son téléchargement. Cette infrastructure permet à un utilisateur de localiser des données d'intérêt, de se mettre en contact avec leur propriétaire (et/ou le gestionnaire) et de conclure à un accord concernant leur mise à disposition. Ce mécanisme permet, au propriétaire, de garder la maîtrise de leurs conditions de diffusion et d'utilisation.

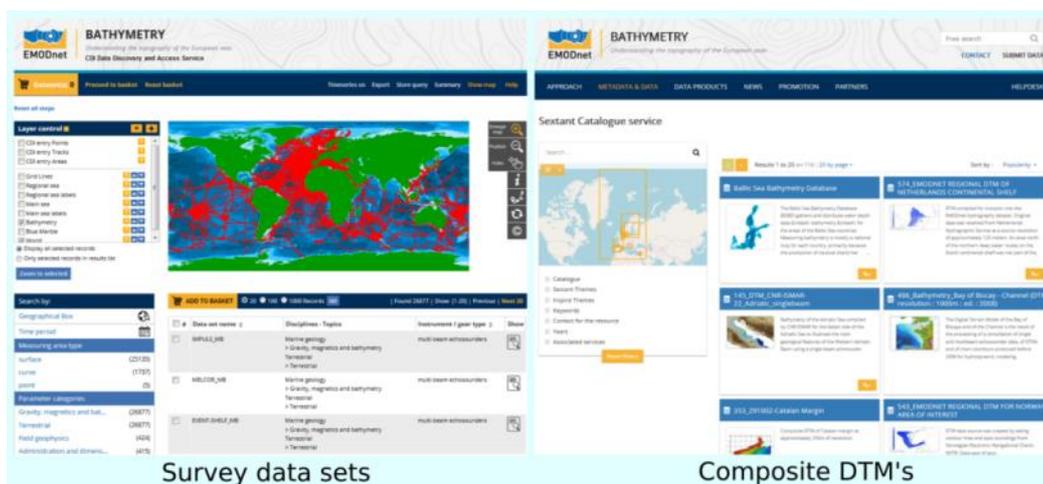


Figure 9: EMODnet Bathymetry: deux catalogues de données.

I-2. Modèle Numérique de Terrain (MNT)

A partir des données fournies par chacun des contributeurs du projet, un Modèle Numérique de Terrain (MNT), pour les mers d'Europe, est créé par un groupe de coordinateurs régionaux. Ces derniers adhèrent à une méthodologie et des logiciels standardisés. Leur rôle est d'évaluer la qualité des données en vue d'obtenir une compilation la plus cohérente et la plus fiable possible. En cas d'absence de données, la GEBCO est utilisée, mettant en exergue de vastes zones sans données bathymétriques issues de mesures directes (sondage acoustique), essentiellement dans les eaux internationales.

Le MNT, libre de droit, est téléchargeable par tuiles et accessible par le biais de services web [3]. Il se compose de plusieurs couches dont deux principales (Figure 2):

- Une couche indiquant la profondeur moyenne à une localisation donnée.
- Une couche identifiant la source majoritaire utilisée pour calculer l'information dans chaque cellule du MNT.

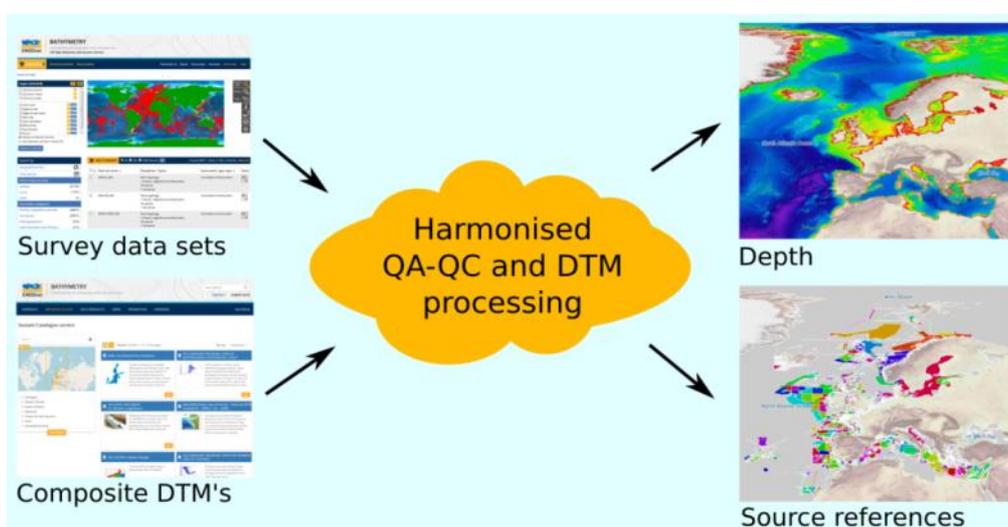


Figure 10: Création du MNT EMODnet.

II- EMODnet Bathymetry phase 2: Etat actuel

Depuis son lancement en 2009, l'utilisation des produits proposés par le projet ne fait qu'augmenter [4] :

- Le catalogue SeaDataNet recense 26875 lots bathymétriques provenant de 241 producteurs.
- Le catalogue Sextant dénombre 115 entrées de sources de données composites.
- Le Modèle Numérique de Terrain a été téléchargé 10776 fois dans la période du 1^{er} octobre 2017 au 31 décembre 2017.

Le MNT sert de base à de nombreuses études. Il a une couverture totale sur les mers d'Europe, avec une maille de 1/8 de minutes d'arc (environ 250m). Il est téléchargeable en 6 formats (ASCII, NetCDF, XYZ, RGB GeoTiff, ESRI ASCII, QPS SD) et est disponible par le biais des services web WMS, WFS, WMTS et WCS.

Un portail de visualisation est également accessible. Il permet de travailler directement avec le MNT. Afin de faire diverses études, de la planification ou autres, il est possible d'interroger les produits, de faire des profils de profondeur, de mesurer des distances et d'interfacer d'autres services web (Figure 3).



Figure 11: Etude des dunes du Nord-Pas-de-Calais à l'aide d'un profil de profondeur, d'une interrogation du MNT et de la superposition d'une couche renseignant des courants sur zone (couche wms provenant de data.shom.fr).

III- Collaborations internationales

En synthétisant l'information bathymétrique dans les eaux européennes, EMODnet Bathymetry suscite l'intérêt parmi les organisations internationales. La compilation EMODnet Bathymetry actuelle est d'ores-et-déjà intégrée dans la GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean) qui correspond à la compilation à 30 secondes d'arc (environ 1km) de la connaissance bathymétrique mondiale.

Par ailleurs, EMODnet Bathymetry collabore activement avec la NOAA (US National Oceanographic and Atmosphere Administration) à la description de l'état des connaissances bathymétriques dans l'Atlantique Nord, dans le cadre de l'« Atlantic Ocean Research Alliance » regroupant le Canada, les Etats-Unis et l'Europe (Figure 4).

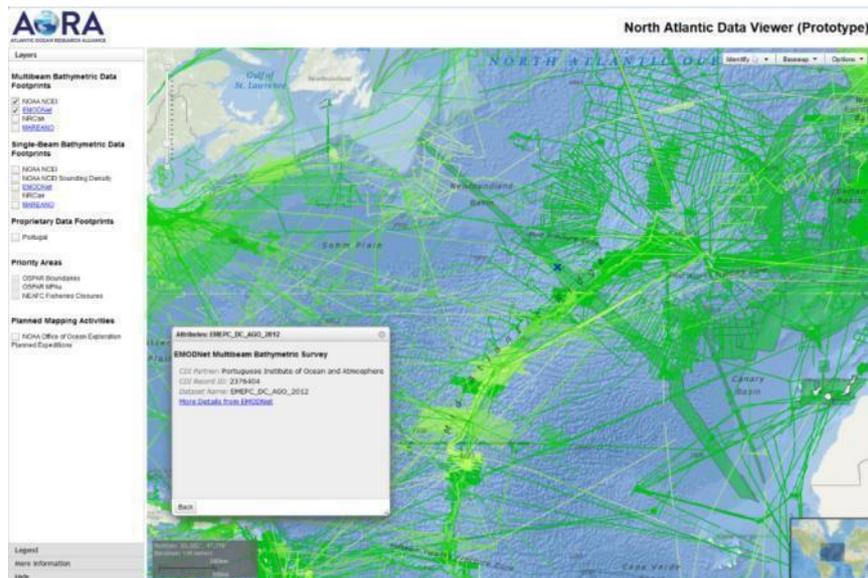


Figure 12: Compilation des services web EMODnet Bathymetry et NOAA.

IV- EMODnet Bathymetry phase 3: Perspectives

Au vu du succès des précédentes phases et dans le but de continuer l'enrichissement de la connaissance bathymétrique en Europe, depuis Décembre 2016, le projet est rentré dans une troisième phase sous le nom de EMODnet High Resolution Seabed Mapping.

De nouveaux développements, opérationnels dans la seconde moitié de 2018, permettront de :

- Générer un MNT à la résolution de 1/16 de minutes d'arc, soit environ 100m.
- Fournir une information de la qualité pour chacun des lots bathymétriques, et de l'associer à chaque nœud de grille sous forme d'un indicateur de qualité du MNT produit.
- Etendre l'inventaire des données et la génération du MNT à la zone arctique.
- Renforcer la précision des zones côtières en accédant à des données de haute résolution de type Lidar.
- Intégrer des informations bathymétriques, en environnement côtier, provenant des techniques d'imagerie satellitaire.
- Améliorer l'accessibilité et l'utilisation de l'information bathymétrique, en proposant une visualisation 3D directement sur le portail web (<http://portal.emodnet-bathymetry.eu/>).

Références

- [1] <http://www.emodnet-bathymetry.eu/metadata-and-data>
- [2] <https://inspire.ec.europa.eu/>
- [3] <http://www.emodnet-bathymetry.eu/data-products>
- [4] EMODnet Thematic Lot n° 0 – High Resolution Seabed Mapping (HRMS) – 4th Trimonthly Report

EMODnet Checkpoints : évaluation de la capacité des systèmes d'information européens à répondre aux défis maritimes de l'UE

E.Moussat (1), E. Quimbert (1), F.Blanc (2), N. Pinardi (3), J. Populus (1), A. Hamdi (5), N. Chini (6), M. Vasquez (1), A. Palazov (4), au nom des partenariats EMODnet des Checkpoints Atlantique, Méditerranée et Mer Noire

(1) IFREMER, Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané, France

(2) CLS, 8-10 rue Hermès, Parc Technologique du Canal, 31520 Ramonville St Agnès, France

(3) Department of Physics and Astronomy, Alma Mater Studiorum University of Bologna, Viale Bertini Pichat 8, 40127 Bologna, Italy

(4) Institute of Oceanology - Bulgarian Academy of Sciences, First May Street 40, P.O. Box 152, Varna 9000, Bulgaria

(5) Auto-entrepreneur, Courreges 65130 Batsere, France

(6) ACRI-HE, 1 place de Strasbourg, 29200 Brest, France

Introduction

La connaissance de l'environnement marin et de l'impact actuel et potentiel des activités humaines nécessaire à la « croissance durable » voulue par la stratégie maritime européenne est très fragmentée. La plupart des données, qu'elles soient destinées à l'industrie, à la recherche ou aux politiques publiques sont dispersées et recueillies à des fins particulières.

En 2013, la Direction Générale des Affaires Maritimes et de la Pêche (DG MARE) de la Commission Européenne a lancé le concept de « checkpoint », une série de « challenges » ou stress-tests des sources de données marines pour déterminer - par bassin maritime - les actions prioritaires à mener pour adapter les programmes de collecte et d'assemblage des données existants aux enjeux environnementaux et économiques de l'UE : installation de fermes éoliennes, définition d'Aires Marines Protégées, suivi de marée noire, impact du changement climatique sur le niveau marin, impact de la pêche, eutrophisation, apports sédimentaires et érosion côtière, espèces invasives, nouveaux usages de l'espace maritime.

Une série de produits doit être réalisée pour chaque challenge : cartes, graphiques ou encore compilations de données sous forme de tableaux. Leur production n'est pas une fin en soi, elle vise à identifier les objectifs des challenges qui ne peuvent être atteints et les freins à l'utilisation des données existantes qui en sont la cause.

Les produits, les données, leur analyse et les recommandations des experts font l'objet d'un rapport par challenge et par paramètre exploité, le Data Adequacy Report (DAR) et sont par ailleurs accessibles via le portail de chaque checkpoint sur le site du réseau européen d'observation et de données marines EMODnet (www.emodnet.eu/checkpoints).

Les checkpoints des mers du Nord et Méditerranée sont à présent terminés. En Arctique, Atlantique, Mer Baltique et Mer Noire ils s'achèvent en septembre 2018. Cette présentation illustre la méthodologie adoptée par les checkpoints Méditerranée, Atlantique et Mer Noire coordonnés respectivement par INGV, Ifremer et IO-BAS.

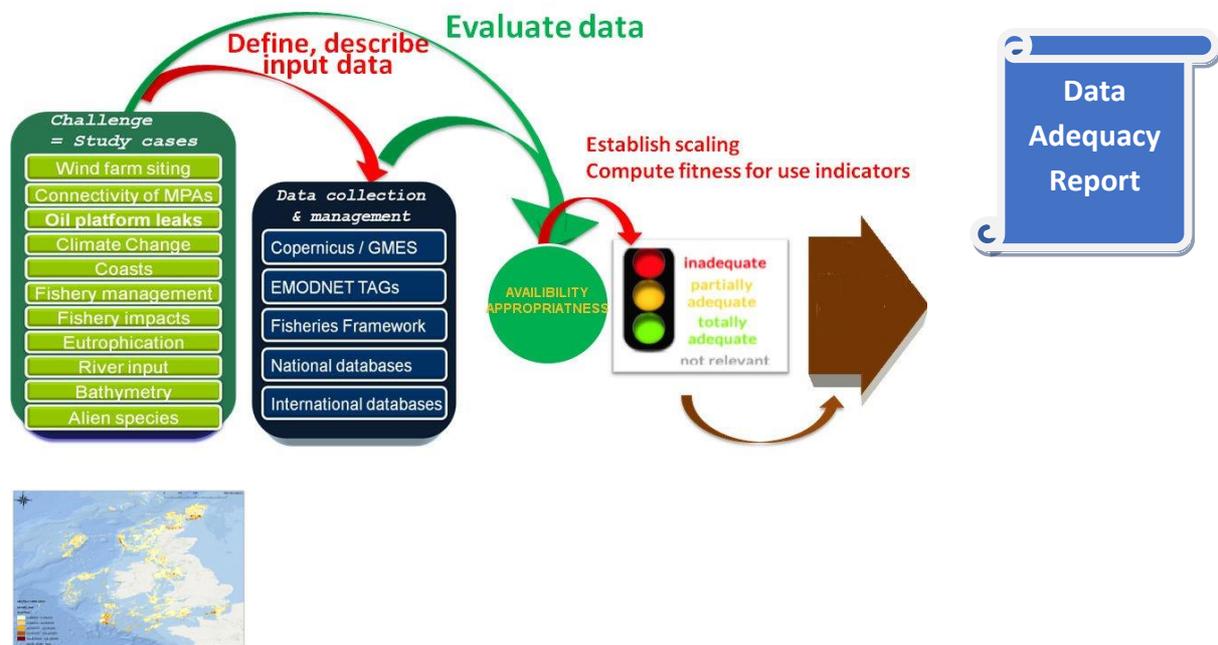


Figure 13 : Le processus du checkpoint, des données aux produits

Cadre méthodologique

Selon l'ISO 9000, « la qualité est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les exigences spécifiées ». En ce sens, l'ISO et plus spécifiquement la famille des normes ISO19000 (ISO19115 Metadata, ISO19131 Data product specifications, ISO19157 Data quality ...) appliquée à l'information géographique propose un cadre cohérent et adapté à l'évaluation de l'adéquation de données marines et de produits selon le mécanisme imposé par les appels d'offres de la DG MARE (1) (2) (3).

L'implémentation récente de l'ISO19157 dans l'Open Source Geonetwork facilite l'intégration de l'information qualité dans les services de catalogage existants des centres de données qui mettent déjà en œuvre ce référentiel en application de la Directive INSPIRE.

L'ISO19157 pose surtout les principes:

- d'une détermination objective, quantitative, harmonisée et reproductible du degré de conformité des données par rapport à des exigences spécifiées ;
- qui permet d'agrèger les résultats sous forme d'indicateurs et de graphiques ;
- applicables tant par les utilisateurs que sont les experts des challenges (qualité externe) que par les producteurs (qualité interne).

Terminologie et classification

La terminologie employée pour désigner les « entités » et « attributs » dont les utilisateurs ont besoin pour décrire leur univers d'intérêt est très liée aux pratiques de leur communauté : le nom de l'objet pour sa forme ou le nom du « paramètre » pour le phénomène observé. Le terme « caractéristique » a été introduit pour en tenir compte.

Le concept du checkpoint nécessite de grouper ces caractéristiques en catégories sémantiques précises, cohérentes et contrôlées pour donner une vue synthétique des besoins et de ce qui existe et faire apparaître les synergies possibles entre utilisateurs d'une même caractéristique ou d'une même source de données. De ce point de vue, les listes SeaDataNet (<https://www.seadatanet.org/Standards/Common-Vocabularies>) utilisées par les services de catalogage des centres de données océanographiques de l'UE sont apparues les plus adaptées aux communautés concernées pour classer les caractéristiques par catégorie (liste P02) et par groupe de catégories (liste P03).

Processus d'évaluation

L'évaluation suit les étapes suivantes :

- **Spécifications du produit** dans le catalogue des produits. La description est faite par unité qualité (« composant ») incluant les mesures qualité (QM) et leur champ d'application (caractéristique, zone géographique, période, ...)
- **Description des données sources** dans le catalogue éponyme par caractéristique ;
- **Test qualité des conditions d'accès** (collecte des données) : qualitatif ;
- **Test qualité des données** (réalisation des produits) : quantitatif. La description des produits est enregistrée dans le catalogue des produits avec les liens qui les rattachent aux descriptions des données sources avec leurs résultats qualité respectifs. Un commentaire d'expert accompagne la description des produits non réalisés en tout ou partie par inexistence ou indisponibilité des données ;
- **Production des indicateurs qualité** : 9 mesures communes à tous les challenges (et checkpoints) ont été définies pour déterminer la complétude des produits et des données sources (couverture horizontale, verticale, temporelle ou nombre d'objets), la précision (résolution horizontale, verticale et temporelle ; précision thématique), la qualité temporelle (date de dernière mise à jour des données), la cohérence (nombre de caractéristiques). La précision des positions, critère qualité propre à l'information géographique, n'a pas été utilisée en raison de la nature des produits. Chaque mesure est accompagnée d'un descriptif du résultat.

Le degré de conformité à chaque exigence spécifiée est calculé automatiquement sous forme d'un indicateur exprimé en %. Les indicateurs quantitatifs sont complétés au niveau de chaque composant et de chaque produit d'un avis d'expert et d'un score de 1 à 5 permettant de moduler les résultats en fonction de critères qui n'auraient pu être mesurés et contiennent les limites d'usage dues aux données sources.

Infrastructure

Les catalogues (basés sur GeoNetwork) sont intégrés à l'infrastructure de données géographiques marines et littorales Sextant du Centre National de Données Océanographiques de l'Ifremer. Un navigateur en permet la consultation dynamique. Des outils graphiques dynamiques - en cours de développement pour le Checkpoint Atlantique - fourniront à terme un accès à des synthèses des résultats et aux spécifications en fonction de la caractéristique, du critère qualité et de la valeur de l'indicateur via le portail du Checkpoint.

Conclusion

Avec le concept de Checkpoint, EMODnet vient de lancer les bases de ce que pourraient être le processus de gestion et le système de mesure pour améliorer la qualité des programmes de collecte et d'assemblage des données marines en Europe. Les processus, les services et l'organisation restent à pérenniser et la pertinence de son application par bassin maritime à confirmer.

Les checkpoints Méditerranée, Atlantique et Mer Noire ont construit des catalogues décrivant la qualité des services et des données concernant plus d'une quarantaine de catégories de caractéristiques et de plusieurs centaines de lots de données. Les outils Web de leurs portails permettent d'identifier quelles sources de données et quelles caractéristiques sont les plus souvent recherchées et quelles sont les spécifications qui leur sont associées. Ils permettent de rechercher et de visualiser les lacunes et limitations qui font obstacle à leur différentes utilisations et ainsi d'identifier quelles actions doivent être entreprises pour y remédier. L'intégration à une infrastructure comme le Centre National de Données Océanographiques de l'Ifremer est une condition essentielle pour capitaliser les résultats et assurer le maintien des services de données associés.

L'association d'utilisateurs, d'experts thématiques et d'experts en gestion de données est jugée nécessaire au développement du concept Checkpoint. Une fréquence de 3 ans entre deux checkpoints est souhaitable pour maintenir les équipes opérationnelles et développer l'expérience acquise. Une rotation par série d'enjeux permettrait de mesurer les effets des recommandations et de l'évolution des besoins après un temps suffisant.

Les normes ISO 19000 sont probablement perfectibles mais offrent un cadre stable compatible INSPIRE. Elles sont appliquées par un grand nombre de centres de données, non seulement en Europe mais aussi outre-Atlantique. Elles facilitent la réutilisation des outils comme ceux du Checkpoint Atlantic par le projet AtlantOS (Atlantic Ocean Observing System). Des actions transversales et des collaborations avec des initiatives comme EOOS restent à développer pour consolider ce choix, pour en harmoniser l'application et les classifications.

Références

- (1) Fundamentals of Spatial Data Quality, Ed. R. Devillers, R. Jeansoulin, in Geographical Information Systems Series, ISTE, 2006
- (2) R. Devillers et al., Thirty years of Research on Spatial Data Quality : Achievements, Failures, and Opportunities, Transactions in GIS, 2010, 14(4) :387-400
- (3) I. Pôças et al., 2014, Evaluating the fitness for use of spatial data sets to promote quality in ecological assessment and monitoring, Int. J. of Geog. Inf. Sciences

Une Infrastructure de Données Spatiales au service de la Planification de l'Espace Maritime transfrontalière en Europe

Yuji Kato^{1*}

¹Shom, Brest, France.

Contexte

La planification de l'espace maritime (PEM) est un outil essentiel de la politique maritime intégrée de l'Union Européenne, comme en témoigne la directive 2014/89/UE du 23 juillet 2014 qui en définit le cadre. Elle identifie en particulier la nécessaire coopération entre Etats, et l'importance de travailler avec les meilleures données disponibles, qu'elles soient physiques, environnementales, sociales, ou économiques.

En ce qui concerne la coopération entre Etats, l'article 11 de la directive spécifie que « les États membres riverains d'eaux marines coopèrent en vue de s'assurer que les plans issus de la planification de l'espace maritime sont cohérents et coordonnés au sein de la région marine concernée ». Cet aspect est soutenu par la DG MARE qui finance des projets regroupant plusieurs pays sur les différents bassins maritimes européens. Ainsi, le Shom, depuis 2015, joue le rôle de partenaire ou de coordinateur pour ces projets sur l'ensemble des façades maritimes métropolitaines françaises :

Projet	bassin maritime	Dates de démarrage et de fin	Pays partenaires
SIMCelt	Mers Celtiques	12/2015 → 03/2018	France, Irlande, Royaume-Uni
SIMNORAT	Atlantique Nord	01/2017 → 12/2018	Espagne, France, Portugal
SIMWESTMED	Méditerranée Occidentale	01/2017 → 12/2018	Espagne, France, Italie, Malte
SEANSE	Mer du Nord	02/2018 → 01/2020	Allemagne, Belgique, Danemark, France, Pays-Bas, Royaume-Uni

La question de l'utilisation des données les meilleures disponibles est fixée par l'article 10 de la directive. A ce titre, le Shom est en charge, au sein de ces projets européens, de la réalisation des composants liés aux données et informations. Au sein de chacun de ces composants, la réalisation d'un démonstrateur de portail de données est conduite. Il a vocation à publier les périmètres des plans spatiaux nationaux d'aménagement des eaux, lorsqu'ils existent, ainsi que les données sur lesquelles sont basées les analyses conduisant à définir ces plans, ou, selon l'état d'avancement du processus de planification dans chaque Etat, simplement les données de la connaissance de l'environnement marin.

Les portails de données transfrontaliers pour la PEM

Principes

Plusieurs principes directeurs ont guidé la réalisation de ces Portails de données. En premier lieu, l'Infrastructure de Données Spatiales (IDS) transfrontalière pour la PEM s'inscrit pleinement dans la directive INSPIRE. Les données en entrée sont autant que possible des flux basés sur les standards OGC¹² émis par des IDS existantes telles que des portails européens comme EMODnet, des plateformes nationales consacrées à la PEM ou les portails de producteurs de données nationaux. Le principal avantage de ce fonctionnement est de garantir l'affichage de la donnée la plus à jour, tout en diminuant les contraintes liées à la maintenance et à l'administration de la donnée.

Ensuite, cet outil est pensé comme un laboratoire d'expérimentation de l'interopérabilité à l'échelle européenne. Il permet d'explorer comment des jeux de données provenant de plusieurs pays et institutions peuvent être affichés de façon cohérente et conjointement utilisés, d'identifier les difficultés existantes et dans la mesure du possible de mettre à l'épreuve des solutions pour les résoudre.

Enfin, au travers de cette infrastructure de données spatiales est constituée une base de données de référence relative à la PEM transfrontalière en Europe.

Architecture

La réflexion autour de la construction de ces portails de données s'est articulée autour d'une dichotomie : d'une part, la nécessité d'afficher pour chaque projet un portail dédié ; d'autre part le souhait d'en simplifier l'administration en ne disposant que d'une seule infrastructure, et ainsi éviter la publication multiple des mêmes jeux de données. C'est ainsi que l'IDS a été conçue avec une colonne centrale pour la gestion des données et métadonnées. Celle-ci est connectée à un visualisateur cartographique spécifique à chaque projet. L'axe central est composé de plusieurs éléments :

- Le catalogue de métadonnées : fonctionnant avec le logiciel libre Geonetwork, il moissonne les catalogues des infrastructures partenaires et des principaux producteurs de données utiles à la PEM. Ainsi, près de 700 fiches de métadonnées sont aujourd'hui accessibles au même endroit.
- Le serveur de données géographiques : ce composant sert d'intermédiaire entre les IDS des producteurs de données et les interfaces cartographiques des projets. C'est le logiciel Geoserver qui est utilisé.
- Le serveur WPS : les Web Processing Services font partie des standards OGC et permettent de partager des outils et processus sous forme de web services. Au sein

¹² Open Geospatial Consortium

de l'infrastructure des projets PEM, il a été déployé à titre expérimental, afin d'explorer les possibilités de partage d'outils spécifiques à la PEM.

Les visualisateurs cartographiques, quant à eux, permettent la visualisation des données pertinentes pour la PEM sur leur espace maritime. Ils sont basés sur l'interface cartographique du projet européen EMODnet Coastal Mapping, et ont été enrichis de fonctionnalités telles que la consultation de données temporelles, la possibilité d'accéder à des cartes thématiques, ou encore des outils de dessin.

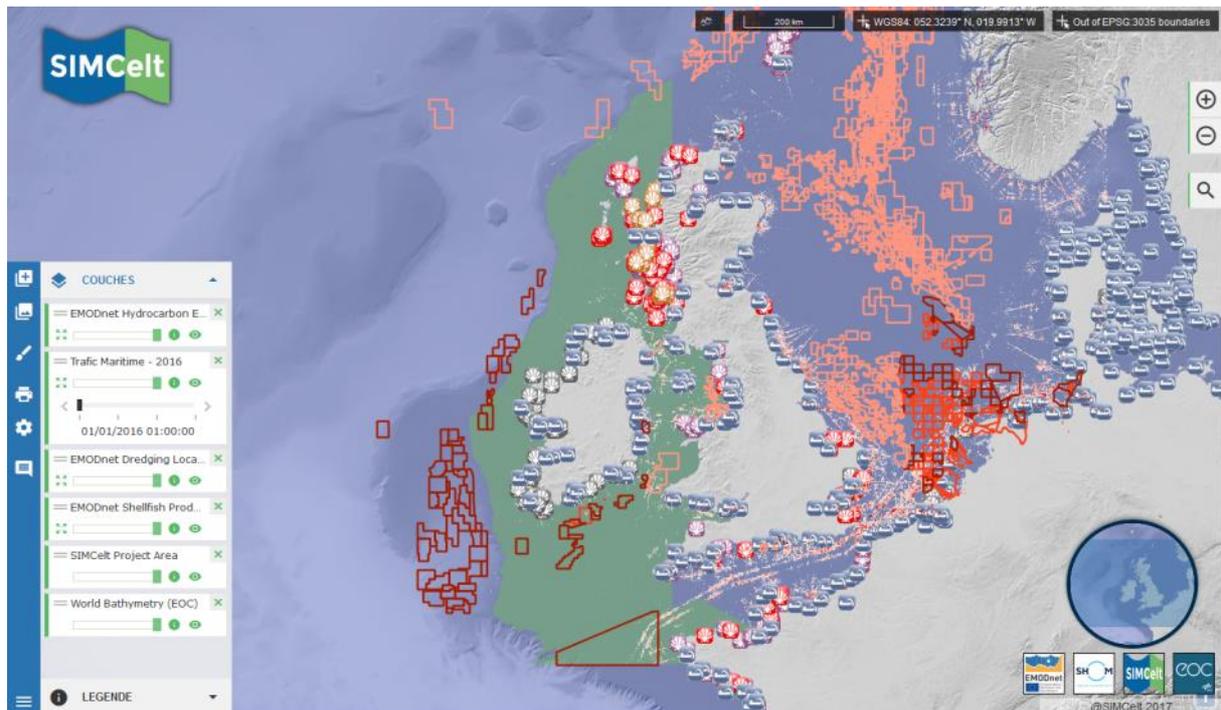


Figure 14 : Le portail de données SIMCelt

L'architecture mise en place repose, à l'exception des visualisateurs, sur des composants libres. La raison de ce choix est double. D'abord, il semblait plus pertinent de capitaliser sur des solutions existantes, et de se baser sur des outils déjà bien implantés dans le paysage des IDS, et bénéficiant de communautés de développement actives. Ensuite, l'objectif est de proposer une IDS qui soit en partie ou en totalité reproductible par un partenaire qui souhaiterait se doter d'un outil de diffusion pour ses données.

Difficultés

La mise en place d'une infrastructure de données spatiales à des échelles transfrontalières a permis d'identifier un certain nombre de difficultés. L'instabilité des services web émis par les partenaires en est une. Il arrive en effet régulièrement que des données proposées en web services deviennent inaccessibles. Si ce type de situation relève parfois de l'aléa (maintenance des serveurs par exemple), il peut aussi s'agir de modifications définitives. Une veille permanente est donc indispensable pour assurer la pérennité de l'accès aux données des partenaires.

Un autre frein réside dans l'hétérogénéité entre les producteurs dans la mise en conformité avec la directive INSPIRE. Quand les producteurs les plus avancés mettent à disposition des flux WFS¹³ d'autres ne sont pas encore en mesure de fournir de métadonnées. Il reste donc aujourd'hui difficile de représenter l'ensemble des données concernant une thématique sur un espace maritime donné en se basant uniquement sur des services web.

L'harmonisation des représentations constitue un autre défi. En effet, le même type de données ne sera pas utilisé avec la même légende selon le pays et le producteur. Arriver à utiliser une symbologie commune revêt alors une grande importance afin d'améliorer la compréhension de l'information. Ce n'est cependant pas une chose aisée dans la mesure où cela nécessite que chaque producteur permette l'accès à ses données en WFS, ou diffuse une version spécifique avec la bonne légende en WMS¹⁴.

Enfin, un certain nombre de défis d'ordre technique sont apparus, notamment liés à l'interopérabilité. Des problèmes de compatibilité ont été rencontrés entre des protocoles d'accès aux données, et parfois même entre différentes versions d'un même protocole. Par exemple, pour la version 1.1.0 du standard WMS, les coordonnées sont déclarées dans l'ordre latitude – longitude. Cet ordre est inversé dans la version 1.3.0. Cette différence peut causer des erreurs de projection pour certains jeux de données. Le même problème se pose entre certains logiciels.

Conclusion – perspectives

L'infrastructure mise en place dans le cadre des projets européens de planification de l'espace maritime vient combler un manque entre les portails nationaux, qui ne prennent en compte que les données provenant d'un seul pays, et des projets comme EMODnet, qui présentent des données à l'échelle de l'Europe, mais parfois de façon partielle par manque d'accès aux bases de données nationales. Cette IDS fournit aux Etats un outil pour examiner leur planification de l'espace maritime au regard de leur cohérence avec celle des Etats voisins.

Jusqu'à la fin des projets, les portails continueront d'être enrichis en données et en outils pour améliorer et développer l'accès à l'information. Par la suite, les innovations conduites en termes d'ergonomie devraient être reproduites sur data.shom.fr. Le travail d'inventaire de données accompli sur les différents espaces maritimes pourra enrichir des bases de données à l'échelle Européenne, comme EMODnet.

¹³ Web Feature Service

¹⁴ Web Map Service

Vers une ortho littorale V3

Pierre Vigné, Pascal Lory

Cerema Normandie Centre, Le Grand Quevilly, France

Ministère en charge de la Transition Énergétique et Solidaire, La Défense, France

Contexte

Le Comité interministériel d'aménagement et de développement du territoire (CIADT) du 28 février 2000 a pris un ensemble de mesures destinées à corriger les effets de la marée noire et des tempêtes de décembre 1999 et à améliorer les capacités de prévention des risques et à renforcer les capacités de veille, d'expertise et d'études.

C'est dans cet esprit qu'a notamment été décidée la création d'une orthophotographie des côtes de la Mer du nord, de la Manche et de l'Atlantique : **l'ortho littorale**. C'est le ministère en charge de l'Environnement qui a été chargé de mettre en œuvre cette décision en s'appuyant sur un groupe de travail national pluridisciplinaire regroupant les principaux acteurs de la mer et du littoral.

Le premier millésime de l'ortho littorale a ainsi été réalisé entre 2000 et 2002. Un deuxième millésime dénommé ortho littorale V2 a été produit entre 2011 et 2014 en actualisant la couverture initiale de la première version et en l'étendant au littoral continental de la Méditerranée. L'ortho littorale est consultable et téléchargeable sur le site Géolittoral, portail de la mer et du littoral du ministère en charge de l'Environnement.

Mais pour obtenir un référentiel de qualité, les délais de réalisation (de l'ordre de 3 ans) sont longs compte tenu des contraintes d'acquisition. Par ailleurs le rapport Bersani sur les dispositifs de recueil de données sur le littoral en 2006 avait recommandé une mise à jour complète de l'ortho littorale tous les 10 ans.

Le temps long de l'ordre de 5 années entre la rédaction du cahier des charges, la réalisation des vols, la diffusion de la donnée est difficilement compressible.

Identifiée comme un des éléments de base du Référentiel à Grande échelle du Littoral (RGL) par le CNIG en 2002, cette donnée est très utilisée par l'ensemble des acteurs de la mer et du littoral (services de l'Etat, collectivités, bureaux d'études, associations, universitaires et même particuliers) de par sa gratuité et ses spécifications particulières.

Partant de ces constats, le ministère en charge de l'environnement a proposé la mise en place d'un groupe de travail sous mandat CNIG dédié à la rédaction d'un cahier des charges pour envisager un 3ème millésime de l'ortho.

L'ortho littorale, un référentiel grande image original

De par ses spécifications, l'ortho littorale est un référentiel grande image unique. Le cahier des charges construit pour les 2 précédents millésimes prévoit en effet de garantir une véritable interface terre-mer avec un accès libre de droits. Les exigences du cahier des charges sont les suivantes :

- Réalisation des prises de vues en période de grandes marées avec une hauteur d'eau inférieure à 1 mètre
- Réalisation des prises de vues en période anticyclonique (pression atmosphérique supérieure à 1013hPa depuis plus de 48 heures) pour éviter une trop grande turbidité de l'eau
- Plan de vol défini pour permettre un levé idéal de la côte (pas de dévers au niveau des falaises)
- Définition d'unités spatio-temporelles. Zones de vigilance devant être volées si possible le même jour, ou en plusieurs jours mais en veillant strictement au respect du cahier des charges. Le golfe du Morbihan et son décalage de la marée est par exemple une unité spatio-temporelle.
- Couverture de l'estran ainsi que des îlots, cailloux qui émergent à un moment donné de l'année
- Couverture des herbiers de posidonies
- Couverture des cultures marines
- PVA en RVB et IRC à 50cm de résolution

L'objectif des travaux du groupe de travail est notamment de confirmer ces spécifications ou de les compléter et enrichir.

Quelques enseignements de l'enquête engagée sur l'utilisation de l'ortho littorale et les nouveaux besoins

Afin de connaître les utilisations actuelles de l'ortho littorale mais aussi recueillir les éventuels besoins supplémentaires des utilisateurs, le groupe de travail a décidé de lancer deux enquêtes pendant l'été 2017 : l'une à destination du grand public, l'autre à destination du monde professionnel ou d'un public averti.

Ces enquêtes ont été analysées dans un rapport accessible sur Géolittoral (www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr).

Concernant **l'emprise actuelle** des deux millésimes V1 et V2, les personnes/services utilisent l'ortho littorale sur l'ensemble du littoral de la mer du Nord, Manche et Atlantique ainsi que

sur la Méditerranée en nombre un peu moins important. Les secteurs les plus souvent cités sont les secteurs à enjeux comme les baies, bassins, estuaires, étangs, dunes, falaises.

Sur les **utilisations actuelles**, l'ortho littorale est nécessaire à l'accomplissement de toutes les politiques publiques, ce qui démontre qu'elle est largement connue. Elle est considérée comme référentiel géographique. Utilisée seule ou souvent avec d'autres données, elle permet la réalisation de nombreuses études comme le montrent les nombreux exemples fournis lors de l'enquête.

La fréquence de mise à jour, la visibilité des fonds marins et la résolution sont les 3 **limites** les plus souvent citées dans l'enquête.

Les **éléments à considérer pour un futur millésime** sont la gratuité du support, les prises de vues acquises en grande marée basse, la continuité de l'interface terre-mer, l'extension ponctuelle de la zone d'emprise.

D'autres **nouveaux besoins** apparaissent comme de disposer de capteurs pénétrant l'eau pour une meilleure identification des fonds marins, un rythme de mise à jour plus fréquent, et surtout la couverture de l'outre-mer.

Suites des travaux et calendrier

En parallèle des enquêtes, le groupe de travail a engagé des études d'approfondissement portant sur l'éventuel apport du satellite (faisabilité, nouveaux capteurs, coûts,...), la fréquence des mises à jour, le traitement des ombres portées, la pertinence de réaliser des prises de vues obliques, la pertinence de couvrir les zones microtidales

En terme de calendrier, une estimation du prix du marché avec un chiffrage à méthode constante, puis un affinage avec les études complémentaires sera réalisée pour le mois de juin prochain.

Les actions du groupe de travail GIMeL

Pascal Lory¹, Pierre Vigné²

¹Ministère en charge de la Transition Energétique et Solidaire, La Défense, France

²Cerema Normandie Centre, Le Grand Quevilly, France

Les actions du groupe de travail GIMeL : bilan et perspectives

Introduction

Sous mandat des directions générales du MEST et appartenant désormais à la Commission données du CNIG, le groupe de travail Groupe de travail Géo-informations pour la mer et le littoral (GIMeL) a pour objectifs principaux d'une part d'identifier un socle de jeux de données de référence pour la mer et le littoral, compatible avec les besoins des utilisateurs, et d'autre part de permettre aux administrations concernées de mettre au point un projet de convention afin de définir les modalités de constitution, entretien et mise à disposition du socle.

Le GIMeL réunit les principaux producteurs de données et acteurs de la mer et du littoral (Shom, AFB, Ifremer, Cerema, MNHN, services centraux et déconcentrés du MEST, collectivités territoriales).

Par la mise en place de sous-groupes dédiés, le GIMeL mène un travail collectif et collaboratif pour répondre aux feuilles de route fixées annuellement dans le cadre d'un plan d'actions. Ainsi en 2017, quatre sous-groupes ont été mis en place

- Socle de données
- Limites réglementaires
- Traits de côte
- Carroyage

Bilan 2016 - 2017

1 - « Socle de données » et « limites réglementaires »

A l'origine, deux sous-groupes ont été constitués : le premier ayant pour objectif de faire la synthèse des données existantes et d'identifier de nouvelles données, le second ayant pour objectif de recenser les limites réglementaires existantes et à produire. Rapidement, une

fusion de ces 2 sous-groupes a été opérée puisque les travaux convergeaient : environ 40 couches identifiées dans le sous-groupe limites réglementaires figuraient en effet dans la liste des données socles qui en comportait lui une centaine.

Ces listes constituent le socle de données géographiques de référence sur la mer et le littoral. Plusieurs critères ont été mis en place pour permettre de dresser un ordre de priorité dans la production des données : du plus urgent, au moins urgent.

L'ensemble est regroupé dans un tableau organisé en trois grandes catégories :

- données sur les différentes limites de compétence exercées par les pouvoirs publics en mer
- données permettant de mener une politique maritime intégrée : les données sur l'état des écosystèmes
- données communes permettant de répondre à plusieurs exercices de rapportage distincts à la commission européenne ou de construire des suivis de l'application de politiques publiques au niveau national.

Perspectives :

Les perspectives de ces travaux font ressortir 4 chantiers prioritaires à engager. Ils concernent :

- la « laisse de haute mer » et « le trait de côte à usage administratif » (SHOM-IGN)
- la « laisse de basse mer » et la « ligne de base normale » (SHOM)
- les limites administratives des ports maritimes
- les limites de compétences des représentants de l'Etat en mer

D'autres chantiers ultérieurs seront à prévoir, parmi lesquels la production :

- d'une ligne de base (fusion de la ligne de base droite et de la ligne de base normale),
- du rivage de la mer (délimitation surfacique de l'estran s'appuyant sur 4 autres objets)
- d'un référentiel spécifique à la réglementation pêche maritime professionnelle en lien notamment avec les DIRM, le CNPME, la DPMA et l'Ifremer.

2 - « Traits de côte »

La définition d'un trait de côte est une notion difficile à atteindre puisque chaque service, chaque acteur a sa propre définition d'un trait de côte pour répondre à ses missions.

Le GIMeL a toutefois souhaité investir ce thème en mettant en place un sous-groupe dédié pour recenser les besoins des utilisateurs des données relatives aux traits de côte d'une part, et pour proposer et spécifier les données « trait de côte » à produire et à tenir à jour d'autre part.

Les usages et les besoins exprimés ont fait émerger deux macro-usages :

- Un marqueur de la position du trait de côte avec l'indicateur national d'érosion côtière défini par le Cerema qui va servir à étudier régulièrement les déplacements de limites naturelles observables sur le terrain ou sur photographies aériennes
- Une limite « des plus hautes mers astronomiques » correspondant à la limite théorique de la laisse de plus haute mer par coefficient de marée de 120 (PHMA ou laisse haute du rivage). Cette limite continue et homogène à l'échelle nationale servirait aux délimitations et fermetures des zones réglementaires et administratives.

Perspectives :

Le marqueur de position du trait de côte : L'indicateur national de l'érosion côtière est disponible sur Géolittoral puisque validé par la DEB. Il concerne la métropole mais aussi les 5 départements et régions d'outre-mer. Il doit faire l'interface avec le « réseau national des observatoires du trait de côte ». Les améliorations et la faisabilité des mises à jour seront discutées au sein de ce réseau national en concertation avec le GT GIMeL.

Concernant la limite des plus hautes mers astronomiques, un nouveau recensement des besoins a été effectué début 2018. Des jeux tests sont produits par le Shom pour permettre au sous-groupe de vérifier qu'ils répondent bien aux besoins identifiés par les utilisateurs. Ces travaux sont en cours.

3 - « Carroyage en mer »

La mise en œuvre des politiques publiques dédiées à la gestion du milieu marin ou à la planification de l'espace maritime nécessitent la mobilisation et l'analyse de nombreuses données qui sont disparates en termes d'échelle ou de types. Afin de pouvoir les analyser conjointement, le GIMeL a décidé la mise en place d'un sous-groupe avec pour objectif de pouvoir disposer d'une grille continue et régulière sur le domaine marin, comme cela existe à terre.

Des programmes de travail en cours comme le projet Carpe Diem ou la réalisation des DSF ont permis de vérifier l'intérêt de ce carroyage.

Les prérequis étaient de produire une couche de référence unique et compatible avec Inspire (maille de résolution une minute de degré) et de disposer d'un carroyage compatible avec les mailles préexistantes comme celles du Ciem, de la FAO ou du système d'information halieutique.

Le carroyage de 1 minute de degré par une 1 minute de degré a été construit en 2017. Il est accessible sur le site Géolittoral. Il comprend l'ensemble des eaux métropolitaines sous juridiction en mer. Une note définissant toutes les spécifications de cette couche de référence accompagne sa diffusion.

Perspectives

Dès juin 2018, le carroyage sera étendu à l'outre-mer, pour les départements d'outre-mer puis pour les différentes collectivités ultramarines. Cette présentation synthétise les travaux effectués depuis 2016 et pose les perspectives à venir définies dans le programme d'actions 2018.

Perspectives, programme 2018

Outre les points mentionnés précédemment dans les perspectives qui restent à finaliser, le GIMeL a validé la mise en place de nouveaux travaux permettant ainsi de maintenir un dynamisme important.

Il s'agit ainsi de la mise en place de sous-groupes sur :

- Ortho littorale V3 : l'étude engagée permettra de rédiger des spécifications techniques pour un futur CCTP et de définir une zone d'exécution. L'objectif final est de fournir à la maîtrise d'ouvrage des éléments sous la forme d'arguments techniques, de coûts permettant d'envisager un 3ème millésime de ce référentiel grande échelle à l'interface terre-mer.
- Limites administratives des ports : une commande est engagée sur ce sujet. Elle a pour objectifs d'identifier les besoins pour un référentiel alphanumérique des identifiants de ports et d'envisager la construction d'un référentiel géographique des limites des ports.
- Limites de compétences des représentants de l'Etat en mer. L'objectif est ici de produire une donnée consolidée à partir de plusieurs tentatives de numérisation réalisées par différents services (AFB, cerema, DIRM, DDTM, ...) mais jamais qualifiées et validées.
- Réglementation pêche maritime. Une commande DEB – Cerema est en cours de définition (y compris le périmètre à traiter) pour étudier la faisabilité de réalisation une géoinformation sur la réglementation de la pêche maritime en lien avec Ifremer, DPMA, DIRM, CNPMM, DDTM.

Evaluation 2018 de la DCSMM : le chantier de collecte des données

Catherine Satra Le Bris^{1*}, Stevonn Lamarche¹, Guillaume Mabileau², Antoine Huguet², Jérôme Baudrier²

¹Ifremer/IRSI/SISMER, Plouzané, France.

²Ifremer/ODE/VIGIES, Nantes, France.

La DCSMM

La Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), adoptée en juillet 2008, conduit les États membres de l'Union européenne à prendre les mesures nécessaires pour réduire les impacts des activités sur ce milieu afin de réaliser ou de maintenir un bon état écologique du milieu marin au plus tard en 2020.

En France, la Directive a été transposée dans le code de l'environnement et s'applique aux zones métropolitaines sous souveraineté ou juridiction française, divisées en 4 sous-régions marines : la Manche-mer du Nord, les mers celtiques, le golfe de Gascogne, la Méditerranée occidentale.

Pour chaque sous-région marine, un plan d'action pour le milieu marin (PAMM) est élaboré et mis en œuvre. Ce plan d'action comporte 5 éléments, qui sont évalués tous les 6 ans :

- une évaluation initiale de l'état écologique des eaux marines et de l'impact environnemental des activités humaines ;
- la définition du bon état écologique pour ces mêmes eaux reposant sur des descripteurs qualitatifs ;
- la définition d'objectifs environnementaux et d'indicateurs associés en vue de parvenir à un bon état écologique du milieu marin ;
- un programme de surveillance en vue de l'évaluation permanente de l'état des eaux marines et de la mise à jour périodique des objectifs environnementaux ;
- un programme de mesures qui doit permettre d'atteindre le bon état écologique des eaux marines ou à conserver celui-ci.

La DCSMM est entrée dans son 2^{ième} cycle avec la mise en œuvre de l'évaluation des eaux marines requise pour juillet 2018. Afin de produire les indicateurs des onze descripteurs du bon état écologique (BEE), ainsi que l'analyse économique et sociale (AES) et l'analyse des impacts cumulés (Carpe Diem), un chantier relatif à la collecte de données a été mis en place et confié à l'Ifremer.

Le chantier de collecte et de mise à disposition des données

Ce sont 280 jeux de données sources qui ont été identifiés par les pilotes scientifiques pour élaborer les critères et indicateurs, dont plus de la moitié sont dits transversaux, car utiles et communs à plusieurs descripteurs. Ces jeux de données sont issus de plus d'une trentaine de producteurs et concernent des bases de données ou des dispositifs dont certains sont déjà exploités au titre des programmes de surveillance de la DCSMM.

Afin de mettre ces jeux de données à disposition des pilotes scientifiques, un point d'accès unique a été mis en place, permettant de fournir des jeux de données identiques et figés. Ce point d'accès est également utilisé pour la diffusion des indicateurs résultats.

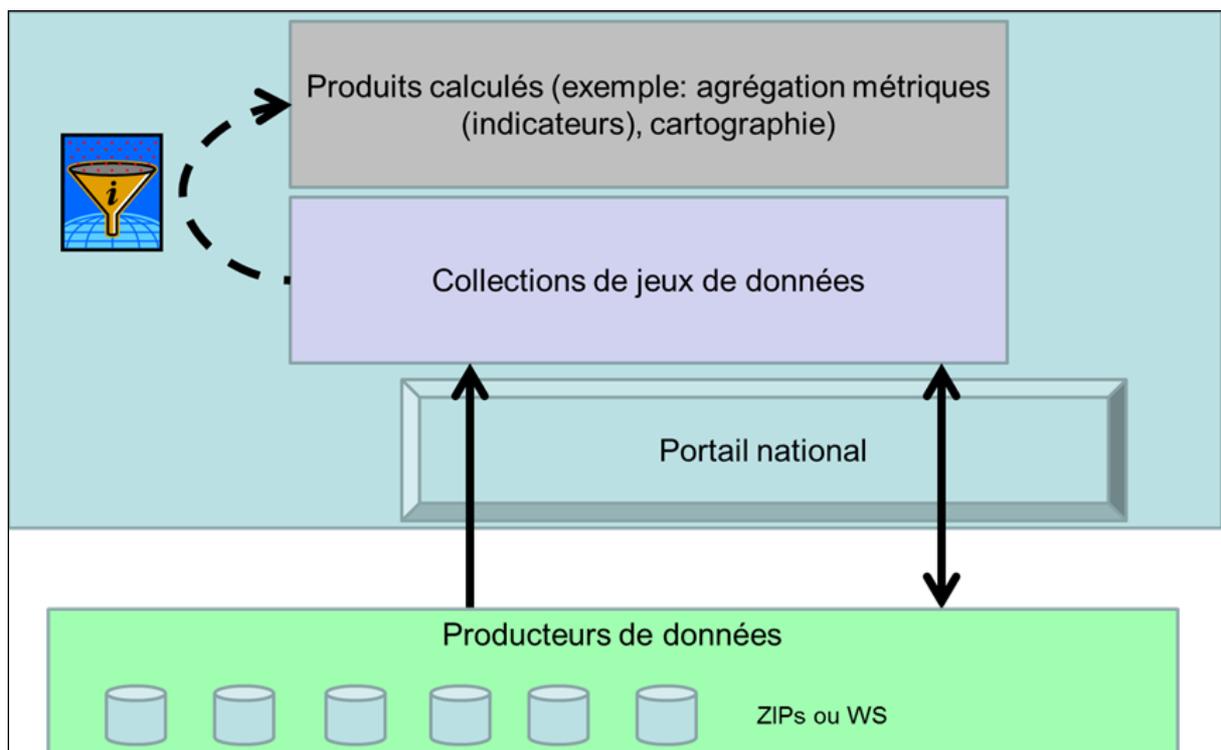


Figure 1 : Mise en place d'un accès unique aux données

Comme déjà pour l'évaluation 2012, l'Infrastructure de Données Géographiques marines et littorales Sextant est utilisée pour constituer ce point d'accès central depuis le site web de la DCSMM. Sextant reposant sur les principes d'Inspire, le catalogage systématique des jeux de données par des métadonnées compatibles ISO et Inspire permet de répondre à l'article 19.3 de la DCSMM relatif au rapportage et à la mise à disposition des jeux de données auprès de l'Agence Européenne de l'Environnement.

Jeux de données Sources

Les jeux de données sources sont décrits dans un catalogue Sextant dédié intitulé « DCSMM - Evaluation 2018 – Sources ». Pour ces métadonnées, un modèle de saisie a été créé, intégrant des mots-clés DCSMM (descripteurs, sous-région marine).

Quand ces jeux de données sont déjà décrits sous forme de métadonnée dans un catalogue Sextant, un partage a été opéré. Quand ils sont existants et décrits dans un catalogue externe, un moissonnage a été mis en place pour récupérer et copier les informations.

Les jeux de données sont soit mis en ligne sur un ftp sécurisé par login extranet si besoin, ou public si les droits d'accès aux jeux de données le permettent, soit l'accès se fait par service OGC pour les données spatialisées le permettant et étant stables dans le temps. Cet accès peut être mis en place soit directement par le producteur des jeux de données, soit par Ifremer, sachant que cet accès nécessite d'être maintenu sur le long terme. Les adresses d'accès aux jeux de données sont insérées dans les métadonnées, au niveau du protocole de téléchargement.

Quand cela est possible, la visualisation des jeux de données est proposée par service OGC au niveau de la Carte de Sextant. Les adresses de services de données sont insérées dans les métadonnées, au niveau du protocole de visualisation. Quand les services sont créés par les producteurs, ce sont ceux-ci qui ont été privilégiés. Dans le cas contraire, c'est le service wms dcsmm qui a été utilisé (<http://www.ifremer.fr/services/wms/dcsmm>).

Afin d'assurer la traçabilité et la citation des jeux de données sources, il a été proposé aux producteurs des données d'attribuer un DOI (Digital Object Identifier), enregistré auprès de DataCite, à chaque jeu de données. Cet enregistrement s'opère directement depuis les métadonnées de Sextant, des informations obligatoires devant être renseignées, telles que le ou les auteurs et l'éditeur (c'est-à-dire le producteur du jeu de données). Si le producteur enregistre déjà des DOI sur ses propres jeux de données, ce sont ces DOI qui sont repris.

Jeux de données Résultats

Les indicateurs résultats calculés seront décrits dans un catalogue Sextant dédié intitulé « DCSMM - Evaluation 2018 – Indicateurs ». Les données non-géographiques (cas des résultats de l'analyse économique et sociale) pourront également être décrites par des métadonnées.

Les métadonnées des jeux de données sources ayant servi au calcul des indicateurs seront associées aux métadonnées des indicateurs par un lien dit de « Ressource associée », permettant ainsi d'assurer la traçabilité des jeux de données sources et d'informer sur la généalogie des indicateurs.

Les méthodologies utilisées pour le calcul des indicateurs et les seuils utilisés pour chaque critère viennent également compléter les métadonnées.

Les indicateurs spatialisés seront mis en ligne par des services web wms pour la visualisation et wfs pour le téléchargement. Les adresses de ces services web seront intégrées dans les métadonnées. Pour les données non spatialisées, l'accès aux résultats se fera par un téléchargement direct.

Et comme pour les données sources, afin d'assurer la traçabilité et la citation des indicateurs eux-mêmes, chaque résultat se verra attribuer un DOI, enregistré auprès de DataCite.

Mise à disposition / Portail web

Le portail d'accès aux données de l'évaluation est le site web existant pour la DCSMM (<http://www.ifremer.fr/dcsmm>), qui intègre les fonctionnalités de Sextant dans son outil cartographique (catalogue de recherche, outils de visualisation et téléchargement, cartotheque).

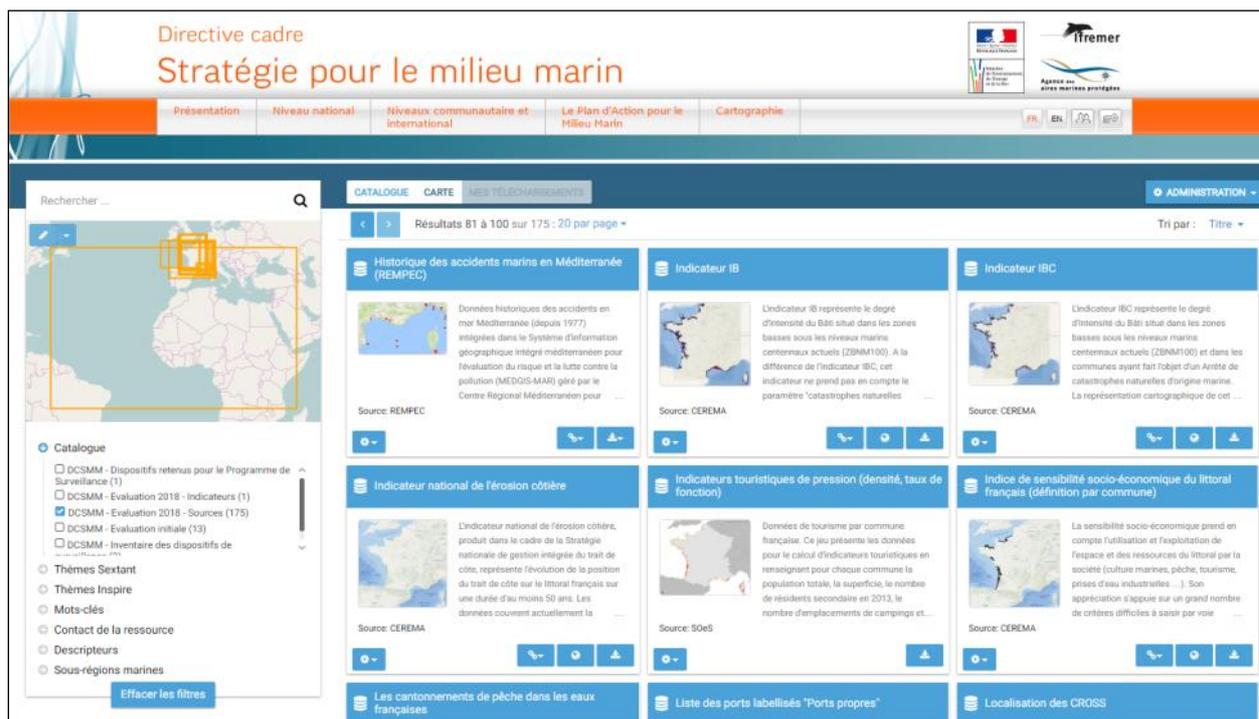


Figure 2 : Le Catalogue des métadonnées et données sur le site de la DCSMM

Les jeux de données sont accessibles depuis le catalogue de métadonnées. Les métadonnées sont publiques, tandis que le téléchargement des jeux de données se fait uniquement par connexion, le temps d'élaborer le rapportage de l'évaluation 2018.

A terme, pour répondre à l'article 19.3 de la DCSMM, tous les jeux de données seront publics.

Bilan pour le futur SIMM

Le chantier de collecte des données a permis de lister l'essentiel des jeux nécessaires à l'évaluation 2018. Il a montré que cette évaluation s'appuie sur des systèmes très hétérogènes, avec des niveaux de technicité et d'administration différents. Ces systèmes ne sont pas réellement interopérables et la mise à disposition des données est extrêmement variable avec de nombreux freins, variant du tout public au tout restreint.

Le scénario d'avoir une gestion centralisée de l'essentiel des données a permis de rendre accessibles tous les jeux depuis un seul point d'accès. Une structuration minimale a été appliquée à ces jeux et ils seront archivés pour permettre leur envoi ultérieur à la commission européenne. Un traitement d'historisation sera aussi appliqué aux indicateurs / critères calculés.

Le travail réalisé durant ce chantier de collecte des données a servi de base de réflexions à l'élaboration du futur Système d'Information pour le Milieu Marin (SIMM), système fédérateur permettant de répondre aux Directives européennes comme la DCSMM et la PEM (Planification de l'Espace Marin).

Ce sont des leçons sur lesquelles s'appuyer pour définir les éléments structurants du SIMM, dont l'organisation permettra de capitaliser dans la durée pour les évaluations à venir : nécessaire harmonisation des systèmes d'informations au plus proche de la production, avec utilisation de référentiels communs et infrastructures informatiques professionnelles et pérennes.

La mise en place d'un Système d'Information fédérateur sur le milieu marin : le SIMM

Coudercy Laurent¹

¹AFB, Vincennes, France

Un système d'information prévu par la loi pour la reconquête de la biodiversité

La loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages a créé l'Agence Française pour la Biodiversité, et lui a confié la mission de coordination technique de grands systèmes d'information sur l'environnement. Ainsi le décret de création de l'AFB stipule que l'AFB assure l'animation et la coordination technique des systèmes d'information suivants :

- 1° Le système d'information sur l'eau, les milieux aquatiques et les services publics d'eau et d'assainissement ;
- 2° Le système d'information sur la biodiversité, dont le système d'information sur la nature et les paysages ;
- 3° Le système d'information sur le milieu marin.

Le Système d'information sur l'eau existe depuis de nombreuses années. Celui sur le milieu marin (SIMM) est en cours de constitution depuis mi 2016. La réflexion sur le système d'information sur la biodiversité démarre tout juste.

Le présent article vise à faire le point sur l'avancement du SIMM et ses perspectives.

Une organisation qui se met en place progressivement

Mettre en place un système d'information fédérateur, c'est-à-dire un système d'information visant à fédérer des systèmes d'information métiers autour d'une thématique (ici le milieu marin) suppose à la fois de créer une organisation de pilotage et de coordination technique de toutes les composantes du SI fédérateur, et de traduire cette organisation dans un arrêté, portant le schéma national des données du SI (SNDMM) (voir le schéma national des données sur l'eau, qui sert de référence), puis de créer des référentiels de données et des banques quand elles font défaut, pour préserver, échanger et diffuser les données du SI fédérateur.

Un schéma national des données du milieu marin (SNDMM) en cours de finalisation

Le SNDMM a pour but d'assurer la cohérence, le partage, la mise à disposition et la diffusion des données sur le milieu marin. Il comprend :

- Une description de son périmètre ;
- Une description de l'organisation de son pilotage, et en particulier les structures de pilotages stratégiques et techniques ;
- La composition de son référentiel technique, comprenant des données de référence, des dictionnaires de données, des scénarios d'échanges et des méthodes ou protocoles pour la production et la qualification des données et les conditions de son approbation ;
- Les services d'accès aux données via le portail en ligne à l'adresse <http://www.milieufrance.fr> ;
- La création d'un service dédié à la mise en œuvre et au partage du référentiel technique, le Service d'Administration des Référentiels (SAR).

Il doit évidemment répondre aux obligations découlant des directives sur le milieu marin, ainsi que de la stratégie nationale mer et littorale.

L'écriture du schéma est en cours. Il devrait passer pour avis devant le comité scientifique de l'AFB en avril, pour une publication en début 2019.

Une organisation qui est déjà fortement opérationnelle

L'organisation de pilotage du SIMM s'est mise en place en parallèle de la rédaction du SNDMM, afin d'aider à sa rédaction, et pour ne pas freiner la mise en place opérationnelle du SIMM.

Cette organisation s'appuie sur un pilotage stratégique, des instances de pilotage techniques du SIMM, et des groupes plus informels, centrés sur des besoins ou objets plus fins.

Le pilotage stratégique est composé de membres du Comité national de pilotage de la mise en œuvre des directives relatives aux milieux marins, et d'autres acteurs. Il s'est déjà prononcé sur les travaux du SIMM. Il se verra adjoindre un comité permanent des usagers, sous l'égide du Comité national de la Biodiversité et du Conseil national de la Mer et des Littoraux.

Le pilotage technique du SIMM est lui assuré par le comité de coordination technique du SIMM. Il réunit autour du ministère chargé de l'environnement et de l'AFB les principaux acteurs des SI métiers participant au SIMM. Ce comité technique rend compte au comité stratégique, et s'appuie sur deux groupes techniques : le groupe de pilotage de l'urbanisation, qui travaille plus particulièrement sur l'urbanisation des SI métiers, la définition des banques prioritaires, ... et le groupe langage commun, qui définit les chantiers prioritaires en matière de modèles de donnée et de données de référence pour le SIMM.

Certains membres du groupe langage commun et le SAR participent aux travaux menés par le Gimel, le Sandre, le TG DATA européen ... Le but est de pouvoir s'appuyer, dans un principe de subsidiarité, sur les standards définis par ces structures et de les adopter. Le groupe langage commun complète ce dispositif par la mise en place, autour du SAR, de groupes de travail permettant de concevoir les modèles de donnée non prévus par les groupes précédents, et d'administrer les données de référence utilisés par le SIMM.

De même, chaque projet informatique de développement d'une banque, d'un portail, ... s'appuie sur une organisation projet propre, avec ses propres structures de pilotage et d'écoute des utilisateurs.

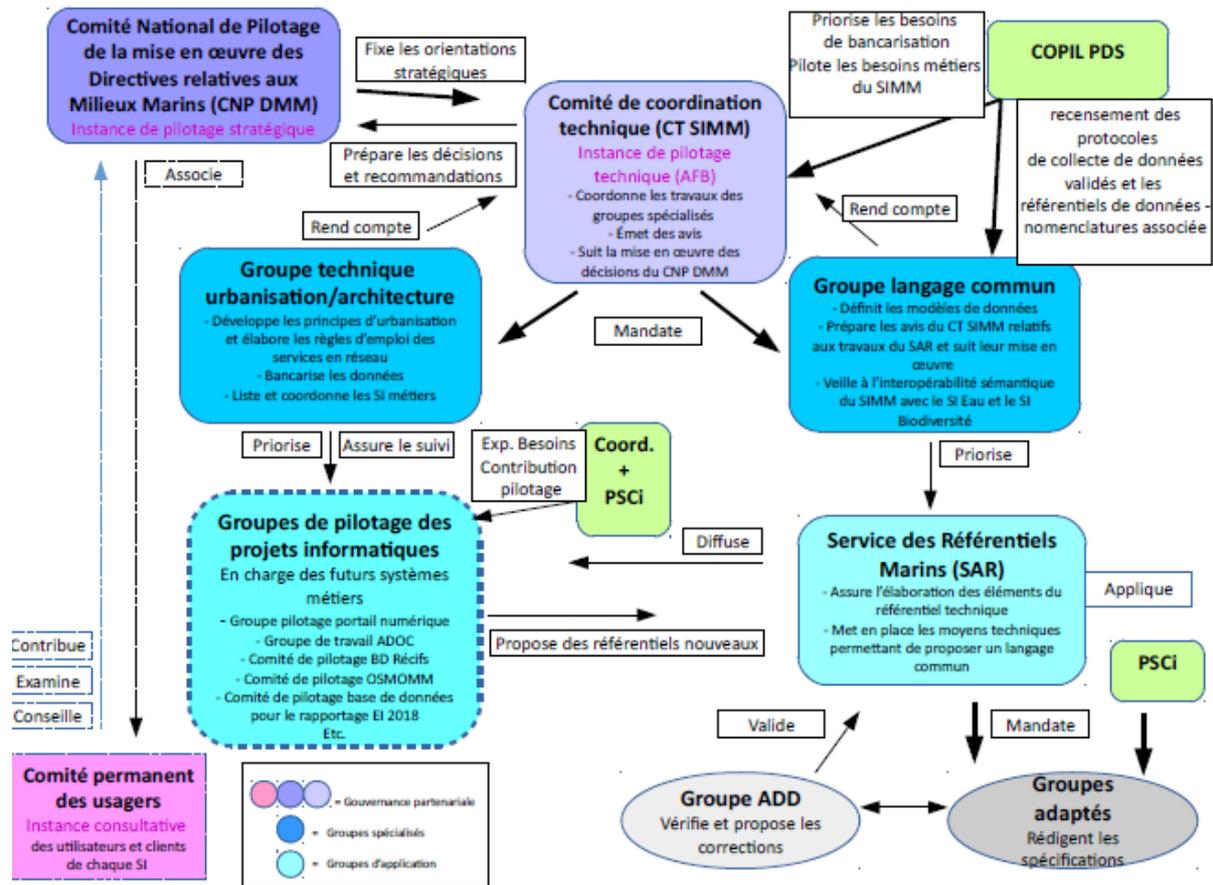


Figure 1 : L'organisation du pilotage autour du SIMM

Des travaux opérationnels lancés

Les premiers travaux ont visés à définir le périmètre du SIMM, et en particulier les SI métiers qui y participent : un SI métier est un Système d'information visant à répondre aux besoins d'une politique publique, par exemple à la DCSMM, ou à la création et au suivi des aires marines protégées. Ce travail s'est appuyé sur les travaux de collecte de données menés pour la DCSMM, qui ont permis de cerner la grande diversité de donnée et de producteurs pour cette directive.

Une première liste de banques de données et de sites de diffusion a été établie. Ils devront être développés dans les années à venir. Ainsi Quadriga a naturellement été retenu pour servir de banque sur la chimie, les poissons, les déchets, les récifs coralliens, ... Un site présentant les données ayant servi au rapportage et les données rapportées devra être constitué, en s'appuyant sur la technologie Sextant. Le Shom est pressenti pour administrer la banque sur les données de bruit en mer. L'AFB quant à elle a en charge plus particulièrement la base des Aires Marines Protégées (qui existe et vient d'être refondue)

ainsi qu'une base mégafaune marine à créer. Enfin, le site milieumarinfrance.fr devra être le portail d'accès à tous les sites et banques de données composant le SIMM.

Il faut en parallèle de la création de ces banques définir les modèles de donnée pour les échanges, et les données de référence. Le premier chantier a porté sur les données de déchets sur les plages, et a conclu à l'utilisation des modèles et référentiels du Sandre, à compléter des nomenclatures déchets DCSMM. Un autre travail important a été mené par le groupe Gimel pour définir les données géographiques de référence utiles à toute la sphère marine (donc plus large que le SIMM). Ce travail doit être poursuivi, en particulier pour ce qu'on appelle le « trait de côte », pour mieux répondre aux besoins opérationnels de la DCE et de la DCSMM. Enfin d'autres référentiels vont faire l'objet de groupes de travail SIMM, parmi lesquels les taxons et les ports.

Conclusion

Le SIMM commence à exister, grâce à une volonté forte du ministère et à l'action de l'AFB et de son partenaire, l'Ifremer, même si l'arrêté qui en fixe l'organisation ne sera disponible qu'en 2019.

Il devrait permettre de capitaliser et rendre accessible la plupart des données publiques sur le milieu marin, et ceci moyennant l'utilisation de modèles de données et de données de référence, afin de rendre les différentes banques interopérables entre elles, et lisibles par tous.

Cependant, il faudra plusieurs années encore pour que le SIMM atteigne sa pleine existence, avec le stockage des principales données sur le milieu marin, et une accessibilité adaptée aux différents publics utilisateurs.

Posters

La plateforme PHOTOCEAN : Un nouveau système de photogrammétrie sous-marine géoréférencée

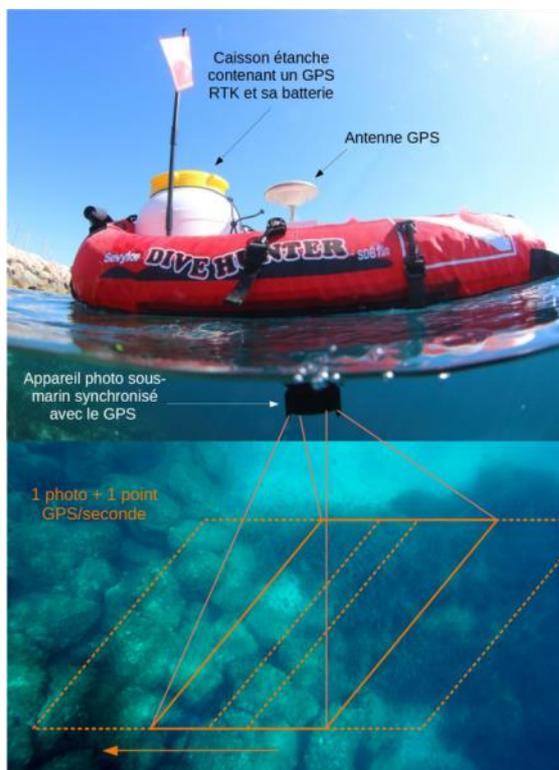
Arnaud Abadie^{1*}, Christophe Viala¹

¹Seaviews, La Ciotat, France.

Contexte

La photogrammétrie permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT), des orthophotographies et des modèles 3D à partir de l'analyse des points remarquables de photographies prises en grand nombre avec un fort taux de recouvrement. Tandis que cette technique est couramment utilisée en milieu terrestre avec des drones aériens, ce n'est que très récemment qu'elle est testée pour cartographier les fonds marins. Le principal obstacle à cette application est le géoréférencement des photographies durant l'acquisition des données. Pour palier à ce problème, la société Seaviews a développé un nouveau système de surface de photogrammétrie géoréférencée dans le cadre de la GreenTech Verte du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

Matériel et méthodes



Le système se présente sous la forme de la plateforme de surface PHOTOCEAN comprenant un GPS (GNSS) RTK North, sa batterie et son antenne couplé à un appareil photo numérique (Sony A6000) en caisson étanche fixé sous la « coque » (Fig. 1). La plateforme est manœuvrée en surface par un nageur. Le déclenchement de l'appareil en mode time-lapse (1 photo/s) est synchronisé avec la prise de points GPS via un câble TTL. Selon la visibilité, la plateforme est capable de réaliser des photos exploitables jusqu'à environ 15 m de profondeur. La plateforme a été testée pour cartographier des fonds de différente nature en baie de La Ciotat (Bouches du Rhône) : digue, herbiers de posidonie, fonds rocheux.

Figure 1 : Principe de fonctionnement de la plateforme de surface de photogrammétrie géoréférencée et son matériel embarqué.

Après acquisition, les photos sont traitées dans le logiciel VisualSFM pour générer un nuage de points 3D. Ces données sont ensuite associées à celle de positionnement dans le logiciel ViewMap développé par Seaviews pour obtenir un MNT et des orthophotographies géoréférencées. Enfin, les modèles 3D photo-texturés sont générés dans le logiciel MeshLab.

Résultats

La surface maximum cartographiée durant les tests est de 4 000 m² pour un total d'environ 3 700 photos. La plateforme permet d'obtenir des MNT exhaustifs haute résolution des fonds marins (Fig. 2A). Les modèles 3D photo-texturés sont géoréférencés et permettent de prendre en compte le relief du fond (Fig. 2B). Enfin, les orthophotographies (Fig. 2C), avec leur résolution millimétrique, fournissent des données précises pour réaliser des cartographies fines des habitats marins.

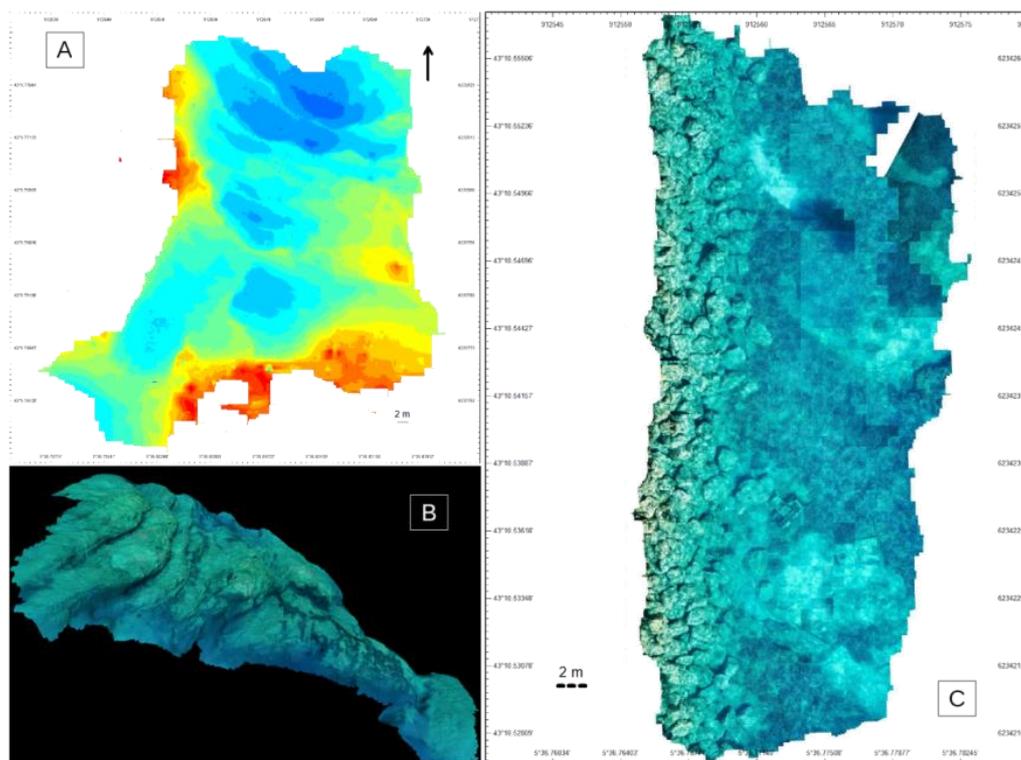


Figure 2 : Exemples de cartographies géoréférencées obtenues avec la plateforme. A) MNT. B) Modèle 3D photo-texturé. C) Mosaïque d'orthophotographies.

Conclusion

Avec sa facilité de mise en œuvre, la plateforme de photogrammétrie se révèle être un formidable outil pour obtenir des données géoréférencées en milieu marin. Son domaine d'application est vaste, allant du suivi des habitats marins (herbiers sous-marins, roche) et des espèces qui les peuplent jusqu'à l'étude des structures sous-marines artificielles. La possibilité de réaliser des cartographies continues terre/mer est à l'étude en couplant la photogrammétrie aérienne et sous-marine.

Gamme de MNT bathymétriques de la France d'outre-mer

Laurie Biscara^{1*}, Aurélie Maspataud^{1,2}

¹ Shom, 13 rue du Chatellier, CS92803, 29228 Brest CEDEX 2, France

² actuellement BRGM, 3 Avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans CEDEX 2, France

Contexte

Les besoins en données et modèles pour le soutien des politiques publiques de la mer et du littoral ont considérablement augmenté ces dernières années. Dans le cadre de sa mission de soutien à la mise en œuvre de ces politiques, le Shom met à disposition ses données patrimoniales et son expertise au sein de différents projets, notamment au profit de la prévention des risques naturels.

Parmi ceux-ci, le projet HOMONIM (Historique Observations Modélisation des Niveaux Marins) initié en 2012 par le Shom et Météo-France, a permis d'améliorer les capacités de prévision des submersions marines en métropole. La seconde phase du projet (2016-2019) vise à poursuivre cet effort et à l'étendre aux départements et territoires d'outre-mer. Une des tâches de ce projet se concentre plus particulièrement sur l'amélioration de la représentation bathymétrique des fonds marins, qui constitue un axe de progrès pour la modélisation des phénomènes de submersion marine. Le Shom participe également à la valorisation de données acquises lors de missions scientifiques (i.e. le programme PASSION sur l'île de La Passion-Clipperton, avec la participation du Shom).

Mise à disposition de modèles numériques de terrain (MNT) de référence en outre-mer

En tant qu'opérateur public de l'information maritime et littorale de référence, le Shom propose une nouvelle gamme de MNT bathymétriques de façade (résolution d'environ 100 m) et de MNT topo-bathymétriques côtiers (~ 20 m) en outre-mer pour répondre notamment aux besoins de modélisations océanographiques (figure 1).

Les MNT ont bénéficié à la côte, lorsqu'ils existent, des levés lidar conduits dans le cadre du programme Litto3D® et de données récentes acquises par des sondeurs multifaisceaux. La chaîne de production, commune à tous les produits, comprend différentes étapes dont la maîtrise vise à réduire les incertitudes du MNT (Biscara et al., 2016). Les MNT les plus résolus sont exploités pour générer ceux à plus petite échelle : la représentation des fonds reste ainsi cohérente grâce à l'emboîtement des produits et les traitements réalisés pour préparer les données sont préservés.

Les MNT en service sont mis à disposition sur les portails du Shom (data.shom.fr et diffusion.shom.fr) sous licence ouverte Etalab. Chaque MNT est diffusé sous la forme de pré-paquets comprenant :

- La surface bathymétrique, référencée verticalement à la plus basse mer astronomique ou au niveau moyen, et disponible en quatre formats (NetCDF, Bathymetric Attributed Grid, ESRI Ascii Raster et texte Ascii) ;
- Un fichier de métadonnées répondant aux exigences de la directive INSPIRE et précisant les caractéristiques du MNT, les sources de données exploitées, un bref résumé du processus de construction ainsi que les contraintes légales ;
- La citation et un identificateur d'objet numérique associé (DOI) ;
- Le descriptif de contenu au format .pdf.

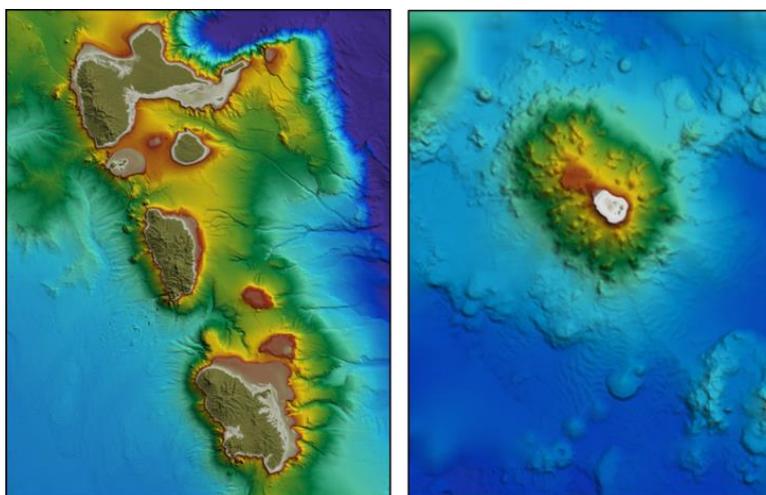


Figure 1 : Exemples de MNT bathymétriques disponibles en outre-mer. A gauche : MNT de façade de la Guadeloupe et de la Martinique. A droite : MNT de façade de l'île de La Passion-Clipperton.

Conclusion et perspectives

Dans le cadre de la phase II du projet HOMONIM, une grande partie des départements (La Réunion, Mayotte, Guyane, Guadeloupe et Martinique) et des collectivités d'outre-mer (Saint-Martin et Saint-Barthélemy) vont bénéficier de l'amélioration du dispositif de vigilance vagues-submersion. Une meilleure description de l'environnement, qui passe par l'acquisition de nouvelles données au travers du programme national d'hydrographie ou du projet Litto3D® permettra les améliorations futures de ces produits.

Références

Biscara L., Maspataud A., Schmitt T., 2016. Coastal risk assessment: Generation of bathymetric digital elevation models along French coasts. Hydro International, September 2016, 26-29. <http://www.hydro-international.com/content/article/coastal-risk-assessment>

Quelles contributions des données spatialisées de surveillance à la Planification des Espaces Maritimes ?

Clément Dupont¹

¹Université de Bretagne Occidentale, Brest, France ; Stratégies Mer et Littoral SAS, France.

Ce poster a pour objectif de présenter un travail de thèse de Géographie entamé en Octobre 2017, sous format CIFRE (partenariat laboratoire-entreprise). Le projet questionne l'utilisation de données spatialisées de surveillance dans le cadre de la Planification de l'Espace maritime en France et à l'international, avec un cas d'étude à préciser en Bretagne.

Contexte politique et scientifique

De nouveaux modes de gestion de l'espace maritime

Ces dernières décennies ont été marquées par une importance croissante des enjeux maritimes, notamment du fait de l'apparition ou du développement de nouvelles activités (parcs éoliens, extraction de minéraux, aquaculture...). En réponse à ces enjeux se développent des nouveaux mécanismes de régulation et de planification, déclinés en Europe au travers de la Directive 2014/89/UE pour la Planification de l'Espace Maritime (PEM). La PEM vise à limiter les pressions sur l'environnement, les conflits entre activités actuelles et futures et à stimuler le développement durable des secteurs maritimes, promu à travers le concept d'« Économie Bleue » en Europe (Douve, 2010 ; De Cacqueray, 2011).

Un besoin accru de connaissance sur le déroulement spatio-temporel des activités maritimes

Comme cela a été mis en avant dans la plupart des politiques maritimes intégrées dans le monde, la connaissance est le prérequis essentiel à la définition de stratégies et à leur concrétisation en termes de réglementation, de planification, de maîtrise des risques (sécurité, sûreté, économie, environnement) et plus globalement de développement durable (Ekeboom, 2007). Alors que la connaissance des écosystèmes marins progresse, celle relative aux activités maritimes constitue encore un point aveugle dans le système (St Martin and Hall-Arber, 2008 ; NOAA, 2010). Ainsi, la connaissance des activités reste le plus souvent fragmentaire, comme l'ont souligné de nombreux auteurs (Trouillet, 2011 ; Le Guyader, 2012 ; Gourmelon et al., 2014 ; Peuziat et Le Berre, 2015).

Les données de surveillance : un moyen de pallier les lacunes actuelles ?

En écho à la régulation croissante des activités maritimes, la surveillance maritime se développe pour les activités régaliennes (sécurité, sûreté, défense, police), générant de longues séries de données aujourd'hui exploitées uniquement en temps réel ou quasi réel (Michoux, 2007). L'exploitation en temps différé de ces données, essentiellement destinées

à l'origine à assurer la sécurité de la navigation et de la régulation sectorielle, présente néanmoins un potentiel pour participer à la caractérisation, la quantification et la spatialisation des activités maritimes (Morel et al., 2008 ; Peuziat et Le Berre, 2015). Elle a été réalisée essentiellement pour la description du trafic maritime (Ray et al., 2007 ; Le Guyader et al., 2011 ; Minelli et al., 2014), le suivi de la pêche (Mills et al., 2007 ; Le Guyader et al., 2017) et la quantification de la présence de navires sur des zones ou des périodes spécifiques (Chen et al., 2015, Valdor et al., 2016), sans contribution significative à la PEM (Le Guyader et Gourmelon, 2013).

Le projet de thèse

Objectif

Les données de surveillance maritime se distinguant de celles traditionnellement mobilisées, par leur collecte « non-coopérative » (en opposition aux données « à dire d'acteurs »), elles pourraient susciter des oppositions relatives à la protection de la vie privée ou à la confidentialité des informations économiques. Il semble donc opportun de clarifier les enjeux de cette confrontation avec l'intérêt collectif, ainsi que de caractériser les types de représentation spatio-temporelle les mieux adaptés aux différentes étapes et aux différents acteurs de la PEM.

Méthode

Quatre volets sont envisagés dans ce travail de thèse basé essentiellement sur une méthodologie fondée sur la conduite d'entretiens auprès des différents publics concernés : décideurs et institutions, acteurs et usagers de la mer, citoyens.

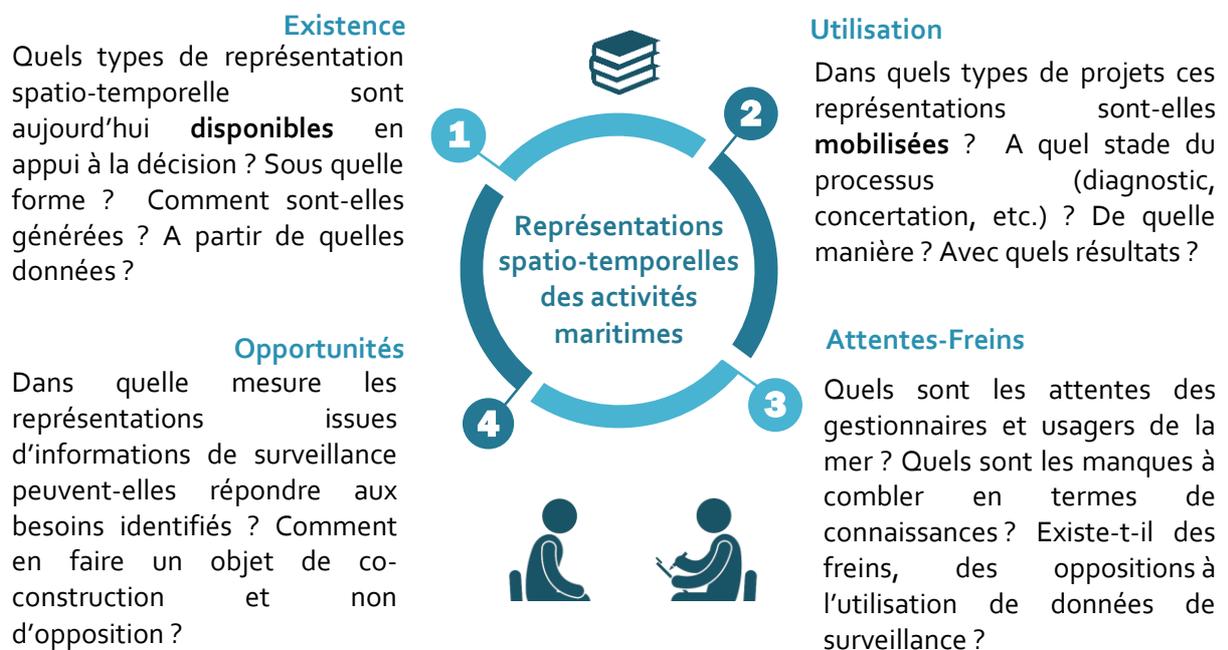


Figure 1 : Les étapes et questions clés du projet.

Annexe. Références bibliographiques :

- Chen J., Lu, F., Peng. G. (2015) A quantitative approach for delineating principal fairways of ship passages through a strait. *Ocean Engineering*, Vol 103, p. 188-197.
- De Cacqueray, M. (2011). La planification des espaces maritimes en France métropolitaine : un enjeu majeur pour la mise en œuvre de la Gestion Intégrée de la Mer et du Littoral. *Géographie*. Université de Bretagne occidentale - Brest. Français. <tel-00656090> .
- Douvere, F. (2010). Marine spatial planning: Concepts, current practice and linkages to other management approaches. Ghent University, Belgium.
- Ekebom, J., (2007). GIS tools for marine spatial planning and management. BALANCE Interim Report n°28.
- Gourmelon, F., Le Guyader, D., Fontenelle, G. (2014). A Dynamic GIS as an Efficient Tool for Integrated Coastal Zone Management. *ISPRS International Journal of Geo-information* 3 (2) 391407. doi:10.3390/ijgi3020391
- Le Guyader D, Ray C, Gourmelon F, Brosset D. 2017. Defining high-resolution dredge fishing grounds with Automatic Identification System (AIS) data. *Aquat. Living Resour.* 30: 39
- Le Guyader, D. (2012). Modélisation des activités humaines en mer côtière. *Environnement et Société*. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2012. Français. <NNT : 2012BRES0020>. <tel-00717420v2>
- Le Guyader, D., Gourmelon, F. (2013). GIS spatio-temporal modeling of human maritime activities. Rodolphe Devillers, Cassandra Lee, Rosaline Canessa, and Andrew Sherin. 11th International Symposium for GIS and Computer Cartography for Coastal Zones Management (CoastGIS 2013), Jun 2013, Victoria, Canada. pp.96, 2013. <hal-00842209>
- Le Guyader, D., Brosset, D., Gourmelon, F., (2011). Exploitation de données AIS (Automatic Identification System) pour la cartographie du transport maritime. *Mappemonde* 104, <http://mappemonde.mgm.fr/num32/articles/art11405.html>
- St Martin, K., Hall-Arber, M. (2008). The missing layer: Geo-technologies, communities, and implications for marine spatial planning. *Marine Policy* 32.5 (2008): P.779-786.
- Michoux, L. (2007) SPATIONAV : Pierre angulaire de la protection et de la sauvegarde maritime. *Revue de l'électricité et de l'électronique* 2007, no6-7, pp. 81-84 Paris (Revue)
- Minelli A., Le Berre I., Peuziat I., (2014). A GIS tool to evaluate marine traffic spatiotemporal evolution using semaphore data. An application on French coastal zones. in *Littoral 2014, Facing Present and Future Coast Challenges*, Marine Science and Technology Centre, Klaipeda, University, Lithuania.
- Morel, M., Napoli, A., Littaye, A., George, J.P., Jangal, et al. (2008). Surveillance et contrôle des activités des navires en mer : Scanmaris. Workshop Interdisciplinaire sur la Sécurité Globale - WISG 2008, Jan 2008, Troyes, France. 12 p., 2008. <hal-00751278>
- NOAA, (2010). Review and Summary of Human Use Mapping in the Marine and Coastal Zone. Eastern Research Group, Inc., Lexington, MA.
- Peuziat, I., Le Berre, I. (2015). Cartographie des activités humaines en mer côtière : Expérimentations en Mer d'Iroise. [Rapport de recherche] LETG-Brest Géomer, UMR 6554 CNRS, IUEM-UBO, Brest., pp.87. <halshs-01101500v2>
- Ray, C., Devogèle, T., Noyon V., Petit M., Fournier S., Claramunt, C., (2007). GIS technology for Maritime Traffic Systems. in: Kunts P. (Ed.), *European Research Consortium for Informatics and Mathematics News: Special Theme on Traffic Planning and Logistics*. vol. 68, pp. 41–42.
- Trouillet, B. (2011). Mapping human activities at sea: An input for Marine Spatial Planning. French examples. MARE Conference « People and the Sea VI - Bridging Science and Policy for Sustainable Coasts and Seas » (Centre for Maritime Research), Amsterdam, 6-8 juillet.s
- Valdor P.F., Gomez A.G., Velarde V., Puente A. (2016). Can a GIS toolbox assess the environmental risk of oil spills? Implementation for oil facilities. in harbors, *Journal of Environmental Management*, Vol 170, pp. 105-115.

La cartographie des fonds marins par approche multicapteurs : Un aide à la compréhension de la dynamique sédimentaire d'une zone littorale menacée

Thierry COURPr^{1*}, Grégoire AGIN^{2*}, Shânkar SOMMER-DELFOLIE^{1*}, Bertil HEBERT^{1*}

¹CEFREM – UMR 5110 CNRS, Université de Perpignan, 52 Av. P. Alduy, 66860, Perpignan, France.

²Parc Naturel Marin du Golfe du Lion, 2 Impasse Charlemagne – 66 700, Argelès-sur-mer, France.

Introduction

La plage du Racou (commune d'Argelès-sur-Mer, département des Pyrénées-Orientales) présente la particularité d'être un point d'inflexion entre la côte sableuse et la côte rocheuse, limitée d'une part par la côte rocheuse et, d'autre part, par le port d'Argelès-sur-Mer, dernier port de la côte sableuse. Cette plage est particulièrement sensible aux houles d'est et de nord et affectée par les phénomènes de submersion lors des tempêtes. De plus, c'est une plage en érosion chronique malgré de nombreux rechargements. La problématique érosive oblige à déplacer le regard pour mieux comprendre les phénomènes à l'œuvre, certes, de l'échelle locale à l'échelle régionale (cellules sédimentaires), mais aussi, de la partie émergée vers la partie immergée.

Méthodologie d'évaluation

A ce titre, la confrontation des données de deux campagnes océanographiques réalisées en août 2007 et en août 2012, et qui a consisté en des levés simultanés de quatre types de données (bathymétrie, imagerie, sismique haute résolution et un système de caractérisation des fonds Roxann), a permis la caractérisation morphosédimentaire de l'avant-côte de la zone du Racou.

Les traitements et l'interprétation des données, notamment sous forme cartographique à très haute résolution, mettent en évidence les principales structures sédimentaires associées aux processus d'érosion et de transfert des sédiments meubles. Les données de réflectivité, de caractérisation des fonds et de sismique HR viennent confirmer l'existence d'un lien entre la morphologie de l'avant-côte et les conditions hydrodynamiques qui affectent le trait de côte. Ces résultats sont très importants pour comprendre les mécanismes hydro-sédimentaires responsables des phénomènes de submersion et d'érosion.

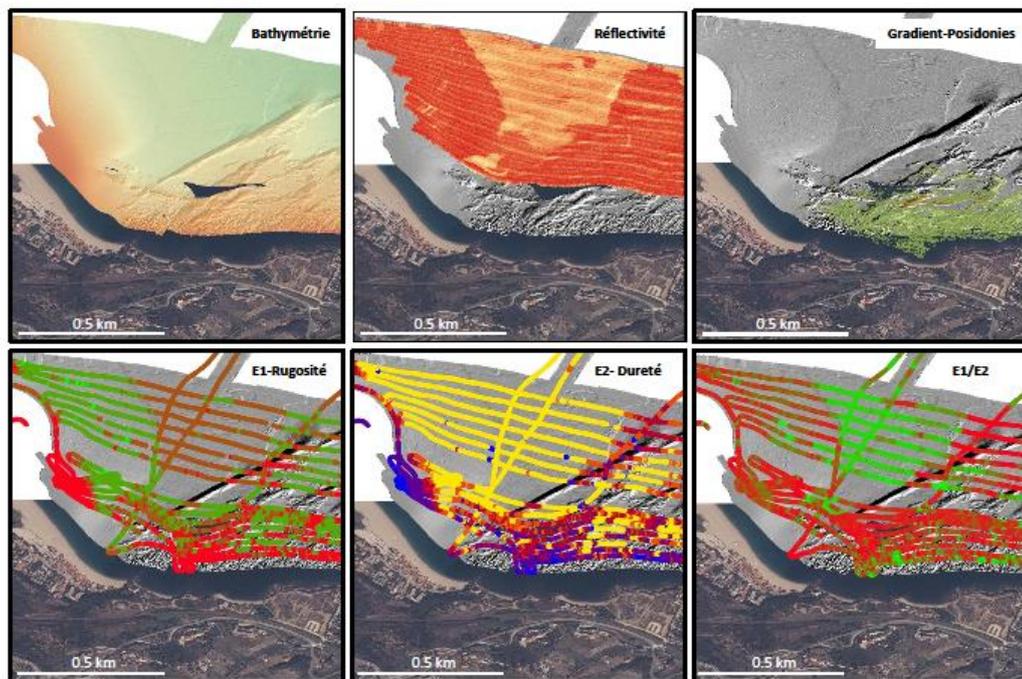


Figure 1 : Cartographie multi-capteurs de l'avant plage du Racou. Comparaison des paramètres morphologiques et sédimentologiques mettant en évidence la présence d'une zone centrale soumise à une dynamique sédimentaire particulière liée à la mobilité des sédiments marquant l'exportation côte large des sables littoraux.

Conclusion

Outre la connaissance du phénomène de la partie émergée, les enjeux de gestion de l'érosion du littoral, pour le Parc et les gestionnaires, s'interprètent de toute évidence également à partir d'analyses portant sur la partie immergée du littoral, à l'échelle de la cellule sédimentaire, en ayant recours à des outils de caractérisation complets.

SENVISAT : de l'image satellite THRS à l'indicateur de suivi - application au suivi du couvert végétal dunaire du Parc Naturel Marin du Golfe du Lion

Cros Myriam^{1*}, Bourachot Arthur¹, Lanzellotti Provence¹, Heurtefeux Hugues¹, Agin Gregory²

¹EID Méditerranée, Montpellier, France.

²Parc naturel marin du golfe du Lion, Argelès-sur-mer, France.

Contexte

Le projet SENVISAT (2017-2020), développé en partenariat avec le Parc naturel marin du Golfe du Lion, l'EID Méditerranée et l'UPVD - CEFREM a pour objectif de mener une étude de faisabilité sur l'utilisation de l'imagerie satellitaire pour le suivi environnemental du littoral du Parc.

Les rivages du Parc sont très influencés par les forçages météorologiques ainsi que par les activités anthropiques. Il en résulte plusieurs types d'impacts majeurs sur le milieu physique qui ont des conséquences sur les habitats et les écosystèmes littoraux notamment avec le recul du trait de côte et la perte de sédiment de la plage émergée, voire de la dune. Un des objectifs de SENVISAT est de proposer un outil générique permettant de suivre l'évolution du couvert végétal dunaire ainsi que celle du trait de côte.

Matériels et méthodes

La méthodologie mise en œuvre se base sur le traitement d'images satellites à très haute résolution spatiale (THRS) via des logiciels libres. Elle a été testée sur deux sites-test du Parc Marin : les plages de Port-Barcarès et Torreilles.

Données et logiciels

Le choix des images Pléiades a été guidé d'une part par la résolution (50 cm ré-échantillonné) adaptée au contexte des dunes catalanes et par les bandes disponibles utiles à la détection du couvert végétal (RVB + PIR) ; et d'autre part par la disponibilité d'images d'archives sur le périmètre du Parc Marin en 2015 et la possibilité d'acquérir des images à des périodes clés (printemps et automne) pour 2017, 2018 et 2019 à faible coût voire coût nul via Geosud¹ et le Pôle Theia².

Orfeo Toolbox³ (OTB) et QGIS⁴ ont été choisis pour traiter les données. Initialement développées par le CNES pour l'exploitation de l'imagerie Pléiades, les algorithmes d'OTB peuvent être appelés et combinés avec d'autres géo-traitements dans QGIS afin d'automatiser partiellement la chaîne de traitement.

Méthodologie

La méthodologie employée consiste à combiner plusieurs méthodes de classification, elle a été initiée à partir de celle employée par le CEREMA pour cartographier une occupation du

sol (Bouffier et al, 2015)⁵. Les images des sites-test sélectionnés font l'objet d'un premier traitement visant à enrichir l'information au niveau de la végétation (calcul du NDVI et ajout en tant que néocanal). L'image fait l'objet d'une première classification (non supervisée) permettant de construire des sets d'échantillons (3 classes : « végétation », « sol », « eau » divisées en n sous-classes) afin de disposer d'une base d'apprentissage et de validation utilisées dans une classification supervisée de type SVM. Les résultats obtenus font ensuite l'objet de fusions et post-traitements morphologiques afin d'exploiter les informations extraites sous forme d'indicateurs.

Résultats / Perspectives

Suivi du couvert végétal dunaire

Le processus de classification distingue un certain nombre de sous-classes au niveau des zones végétalisées et non-végétalisées. Les opérations de post-traitements visent à différencier deux à trois niveaux de densité du couvert végétal et à faire ressortir les traces de piétinement en leur sein (marqueur de dégradation). L'application de filtres basés sur des indices des sols ou des indices de brillance doit permettre à terme de caractériser spatialement l'évolution du couvert végétal par rapport aux classes de « sol » de façon inter-annuelle et intra-annuelle.

Suivi du trait de côte

L'extraction du trait de côte s'opère par regroupement des sous-classes « végétation/sol » en opposition aux sous-classes « eau ». Des post-traitements supplémentaires sont ajoutés visant à lisser le raster puis après vectorisation à supprimer les résidus liés à un classement défaillant. L'indicateur de suivi de l'évolution du trait de côte est construit en appliquant des traitements géomatiques aux traits de côte vectorisés à différentes dates afin d'identifier des zones d'accrétion ou d'érosion.

Prototype d'outil générique

Le modeleur graphique de QGIS permet d'automatiser une partie des traitements (classifications), en combinant dans une même chaîne les algorithmes d'OTB et ceux d'autres bibliothèques géospatiales telle que Gdal. QGIS sert aussi à paramétrer de façon dynamique via une interface graphique les algorithmes utilisés (ex : définition du nombre de sous-classes pour la classification non-supervisée). L'objectif est de pouvoir adjoindre à la chaîne de traitement les opérations de génération des indicateurs.

Sources

¹ <http://ids.equipex-geosud.fr/> ; ² <https://www.theia-land.fr/fr/> ; ³ <https://www.orfeo-toolbox.org/> ; ⁴ <https://www.ggis.org/fr/site/>

Bouffier, J., Goarant, T., Hebrard, D., Mayis, A. et Rucquoi, S. (2015) Mise en place d'une couche d'occupation des sols à partir d'images satellites (p. 105). Cerema - Direction territoriale Sud-Ouest.

Surveillance des écosystèmes profonds à partir de reconstruction vidéo 3D

FABRI M-Claire^{1*}, ARNAUBEC Aurélien¹, ALLAIS Anne-Gaëlle¹, BOUHIER Marie-Edith¹, RAUGEL Ewen¹, VINHA Beatriz¹

¹Ifremer Centre de Méditerranée, La Seyne sur Mer, France.

Introduction

Les écosystèmes de coraux d'eau froide sont très riches et créent des îlots de biodiversité remarquable, cependant leur écologie et leur répartition spatiale sont peu connues. Si ces espèces ont déjà été ponctuellement localisées dans des zones difficiles d'accès (immersion de 200 à 1000 m dans des canyons sous-marins de Méditerranée), aucune cartographie précise de l'étendue de leur habitat n'a été réalisée jusqu'à maintenant. Le nouveau robot sous-marin HROV Ariane, développé par l'unité Systèmes Sous-Marins de l'Ifremer et opéré par Genavir, est un concentré de technologies permettant l'exploration des zones pentues et accidentées entre -200 et -2500 mètres de profondeur (**Raugel *et al.*, ce volume**). Ses caméras haute définition permettent de photographier chaque cm² d'un site. Toutes les images peuvent ensuite être assemblées pour reconstituer le site en 3 dimensions grâce à la méthode "Structure from motion" (logiciel *3D Metrics*©Ifremer). Ces reconstructions à partir de l'imagerie optique (photos ou vidéos) permettent de mesurer: (1) la surface totale occupée par les écosystèmes; (2) la surface occupée par les écosystèmes dégradés par les impacts anthropiques; (3) la structure en tailles des différentes populations; (4) la densité des colonies.

Matériel et Méthode

Acquisition de données. La première campagne opérationnelle scientifique du HROV Ariane, à bord du navire de recherche *L'Europe*, a eu lieu en 2017 dans le canyon de Cassidaigne (Méditerranée). Cette campagne « VIDEOCOR 1 » de l'Ifremer a permis l'acquisition de photos et de vidéos qui sont exploitées pour la mesure de l'état écologique des populations de coraux d'eau froide. Trois sites ont été explorés dans le canyon à différentes profondeurs: Cassis-200, Cassis-500 et The Wall (Fabri *et al.*, 2017).

Reconstructions en 3 dimensions. La technique "Structure from motion" permet de reconstruire le relief d'une structure à partir d'un flux d'image en provenance d'une seule caméra en mouvement (**Arnaubec *et al.*, ce volume**). Les images sous-marines étant éclairées artificiellement, une première étape indispensable est le traitement de l'illumination et le travail sur l'atténuation des couleurs avec la distance. La deuxième étape consiste à construire la matrice de forme par reconnaissance de points remarquables sur les images, puis à plaquer les images sur la matrice pour obtenir la texture de la mosaïque finale. Enfin, la troisième étape consiste à replacer la mosaïque dans l'espace à l'aide de la

navigation pour obtenir le géo-référencement et la mise à l'échelle de l'objet reconstruit (Arnaubec et al., 2015).

Mesure de l'état écologique. Les mesures d'étendues seront obtenues soit avec un SIG (Adelie-Observation@ifremer sous ArcMap©ESRI) pour les plongées dont la trajectoire longiligne peut être cartographiée en 2 D , soit avec le logiciel *3D Metrics*©Ifremer lorsque la forme du relief est accidentée. La structure en tailles des différentes populations de coraux d'eau froide sera mesurée avec le logiciel *3D Metrics*©Ifremer (travail en cours).

Résultats

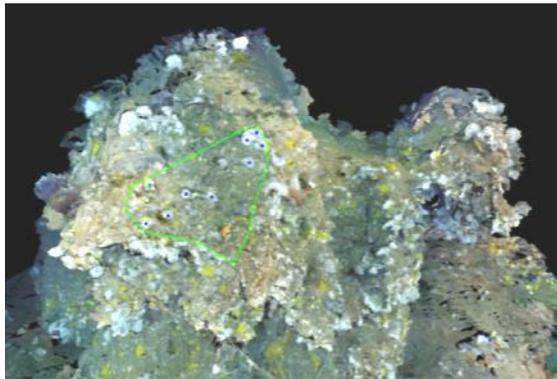


Fig. 1: Reconstruction 3D du site Cassis-200 sud

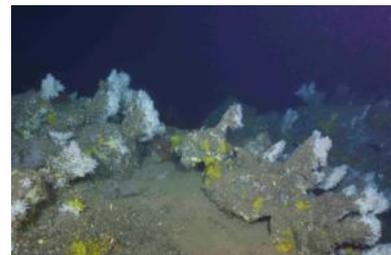
Les sites Cassis-200 et The Wall sont actuellement reconstruits. Cassis-500 est en cours de traitement. Les densités et les tailles des populations de *Callogorgia verticillata*, *Viminella flagellum* et *Madrepora oculata* seront mesurées (travail en cours, **Vinha et al., ce volume**). Quelques mesures de tailles sont d'ores et déjà disponibles:



Callogorgia verticillata (140 cm)



Viminella flagellum (50 cm)



Madrepora oculata (40 cm)

Conclusion

Les écosystèmes profonds sont difficilement accessibles par les scientifiques, sauf avec des engins sous-marins. Bien qu'ils soient localisés en profondeur ces écosystèmes souffrent des impacts anthropiques. Il est donc urgent de développer des outils qui permettent de quantifier leur degré de dégradation. Un retour à intervalle régulier sur une même zone permettra de mesurer les variations de l'étendue et de l'état de ces écosystèmes. Les engins sous-marins et les développements informatiques associés ont longtemps été réservés à la recherche mais ils sont maintenant accessibles pour le suivi et la gestion de la biodiversité marine profonde. Cet exemple illustre un cas de gestion des écosystèmes profonds, tout comme on le fait pour la gestion des écosystèmes côtiers.

Arnaubec, A., Opderbecke, J., Allais, A.G., Brignone, L., 2015. Optical mapping with the ARIANE HROV at IFREMER: The MATISSE processing tool, OCEANS 2015 - Genova, 18-21 May 2015, pp. 1-6, 10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271713.

Fabri, M.C., Bargain, A., Paireaud, I., Pedel, L., Taupier-Letage, I., 2017. Cold-water coral ecosystems in Cassidaigne Canyon: An assessment of their environmental living conditions, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 137, 436-453, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.06.006>.

Cartographie des habitats de l'étang de Berre par imagerie hyperspectrale aéroportée : application aux herbiers de zostères

Faure Vincent⁽¹⁾, Marc Lennon⁽²⁾, Nicolas Thomas⁽²⁾, Simon Gueguen⁽²⁾, Tristan Petit⁽²⁾, Mayot Nicolas⁽¹⁾,

¹GIPREB, Berre l'étang, FRANCE.

²Hytech-imaging, Plouzané, France.

Contexte

Les herbiers de phanérogames font partie des espèces indicatrices de la dynamique fonctionnelle des lagunes, en particulier l'espèce protégée *Zostera noltei*. Après une quasi disparition des herbiers de zostères dans l'étang de Berre (155 km²) dans les années 2000, une nette progression de la surface a été observée sur la frange littorale depuis 2014. Connaître et suivre les étendues spatiales des herbiers à l'échelle de l'étang de Berre est ainsi un enjeu crucial pour la compréhension de leur dynamique et dans la mise en place d'actions de restauration. C'est dans ce contexte que le projet HYPERBERRE (cofinancé par l'Agence de l'Eau) a consisté à mettre en œuvre une cartographie par imagerie hyperspectrale des herbiers de zostères à l'échelle de l'étang de Berre.

Méthodologie

Acquisition d'images hyperspectrales aéroportées

Les 8, 9 et 10 juin 2017, des levés hyperspectraux aéroportés ont été réalisés par la société Hytech-imaging sur l'ensemble des zones de l'étang de Berre de bathymétrie comprise entre 0 et 3m. Les levés ont été réalisés dans la gamme spectrale 400 à 1000nm, avec 160 bandes spectrales et une résolution spatiale de 1m sur la globalité du site et de 50cm sur les sites prioritaires.

Constitution d'une banque spectrale *in situ*

Une bibliothèque spectrale comportant 60 références a été levée entre le 4 et le 17 mai 2017 par plongeurs, à l'aide d'un spectroradiomètre en caisson étanche sur la zone de bathymétrie comprise entre 0 et 3m. Cette bibliothèque comporte les différentes espèces et substrats nus observables sur cette zone (sables, roches, *Zostera noltei*, ulves, ...). Elle est utilisée dans le processus de cartographie automatique exploitant les images hyperspectrales.

Acquisition de données *in situ* pour calibration/validation

Durant les mois de Mai et Juin 2017, des plongées ont été réalisées dans l'étang afin de disposer de données de calibration pour les algorithmes de classification, et de validation des cartes finales.

Traitement et analyse des images acquises

Les images hyperspectrales acquises ont fait l'objet d'une première phase de prétraitement visant à les orthorectifier au niveau de la surface de l'étang de Berre et à ramener leur unité en valeurs de réflectance indépendantes des conditions d'éclairage au moment de l'acquisition. Cette étape a été réalisée à l'aide de la chaîne HYPIP®. A partir de ces données, la chaîne SWIM® a été appliquée afin d'obtenir les images hyperspectrales de réflectance du fond (suppression de la colonne d'eau). Une méthodologie de cartographie des herbiers à partir de la réflectance du fond, basée sur un démixage spectral, a été appliquée.

Résultats

Les résultats principaux de cette étude sont des cartes détaillées des herbiers de zostères à l'échelle de l'étang de Berre (exemple pour un zoom sur la Figure 1). Ces cartes permettront de fournir également la surface totale couverte, afin de pouvoir évaluer la dynamique temporelle de progression/régression. De plus, cette valeur sera comparée avec les 17.9ha évaluée en 2017 par de la photointerprétation manuelle sur des orthophotos aériennes.

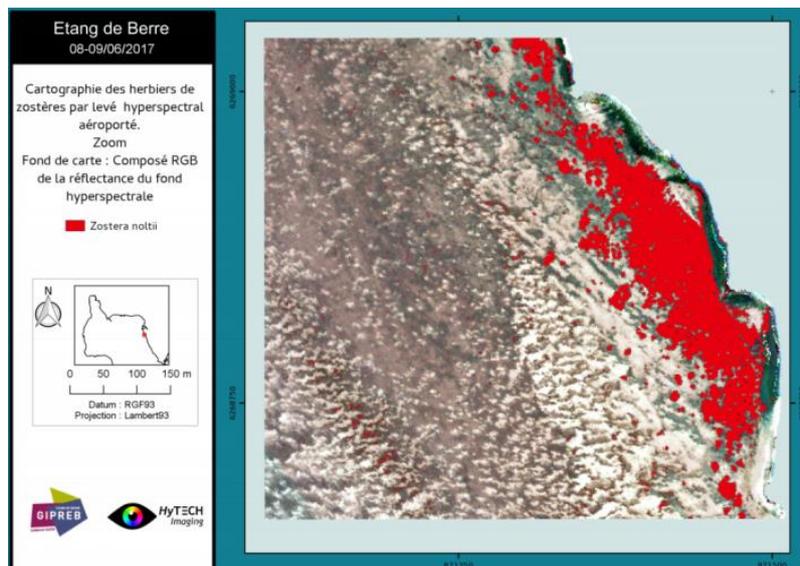


Figure 1 : Carte des herbiers de zostères : zoom au NE de l'étang de Berre (surface : 1.5ha)

Conclusion

Ce projet a montré la faisabilité de la méthodologie à l'échelle d'une lagune comme l'étang de Berre. Les développements méthodologiques et la bibliothèque de spectres constituée dans cette étude faciliteront la cartographie des zostères sur d'autres lagunes. Les cartes ainsi produites serviront de référence pour les futurs suivis de la dynamique des herbiers de zostères dans l'étang de Berre. Ce projet apportera enfin des résultats complémentaires pour la cartographie d'autres types d'habitats.

Remerciements : Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'eau RMC (AAP « Biodiversité » 2016)

Les signaux AIS pour l'étude économique et environnementale de la circulation maritime.

Ronan KERBIRIOU^{1*}, Laurent LÉVÊQUE², Arnaud SERRY³

¹²³Laboratoire IDEES, Université du Havre, France.

Le projet

Plus de 80 % des échanges mondiaux de marchandises s'effectuent par voie maritime. En conséquence l'étude des activités et des opérateurs du transport maritime revêt une importance stratégique pour comprendre, voire anticiper les transformations des territoires connectés par les réseaux maritimes ou pour évaluer l'impact de ces activités sur l'environnement.

Le projet CIRMAR développé par l'Université du Havre est un programme de recherche cofinancé par la région Normandie et l'UE qui repose sur la collecte, l'archivage et l'analyse des signaux AIS* émis par les navires de plus de 300 tonneaux.

Le recours à la base de données des Lloyds (IHS) permet de connaître les caractéristiques des navires dont le type de fret, l'année de construction, la capacité en TEU* pour les porte-conteneurs, le nombre de passagers ou de cabines pour les navires de croisière ou encore le port en lourd.

La géolocalisation des navires permet de reconstituer les routes des navires, les escales par appariement avec une base de données contenant les coordonnées des terminaux dans les ports, ainsi que les principales zones de forte densité de trafic.

Depuis deux ans CIRMAR a produit des résultats dans les domaines suivant :

- Les routes maritimes globales et régionales selon les types de trafic (porte-conteneurs, RoRo, croisière),
- La performance des ports mondiaux à travers la durée d'escale des porte-conteneurs,
- Les stratégies d'armateurs dans la sélection des escales et les capacités mises en œuvre, l'impact des alliances maritimes sur l'activité des ports.
-

Problématique présentée.

S'effectuant en grande partie dans les eaux internationales, le transport maritime échappe pour l'essentiel aux régulations nationales et relève de consensus entérinés par l'Organisation Maritime Internationale (OMI). Adoptée en 1997, puis renforcée en 2010 et 2015, l'Annexe VI de la Convention Marpol établit des zones de contrôle des émissions (ECA, Emission Control Area) de NOx, de SOx et toute émission délibérée de substances qui appauvrissent la couche d'ozone.

Depuis 2011, quatre ECA existent à travers le monde en mer Baltique et mer du Nord pour les émissions de soufre (SECA) ; en Amérique du nord et la zone maritime Caraïbe des États-Unis pour les émissions d'oxydes de soufre et d'azote et les particules.

Aujourd'hui, il existe une forte pression des gouvernements et des ONG pour inscrire la Méditerranée dans une zone SECA. Cette mer est à la fois une zone de transit (entre Suez et Gibraltar), pour les plus grands navires tankers, vraquiers et porte-conteneurs qui sont les plus gros émetteurs de polluants et une zone de trafic régional intense, avec les Feeder*, les car-ferries et les navires RoRo*. C'est également une zone particulièrement attractive pour l'activité de croisière.

Des travaux réalisés par les chercheurs du Finnish Meteorological Institute (modèle STEAM Ship Traffic Environment AssesMent), on peut retenir trois variables structurelles qui vont agir sur les émissions cumulées du trafic maritime :

- Le port en lourd qui détermine l'énergie nécessaire pour propulser le navire,
- L'âge du navire, les navires les plus récents sont dotés de systèmes propulsifs plus efficaces ou équipés en « Dual Fuel » pour naviguer dans les zones SECA. Les recherches récentes sur les carènes entraînent également des économies de carburant. Concernant les porte-conteneurs, des motorisations permettant le « Slow-Steaming* » et donc la réduction des émissions, ont été installées depuis la hausse des prix du carburant des années 2010.
- La concentration géographique du trafic, comme dans les détroits, à la sortie des canaux et dans des points de passages obligés comme la Manche ou les zones côtières. Mais également les escales, car même à quai, un navire doit continuer à faire tourner ses machines pour alimenter les systèmes de sécurité, de maintenance et de confort. C'est particulièrement vrai pour les navires de croisière qui sont de gros consommateurs d'énergie. La littérature sur la pollution liée à la croisière dans les ports est déjà importante.

Le dispositif mis en place par le projet CIRMAR permet d'identifier les zones à forte concentration de trafic des navires les plus polluants, d'analyser les stratégies d'adaptation des opérateurs du transport maritime et d'évaluer quels seraient les principaux bénéficiaires de l'adoption de l'annexe VI en Méditerranée.

AIS : Automatic Identification System. Signaux émis par les navires de plus de 300 tonneaux (en moyenne 1 tous les 6 secondes) contenant leur position, la route suivie et leur identification.

TEU (EVP en français) : Équivalent Vingt Pieds, taille standard des conteneurs maritimes, unité de mesure de la capacité des porte-conteneurs

Feeder : Porte conteneur de taille moyenne qui approvisionne les gros navires transocéaniques dans des hubs maritimes

RoRo : Roll-On/Roll-Off, navire roulier permettant de charger et décharger des remorques routières ou des voitures neuves (car carrier) via un plan incliné.

Slow Steaming : Réduction de la vitesse de croisière des navires pour économiser du carburant.

SIGnalisation maritime aux phares et balises

Thomas POPOVIC¹

¹DIRM NAMO, Nantes, France.

Les phares et balises à l'heure de QGIS

De part son histoire et ses effectifs, les DIRMs sont très liées aux services des phares et balises. Éléments essentiels de la sécurité des activités humaines en mer, ce service n'a cessé d'évoluer de pair avec les restructurations de l'administration. L'entretien, la réparation ou l'installation d'équipements de sécurité en mer obligent les Phares et Balises à compter dans leurs rangs des agents issus de tous les corps de métier.

Si le service a connu de nombreuses évolutions ces dernières années, le passage aux SIG dans la gestion des tâches quotidiennes est en passe de se démocratiser. Les services évoluent, les techniques changent; c'est dans ce registre que les services des Phares et balises utilisent pour certains les outils SIG et QGIS dans la planification de leurs interventions en mer et sur terre.

Aladin est une base de donnée qui centralise l'ensemble des informations relatives à la signalisation maritime. Les informations pouvant être enregistrées dans Aladin permettent certaines libertés, les problèmes de casse ou de géolocalisation sont nombreux. En procédant à un export puis un traitement fin des données celles-ci peuvent être intégrées à QGIS.

Le projet et les couches mises en place, une fiche de maintenance est éditée. Celle-ci localise l'établissement de signalisation maritime (ESM), comporte une photo de l'ESM lors de la dernière visite et liste les réparations ou points de contrôles à effectuer.

Avant le départ en mer, une projection du SIG et de la fiche de maintenance est effectuée sur un écran afin que la mission soit la plus claire possible.

De retour à terre, la fiche de maintenance est mise à jour.

Une façon moderne d'exercer des missions ancestrales !

Illustration 2: Phare d'Antifer, photo MEMN



Analyse spatiale des pratiques des usagers de trois plages urbaines de Marseille

Samuel ROBERT^{1*}, Marie-Laure TRÉMÉLO¹

¹ESPACE (UMR 7300), CNRS - Aix-Marseille Université - Université d'Avignon - Université de Nice, Aix-en-Provence, France.

Contexte de l'étude et hypothèses de travail

Depuis 2010, la ville de Marseille est engagée dans un programme de mise en valeur de son littoral qui s'inscrit dans une stratégie plus large de rénovation urbaine et d'ouverture à l'économie du tourisme et des loisirs. Comme pour beaucoup de villes côtières, les connaissances sur la fréquentation et les pratiques des usagers des plages y sont rudimentaires. Dans le cadre d'un observatoire pluridisciplinaire de l'environnement littoral (l'Observatoire Hommes-Milieus « Littoral méditerranéen »)¹⁵, des recherches sont menées depuis 2013 sur les plages urbaines de la ville¹⁶. À partir d'une enquête réalisée en 2017 sur trois de ces plages, les données relatives 1) à l'origine géographique des usagers et 2) aux autres plages qu'ils fréquentent dans la région ont été exploitées pour rechercher d'éventuelles structures spatiales dans les pratiques. Trois hypothèses de travail ont guidé l'analyse : la ville étant de tradition davantage portuaire que balnéaire, ses plages urbaines n'attirent guère de touristes ; situées respectivement au nord, au centre et au sud de la façade maritime de la ville, les plages retenues se caractérisent par une fréquentation marquée par un certain déterminisme spatial et n'attirent guère au-delà d'un périmètre de proximité ; la fréquentation des trois plages reflète les structures spatiales qui organisent l'espace marseillais : un modèle centre-périphérie doublé d'une opposition nord-sud.

Méthodologie

L'enquête par questionnaire a permis de recueillir 471 réponses à l'occasion de deux séquences de passation : une journée en mai et une semaine complète en juillet. Les objectifs étaient de toucher la diversité des visiteurs en termes de sexe et de tranches d'âge. La population enquêtée est donc relativement représentative de la diversité des usagers (sans considération des catégories socio-professionnelles) mais pas de leurs proportions respectives dans le flux total des usagers qui se rendent à la plage (population qui reste inconnue). Les données ont fait l'objet de traitements afin de composer des tableaux

¹⁵ L'OHM « Littoral méditerranéen » (www.ohm-littoral-mediterraneen.fr) est une composante du Labex DRIIHM (www.driihm.fr/).

¹⁶ Étude financée par le Labex DRIIHM et la Ville de Marseille.

d'information renseignant : le nombre d'utilisateurs total par plage en fonction de leur provenance (à l'arrondissement pour Marseille et à la commune pour les autres localités) ; la liste des autres plages de la ville fréquentées par les utilisateurs de chaque plage et le nombre de fois où elles sont citées ; la liste des plages en dehors de Marseille fréquentées par les utilisateurs de chaque plage et le nombre de fois où elles sont citées. Une base de données géographique localisant notamment l'ensemble des plages du littoral marseillais a été constituée pour permettre la représentation cartographique des données issues de l'enquête.

Résultats

Conformément à l'une des hypothèses, les plages étudiées ont un recrutement principalement local : plus de 70% des utilisateurs habitent les Bouches-du-Rhône (Fig.1). En outre, au sein des utilisateurs en provenance du département, l'importance relative des arrondissements et communes proches de chaque plage est particulièrement marquée (Fig.2).

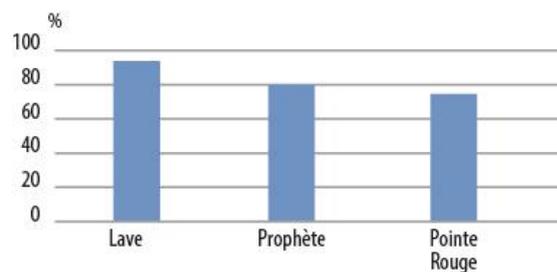


Figure 1 : Part des utilisateurs provenant des Bouches-du-Rhône

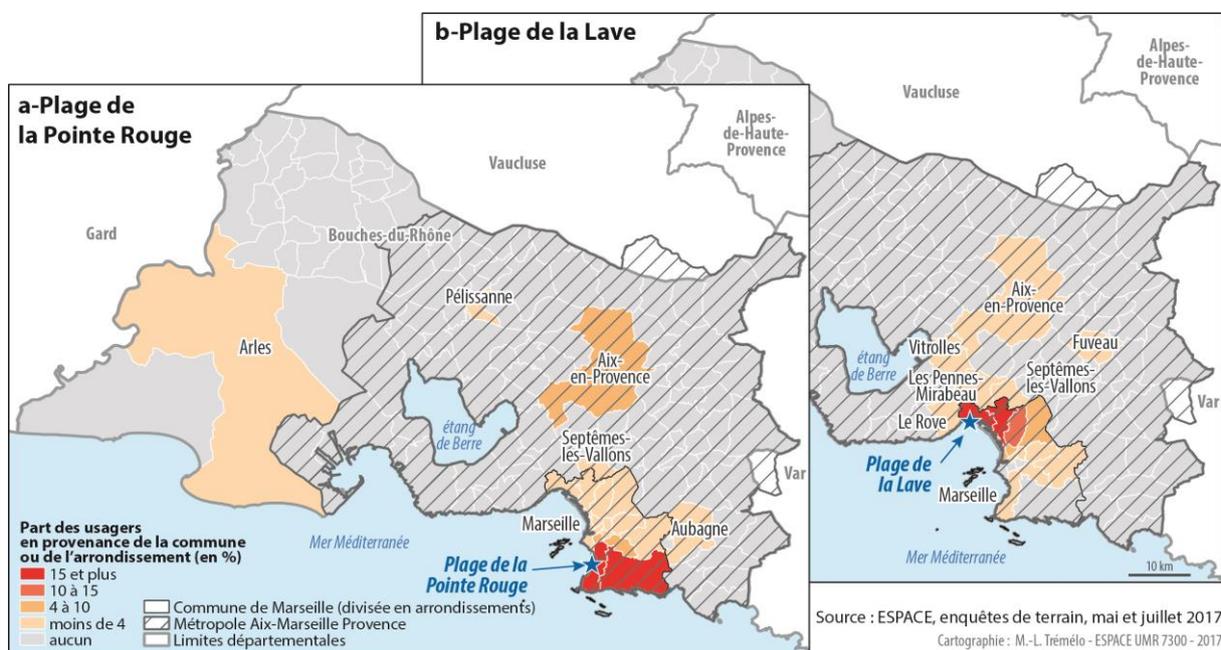


Figure 2 : Provenance des utilisateurs des Bouches-du-Rhône sur les plages de la Pointe Rouge et de la Lave

Le recrutement témoigne d'ailleurs d'une sorte de déterminisme spatial. Au sud, les utilisateurs de la Pointe Rouge sont principalement issus des quartiers sud de Marseille (Fig.2a) et fréquentent préférentiellement des plages situées dans des communes situées au sud-est de

la ville en direction du Var. À l'inverse, au nord, les usagers de la plage de la Lave proviennent majoritairement du nord de la ville (Fig.2b) et, en dehors de Marseille, se rendent principalement sur des plages voisines sur la Côte bleue. Au centre, la plage du Prophète présente une position intermédiaire, caractérisée par une plus grande ouverture géographique, à la fois dans le recrutement de ses usagers et à travers les autres plages qu'ils fréquentent (Fig.3). Les pratiques semblent donc corroborer un modèle centre-périphérie (les plages Nord et Sud recrutent moins loin et sont moins connectées à d'autres plages) ainsi que la fracture nord-sud (la plage de la Lave recrute à plus 90% dans le département et est la moins inter-reliée à d'autres par les pratiques de ses usagers).

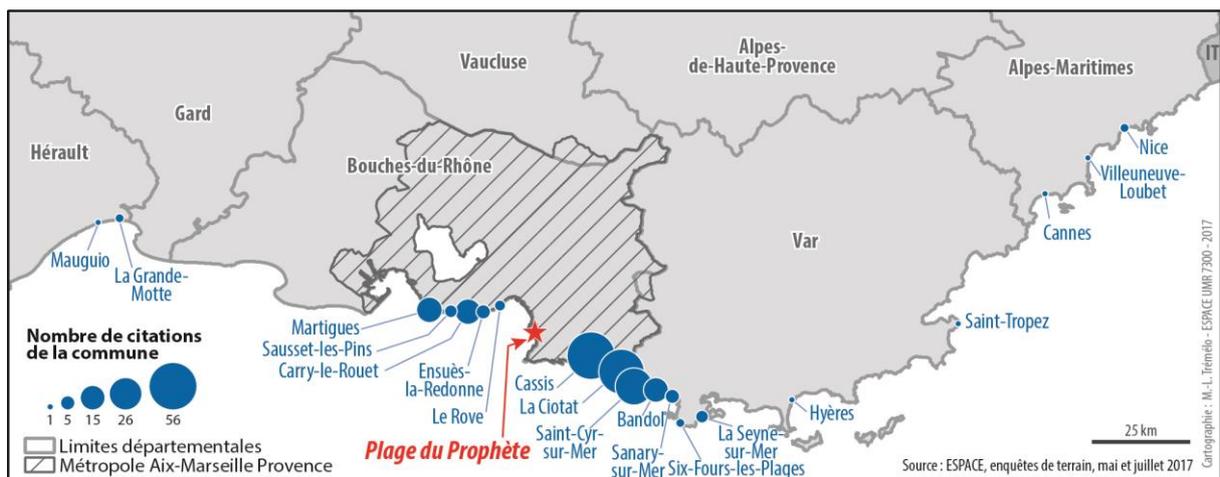


Figure 3 : Localisation des autres plages fréquentées par les usagers de la plage du Prophète, en dehors de Marseille

Conclusion

Cette étude montre combien, à Marseille, les pratiques de la plage urbaine sont conditionnées par l'espace géographique et la distance. Elle révèle aussi un état des lieux qui pourrait évoluer à mesure que la Ville va s'ouvrir au tourisme (avec notamment l'essor de la croisière et l'attractivité grandissante du Parc national des Calanques) et constitue un apport de connaissances utile pour une réflexion globale sur les politiques de la ville et du littoral.

Apports de l'imagerie pour la cartographie des habitats profonds

Catherine BORREMANS¹, Julie TOUROLLE¹, Karine OLU¹, Lénaïck MENOT¹, Marjolaine MATABOS¹

¹IFREMER, Laboratoire Environnement Profond, PLOUZANE, France.

Introduction

L'environnement profond débute à partir de 200 m de profondeur et est caractérisé par une absence totale de lumière. Les écosystèmes des milieux profonds représentent une mosaïque d'habitats avec les sources hydrothermales, localisées le long des 60000 km de dorsales qui sillonnent le fond de nos océans, les écosystèmes sédimentaires, qui dépendent des apports de nourriture d'origine photosynthétique qui proviennent de la surface, des écosystèmes de fluides froids qui dépendent d'émissions de fluides liés à la dégradation en profondeur de grands dépôts de matière organique et de coraux d'eau froide, retrouvés en grande abondance le long des marges de nos continents.

Pour les étudier, l'Ifremer dispose de moyens nautiques adaptés tels que les navires hauturiers et des engins submersibles comme le Nautille, le ROV Victor 6000, la caméra tractée SCAMPI, le H-ROV Ariane ou des AUV.

Depuis 2010, l'Ifremer est également impliqué dans le développement d'observatoires sous-marins permettant un suivi de ces écosystèmes en continu. Ces observatoires regroupent sur un même site des instruments mesurant des paramètres physiques (température, courants, pression), chimiques (oxygène, pH, méthane, fer...) et biologiques grâce à des caméras ou des sonars. Les images optiques et acoustiques obtenues permettent d'évaluer l'abondance des espèces, le comportement et le mouvement de la faune.

La cartographie des habitats, une approche multi-échelle

Approche surfacique

A l'aide des données des campagnes océanographiques acquises à partir des submersibles, une approche surfacique est mise en place où la distribution des habitats est étudiée à l'échelle d'une plongée, d'un site ou d'un édifice. Pour ce faire, les vidéos sont dépouillées et analysées, des mosaïques d'images sont créées à l'aide de logiciels spécifiques et désormais des reconstructions 3D d'édifices hydrothermaux sont possibles.



Figure 1 : Exemples d'approches surfaciques de cartographie des habitats

Approche stationnelle

Les études sur les écosystèmes profonds sont souvent limitées à des observations ponctuelles, saisonnières et restreintes dans le temps. Les retours sur zone sont bien adaptés à des suivis annuels mais pas à l'étude de phénomènes se produisant à des échelles sub-annuelles (recrutement, colonisation, reproduction) dont nous n'avons qu'une vision partielle et biaisée de leur fonctionnement.

Les observations long-terme sont donc essentielles pour comprendre la dynamique du milieu. Les observatoires fond de mer permettent d'acquérir des données hebdomadaires sur plusieurs années. Pour les données d'imagerie (photos et vidéos), il s'agit d'un plan fixe qui permet d'étudier la dynamique temporelle des populations et des assemblages faunistiques.

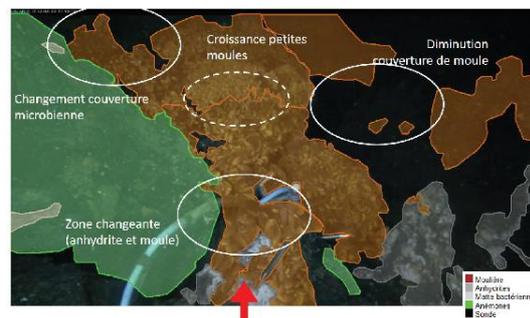


Figure 2 : Exemples d'approches temporelles de cartographie des habitats

Perspectives

La cartographie des habitats, notamment en environnement profond, présente de nombreux enjeux. Les données sont difficiles et onéreuses à acquérir, leur traitement est très long. Plusieurs approches sont donc envisagées afin de faciliter les traitements :

- Développement des sciences participatives avec le jeu en ligne DeepSeaSpy
- Approche expérimentale sur le terrain avec la mise en œuvre de nouveaux outils (imagerie hyperspectrale, acoustique...) au moyen de HROV qui permettrait de traiter automatiquement les données. Des tests seront lancés en 2020 et 2021.
- Déploiement d'un nouvel observatoire fond de mer sur les coraux.

Outils intégrés pour mieux connaître, surveiller et protéger les herbiers de posidonie

Deter Julie^{1,2*}, Delaruelle Gwenaëlle¹, Marre Guilhem^{1,2,3}, Féry Célia⁴, Guibert Antonin¹, Descamp Pierre¹, Holon Florian¹

¹Andromède océanologie, Carnon, France.

²UMR 5554 ISEM et laboratoire commun Air to Sea, Montpellier, France.

³UMR TETIS, Montpellier, France.

⁴L'œil d'Andromède, Carnon, France.

La Posidonie *Posidonia oceanica* L. Delille est une plante à fleurs marine protégée et endémique de méditerranée. Elle se développe de la surface jusqu'à 40 mètres de profondeur selon la clarté de l'eau (Boudouresque et al., 2012). Elle mesure entre 40 et 50 cm de hauteur et possède une croissance très lente (environ 5 cm par an). Sa reproduction est surtout asexuée grâce à ses rhizomes. Les vastes prairies (herbiers) constituées par la posidonie sont à l'origine de très nombreux services : plus d'une vingtaine ont été identifiés (Campagne et al., 2015) comme refuge et nurserie pour de nombreuses espèces ou capacité de piégeage du CO₂. La Posidonie couvre à 1 à 2 % de la surface totale de la Méditerranée (Boudouresque et al., 2012; Pasqualini et al., 1998) mais abrite 25 % de la faune et de la flore sous-marine méditerranéenne. Les herbiers de posidonie sont très sensibles aux changements de leur environnement (clarté de l'eau, salinité, hydrodynamisme...) et sont pour la plupart, en déclin (Boudouresque et al., 2012; Orth et al., 2006; Ruíz et al., 2009). En effet, leur surface diminue et leur fragmentation augmente à cause des activités humaines (Ardizzone et al., 2006; Boudouresque et al., 2009). Cette grande sensibilité en fait aussi une espèce indicatrice de bonne qualité des eaux côtières.

Nous présentons notre approche intégrée permettant de connaître, surveiller et protéger un herbier de posidonie.

- La **cartographie de l'habitat** permet de localiser et estimer les surfaces occupées en 2D et 3D (avec prise en compte de la pente) par de l'herbier vivant ou mort. Elle mixe analyse d'images aériennes, sonar latéral, sondeur multifaisceaux et vérité-terrain avec des plongeurs équipés de GPS sous-marin. La première cartographie continue à l'échelle du littoral française méditerranéen a été publiée en 2014 (Andromède océanologie, 2014), elle est en perpétuelle mise à jour.
- La **téléométrie acoustique** permet un suivi très précis (au cm près) des changements de configuration et de limites de petites surfaces d'herbier (100 m²) et d'espèces

sessiles associées (grande nacre par exemple) à l'aide d'un positionnement par le son (Descamp et al., 2011).

- **La photogrammétrie** basée sur l'assemblage de photographies permet un suivi fin de limites, surfaces et volumes. Elle restitue l'herbier étudié en 3D et est actuellement en développement pour en tirer d'autres indices (Marre et al., 2017)
- Divers paramètres sont relevés par des plongeurs pour évaluer **l'état de santé** d'herbier sur des sites précis comme le déchaussement, le nombre de faisceaux ou des indices multimétriques comme le Bipo, le PREI ou l'EBQI (réseau de surveillance TEMPO)
- Les **pressions anthropiques** subies par l'herbier peuvent être quantifiées et cartographiées et leur impact modélisé (Holon et al., 2015b) comme par exemple l'influence du développement côtier (Holon et al., 2015a), des fermes aquacoles, des rejets en mer ou le mouillage des petites ou grandes unités (Deter et al., 2017)
- Les données sont centralisées et les résultats cartographiques sont facilement consultables, partagés et comparés à l'aide de la **plateforme cartographique Medtrix** (www.medtrix.fr)
- **Donia, une application gratuite** pour smartphones et tablettes permet aux pilotes de bateaux de localiser les herbiers et d'éviter d'y jeter l'ancre (www.donia.fr)
- **Un module « gestionnaire »** au sein de cette application facilite les contacts par les usagers (remontée d'observations, données de fréquentation et usage) et vers les usagers (informations sur la réglementation, alerte météo, prévention) et permet d'identifier les navires ayant ancré dans les herbiers.

Conclusion

L'ensemble de ces outils permet de connaître et suivre dans le temps un herbier de posidonie dans le détail (où, quelle surface, quel état), les pressions exercées (quoi, sur lesquelles agir) tout en facilitant la mise à disposition et l'utilisation des données par les décideurs, gestionnaires et usagers à l'aide d'interfaces faciles à utiliser.

Références bibliographiques

- Andromède océanologie, 2014. La Méditerranée dévoile ses dessous : cartographie continue des habitats marins.
- Ardizzone, G. et al. Marine Ecology 2006
- Boudouresque, C.-F. et al. 2012. RAMOGE and RAC/SPA publisher, Tunis.
- Boudouresque, C.F. et al. 2009. Botanica Marina
- Campagne, C. et al. 2015. Marine Pollution Bulletin
- Descamp, P. et al. 2011. Marine Pollution Bulletin
- Deter, J. et al. 2017. Marine Pollution Bulletin
- Holon, F. et al. 2015a. Estuarine, Coastal and Shelf Science
- Holon, F. et al. 2015b. PLOS ONE
- Orth, R.J. et al. 2006. AAIBS
- Pasqualini, V. et al. 1998 Estuarine, Coastal and Shelf Science
- Ruiz, J.M. et al. 2009. Botanica Marina

La base de données ESTAMP une appli Web d'accompagnement à la saisie, à la banclarisation, et à la consultation des données

Samuel Mermet^{1*}, Elodie Gamp², Annie Birolleau², Sophie Beauvais²

¹ Agence française pour la biodiversité, Nantes, France.

² Agence française pour la biodiversité, Brest, France.

Origine et objectifs de la BD ESTAMP

Les suivis réalisés dans les aires marines protégées nécessitent l'utilisation de dispositifs de banclarisation afin de garantir la sécurité, la pérennité et la standardisation des données collectées et faciliter ainsi leur exploitation. La politique menée au sein de l'ex-Agence des aires marines protégées était dans la mesure du possible de banclariser les données dans les dispositifs existants (ex : SIH pour la pêche professionnelle, Quadrige, ...). Toutefois, certains suivis ne disposent pas de base « d'accueil » préexistante, c'est dans cet esprit que l'application BD ESTAMP a été développée pour héberger les données issues des suivis écologiques et d'usages, réalisés sur la frange côtière intertidale au sein des AMP.

Durant sa phase de mise en production et de déploiement e de 2014 à 2017, l'application BD ESTAMP a été conçue pour héberger des données issues du projet Life + « Pêche à pied de loisir » ainsi que des données de quelques suivis menés par le Parc naturel marin d'Iroise (PNMI). Ces différentes sources de données liées à l'estran utilisent des échelles différentes. Pour relier ces échelles et permettre une analyse, un référentiel géographique a été construit et stocke toutes les informations liées aux différents découpages.

Les avantages de la BD ESTAMP

Plus qu'une simple base de données, il s'agit d'une application Web d'accompagnement à la saisie et à la banclarisation déclinée en version PC et pour quelques suivis, en version tablette.

Les formulaires de saisie sont basés sur des référentiels communs, ils sont interopérables avec les référentiels nationaux lorsqu'ils existent. Ils intègrent des contrôles en cours de saisie, ainsi qu'un circuit de validation des données avant diffusion.

Les données collectées sont diffusées en libre accès, afin d'en faciliter la valorisation.

Quelles thématiques sont disponibles aujourd'hui ?

	Types de suivi	Source
HABITATS BENTHIQUES	Herbiers de zostères (<i>Z. marina</i> et <i>Z. noltei</i>)	Life+ PAPL
	Champs de blocs	PNMI, Life+PAPL
	Récifs d'hermelles (<i>S.alveolata</i>)	Life+ PAPL
ESPECES	Nourriceries de poissons	PNMI
	Gisements de coques	Life+ PAPL
USAGES (suivis SHS)	Enquêtes sur les pratiques et les pratiquants de pêche à pied de loisir (dont la sensibilisation)	Life+ PAPL
	Fréquentation de l'estran par les pêcheurs à pied	Life+ PAPL

Tableau 1 : types de suivis actuellement disponibles dans la BD ESTAMP

Perspectives d'évolution

La BD ESTAMP est évolutive afin d'inclure de nouveaux suivis, contributeurs et sites d'études. Dès 2018, elle sera mise au service de l'ensemble des gestionnaires d'aires marines protégées de toutes les façades métropolitaines et d'Outre-Mer, en premier lieu les données de l'observatoire des activités de pêche à pied de loisir Manche – Mer du Nord et celles issues des suivis de la pêche au poulpe au sein du Parc naturel marin de Mayotte.

Elle sera également mobilisée dans le cadre du projet Life intégré sur les habitats naturels marins qui est coordonné par l'agence française pour la biodiversité depuis novembre 2017.

Site internet : www.bdestamp.afbiodiversite.fr

Contact : bdestamp@afbiodiversite.fr

Déploiement d'applications mobiles et stratégie d'acquisition de données pour les parcs naturels marins

Antoine Forget¹, Elodie Giacomini¹, Marie Mahier¹

¹Agence française pour la biodiversité, Brest

Actions du pôle géomatique mer et littoral pour le déploiement d'applications mobiles

Le pôle géomatique mer et littoral est en charge des outils d'acquisition de données, équipés de terminaux GPS.

Des tests ont été réalisés dans les parcs naturels marins d'Iroise et de Mayotte pour saisir des données directement sur le terrain qui soient intégrables dans les bases de données en utilisant des applications qui s'adaptent au protocole via des formulaires.

Plusieurs actions ont été lancées :

- Un travail sur le suivi du matériel et stratégie de formations, maintien en conditions opérationnelles des équipements en général dont les outils nomades.
- Un travail comparatif entre les avantages et inconvénients des matériels pré-identifiés et mise en relation avec les principaux besoins utilisateurs, identification de quelques matériels offrant le meilleur compromis en fonction des besoins
- Cette réflexion s'inscrit dans une logique de dématérialisation de la saisie de données et de la mutualisation des données et outils (logiciels, bases de données), en lien avec les autres pôles géomatiques qui ont des questions communes (notamment au sein des parcs nationaux).

Constat sur la saisie actuelle sur papier

Moyens humains réduits, saisie à la main des informations

- Sensible aux intempéries
- Risque d'erreur humaine
- Risque de perte
- Phase de re-saisie au bureau

Ce que les applications mobiles permettent :

- Améliorer la qualité des données
- Réduire le temps de retranscription
- Prendre des photos géoréférencées
- Faciliter la saisie des données (listes déroulantes, éviter les erreurs de saisie)

Mais les campagnes GPS se préparent, il faut :

- Préparer ses formulaires
- Charger ses données
- Vérifier que l'application est fonctionnelle
- Avoir testé la récupération des données

Figure 1 : légende de la figure

Conclusion

Les tests réalisés ont mené à la conclusion suivante :

- Agents de terrain convaincus : un gain de temps à la fois sur la saisie, et sur la bancarisation
- Possibilité de mixer les protocoles sur une même sortie de manière plus fluide
- Les tests terrain ont permis de constater que le smartphone était le plus adapté sur un bateau par rapport à une tablette (encombrement)
- Un lien nécessaire et régulier entre chargés de mission et géomaticiens/administrateurs de données
- Une bancarisation efficace et centralisée est garante d'une valorisation optimale des résultats

