



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

Création : Florence Labouy Shem - Photographie : © Shem



24 au 26 novembre 2020
Webconférence

www.merigeo.fr

contact@merigeo.fr

organisé par :



L'édition 2020 de MerIGéo est co-organisée par l'Ifremer, l'Office Français pour la Biodiversité et le SHOM.



Comité d'organisation

Ifremer

Catherine Satra Le Bris

Erwann Quimbert

Mathilde Pitel-Roudaut

Julie Tourolle

Mickaël Vasquez

SHOM

Bénédicte Ezvan-André

Eric Le Guen

Office français pour la biodiversité

Steven Piel

Marie Mahier



Programme de l'édition 2020

Mardi 24 novembre 2020

Introduction par les organismes organisateurs (François HISSEL, Marie-Françoise LEQUENTREC-LALANCETTE et Gilbert MAUDIRE)

SESSION 1 - Initiatives nationales pour le partage des connaissances sur le milieu marin

Le Shom: 300ans d'hydrographie pour la connaissance des océans

LEQUENTREC-LALANCETTE
Marie-Françoise, Shom

Le Système d'Information pour le Milieu Marin - présentation générale

LECHENE Alain, ministère de la
transition écologie

Le Système d'information pour le milieu marin (SIMM) : urbanisation et interopérabilité

BIROLLEAU Annie et PIEL
Steven, OFB

Data Terra et le Pôle Odatis - Une Infrastructure de Recherche pour les données marines

SCHMIDT Sabine, UMR5805
EPOC, UMS Data Terra

Le portail national des limites maritimes : vers des données géographiques de référence

LANDART Marion, Shom

La Géoplateforme - L'espace public de l'information géographique

CAJOLY Eric, IGN

A new, collaborative data center for Ocean Renewable Energies

CAYOCCA Kelly, France Energies
Marines

Conférence : Un océan témoin du changement...

**Gilles Boeuf (Sorbonne-
Université et AgroParisTech)**



Mercredi 25 novembre 2020

SESSION 2 - Risques naturels et érosion côtière

Évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte	HEDOU François, Cerema
Analyse spatiale de l'évolution de la ligne de rivage autour de l'embouchure de Rio de Cacheu (Guinée Bissau) entre 1968 et 2019	THIOR Mamadou, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal
OSI : une plateforme web SIG pour restituer la trajectoire de vulnérabilité des territoires littoraux bretons	LEBERRE Iwan, LETG
Suivi multi-fréquence des évolutions morphologiques et des stocks sableux sur un littoral alternant plages de poches et plateformes rocheuses	NICOLAE LERMA Alexandre, BRGM
L'apport des données bathymétriques pour la compréhension de la dynamique des passes du Bassin d'Arcachon	BERNON Nicolas, BRGM
Érosion des falaises de Seine-Maritime - Présentation de travaux mis en œuvre dans le cadre de la stratégie locale de gestion du trait de côte	VIGNE Pierre, Cerema
Levé photogrammétrique "Post-tempête" par ULM - Un outil d'observation et d'analyse des impacts et de la vulnérabilité des côtes sableuses du Roussillon	PALVADEAU Eric, BRGM Occitanie

SESSION 3 - Outils d'aide la décision

RAIE : un outil de cartographie de l'acceptabilité territoriale, pour le réemploi de sédiments d'infrastructure portuaire	MASSON Eric, Laboratoire TVES
Pays de Brest - Simulation de la hausse du niveau des océans à horizon 2100	HENRY Arnaud, Service SIG Brest métropole / Pays de Brest
Formalisation de l'intégration de données géospatiales dans un modèle multi-agents : cas de LittoSIM-GEN	PIGNON-MUSSAUD Cécilia, LIENSs
Mise en place d'un portail géographique dédié à l'aquaculture à destination des acteurs	DELAFENETRE Cécile, Cerema
Descriptif de la méthode Carpediem appliquée à l'analyse des données sur le puffin des Baléares	AUTRET Guilhem, OFB



L'extension de la Réserve naturelle nationale d'Iroise

GIACOMINI Elodie et LE NILIOT
Philippe, OFB

Évaluation de la pression liée à la navigation de plaisance: de nouveaux outils

DUCLOS Gwénaél, WIPSEA

Jeudi 26 novembre 2020

SESSION 4 - Analyse et cartographie des habitats

Distribution et suivi des communautés hydrothermales à partir d'imagerie 3D

GIRARD Fanny, Ifremer

Structure spatiale à multi-échelle de la biodiversité sur les monts sous-marins : approches méthodologiques

HANAFI PORTIER Mélissa,
Ifremer/MNHN

Modélisation statistique de la distribution spatiale des récifs intertidaux d'hermelles en Atlantique

CURD Amélia, Ifremer

Cartographie simultanée des ressources halieutiques et des habitats marins avec un sondeur multifaisceaux

LAMOURET Marie, Seaviews

Les synergies entre EMODnet Seabed Habitat et EMODnet Bathymetry

SCHMITT Thierry, Shom & VASQUEZ
Mickaël, Ifremer

SESSION 5 - Des géotraitements à l'intelligence artificielle

Dynamique sédimentaire sur le prisme sédimentaire picard: migration des dunes subtidales et flux sédimentaires associés

PONSOLLE Justine, Université de
ROUEN - UMR M2C

La géomatique au service d'un événement géologique majeur : la crise sismo-volcanique à Mayotte

PITEL-ROUDAUT Mathilde, Ifremer

Téledétection des herbiers marins océaniques, méditerranéens et tropicaux par LiDAR topobathymétrique

COLLIN Antoine, EPHE-PSL
Université Paris

Levés par lidar bathymétrique aéroporté, dans le cadre du projet Litto3D®, et traitement des données par IA au Shom

PASTOL Yves & LE
DEUNF Julian, Shom



SESSION 6 - Analyse de données satellites

Traitement vidéo en temps réel pour la caractérisation des échouages de sargasses sur les plages caribéennes

VALENTINI Nico, BRGM Occitanie

Détection et suivi automatique des sargasses par télédétection satellite à Haute Résolution spatiale : un service opérationnel

BEGUET Benoit, I-Sea

Étude de faisabilité du suivi environnemental par satellite au sein du Parc naturel marin du golfe du Lion

GERVAIS Mathieu, EID
Méditerranée

Caractérisation de la turbidité naturelle à partir de bases de données satellitaires optiques pour le suivi de travaux en mer

LAFON Virginie, I-Sea

Conclusions du colloque

Laurent COUDERCY (OFB)



Communications orales





SESSION 1 – Initiatives nationales pour le partage des connaissances sur le milieu marin



Le Shom : 300 ans d'Hydrographie pour la connaissance de l'océan

Marie-Françoise Lequentrec-Lalancette⁽¹⁾, Nicolas Pouvreau⁽¹⁾, Thierry Schmitt⁽¹⁾, Yann Ferret⁽¹⁾.

¹ Shom, Brest, France

Introduction

Le Shom est héritier du bureau des cartes et plans de la marine créé en 1720 sous le règne du Régent. Ce court article retrace l'évolution des sciences et techniques dans le domaine de l'hydrographie depuis trois siècles pour l'exploration des océans en France en se basant sur deux observations majeures, la mesure du niveau des mers ainsi que la mesure bathymétrique. La cartographie des mers nécessite à la fois des longues campagnes en mer de mesures et des observations permanentes en statique pour enregistrer les fluctuations de la surface de la mer liées aux marées. L'essor de la technologie a permis d'aboutir à des capteurs numériques de très bonne qualité et de haute résolution. Néanmoins les enjeux liés au changement climatique et notamment à l'atteinte de l'objectif de développement durable n°14 des nations unies : « conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable » nécessitent d'intégrer la connaissance sur un temps long. Dans cette perspective, les mesures anciennes du Shom qu'elles soient cartographiques ou marégraphiques peuvent enrichir les modélisations cartographiques/hydrodynamiques ou d'évolution du niveau de la mer.

Redécouverte des mesures de hauteurs d'eau historiques « inédites » pour l'étude du niveau marin

Les plus anciennes données marégraphiques ont été obtenues grâce à la lecture diurne du niveau marin sur des échelles de marée, et ce dès la fin du XVIIème – début du XVIIIème siècle (Woppelman, 1997). Depuis lors, les méthodes d'observation n'ont cessé de se diversifier et de s'améliorer. L'ingénieur hydrographe Chazallon a mis au point en France au début des années 1840 le premier marégraphe à flotteur opérationnel capable d'effectuer des mesures systématiques de longues durées (Pouvreau, 2008). Sous l'impulsion de cet ingénieur, et porté par un intérêt grandissant pour la marée, le Service Hydrographique (SH) a développé un premier réseau marégraphique le long des côtes françaises (Figure 1): les premiers marégraphes permanents sont déployés à Toulon en 1844, pour la Méditerranée et à Brest en 1846 pour la façade atlantique. Lors de la deuxième moitié du XIXème siècle, ce réseau devient relativement dense sur la côte atlantique, la côte méditerranéenne bénéficie de l'apport du Service de Nivellement Géographique qui démarre les enregistrements de marégraphie à Marseille en 1885 (Coulomb, 2014). Durant la deuxième moitié du XXème siècle, les méthodes de mesures se perfectionnent grâce aux évolutions technologiques : les marégraphes à sonde aérienne, de type acoustique d'abord, puis radar, sont développés et supplantent les marégraphes mécaniques qui ne peuvent transmettre en temps réels leurs mesures (Figure 2). La précision des mesures évolue également grâce à aux nouveaux instruments numériques : de pluri-centimétrique, à millimétrique (Simon, 2007).

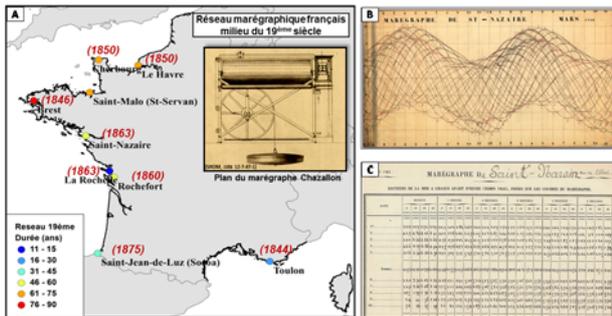


Figure 1: A. Réseau de marégraphes historiques géré par le Service Hydrographique (d'après Pouvreau, 2008) et exemples de documents marégraphiques (B. Marégramme, C. registre de marée).

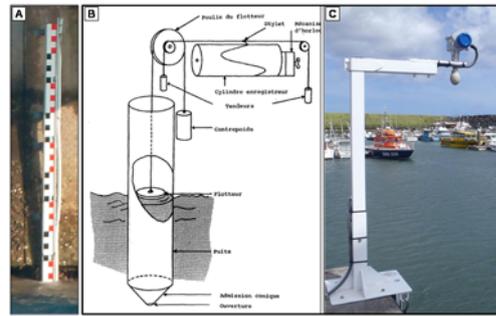


Figure 2 : Evolution des méthodes d'observation côtière du niveau marin : de l'échelle de marée (A) au marégraphe côtier numérique radar (C), en passant par le marégraphe mécanique (B).

Depuis 1992 l'utilisation d'altimètres radar embarqués sur des satellites (Topex/Poseidon, JASON 1, 2, 3, SARAL/AltiKa, ...) permet d'avoir une vision globale de l'évolution du niveau marin et rendent compte de l'inhomogénéité spatiale de ces changements, ce qui n'était pas possible jusqu'alors (Cazenave *et al.*, 2018). Néanmoins, il est toujours nécessaire de calibrer ces mesures faites depuis l'espace avec des mesures marégraphiques in-situ (Bonfond *et al.*, 2011), et cela est d'autant plus essentiel que les produits satellitaires ont tendance à être moins précis près des côtes (Benveniste, 2011). Malgré ce patrimoine scientifique et technique conséquent, beaucoup de ces mesures marégraphiques historiques ne sont pas exploitées car conservées uniquement sous forme papier. Des actions sont menées par le Shom afin de se réapproprier ces observations uniques. Un premier inventaire des archives marégraphiques papier conservées au Shom, soit plus de 2 siècles de mesures, a déjà été réalisé et est en ligne sur le site <http://refmar.shom.fr/dataRescue/>. Après un premier projet réussi portant sur la construction d'une série homogène de mesures de hauteurs d'eau pour le port de Saint-Nazaire avec la recherche, la numérisation, le contrôle des mesures historiques associées aux observations actuelles (Ferret *et al.*, 2018), d'autres travaux sont menés pour plusieurs ports (Socoa – Saint-Jean-de-Luz, Saint-Servan – Saint-Malo et Estuaire de la Seudre).

La mesure du relief : du plomb de sonde au sondeur

La mesure de profondeur d'eau, aussi connue sous le nom de mesure de bathymétrie consiste à déterminer la distance entre la surface de l'eau et le fond marin. Des évidences d'origine égyptienne, indiquent la présence sur une embarcation d'une personne préposée à ce type de mesure, son rôle étant de déployer une corde à l'extrémité de laquelle se trouve une masse lourde. Cette technique d'acquisition est connue sous le nom de plomb de sonde. Ce n'est qu'au XXème siècle que les travaux d'acoustique marine ont commencé à porter leurs fruits avec, en particulier, l'invention du sonar monofaisceau en 1930 dont le principe consiste à mesurer le temps de trajet acoustique entre le sondeur et le fond. Après la seconde guerre mondiale les mesures se multiplient et en 1965 Heezen et Tharp, publient la première carte mondiale du fond des océans. Il faut attendre les années 70 pour la mise au point d'un sondeur multi-faisceaux (Glenn, 1970) et en France en 1977 avec l'installation du Seabeam sur le N/O J. Charcot (Renard et Allenou, 1979). Désormais, un « éventail » de faisceaux sous le bateau permet une imagerie du relief sur une largeur d'environ cinq fois la profondeur d'eau locale. Plus récemment pour cartographier précisément l'estran et la

limite terre-mer, le lidar topo-bathymétrique aéroporté a été mis en œuvre dès 2011 au Shom (<http://data.shom.fr>). Malgré l'avènement de ces systèmes, il est important pour le Shom de préserver et d'exploiter ses archives. De récents projets, en ce sens, ont eu pour but de scanner les minutes et cartes anciennes. Actuellement des efforts sont portés sur la reconnaissance automatisée des caractères et des valeurs de profondeur à l'aide des techniques de traitements d'images modernes associées à celle de l'intelligence artificielle (Figure 3, Réseau de neurone convolutif, par exemple).

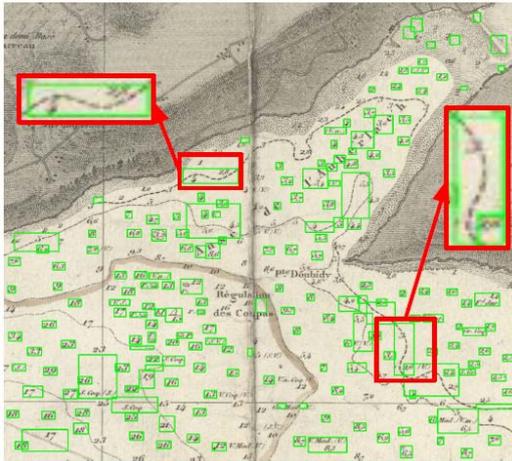


Figure 3 : Détection semi-automatisée des caractères et des sondes par traitement de l'image (exemple en rade de Brest-source Shom)

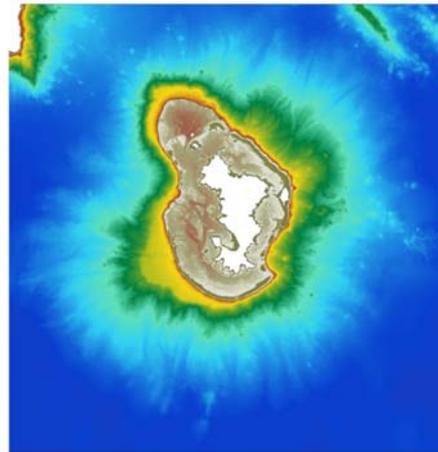


Figure 4 : Compilation de données bathymétriques à proximité de Mayotte, sous forme d'un modèle numérique de terrain (source Shom)

La compilation des mesures (Figure 4) prises à l'aide des technologies modernes d'acquisition de données ainsi que celles provenant de l'exploitation des archives permet de composer, en définitive, la connaissance bathymétrique la plus exhaustive de la zone d'étude, elle-même mise à disposition des usagers soit sous forme de cartes marines ou de modèles numériques de terrain sur le site.

Fusion des observations anciennes: deux exemples

La grande diversité des observations hydrographiques, réalisées et conservées par le Shom depuis 300 ans, permettent, en les compilant, d'étudier des phénomènes plus complexes comme l'influence des modifications morphologiques sur l'hydrodynamisme du littoral depuis le 19ème siècle qui a été étudiée sur le littoral des Hauts de France (Latapy, 2020). L'exploitation des mesures bathymétriques et marégraphiques anciennes a permis de quantifier précisément le déplacement du trait de côte (Figure 5 et 6) et de modéliser ensuite l'hydrodynamisme de la côte d'Opale. Des travaux sont aussi en cours sur l'estuaire du Wouri au Cameroun (YF Fosti, these en cours, LIENSS) à partir de données anciennes du Shom. Dans cette zone, la diminution de la mangrove due en partie aux activités humaines ainsi que l'élévation du niveau de la mer montrent des effets non négligeables sur la morphologie de la côte ainsi que sur l'hydrodynamisme locale.

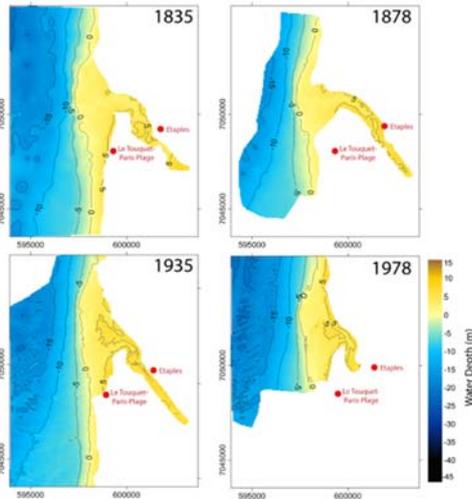


Figure 5 exemple de modèle bathymétrique réalisés dans le secteur de la baie de Canche entre 1835 et 1978 (source : Latapy, 2020)

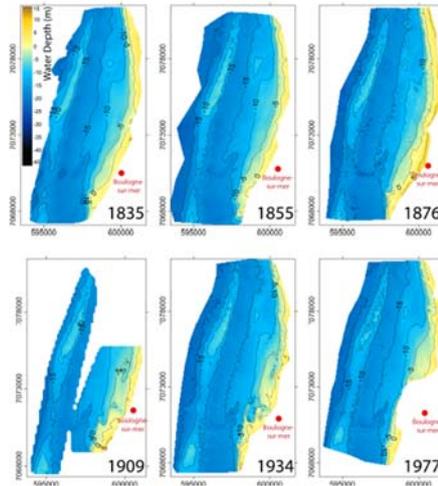


Figure 6 Modèle bathymétrique réalisés dans le secteur de Boulogne-sur-mer entre 1835-1977 (source Latapy, 2020)

Conclusion

La connaissance des océans est en effet, intimement liée à l'évolution technologique des capteurs et des plate-formes d'observation. Depuis Beautemps-Beaupré, la mesure ponctuelle du relief a évolué et a été remplacée par des sondeurs multi-faisceaux tandis que les hauteurs de mer peuvent être mesurées sur les côtes à l'aide de sondeur élaborés et de l'espace par des satellites. Les cartes marines sont devenues des objets numériques. Les enjeux grandissant de la connaissance des océans dus à leurs interactions avec le changement climatique sont désormais bien connus que ce soit pour les variables physiques ou la biodiversité marine. Des mesures incitatives sont nécessaires pour aider les scientifiques et les ingénieurs à réaliser ces objectifs : l'initiative Seabed 2030 est sur ce point essentiel à l'amélioration de la connaissance. Il ne faut pas non plus oublier l'appropriation de ces objectifs par les citoyens illustrée par le développement du « crowdsourcing ». Au cours des années, l'hydrographie a accompagné les politiques des états en participant activement à la découverte de leur territoire marin, leur exploration, leur exploitation raisonnée et à la reconnaissance de leur souveraineté. La reconnaissance des limites maritimes entre états, de zones protégées de l'exploitation intensive est un progrès lié à la connaissance de plus en plus important de l'impact de la santé des océans sur l'Homme et le climat.

Références :

- Guy Woppelmann (1997). Rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence mondial par techniques de géodésie spatiale. Astrophysique [astro-ph]. Observatoire de Paris. Français. (tel-02071389)
- Nicolas Pouvreau (2008). Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest. Climatologie. Université de La Rochelle. Français. (tel-00353660)
- Alain Coulomb (2014). Le marégraphe de Marseille. De la détermination de l'origine des altitudes au suivi des changements climatiques. 130 ans d'observations du niveau de la mer. Presses des Ponts, 633 p. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.8602>
- Simon B. (2007). La marée océanique côtière. Ed. Institut Océanique, 432 pp.
- Cazenave A., Palanisamy H, Ablain M (2018). Contemporary sea level changes from satellite altimetry: What have we learned? What are the new challenges? Advances in Space research, 62, 7, pp1639-1653, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.017>

- Pascal Bonnefond, Pierre Exertier, Olivier Laurain & Gwenaële Jan (2010). Absolute Calibration of Jason-1 and Jason-2 Altimeters in Corsica during the Formation Flight Phase, *Marine Geodesy*, 33:sup1, 80-90, DOI: 10.1080/01490419.2010.487790
- Benveniste J. (2011) Radar Altimetry: Past, Present and Future. In: Vignudelli S., Kostianoy A., Cipollini P., Benveniste J. (eds) *Coastal Altimetry*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12796-0_1
- Ferret Y., S. Lorrette-Riberolles, V. Donato, N. Pouvreau (2018). Intérêt du "Data-Rescue" en marégraphie : des archives papiers à l'étude de l'évolution du niveau marin. Exemple de la reconstruction de la série marégraphique de Saint-Nazaire depuis le 19ème siècle. *JNGCGC 2018 - La Rochelle*, pp. 815-822 - DOI:10.5150/jngcgc.2018.092
- B. Heezen, M. Tharp, M. Ewing, *Geol. Soc. Am. Spec.Pap.* 65 (1959)
- Glenn, M.. F. (2015). Introducing an Operational Multi-Beam Array Sonar. *The International Hydrographic Review*,47(1). <https://journals.lib.unb.ca/index.php/ihr/article/view/23921>
- Renard Vincent, Allenou Jean-Paul (1979). Le sea-beam, sondeur à multi-faisceaux du N/O "Jean Charcot" description, évaluation et premiers résultats. *Revue Hydrographique Internationale*, 56(1), 557-593. Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/5260/>
- Alexa Latapy. Influence des modifications morphologiques de l'avant-côte sur l'hydrodynamisme et l'évolution du littoral des Hauts-de-France depuis le XIXe siècle. *Océanographie*. Université du Littoral Côte d'Opale, 2020. Français. (NNT : 2020DUNK0554). (tel-02899411v2)



Systeme d'information milieu marin (SIMM) : Organiser l'accès aux données environnementales sur le milieu marin

Laurent Coudercy^{1*}, Alain Lechêne²

¹ OFB, Vincennes, France.

² Ministère de la transition écologique

Introduction

L'Etat français a souhaité organiser la production et la diffusion d'informations environnementales portant sur trois domaines : le milieu aquatique, le milieu marin, et la biodiversité. Ainsi l'article R131-34 du code de l'environnement, prévoit de créer et faire vivre trois organisations de pilotage autour des systèmes d'information sur l'eau, sur le milieu marin et sur la biodiversité, leur coordination technique étant assurée par l'OFB sous le pilotage stratégique du MTES. Cette organisation est formalisée dans un schéma national des données, validé par arrêté ministériel.

Celui sur le Systeme d'Information Milieu Marin (SIMM), le SNDMM (schéma national des données sur le milieu marin) a été publié le 8 juillet 2019.

Le SIMM, un système d'information « fédérateur »

Le SIMM est donc un système d'information fédérateur, c'est à dire un système d'information (SI) regroupant, autour d'une thématique, les données venant de plusieurs SI métiers, afin de répondre aux besoins de connaissance sur un domaine particulier.

Un SI métier répond directement à une politique publique spécifique, p. ex. la gestion des aires marines protégées, ou la directive cadre stratégie pour le milieu marin. Chaque SI métier dispose d'un pilotage technique et organisationnel – plus ou moins structuré – qui lui est propre. Il produit ou collecte des données utiles à la politique visée, qu'il organise dans un à plusieurs observatoires ou banques de données. Les SI métiers sont coordonnés par les SI fédérateurs, dans un but d'efficience et d'économie. Un même SI métier peut être utile à plusieurs Si fédérateurs.

Les liens entre les 3 SI fédérateurs et les SI métier sont illustrés sur la figure 1.

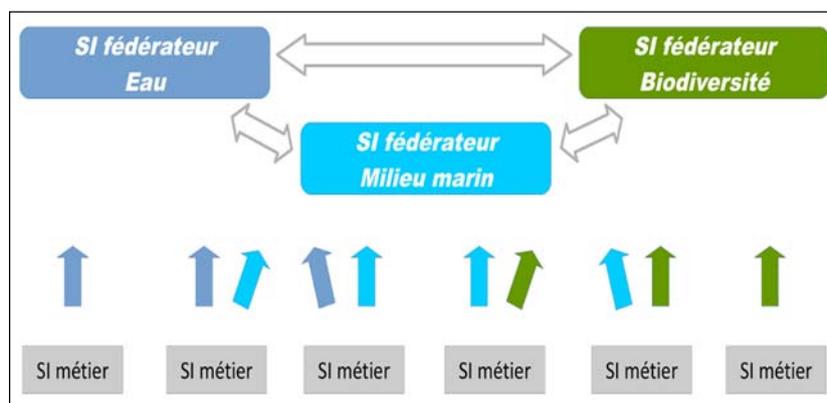


Figure 1 : Liens entre les systèmes d'information fédérateurs (dont le SIMM) et les systèmes d'information métiers.

Les objectifs du SIMM

Le SIMM a pour vocations principales de :

- Faciliter l'accès du public à une information fiable, le plus à jour possible et facilement compréhensible, à travers de son portail, mais aussi des sites des SI métiers ;
- Organiser les données nécessaires à la mise en œuvre, l'orientation et l'évaluation des politiques publiques ;
- Assurer le décloisonnement et l'interopérabilité des données gérées par les différents services publics ;
- Permettre le rapportage à la Commission européenne, à l'Agence européenne de l'environnement et aux organismes internationaux ;
- Organiser la contribution réciproque avec les infrastructures de recherche.

Le SIMM s'inscrit évidemment dans la politique publique de diffusion libre et gratuite des données environnementales (politique open data découlant de la loi Lemaire, et convention d'Aarhus pour l'accès aux données environnementales).

Périmètre géographique et fonctionnel du SIMM

Périmètre géographique : métropole et outremer

Le périmètre géographique du SIMM englobe le littoral et les espaces maritimes relevant de la souveraineté ou de la juridiction de la République française (ordonnance^o2016-1687 du 8 décembre 2016).

Politiques publiques couvertes par le SIMM

Les politiques publiques couvertes par le SIMM sont listées ci-après :

- les conventions des mers régionales (OSPAR, Barcelone, Nairobi, etc.),
- la réglementation sur les usages de l'eau,
- les Installations Classées pour la protection de l'environnement (ICPE),
- la gestion des installations de production d'énergie renouvelable en mer,
- les autorisations d'occupation temporaire du domaine public maritime,
- les informations découlant des études d'impact sur l'environnement,
- les contrôles de la police de l'eau et de la nature,
- le suivi des mesures compensatoires,
- la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM),
- la directive cadre pour la planification de l'espace maritime (DCPEM),
- les aides et redevances des agences et des offices de l'eau,
- les pollutions accidentelles (navigation, exploration et exploitation de la mer, etc.),
- la qualité des eaux de baignade,
- la sécurité sanitaire des produits de la mer,
- les espèces envahissantes,
- les espèces protégées,
- les aires marines protégées, la protection des mangroves et des récifs coralliens,
- système d'information sur les inventaires du patrimoine naturel (SINP),
- les sites Natura 2000,
- la directive cadre sur l'eau,
- les contrôles environnementaux en mer et sur l'estran.

Enfin des données venant des politiques relatives aux principales activités, représentant pour le milieu marin une pression (pêche, port, trafic maritimes, énergies marines renouvelables, artificialisation, granulats marins, câbles de communication ...) pourront être mobilisées par le SIMM.

Des SI métier à structurer

Le SNDMM recense, de manière non limitative, les SI métiers qui contribuent au SIMM. Ces SI métiers peuvent également contribuer au SI Eau ou au SI Biodiversité. L'organisation de chaque SI métier, et sa contribution au SIMM, sera décrite dans un document, appelé schéma annexe, qui sera annexé au SNDMM. De nouveaux SI métiers pourront se rattacher ultérieurement au SIMM, à l'occasion de la rédaction de leur schéma annexe.

Le référentiel technique du SIMM

Le référentiel technique du SIMM est le garant de l'interopérabilité des données, non seulement au sein du SIMM, mais avec le SI Eau et le SI Biodiversité, et avec les standards européens et internationaux. Il est en train d'être défini en s'appuyant, autant que possible sur les référentiels existants, à la fois au niveau national et international.

Le référentiel du SIMM est administré et diffusé par une instance spécifique : le SAR (Service d'administration des référentiels marins), équivalent du SANDRE pour le SI Eau. Le SAR s'appuie sur les acteurs du SIMM ; son secrétariat est assuré par Ifremer.

Gouvernance : une organisation pour la coordination

La gouvernance du SIMM repose sur plusieurs types d'instances :

- Un comité de pilotage stratégique : le CNP DMM (conseil national de pilotage de la mise en œuvre des directives relatives aux milieux marins) renommé CNP Bleu ;
- Un comité technique de coordination (CT SIMM), qui assure le pilotage technique global du SIMM et qui encadre les travaux menés dans les deux groupes techniques « urbanisation » et « langage commun » ;
- Des groupes spécialisés mis en place selon les besoins : p. ex. pour assurer le pilotage de projets informatiques (banques de données, portails), le pilotage des SI métiers ou la rédaction des éléments de langage commun ;
- Deux instances consultatives des usagers.

La figure 2 récapitule la gouvernance du SIMM et le lien entre les différentes instances. Dans les faits, le comité technique SIMM et les groupes techniques urbanisation et langage commun sont déjà constitués et se réunissent sur une base régulière.

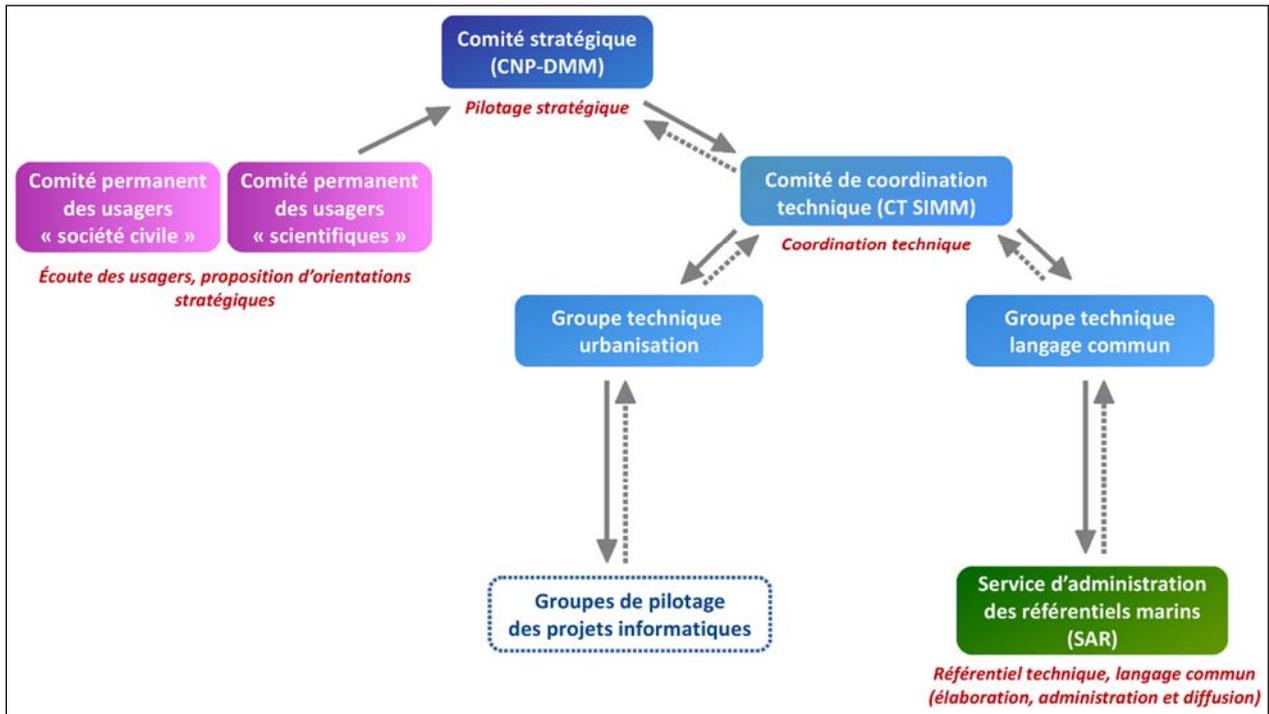


Figure 2 : Gouvernance du SIMM et lien entre les différentes instances.

Les moyens de diffusion et d'information en ligne du SIMM

Outre les sites et outils de diffusion des différents SI métiers déjà existants (Géolittoral, datashom, site Aires Marines Protégées, Sextant, Quadriga, ...), le SIMM se dote progressivement d'outils de diffusion et de portails d'accès aux ressources propres au SIMM.

Le portail milieumarinfrance .fr

Le portail milieumarinfrance.fr offre au public des services de recherche, consultation, transformation et téléchargement des données du milieu marin. Il recense en particulier les sites publics de diffusion des données sur le milieu marin déjà existants.

Le portail des océans Indien et Austral

Né des volontés des acteurs publics de Mayotte, la Réunion et des TAAF, le portail des océans Indien et Austral a pour vocation d'être le pendant local du portail national, en fournissant un accès direct aux données du territoire.

Le site de l'observatoire national de la mer et du littoral

L'observatoire national de la mer et du littoral (ONML), géré par le service statistique du ministère en charge de l'environnement, fournit depuis plusieurs années déjà des données de synthèse sur le milieu marin en général.

Le site d'accès aux référentiels du SIMM

Le SIMM se dote progressivement de données de référence et de modèles de données qui visent à faciliter l'interopérabilité au sein du SIMM et avec d'autres systèmes d'information. Ces données et documents seront accessibles librement à tous sur un site qui se mettra en place en 2020.

Le site d'accès aux données rapportées par la France

Les données rapportées par la France dans le cadre de directives européennes ou de conventions internationales sur le milieu marin représentent des photographies organisées de la connaissance et de l'action publique à un instant particulier. Leur diffusion publique sera progressivement organisée.



Système d'information milieu marin (SIMM)

Urbanisation et interopérabilité

Annie BIROLLEAU¹, Christian BONNET², Antoine HUGUET³, Glenn JUDEAU², Steven PIEL⁴, Clémence RABEVOLO², Armelle ROUYER²

¹ OFB, Vincennes, France

² Ifremer, Plouzané, France

³ Ifremer, Nantes, France

⁴ OFB, Brest, France

Introduction

Pour la mise en œuvre du SIMM, son comité de coordination technique s'appuie sur deux groupes spécialisés, le groupe de pilotage de l'Urbanisation et le groupe de pilotage du Langage Commun. Les deux fonctionnent selon leurs propres cadres, leurs propres règles et partagent des objectifs communs visant l'interopérabilité.

La démarche d'urbanisation

Les missions du groupe de pilotage de l'Urbanisation sont :

- Le recueil des besoins des différents acteurs dans l'objectif de définir les buts métier du système,
- La définition des grands principes d'architecture, applicables à l'ensemble des partenaires du système,
- La fourniture d'une représentation de l'organisation du système et notamment de son périmètre fonctionnel,
- La définition des conditions de mise en œuvre et des priorités en définissant des calendriers et un chemin critique des réalisations.

Le cadre de réalisation de ces missions est donné par :

- Les documents [Cadre commun d'urbanisation du SI de l'Etat](#) (DISIC) et Cadre de référence d'urbanisation des systèmes d'information (DGALN),
- Le [Schéma National des Données sur le Milieu marin](#) (SNDMM),
- La coordination inter Système d'Information (InterSI) qui assure l'harmonisation des pratiques entre les 3 SI fédérateurs SI Eau (SIE), SI Biodiversité (SIB) et SIMM du ministère de la transition écologique et solidaire (MTES),
- La forte influence des directives cadres Stratégie pour le milieu marin (DCSMM) et Planification de l'espace maritime (DCPEM) notamment sur les actions de recensement des données et de rapportage.

La méthodologie employée pour l'urbanisation s'appuie au départ à la fois sur des documents de référence mais aussi sur une expression de besoin de l'ensemble des acteurs du milieu marin. Elle produit des documents de référence, sur lesquels pourront s'appuyer tous les acteurs du SIMM. Elle s'appuie principalement sur les recommandations de l'organisme de standardisation TOGAF, The Open Group Architecture Framework.

L'élaboration de l'architecture SIMM prévoit un développement itératif sur 3 niveaux :

- Architecture conceptuelle représentée par les buts métiers et les grands principes,
- Architecture métier (organisationnelle et fonctionnelle) qui consiste à définir l'organisation et la cartographie des données par SI métiers, les acteurs et rôles ainsi que le découpage en fonctions et services à rendre par le système,
- Architecture applicative ou technologique qui définit les composants techniques de mise en œuvre des architectures conceptuelle et métier. Il s'agit par exemple non seulement d'identifier des technologies mais aussi d'aller plus loin dans la cartographie des données en identifiant par exemple les banques concernées.

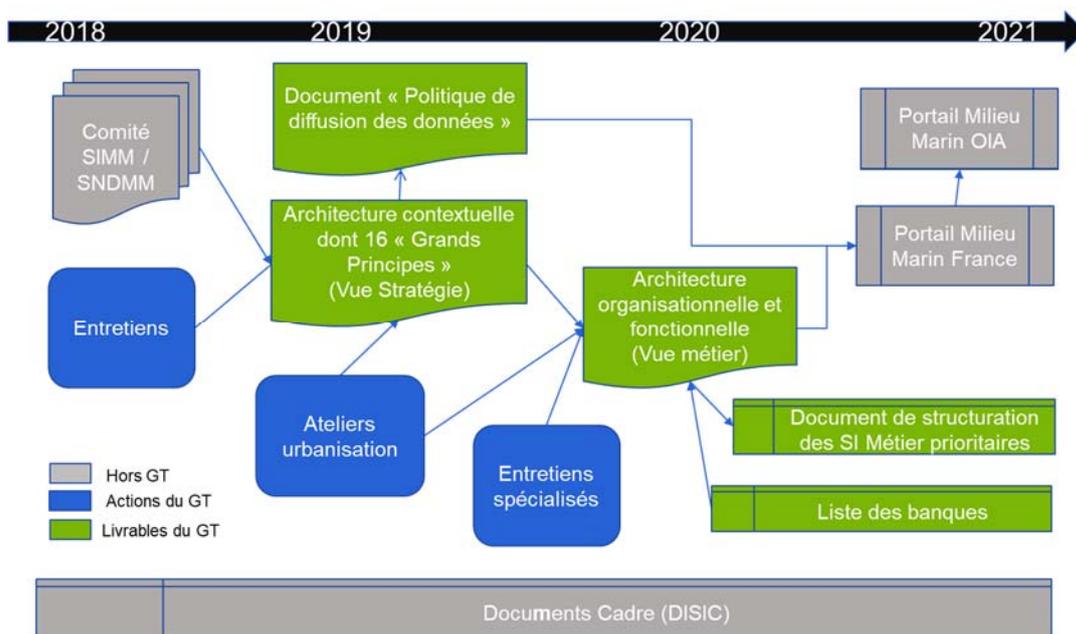


Figure 1 : Méthodologie pour le chantier d'urbanisation

Le planning global a ainsi prévu (figure 1) :

- Une étape de recueil des besoins sous forme d'entretiens
- Une étape de définition des grands principes de l'architecture

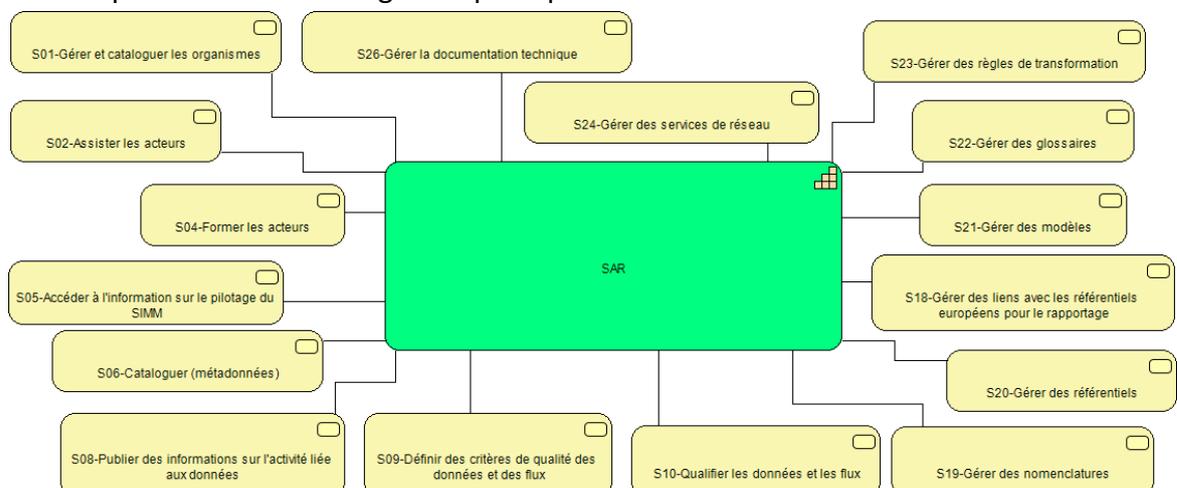


Figure 2 : Liste des services du Service d'Administration des Référentiels

- Une étape de définition du périmètre fonctionnel, par exemple découpage du SAR en services (figure 2) et d'organisation du système pour le rendre compréhensible et pour générer la Cartographie des SI et outils (Architecture applicative)

Vers un langage commun

Le service d'administration des référentiels marins (SAR) est en charge de mettre en place les moyens permettant de proposer un langage commun et d'assurer l'élaboration des éléments du référentiel technique du SIMM.

Les missions du SAR sont multiples :

- Le recueil des besoins des usagers et des producteurs de données,
- La production de spécifications concernant les données et leur partage au sein du SIMM (dictionnaires de données, scénarios d'échange),
- L'administration et la diffusion des données de référence,
- L'appui technique aux acteurs des systèmes d'information métiers,
- Le lien avec les autres SI fédérateurs et la participation à des groupes de travail nationaux et internationaux sur la standardisation (cf. figure 3).

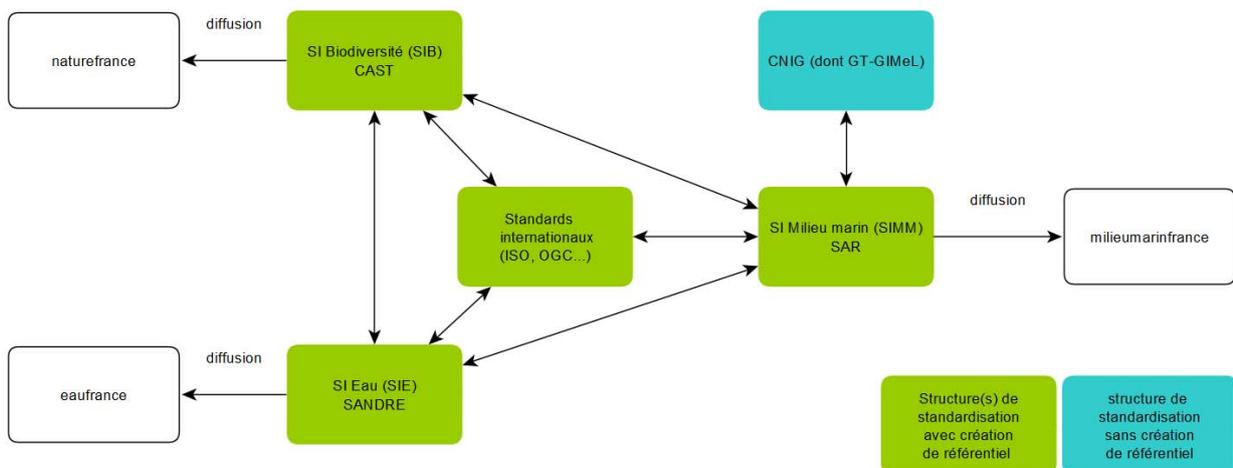


Figure 3 : participations croisées et principe de subsidiarité entre structures de standardisation

Le cadre de réalisation de ses missions est donné principalement par le groupe de pilotage du Langage Commun (instance propre au SIMM) qui pilote et priorise les travaux du SAR. Une autre instance dénommée groupe référentiels communs aux SI fédérateurs (SIMM, SIE et SIB) garantit et simplifie l'interopérabilité entre ces trois SI fédérateurs. Enfin, le document Cadre commun d'Architecture des Référentiels de données et le respect des recommandations européennes et internationales en matière d'interopérabilité sont des principes importants guidant les travaux du SAR. A ce titre, le SAR participera à partir de 2020 aux travaux TG DATA qui émet des recommandations relatives à la Directive Cadre Stratégie sur le Milieu Marin (DCSMM).

Afin d'éviter de recréer du contenu et de tendre vers une mutualisation des moyens, le SAR a pour principe d'essayer dans la mesure du possible d'utiliser un référentiel existant. La décision de créer

un nouveau référentiel n'est envisagée que dans le cas où aucun référentiel n'existerait, ou si l'existant serait trop loin des besoins du SIMM (cf. figure 4).

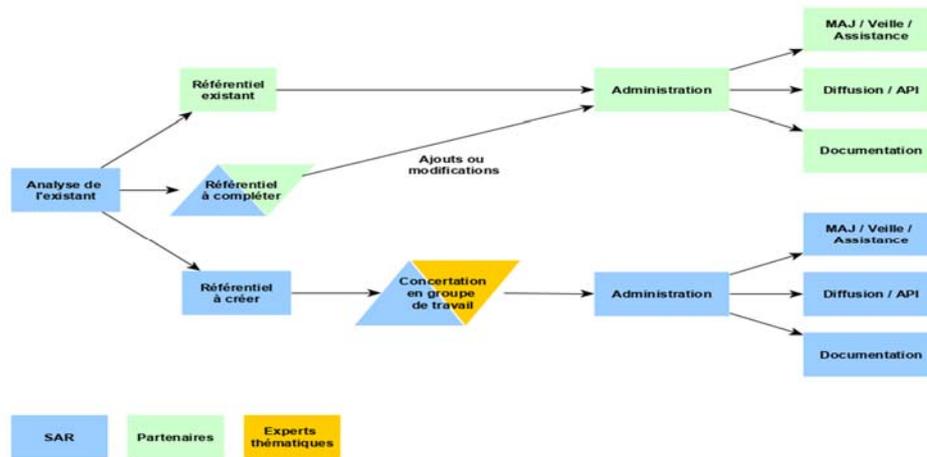


Figure 4 : Procédure de mise en place d'un nouveau référentiel.

Les travaux du SAR ont véritablement commencé fin 2018. L'équipe du SAR est donc encore dans une phase de mise en place de son organisation et de ses outils. Le portail <https://sar.milieu marin france.fr/> (version 0) assure la diffusion des contenus du SAR, notamment tous les documents produits par celui-ci : document d'organisation du SAR, mandats, documents de conclusion, etc. Il propose également un point d'accès direct aux référentiels (géographiques et alphanumériques) ainsi qu'aux modèles de données.

En 2019 et début 2020, le SAR a effectué deux analyses qui ont abouties à l'adoption du référentiel d'appellation taxonomique et du référentiel des interlocuteurs, tous deux administrés par le SANDRE (SIE), pour le SIMM. En 2020, le groupe de pilotage du Langage Commun a mandaté le SAR pour travailler sur les référentiels de données concernant : les paramètres, les ports, la qualification des données, ainsi que les ouvrages (artificialisation).

Courant 2020, une nouvelle version d'un portail internet dédié au SAR verra également le jour et proposera des fonctionnalités supplémentaires, qui auront pour vocation à être enrichies au fur et à mesure. L'équipe du SAR travaille en partenariat avec le groupe de pilotage de l'Urbanisation sur la mise en place de ses outils de travail, en particulier un outil de modélisation, un outil de registre ou encore un outil de gestion et de suivi des demandes utilisateurs.

Conclusion

La mise en œuvre d'une démarche commune aux différents acteurs du milieu marin et articulée en matière d'urbanisation et d'interopérabilité contribue ainsi au partage et à l'accessibilité des données. Ce référentiel technique du SIMM est le garant de l'interopérabilité des données, tant à l'échelle nationale (au sein du SIMM mais également avec les autres SI fédérateurs), qu'avec les standards européens et internationaux, particulièrement prégnants s'agissant du milieu marin.

Data Terra et le pôle ODATIS - Une Infrastructure de Recherche pour les données marines

Sabine Schmidt^{1*}, Gilbert Maudire², Cécile Nys², Joël Sudre³, Valérie Harscoat², Caroline Mercier⁴, Gérald Dibarboure⁵, Frédéric Hyunh⁶

¹CNRS, OASU, UMR5805 EPOC, Université de Bordeaux, Pessac, France

²Ifremer, Centre de Bretagne, Plouzané, France

³CNRS, OMP, LEGOS, UMR 5566, Toulouse, France.

⁴Akka, Toulouse, France.

⁵CNES, Toulouse, France.

⁶UMS CPST, Coordination Pôles de données et de services pour le Système Terre, Montpellier, France.

Contexte

L'océan est le plus grand compartiment de la Terre, et les conséquences actuelles et attendues du changement global sont multiples : augmentation de la température et du niveau de la mer, tempêtes plus fortes, acidification, désoxygénation et impacts sur les écosystèmes. Mais la détection des changements et des impacts est encore difficile à mettre en évidence en raison de la grande variabilité des environnements océaniques, du littoral aux gyres océaniques, et de la disponibilité des données. Les décennies récentes ont toutefois vu une nette augmentation du nombre d'observations marines et côtières, que ce soit par des mesures *in situ* ou issues de la télédétection. Le nombre et la variété des acquisitions nécessitent désormais des outils efficaces pour mettre à la disposition de la communauté des chercheurs des quantités de données aussi importantes. Ces observations doivent également être accessibles à un large public, des scientifiques vers les gestionnaires et les citoyens. La mise en œuvre d'une telle approche doit être coordonnée au moins au niveau national pour atteindre un niveau d'interopérabilité adéquat.

Data Terra : une ambition nationale pour les données d'observation

Initiée en 2013, sur la base du rapport final du groupe de travail créé à l'initiative du CNES et du CNRS-INSU, et inscrite dans la mise à jour 2016 de la feuille de route des infrastructures de recherche françaises, Data Terra est l'infrastructure française de recherche pour la gestion et le traitement des données d'observation de la Terre. Dans ce cadre, les données produites par les infrastructures et les systèmes d'observations labellisés mettant en œuvre satellites et observatoires terrestres, côtiers et marins, dans les quatre domaines Atmosphère, Océan, Surfaces Continentales et Terre Solide sont maintenant prises en charge par quatre pôles de données thématiques : AERIS (Atmosphère), ODATIS (Océan), THEIA (Surfaces continentales) et FORM@TER (Terre solide) (Figure 1). L'infrastructure Data Terra travaille également en coopération avec le Pôle National des Données de Biodiversité (PNDB), en charge des données de la biosphère. L'objectif de Data Terra, à travers ses pôles, est de fournir un large accès aux données géoréférencées, produits, logiciels, outils et/ou services sur le système Terre réalisés par la communauté scientifique française.

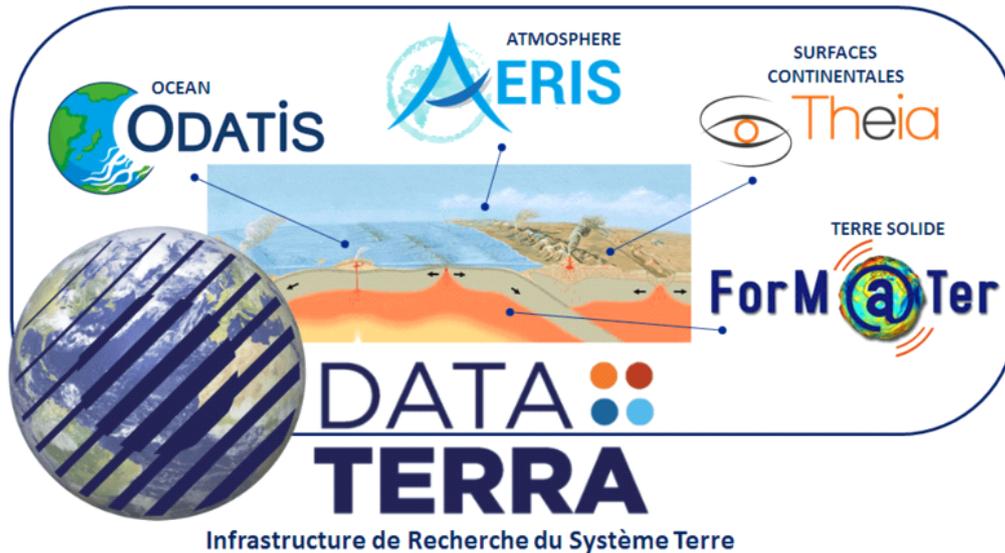


Figure 1 : L'Infrastructure de Recherche Data Terra et les quatre pôles de données thématiques

ODATIS: le pôle de données Océan

ODATIS (www.odatis-ocean.fr) est le point d'entrée pour accéder à l'ensemble des données françaises d'observation de l'océan. Le pôle de données Océan réunit 6 organismes : CNES, CNRS, Ifremer, IRD, Shom, ainsi que le réseau des Universités Marines. L'OFB (Office Français de la Biodiversité) rejoindra également prochainement le pôle.

Ses objectifs sont de promouvoir et de faciliter l'utilisation des observations océaniques, de contribuer à la compréhension de l'océan et de ses interactions avec les autres composantes de la Terre. Les données gérées par ODATIS comprennent les variables de toutes les disciplines marines (physique, chimie, biologie...), quelle que soit la technique utilisée (satellites, observatoires *in situ*, campagnes de terrain, analyses en laboratoire). ODATIS a donc la charge des observations marines et des données élaborées associées, du littoral au large, et de la surface au fond de l'océan, en physique, chimie et biologie. Les interfaces avec les autres domaines sont nombreuses, terre/mer sur le littoral, océan/atmosphère, océan/sous-sol océanique, et des moyens d'observations souvent mis en commun.

Afin de favoriser l'utilisation des observations océaniques, les principaux objectifs d'ODATIS sont les suivants :

- Offrir une vision globale des observations *in situ* et satellitaires et de leurs produits dérivés ;
- Faciliter l'accès, via un portail unique, à des bases de données entièrement décrites, localisées et qualifiées, en accord avec les normes scientifiques actuelles ;
- Franchir les frontières de l'espace, du temps et des disciplines en assurant l'interopérabilité des ensembles de données ;
- Favoriser l'utilisation combinée de données de nature (*in situ*/satellite) ou d'origine (réseaux opérationnels/expériences scientifiques) différentes ;

- Aider à extraire des informations des bases de données en proposant des outils d'exploration, d'extraction et d'analyses, ainsi que des moyens informatiques ;
- Assurer la conservation à long terme de l'ensembles de données.

L'organisation du pôle de données Océan ODATIS

Le catalogue

Le portail d'ODATIS donne accès au catalogue. Ce catalogue propose plusieurs outils de services d'accès aux données : recherche avec des filtres de sélection, description de la donnée, visualisation, et téléchargement (direct ou via le portail local des partenaires). Les données gérées étant par nature géoréférencées, les dispositions et protocoles relatives à ce type s'appliquent : directive Inspire, métadonnées de la famille ISO 19115, protocoles d'interopérabilité OGC... Ainsi, le catalogue du pôle de données Océan utilise les services et l'interface logicielle du serveur Sextant.

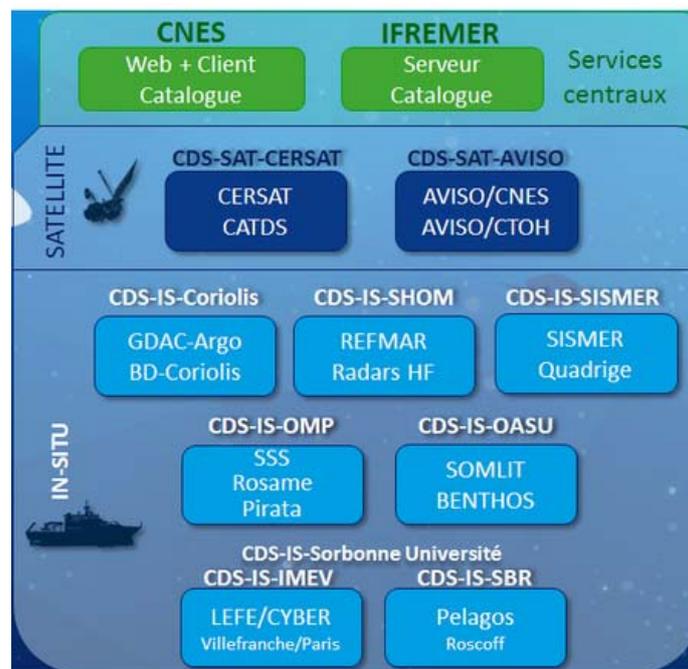


Figure 2 : Les Centres de données et Services d'ODATIS

Les Centres de Données et Service

Pour atteindre ses objectifs, ODATIS s'appuie sur un réseau de Centres de Données et de Services (CDS) qui assurent le travail de gestion et/ou traitement des données. Les CDS *in situ* reposent sur des observations collectées avec des systèmes déployés depuis des navires ou engins dérivants, des ballons, des équipements fixes à terre ou en mer. Ces données peuvent être produites par le biais de services d'observations, de chantiers ou de campagnes à la mer. Les CDS satellites reposent sur des observations collectées par des instruments et des capteurs installés sur des satellites.

Les ateliers techniques

Le pôle de données Océan - ODATIS propose chaque année plusieurs ateliers techniques (www.odatis-ocean.fr/activites/ateliers-techniques) réunissant les partenaires autour de présentations et tables rondes pour définir les orientations techniques du pôle. Des mises en



pratique sont également organisées sur la base d'exercices d'application de plusieurs logiciels de visualisation, d'analyse et de traitement de la donnée.

Les consortiums d'expertise scientifique

Le pôle de données Océan - ODATIS s'appuie sur des Consortiums d'Expertise Scientifique (CES, www.odatis-ocean.fr/activites/consortium-dexpertise-scientifique) afin de promouvoir et de valoriser des méthodes de traitement et des produits innovants d'observation spatiale, aéroportée ou *in situ* de l'océan et de ses interfaces (atmosphère, littoral et sous-sol sous-marin) avec les autres pôles de données (AERIS, THEIA et FORM@TER).

Conclusion

L'océan est un milieu évolutif dans un contexte de changements globaux, chaque observation est précieuse car non reproductible : elle témoigne d'un état à instant précis et contribue à la constitution de séries temporelles caractérisant les tendances et permettant de les modéliser et comprendre sa trajectoire. Les scientifiques doivent relever ces défis dans un esprit d'éthique, de transparence et de reproductibilité des résultats. Dans ce contexte, l'application des principes FAIR aux données d'observation de la Terre est une priorité absolue pour ODATIS. Les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) visent à rendre les données découvrables, accessibles, interopérables et réutilisables. Harmoniser les procédures de gestion de données, en application des principes FAIR, est d'ailleurs une ambition partagée par l'ensemble des pôles thématiques de l'IR Data Terra, afin d'accéder de manière transparente à toutes les données du système Terre, et notamment à celles aux interfaces, telles que Océan/Atmosphère, Continuum Terre/Mer.

Vers des données géographiques de référence: l'exemple du portail national des limites maritimes

Marion LANDART¹

¹ SHOM, France

Introduction

C'est la convergence de trois constats que sont : le manque de visibilité des données de référence des délimitations maritimes, une préoccupation toujours plus grandissante de planification des espaces maritimes et enfin la volonté d'une transition numérique de l'Etat, qui a permis la création du portail national des limites maritimes.

L'ordonnance n° 2016-1687 du 8 décembre 2016 d'une part, transcrit dans le droit français les délimitations maritimes définies dans la Convention des Nations unies sur le droit de la Mer (CNUDM) –Montego Bay, dec 1982- et permet d'autre part, la création du portail national des limites maritimes comme moyen de publication officiel de ces dernières. Il faudra attendre le décret n°2017-821 du 5 mai 2017 pour que les modalités d'élaboration du portail soient décrites. C'est lors de la journée mondiale de l'océan le 8 juin 2018 qu'il est inauguré. L'agrément en .gouv.fr et la version en anglais permettent d'inscrire le portail dans une démarche de cohérence de la diffusion des données nationales et de lui donner une visibilité plus importante à l'étranger.

Les acteurs du portail

Les orientations relatives à l'exploitation et à la gestion du portail sont prises par un comité de pilotage (COFIL) présidé par le secrétaire général de la mer (SGMer). Sont également représentés dans ce comité de pilotage : le ministère des affaires étrangères, le ministère chargé de la mer, le ministère des armées, le ministre chargé de l'environnement, ministère chargé des outre-mer et le Shom.

Le Shom est également responsable de la conception et de la mise en oeuvre du portail (cf. art 2 du décret n°2017-821 du 5 mai 2017).

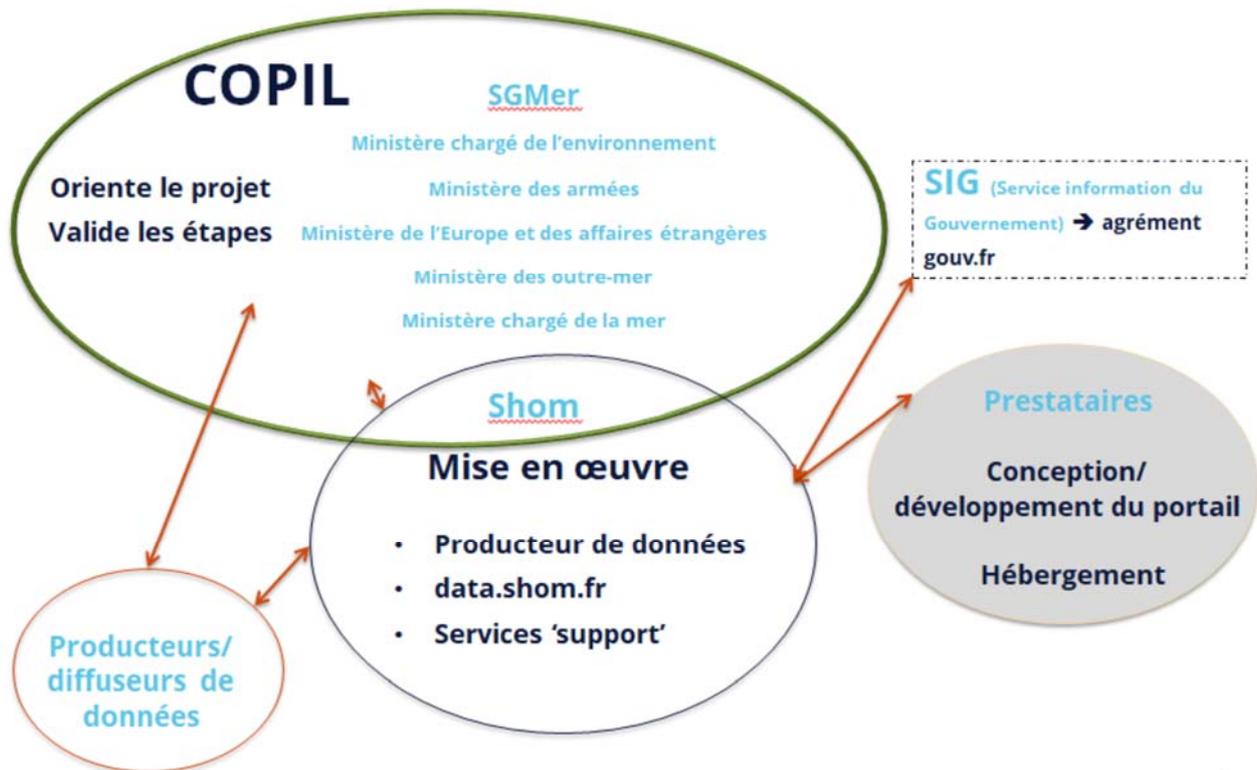


Figure 1 : Les acteurs du portail national des limites maritimes

Le portail actuel

La première étape de la construction du portail national des limites maritimes a été de porter à la connaissance du plus grand nombre d'utilisateurs de l'information sur les délimitations maritimes qui sont : la limite de la mer territoriale, la limite de la zone contiguë, la limite de la zone économique exclusive, la limite du plateau continental.

On peut distinguer plusieurs types d'information concernant ces limites :

Tout d'abord du contenu éditorial

- La mise à disposition des liens juridiques Légifrance des textes en vigueur des limites d'espaces maritimes ou les accords avec les pays voisins. (Ressources / Références légales en vigueur)
- Un tableau de superficies comptabilisées par type d'espaces et par régions de souveraineté (Ressources / superficie)
- Des pages à visée plus pédagogique comme les explications sur les méthodes d'élaboration de ces limites.
- Des cartes illustratives représentant toutes les délimitations d'une même région de souveraineté ou juridiction française (ressources/ cartotheque) sont aussi proposées en téléchargement libre
- Des définitions des différentes délimitations et limites maritimes (ressource/glossaire)

Le portail national des limites maritimes offre aussi la possibilité d'accéder à la donnée géographique à travers l'onglet -carte interactive-.

C'est le portail data.shom.fr qui permet de visualiser les données géographiques, donnant à l'utilisateur la possibilité de l'interroger et d'accéder à sa métadonnée conformément aux exigences de la directive européenne Inspire. L'onglet « carte interactive » permet également de télécharger les données en formats shape /GML. L'utilisation des données en flux étant de plus en plus importante et recommandée pour avoir une donnée à jour, des flux WFS/WMS sont aussi disponibles sur cette page.



Figure 2 : Présentation des principales fonctions du portail national des limites maritimes

Depuis 2019 d'autres données sont accessibles via le portail :

- les limites relatives à la pêche des 3, 6 et 100M (DPMA),
- les limites relatives à la redevance archéologie, 1M (DRASSM)
- des limites administratives : limites de salure des eaux, limites des affaires maritimes, limites transversales de la mer.

Toutes élaborées par le Shom en partenariat avec les autorités référentes, elles sont venues enrichir la partie carte interactive du portail national des limites maritimes.

Le portail national des limites maritimes se développe pour répondre aux besoins institutionnels de consultation de données géo-référencées de réglementation et de planification.

L'article 4 du décret n°2017-821 du 5 mai indique que « Sous réserve d'approbation par le comité de pilotage prévu à l'article 3, les limites des espaces maritimes particuliers situés à l'intérieur des espaces maritimes relevant de la souveraineté ou de la juridiction de la République française et découlant de la mise en oeuvre de politiques publiques en mer peuvent être publiées sur le portail national des limites maritimes, à la demande des services de l'Etat ou de ses établissements publics».

Le CIMer-2018- a adopté comme mesure 77 : « L'État développe la lisibilité et l'accessibilité à tous aux principales réglementations françaises applicables en mer en poursuivant le développement du portail national des limites maritimes. »

En lien avec ces deux références, le comité de pilotage du portail a demandé l'étude de l'intégration de nouvelles limites réglementaires : limites relatives à la protection de l'environnement en mer, à la régulation de la circulation maritime et à l'occupation du domaine public maritime. Le périmètre précis des nouvelles données à intégrer est en cours d'élaboration.

La réflexion porte, en particulier, sur l'identification des différents acteurs exerçant les responsabilités liées à la publication de ces données géographiques. Il est ainsi important de bien identifier pour chaque donnée, son producteur et son diffuseur (cf. schéma ci-après). Le portail national des limites maritimes étant ensuite considéré comme un utilisateur des données.

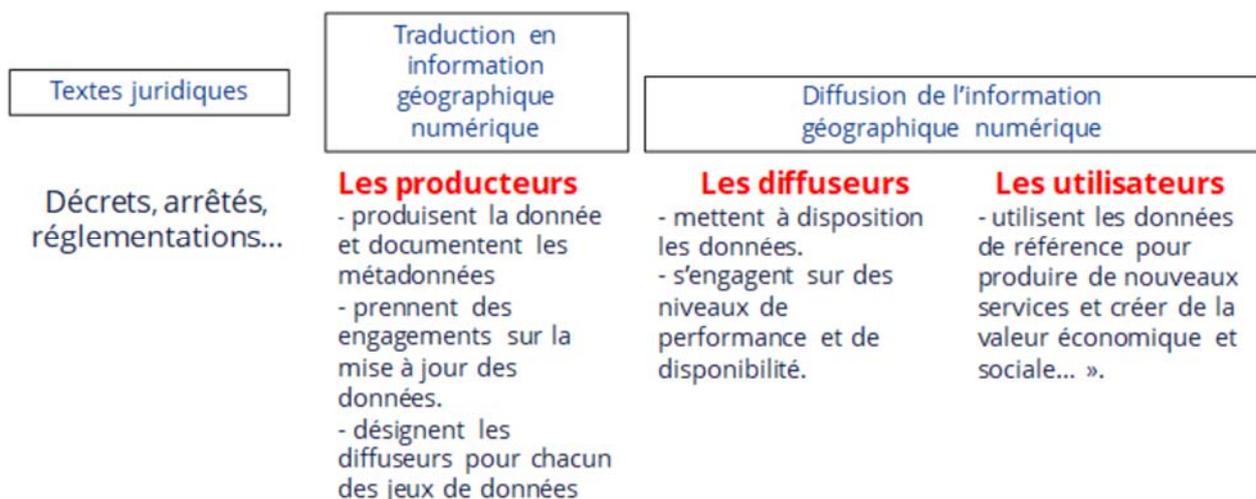


Figure 3 : Différents rôles dans la diffusion de l'information géographique

Jusqu'à présent les données disponibles dans le portail national des limites maritimes sont des données diffusées par le Shom. Désormais le travail consiste à intégrer de nouvelles données sur le portail comme par exemple les limites des aires marines protégées produites et diffusées par l'OFB. Les enjeux pour cette deuxième étape sont de rassembler sur une même interface des données de



de différents producteurs en permettant leur visualisation ainsi que l'accès aux informations attributaires associées (métadonnée, légende). Ce travail demande d'une part des données en flux homogènes de la part des producteurs et/ou diffuseurs et un outil capable de les diffuser dans leur intégralité.

Une refonte du portail afin d'assurer la cohérence du contenu éditorial quelques soient les limites sera réalisée dans un second temps.

Le portail national des limites maritimes a atteint les premiers objectifs fixés par son comité de pilotage qui étaient de rendre accessible au plus grand nombre dans le respect de la norme Inspire les délimitations maritimes. Dans un contexte d'enjeux forts liés à la planification de l'espace maritimes tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle européenne, ainsi qu'à la protection de l'environnement en mer, le portail va s'enrichir de nouvelles données pour s'inscrire comme portail de référence pour les principales réglementations françaises applicables en mer.



La Géoplateforme - L'espace public de l'information géographique

Eric Cajoly¹

¹ Institut national de l'information géographique et forestière, Saint-Mandé, France

De l'importance de l'information géographique dans l'action publique

Notre société est entrée dans une révolution de l'information géographique qui impose à l'État de se transformer. Le développement rapide des usages numériques, dans lesquels l'information géolocalisée est omniprésente, se traduit en effet par une évolution des pratiques dont l'incidence ne concerne pas uniquement un cercle restreint de professionnels, mais bien l'ensemble des agents de la fonction publique et plus généralement des citoyens dans leurs activités, leurs modes de vie et leurs rapports à la société.

Les données géolocalisées ne se réduisent pas à un simple repérage spatial des coordonnées. Elles multiplient les possibilités de croisement et d'enrichissement pour développer de nouveaux services.

Le schéma linéaire classique de la production de données (production, certification, diffusion à l'utilisateur professionnel et grand public) est en partie obsolète : la donnée est coproduite aussi bien par les citoyens eux-mêmes que par des acteurs publics et privés.

Pour l'État, cette évolution, incontournable, soulève plusieurs questions :

- Comment la puissance publique peut-elle conserver la maîtrise des données géographiques sur lesquelles elle fonde ses décisions ?
- La production de données géographiques est devenue l'affaire d'un grand nombre d'acteurs. Mais comment agréger les efforts décentralisés ou locaux pour constituer des vues d'ensemble nationales, européennes ou mondiales, quand les enjeux se situent à cette échelle ?
- La donnée géographique est devenue foisonnante et son accès aisé. Mais il reste difficile de qualifier les données que chacun peut se procurer : de quand datent-elles ? Avec quelle précision sont-elles collectées ? Sont-elles exhaustives ? Dans la prise de décisions publiques, des données non maîtrisées peuvent conduire à des contresens ou à des décisions erronées ; comment éviter que le citoyen en soit victime ?
- La donnée géolocalisée facilite des usages innovants. Mais comment favoriser le développement de nouveaux services par les acteurs publics et privés et quelle architecture proposer pour que ces services soient ensuite facilement réutilisables ?
- Comment répondre aux nouveaux enjeux (protection des données à caractère personnel, sécurité des systèmes d'information, continuité du service des pouvoirs publics, ...) et



comment s'organiser pour éviter de coûteuses duplications de moyens ou d'efforts entre administrations ?

La réflexion collective préalable sur ces enjeux a conduit l'État à décider la création d'une plateforme d'intermédiation, ouverte et mutualisée, autour de l'information géolocalisée. Cette plateforme sera opérée par et pour le service public (même si les citoyens ou des sociétés pourront en être les bénéficiaires), sous l'appellation de Géoplateforme. Elle contribuera activement à la transformation numérique des services publics.

A ce titre, le concept de Géoplateforme s'est affirmé au fil d'une réflexion collaborative et s'est nourri des échanges engagés entre l'IGN, ses partenaires et les utilisateurs de données géolocalisées. À l'issue de ces échanges initiaux, quatre familles de besoins ont été identifiées :

- Connaître, comprendre et accéder à la donnée, aux services et outils proposés ;
- Mutualiser, décloisonner, rationaliser les usages de l'information géographique ;
- Gérer le cycle de vie de la donnée géolocalisée de façon collaborative ;
- Co-concevoir et proposer des services géolocalisés.

La Géoplateforme vise à apporter des réponses à ces besoins. Elle constituera un socle technique de base, offrant des services communs d'hébergement, de consultation ou de traitement en ligne des données sous forme de flux standardisés, en vue de faciliter le développement de sites web ou de services applicatifs plus spécialisés. Ces ressources techniques communes seront enrichies progressivement en vue de favoriser une mutualisation de plus en plus conséquente de moyens et de capacités techniques à l'échelle de la sphère publique.

Contexte de création de la Géoplateforme publique

Fort de l'expérience du Géoportail, l'État a confié à l'IGN le mandat de co-construire avec des partenaires la Géoplateforme publique.

Au titre de la démarche « Action Publique 2022 », le ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) a fixé l'objectif à l'institut de faire évoluer l'infrastructure du Géoportail pour constituer cette Géoplateforme nationale. Le concept de Géoplateforme a aussi été retenu dans les recommandations du rapport de Madame la députée Valéria Faure-Muntian sur les données géographiques souveraines. Le projet s'est affiné au cours de l'été 2018 grâce aux échanges préliminaires avec une vingtaine de partenaires, qui ont souhaité apporter leur soutien à l'IGN dans le cadre de la constitution, conjointement avec le MTES, d'un dossier de demande de financement auprès du Fonds pour la transformation de l'action publique (FTAP). A l'automne 2018, cette demande a été acceptée, ce qui a affermi les orientations proposées et permis à l'IGN d'organiser le lancement du projet.

L'IGN travaille actuellement à la rédaction d'un dossier (volets stratégique, organisationnel, budgétaire, fonctionnel et technique) qu'il déposera auprès de la Direction interministérielle du numérique (DINUM) pour obtenir son avis conforme sur le cadrage du projet fin 2020.

Évolutions portées par le programme Géoplateforme

En cohérence avec la stratégie numérique de l'Etat, les orientations de « CAP 2022 », le programme de développement concerté de l'administration numérique territoriale (DCANT), et afin de répondre aux ambitions décrites précédemment, la Géoplateforme prévoit de porter des évolutions techniques, fonctionnelles mais aussi organisationnelles.

Les principaux axes d'évolution portés par le programme sont les suivants :

- **Construire le socle technique de la Géoplateforme et son écosystème**, en réalisant des fonctionnalités dites socles, comme l'administration des données, la gestion des droits ainsi qu'une offre de services mutualisés ;
- **Définir et mettre en place une gouvernance ouverte** et adaptée aux attentes des parties prenantes, favorisant la co-construction de la Géoplateforme en s'appuyant sur de nouvelles méthodologies et de nouveaux outils ;
- **Favoriser le partage d'expériences et le déploiement de communautés**, communautés d'acteurs, communautés d'usages en recherchant notamment la création et la mise à jour collaborative de données, l'émergence de services communs, le partage d'expériences.

Avancement 2020 et objectifs 2021

En 2020, l'accent a été mis sur la définition de la trajectoire de construction du programme en appui sur un audit de sécurisation du Géoportail et sur un dispositif d'expérimentations qui permet de préciser certaines orientations tout en apportant de premiers résultats visibles et communicables. 4 expérimentations ont été engagées début 2020 et 4 nouvelles expérimentations sont en cours d'engagement.

Plusieurs projets suivis dans le cadre du programme ont été initiés (étude préliminaire) ou prolongés sur l'année sur des thématiques variées : collaboratif, services de diffusion, hébergement de l'infrastructure, construction d'un entrepôt de données géo, portails thématiques.





Plus précisément, les principales actions prévues en 2021 sont présentées ci-dessous par axe de travail :

Construire le socle technique de la Géoplateforme et son écosystème :

- Mettre en place une nouvelle offre d'hébergement Géoportail/Géoplateforme et assurer une migration de l'infrastructure adaptée aux besoins Géoplateforme
- Construire le nouvel entrepôt Géoportail/Géoplateforme, son offre de services et les fonctionnalités d'administration associées (IAM et APIM)
- Poursuivre réalisation des outils contribuant à l'axe collaboratif avec des livrables attendus pour 2021.
- Engager les études préliminaires des projets prévus dans le cadrage Géoplateforme : Portail forêt / Services de diffusion (dont service Lidar) / Ecosystème Géoplateforme (Adaptation/Evolution des sites existants)...

Définir et mettre en place une gouvernance ouverte :

- Mettre en place le dispositif d'accompagnement à la co-construction et la mise en place d'une gouvernance ouverte pour la Géoplateforme ;
- Organiser des ateliers à partir de 2021 avec pour cible la formalisation des premières pistes d'organisation de la gouvernance à fin 2020.

Favoriser le partage d'expériences et le déploiement de communautés :

- Maintenir le dispositif de lancement/suivi des expérimentations de manière à pouvoir prolonger les expérimentations en cours fin 2020 et engager de nouvelles expérimentations en fonction des besoins du programme ;
- Mettre en place des outils favorisant l'animation des communautés qui se créeront dans le cadre du projet. A cet égard, une réflexion est en cours sur l'usage d'Osmose, la plateforme collaborative et sociale de partage et d'échanges de documents/pratiques/expertises entre agents de l'Etat ;
- Définir et mettre en place l'animation permettant notamment d'associer les partenaires au programme et de les informer à un rythme régulier.



RESCORE : RESources Center for Ocean Renewable Energies

Kelly Cayocca¹

¹France Energies Marines, Brest, France

Objectifs du projet

L'Institut de la Transition Energétique (ITE) France Energies Marines (FEM) vise à mettre en place un centre de ressources permettant d'accéder à des données, informations et d'autres actifs jugés nécessaires dans le développement du secteur des énergies marines renouvelables (EMR) en France. Cet outil facilitera et informera les choix des utilisateurs lors des différentes phases de développement, de maintenance et de démontage d'un projet EMR en identifiant des données et moyens accessibles et en incluant des recommandations spécifiques au secteur. (Le terme EMR est utilisé ici avec l'inclusion des technologies éoliennes en mer pour correspondre à la fois au terme international ORE (*Ocean Renewable Energy*) et au périmètre d'action de l'institut FEM)

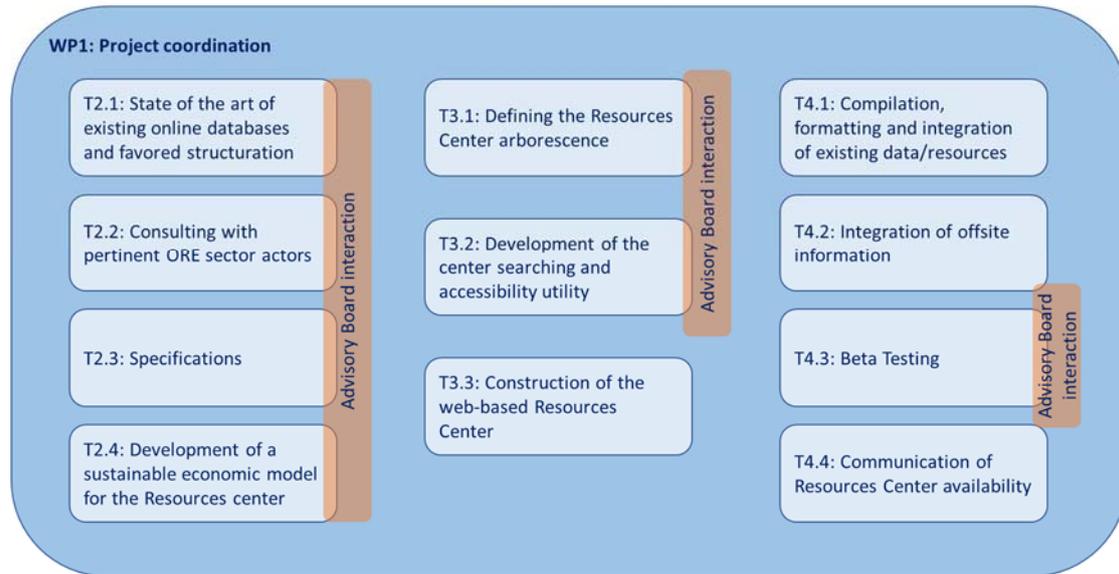
Dans un premier temps, la création de cette plateforme servira de vecteur de communication pour les résultats issus des projets de recherche, développement et d'innovation de France Energies Marines, et de portail vers d'autres ressources pertinentes au secteur français des énergies marines renouvelables.

Concrètement, le centre de ressources FEM prendra la forme d'un portail web offrant un accès aux informations du secteur EMR, y compris, mais sans s'y limiter : rapports, articles, bases de données, réglementations, outils, services, etc. Des outils informatiques de recherche seront disponibles afin d'identifier les informations les plus pertinentes sur la base de mots clés et régions géographiques. Les fonctionnalités offertes par l'utilisation d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) seront également exploitées en affectant des informations de géolocalisation à chaque ressource. Toutes les ressources seront décrites avec des métadonnées normalisées et leur accès sera soit direct (téléchargement immédiat), soit clairement identifié avec des informations de localisation et de propriété. Un score de pertinence pour le secteur des EMR sera mis en place pour chaque entité référencé autant que possible.

Le plan de travail de développement du centre de ressources est basé sur quatre lots de travaux détaillés comme suit :

- **WP 1** pour la coordination du projet et les rapports ;
- **WP 2** pour identifier l'état de l'art des centres de ressources existants, la définition du cahier de charges et du contenu initial ainsi que le modèle économique à appliquer ;

RESCORE



- **WP 3** pour le développement de l'arborescence du centre de ressources, l'utilisation de mots clés et de métadonnées et la construction de la première version fonctionnelle du centre ;
- **WP 4** pour la population du centre avec les informations initiales du centre de ressources et des actions de communication pour informer le secteur de la disponibilité du centre.

Genèse et forme du projet

Le centre de ressources de France Energies Marines est une réponse directe au besoin exprimé des acteurs du secteur des EMR de fédérer et de rendre accessibles des données et informations importantes pour le développement de ce secteur en France : développeurs de technologies, développeurs de projets, industriels, petites et moyennes entreprises, cabinets de conseil, chercheurs, agences de l'État et gouvernements régionaux. Au niveau de l'État, le besoin de centraliser ces ressources ne peut pas être comblé dans un contexte où aucun ministère n'a les ressources ou le temps pour développer un projet de ce genre.

Les principes de données FAIR (en anglais : *Findable, Accessible, Interoperable* et *Reusable*) seront appliqués à la stratégie de développement du centre FEM des ressources. Ces principes d'accessibilité des données sont encouragés au niveau international afin de faciliter la localisation, l'utilisation, l'échange et l'archivage des ressources numériques sur le web.

Le souhait de lier les ressources dans ce centre interopérable avec les initiatives similaires des partenaires nationaux et internationaux de FEM représente une opportunité pour les acteurs français des EMR de mieux s'adresser aux marchés internationaux.

Afin de garantir la bonne conduite du projet et d'atteindre les objectifs affichés, un comité de conseil a été constitué d'acteurs du secteurs des EMR qui ont de l'expérience dans le montage de centres



de ressources similaires, et des utilisateurs futurs qui pourraient apporter des informations précieuses sur les besoins du secteur. Ce comité sera consulté fréquemment pendant la durée du projet à des moments clé d'avancement pour les questions stratégiques et pour valider les travaux à démarrer ou terminés (cf. graphique détaillant les lots).

Contexte du projet

Le développement d'un centre de ressources par l'ITE FEM était inscrit dans la proposition initiale présentée en vue de devenir un institut national de recherche et développement dédié à la transition énergétique en 2012. Parallèlement au développement de projets de RDI et à la gestion de sites d'essais en mer, le centre de ressources représentait l'un des trois piliers fondateurs de l'Institut.

En tant que fonction centrale de l'institut, le centre de ressources pour les énergies marines renouvelables sera un réceptacle d'actifs de FEM qui servent à promouvoir et de fournir les informations, données, résultats, outils, rapports et moyens disponibles dans l'Institut.

Cependant, les attentes du secteur des EMR sont beaucoup plus larges, car un référentiel des études, des enquêtes et de l'ensemble de données existantes est jugé nécessaire pour un large panel de parties prenantes. Où peut-on trouver facilement les informations nécessaires pour développer des projets EMR ? Cette question peut poser problème aujourd'hui pour toutes les parties concernées, ce qui entraîne des pertes de temps et d'argent pour les utilisateurs. La question peut également être posée d'une optimisation des informations et des services disponibles qui pourraient être fournis.

Au niveau international, il existe plusieurs formes de référentiel de données qui hébergent les jeux de données et les documents pour les EMR. L'un des portails les plus avancés de ce type est fourni par le *Portal and Repository for Information on Marine Renewable Energy (PRIMRE)* du Département de l'Énergie des États-Unis (à savoir le PNNL, *Pacific Northwest National Laboratory*). Cette initiative émergente est issue d'une précédente base de données réussie, à savoir Tethys, qui se concentre sur les questions environnementales liées aux énergies renouvelables marines et éoliennes. Les données et les documents sont collectés et conservés par les chercheurs du PNNL à partir de diverses sources, mais les membres de la communauté sont également encouragés à contribuer à Tethys en identifiant les documents qui ne figurent pas encore dans la collection. Dans le cadre du programme de collaboration technologique des systèmes énergétiques océaniques de l'Agence Internationale de l'Énergie, France Energies Marines est depuis 2017 le correspondant français de Tethys.

Cette combinaison d'attentes et de réponses partielles explique la pertinence de développer à FEM d'un centre de ressources, objectif du projet RESCORE.

Dans la pratique

En réponse aux besoins gouvernementaux et sectoriels d'un centre de ressources fédéré et dédié au EMR, le résultat final ambitieux de ce projet sera un centre de ressources opérationnel sous la



forme d'une plate-forme web clairement structurée et facilement accessible. La localisation des ressources disponibles pour le secteur des EMR sera proposée par l'interrogation des zones géographiques définies par l'utilisateur ou par des recherches par mots clés.

Les ressources ciblées ne sont pas limitées au début du projet et peuvent être modifiées lors des phases d'interrogation de la littérature actuelle sur le sujet et d'échanges avec des experts en gestion de données impliqués dans le projet. Sans être limité à cette liste, les ressources initiales comprendraient :

- données de caractérisation du site ;
- données environnementales ;
- données de caractérisation des composants et des systèmes ;
- rapports, recommandations, méthodologies, bibliographies, moyens de mesure, études d'impact ;
- liens vers les mêmes existants dans d'autres centres de ressources.

Le fil conducteur unissant ces éléments disparates sera les ressources susceptibles de bénéficier au secteur des énergies marines renouvelables.

Le centre de ressources FEM n'affiche pas de vocation à héberger toutes les informations et ressources disponibles pour les EMR français, mais centralisera plutôt l'accès à ces informations en identifiant pour l'utilisateur la localisation et l'accessibilité des données via leurs métadonnées. Les ponts entre l'identification des ressources FEM et les emplacements réels des lieux d'hébergement de données seront maintenus par la définition appropriée des liens Internet dans les métadonnées collectées et la mise à jour continue de la base de données d'informations générales.

Au-delà de la construction initiale d'un centre de ressources national, un modèle de soutien financier général sera développé pour assurer l'évolution à long terme et la mise à jour des informations nécessaires à une architecture de centre de ressources pertinent et fiable. À titre d'exemple, les projets de RDI EMR au sein de FEM devront définir clairement les objectifs de valorisation des résultats du projet et désormais consacrer un budget à l'intégration des résultats dans le centre de ressources. Des sources complémentaires de soutien financier seront recherchées afin de garantir une structure pérenne et des possibilités d'évolution de l'architecture initiale du centre.



Conférence : Un océan témoin du changement...

Gilles Boeuf ¹

1 Sorbonne-Université et AgroParisTech

L'océan constitue le plus grand volume offert au vivant sur la planète « bleue » et abrite aujourd'hui un peu moins de 300 000 espèces décrites, et déposées dans les Musées, tous groupes confondus. Celles-ci représentent quelques 13 % des espèces connues actuellement sur le globe mais les biomasses marines peuvent être considérables, le seul phytoplancton représentant à lui-seul plus de la moitié de la biomasse de la planète, les bactéries marines plus de 10 %. La Vie est apparue dans l'océan ancestral il y a près de 4 milliards d'années et y a subi plusieurs événements déterminants, de l'apparition du noyau de la cellule au développement de la sexualité. La profondeur moyenne est autour de 3 800 m et la principale caractéristique de ce gigantesque milieu est sa continuité, ce qui nous amène à beaucoup plus penser en océan global. Parlons de l'océan, et non « des océans », il est unique et en connectivité ! Un autre trait particulier est, par rapport au reste des eaux libres sur la planète, sa salinité. Celle-ci est extrêmement stable au large (35 g de sels par litre), et ceci depuis des dizaines de millions d'années, l'océan est ainsi beaucoup plus stable que les autres milieux de vie. La vie a tout d'abord été exclusivement marine jusque vers un milliard d'années pour les bactéries, 450 millions d'années, pour la vie « métazoaire élaborée », puis a explosé en nombre d'espèces sur les continents vers 110 millions d'années. Cette diversité spécifique et l'ancestralité des caractères, ainsi que des schémas d'organisations et de comportements originaux, font des organismes marins d'excellents réservoirs de molécules d'intérêt pharmacologique (plus de 26 000 aujourd'hui identifiées et extraites) et/ou de modèles d'études fondamentales. Aujourd'hui, le littoral est détruit, et l'océan est pollué, surexploité, tout y est disséminé et le changement climatique trop rapide l'affecte considérablement. La biodiversité océanique fournit à l'humanité des ressources renouvelables, bien menacées actuellement que nous devons absolument mieux gérer en préservant les écosystèmes, les stocks et la biodiversité





SESSION 2 - Risques naturels et érosion côtière



Évaluation prospective des logements menacés par le recul du trait de côte

François Hédou^{1*}, Boris Leclerc¹

¹ Cerema, Plouzané, France.

Contexte et objectif

La mise en œuvre du programme d'actions de la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC) (MEEM, 2017) a apporté de nouvelles connaissances sur l'évolution du littoral. Ces dernières permettent aujourd'hui d'étudier à l'échelle nationale les conséquences potentielles du recul du trait de côte sur les enjeux immobiliers d'ici à la fin de ce siècle. C'est dans ce contexte que le ministère chargé de l'environnement a confié au Cerema la réalisation d'une évaluation homogène, sur le littoral français métropolitain et des départements et régions d'outre-mer, du nombre et de la valeur immobilière des logements potentiellement atteints par le recul du trait de côte jusqu'en 2100.

Constitution d'un trait de côte composite

La projection de la position future du trait de côte nécessite des sources de données fiables et homogènes sur l'ensemble des régions littorales françaises. Le tracé du trait de côte naturel récent relevé dans le cadre de l'élaboration de l'indicateur national de l'érosion côtière (Cerema, 2017) est complété par la position des ouvrages relevée par la cartographie nationale des ouvrages et aménagements littoraux (Cerema, 2018). Seuls les ouvrages encore visibles sur les dernières photographies aériennes et qui présentent une orientation longitudinale sont pris en compte pour cette étude.

Après traitement, le trait de côte composite comprend 6 132 km de partie naturelle (4 572 km en métropole et 1 560 km en outre-mer) et 1 421 km d'ouvrages (1 269 km en métropole et 152 km en outre-mer).

Consolidation des données

Rattachement d'informations supplémentaires sur le trait de côte naturel

Les données de l'évolution historique du trait de côte, issues de l'indicateur national de l'érosion côtière, sont constituées de points disposés tous les 200 mètres le long du littoral. Ces données sont affectées (au plus proche voisin) aux parties du trait de côte naturel préalablement découpées en section de 50 mètres de long (maximum). Le même principe de rattachement est mis en œuvre pour les informations sur la géologie et la géomorphologie issue du projet européen EuroSION (CE, 2004) produites sur tracés différents.

Ajout ponctuel d'informations par interpolation

Plusieurs secteurs naturels ponctuels n'ont pas fait l'objet de calcul des taux d'évolution par l'indicateur national, principalement en raison de l'absence d'images aériennes anciennes. Les

secteurs à ouvrages ne possèdent pas non plus d'information sur l'évolution historique. Pour la bonne mise en œuvre de la méthodologie permettant la projection de la position du trait de côte, il est procédé à une interpolation des taux sur une faible distance. Ce traitement ne modifie pas les taux d'évolution calculés par l'indicateur national de l'érosion côtière. Il a pour unique objectif de combler les manques ponctuels de taux d'évolution sur le trait de côte composite, aussi bien sur ses portions naturelles que sur celles artificielles (présence d'ouvrages longitudinaux). L'interpolation est réalisée dans un rayon de 1 000 mètres autour du trait de côte naturel possédant une valeur d'évolution selon un maillage de 100 × 100 mètres. L'interpolation propage ainsi la valeur du taux d'évolution sur une distance maximum de 1 000 mètres, sauf si elle rencontre une autre valeur.

Scénarios d'évolution étudiés

Les positions annuelles du trait de côte sont ainsi définies jusqu'en 2100 selon les six scénarios résultant de la combinaison de deux hypothèses sur les taux d'évolution et de trois hypothèses sur le devenir des ouvrages littoraux.

Le taux d'évolution historique calculé par l'indicateur national de l'érosion côtière est appliqué uniquement sur les secteurs identifiés en recul, soit environ 20 % du trait de côte actuel. Pour ces secteurs, ce taux est reconduit et appliqué jusqu'en 2100. Une seconde hypothèse de recul est formulée en considérant que l'ensemble du littoral est susceptible de reculer à l'avenir sous l'effet des conséquences attendues de l'élévation du niveau marin : un taux régional de recul est alors calculé par secteur homogène de côtes définis selon la géomorphologie, la géologie et le découpage en unités morpho-sédimentaires (MEEM, 2016).

Deux hypothèses extrêmes sont formulées sur le devenir des ouvrages littoraux : Les ouvrages sont soit considérés comme résistants jusqu'en 2100, soit comme effacés dès à présent. Une troisième hypothèse les complète en envisageant une destruction progressive des ouvrages à partir de leurs extrémités.

Les enjeux étudiés

Les données foncières (Cerema, 2019) ont été exploitées pour cette étude. Celles-ci contiennent de très nombreuses informations sur les logements et sur le montant des transactions immobilières.

Un prix médian est calculé pour les maisons et les appartements, si possible en distinguant l'âge de la construction au moment de la vente (constructions de moins d'un an et celles plus anciennes) et à la commune. Le nombre de ventes présent dans la base de données n'étant pas toujours suffisant pour atteindre un seuil statistique fiable, des regroupements de catégories de biens et des élargissements de périmètre de calcul ont été opérés.

Résultats

Le nombre des bâtiments et de logements potentiellement atteints

Selon les scénarios étudiés, de 3 800 à 31 800 bâtiments (dont la surface au sol dépasse 10 m²) pourraient être atteints par le recul du trait de côte à l'échéance 2100. Les traitements géomatiques réalisés permettent également d'estimer le nombre de logements (maison + appartements)

contenus dans les bâtiments. Sur cette base de calcul, de 5 000 à 47 300 logements pourraient être atteints par le recul du trait de côte à l'échéance 2100.

Estimation de la valeur des logements

Les ordres de grandeur financiers correspondant à la valeur actuelle des logements concernés sont ainsi estimés entre 800 millions et 8 milliards d'euros en 2100 selon le scénario considéré.

Les limites de la méthode

Les résultats de cette étude résultent d'hypothèses simplificatrices. Même s'ils peuvent sembler précis, les résultats permettent uniquement de donner un ordre de grandeur à l'échelle nationale des possibles conséquences du recul du trait de côte sur les bâtiments et les logements. L'interprétation des résultats est donc à mener avec beaucoup de précautions.

Les taux d'évolution historiques utilisés sont sujets à des incertitudes et ne permettent pas de prendre en considération d'éventuels changements de dynamique liés aux modifications des environnements côtiers. Les effets de la hausse du niveau marin sur le recul du trait de côte, associés au changement climatique, encore mal caractérisés, ne peuvent pas être pris en compte directement dans cette étude, mais sont néanmoins approchés par une projection de recul généralisé du littoral.

Les hypothèses sur le comportement des ouvrages côtiers (maintien / disparition progressive / effacement) sont très schématiques et ne tiennent pas compte de leurs états. Les phénomènes de submersion permanente potentiellement induits par les effets de l'érosion sur les environnements littoraux (disparition de cordons dunaires ou d'autres points hauts, au droit de zones basses littorales) ne sont également pas pris en compte.

Les enjeux et leurs valeurs sont considérés comme constants et ne tiennent pas compte des dynamiques d'aménagement futures. De même, la construction de nouveaux aménagements littoraux n'est également pas considérée.

Les zones portuaires abritées par des jetées, n'ont pas été étudiées dans le cadre de la cartographie de l'indicateur national de l'érosion côtière. La détermination des positions futures du trait de côte ne peut donc pas être menée dans ces secteurs particuliers.

Conclusion

Les nouvelles connaissances nationales et homogènes apportées par la mise en œuvre des actions de la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC) permettent de produire des scénarios de recul du trait de côte sur les côtes françaises. En associant les bases de données alimentées par des informations issues des services fiscaux, le nombre de maisons et d'appartements impactés, ainsi que la valeur immobilière de ces biens potentiellement impactés par le recul du trait de côte, ont pu être étudiés sur la base d'hypothèses simplificatrices. Ces travaux menés jusqu'à l'horizon 2100 comprennent certes de nombreuses limites méthodologiques et incertitudes, mais ils apportent un premier éclairage national alimentant les réflexions actuelles sur l'adaptation des territoires littoraux à la mobilité du trait de côte.

Références

- CE (Commission Européenne) (2004). Living with coastal erosion in Europe: sediment and space for sustainability. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Part I "Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION project", 10/05/2004, 54 p.; Part II "Maps and statistics", 29/05/2004, 25 p.
- Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), MTES (Ministère de la Transition écologique et solidaire) (2017). Cartographie nationale des ouvrages et aménagements littoraux. Disponible en ligne sur URL : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/cartographie-nationale-des-ouvrages-et-r502.html>
- Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), MTES (Ministère de la Transition écologique et solidaire) (2018). Cartographie de l'indicateur national de l'érosion côtière. Disponible en ligne sur URL : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-r473.html>
- Ceram (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) (2019). Notice relative à l'utilisation des données DV3F. Disponible en ligne sur URL : <https://datafoncier.cerema.fr/ressources/>
- MEEM (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer) (2016). Développer la connaissance et l'observation du trait de côte – Contribution nationale pour une gestion intégrée » publié par le Ministère chargé de l'écologie, en mars 2016. Disponible en ligne sur URL : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/synthese_nationale_connaissance_trait-de-cote_fev_2016.pdf
- MEEM (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer) (2017). Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte – Programme d'actions 2017-2019. Disponible en ligne sur URL : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/strategie-nationale-de-gestion-integree-du-trait-r434.html>

Analyse spatiale de l'évolution de la ligne de rivage autour de l'embouchure de Rio de Cacheu (Guinée Bissau) entre 1990 et 2020.

Mamadou Thior^{1*}, Dome Tine², Boubacar Solly³, Luc Descroix⁴

¹Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

²Département de Géographie, chercheur associé au Laboratoire de Télédétection Appliquée (LTA)- Institut des Sciences de la Terre (IST), Université Cheikh Anta DIOP de Dakar- Sénégal.

³Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

⁴Laboratoire Mixte International "Patrimoines et Territoires de l'Eau" (LMI PATEO), Institut de Recherche pour le Développement.

Résumé

Située au nord-ouest du littoral de la Guinée Bissau, l'embouchure de Rio de Cacheu est sous l'influence des facteurs hydrodynamiques naturels. Ainsi, les plages situées au tour de cette embouchure sont caractérisées par une dynamique globalement régressive de leur ligne de rivage. L'objectif de cet article est d'analyser la variation de la position du trait de côte autour de l'embouchure du Rio de Cacheu. La méthodologie est basée sur la superposition d'une série d'images multi-dates (Landsat 1990, 2000, 2010, 2020). Les travaux de numérisation ont été faits avec le logiciel ArcGIS 10.5. A partir de là, les calculs statistiques des vitesses d'évolution du trait de côte sont effectués avec le modèle de DSAS4.3. Les résultats obtenus à travers le calcul des indices de mobilité (EPR) ont montré que la côte est en érosion depuis 1990 malgré les quelques endroits en accrétion

Mots clés : Analyse spatiale, ligne de rivage, Rio de Cacheu,

Introduction

Les espaces côtiers de l'Afrique de l'Ouest, sur environ 4400 km, subissent une importante érosion de l'ordre de 1,2 à 6m/an, des secteurs sableux du Sénégal à la Sierre Léone et de 1 à 15m/an de la côte d'Ivoire au Nigéria (Faye, 2010 ; Sadio et al ., 2015 ; Thior et al., 2019. Le Rio de Cacheu et de Mansoa au nord de la Bissau-Guinéenne, n'échappent pas à cette évolution régressive. En effet, ces cellules hydro sédimentaires ici étudiées sur une longueur d'environ 110km se trouvent affectées par l'érosion côtière avec comme conséquences une destruction et salinisation des terres agricoles, une mortalité de la végétation, etc.

Face à cette érosion côtière, il convient de mener une réflexion sur le fonctionnement, l'évolution de cette plage, pour en comprendre la dynamique et cerner au mieux les impacts qui en résultent, objectifs du présent papier.

La démarche utilisée s'appuie sur l'exploitation de données de terrain (observations, entretiens, etc.) et de l'imagerie spatiale (à partir des Systèmes d'Information Géographique). Les résultats obtenus indiquent une dégradation de la zone côtière.

- Résultats statistiques et représentations cartographiques de l'évolution de la ligne rivage entre 1990 et 2020

Entre 1990 et 2000, le secteur de l'embouchure de Cacheu serait globalement caractérisé par une érosion moyenne de 1,80 m/an sur la rive droite et 1,05 sur celle gauche, mais les moyennes des écarts mesurés sont comprises dans la marge d'erreur. Ce résultat ne serait donc pas significatif.

En revanche, l'embouchure de Mansoa présente une évolution significative. L'érosion est généralisée. Ce qui donne un recul global de 3m/an sur l'île de Jeta et de -5,80m/an sur l'île de Pecixe (fig. 1). En résumé, les mouvements calculés entre 1990 et 2000 sont compris dans la marge d'erreur autour de l'embouchure de Cacheu. Mais au nord du Monsoa, ils sont largement supérieurs à la marge d'incertitude et sont significatifs, ce qui autorise leur prise en considération.

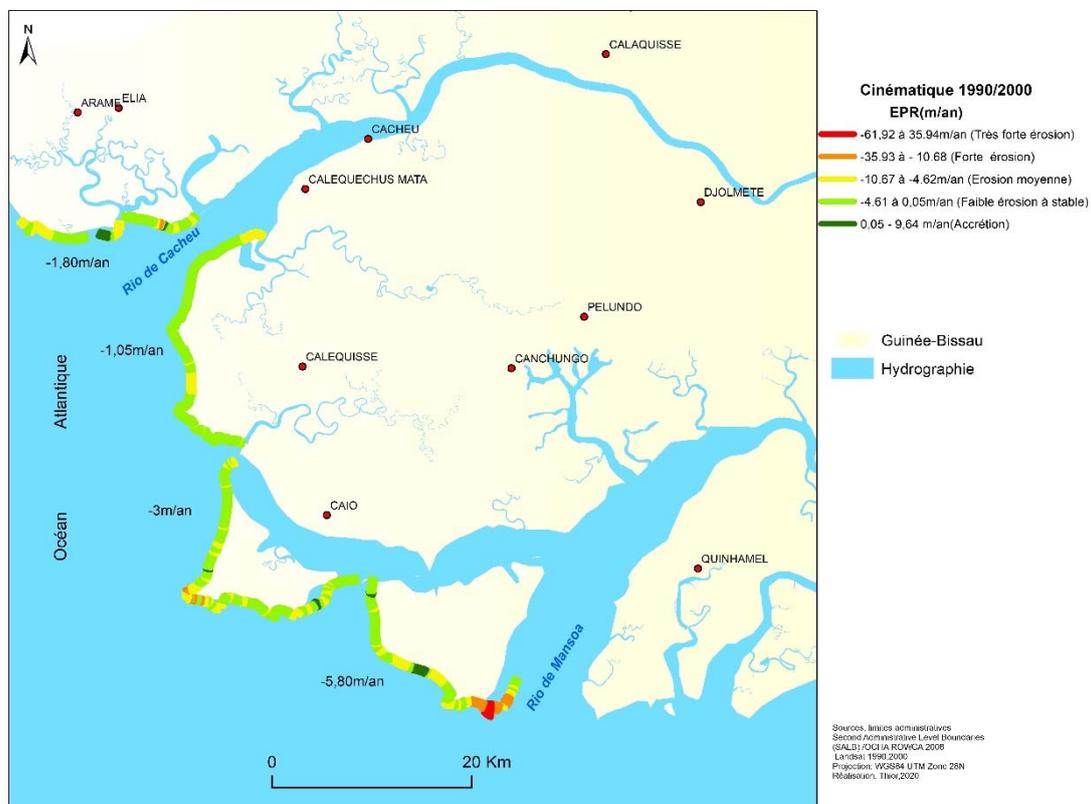


Figure 1 : Evolution spatio-temporelle de la ligne de rivage entre 1990 et 2000

Le caractère relativement érosif du segment étudié est lisible sur les résultats statistiques entre 2000 et 2010. En effet, cela est bien perceptible par le bilan négatif de l'évolution du trait de côte avec un recul globalement plus faible comparé à la période 1990-2000. Ainsi, les moyennes annuelles de la partie nord-ouest, reste toujours comprises dans la marge d'incertitude, tandis que les îles Jeta et Pecixe (fig. 2), reculent respectivement de 2,45 et 4,38m/an.

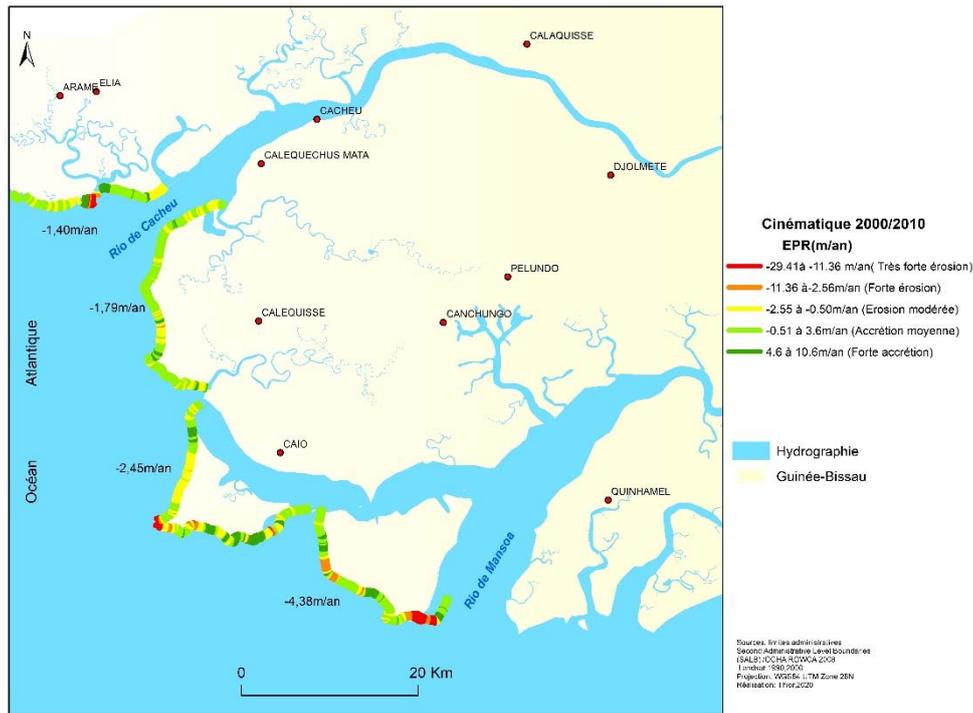


Figure 2 : Evolution spatio-temporelle de la ligne de rivage entre 2000 et 2010

Contrairement aux périodes précédentes, caractérisées par des taux de variation incertaine de la ligne de rivage autour de l’embouchure de Cacheu, la décennie 2010-2020 y est dynamique. Ainsi, la côte a reculé de 5,79m/an au nord de cette embouchure tandis qu’au sud les valeurs toujours comprise dans la marge d’incertitude. Mais au nord du Mansoa, les îles Jeta et Pecixe reculent pratiquement à la même vitesse que la période précédente (fig. 3).

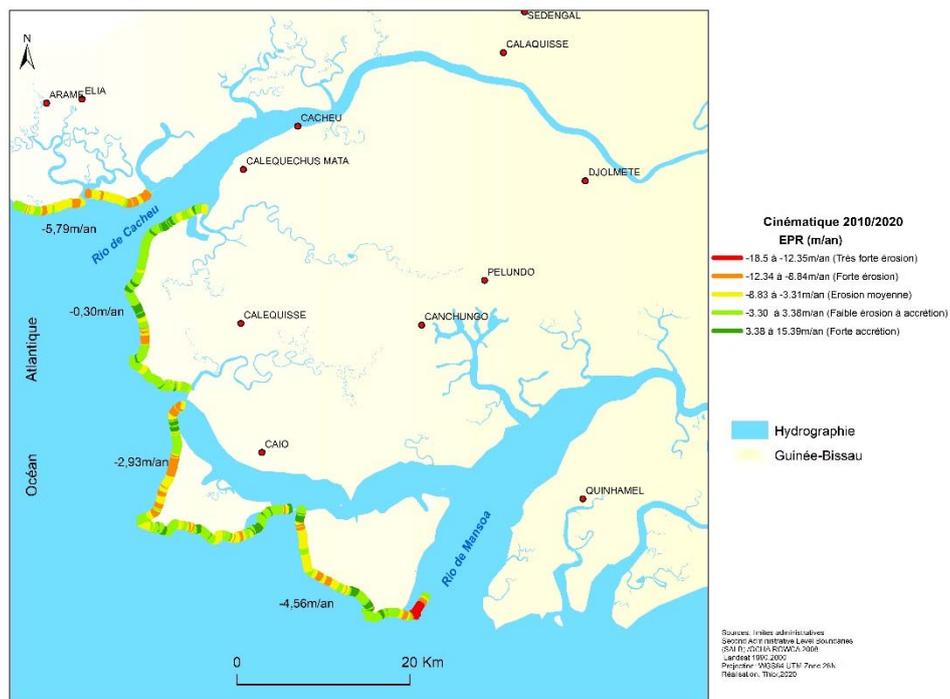


Figure 3 : Evolution spatio-temporelle de la ligne de rivage entre 2010 et 2020

Conclusion

La question de l'évolution des littoraux a fait naître un besoin de connaissances des mécanismes de la dynamique pour une évaluation pertinente des enjeux et des vulnérabilités ainsi que la mise en place d'un cadre de gestion efficace et durable. Cet article participe de ce besoin de connaissances, d'une implication de tous les acteurs et du renforcement des aspects techniques pour des mesures de protection conformes à la nature des côtes bissau-guinéennes.

Références bibliographiques

- Faye I. B. N. 2010 : Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Thèse de Doctorat 3eme cycle en Géographie, École Doctorale des Sciences de la Mer, Université de Bretagne Occidentale, 321p.
- Sadio, M., Kane A., Diaw A.T., Anthony E.J., Coly A., 2015 : Cinématique côtière de l'estuaire de la Casamance (Sénégal). Paper submitted to International Conference on Deltas and River Systems in Africa, Port Harcourt (Nigeria) 14-16 October 2015.
- Mamadou Thior, Tidiane Sané, El hadj B. Dièye, Oumar Sy, Dramane Cissokho, Boubacar Demba Ba, Luc Descroix, Coastline dynamics of the northern Lower Casamance (Senegal) and southern Gambia littoral from 1968 to 2017, Journal of African Earth Sciences, Volume 160, 2019, 103611, ISSN1464343X, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103611>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X19302663>).

OSI : une plateforme web-SIG pour restituer la trajectoire de vulnérabilité des littoraux bretons

Iwan Le Berre^{1*}, Thibaud Lami², Mathias Rouan¹, Manuelle Philippe², Alain Hénaff¹, Nicolas Le Dantec³, Catherine Meur-Férec¹, Elisabeth Guillou⁴, Pauline Letortu¹

¹LETG-Brest GEOMER, IUEM-Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

²AMURE, IUEM-Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

³LGO, IUEM-Université de Bretagne Occidentale, Brest / Cerema EMF, Margny-Les-Compiègne, France

⁴LP3C, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

Ce projet a bénéficié des financements de l'ANR (Projet-ANR-10-CEPL-0001Cocorisco), de la Fondation de France et de la DREAL Bretagne.

Introduction

Les formes et les dynamiques actuelles du littoral résultent à la fois d'héritages géomorphologiques (constitution / remobilisation de stocks sédimentaires en fonction des variations du niveau marin), de processus contemporains (houles et courants, tempêtes, eaux continentales, etc.) et des actions anthropiques (ponction des stocks de granulats, construction d'ouvrages, etc.), dans un contexte de changements climatiques. Selon le MEDDE (2014), leurs actions respectives et combinées définissent trois types d'aléas : l'érosion, la submersion et la migration dunaire. Leur occurrence, pour inéluctable qu'elle soit, est à la fois inscrite dans la variabilité climatique à long et moyen termes, les cycles des marées, les tendances saisonnières et les épisodes météo-marins.

La survenue d'aléas côtiers n'est pas, en soi, propre à générer un risque. En effet, le risque est le produit d'aléas et d'enjeux qui s'y trouvent exposés : sans enjeux, il n'y a donc pas de risque. Or, les enjeux bâtis n'ont cessé de se rapprocher du littoral, notamment durant la seconde partie du XXe siècle. Attirées par les aménités du littoral (hygiénistes, balnéaires et paysagères) et encouragées par diverses évolutions sociétales (élévation du niveau de vie, de la mobilité et du temps libre), une population et des activités de plus en plus importantes s'y sont installées, de manière permanente ou temporaire (tourisme). Si l'accentuation des risques constitue une conséquence malheureuse d'un aménagement mal planifié des territoires littoraux, s'y ajoutent les incertitudes liées à l'amplitude de l'accroissement des aléas notamment liées aux changements climatiques, dont l'élévation du niveau marin.

Le suivi et le partage de connaissance sur les risques côtiers constituent donc une priorité pour en atténuer les effets à long terme, et pour accompagner les politiques publiques d'aménagement des territoires littoraux tout en fournissant un cadre pour leur évaluation. Cette communication porte sur la plateforme Web-SIG développée au sein de l'IUEM comme préfiguration de l'observatoire régional de la vulnérabilité systémique du littoral breton aux risques côtiers d'érosion et de submersion, OSIRISC.

Cadre conceptuel : au-delà du risque, la vulnérabilité systémique

Le couple à risques aléas-enjeux ne suffit pas à caractériser la vulnérabilité du littoral. Notion polysémique par excellence (Meur-Férec et al., 2020), la définition de la vulnérabilité dépend avant tout d'un contexte scientifique et de choix conceptuels. Le cadre retenu pour le développement de notre plateforme d'observation, découle des travaux interdisciplinaires menés depuis une dizaine d'années au sein d'un collectif de chercheurs et de gestionnaires du littoral (Hénaff et Philippe, 2014). La vulnérabilité systémique y est définie comme intégrant le risque – en tant que fonction classique des *aléas* et des *enjeux* qui y sont exposés – ses modalités de *gestion* et les *représentations* que s'en font les acteurs et les habitants du littoral. Appliquée à l'érosion côtière et à la submersion marine (la migration dunaire étant marginale en Bretagne), cette acception de la vulnérabilité selon quatre composantes constitue l'une des originalités de notre projet.

L'un des intérêts de cette définition de la vulnérabilité réside dans la possibilité de décomposer cette notion en quatre composantes interagissant entre elles. Elle offre ainsi un cadre conceptuel approprié pour analyser un territoire au prisme de différentes approches disciplinaires et méthodologiques, tout en facilitant les échanges avec les gestionnaires.

Méthodologie

L'observatoire de la vulnérabilité systémique est développé en plusieurs étapes.

Des données aux indicateurs

Les quatre composantes de la vulnérabilité sont décrites par un ensemble de 58 indicateurs thématiques. Cinq indicateurs d'*aléas* regroupés en 2 catégories (érosion et submersion), sont renseignés de manière générique à partir de l'Indicateur national d'érosion côtière (Hédou et al., 2015) et de la couche des zones basses du littoral breton (GéoLittoral). Les *enjeux* sont structurés en 4 catégories (humains, économiques, structurels et zone tampon) renseignées à partir de l'information géographique de référence : IGN (BD Topo notamment), INSEE (données carroyées, BD SIRENE), IDG GéoBretagne, etc. Les indicateurs de la composante de gestion (19, regroupés en 5 thèmes) sont complétés pour partie à partir de données collectées sur le web, et surtout au cours d'entretiens auprès des gestionnaires. La composante des représentations est la plus complexe à renseigner et à retranscrire sous la forme d'indicateurs. Elle repose sur 15 indicateurs groupés en 3 thèmes qui ne peuvent être complétés que par des techniques d'enquête en face à face ou en ligne. Les données individuelles ainsi recueillies doivent faire l'objet d'une agrégation, actuellement à l'échelle de la commune.

Les observations s'effectuent donc à différentes échelles – sites, communes et intercommunalités du littoral breton – et selon des emprises spatiales variées (points, lignes, surfaces, mailles). Afin de permettre leur combinaison, toutes les données ont été rapportées à une granularité de 200 m, correspondant au maillage des données carroyées de l'INSEE. A l'heure actuelle, les données collectées et analysées sont intégrées une à une à la BD. Cette BD est structurée dans PostgreSQL sous forme d'un jeu de donnée maillé renseigné par un nombre de champs correspondant à l'ensemble des indicateurs complétés. Un champ de date permet d'intégrer la dimension temporelle (Marcel et al., 2018).

Des indicateurs aux indices

Les données sont intégrées dans la BD avec leur valeur brute, puis sont transformées en indicateur par une cotation en 5 classes décrivant leur contribution à la vulnérabilité. Le choix de la méthode de cotation dépend de chaque jeu de donnée, selon la distribution des valeurs et le sens attribué à l'indicateur : les indicateurs d'aléas et d'enjeux, qui contribuent à l'accroissement de la vulnérabilité systémique, sont cotés de 1 (contribution la plus faible) à 5 (la plus forte) ; les indicateurs de gestion, qui tendent *a priori* ou indirectement à atténuer la vulnérabilité, sont catégorisés en sens inverse. Les indicateurs de représentation donnent une image de ce que pensent les gens à un moment donné, mais il est difficile d'établir dans quel sens s'établit leur contribution à la vulnérabilité systémique.

Ce mode de structuration vise à permettre la combinaison des indicateurs afin de produire quatre catégories d'indices. Les *indices thématiques* comprennent les aléas (*érosion* ou *submersion*), les enjeux (*humains, économiques ou structurels*), la gestion (*maîtrise de l'urbanisation, stratégie locale, gestion de crise, sensibilisation et connaissance*), et les représentations (*confiance, conscience du risque, évaluation des pratiques collectives*). Par exemple, l'indice d'enjeux humains combine l'effectif et la part la plus vulnérable de la population (personnes âgées de moins de 10 ans et de plus de 65 ans ; ménages aux revenus les plus modestes). Les *indices de composantes* (aléas, enjeux, gestion et représentations) : l'indice d'aléas, par exemple, combine les indices d'érosion et de submersion pour fournir une valeur globale d'exposition aux aléas. Les *indices transverses* visent à renseigner des thématiques particulières. Ainsi, l'indice qui définit l'exposition aux risques côtiers combine les indices de composante aléas et enjeux via une matrice. Enfin, l'*indice systémique* vise à combiner nos quatre composantes de vulnérabilité (aléas, enjeux, gestion, représentations).

La production des indicateurs (cotation, discrétisation) ainsi que des indices (combinaison) est gérée par un système de vues SQL dynamiques dans la base de données, offrant ainsi une souplesse d'évolution des modes de calculs.

L'interface web-SIG

Pour naviguer dans cet ensemble d'indicateurs et d'indices, et les représenter cartographiquement, une interface web-SIG a d'abord été développée à partir de solutions libres - React.js, postgresSQL/postGIS et geoserver - (Marcel et al., 2018), puis améliorée (ergonomie et esthétique) par un bureau d'études (Linaia).

Une fenêtre de présentation du projet permet d'accéder à l'interface de navigation. Celle-ci s'organise autour d'une *restitution cartographique* qui permet de choisir un territoire (commune ou EPCI) et d'un menu de navigation dans l'arborescence d'indicateurs et d'indices. Ces choix effectués, la carte et sa légende s'affichent, de même que ses métadonnées (sous forme simplifiée, ou plus détaillée dans une autre fenêtre). Il est également possible d'interroger chaque maille pour consulter les valeurs des indicateurs qui la composent. Enfin une frise temporelle permet de remonter le temps et d'afficher les données historiques des indicateurs, lorsqu'elles existent dans la BD.

Quelques questions et perspectives

L'exploitation de l'IG de référence disponible est privilégiée pour alimenter la BD, comme gage de la pérennité des observations. Mais, toutes les thématiques n'étant pas couvertes par de tels référentiels, cela impose le recours à des enquêtes qui peuvent compliquer le maintien d'une BD actualisée. C'est le cas des représentations, qui nécessitent des enquêtes régulières pour parvenir à saisir une « ambiance » variable dans le temps. Mais leur multiplication sur un même territoire peut s'avérer lassante. En revanche, pour la composante de gestion, les enquêtes permettent de maintenir des relations fortes entre chercheurs et gestionnaires, choix méthodologique et conceptuel assumé qui, de notre point de vue, constitue un facteur de succès de ce projet collaboratif.

Le caractère stratégique, voire confidentiel, de certaines données constitue une autre difficulté. Par exemple, les données sur les réseaux sensibles (enjeux structurels) ne sont pas accessibles aux chercheurs. Si les collectivités peuvent y accéder, ces données ne sont pas encore systématiquement structurées et imposent de solliciter les différents opérateurs de réseau. Il s'agit là d'un problème en attente d'un référentiel national...

L'analyse des trajectoires de vulnérabilité systémique repose sur une démarche de suivi qui s'inscrit dans le temps long. C'est bien l'objet d'un observatoire et c'est ce qui intéresse le plus les gestionnaires. Or, à ce stade, seul l'état actuel de la vulnérabilité a été restitué. Sans devoir attendre l'évolution des indicateurs à partir d'aujourd'hui, une approche rétrospective pourrait permettre d'explorer les trajectoires de vulnérabilité. Elle dépend toutefois de la disponibilité de données historiques qui est très variable selon les thématiques. Inenvisageable pour les représentations, elle est réalisable pour certains enjeux (par exemple via la BD Topo IGN). Une approche prospective peut également s'envisager à travers la planification urbaine et les projets de territoire. En effet, les choix politiques actuels auront des conséquences sur la vulnérabilité future des territoires. Développer cette approche exploratoire constituera la prochaine étape de notre projet.

Bibliographie

- Hédou F. et al., 2015. "Méthodologie d'élaboration de l'indicateur national d'érosion côtière", MeriGéo 2015, pp. 69–72 ;
- Hénaff A., Philippe M. (Eds.), 2014. Gestion des Risques d'érosion et de Submersion Marines, rapport de fin de projet ANR Cocorisco ;
- Marcel O. et al., 2018. Une application WEB-SIG de suivi de la vulnérabilité systémique des littoraux (projet OSIRISC), MeriGéo 2018, pp. 43–46 ;
- MEDDE, 2014. Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux ; Meur-Férec C. et al., 2020. "Une méthode de suivi de la vulnérabilité systémique à l'érosion et la submersion marines". Développement durable et territoires, à paraître.

Suivi multi-fréquence des évolutions morphologiques et des stocks sableux sur un littoral alternant plages de poches et plateformes rocheuses

Alexandre Nicolae Lerma^{1,2*}, Fanny Voix^{1,2}, Manuel Garcin³, Damien Dailloux⁴

¹Brgm Direction Régionale Nouvelle Aquitaine, Pessac, France.

²Observatoire de la Côte Aquitaine, Pessac, France.

³Brgm, Direction Risques et Prévention, Orléans, France.

⁴ CASAGEC Ingénierie, Anglet, France.

Introduction

La succession de tempêtes de l'hiver 2013-2014 a impacté significativement l'ensemble du littoral de l'Europe Atlantique. Durant ces tempêtes, des abaissments des profils de plage, des érosions des falaises et des inondations côtières par débordement dans les zones basses ont été observés le long de la côte basque franco-espagnole. A cette occasion, des débordements se sont produits sur les fronts de mer urbanisés engendrant des dégâts importants sur les infrastructures. Suite à ces événements, les communes du Pays Basque ont exprimé le besoin de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes côtiers à l'échelle locale et de mieux anticiper la gestion des risques côtiers. Peu d'études ont été menées sur les échanges de sédiments entre les petits fonds et les plages dans des environnements mixtes (rocheux/sableux) soumis à des conditions de forte énergie. Le long de la côte basque, les stocks de sédiments sableux et leur dynamique sont mal connus. L'objectif de ce travail est de mieux comprendre le fonctionnement hydro-sédimentaire d'un système côtier dont les plages, ont connu des évolutions contrastées au cours des dix dernières années. Certaines plages perdent continuellement des sédiments alors que d'autres semblent stables, voire en accrétion. Une analyse des évolutions des stocks sédimentaires et des échanges entre plage et petits fonds est proposée ici à plusieurs échelles de temps (mensuelle, saisonnière, pluriannuelle). Cette étude, à partir de mesures et d'outils de différentes natures (Orthophotographie, Vidéo, D-GPS, Sondeur bathymétrique, LiDAR, sondage géologique, profileur sismique) s'efforce d'identifier les principaux modes de fonctionnement de ce système littoral. Elle vise à fournir un cadre et un socle de connaissance utiles et nécessaires à la mise en place d'une gestion durable des stocks sédimentaires.

Site et méthodes

Site d'étude

Le site d'étude, situé sur la commune de Bidart sur la côte basque française (Fig. 1). Le littoral y est caractérisé par une succession de falaises, de plates-formes rocheuses et de secteurs d'accumulation constituant des plages de poches par endroits perchées sur une dalle rocheuse. Les sédiments sont constitués de sables fins à moyens dont la granulométrie est relativement uniforme (D50 entre 0,5 et 0,05 mm). Les marées sont semi-diurnes d'amplitude méso à macrotidale (marnage moyen de 3,75 m). Sur toute la période étudiée (janvier 2008 à mai 2019), les vagues incidentes proviennent presque exclusivement du secteur Ouest-Nord-Ouest à Nord-Ouest, entre

300 et 315°N (Fig. 1). On observe une légère différence de direction entre les saisons automne-hiver où le mode directionnel se situe autour de 300 à 330°N et les saisons printemps-été où le mode se situe plutôt autour de 290-300°N. Les changements de direction se produisent respectivement en août et en mars. Du point de vue de l'intensité, les plus fortes houles (Hs supérieures à 3 m) peuvent être observées d'octobre à avril et dépassent fréquemment 5 m de novembre à février.

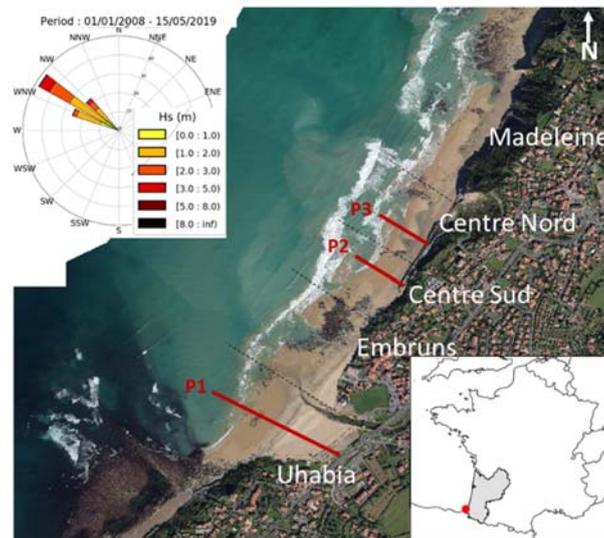


Figure 1. Carte de localisation (orthophoto Octobre 2017) et rose des houles (données MARC : www.umr-lops.org/marc, période 2008-2019).

Méthode

Ce travail repose sur des données acquises dans le cadre du projet MAREA (Programme européen POCTEFA 2017-2019) et des données plus anciennes collectées par l'OCA (Observatoire de la Côte Aquitaine) et par CASAGEC ingénierie. Les données couvrent la période 2009-2019 avec des périodicité d'acquisition variables (voir Figure 2). La méthode suivie comprend 3 phases principales. Au cours de la phase 1, une évaluation des stocks de sédiments et des morphologies associées de la plage jusqu'à environ 20 m de profondeur est réalisée. La disponibilité des stocks de sédiments ou USU (*Upper Sand Unit*) est évaluée par la différence entre la profondeur du substratum rocheux et la surface topo-bathymétrique. L'évaluation de l'épaisseur des sédiments a été effectuée en utilisant (i) une campagne de 50 forages géologiques sur les plages intertidales et supratidales, (ii) une acquisition sismique sur la zone littorale par profileur de fond (200kHz-3,5kHz). A partir de ces données des cartes diachroniques des isopaques de sédiments meubles (disponibles pour le transport de sédiments) sont réalisées. Les évolutions des stocks et des morphologies associées sont restituées à des fréquences hebdomadaires, mensuelles, saisonnières et interannuelles à l'aide de plusieurs campagnes de terrain : (i) 7 campagnes aériennes de LiDAR topographiques et orthophotographies, (ii) 17 levés D-GPS, (iii) 6 levés bathymétriques. Lors de la phase 2, après avoir analysé les évolutions des compartiments du système (cf. Fig. 3), une mise en relation de ces évolutions avec les conditions hydrodynamiques modales sur ce même secteur est proposé. Enfin durant la phase 3, un schéma de fonctionnement hydro-sédimentaire et des déplacements saisonniers des stocks de sable est élaboré. Les flux de sédiments et les stocks y sont quantifiés.

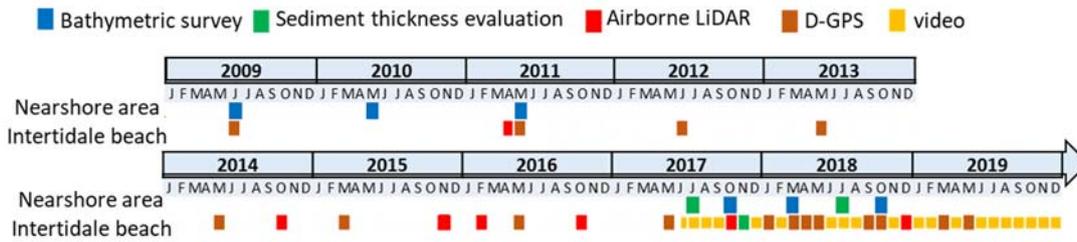


Figure 2 : Fréquence et type d'acquisitions réalisées de 2009 à 2019 sur le site d'étude.

Résultats

Le secteur littoral étudié présente un fonctionnement hydro-sédimentaire très complexe. Du fait de la présence des platiers rocheux en zone intertidale et de récifs en zone subtidale, les dynamiques hydro-sédimentaires (très majoritairement influencées par l'action des vagues sur le fond) sont évolutives à l'échelle de temps d'une marée. Par ailleurs, pour de même conditions de houles au large, les transferts de sédiments peuvent être dans certains secteurs orientés le long de la plage et pour d'autres principalement perpendiculaires aux plages (entre les plages et les petits fonds). Les transits sédimentaires sont d'autant plus différenciés entre la marée basse et la marée haute que les houles au large sont énergétiques (conditions de tempêtes par rapport aux conditions moyennes). L'angle d'incidence des vagues lors d'un évènement joue également un rôle notable sur les transferts de sédiments. Sur la plage de l'Uhabia par exemple, la dérive littorale peut être orientée nord-sud à marée basse ou sud-nord à marée haute et cela en fonction de la direction de provenance des houles.

Sur la période et l'ensemble de la zone étudiée, les stocks sédimentaires incluant zones sous-marines et plages sont relativement stables (1 389 000 m³ en moyenne) avec une variabilité saisonnière et interannuelle inférieure à 10 %. Par contre, les fluctuations des volumes de sédiments stockés sur les plages peuvent être importantes et rapides (par exemple de +30% à -40% pour le secteur de la plage du Centre Nord durant l'hiver 2017-2018). Le stock total de sédiment étant quasi-stable cela indique une forte mobilité et un transfert sédimentaire très actif entre les plages et les petits-fonds en fonction des conditions et des saisons. Certains secteurs toutefois ne répondent pas à cette logique comme la plage de l'Uhabia qui est particulièrement stable sur les 10 dernières années. Cette stabilité est dû à la relative protection de cette plage par le récif de Parlementia lors des épisodes de forte houles.

Un schéma de fonctionnement général et des schémas spécifiques aux différentes plages sont proposés. Ils constituent une synthèse des connaissances acquises Figure (3 droite). L'estimation des stocks à plusieurs dates, a permis de quantifier leurs variabilités saisonnières et pluriannuelles. Ces résultats montrent que ce secteur du littoral est principalement une zone de transit où les sédiments circulent parallèlement à la côte (du sud vers le nord) entre -2 et -10 m de profondeur. Les stocks sédimentaires accumulés sur les plages représentent généralement une quantité relativement limitée par rapport aux stocks positionnés sur les petits fonds (25 % sur les plages pour 75% dans la partie sous-marine entre -2 et -10 m de profondeur).

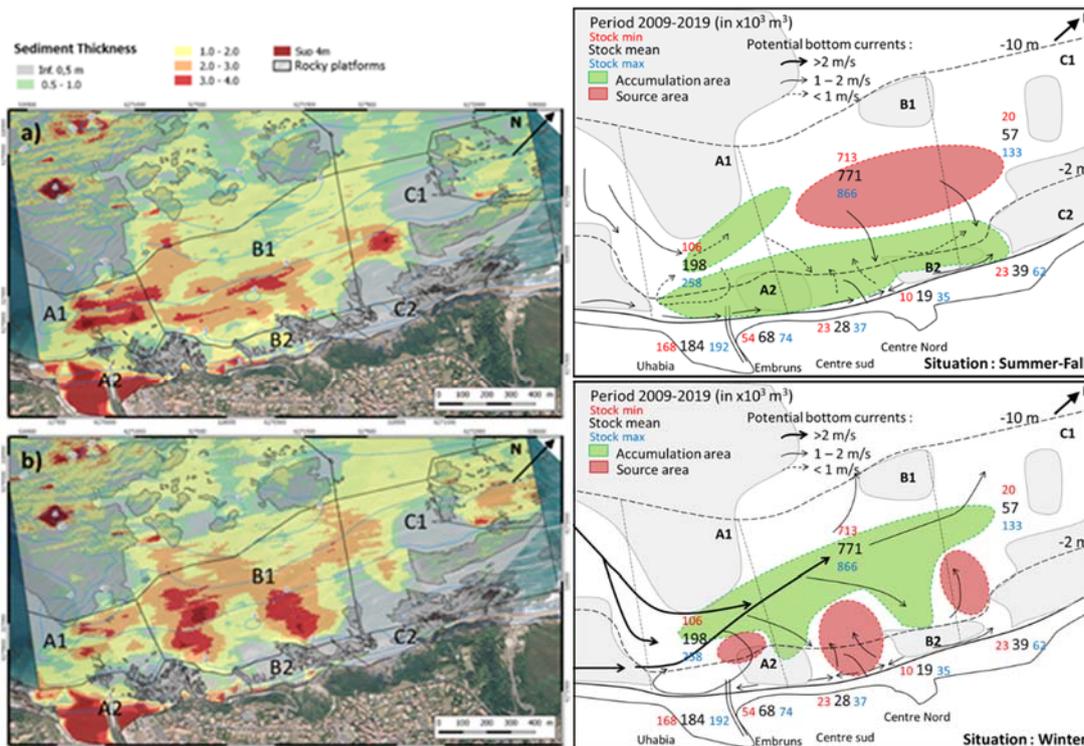


Figure 3: Variabilité interannuelle des stocks a) Octobre 2017 b) Mars 2018 et schéma de fonctionnement saisonnier c) configuration pré-hiver, d) configuration post-hiver

Conclusion

Le schéma général du fonctionnement hydro-sédimentaire proposé constitue une base de connaissances nécessaires pour la mise en place d'un plan de gestion des sédiments et l'analyse des évolutions futures des plages. Il fournit ainsi aux gestionnaires territoriaux un cadre pour envisager des actions de différentes natures (rechargement, reprofilage, prélèvement, aménagement ...). Actuellement, les actions de gestions effectives sont en nombre limité sur le secteur étudié. Cependant au regard de la trajectoire d'évolution des plages du Centre et des projets de réhabilitation du front de mer sur ce secteur les connaissances acquises ici pourront servir à orienter et pérenniser les suivis afin d'interpréter les évolutions à venir. Les méthodes mises en place sont par ailleurs exportables pour constituer un niveau de connaissance et de compréhension homogène à l'échelle du littoral basque.

L'apport des données bathymétriques pour la compréhension de la dynamique des passes du Bassin d'Arcachon

Nicolas BERNON ^{1,2*}, François JUDE ^{1,2}, NICOLAE-LERMA Alexandre ^{1,2}, GAYER Cyrille ^{2,3}

¹Brgm Direction Régionale Nouvelle Aquitaine, Pessac, France.

²Observatoire de la Côte Aquitaine, Pessac, France.

³Brgm Direction Régionale de La Réunion, Saint-Denis, France.

Contexte

Le Bassin d'Arcachon est une lagune semi-ouverte à énergie mixte évoluant sous l'influence de la houle et de la marée. Le défi que représentent la compréhension, la reproduction ou la prédiction des dynamiques et des évolutions du Bassin d'Arcachon en général, de l'embouchure et des côtes adjacentes, est dû autant à l'emprise géographique, au dynamisme des agents qui les font évoluer, qu'aux outils techniques exploitables pour observer ou simuler ces dynamiques.

Le Bassin d'Arcachon

Le Bassin d'Arcachon se situe sur la côte aquitaine bordant le Golfe de Gascogne dans l'Atlantique Nord. Il s'agit d'une lagune de forme triangulaire qui interrompt les 230 km du cordon dunaire littoral aquitain (Figure 1). Comme composante fondamentale de ce système, l'embouchure du Bassin d'Arcachon est l'interface entre l'intérieur de la lagune et sa partie marine, où s'effectuent des échanges hydrosédimentaires massifs deux fois par jour (volume oscillant de 264 Mm³ à 665 Mm³ dans la configuration actuelle et selon les coefficients de marée, Plus *et al.*, 2009, ARTELIA & Geo-Transfert 2015). L'embouchure, par sa morphologie et son fonctionnement, a donc un rôle capital sur le reste du système, et notamment sur l'évolution des littoraux adjacents.

Par nature, la zone de l'embouchure est éminemment mobile, aux dynamiques instables et complexes. Ces évolutions permanentes tiennent d'une part, à la nature des sédiments qui la constitue et à la quasi absence de points durs, et d'autre part, aux puissants agents hydrodynamiques et éoliens qui l'affectent. A partir essentiellement de l'analyse de cartes anciennes, de photographies aériennes et d'images satellites, les vitesses de migration des passes et des bancs sableux ont été estimées constantes et comprises entre 70 et 90 m/an (Michel & Howa, 1997, Cayocca, 2001, Allard 2009, Capo *et al.*, 2014, Artelia & Geo-Transfert, 2015). Ces études traitent principalement de l'évolution du secteur des passes externes.

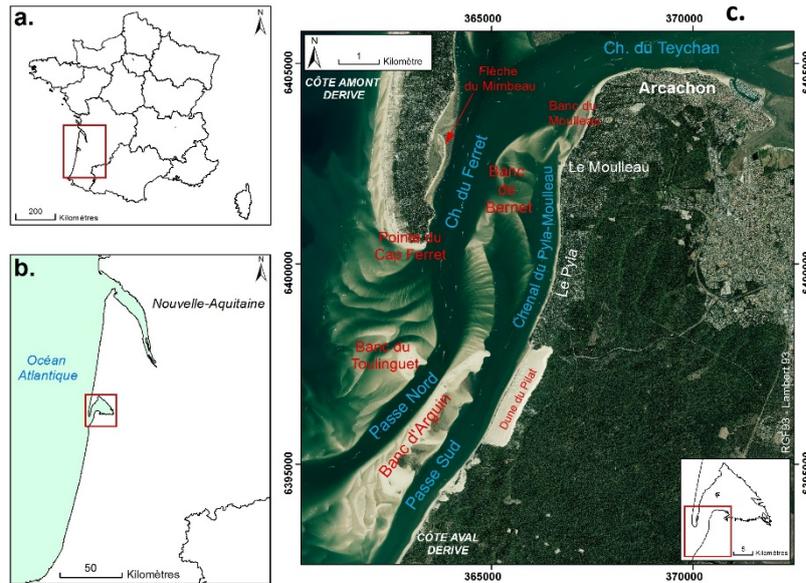


Figure 1 - Localisation (a, b) et principale unités morpho-sédimentaires © de l'embouchure du Bassin d'Arcachon (Orthophotographie : ©SIBA, 2016). Source : Jude, 2018.

Données et méthode

La bathymétrie d'un secteur correspond à sa topographie sous-marine. Pour effectuer ces mesures, on utilise classiquement des sondeurs bathymétriques installés sur des embarcations, qui déduisent la profondeur à partir du temps de trajet écoulé entre l'émission et la réception d'une onde acoustique. Les bathymétries disponibles sur l'ensemble des passes internes couvrent la période 1969 - 2016, et la période 2003 - 2015 pour le chenal du Ferret (Figure 2).

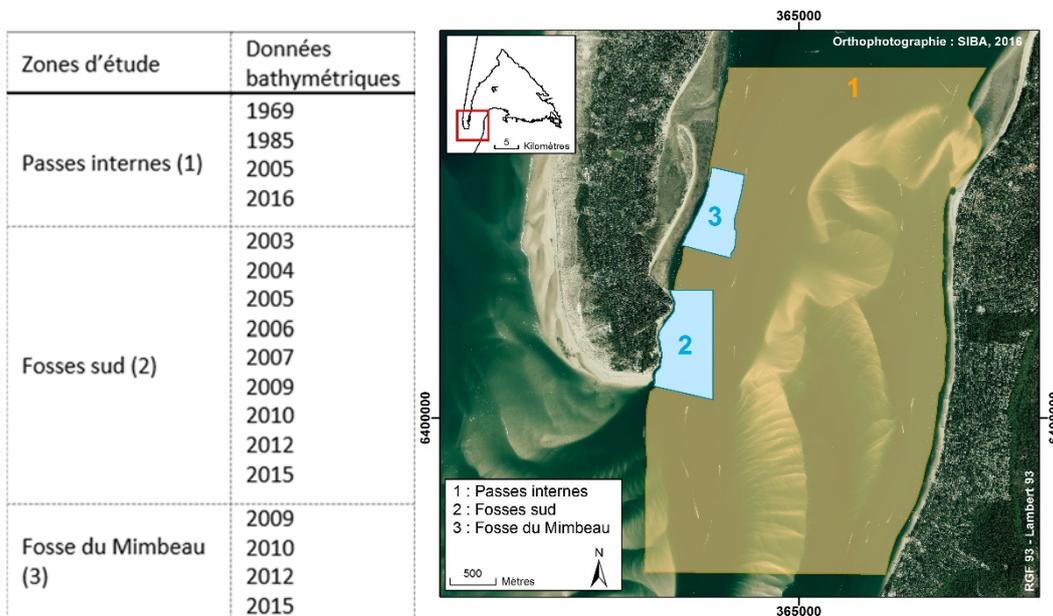


Figure 2 - Levés bathymétriques disponibles : dates et zones de couverture (Source : Jude, 2018)

A partir de ces jeux de données, des interpolations ont abouti à la production de plusieurs modèles numériques de terrain. La méthode du krigeage (Figure 3) a été mise en œuvre, les tailles des mailles

en sortie ont été déterminées en cohérence avec les densités de points des différents levés bathymétriques originaux. Les incertitudes liées à cette méthode d'interpolation sont appréciées au travers du RMSE (Root Mean Square Error) fourni avec les résultats de l'interpolation.

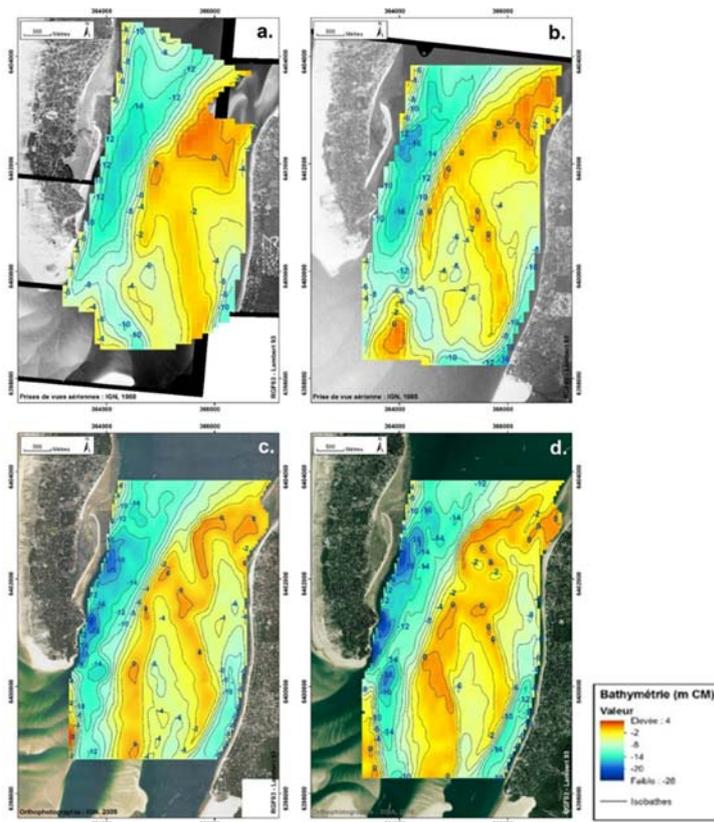


Figure 3 - MNT bathymétriques des passes internes du Bassin d'Arcachon **a.** Bathymétrie de 1969 et PAV de 1968 (©IGN). **b.** Bathymétrie de 1985 et PAV de 1985 (©IGN). **c.** Bathymétrie de 2005 et orthophotographie de 2005 (©SIBA). **d.** Bathymétrie de 2016 et orthophotographie de 2016 (© SIBA). Source : Jude, 2018.

Analyse des évolutions morphologiques : exemple de résultats

A partir des MNT produits et dans l'objectif de caractériser les évolutions géomorphologiques des passes internes et du chenal du Ferret, des descripteurs de l'environnement ont été définis. Les évolutions de certaines cotes bathymétriques traduisent les mouvements des bancs et chenaux de l'embouchure. Par ailleurs, l'analyse de profils sur les bathymétries interpolées offre quant à elle une vision de la dynamique d'évolution de la profondeur de ces objets.

A titre d'exemple, l'évolution de deux fosses au sein du chenal du Ferret (fosses dite « d'Hortense » au nord et « de la Pointe » au sud, a été étudiée au travers de la dynamique de l'isobathe 16 m CM et d'un profil bathymétrique dans l'axe du chenal (Figure 4). Ils traduisent une extension et surtout un approfondissement des fosses d'Hortense et de la Pointe entre 2003 et 2015. L'asymétrie existante entre les flancs nord et sud de ces fosses, témoigne du sens des écoulements dominants de jusant, comme déjà identifié dans l'étude courantologique de Balouin & Mallet (2007).

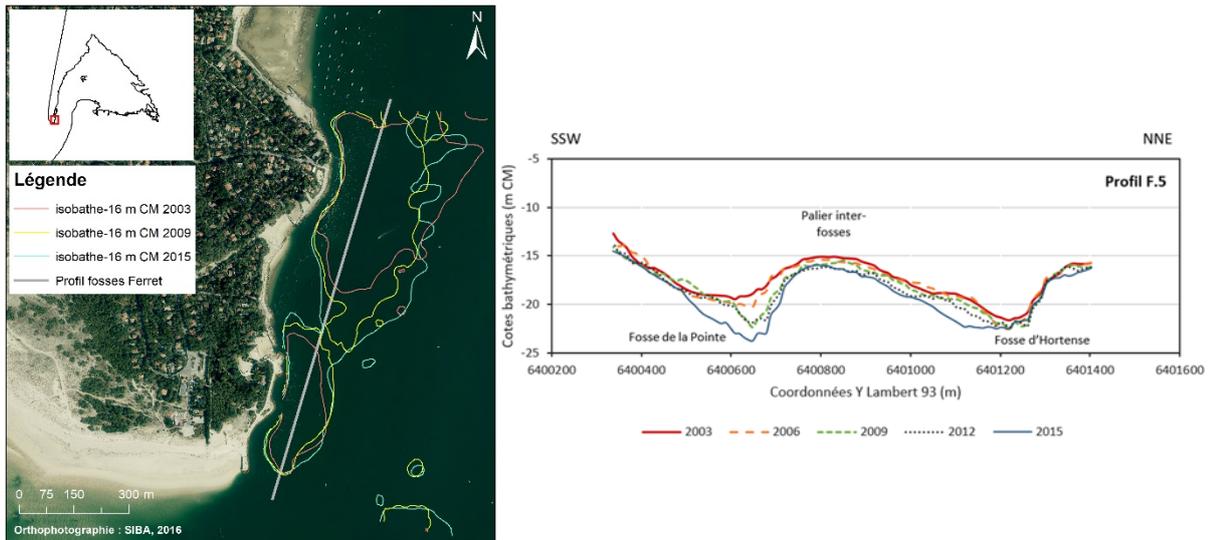


Figure 4 - Evolution de la bathymétrie au droit des fosses "Hortense" et de "la Pointe"

Conclusion

Des données bathymétriques acquises généralement à des fins opérationnelles (navigation, travaux par exemple) ont été exploitées pour caractériser les évolutions morphologiques de l'embouchure du Bassin d'Arcachon. Des interpolations de ces jeux de données bathymétriques anciens et récents ont permis des analyses des évolutions spatiale et temporelle des chenaux et bancs de l'embouchure aux échelles pluridécennales et interannuelles. Participant à l'amélioration de la connaissance de ce milieu à la dynamique complexe, ces informations sont également utiles dans le cadre des études et potentielles réalisations d'opérations de gestion des sédiments sableux envisagées dans l'embouchure du Bassin d'Arcachon.

Erosion des falaises de Seine-Maritime – Présentation des travaux mis en œuvre dans le cadre de la stratégie locale de gestion du trait de côte

Pierre VIGNE ¹

¹CEREMA, France

Sur le littoral de la Seine-Maritime, les taux de recul du trait de côte montrent une valeur significative, et dans certains cas une tendance à l'accélération. Le contexte d'exhaussement du niveau marin lié au changement climatique est de nature à accélérer les tendances.

Les services de l'État expriment le besoin de mieux cerner les enjeux globaux et d'examiner les différentes stratégies adaptées de gestion du trait de côte, afin entre autres de mieux sensibiliser les collectivités, et de mieux porter un dire de l'État concernant les stratégies adaptées pour la gestion du trait de côte.

Dans ce cadre, le Cerema a réalisé une étude visant d'une part à estimer les reculs du trait de côte potentiel à différentes échéances futures (horizon 20, 50 et 100 ans) et à identifier les enjeux susceptibles d'être concernés à plus ou moins long terme.

En parallèle à cette action, un site de 6km de long est suivi par drone régulièrement. Il s'agit d'effectuer des vols avant hiver, après hiver et à chaque moment de tempêtes significatives. Les analyses de cette acquisition permettent de mesurer plus précisément le recul des falaises, d'estimer par photogrammétrie les volumes de falaise « perdus » soit dans le cadre d'un éboulement, soit dans le cadre d'un recul moyen. L'exploitation de ces images permet aussi d'estimer les volumes de transits sédimentaires des galets au niveau d'une basse vallée concernée par un projet de ré-estuarisation. Tout ceci afin d'améliorer la connaissance du fonctionnement de cette côte si particulière.

Cette présentation s'attachera à présenter la méthode appliquée et les résultats obtenus à la fois dans le cadre de l'étude mais aussi du suivi drone et conclura sur les perspectives de travail.



Levé photogrammétrique « post-tempête » par ULM Un outil d'observation et d'analyse des impacts et de la vulnérabilité des côtes sableuses du Roussillon

E. Palvadeau¹, G. Bossennec², V. Sibert³, Y. Balouin¹ et P. Lanzellotti⁴

¹Brgm Occitanie, Montpellier, France ;

²Brgm Guyane, Cayenne, France ;

³société ECOCEANODRONE, Montpellier, France ;

⁴AURCA (Agence d'urbanisme catalane), Perpignan, France.

Contexte - Objectif

L'Observatoire de la côte sableuse catalane – ObsCat, met en œuvre depuis 2013 des suivis topobathymétriques des plages, de la position du trait de côte, de l'altimétrie et de la végétation des cordons dunaires. Réalisés en fin de chaque hiver et de chaque été, ces suivis permettent de dresser des bilans saisonniers et annuels de l'évolution morpho-sédimentaire de 17 sites sensibles et de 4 embouchures de fleuves répartis sur 7 communes de la cellule hydro-sédimentaire « Côte sableuse catalane » (Cap Leucate – Le Racou). Les vents (vitesse, direction), hauteur de la houle, niveau marin et débits des fleuves sont également compilés tout au long de l'année afin d'analyser les liens morphodynamiques entre les observations et les conditions météo-marines. En 2018, les maîtres d'ouvrages de l'Obscat dans sa configuration de l'époque, Perpignan Méditerranée Métropole et la commune de Leucate, ont souhaité disposer d'un outil complémentaire permettant d'apporter un constat rapide et précis des impacts générés par les fortes tempêtes hivernales et identifier sites par sites les principaux facteurs de vulnérabilité du littoral. Ainsi, en mars 2018, suite à la forte tempête du 28 février au 2 mars 2018, un premier levé test photogrammétrique « post-tempête » a été réalisé.

Méthodologie

La méthodologie choisie doit répondre à deux objectifs :

- Rapidité d'intervention, de sorte que les impacts puissent être relevés au plus près de l'évènement avant même leur potentielle atténuation naturelle (résilience du milieu) ou suite aux interventions d'urgence des services communaux (nettoyage des plages, des laisses de mer, etc.) ;
- Précision suffisante, pour une reconnaissance optimale et homogène des différents types d'impacts le long de la côte.

L'Obscat utilise la photogrammétrie en routine pour le suivi de l'évolution des cordons dunaires et de la morphologie des embouchures des fleuves. De cette expérience, l'idée de son utilisation pour répondre à ce nouveau besoin est donc venue naturellement. Cette technique peut être mise en

œuvre à partir d'un drone, ou à partir d'un avion léger ou d'un ULM¹. Du fait d'une réglementation très contraignante (autorisations de vol, segmentation de la zone survolée, etc.) l'utilisation d'un drone impose des temps d'intervention et d'acquisition beaucoup trop importants pour un levé de très grande emprise de type post-tempête. En 2017, l'ObsCat incluait dans son programme annuel, le levé photogrammétrique du cordon dunaire des Mourets sur la commune de Leucate, d'une superficie de plus de 60 hectares. Un levé classique par drone, aurait impliqué une logistique complexe et un temps d'acquisition, et donc un coût très importants. Pour cette opération Ecoceanodrone, prestataire de l'ObsCat pour les levés photogrammétriques, avait donc opté pour l'utilisation d'un autogire. Cette première expérience a été concluante, montrant l'intérêt de l'utilisation des plate-formes de type ULM plus largement, tant sur le plan de la qualité des résultats que du point de vue des coûts et de la rapidité de leur mise en œuvre. Elle a donc été choisie pour la réalisation du premier levé test « post-tempête » mais aussi pour les autres levés photogrammétriques réalisés ultérieurement dans le cadre de l'ObsCat.

Suite à la tempête du 28 février au 2 mars 2018, ce premier survol ObsCat post-tempête a été réalisé le 6 mars 2018 par un autogire équipé d'un appareil photographique 24 mm à focale fixe f2.8, pour couvrir les 25 km de côte suivis à l'époque par l'ObsCat (du Cap Leucate au grau de l'étang de Canet-St-Nazaire). Une couverture orthophotographique et un modèle numérique de surface à la résolution de 6,5 cm/pixel ont été restitués à partir des quelques 7 200 clichés pris lors du vol.

Exploitation des données

Orthophotographie :

La photo-interprétation de l'orthophotographie produite a permis de cartographier les différents impacts le long du linéaire côtier :

- Franchissements/recouvrements dunaires : ils se manifestent par des recouvrements partiels, parfois complets, de la végétation dunaire par des sédiments, révélant une atteinte par les vagues, par franchissement de la dune par le jet de rive. Ils ont été repérés grâce à la baisse de densité de végétation sur les cordons dunaires ou par la présence de lasses de mer sur ou à l'arrière des dunes ;
- Percées dunaires : zones où la mer a traversé le cordon dunaire empruntant le plus souvent les chemins d'accès aux plages, aménagés ou spontanés, qui constituent des zones de faiblesses altimétriques. Il ne s'agit pas à proprement parler de brèches, la mer n'ayant fait qu'emprunter ces zones préexistantes sans les créer ou les re-creuser par action mécanique. Il en résulte en arrière dune, la présence de dépôts sableux sous forme d'éventails et/ou de lasses de mer constituées de bois flottés et de déchets ;
- Secteurs submergés en arrière-dune : zones anormalement humides ou inondées. Elles ont été repérées par comparaison de l'orthophotographie post-tempête avec des images satellites précédentes. On retrouve aussi des lasses de mer sur ces secteurs ;

¹ Ultra Léger Motorisé

- Dégâts urbains : zones submergées en front de mer, présence de laisses de mers, dépôt de sable, dégâts encore visibles sur les zones urbanisées, routes, places et zones piétonnes.

Modèle numérique de surface :

Le run-up² et l'altitude de la crête dunaire ont été calculés à partir du modèle numérique de surface restitué à partir du levé photogrammétrique. Ces deux variables permettent d'apprécier la vulnérabilité du littoral aux vagues de tempêtes. Leur confrontation à la répartition des différents types de dégâts observés permet d'identifier les facteurs de vulnérabilité selon les secteurs ainsi que les zones les plus vulnérables ou les plus potentiellement vulnérables.

Résultats

Pour la plupart des secteurs, le cumul des 2 paramètres de vulnérabilité, run-up et altitude du cordon dunaire, permet d'expliquer les dégâts observés. Dans d'autres cas, un seul peut suffire à les expliquer. C'est le cas notamment des 2 zones naturelles de Torreilles et du Mas de l'Isle). Ces deux secteurs ont subi du recouvrement dunaire mais ils sont plus étendus sur le Mas de l'Isle que sur Torreilles malgré un run-up plus faible. Cette différence s'explique par le fait que le cordon dunaire du Mas de l'Isle soit moins élevé que celui de Torreilles.

Toujours sur le secteur de Torreilles, l'absence de dune ou une diminution de l'altitude du cordon par endroits, notamment au niveau des emplacements pour les restaurants de plage, crée des fragilités dans le cordon dunaire. Ces zones de faiblesses couplées à un run-up fort ont permis le franchissement de la dune et le remplissage de creux topographiques, et des accumulations d'eau de mer en arrière-dune (zones inondées). Ces accumulations sont d'autant plus importantes que la zone de vulnérabilité est large.

Sur le secteur Sud du Barcarès, il y a peu de dégâts urbains malgré un run-up élevé et un cordon dunaire bas. Ces deux facteurs n'expliquent donc pas l'absence de dégâts sur ce secteur. En revanche la largeur de plage rentre en jeu car elle croît du Sud vers le Nord et les dégâts sont aussi plus nombreux au sud qu'au nord du site.

Le site de Port Barcarès Nord est caractérisé par d'importants dégâts urbains, notamment à proximité du port, avec rupture de la plateforme bétonnée de la promenade (« balladoir ») et submersion marine. Une partie de ce site urbanisé a été épargnée, elle se situe en face du cordon dunaire qui est élevé et permet une protection naturelle. La partie ne présentant pas de cordon dunaire est la plus touchée. L'atténuation d'énergie liée à la batterie de brise lames a sans doute également limité les dégâts.

² Hauteur maximale atteinte par le déferlement des vagues sur la plage ou sur un ouvrage. Fonction de la pente de la plage.

Conclusion

La méthodologie mise en œuvre pour ce premier test de levé Post-tempête sur la zone suivie par l'ObsCat en 2018 permet un relevé précis et exhaustifs des principaux impacts à la côte. Elle fournit également une mise à jour de l'état des zones de faiblesses connues et une détection de nouvelles zones vulnérables. Cette méthodologie assure une intervention rapide, à moindre coût, après une tempête et la couverture en un temps très court d'un linéaire côtier conséquent avec une restitution précise des informations recherchées. Ce survol a constitué pour l'ObsCat un premier test concluant pour pouvoir envisager le déploiement de ce type d'opération de manière récurrente. Ainsi, deux levés identiques ont été réalisés depuis, à la fin de l'hiver 2019 et à la suite de la tempête Gloria de janvier 2020, cette fois sur l'ensemble des 44 km de l'unité hydro-sédimentaire du Roussillon aujourd'hui suivis par l'ObsCat.



Session 3 - Outils d'aide à la décision



RAIE : un outil de cartographie de l'acceptabilité territoriale au réemploi de sédiments d'infrastructure portuaire.

Eric Masson¹, Edwige Motte, Guillaume Chevalier, Jean-Baptiste Litot, Christelle Audouit, Philippe Deboudt, Olivier Blanpain

¹Laboratoire TVES

Introduction

La gestion des zones côtières implique un échange entre des acteurs territoriaux qui doivent converger vers une prise de décision lorsqu'il s'agit de construire, aménager, protéger une infrastructure ou un espace « naturel » (Ritschard, 2017). Ce dialogue entre porteurs d'enjeux souvent divergents, appelle une expertise et une projection territoriale qui s'appuie sur différents supports d'aide à la décision (Grillot et Waub, 2006). Parmi ceux-ci, les outils participatifs peuvent être mobilisés (réunions publiques, ateliers, focus groups etc.) pour informer, consulter, concerter, co-décider (Roderick et al., 2009) ou arbitrer une prise de décision. Dans le cas de l'aide à la décision territorialisée, des outils de type Systèmes Spatialisés d'Aide à la Décision (SSAD) peuvent être mobilisés dans une démarche descendante (top-down) ou dans une démarche ascendante (bottom-up) mobilisant les systèmes d'information géographique et les autres dispositifs de représentation spatiale des informations géographiques.

« Répulsion, Attraction, Inclusion, Exclusion » (RAIE) est un outil d'aide à la décision territorialisée qui s'inscrit entre les Participatory Geographic Information System (PGIS) (Sieber et al. 2006) et l'analyse de cartes mentales (Mc Kenna et al., 2008). Cet outil est développé dans le cadre du projet INTERREG North-West Europe (NWE) Sediment Uses as Resources in Circular And Territorial Economies³ (SURICATES). Il est utilisé pour interroger l'acceptation territoriale de filières de valorisation des sédiments d'infrastructure portuaire.

Produire des cartes mentales avec RAIE

Les représentations des contraintes spatiales par les acteurs participent très largement à la prise de décision pour l'aménagement et la gouvernance des territoires (Lardon et al., 2019 ; Moser et Weiss, 2003). Ces représentations sont le plus souvent abordées par une analyse des lieux cités ou par la réalisation de cartes mentales (Pichon, 2015 ; Didelon et al., 2011). Exploiter ces interprétations subjectives dans une optique de synthèse reste une gageure en raison des biais liés à la collecte d'informations individuelles dont les modalités de retour sont extrêmement variables et influencées par les vécus et les niveaux de compétences ou de connaissances des individus sollicités. L'outil RAIE a pour objectif de produire, d'intégrer et d'analyser des cartes mentales construites à « dire d'acteurs » ayant des valeurs environnementales divergentes. Plus précisément, RAIE est un outil

³ <https://interreg-suricates.univ-lille.fr/>

d'aide à la décision et à la recherche de localisation. Il s'appuie sur une modélisation spatiale des valeurs environnementales à partir d'une ontologie déclarative appliquée à un territoire de projet. Celle-ci décrit les règles individuelles de décision pour localiser des sites de moindre contrainte territoriale. Chaque règle mobilise quatre valeurs environnementales (fig.1) : la Répulsion, l'Attraction, l'Inclusion, l'Exclusion. Elles sont appliquées à des objets géographiques issus de catalogues de données ouvertes ainsi qu'à leur voisinage. Par combinaison de ces quatre valeurs appliquées à deux espaces (objets géographiques et voisinage), chaque acteur dispose de 16 contraintes spatiales (4 pour chaque objet X 4 pour chaque voisinage) pour éliciter une perception du rapport à l'espace entre une question posée et un catalogue de données géographiques pour un territoire d'intérêt. Les fonctions d'analyse spatiale utilisées par RAIE sont le calcul de distance (R et A) et la reclassification binaire (I et E). Il est aussi possible de masquer des zones géographiques pour les « sanctuariser » dans la prise de décision. Chaque acteur peut donc « cuisiner sa recette » de décision (i.e. sa carte mentale de réponse à la question posée) à partir d'une sélection de couches géographiques issues d'un catalogue de données fourni décrivant le territoire de projet.

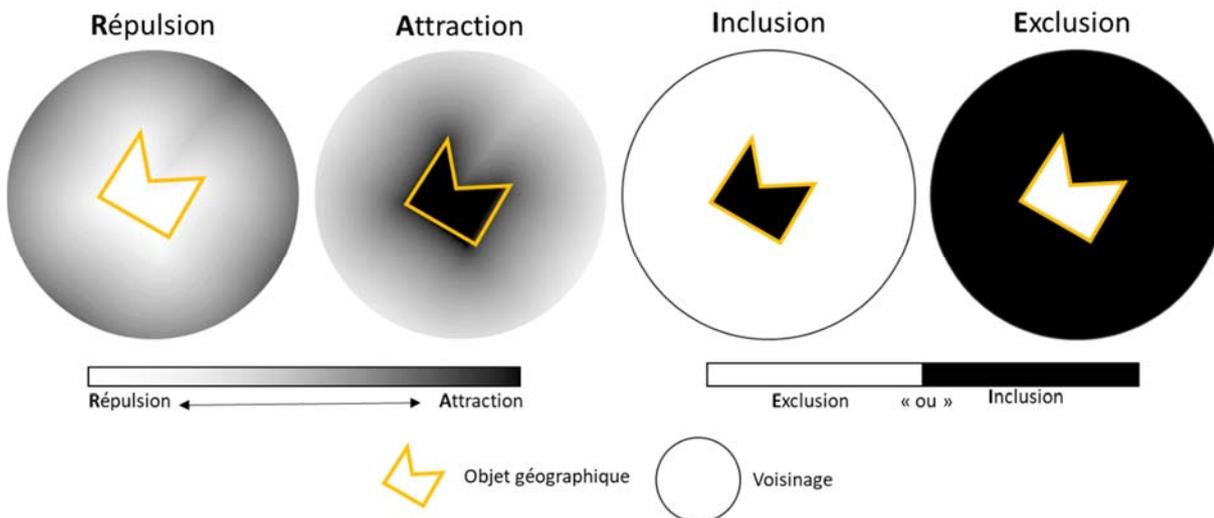


Figure 1 - Les quatre valeurs de RAIE.

Le calcul par algèbre de grille produit une carte de géopotentiels et de localisations sur la base de valeurs environnementales déclaratives qui sont quantifiées et normalisées. Cette carte résultat équivaut, pour un acteur, à une carte mentale des contraintes globales (Fig. 2a). Elle synthétise les représentations spatiales des valeurs environnementales liées à une question posée, ici la localisation d'un site de moindre contrainte pour l'implantation d'une filière de réemploi des sédiments d'infrastructure portuaire. Pour servir de support d'aide à la décision, cette carte doit être seuillée entre 0 (contrainte nulle) et 1 (contrainte maximum). Il s'agit d'un seuil d'acceptation territorial au-dessus duquel l'acteur exclut des zones géographiques de la règle de décision (Fig. 2b).

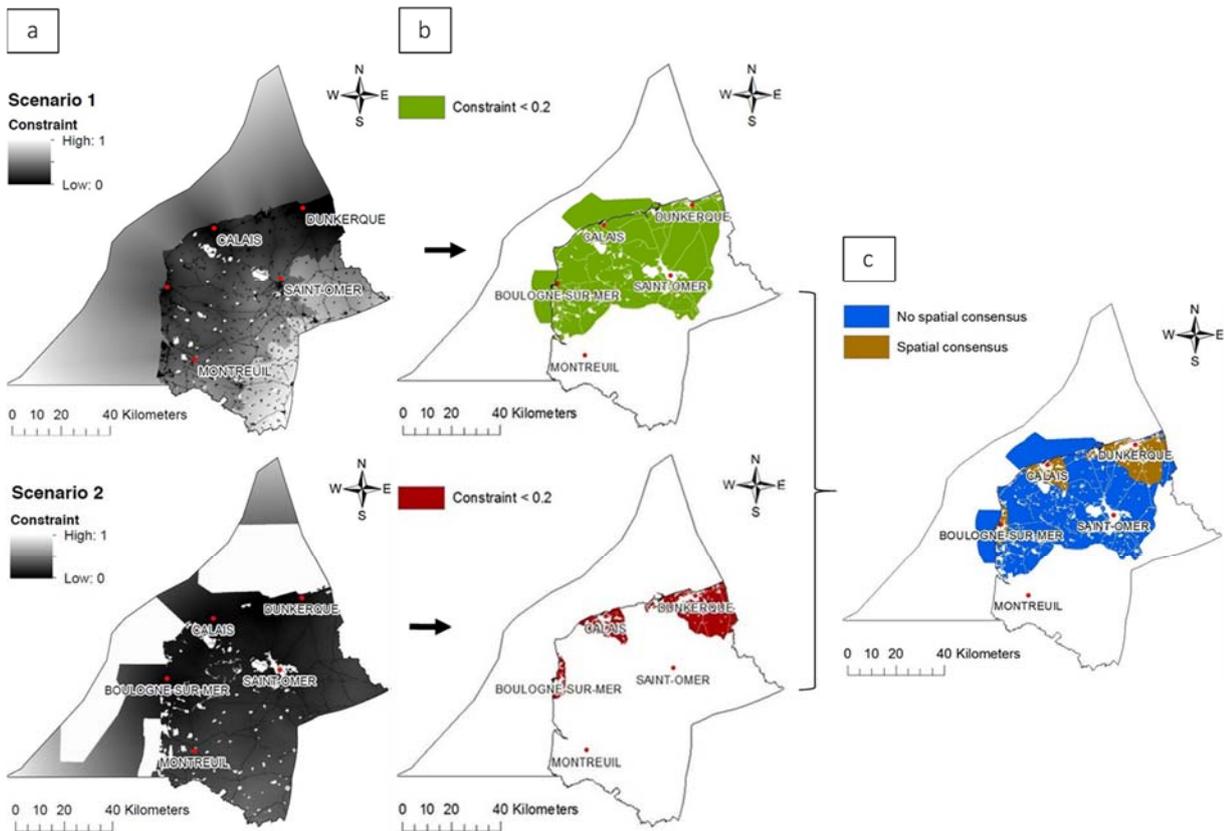


Figure 2 - Exemple de cartes de contraintes territoriales pour deux règles de décision « à dire d'acteur » (modifié d'après Masson et al., 2015). a : Résultat avant seuillage ; b : Résultat après seuillage (niveau de contrainte accepté = inférieur ou égale à 0.2 sur une échelle de contrainte de 0 à 1) ; c : Intersection de deux règles de décision pour l'extraction d'un territoire de consensus spatial.

Rechercher du consensus spatial avec RAIE

La recherche de consensus spatial est une alternative à la recherche d'une règle de décision unique. L'objectif est de localiser des territoires d'intérêt commun sans modifier les valeurs environnementales de différentes parties prenantes participant à une prise de décision. RAIE peut être utilisée pour comparer des règles de décisions individuelles et rechercher des zones géographiques où les contraintes d'acceptations sont les moins fortes. Si l'on reprend les résultats intermédiaires (Fig. 2a et 2b), l'intersection des deux règles de décisions est la zone géographique qui correspond aux territoires d'acceptation partagée, où il y a consensus spatial malgré des ontologies déclaratives différentes (Fig. 2c).

Le projet SURICATES cherche à appliquer des solutions pour faire face à l'accumulation sédimentaire dans les infrastructures portuaires qui impacte fortement la navigation et l'activité économique. Le clapage en mer des sédiments issus de dragages est aujourd'hui une solution privilégiée par les gestionnaires. Cette option devrait cependant être remise en cause par l'évolution de la réglementation européenne qui prévoit des mesures restrictives à l'égard du clapage en mer (OSPAR, 2017). Dès lors, il apparaît essentiel de réfléchir à de nouvelles opportunités pour la valorisation des sédiments (bétons, sous-couche routière, aménagement paysager, digues, terres

agricoles etc.) en suivant les principes de l'économie circulaire et de circuit court (Masson et al., 2019).

La question de la recevabilité territoriale par les acteurs et les populations riveraines de la valorisation des sédiments issus de dragage n'est pas encore étudiée. Le réemploi d'une ressource susceptible de produire des nuisances (visuelles, olfactives, chimiques, sanitaires etc.) constitue une vraie opportunité de réinterroger les jeux d'acteurs territoriaux sur le littoral, au prisme de l'économie circulaire, des circuits courts et de la réduction des impacts sur les ressources naturelles. Ces valeurs qui sont plébiscitées au niveau sociétal s'inscrivent dans les concepts d'upcycling (surcyclage) ou building with nature (ingénierie écosystémique) qui sont porteurs de valeurs de développement durable.

Adapté à la recherche de consensus spatial, RAIE est donc un outil d'aide à la décision pour le déploiement d'une filière de réemploi des sédiments ou pour toute autre question relevant de la gestion des zones côtières.

Conclusion

Les quatre valeurs environnementales de RAIE modélisent des rapports élémentaires à l'espace qui sont accessibles au plus grand nombre. Leurs combinaisons offrent néanmoins une très large palette d'expression des représentations spatiales individuelles. À partir des résultats obtenus, notre contribution démontre comment l'application RAIE intègre les données géographiques et les valeurs environnementales pour produire une géoprospective des territoires littoraux dans une logique d'économie circulaire et de circuit court.

Grâce au modèle de traitement utilisé, les règles de décision d'acteurs peuvent être comparées pixel à pixel sur un même territoire. Il est donc possible de rechercher du consensus spatial multi-acteurs avec des rapports au territoire différents. L'acteur ou le citoyen qui utilise l'application RAIE peut définir une ontologie spatiale en appliquant la « grammaire » (RAIE) à des « mots » (geodata) qu'il sélectionne dans un catalogue pour paramétrer une narration de ses représentations territoriales.

Enfin, le recours à des référentiels géographiques européens ou nationaux permet une transposition des règles de décisions et des recherches de consensus spatial à différents territoires. L'outil d'aide à la décision RAIE peut aussi être mobilisé pour toute question environnementale de recherche de localisation impliquant une dichotomie spatiale en termes de nuisances et d'aménités territoriales.

Références :

- Didelon C, de Ruffray S, Boquet M, Lambert N. (2011) "A World of Interstices: A Fuzzy Logic Approach to the Analysis of Interpretative Maps", *The Cartographic Journal*, 48:2, pp. 100-107, DOI: 10.1179/1743277411Y.0000000009
- Graillot D, Waaub JP. (2006) « Aide à la décision pour l'aménagement du territoire : méthodes et outils. Traité IGAT », série Aménagement et Gestion du Territoire/ sous la direction de Didier Graillot, Jean-Philippe Waaub. Hermes science Lavoisier, Paris, 436 p.
- Lardon S, Rizzo D, Benoit M. (2019) "Combiner cartes à dire d'acteurs et lectures de paysage pour analyser les circuits agricoles et alimentaire de la vallée de la Levrière, Un itinéraire méthodologique innovant », SAGEO' 2019 – Clermont-Ferrand, 13-15 novembre 2019

- Masson E, Harrington J, Wijdeveld A, Groot H, Lord Richard, Debuigne Tristan, Wensveen M, Hamilton A, Benzerzour M, O'Connor M. (2019) "SURICATES: demonstration through pilots of sediment reuse for coastal defence or climate change mitigation", Sediments Conference 2019, Feb 2019, New Orleans, United States. hal-01950573
- Masson E, Lahlou D, Roig Cervera D, Sutton G. D, Debuigne T, Chevalier G, Blanpain O. (2015) "Spatial DSS using GIS and weighted sum: application to the marine sediment re-use in the ports of North Western Europe", Proceeding of the 29th EnviroInfo and 3rd ICT4S Conference, Copenhagen, September, 8 p.
- Mc Kenna J, Quinn R.J, Donnelly D.J, Cooper J.A.G. (2008) "Accurate Mental Maps as an Aspect of Local Ecological Knowledge (LEK): a Case Study from Lough Neagh, Northern Ireland", Ecology and Society, n°13, pp. 1-23.
- Moser G, Weiss K. (2003) Espaces de vie. Aspects de la relation homme-environnement, Armand Colin, Paris, 396 p.
- OSPAR. (2017) OSPAR's Intermediate Assessment 2017, www.ospar.org/assessments (Consulté le 19_02_2020)
- Pichon M. (2015) « Espace vécu, perceptions, cartes mentales : l'émergence d'un intérêt pour les représentations symboliques dans la géographie française (1966-1985) », BAGF, 92 :1, pp. 95-110. DOI : 10.4000/bagf.502.
- Ritschard L. (2017) « Représentations spatiales et Processus de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) : Application à deux territoires côtiers bretons », Thèse soutenue à l'Université de Bretagne occidentale, 361 p.
- Roderick John L, Horber-Papazian K, Dao QH, Lambert C, Jacot Descombes C, Desthieux G, Billeau Beuze S, Rabinovitch A, Little John K. (2009) « Informer, consulter, concerter, co-décider pour aménager. Dispositifs de partage des informations et des connaissances pour les processus d'aménagement concerté (DPICPAC) » <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:23257> (Consulté le 19_02_2020)
- Sieber R. (2006) "Public Participation Geographic Information Systems: A Literature Review and Framework", Annals of the Association of American Geographers, 96:3, pp. 491-507, DOI: 10.1111/j.1467-8306.2006.00702.



Pays de Brest – Simulation de la hausse du niveau des océans à horizon 2100

Arnaud Henry - géomaticien

Service SIG Brest métropole, Brest, France.

Situation actuelle : méthode de calcul et retranscription PLU

Il existe sur le territoire de Brest métropole une cartographie des zones basses du Finistère, produite par la DDTM29 en 2013, qui permet de qualifier le risque de submersion marine. Ces cartes sont basées sur un « niveau marin de référence » (NMR), qui correspond au « niveau marin centennal »⁴ auquel sont ajoutés +20 cm, comme première étape de prise en compte de la hausse du niveau de la mer sur la base des données scientifiques de 2013.

Ces cartes localisent les zones submersibles selon l'élévation plus ou moins proche de ce NMR (Cf. Notice d'accompagnement fournie avec ces cartes pour en savoir plus⁵).

Cette première étape de cartographie du risque de submersion a fait l'objet d'une retranscription stricte des zones délimitées par l'Etat dans le PLU facteur 4 de Brest métropole approuvé en janvier 2014. Le règlement du PLU comprend des dispositions de maîtrise de l'urbanisation dans chacune des zones aléa (fort, moyen, futur) allant jusqu'à l'interdiction de certains types de constructions.

En 2017, suite à un travail d'investigation interne qui a pointé quelques erreurs dans le nuage de points altimétriques utilisé par la DDTM (trous inexistantes, bâtiments résiduels), Brest métropole a affiné ces zones pour les rendre plus conformes à la réalité « terrain ». Ce travail s'est fait en concertation avec les services de la DDTM29 qui ont validé la méthodologie de mise à jour des zones soumises à l'aléa des submersions marines.

L'ensemble des nouvelles zones calculées a été intégré au PLU par modification du document graphique représentant les zones d'aléa de submersion marine.

En parallèle de ces cartes à portée réglementaire, le SIG Brest métropole dispose des données géoréférencées et les diffuse au grand public, via le portail [GéoPaysdeBrest](#).

⁴ Niveau atteint lors d'un évènement théorique qui a 1 chance sur 100 de se produire chaque année, établi statistiquement par un croisement des probabilités d'occurrence de forts coefficients de marée et de surcotes liées à une tempête

⁵ Notice d'accompagnement des cartes des zones basses : <http://www.finistere.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-risques-naturels-et-technologiques/Zones-basses-littorales-Version-2013/Notice-d-accompagnement-des-cartes-et-guide-d-application-de-l-article-R.111-2-du-CU>

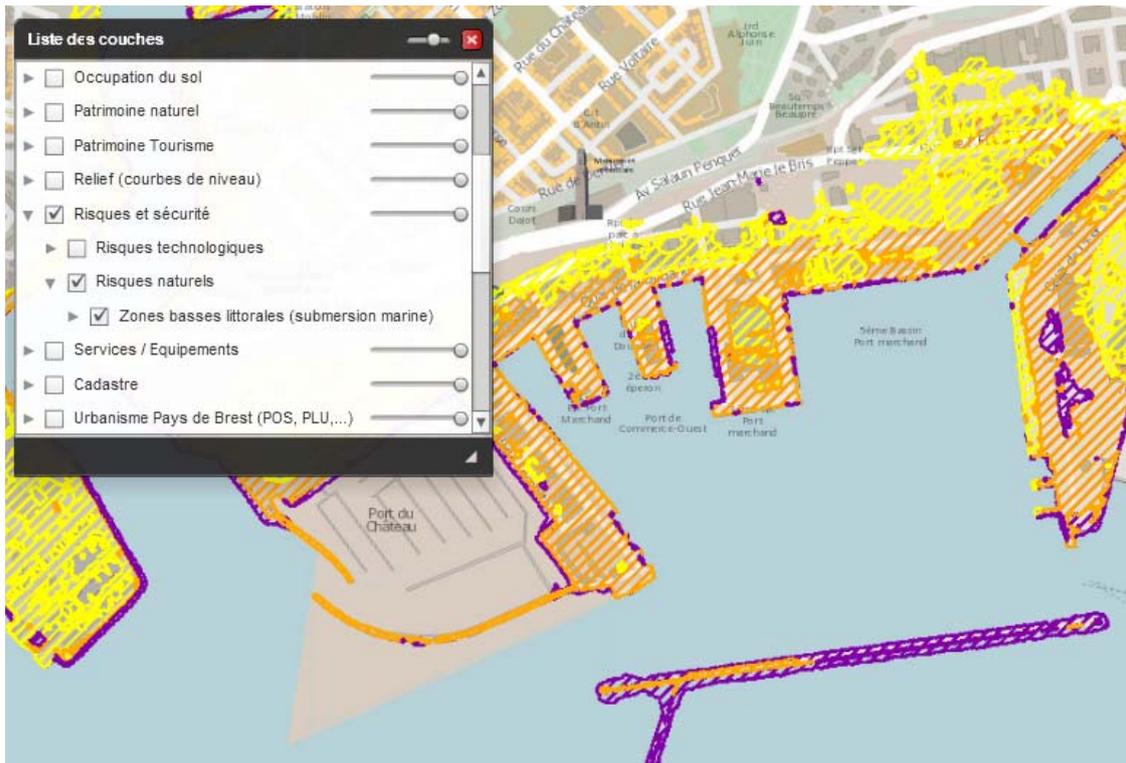


Figure 1 : Représentation des zones basses littorales sur le portail GéoPaysdeBrest

Projection : prise en compte des rapports du GIEC pour la détermination des futures zones à risque dans pour le nouveau plan climat air énergie territorial

En s'appuyant sur le rapport du GIEC de fin 2018, il s'avère qu'au regard des derniers scénarios de hausse du niveau de la mer⁶ (plus pessimistes que ceux sur lesquels se sont appuyés la DDTM lors de la réalisation des cartes des zones basses), l'ajout de 20cm de prise en compte du changement climatique dans les cartes la DDTM correspond aujourd'hui à une projection à horizon 2035.

Une projection à horizon 2050-2100 implique plutôt l'ajout de 30 à 80cm de hausse du niveau de la mer (scénarios optimiste RPG 4.5 et pessimiste RPG 8.5 à horizon 2100). Cela impliquerait sur ces cartes que certaines zones classées comme en aléa moyen passeraient en zone d'aléa fort.

Brest métropole a donc voulu appréhender cette évolution dans le cadre du diagnostic vulnérabilité du territoire au changement climatique confié à Energence, l'agence locale de l'Énergie et Climat du Pays de Brest. La même méthodologie a été ensuite appliquée par Energence, en s'appuyant sur

⁶ Jouzel J., Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'Énergie, « Volume 5 du Rapport « Le climat de la France au XXIème Siècle » – Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises », Mars 2015. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/154000211.pdf> & Jouzel J., Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'Énergie, « Volume 4 - Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer », Septembre 2014. <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/144000543.pdf>

le service d'information géographique, à l'échelle du Pays de Brest pour enrichir le diagnostic territorial des différents plans climat des EPCI.

En s'appuyant sur le même niveau de référence que la DDTM, le Niveau Marin centennal, le SIG Brest métropole a calculé 3 scénarios :

- +30cm correspondant au minimum de hausse du niveau de la mer du scénario optimiste à horizon 2081-2100
- +80cm correspondant au maximum de hausse du niveau de la mer du scénario pessimiste à horizon 2081-2100
- +1m correspondant au maximum de hausse du niveau de la mer du scénario pessimiste en 2100

Sur l'ensemble du Pays de Brest, 62 zones dites « à risque » ont été choisies directement par les EPCI dans le cadre de l'élaboration de leurs plans climat air énergie territoriaux (PCAET). Ils ont utilisé les résultats dans leurs études pour alimenter le diagnostic de vulnérabilité ou définir des actions d'adaptation du territoire aux effets du changement climatique.

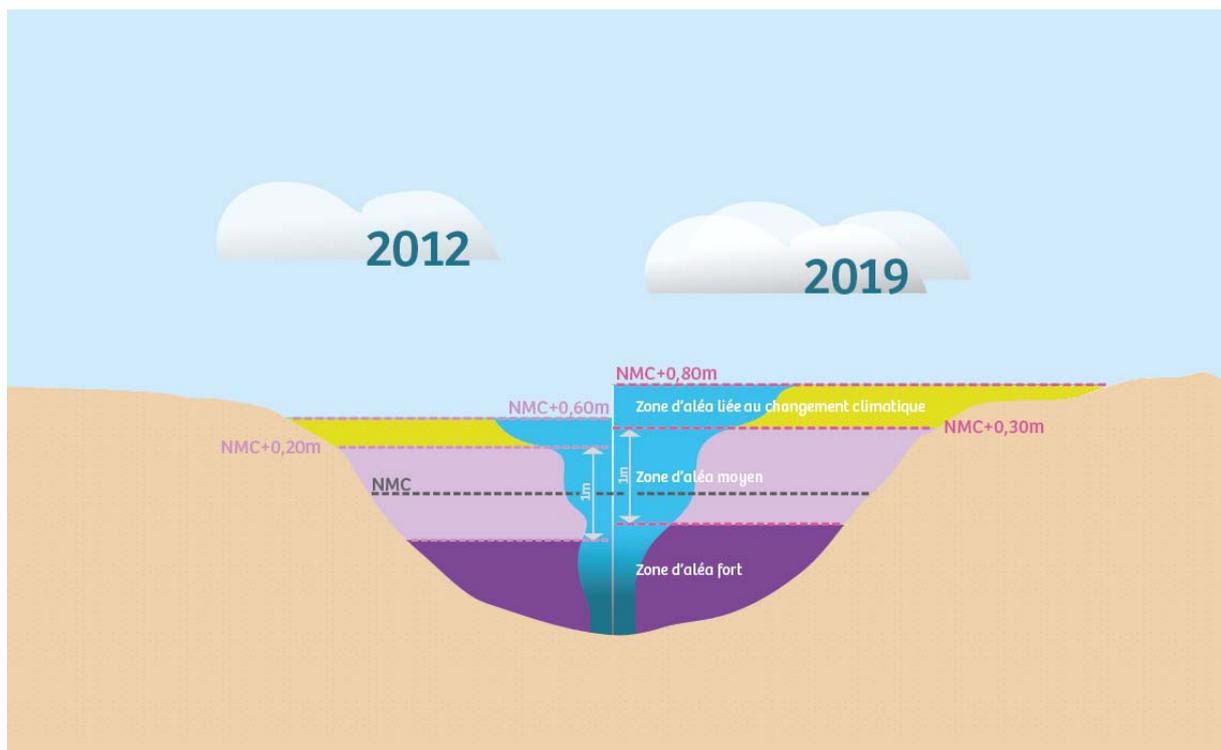


Figure 2 : Différence entre les niveaux actuels et les niveaux GIEC 2018

A Brest métropole, les résultats de ces calculs sont considérés comme des projections mais n'ont pas fait l'objet à ce jour d'une nouvelle transcription réglementaire dans le document d'urbanisme. Une réflexion est engagée dans cette perspective.

Les données sont, pour le moment, disponibles sous la forme de visualisation 3D pouvant être utilisées lors de réunion techniques, publiques ou autres formats (par exemple dans le cadre d'ateliers prospectifs ou workshops étudiants).

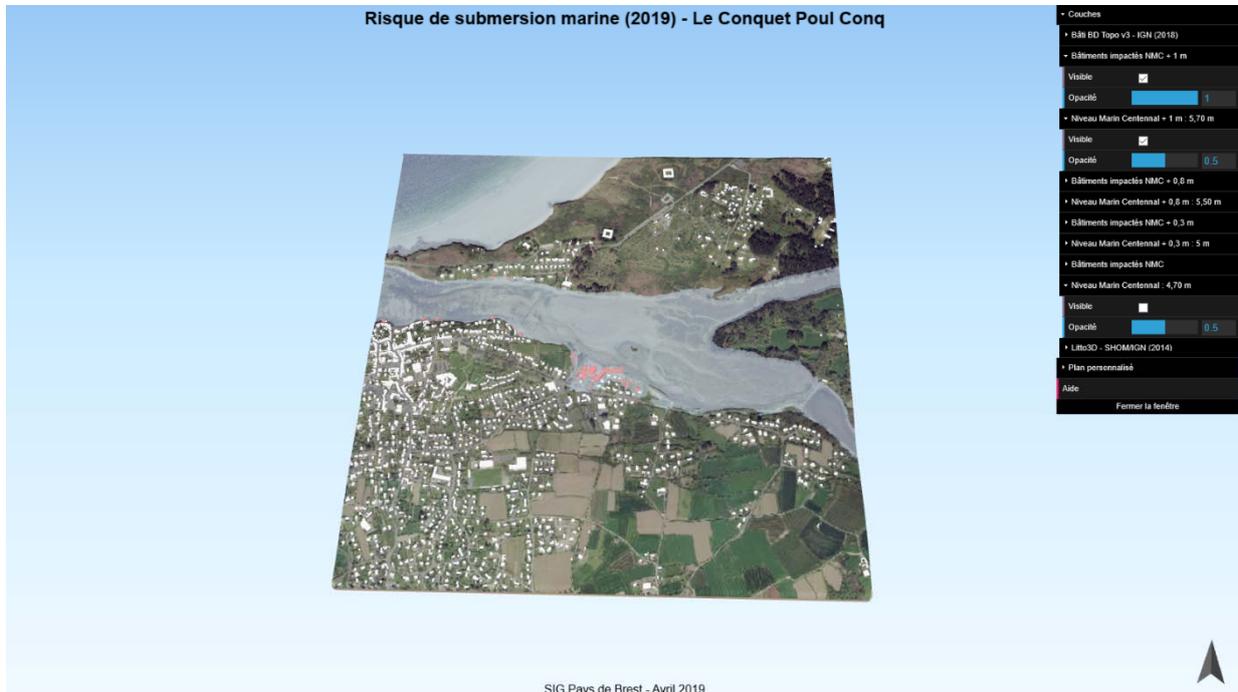


Figure 3 : Visualisation 3D des futurs aléas

Conclusion

Le territoire de Brest métropole et du Pays de Brest se caractérise notamment par une bande littorale très importante. Elle constitue un enjeu d'attractivité en termes d'urbanisme ou de tourisme, mais également un enjeu économique pour le fonctionnement de la zone portuaire. Se projeter sur l'élévation du niveau de la mer et ses impacts est donc essentiel pour les élus dans leur prise de décision. Il s'agit en effet pour eux d'anticiper toutes les actions permettant de garantir la sécurité des personnes tout en maintenant les activités notamment économiques sur la frange littorale.

Formalisation de l'intégration de données géospatiales dans un modèle multi-agents : cas de LittoSIM-GEN

Cécilia Pignon-Mussaud¹, Ahmed Laatabi¹

¹UMR 7266 LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle, France.

Introduction

LittoSIM [1] est un dispositif de simulation participative (figure 1) qui combine un jeu sérieux (modèle multi-agents distribué sous la plateforme GAMA) et un modèle hydrodynamique de submersion (LISFLOOD-FP). Co-construit en 2015 avec la Communauté de Communes de l'île d'Oléron, il vise essentiellement la sensibilisation aux risques de submersion marine auprès des acteurs locaux (élus et gestionnaires). Depuis 2019, le projet LittoSIM-GEN a pour objectif d'étendre ce dispositif à d'autres territoires métropolitains, afin d'évaluer sa généricité et son efficacité en matière d'apprentissage. La diversité, l'hétérogénéité et la multiplicité des données géospatiales nécessaires au modèle LittoSIM induisent une complexité supplémentaire à la modélisation et des traitements longs et chronophages lors de l'intégration de nouvelles données.

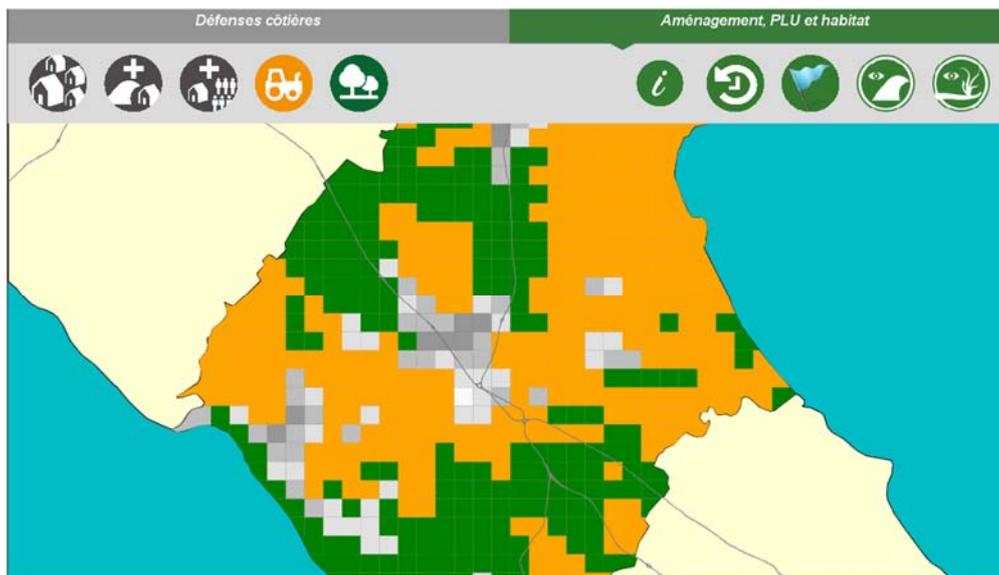


Figure 1 : l'interface joueur de la plateforme LittoSIM

Les données géospatiales et les modèles multi-agents

La réutilisation des modèles est l'un des défis majeurs de la science aujourd'hui. Le manque de transparence dans la construction et la formalisation des relations données modèle complexifie la modélisation multi-agents. En effet, il est souvent difficile de savoir comment les données brutes sont utilisées dans le modèle, et comment elles sont transformées pour être intégrées dans sa structure. Cette situation est fréquente dans le cas des données géospatiales, qui sont par nature, hétérogènes, composites et incomplètes. L'application d'un modèle existant dans un autre contexte avec de nouvelles données nécessite une multitude d'opérations pour transformer les fichiers bruts

(shapefile, raster, grille...) à une structure adaptée au modèle. Il est donc nécessaire de définir une approche formalisée pour faciliter l'intégration des données dans un modèle géospatial. Une telle approche doit répondre principalement à deux questions :

- **Où** sont les données dans le modèle, et ceci à travers des liaisons de mapping.
- **Comment** ces données sont transformées, et ceci à travers une description détaillée du prétraitement des données.

Le mapping données-modèle

Le mapping est la spécification d'un ensemble de mécanismes pour transformer une structure à une autre. Le mapping données-modèle consiste à définir les liens de correspondance entre la structure de données source, et la structure nécessaire au modèle. Le schéma de mapping permet donc de spécifier les opérations de transformation à faire lors de la réutilisation d'un modèle sur de nouvelles données. Pour cela, le processus de mapping nécessite, d'une part, d'identifier les structures source et destination, et d'autre part, de créer la liaison entre ces deux structures, en précisant les prétraitements à réaliser.

En termes de données géospatiales, les liens de mapping représentent l'ensemble des opérations sur les composantes spatiales (création, intersection, fusion, reprojection, contrôle topologique...) et textuelles/attributaires (création, conversion, agrégation, remplacement...). Le mapping constitue donc un protocole à suivre pour faciliter le prétraitement et l'intégration des données géospatiales dans la structure du modèle. Les schémas de mapping permettent également de guider l'automatisation des géo-traitements, en particulier s'ils sont documentés à travers des descriptions détaillées.

La description de l'intégration des données au modèle

Les descriptions textuelles sont un moyen efficace pour favoriser la réutilisation des modèles multi-agents. Elles permettent de faciliter la compréhension, la dissémination, et notamment la réutilisation du modèle avec de nouvelles données pour dupliquer ou reproduire ses résultats. Ce genre de documentation peut contenir des éléments graphiques, notamment les schémas de mapping.

Le protocole ODD (*Overview, Design concepts, and Details*) s'est imposé comme l'un des formats les plus utilisés par la communauté multi-agents pour décrire la structure des modèles. ODD a été étendu pour répondre à des besoins spécifiques, notamment par ODD+2D (ODD + Décision + Données) [2] qui se focalise sur l'utilisation des données empiriques dans un modèle multi-agents. Ce protocole propose un schéma de mapping pour relier les données sources à la structure de données utilisée par le modèle.

Application : le projet LittoSIM-GEN

Le tableau 1 montre un extrait de la structure de données requise par le modèle LittoSIM (fichier bâtiments). Chaque shapefile doit avoir une structure spatiale bien définie, ainsi qu'un certain nombre d'attributs prédéfinis (libellé, type et valeurs) pour permettre le bon fonctionnement du modèle. La construction de cette structure n'est pas évidente, et nécessite un ensemble

d'opérations pour transformer les données brutes qui proviennent de différentes sources (IGN, DDTM, collectivités territoriales, ...). Ce processus chronophage entrave la réutilisation de LittoSIM et son déploiement sur de nouveaux territoires.

Shapefile	Attribut	Type	Valeurs	Description
buildings	bld_type	Texte	{ <i>Residential, Other</i> }	Type du bâtiment
	bld_area	Double		La surface du bâtiment (m ²)

Tableau 1 : un extrait de la structure de données du modèle LittoSIM : exemple des bâtiments

L'identification des données sources spécifiques à l'étude de cas (ici Oléron), permet de construire le schéma de mapping dont un extrait est représenté dans la figure 2 : l'entité *buildings* est construite à partir du fichier *bâtiments* en faisant plusieurs traitements (patterns de transformation) de génération, de remplacement et de contrôle. Le schéma est ensuite complété par une description détaillée de type ODD+2D pour expliciter chaque pattern de transformation, et permettre ainsi sa compréhension et son implémentation.

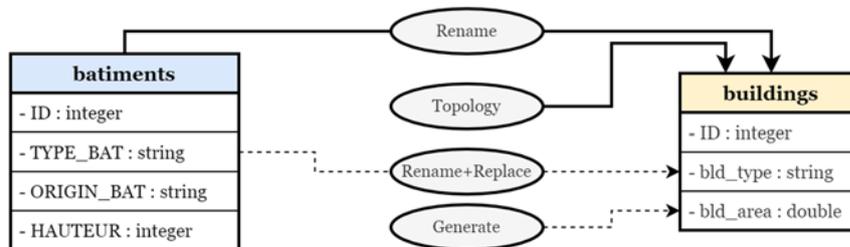


Figure 2 : le mapping du fichier *buildings*

Par exemple, le pattern « *Rename+Replace* » génère l'attribut *bld_type* en renommant l'attribut original *TYPE_BAT* et en remplaçant sa valeur « *résidentiel* » par « *Residential* » et toutes les autres valeurs « * » par « *Other* ». En plus des transformations textuelles, des patterns de traitements spatiales sont également décrits. Le pattern « *Topology* » de *buildings* indique que les bâtiments qui intersectent avec plusieurs cellules de la grille LittoSIM doivent être découpés (figure 3). Un autre exemple de géo-traitement est celui des cellules limitrophes de la grille qui doivent être fusionnées pour avoir des cellules avec une surface minimale cliquable par le joueur (figure 4).

Le schéma de mapping et la description ODD+2D sont ensuite traduits à un fichier de mapping XML, puis à un script automatique de prétraitement de données sous R (tableau 2). Ce processus évite à l'utilisateur l'ensemble d'opérations coûteuses en termes de temps et d'effort pour transformer les données géospatiales spécifiques au territoire à la structure du modèle LittoSIM.

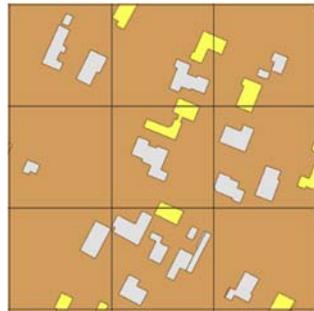


Figure 3 : découpage des bâtiments

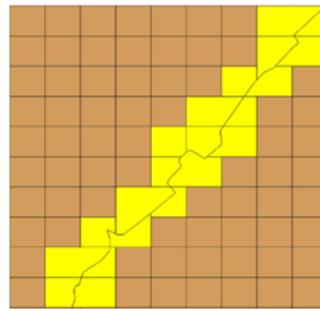


Figure 4 : fusion des cellules

Extrait du fichier de mapping XML (Oléron)	Extrait du script automatique R
<pre> <file output-name="buildings.shp" input-name="batiments.shp"> <attribute output-name="bld_type" type="string"> <input-name>TYPE_BAT</input-name> <replace value="résidentiel">Residential</replace> <replace value="*">Other</replace> </attribute> </file> </pre>	<pre> names(shape_file)[names(shape_file) == attribute_input_name] <- attribute_output_name; shape_file@data[attribute_output_name] [[1]] <- as.character(shape_file@data [attribute_output_name][[1]]); </pre>

Tableau 2 : la transformation de l'attribut « bld_type »

Conclusion

La généralisation du modèle LittoSIM dans le cadre du projet LittoSIM-GEN est rendue possible par la formalisation et la description de la relation données-modèle. Elle a permis de faciliter le déploiement du dispositif sur plusieurs territoires littoraux (figure 5). L'adoption d'une telle approche facilite le traitement des données géospatiales et favorise ainsi la réutilisation des modèles complexes.

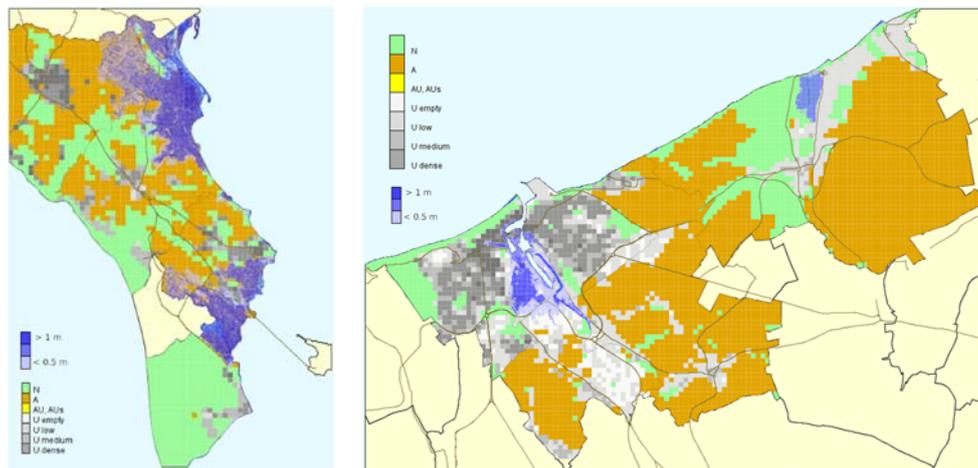


Figure 5 : l'application de LittoSIM-GEN à Oléron (gauche) et Normandie (droite)

Références :

- [1] Becu, Nicolas, et al. "Participatory simulation to foster social learning on coastal flooding prevention." *Environmental modelling & software* 98 (2017): 1-11.
- [2] Laatabi, Ahmed, et al. "ODD+ 2D: an ODD based protocol for mapping data to empirical ABMs." *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 21.2 (2018).



Mise en place d'un portail géographique dédié à l'aquaculture à destination des acteurs

Cécile Delafenêtre

¹ CEREMA

Les Schémas Régionaux de Développement de l'Aquaculture Marine (SRDAM) ont été élaborés dans le cadre de l'article L923-1-1 du code rural et de la pêche maritime, introduit par la loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche du 27 juillet 2010. Ils répondent à deux objectifs : tout d'abord recenser les sites existants, puis identifier les sites propices au développement de l'aquaculture en croisant les aspects techniques aux données d'activités, d'usages en présence. Ceci afin d'éviter d'éventuels conflits d'usage.

Cet enjeu est renforcé par la directive européenne de planification de l'espace maritime et sa déclinaison nationale au travers de la SNML et des DSF.

Ces travaux d'analyses spatiales se poursuivent avec la mise en œuvre des Fonds Européens pour les Affaires Maritimes et la Pêche (FEAMP) qui autorisent à déterminer les Meilleurs Emplacements Aquacoles Possibles (MEAP). Dans ce cadre, une étude de faisabilité a été réalisée avec pour objectif de proposer une méthodologie nationale de détermination des MEAP comprenant :

- 1. liste des données à mobiliser,
- 2. volet porter à connaissances
- 3. volet « presse-bouton » pour identifier des zones

A l'issue de cette étude, la DPMA a proposé de travailler sur les deux premiers points et de confier leur mise en œuvre au Cerema, notamment en raison de l'expérience acquise dans le cadre des exercices de planification nationaux déjà menés, mais aussi dans le cadre de l'administration du site Géolittoral. Cette présentation portera sur la méthode déployée pour permettre la construction du portail aquaculture, notamment sur les volets de collecte de données, de diffusion, et de mises à jour au fil de l'eau.



Descriptif de la méthode Carpediem appliquée à l'analyse des données sur le puffin des Baléares"

Guilhem Autret ¹

¹Office Français pour la biodiversité

Le Plan National d'Action (PNA) puffin des Baléares (*Puffinus mauretanicus*), est axé autour d'un document d'orientation visant à définir les actions nécessaires pour assurer de leur bon état de conservation et de restauration suite à la directive européenne "Oiseaux" (2009/147/CE). Pour la réalisation de ce document et des réunions associées à son élaboration, des cartes sont réalisées à partir des données du modèle d'habitat mensuel prédit du Puffin des Baléares.

La méthodologie d'analyse des données issue du projet CarpeDIEM (Cartographie des pressions et de leurs impacts sur l'environnement marin de 2016 à 2018) consiste en plusieurs étapes successives.

Tout d'abord, la prise en compte de pression anthropique dont les valeurs sont soit des données d'entrées soit calculées à partir des activités humaines (classées par typologie d'activité).

Les données du modèle d'habitat du puffin des Baléares sont ensuite croisées avec des données pêches par structurées par catégorie d'engins de pêche.

Une estimation du risque est réalisée pour estimer la vulnérabilité d'un bien face à un aléa (la pression), fonction de l'exposition et de la sensibilité.

Les analyses sont basé sur des données projetés sur un réseau de données maillées de 3 mille nautique de côté.

L'essentiel de présentation porte sur la méthode d'analyse des données utilisées et des outils associés (script R, méthode de Monte Carlo, matrice activités-pressions, ...).

Les résultats sont des analyses de risques présentés sous forme cartographique.



L'extension de la Réserve naturelle nationale d'Iroise

Elodie Giacomini¹, Philippe Le Niliot²

¹Office français de la biodiversité, Délégation de façade Atlantique, Brest, France.

²Parc naturel marin d'Iroise, Le Conquet, France.

Contexte

La Réserve naturelle nationale d'Iroise (RNN Iroise), d'une superficie de 39 hectares, est située dans l'archipel de Molène (commune du Conquet, Finistère). Classée en 1992 pour son patrimoine naturel exceptionnel, la RNN Iroise comprend le domaine terrestre de trois îles Banneg, Balaneg et Trielen ainsi que leurs îlots annexes.

Fin juillet 2018, le Préfet maritime de l'Atlantique et le Préfet du Finistère ont demandé à l'équipe du Parc naturel marin d'Iroise de mener à bien la concertation pour l'extension de RNN Iroise à l'ensemble des îles et îlots de l'archipel de Molène ainsi qu'à leurs estrans.

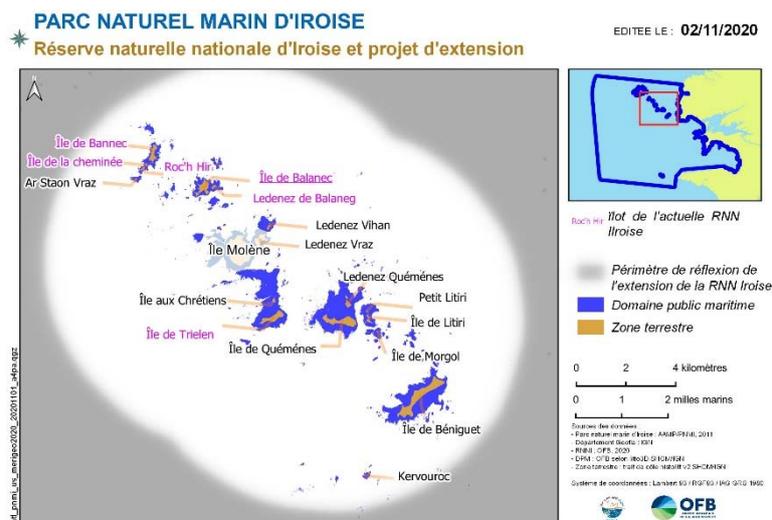


Figure 1 : périmètre du projet d'extension de la RNN Iroise

La RNN Iroise figure en effet dans la liste des 18 projets d'extension de réserves naturelles nationale attendues d'ici 2022 par le 'plan Biodiversité' du Ministère de la Transition écologique et solidaire. Ce plan ambitionne de faire des réserves naturelles nationales de véritables réservoirs de biodiversité dans un contexte alarmant d'érosion.

La mission confiée au Parc par les préfets est de proposer des mesures de protection fortes dans les zones les plus fragiles tout en trouvant les moyens de concilier la sauvegarde de la biodiversité exceptionnelle de l'archipel et des activités humaines dans les secteurs les moins sensibles.

Enjeux

Difficile d'accès, l'archipel de Molène demeure quelque peu épargné par la pression humaine qui engendre une importante dégradation de l'environnement côtier sur le continent. L'archipel de Molène constitue un site d'importance nationale pour plusieurs espèces d'oiseaux nicheurs, dont cinq sont menacées ou en déclin (Océanite tempête, Grand gravelot, Huîtrier pie, Puffins des Anglais). Il constitue également une zone refuge pour bien d'autres nicheurs, le phoque gris et abrite des espèces et des habitats naturels d'exception. Le patrimoine culturel n'est pas en reste avec les activités goémonières autrefois présentes sur les îles ainsi que les vestiges archéologiques du Néolithique et de l'âge de Bronze découverts sur les îles.

Processus de concertation et apport de la géomatique

L'équipe du Parc naturel marin a organisé trois réunions de travail de février à juin 2019 regroupant l'ensemble des parties prenantes (associations de plaisanciers, propriétaires des îles, élus, professionnels, scientifiques, acteurs du secteur touristique). Ces travaux ont été précédés d'une réunion publique destinée à partager les objectifs de conservation qui justifient la mise en place d'une réserve naturelle nationale sur ce site.

Les acteurs avaient une vision floue ou partielle des enjeux relatifs au patrimoine naturel sur l'archipel de Molène. Nos premiers efforts se sont donc concentrés sur la compilation des jeux de données disponibles, permettant d'objectiver et de spatialiser ces enjeux notamment sur l'avifaune. Un premier travail d'harmonisation de jeux de données multi-thématiques, multi-échelles et souvent dispersés a été réalisé. Nous avons notamment compilé cinq à dix années de données relatives à la nidification des espèces sensibles d'oiseaux marins et de limicoles côtiers, pour obtenir une carte des secteurs où l'occurrence de nidification est la plus forte.

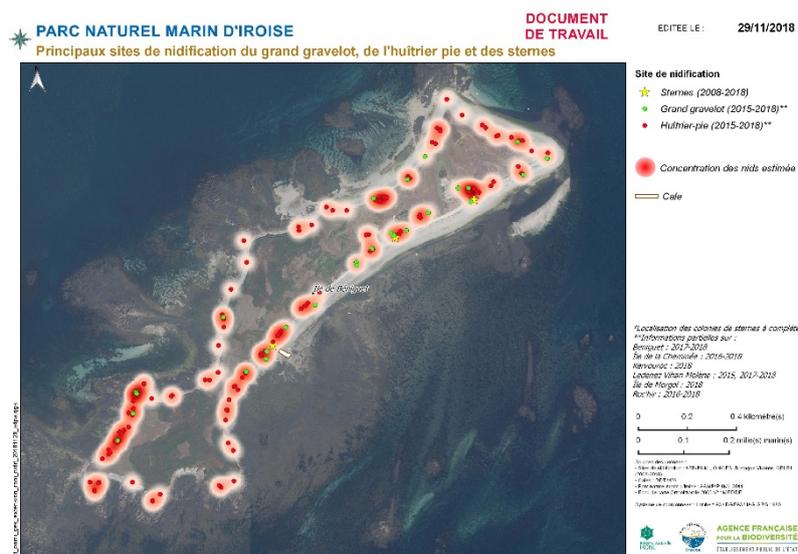


Figure 3 : Carte compilant des données sur les nicheurs (Beniguet)

Ces secteurs correspondent aux zones les plus sensibles et aux habitats de haut de plage les plus fragiles. Ce sont à ces endroits que l'effort de conservation doit être renforcé grâce à l'outil réserve naturelle.

C'est lors de la première réunion de travail qu'un diagnostic complet des enjeux a été partagé avec des représentations cartographiques synthétiques basées sur un référentiel commun.

Ces espèces et habitats sont très influencés par la fréquentation humaine pouvant occasionner l'érosion des habitats fragiles et le dérangement des espèces patrimoniales notamment en période de nidification. Il s'agissait donc de confronter ce diagnostic avec la fréquentation humaine générée par les activités de loisir (baignaires, pêche à pieds) ou professionnelles (récolte d'algues de rives) pratiquées par les usagers de l'archipel.

Les territoires de pratique étant mal définis, une enquête a été menée auprès de l'ensemble des usagers. Ces derniers étaient invités à déclarer leurs zones d'activité sur l'estran et les hauts de plage au moyen d'un outil de cartographie participatif en ligne (uMap) ou d'un atlas papier. La carte des zones de fréquentation, issue de l'enquête, a ensuite été validée par le second groupe de travail à l'unanimité.

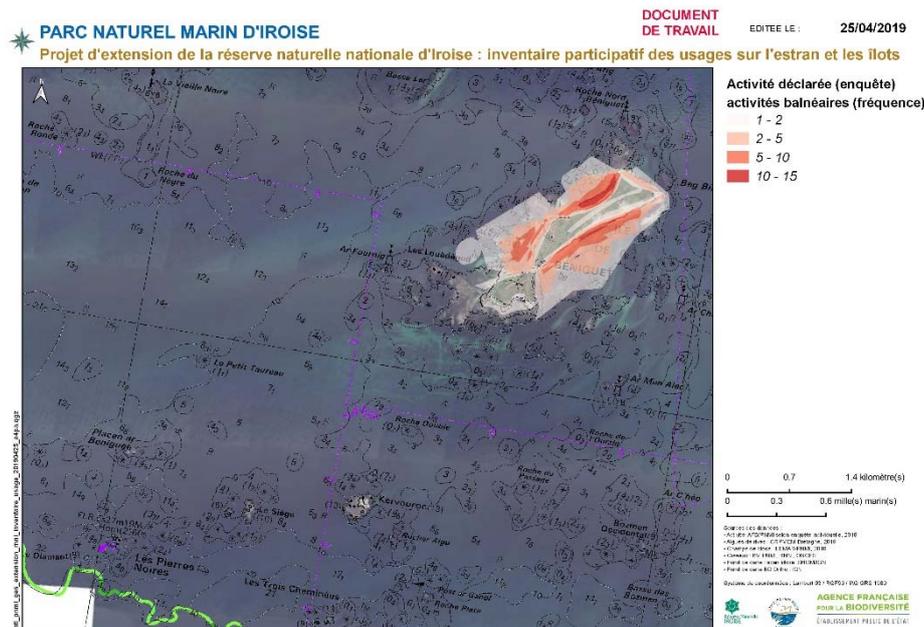


Figure 4 : Carte présentant des zones de fréquentation issues de l'enquête (Beniguet)

En superposant les enjeux de conservation du patrimoine naturel et les territoires de pratique, validés lors des deux premières réunions de travail, nous avons pu proposer un projet de réglementation, sanctuarisant les zones les plus fragiles et maintenant certaines activités sur d'autres secteurs. Ce projet a été discuté au cours d'une troisième rencontre puis validé en réunion publique dans un large consensus.

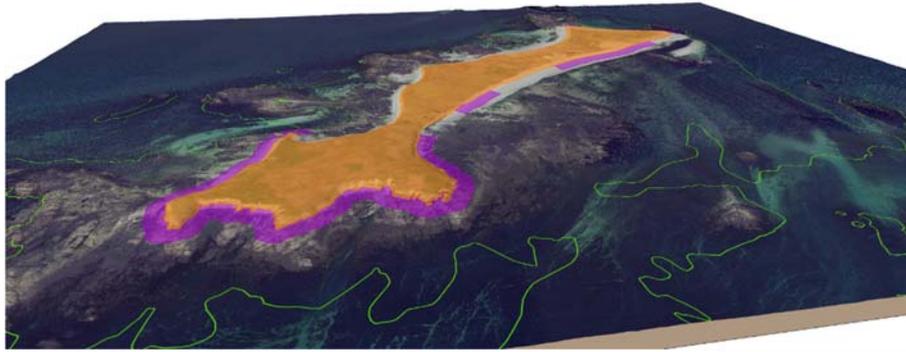


Figure 5 : Représentation 3D des propositions de réglementation d'accès (Beniguet) (sources : bd ortho 2018 (IGN), litto3D (SHOM/IGN), réglementation (OFB))

Conclusion

Cette première phase de concertation a abouti, dans des délais contraints, à une proposition de périmètre de protection et des périodes de restriction d'accès ciblant les zones et les périodes indispensables à la préservation des espèces sensibles jugée équilibrée par les usagers. Elle a donc été accueillie de manière consensuelle grâce à ce processus de co-construction, rendu possible par le recours aux outils cartographiques. La représentation cartographique des enjeux croisée avec celle de pratiques des usagers a permis de rapprocher les représentations des groupes d'acteurs impliqués dans la démarche. Ils ont ainsi pu voir et constater comment leurs informations ont été prises en compte pour dessiner le projet de réserve naturelle et la réglementation qui l'accompagne.

Le dossier a été transmis au préfet ; il est désormais engagé dans un processus administratif, il a reçu un avis favorable auprès des instances locales et de l'enquête publique ouverte l'été 2020. Le décret de création devrait voir le jour en 2022, la réserve passera ainsi de 39 ha à 1200 ha sur les parties terrestres et estrans de l'ensemble des îles et îlots non habités de l'archipel de Molène.

Evaluation de la pression liée à la navigation de plaisance : de nouveaux outils.

Gwénaél Duclos¹, Elodie Gamp², Justine Cammal et Gréogry Agin³, Ronan Pasco⁴

¹Wipsea, Rennes, France.

²Agence Française pour la Biodiversité, Brest, France.

³Parc naturel marin du golfe du Lion, Argelès-sur-Mer, France.

⁴Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan, Vannes, France.

Introduction

Les parcs naturels marins ou régionaux en charge de la gestion écologique des bandes côtières de notre territoire sont confrontés à des enjeux de conservation d'espèces ou d'habitats dans un contexte socio-économique. Les impacts des activités nautiques de loisir sur ces milieux font l'objet d'enjeux majeurs dans les plans de gestion, ce qui amène les gestionnaires de ces parcs à rechercher des outils pour mesurer et suivre l'impact spatiotemporel de ces activités. Nous allons vous présenter deux outils qui ont été développés pour mesurer la pression des mouillages forains sur les fonds marins. Ils sont tous les deux basés sur de l'acquisition d'images et une analyse semi-automatique de leur contenu par un logiciel basé sur de l'apprentissage profond (Deep Learning). L'acquisition des images est effectuée par un drone quadricoptère dans le premier cas et par des pièges photographiques dans le second cas. Dans les deux cas, le résultat attendu est une carte de chaleur des positions des embarcations lors de leur ancrage afin de déterminer la position d'implantation puis de suivre la fréquentation de mouillages écologiques.

Traitement d'images aériennes pour la détection et le comptage automatique des embarcations côtières

Données

Dans le cadre d'un projet mené en collaboration avec le Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan, des images aériennes ont été acquises lors de la manifestation appelée « Semaine du Golfe », par un drone quadricoptère de type DJI Phantom3, opéré par la société Niclo Films¹. Les images ont été prises à différentes altitudes (50, 100 et 150m) sur des zones de mouillage et des passages très fréquentés dans le Golfe en suivant le plan de mission décrit en figure 1. Les figures 2 et 3 présentent des exemples de photographies aériennes représentatives de ces vols.

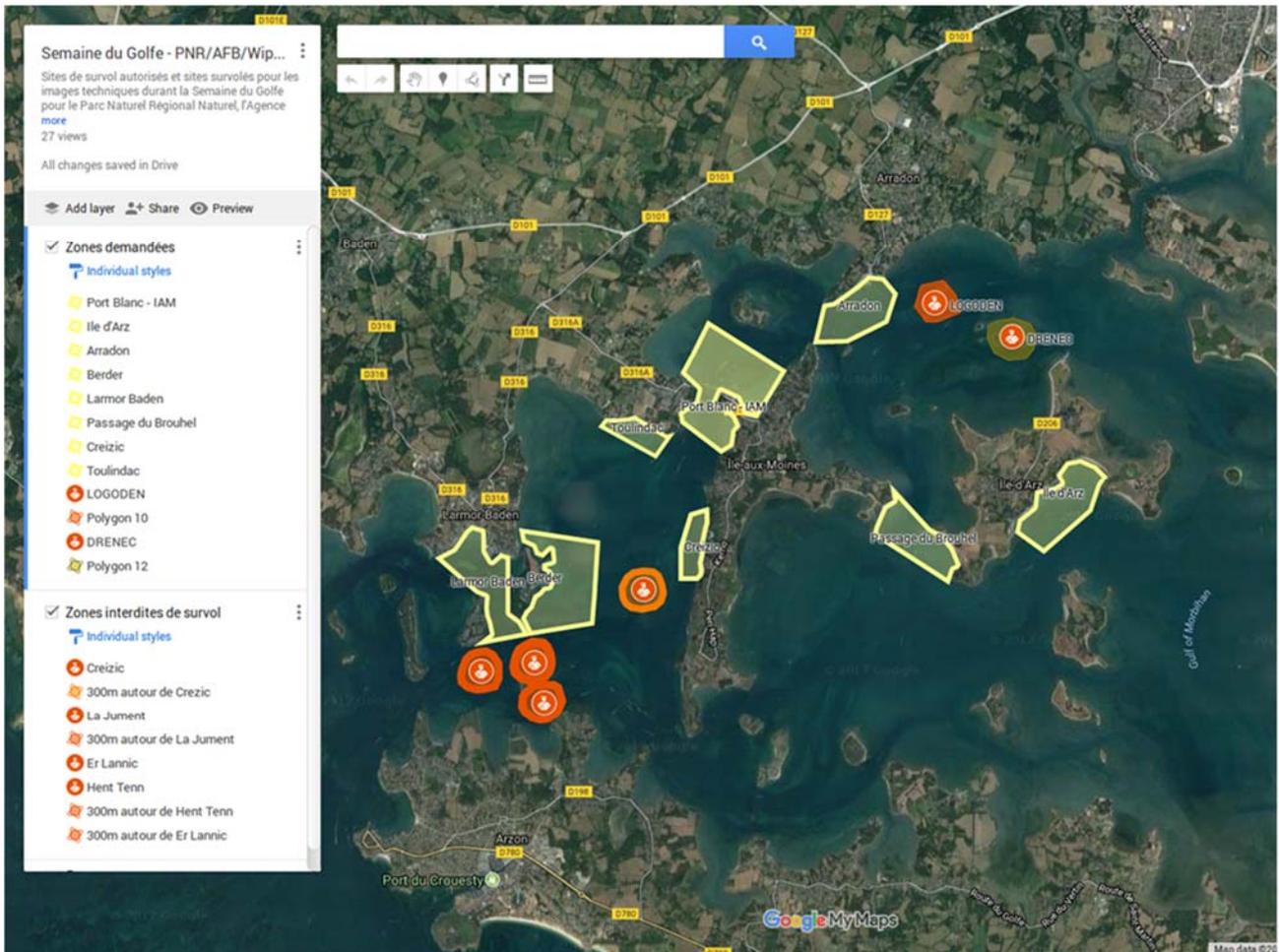


Figure 1: Plan de cartographie des zones dans le Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan

Traitement des images

L'objectif principal du projet était de réussir à détecter et identifier automatiquement les 8 classes suivantes : bateaux à moteur, bateaux à voile, bateaux semi-rigide, embarcations de loisir de promenade (Kayak, stand up paddle), embarcations de loisir de vitesse (planche à voile, kite surf), Surfs, Engin de motonautisme, Plates/Barges des ostréiculteurs et, optionnellement, de distinguer les embarcations en mouvement des embarcations à l'arrêt. Cependant les images obtenues n'ont pas permis de rassembler assez d'observations pour certaines classes, ce qui a conduit à la réduction du nombre de classes total à quatre : Bateaux à moteur (regroupant les bateaux semi-rigide et les engins de motonautisme), Bateaux à Voiles, Kayaks et Plates. L'algorithme de détection et de classification s'appuie sur le réseau de neurones profond YoloV32. Il s'agit d'un réseau de neurones appartenant à la grande famille du « Deep learning », apparue en 2018. Ses performances en détection font partie du meilleur de l'état de l'art en la matière et sont relativement robustes aux changements d'échelle. Une partie des images a été utilisée pour l'apprentissage du réseau, tandis que la seconde partie est uniquement réservée au test de la méthode.

Résultats

Les résultats chiffrés sont très encourageants avec un taux de rappel (nombre d'embarcation correctement retrouvées par l'algorithme) supérieur à 80% pour un taux de fausses détections

dépassant rarement les 30%. La détection de kayaks et de barges reste à améliorer. Le réseau de neurones ainsi entraîné a été intégré au Logiciel Harmony permettant une utilisation directe et accessible du processus de détection automatique.



Figure 2: Détections de bateaux à moteur en rouge, voiliers en violet, barges en jaune.

Figure 3: Détections dans le cas de l'exemple 1. Bateaux à moteur en rouge, voiliers en violet, kayaks en vert

Traitement d'images prises par pièges photographiques pour la détection et la cartographie de la fréquentation.

Contexte

Le Parc naturel marin du golfe du Lion est en charge de la protection des herbiers de posidonie sur son domaine maritime. Dans ce cadre, une de ses missions est d'étudier la fréquentation des activités de plaisance afin de réduire l'impact de leur ancrage sur cette espèce protégée. Le Parc s'est fixé comme objectif de produire une carte de fréquentation de deux baies du parc : Paulilles et Fourat, afin de déterminer les lieux de mise en place de mouillages écologiques dans le cadre d'une mesure d'évitement d'impact (ZMEL : zone de mouillages et d'équipements légers).



Figure 4: Photo panoramique de la baie de Fourat

Données

Les données proviennent de pièges photos panoramiques (180° = 3x60°) installés face à deux baies du Parc : Paulilles et Fourat (Figure 4).

Traitement

L'objectif de ce projet porte principalement sur la localisation spatio-temporelle des pics de fréquentation dans chacune des baies. Pour chaque photo, un algorithme de détection automatique d'embarcations (lui aussi basé sur YoloV3) permet d'extraire la position et le nombre d'embarcations. À partir de ces informations, plusieurs traitements sont appliqués pour travailler sur le géo-référencement des images et des positions résultantes, mais aussi pour extraire des tendances temporelles.

Résultats

Pour appréhender l'aspect spatial de la fréquentation d'une baie, les résultats de détections sont présentés sous la forme d'une carte de chaleur sur laquelle apparaissent les principaux points de passage ou d'ancrage pour une période donnée (Figure 5). Par ailleurs, pour une analyse plus temporelle, les résultats globaux par image peuvent être projetés sur une vue calendaire afin de faire ressortir les périodes de haute fréquentation (Figure 6).

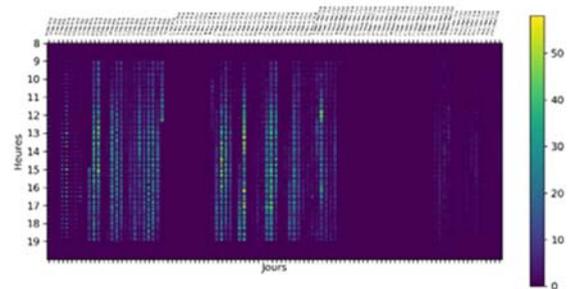
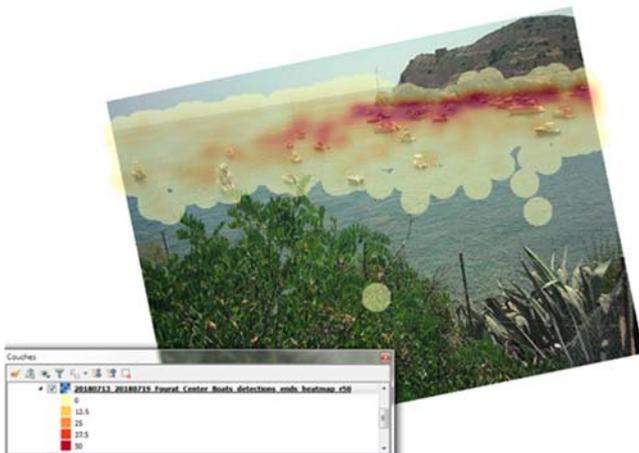


Figure 5: Carte de chaleur de fréquentation de la baie de Fourat du 13 et au 19 juillet 2018

Figure 6: Représentation temporelle de l'été 2018 dans la baie de Fourat

Conclusion

Si l'objectif est de déterminer précisément les endroits les plus fréquentés, le système basé sur l'acquisition d'images par drone semble plus pertinent que celui basé sur les pièges-photographiques. Nos travaux ont montré que la profondeur de champ de ces derniers empêche un géo-référencement précis et entraînent des superpositions d'embarcations qui faussent les détections et engendrent une sous-évaluation de la fréquentation de certaines zones très fréquentées. Les perspectives d'évolution à court-terme sont la possibilité de prendre en charge des mosaïques créées à l'aide d'un autre logiciel.

[1https://www.niclofilms.com/photos-aeriennes#!](https://www.niclofilms.com/photos-aeriennes#!)

[2https://arxiv.org/pdf/1804.02767.pdf](https://arxiv.org/pdf/1804.02767.pdf)



SESSION 4 - Analyse et cartographie des habitats



Distribution et suivi des communautés hydrothermales à partir d'imagerie 3D

Fanny Girard^{1*}, Jozée Sarrazin¹, Aurélien Arnaubec², Mathilde Cannat³, Pierre-Marie Sarradin¹, Marjolaine Matabos¹

¹Ifremer, Centre de Bretagne, Unité Étude des Écosystèmes Profonds, Laboratoire Environnement Profond, ZI de la Pointe du Diable, CS 10070 – 29280 Plouzané, France.

²Ifremer, Centre de Méditerranée, Unité Systèmes Sous-Marins, Service Positionnement, Robotique, Acoustique et Optique, Zone Portuaire de Brégaillon - CS20 330 – 83507 La Seyne Sur Mer Cedex, France.

³Equipe Géosciences Marines, Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS, UMR 7154, Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, Paris cedex 05, France.

Introduction

Les sources hydrothermales, présentes le long des dorsales océaniques et bassins d'arrière-arc, forment des écosystèmes uniques. En effet, les écosystèmes hydrothermaux sont généralement associés à de très fortes biomasses comparé au reste de l'océan profond. Cela est dû à la présence de microorganismes capables d'utiliser les composés chimiques réduits présents dans le fluide hydrothermal chaud pour leur croissance, formant ainsi la base de la chaîne alimentaire. Depuis leur découverte, l'imagerie a joué un rôle central dans l'étude des écosystèmes hydrothermaux. Notamment, elle a largement contribué à l'état actuel de nos connaissances sur la distribution spatiale des communautés de faune hydrothermale. Cependant, jusqu'à présent, ces méthodes étaient basées sur de l'imagerie en 2-dimension, et ne prenaient donc pas en considération la topographie complexe des édifices hydrothermaux. Bien que son rôle sur la composition des communautés en milieu hydrothermal soit inconnu, il a été démontré que la complexité structurelle des habitats affectait l'abondance et la diversité des communautés benthiques. De plus cette complexité peut avoir des effets indirects sur la distribution du benthos en altérant la vitesse et/ou direction des courants de fond, affectant ainsi le recrutement des larves et les apports de nourriture. En milieu hydrothermal, l'interaction entre topographie, courants de fond et position des sorties de fluide hydrothermal pourrait donc jouer un rôle important dans la distribution des communautés.

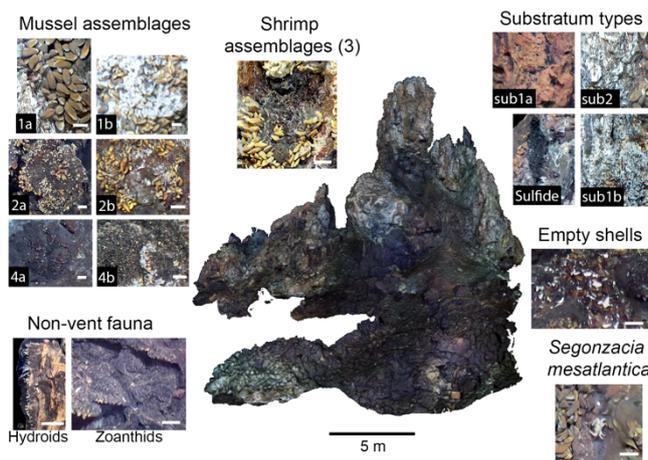
Pour cette étude nous avons analysé un modèle 3D de l'édifice hydrothermal Tour Eiffel (1700 m de profondeur, champ hydrothermal Lucky Strike, dorsale medio-Atlantique) obtenu par photogrammétrie dans le but de :

- Caractériser la distribution des assemblages faunistiques
- Redéfinir les différents microhabitats sur l'édifice (température, rugosité, pente)
- Évaluer le rôle des courants, en interaction avec la topographie de l'édifice et la position des sorties de fluide, sur la distribution des communautés.

Méthodes

Reconstruction 3D (photogrammétrie)

Un modèle 3D de l'édifice Tour Eiffel a été construit à partir de transects vidéo effectués avec le ROV Victor (Ifremer) en 2015 lors d'une campagne de maintenance de l'observatoire EMSO Açores. Le logiciel Matisse 3D, utilisé pour la reconstruction 3D, a permis l'obtention d'un modèle haute-résolution géoreferencé couvrant la totalité de l'édifice (11 mètres de haut, 15 mètres de large, représentant une surface de 452 m² ; Figure 1).



Annotation du modèle 3D

Tous les assemblages faunistiques, types de substrat et sources d'émission de fluide hydrothermal (fumeurs) ont été annotés directement sur le modèle 3D avec le logiciel 3DMetrics, développé à l'Ifremer (Figure 1). Les surfaces couvertes par les différents assemblages/substrats ont été calculées et la position des fumeurs enregistrée.

Figure 1 : Modèle 3D de l'édifice Tour Eiffel. Les différents assemblages étudiés sont représentés.

Mesure des variables de terrain

Des profils de rugosité et de pente, couvrant l'ensemble de l'édifice, ont été calculés grâce au logiciel CloudCompare® (v.2.10).

Influence des courants de fond

Un modèle mathématique a été développé dans le but de quantifier l'exposition des différentes faces de l'édifice aux fluides hydrothermaux. En prenant en compte les données de bathymétrie (estimées à partir du modèle 3D), de vitesse et direction des courants (mesurés par un courantmètre déployé pendant 1 an) et la position des fumeurs, le modèle estime le taux d'exposition journalier des différentes faces de l'édifice aux courants favorables (courant potentiellement transportant des panaches hydrothermaux).

Résultats

Distribution des assemblages et des substrats

L'analyse du modèle 3D de Tour Eiffel a permis de montrer que la distribution spatiale des différents assemblages, et notamment le niveau de colonisation et la taille des moules *Bathymodiolus azoricus*, variaient d'une face à l'autre de l'édifice. De même, l'activité hydrothermale était extrêmement variable entre les faces de l'édifice, expliquant probablement les différences observées au niveau des assemblages et de la taille des moules.

Variables ayant une influence sur la distribution spatiale des assemblages

Les résultats des modèles statistiques (régression logistique multinomiale), ont permis de montrer que la proximité des fumeurs était la variable qui affectait le plus la distribution des assemblages, les variables de terrain jouant seulement un rôle mineur (Figure 2).



Distance from hydrothermal features	-	-	+	+	++
Roughness	++	+	-	-	--
Slope	++	+	-	+	--

Figure 2 : Effet de la proximité des fumeurs et des variables de terrain (rugosité et pente) sur la distribution des différents assemblages (crevettes *Mirocaris fortunata*, moules *Bathymodiolus azoricus* et zoanthides)

Les assemblages de crevettes de l'espèce *Mirocaris fortunata* et de moules de grande taille étaient généralement les plus proches des sorties de fluide alors que les assemblages de zoanthides étaient les plus éloignés. Cependant, la proximité des fumeurs et les variables de terrain ne permettaient pas d'expliquer la distribution des moules de taille moyenne, l'assemblage dominant sur l'édifice.

Effet des courants favorables

Les résultats du modèle mathématique suggéraient que des assemblages de moules situés à plusieurs mètres des fumeurs pourraient être exposés à des courants chargés de fluide hydrothermal. Cet effet longue distance des fumeurs semblerait expliquer la distribution des moules de petite et moyenne tailles (moules de taille moyenne ayant une plus forte exposition au courant favorables en provenance des fumeurs principaux).

Ces résultats semblaient aussi expliquer la distribution des tapis microbiens (Figure 3). En particulier, le modèle incluant les fumeurs principaux permettait d'expliquer entièrement cette distribution.

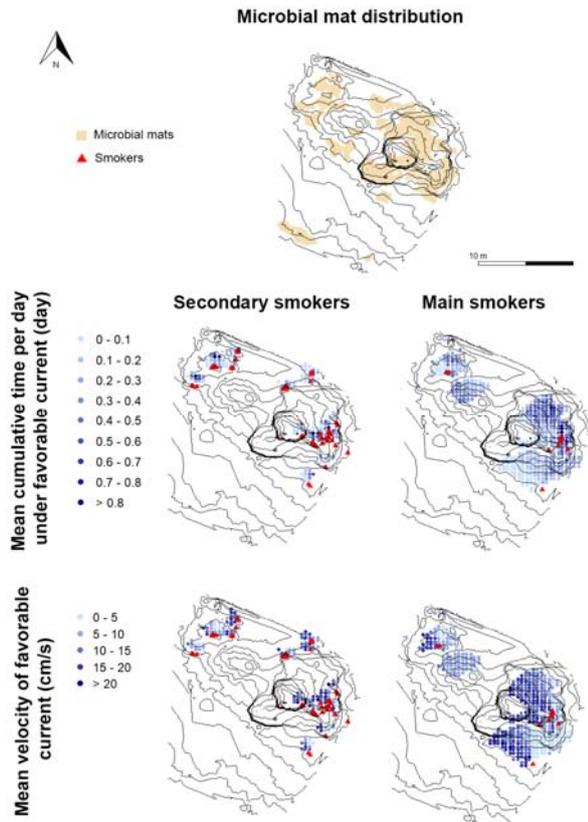


Figure 3 : Relation entre la distribution des tapis microbiens (en jaune) et exposition aux courants favorables. Les résultats de deux simulations du modèle sont représentés : une simulation prenant en compte les fumeurs à faible taux d'émissions de fluides (fumeurs secondaires) et une autre incluant les fumeurs aux émissions intenses ayant une portée plus importante (fumeurs principaux).

Conclusions

Grace à l'utilisation du logiciel d'annotation 3DMetrics nous avons pu caractériser la distribution spatiale des communautés hydrothermales à partir d'un modèle 3D géoréférencé de l'édifice Tour Eiffel :

- La distribution des assemblages et l'activité hydrothermale variaient d'une face à l'autre de l'édifice
- La proximité des fumeurs permettait d'expliquer la distribution de presque tous les assemblages faunistiques.
- Les panaches hydrothermaux pourraient affecter des assemblages sur des distances de plusieurs mètres.
- La modélisation du degré d'exposition aux panaches hydrothermaux a permis d'expliquer la distribution des tapis microbiens sur l'édifice.
- En combinant l'analyse d'imagerie 3D et modélisation, nous avons réussi à démontrer que l'interaction entre courants et topographie joue un rôle déterminant sur la distribution des communautés benthiques en milieu hydrothermal.
- Les méthodes développées ici sont aussi applicables au suivi temporel des communautés hydrothermales.

Structure spatiale à multi-échelle de la biodiversité sur les monts sous-marins : approches méthodologiques

Mélissa HANAFI PORTIER^{1,2}, Aurélien ARNAUBEC³, Catherine BORREMANNS¹, Laure CORBARI², Simon GOURDON¹, Julie TOUROLLE¹, Sarah SAMADI², Karine OLU¹

¹ Ifremer, Centre de Bretagne, REM/EEP, Laboratoire Environnement Profond, Plouzané, France.

² MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle), UMR 7205 ISYEB, équipe « Explorations, Espèces et Spéciations », Paris, France

³ Ifremer, Centre Méditerranée, DFO/SM, Service Positionnement, Robotique, Acoustique et Optique, La Seyne-sur-Mer, France

Introduction :

Peu d'études ont exploré la structure des communautés de mégafaune benthique des monts sous-marins avec une approche intégrative aux échelles régionale et locale, en tenant compte de multiples forçages environnementaux et en quantifiant l'hétérogénéité de l'habitat. De plus, il n'existe qu'une seule étude publiée portant sur la biodiversité benthique des monts sous-marins dans l'océan Indien. Par ailleurs, de nombreuses études sur la structure des communautés en environnement profond reposent sur l'utilisation de l'imagerie pour identifier la mégafaune benthique. Cet outil présente cependant des limitations pour l'identification des organismes, dues notamment à la qualité variable des images, qui amènent à une identification de la mégafaune basée sur la similitude morphologique des individus (morphotype). Cette approche reste relativement subjective selon l'observateur et ne tient pas compte d'un cadre taxonomique de référence apporté par la collecte physique de spécimens. Il est donc nécessaire de développer une méthodologie qui tienne compte de cet écueil et de fournir un outil/guide pour aider à l'identification sur les images, afin d'évaluer solidement les patrons de biodiversité des communautés de mégafaune benthique. Ce point est particulièrement critique dans les zones où l'échantillonnage est limité, tel que le canal du Mozambique.

Les objectifs méthodologiques de ma thèse sont les suivants : (1) Annoter et identifier la mégafaune benthique à partir de l'analyse des transects images (2) caractériser et quantifier l'hétérogénéité du substrat et de la géomorphologie (3) développer une méthodologie intégrative pour aider à l'identification de la faune sur les images

Contexte et zone d'étude :

Deux projets, d'une part mené par l'Ifremer et TOTAL (projet Pamela : (Bourillet, Ferry, Bourges, 2013), campagne Pamela Moz01 (Olu, 2014), Pamela Moz04 (Jouet et Deville, 2015) et d'autre part, par le Musée National d'Histoire Naturelle (MNHN), Ifremer et les TAAF (Projet Biomaglo : Corbari, Samadi, Olu, 2017) ont permis d'étudier les sommets et les pentes supérieures de 4 monts sous-marins (Jaguar, Hall Bank, Sakalaves, Glorieuses) et les pentes insulaires de Bassas da India et Mayotte, distant de 10 degrés de latitude et dans un étroit gradient bathymétrique (350-800m) dans le canal du Mozambique (figure 1). Les monts sous-marins et terrasses le long des pentes ont été explorés le long de transects à l'aide d'une caméra tractée (SCAMPI) et présentent une diversité

géomorphologique et de substrat héritée de leurs origines volcaniques et de leurs évolutions géologiques (Courgeon et al., 2016, 2017). Les données d'imagerie optique, ont été complétées par quelques échantillonnages (dragues épibenthiques Waren et Niwa et chalut à perche) de la faune profonde. De plus l'effort d'échantillonnage réalisé par les campagnes du MNHN (campagnes MIRIKI, MAIBAZA du projet La Planète revisitée), ont permis de développer une connaissance du pool régional d'espèces, notamment au niveau des marges continentales Malgaches et Mozambique. Des données environnementales ont été acquises en amont des plongées (PL) : Bathymétrie haute résolution avec le SMF (Sondeur Multi-Faisceaux) de l'Atalante (modèle numérique de terrain (MNT) à 10 et 5m) et réflectivité acoustique) (campagnes Ptolémée (Jorry, 2014) et Pamela Moz01) et pendant les plongées du Scampi (Température, Salinité, Oxygène). Pour les pentes de l'île de Mayotte, la résolution bathymétrique acquise n'est pas suffisante (données anciennes, sondeur Marion Dufresne, MNT à 100 m) (campagne BathyMay) (Guennoc, 2004).

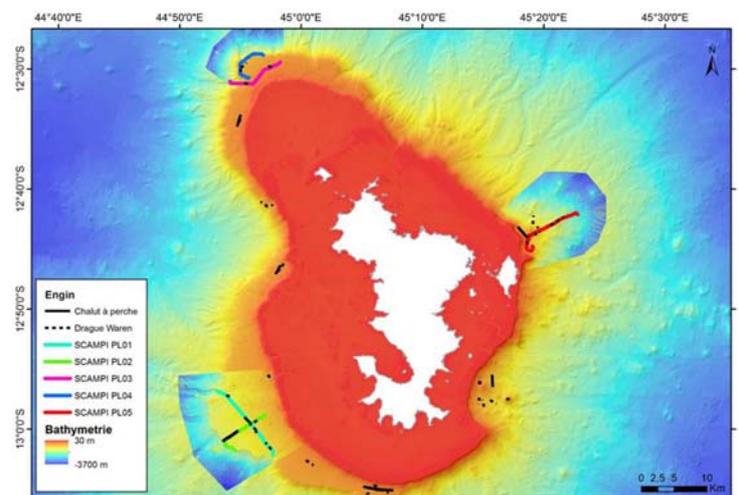
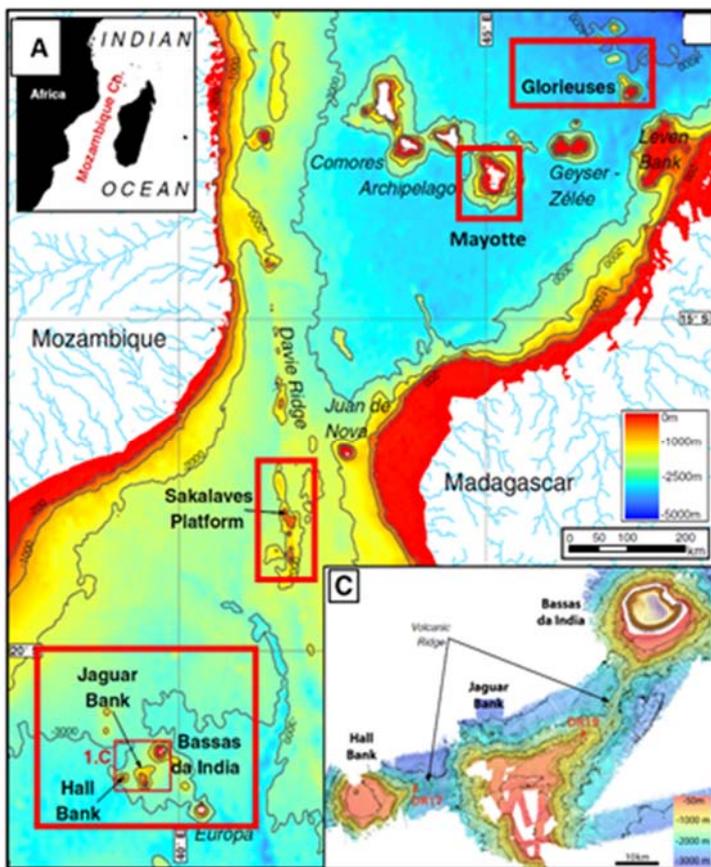


Figure 1: (A) Localisation des monts explorés dans le canal du Mozambique lors des campagnes PAMELA Moz01 (Banc de Hall, Bassas da India, Sakalaves et Glorieuses), PAMELA Moz04 (Jaguar) (carte d'après Courgeon et al., 2016) et (B) carte de Mayotte : localisation des pentes explorées lors de la campagne BIOMAGLO (3 transects images sélectionnés (PL01, PL03, PL05) et échantillonnages sur Mayotte). Bathymétrie SHOM.

Méthodologie :

Annotation et identification de la mégafaune benthique à partir des transects images et des collectes:

Pour la caractérisation biologique, notre méthodologie est basée sur une approche complémentaire qui combine l'annotation de la faune sur les images géoréférencée avec le logiciel libre BIGLE (Langenkämper et al., 2017) à l'aide de spécimens collectés sur le même transect image et autour à plus grande échelle. L'association d'images et d'échantillons physiques aide alors à développer des clés d'identification sur image et des catalogues de « photo-type » (l'image du taxon sur lequel est

basée la description taxonomique). Une première étape consiste à annoter les images puis à identifier la mégafaune à faible résolution taxonomique (du phylum à l'ordre). La seconde consiste à affiner les identifications en collaboration avec des taxonomistes, avec pour objectifs de : (1) formaliser des critères diagnostiques visibles sur les images permettant l'identification du spécimen observé (2) identifier le niveau limite et robuste d'identification taxonomique qu'il est possible d'atteindre pour chaque taxon (3) développer des clés d'identification pour chaque taxon ciblés dans l'étude. La précision des identifications de chaque groupe taxonomique précédemment annoté est réalisée à l'aide de la fonction « LARGO » du logiciel, qui permet de réviser un ensemble d'images appartenant au même label (figure 2).

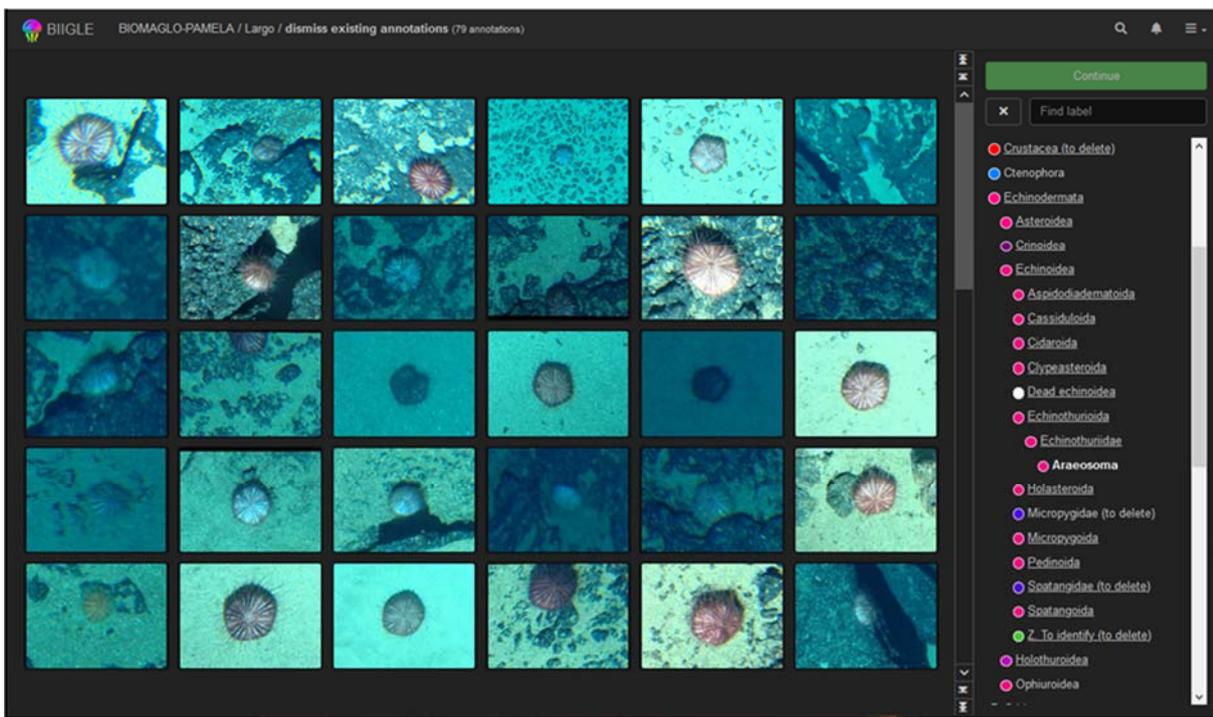


Figure 2 : Exemple d'utilisation de la fonction LARGO : l'ensemble des images labélisées « Aracosoma » (genre d'échinide) est archivé au sein d'une même classe et aisément révisable (modification de labels).

Caractérisation de l'hétérogénéité du substrat à partir de l'analyse d'image et de la reconstruction en 3D des transects image :

Nous avons définis 12 faciès sédimentaires pour définir chaque taille de sédiment, et créé un catalogue de substrat comme référence. La nature du substrat dominant (>50% de recouvrement de l'image) et du type de roche a été estimée à partir d'un quadrillage à 9 quadras superposé à chaque image. Les images ont été annotées également à l'aide de la plateforme internet libre BIIGLE. Le logiciel Matisse 3D (A. Arnaubec, Ifremer Toulon) nous permet de reconstruire les séquences d'images sous forme de mosaïque 3D, qui seront utilisées en entrée dans les logiciels 3DMetrics (développé par A. Arnaubec) et le logiciel libre CloudCompare 2.10.2, afin de réaliser un ensemble de post-traitements (mesure de rugosité, pente, caractérisation du substrat à partir de la délimitation de polygones géoréférencés le long de la mosaïque) (figure 3). Ces données seront

utilisées à posteriori comme variables environnementales explicatives de la structure des communautés intra et inter monts sous-marins.

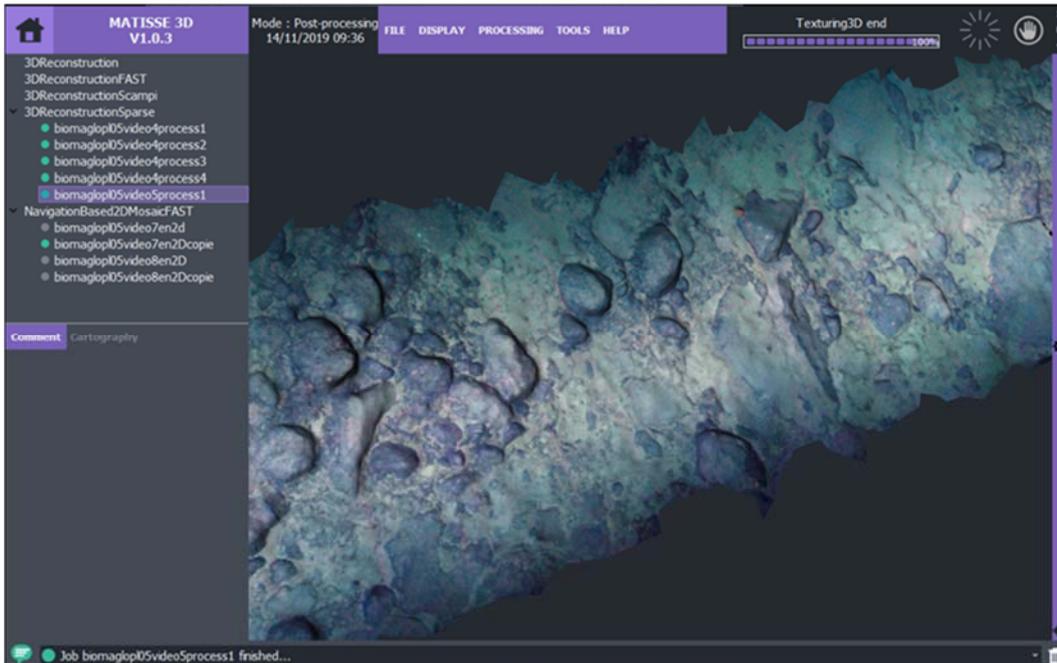


Figure 3: Reconstruction 3D d'un échantillon de transect image à partir du logiciel Matisse 3D. On peut observer des agrégats de galets et de blocs volcaniques ainsi que des zones sédimentaires

Caractérisation de la géomorphologie des monts à partir d'indices dérivés de la bathymétrie et de la réflectivité (backscatter)

Pour caractériser et quantifier l'hétérogénéité des monts sous-marins, nous développons une méthode intégrant un schéma de classification géomorphologique et des mesures d'indices de variabilité des fonds marins (BPI, rugosité, aspect, pente, courbure), à partir des couches MNT et de réflectivité, avec le package BTM (Benthic Terrain Modeler) et les outils de calculs « Spatial Analyst » sous l'environnement ArcGIS 10.3. Pour les indices de variabilité des fonds marins, plusieurs échelles spatiales ont été inspectées afin d'assurer la mise en évidence de différentes structures géomorphologiques à larges et fines échelles. La caractérisation de la nature du substrat repose sur la délimitation de zones sédimentaires (ou entité géomorphologique) à l'aide des données de pente et de réflectivité, validée par les observations des images géoréférencées le long de la plongée, grâce au logiciel Adélie SIG (développement interne Ifremer, O. Soubigou) (figure 4).

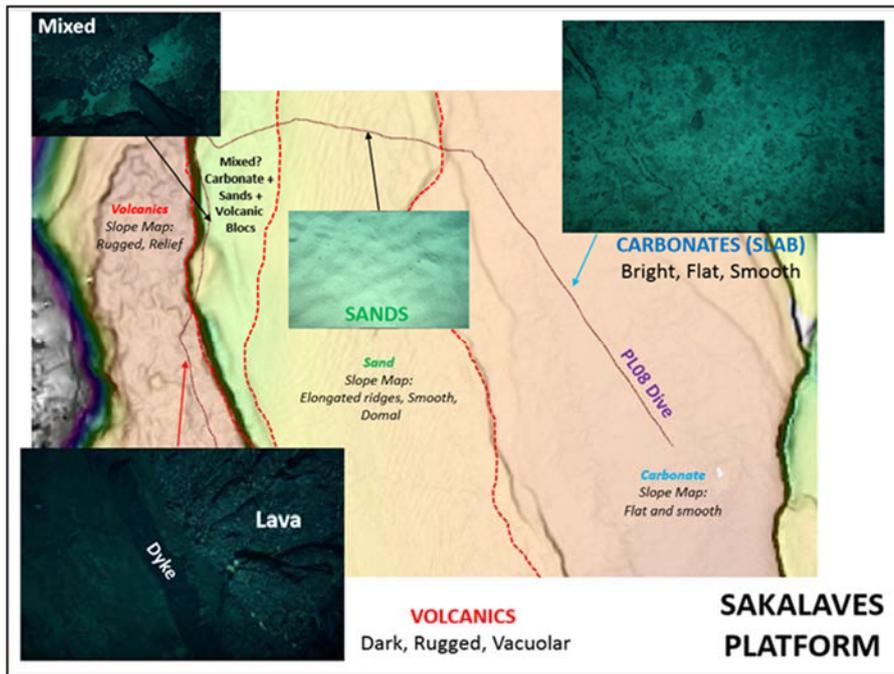


Figure 4 : Exemple de délimitation des zones sédimentaires le long d'une plongée au sommet du Mont Sakalaves, à partir des données de bathymétrie (pente) et validation par les images le long de la plongée.

L'ensemble de ces données, toutes géoréférencées, seront exportées sous forme de matrices et analysées conjointement par des analyses statistiques multivariées, afin d'évaluer les facteurs structurant à différentes échelles.

Bibliographie :

- Bourillet, J-F., Ferry, J-N., Bourges, P., 2013. PAMELA "PASSIVE MARGINS EXPLORATION LABORATORIES", <https://doi.org/10.18142/236>
- Corbari, L., Samadi, S., Olu, K., 2017. BIOMAGLO cruise, RV Antea, <https://doi.org/10.17600/17004000>
- Courgeon, S., Jorry, S.J., Jouet, G., Camoin, G., BouDagher-Fadel, M.K., Bachèlery, P., Caline, B., Boichard, R., Révillon, S., Thomas, Y., Thereau, E., Guérin, C., 2017. Impact of tectonic and volcanism on the Neogene evolution of isolated carbonate platforms (SW Indian Ocean). *Sedimentary Geology* 355, 114–131. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.04.008>
- Guennoc, Pol., 2004. VT 64 / BATHYMAY cruise, RV Marion Dufresne, <https://doi.org/10.17600/4200020>
- Jorry, S., 2014. PTOLEMEE cruise, RV L'Atalante, <https://doi.org/10.17600/14000900>
- Jouet, G., Deville, E., 2015. PAMELA-MOZ04 cruise, RV Pourquoi pas ?. <https://doi.org/10.17600/15000700>
- Olu, K., 2014. PAMELA-MOZ01 cruise, RV L'Atalante. <https://doi.org/10.17600/14001000>
- Langenkämper, D., Zurowietz, M., Schoening, T., Nattkemper, T.W., 2017. BIIGLE 2.0 - Browsing and Annotating Large Marine Image Collections. *Frontiers in Marine Science* 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00083>

Ma thèse est cofinancée par TOTAL et Ifremer dans le cadre du projet scientifique PAMELA (Passive Margin Exploration Laboratories).



Modélisation statistique de la distribution spatiale des récifs intertidaux d'hermelles en Atlantique

Amelia Curd^{1*}, Mickaël Vasquez¹, Aurélien Boyé¹, Lucy M. Bricheno², Laura Bush³, Michael T. Burrows⁴, Céline Cordier¹, Andrew J. Davies⁵, Louise B. Firth⁶, Mattias Green⁷, Fernando Lima⁸, Martin Marzloff¹, Claudia Meneghesso^{8,9}, Rui Seabra⁸ and Stanislas F. Dubois¹

¹ IFREMER, Centre de Bretagne, DYNECO LEBCO, 29280 Plouzané, France.

² National Oceanography Centre, Joseph Proudman Building, 6 Brownlow Street, Liverpool, L3 5DA, UK.

³ FUGRO GB Marine Limited, Gait 8, Research Park South, Heriot-Watt University, Edinburgh EH14 4AP, UK.

⁴ Scottish Association for Marine Science, Scottish Marine Institute, Oban, PA37 1QA, UK.

⁵ Department of Biological Sciences, University of Rhode Island, Kingston, RI 02881, USA.

⁶ School of Biological and Marine Sciences, University of Plymouth, Drake Circus, PL4 8AA, Plymouth, United Kingdom.

⁷ School of Ocean Sciences, Bangor University, 4 Askew Street, Menai Bridge, LL59 EG Bangor, United Kingdom.

⁸ CIBIO-InBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, Universidade do Porto, Campus Agrário de Vairão, 4485-661, Vairão, Portugal.

⁹ Departamento de Biologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, R. Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal

Introduction

Face au dérèglement climatique, la zone intertidale subit une double peine, car elle est victime des changements s'opérant dans deux mondes : le marin et le terrestre. L'espèce *Sabellaria alveolata*, communément appelée hermelle, bâtit des récifs d'une diversité unique le long du littoral européen. La faune associée à ces bioconstructions dépend donc directement de l'adaptation au changement climatique de cette espèce ingénieur. La modélisation à large échelle d'espèces intertidales est paradoxale. D'un côté, les lois de macroécologie stipulent qu'à travers une très grande zone géographique les variables climatiques sont les plus à même pour modéliser la répartition d'une espèce. De l'autre, les espèces benthiques intertidales sont connues pour réagir à des variations fine-échelle de l'habitat (Seabra et al. 2011). Le changement climatique modifie les aires de répartition des espèces : la colonisation de nouvelles zones par une espèce mène à une augmentation de son aire de répartition, tandis que sa disparition de certaines zones mène à une diminution de son aire de répartition. Bien qu'il existe beaucoup de variation entre espèces, globalement la majorité d'espèces étudiées augmentent leur aire de répartition en direction des pôles de façon plus rapide et plus importante qu'elles ne contractent leur aire au niveau de leur limite de répartition équatoriale (Pinsky et al., 2020).

Cette étude a donc pour objectif de répondre à deux questions (1) Sommes-nous capables de modéliser la distribution actuelle de l'hermelle, et quels sont les principaux facteurs qui gouvernent cette distribution; (2) Le cas échéant, quelles sont les projections futures de distribution selon les différents scénarii existants d'émission de gaz à effet de serre ?

Matériel et Méthodes

L'objectif était de prédire la répartition présente et future de *S. alveolata* sur un très large gradient latitudinal (32-61°N) le long de l'arc Atlantique, en calibrant des modèles statistiques (1) basés sur des techniques de modélisation soigneusement choisies ('General Additive Models', 'Random Forests', ainsi qu'un modèle d'ensemble des deux techniques), (2) avec des observations de présence compilées à partir de multiples sources, et (3) avec une sélection de variables environnementales terrestres et marines. Le package R 'sdm' (Naimi et Araújo 2016) a été utilisé.

Résultats et Discussion

Grâce à notre méthode de modélisation statistique, nous avons pu générer une carte précise et exhaustive de la répartition des hermelles à très grande échelle spatiale (fig. 1a). Cette carte confirme notamment les principaux récifs connus à l'échelle européenne.

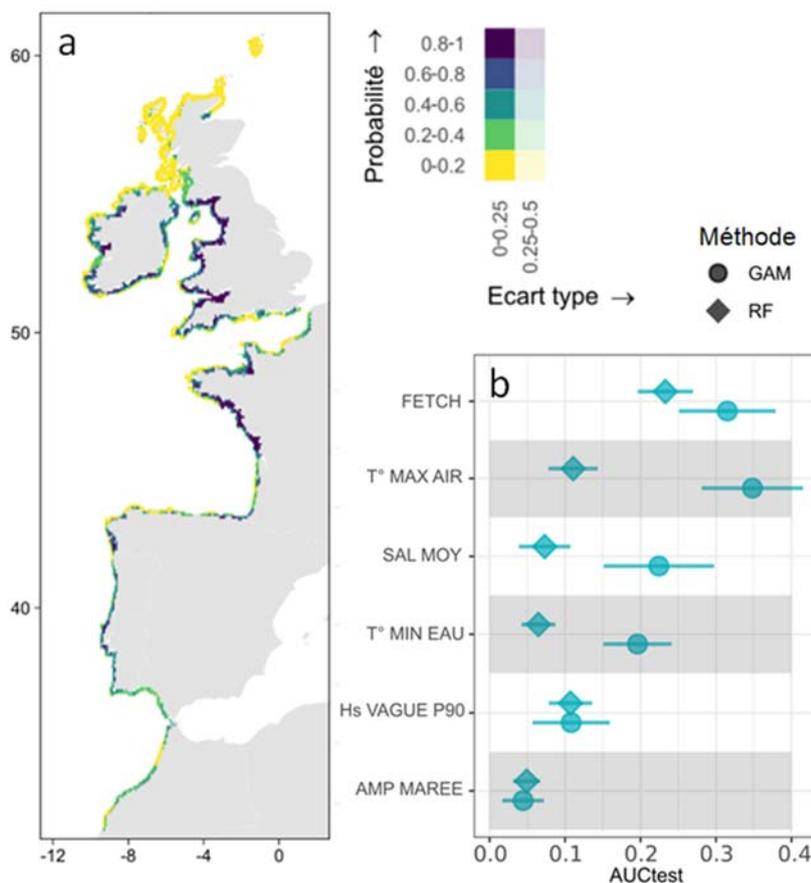


Figure 1: (a) prédiction du modèle d'ensemble (répliquats GAM + RF avec un score TSS > 0.61) de la probabilité de présence de *S. alveolata* le long du gradient latitudinal de répartition. L'écart type illustre les zones de divergence de prédictions entre les répliquats de modèle. (b) Importance des variables explicatives dans les deux algorithmes, classé selon un test basé sur l'aire sous la courbe ROC (AUCtest).

Les variables explicatives retenues et classées par ordre d'importance (fig.1b) sont présentées dans la table 1. Du fait de la bioconstruction des hermelles, qui nécessite un apport de sable grossier remis en suspension, les variables hydrodynamiques jouent un rôle important. L'importance de la salinité s'explique par la préférence de l'espèce pour de grands estuaires méso- à macrotidaux (ex.: the Severn au Royaume-Uni, la Loire en France ou le Minho en Espagne/Portugal).

Table 1 : Variables explicatives retenues suites aux vérifications de colinéarité. Les variables futures sont toutes disponibles pour deux scénarii RCP (4.5 & 8.5).

Variable	unité et résolution spatiale	Source	Période couverte
Température Surface Mer – Minimum	°C ~10km	Bio-ORACLE	Présent/2040s/2090s
Salinité de Surface Mer- Moyenne	PSS ~10km	Bio-ORACLE	Présent/2040s/2090s
Température Air – Maximum	°C ~10km	WorldClim	Présent/2040s/2090s
Fetch	100m ~10km	Burrows et al. (2012)	Présent
Hauteur significative de vague – Q90	m ~12km	Bricheno et al. (2018)	Présent/2040s/2090s
Amplitude de marée	m ~9km	OTIS-OSU	Présent

Les projections futures indiquent une nette contraction de la limite sud de l'aire de répartition ainsi qu'une augmentation importante de sa limite nord (fig.2). Il est important de souligner qu'à l'heure actuelle, en raison de la courantologie de la mer d'Irlande, la dispersion larvaire de l'espèce n'atteint pas les zones de forte augmentation de l'espèce prédite à l'ouest de l'Ecosse. À noter également que tous les scénarii prédisent une perte d'habitat au centre de l'aire de répartition, là où l'espèce est actuellement la plus abondante et forme les récifs les plus grands d'Europe, c'est à dire dans le nord du Golfe de Gascogne et en baie du Mont-Saint-Michel.

Conclusion

Bien que les récifs à *Sabellaria alveolata* soient listés en Annexe I de la Directive « Habitats » 92/43/CEE, peu de mesures existent à l'échelle nationale et européenne pour leur gestion et leur protection. Nos résultats de modélisation prédisent une perte des bioconstructions d'hermelles le long du littoral français. Les zones où la probabilité de présence est stable ou en augmentation, c'est-à-dire les côtes bretonnes, seraient donc les zones à protéger en priorité si les prévisions climatiques s'avéraient exactes.

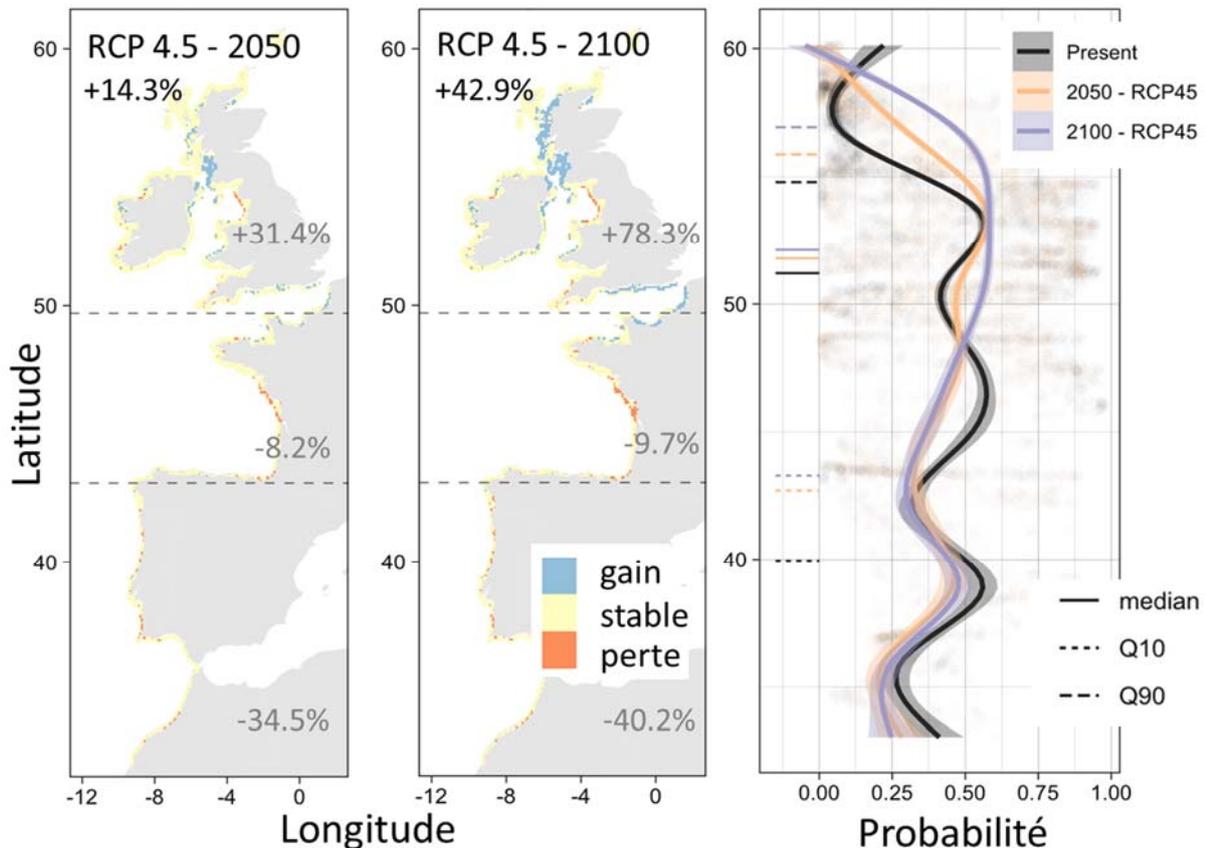


Figure 2: (a) projections du modèle d'ensemble pour le scénario 'RCP 4.5' de stabilisation sans dépassement des gaz à effet de serre, pour les décennies 2040-2050 et 2090-2100. Les pourcentages sont des pertes/gains d'aire de répartition calculés pour l'ensemble de la zone d'étude, et pour trois sous-régions. Le panneau de droite illustre la moyenne lissée de probabilité de présence, ainsi que les quantiles 10, 50 (médiane) et 90 de la distribution de l'hermelle le long du gradient latitudinal.

Références

- Bricheno, L. M., & Wolf, J. (2018). Future Wave Conditions of Europe, in Response to High-End Climate Change Scenarios. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(12), 8762–8791. <https://doi.org/10.1029/2018JC013866>
- Burrows, M. (2012). Influences of wave fetch, tidal flow and ocean colour on subtidal rocky communities. *Marine Ecology Progress Series*, 445, 193–207. <https://doi.org/10.3354/meps09422>
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm: A reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4), 368–375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Pinsky, M. L., Selden, R. L., & Kitchel, Z. J. (2020). Climate-Driven Shifts in Marine Species Ranges: Scaling from Organisms to Communities. *Annual Review of Marine Science*, 12(1), 153–179. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010916>
- Seabra, R., Wetthey, D. S., Santos, A. M., & Lima, F. P. (2011). Side matters: Microhabitat influence on intertidal heat stress over a large geographical scale. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400(1–2), 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.010>

Cartographie simultanée des ressources halieutiques et des habitats marins avec un sondeur multifaisceaux

Marie Lamouret^{1,2,*}, Arnaud Abadie¹, Pierre Boissery³, Nadège Thirion-Moreau², Christophe Viala¹

¹Seaviews, 8 avenue des Belugues, 13600 La Ciotat, France.

²Université de Toulon, Aix Marseille Université, CNRS, LIS Toulon, France, UMR 7020, F-83957 La Garde, France.

³Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 62 La Canebière, 13001 Marseille, France.

*Auteur correspondant : lamouret@seaviews.fr

Introduction

L'instrument phare des hydrographes actuels est le sondeur multifaisceaux (SMF). Efficace pour couvrir de larges zones avec une haute résolution, il répond à une grande variété d'applications avec une très bonne précision de positionnement. De plus, le SMF est capable de collecter simultanément la bathymétrie, les images de réflectivité du fond ainsi que les images colonne d'eau ("water column imagery", WCI). D'autres informations peuvent ensuite être déduites de ces données, telle qu'un indice de rugosité du fond. Il est alors possible d'étudier d'une part les fonds marins, au travers de la bathymétrie, de la réflectivité ou de la rugosité, mais également, l'activité de la colonne d'eau via les WCI (Colbo et al, 2014). Il est proposé, ici, d'étudier l'activité ichtyologique en rapport avec les fonds marins.

Matériel et méthodes

Site d'étude et système d'acquisition

L'étude est réalisée dans une zone de 0.7 km², dans la baie de la Ciotat (13600, France) (Fig. 1). "Les Pierres" bordent l'île Verte et sont reconnues pour la richesse de leur biodiversité. Les données ont été acquises en juin 2019 avec un SMF R2Sonic 2022 fixé sous la coque d'un semi-rigide dédié à l'hydrographie côtière. Ce SMF est couplé à une centrale d'attitude et à un système de positionnement RTK GNSS. Les transects d'acquisition sont prédéfinis et réalisés à l'aide d'un autopilote synchronisé avec le système de positionnement et avec le logiciel SIG de navigation, ViewMap. La description complète du système d'acquisition est disponible dans Lamouret et al. (2019).

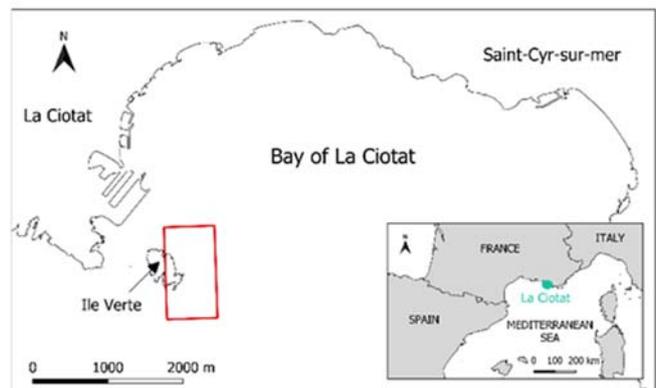


Figure 2 - Situation de la zone d'étude (cadre rouge)

Traitement des données

Les fauchées bathymétriques sont visualisées dans le logiciel dédié, ViewSMF puis nettoyées de leurs sondes aberrantes. Ensuite, un indice de rugosité est calculé à partir de la bathymétrie pour mettre en évidence les reliefs sous-marins (Abadie et Viala, 2018). Un modèle numérique de terrain (MNT) est réalisé avec ViewMap pour la bathymétrie et la rugosité du fond. Enfin, à partir de ces MNT et de vérités terrains, est établi un arbre de décision pour cartographier les habitats marins de la zone étudiée.

Les données WCI sont traitées selon la méthode détaillée dans Lamouret et al. (2019). La méthode se compose d'algorithmes de détection et d'identification des cibles correspondant à des poissons. Les informations de chaque détection permettent de reconstituer les bancs de poissons sous forme de nuages de points 3D, puis d'être superposés au MNT de la cartographie des habitats. Le nuage de points sert ensuite de base pour des analyses telles que la densité de poisson sur la zone complète et pour des sous-zones d'intérêt (habitats marins, reliefs particuliers). Elle sera exprimée en individu/m², c'est-à-dire en nombre de poissons par colonne d'eau de 1 m² de base.

Résultats

Cartographie des habitats marins

Les profondeurs du site s'échelonnent de quelques mètres sous la surface au niveau des tombants de l'île Verte à 66 m dans l'extrémité sud-est. Il se distingue sept principaux reliefs de hauteurs variant de quelques mètres à une trentaine de mètres (Fig. 2). Les vérités terrains permettent d'établir les principaux habitats de la zone. Ainsi, la zone est majoritairement (à 90 %) couverte de sédiments sableux. Les tombants rocheux de l'île verte (5 % de la surface de la

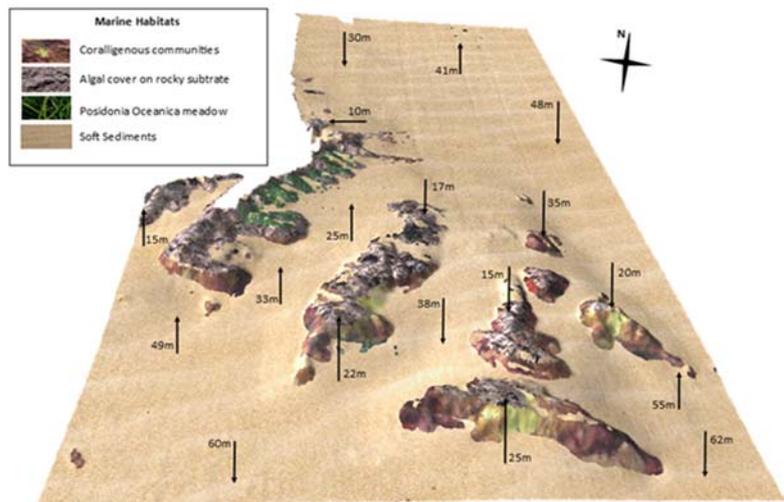


Figure 3 - Représentation 3D de la topologie du fond et des habitats marins

zone) sont couverts d'algues photophiles et présentent des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Les reliefs rocheux, dit "les Pierres" (5 % également de la zone), sont couverts à leurs sommets d'algues photophiles jusqu'à 25 m de profondeur, au delà, du coralligène y est visible. Au nord-est de la zone, sur fond de sable, trois petites épaves délabrées sont présentes par 40 m de profondeur.

Nuage de points des poissons

Les accumulations de poissons apparaissent comme des amas denses de points situés majoritairement sur les tombants de l'île et sur les récifs rocheux (Fig. 3). Les étendues de sables sont peu fréquentées en comparaison, sauf sur les épaves où deux bancs ont pu être observés au moment du levé bathymétrique. Des détections "solitaires", n'appartenant visiblement pas à un banc, apparaissent régulièrement sur les étendues de sable.

Les différentes densités surfaciques corroborent ce qui a été vu sur la représentation 3D. Sur l'ensemble de la zone, la densité est faible (0.05 poisson/m²), par rapport aux tombants (0.62 poisson/m²) et aux récifs (0.34 poisson/m²). La raison de cette faible densité générale est due à la très faible densité de l'étendue de sable (0.01 poisson/m²). Les bancs de poissons vus hors zones rocheuses représentent les deux tiers des détections sur sable; le tiers restant étant des détections solitaires. Les bancs, bien compacts, vus aux sommets des récifs et en pleine eau contiennent, en ordre de grandeur, de la centaine au millier d'individus.

Discussions

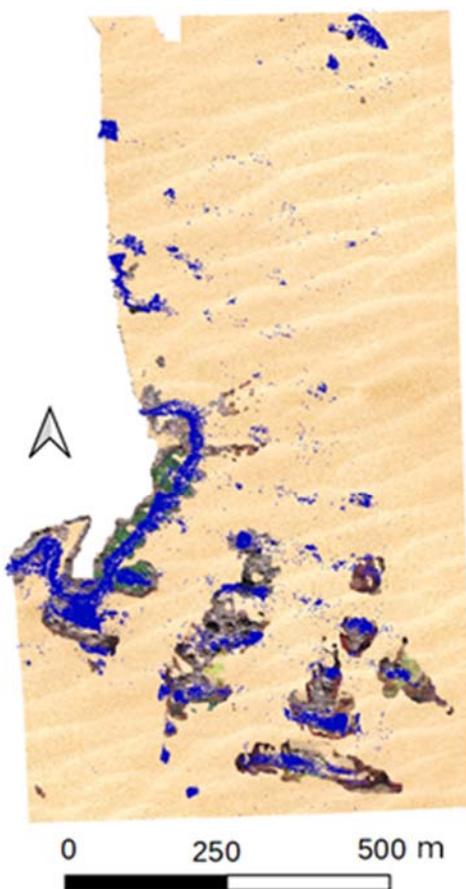


Figure 1- Nuage de points bleus représentant les poissons détectés.

Ce travail sur la zone des "Pierres" à La Ciotat – extrait d'un levé plus large dans la baie - avait pour but de tester les capacités du R2Sonic à cartographier les fonds marins, notamment les zones de coralligène. L'étude halieutique de la colonne d'eau se fait en opportunité sur ces données. Le fait que le levé soit porté sur le fond et non sur la colonne d'eau impacte les résultats halieutiques car la navigation a été tracée pour couvrir les fonds. Il aurait fallu des lignes plus serrées pour lever toute la colonne d'eau afin d'avoir un nombre de détections plus proche de la quantité réelle de poissons. La position et l'orientation du sondeur dans le bateau – sous la coque et pointant au nadir – joue un rôle important sur la quantité de poissons que les WCI ne collecteront pas. Les poissons fuient avant l'arrivée du bateau, puis latéralement; seule une faible partie d'entre eux sera vue au sondeur selon Soria et al. (1996).

Néanmoins, le levé bathymétrique suffit déjà à pouvoir repérer les zones d'accumulations de poissons liées aux fonds marins, puis à en déduire leur taux de fréquentation et enfin à d'étudier, même sommairement, les caractéristiques des bancs présents.

Une véritable étude de l'activité ichthyologique de la colonne d'eau est envisageable avec un sondeur de ce type par, entre autres, l'utilisation du tilt (consistant à dépointer latéralement les fauchées), et en adaptant la navigation à un enregistrement de toute la colonne d'eau, mais cela

sera au détriment du fond marin. Malgré tout, le R2Sonic reste un sondeur bathymétrique, et n'est pas un sondeur à pêche.

L'algorithme de détection-reconnaissance des poissons et d'extraction d'informations est semi-automatique : un opérateur règle certains paramètres de l'algorithme, puis la suite se fait en autonomie. Ces hyper-paramètres ne peuvent pas être exactement adaptés à toute une zone, notamment si sa surface est importante et avec de nombreuses variations de profondeurs et de reliefs. Des fausses alarmes et des non-détections sont à prendre en compte dans le résultat, même si celles-ci ne troubleront que peu les interprétations. En particulier, les détections 'solitaires' peuvent être assimilées – toutes ou en partie – à des fausses alarmes; elles représentent alors 5 % de l'ensemble des détections et un tiers des détections sur l'étendue de sable. Les bancs denses souffrent de non détections et devraient être encore plus denses : les poissons peuvent être si proches qu'ils apparaissent comme des cibles uniques dans les WCI, avec des formes très différentes de celles d'un simple individu.

Cette cartographie simultanée est complémentaire aux techniques classiques d'observation par cameras (video stationnaire, ROV) ou plongeurs. En effet, il est possible d'avoir un 'instantané' d'une zone complète en peu de temps, ce qui est plus difficile à obtenir avec des observations en quelques points définis. Dans cette idée, il est possible d'utiliser cette technique pour réaliser une étude préliminaire et pour localiser les zones d'intérêt et de rendre plus efficaces les méthodes classiques. Elle permet également de faire des mesures de nuit ou dans des mauvaises conditions de visibilité (embouchure de fleuve par exemple).

Ce travail doit pouvoir participer aux évaluations écologiques d'une zone d'intérêt. Le statut écologique d'une zone n'est pas uniquement lié à l'état de conservation de sa vie fixée mais, également des espèces inféodées aux écosystèmes qui participent à leur équilibre. Cette méthode propose donc un premier aperçu quantitatif des compartiments fonctionnels des écosystèmes benthiques de Méditerranée. Mais cet aperçu, centré sur des facteurs biotiques, doit être encore complété par les autres facteurs abiotiques (température et salinité de l'eau, intensité lumineuse et qualité des eaux, etc.) qui varient selon la saisonnalité, la localité et la présence de pression inter-espèces ou anthropique (Saraux et al, 2014).

Conclusion

Cette étude expose les capacités d'un SMF à fournir une grande quantité d'information tant sur les fonds marins – reliefs et habitats marins – que sur la colonne d'eau, ici à travers l'halieutique (zone d'accumulation, densités locales, densité de bancs). A terme, ce travail doit pouvoir venir en complément des méthodes d'observation sous-marines classiques pour l'étude de larges zones et/ou difficiles d'accès (visibilité, profondeur). Ces outils spatiaux d'halieutique offrent ainsi aux gestionnaires une vision spatiale et quantitative permettant l'évaluation écologique des écosystèmes marins.



Remerciements

Ces recherches ont été menées dans le cadre du projet CarTHabS financé par l'ADEME (via PIA 3) et par l'Agence de l'Eau RMC.

Bibliographie

- Abadie A, Viala C 2018. Le sondeur multifaisceaux en hydrographie : utilisations actuelles et futures. XYZ 157: 17–27
- Colbo K, Ross T, Brown C, Weber T 2014. A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders. Estuarine, Coastal and Shelf Science 145: 41-56
- Lamouret M, Abadie A, Viala C, Boissery P, Thirion-Moreau N 2019. Measuring fish activities as additional environmental data during a hydrographic survey with a multi-beam echo sounder. in: Oceans 2019 Marseille - France MTS/IEEE. pp. 1–10.
- Saraux C, Fromentin J-M, Bigot J-L, Bourdeix J-H, Morfin M, Roos D, Van Beveren E, Bez N 2014. Spatial structure and distribution of small pelagic fish in the northwestern Mediterranean Sea. PLoS One 9, e111211
- Soria M, Fréon P, Gerlotto F 1996. Analysis of vessel influence on spatial behaviour of fish schools using a multi-beam sonar and consequences for biomass estimates by echo-sounder. ICES J Mar Sci 53: 543-458.



Les synergies entre EMODnet Seabed Habitat et EMODnet Bathymetry

Thierry Schmitt¹, Mickaël Vasquez², Benoit Loubrieu², Claire Clenet¹, Laure Simplet²

¹SHOM, Brest

²Ifremer, Brest

EMODnet

EMODnet (**E**uropean **M**arine **O**bservation **D**ata **n**etwork, *réseau de données européennes d'observation du milieu marin*) est né en 2009 de la volonté de la DG Mare de l'Union Européenne de déverrouiller l'accès aux données marines. EMODnet est composé de 7 projets thématiques : bathymetry, geology, chemistry, physics, biology, seabed habitats, et human activities. Les projets ont deux missions : i) collecter et/ou indexer les données d'observation existant partout en Europe, et les mettre à disposition au moyen d'un portail, et ii) constituer des produits à valeur ajoutée à partir des données collectées en (i).

Les produits générés par les projets Bathymetry et Seabed Habitats partagent le fait de couvrir l'ensemble des mers Européennes. Le premier développe un modèle numérique de terrain (MNT), et le second propose une cartographie de la distribution spatiale des habitats benthiques. La carte des habitats benthiques étant consommatrice du MNT, les deux projets sont amenés à collaborer intensément. Le présent papier propose de décrire ces deux produits. Il illustre, dans ce cadre, l'interaction entre le MNT et la carte des habitats, avec un point particulier d'intérêt sur la manière dont les incertitudes sont traitées.

Le MNT d'EMODnet Bathymetry

L'ensemble des partenaires du projet mettent en commun à la fois leurs données bathymétriques (échantillonnées au pas de grille compatible avec celui du MNT final) et une fiche de métadonnées descriptives des caractéristiques du jeu de données bathymétriques fourni. A partir des données présentes dans les catalogues (CDI pour les données de levés, CPRD pour les compilations de MNT locaux) du projet, un MNT pour les mers d'Europe est créé par un groupe de coordinateurs régionaux. Leur rôle est d'évaluer la qualité des données à partir des informations fournies dans les métadonnées, par comparaison entre jeux de données co-localisés, et surtout au travers de la communication directe avec les partenaires fournisseurs de ces données. A l'issue de ce travail d'évaluation, une compilation est générée sous forme de MNT global par bassin. A la compilation des différents bassins est ajoutée, en dehors des zones dans lesquelles EMODnet Bathymetry dispose de données, la contribution de la GEBCO provenant de l'estimation de la bathymétrie dérivée du signal altimétrique. Le MNT global se compose de plusieurs couches dont deux principales. La première représente la profondeur d'eau moyenne pour le nœud de grille et la deuxième informe de la source majoritaire dont provient l'information bathymétrique.

Gestion de l'incertitude du produit bathymétrique

Au-delà des simples informations décrivant l'origine des données bathymétriques, il a été demandé aux fournisseurs de décrire la qualité de l'information bathymétrique fournie à l'aide des quatre critères suivants et en se basant sur la classification décrite par le tableau ci-dessous :

- Précision horizontale (QI_Horizontal)
- Précision verticale (QI_Vertical)
- Objectif du levé (QI_Purpose)
- Âge du levé

QI horizontal	QI vertical	QI age	QI pupose
Undefined	Undefined	Undefined	Undefined
Unknown or >500 m	Unknown, plummet, leadline	>30 years	Unknown or historical survey
Between 50m and 20m	SBES Low Frequency , SDB (similar than 2+5%d)	10-30 years	Transit and/or opportunity
< 20m	MBES low frequency (lower than 100kHz)(similar than 1+2%d)	5-10 years	Bathymetric/morphologic survey
	Lidar, SBES High Frequency	< 5 years	Hydrographic survey or compatible with hydrographic standards
	MBES High frequency (higher that 100kHz)(1+0.5%d)		

En combinant avantageusement ces informations à celles du système de référencement par nœud de grille, il est possible de disposer d'une répartition géographique de la qualité de l'information bathymétrique associée au MNT (figure 1).

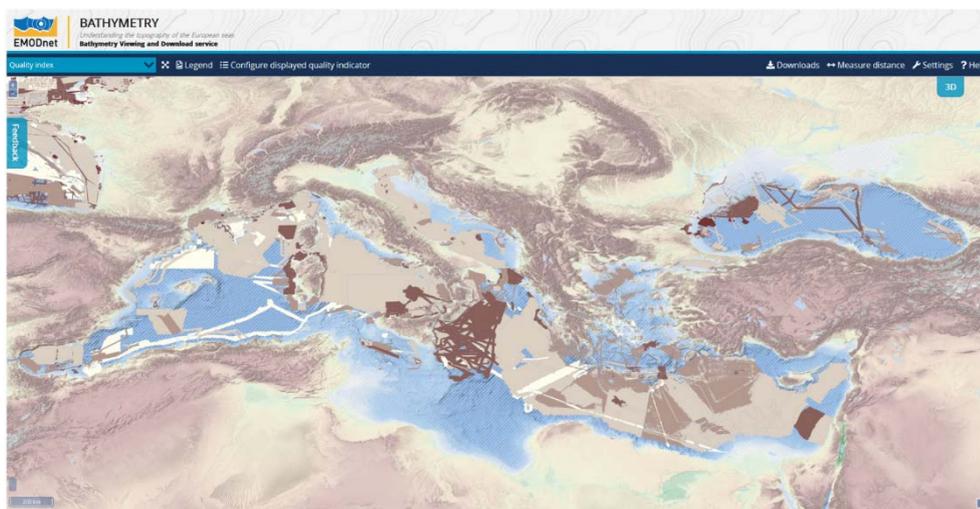


Figure 1 : exemple de cartographie de l'incertitude du MNT

La cartographie européenne des habitats benthiques d'EMODnet Seabed Habitats

La cartographie des habitats benthiques du projet Seabed Habitat, également connue sous le nom de « EUSeaMap », s'est progressivement enrichie spatialement depuis 2009 pour aujourd'hui couvrir l'ensemble des mers d'Europe. L'approche propose de segmenter les fonds marins selon leur nature géologique et leur appartenance à une zone biologique, les différentes zones biologiques permettant de décrire la variation avec la profondeur des conditions environnementales liées à la quantité de lumière, l'action des vagues, ou la pression (Populus et al,

2017). Selon la biogéographie, d'autres caractéristiques des fonds marins peuvent être décrites, tels que le niveau d'exposition aux mouvements de l'eau (fort, modéré, faible) en Atlantique ou le régime d'oxygène (oxique, suboxique, anoxique) en Mer Noire. EUSeaMap est donc une combinaison spatiale d'une cartographie i) de la nature géologique des fonds, ii) des zones biologiques, et iii) éventuellement d'autres caractéristiques physiques propres à la zone considérée (figure 2).

La bathymétrie joue un rôle capital, car elle intervient dans le calcul de variables telles que la quantité de lumière ou l'action des vagues sur le fond. Sans une cartographie complète de la bathymétrie à l'échelle de l'Europe telle que le MNT d'EMODnet Bathymetry, EUSeaMap n'aurait donc pas pu se faire.

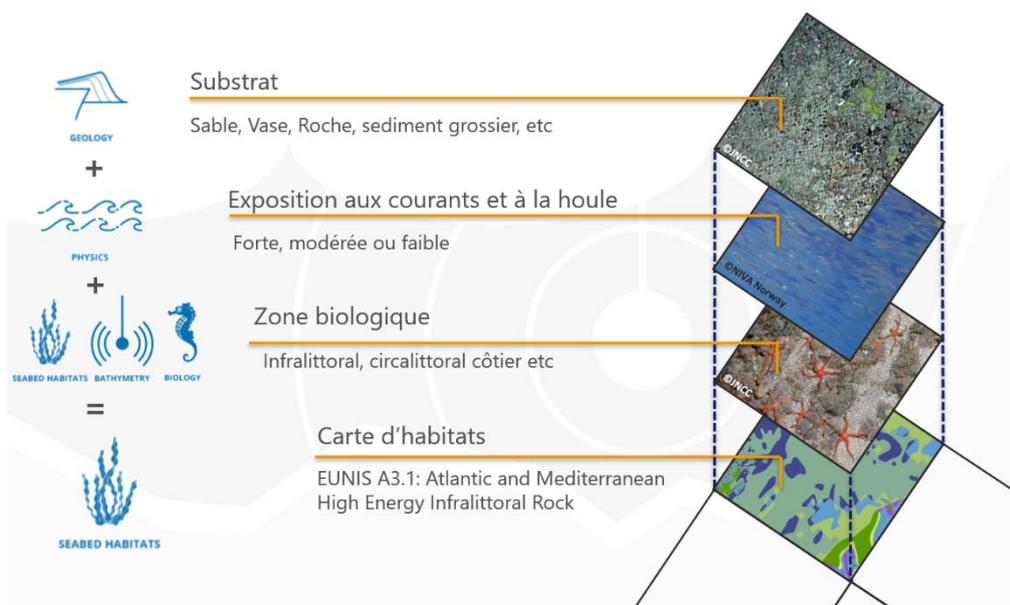


Figure 2 : EUSeaMap, combinaison de 3 couches spatiales

Gestion de l'incertitude

L'incertitude du produit EUSeaMap dépend de celle des variables environnementales à partir desquelles il a été constitué. Dans un monde idéal où tous les producteurs de produits spatialisés fourniraient une estimation en tout point de l'espace de l'incertitude de leurs produits, le calcul de l'incertitude d'EUSeaMap serait simple, puisqu'il suffirait d'agréger les incertitudes des produits qui interviennent dans sa création.

En pratique, il est assez rare qu'un produit cartographique soit fourni avec une estimation de son incertitude. Le projet EMODnet Seabed Habitat a dû composer avec cette réalité, et a développé un indice qualitatif de confiance basé sur une mesure de l'incertitude pour les produits proposant une telle mesure, et sur la précision horizontale pour les autres produits (Populus et al, 2017). Grâce à cet indice, la confiance en EUSeaMap est estimée spatialement selon 3 catégories, forte, modérée et faible (figure 3). L'indice d'incertitude du MNT d'EMODnet Bathymetry présenté dans le chapitre précédent a été utilisé tel que fourni.

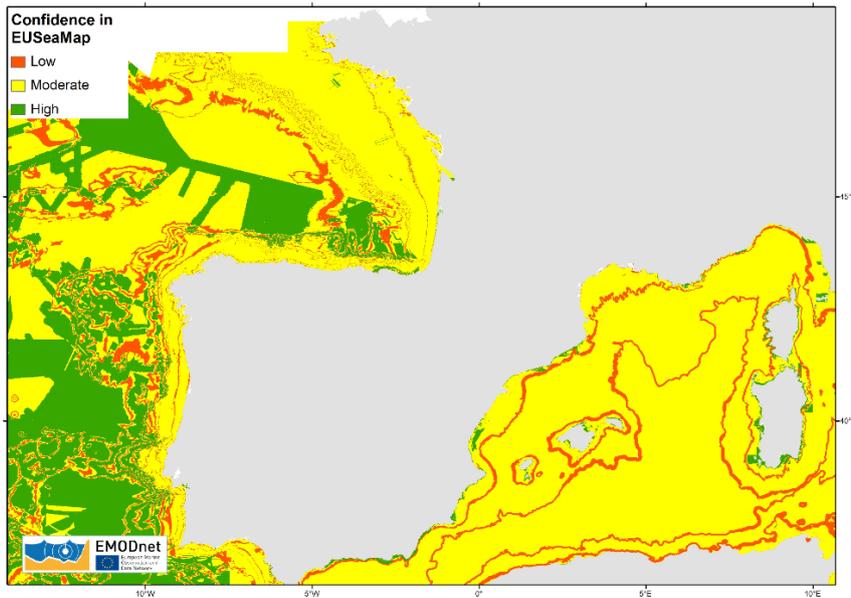


Figure 3 : exemple de cartographie de l'incertitude de EUSeaMap

Conclusion et perspectives

EMODnet est constitué de 7 projets thématiques indépendants, mais les cloisons entre ces projets ne sont pas étanches. On a montré ici que le produit EUSeaMap du projet Seabed Habitats s'appuie largement sur le MNT produit par le projet Bathymetry. Ceci n'est qu'un exemple parmi d'autres. Pour que les besoins des uns soient satisfaits par les productions des autres, très tôt d'étroites collaborations ont été mises en place entre les projets.

EMODnet Bathymetry proposera une nouvelle version du MNT à l'automne 2020. Des nouveaux jeux de données, plus précis spatialement, seront ajoutés par endroits, notamment des jeux de données satellites à la côte. EMODnet Seabed habitat sortira une nouvelle version d'EUSeaMap en septembre 2021.

Références

Populus Jacques, et al. (2017). EUSeaMap. A European broad-scale seabed habitat map. <https://doi.org/10.13155/49975>



SESSION 5 - Des géotraitements à l'intelligence artificielle



Dynamique sédimentaire sur le prisme sédimentaire picard : migration des dunes subtidales et flux sédimentaires associés.

Justine PONSOLLE^{1*}, Sophie LE BOT^{1*}, Laure SIMPLET², Arnaud GAILLOT², Charline GUERIN², Elise GRENARD-GRAND³, Bernadette TESSIER³, Thierry GARLAN⁴.

¹ Normandie Université, UNIROUEN, UNICAEN, CNRS, M2C, 76000 Rouen, France

² Ifremer, Géosciences Marines, Centre de Bretagne, ZI Pointe du Diable, CS 10070, 29280 PLOUZANÉ, France

³ Normandie Université, UNICAEN, UNIROUEN, CNRS, M2C, 14000 Caen, France

⁴ SHOM/DOPS/STM/SEDIM, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2, France

* : justine.ponsolle1@univ-rouen.fr ; sophie.lebot@univ-rouen.fr

Dans un contexte où les apports sédimentaires au niveau des plateaux continentaux sont faibles, comme c'est le cas pour la Manche, les conditions ne permettent pas d'obtenir des enregistrements sédimentaires suffisamment conséquents mais la présence de prismes sédimentaires subtidaux représentent d'importants stocks de sédiments formés par accumulation de sables et graviers pendant la transgression holocène et préservés au cours du temps, (Dupont, 1981 ; Delsinne, 2005 ; Billeaud, 2006). En particulier, le prisme picard, situé en Manche Orientale, est modelé de nombreux corps sédimentaires, principalement des dunes sous-marines et des bancs sableux, présentant une mobilité assez importante dans le temps (Ferret et al., 2010). La mobilité des dunes peut causer des problèmes de sécurité pour la navigation (Garlan & Brenon, 2019), en particulier dans le cadre d'un environnement peu profond comme la Manche, ou bien encore recouvrir pipelines et câbles jusqu'à engendrer leur rupture (Leckie et al., 2018). La connaissance de leur mobilité est également nécessaire pour mieux évaluer les impacts induits par les extractions de granulats marins (Terseleer et al., 2016) et par les EMR (Papili & Lopera, 2016). Les dunes sous-marines constituent par ailleurs des ressources pour l'alimentation du trait de côte en sédiments.

L'étude a pour objectif une meilleure connaissance de la dynamique des sédiments en surface du prisme picard, au travers de la dynamique des dunes et des flux sédimentaires associés. Elle s'inscrit dans le cadre du projet SELINE (Sédiments et Littoraux de Normandie) qui vise, à l'échelle de la zone côtière normande, à mieux comprendre les relations entre stocks subtidaux et évolution du trait de côte, afin de permettre une gestion durable de la bande côtière. Les données utilisées sont issues des sondeurs acoustiques (bathymétrie, sismique réflexion, imagerie) mis en œuvre lors de campagnes en mer, et en particulier les données des campagnes RECOSOM7, ESTUSOM138, ESTUSOM149 et STOCKLINE1910. Les données des sondeurs multifaisceaux (EM1000, Geoswath), traitées grâce au logiciel GLOBE (Ifremer Software), ont permis de générer des MNT

⁷ <https://doi.org/10.18142/282>; N/O THALIA, CNFC

⁸ <https://doi.org/10.17600/13120010>; <https://doi.org/10.17600/13120050>; N/O HALIOTIS, CNFC

⁹ <https://doi.org/10.17600/14011000>; <https://doi.org/10.17600/14011900>; N/O HALIOTIS, CNFC

¹⁰ <https://doi.org/10.17600/18000945>; N/O THALIA, CNFC

bathymétriques. Des mosaïques d'imagerie acoustique ont été produites grâce aux données d'imagerie (EM1000, Geoswath), traitées avec le logiciel SONARSCOPE (Ifremer Software), et calibrées par des données granulométriques issues de prélèvements sédimentaires à la benne.

3 marqueurs, propres à la dynamique des dunes, peuvent être utilisés pour évaluer la dynamique sédimentaire (Figure 1) : la polarité, la migration et les flux sédimentaires charriés. A partir des MNTs bathymétriques, les paramètres morphologiques des dunes, la position de leurs crêtes et pieds sont extraits automatiquement à l'aide du logiciel ParamDunes du SHOM (Hoche et al., 2006). Sous ArcGIS10.6 (© ESRI), plusieurs paramètres sont analysés et quantifiés : (i) la polarité des dunes, (ii) la migration des dunes par comparaison de MNTs bathymétriques réalisés à des dates différentes (entre 2007 et 2013). A partir de la vitesse de migration des dunes et de certains paramètres morphologiques, les flux sédimentaires charriés sont estimés via la méthode du « Dune Tracking » (Hoekstra et al., 2004 ; Schmitt & Mitchell, 2014 ; Michel, 2016). Les mosaïques d'imagerie acoustique permettront de disposer d'une cartographie de la distribution spatiale des sédiments en surface du prisme picard. Cette information fine sur la granulométrie peut ensuite être utilisée pour quantifier des flux sédimentaires à partir de formules de transport empiriques, et être comparés aux flux issus du « Dune Tracking ».

Une synthèse cartographique à l'échelle de l'ensemble du prisme sédimentaire picard sera présentée.

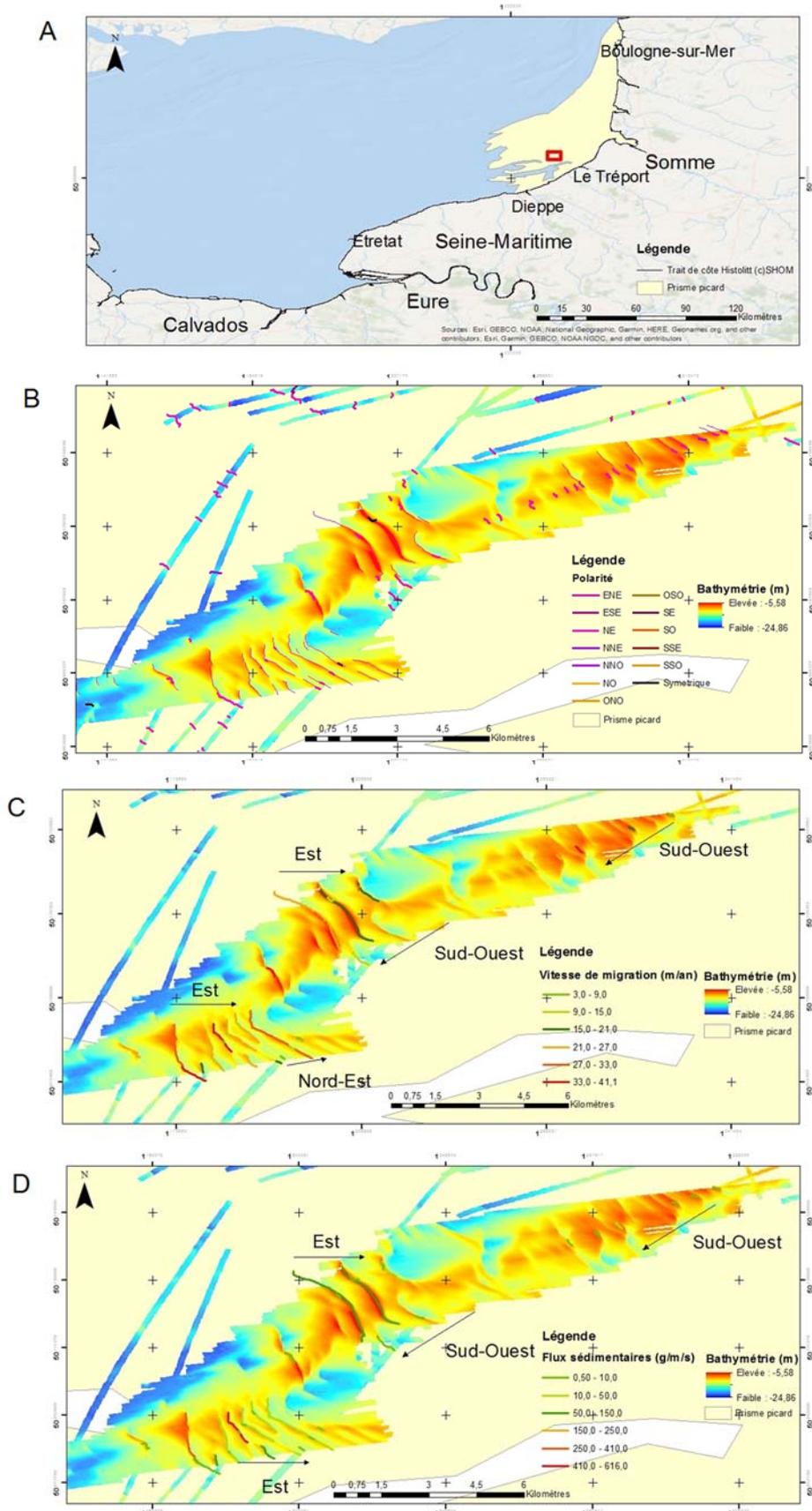


Figure 1 : Marqueurs de la dynamique sédimentaire. Exemple d'une zone sur le prisme picard sur la période 2007-2010. A : localisation. B : polarité des dunes. C : migration des dunes. D : flux sédimentaires charriés.

Remerciements :

Cette étude est financée par la Région Normandie (projet RIN SELINE). Les auteurs remercient les équipages des navires océanographiques THALIA et HALIOTIS pour l'acquisition des données des sondeurs acoustiques.

Références :

- Billeaud I. (2006). Dynamique de construction d'un prisme sédimentaire en régime mégatidal (La Baie du Mont-Saint-Michel). Thèse de doctorat, Université de Caen, 246 p.
- Delsinne N. (2005). Evolution pluri-millénaire à pluri-annuelle du prisme sédimentaire d'embouchure de la Seine. Facteurs de contrôle naturels et d'origine anthropique. Thèse de doctorat, Université de Caen, 185 p.
- Dupont J.-P. (1981). Relations entre Bios et Phénomènes sédimentaires intertidaux : le modèle de la Baie de Somme. Thèse de doctorat, Université de Rouen, 309 p.
- Ferret Y., Le Bot S., Tessier B., Garlan T., Lafite, R. (2010). Migration and internal architecture of marine dunes in the Eastern English Channel over 14 and 56 year intervals: the influence of tides and decennial storms. *Earth Surface Processes and Landforms* 35, 1480-1493.
- Garlan T., Brenon E. (2019). Biennial survey method of marine dunes in the French part of the North Sea shipping channel. *Marine and River Dune Dynamics – MARID VI – 1-3 April 2019 - Bremen, Germany*, 95-100.
- Hoche M. A., Garlan, T., & Thomas, L. (2006). Logiciel de calcul des paramètres morphologiques des dunes à partir des données bathymétriques SMF. Rapport, SHOM, Brest, 24 p.
- Hoekstra P., Bell P., Van Santen P., Roode N., Levoy F., Whitehouse R. (2004). Bedform migration and bedload transport on an intertidal shoal. *Continental Shelf Research* 24 (11), 1249-1269.
- Leckie S.H.F., Draper S., White D.J., Chen L., Griffiths T., Fogliani A. (2018). Observed changes to the stability of a subsea pipeline caused by seabed mobility. *Ocean Engineering* 169, 159-176.
- Michel C. (2016). Morphodynamique et transferts sédimentaires au sein d'une baie mégatidale en comblement (Baie de Somme, Manche Est). Stratégie multi-échelles spatio- temporelles. Thèse de doctorat, Université de Rouen, 325 p.
- Papili S., Lopera O. (2016). High frequency response on seafloor signature: structure for an innovative methodology for modern monitoring. *North Sea – Open Science Conference, 7-10 November 2016, Ostend, Belgium*, 78.
- Schmitt T., Mitchell N.C. (2014). Dune-associated sand fluxes at the nearshore termination of a banner sand bank (Helwick Sands, Bristol Channel). *Continental Shelf Research* 34, 64-74.
- Terseleer N., Roche M., Degrendele K., Van den Eynde D., Van Lancker V.R.M. (2016). Towards sustainable use of seabed resources using a combined monitoring-modelling approach, Belgian part of the North Sea. *North Sea – Open Science Conference, 7-10 November 2016, Ostend, Belgium*, 125.

La géomatique au service d'un évènement géologique majeur : la crise sismo-volcanique à Mayotte

Mathilde Pitel-Roudaut¹, Sylvain Bermell-Fleury¹, Delphine Pierre¹, Arnaud Gaillot¹, Charline Guérin¹, Stéphan Jorry¹, Florian Besson¹, Benoit Loubrieu¹, Valentin Jeanne¹, Nina Tanguy¹

Chefs de mission des campagnes MAYOBS : Nathalie Feuillet², Stephan Jorry, Isabelle Thinon³, Christine Deplus², Yves Fouquet¹, Pascal Pelleau¹, Pierre Guyavarc'h¹

¹Ifremer Géosciences Marines, Plouzané, France.

²IPGP, Paris, France

³BRGM, Orléans, France

Contexte

L'île de Mayotte est soumise à des séismes répétés depuis mai 2018. Le réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte (REVOSIMA), mis en place en 2019, s'appuie aujourd'hui sur des stations de mesures à terre (CNRS, BRGM, IPGP, IPGS, IGN, Université de La Réunion et collaborateurs) et des données acquises en mer lors de campagnes océanographiques (IFREMER, IPGP, CNRS, BRGM, IPGS, UCA, SHOM, U Réunion et collaborateurs) pour observer et comprendre l'origine de ces phénomènes¹¹. Les premiers résultats scientifiques ont largement été relayés par les médias et présentés à la communauté scientifique¹².

Crise et géomatique

La situation de crise géologique avec un enjeu sociétal fort impose une capacité d'intervention rapide des différents acteurs scientifiques impliqués à Mayotte, tant en organisation des opérations à mener en mer qu'en analyse, interprétation des données et communication des résultats.

Dans ce cadre, la géomatique s'impose comme l'outil logiciel pertinent de gestion de la crise pour les données numériques géographiques acquises en mer.

¹¹ <http://www.ipgp.fr/fr/actualites-reseau>

¹² <https://www.agu.org/>

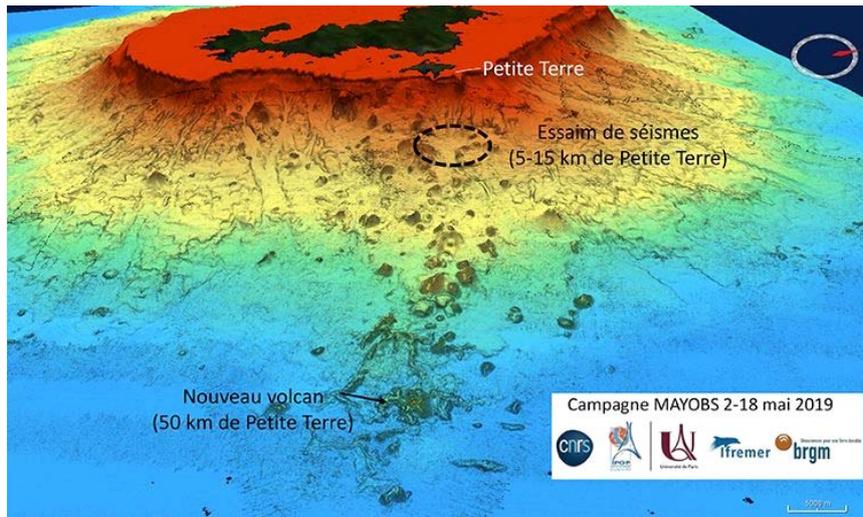


Figure 1 : Représentation 3D (logiciel Globe) des fonds marins au large de Mayotte (Source : Mayobs2, 2019)

La première campagne océanographique en mai 2019 a révélé la formation très récente d'un volcan sous-marin de 820 m de hauteur dont la base se situe à 3300 m de profondeur¹³. Par la suite, une série de campagnes nommées MAYOBS ont été réalisées pour comprendre la distribution et la fréquence des séismes de la zone et assurer un suivi bathymétrique, réaliser des prélèvements géologiques et des mesures géochimiques.

Techniquement les outils géomatiques sont intervenus à plusieurs étapes pour mener à bien ces missions en mer, puis pour structurer et qualifier les données, analyser et diffuser les résultats.

- **Bilan des données existantes** : en amont de la première campagne en mer, les outils géomatiques ont permis de dresser un bilan des données existantes sur la zone marine à l'est de Mayotte puis de trier les données exploitables et pertinentes pour l'enjeu de la situation.
- **Nouvelles acquisitions en mer** : la géomatique vient appuyer l'équipe scientifique pour organiser et suivre en temps réel les opérations en mer des nombreux engins d'acquisition (sondeur multifaisceau, sondeur de sédiments, vidéo sous-marine, AUV – Autonomous Underwater Vehicle, dragues à roches, bathysonde, OBS - Ocean Bottom Sismometer, etc).

¹³ Deplus Christine, *et al* (2019). **Early Development and Growth of a Deep Seafloor Volcano : Preliminary Results from the MAYOBS Cruises** . AGU Fall Meeting. 9 - 13 December 2019, San Francisco .



- **Base de données géographiques** : la constitution d'une base de données géographiques validée et qualifiée est fournie aux chefs de mission à la fin de chaque campagne en mer (une campagne en mer par mois depuis mai 2019¹⁴). Cette base de données, composée des objets géographiques de toutes les acquisitions réalisées en mer, fournit les éléments pour préparer les missions suivantes dans un très court terme, visualiser les résultats, les interpréter, ou les représenter à des fins de communication scientifique et au grand public.
- **Analyse spatiale de la donnée** : le positionnement géographique des prélèvements et mesures réalisés en mer ou le choix de traitement de la bathymétrie ont des enjeux forts pour l'interprétation scientifique. La métadonnée de l'information géographique (décrivant notamment la source des données et les traitements réalisés) reste un élément essentiel pour une exploitation pertinente de ces données, dans cette situation de travaux scientifiques inter-organismes.
- **Partage de l'information géographique** : les outils de partage de ces données géographiques marines via le web ont permis la création d'une interface partagée dont la politique de diffusion est en cours de discussion.

Conclusion

La géomatique et ses outils profitent aux actions scientifiques de la crise sismo-volcanique à Mayotte dans un contexte de travail inter-organismes. D'un point de vue technique, et grâce à un soutien de moyens humains, les objectifs sont réalisés. Par ailleurs, cette situation de crise sismo-volcanique et son enjeu exceptionnel sociétal, renforcée par la crise sanitaire de 2020, ont aussi permis aux équipes géomatiques à re-questionner et consolider leurs pratiques en géomatique.

¹⁴ <https://campagnes.flotteoceanographique.fr/series/291/>





Téledétection des herbiers marins océaniques, méditerranéens et tropicaux par LiDAR topobathymétrie

Antoine COLLIN^{1,2*}, Mathilde LETARD¹, Antoine MURY¹, Dorothée JAMES¹, Yves PASTOL³

¹Ecole Pratique des Hautes Etudes – PSL, UMR LETG, Dinard, France.

²Labex CORAIL, Moorea, Polynésie française.

³Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), Brest, France.

Introduction

Les herbiers marins fournissent de riches services écosystémiques tels que des habitats pour de nombreuses espèces de poissons, crustacés, mollusques et oiseaux, la mitigation climatique par séquestration à long terme du carbone, la protection littorale par atténuation hydrodynamique, ou encore la pêche à pied récréative. Malgré ces bienfaits pour l'humanité, une disparition mondiale de ces plaines sous-marines a été quantifiée à 29% entre 1879 et 2009, avec une forte accélération à 110 km².an⁻¹ depuis 1980 (Waycott *et al.* 2009). En sa qualité de deuxième territoire marin du monde, la France joue un rôle prépondérant dans l'étude et la gestion durable de ces écosystèmes d'intérêt.

Compte tenu de leur localisation côtière, la cartographie des herbiers marins repose sur des technologies d'observation, telles qu'imagerie satellite et aérienne (incluant le drone) ou SoNAR (Sound Navigation And Ranging). Alors que l'imagerie passive est fortement limitée par la présence d'eau plus ou moins turbide, les données acoustiques sont, elles, contraintes à la navigation en eau suffisamment profonde et peu dangereuse. L'étude de ces herbiers nécessite donc le développement d'une nouvelle méthodologie d'observation et d'analyse permettant de couvrir cette zone blanche côtière, et ce, sur de larges emprises spatiales bénéficiant d'une très haute résolution. Le LiDAR (*Light Detection And Ranging*) aérien, émetteur-récepteur de laser à très haute fréquence vert et infrarouge (Collin *et al.* 2012), est prometteur pour répondre à ce besoin.

Nous proposons, ici, de classifier les données de LiDAR topobathymétrie, fournies librement par le SHOM, pour la télédétection des herbiers marins tropicaux (cymodoceaceae et hydrocharitaceae), méditerranéens (posidionaceae) et océaniques (zosteraceae). Quelles sont les contributions des paramètres LiDAR hydromorphométriques, topomorphométriques et d'intensité à la précision de classification ? Quelles sont les contributions de l'imagerie aérienne multispectrale à la précision de classification ? Une série de classifications supervisées non-linéaires, basées sur le séparateur à vaste marge (SVM), permettra de répondre à ces interrogations.

Matériels et Méthodes

Site d'étude

Les quatre grandes familles de prairies sous-marines tropicales, méditerranéennes et océaniques (Fig. 1A, B et C) ont été étudiées, respectivement, en Guadeloupe, Corse et à Chausey (Fig. 1D, E et F).

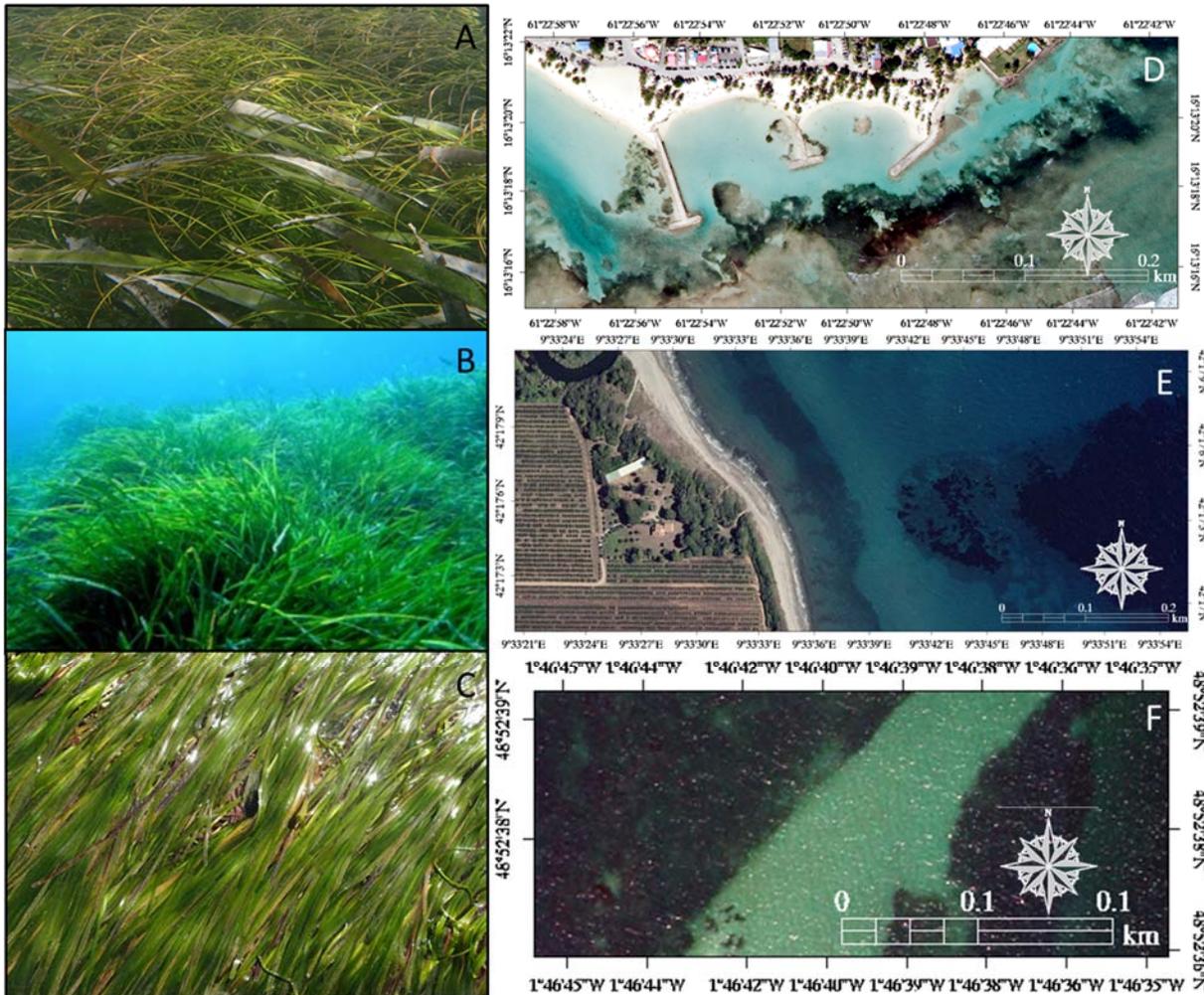


Figure 1 : Imagerie in situ des herbiers de (A) cymodoceaceae et hydrocharitaceae, (B) posidonionaceae et (C) zosteraceae ; et in silico aérienne (BD ORTHO®) de (D) Anse Sainte-Anne (Guadeloupe), (E) San-Guiliano (Corse), et (F) Chausey.

Imagerie aérienne du LiDAR topobathymétrique

Les données LiDAR de la Guadeloupe ont été collectées en 2011 par le Fugro LADS Mk II, alors que les données de Corse et Chausey ont été acquises en 2018 par le Leica HawkEye III. De ces jeux de données ont pu être extraits des paramètres :

- hydromorphométriques (issus du laser vert pour toutes les familles d'herbiers),
- d'intensité (issus du laser vert HawkEye III pour les posidonionaceae et zosteraceae),
- topomorphométriques (issus du laser infrarouge pour les zosteraceae exondés),
- d'intensité (issus du laser infrarouge pour les zosteraceae exondés).

Imagerie aérienne multispectrale

Le produit BD ORTHO® (Base de Données ORTHOphotographique) se compose de mosaïques numériques géoréférencées d'orthophotographies en couleurs, rectifiées dans la projection ad hoc. Les 3 sites sont caractérisés par le BD ORTHO® 50 CM bleu-vert-rouge (BVR), et le site de Chausey bénéficie, en plus, de la BD ORTHO® IRC (infrarouge, IR).

Classification des herbiers marins

Les contributions des divers paramètres morphométriques et d'intensité du LiDAR, ainsi que des bands spectrales auxiliaires, ont été évaluées par classification SVM calibrée par 300 pixels de 3 classes (herbier, sédiment, et roche) pour chaque site. Les contributions ont été quantifiées par la précision de classification globale (PCG), issue d'une matrice de confusion construite à partir de 300 pixels de validation par classe.

Résultats et discussion

La fusion des prédicteurs hydromorphométriques avec l'hydrointensité LiDAR a crû la détection des zosteraceae, mais diminué celle des posidionaceae, cymodoceaceae et hydrocharitaceae. Les quatre familles ont bénéficié de l'ajout des bandes BVR (Fig. 2A).

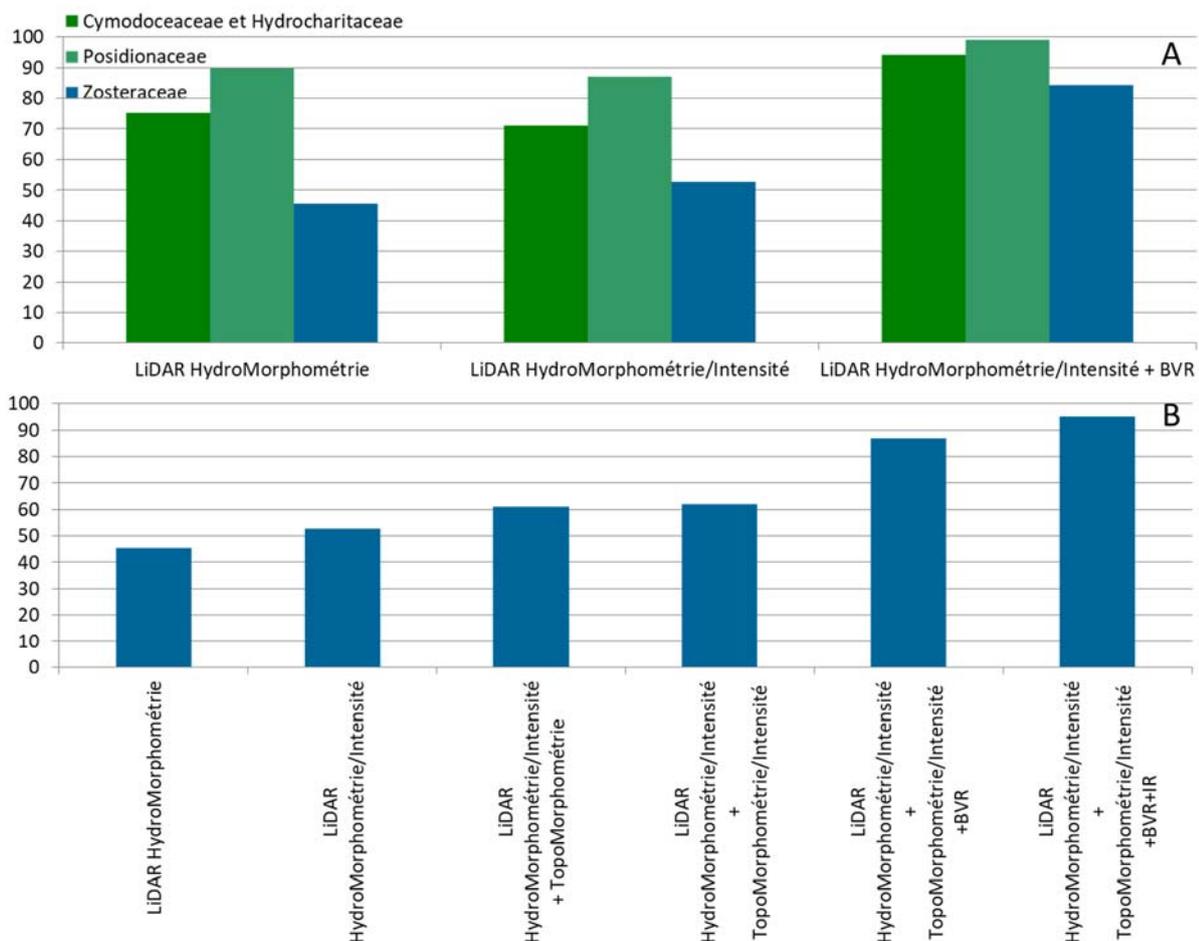


Figure 2 : Précision de classification globale des herbiers prédits par (A) l'hydromorphométrie/intensité LiDAR, et les bandes BVR, et par (B) l'hydromorphométrie/intensité LiDAR, la topomorphométrie/intensité LiDAR et les bandes BVR-IR.

Situé en zone intertidale, la détection des zostéridées a pu, de surcroît, être réalisée en mode topographique. L'ajout de la topomorphométrie, puis de la topointensité LiDAR, ont augmenté la PCG. L'ajout des bandes BVR, puis IR, ont considérablement amélioré la classification (Fig. 2B).

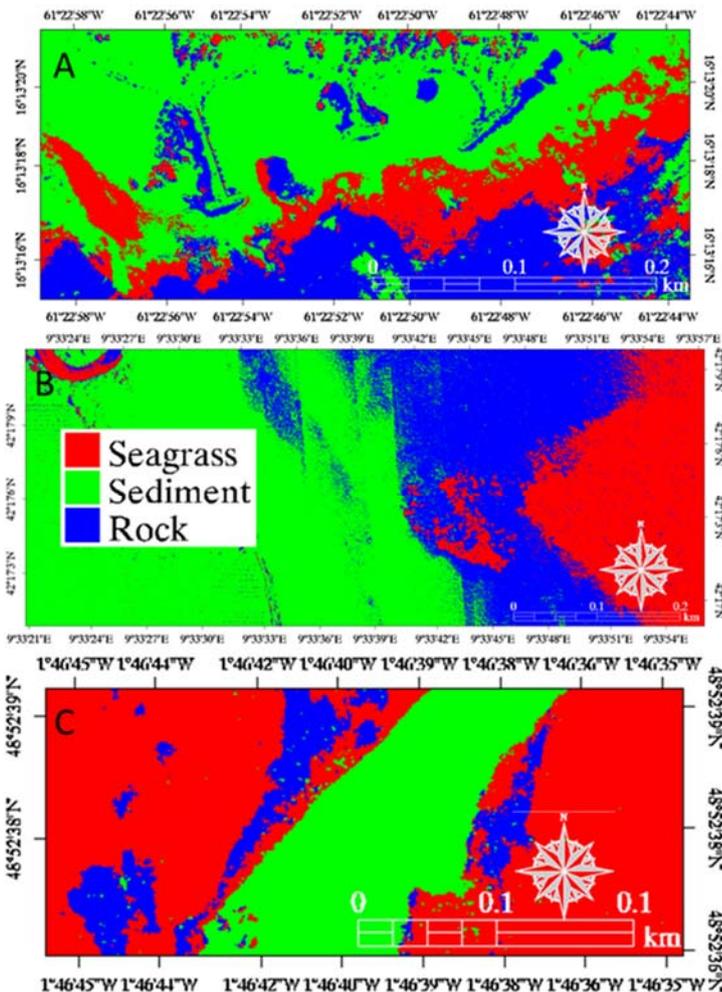


Figure 3 : Cartes de classification supervisée basée sur le séparateur à vaste marge des herbiers marins (A) tropicaux (cymodoceaceae et hydrocharitaceae), (B) méditerranéens (posidionaceae), (C) océaniques (zosteraceae), en relation avec le substrat meuble et dur environnant.

Conclusion

La télédétection des herbiers marins tropicaux, méditerranéens et océaniques par LiDAR topobathymétrique aérien est satisfaisante (PCG=75.11%, 86.89%, 61.89%, respectivement). Le pouvoir de discrimination augmente significativement avec l'ajout des bandes multispectrales conventionnelles (PCG=94.11%, 99.11%, 95.22%, respectivement). Compte tenu de la disponibilité de ces deux ressources sur les côtes françaises métropolitaines et ultramarines, cette étude est dédiée aux gestionnaires de ces habitats benthiques.

Collin, A., Long, B., & Archambault, P. (2012). Merging land-marine realms: Spatial patterns of seamless coastal habitats using a multispectral LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 123, 390-399.

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., ... & Kendrick, G. A. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(30), 12377-12381.



Levés par lidar bathymétrique aéroporté, dans le cadre du projet Litto3D®, et traitement des données par IA au Shom

Pastol Y., Le Deunf J., Salvaterra C., & Vrignaud C.

Shom, Brest, France.

Contexte du programme national Litto3D®

Le programme national Litto3D® vise à établir un référentiel géographique du relief à haute résolution, précis, continu terre-mer, sur l'ensemble du littoral de métropole et d'outre-mer (DROM). Ce programme est mené par deux opérateurs nationaux de l'information géographique, le Shom et l'IGN. Il fait suite à la décision du Comité interministériel de la mer (CIMER) du 8 décembre 2009, qui rappelait son caractère « indispensable pour l'aménagement du territoire, le développement de projet et la prévention des risques ». Ces données sont notamment indispensables pour évaluer l'impact à la côte de l'érosion, de risque de submersion, des effets du changement climatique, ... et de proposer des solutions afin de réduire les dommages associés à ces risques. Elles fournissent des éléments clés de connaissance pour l'évolution des écosystèmes et des habitats sous-marins et l'impact des ouvrages de protection littoraux passés ou projetés.

Les données géographiques Litto3D® sont standardisées, afin de faciliter le partage d'expériences, le développement d'applications et leur utilisation par des usagers du littoral extrêmement variés : privés, institutionnels, académiques et grand public, elles s'inscrivent dans les démarches d'ouverture des données INSPIRE, avec une diffusion la plus large possible sous licence ouverte. Elles sont directement téléchargeables sur les portails data.shom.fr et diffusion.shom.fr.

Les données topo-bathymétriques sont acquises à l'aide d'un lidar (Laser) aéroporté. Le rayon laser est réfléchi sur tout objet offrant un contraste optique marqué. Fréquemment, ce contraste provient d'interfaces physiques telles que la surface de l'eau, le fond marin, mais il peut aussi provenir de particules (turbidité) ou d'objets dans la colonne d'eau ou la colonne d'air. A l'issue de l'acquisition, un nuage de points est généré. Son traitement peut cependant être extrêmement complexe (cf. figure 1), et est à ce jour réalisé manuellement par des techniciens du Shom.

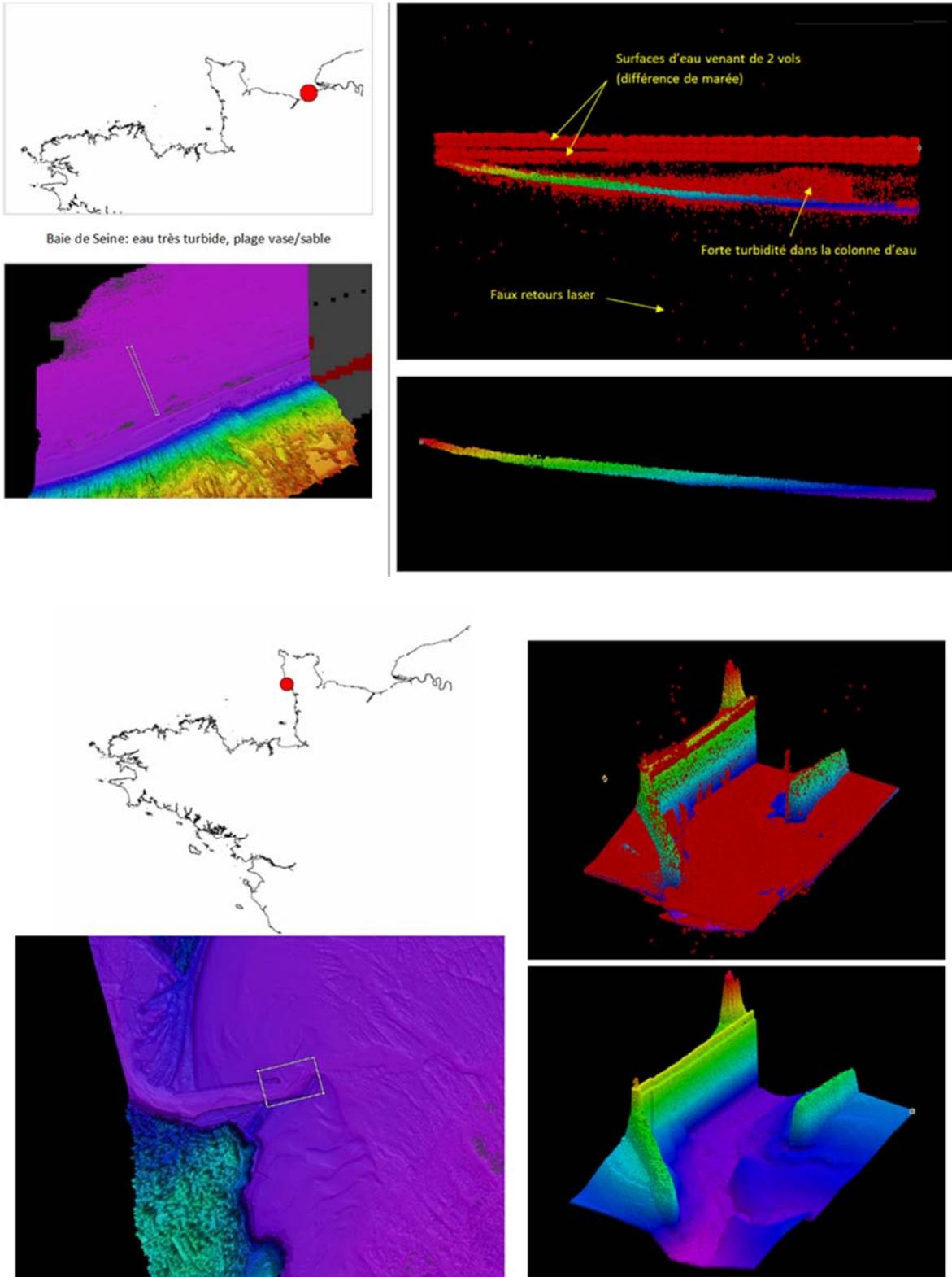


Figure 1 : Les points considérés « à rejeter » par le technicien Shom apparaissent après son travail de filtrage manuel en rouge

L'intelligence artificielle comme soutien au traitement de données bathymétriques

Avec l'amélioration des systèmes lidar, et plus généralement avec l'augmentation importante du nombre de données, il est important de gérer plus efficacement les informations massives (big data) venant des capteurs afin d'accélérer les processus de traitements automatiques, permettant ainsi d'optimiser l'accès à de la donnée qualifiées. Le but est d'exploiter toutes les informations obtenues par un système d'acquisition optique de façon optimale, afin d'automatiser certaines tâches du traitement. Ce système comprend un ensemble de capteurs fonctionnant de manière couplés (lidar, station inertielle, capteur GNSS...).

Si des traitements et des algorithmes de classification automatique existent pour les données de lidar topographique, il n'en est aujourd'hui rien pour les données de lidar topo-bathymétrique ou bathymétrique, qui présentent les différences notables suivantes :

- de très nombreux retours dans le nuage de points sont sans intérêt et donc à rejeter : retours sur la surface d'eau, retours dans la colonne d'eau (matières en suspension, bruit, etc.), retours sur des algues/végétation marine. Seul le fond marin (roche, galet, sable, vase, ...) est à conserver. ;
- la densité des nuages de points de lidars topo-bathymétriques ou bathymétriques est plus faible que celle de lidars topographiques limitant les bénéfices associés à la redondance spatiale de l'information.

Le défi technique pour le Shom est d'identifier le fond marin dans le nuage de points et comporte deux étapes :

- Détecter par intelligence artificielle les retours lasers sur la surface d'eau.
Pour les données des lasers *Shallow* et *Deep*, cette détection existe via les outils industriels mais peut être nettement améliorée (cas des roches affleurantes, des zones de déferlement « eaux blanches »).

Pour le laser *Topo*, cette détection reste à créer puisqu'actuellement ces retours surface qui sont présents partout où il y a de l'eau (mer, lac, etc.), sont classifiés manuellement par les opérateurs.

- Qualifier (au sens « rejeter » ou « conserver ») de manière semi-automatique le nuage de points laser.
Dans le nuage de points des lidars *Shallow* et *Deep*, il est impératif de détecter et de conserver le fond marin, en rejetant tous les autres retours non pertinents. L'exemple de la Baie de Seine en Figure 1 pour lequel le rapport du signal utile est faible par rapport au bruit, illustre particulièrement bien l'ampleur de la difficulté. En cas de doute, l'intelligence artificielle doit identifier et cibler la portion délicate du nuage de points pour qu'une décision humaine soit prise.

La présentation exposera les premiers résultats de traitement de données lidar bathymétrique du Shom en utilisant des techniques d'apprentissage automatique.



Conclusion

L'utilisation de l'intelligence artificielle dans le traitement des données complexes de type lidar topo-bathymétriques répond à une attente extrêmement forte des opérateurs et ce sujet semble aujourd'hui très prometteur. Les avancées qui seraient obtenues sur ce défi seront applicables et valables pour tous les lidars topo-bathymétriques et bathymétriques et ne se limiteront pas au système actuellement employé par le Shom.



SESSION 6 - Analyse de données satellites



Traitement vidéo en temps réel pour la caractérisation des échouages de sargasses sur les plages caribéennes

Valentini, N. ¹, Balouin, Y. ¹, Laigre, T. ², Bouvier, C. ³, Moisan, M. ² et Nachbaur, A. ³

¹BRGM - Université de Montpellier, 1039 rue de Pinville, Montpellier, France.

²BRGM, Parc d'activités de Colin - La Lézarde, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France.

³BRGM, 4 Miramar, Route Pointe des Nègres, 97200 Fort-de-France, Martinique, France.

Introduction

Les eaux au large des îles des Caraïbes ont vu arriver de grandes quantités de Sargasses au cours des dernières années (Wang et Hu, 2016). Ces événements records en matière de prolifération d'algues et d'échouage en masse a véritablement débuté en 2011 et se poursuivent aujourd'hui avec des concentrations exceptionnellement importantes en 2011, 2015 et 2018 détectées à partir d'images satellites. Lorsqu'ils flottent au large des côtes, les radeaux de Sargasses fournissent un habitat important et un refuge à une grande diversité d'animaux. Cependant, alors que les algues s'approchent des côtes, en raison de la force des vents et des courants, elles deviennent un piège mortel pour de nombreuses espèces et contribuent à la dégradation des habitats côtiers, menaçant les activités et les écosystèmes. Les échouages sous forme de banquettes peuvent atteindre plusieurs mètres de haut, et la décomposition des algues dégage une odeur nauséabonde qui nuit aux activités touristiques.

De nos jours, les informations extraites du système de télédétection par satellite sont très utiles pour estimer qualitativement et quantitativement la présence et les mouvements de telles macroalgues au large des côtes. Malheureusement, les dispositifs d'alerte opérationnels capables d'anticiper l'échouage des algues à terre présentent toujours des inconvénients liés à l'échantillonnage et à la fréquence temporelle inadéquats (observations MODIS, par exemple, Wang et Hu, 2017) et aux obstacles qui s'interposent tels que la nébulosité ou les reflets du soleil. Outre le besoin réel d'anticipation des échouages, la caractérisation de ceux-ci est nécessaire à une échelle locale, et l'évaluation des moyens nécessaires pour la gestion de ces algues (ramassage, valorisation éventuelle) par les autorités locales paraît aujourd'hui indispensable (Cox, S., 2019).

L'objectif de cette étude est de mettre en œuvre une approche basée sur la vidéo afin de classifier les morphologies côtières et, en particulier, de détecter les algues flottantes et échouées de manière très efficace et reproductible à un coût modéré et en temps réel. Cette opération est effectuée au moyen d'un réseau de caméra low-cost et d'une classification DCNN des images (réseau de neurones de convolution profonde) semi-supervisée et sur une sur-segmentation par superpixels. La mise en œuvre d'un système d'alerte pour la quantification des algues avec une approche de seuillage relatif a été réalisée. Ce système sera utilisé en assistance aux municipalités locales et aux agences françaises pour pouvoir répondre plus efficacement et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation appropriées et opportunes.

Site et méthodes de l'étude

La zone d'étude est située sur l'île de la Martinique, en France, qui se trouve dans la région des Petites Antilles de la mer des Caraïbes. L'île est caractérisée par un climat tropical humide et influencé par les alizés tout au long de l'année, avec des cyclones épisodiques. En ce qui concerne la morphologie de la côte, les deux tiers de l'île sont constitués de plages de sable et végétation (mangrove), et 75% d'entre elles sont des plages de poche. Une tendance bien définie au recul du trait de côte et les préoccupations concernant les échouages de Sargasses a conduit à la définition d'un programme de suivi de la morphodynamique des plages, des phénomènes liés aux Sargasses et des interactions entre les échouages et la dynamique du trait de côte. Un système composé de caméras à faible coût (inférieur à 500€), basé sur des smartphones – SOLARCAM (<https://www.solarcam.fr>) a été installé. Le réseau de suivi est opérationnel depuis décembre 2018 et la répartition des caméras permet ainsi de couvrir les principales façades exposées aux échouages sur le littoral martiniquais (entre plages et littoraux urbanisés).

Le déroulement de la classification des images par DCNN comprend deux phases principales : l'entraînement et la validation, y compris l'application de la segmentation sémantique. Tout d'abord, afin d'entraîner le modèle de classification, il est essentiel de réaliser un étiquetage manuel sur une dizaine d'images afin de fournir les données d'apprentissage pour le modèle de classification. Il s'agit d'un transfert d'apprentissage, qui permet d'exploiter un modèle de neurones DCNN, déjà entraîné par un nombre d'images beaucoup plus important, MobileNet-V2 (Sandler et al., 2018), et d'appliquer l'apprentissage de sa dernière couche. Ensuite, le processus automatique complet peut être subdivisé en trois étapes principales. Tout d'abord, par une découpe superpixels (Dollar, P. and Zitnick, 2015), les images SolarCam sont sur-segmentées en plusieurs régions homogènes, qui servent d'unités de traitement spatial pour la classification DCNN (Illustration 1a). Le réseau DCNN est utilisé pour classifier le superpixels selon différentes classes d'intérêt (eau, végétation, sable, sargasses, ciel, écume, bâti). Ensuite, un raffinement au moyen d'un model CRF (Conditional Random Fields) est appliqué (Illustration 1c) pour détailler le résultat. C'est une méthode statistique cherchant à modéliser la probabilité d'appartenance à une classe à l'intérieur d'un groupe de pixel (Krähenbühl and Koltun, 2011). Pour terminer, la phase suivante consiste à calculer les surfaces de sargasses. Dans un premier temps, à partir des résultats de la segmentation sémantique, les pixels identifiés comme appartenant à la classe sont extraits. Une solution de geo-rectification (Holland et al., 1997), donc de transformation entre coordonnées image en coordonnées réelles, est appliquée qui permet ainsi d'obtenir les surfaces échouées en mètres carrés.

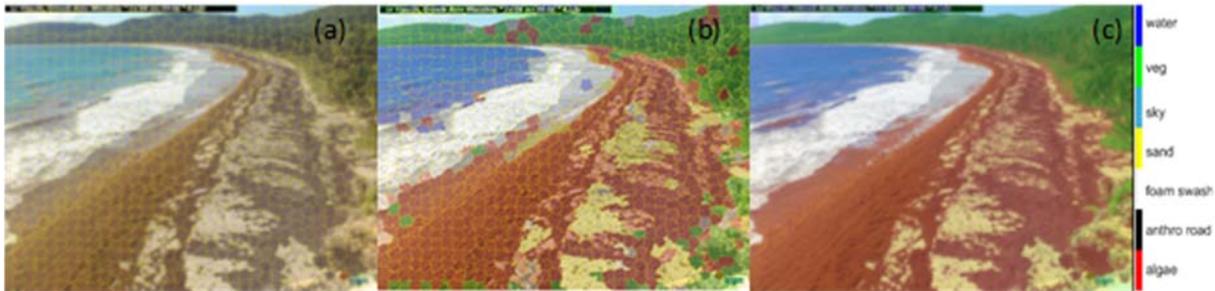


Illustration 1: Exemples des trois étapes visant à la segmentation sémantique de l'image appliquée à image, représentatives d'une plage. Sur-segmentation superpixels par l'algorithme; classification des superpixels per réseaux CNN ; segmentation sémantique finale au moyen d'un affinement de la classification CNN par le CRF.

Résultats

L'algorithme de segmentation des images est appliqué quotidiennement à 10h00, 12h00 et 15h00 afin de calculer automatiquement les surfaces de sargasses. Le système d'alerte comporte trois étapes principales: la détection automatique avec le calcul des surfaces de sargasses; le déclenchement de l'alerte par le franchissement d'un seuil, défini selon l'exposition du site concerné ; la communication de l'alerte aux différents acteurs du réseau de suivi. Une méthode pour déclencher une alerte lorsque la surface de sargasses estimée par l'algorithme est mise en place. Cette méthode consiste à calculer la surface moyenne de sargasses détectée au cours des dernières 24 h et à déclencher l'alerte si cette surface est supérieure au seuil fixé. Un message d'information est envoyé dans le cas où aucune alerte n'aurait été déclenchée dans les 72 dernières heures (Bouvier et al., 2020). Une fois l'alerte déclenchée, le dispositif envoie un mail automatiquement aux différents acteurs intéressés avec une image correspondant à la prise de vue au moment du déclenchement de l'alerte. Le contenu du mail, par exemple, est illustré sur l'**Erreur !**

Source du renvoi introuvable..

MESSAGE D'INFORMATION DU RESEAU DE SUIVI DES ECHOUAGES DE SARGASSES (09-Sep-2019 12:09)

Ce message concerne le littoral de la Martinique. Il est envoyé automatiquement comme information d'alerte aux personnes en charge du réseau de suivi des échouages de sargasses.

La superficie moyenne de sargasses estimée sur le site : 01_Marigot_Bourg est de 2500 m².

Si il n'est pas possible de se rendre sur place pour des mesures complémentaires, veuillez contacter les personnes en charge du réseau de suivi:
c.bouvier@brgm.fr, l.decathelineau@brgm.fr, a.nachbaur@brgm.fr, y.balouin@brgm.fr,
b.vittecoq@brgm.fr.

***** FIN DU MESSAGE *****



Illustration 2 : Exemple de mail envoyé pour une alerte déclenchée sur le site du bourg du Marigot le 09 septembre 2019. La surface de sargasses estimée par l'algorithme atteint 2500 m².

En ce qui concerne une analyse globale de précision de la méthode de segmentation automatique par rapport à la catégorie plage, l'intervalle des précisions de classification « F1 score » se situe entre 77% et 96%. La classe bâtie/anthropique atteint le minimum, le ciel le maximum. L'algorithme est capable de bien prédire les algues échouées, avec un taux de 85%. Dans la plupart des cas, les erreurs de classification sont dues à des ambiguïtés liées aux similitudes visuelles entre les classes, en particulier les classes végétation/anthropique/sable. Le jet de rive et le déferlement des vagues

ont été combinées dans une classe en raison de leur apparence visuelle très similaire et puisque ce type de réseau neuronal n'a pas de capacité d'information contextuelle. Avec la classe d'eau, elles obtiennent les meilleurs scores : Le score de la classification F1 pour les littoraux urbanisés est compris entre 75% et 93% (Valentini and Balouin, 2020). A titre d'exemple, l'évolution des surfaces de sargasses exprimées en m^2 sur trois sites étudiés entre janvier et novembre est présenté dans l'illustration 3, avec les croix noires entourées d'un cercle qui correspondent aux alertes déclenchées (Bouvier et al., 2020).

Conclusion

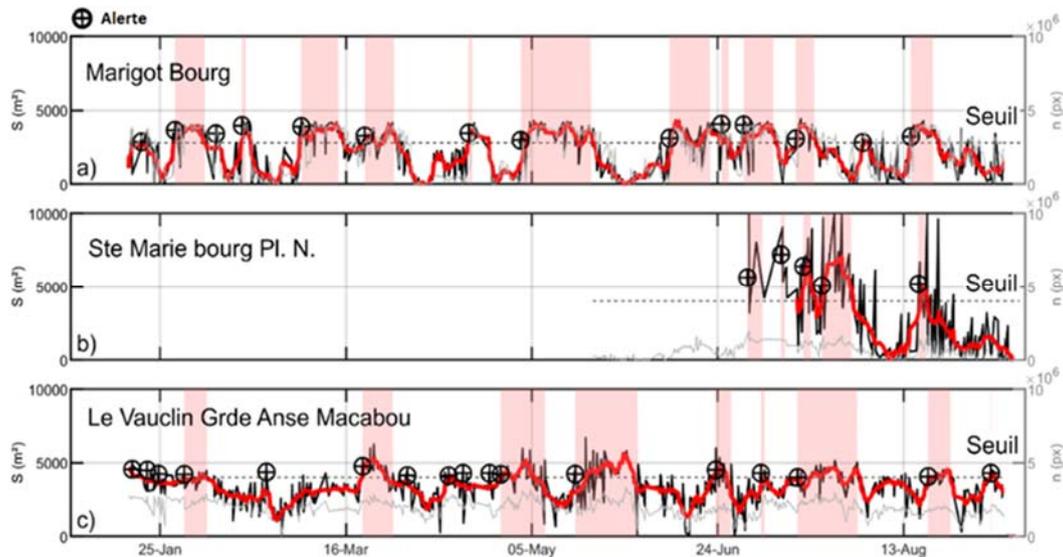


Figure 3 : Evolution des surfaces de sargasses exprimées en m^2 sur trois des sites étudiés entre janvier et novembre 2019. Les points noirs représentent le calcul ponctuel des surfaces et la courbe rouge le signal filtré. Les croix noires entourées d'un cercle correspondent aux alertes déclenchées.

Afin d'améliorer la connaissance et la compréhension des échouages de sargasses et leur impact sur le littoral, un suivi des échouages et arrivages par un réseau de caméras autonomes est en cours d'expérimentation. La méthode permet de détecter automatiquement les échouages de sargasses ainsi que les nouveaux arrivages. Les résultats expérimentaux indiquent que la précision moyenne de la chaîne de segmentation est de l'ordre de 75% à 96% (Valentini and Balouin, 2020), sur un ensemble de données provenant de six catégories de caméras (plages et littoraux urbanisés (baie ou port)). Actuellement, l'ensemble des étapes du traitement et de l'alerte a été testé et mis en œuvre sur trois sites pilotes prédéterminés. La disparité des quantités de sargasses présentes est importante entre les différents sites, et les analyses en cours mettent en évidence la dynamique très variée des mécanismes naturels d'arrivages ou de remaniement des algues échouées sur la plage.

Remerciements

Les développements réalisés dans cette étude sont financés par l'ADEME, La DEAL Martinique et le BRGM. N. Valentini remercie également le financement de ses travaux par l'ANR dans le cadre du programme Carnot.

Références

- Cox, S., H.O.; McConney, P. Summary Report on the Review of Draft National Sargassum Plans for Four Countries Eastern Caribbean; *Report Prepared for the Climate Change Adaptation in the Eastern Caribbean Fisheries Sector (CC4FISH) Project of the Food and Agriculture Organization (FAO) and the Global Environment Facility (GEF)*; Centre for Resource Management and Environmental Studies, University of the West Indies: Cave Hill Campus, Barbados, 2019; p. 20.
- Wang, M., & Hu, C. (2016). Mapping and quantifying *Sargassum* distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, 183, 350–367.
- Holland, K.T., Holman, R. a, Lippmann, T.C., Stanley, J., Plant, N., 1997. Practical Use of Video Imagery in Nearshore Oceanographic Field Studies - Oceanic Engineering, IEEE Journal of. IEEE J. Ocean. Eng. 22, 81–92.
- Wang, M., & Hu, C. (2017). Predicting *Sargassum* blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations. *Geophysical Research Letters*, 44(7), 3265–3273.
- Dollar, P.; Zitnick, C.L. Fast Edge Detection Using Structured Forests. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2015, 37, 1558–1570.
- Bouvier C., De Cathelineau, T. et Valentini, N. (2020) – Suivi de la dynamique des échouages de sargasses sur le littoral martiniquais – Développement et application des algorithmes. Rapport final. BRGM/RP-69651-FR, p. 53, ill. 38, tabl.1.
- Valentini, N., & Balouin, Y. (2020). Assessment of a Smartphone-Based Camera System for Coastal Image Segmentation and Sargassum monitoring. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(1), 23*



Détection et suivi automatique des sargasses par télédétection satellite à Haute Résolution spatiale : un service opérationnel

B.Beguet^{1*}, N.Debonnaire¹, O.Regniers¹, C.Curti¹, V.Lafon¹, A.Dehouck¹

¹I-Sea, Mérignac, France.

Introduction

Les bancs de sargasses dérivants et s'échouant dans l'arc antillais représentent un risque naturel important, un besoin de suivi spatialisé, continu et à grande échelle est devenu prioritaire pour la gestion de cette crise. Face aux événements d'échouages massifs de plus en plus fréquents ces dernières années, la DEAL Guadeloupe a décidé d'instaurer une surveillance des bancs de sargasses présents en mer de façon à suivre leur progression et anticiper leur arrivée sur les côtes guadeloupéennes. L'usage d'images satellites pour la détection des bancs de sargasses en mer, couplé à des modèles de prédiction de dérives de ces bancs, constitue un outil de suivi et de surveillance à grande échelle et à haute fréquence. Les satellites VIIRS et MODIS (résolution spatiale de 1km) et Sentinel 3 (résolution spatiale de 300m) permettent une revisite journalière à l'échelle de tout l'arc antillais. Cependant, seule la présence potentielle des bancs de sargasses, large de seulement quelques mètres, est détectée à cette résolution avec notamment des indices radiométriques ciblés (AFAI, Hu2009 et Wang&Hu2016). L'objectif de notre service opérationnel est de fournir une détection plus fine de ces bancs de sargasses, toujours à l'échelle de l'arc antillais, à partir d'images Sentinel 2 (résolution spatiale 10m, fréquence de revisite : 5jours).

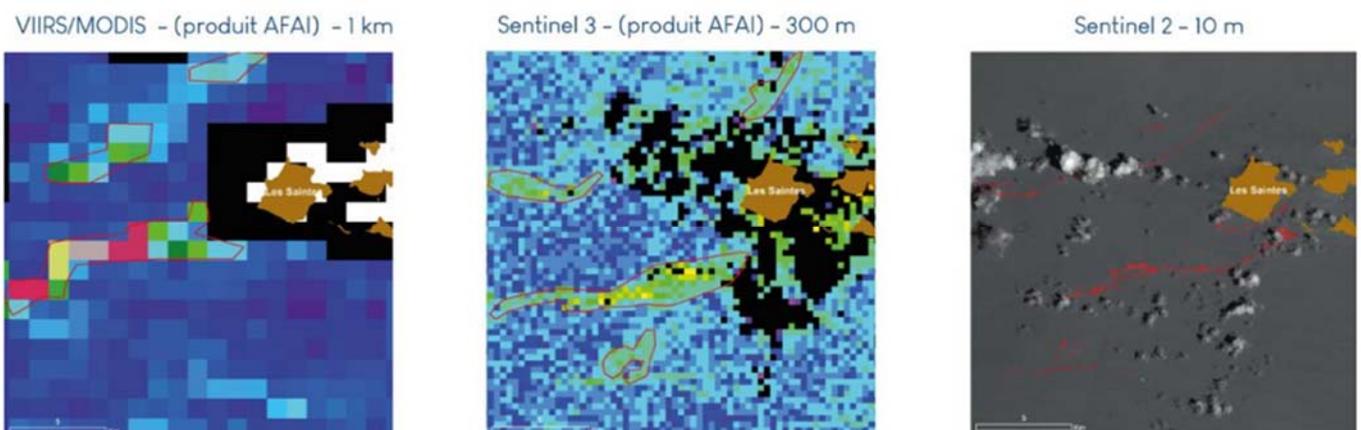


Figure 1 : Vues d'un banc de sargasses par les 3 capteurs cités précédemment, avec des résolutions spatiales décroissantes : 1km, 300m et 10m.

La figure 1 ci-dessus présente un banc de sargasses imagé par les trois capteurs cités précédemment. Si la très haute résolution spatiale nous permet de repérer les bancs de sargasses avec une grande précision, la mise en place d'une méthode de traitement automatisée de détection opérationnelle, capable de s'adapter aux différentes conditions d'images, d'état de surfaces et de

nébulosité est plus complexe. Nous avons fait le choix de nous baser sur des approches d'apprentissage supervisé. Sans a priori physique sur la donnée image en entrée, nous avons constitué une base de donnée de référence photo-interprétée, couvrant un large spectre de cas possibles et permettant ainsi l'entraînement d'un modèle de classification robuste et générique.

Matériel et méthode

Constitution de la base de données d'entraînement

Une soixantaine d'images Sentinel 2 ont été considérées (entre le mois d'avril 2018 et août 2019) pour constituer la base de données d'apprentissage. Pour chaque image, un ensemble de polygones sont digitalisés manuellement et étiquetés selon la typologie visée. Cette typologie simple, vise à bien caractériser les différents éléments de la surface environnant les radeaux de sargasses afin de bien les détecter. Nous avons choisi de considérer l'eau, les nuages et leurs ombres (éléments déjà repérés comme perturbant la détection) ainsi que les bancs de sargasses. Un ensemble d'environ 3000 polygones, couvrant un maximum de variabilité pour ces trois classes, a été produit, fournissant ainsi une importante base de données d'apprentissage.

Phase d'entraînement

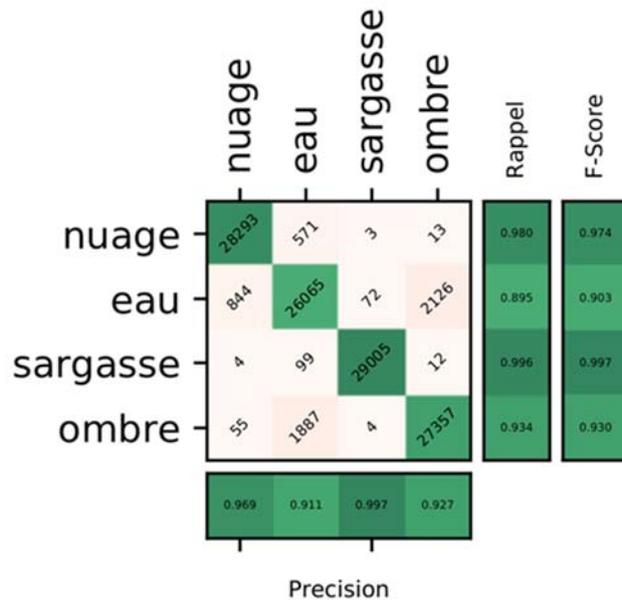
Pour chaque scène Sentinel 2, nous avons choisi de ne conserver que les bandes spectrales R,G,B,PIR à 10m (n°2,3,4,8) ainsi que des indices radiométriques simples (ces derniers permettant de normaliser l'information et d'apporter un peu de robustesse aux variations des conditions atmosphériques). Pour chaque couple image-polygones, les pixels d'intérêts sont extraits et conservés avant d'être concaténés dans un fichier global. Les Forêts aléatoires (RandomForest, Breiman2001) est l'algorithme de classification sélectionné pour cette étude pour sa simplicité et sa robustesse. Le modèle de classification ainsi entraîné, une fois évalué et validé, constitue par la suite le cœur de la chaîne de traitement de détection des bancs de sargasses.

Déroulement opérationnel de la chaîne de traitement

Le service opérationnel est déployé sur un serveur Dias (permettant le téléchargement des données et cloud computing). Il est complètement autonome : dès le dépôt d'une nouvelle acquisition Sentinel 2 sur la zone d'étude, la chaîne de traitement se lance : l'image Sentinel 2 est préparée (sélection des bandes et calculs d'indices) avant d'être passée en entrée du modèle de classification. La classification prédite est ensuite post-traitée (régularisation par morphologie mathématique) et vectorisée, permettant la production d'une couche vectorielle des radeaux de sargasses ainsi qu'une couche représentant les nuages et donc les zones où la détection n'est pas possible. Ces différents niveaux de produits sont ensuite déposés sur le serveur client.

Résultats et discussions

Afin d'évaluer les performances de prédictions du modèle de classification au niveau pixel, nous présentons ici deux expériences. Une première évaluation complète, 50 % des pixels sont sélectionnés au hasard pour l'entraînement et 50 % pour la validation au sein de la base de données d'apprentissage. La matrice de confusion obtenue est présentée ci-dessous :



KAPPA: 0.935
OA: 0.951

Figure 2 : Evaluation des performances de classification obtenues sur l'ensemble des pixels de validation (OA : Précision globale).

Une précision globale de 95 % est ici obtenue, on peut observer que les confusions les plus importantes sont réalisées entre les classes eau et ombres, ce qui était attendu. La classe sargasse quant à elle est très bien discriminée, avec une précision de 99 %.

Une seconde expérience s'est concentrée sur le potentiel de généralisation du modèle de classification. Pour ce faire, nous avons entraîné le modèle avec seulement 50 % des couples images/polygones sélectionnés au hasard avant de prédire les autres scènes indépendantes. Cette opération a été réalisée 10 fois, cela afin d'appréhender la variabilité possible en terme de qualité de prédiction. La précision globale moyenne obtenue est alors de 88 % avec un écart-type de 1.5 %. Comme observé précédemment, les classes les plus confuses sont les ombres et l'eau, le taux de détection des sargasses est très peu affecté ce qui nous indique le bon potentiel de généralisation de notre approche et du modèle ainsi entraîné. La figure 3 présente un extrait des résultats de classification obtenus, on peut observer la précision des détections des bancs de sargasses dans un contexte avec une nébulosité forte et la présence de glint en surface.

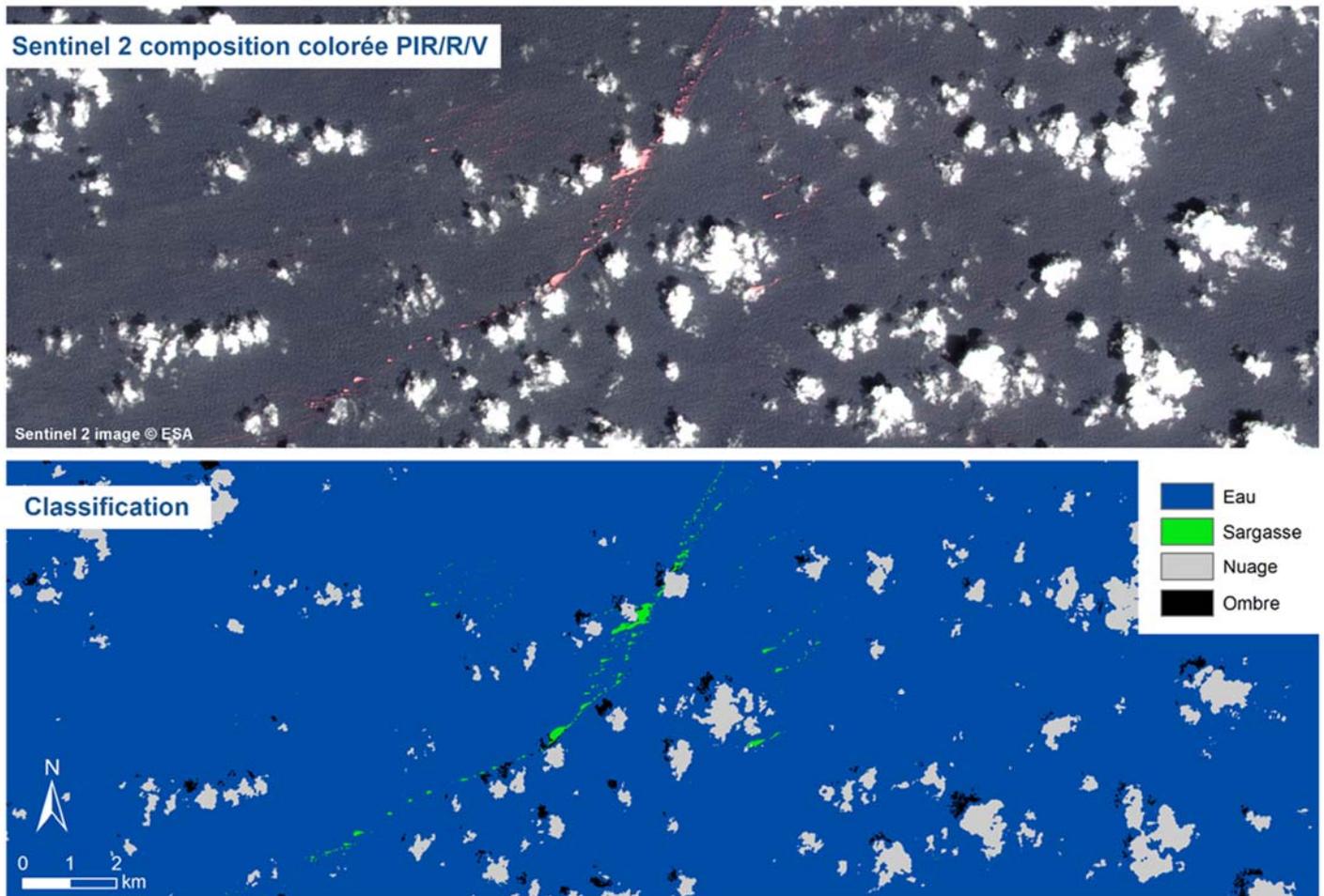


Figure 3 : Exemple de résultat de classification obtenu dans une zone nuageuse.

Conclusion

Nous avons développé un service opérationnel pour la détection et le suivi automatique des bancs de sargasses pour l'arc antillais basé sur l'usage des images Sentinel 2 et une approche machine learning permettant de produire des résultats de grande qualité. Ce service pourrait être déployé à plus grande échelle et potentiellement amélioré en utilisant des approches de machine learning plus avancées (Deep Learning) avec des bases de données d'apprentissage plus conséquentes. Ce service, une fois couplé à des modèles de dérives des bancs de sargasses, fournit des informations précises et quasi en temps réel permettant de faciliter la gestion et l'étude de la crise sargasses aux Antilles. L'approche développée est générique et peut s'appliquer à de nombreuses autres problématiques nécessitant des cartographies précises, à jour et à grande échelle.

Etude de faisabilité du suivi environnementale par satellite du Parc naturel marin du golfe du Lion

Mathieu Gervais¹, Grégory Agin², Nicolas Aleman³, Nicolas Robin³, Hugues Heurtefeux¹, Raphael Certain³

¹EID-Méditerranée, Montpellier, France.

²Parc naturel marin du golfe du Lion, Office français de la biodiversité, Argelès-sur-Mer, France.

³Université de Perpignan laboratoire CEFREM, Perpignan, France.

Génèse du projet

La surveillance et la caractérisation du milieu marin, du trait de côte, de l'artificialisation du littoral, des habitats benthiques ou bien encore de la qualité physico-chimique de l'eau (turbidité, plancton, etc.) s'inscrivent dans les objectifs prioritaires du Parc naturel marin du golfe du Lion (PNMGL) à travers son plan de gestion et les indicateurs associés.

Le projet SENVISAT (Suivi ENVironnemental par SATellite), visait à vérifier la faisabilité de la mise en œuvre d'un suivi de plusieurs **indicateurs côtiers** par imagerie satellite, qu'ils soient terrestres avec l'évolution du littoral sableux et de la couverture végétale dunaire, ou marin avec l'évolution des fonds et des herbiers, et la quantification des panaches turbides et de la chlorophylle présente dans les eaux côtières. Ce projet traite de ce continuum terre-mer très influencé par les forçages météorologiques et les apports fluviaux, où l'homme est intervenu avec une diversité d'aménagements et d'infrastructures qui ont modifié les dynamiques naturelles du milieu. Le projet a été programmé en 2016 par le PNMGL, pour une durée de 3 ans et a été monté en partenariat avec le pôle littoral de l'EID Méditerranée, l'Université de Perpignan (CEFREM), et l'Observatoire de la côte sableuse catalane.

Les résultats de ces travaux permettent de valider de nouveaux outils simples pour le suivi environnemental du littoral et des paramètres fondamentaux d'une gestion dite « intégrée » de l'espace côtier, servant autant au Parc (set d'indicateurs) qu'à l'ensemble des services nationaux et régionaux œuvrant sur les littoraux.

Quelques résultats choisis

Senvisat est un projet de test des dernières possibilités des capteurs satellites. Concernant la dynamique sédimentaire et les modifications du littoral, une bonne résolution est nécessaire. Deux types de capteurs peuvent être utilisés :

- Les capteurs d'acquisition automatique de haute résolution spatiale (HRS) type Sentinel-2, Spot 6-7, ou encore Landsat 8. La résolution de ces satellites, inférieure ou égale à 15 m de pixel, permet de suivre les mouvements des grandes structures sableuses de type flèches sableuses, deltas, ou barres d'avant-côte sous-marines (bancs de sable de déferlement des vagues avant la plage visualisés par transparence de l'eau). L'utilisation de ces capteurs dans

le cadre d'un suivi morphologique de ces objets, nécessite des évolutions très morphogène (ex.: déplacements >> 10 m) pour contrecarrer la résolution des capteurs.

- Les images de très haute résolution spatiale (THRS) telles que celles fournies par les satellites Pléiades (ou d'autres capteurs d'organisations non-européennes du type de Kompsat-3, SuperView-1, GeoEye-1, ou encore WorldView 1 et 2). Ces images de résolution avoisinant 0,5 m permettent de remplacer le suivi réalisé auparavant avec des images aériennes, avec un temps d'acquisition et un budget plus intéressant.

Les images Pléiades ont été utilisées dans ce projet afin de démontrer leur grand intérêt pour cartographier finement **le trait de côte**, à une échelle régionale et avec une périodicité annuelle (ex. : environ 200 km de côte), ou de manière plus spontanée pour répondre à des situations exceptionnelles, après une tempête de forte ampleur par exemple. Suivre le trait de côte (TdC) en Méditerranée par la position de la ligne d'eau se montre particulièrement pertinent. En milieu micro tidal, il est fréquent que la mer soit calme. La position du trait de côte avoisine l'altitude 0 m NGF. La largeur de plage, comprenant sa surface entre la dune et la mer, devient un indicateur ou « proxy » qui se rapproche du budget sédimentaire (volumes) des plages à grande échelle spatio-temporelle. Celui-ci reste très estimatif parfois à l'échelle locale/événementielle, mais il permet de traiter rapidement la totalité d'une grande cellule sédimentaire de plusieurs dizaines de kilomètres.

Une comparaison des méthodes et d'outils d'acquisition de trait de côte (« benchmarking ») (Figure) est alors proposée (levé de terrain, photo-interpretation, extraction semi-automatique). Les résultats montrent un différentiel de +/- 2 m entre le positionnement de la ligne d'eau entre un levé synchrone au DGPS (passage d'un opérateur au milieu de la zone dite de jet de rive des vagues sur la pente frontale de la plage) et le trait de côte extrait de manière semi-automatique ou par photo-interpretation. La principale source d'erreur provient de la définition exacte de la limite terre-mer (Figure A et B). Un opérateur humain, que cela soit en photo-interpretation, ou sur le terrain avec un GPS, pourra considérer que la limite se situe en haut de la zone mouillée (battue par les vagues), ou encore au centre de la zone.

Les ouvrages de défense contre la mer modifient la position du trait de côte sur de courtes distances créant potentiellement des zones submersibles en fonction des conditions météo-marines. Des écarts importants sont apparus, au niveau des tombolos sableux en arrière des brise-lames ou des petits bancs de sable peu profonds des zones d'embouchure ou de fond de baies, lors de ce « benchmarking » (Figure B et C). Enfin, des zones de déferlement de grande étendue proche du bord font apparaître également de grands écarts de positionnement de trait de côte par comparaison de ces trois méthodes. Après avoir testé l'extraction semi-automatique avec une chaîne de traitement Python complexe, appelant une classification supervisée sur les 4 bandes spectrales de Pléiades, en ajoutant un néo-canal NDVI et des indices texturaux, il s'est avéré qu'un simple seuillage sur des indices de type NDVI ou NDWI permettait d'ajuster de manière plus rapide et plus efficace le « modèle », détectant la limite plage-mer, à la condition du jour de l'image et du site. Ce simple seuillage permet d'éviter des détections trop sinueuses du trait de côte, incluant

parfois des zones de déferlement (ex. : Figure D). Il est conseillé d'utiliser une extraction automatisée sous contrôle uniquement d'un opérateur expert.

Par ailleurs, la photo-interprétation de la position des barres d'avant-côte, s'est révélée tout à fait intéressante en comparaison avec un levé bathymétrique classique à l'aide d'un sondeur mono-faisceau (durée, cout, difficulté de navigation...). Bien qu'il ne soit pas encore possible d'obtenir un MNT par imagerie satellite avec une précision suffisante pour estimer les variations de volumes sableux, la cartographie de la complexité des formes tridimensionnelles des barres et chenaux imbriqués est envisageable avec une fréquence de suivi intéressante dans le cas d'image Sentinel-2 par exemple.

Enfin, la détection de la végétation présente sur les dunes, les bois flottés sur la plage, et la présence d'herbiers de posidonies avec les images Pléiades a également été testée. La classification supervisée permet d'obtenir de manière efficace un taux de recouvrement par la végétation dunaire. Par contre, il n'est pas encore possible, en Occitanie, de proposer une séparation rigoureuse des principales espèces du cortège végétal de la dune. La détection des herbiers de posidonies est possible mais limitée aux sites moins profonds (tranche 0-5 m, ce qui est rare). Elle nécessite une eau claire, ce qui reste difficilement prévisible lors de commande d'image THRS. La détection du bois flotté et de sa surface de recouvrement sur la plage est très satisfaisante avec les images Pléiades. En cas de forts apports sur les plages, comme dernièrement avec la tempête Gloria, des premières estimations d'urgence, moins précises, sont possibles avec Sentinel-2, qui offre une actualisation automatisée et fiable (capteur non contraint par différentes commandes).

Conclusion

Avec une rythmicité et une échelle spatiale importante pour un coût plus supportable que les outils et méthodes traditionnelles, l'outil satellite permet de suivre : trait de côte ; impact d'une tempête exceptionnelle sur l'érosion de la plage et de la dune ; ouverture de brèches ; dépôt de bois flottés sur la plage suite à des fortes crues (épisodes cévenols) ; évolution de la végétation dunaire et de son recouvrement ; panaches de turbidité et phytoplancton en mer; travaux de rechargement et d'ingénierie sur les plages et en mer (pour tout cela, voir la présentation oral qui illustrera ces propos). Toutefois, certaines problématiques ou certains indicateurs (variation exacte des volumes sableux) ne peuvent pas se satisfaire de ces technologies nouvelles et ont encore besoin de recourir à des observations plus directes (topo-bathymétrie ; photogrammétrie drone-ULM, LiDAR aéroporté).

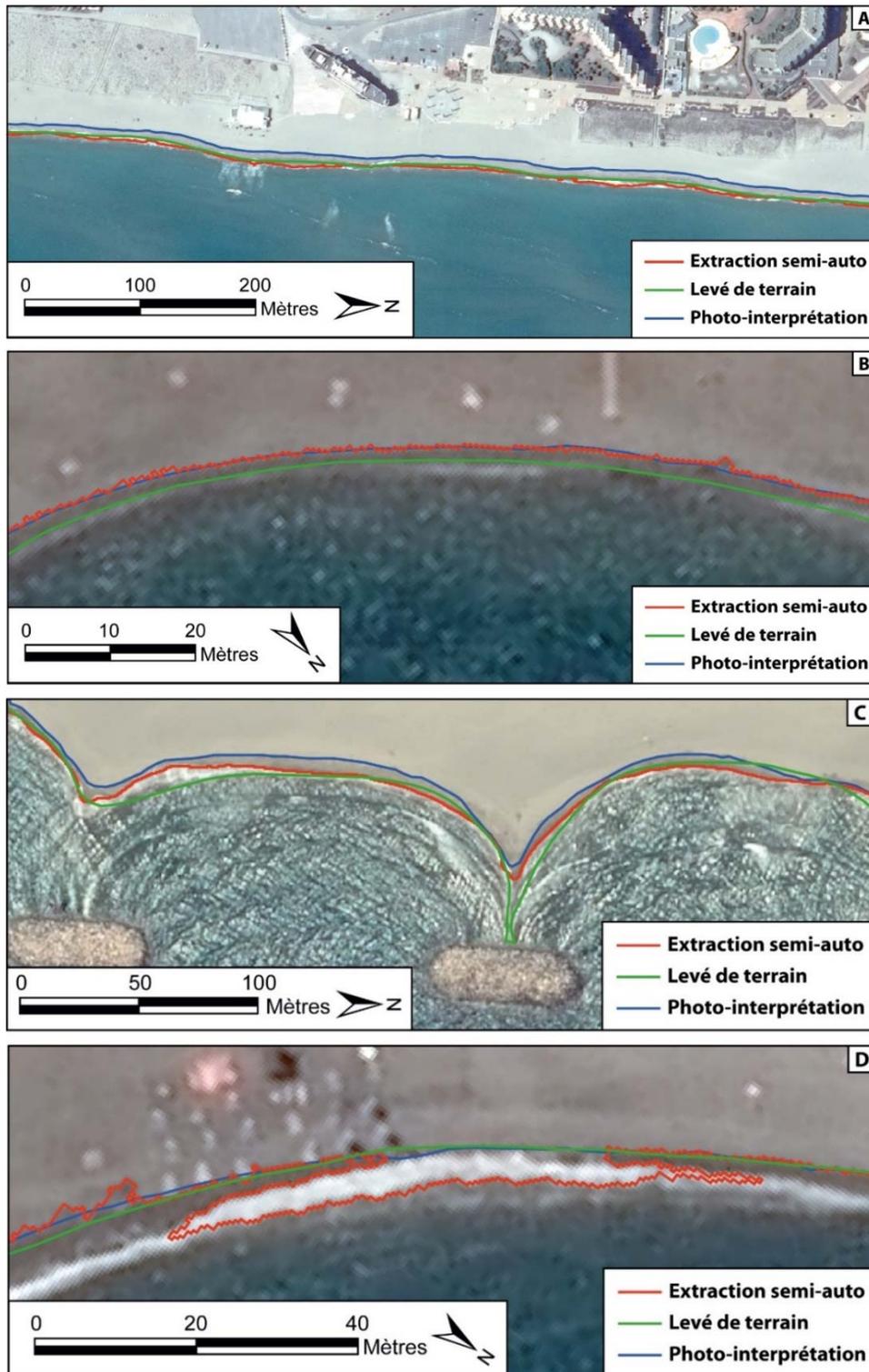


Figure 1 : Photos satellites Pléiades © CNES/AIRBUS/IGN et comparaison des méthodes de levés du TdC : méthode de télédétection (extraction semi-automatique) ou photo-interprétation, face au levé terrain effectué au GPS-différentiel-RTK. Résultats variables selon les zones côtières, l'environnement, et les différents types de plages, montrant la nécessité d'une expertise sur la méthode utilisée et une adaptation des algorithmes de détection.

Caractérisation de la turbidité naturelle à partir de bases de données satellite optiques pour le suivi de travaux en mer

O. Regniers^{1*}, V. Lafon¹, S. Kervella¹, C. Curti¹, A. Dehouck¹

¹I-SEA, Bordeaux, France.

Introduction

En amont de la réalisation de travaux maritimes, des études doivent être réalisées pour prévoir les effets potentiels des remises en suspension sur l'environnement marin, en particulier sur les espèces les plus sensibles. En appui à ces études d'impact, il est nécessaire d'identifier finement les gammes de turbidités naturelles qui caractérisent le site, ainsi que les régimes de turbidité et leurs paramètres de forçage principaux.

Dans ce contexte, l'imagerie satellite vient compléter les dispositifs traditionnels de suivi par une vision spatialisée de la situation sur une emprise géographique couvrant à la fois la zone de chantier et les littoraux adjacents. Les satellites optiques, en particulier les satellites à moyenne résolution spatiale (MODIS, VIIRS), ont démontré leur capacité à estimer la turbidité dans les zones côtières et estuariennes (ex. Nechad *et al.*, 2010 ; Petus *et al.*, 2010 ; Dogliotti *et al.*, 2015 ; Lafon *et al.*, 2016). Les approches semi-analytiques utilisées ici sont généralement associées à des erreurs moyennes relatives de l'ordre de 20 à 40% en fonction des gammes de turbidité considérées et de la qualité des jeux de données utilisés pour leur calibration (Novoa *et al.*, 2017 ; Han *et al.*, 2016).

Deux cas d'études sont abordés dans cet article. Le premier concerne le suivi de travaux aux abords du Port Atlantique de La Rochelle. Le second s'intéresse à l'implantation d'un parc éolien en mer dans la Baie de Saint-Brieuc.

Méthodologie

Une base de données historique d'images satellite (3 à 4 ans) a été constituée sur les deux sites en exploitant des données à 1 km de résolution spatiale issues de trois capteurs : MODIS AQUA, MODIS TERRA et VIIRS SNPP. La combinaison de ces trois capteurs garantit une revisite entre 2 et 4 images par jour. Les images trop nuageuses sont exclues de la base de données.

Cette base de données ainsi compilée est ensuite convertie en image de turbidité (NTU) au moyen d'un algorithme semi-analytique générique (Dogliotti *et al.*, 2015) dans le cas de la baie de Saint-Brieuc et d'un algorithme empirique calibré avec des données *in situ* dans le cas du port de La Rochelle. Les images acquises le même jour sont moyennées en un composite journalier afin de lisser les défauts observés dans certaines données mais aussi de limiter l'impact de la couverture nuageuse.

En parallèle, pour mieux comprendre les patrons de turbidité observés dans les images, une base de données de paramètres de forçage est également constituée (hauteur, période, vitesse et

direction de vagues ; vitesse et direction du vent ; hauteur d'eau, moment de marée et coefficients de marée). Après s'être assuré de la représentativité de la base de données images au regard de la variabilité des conditions de forçage, les turbidités observées dans chaque composite journalier sont catégorisées en fonction de critère de distribution spatiale et de statistiques d'occurrence de la turbidité. Une analyse couplée entre observations satellitaires et conditions météo-océaniques permet ensuite d'identifier pour chaque catégorie les paramètres de forçage les plus influents et les régimes de turbidité naturelle associés dans la zone d'intérêt.

Résultats et discussion

La sélection de données satellitaires à moyenne résolution sur les deux sites a permis de constituer une base de données de 303 images composites entre octobre 2015 et septembre 2018 dans la baie de Saint-Brieuc et 208 images composites entre janvier 2014 et décembre 2018 autour de La Rochelle.

L'analyse de la représentativité des conditions de forçage de la base de données a montré certaines limites pour les deux sites. Ainsi, si les différentes conditions de vague et coefficients de marée sont bien couverts, certains moments de marée (basse mer en morte-eau et de haute mer en vive-eau pour Saint-Brieuc, jusant pour La Rochelle) et les conditions les plus énergétiques (vent fort) sont sous-représentés. Ces conditions sont souvent associées à des tempêtes, elles-mêmes associées à une couverture nuageuse plus dense, ce qui explique cette sous-représentation dans la base de données images.

L'analyse couplée entre données satellitaires et conditions de forçage a permis d'identifier 3 et 9 cas de figures emblématiques, respectivement pour Saint-Brieuc et La Rochelle (exemple en Figure 1).

Dans le secteur des pertuis charentais, la gamme de concentration en matières en suspension (MES) s'étend généralement de 5 à 100 mg/L, à l'exception de la zone du pertuis breton, au nord où les maximas atteignent 200 mg/l sous l'influence d'apports fluviaux en crue. Les teneurs les plus fréquemment rencontrées dans le pertuis breton sont comprises entre 10 et 50 voire localement 60 mg/L. Plus au sud, dans le pertuis d'Antioche, la gamme de MES la plus fréquente est comprise entre 10 et 20 mg/L. Dans la zone d'étude, les plus fortes teneurs en MES peuvent donc exceptionnellement survenir en temps de crue. Toutefois dans le pertuis Breton, le principal moteur de la remise en suspension des sédiments des vasières est le coefficient de marée. L'occurrence d'événements tempétueux module l'effet de la marée sur les MES de surface, en exacerbant son effet tant sur les teneurs remises en suspension que sur la distribution spatiale des MES. Des événements tempétueux prolongés peuvent générer des patrons de turbidité de surface différents de ceux que la marée seule engendre. Plus les forçages sont énergétiques plus les eaux de surface dans les pertuis sont nourries de MES : les teneurs augmentent, et la répartition spatiale s'étend progressivement pour envahir l'ensemble des pertuis. Le fort gradient observé entre les vasières et les zones plus profondes persistant systématiquement. Le facteur saisonnier n'explique que très partiellement la distribution des MES dans les pertuis. Ainsi, les cas de figure de forte turbidité sont plus fréquents en hiver et au printemps, mais de longues périodes hivernales calmes, en particulier en revif, généreront des patrons de turbidités de surface typiques des périodes estivales. Ces

disparités intra-sites expliquent la diversité des patrons de turbidité de surface : ce sont au total 5 schémas distincts pour le pertuis Bretons pour chacun desquels 1 à 3 situations spécifiques sont identifiées dans le pertuis d'Antioche.

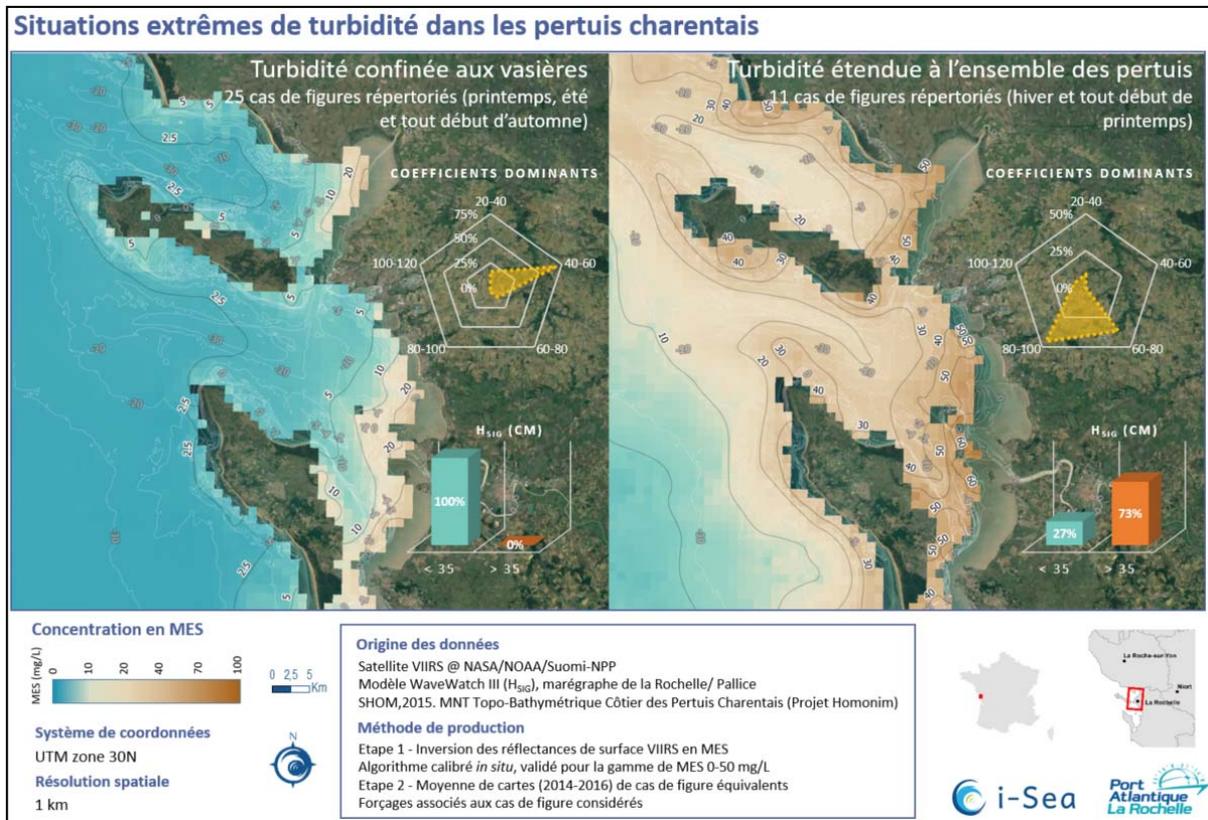


Figure 1 : Situations de turbidité extrême dans la zone des pertuis charentais (pertuis breton au nord de l'île de Ré et d'Antioche au sud de l'île de Ré)

Dans le cas de la baie de Saint-Brieuc, le régime le plus fréquent, observé plus de la moitié du temps, est caractérisé par un aspect très homogène de la masse d'eau et une turbidité généralement inférieure à 0,5 NTU (coefficients de marée faibles à modérés + agitation calme d'avril à octobre). Lors de conditions un peu plus énergétiques (début printemps à fin automne), la turbidité augmente légèrement (1 NTU). Les structures turbides observées dans le premier régime au-dessus de hauts-fonds localisés se développent spatialement pour s'étendre sur plusieurs dizaines de km, en particulier pendant l'automne. Le troisième régime de turbidité est caractérisé par des turbidités plus fortes. Il est déclenché par la récurrence de période de vagues fortes lors de tempêtes hivernales. Les turbidités les plus fortes au cœur de la zone d'étude restent inférieures à 15 NTU et peuvent atteindre 40 NTU à proximité des littoraux. Même dans les cas les plus turbides, la structure des masses d'eau dans la zone d'étude est spatialement organisée de telle manière qu'une zone de turbidité toujours plus faible que son environnement traverse la zone d'étude du nord au sud. Ainsi, tout se passe comme si, à partir de quelques sources très localisées, la turbidité pouvait s'étendre spatialement ou bien se rétracter à la faveur de la modulation des forçages, laissant toujours apparaître un secteur de moindre turbidité dans la zone du parc éolien.

Conclusion

Au travers de ces deux exemples d'étude, nous montrons que l'analyse de larges séries temporelles de données satellitaires historiques à moyenne résolution permet de mieux appréhender la distribution spatiale des turbidités naturelles en fonction des conditions de forçage observées dans la zone d'intérêt. Elle permet également d'identifier les régimes naturels de turbidité et d'en analyser la fréquence d'occurrence.

Lors d'études d'impacts avant chantier en mer, cette analyse vient compléter les informations fournies par un suivi plus localisé mais plus haute fréquence au moyen de sondes de mesures *in situ* et de spatialiser ces observations. Elle permet également, comme cela a été le cas à La Rochelle, de mieux objectiver le choix d'implantation d'une sonde de suivi pendant la durée du chantier. Elle peut aussi contribuer à la définition des seuils d'alerte de turbidité nécessaires à la protection des espèces locales les plus sensibles.

Références bibliographiques

- Dogliotti, A., Ruddick, K., Nechad, B., Doxaran, D., Knaeps, E., 2015. A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters, *Remote Sensing of Environment*, 156, 157–168.
- Han, B., Loisel, H., Vantrepotte, V., Mériaux, X., Bryère, P., Ouillon, S., Dessailly, D., Xing, Q., Zhu, J., 2016. Development of a Semi-Analytical Algorithm for the Retrieval of Suspended Particulate Matter from Remote Sensing over Clear to Very Turbid Waters. *Remote Sensing*, 8, 211.
- Lafon, V., Mulamba-Guilhemat, E., Gernez, P., Doxaran, D., Verney, R., Curti, C., Lubac, B., Sottolichio, A., Dehouck, A., Regniers, O., 2016. Monitoring turbidity changes in estuaries using Sentinel-2 & -3 constellations. *Living Planet Symposium, ESA, 9-13 May 2016, Prague, accepted for communication.*
- Nechad, B., Ruddick, K. G., Park, Y., 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of the Environment*, 114, 854–866.
- Novoa, S., Doxaran, D., Ody, A., Vanhellefont, Q., Lafon, V., Lubac, B., Gernez, P., 2017. Atmospheric Corrections and multi-conditional algorithm for multi-sensor remote sensing of suspended particulate matter in low-to-high turbidity levels coastal waters. *Remote Sensing*, 9, 61, doi:10.3390/rs9010061.
- Petus, C., Chust, G., Gohin, F., Doxaran, D., Froidefond, J.-M., Sagarminaga, Y., 2010. Estimating turbidity and total suspended matter in the Adour River plume (South Bay of Biscay) using MODIS 250-m imagery. *Continental Shelf Research* 30 (5), 379-392.



Posters





Liste des posters

Cartographie de l'évolution et des risques du littoral liés au changement climatique : Etude de cas la plage de Raf Raf (Tunisie)	GHRAB Ali (Bicade)
Valorisation des données historiques pour la connaissance des risques côtiers en Afrique de l'Ouest, projet WACA-F	LECLERC Boris (Cerema)
Caractérisations des évolutions pluri-décennales à saisonnières des plages de la côte aquitaine	NICOLAE LERMA Alexandre (BRGM)
Utilisation de l'imagerie drone multispectrale pour la modélisation spatiale de l'atténuation hydrodynamique par les prés-salés en milieu mégatidal	MURY Antoine (EPHE-PSL, Université Paris, CNRS LETG)
Application de la photogrammétrie subaquatique géoréférencée à l'étude des herbiers sous-marins	ABADIE Arnaud (Seaviews)
Etude spatio-temporelle de la géomorphologie et de l'écologie d'un système dunaire par drone aérien	JAMES Dorothée (EPHE-PSL, Université Paris, CNRS LETG Dinard)
La photogrammétrie comme outil descriptif des écosystèmes rocheux subtidaux. Mieux décrire pour mieux comprendre	TERNON Quentin (MNHN)
Traitement d'images drone pour le suivi de la végétation dunaire : exemple de mise en œuvre à Villeneuve-lès-Maguelone (Hérault) et perspectives	BOULET Delphine (EID Méditerranée)
Acquisition de levé Lidar sur la frange littoral Aquitaine par l'Observatoire de la Côte Aquitaine : Description, qualification, et mise à disposition	AYACHE Bruce (BRGM)
Monitoring de l'évolution morpho-sédimentaires de petits à moyens estuaires à partir de sondeurs acoustiques	MICHEL Guillaume (UNIROUEN, UNICAEN, CNRS)
Deep Sea Spy : outil collaboratif d'annotation d'images	TOUROLLE Julie (Ifremer)
Outils pour l'analyse des séries temporelles de mouillages océanographiques. L'exemple de RREX (The Reykjanes Ridge Experiment)	BALEM Kevin (Ifremer)
Identification automatique des grands corps sédimentaires en milieu estuarien par télédétection aéroportée	FROIDEVAL Laurent (UNICAEN, CNRS)
Détermination et production nationale de la Limite terre-mer	BENETEAU Didier (Shom)
Vers un indice d'exposition à la contrainte sédimentaire – une typologie des infrastructures portuaires d'Europe du Nord-Ouest	CHEVALIER Guillaume (Université de Lille)



CALNAGIRONDE-au fil de l'eau- Calibration de la hauteur d'eau dans l'estuaire de la Gironde : mesure et modélisation numérique.JAN Gwenaële (Shom)

JAN Gwenaële (Shom)

Le service Biocoast : imagerie satellitaire et machine learning pour la cartographie et le suivi des végétations naturelles des milieux aquatiques et terrestres.

BEGUET Benoît (I-Sea)

Un portail européen pour l'accès à la donnée spatiale sur les habitats benthiques : EMODnet Seabed Habitats

VASQUEZ Mickaël (Ifremer)

Planification de l'espace maritime : vers un cadre commun européen de partage d'information

CARVAL Dominique (Shom)

Plateforme numérique pour le suivi et la surveillance environnementale du milieu marin

CERRUTI Alexandre (Setec In Vivo)

SURVAL - Diffusion des données de l'observation marine et littorale

DURAND Gaëtane (Ifremer)

Cartographie de l'évolution et des risques du littoral liés au changement climatique: Etude de cas la plage de Raf Raf (Tunisie)

Ali GHRAB¹

1 Bicade

Le réchauffement climatique de la basse atmosphère, lié à l'effet de serre additionnel d'origine humaine a eu des répercussions sur l'évolution des côtes notamment en Tunisie. En effet, au niveau du littoral de Raf Raf, il a provoqué logiquement une élévation du niveau moyen de la mer qui est accompagné par de tempêtes plus fortes et plus fréquentes, ainsi qu'une accélération de l'érosion des plages et des falaises, une extension des submersions temporaires ou permanentes sur les espaces côtiers bas.

Tout de même, les aménagements de front de mer (routes littorales, maisons...) ont des effets néfastes lorsqu'ils sont implantés trop près du rivage.

L'objectif de ce travail est la mise en place d'un système d'information géographique afin de cartographier la dynamique du littoral de Raf Raf. L'étude se base sur des données multi-scalaires et multi-échelles.

Les résultats graphiques seront confrontées aux données climatiques dont l'objectif de chercher une corrélation nette entre la morphodynamique du littoral, les changements des paysages et les aléas climatiques.





Valorisation des données historiques pour la connaissance des risques côtiers en Afrique de l'Ouest, projet WACA-F

Boris Leclerc^{1*}, François Hédou¹, Fanette Barraquet-Porte², Valentine Lanfumey³, Romain Vialle⁴

¹Cerema, Plouzané, France.

²Cerema, Le Grand-Quevilly, France.

³Shom, Brest, France.

⁴IGN, Saint-Mandé, France.

Enjeux de la gestion intégrée de la zone côtière en Afrique de l'Ouest

Les zones côtières d'Afrique de l'Ouest jouent un rôle majeur dans le développement des pays concernés. Elles abritent en effet plus d'un tiers de la population et 56 % du PIB1 en sont issus. Cependant, ces zones sont menacées par l'érosion côtière, phénomène susceptible de s'amplifier dans un contexte de changement climatique.

Le 21 avril 2016, suite aux engagements pris durant la COP 21, un arrangement administratif « côtes résilientes au changement climatique et économie bleue » a été signé entre le ministère de la transition écologique et solidaire et la Banque mondiale. Le projet WACA (West Africa Coastal Areas) s'inscrit dans le cadre de cette collaboration.

Attendus du projet WACA-F

Afin de s'investir rapidement dans le projet WACA, le ministère de la transition écologique et solidaire a décidé de soutenir, le 20 mars 2017, un projet de coopération avec le Sénégal, le Togo et le Bénin, baptisé WACA-F, en s'appuyant sur l'expertise de quatre établissements publics : le BRGM, le Cerema, l'IGN et le Shom. Piloté par le Cerema, le projet a pour objectif de mettre à disposition des pays concernés des « données historiques ». Ces dernières, disponibles uniquement dans les archives françaises, ont été acquises sur plusieurs décennies et peuvent dater de plus d'un siècle. Issues des cartes marines, des relevés bathymétriques et des photos aériennes, elles constituent une source d'information essentielle à la compréhension de l'évolution du phénomène d'érosion côtière.

Cas d'usage de ces données : le calcul de l'évolution du trait de côte

La mise à disposition des données anciennes auprès des pays bénéficiaires, suppose un travail minutieux de numérisation et de géoréférencement permettant de rendre ces données exploitables et compatibles avec les outils actuels. Une fois ce travail réalisé, de nombreuses informations peuvent être extraites des données historiques telles que la position du trait de côte, la tâche urbaine, la réalisation d'ouvrage, etc.

Les données historiques peuvent également être comparées avec des données actuelles² afin de caractériser l'évolution du littoral sur plusieurs décennies. De manière plus précise, un indicateur

d'érosion côtière sera construit afin de quantifier cette évolution. Une version a déjà été réalisée à l'échelle du Sénégal, avec un point de calcul espacé de 400 m grâce à l'exploitation d'images Spot entre 2000 et 2018. Cette version sera complétée par l'identification de marqueurs de positions du trait de côte relevés sur les données anciennes. A cette fin, une formation a été réalisée en juillet 2019 à l'adresse de correspondants désignés par les pays bénéficiaires. Cette session de trois jours aura permis de fournir aux participants les connaissances théoriques et pratiques pour mettre à jour régulièrement ce type de données.

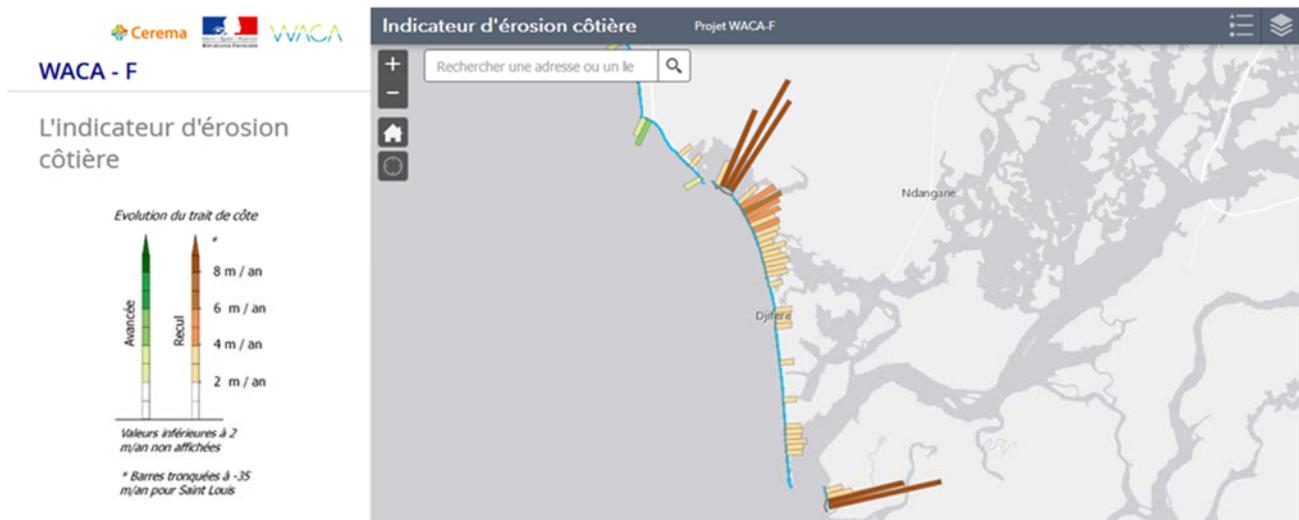


Figure 1 : Visualiseur cartographique des premiers résultats du projet

Enfin, dans le cadre du projet WACA-F, un portail (<https://arcg.is/0nnn4e>) a été mis en œuvre afin de rendre accessible toutes les données produites et de présenter de manière ludique l'évolution du littoral au Bénin, Togo et Sénégal.

L'analyse et l'interprétation des données issues du projet WACA-F permettront d'améliorer la prise de conscience des risques côtiers et apporteront aux gouvernements des trois pays concernés des éléments de connaissance à même d'orienter la construction des politiques publiques locales notamment en matière d'aménagement durable des côtes. Cette connaissance est d'ores et déjà prise en compte dans la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature dans le cadre d'un projet financé par le fonds français pour l'environnement mondial (FFEM).

Références

- 1 UEMOA, Schéma directeur des littoraux ouest africains, 2010
- 2 Cerema, Volet I : État de l'art de l'utilisation des technologies satellitaires pour la cartographie du trait de côte et de la bathymétrie, 2018. Editions connaissances, 58 p.
- 3 Cerema, Volet III : Prototypage de reconnaissance du trait de côte en tant que limite d'immersion à partir d'images satellite, 2018. Editions connaissances, 25 p.

Caractérisation des évolutions pluri-décennales à saisonnières des plages de la côte aquitaine.

Alexandre Nicolae Lerma^{1,2*}, Bruce Ayache^{1,2}, Nicolas Bernon^{1,2}, Thomas Bulteau^{1,2}, Cyril Mallet^{1,2}

¹Brgm Direction Régionale Nouvelle Aquitaine, Pessac, France.

²Observatoire de la Côte Aquitaine, Pessac, France.

Sur le littoral aquitain, l'évolution des plages aériennes est suivie régulièrement à l'échelle régionale par l'Observatoire de la Côte Aquitaine (OCA). Différentes méthodes sont employées tel que des levés D-GPS, LiDAR, de la photo-interprétation d'images satellites ou d'orthophotographies, des formulaires semi-quantitatifs sur la forme et la présence des différentes structures morphologiques des plages sableuses (barres, baïnes, bermes, coins sableux, etc.).

Ces données permettent par exemple d'évaluer la tendance pluri-décennale du recul du trait de côte et de faire des projections sur sa position future (e.g. projections 2025-2050), d'analyser les impacts érosifs associés aux tempêtes et la récupération des systèmes plages/dunes (e.g. séquence érosive hiver 2013-2014 et récupération sur la période 2014-2017) ou bien encore d'évaluer les stocks sédimentaires en présence et leurs dynamiques en lien avec l'évolution géomorphologique du littoral sableux. En particulier, grâce à la complémentarité entre le suivi annuel au D-GPS, mis en place depuis 2006, des 55 profils plages/dunes répartis le long de la côte sableuse en sortie de saison hivernale, et celui de l'ensemble de la côte au LiDAR à l'automne depuis 2014, il est possible d'accéder à une information de l'évolution sur plus de 10 ans et aux dynamiques saisonnières des plages. L'analyse de ces données permet de renseigner sur les morphologies caractéristiques des profils d'hiver et d'été, les morphologies liées à des périodes d'érosion majeure ou de forte disponibilité sédimentaire, mais aussi sur l'amplitude des variations des stocks de sable, ou encore les capacités de reconstruction saisonnières.

A l'échelle régionale, les plages présentent des caractéristiques (largeur du haut de plage, hauteur des bermes saisonnière, pente du haut de plage, volume de sédiments ...) très variées. Parmi les morphologies et évolutions observables deux exemples sont brièvement détaillés ci-dessous.

Le profil G2 (Figure 1, gauche) situé dans le Nord Médoc, est le profil indiquant les plus forts taux de recul sur la période 2008-2018. Le recul du pied de dune est de 60 m sur la période. L'enveloppe de variabilité est de faible amplitude, l'estran étant généralement plat avec des paléosols sous-jacents et potentiellement apparents en hiver. La variabilité des épaisseurs de sable sur la plage, bien que de faible amplitude est marquée saisonnièrement avec l'apparition potentielle d'une berme de relativement faible hauteur en été (0,50 à 1 m).

Le profil G18 (Figure 1, droite) situé à la pointe du Cap Ferret est celui indiquant les plus fortes variabilités interannuelles et saisonnières sur l'ensemble de la côte. En terme de volume sédimentaire disposé sur le haut de plage (entre 0 et 6 m/NGF). Les volumes moyens par rapport à l'enveloppe basse sont de l'ordre de 390 m³/m et peuvent atteindre 700 m³/m du fait de la

constitution d'imposantes bermes en été. L'épaisseur de sédiment peut varier à l'échelle saisonnière jusqu'à 3 m de hauteur et l'épaisseur maximale de variation observée est de près de 5 m (différence maximale entre l'enveloppe basse et l'enveloppe haute). Enfin les hauts de plage y sont les plus larges de la côte (entre 120 m en moyenne en été et 80 m en hiver).

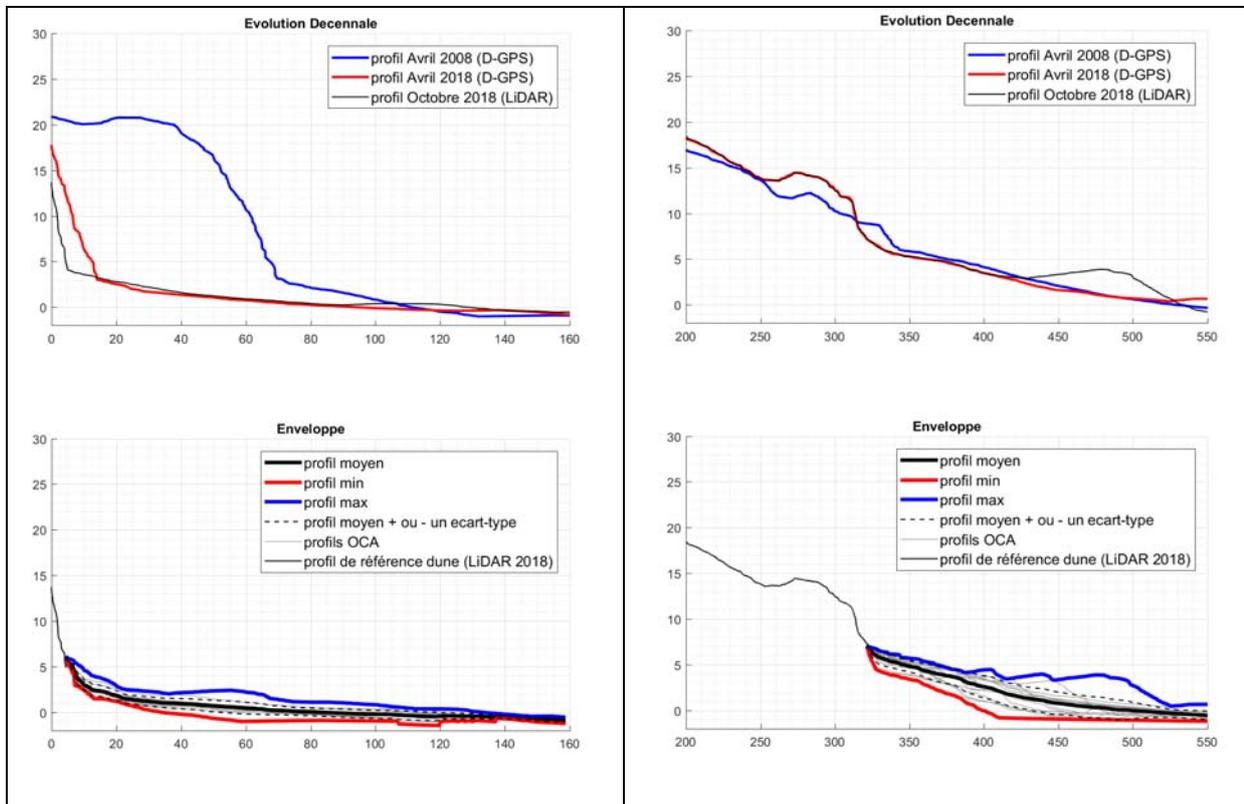


Figure 1 : Exemple de l'évolution décennale et des enveloppes de variabilités interannuelles et saisonnières pour deux profils caractéristiques dans le secteur du nord Médoc (profil G2 à gauche), à la pointe du Cap Ferret (profil G18 à droite).

Ces analyses généralisées à l'ensemble des profils disposés le long du littoral permettent de renseigner sur les trajectoires d'évolution des plages du nord au sud de la côte aquitaine et d'établir des caractéristiques moyennes (moyennes interannuelle et saisonnière) à l'échelle des cellules sédimentaires. Elles permettent d'apprécier l'hétérogénéité de la morphologie et des dynamiques des plages du Nord au Sud de la côte et offrent une grille d'analyse de l'état des plages avant et après la saison hivernale. Ainsi elles peuvent être utilisées pour identifier localement l'état des plages lors de levés réalisés en vue d'actions de gestion.

Utilisation de l'imagerie drone multispectrale pour la modélisation spatiale de l'atténuation hydrodynamique par les prés-salés en milieu mégatidal

Mury Antoine^{1*}, Houet Thomas², James Dorothée¹, Collin Antoine¹

¹Ecole Pratique des Hautes Etudes – PSL Université Paris, CNRS LETG 6554, Dinard, France.

²CNRS LETG 6554, Rennes, France.

Introduction

Situés à l'interface terre-mer, les prés-salés sont des écosystèmes qui en plus de présenter une remarquable biodiversité (Lefeuvre et al., 2003), fournissent également un grand nombre de services à destination de l'Homme, parmi lesquels un service dit de « protection côtière » (Collin et al., 2018). La prise en considération du service écosystémique de protection, s'inscrit dans un renouveau de la pensée en termes de gestion des risques littoraux, avec un intérêt émergent pour les « solutions basées sur la nature » (Temmerman et al., 2013). A travers ce travail, nous proposons une méthodologie de modélisation de cette atténuation hydrodynamique (AH) à très haute résolution (THR) spatiale. Celle-ci est réalisée à partir de mesures de hauteurs significatives de vagues (H_{m0}) et de prédicteurs issus de l'imagerie drone multispectrale à THR, qui fournissent des informations quant aux caractéristiques physiques de l'environnement (topographie, couvert végétal...). En utilisant des régressions linéaires simples (RLS) et multiples (RLM), nous identifierons quelles seront les contributions des prédicteurs, pris, individuellement, et conjointement.

Matériel et méthodes

Site d'étude

La baie du Mont-Saint-Michel (BMSM) présente une vaste étendue de prés-salés ($\approx 40 \text{ km}^2$) au sein de laquelle se trouve le site d'étude localisé au pied de la digue de la Duchesse-Anne.

Les mesures de hauteurs significatives de vagues (H_{m0}) comme réponses aux modèles

Des mesures ponctuelles de H_{m0} ont été réalisées du 22 au 23 janvier 2019 par l'intermédiaire de 12 capteurs de pression le long de deux transects sur le site d'étude. Ces mesures de H_{m0} ont permis de calculer 40 valeurs d'atténuation ($N=40$), qui constituent les réponses des différents modèles statistiques expérimentés ici pour la modélisation de l'AH.

Cinq bandes spectrales et un produit photogrammétrique comme prédicteurs

Une campagne d'acquisition d'imagerie drone a été réalisée le 22 mars 2019 à partir d'une aile volante (eBee+[®]) équipée d'un capteur rouge-vert-bleu (RGB) et d'un capteur multispectral Parrot-Sequoia[®] qui permet l'utilisation de bandes spectrales infrarouge complémentaires à celles acquises dans visible : Red Edge (RE) et Near InfraRed (NIR). Un modèle numérique de surface (MNS) a également été extrait par photogrammétrie. Quantification de l'apport des différents prédicteurs à la modélisation

A partir des Hm0 mesurées in situ et des cinq prédicteurs spectraux ainsi que du MNS, des modèles de régressions linéaires (RL) sont construits afin de prédire spatialement l'AH induite par le pré-salé. L'apport des prédicteurs est testé indépendamment par via des RLS. Différentes combinaisons de prédicteurs sont ensuite expérimentées en utilisant des RLM.

Résultats et discussion

Les RL expérimentées, ont mis en évidence l'apport de chaque prédicteur pour la modélisation. Le coefficient de détermination R^2 est utilisé pour évaluer la pertinence de chaque modèle. Ainsi, il apparaît qu'individuellement, les prédicteurs spectraux bleu ($R^2 : 0.51$) et vert ($R^2 : 0.52$), sont les plus performants (Fig. 1A) pour expliquer les AH calculées à partir des Hm0. Concernant les combinaisons de prédicteurs, ceux du spectre visible (BVR) présentent des résultats satisfaisants ($R^2 : 0.71$), mais l'ajout à ceux-ci du MNS ($R^2 : 0.79$), ou des prédicteurs RE et NIR ($R^2 : 0.83$) montre une augmentation significative du R^2 (Fig. 1A). Enfin, la meilleure combinaison de prédicteurs, au regard des différents coefficients de détermination obtenus, est, logiquement, la combinaison exhaustive en terme de prédicteurs : BVR + RE + NIR + MNS ($R^2 : 0.88$) (Fig. 1A, 1B)

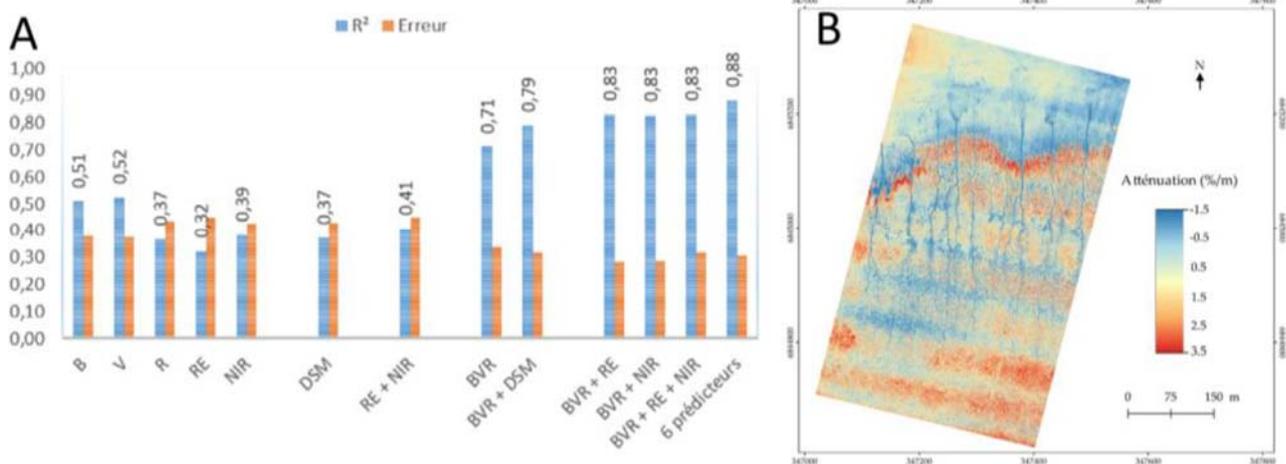


Figure 1. (A) Graphique des coefficients de corrélation R^2 et des erreurs pour les différents prédicteurs expérimentés, (B) modèle spatial d'atténuation hydrodynamique à partir de l'ensemble des prédicteurs (BVR + RE + NIR + MNS).

Conclusion

L'utilisation conjointe de prédicteurs spectraux et topographique issus d'une unique campagne d'acquisition d'images par drone et de mesures de Hm0 in situ, permet, comme exposé dans la présente étude, de modéliser à THR spatiale l'AH induite par une surface de pré-salé avec des résultats satisfaisants (Fig. 1B).

Références

Collin, A., Lambert, N., James, D. and Etienne, S., 2018. Mapping wave attenuation induced by salt marsh vegetation using WorldView-3 satellite imagery, *Revista de investigación Marina*, 25(2), 67-69.



- Lefeuvre, J.C., Laffaille, P., Feunteun, E., Bouchard, V., Radureau, A., 2003. Biodiversity in salt marshes: from patrimonial value to ecosystem functioning. The case study of the Mont-Saint-Michel bay. *Comptes Rendus Biologies*, vol.326, supplement 1, pp.125-131.
- Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H., Silliman, B.R., 2011. A blueprint for the blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol.9, Issue 10, pp.552-560.
- Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T.J., Herman, P.M.J., Ysebaert, T., De Vriend, H.J., 2013. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, No. 504, pp.79-83.



Application de la photogrammétrie subaquatique géoréférencée à l'étude des herbiers sous-marins

Arnaud Abadie^{1*}, Christophe Viala¹

¹Seaviews, La Ciotat, France.

Contexte

La photogrammétrie sous-marine permet d'obtenir des cartographies détaillées des habitats marins grâce à la haute résolution des orthophotographies générées. Cette technique est notamment adaptée à la détection d'herbiers sous-marins impossibles à cartographier précisément avec des méthodes classiques comme l'acoustique (herbiers sur roche, espèces tropicales à feuilles courtes). L'objectif de ce travail est de tester la capacité de la plateforme de photogrammétrie Photocean à cartographier la limite des herbiers de Méditerranée et des Caraïbes.

Matériel et méthodes

La plateforme Photocean est un dispositif de surface comprenant sur sa partie immergée deux appareils photos en caisson munis d'optiques grand angle, couplés à un GNSS RTK centimétrique positionné sur sa partie émergée (Abadie *et al.*, 2018). A partir des photos géoréférencées générées par Photocean, il est possible de produire par photogrammétrie une orthophotographie sous-marine des herbiers sous-marins jusqu'à une profondeur de 10 m. Des levés photogrammétriques avec la plateforme ont été réalisés dans la Réserve naturelle de Petite Terre (RNPT), au sud-est de la Guadeloupe, sur des herbiers mixtes formés par *Syringodium filiforme* et *Thalassia testudinum* ; et dans la calanque du Mugel à La Ciotat sur un herbier à *Posidonia oceanica*.

Résultats et discussion

Un linéaire d'environ 600 m a été levé dans la RNPT (Fig. 1). La résolution millimétrique des orthophotographies permet de détecter les limites des herbiers plurispécifiques, bien que ces herbiers soit peu denses et que les feuilles de *S. filiforme* soit de petite taille. Ce type d'herbier est cependant plus difficile à détecter, même sur les orthophotographies, lorsqu'ils sont recouverts d'algues brunes. La limite de l'herbier à *P. oceanica* dans la calanque du Mugel (Fig. 2), cartographiée sur environ 500 m de long, est beaucoup plus évidente à repérer du fait de la grande taille de ses feuilles et de la séparation franche entre la canopée et le substrat nu. L'orthophotographie permet également de faire la distinction entre la matte morte, la litière de feuilles mortes et l'herbier de posidonie, ce qui est impossible avec les supports classiques de cartographie sous-marine (photo aériennes, images acoustiques).

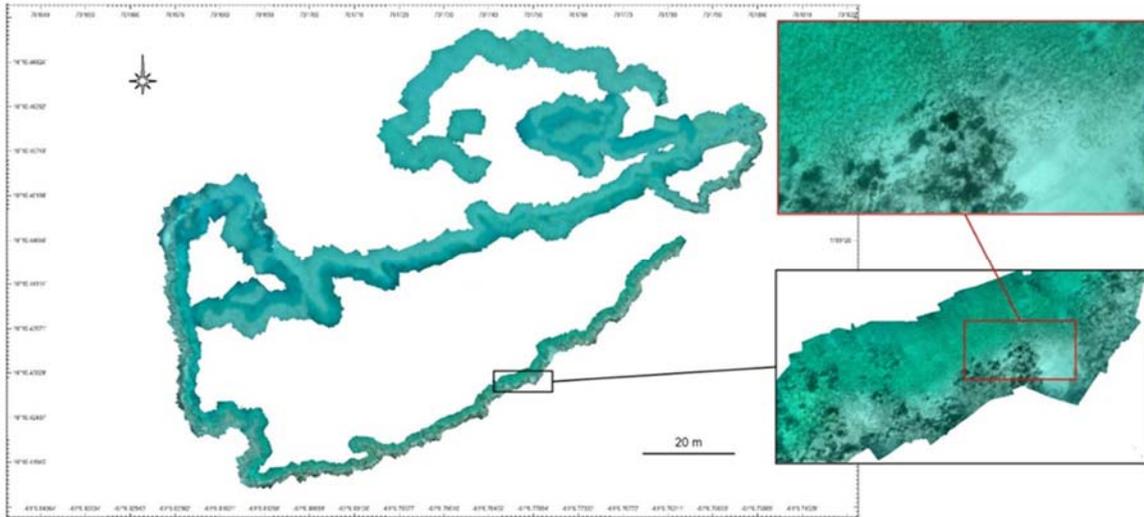


Figure 1 : Orthophotographie de la limite de l'herbier sous-marin à *S. filiforme* et *T. testudinum* cartographié dans la Réserve naturelle de Petite Terre en Guadeloupe.

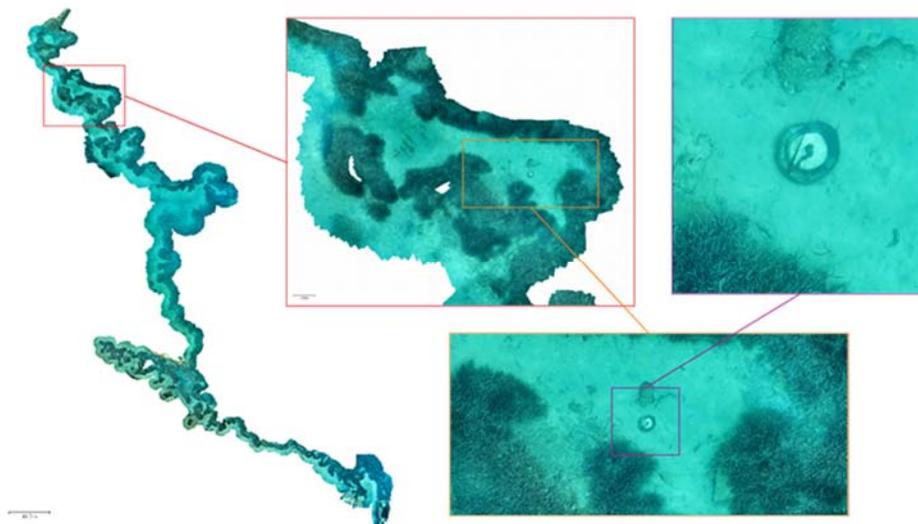


Figure 2 : Orthophotographie de la limite de l'herbier sous-marin à *P. oceanica* cartographié dans la calanque du Mugel à La Ciotat.

Conclusion

La précision de positionnement centimétrique des orthophotographies produites par Photocean permet de suivre l'évolution des herbiers des eaux tempérées et tropicales, même lorsqu'il s'agit d'espèces à croissance lente comme *P. oceanica*. De plus, il est possible d'identifier et de dénombrer certains organismes benthiques ainsi que les corps morts et les macro-déchets grâce à la photogrammétrie sous-marine.

Bibliographie

Abadie A, Boissery P, Viala C 2018. Georeferenced underwater photogrammetry to map marine habitats and artificial structures. *Photogramm. Rec.* 33, 448–469 .

Etude spatio-temporelle de la géomorphologie et de l'écologie d'un système dunaire par drone aérien

James Dorothée^{1*}, Collin Antoine^{1,2}, Mury Antoine¹, Gloria Hélène¹ et Le Poulain Nolwenn¹

¹Ecole Pratique des Hautes Etudes-PSL Université Paris, CNRS LETG 6554, Dinard, France.

²LabEx CORAIL, Papetoai, Polynésie française.

Introduction

Les territoires littoraux, qui accueillent plus des 2/3 de la population mondiale, sont des espaces particulièrement menacés par les changements océano-climatiques annoncés: hausse du niveau moyen des mers, élévation de la température, intensification des tempêtes (GIEC, 2014). Véritables barrières naturelles face aux risques de submersion marine, les massifs dunaires jouent un rôle majeur dans la protection des enjeux. La vulnérabilité des littoraux peut être diminuée par la connaissance de la structure et du fonctionnement des écosystèmes et des géosystèmes. Basée sur le suivi régulier, cette étude novatrice vise à appréhender les variations saisonnières (topographie, couvert végétal...) à très haute résolution (THR) spatiale et temporelle par l'utilisation de drone aérien bon marché (Mury et al., 2019).

Matériels et Méthodes

Site d'étude

Façonné par les forçages météo-marins et mégatidaux, le site de la Guimorais, situé dans le Havre de Rothéneuf (Ille-et-Vilaine, Bretagne, 48°41'28"N, 1°57'2"O), se caractérise par un tombolo reliant l'île Besnard à la pointe du Meinga.

Acquisition de données in situ

Deux campagnes de terrain ont été réalisées respectivement les 20 mai 2019 et 06 septembre 2019 à marée basse. Trente quadrats de 0,5 m × 0,5 m ont été relevés à l'aide d'un appareil photo Olympus TG4 (4608 × 3456 pixels) et géolocalisés (en x, y, z) au D-GNSS Topcon HiperV. Les photoquadrats ont, ensuite, été corrigés géométriquement (Collin et al., 2018). Quatre classes ont pu être extraites : sol dune blanche, sol dune grise, végétation pionnière et végétation secondaire.

Reconstruction photogrammétrique et orthomosaïque

Les acquisitions d'images aériennes ont eu lieu les 20 mai et 06 septembre 2019 selon un plan de vol établi avec un drone multiréacteur Mavic pro (4000 × 3000 pixels) équipé d'un capteur rouge-vert-bleu (RVB). Une série de 689 images par campagne ont été collectées à une hauteur de vol de 50 m et un recouvrement frontal et latéral de 80% et 70%, respectivement. Une orthomosaïque et un modèle numérique d'élévation (MNE) ont été créés à l'aide du logiciel Pix4DMapper® et géolocalisés par 13 cibles levées au D-GNSS Topcon Hiper V.

Identification du pied de dune à partir du prédicteur topographique

L'identification du pied de dune correspondant à la rupture de pente et à la limite de végétation a été réalisée en combinant des produits dérivés du MNE (pente et ombrage) et le produit d'une segmentation réalisée à partir de l'orthomosaique.

Classification supervisée basée sur les prédicteurs spectraux et topographiques

A partir des prédicteurs spectraux (RVB) et du prédicteur topographique (MNE), la classification supervisée basée sur l'algorithme de maximum de vraisemblance a permis de discriminer les entités écologiques et géomorphologiques du massif dunaire (5000 pixels de calibration/validation par classe). L'apport du prédicteur topographique a également été testé en analysant la précision de classification.

Résultats et Discussion

Les performances de classification ont montré la forte contribution du prédicteur topographique combiné aux prédicteurs spectraux (RVB) pour les 2 campagnes (Fig.1).

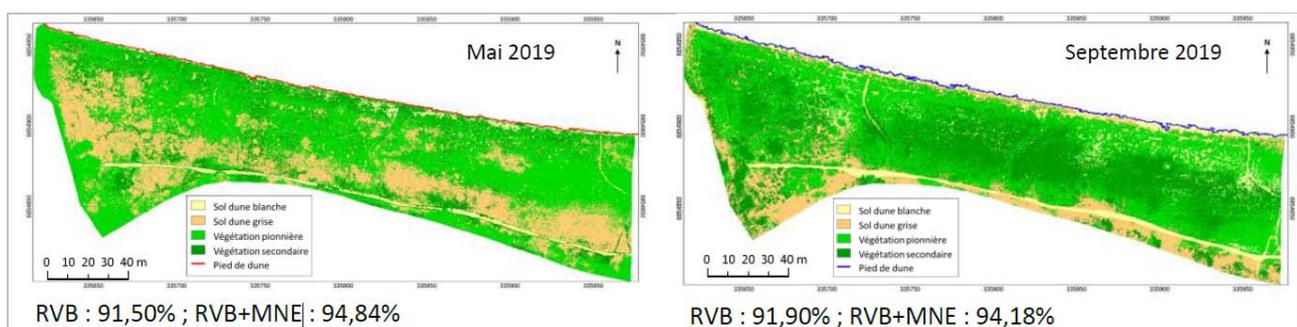


Figure 1. Identification du trait de côte et classification supervisée (maximum de vraisemblance) du massif dunaire en mai et septembre 2019.

Le pied de dune est relativement stable avec une accrétion maximale de 2,56 m et une érosion maximale de -3 m. L'analyse des couverts biotiques du massif dunaire montre un recouvrement de la végétation pionnière de 1,36 ha en mai et 1,05 ha en septembre. La végétation secondaire est passée de 0,75 ha en mai à 0,97 ha en septembre.

Conclusion

La précision de classification supervisée (maximum de vraisemblance) est nettement augmentée par l'ajout du prédicteur topographique aux prédicteurs spectraux Rouge-Vert-Bleu (+3%). Le bilan sédimentaire est négatif (-34 m²) lors de la période estivale et un pied de dune stable. L'évolution du couvert végétal est caractérisée par une nette diminution de la végétation pionnière entre mai et septembre soit -0,31 ha et une augmentation du couvert de végétation secondaire soit +0,22 ha.

Références

GIEC. Climate Change 2014: Synthesis Report; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Figure Core Writing Team; Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2014; p. 151.



- Mury, A., Collin, A., et James, D. (2019). Morpho–Sedimentary Monitoring in a Coastal Area, from 1D to 2.5D, Using Airborne Drone Imagery. *Drones*, 3(3), 62.
- Collin, A.; Dubois, S.; Ramanbason, C., and Etienne, S., 2018. Very high-resolution mapping of emerging biogenic reefs using airborne optical imagery and neural network: the honeycomb worm (*Sabellaria alveolata*) case study. *International Journal of Remote Sensing*, 39, (17), 5660-5675.



La photogrammétrie comme outil descriptif des écosystèmes rocheux subtidaux tempérés. Mieux décrire pour mieux prédire et gérer.

Q. Ternon¹, P. Thiriet², F. Ysnel³, A. Collin⁴, V. Danet¹, O. Bianchimani⁵, E. Feunteun¹

¹ Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR BOREA, CRESCO, Dinard, France

² Muséum National d'Histoire Naturelle, OFB UMS PatriNat, CRESCO, Dinard, France

³ Université de Rennes 1, UMR BOREA, Rennes Cedex, France

⁴ Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE), PSL Université de recherche, Dinard, France

⁵ Septentrion Environnement, Marseille, France

Introduction :

Malgré des enjeux écologiques, économiques et patrimoniaux reconnus les méthodes de description et de suivi des écosystèmes rocheux subtidaux des zones tempérées restent coûteuses et chronophages. A fine échelle (i.e. mètre) des observations in-situ, prélèvements, ou photos-quadrats permettent d'obtenir des données de fine résolution sur le biotope et le benthos. Ces derniers peuvent être échantillonnés à une échelle plus large (i.e kilomètre), par levés acoustiques ou télémétriques, sur de grandes zones en un temps réduit, mais fournissent des données de plus faible résolution. Une méthode récente et innovante, la photogrammétrie, permet de décrire à une échelle intermédiaire la complexité 3D des fonds marins (Robert et al. 2017). Elle est surtout utilisée pour étudier la complexité architecturale du biotope mais rarement les communautés benthiques associées. L'un des objectifs majeurs de cette étude est de décrire, et de modéliser, la complexité du lien entre les descripteurs typologiques du biotope et les espèces benthiques structurantes associées par une approche photogramétrique. Deux approches méthodologiques sont présentées : i) la caractérisation de la complexité architecturale des biotopes rocheux avec l'élaboration de classes typologiques (par le modèle numérique de terrain, MNT) et ii) l'identification des taxons benthiques dominants associés aux classes typologiques du biotope (par photo-identification).

Matériel et méthode :

Cette étude a été réalisée en Côte d'Émeraude au pied de l'îlot rocheux de Bizeux (fig. 1.a), le long de transects de 120m² de la zone circalittorale (zone photique sans laminaire). L'ensemble du concept méthodologique est présenté en Figure 1. La classification des transects a été réalisée de manière supervisée (création manuelle d'un lot d'entraînement pour les différentes classes souhaitées) par la méthode du maximum de vraisemblance (plus forte probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée). Après extraction des classes de biotope, une projection de 500 points par typologie a été effectuée avec le logiciel QGIS. Les points ont été ré-importés sur le modèle, puis chaque organisme ciblé par un point a été identifié à partir des photos ayant permis la création du modèle photogramétrique.

Résultats et discussion :

Les premiers résultats montrent qu'un modèle 3D (fig. 1.c) permet la classification de typologies du biotope (blocs, galets et cailloutis ; fig. 1.g) sur la base de l'information spectrale (orthoimage ; fig. 1.d) et de l'information d'élévation (MNT ; fig. 1.e). Un ensemble de variables déterminantes pour la classification des typologies de biotope (bathymétrie, pente, orientation ; fig. 1.f) ont pu être mises en évidence. La projection aléatoire de points au sein des classes typologiques du biotope (fig. 1.h) permet d'échantillonner de manière stratifiée les communautés benthiques associées. La photo-identification des organismes fixés est possible par la récupération des photographies ayant permis la création du modèle photogrammétrique (fig. 1.h). Pour certains grands groupes taxonomiques (i.e. Porifères, Bryozoaires, Algues brunes) la précision d'identification peut atteindre le niveau de l'espèce. Pour les organismes non identifiés, des morphotypes ou morpho-espèces peuvent néanmoins être distingués. Les analyses de cette approche nécessitent d'être poursuivies et montrent d'ores et déjà un réel intérêt de ce concept méthodologique en vue de décrire et modéliser la complexité du lien entre le biotope et les biocénoses benthiques associées.

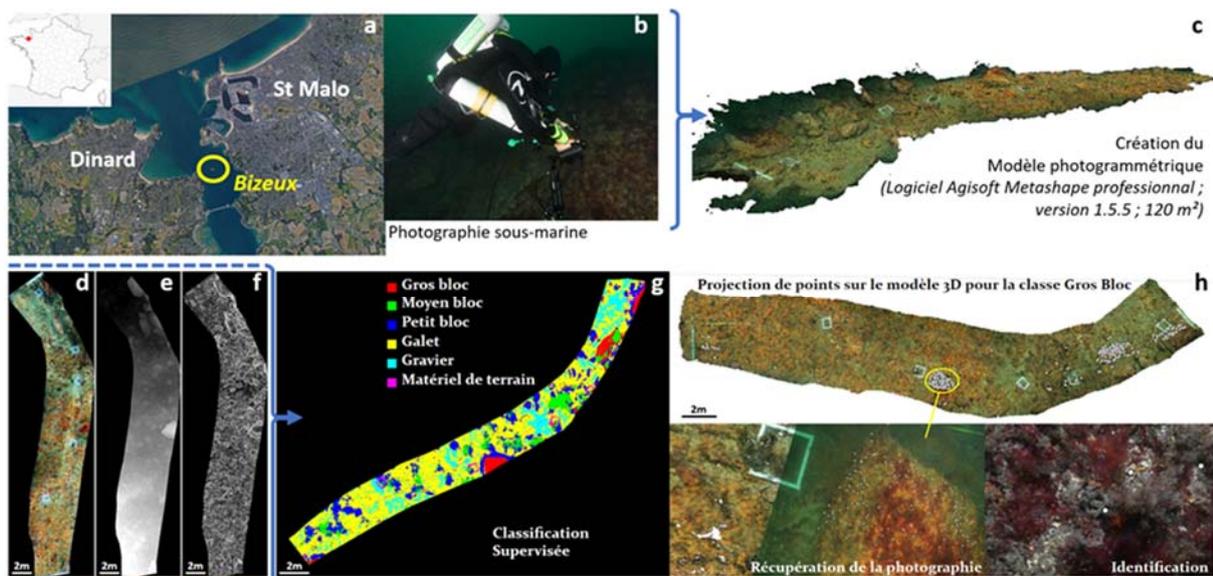


Figure 4: Schéma de l'ensemble de la méthodologie suivie sur le site de Bizeux à 13m de profondeur (corrigé du 0 des cartes marines, a). Acquisition des photographies en plongée scaphandre autonome (b), création du modèle photogrammétrique (c), utilisation de l'Ortho-image (bande RVB, d), de la Bathymétrie (MNT, e) et de Dérivés bathymétriques (ex. Pente, f) issu du modèle 3D pour classifier de manière supervisée les différentes typologies du biotope (g). Projection de points aléatoires sur la typologie des Gros blocs, récupération des photographies et identification des organismes ciblés par les points (h). Crédit photo : Google Earth Maxar Technologies 2020 (a) ; V. Danet (b).

Conclusion :

Malgré une limitation technique dans les ceintures à laminaires (photographies et création du modèle 3D) l'approche photogrammétrique pour l'étude des milieux subtidaux rocheux est prometteuse. Elle permet 1) de mettre évidence des caractéristiques architecturales particulières



du biotope (au travers des variables géomorphologiques disponibles ainsi que par classification) associées à 2) des espèces benthiques structurantes identifiées rétrospectivement par l'analyse des photographies. L'étude précise de ces relations est nécessaire pour expliquer et prédire la structure et la distribution des écosystèmes rocheux subtidaux dans le but d'une gestion plus efficace de ces milieux.

Bibliographie :

Robert, K., Huvenne, V. A. I., Georgiopoulou, A., Jones, D. O. B., Marsh, L., Carter, D. O. G., & Chaumillon, L. (2017). New approaches to high-resolution mapping of marine vertical structures. *Scientific Reports*, 7(1), 1–14.





Traitement d'images drone pour le suivi de la végétation dunaire : exemple de mise en œuvre à Villeneuve-lès-Maguelone (Hérault) et perspectives

BOULET Delphine¹, GERVAIS Mathieu¹, HEURTEFEUX Hugues¹, RETAILLEAU Cécile² et RICHARD Bertrand¹

¹ EID Méditerranée, Montpellier, France /

² : Département de l'Hérault, Montpellier, France

L'EID Méditerranée mène à Villeneuve-lès-Maguelone, commune littorale du département de l'Hérault, un suivi de la végétation dunaire pour le compte du Département. Ce suivi, réalisé depuis 2015, fait suite à l'opération de réaménagement d'un cordon dunaire et de sa végétalisation avec environ 60 000 pieds plantés entre 2014 à 2015. Un rechargement de la plage a complété ce dispositif pour un montant total de l'opération de 1 million d'euros. Cette opération d'aménagement a été portée par une co-maîtrise d'ouvrage de la commune de Villeneuve-lès-Maguelone et du Département de l'Hérault, avec les financements de l'Europe, l'Etat et la Région.

L'emprise de la dune sur ce secteur est de 700 m de long sur 20 m de large. Le suivi de ce site et son calendrier ont été cadrés par arrêté préfectoral et les premières années de suivi ont donné de bons résultats : bonne reprise de la végétation nouvellement plantée et peu d'espèces invasives.

A l'origine, le suivi consistait, entre 2016 et 2018, en un comptage de la végétation par espèce. En 2018 certaines espèces avaient tellement prospéré qu'elles recouvraient des portions entières du cordon dunaire. Dès lors, le comptage de chaque plante a été remplacé par un suivi du taux de recouvrement. Il s'agit ici d'estimer lors d'une prospection terrain et par secteurs délimités (casiers) quelle est la part couverte par la végétation et par le sable.

Parallèlement à ce travail de prospection terrain, une analyse de photographies prises par drone a été réalisée à partir de 2018. L'objectif principal de cette expérimentation était de savoir s'il était possible de calculer des taux de recouvrement de façon automatisée d'après une orthophotographie très haute résolution du site (pixel < 2cm), générée après un traitement photogrammétrique. Pour calculer les taux de recouvrement, une classification supervisée sous la suite logicielle libre Orfeo ToolBox développée par le CNES a été réalisée. Il s'agit d'une classification, où l'interprète associe lui-même des zones de l'ortho-image à des catégories sous forme d'échantillons (polygones d'une couche shapefiles). L'image est un raster RVB auquel auront été rajoutés des néo-canaux des indices « excess green » et « C3 ». L'algorithme va alors se charger de répartir chacun des pixels dans les classes adaptées en fonction des données de réflectance des objets du sol capturés sur l'image. Ce traitement permet de classer les zones de l'image où apparaît le sable ou la végétation, et ainsi d'avoir leur proportion, ou recouvrement, par casier.



Figure 1: Exemple du résultat obtenu suite à la classification supervisée

Dans un premier temps les résultats logiciels ont été comparés aux résultats de la prospection terrain. Il en ressort qu'ils sont quasiment identiques.

Dans un second temps les résultats logiciels ont également été comparés à l'occupation réelle du terrain par photo-interprétation. Les résultats de la classification supervisée semblent conformes à la réelle occupation du sol. La classe «ombre» est celle qui rassemblerait le plus d'erreur. Les survols à heure où le soleil est le plus proche du zénith pourrait être une solution à privilégier. Cette méthode a été validée et il a été décidé l'année suivante, en 2019, de faire le suivi du recouvrement uniquement par drone, afin de le comparer avec les résultats de 2018.

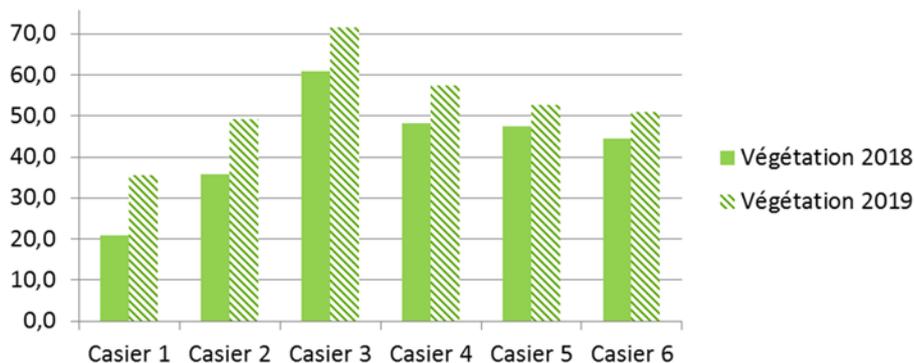


Figure2 : Evolution du recouvrement de la végétation en pourcentage par casier entre 2018 et 2019

Entre 2018 et 2019, le recouvrement par les plantes aurait gagné en superficie. Cette tendance à la hausse va dans le sens de l'expertise terrain menée en parallèle. La moyenne de recouvrement sur la totalité des casiers passe de 43 à 53%. Tous les casiers suivent cette tendance avec des progressions allant jusqu'à près de 15% pour les casiers les plus à l'ouest (casiers 1 et 2).

La classification supervisée, traduite sous la forme d'une chaîne de traitement, constitue aujourd'hui une méthode simple d'estimation du recouvrement végétal sur un cordon dunaire grâce aux orthophotographies des drones. Moyennant une résolution suffisamment fine des données et des levés sur plusieurs années, ce type de suivi est reproductible pour des collectivités ou autres acteurs qui peuvent se l'approprier et l'adapter si besoin dans le cadre de la mise en place d'un suivi de végétation.



Acquisition de levé Lidar sur la frange littoral Aquitaine par l'Observatoire de la Côte Aquitaine : Description, qualification, et mise à disposition

Bruce AYACHE ¹

BRGM Nouvelle-Aquitaine, Pessac, France.

Contexte

Créé en 1996, l'Observatoire de la Côte Aquitaine (OCA) a pour rôle de mettre au service des acteurs du littoral un outil scientifique et technique d'aide à la décision, à la gestion et à la prévention des risques côtiers. Cet Observatoire, co-porté par le BRGM et l'ONF est chargé de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional.

Pour répondre à ses missions, l'OCA dispose de données topographiques issues de différentes campagnes d'acquisition annuelle LIDAR et photogrammétrique sur l'ensemble du littoral aquitain, complétées par des levés DGPS annuels de profils transverses à la côte mais aussi à l'intérieur des terres (voirie, parking, terrain de sports, etc.), le but étant de suivre l'évolution du littoral à l'aide d'indicateurs géomorphologiques : volumes de sable déplacés, évolution du trait de côte, zones d'érosion et d'accrétion, etc.

Acquisition LiDAR

Afin d'enrichir la base de données altimétriques haute-résolution sur le littoral aquitain et de quantifier les évolutions géomorphologique d'une année à l'autre, une campagne d'acquisition LIDAR régionale couvrant l'ensemble du littoral aquitain (4 à 8 points au m²) est menée chaque année depuis 2014 grâce à une collaboration entre l'OCA et l'IGN. Un modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 1m ainsi qu'une OrthoExpress sont produits pour chaque millésime.

Qualification

Afin d'utiliser en toute connaissance les données Lidar il est nécessaire d'estimer la qualité de chaque nouveau millésime.

Méthode

Les données topographiques LIDAR (MNT et nuages de points) ont été comparées à des levés dit de contrôle réalisés au DGPS sur des zones relativement planes, dégagées et sur sol dur (routes, parkings, accès bétonnés, terrains de sport,...), suffisamment éloignées d'obstacles de manière à n'observer que les écarts purement altimétriques et non biaisés par un éventuel décalage planimétrique qui viendrait accentuer ces écarts. Une analyse statistique des écarts entre les altitudes du MNT et/ou le nuage de points, et les levés terrestres de contrôle permet de déterminer la qualité de l'altimétrie, reposant sur le calcul de l'erreur quadratique moyenne en Z :

$$EMQz (MNT \text{ et/ou Nuage de points sol}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ZLiDARi - Zcontrolei)^2}{n}}$$

Les données de contrôle ont été levées au DGPS entre 2016 et 2019 par le BRGM avec une précision inférieure à 5 cm. Elles ont été utilisées comme références pour :

- Évaluer la qualité de l'altimétrie du MNT et du nuage de points LIDAR : un total de 1 816 points de mesure sur des terrains durs (bitume, béton), plats, vastes et dégagés (routes dégagées, parkings, terrains de sport, etc.) a été compilé et utilisé.
- Contrôler la qualité de la planimétrie de l'OrthoExpress : un total de 3 096 mesures sur des objets remarquables : statues, murs, plaque d'égout et marques au sol : passage piéton, zébras, places de parking,...

L'ensemble de ces levés topographiques de contrôle sont situés à proximité des plages et des falaises et répartis sur les 32 communes du littoral aquitain. L'utilisation de ces données de référence permet de générer des statistiques rigoureuses sur les écarts observés entre les différents LIDAR et les levés terrain de contrôle.

Résultat

Le tableau 1 ci-dessous récapitule l'analyse qualité réalisée sur les différents millésimes LiDAR acquis par l'OCA :

	LIDAR 2011	LIDAR 2014	LIDAR 2016	LIDAR 2017	LIDAR 2018	LIDAR 2019
Nombre de points	1795	1769	1801	1815	1807	1624
EMQz (m)	0,20	0,17	0,13	0,12	0,096	0,098
Ecart minimum (m)	-1,01	-0,51	-2,62	-2,90	-0,24	-0,35
Ecart maximum (m)	1,15	1,42	1,07	0,65	0,57	0,50
Ecart minimum absolu (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecart maximum absolu (m)	1,15	1,42	2,62	2,90	0,57	0,50
Ecart moyen absolu (m)	0,15	0,11	0,08	0,06	0,05	0,07
Nombre de points < 0,20 m	1278	1499	1731	1730	1745	1528
Nombre de points < 0,50 m	1751	1736	1786	1810	1803	1624
Nombre de points < 1 m	1793	1767	1798	1813	1807	1624
Pourcentage de points < 0,20 m	71,20	84,74	96,11	95,32	0,966	0,941
Pourcentage de points < 0,50 m	97,55	98,13	99,17	99,72	0,998	1,000
Pourcentage de points < 1 m	99,89	99,89	99,83	99,89	1,000	1,000

Tableau 1 - Résultat de l'analyse qualité sur les millésimes LiDAR

Diffusion

L'ensemble des millésimes LiDAR sont décrites (matériel, date de vol, ...) dans des métadonnées diffusées depuis les catalogues¹ du site de l'OCA ou de la Plateforme de l'Information Géographique Mutualisée en Aquitaine (PIGMA).

Les emprises sont diffusées sur l'espace cartographique du site de l'OCA : <http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/-Cartographie-interactive->



Les données (MNT + nuages de points au format .LAS + l'orthophoto associée) sont téléchargeables depuis la plateforme OpenData PIGMA : <https://www.pigma.org/datanouvelleaquitaine/accueil/>

Conclusion

L'acquisition régulière de données altimétriques favorise le suivi de l'évolution du littoral, permettant d'accroître les connaissances sur le milieu, et ainsi gérer et prévoir les risques naturels.

L'analyse de la qualité des produits des acquisitions topographiques LIDAR, notamment les MNT et les nuages de points, donne une idée de la précision des données suivant les milieux sondés et donc une idée des précautions à prendre lors de l'emploi de ces jeux de données dans des calculs de différentiels de MNT ou pour des usages dans le cadre de modélisations.

En l'occurrence les millésimes LiDAR de l'OCA sont d'une qualité satisfaisante : l'écart moyen est inférieur à la précision annoncée par l'IGN et la qualité s'améliore passant d'une erreur quadratique moyenne de 20 cm en 2011 à moins de 10 cm en 2019.

Bibliographie

- Ulvoas B., Ayache B. (2018) - Contrôle qualité des levés LIDAR IGN-OCA 2011, 2014, 2016 et 2017 du littoral aquitain. Rapport final. BRGM/RP-67188-FR, 155 p., 143 Ill., 41 tab, 4 ann.
- Ayache B. (2018) - Avis technique relatif à la qualité du LiDAR et OrthoExpress 2018. Note technique. OCA/ NT_BDX-2019-011, 48 p.
- Ayache B. (2020) - Avis technique relatif à la qualité du LiDAR et OrthoExpress 2019. Note technique. OCA/ NT_BDX-2020-013, 48 p.





Monitoring de l'évolution morpho-sédimentaires de petits à moyens estuaires à partir de sondeurs acoustiques

MICHEL Guillaume¹, LE BOT Sophie¹, LESOURD Sandric², FROIDEVAL Laurent², PELLERIN LE BAS Xavier², CONESSA Christophe¹, LAFITE Robert¹

¹Normandie Univ, UNIROUEN, UNICAEN, CNRS, M2C, 76000 Rouen, France

²Normandie Univ, UNICAEN, UNIROUEN, CNRS, M2C, 14000 Caen, France

Introduction

Dans le cadre de la DCE et d'autres directives ou conventions (Habitats Faune-Flore, OSPAR...), l'observation et la surveillance de différents paramètres environnementaux dans les estuaires doivent permettre le suivi à long terme de l'état des habitats benthiques. La cartographie de ces habitats repose sur la détermination de différents facteurs, et notamment des facteurs physiques comme la bathymétrie (Kostylev et al., 2001) et la nature du substratum (Blanchet et al., 2014). De nombreuses études de synthèses font déjà état des performances et limitations de nombreux systèmes acoustiques et méthodes de cartographie sédimentaire/benthique en milieu marin et côtier (Brown et al., 2011), mais très peu en milieu estuarien. En outre, les estuaires sont des domaines de transition continent-océan caractérisés par une grande diversité de substrats (rocheux à vaseux, parfois modifiés par la pression anthropique) et/ou par des variations fines dans les mélanges sédimentaires, notamment sablo-vaseux.

L'objectif de cette étude (projet AUPASED, OFB-CNRS, conduite dans le cadre de la mission inter-estuaires) est de déterminer (1) les données et capteurs essentiels à la représentation des variabilités morphologiques et sédimentaires dans les domaines subtidiaux des petits à moyens estuaires et (2) la faisabilité des cartographies automatiques. Les données ont été acquises avec différents systèmes acoustiques (sonar interférométrique, sonar à balayage latéral et RoxAnn©) et validées grâce à des vérités de terrains (prélèvements sédimentaires et vidéos fond de mer). L'exploration des données et méthodes cartographique pour le suivi de l'évolution morpho-sédimentaire a été réalisée sur deux estuaires, aux caractéristiques hydrologiques, morphologiques et sédimentaires variées : l'estuaire de l'Orne et l'estuaire du Belon.

Cartographie manuelle : une synthèse des connaissances intégrée

L'approche manuelle permet la création de cartes thématiques intégrant l'ensemble des données. Bien que l'interprétation manuelle nécessite un temps de traitement long et implique une part importante de subjectivité, elle permet d'intégrer des informations qualitatives, complexes à transposer en valeurs quantitatives, et qui nécessitent une expertise. Une sélection de données évaluées comme les plus pertinentes pour la production manuelle des cartes thématiques sont présentées en figure 1. Cette première approche cartographique fournit une connaissance intégrée du milieu physique, basée sur une analyse experte. Ces cartographies morpho-sédimentaires

manuelles des estuaires sont utiles aux cartographies initiales (cadre de la DCE) et sont considérées dans cette étude, comme l'état cartographique de référence.

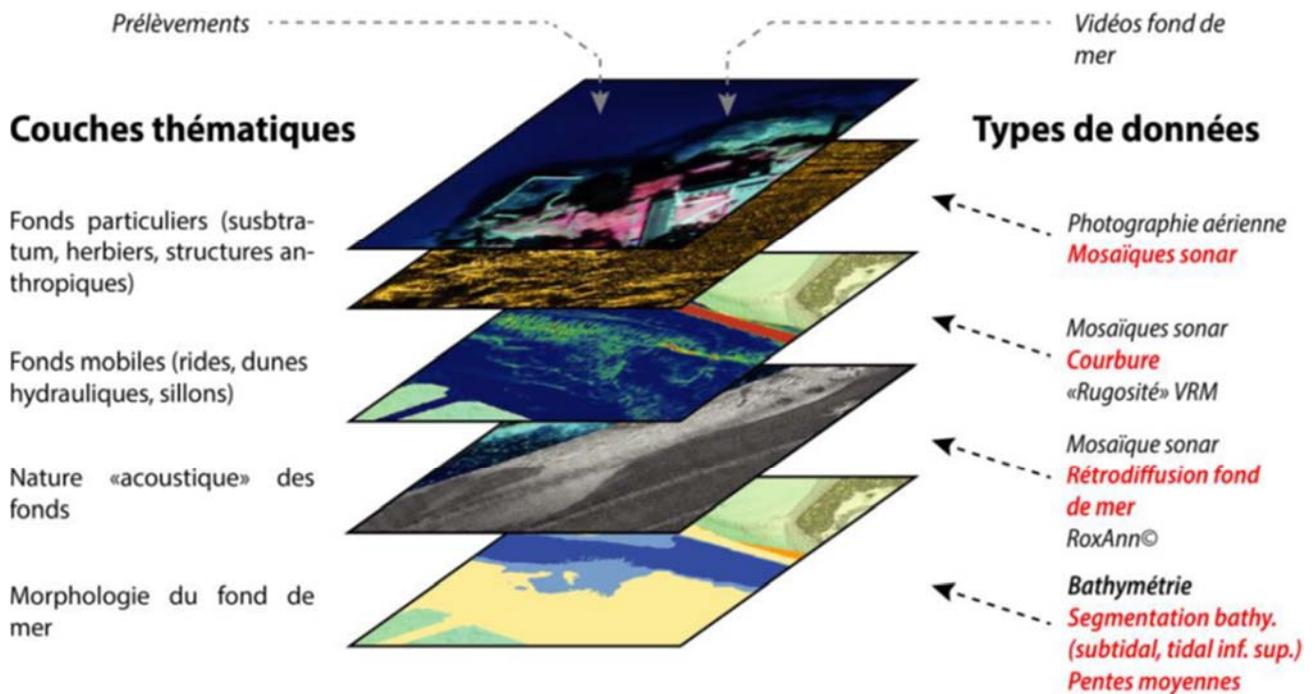


Figure 1: Présentation des données exploitées pour la cartographie manuelle des couches thématiques. Les données évaluées comme les plus pertinentes sont présentées en rouge.

Cartographies automatiques : quelle faisabilité en domaines estuariens ?

Dans le cadre des suivis DCE, l'exploitation de méthodes automatiques de cartographie présente divers avantages en termes de temps, de reproductibilité et répétabilité. Ainsi, différentes méthodes automatiques de cartographies ont été testées : (1) morphologique basée sur l'utilisation des Bathymetric Position Index (BPI) (Wright et al., 2012), (2) sédimentaire sur la base de relation statistiques entre les données de rétrodiffusion fond de mer et les paramètres granulométriques des sédiments (De Falco et al., 2010). Dans le contexte morfo-sédimentaire complexe des domaines estuariens, la classification par BPI présente de très bons résultats et une alternative à l'approche manuelle, également envisageable lors des cartographies initiales. La cartographie sédimentaire par relation statistique est plus difficile à aborder du fait de la complexité des faciès sédimentaires estuariens, mais reste une alternative pertinente dans le cadre des cartographies de suivi.

Conclusion

L'utilisation d'un panel représentatif des méthodes, de terrain mais aussi d'analyse, a permis de mettre en évidence le potentiel des méthodes de cartographie automatique, mais aussi la complexité d'aboutir à des méthodes de cartographie harmonisée en domaine estuarien. Ces travaux s'inscrivent dans une dynamique générale d'amélioration des outils et méthodes de



cartographie et permettrons d'alimenter, en recommandations, les protocoles de suivi opérationnel à long terme de l'état des habitats benthiques estuariens.

Références

- Blanchet, H. et al. (2014), JSR, 90, pp. 95–110.
Brown, C. J. et al. (2011), ECSS, 92(3), pp. 502–520.
De Falco, G. et al. (2010), CSR, 30(18), pp. 1941–1950.
Kostylev, V. et al. (2001) MEPS, 219, pp. 121–137.
Wright, D. J. et al. (2012) NOAA Coastal Services Center, ESRI.





Deep Sea Spy : un outil collaboratif d'annotation d'images

Julie TOUROLLE^{1*}, Catherine BORREMANS¹, Marjolaine MATABOS¹

¹Ifremer, Centre de Bretagne, Unité Étude des Écosystèmes Profonds, Laboratoire Environnement Profond, ZI de la Pointe du Diable, CS 10070 – 29280 Plouzané, France.

Introduction

Le développement des observatoires fond de mer permet désormais un accès et un suivi en continu aux écosystèmes profonds avec l'acquisition, entre autres, de données d'imagerie à haute fréquence. Grâce à ces séries temporelles, peuvent être analysés le développement, les habitudes alimentaires, la croissance et la reproduction des espèces associées à ces écosystèmes profonds, en réponse aux modifications des conditions environnementales. Depuis 2010, les caméras déployées sur ces plateformes enregistrent chaque jour plusieurs séquences vidéo représentant au final des milliers d'heures de données d'imagerie, source cruciale d'information pour les scientifiques mais nécessitant un traitement manuel particulièrement chronophage. L'avènement de l'intelligence artificielle (IA) et l'accès à des machines de calcul de plus en plus puissantes ont permis le développement d'algorithmes facilitant le traitement de grands jeux de données. Néanmoins, l'élaboration de jeux de données d'apprentissage pour la détection automatique des espèces sur des images complexes est difficile à mettre en œuvre et représente un véritable défi. Ainsi, impliquer les citoyens dans le traitement des données *via* une plateforme en ligne pour l'analyse et l'annotation d'images apparaît comme pertinent et particulièrement utile pour créer de la connaissance, contribuer au développement technologique en facilitant la construction de méthodes d'IA et accroître la sensibilisation du public aux changements des écosystèmes marins.

L'outil d'annotation Deep Sea Spy

L'outil d'annotation en ligne Espion des Grands Fonds (www.deepseaspy.com) a été développé en 2016 dans le cadre du projet européen [ENVRI+](#) afin d'aider à l'analyse des 5000 heures de vidéos enregistrées par les observatoires EMSO-Açores (ride médio-atlantique) et Ocean Networks Canada (dorsale Pacifique), installés à proximité de sources hydrothermales. Cette plateforme, proposant aux citoyens de collaborer à l'annotation de ces images, a été conçue comme un jeu en ligne avec une interface attractive et ludique. Après avoir suivi le tutoriel, une mission est proposée à l'utilisateur qui est incité à passer différents niveaux (quizz) en annotant un nombre plus important d'images. Les données obtenues sont relatives à l'image (origine, date et position de l'acquisition, type de caméra), au participant (âge, pays) et à l'annotation (date, taxon, position/mesure/surface en pixels). Toutes ces informations sont stockées et exportées dans une base de données Oracle compatible avec différents standards.

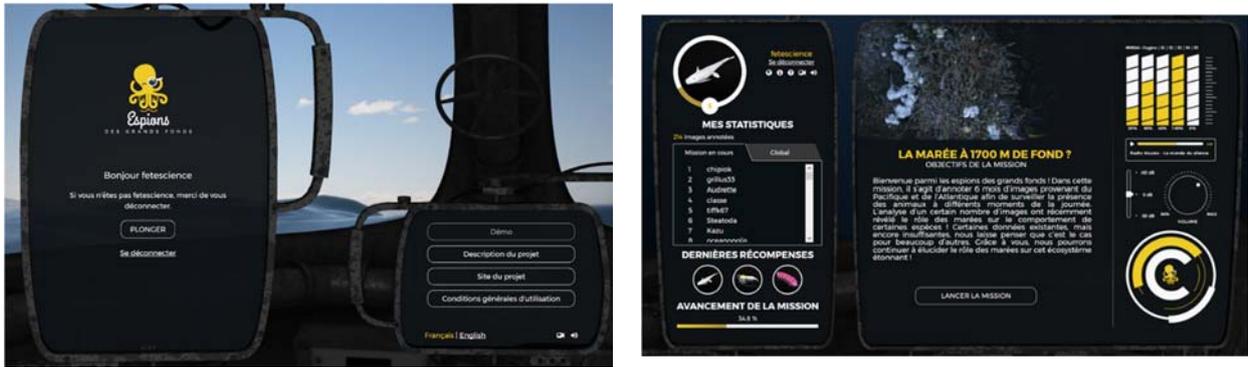


Figure 1 : la plateforme d'annotation en ligne Deep Sea Spy

Le système d'interrogation de la base de données

L'objectif final de ce projet est toutefois de répondre aux questions scientifiques à partir des données extraites des images. L'interface web « Deep Sea Spy Request » a ainsi été développée afin d'explorer l'ensemble des données collectées par la plateforme d'annotation et de permettre la sélection de données par mission, par type d'observatoire, par espèces ou par critère temporel.



Figure 2 : l'interface d'administration

Ce dernier paramètre est particulièrement complexe mais crucial pour les études temporelles basées sur l'acquisition vidéo des observatoires. Après la requête, les utilisateurs peuvent exporter les résultats des annotations dans un tableau adapté aux analyses ultérieures. Un package R « deeptools » pour le prétraitement et la validation des données a également été développé afin de valider les résultats multi-participants (analyses spatiales) et notamment de détecter les valeurs aberrantes.

Perspectives

A ce jour, les 1200 citoyens contributeurs ont analysé plus de 45 000 images, démontrant l'intérêt de cette approche. Espion des Grands Fonds s'est par ailleurs avéré un instrument idéal afin de sensibiliser la société à cet écosystème peu connu, et pourtant menacé par l'exploitation industrielle.

Par ailleurs, un enjeu important du projet Espion des Grands Fonds est le développement de techniques de machine learning pour l'annotation automatique des images avec la création d'une base de données de référence obtenue par le traitement des grands jeux de données d'images. L'objectif : étendre le projet à d'autres écosystèmes et notamment aux coraux d'eau froide du Golfe de Gascogne.

Traitement & analyse de séries temporelles de mouillages océanographiques - Exemple du projet RREX (The Reykjanes Ridge Experiment)

Kévin Balem^{1*}, Clément Vic²

¹UMR-LOPS, Ifremer, Plouzané, France.

²UMR-LOPS, Université de Bretagne Occidentale, Plouzané, France

Le projet RREX propose une étude approfondie des interactions entre les courants océaniques et la dorsale de Reykjanes afin de documenter la circulation autour et sur celle-ci. Le projet repose en partie sur un vaste ensemble de données hydrographiques in-situ qui combine données CTD, XBT, flotteurs Argo et mouillages.

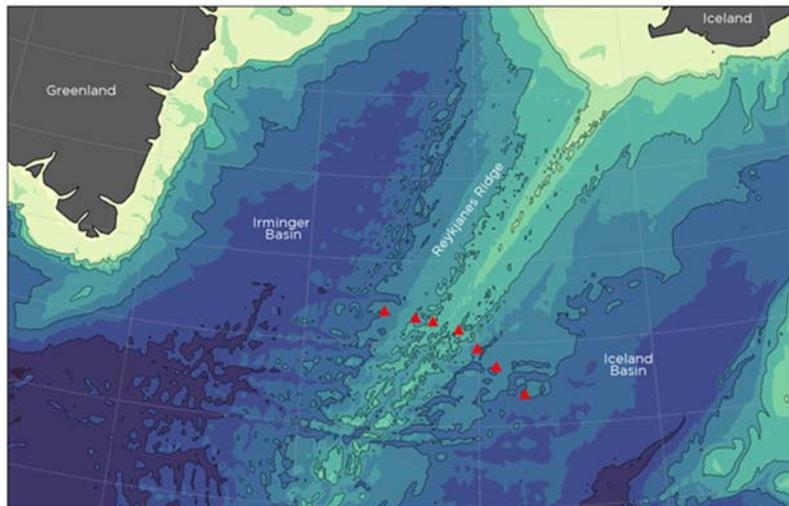


Figure 1 : 7 mouillages sur la zone d'étude RREX

Ces derniers sont constitués d'une centaine d'instruments (capteurs CTD, capteurs de température, courantmètres) déployés entre 2015 et 2017 sur 7 lignes de mouillages (figure 1), entre 300 et 2300m de profondeur. Nous présentons ici 2 outils développés au sein du LOPS pour analyser les séries temporelles issues de ces mouillages ainsi que quelques résultats scientifiques s'appuyant spécifiquement sur ces données.

Outils de traitement et d'analyse

Une toolbox Matlab (figure 2) a été développée afin d'analyser les séries temporelles issues des lignes de mouillage instrumentées. TOOTSEA (TOOLbox for Time Serie Exploration and Analysis) offre la possibilité de traiter ce genre de données grâce à des fonctionnalités telles que l'import de fichiers instrumentés, diverses corrections, de la visualisation, des statistiques, la qualification des données (automatique ou manuelle) et l'export des données aux formats standards, ce qui facilite l'analyse des données par les scientifiques.

Nous avons également développé une interface web qui rassemble les données des mouillages ainsi que les différentes stations CTD des 2 campagnes RREX (2015-2017). Cette interface offre un accès

interactif (Leaflet + Highcharts) aux données et permet plus facilement des opérations de colocalisation et de comparaison rapide.

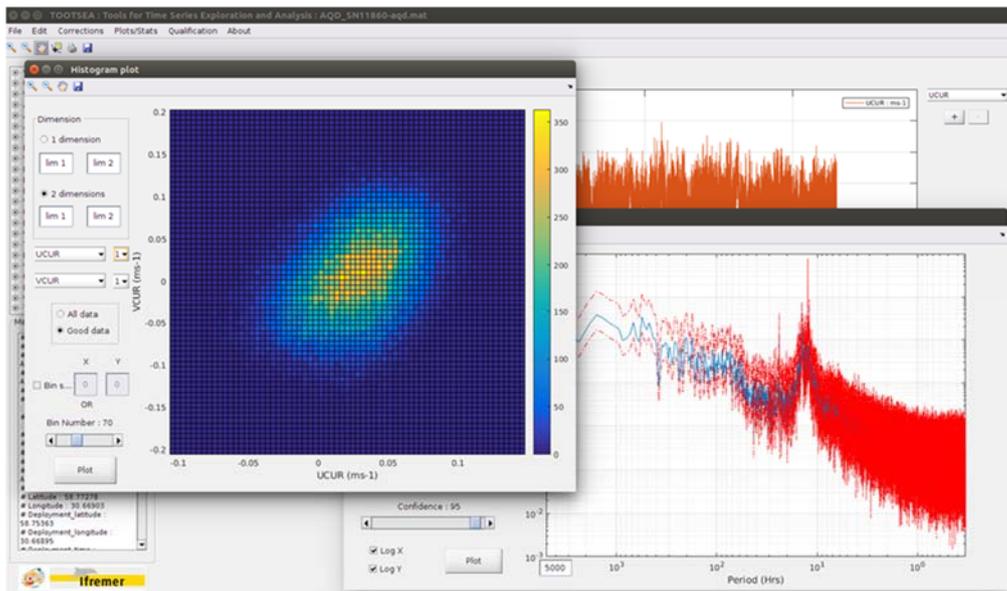


Figure 2 : Aperçu de l'interface utilisateur de la toolbox TOOTSEA

Quelques résultats scientifiques

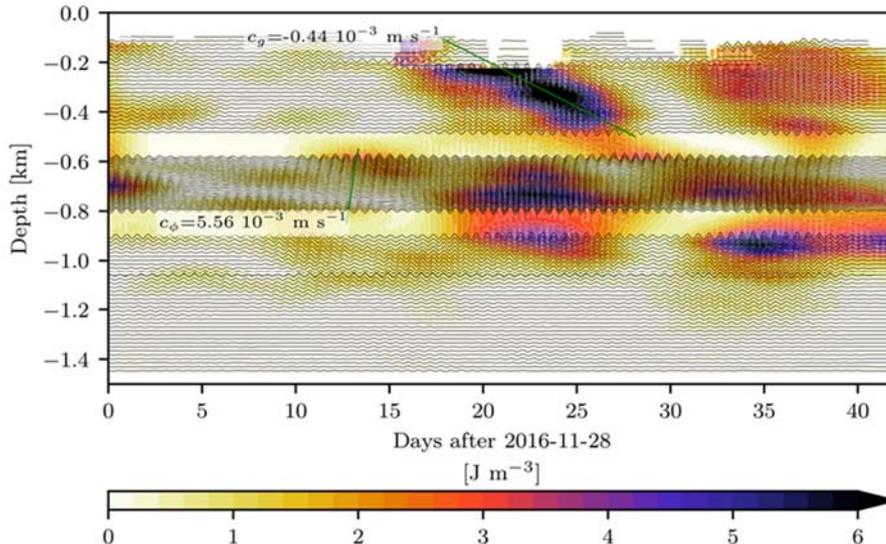


Figure 3 : Analyse énergétique des données de courant d'un mouillage

La figure représente l'énergie cinétique proche-inertielle (couleurs) et la vitesse zonale proche-inertielle (lignes noirs) déduites des données ADCP, en fonction du temps et de la profondeur. On voit la propagation des ondes de la surface vers le fond, avec une vitesse de groupe verticale c_g estimée à -0.44 mm/s et une vitesse de phase verticale c_ϕ estimée à -5.56 mm/s . Les longueurs d'onde verticale et horizontale sont estimées à 259 m et 11 km , et la fréquence de l'onde est estimée à 1.08 f (ce qui est bien 'proche-inertiel').

Identification automatique des grands corps sédimentaires en milieu estuarien par télédétection aéroportée

Laurent Froideval^{1*}, Xavier Pellerin Le Bas¹, Christophe Conessa¹, Josias Lefèvre², Kacem Chehdi², Guillaume Michel³, Sophie Le Bot³, Sandric Lesourd³, Robert Lafite³

¹CNRS, Caen, France.

²Université de Rennes 1/IETR (UMR CNRS)/ENSSAT, Lannion, France.

³UNIROUEN, Rouen, France.

Les habitats des milieux estuariens de taille moyenne restent encore mal connus et nécessitent un effort important de cartographie. Dans ce cadre, sous l'impulsion de l'Agence Française pour la biodiversité (AFB), le projet AUPASED s'intéresse à la détection automatique des grands corps sédimentaires. L'objectif principal consiste à apporter des préconisations méthodologiques tout en évaluant les incertitudes pour permettre l'établissement d'un futur cahier des charges. La Figure 1 représente les 3 estuaires démonstrateurs choisis pour ce projet : la baie de Somme, l'estuaire de l'Orne et l'estuaire du Belon. En domaine subtidal, une comparaison entre différents sondeurs et données acoustiques est effectuée : sonar à balayage, sonar interférométrique, capteur RoxAnn, sondeur de sédiments, prélèvements et vidéos. En parallèle, en milieu intertidal, des moyens de mesures aéroportés, LiDAR et hyperspectral, ont été mobilisés. Un vol dédié a été mis en place pour ce projet, impliquant : le capteur LiDAR aéroporté de l'équipe RSG du laboratoire M2C (Leica ALS60) et la caméra hyperspectrale de l'équipe SHINE-TS12M du laboratoire IETR.

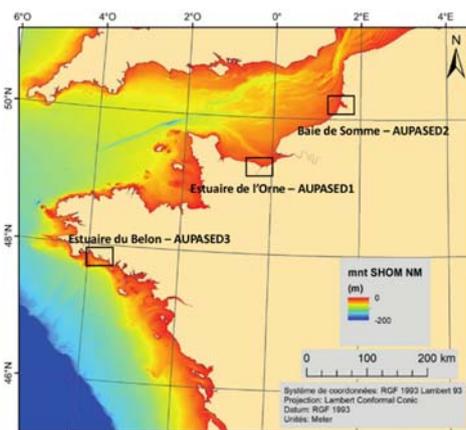


Figure 1 : zones d'études (Guillaume Michel, 2019)



Figure 2 : En haut à gauche : LiDAR couplé à la caméra hyperspectrale ; En haut à droite : Capteurs montés dans l'avion ; En bas à droite : Piper Navajo (Pixair Survey) utilisé pour ce vol



Figure 3 : données hyperspectrales sur l'estuaire du Belon

Cette mission a bénéficié d'un couplage LiDAR/Hyperspectral à 3 niveaux : partage de la plateforme aéroportée, visible sur la Figure 2, un couplage instrumental pour la synchronisation des enregistrements et un couplage au niveau du traitement des données. L'exploitation des données, représentée sur la Figure 3, se fera d'une part par une utilisation d'algorithme de machine learning supervisé pour la partie LiDAR (Pellerin Le Bas, et al. 2019, Froideval, et al. 2019) et d'autre part avec une approche non-supervisée pour la partie hyperspectrale. La cohérence des résultats des 2 jeux de données sera étudiée. D'autre part, des prélèvements au sol synchrones au vol ont été réalisés pour identifier la nature des sédiments et serviront de vérité terrain. L'approche de classification par machine learning permettra d'identifier les critères importants par type de sédiments. A terme, l'exploitation de cette mission permettra d'émettre de préconisations pour l'étude des habitats sur ce type d'estuaire. En effet, dans certains cas les données LiDAR ou hyperspectrales peuvent être suffisantes, et dans d'autres ils sera nécessaire d'avoir le couplage des 2. Tout cela impactera le coût d'acquisition, le temps de traitement et le niveau d'expertise en jeu.

Références

- Pellerin Le Bas, X., Froideval, L., & Fillâtre, N. (2019, December). Automatic Classification of Sediments in Estuarine Environment Using Airborne Lidar Point Clouds with Supervised Machine Learning Algorithms. In AGU Fall Meeting 2019. AGU.
- Froideval, L., Pellerin Le Bas, X., Fillâtre, N., Conessa, C., Monfort, O., & Benoit, L. (2019, December). Automated channel water extraction in complex areas using machine learning algorithms applied to airborne LiDAR data : the case of the Mont Saint Michel bay. In AGU Fall Meeting 2019. AGU.
- K. Chehdi, M. Soltani, C. Cariou, "Pixel classification of large size hyperspectral images by affinity propagation". Journal of Applied Remote Sensing (SPIE). vol. 8, no. 1, pp. 083567/1 – 083567/14, 2014. Best Paper Award of Theoretical Innovation 2014.

Détermination de la Limite terre-mer grâce à la connaissance de la marée : une Limite terre-mer basée sur les Plus Hautes Mers Astronomiques.

Didier BENETEAU¹, Agnès LAURE¹

¹Shom, Brest, France.

Souhaité par l'état depuis 2003, dans le cadre du CIMER (Comité Interministériel de la Mer) et du CIADT (Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire), le RGL (Référentiel Géographique du Littoral) se concrétise progressivement depuis 10 ans. La délimitation entre la terre et la mer est une de ses composantes.

Dans le cadre du groupe de travail GIMeL (Géo-Information pour la Mer et le Littoral) au sein du CNIG (Conseil National de l'Information Géographique) et après trois enquêtes nationales auprès de tous les acteurs de la mer et du littoral ; la production de la Limite terre-mer a débuté en 2020.

L'état, DGALN/DEB (Direction Générale de l'Aménagement et de la nature / Direction de l'Eau et de la Biodiversité) ainsi que l'OFB (Office Français de la Biodiversité) ont décidé de financer une partie du projet et ont confié par le biais d'une convention, sa réalisation au Shom (Service hydrographique national) et à l'IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière).

Le Shom et l'IGN s'étaient rapprochés au début des années 2000, pour réaliser le TCH (Trait de Côte Histolitt) en vue de s'accorder sur une limite terre/mer commune, nécessaire au projet Litto3D® (autre composante du RGL).

Cette limite étant non à jour, incomplète et ancienne, elle ne suffit plus aux besoins croissants des géomaticiens du littoral, en précision, résolution, description et datation.

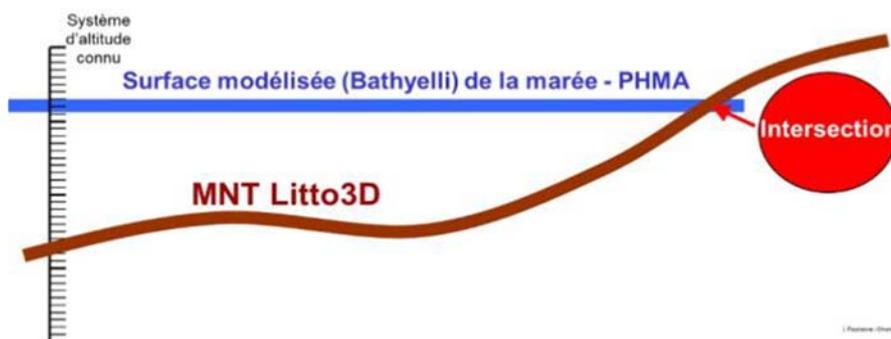


Figure 1 : Intersection des deux entités modélisées ; Surface de la PHMA et MNT (modèle numérique de terrain, Litto3D®, RGEAlti®) de l'estran ou des ouvrages artificiels

Issue de l'intersection d'un modèle numérique de terrain haute résolution (métrique), avec la surface des plus hautes mers astronomiques (PHMA) correspondant au coefficient 120 de la marée

; la Limite terre-mer ainsi générée permet d’approcher, bien plus finement la frontière physique entre les domaines terrestre et maritime.

Le Shom et l’IGN se sont partagé les 27 départements côtiers pour réaliser sur le littoral métropolitain (Corse incluse) ce référentiel à haute résolution ; linéaire d’environ 23 000 km.

Cette Limite terre-mer sera produite dans les fleuves et lagunes, jusqu’où se font sentir les effets de la marée astronomique ; une surface PHMA spécifique a été modélisée par le Shom à cette occasion.

La Limite terre-mer identifiera au passage, les trois LIMAR (Limite Administratives Maritimes composée de la LTM – Limite Transversale de la Mer, la LSE – Limite de Salure des Eaux et la LAM – Limite des Affaires Maritimes).

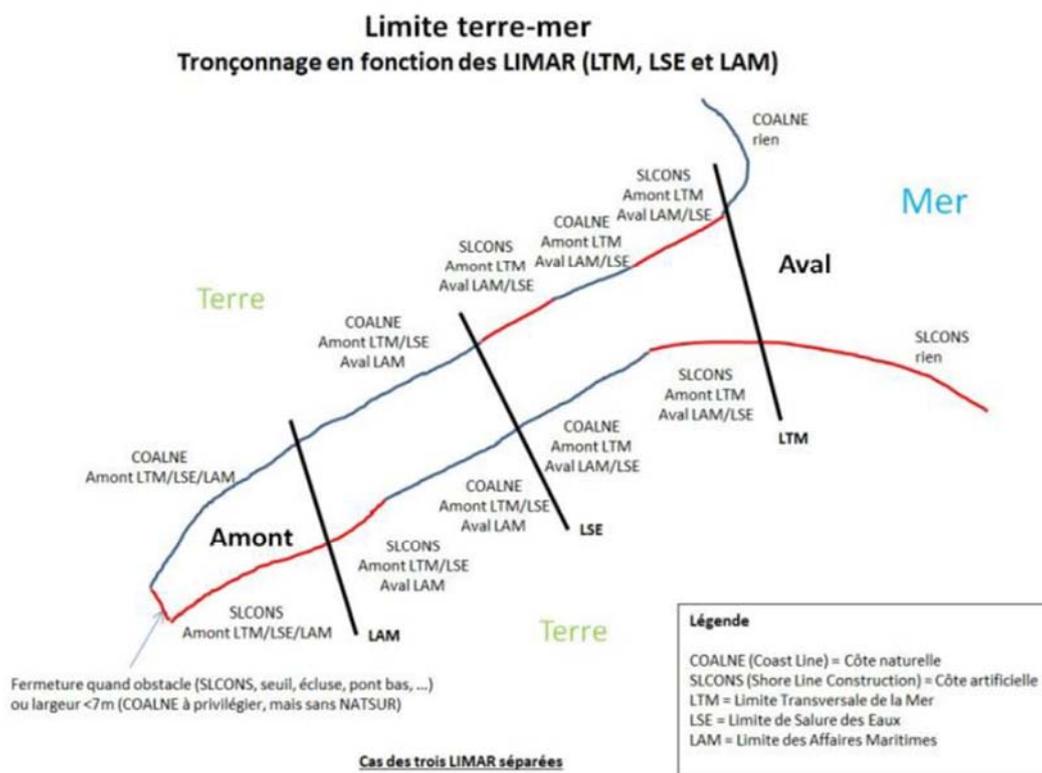


Figure 2 : identification des LIMAR au passage de la Limite terre-mer

Ce produit socle, représentera avec une précision horizontale absolue d’environ 5m, toutes les entités (reliefs naturels ou artificiels) détectées et identifiées ainsi que leur nature (sable, roche, quai, enrochements, ...). Les métadonnées associées fourniront les exactitudes planimétriques et altimétriques de chaque tronçon ainsi que la date et le type de la donnée source utilisée.

Ce produit, réalisé par département, sera diffusé (format Shape ligne et polygone) en Open data sur les portails du Shom et de l’IGN, fin 2021.

Vers un indice d'exposition à la contrainte sédimentaire : une typologie des infrastructures portuaires d'Europe du Nord-Ouest

Guillaume Chevalier¹, Eric Masson¹, Edwige Motte¹, Philippe Chagnon².

¹ Univ. Lille, Univ. Littoral Côte d'Opale, ULR 4477 – TVES – Territoires Villes Environnement & Société, F-59000 Lille, France.

² Univ. Littoral Côte d'Opale, Univ. Lille, ULR 4477 - TVES - Territoires Villes Environnement & Société, F-59140 Dunkerque, France

Les ports d'Europe du Nord-Ouest présentent une exposition variable de leurs infrastructures aux problèmes de sédimentation en fonction de leurs contextes géographiques, géomorphologiques et sédimentologiques.

Cette contribution propose un premier pas vers un Indicateur d'Exposition à la Sédimentation d'Infrastructure (IESI) qui pour objectif d'estimer la contrainte sédimentaire. Dans cette optique, il est proposé ici une typologie relative aux principales zones portuaires maritimes de l'Europe du Nord-Ouest. Cette typologie est produite à partir de l'agrégation de données (1) SIG et statistiques européennes (EuroStats (GISCO), Agence européenne de l'Environnement (bases de données WISE et Eurosion), One Geology) et (2) géomorphologiques (littorales, estuariennes, fluviales et portuaires), élaborées par morphométrie et par photo-interprétation d'images aériennes afin de définir le contexte géomorphologique et sédimentologique principal de chaque infrastructure portuaire.

Dans un premier temps, une analyse à correspondance multiple a été réalisée en prenant en compte l'ensemble des paramètres recueillis, un score factoriel étant ainsi attribué à chaque zone portuaire. Ensuite, une analyse ascendante hiérarchique sur ces scores factoriels a été produite afin de dégager une classification.

De cette analyse ont été déterminées dix (10) classes (notée de C1 à C10). Les zones portuaires de la classe 1 (C1) peuvent être caractérisés par une présence en fond d'estuaire, reposant sur une lithologie superficielle datant du Cénozoïque et sédimentaire, sur une côte à plage, une source de sédiments fluviale et un bassin versant ayant une altitude et une pente moyennes similaires. La classe 2 (C2) montre aussi une présence de la zone portuaire en fond d'estuaire et reposant sur un Cénozoïque sédimentaire, mais se distinguant de C1 par la présence d'un canal d'accès et d'une source de sédiments principalement continentale, et dans un contexte sédimentaire aggradant. La classe 3 est caractérisée quant à elle par une lithologie superficielle sédimentaire, une présence sur une côte à plage, et une source de sédiments principalement côtière. Les zones portuaires de la classe 4 (C4) se reposent sur une lithologie Cénozoïque le long d'une côte à plage, avec un exutoire de largeur supérieure à 150 mètres, présente un contexte sédimentaire aggradant voire stable et ont la particularité de ne pas avoir d'activité économique liée au domaine de la chimie. Une lithologie superficielle sédimentaire, le long d'une côte à plage, une source de sédiments

principalement fluviale/côtière, un contexte érosif, sont les caractéristiques de la classe 5 (C5). La classe 6 (C6) regroupe des zones portuaires reposant sur une lithologie superficielle sédimentaire, présentant un contexte de sédimentation aggradant, et n'ayant pas d'activités dominantes dans les domaines du FRET et de la construction/maintenance. La classe 7 (C7) a la particularité de n'être représentée que par la zone portuaire de Caen, les caractéristiques de ce port représentant donc au mieux cette classe (présence dans un fond d'estuaire, la présence d'un canal d'accès, une source de sédiments continentale et fluviale, un contexte de sédimentation aggradant...). Les zones portuaires de la classe 8 (C8) se trouvent dans un fond d'estuaire au sein d'un grand bassin versant, reposant sur une lithologie sédimentaire datant du Cénozoïque le long d'une côte à plage, ont une distance exutoire/port supérieure à 40 kilomètres et une source principale de sédiments fluviale, et, concernant les activités économiques dominantes, incorporent celles dans les domaines de la chimie et de la construction/maintenance mais ne montrent pas d'activités liées aux conteneurs, aux géo-ressources, à la plaisance ou au transport de passagers. Les zones portuaires de la classe 9 (C9) ont en commun une source principale de sédiments côtière/continentale et un bassin versant associé qui est d'ordre 2 avec une superficie d'une dizaine de kilomètres carré. L'ultime classe (C10) comprends des zones portuaires se trouvant le long d'une côte à falaise avec une érosion stable, dont l'activité économique dominante est le transport de passagers (avec une absence totale d'activités liées aux conteneurs, à la chimie, aux géo-ressources, à la plaisance, à la construction/maintenance et aux véhicules automobiles.

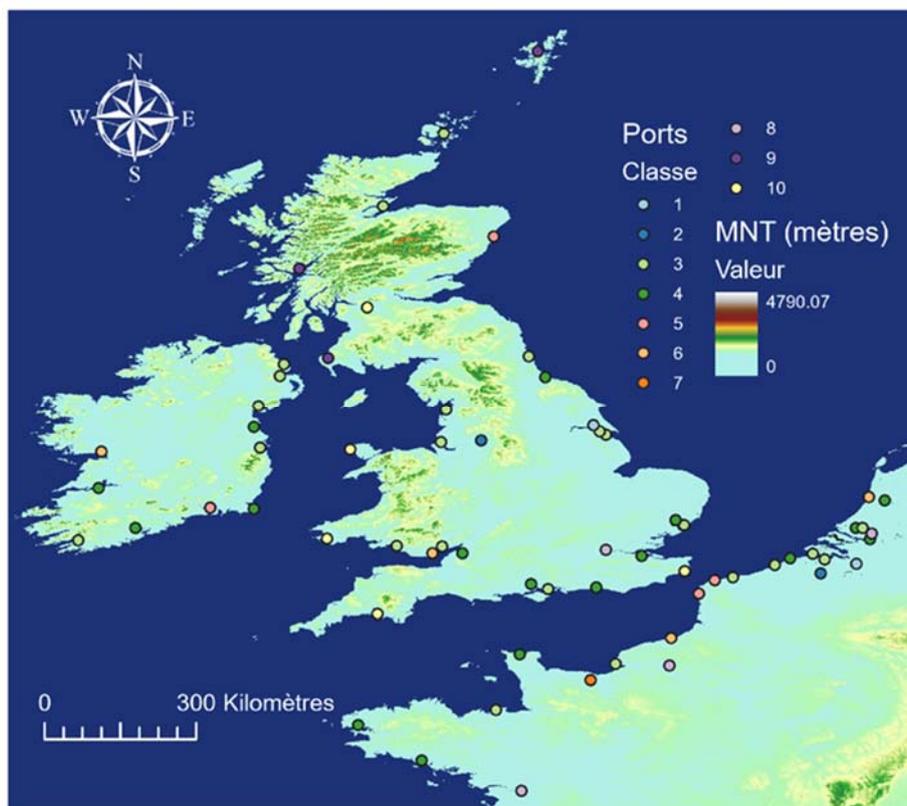


Figure 1 : Zone d'étude sur fond de modèle numérique de terrain et représentant les zones portuaires classées après analyse à correspondance multiple et analyse ascendante hiérarchique.



Cette typologie basée sur des analyses statistiques de paramètres géologiques, géomorphologiques et économiques est un premier pas vers l'obtention d'un indicateur géographique et prospectif de vulnérabilité, qui se veut traduire la contrainte sédimentaire sur la logistique et l'activité commerciale des zones portuaires de l'Europe du Nord-Ouest.





CALNAGIRONDE au fil de l'eau : une équation entre la mesure et le besoin en modélisation de la marée dans l'estuaire de la Gironde

Gwenaële Jan^{1*}, Florent Lyard², Pascal Bonnefond³, Nadia Ayoub², Damien Allain², Michel Calzas⁴

1 Shom,

2 CNRS/LEGOS,

3 Observatoire de Paris - SYRTE,

4 DT-INSU

Un contexte :

Le cadre de l'étude consiste à étudier la dynamique de l'estuaire de la Gironde afin d'améliorer la modélisation de la déformation de l'onde de marée se propageant dans ce milieu contraint. L'expérience CalNaGironde (2018) se centre sur l'intérêt de mettre en équation le lien entre la mesure et le besoin de prévision de hauteur d'eau. L'étude de la sécurité de la navigation le long de la Gironde et du risque de submersion, campent le besoin de cette étude.

La Gironde sera une scène d'observation pour les programmes de Calibration/Validation des missions spatiales de type SWOT (CNES/NASA). Un référentiel vertical précis est une clef du projet car les applications liées à la hauteur d'eau et l'exigence portée sur l'incertitude associée à la prédiction de la marée font du référencement vertical de hauteur d'eau une nécessité. Ce référencement vertical et la dynamique en estuaire doivent permettre une prédiction d'amplitude de marée dont l'écart-type sur l'amplitude est inférieur à 0.10 m et le déphasage, inférieur à 10 minutes.

Un besoin d'amélioration de la prédiction de la propagation de l'onde de marée en amont de Fort Médoc a été mis en évidence par les statistiques de prédiction de marée et surcotes de pleine et basse mer (PM, BM) (projet Shom & Grand Port Maritime de Bordeaux). Des écarts instantanés entre hauteur de marée prédite et observées, ont montré à Bordeaux, que 40 % des écarts en hauteur d'eau sont entre +/-0.10 m (sur 5 ans de données non continues). D'Ambès à Bordeaux, la marée prédite place fréquemment une pleine mer supérieure à l'observation et une basse mer qui parfois (pas systématiquement) ne descend pas jusqu'à la basse mer observée. Cela s'explique par la sensibilité de la prédiction au nombre de composantes harmoniques utilisées et par le fait que la réalité terrain met en jeu d'autres dynamiques comme le vent, la pression atmosphérique, les effets tridimensionnels de la dynamique du fleuve. C'est pourquoi un objectif de l'étude est de mieux modéliser la propagation de l'onde marée. Il s'agit de reproduire, au plus près de la réalité, l'accentuation de l'asymétrie entre le montant et le perdant par forts marnages. De fait, prédire de façon plus réaliste les étales de PM/BM.

Réalisation :

Les premiers résultats de cette étude s'appuient sur le réseau de mesures existant entre l'embouchure de la Gironde et Cadillac (marégraphes, stations GNSS fixes et mesures de débit du fleuve). Ils le complètent, le temps de la campagne, par de la donnée GNSS bouée et nappe tractée (INSU, Université de la Rochelle), par radar altimètre embarqué à bord et mis en oeuvre par de nouveaux modes opératoires (Fig 1).

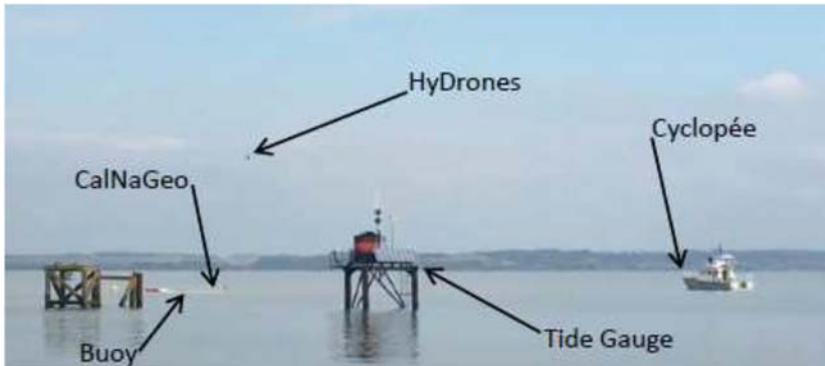
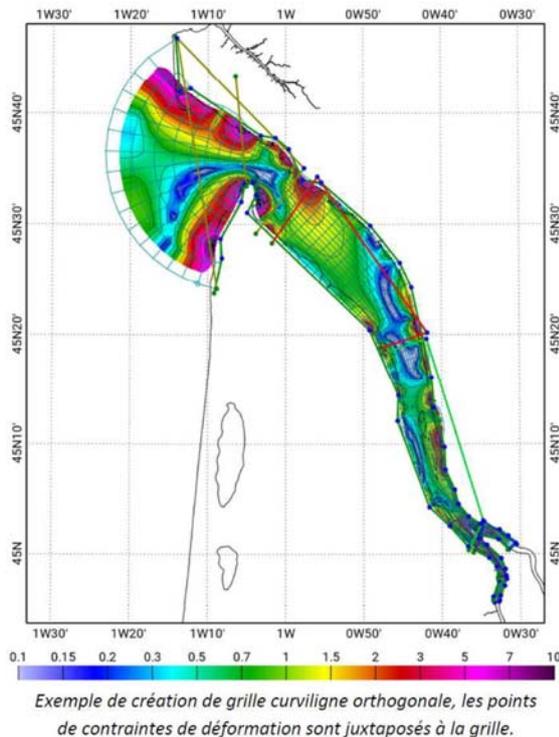


Figure 1: Dispositif instrumental in situ à Laména: Déploiement de la nappe GNSS, Radars embarqués à bord de la vedette et sur drone, bouée GNSS (Crédit photo partenaires de la campagne CalNaGironde 2018).



Un modèle numérique de dynamique de l'océan a été construit, paramétré, calibré et validé pour exploiter ces mesures (Fig. 2).

Figure 2 (Ci-contre): Exemple de maillage du modèle dynamique de marée (Etude Marée Estuaire, Shom, LEGOS).

Les résultats en condition tidale et faiblement tidale seront présentés dans le poster avec un premier constat sur la validation de la simulation numérique, en particulier pour Bordeaux et Laména. (Ex: à Bordeaux Figure 3) où le phasage de l'onde de marée est amélioré.

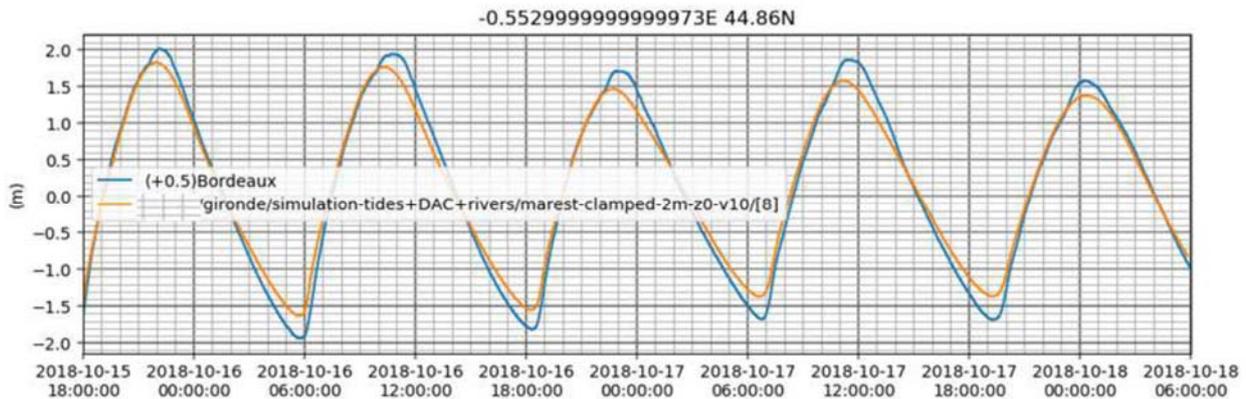


Figure 3 : Hauteur d'eau (m) référencée sur le niveau moyen de l'étude (orange) et observée (bleu) (Projet MaEst Shom, LEGOS, et partenaires de la campagne CalNaGironde2018 (Cnes, DT Insu, Legos, Shom, Syrte, et al.) ; à Bordeaux en ajoutant les mesures du Grand Port Maritime de Bordeaux).

En zone amont du fleuve (à l'Est de Bordeaux), les résultats montrent la capacité du modèle à reproduire la déformation de l'onde de marée, perturbée par la crue et sous contrainte atmosphérique. Ce point est important car il ouvre sur la capacité de prévoir la hauteur d'eau en milieu contraint comme un estuaire. Il reste encore à améliorer ce résultat.

A partir de l'analyse harmonique en 10 points marégraphes de Gironde, l'écart-type de la différence d'amplitude entre modèle et observations est de l'ordre de 0.03 m. C'est une amélioration du score obtenu en première étude (§ Un besoin). Le constat porté sur la déformation de l'onde de marée et la hauteur d'eau (§ un contexte, un besoin) trouve une explication qui, si elle peut être complétée, améliore les prévisions de hauteurs d'eau en milieu contraint.

Remerciements à la DT INSU (C. Brachet, C. Drezen, L. Fichen, A. Guillot, E. Poirier, B. Blanke), Energie de la Lune (C. Giry), CNES, Port Maritime de Bordeaux, UniCaen, Circle, La DREAL Aquitaine . La campagne a été co-financée par le CNES, la DGA (étude amont PROTEVS, piloté par le Shom dans le projet MarEst) et par la DT-INSU.





Le service Biocoast : imagerie satellitaire et machine learning pour la cartographie et le suivi des végétations naturelles des milieux aquatiques et terrestres.

B.Beguet^{1*}, V.Lafon¹, C.Curti¹, O.Regniers¹, A.Dehouck¹, M-L.Benot², A.Lefouler³

¹I-Sea, Mérignac, France.

²Biogeco-INRA, Pessac, France.

³CBNSA, Audenge, France.

Le service Biocoast est un outil de nouvelle génération développé par la société I-Sea pour la surveillance de la biodiversité et l'aide à la prise de décision en zone littorale. Un processus de cartographie automatisé basé sur l'exploitation de séries temporelles d'images satellites de haute et très haute résolution (telles que Pléiades, Sentinel-2) et les dernières approches d'apprentissage automatique telles que DeepLearning a été mis au point afin de cartographier les végétations naturelles des milieux aquatiques et terrestres. Ce service a été développé grâce au soutien et au financement du gouvernement français (Programme Investissement d'Avenir) et de plusieurs agences environnementales (Agence Française pour la Biodiversité, Conservatoire du Littoral) et des gestionnaires d'aires marines protégées. Le cœur de notre processus de cartographie est l'articulation de deux piliers principaux:

- Une discussion itérative avec les utilisateurs finaux et les spécialistes de la végétation permet de définir et d'affiner la typologie ciblée en fonction du potentiel des données de terrain (disponibles ou spécifiquement collectées) et du potentiel des images ou séries temporelles d'images disponibles.
- Une stratégie d'analyse d'image et d'apprentissage automatique adaptée au problème. En fonction du problème de l'usage visé, l'accent peut être davantage mis sur l'analyse temporelle (phénologie de la végétation) ou sur l'analyse spatiale (formes et les textures).

Ce service a été créé grâce au soutien et au financement du gouvernement français (Programme Investissement d'Avenir) et de plusieurs agences environnementales (Agence française pour la biodiversité, Conservatoire du Littoral) et de gestionnaires d'aires marines protégées. Il a été testé et validé sur cinq sites d'études différents en produisant des cartographies fines et pertinentes, et s'applique aujourd'hui sur des milieux naturels différents (communautés aquatiques des étangs, milieux forestiers).





Un portail européen pour centraliser l'accès à la donnée sur les habitats benthiques : EMODnet Seabed Habitats

Sabrina Agnesi², Aldo Annunziatellis², Lewis Castle³, Jordan Pinder³, Eimear O'Keeffe⁴, Eleonora Manca³, Mickaël Vasquez^{1*}

*Correspondant (Mickael.Vasquez@ifremer.fr)

¹Ifremer, Brest, France ;

²ISPRA, Rome, Italie ;

³JNCC, Peterborough, Royaume-Uni ;

⁴Marine Institute, Galway, Irlande

Introduction

EMODnet Seabed Habitats est un des sept projets thématiques d'EMODnet (European Marine Observation Data network, réseau de données européennes d'observation du milieu marin). A l'image des autres projets il a été créé en 2009 et vise à i) collecter et/ou indexer les jeux de données existant en Europe, et les mettre à disposition au moyen d'un portail, et ii) constituer des produits à valeur ajoutée à partir des données collectées en (i).

EMODnet Seabed Habitats est avant tout connu pour son produit phare, EUSeaMap. En réalité, son action est bien plus large. Il fournit un point d'accès unique aux données et produits européens sur les habitats des fonds marins, car il rassemble les données provenant de sources diverses, les standardise et les publie sous forme de produits de données interopérables.

Collecte de données existantes

Les partenaires d'EMODnet Seabed Habitats collectent des cartes d'habitats (polygones), des données d'observation (points) et des cartographies issues de modèles prédictifs de distribution spatiale d'habitats (rasters). Les cartes sont fournies avec un score de confiance.

Les cartes d'habitats et les données ponctuelles sont acceptées quelle que soit la classification utilisée. Lorsque cela est possible, elles sont traduites dans un ou plusieurs systèmes de classification standard qui sont utilisés à l'échelle internationale et régionale, notamment EUNIS et l'annexe I de la Directive "Habitats".

Constitution de produits

EUSeamap

Produit emblématique du projet, cette cartographie prédictive des habitats des mers européennes est mise à jour tous les 2 ou 3 ans. Les habitats sont classés selon la classification EUNIS (version 2007-11), ainsi que selon les grands types d'habitats benthiques définis dans le cadre de la DCSMM (décision 2017/848 de la Commission). Une cartographie de confiance est fournie avec EUSeaMap.



Variables environnementales qui influencent la distribution spatiale des habitats

Pour alimenter EUSeaMap en données environnementales, EMODnet Seabed Habitats a agrégé des données spatialisées provenant de nombreuses sources de données telles que Copernicus ou l'Agence Spatiale Européenne. Ces produits sont disponibles gratuitement. Parmi celles-ci on peut citer une couche raster couvrant toutes les eaux européennes sur l'atténuation de la lumière et la lumière au fond

Produits composites

À partir des cartes existantes qui ont été collectées, des compilations ont été réalisées sous la forme de couches SIG harmonisées pour trois des variables océaniques essentielles (communément connues sous le sigle EOVS, pour Essential Ocean Variables), définies par le « Global Ocean Observing System » (GOOS). Les trois variables prises en compte sont les suivantes :

- coraux durs vivants,
- herbiers,
- et canopée de Macroalgues.

A venir ...

Dans les deux ans qui viennent, le projet va continuer à améliorer son produit phare EUSeaMap en intégrant les dernières mises à jour des données sur le substrat des fonds marins fournies par EMODnet Geology. Par ailleurs, si la nouvelle version d'EUNIS est publiée à un moment adéquat pour le projet, la carte sera traduite dans cette version.

Au fil des années, EMODnet Seabed Habitats a rassemblé une collection de cartes et données ponctuelles d'habitats. Bien que de nouveaux jeux de données vont être intégrés dans cette collection hébergée par le projet, il est probable qu'il va y avoir dans le futur un nombre croissant de données d'habitats hébergées par d'autres centres d'assemblage thématiques (TAC) tels qu'OBIS. Il est donc important de pouvoir extraire les données pertinentes de ces TACs pour les afficher sur le portail EMODnet. Dans la mesure du possible, ces données seront accessibles par le biais de connexions de type machine-to-machine.

Les produits de données montrant l'étendue de trois variables océaniques essentielles (coraux durs vivants, herbiers et macroalgues) en Europe seront complétés. La collecte de nouvelles cartes et données ponctuelles permettra de créer d'autres produits de données montrant l'étendue et la répartition des habitats importants en Europe. Afin de créer des produits utiles, l'intention est de consulter les parties prenantes telles que les conventions des mers régionales et les groupes de travail du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM).



Planification de l'espace maritime : vers un cadre commun européen de partage d'information

Dominique CARVAL¹

¹SHOM, Brest, France.

La politique maritime intégrée européenne est une approche globale de toutes les politiques de l'UE relatives à la mer. Elle est basée sur la croissance économique liée au domaine maritime durable. La Planification de l'Espace Maritime (PEM) est un des cadres de la politique maritime intégrée européenne, défini par la Directive EU 2014/89 du 23 juillet 2014. Elle a pour objet de planifier où et quand les activités humaines se déroulent en mer, en garantissant une gestion aussi efficace, sûre et durable que possible. Les Etats Membres établiront pour le 31 mars 2021 au plus tard des plans des eaux sous leur juridiction. Ces plans seront révisés au minimum tous les 10 ans. L'établissement de ces plans est issu d'un process complexe qui considère les besoins de tous les usagers du domaine maritime, les interactions entre usages et entre activités et environnement, ainsi que la coopération internationale et les dynamiques associées.

La France répond à ces exigences en préparant 4 Documents Stratégiques de Façade, pour les zones Manche Est – mer du Nord, Nord Atlantique – Manche Ouest, Sud Atlantique et Méditerranée. Ces plans intégreront également la réponse aux exigences de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Ainsi PEM et DCSMM partageront les mêmes calendriers d'évaluation et plans d'actions et de mesures et de suivi.

Le Shom contribue à leur développement en participant aux instances nationales de concertation des acteurs maritimes, ainsi que par la fourniture d'information de la connaissance de l'environnement marin et des limites maritimes. Il produit également des expertises et études pour la planification des Energies Marines Renouvelables (EMR).

Au niveau européen, le Shom participe aux projets transfrontaliers qui rassemblent la France et les pays qui partagent les mêmes bassins maritimes. C'est la prise en compte des enjeux de nature transnationale dans le process de planification que le Shom développe, en mettant à disposition, et en opérant des infrastructures de données marines spatiales. L'utilisation de ces outils favorise le partage entre Etats de l'information relative à la PEM, l'identification des données fondamentales à partager entre Etats, et des données manquantes et barrières techniques à l'interopérabilité des données et portails.

Dans ce contexte, en réunissant planificateurs de l'espace marin et experts de la donnée géographique, c'est un cadre commun d'échange de données pour la PEM, à l'échelle des bassins maritimes, qui est initié par le Shom. Les résultats de ces travaux alimentent les réflexions stratégiques de la Commission européenne sur l'organisation et le partage des données pour la PEM, via les outils européens de partage de la donnée (INSPIRE, EMODnet...). Celle-ci a créé en 2020 un groupe de travail européen sur les données de la PEM, dont le Shom est membre.





Proxymae, plateforme d'aide à la décision pour le suivi et la surveillance environnementale du milieu marin

Alexandre Cerruti¹, Guillaume Jacq¹

¹ Setec in vivo, La Forêt-Fouesnant, France.

Setec in vivo est un bureau d'études spécialisé dans le domaine marin, littoral et aquatique qui réalise des études de la conception à la Maîtrise d'OEuvre. Spécialistes de l'exploitation et de l'analyse des données, notamment cartographiques (SIG), nous accordons une importance toute particulière à la valorisation et à la capitalisation de la donnée pour mener à bien les études sur le milieu marin (aires marines protégées, gestion de la ressource halieutique, énergies marines renouvelables, trafic maritime, milieu portuaire...).

Il est important de prendre en considération de plus en plus d'informations à l'ère de la data maritime afin de répondre aux exigences environnementales d'un projet (évaluation des risques, surveillance environnementale, analyse stratégique...). Cela débute dès l'étude d'impact et se poursuit sur toute la durée de vie du projet, lors des phases de construction, d'exploitation et de démantèlement. A chaque étape, le suivi de l'environnement s'intègre dans les décisions qui sont prises. Un suivi environnemental génère une quantité importante d'information qu'il convient d'organiser et de valoriser en fonction des différents acteurs d'un projet (maître d'ouvrage, entreprise de travaux, bureau d'études...).

La surveillance environnementale est un élément clé pour respecter des objectifs de gestion environnementale. Il est primordial de disposer de données de qualité pour avoir une perception approfondie de l'environnement marin.

L'arrivée d'une nouvelle vague de technologies automatisées, combiné à l'évolution des mentalités permet de s'orienter vers un mode de surveillance plus affiné et plus efficace. Traditionnellement réservées aux spécialistes, les technologies de l'information se sont largement démocratisées ces dernières années, évoluant au rythme d'internet. Ainsi, il est aujourd'hui possible de concentrer les données, de les synthétiser et de les valoriser pour ensuite les distribuer aux différents acteurs concernés, avec différents niveaux d'accès.

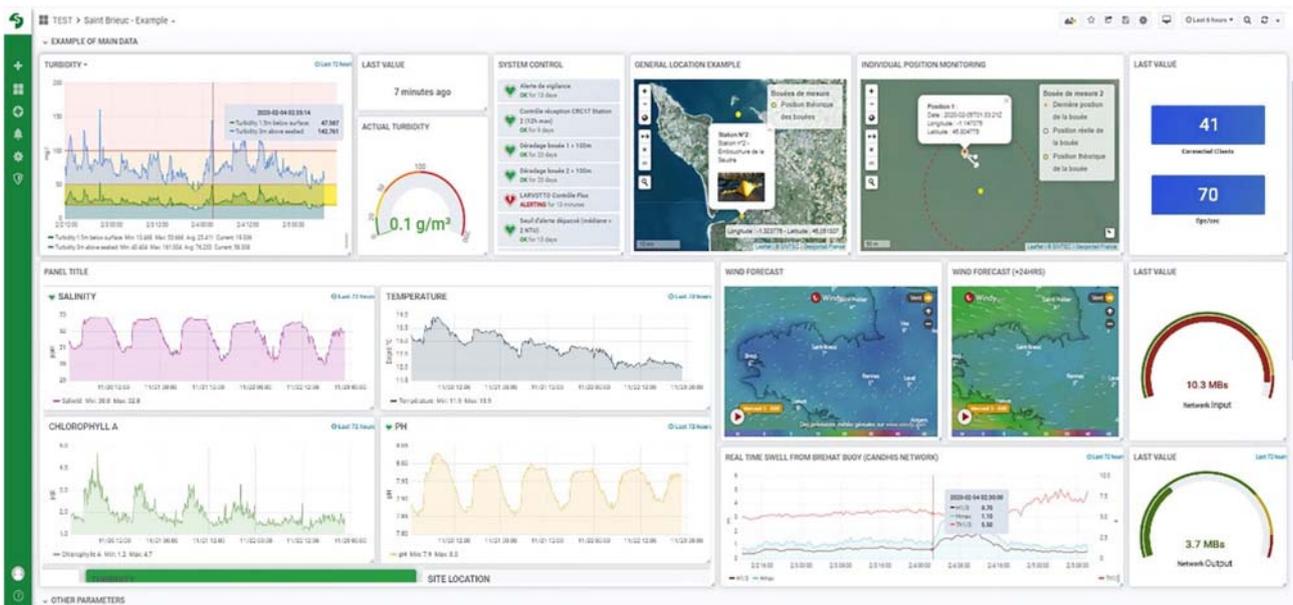
La plateforme Proxymae (powered by SIVTEC), dédiée au suivi et à la surveillance environnementale du milieu marin, assure la collecte automatique de données, leur traitement analytique et leur agrégation (séries spatio-temporelles, données issues de modélisation, indicateurs multivariés...), au sein d'un environnement dédié. Proxymae permet de collecter les informations transmises par tout type de capteurs ou centrales d'acquisition, mais également issus de bases de données externes (SHOM, IFREMER, IGN, COPERNICUS...). Evolutive et intégrée, elle offre un espace pour la valorisation de données thématiques. Elle offre également des outils de surveillance avec la possibilité de déclencher des alertes en fonction de paramètres environnementaux spécifiques et

de consigner le tout dans des rapports automatiques. Le système de gestion des évènements en temps réel peut être attribué soit à la gestion d'alertes pour les évènements issus d'une matrice de décision (contrôle des flux, qualité des données, anomalies, dépassements de seuil environnemental...), soit à la gestion d'actions spécifiques en lien avec le projet (maintenance, projection sur un suivi ponctuel...). Il est possible de compléter et d'ajouter du contexte à ces informations en associant des documents textuels, des photos, des formulaires, des plans, d'autres données thématiques, le tout localisable sur une carte interactive.

L'objectif de Proxymae est de convertir, l'ensemble des données thématiques d'un projet, en prédictions utiles : donner du sens aux données, en comparant les mesures et les évènements entre eux, par des analyses spatiales et des analyses statistiques.

L'utilisation des technologies géospatiales permet également d'appréhender les relations complexes qui existent entre une localisation donnée et les paramètres mesurés ou modélisés. Sur une ou plusieurs pages, sous la forme de tableaux de bord intégrant des cartes interactives, l'utilisateur bénéficie d'une vue d'ensemble claire et simplifiée de toutes les données du projet. Ainsi en synthétisant l'information sur une seule plateforme, le processus décisionnel est accéléré, adapté à chaque projet. Proxymae offre des tableaux de bord et rapports automatiques personnalisés, adaptés aux besoins qui peuvent être partagés pour faciliter la collaboration avec toutes les parties prenantes du projet.

Notre vision est que la gestion de ces données doit être simple et accessible depuis internet. Setec in vivo met à disposition des équipes de professionnels, ses capacités d'expertise et de conseil en environnement marin, au travers de sa plateforme d'aide à la décision : Proxymae.



SURVAL – Diffusion des données de l’observation marine et littorale

Gaétane DURAND¹, Sylvain VANDOOLAGHE¹

¹Ifremer, ODE/VIGIES, Nantes, France.



Surval

BASE DE DONNÉES QUADRIGE
Description de l’environnement marin et de la ressource conchylicole (hydrologie, chimie, biologie, déchets...)
Système d’information de référence sur les eaux littorales et ouverture aux données marines
Référentiels nationaux SANDRE et SAR
12 500 000 résultats disponibles
350 utilisateurs

JOB TALEND
Programme de mise à jour quotidienne
← Sélection
→ Manipulation
→ Simplification

BASE DE DONNÉES SURVAL
Base de données Surval dédiée à l’extraction des données brutes validées sans moratoire depuis la base Quadrige

OUTILS CARTOGRAPHIQUES SEXTANT
• Mise en forme cartographique
• Génération des web services géographiques standardisés
• Gestion des droits

SITE INTERNET
Encapsulation de l’API Sextant pour donner accès aux données Surval, sous forme de cartographie interactive

ZOOM - DONNÉES PAR PARAMÈTRE
• Visualisation cartographique et graphique
• Données téléchargeables

La licence ouverte V 2.0 d’Etatlab s’applique aux données Quadrige validées sans moratoire

Le contenu de Surval s’ouvre à toutes les typologies de données bancarisées dans Quadrige. Les données brutes validées sans moratoire sont accessibles par tout public conformément aux principes de diffusion des données publiques et environnementales dans le cadre du SIE1 et du SIMM2, dont Quadrige est une brique.

Le poster présente techniquement l’outil Surval (API Sextant) et liste les types de données disponibles.

Quadrige bancarise de nombreux paramètres de description de l’environnement marin et de la ressource conchylicole (hydrologie, chimie, biologie, déchets...). Il est le système d’information de référence sur les eaux littorales et s’ouvre aux données marines. Il s’appuie sur les référentiels nationaux du SANDRE3 et du SAR4.

Toutes les nuits les données Quadrige sont extraites et intégrées dans une base de données Surval dédiée à l’extraction. Les outils cartographiques Sextant permettent de mettre en forme les données et de générer les services web géographiques standardisés.

L’API Sextant est encapsulée dans un site internet, pour exemple <https://wwz.ifremer.fr/surval>, pour donner accès aux données Surval sous forme de cartographie interactive. Nous vous invitons à consulter le produit Données par paramètre.



1 : Système d'Information sur l'Eau

2 : Système d'Information Milieu Marin

3 : Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau

4 : Service d'Administration des Référentiels marins

Conception : S. Vandooghe et G. Durand/Ifremer/ODE/VIGIES