



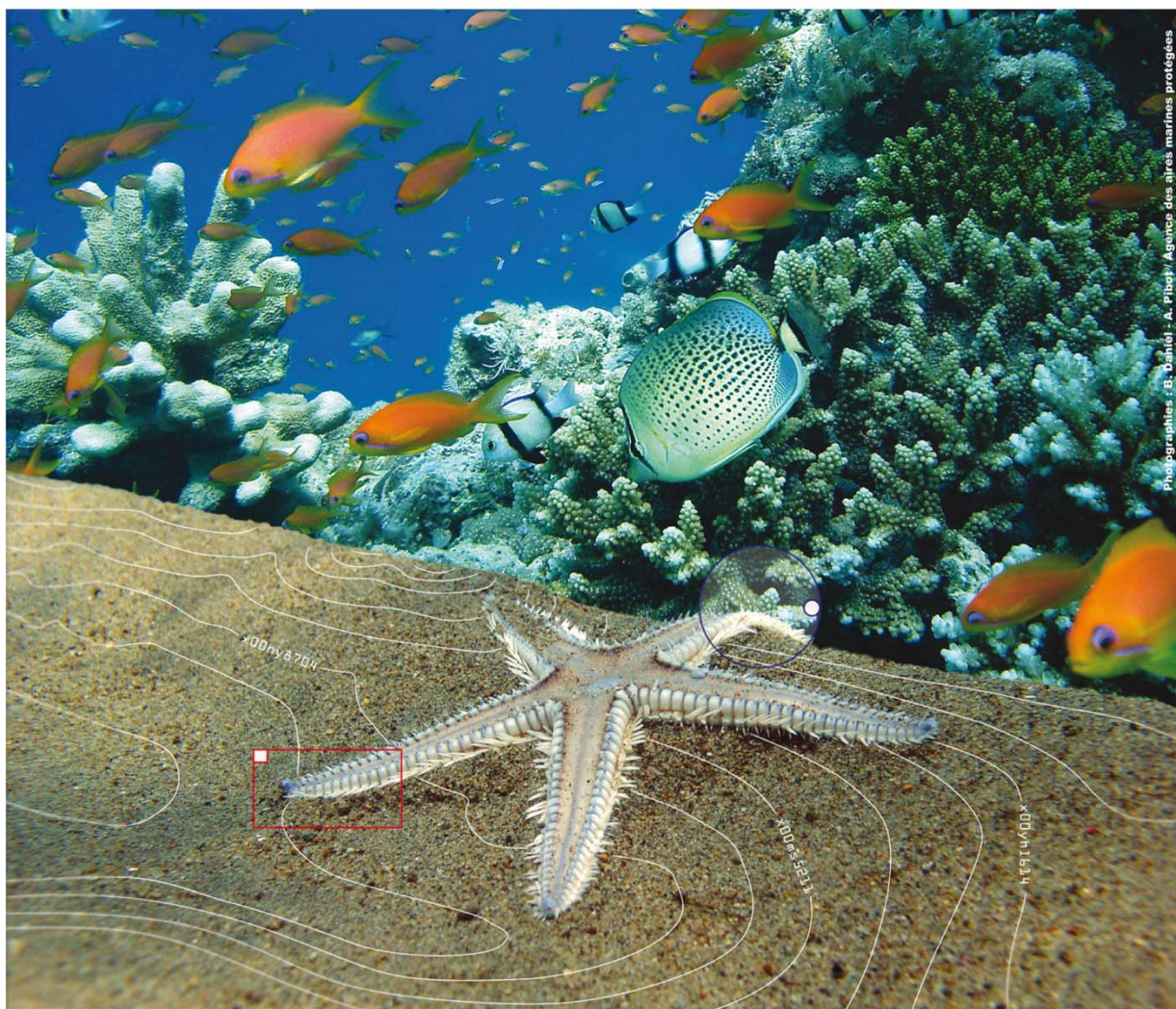
Carhamb'ar
www.carhambar.org



Agence des
aires marines protégées

CARtographie

des **H**Abitats **M**arins **B**enthiques : de l'**A**cquisition à la **R**estitution



2 ème édition : Brest, du 26 au 28 mars 2013

L'édition 2013 de CARHAMB'AR est co-organisée par l'Ifremer et l'Agence des aires marines protégées.



L'organisation bénéficie également du soutien du projet interreg IV MeshAtlantic, de la Région Bretagne, du Conseil Général du Finistère et de Brest métropole océane :



Comité d'organisation

Touria Bajjouk (Ifremer)
Steven Piel (Agence des aires marines protégées)
Jacques Populus (Ifremer)
Pierre Watremez (Agence des aires marines protégées)

Le présent document est disponible sur le site web dédié : <http://www.carhambar.org>

CARHAMB'AR

CARtographie des HABitats Marins

Benthiques : de l'Acquisition à la Restitution

Ifremer – Centre de Bretagne, 26-28 mars 2013

Sommaire

Communications orales

Session 1 : Typologie des habitats

Typologie des habitats benthiques marins en environnement macrotidal : approche pluridisciplinaire dans la partie centrale de la Manche	8
Typologie des habitats benthiques intertidaux de substrat meuble de la région Nord-Pas-de-Calais	12
Typologie et cartographie des habitats marins profonds méditerranéens, un nouvel éclairage apporté par la campagne MEDSEACAN	18
A cold-water coral biota classification scheme for ecosystem based management of the deep sea.....	22
Développement et utilisation des typologies d'habitats marins pour l'ultramarin français dans les programmes de connaissance et de conservation	24

Session 2 : Outils et méthodes en télédétection optique et écho-intégration

Guide de réalisation de cartes des habitats en milieu récifal par télédétection	32
Cartographie bio-sédimentaire des estrans par imagerie multi-capteurs et multi-date.....	36
SWIM : un outil de cartographie de la zone de petits fonds à partir de données de télédétection optique	42
Cartographie de la végétation marine par télédétection : quelles techniques utiliser ?	48
Méthodologie pour l'automatisation de la cartographie des fonds et de la végétation sous-marine	54

Session 3 : Levés, traitement et interprétation des données

Forêts de laminaires à Molène : approches multi-échelles des fonds rocheux de l'archipel.....	58
Etude d'un champ de pockmarks associé à un peuplement de Haploops dans la Baie de Concarneau : apport de la prospection géophysique THR.....	64
Géomorphologie du golfe de Gascogne et cartographie des habitats des coraux d'eau froide (Atlantique NE)....	70
Apports des suivis de l'activité "granulats marins" à l'amélioration des connaissances des habitats marins benthiques	76
Cartographie et inventaire des zones côtières en Guyane	78
Caractérisation des peuplements benthiques du Cap Corse	84
Cartographie de l'estran des Pertuis Charentais : télédétection, inventaire terrain, SIG et typologie EUNIS	90
Une méthode de cartographie liant technique traditionnelle et nouvelle	96
Approche multi-échelles de la cartographie des habitats benthiques des substrats meubles subtidaux : application à la frange côtière de Bretagne nord	100

Session 4 : Modélisation d'habitats

Approche spatiale à échelle régionale : comparaison du réseau trophique de cinq habitats benthiques de la partie orientale de la baie de Seine.....	106
---	-----

Modélisation de la distribution des habitats à algues rouges le long des côtes bretonnes (Résultats préliminaires)	110
Modélisation à l'échelle européenne des habitats physiques du fond de la mer	116

Session 5 : Gestion des incertitudes et de la qualité

Inventaire et cartographie des habitats marins méditerranéens : synthèse des apports et des difficultés	122
Le problème de la détermination de la nature des habitats et de leur état écologique dans un programme de cartographie.	126
Assurance qualité des données géoréférencées : importance des métadonnées	132
Quelques perspectives de recherche pour minimiser les problèmes de caractérisation et de cartographie des habitats côtiers	136

Session 6 : Évolution spatiotemporelle et indicateur surfacique

Evolution inattendue des récifs à <i>Posidonia oceanica</i> dans le golfe de Saint-Florent (Corse)	140
Quatre vingt dix années d'aménagement du littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Quels impacts sur les herbiers de posidonie ?	144
Deux habitats sous-marins remarquables en Méditerranée : les herbiers de posidonie et le coralligène. Quels indicateurs surfaciques pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières ?	148
L'indice paysager <i>Caulerpa racemosa</i> "ICar"	152

Session 7 : La cartographie au service de la gestion

Utilisation de l'imagerie hyperspectrale et du Lidar pour la cartographie et l'évaluation spatiale de l'état de santé d'habitats du milieu récifal de l'île de La Réunion	158
De la cartographie des habitats marins à la mise en place d'un zonage pour la gestion d'un territoire : cas du Parc national des Calanques	164
Une stratégie sur le long terme du suivi des habitats en domaine portuaire pour une gestion d'aire marine protégée	168
Cartographie profonde des biocénoses pour l'implantation d'un centre sous-marin d'essais et d'expertises	174
Analyse de la répartition spatiale des limicoles et des ressources benthiques pour la gestion de la Réserve naturelle.	178
Cartographies et représentations sensibles du paysage sous-marin. Les outils du paysagiste appliqués au monde marin.	184

Session 8 : Bancarisation et diffusion

Le système d'information ZOODEX, un outil pour le stockage, le traitement, la consultation et la restitution des données de la campagne MEDSEACAN	188
« VUDO » un outil de mutualisation convivial et interopérable des données d'observations d'espèces sous-marines illustrées de photographies et/ou de vidéos géoréférencées.	192
Le SINP, démonstration du prototype	198
Sextant, une plateforme de bancarisation et de diffusion de données marines, au service de la cartographie des habitats	202

Posters

Caractérisation des sédiments biogènes du Cap Corse	206
Les Bernaches cravants peuvent-elles être utilisées comme un proxy du bon état écologique des herbiers à <i>Zostera noltii</i> ?	208
CARTHAMED : Cartographie continue des biocénoses benthiques en Méditerranée française.....	210
Les coraux d'eau froide en Méditerranée :	212
Etat Ecologique et critères biogéographiques de la DCSMM.....	212
Cartographie des biocénoses marines à l'aide de vidéo-transects.....	218
et relevés bathymétriques en coeur du Parc national de la Guadeloupe.....	218
Répartition et dynamique des champs de dunes sous-marines en Manche et Mer Celtique	220
Cartographie des champs d'huîtres par télédétection très haute résolution spatiale – Application au Bassin d'Arcachon.....	222
Vers une typologie hiérarchique des habitats récifaux des territoires français de l'océan Indien.....	224
Application de la méthode de fusion multi-capteurs et de la sismique UHR à la cartographie du coralligène de plateau.....	226
Du sonar à la ZNIEFF en passant par la benne, le ROV et les plongeurs : cartographie du site Natura 2000 de Rochebonne	230

Communications orales

Session 1 : Typologie des habitats

Typologie des habitats benthiques marins en environnement macrotidal : approche pluridisciplinaire dans la partie centrale de la Manche

Sophie Lozach^{1,4}, Alain Trentesaux², Alexandrine Baffreau¹, Emmanuel Poizot³ et Jean-Claude Dauvin¹

¹ Normandie Univ, France ; ² UCBN, UMR M2C, F-14000 Caen, France ; ³ CNRS, UMR 6143 M2C, F-14000 Caen, France

² Université Lille 1, UMR CNRS 8217 Géosystèmes, 59655 Villeneuve d'Ascq, France

³ GEOCEANO, Cnam/Intechmer – Cherbourg, France

⁴The Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science (Cefas), Lowestoft Laboratory, Pakefield Road, Lowestoft, Suffolk, NR33 OHT, UK(*present adress)

La typologie des habitats marins EUNIS est le seul système de classification des habitats marins couvrant toutes les eaux européennes et ayant pour vocation de devenir la référence en Europe. C'est cependant une typologie en cours d'amélioration et d'enrichissement. En effet, Connor (2005) indique dans un document de travail qu'elle demeure, en fait, très peu testée en milieu marin. Les dernières tentatives de validation de la classification EUNIS à travers des programmes internationaux comme MESH (Mapping European Seabed Habitats) ont permis de mettre en évidence ses limites actuelles et les difficultés d'adaptation sur le terrain (Connor, 2005 ; ICES, 2008 ; Projet MESH, 2008 ; Guillaumont et al., 2009). En effet, beaucoup d'études appliquent des typologies locales et les traduisent ensuite dans des types EUNIS. D'autres déficiences sont à relever comme l'absence de certains types d'habitats dans la classification ou le manque de corrélation entre les types d'habitats d'un niveau à l'autre et ceci principalement dans les habitats de sédiments grossiers circalittoraux (James et al., 2007).

Les travaux présentés ici à CARHAMB'AR 2013 ont été réalisés dans le cadre de la participation des laboratoires UMR LOG de Wimereux (USTL), UMR Géosystèmes (USTL), UMR M2C de Caen (UCBN) et GEOCEANO (Cnam/Intechmer) au programme européen de recherche CHARM III (INTERREG VIa) coordonné par Ifremer Manche-Mer-du-Nord. Il s'insère dans l'action 5, dédiée à l'amélioration de la typologie EUNIS dans le bassin oriental de la Manche. De manière plus précise, l'objectif était d'explorer la diversité des habitats benthiques de niveau 5 de la classification EUNIS des sédiments grossiers de la Manche en prenant en compte différents descripteurs morphologiques, sédimentaires et biologiques. Les informations bio-morpho-sédimentaires quantitatives ainsi obtenues apportent différents points de vue sur les habitats benthiques : d'une part sur les habitats circalittoraux et les profils sédimentaires et d'autre part sur les assemblages faunistiques.

1. Matériels et méthode

Deux campagnes VidéoCHARM ont été réalisées dans le cadre du programme CHARM III (juin 2010 et juin 2011). La zone prospectée se situe dans la partie médiane de la Manche au sud de la ligne de séparation des eaux entre la France et la Grande Bretagne (Fig.1). De manière à se placer dans la continuité spatiale des prélèvements benthiques effectué lors du programme CHARM II et compléter les bases de données préexistantes (Carpentier et al., 2009), les échantillons couvrent une large zone, depuis le méridien de Greenwich jusqu'à la limite ouest de la Manche définie par Cabioch (1968) où très peu de données macrofauniques quantitatives sont disponibles.

L'échantillonnage en mer a été réalisé à partir de trois équipements : le sonar à balayage latéral (SBL) pour décrire la morphologie du fond, la benne Hamon (BH) pour les prélèvements benthiques et le ROV Seabotix pour les observations vidéo (Fig. 1). Ceci permet de disposer par la suite de cinq descripteurs environnementaux : endofaune et épifaune (BH & ROV), granulométrie des sédiments (BH), morphologie du fond (SBL),

habitats sous-marins (ROV) et photos des sédiments (BH). Toutes ces informations sont à intégrer dans la typologie EUNIS qui prend en compte essentiellement le type sédimentaire et la macrofaune benthique. Selon l'engin utilisé, il y a une vision partielle de l'habitat benthique donc il est recherché à améliorer le codage des habitats avec les différents descripteurs disponibles. La carte des profils sonar (Fig. 1) indique la localisation des différentes zones d'études, appelées 'boîtes'.

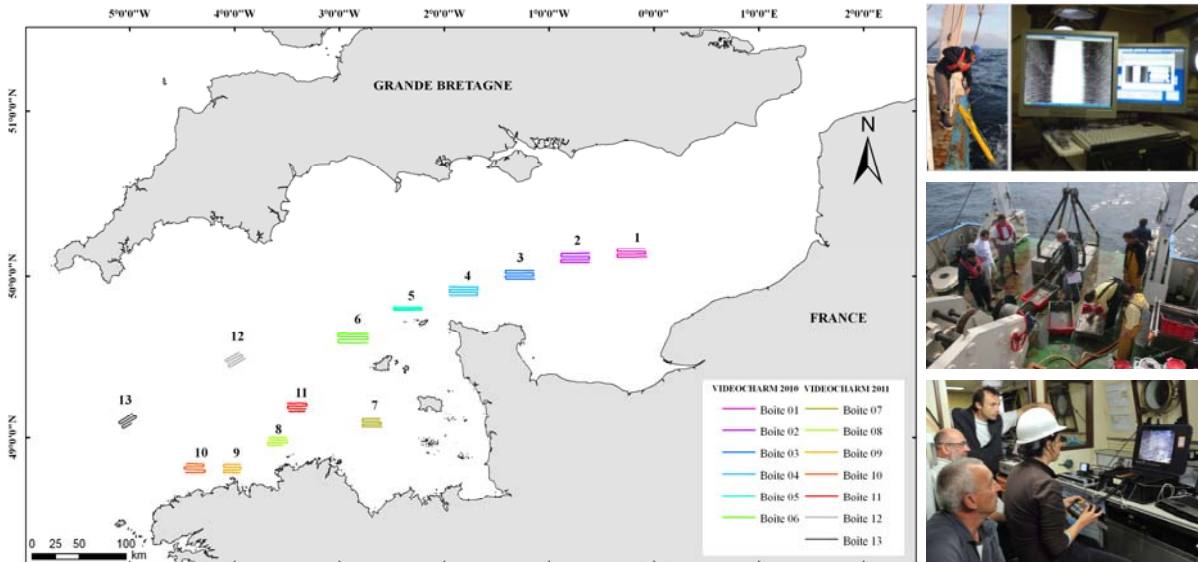


Fig.1 Carte de localisation des profils de sonar à balayage latéral correspondant aux treize boîtes échantillonnées lors des campagnes VIDEOCHARM. Photos (de haut en bas) : le sonar à balayage latéral, la benne Hamon et le ROV Seabotix LBV200L.

2. Evaluation des habitats benthiques des sédiments grossiers en Manche

2.1 Intégration de la morphologie du substratum

Les interprétations des observations géophysiques obtenues au sonar à balayage latéral permettent l'identification de la morphologie des fonds. Certaines zones à travers les différentes boîtes présentent des caractéristiques communes qui les distinguent les une des autres. Ces différents types de morphologie ont été différenciés en séquence basés sur la classification des séquences morphologiques, définie par Ashley (1990) pour les zones de dunes et sur nos observations pour les zones rocheuses. Les six classes définies sont associées à l'augmentation de l'énergie hydrodynamique sur la zone.

Tableau 1 Récapitulatif des codages permettant de renseigner la morphologie du substratum.

Level2 – EUNIS code N1	2 ^{ème} code	3 ^{ème} code	4 ^{ème} code
A5 (sédiments sublittoraux)	Hz (zones homogènes)	-	An (anthropic evidence) Nt (Net traces) Wk (Wreck)
	Rb (Rubbans) Sd (Petites et moyennes dunes) Ld (Grandes a très grandes Dunes)	Longueur d'ondes (λ)	
A4 (Roches circalittorales et autres substrats)	Tr (Roches tabulaires)	F (présence de sillons)	-
	Mr (Roches massives)	-	

L'ensemble des sonogrammes correspond à des données spatialisées qui sont rentrées dans un système d'information géographique (QGIS) qu'il sera possible de visionner sur le Web SIG sur le site du projet CHARM 3. L'interprétation des sonogrammes réalisés pendant les campagnes VidéoCHARM se base ainsi sur une typologie en quatre codes. Les codes 1

et 2 permettent de faire une description de premier ordre, avec tout d'abord la mobilité du substrat et la morphologie du fond. Les codes 3 et 4 apportent des informations de second ordre sur la taille ou de forme ainsi que sur la présence ou non de traces anthropiques.

La typologie s'est révélée relativement simple à appliquer sur les sonogrammes VideoCHARM. L'étude s'est concentrée pour le moment sur l'analyse de cinq boîtes (1, 3, 4, 6 et 13). Ainsi, les boîtes situées en Manche orientale (1) et occidentale (6 et 13) sont composées exclusivement de sédiments meubles. Les forts courants de la Manche centrale expliquent la présence d'affleurements rocheux observés dans les boîtes 3 et 4, pouvant prendre différentes formes soit de roches tabulaires soit de roche massive. Les boîtes 1, 3 et 6 présentent des morphologies peu variées comparées aux boîtes situées en Manche centrale. La boîte 1 est en grande partie homogène et la boîte 13 est composée à 100 % de grandes dunes. La boîte 6 est à 90 % homogène, mais des zones de dunes orientées vers le nord-est apparaissent sur les sonogrammes. Les boîtes 3 et 4 sont beaucoup plus hétérogènes avec des zones en majorité homogène (53 % et 43 % respectivement) alternées de zones de dunes (14 % et 24 %) et de substrats durs (13% et 28 %). Les prélèvements sédimentaires, les photos et les observations vidéo permettent ensuite de qualifier le sédiment d'après les critères EUNIS existant (Niveaux 3 et 4).

2.2. Interprétation biologique

La zone prospectée étant très vaste, les stations de prélèvement à la benne Hamon 0,25m² et les stations ROV ont été sélectionnées en temps réel grâce au visionnage à bord des profils au sonar à balayage latéral, de manière à avoir des données dans chaque région acoustiquement différente. Au minimum, quatre stations de prélèvements à la benne Hamon ont été choisies par boîte pour la faune benthique. Ce nombre a été augmenté quand les faciès sonar montraient une plus grande variabilité. L'endofaune a été identifiée à chacune de ces stations sur 2 et 1 mm. En parallèle, un minimum de deux séquences vidéo a été programmé dans chaque boîte sur des stations où des prélèvements à la benne avaient été effectués. Le nombre d'observation vidéo est limité car elles ne peuvent être réalisées qu'à l'étable et dans de bonnes conditions météorologique. Les séquences ROV ont été réalisées dans les zones où les signaux acoustiques diffèrent ou dans les zones où les fonds étaient trop durs pour que la benne fonctionne correctement. Pour chacune de ces stations ROV, les séquences vidéo ont été analysées pour décrire l'épifaune et la mégafaune dispersée présente. Pour chacune des stations ROV, l'épifaune fixée trouvée sur les cailloutis dans le prélèvement benne correspondant a également été identifiée.

Les résultats des campagnes VidéoCHARM montrent que les zones du large dans le bassin oriental et dans le bassin occidental de la Manche sont caractérisées par de larges étendues de sédiment homogène de graviers sableux dans le bassin oriental et de sables grossiers dans le bassin occidental. Les communautés faunistiques y sont également homogènes. Les espèces typique de ces communautés sont d'ailleurs les même de chaque coté de la presqu'île du Cotentin (*Mediomastus fragilis*, *Lumbrineris sp.* et des bivalves vénéridés). En revanche, au Nord de cette dernière, les fond marins sont beaucoup plus diversifiés et sont très mosaïqués. Dans ces régions, ce sont les espèces de l'épifaune sessile qui caractérisent les communautés (*Pomatoceros triqueter*, *Sabellaria spinulosa* ou *Flustra foliacea*).

3. Conclusion

L'exploitation des données acoustiques permet de replacer des régions sous-marines dans des zones de types roches sublittorales (A4) au lieu de sédiments sublittoraux, qui auraient été considérées ainsi par le fait qu'une couche de sédiment meuble pouvait être prélevée à la benne. De cette manière, de nombreuses régions considérées comme 'cailloutis' sur les cartes sédimentaires actuelles, en particulier au nord de la pointe du Cotentin, devraient être considérées comme des zones de roche. Ces observations sont d'ailleurs confirmées par les résultats concernant la faune benthique montrant une très grande diversité biologique dans

ces zones de substrat dur. Ces zones mériteraient d'ailleurs une plus large exploration, les moyens développés dans les campagnes VidéoCHARM n'ayant pas permis de les décrire complètement. Seule l'utilisation des données acoustiques croisées aux vérifications terrain à l'aide de la vidéo peut enrichir ces observations et il est suggéré de les intégrer à la typologie des habitats benthiques EUNIS de manière à compléter la description sédimentaire. Cette information compléterait ainsi le niveau 2 de la typologie déjà existant (Fig. 2)

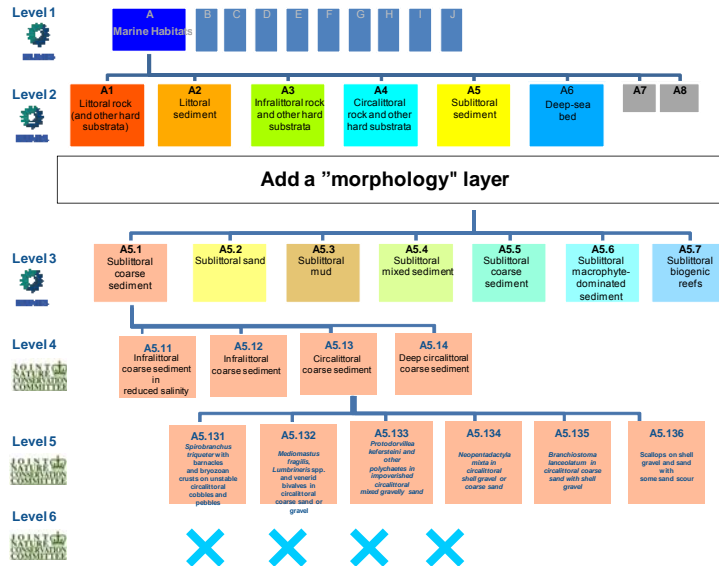


Fig.2 Déclinaison des différents niveaux de la hiérarchie de la typologie des habitats marins benthiques EUNIS (version 2007) dans les sédiments grossiers circalittoraux. Un compartiment peut être ajouté pour intégrer la description du substratum.

Références bibliographiques

- Ashley, G.M., 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of sedimentary petrology*. 60(1): 160-172.
- Cabioch, L., 1968. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cahiers de biologie Marine* 9, 493-720.
- Carpentier, A., Martin, C. S., Vaz, S. (Eds), 2009. Channel Habitat Atlas for marine Resource Management, rapport final / Atlas des habitats des ressources marines de la Manche orientale, final report phase II (CHARM II) INTERREG 3a Programme, IFREMER Boulogne-sur-mer, France, 626 pp.
- Connor, D.W., 2005. EUNIS marine habitat classification: application, testing and improvement. MESH, pp. 16
- Guillaumont, B., Bajjouk, T., Rollet, C., Hily, C., Gentil F., 2009. Typologie d'habitats marins benthiques - Analyse de l'existant et propositions pour la cartographie (Habitats côtiers de la Région Bretagne) - Note de synthèse. Projets REBENT – Bretagne et Natura-Bretagne. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-06/REBENT. 22 pp + Tableaux.
- ICES, 2008. Report of the Working group on Marine Habitat Mapping. CM 2008/MHC:08. Horta, the Azores, 119 pp.
- James, J.W.C., Coggan, R.A., Blyth-Skyrme, V.J., Morando, A., Birchenough, S.N.R., Bee, E., Limpenny, D.S., Verling, E., Vanstaen, K., Pearce, B., Johnston, C.M., Rocks, K.F., Philpott, S. et Rees, H.L., 2007. The eastern English Channel map. In Cefas, Science Series Technical Report n°139, pp. 191. Lowestoft.
- Projet MESH, 2008. Guide de cartographie des habitats. DYNECO/AG/07-20/JP RST. IFREMER, Centre de Brest, p 342

Typologie des habitats benthiques intertidaux de substrat meuble de la région Nord-Pas-de-Calais

C. Rolet¹, N. Spilmont¹, A. Meirland², T. Ruellet², J-M. Dewarumez¹, C. Luczak^{1,3}

¹ Université Lille 1 - Sciences et Technologies, UMR CNRS 8187 LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Station Marine, 28, Avenue Foch - BP 80, 62930 Wimereux

² GEMEL, Groupe d'Etudes des Milieux Estuariens et Littoraux, 115, Quai Jeanne d'Arc, 80230 Saint-Valery-sur-Somme

³ Université d'Artois, IUFM, Centre de Gravelines, 40 rue V. Hugo - BP 129, 59820 Gravelines

Contact : celine.rolet@univ-lille1.fr

1. Contexte

Les systèmes littoraux, interface entre les domaines marins et terrestres, sont soumis à de nombreuses modifications d'origine naturelle (érosion du trait de côte) ou liées à des perturbations anthropiques (activités récréatives, aménagements, exploitation). Les plages et estuaires abritent une biocénose unique d'écotone et sont également des zones d'accueil et de nourrissage notamment pour les oiseaux limicoles en période de migration, d'hivernage et de reproduction. Il est donc primordial de connaître l'organisation de ces écosystèmes, dans le but de tendre vers une compréhension du fonctionnement de ces systèmes complexes, étape indispensable avant toute tentative de mise en œuvre d'actions de conservation sur ces milieux. Contrairement aux communautés benthiques du domaine subtidal qui ont été décrites à l'échelle de la Manche orientale et au sud de la mer du Nord (Cabioch et Gentil, 1975 ; Cabioch et Glaçon, 1975 ; Cabioch et Glaçon, 1977 ; Souplet et Dewarumez, 1980 ; Souplet et al., 1980 ; Prygiel et al., 1988 ; Davoult et al., 1988 ; Gentil et Cabioch, 1997 ; Desroy et al., 2002 ; Foveau, 2009), il n'existe aucune vision globale du domaine intertidal à l'échelle de la région Nord-Pas-de-Calais (Richard et al., 1980 ; Davoult, 1983). Dans ce cadre scientifique et géographique, le projet **MACROFONE** (les communautés **MACRO**zoobenthiques des sédiments meubles intertidaux du Nord-Pas-de-Calais : structure et **FON**ctionnement **E**cologiques, relations avec l'avifaune hivernante) a pour mission d'étudier les relations avifaune/macrozoobenthos et donc de fournir, dans une phase initiale, des éléments de réponse à un premier questionnement au sein de cette problématique : Quelles sont les communautés macrobenthiques présentes le long du littoral Nord-Pas-de-Calais (distribution spatiale, biodiversité, biodiversité fonctionnelle) ?

De ce fait, la cartographie des habitats benthiques est un premier outil précieux comme préalable indispensable à la description, à l'évaluation et au suivi de ces écosystèmes littoraux.

2. Acquisition et traitement des données

358 stations de substrats meubles ont été échantillonnées entre 1998 et 2012 sur l'ensemble du littoral Nord-Pas-de-Calais (depuis la frontière belge à la baie d'Authie incluse). Pour chaque station, 3 répliqués ont été prélevés pour la macrofaune à l'aide d'un carottier de 1/40^{ème} de m² sur une profondeur de 30 cm. Un répliquat a été prélevé pour des analyses granulométriques (carottier de 0,002 m²). Les stations ont été positionnées de façon à couvrir les différents niveaux de la zone intertidale à marée basse. Les assemblages macrobenthiques ont été définis en couplant une classification ascendante hiérarchique et une ordination multidimensionnelle non métrique (nMDS): une matrice de distance utilisant la métrique de Bray-Curtis a été calculée sur les données de densité (ind.m²) (données préalablement transformées en double racine carrée ($\sqrt{\sqrt{x}}$) afin de modérer l'influence des

espèces dominantes). Un regroupement utilisant la méthode du groupement moyen et l'ordination multidimensionnelle non métrique (nMDS) ont alors été calculés. La cartographie des communautés macrobenthiques obtenues et définies selon la classification EUNIS (Niveau 4 et 5 ; (Connor *et al.*, 2004 ; Davies *et al.*, 2004) a ensuite été réalisée sur fonds de photographies aériennes (© Ortho Littorale 2000) à l'échelle du littoral Nord-Pas-de-Calais.

3. Les communautés macrobenthiques des substrats meubles intertidaux

Trois communautés principales ont été définies par la MDS (Figure 1):

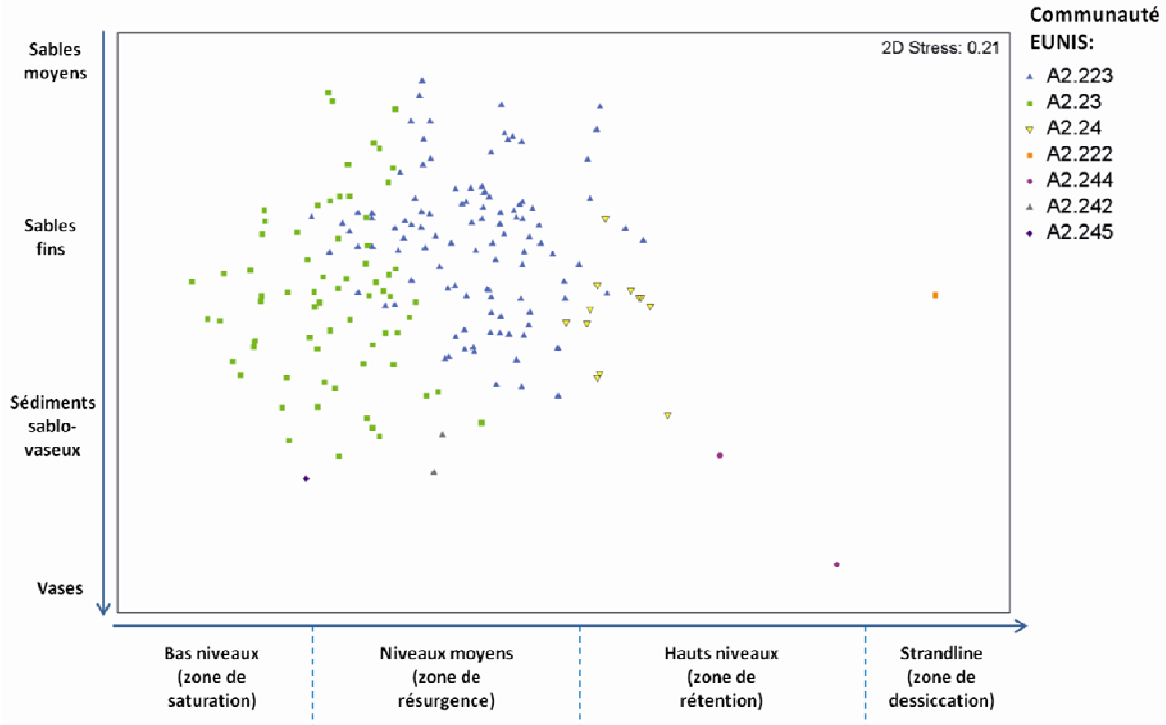


Fig.1 MDS concernant les stations échantillonnées sur les plages du littoral Nord-Pas-de-Calais (les données Authie et Canche ne figurent pas dans cette analyse).

- **la communauté des sables littoraux fins à moyens à Amphipodes et *Scolelepis spp* (A2.223)** (Figures 2 et 3). Cette communauté est localisée sur les plages et dans les baies (Canche et Authie) de la région. On la retrouve à partir des hauts niveaux de plage jusqu'aux bas niveaux supérieurs. Elle est caractérisée par les amphipodes du genre *Bathyporeia*, les isopodes *Eurydice spp* et le polychète *Scolelepis squamata*. Cette communauté couvre 30,45 km² de zone intertidale à l'échelle du Nord-Pas-de-Calais (29% de la surface totale de l'estran).
- **la communauté des sables fins à Polychètes et Amphipodes (A2.23)** (Figures 2 et 3). Cette communauté est située sur toutes les plages du littoral y compris aux embouchures des baies de Canche et d'Authie. Elle est caractéristique des bas niveaux de l'estran (zone de résurgence inférieure + zone de saturation) et s'étend vers la zone infralittorale. Les espèces rencontrées sont des amphipodes tels que *Bathyporeia pelagica* et *Pontocrates spp.*, des polychètes dont *Nephtys cirrosa*, *Spio martinensis* et *Spiophanes bombyx* principalement et des mollusques bivalves comme *Donax vittatus* et *Ensis directus*. Sa superficie est de 55,9 km², elle est la communauté la plus représentée sur notre littoral (52% de couverture).
- **la communauté des sédiments sablo-vaseux à Polychètes et Bivalves (A2.24)** (Figures 2 et 3). Cette communauté est principalement présente dans les fonds des baies d'Authie et de Canche et le long des chenaux de ces deux rivières. On la retrouve également dans les hauts niveaux de deux plages de la région : les

Hemmes de Marck et Gravelines. Cette communauté est représentée par des espèces à affinité sablo-vaseuses : les mollusques *Peringia ulvae*, *Cerastoderma edule* et *Macoma balthica* ; les crustacés *Corophium arenarium*, *Bathyporeia pilosa*, *Eurydice affinis* et le polychète *Pygospio elegans*. Cette communauté couvre 12% de la zone intertidale du littoral Nord-Pas-de-Calais, soit 12,6 km² au total.

L'analyse met également en évidence la présence de trois sous-communautés (niveau 5 de la classification EUNIS) appartenant à la communauté A2.24 « Polychètes/Bivalves des sédiments sablo-vaseux » :

- **la communauté des sédiments littoraux sablo-vaseux à *Cerastoderma edule* et Polychètes (A2.242)** située dans l'avant-port-ouest de Dunkerque dans un milieu abrité (Figure 2). Cette communauté se caractérise par la présence de coques *Cerastoderma edule* et de polychètes tels que *Eteone longa*, *Pygospio elegans*, *Phyllodoce mucosa* et *Capitella capitata*. La part de pélites y est importante par rapport aux autres communautés (3,5% de pélites en moyenne pour cette communauté).
- **la communauté des sédiments littoraux sablo-vaseux à *Bathyporeia pilosa* et *Corophium arenarium* (A2.244)** (Figure 2) représentée par une petite zone (0,28 km²) située dans les hauts niveaux de la plage du Platier d'Oye.
- **la communauté des sables littoraux à *Lanice conchilega* (A2.245)** située dans les ports de Dunkerque et Boulogne-sur-Mer (Figures 2 et 3). Cette communauté est localisée dans les bas niveaux de l'estran des zones abritées. Les espèces principalement rencontrées sont des polychètes tels que *Lanice conchilega*, *Capitella capitata* et *Notomastus latericeus*. Les mollusques bivalves *Macoma balthica* et *Abra alba* sont également recensés. Cette communauté est également rencontrée au centre de la baie de Canche (0,32 km²). Cette communauté couvre 0,85 km² de la zone intertidale du Nord-Pas-de-Calais (0,80% de la surface totale).

Une dernière communauté A2.222 « Oligochètes des sables mobiles littoraux » est représentée par une station située sur la plage des Hemmes de Marck (au nord de Calais). Finalement les stations échantillonnées, qui étaient dépourvues de faune, se situent toutes en haut de plage dans la **zone de dessiccation** et sont représentées par le code **A2.21**. Cette zone, encore appelée zone de sable sec, couvre 4,08 km² de notre littoral soit 4%. Les **substrats rocheux A1** sur le littoral Nord-Pas-de-Calais représente 3,32 km² (soit 3%). Ils sont localisés au niveau de Equihen-plage, Le Portel, de Wimereux jusqu'au Cap Gris-Nez et du Cap Gris-Nez au Cap Blanc-Nez (Figure 3).

Remerciements

Cette étude est financée par la région Nord-Pas-de-Calais en partenariat avec la fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB). Les auteurs remercient les différentes personnes ayant fournies des données et ayant participées aux campagnes de terrain : Pr. Jean-Claude Dauvin, Dr. Carole Vallet, Dr. Nicolas Desroy, les doctorants et stagiaires.

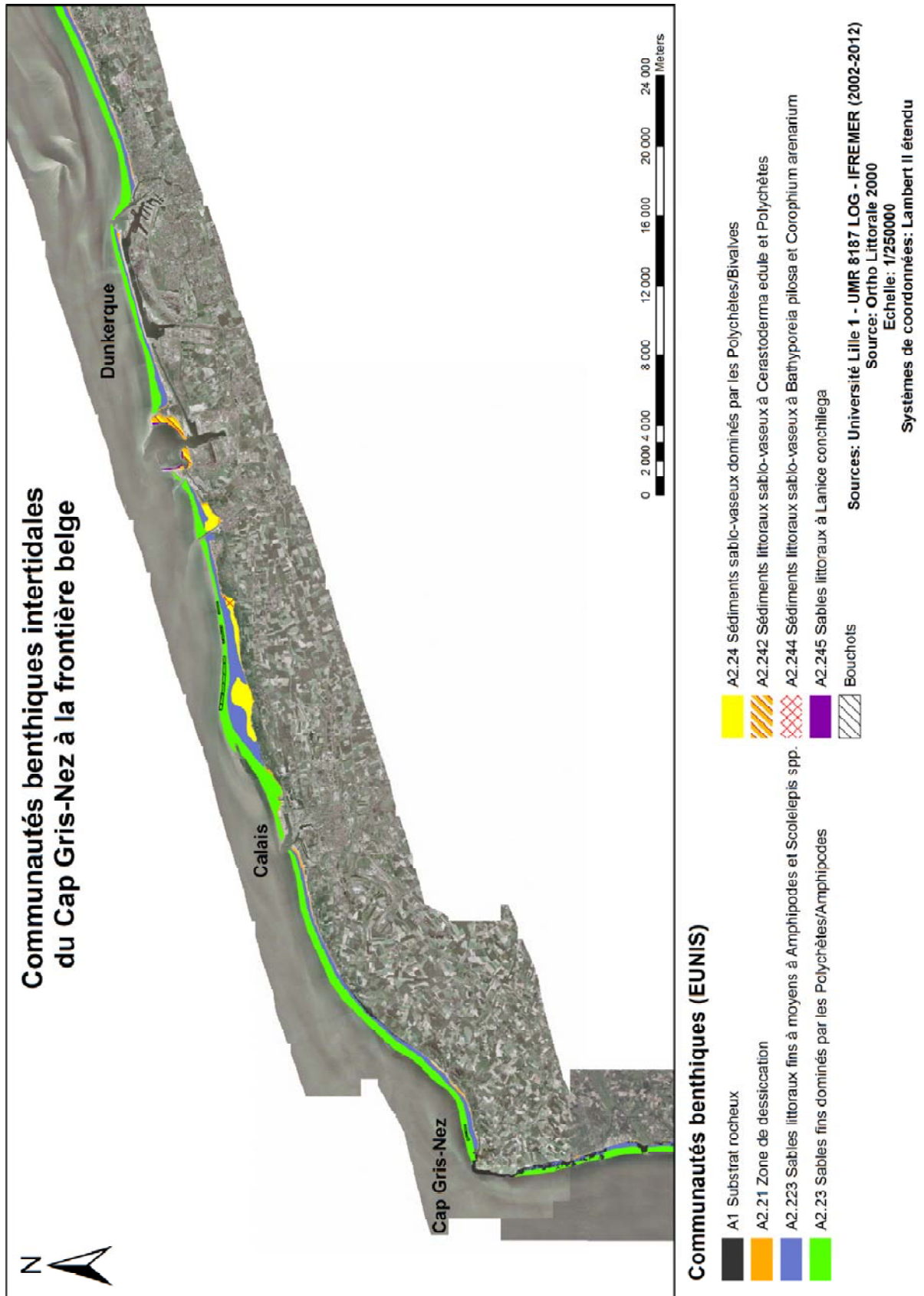


Fig.2 Cartographie des communautés macrobenthiques des substrats meubles intertidaux du Cap Gris-Nez à la frontière belge selon la classification EUNIS.

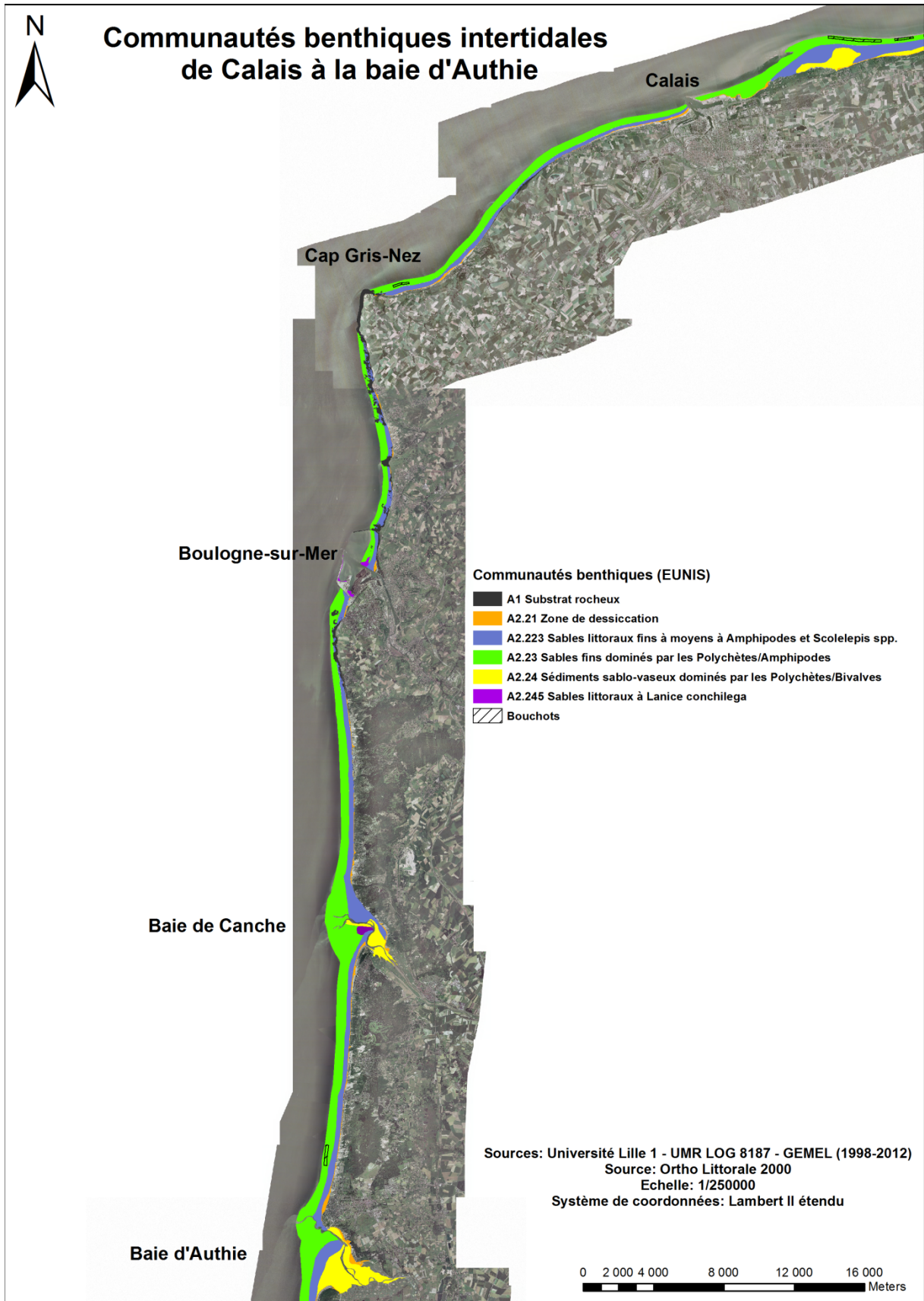


Fig.3 Cartographie des communautés macrobenthiques des substrats meubles intertidaux de Calais à la baie d'Authie selon la classification EUNIS.

Références bibliographiques

- Cabioch, L. et Gentil, F. (1975). Distribution des peuplements benthiques dans la partie orientale de la Baie de Seine. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 280 : 571-574.
- Cabioch, L. et Glaçon, R. (1975). Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, de la baie de Somme au Pas-de-Calais. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, série D* 280 : 491-494.
- Cabioch, L. et Glaçon, R. (1977). Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, du Cap d'Antifer à la baie de Somme. *Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris, série D* 280 : 209-212.
- Connor, D.W., Allen, J.H., Golding, N., Howell, K.L., Lieberknecht, L.M., Northen, K.O. et Reker, J.B. (2004) The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland Version 04.05 JNCC, Peterborough ISBN 1 861 07561 8 (internet version) www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification.
- Davies, C. E., Moss, D. et Hill, M. O. (2004). EUNIS habitat classification revised 2004.307 pp.
- Davoult, D. (1983). Etude du benthos intertidal entre Calais et l'Aa. *Mémoire de DEA, USTL/ Station marine de Wimereux* : 36 pp.
- Davoult, D., Dewarumez, J.-M., Prygiel, J. et Richard, A. (1988). Carte des peuplements benthiques de la partie française de la mer du Nord. *Carte et notice explicative. Station marine de Wimereux* : 30 pp.
- Desroy, N., Warembourg, C., Dewarumez, J.-M. et Dauvin, J.-C. (2002). Macrobenthic resources of the shallow soft-bottom sediments in the eastern English Channel and southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 60 :120-131.
- Foveau, A. (2009). Habitats et communautés benthiques du bassin oriental de la Manche : état des lieux au début du XXIème siècle. *Thèse de Doctorat de l'Université de Lille 1* : 308 pp.
- Gentil, F. et Cabioch, L. (1997a). Carte des peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine et Manche centrale sud : 18 pp + carte.
- Prygiel, J., Davoult, D., Dewarumez, J.M., Glaçon, R. et Richard, A. (1988). Description et richesse des peuplements benthiques de la partie française de la mer du Nord. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 306, série II : 5-10.
- Richard, A., Souplet, A., Dewarumez, J.M., Chamley, H. et Coibeaux, J.P. (1980). Etude préalable à l'extension portuaire de Calais (Bionomie – Sédimentologie). *Rapport d'étude. USTL / Station marine de Wimereux. Laboratoire de sédimentologie* : 17 pp.
- Souplet, A. et Dewarumez, J.M. (1980). Les peuplements benthiques du littoral de la région de Dunkerque. *Cahiers de Biologie Marine*, 21 :23-29.
- Souplet, A., Glaçon, R., Dewarumez, J.-M. et Smigielski, F. (1980). Distribution des peuplements benthiques littoraux en mer du Nord, du cap Blanc-Nez à la frontière belge. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, série D* 290 : 627-630.

Typologie et cartographie des habitats marins profonds méditerranéens, un nouvel éclairage apporté par la campagne MEDSEACAN

Maïa Fourt¹, Adrien Goujard¹, Pierre Watremez², Boris Daniel³

¹ GIS Posidonie, Campus de Luminy, Case 901, 13 288 MARSEILLE Cedex 9

² Agence des aires marines protégées, 42 bis, quai de la douane 29200 BREST

³ Agence des aires marines protégées, 26 rue de la République, 13001 MARSEILLE

Contact : Maia.FOURT@univ-amu.fr

Mots clefs : typologie, habitats, Méditerranée, circalittoral, bathyal

Nous remercions l'équipe scientifique embarquée ainsi que les spécialistes contactés qui ont grandement participé à ce travail.

Introduction

L'Agence des aires marines protégées a conçu et mis en œuvre le programme MEDSEACAN «Exploration des têtes des canyons méditerranéens», un programme ambitieux dont la campagne de terrain s'est déroulée entre novembre 2008 et août 2010.

L'objectif de cette campagne a été d'établir un état de référence des têtes de canyon concernant les habitats, les espèces protégées et commerciales, les écosystèmes et les pressions anthropiques, en s'appuyant sur les compétences d'un réseau de scientifiques.

Les canyons de Méditerranée, au large des côtes françaises, ont fait ainsi l'objet, pour la première fois, d'une campagne de reconnaissance systématique. Cette campagne a apporté un nouvel éclairage dans une tranche bathymétrique qui jusqu'alors était mal connue (l'horizon inférieur du circalittoral et le bathyal) et dont il existait très peu d'images.

La zone d'exploration couvre les canyons de la frontière espagnole à la frontière monégasque ainsi que ceux de la côte Ouest de la Corse. Au total 297 plongées en ROV et sous-marin ont été effectuées et près de 500 km ont été parcourus et filmés.

Le traitement des données a été confié au GIS Posidonie qui l'a conduit en collaboration avec les scientifiques ayant participé au programme, ainsi que d'autres spécialistes.

Nous présentons rapidement les résultats cartographiques obtenus (pour les substrats et faciès) après traitement des données avant de montrer les différents apports de cette campagne pour une meilleure connaissance des habitats profonds méditerranéens.

Dans un premier temps cette campagne apporte des informations concernant les substrats, qui suggèrent certains ajouts dans la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée et qui par ailleurs pourraient contribuer localement à améliorer la carte prédictive des habitats EUSeaMap.

Dans un second temps, nous relatons des difficultés que nous avons eu pour faire concorder les observations avec la classification des habitats dans la Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée (MNHN, Michez *et al.*, 2011).

1. Traitement effectué par le GIS Posidonie sur les plongées de la campagne MEDSEACAN

Lors du « dérushage » des vidéos, les espèces mais également les substrats et faciès rencontrés ont été identifiés. Des informations complémentaires ont également été saisies dans une base de données conçue à cet effet (voir présentation Adrien Goujard). Ces observations géolocalisés ont ensuite été intégrées dans un Système d'Information Géographique.

Lors du traitement des données, nous avons choisi de ne pas qualifier directement les habitats rencontrés mais de qualifier le substrat visible et d'y ajouter d'éventuels faciès (Figure 2). Ces éléments associés à la profondeur ou la présence/absence d'algues pluricellulaires autotrophes visibles (généralement les algues calcaires) nous donneraient des correspondances avec les habitats.









Légende des substrats MEDSEACAN (figure 2,3) :	Légende du fond de carte prédictive selon EUSeaMap (figure 3)
 Roche en place	Mediterranean:  Communities of bathyal muds
 Vase	 Communities of bathyal muds, facies of sandy muds with <i>Thenia muricata</i>
 Sable	 Communities of shelf-edge detritic bottoms
 Roche en place à surface bioconstruite	 Biocoenosis of coastal terrigenous muds

Fig.1 Légende utilisée dans les 2 cartes suivantes

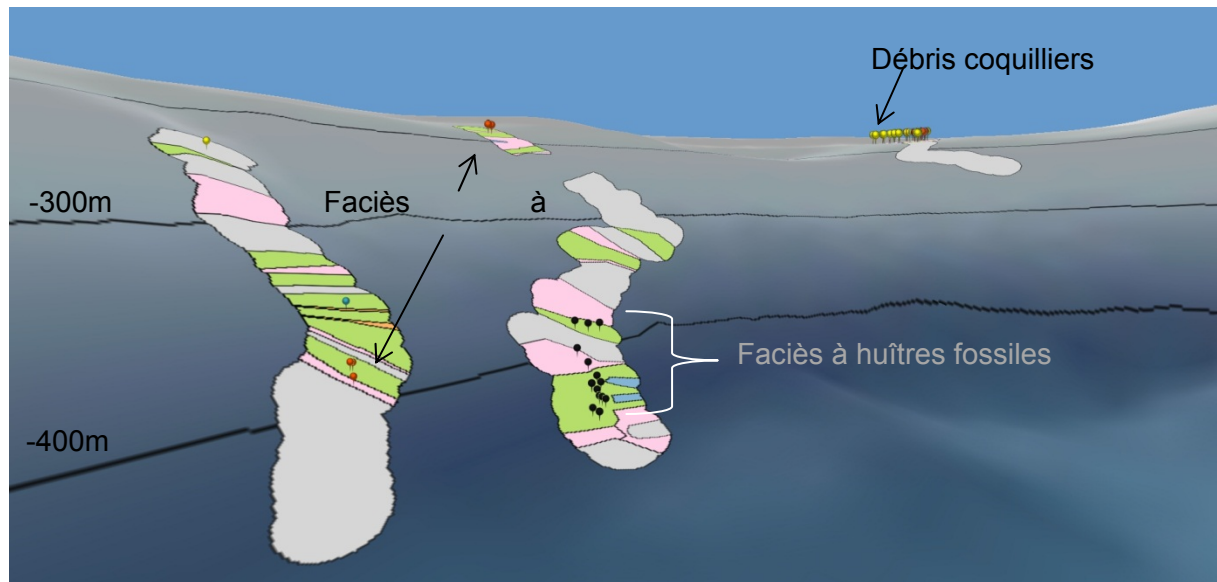


Fig.2 Exemple de cartographie des substrats et faciès MEDSEACAN (ici le canyon du Planier)

Les observations d'espèces n'ont pas été reportées ici.

2. L'information apportée par la variable « substrat »

2.1. Par rapport à la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée

Les valeurs de la variable « substrat » utilisées dans le cadre de MEDSEACAN ont pu être mises en correspondance généralement avec un substrat du deuxième niveau de la typologie des biocénoses benthiques méditerranéennes (MNHN).

Cependant, un type de substrat observé n'a pas pu être mis en correspondance, il s'agit des murs de sédiments indurés (ou marnes). Ce substrat observé dans le bathyal crée des conditions particulières de verticalité des parois associées à une roche très tendre. Ces propriétés semblent attirer des crustacés qui forent les parois et qui attirent à leur tour, d'autres prédateurs. D'autre part, la friabilité de la roche ne permet que rarement à des espèces sessiles de se fixer. Il serait donc intéressant de considérer l'introduction de ce substrat dans l'étage bathyal.

2.2. Une vérité terrain pour la cartographie prédictive des habitats

Les observations issues de la Campagne MEDSEACAN représentent une validation terrain en ce qui concerne les substrats. Nous avons reporté les substrats observés à la carte prédictive des habitats EUSeaMap¹.

Malgré les différences de précision, on remarque que la carte prédictive des habitats EUSeaMap est plus exacte pour les canyons de vase que les canyons partiellement rocheux comme Cassidaigne (Figure 3). MEDSEACAN va pouvoir, d'une part, augmenter la fiabilité des données dans certaines zones, d'autre part, apporter des informations susceptibles d'augmenter l'exactitude de la carte prédictive en ce qui concerne les substrats et probablement aussi les faciès.

A titre d'exemple, les plongées MEDSEACAN montrent une crête rocheuse dans le canyon de Cassidaigne abritant une biodiversité d'espèces sessiles des plus riches, alors que la carte prédictive indique de la vase. La confiance dans les données pour les substrats est donnée à 30% dans cette zone. Avec les données de MEDSEACAN les données pourraient être corrigées (donc plus exactes) et la confiance augmentée.

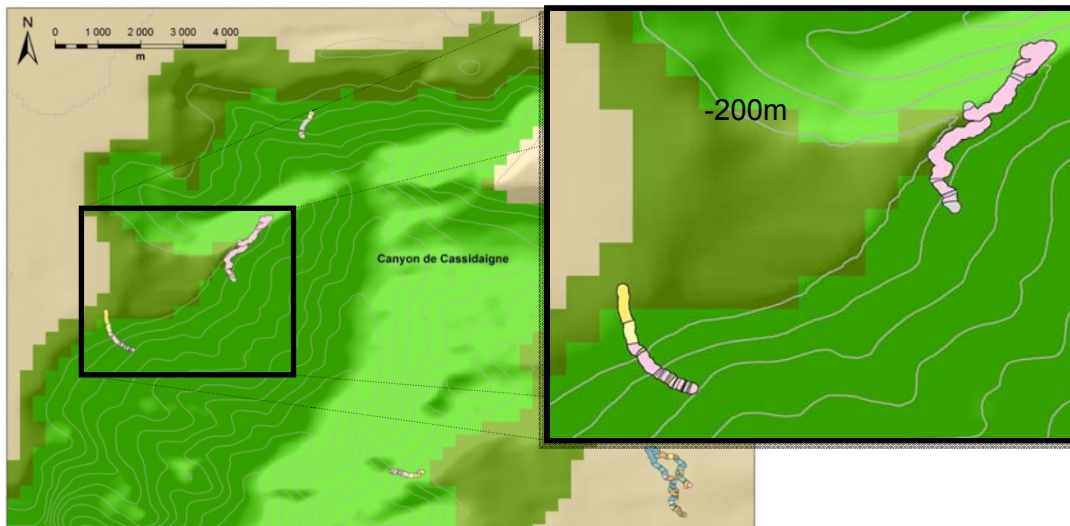


Fig.3 Superposition des substrats observés dans MEDSEACAN avec la carte prédictive des habitats d'après EUSeaMap (canyon de Cassidaigne).

3. Problèmes de correspondance entre les observations et la typologie des habitats benthiques méditerranéens

L'étendue de l'étage circalittoral varie selon les auteurs, car sa limite inférieure va « jusqu'à la profondeur extrême compatible avec la végétation des algues les plus tolérantes aux faibles éclaircements- c'est-à-dire les plus sciaphiles » (Perez et Picard, 1964) au « rebord du plateau défini par cassure bathymétrique » (Hamdi *et al.*, 2010).

Nous ne débattons pas de ce sujet ici, mais nous avons utilisé la première définition. Ceci implique que la majorité des observations issues de la campagne a été effectuée dans le domaine bathyal.

3.1. Exemples de faciès observés dans un étage différent de celui indiqué dans la typologie

- *Virgularia mirabilis* a été observée entre 129 m et 606 m de profondeur avec une majorité d'observations située sous 200 m. D'autre part, *Pennatula phosphorea* a été

¹ <http://jncc.defra.gov.uk/page-5020>

observée entre 93 et 517 m de profondeur. Or le « faciès des vases gluantes à *Virgularia mirabilis* et *Pennatula phosphorea* » qui pourrait correspondre dans la typologie, se trouve uniquement dans le circalittoral.

- Il en est de même pour *Parastichopus regalis* qui a souvent été vu dans le bathyal.
- Les faciès à *Leptometra phalangium* ont été observés entre 111 et 348 m de profondeur or, dans la typologie il n'existe pas dans le bathyal.
- Dans quelle biocénose peut-on ranger les observations de Cassidaigne qui révèlent des coraux blancs et des gorgonaires (*P. clavata* E. *cavolini*) à 200 m de fond ?

3.2. Exemples de faciès qui pourraient être ajoutés

- Les thanatocoenoses de coraux (*Dendrophyllia cornigera*) observées souvent au bord du plateau continental seraient peut-être intéressantes à inclure dans la typologie ainsi que le faciès d'ascidies solitaires sur fond sablo-vaseux, les faciès à éponges dressées du bathyal et les faciès à antipathaires (coraux noirs).

4. Conclusion

Les apports de la campagne MEDSEACAN vont permettre d'ajuster la typologie des habitats profonds méditerranéens. Cette démarche est actuellement en cours avec le MNHN. D'autre part, devant la difficulté à déterminer les habitats sur image (pour les substrats meubles surtout), il pourrait être utile d'élaborer un niveau de lecture adapté à ce mode d'acquisition.

Références bibliographiques

- Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C., 1964. Les biocénoses marines et littorales des côtes françaises de Méditerranée : Synthèse, menaces et perspectives. Collection patrimoines naturels Vol. 19. 246 p.
- Fourt M., Goujard A., 2012. Rapport final de la campagne MEDSEACAN (Têtes des canyons méditerranéens continentaux) novembre 2008 – avril 2010. *Partenariat Agence des aires marines protégées – GIS Posidonie, GIS Posidonie publ.* 218 p.
- Hamdi A., Vasquez M., Populus J., 2010. Cartographie des habitats physiques Eunis – Côtes de France. Rapport Ifremer. 110 p.
- <http://jncc.defra.gov.uk/page-5020>
- Michez N., Dirberg G., Bellan-Santini D., Verlaque M., Bellan G., Pergent G., Pergent-Martini C., Labrune C., Francour P., Sartoretto S., 2011. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée, Liste référence française et correspondances. Rapport SPN 2011 – 13, MNHN, Paris, 48 p.
- Pérès J.M., Picard J. 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Recueil des travaux de la Station Marine d'Endoume Vol.31 (47).137 p
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007. Pergent G., Bellan-Santini D., Bellan G., Bitar G., Harmelin J.G. Manuel d'interprétation des types d'habitats marins pour la sélection des sites à inclure dans les inventaires nationaux de sites naturels d'intérêt pour la conservation. Eds. CAR/ASP publ., Tunis. 199 p.
- Projet MESH, 2008. Guide de cartographie des habitats marins. RST - DYNECO/AG/07-21/JP – Ifremer, Centre de Brest, 74 p.

A cold-water coral biota classification scheme for ecosystem based management of the deep sea

Jaime Davies¹, Brigitte Guillaumont¹, Inge van den Beld¹, Alessandra Savini², Agostina Vertino², Fernando Tempera³, Chris Smith⁴, Tina Kutti⁵, Anna Rengstorff⁶, Steinunn Hilma Ólafsdóttir⁷, Christophe Bayle¹, Jean-François Bourillet¹, Sophie Arnaud-Haond¹, Anthony Grehan⁶

¹ IFREMER, Centre de Brest, DEEP/LEP (Laboratoire Environnement Profond), BP 70, 29280 Plouzané, France.

² Department of Geological Sciences, University of Milano-Bicocca, Milano, Italy

³ DOP/UAz - Dept. of Oceanography and Fisheries, University of the Azores, 9901-862 Horta, Azores, Portugal

⁴ Hellenic Centre for Marine Research, P.O. Box 2214, 71003 Heraklion, Crete, Greece

⁵ Institute of Marine Research (IMR), Benthic Habitats and Shellfish Research Group, Nordnes 5817 Bergen, Norway

⁶ Earth and Ocean Sciences, School of Natural Sciences, NUI Galway, Ireland

⁷ Hafrannsóknastofnunin - Marine Research Institute, Iceland

Contact: jaime.davies2@gmail.com

The deep sea represents the largest ecosystem on earth. It is a vast area that is topographically complex, supporting a diverse range of habitats and species. Anthropogenic impacts on the deep sea are increasing. Fishing and oil and gas exploration and exploitation are moving progressively deeper and new potential threats continue to emerge, such as deep-sea mining. With an increase in demand on deep-sea resources comes a need for appropriate and effective management of this ecosystem.

To protect adequately deep-sea species and habitats and meet obligations for implementing marine protected areas (MPAs) under EC directives, habitat mapping is necessary to understand the spatial distribution of habitats. To ensure a coherent network of MPAs across Europe, standardised terms are needed. Habitat classification systems are a prerequisite to mapping and understanding the marine environment. A range of marine habitat classification schemes that are applicable to the deep sea exist, and include those that are hierarchical, nested, and are focussed on biological components, such as EUNIS (European Nature Information System), and those that are top-down schemes and are more geologically based (Greene et al. 1999).

EUNIS is a pan-European hierarchical habitat classification system that is based on five levels covering terrestrial, marine, natural and artificial habitats. Within the marine category (level 1), the deep seabed is divided into zones at level 2 (A6). Level 3 and 4 are divided on the basis of substratum and benthic assemblages respectively. Topographical features such as seamounts and canyons are not related to seabed substratum or biological communities but are also included in level 3. While the higher levels of EUNIS are useful for habitat mapping, it is lacking at the biotope level and currently fails to provide as much detail for deep-water habitats (>200m) as it does for shallow-water habitats.

The FP7 project CoralFISH began in 2008 with a consortium of 16 partners from 10 countries with the objective of assessing the interaction between cold water corals (CWC), fish and fisheries, in order to develop monitoring and predictive modelling tools for ecosystem based management in the deep waters of Europe and beyond.

CWC are important as they can provide structural habitat that may be used as a refuge for other species which leads to increased localised diversity, thus are of great ecological

significance. CWC are known to be vulnerable to fishing activity, and as such are protected under a number of initiatives. Cold-water coral reefs, coral gardens, and communities which are composed of epifauna that provide a structural habitat (e.g. xenophyophores and sea pens) for other associated species, are listed as Vulnerable Marine Ecosystems (VMEs) under the Food and Agricultural Organization (FAO). The Oslo-Paris Convention (OSPAR) lists a number of deep-sea habitats as 'threatened or declining', including: *Lophelia pertusa* reefs, coral gardens, carbonate mounds, and sea pen and burrowing megafauna communities; while cold-water coral reefs, coral gardens and sponge dominated communities all come under the definition of Annex I listed 'reef' habitat under the Habitat Directive (92/43/EEC).

Within the project CoralFISH, a hierarchical cold-water coral (CWC) biota classification scheme has been developed using habitat mapping data (from imagery) from across Europe to capture the range of CWC habitats. This hierarchical scheme allows data to be recorded from a broader coral class down to biotope level, independent of the resolution of the imagery footage being interpreted; and as such can be used at an appropriate level for management. This CWC scheme will be presented, focusing particularly on the Bay of Biscay.

Développement et utilisation des typologies d'habitats marins pour l'ultramarin français dans les programmes de connaissance et de conservation

Mathieu Grellier¹

¹ IFRECOR, Service du Patrimoine Naturel, Muséum National d'Histoire Naturelle
Contacts : mgrellier@mnhn.fr; aaish@mnhn.fr; michez@mnhn.fr; joannot@mnhn.fr

1. Contexte

1.1. Le Service du Patrimoine Naturel du MNHN

Les opérateurs de terrain utilisent différents référentiels d'habitats, parfois dans des versions différentes, en fonction de leurs besoins, de leur contexte géographique (métropole, Outre-Mer) et de la disponibilité de l'information. Il existe ainsi plusieurs typologies françaises ou européennes d'habitats terrestres et marins. Le Service du Patrimoine Naturel du MNHN (SPN) travaille sur la mise à disposition des différentes typologies d'habitats sous forme de bases de données avec métadonnées associées, ce qui permettra aux opérateurs de disposer d'une version officielle de chaque typologie. Il met aussi en correspondance les principales typologies d'habitats utilisées par les opérateurs de terrain. Ce travail permettra une meilleure mutualisation des données, celles-ci pouvant être transposées dans une même typologie.

Concernant les habitats marins benthiques de France métropolitaine, le SPN en collaboration avec les experts scientifiques (d'IFREMER, des Universités et du CNRS) s'occupe de l'harmonisation et de l'actualisation du référentiel. Ce travail a abouti en 2011 à la publication d'une liste de référence française des habitats marins benthiques présents en Méditerranée (Michez et al., 2011). Il a été poursuivi en 2012 et s'est achevé par l'établissement de la première version de la typologie des habitats marins benthiques présents en Manche, en Mer du Nord et en Atlantique qui est actuellement au stade de consultation publique (mars 2013). Le SPN souhaite que ces travaux ainsi que l'expérience des différents acteurs nationaux puissent être utilisés pour l'amélioration de la classification européenne EUNIS en 2013.

Concernant les habitats marins benthiques d'outre-mer, la création des typologies récifales a été confiée au Muséum en 2012 dans le cadre de sa mission nationale de création des référentiels des habitats, menée par le SPN. Ce travail est financé et cogéré par l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR).

1.2. L'initiative Française pour les RECifs CORalliens (IFRECOR)

Pour la période 2011-2015, l'objectif « habitat » a été intégré dans Thème d'Intérêt Transversal (TIT) Biodiversité de l'IFRECOR, piloté la déléguée à l'outre-mer au Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) de Paris. L'objectif de ce TIT est de développer une typologie des habitats marins pour les collectivités d'outre-mer dans un format européen EUNIS. Les habitats récifaux n'ont en effet pas été décrits dans un cadre normatif européen, l'objectif ici est donc de produire une typologie des habitats récifaux qui soit en adéquation avec les travaux typologiques de métropole. Cette adéquation se traduit par l'adoption du format EUNIS. Ce travail est tout juste commencé pour l'ultra-marin français depuis l'année 2011 et ne concerne à l'heure actuelle que le Pacifique Sud (Grellier, Andréfouët et Dirberg, 2011) et l'île d'Europa (Grellier et al., 2012).

Il convient de rappeler que ces deux typologies, bien qu'utilisant des méthodes et approches différentes, ont été réalisées consécutivement afin de répondre au mieux aux exigences de l'IFRECOR. La première typologie, uniquement géomorphologique, a surtout permis de mettre en évidence les obstacles sous-jacents liés au format EUNIS pour le milieu récifal. La

seconde a tenu compte des faiblesses identifiées et la méthodologie a été adaptée, notamment en utilisant une nouvelle approche (statistique) et en incluant les biocénoses. Cette seconde étude centrée sur Europa sera exposée lors du colloque CARHAMB'AR 2013.

2. Objectifs

Les îles Éparses sont, depuis la loi 2007-224 du 21 février 2007, portant dispositions statutaires et institutionnelles relatives à l'outre-mer, le cinquième district des Terres australes et antarctiques françaises (TAAF). Les cinq îles qui les constituent se répartissent entre 10 et 25 ° de latitude Sud, dans le canal du Mozambique (Glorieuses, Juan de Nova, Bassas de India et Europa) et au Nord de la Réunion (Tromelin). L'ensemble de leurs eaux sous juridiction française représente un total de 640 400 km² (soit environ 6% des eaux françaises). L'atoll d'Europa (30 km²) se situe plus spécifiquement à 550 km des côtes du Mozambique et à moins de 300 km de Madagascar, et possède une Zone Economique Exclusive de 127 300 km² (Fourmanoir, 1952; Gardes & Salvat, 2008; IUCN, 2008; Perillo, 2008).

D'un point de vue de la conservation, les TAAF et l'Agence des Aires Marines Protégées ont signé en janvier 2009 une convention cadre relative à la mise en place d'une stratégie de création d'aires marines protégées à partir d'une analyse stratégique régionale des îles Éparses. Cette analyse a permis d'identifier deux secteurs géographiques prioritaires : l'archipel des Glorieuses et l'île d'Europa. Suite à ces travaux de préfiguration, le projet de création d'une Réserve naturelle nationale de l'île Europa a été inscrit dans le livre bleu de la Mer, validé en Comité Interministériel de la mer (CIMer) le 8 décembre 2009, et rappelé en juin 2011 par le Premier Ministre.

Dans cette étude centrée sur Europa, l'objectif a été de caractériser les habitats marins et les pressions/menaces afin de disposer d'une meilleure vision de la biodiversité marine et d'apporter des éléments pertinents pour les gestionnaires et pour la création d'une Réserve Naturelle Nationale. L'île d'Europa (Iles Eparses) a été choisie comme île « test » pour mettre en place une typologie des habitats en format EUNIS en y incluant les biocénoses. La faible complexité récifale de l'île, le projet de classement en Réserve Naturelle Nationale et l'existence du programme BIORECIE (Biodiversité Récifale des Iles Eparses) de l'IRD ont été des arguments clés pour le choix de cette île. La première étape pour caractériser les habitats est la réalisation d'une typologie, conformément aux objectifs de l'IFRECOR et du SPN.

3. Méthode

3.1. Les typologies d'habitats récifales existantes

Deux typologies récifales déjà existantes ont été utilisées comme bases pour la création de la typologie des habitats marins d'Europa : la typologie Millenium (Andréfouët et al., 2006) et la nomenclature de (Battistini et al., 1975).

3.1.1 La typologie Millenium

La typologie Millenium est un produit du projet « Millennium Coral Reef Mapping » initié en 2001 à l'« *Institute for Marine Remote Sensing* » (IMaRS) de l'« University of South Florida » (USF) aux États-Unis et qui se poursuit depuis 2003 à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Nouméa. C'est une typologie que l'on peut qualifier de cartographique dans la mesure où tous les habitats référencés sont indentifiables par l'analyse d'images satellites à haute résolution (30 m). Nous avons utilisé la structure de cette typologie comme référence car elle s'applique à l'ensemble des récifs coralliens français et possède une structure hiérarchique marquée par l'existence de blocs. C'est une

structure souple et aisément exploitable. Le schéma de classification est de type hiérarchique et comprend plusieurs niveaux (Andréfouët et al., 2006) :

- **Niveau 1** : Ce niveau distingue les récifs continentaux des récifs océaniques
- **Niveau 2** : Distinction des grands complexes récifaux : atolls, bancs, atolls surélevés, îles, massifs coralliens, récif frangeant, récif barrière
- **Niveau 3** : Les grands complexes récifaux se décomposent en blocs d'unités géomorphologiques fonctionnelles différentes : lagon, pente externe, récif frangeant d'île, récif barrière d'île ;
- **Niveau 4** : Ce niveau comprend les unités géomorphologiques (passe, platier, etc.) qui vont constituer les niveaux inférieurs. Parfois ces unités vont être spécifiques à un complexe récifal (couronne d'atoll ennoyée), mais le plus souvent elles sont potentiellement rencontrées dans plusieurs blocs de niveaux 2 et 3 (ex : « platier récifal » que l'on retrouve aussi bien dans des atolls, des frangeants continentaux, ou des récifs barrière d'île océanique)
- **Niveau 5** : Il est obtenu par une combinaison unique des informations des niveaux 1 à 4. La figure 2 illustre la structure générale de la typologie Millénium.

Cette typologie s'arrête à un niveau de description induit par la résolution des outils de télédétection (le niveau de description le plus fin correspond par exemple aux types « passe » ou « platier »). Aucune description géomorphologique n'est donnée pour les unités plus fines telles qu'on les trouve décrites dans Battistini et al., (1975). La structure de cette typologie, a été utilisée dans les premiers niveaux pour la réalisation de la typologie Europa.

3.1.2 Battistini et al., 1975

Battistini et al., 1975 ont catalogué les structures récifales types présentes dans la région Indo-Pacifique. Divers types de complexes récifaux ont été étudiés en détail sur la côte ouest de Madagascar, l'Archipel des Comores, l'Archipel des Mascareignes, la Grande Barrière d'Australie, les barrières récifales de Nouvelle-Calédonie, les îles et atolls de la Polynésie française, etc. Ces structures récifales types sont caractérisées par un niveau de description supérieur à celui de la typologie Millenium. Nous parlerons dans la suite de description géomorphologique de Niveau 6. Ils décrivent et définissent finement les différentes unités géomorphologiques du récif. Au total 125 éléments morphologiques des récifs coralliens de la zone Indo Pacifique ont été identifiés. A chaque unité identifiée, sont associées des définitions élaborées où sont décrits dans certains cas les communautés présentes dans ce type d'unité. Cette typologie a servi de base terminologique pour élaborer la typologie Europa.

3.2. Création de la typologie Europa

Deux approches ont été combinées : l'approche statistique et l'approche dite « à dire d'expert » pour l'identification et la hiérarchisation des habitats marins d'Europa. Même si la première approche pourrait être vue comme plus 'objective', il est cependant difficile et rare de disposer de suffisamment de données exclusivement quantitatives ou semi-quantitatives. C'est pourquoi nous avons fait le choix d'adopter une approche « mixte », combinant à la fois l'approche statistique et l'approche experte pour la réalisation de la typologie.

3.2.1 Approche statistique

L'objectif consiste ici en la création d'une classification hiérarchique ascendante des stations de travail, consiste à rassembler des données, nommées « objets », dans différents groupes suivant leur ressemblance ou dissemblance, selon différents paramètres ou variables, appelés « descripteurs » (Clarke & Warwick, 2001). Cette méthode nécessite que les données soit quantitatives ou semi-quantitatives (Clarke & Warwick, 2001 ; Mumby et al.,

1999). Pour cela nous disposons de plusieurs jeux de données dont deux bases principales² où pour chaque station nous avons : la couverture corallienne, la couverture algale, la couverture en phanérogames et le pourcentage absolu de chaque espèce de phanérogame et de corail.

Ce lien entre les différents objets représente la similarité/dissimilarité entre les stations. Pour la calculer nous avons utilisé l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis (logiciel Primer®) appliqué à l'ensemble des données stations. Le résultat se présente sous la forme d'un dendrogramme (Cf. Figure 1), sur ce dernier nous choisissons un niveau de coupe ou un nombre de classes : ces classes présentent par construction un maximum de dissimilarité et sont donc supposées représenter au mieux les différentes classes homogènes visibles sur le terrain (herbier, sable). Le procédé est simple et rapide.

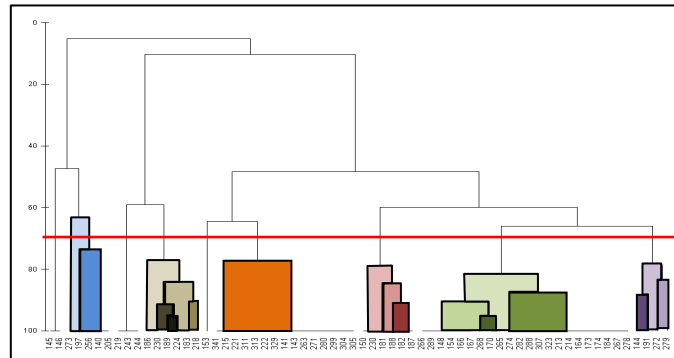


Fig.1 Dendrogramme obtenu après les analyses SIMPER. Chaque jeu de couleurs représente une classe identifiée pour un taux de similarité de 70%.

3.2.2 Approche dite experte

Cette approche est complémentaire à l'approche statistique. En effet les habitats déterminés avec les jeux de données utilisés dans l'approche statistique n'étaient pas assez révélateurs de la diversité d'habitats de l'île. Seules 16 classes d'habitats ont été déterminées grâce à cette approche. Ainsi nous avons utilisé l'approche experte pour déterminer des habitats supplémentaires. Dans cette approche, l'expert intègre l'ensemble des données et propose des classes d'habitats synthétisant sa connaissance du milieu. Les descripteurs et paramètres relevés sur le terrain permettent de caractériser ces habitats et de les classer. La hiérarchisation de cette classification consiste à créer une clé d'identification, sur la base de ces descripteurs et paramètres, conformément au format EUNIS.

Pour respecter le format EUNIS, nous devons respecter les « critères » ou « clés » (cf. I.C.), pour passer à des niveaux supérieurs. Les critères usités sont :

- Géomorphologie de niveau 1, 2, 3 (Typologie Millenium)
- Etage : infralittoral, médiolittoral et supralittoral
- Géomorphologie de niveau 4 (Typologie Millenium)
- Exposition : forte, moyenne, faible
- Substrat : bioconstruit, meuble, mixte
- Géomorphologie niveau 5 (Battistini et al., 1975)
- Profondeur : 0-5m ; 5-10m ; 10-15m ; >15m
- Couverture corallienne : <5% ; 5-10% ; 10-30% ; 30-60% ; >60% (Dahl, 1981)
- Genre et/ou espèces dominantes

Le premier critère ayant permis de différencier les stations est la géomorphologie de niveau 4 du Millenium Coral Reef Mapping Project : pente externe, platier et terrasse peu profonde.

² IFREMER/ARVAM/AAMP/TAAF/ACTIMAR et IFREMER/Kelonia

Ces trois types ont été identifiés par (Andréfouët, Chagnaud, Cauvin, & Kranenburg, 2008). Une fois les stations réparties par type géomorphologique, nous avons comparé les informations des différentes stations de manière à identifier un habitat, qui regroupe plusieurs stations ayant des caractéristiques communes (mêmes ordres de grandeur de couverture corallienne, profondeurs similaires, espèces /genres proches, substrats similaires, turbidité et exposition aux houles identiques).

Une fois les habitats référencés « à dire d'experts », ils sont insérés hiérarchiquement dans la typologie selon la méthodologie EUNIS. Les dichotomies pour passer à des niveaux supérieurs s'organisent de la manière suivante :

Géomorphologie de niveau 1 : Récif océanique/Récif continental

Géomorphologie de niveau 2 : Atoll océanique/Atoll surélevé/Banc océanique/...

Géomorphologie de niveau 3 : Lagon d'atoll/Couronne d'atoll /...

Étage : Supralittoral/Médiolittoral/Infralittoral

Géomorphologie niveau 4 : Platier/Terrasse peu profonde/Pente externe

Exposition : Forte/Moyenne/Faible

Substrat 1 : Bio-construit/Détritique/Mixte

Géomorphologie niveau 5 : Eperons et sillons, plateforme, Glacis, Dalle du platier etc.

Profondeur (étage infralittoral)

Couverture corallienne : < 5% / 5-10% / 10-30% / 30-60% / > 60%

Genre et/ou espèces dominantes, morphes

3.2.3 Résultats

Nous obtenons *in fine* une typologie où figurent tous les habitats en format EUNIS. Dans cette typologie les habitats trouvés avec les analyses statistiques (16 habitats) et « a dire d'expert » (60 habitats) ont été inclus. Les doublons d'habitats trouvés avec les deux méthodes ont été enlevés. Nous obtenons **71 habitats**.

4. Application à la cartographie

La combinaison d'images satellites (Quickbird, 0.5m de résolution), du produit Litto3D® (IFREMER, Agence des Aires Marines Protégées, ARVAM, TAAF, Actimar) et notre typologie des habitats, nous ont permis de cartographier 43 habitats y compris sur la pente externe. Le résultat se présente sous la forme d'une carte avec une légende reprenant les habitats inscrits dans la typologie et visibles sur les images satellites.

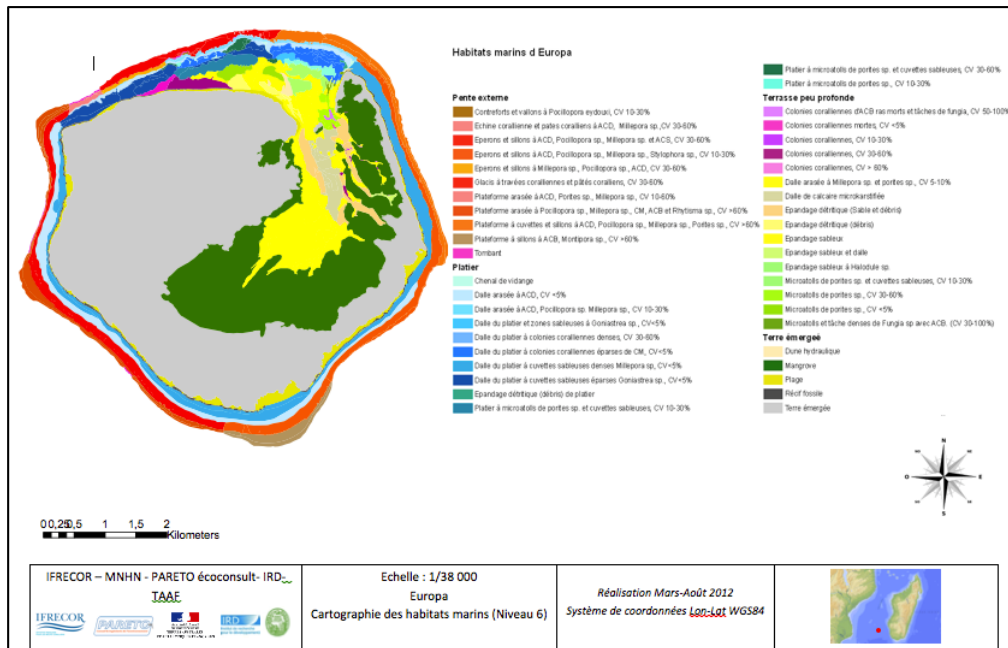


Fig.2 Cartographie des habitats marins d'Europa. Au total 43 habitats ont été cartographiés.

5. Perspectives

Le travail de réalisation de typologies des habitats pour les collectivités outre-mer se poursuit actuellement avec pour objectif d'acquérir une vision globale des typologies récifales en France et à l'étranger, pour mettre notre travail en contexte internationale. Pour ce faire, un rapport présentant un inventaire des méthodologies appliquées dans la frange tropicale dans la création de typologies est en cours. En parallèle, une analyse critique des méthodes déjà appliquées pour le Pacifique et les Iles Eparses est en rédaction, pour comprendre comment ces méthodes pourraient évoluer dans l'avenir. Enfin, on vise à identifier les priorités pour le travail de l'IFRECOR/SPN-MNHN sur le développement des typologies outre-mer à partir de mi-2013.

Références bibliographiques

- Andréfouët, S., Muller-karger, F., Robinson, J. A., Christine, J., Torres-pulliza, D., Spraggins, S. A., & Murch, B. (2006). Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications : a view from space. *Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa, June 2004. Plenary invited paper.* (pp. 1732–1745).
- Andréfouët, S., Chagnaud, N., Cauvin, C., & Kranenburg, C. J. (2008). *Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer, Centre IRD de Nouméa, Décembre 2008* (p. 153).
- Battistini, R., Bourrouilh, F., Chevalier, J. P., Coudray, J., Denizot, M., Faure, G., Fisher, J. C., et al. (1975). Éléments de terminologie récifale indopacifique. *Téthys*, 7(1), 1–111.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition.*
- Fourmanoir, P. (1952). Observations sur la faune marine et la pêche à l'île d'Europa. *Mémoires de l'institut scientifique de Madagascar*, 7(2), 167–188.
- Gardes, L., & Salvat, B. (2008). Les récifs coralliens de la France d'outre-mer : rétrospective des évolutions enregistrées par les réseaux de surveillance de l'état de santé de ces écosystèmes diversifiés et fragiles. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 63, 13–23.
- Grellier, M., Nicet, J. B., et Ringelstein, J. (2012). *Etude d'identification des zones de conservation prioritaires dans le cadre de la mise en place d'une Réserve Naturelle Nationale dans les îles Eparses: cas de l'île d'Europa. Ecole Nationale du Génie de*

- l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Muséum National d'Histoire Naturelle, Initiative Française pour les Récifs Coralliens, Terres Australes et Antarctiques Françaises, Pareto ecoconsult. Saint-Pierre. La Réunion (p. 90).*
- Grellier, M., Andréfouët, S., et Dirberg, G. (2011). *Typologie des habitats récifaux du Pacifique en format EUNIS (European Nature Information System). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. Institut de la Recherche et du Développement, Nouméa. (p.82)*
- IUCN. (2008). *Iles Eparses. Biodiversité et conservation en outre-mer, 107–116.*
- Michez N., Dirberg G., Bellan-Santini D., Verlaque M., Bellan G., Pergent G., Pergent-Martini C., Labrune C., Francour P., Sartoretto S., 2011. *Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée, Liste de référence française et correspondances. Rapport SPN 2011 - 13, MNHN, Paris, 48 p.*
- Michez N., Aish A., Dirberg G., 2012. *Typologie des habitats marins, Correspondances. Rapport SPN 2012 - 39, MNHN, Paris, 95 pages.*
- Mumby, P. J., & Harborne, A. R. (1999). Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs. *Biological Conservation, 88*, 155–163.

Session 2 : Outils et méthodes en télédétection optique et écho-intégration

Guide de réalisation de cartes des habitats en milieu récifal par télédétection

Jean Benoit Nicet¹, Michel Porcher², Gwenaëlle Pennober³, Pascal Mouquet^{4,5}, Neil Alloncle⁴, Yoann Denis¹, Guillaume Dirberg⁶, Anne Nicolas⁷, Benoit Pribat, Julien Ringelstein⁸, Jean Pascal Quod⁹ Serge Andréfouët³

¹ PARETO, 16 rue Albert Lougnon, Technopole de La Réunion □, Sainte Clotilde, La Réunion

² S2C

³ Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

⁴ Agence des Aires Marines Protégées,

⁵ IFREMER

⁶ Museum National d'Histoire Naturelle

⁷ Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

⁸ Terres Australes et Antarctiques Françaises

⁹ ARVAM

Le guide de réalisation de cartes des habitats en milieu récifal par télédétection décrit ici s'inscrit dans le cadre des actions transversales de l'IFRECOR (Initiative Française pour les Récifs Coralliens). L'IFRECOR a été créée en 1998 et son but principal est de promouvoir la protection et la gestion durable des récifs coralliens présents dans 8 collectivités de l'outre-mer français (COM).

Le guide est divisé en 2 parties distinctes dont les objectifs sont de permettre :

- Partie 1 : aux gestionnaires de rédiger un cahier des charges lors de la commande de cartes d'habitats à un prestataire ;
- Partie 2 : aux prestataires de suivre des choix méthodologiques standardisés.

1. Aide à la rédaction du cahier des charges pour la commande de cartes d'habitats

Après un rappel des définitions et notions fondamentales pour la bonne réalisation d'une carte, le document informe les gestionnaires sur les différentes étapes nécessaires à la réalisation d'une carte des habitats par télédétection et les prescriptions qui doivent figurer dans le cahier des charges afin que la carte des habitats obtenue au final puisse satisfaire aux objectifs du gestionnaire

1.1. Définir les spécifications (échelle de rendu, précision de la typologie des habitats, résolution spatiale et spectrale de l'image) en fonction du type de cartes à produire.

En fonction du type de document voulu, le travail à réaliser sera contraint par l'échelle de rendu des cartes (échelle locale à globale) ou le niveau thématique voulu de détail dans la description des habitats (niveau très faible à élevé). Le guide liste donc pour les collectivités françaises les principaux documents de planification, les documents réglementaires, et les documents de gestion exigeant une carte des habitats, en décrivant l'échelle de rendu et le niveau typologique nécessaire. En fonction des objectifs du gestionnaire, le type d'image à utiliser (qui induira le niveau typologique et l'échelle de rendu) pourra être défini.

1.2. Les méthodes à mettre en œuvre (traitement de l'image) et les contraintes de la vérité terrain nécessaire pour informer le processus de création de la carte et sa validation.

Les principales méthodes utilisées pour l'analyse thématiques des images sont décrites et leurs avantages et inconvénients sont détaillés. En outre, les moyens logistiques, humains et

techniques à mettre en œuvre dans le cadre de la vérité terrain sont abordés dans le guide en fonction :

- du niveau typologique choisi ;
- de la superficie de la zone étudiée (ce qui influencera la diversité d'habitats présente et leur hétérogénéité spatiale),
- de la profondeur maximale à échantillonner,
- de l'éloignement à la côte (ou du port si des moyens nautiques sont nécessaires),
- de l'hydrodynamisme (houle et courants),
- de la turbidité et autres facteurs pouvant gêner la collecte terrain.

1.3. L'intérêt de documenter les données acquises dans les formats usuels et de suivre les recommandations IFRECOR.

Le guide décrit les formats de rendu normalisés afin notamment que les gestionnaires disposent de cartes d'habitats potentiellement évolutives en fonction des futurs financements du gestionnaire et de l'évolution de ses objectifs. Par exemple, les formats de rendu permettront d'améliorer ou de mettre à jour la carte des habitats (en réalisant de nouvelles campagnes d'échantillonnage sur le terrain). De même, les données et format de rendu fournis aux gestionnaires lui permettent d'utiliser ces cartes d'habitats comme base à la réalisation de cartes de vulnérabilité et d'enjeux en milieu récifal.

1.4. Un chronogramme type et le chiffrage du coût d'une opération complète de cartographie.

Un chronogramme indicatif par étape est proposé et les différentes étapes de validation par le gestionnaire sont explicitées. De même, afin que le gestionnaire puisse dimensionner correctement l'enveloppe financière, le guide rappelle l'ensemble des moyens techniques, logistiques et humains à prendre en compte. Ces moyens sont principalement fonction de l'échelle de rendu et du niveau typologique souhaités.

2. Éléments de standardisation des cartes d'habitats : zoom sur la construction de la typologie des habitats

Dans la première partie du guide (Aide à la rédaction du cahier des charges), les premières recommandations pour la standardisation des cartes d'habitats concernent le type d'images, l'échelle de rendu, le niveau typologique des habitats à utiliser et l'effort d'échantillonnage à fournir sur le terrain dans le cadre de la vérité terrain (phase d'apprentissage ou validation de la carte) en fonction des objectifs du gestionnaire.

Elles concernent ensuite les formats de rendu pour que l'ensemble des gestionnaires dispose du même type de données dans des formats cohérents.

Dans la partie 2 du guide, l'accent est particulièrement mis sur la standardisation d'une méthode de construction de la typologie des habitats. Cette standardisation nécessite dans un premier temps une définition commune de l'habitat. En milieu corallien, un ensemble de critères a été retenu :

- la géomorphologie (avec une notion intrinsèque de l'exposition hydrodynamique et de la profondeur),
- l'architecture (relief, complexité structurelle, rugosité)
- la nature du substrat ;
- Pour les peuplements dominants : les macro-peuplements benthiques sessiles dominants (et leurs couvertures du substrat ou densités).

Chaque critère est composé de niveaux hiérarchiques allant du plus général (niveau 1) au plus précis (niveaux 3 à 5). Chacun de ces niveaux présente une liste d'attributs possibles (référentiel). Cette liste a été établie à partir de typologies précédentes et de nombreuses

cartes d'habitats déjà réalisées . Elle reprend par exemple pour la géomorphologie la classification du Millenium Coral Reef Mapping Project (Andrefouet *et al.*, 2006) et le travail de Battistini *et al* (1975). Elle prend également en compte pour les peuplements et substrat les variables définies dans le logiciel COREMO3 (ARVAM 2010, tirées en partie de English *et al.*, 1997) ainsi que pour le recouvrement la cotation de Dahl (1981).

La typologie des habitats retenue pour la réalisation de carte d'habitats sera construite à partir de ces critères et du référentiel (référentiel IFRECOR). Au final, la superposition de ces critères en fonction du niveau hiérarchique renseigné permet de construire une typologie de niveau très faible à élevé (tableau 1).

Le guide ne fournit pas directement la typologie exhaustive des habitats en milieu corallien mais il propose une méthode pour construire l'ensemble des niveaux typologiques définis dans le guide pour un site donné.

Tableau 1 Typologie hiérarchique des habitats et critères

		Superposition des critères →						
		Géomorphologie +	Architecture +	Substrat +	Origine du substrat +	Peuplement +	Couverture peuplement =	Niveau typologique des habitats
Niveaux hiérarchiques	Faible ↓	niveau 1						
		niveau 2						
		niveau 3						
		niveau 4		-	-	-	-	Très faible
		niveau 4 à 5						Faible
		niveau 5	niveau 1	niveau 1	-	niveau 1	niveau 1	Moyen
		niveau 5	niveau 1	niveau 2	niveau 1	variable (niveau 2 à 3 selon taxon) et éventuellement niveau 5 et niveau 6	niveau 2	Elevée
		niveau 5	niveau 2	niveau 3	niveau 1	niveau 4 + niveau 5 + niveau 6	niveau 3	Très élevée (techniquement non cartographiable avec les moyens actuels de télédétection). Travail réalisé dans le cadre IFRECOR, TIT Biodiversité
		Fort ↓						

Références bibliographiques

ARVAM, 2010. CoReMo 3 Coral Reef Monitoring « Suivi de l'état de santé des récifs coralliens » Manuel d'utilisateur.

Andréfouët S. *et al.*, 2006. Global assessment of modern coral coral extent and diversity for regional science and management applications : a view from space. Proc 10th Int Coral Reef Symp I : 1732-1745.

Battistini *et al.*, 1975. Eléments de terminologie récifale Indo-Pacifique. Thétys 7 : 1-111

Dalh, 1981. Coral Reef Monitoring Handbook. South Pacific Publication bureau : Nouméa, 21 pages.

English S., Wilkinson C., Baker V., 1997. Survey Manual for Tropical Marine Resources - second edition. Australian Institute of Marine Sciences, Townsville, 368 pp.

Cartographie bio-sédimentaire des estrans par imagerie multi-capteurs et multi-dates

Aurélie Dehouck¹, Nicolas Baghdadi², Aurélie Garcia³, Cécile Curti¹, Gilles Trut⁴, Virginie Lafon¹

¹ GEO-Transfert, UMR 5805 EPOC, Avenue des facultés, 33405 Talence cedex

² IRSTEA, TETIS, 350 rue Jean-François Breton, 34000 Montpellier, France

³ Museum National d'Histoire Naturelle, 8 Rue du Port Blanc, 35800 Dinard

⁴ IFREMER, quai du commandant Silhouette, 33120 Arcachon

Résumé

L'imagerie satellitaire optique dispose d'un bon potentiel de cartographie des espaces naturels littoraux de par l'emprise spatiale, la haute résolution et le recul temporel qu'offrent les 25 ans d'archives image SPOT. Cette communication explore le potentiel des images SAR (Synthetic Aperture Radar) Haute Résolution (HR) pour la cartographie des habitats intertidaux en complément de l'imagerie optique traditionnelle. Dans un premier temps, le potentiel de discrimination des habitats du Bassin d'Arcachon est brièvement évalué à partir d'une série temporelle constituée de 15 images TerraSAR-X et de 2 images ALOS-PALSAR acquises entre 2007 et 2011. L'étude a permis de caractériser les signatures radar de la couverture sédimentaire intertidale, des herbiers de zostères, des bancs d'huîtres et de la végétation du schorre. Les bancs d'huîtres, les structures ostréicoles et le schorre ont des signatures radar très particulières (forte brillance) ce qui permet de les distinguer de la slikke, qu'elle soit végétalisée ou non, et de lever la confusion issue de l'analyse d'une image optique seule. Dans un second temps, l'article développe les résultats issus de la classification des données optiques et radar concaténées sur le secteur de La Hume (Gujan-Mestras). Les résultats les plus satisfaisants sont obtenus avec une classification supervisée de Mahalanobis basée sur les 4 bandes SPOT d'une image estivale, la bande XS2 d'une image SPOT d'hiver et une bande radar HH TerraSAR-X. Cette approche cartographique combinant données optiques-radar multi-temporelles permet de lever les principales difficultés ayant motivé cette étude. Enfin, ces travaux sont mis en perspective avec la cartographie récente de l'herbier de *Zostera noltii* du Bassin d'Arcachon réalisée à partir de l'imagerie satellite.

Introduction

Le Bassin d'Arcachon, lagune macrotidale du sud-ouest de la côte Atlantique, site Natura 2000 et futur parc marin, est un site de démonstration privilégié où les écosystèmes doivent s'adapter au changement du climat et aux usages anthropiques. Dès lors, la télédétection spatiale est un outil efficace et bon-marché pour cartographier les habitats naturels du Bassin et suivre leurs évolutions spatio-temporelles. Des travaux précédents ont démontré le potentiel des images de télédétection spatiale haute résolution pour la cartographie des faciès bio-sédimentaires du Bassin (Lafon et al., 2008) et des zones naturelles littorales de par le monde. Cependant, l'imagerie multispectrale optique de résolution décamétrique (ex : SPOT et Formosat) peine à détecter correctement les bancs d'huîtres, les herbiers de zostères peu denses et à discriminer herbiers denses de zostères et végétation du schorre (Lafon et al., 2008). Ces lacunes peuvent en partie être levées en incorporant des données radar HR qui ont un potentiel intéressant d'imagerie des zones intertidales (Van der Wal et al., 2005; Gade et al., 2008). Cette communication vise à présenter le potentiel des images radar TerraSAR-X et ALOS-PALSAR pour la cartographie des habitats naturels intertidaux en complément de l'imagerie optique traditionnelle (programme SYNIHAL).

1. Données et méthodes

Les travaux du programme SYNIHAL s'appuient sur la base de données KALIDEOS (CNES, <http://www.kalideos.cnes.fr>) qui rassemble plus de 150 images satellite Haute Résolution optiques et radar du Bassin d'Arcachon (archive de 25 ans). Une série de 15 images radar TerraSAR-X (bande X, longueur d'onde 3 cm, résolution 1 à 2.75 m) et de 2 images ALOS-PALSAR (bande L, 24 cm, résolution 12.5 m) acquises dans des configurations instrumentales variées (polarisation, incidence) ont été examinées (Dehouck et al., 2012a). Toutes les images radar acquises correspondent à des niveaux d'eau de basse mer. L'ensemble du jeu de données inclut également des images optiques de type SPOT-5 (10 m) et FORMOSAT-2 (8 m). Les images TerraSAR-X et ALOS-PALSAR sont géoréférencées et calibrées en coefficient de rétrodiffusion radar (σ_0 en dB). Les images optiques sont livrées en niveau 3 par le CNES, géoréférencées et calibrées en réflectance de surface.

Les données de terrain utiles à l'analyse des images, à la calibration et à la validation de la méthode de cartographie sont de plusieurs ordres. Des missions d'observation synchrones à l'acquisition des images TerraSAR-X ont été réalisées pour décrire l'état des surfaces intertidales et en interpréter leur signature radar. Ces observations sont géolocalisées avec un DGPS Trimble GEO-XT de précision sub-métrique. Des missions hyperspectrales ont également été réalisées en 2010 et 2011 environ tous les 2 mois pour acquérir une librairie spectrale permettant de caractériser la signature optique des faciès bio-sédimentaires et leur variabilité saisonnière (Dehouck et al., 2012b). Ces mesures sont réalisées sur quelques sites de référence à l'aide de deux spectro-radiomètres TRIOS RAMSES qui permettent de restituer pour chaque type de surface, sa réflectance de télédétection.

La stratégie de cartographie consiste à exploiter des images satellite optiques et radar en synergie. Une méthode simple de classification supervisée a été utilisée à partir d'une image concaténée composée de canaux optiques (bandes SPOT-5) et de canaux radar (bandes TerraSAR-X). L'image TerraSAR-X a été rééchantillonnée à une résolution de 10 m équivalente à celle de l'image SPOT-5. Trois algorithmes supervisés ont été testés (minimum de distance, Mahalanobis et maximum de vraisemblance) entraînés par des parcelles (blocs de 3x3 pixels) de faciès connu. Il a été nécessaire de définir 21 classes d'entraînement pour représenter la diversité des substrats et obtenir un résultat cartographique fidèle à la réalité terrain.

2. Résultats

2.1. Signature optique des habitats

Les données radiométriques mesurées sur le terrain confirment la bonne séparabilité spectrale entre les sols couverts de végétation et les sols nus, exceptés pour les plus faibles taux de recouvrement de l'herbier dont la signature optique s'apparente à celle d'un sol nu. Elles confirment également qu'il est difficile de dissocier les spartines et les herbiers présentant un fort taux de recouvrement. Et comme l'hiver, les taux de recouvrement de l'herbier sont généralement faibles à l'échelle du Bassin, on peut exploiter dans une approche multi-temporelle la variabilité saisonnière de l'herbier en la confrontant à la pérennité des spartines pour les discriminer à l'aide par une approche multi-temporelle.

2.2. Signature SAR des habitats

L'analyse des données SAR indique un fort potentiel des images radar ALOS-PALSAR et TerraSAR-X pour combler les lacunes issues de l'utilisation d'images optiques seules pour la cartographie des habitats intertidaux. En premier lieu, les bancs d'huitres sont facilement discriminables des autres substrats, nus ou végétalisés par les zostères, aussi bien en bande X qu'en bande L (forte brillance des bancs d'huitres sur la Figure 1). La différence radiométrique est de 4 à 8 dB en polarisation HH (>2 dB qui est le seuil de séparabilité entre

2 faciès). Ceci s'explique par la rugosité centimétrique des coquilles d'huitres responsable d'une réflexion diffuse et conduisant à une forte rétrodiffusion radar en bande X ($\sigma_{0,HH} \approx -7$ dB à -9 dB) ainsi qu'en bande L ($\sigma_{0,HH} = -12$ dB). Les images radar apportent aussi une contribution majeure pour améliorer la séparabilité entre l'herbier de zostères et le schorre. La différence est d'environ 4 dB en bande L et varie entre 2 et 7 dB en bande X. Le schorre est caractérisé par une très forte rétrodiffusion radar du fait de mécanismes de diffusion double et multiple (interactions sol-plante et eau-plante) et par l'humidité des sols du fait de l'inondation lors de la pleine mer précédente. D'une manière générale, il existe de fortes variations de la réponse radar associées à une variabilité spatio-temporelle des propriétés de surface des sédiments (présence/disparition de figures sédimentaires, conditions d'humidité du sol et d'inondation par la marée variables) ainsi qu'à des facteurs instrumentaux (σ_0 décroît avec un angle d'incidence croissant, σ_0 des rides sableuses influencé par l'angle de visée du satellite).

2.3. Classification optique-SAR

Les bandes spectrales d'une image satellite optique d'été (SPOT-5 à 10 m du 28/08/11), d'une image radar (TerraSAR-X à 2.75 m du 7/09/11) et d'une image SPOT-5 d'hiver (1/02/10) sont concaténées pour former une image à 7 bandes (XS1_{été}, XS2_{été}, XS3_{été}, XS4_{été}, XS2_{hiver}, HH, VV) à 10 m de résolution. Parmi les différents tests de classification, la méthode de Mahalanobis donne les résultats les plus satisfaisants. La figure 2b montre les résultats de la classification de l'image SPOT du 28/8/11. On note une sur-détection des bancs d'huitres (grandes étendues blanches débordant des contours noirs obtenus par photo-interprétation) ainsi que de nombreux patches de végétation du schorre (rose/violet) au sein de l'herbier (vert), et réciproquement. L'intégration d'une bande radar permet de résoudre les problèmes de sur-détection des huitres et de réduire la confusion entre l'herbier et le schorre (Fig. 2c). En incorporant la bande rouge SPOT-5 d'hiver (XS2_{hiver}), la confusion herbier/schorre est presque totalement levée (Fig. 2d).

3. Discussion - Perspectives

Ces résultats sont très encourageants et indiquent que l'utilisation combinée d'images multi-temporelles optiques et radar permet de résoudre les principales difficultés issues de l'utilisation d'une image optique seule. Cette approche de classification simple sera testée dans le courant de l'année 2013 sur 3 nouvelles lagunes de la façade atlantique française : baie de Marennes-Oléron (collaboration Université de La Rochelle), baie de Bourgneuf (coll. Université de Nantes) et Golfe du Morbihan (coll. Ifremer). En parallèle, d'autres méthodes de fusion de données optiques et radar vont prochainement être testées pour exploiter au maximum la synergie entre les deux types de données. Pour améliorer la cartographie thématique de la lagune et la détection des faciès qui évoluent très rapidement (couvert de macro-algues), des espoirs sont fondés sur les méthodes de classification multi-temporelle exploitant une série (~mensuelle, a minima saisonnière) d'images optiques. Cette approche de classification est exploitée avec succès en agriculture pour cartographier la rotation des cultures.

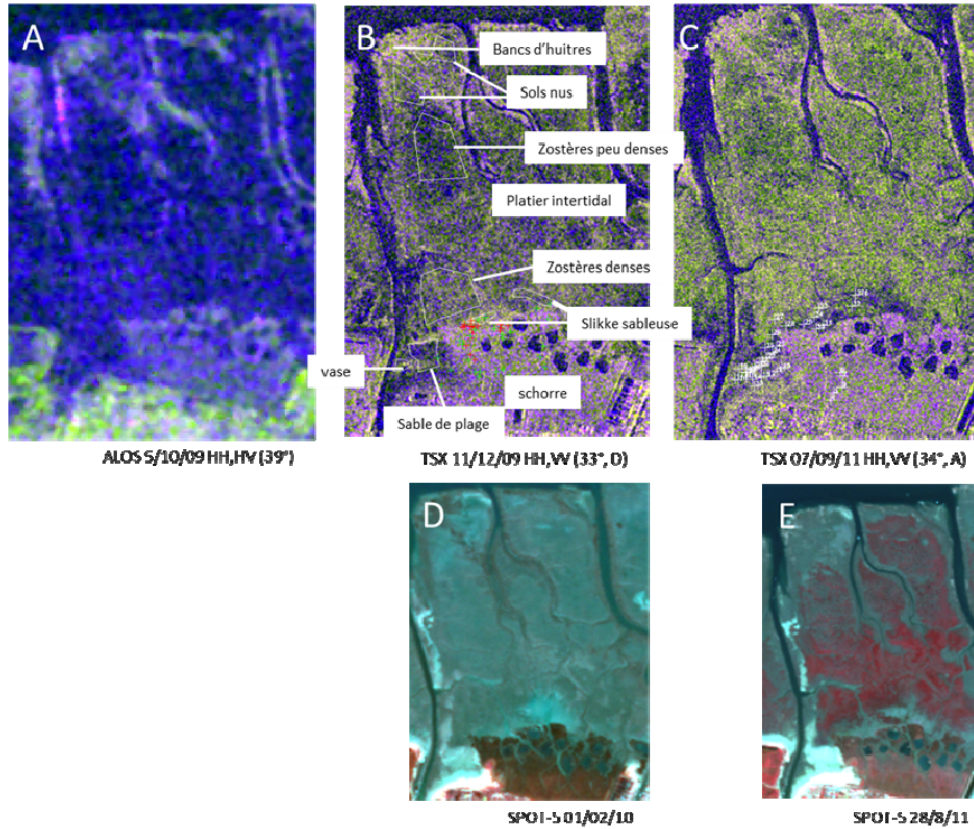


Fig.1 Compositions colorées issues des images radar ALOS-PALSAR polarisations HH, HV, HH-HV (A), TerraSAR-X polarisations HH, VV, HH-VV (B, C) et optiques SPOT-5 (D, E) du site de La Hume (Gujan-Mestras).

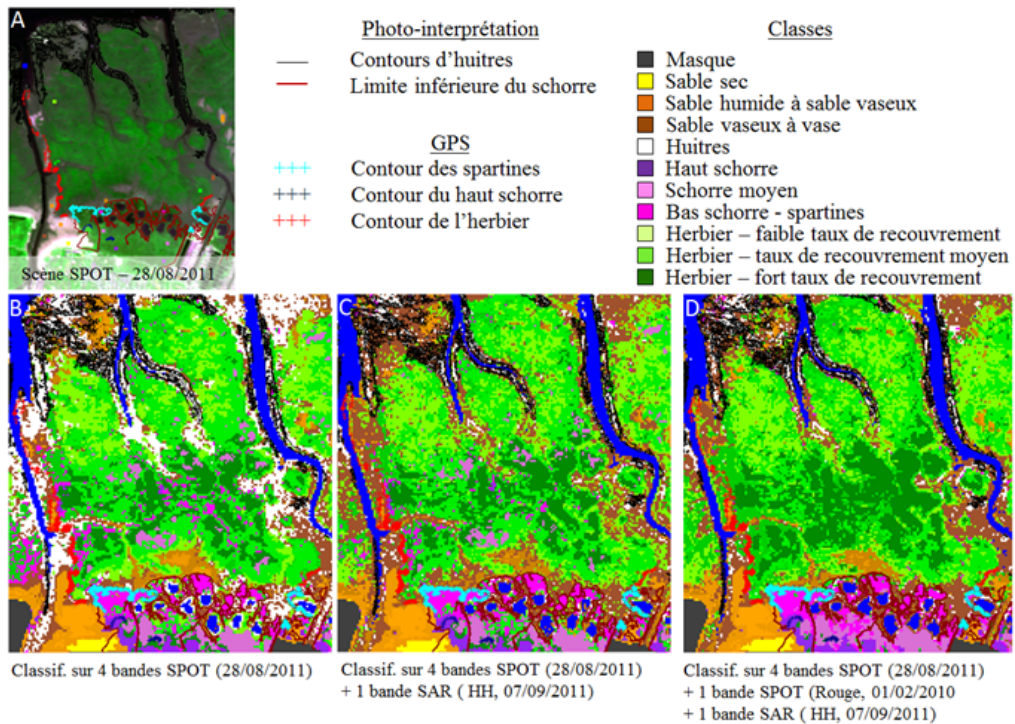


Fig.2 Stratégie de cartographie multi-temporelle multi-source des faciès bio-sédimentaires intertidaux (A) image optique SPOT-5 d'août 2011 et vérité terrain (B) classification sur les 4 bandes SPOT, (C) sur les 4 bandes SPOT d'été + 1 bande TerraSAR-X HH de septembre 2011, (D) 4 bandes SPOT + TSX HH + 1 bande XS2 SPOT-5 d'hiver.

La carte bio-sédimentaire ainsi réalisée peut servir de base à une analyse de caractéristiques biogéochimiques précises, comme par exemple l'emprise maximale de l'herbier à *Zostera noltii* pour trois classes de taux de recouvrement, qui sont des paramètres du suivi DCE pour les environnements lagunaires macrotidaux. Une étude portant sur la validation de la cartographie de ces indicateurs a été menée en 2012 (Figure 3). Un indice de végétation a été appliqué à la zone d'herbier, construit à partir de contours GPS de terrain enserrant des zones d'herbier homogènes. Puis la procédure de cartographie et la carte des zostères ont été validées à l'aide de 300 relevés GPS, indépendants des contours exploités pour caler la méthode. La précision globale de la carte satellite est de 70%. En revanche, les utilisateurs de la carte sont engagés à analyser prudemment la classe 0-25% car les très petits taux de recouvrement sont mal discernés, ou parfois confondus avec des biofilms. La carte spatiale doit être finalement réinterprétée à dire d'expert afin de limiter le nombre de polygones générés par le traitement (exclusion de très petits polygones, fusion de polygones proches) et d'exclure, sur la base des observations de terrain les polygones représentant des algues.

Ainsi, en 2012, la superficie globale occupée par des herbiers est de 42.5 km², soit près de 7% de moins que la superficie occupée en 2007. Suivant la tendance observée depuis 2005, les surfaces occupées par des herbiers à faible taux de recouvrement augmentent au détriment des herbiers présentant un taux de recouvrement fort. Fait nouveau, la surface des herbiers dont le taux de recouvrement est moyen décline également significativement depuis 2007. L'est du bassin continue d'être particulièrement touché par ce recul.

Si cette approche demande à être améliorée, elle montre déjà un excellent potentiel.

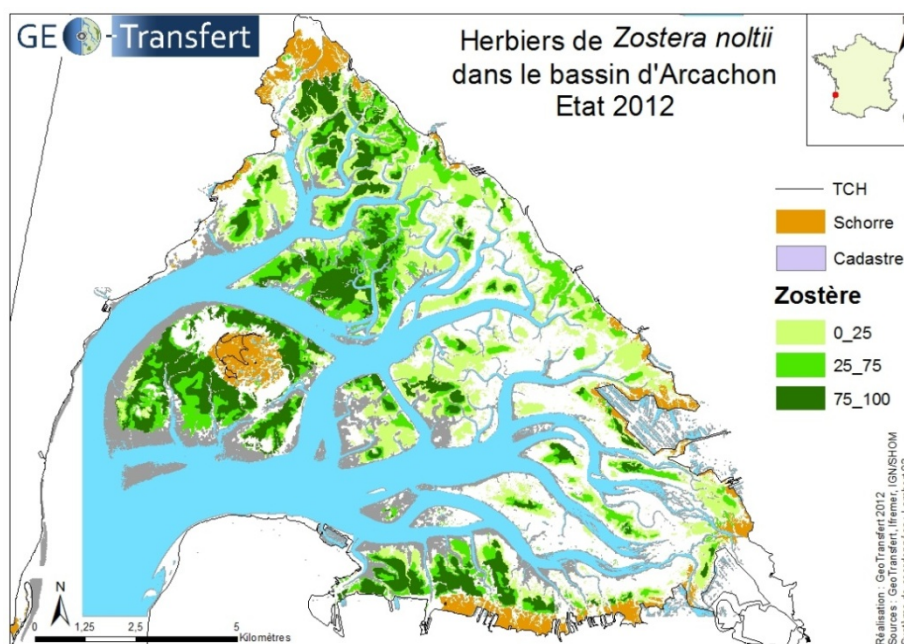


Fig.3 Cartographie de l'herbier à *Zostera noltii* du Bassin d'Arcachon – état 2012. Les trois classes DCE de recouvrement de l'herbier sont figurées en vert : 0-25% (vert clair), 25-75% (vert fluo), 75-100% (vert foncé).

Remerciements

Les travaux de recherche sont financés par le CNES dans le cadre du programme SYNIHAL (TOSCA 2011 et 2013). La cartographie de l'état en 2012 de l'herbier à *Zostera noltii* du Bassin d'Arcachon est financée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Références bibliographiques

- Dehouck A., Lafon V., Baghdadi N., Marieu V. (2012). Use of optical and radar data in synergy for mapping intertidal flats and coastal salt-marshes (Arcachon lagoon, France), IEEE Proceedings of IGARSS 2012, 2853-2856.
- Dehouck A., Lafon V., Lubac B., Kervella S., Bru D., Schmeltz M., Roubache A. (2012). Hyperspectral field database in support to coastal wetland mapping, IEEE Proceedings of IGARSS 2012, 2649-2652.
- Gade M., Alpers W., Melsheimer C., Tanck G. (2008). Classification of sediments on exposed tidal flats in the German Bight using multi-frequency radar data. Remote Sensing of Environment, 112, 1603-1613.
- Lafon V., Marieu V., Butel R., Dehouck A., Froidefond J.M., Trut G. (2008). Cartographie des faciès bio-sédimentaires du bassin d'Arcachon par imagerie Formosat-2. Actes des 10^è Journées Nationales Génie Côtier Génie Civil, Sophia-Antipolis, 563-572.
- Van der Wal D., Herman P., Wielemaker-van den Dool A. (2005). Characterisation of surface roughness and sediment texture of intertidal flats using ERS SAR imagery. Remote Sensing of Environment, 98, 96-109.

SWIM : un outil de cartographie de la zone de petits fonds à partir de données de télédétection optique

M. Lennon¹, G. Sicot¹, N. Thomas¹, S. Smet¹, C. Taillandier¹,
D. Corman², P. Watremez², F. Gauthiez²

¹ SAS Actimar – 36 Quai de la Douane – 29200 BREST

² Agence des Aires Marines Protégées – 29200 BREST

Mots clefs : Télédétection optique, Hyperspectral, Lidar, Cartographie, Méthodologie

Introduction

Une méthodologie de cartographie de la zone de petits fonds par télédétection hyperspectrale, et son application opérationnelle pour production cartographique, est développée à Actimar, soutenue par l'Agence des Aires Marines Protégées, à travers une convention de partenariat définissant le projet REFCAR, qui s'inscrit dans la continuité du programme SPECTRHABENT de « cartographie récifale des îles françaises de l'Océan Indien à partir de données hyperspectrales », impliquant la Préfecture de la Réunion, les Terres Australes et Antarctiques Françaises, l'Agence des Aires Marines Protégées, et Ifremer. Les méthodes développées dans ce programme sont intégrées dans un outil baptisé SWIM (Shallow Water mapping using optical remote sensor(s)), dont le module SWIM-Hyp est présenté dans cette communication. Outre les capacités de traitement des données hyperspectrales, SWIM intègre progressivement des fonctionnalités de traitement de données Lidar, fusion hyperspectral / Lidar, cartographie, monitoring, et visualisation 3D. Les données d'entrée sont les données issues d'un capteur hyperspectral (Hypspec-VNIR1600) et d'un Lidar bathymétrique (Hawkeye II), couvrant les zones de l'île de la Réunion, îles Eparses et Mayotte, acquises au cours du projet « Litto3D Océan Indien », prétraitées en géométrie et radiométrie (données de réflectance de surface pour l'hyperspectral).

1. SWIM : description des traitements des données hyperspectrales

1.1. Correction des réflexions du soleil

Cette étape consiste à réduire le signal issu de la réflexion spéculaire du soleil par la surface de mer. Ces réflexions apparaissent lorsque la surface de mer possède une orientation particulière qui conduit à une réflexion importante du flux incident vers le capteur hyperspectral. Le spectre de réflectance produit par les réflexions spéculaires de la surface de mer est considéré comme plat. Du fait de la très forte absorption du signal lumineux dans l'infrarouge par l'eau, le spectre de réflectance dans cette gamme de longueurs d'onde est caractéristique du flux solaire incident réfléchi par la surface de mer. Ainsi, le niveau du spectre dans l'infrarouge permet de corriger ces effets par la soustraction de ce niveau à l'ensemble du spectre [Goodman-2008]. Cette approche est efficace hormis dans les zones turbides et les zones très faiblement immergées, où l'hypothèse d'absorption de l'eau dans l'infrarouge n'est plus valide. Une étape préliminaire consiste donc à détecter les zones émergées et les zones très faiblement immergées, où la correction n'est pas mise en place.

1.2. Inversion du modèle de transfert radiatif dans la colonne d'eau

Le modèle utilisé est un modèle semi-analytique introduit dans [Lee-1998], et repris dans [Lee-1999], [Lee-2001]. qui décrit la réflectance sous la surface de l'eau [Gege-2005] :

$$r_{rs}(\lambda) = r_{rs}^{\infty}(\lambda) \left(1 - A_1 e^{-(k_d(\lambda) + k_{wW}(\lambda))z} \right) + A_2 \frac{r_b}{\pi} e^{-(k_d(\lambda) + k_{wB}(\lambda))z}$$

- avec :
- $r_{rs}(\lambda)$, la réflectance télédéteectée par longueur d'onde (i.e. λ)
 - $r_{rs}^{\infty}(\lambda)$, la réflectance télédéteectée en profondeur infinie
 - $r_b(\lambda)$, la réflectance du fond
 - $k_d(\lambda)$, $k_{uW}(\lambda)$, $k_{uB}(\lambda)$, des coefficients d'atténuation diffuses
 - z la hauteur de la colonne d'eau
 - A_1 et A_2 des constantes.

Les paramètres $r_{rs}^{\infty}(\lambda)$, $k_d(\lambda)$, $k_{uW}(\lambda)$, $k_{uB}(\lambda)$ se calculent à partir de paramètres caractérisant la colonne d'eau³. Dans le cadre du projet REFCAR, l'accent est mis sur $r_b(\lambda)$. C'est en effet ce paramètre qui va nous permettre de caractériser le fond et donc d'établir des cartes d'habitats. Dans la littérature, l'approche consiste à modéliser le spectre $r_b(\lambda)$ comme une combinaison linéaire de spectres connus. Cette approche introduit la phase de classification lors de l'inversion du modèle de transfert radiatif. Ces spectres peuvent être en nombre limité [Lee-2001], [Filippi-2008], [Goodman-2008], [Fearn-2011] ou plus nombreux [Dekker-2011]. Nous généralisons cette approche en cherchant à introduire une variété équivalente sur le spectre $r_b(\lambda)$ à celle introduite par le modèle de transfert radiatif sur les paramètres de la colonne d'eau. Pour cela, nous considérons que le spectre $r_b(\lambda)$ peut être modélisé par des caractéristiques spectrales génériques représentatives des éléments minéraux (roches, sable clair, sable foncé) et pigments (rouges, verts, bruns) classiques rencontrés dans le milieu. Il n'y a pas à ce stade de l'inversion de « classification » ou « démixage » associé à une librairie spectrale qui serait utilisée a priori. Des contraintes spatiales permettant de régulariser l'inversion sont introduites suite aux idées introduites dans [Goodman-2008], [Filippi-2011]. La phase d'inversion se déroule itérativement par minimisation à chaque étape d'une fonction de coût entre spectre observé et spectre modélisé.

Le volume de données à traiter dans des programmes opérationnels de type Litto3D est très important. A titre d'exemple, les données hyperspectrales acquises sur la seule Ile de La Réunion à la plus faible résolution spatiale (40cm à 1m) à haute altitude⁴ représentent environ 7To de données de réflectance de surface (dont environ 1To de données utiles à traiter). Cette quantité de données entraîne des contraintes fortes de mise en œuvre des traitements. Ceux-ci doivent être efficaces en temps de calcul et en gestion de la mémoire, doivent permettre de gérer de gros volumes de données, et doivent limiter voire supprimer l'intervention manuelle. Ces contraintes ont été prises en compte dans la conception des algorithmes. L'ensemble des traitements présentés dans cette communication et intégrés dans le module SWIM-Hyp s'enchaîne de manière automatique et les différentes étapes de traitement sont entièrement parallélisées.

2. SWIM : description des résultats du module hyperspectral

Le premier ensemble de résultats issu du traitement des données hyperspectrales comprend pour chaque pixel (cf. figures 1 à 4, images de résolution 40cm) :

- les paramètres de la colonne d'eau (absorption due aux phytoplanctons, absorption due aux matières organiques dissoutes colorées, rétrodiffusion due aux particules en suspension, quantité de matière en suspension),
- la hauteur de la colonne d'eau,

³ ces paramètres peuvent être optiques (absorption de la lumière) ou physiques (concentration)

⁴ Le programme Litto3D Océan Indien comprend une acquisition haute altitude en hyperspectral seul (résolution 40cm à 2m), et une acquisition à basse altitude en hyperspectral couplé au lidar (résolution 20cm à 40cm). L'acquisition basse altitude génère donc une quantité de données encore supérieure à l'acquisition haute altitude

- le spectre de réflectance du fond,
- le spectre de réflectance du fond modélisé,
- les 6 paramètres permettant de décrire les caractéristiques spectrales génériques représentatives des éléments minéraux (roche, sable clair, sable foncé) et pigments classiques (rouge, vert, brun) rencontrés dans le milieu
- le spectre de réflectance de surface modélisé (image initiale modélisée)



Fig.1 Représentation en pseudo-vraie couleur de l'image en réflectance en entrée de SWIM

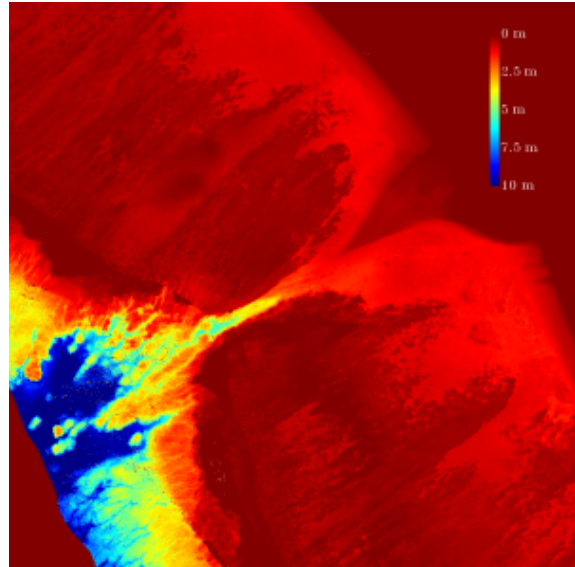


Fig.2 Hauteur de la colonne d'eau estimée par SWIM

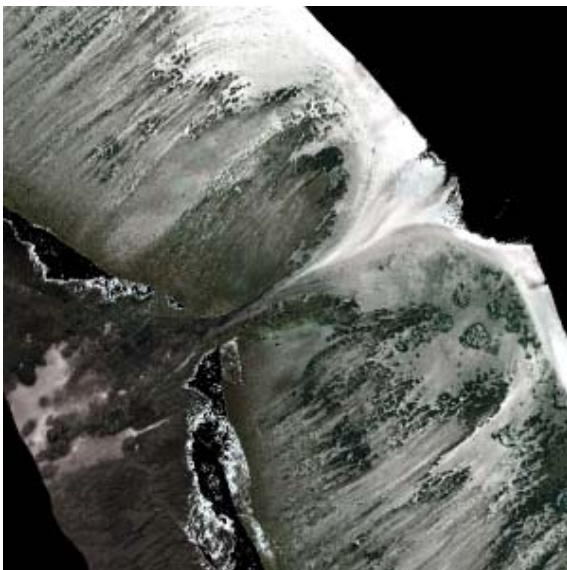


Fig.3 Représentation en pseudo-vraie couleur de la version modélisée du spectre de réflectance du fond

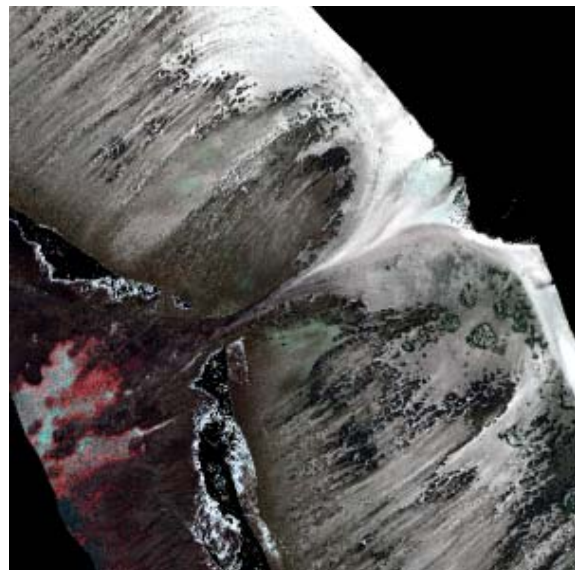


Fig.4 Représentation en pseudo-vraie couleur de la version estimée du spectre de réflectance du fond

Les figures 3 et 4 montrent des couleurs différentes entre la version modélisée et la version estimée du spectre de réflectance du fond, ce qui vient essentiellement de la difficulté à estimer le spectre de réflectance du fond dans le rouge à cause de la très forte absorption de l'eau dans cette gamme spectrale, et nous incite donc à la prudence vis-à-vis de la version modélisée du spectre pour les grandes longueurs d'onde en fonction de la profondeur. Ceci nous a conduit à définir des paramètres caractérisant la pertinence des résultats, qui constituent le second ensemble de résultats issu du traitement :

- Pertinence de la réflectance du fond : Rapport Signal sur Bruit (RSB) spectral de la réflectance du fond estimée
- Pertinence globale : intégration du RSB sur l'ensemble du spectre
- Pertinence de la hauteur d'eau : Profondeur de Secchi estimée

Nous pensons que l'analyse des résultats doit se faire avec ces indicateurs de pertinence (« critères qualité » des estimations), qui doivent également être pris en compte dans un processus ultérieur de classification permettant d'aboutir à des cartes d'habitats réalistes, dont la qualité serait en particulier dépendante de la profondeur, voire localement de la turbidité. Afin de se rendre compte du potentiel des résultats obtenus à décrire le fond pour la cartographie ultérieure des habitats, des composés couleurs sont réalisés à partir des 3 paramètres estimés décrivant les pigments (figure 5), et des 3 paramètres estimés décrivant les éléments minéraux (figure 6). Les différents éléments composant le fond semblent fortement discriminables, une zone d'herbiers est en particulier remarquable sur la figure 5 (entourée en rouge).

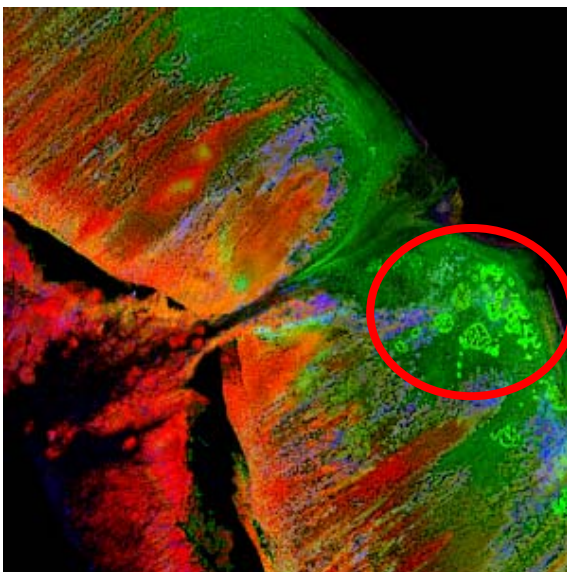


Fig.5 Image synthétique réalisée à partir des paramètres décrivant les pigments calculés par SWIM

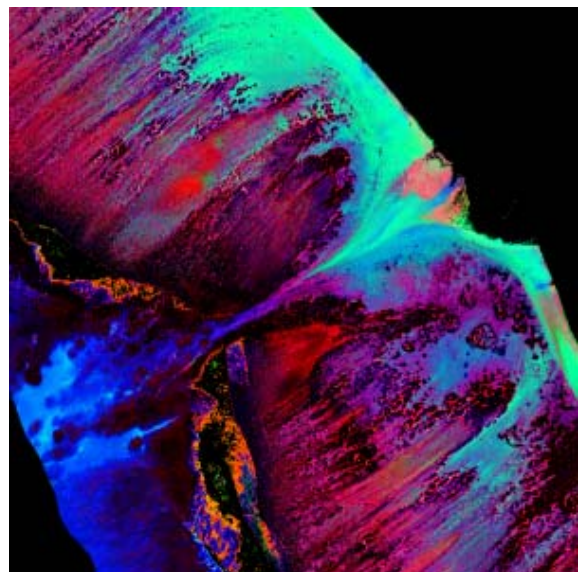


Fig.6 Image synthétique réalisée à partir des paramètres décrivant les minéraux calculés par SWIM

L'ensemble des paramètres issus de SWIM-Hyp est mis à disposition des modules SWIM-Fusion, SWIM-Carto, et SWIM-Viewer, ouvrant la voie d'un système d'information 3D de monitoring de la zone de petits fonds à destination des gestionnaires.

Références bibliographiques

- [Lee-1998] Lee Z., Carder K., Mobely C., Steward R. et Patch J. (1998). Hyperspectral remote sensing for shallow waters. i. a semi-analytical model. *Applied Optics*, 37(27):6329–6338.
- [Lee-1999] Lee Z., Carder K., Mobely C., Steward R. et Patch J. (1999). Hyperspectral remote sensing for shallow waters. ii. deriving bottom depths and water properties by optimization. *Applied Optics*, 38:3831–3843.
- [Lee-2001] Lee Z., Carder K. L., Chen R. F. et Peacock, T. G. (2001). Properties of the water column and bottom derived from Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) data. *Journal of Geophysical Research*, 106, 11639– 11651.
- [Gege-2005] Gege P (2005) The Water Colour Simulator WASI – User manual for version 3, DLR Internal Report IB 564-01/05, 83 pp.

- [Filippi-2008] Filippi, A. et Kubota, T. (2008). Introduction of spatial smoothness constraints via linear diffusion for optimization-based hyperspectral coastal ocean remote-sensing inversion. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 113:C03013.
- [Goodman-2008] Goodman J.A., Lee Z, Ustin S.L (2008). Influence of atmospheric and sea-surface corrections on retrieval of bottom depth and reflectance using a semi-analytical model: a case study in Kaneohe Bay, Hawaii, *Applied Optics*, 47(28)
- [Dekker-2011] Dekker A.G., Phinn S.R., Anstee J., Bissett P., Brando V.E., Casey B., Fearn P., Hedley J., Klonowski W., Lee Z.P., Lynch M., Lyons M. Mobley C., Roelfsema C. (2011) Intercomparison of shallow water bathymetry, hydro-optics, and benthos mapping techniques in Australian and Caribbean coastal environments. *Limnology and Oceanography: Methods*,9, 396-425.
- [Fearn-2011] Fearn, P., Klonowski, W., Babcock, R., England, P. et Philipps, J. (2011). Shallow water substrate mapping using hyperspectral remote sensing. *Continental Shelf Research*, 31:1249–1259.

Cartographie de la végétation marine par télédétection : quelles techniques utiliser ?

Pierre-Olivier Liabot¹, Thierry Perrot¹, Pascal Mouquet¹, Clément Daniel¹, Nadège Rossi¹,
Touria Bajjouk²

¹ CEVA, Service Algues et Qualité du Milieu, BP3, 22610 PLEUBIAN

² IFREMER DYNECO – AG, BP70, 29280 PLOUZANE

Mots clefs : télédétection, cartographie, hyperspectral, multispectral, acoustique, imagerie optique

Introduction

Macroalgues et herbiers sont très réactifs aux évolutions de la qualité des eaux côtières. Ils y répondent par des évolutions plus ou moins rapides de leur couverture. En ce sens, ils constituent un indicateur intéressant de la qualité de l'eau.

La cartographie de ces milieux par des observations seules est limitée entre autres par l'accessibilité des sites, le temps disponible sur le terrain mais également par la représentativité des sites étudiés à l'échelle de la zone d'intérêt. Les approches de télédétection, complémentaires, apparaissent alors comme un moyen intéressant de multiplier le nombre de sites étudiés.

Le choix d'une méthode appropriée repose notamment sur la configuration du site et des connaissances *a priori* de l'objet à cartographier.

1. En milieu subtidal

En milieu subtidal, les techniques d'imagerie optique sont inadaptées dès lors que la zone d'étude est immergée à plusieurs mètres de profondeur. En Bretagne particulièrement, les moyens classiques d'observation du type plongée sous-marine et vidéo sont limités par des conditions environnementales difficiles (forts courants et turbidité).

Les méthodes acoustiques permettent alors de multiplier le nombre de sites étudiés.

En couplant l'utilisation d'un sondeur acoustique monofaisceau avec l'étagement des hauteurs maximales de différents végétaux et la connaissance de leur habitat (substrat dur ou meuble), il a été possible d'identifier les laminaires, zostères et cystosères le long de transects. Cette opération accompagnée de plusieurs observations de terrain a permis de cartographier différents secteurs côtiers des Côtes d'Armor, du Finistère et du Morbihan.

Une seconde méthode de traitement du signal a rendu accessible la détermination de la densité des laminaires.

Les données récoltées ont permis dans un premier temps de déterminer la profondeur d'extinction des laminaires sur différents secteurs (voir Figure 1), et dans un second temps, de valider un modèle prédictif de distribution des habitats.

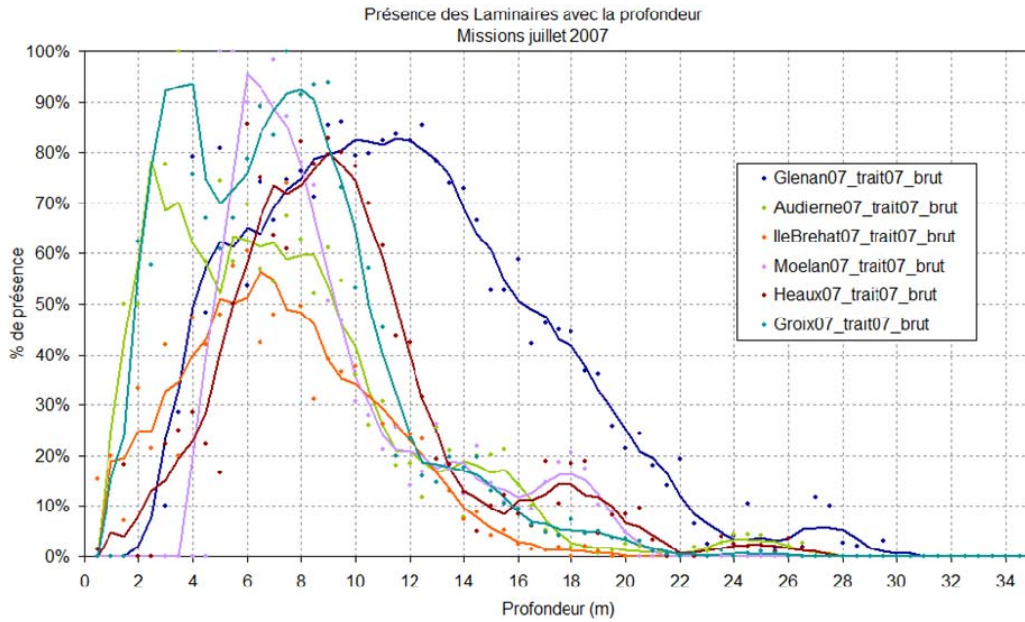


Fig.1 Distribution des laminaires en fonction de la profondeur sur différents secteurs du littoral breton (2007).

2. En zone intertidale

Une portion importante de la végétation marine découvre à marée basse sur les grands estrans. Une approche surfacique exploitant l'utilisation de capteurs optiques est alors possible.

2.1. Imagerie hyperspectrale

Lorsque la signature spectrale des espèces à cartographier est inconnue, l'utilisation d'un capteur hyperspectral peut être très performante. Fixé à bord d'un appareil de type avion/ULM, il permet d'imager le spectre continu du benthos à résolution spatiale choisie.

L'acquisition des données est toutefois soumise à de nombreuses contraintes. Les créneaux de vols dépendent des coefficients de marée (maximisation de la zone découvrante), sont limités dans le temps par les variations du niveau d'eau et exigent de très bonnes conditions météorologiques.

Le volume d'informations à traiter est relativement important selon le nombre de bandes spectrales retenues, la résolution spatiale et la taille de la zone d'étude. L'utilisation d'un algorithme de traitement nécessite souvent des ajustements d'une image à l'autre rendant difficile l'automatisation du procédé. Enfin, des observations de terrain restent nécessaires pour valider les résultats de la classification obtenue.

En revanche, la précision des données obtenues offre la possibilité de cartographier de nombreux éléments du benthos. Des acquisitions hyperspectrales sur la côte d'Emeraude et l'ensemble des platiers rocheux de la Haute et Basse Normandie ont permis la cartographie des algues rouges, vertes et brunes, mais aussi de déterminer la nature des substrats présents : roche, sable, vase et galets (voir Figure 2).

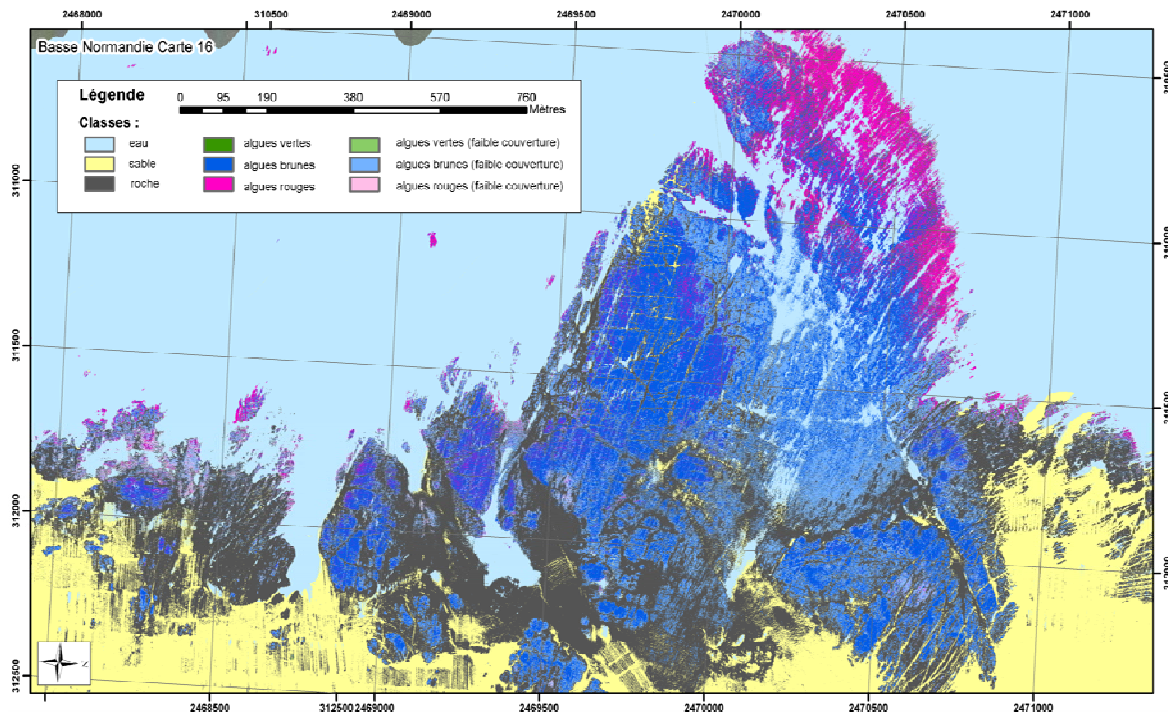


Fig.2 Couvertures algales et substrats dans les environs d'un platier rocheux situé au large de Pirou (côte ouest du Cotentin) déterminés par traitement d'images hyperspectrales (2007).

Cette approche surfacique permet de déterminer rapidement et de manière homogène des taux de couverture sur des surfaces importantes. Ces résultats ont été utilisés pour déterminer des situations de référence. De nouvelles acquisitions prévues permettront le monitoring précis des évolutions des couvertures et des répartitions des différents types algaux.

2.2. Imagerie multispectrale

Une étude préalable aux acquisitions aériennes peut être menée pour déterminer les bandes spectrales nécessaires à la discrimination des objets ciblés. Si peu de bandes suffisent, l'exploitation d'images hyperspectrales est alors superflue et des données multispectrales suffisent. Des acquisitions de type satellite ou drone moins coûteuses peuvent être envisagées. Le choix de l'une ou l'autre de ces technologies dépend de la résolution spatiale et des bandes spectrales voulues mais aussi des horaires de passage des satellites au-dessus de la zone concernée.

Une pré-étude et une acquisition multispectrale aéroportée sur les vasières estuariennes des Côtes d'Armor (Trieux et Jaudy) a ainsi permis en 2006 de réaliser la cartographie des zostères, des algues rouges, vertes et brunes, des schorres et des substrats.

Avec une résolution spatiale plus grossière mais sur de plus grandes étendues, l'exploitation d'images satellites SPOT permet actuellement de suivre les régressions et augmentations de la couverture en fucales sur l'ensemble de la Bretagne (exemple de résultat Figure 3) avec des données datant de 1986 pour certains secteurs.

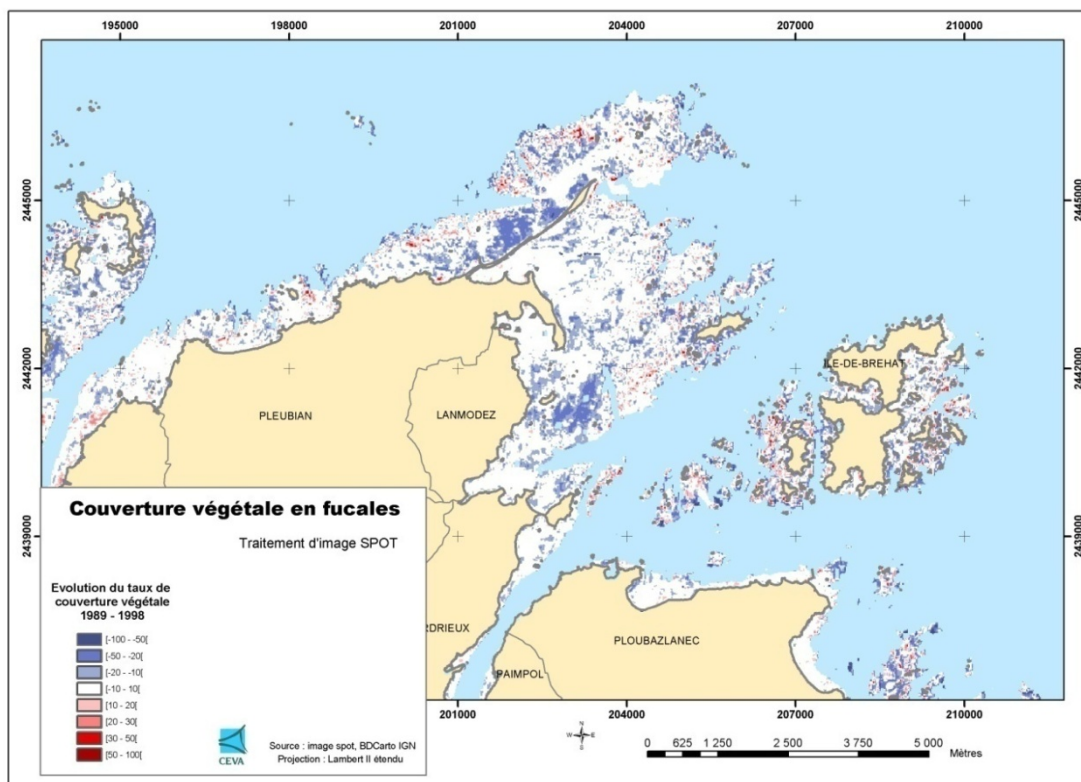


Fig.3 Évolution de la couverture en fucale de 1989 à 1998 estimée à partir du traitement d'image SPOT sur le secteur de Bréhat (2003).

2.3. Photographie « classique »

Lorsque la précision spatiale requise est peu exigeante et que la détermination du benthos est possible par photo-interprétation ou avec un simple traitement d'images, un photographe équipé d'un simple appareil photo numérique peut suffire. En particulier dans le cas de conditions météorologiques difficiles, la présence d'un photographe permet de prendre des clichés obliques pour éviter la présence de nuages avec une réactivité et une facilité que ne permettent pas les capteurs fixes. Des opérations de terrain peuvent toutefois être nécessaires pour valider les espèces présentes.

Cette technique a déjà été largement utilisée dans le cadre du suivi des marées vertes.

Conclusion

L'évaluation de la qualité des eaux est désormais imposée dans le cadre des différentes directives européennes. De part leur sensibilité aux changements de leur environnement, les algues constituent un indicateur incontournable. Les différentes méthodes de télédétection présentent l'avantage de couvrir de larges surfaces apportant une information zonale de l'évolution des couvertures algales.

Références bibliographiques

- CEVA, 2007. Acquisition et traitement de données acoustiques dans le cadre des projets et REBENT. Rapport fin de contrat pour Ifremer, 28 p.
- CEVA, 2007. Cartographie détaillée substrat/végétation des estrans rocheux du Pays de Caux et de Basse Normandie à l'aide d'un capteur hyperspectral aéroporté. Rapport pour EDF et l'Agence de l'Eau Seine Normandie, 125 p.
- CEVA, 2008. Suivi environnemental de la colonisation végétale des zones difficiles d'accès par des moyens hyperspectraux. Programme Leader+, 109 p.

- V. Meleder Tard, J. Populus, B. Guillaumont, T. Perrot, P. Mouquet, 2010. Predictive modelling of seabed habitats: case study of subtidal kelp forest on the coast of Brittany, France. *Marine Biology*, 157(7), 1525-1541.
- CEVA, 2011. Suivi de la couverture en macroalgues intertidales de substrats durs dans le cadre du projet REBENT/DCE au titre de l'année 2011 – Édition finale, 25 p.
- CEVA, 2011. Contrôle de surveillance DCE 2011 – Suivi des blooms de macroalgues opportunistes. Rapport pour Ifremer, 56 p.

Méthodologie pour l'automatisation de la cartographie des fonds et de la végétation sous-marine

Coralie Monpert¹, Michel Legris¹, Pierre Simon¹, Benoit Zerr¹,
Jean Marc Le Caillec²

¹ ENSTA Bretagne, Brest, France

² Telecom Bretagne, Brest, France

Contact : coralie.monpert@ensta-bretagne.fr

Introduction

Les océans sont la base de notre écosystème. Leurs ressources jouent un rôle essentiel dans le développement de tous les êtres vivants sur Terre. Il est donc indispensable de les surveiller continuellement afin de les protéger et de continuer à jouir de leurs ressources avec respect. Pour cela, la cartographie des fonds devient un outil essentiel pour le monitoring du milieu marin. Elle permet de visualiser efficacement et spatialement l'environnement immergé afin de comprendre sa distribution.

De nombreux travaux ont été menés sur la caractérisation des fonds sédimentaires mais ceci ne suffit plus. Il est aujourd'hui aussi nécessaire d'identifier la végétation sous-marine. En effet, elle est un point central pour le bien être de la biodiversité et de l'économie. Parmi les nombreux exemples pouvant être cités, nous retiendrons premièrement les herbiers de Posidonie, en Méditerranée, qui sont protégés et surveillés en France depuis les années 90. En effet, ils abritent une très grande biodiversité en servant de nurserie à de nombreuses espèces, en particulier pour des poissons d'intérêt économique. Ils jouent également un rôle dans l'hydrodynamisme sédimentaire du littoral [1]. Le deuxième exemple que nous citerons est celui des Laminaires en Bretagne. Ces algues constituent des forêts qui sont, comme pour la Posidonie, un habitat pour de nombreuses espèces sous-marines. Elles sont également impliquées économiquement par leur forte exploitation. Ainsi, dans le but de la conservation d'un milieu naturel, mais aussi pour le développement durable de la filière algale, il est vital de surveiller l'état de la ressource en Laminaires [2].

En conséquence, il semble indispensable d'avoir une méthode qui permet de cartographier de façon exhaustive la couche superficielle de sédiment et la végétation sous-marine. Pour atteindre ce but, différentes approches existent. En premier lieu, nous pouvons citer les prélèvements et observations de terrain (benne, carottage, photo,...). Ces techniques ont l'avantage d'être très précises, mais ont l'inconvénient d'être ponctuelles. Une des solutions pour avoir de grands taux de couverture est l'observation par moyen aérien (ortho photographie, image hyper-spectrale,...). Ces techniques sont très efficaces mais limitées en profondeur. Elles sont idéales pour la cartographie des milieux intertidaux et infralittoraux. Il est cependant difficile de cartographier le milieu circalittoral par ces méthodes [3]. La technologie d'observation qui permet d'accéder à des profondeurs plus importantes, en couvrant de grande surface, est l'acoustique sous-marine. Elle regroupe différents systèmes permettant la caractérisation des fonds. Le choix de l'outil adéquat dépend de l'objectif à atteindre. Dans notre cas, le but est de cartographier la couche sédimentaire superficielle et la végétation sous-marine. Pour caractériser cette dernière, nous avons besoin d'un système fournissant une information quantitative sur la colonne d'eau, avec une bonne résolution et une longueur d'onde sensible aux dimensions caractéristiques de la végétation. Ainsi, tout système ne retournant pas d'information au cours du parcours de l'onde acoustique ou avec une mauvaise résolution ne convient pas (ADCP, sonar latéral, système sismique,...). Le multi-faisceau aurait pu être une bonne solution, cependant les systèmes actuellement accessibles sur le marché, à des coûts raisonnables, ne fournissent pas d'information sur la

colonne d'eau ou celle-ci est altérée par les lobes secondaires du sondeur et est donc inexploitable.

Dans notre cas, le meilleur choix semble donc être un sondeur mono-faisceau. Bien que le système paraisse simple, ce dernier fournit un signal rétrodiffusé informatif de la couche superficielle du fond et de la colonne d'eau. De plus, il a l'avantage d'être peu coûteux et simple à mettre en œuvre [4], [5]. Ce système a déjà démontré sa capacité à fournir une cartographie des fonds dans le cas de la couche sédimentaire superficielle et la végétation sous-marine. Toutefois, la comparaison avec les observations de terrain dénote des erreurs d'interprétation du signal acoustique et plus particulièrement dans le cas des habitats benthiques [6], [7]. A l'aide d'exemples issus d'un modèle et de données réelles, appuyées de vérité terrain, nous allons illustrer les principaux phénomènes qui amènent à des erreurs de caractérisation dans le cas d'un sondeur mono-faisceau. Pour finir, nous proposerons une méthode permettant de réduire les incertitudes et augmenter la fiabilité de la cartographie produite.

1. Classification des sédiments

La classification des fonds, à l'aide d'un mono-faisceau, se fait par l'analyse de l'écho temporel. Principalement, un fond sédimentaire est paramétré par la puissance maximale qu'il rétrodiffuse et son étalement temporel. Cependant, d'autres phénomènes contribuent à la forme du signal et agissent également sur ces deux descripteurs. On distingue principalement la présence de pente et le changement de profondeur au cours du levé. Nous pouvons illustrer ceci avec le fond simulé et représenté en figure 1.

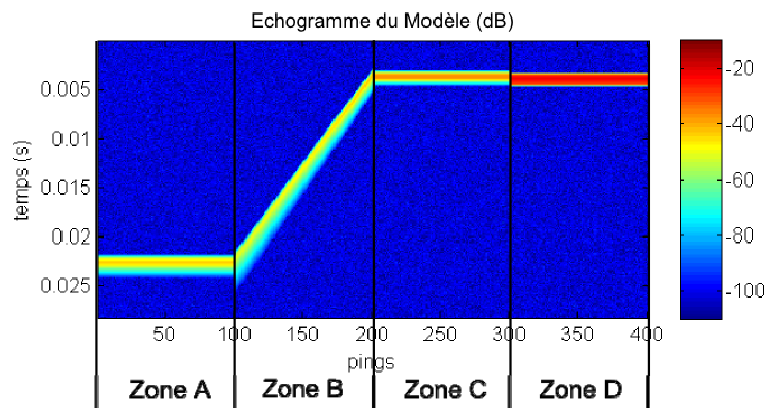


Fig.1 Echogramme d'un fond généré à l'aide d'un modèle.

Si l'on segmente l'image en prenant comme descripteur le niveau de puissance maximale et l'étalement, nous pouvons dire, à première vue, qu'il y a quatre types de fonds (Zone A, B, C, D). Or il n'y en a que deux (l'ensemble des zones A, B, C puis zone D). Le changement de profondeur (Zone A et C) et la pente (Zone B) changent suffisamment la forme du signal pour introduire une erreur de caractérisation. De nombreuses études ont été menées pour tenter de s'affranchir de leur contribution [6]. Aujourd'hui, l'effet de la profondeur est majoritairement bien compensé mais celui de la pente pose encore beaucoup de problème. D'intenses campagnes de vérité terrain sont alors indispensables pour produire une représentation fiable de la zone voulue.

2. Classification de la végétation sous-marine

La classification de la végétation sous-marine est plus délicate. Nous sommes en présence d'un environnement non homogène, aussi bien verticalement qu'horizontalement. Ceci rend l'interprétation du signal acoustique très difficile. En effet, premièrement, lorsque l'on est en

présence d'une inhomogénéité verticale, le choix de la résolution du sondeur va avoir une incidence sur la perception du volume insonifié et donc va orienter l'interprétation. Deuxièmement, un écho est la contribution de l'ensemble des rétrodiffusions dans le volume insonifié. Lorsque le fond est homogène, le signal est la somme de rétrodiffusions provenant de sources de même nature. Cependant dans le cas de la végétation, la plupart du temps, la rétrodiffusion provient de sources différentes qui sont, par la suite, indissociables.

C'est pourquoi, malgré de nombreuses recherches sur le sujet et le succès à détecter la présence de végétation, il est encore difficile de faire une distinction entre les distributions éparses ou denses [7]. De même, la question de l'estimation quantitative de la biomasse reste un vaste sujet de recherche. Nous pouvons illustrer ceci avec la figure 2 : à première vue, trois types de rétrodiffusions végétales sont identifiables (Végétations 1, 2, 3). Or il n'y en a que deux (Végétations 1, 2 et Végétation 3). Là encore, pour produire une carte exhaustive de la zone, une phase d'observation de terrain est indispensable.

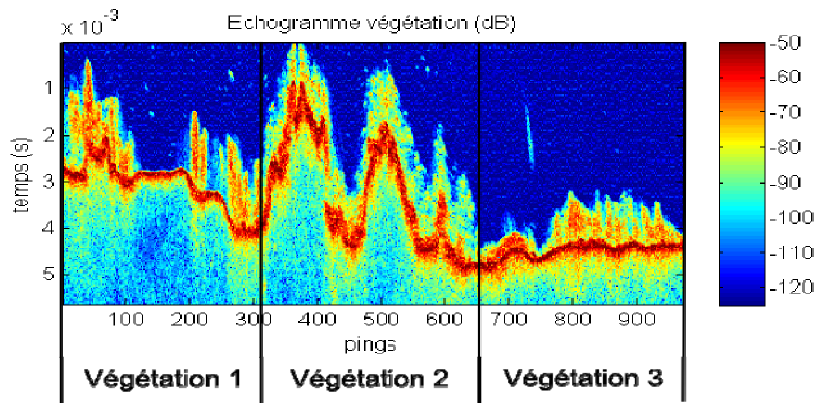


Fig.2 Echogramme d'un fond composé de végétation sous-marine.

3. Notre proposition de solution

Pour conclure, dans l'immédiat, l'acoustique sous-marine ne permet pas, à elle seule, de caractériser de façon exhaustive le fond. Il semble difficile de s'affranchir de la vérité terrain pour avoir une description fiable du milieu. Toutefois, rappelons que celle-ci est ponctuelle et coûteuse en temps. Il est donc important d'en faire le moins possible en obtenant l'information la plus pertinente et la plus complète. Il est donc nécessaire qu'elle soit faite dans un temps très proche du levé acoustique. Ensuite, pour être efficace, l'idéal est d'avoir une seule prise de vérité terrain par zone de fond homogène. Afin de répondre à tous ces critères, nous proposons de mettre en place une méthodologie de levé qui permettrait, à l'aide de systèmes autonomes, de synchroniser et d'automatiser le levé acoustique et la prise de vérité terrain.

En d'autre terme, nous avons un véhicule en surface qui exécute un levé à l'aide d'un sondeur mono-faisceau (figure 3-a). Un traitement du signal est effectué en temps réel et lorsque celui-ci détecte un changement de type de fond, le levé est stoppé et une commande est envoyée pour déclencher la prise d'observations (figure 3-b). Ainsi, lorsque le levé est terminé, nous avons toutes les informations à notre disposition et nous pouvons les fusionner pour créer une cartographie fiable du milieu.

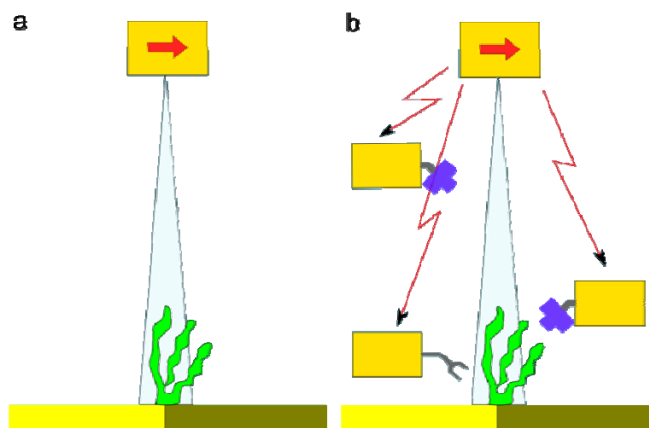


Fig.3 Proposition de solution pour automatiser la cartographie des fonds et de la végétation sous-marine.

Références bibliographiques

- [1] Boudouresque C.F, Gravez V, Meinesz A, Pergent G, Vitiello P. 2003. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion. [en ligne], <http://www.com.univ-mrs.fr/gisposidonie/spip.php?article89>.
- [2] Arzel P. 1997. La flottille goémonière et l'exploitation du champ de Laminaires sur les cotes Bretonnes. IFREMER. 103 p.
- [3] Rollet C, Bonnot-Courtois C, Fournier J. 2005. Cartographie des habitats benthiques en zone intertidale à partir des orthophotographies littorales. Projet REBENT, Ifremer, FT13-2005-01. 18 p.
- [4] Anderson JT, Holliday V, Kloser R, Reid D, Simard Y. 2007. Acoustic seabed classification of marine physical and biological landscapes. ICES Cooperative Research Report; 286. 198 p.
- [5] Kruss A, Blondel P, Tegowski J. 2012. Acoustic properties of macrophytes: Comparison of single-beam and multibeam imaging with modeling results. EcuA 2012. Edinburgh. 9 p.
- [6] Biffard B.R. 2011. Seabed remote sensing by single-beam echosounder: models, methods and applications. Doctoral dissertation. University of Victoria. 356 p.
- [7] Sabol B.M, Melton R.E, Chamberlain R, Doering P, Haurert K. 2002. Evaluation of a Digital Echo Sounder System for Detection of Submersed Aquatic Vegetation. *Estuaries*, Vol 25, No. 1 (Feb. 2002), pp. 133-141. 9 p.

Session 3 : Levés, traitement et interprétation des données

Forêts de laminaires à Molène : approches multi-échelles des fonds rocheux de l'archipel

A. Ehrhold¹, T. Bajjouk, C. Cordier, P. Le Niliot, A. Hamdi, B. Drussel, C. Guérin, B. Le Gall et J. Populus.

¹ IFREMER, REM/GM/LES, ZI de la Pointe du Diable CS10070 - 29280 Plouzané – France
Contact : Axel.ehrhold@ifremer.fr

Mots clefs : Habitat, laminaires, systèmes acoustiques, lidar, géomorphologie, MNT

1. Contexte et objectif

L'archipel de Molène est situé à l'extrémité ouest de la pointe Finistère, en mer d'Iroise, balayé par les courants de la Manche et les vents du large (figure 1). La connaissance de la nature des fonds qui composent l'archipel, dont les fonds rocheux affleurants, était basée sur des prélèvements épars et l'extrapolation de la géologie terrestre locale aux contours bathymétriques. S'agissant de la végétation marine, plusieurs études se sont intéressées à la cartographie de la végétation submergée et notamment des laminaires avec parfois des cartes très détaillées mais dans les secteurs les moins profonds. Depuis 2010, l'archipel de Molène fait l'objet d'une étude visant à mieux connaître et prédire l'habitat des principales laminaires (*L. digitata*, *L. hyperborea*, *L. ochroleuca* et *Sacchoriza polyschides*) depuis les petits fonds jusqu'à plus de 30 m de profondeur (surface d'étude d'environ 260 km²). En effet, plusieurs dizaines de milliers de tonnes de laminaires sont récoltées chaque année par une flotte de goémoniers pour les besoins des industries chimique et alimentaire. Connaître le stock en place et sa distribution est donc une nécessité pour proposer des mesures de gestion adaptées. Or les stocks de laminaires de cet archipel ont déjà fait l'objet de plusieurs estimations peu cohérentes entre elles. Par ailleurs, ces champs de macro-algues brunes constituent des habitats dont la productivité et la diversité sont parmi les plus importants des côtes de France métropolitaine. A ce titre, ils doivent faire l'objet d'investigations permettant d'en évaluer la surface et l'état de conservation. Ces objectifs passent par une reconnaissance détaillée de la morphologie et de la nature des fonds marins de ce plateau, dont l'accessibilité est rendu complexe par le jeu des puissants courants et une topographie accidentée. Il implique des moyens techniques différents et une approche cartographique multi-échelles et multi-capteurs associés à des échantillonnages *in situ*.

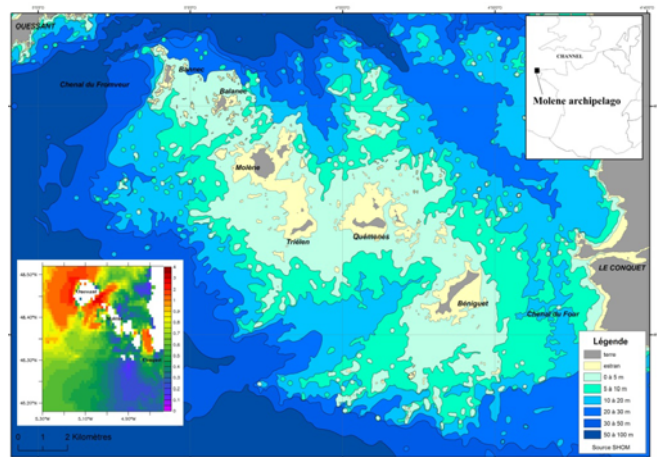


Fig.1 Carte de situation et vitesse courant max (m/s) au fond en VE (Source P. Lazure)

Ce résumé présente le premier volet consacré à la stratégie d'acquisition et au traitement des données géologiques et biologiques dans cet environnement côtier très fragmenté. C'est une étape préalable à la phase de modélisation prédictive de la couverture en algues laminariales du plateau molénaï, qui permettra au Parc de disposer d'une distribution continue et étendue des principales espèces de laminaires comme en baie de Morlaix (Gorman *et al.*, 2012).

2. Stratégie d'acquisition et traitement des données

L'exploration à l'échelle de l'archipel jusqu'au pied du plateau, profondeur limite de développement des laminaires, a nécessité de mettre en place une stratégie d'acquisition multi-approches (Ehrhold *et al.*, 2011). Elle combine à la fois prospections continues HR sur l'ensemble de l'archipel, par optique et acoustique à différentes résolutions, et un ensemble de stations d'échantillonnages et d'observations, dans le but de mettre en place et de valider le modèle prédictif sur une connaissance précise des fonds durs sur la base de données biologiques (longueur, densité, biomasse des laminaires) mesurées *in situ*.

2.1. Acquisition des données de terrain géologiques et biologiques

La planification des travaux très en amont des premières campagnes de terrain, en concertation avec le PNMI et le SHOM, a permis d'optimiser les limites d'utilisation des différents capteurs acoustiques et optiques, en fonction de la morphologie de l'archipel et de ses variations rapides de profondeur (figure 2). La première étape a donc consisté entre avril et mai 2010, à des levés lidar alti-bathymétrique (Haw Keye MK II) par avion dans la zone faiblement profonde (environ 170 km²) dans le cadre de Litto3D[®]. Un MNT à 5 m de cette région a été produit à partir du semis de sondes lidar. Les lacunes d'acquisitions lidar dans les petits fonds, ont été complétées Par 3 campagnes HALAMACOU entre septembre 2010 et septembre 2011 avec la vedette Haliotis. Les mosaïques de réflectivité et les MNT bathymétriques ont été réalisés avec un pixel terrain de 50 cm. Enfin la zone la plus profonde, en périphérie de l'archipel, soit environ 97 km², a été reconnue lors de la mission THALAMACOU en mai-juin 2011 à partir du N/O Thalia. Le sondeur multifaisceau (EM1000) du bord et un sonar latéral remorqué (klein 3000) ont fourni une donnée bathymétrique et d'imagerie des différents substrats avec une résolution respectivement de 2 m et 50 cm. L'imagerie sonar et les reliefs ont été qualifiés d'un point de vue géomorphologique et sédimentaire à partir de 111 prélèvements à la benne shipek pour le sédiment, 51 séquences de video HD sous-marine, et 47 échantillons de roche par carottage et plongeur (figure 2), répartis tout autour de l'archipel. Ce plan dense a nécessité également le concours du N/O Albert Lucas.

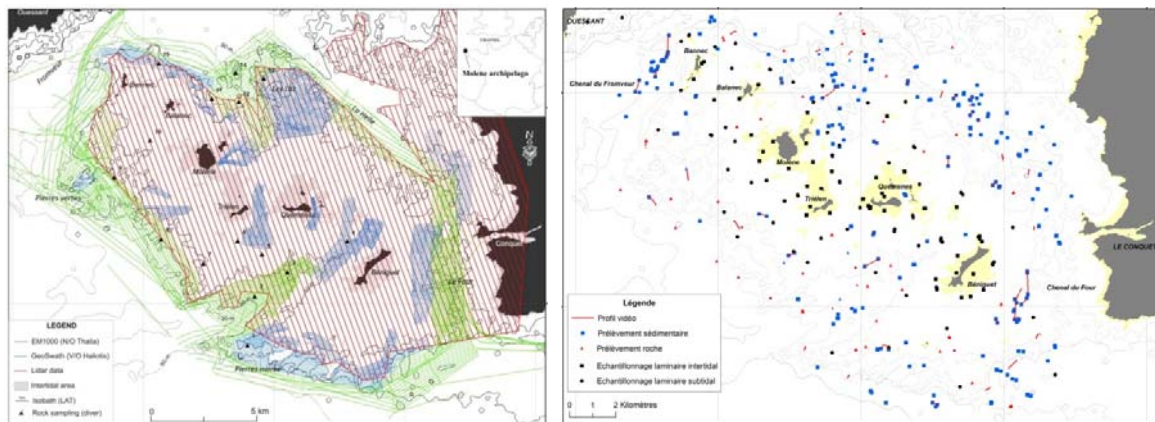


Fig.2 Cartes de positionnement des mesures physiques et des échantillonnages géologiques et biologiques des fonds de l'archipel

Pour répondre au besoin d'évaluer le stock des principales espèces de laminaires en place (*Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Laminaria ochroleuca* et *Sacchoriza polyschides*), un protocole d'échantillonnage a été établi afin de recueillir des données actualisées et représentatives sur leur répartition en fonction des gradients de paramètres environnementaux qui les conditionnent. Les données de vidéo permettent de fournir des éléments sur la présence des espèces. Les paramètres biologiques (longueur des stipes, densité, longueur totale et biomasse) ont été mesurés in situ sur des quadrats de 1m² en trois répliquats par station (68 stations au total). Ces mesures ont été effectuées par plongée sous-marine en zone subtidale et à marée basse de vives-eaux (figure 2). La stratégie d'échantillonnage pour l'acquisition de données terrain est basée sur un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié (Gorman, 2011). Les sites ont été choisis afin de caractériser la zone d'étude de façon à : (a) tenir compte de la grande variabilité des variables environnementales prédictives qui influencent a priori la structure des laminaires ; (b) minimiser l'effort requis pour la collecte des données en termes de distance parcourue et les dangers de navigation pour les navires océanographiques de recherche.

2.2. Elaboration de la couche relief sous-marin et délimitation du substrat rocheux

La combinaison des données bathymétriques optique (LIDAR) et acoustique (SMF) demeure une approche encore originale, permettant de fournir à la côte un modèle d'élévation numérique continue de grande précision depuis la plage jusqu'au domaine circalittoral (+27 m à -97 m dans cette étude). La hauteur Z mesurée par les différents capteurs a été ramenée au zéro hydrographique des cartes marines (niveau des plus basses mers), en utilisant : soit (1) la correction au Z_{GPS} (effective pour le mode RTK d'Haliotis et du lidar) à partir du modèle de géoïde RAF98 et de l'écart entre l'IGN69 et le 0 SHOM, soit (2) pour la donnée du sondeur multifaisceau EM1000, la correction au Z marégraphique (marégraphe mouillé sur zone et MNC du Conquet) avec application du modèle de constantes harmoniques. Un MNT global à 5 m (grid ascii) a été généré en utilisant la méthode d'interpolation par Krigeage (figure 3). Plusieurs traitements sous Spatial Analyst permettent de traduire la donnée d'élévation selon des indices de forme (ombrage, pente, rugosité, BPI) aidant l'analyse géomorphologique (Gorman *et al.*, 2012).

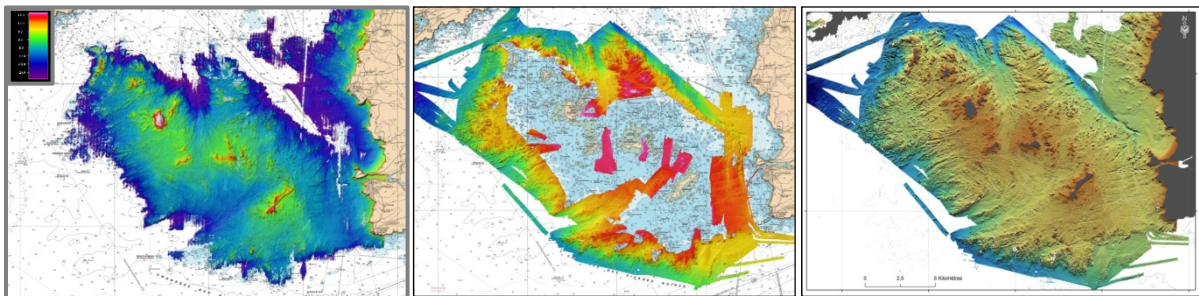


Fig.3 De gauche à droite : MNT lidar, MNT acoustique et fusion finale à 5m

L'objectif est de délimiter de façon précise le substrat rocheux, habitat préférentiel pour le développement des laminaires. La méthode utilisée est basée sur l'analyse de données d'imagerie, de la donnée bathymétrique et géomorphologique. Il s'agit d'une numérisation manuelle au 2000^{ème}. En zone intertidale et de faible profondeur, près du trait de côte, l'image hyperspectrale est utilisée pour en extraire le substrat rocheux lorsque sa qualité le permet. Elle a été préalablement drapée sur le MNT sous 3D Analyst. Certaines roches sous l'eau ou dans l'ombre ne peuvent pas être identifiées à partir de l'imagerie seule. La numérisation est ainsi réalisée par l'analyse des signatures présentes dans les produits dérivés du MNT. Ces signatures permettent de différencier les formes géomorphologiques complexes du fond meuble qui n'ont pas été décelées par le modèle de prédiction du substrat rocheux. Elles permettent aussi d'affiner les limites des contours des polygones. Le

raster de pente nous permet de repérer les ruptures de pente que nous assimilons aux limites des roches massives. Afin de contrôler la qualité de la numérisation à partir des informations géomorphologiques, une comparaison avec le résultat d'interprétation de l'imagerie acoustique est réalisée à posteriori sur quelques zones de chevauchement. Ce travail a permis de construire une image de la répartition des fonds rocheux et meubles de l'ensemble du secteur d'étude (figure 4).

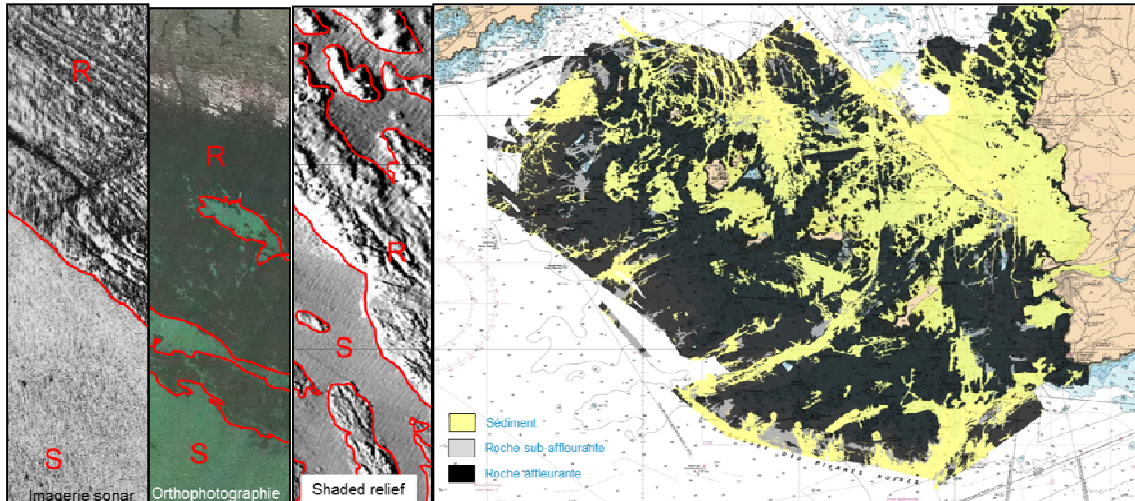


Fig.4 Exemples d'extraction de la roche à partir des données de réflectivité (sonar), de photographie aérienne et de relief (shade relief) (R : Roche ; S : Sédiment)

3. Résultats préliminaires et perspectives

Le socle rocheux affleurant ou sub-affleurant, permettant un développement théorique des pieds de laminaires, occupe 60% des fonds de l'archipel. Sa répartition est plus importante dans la moitié ouest de l'archipel. Dans le détail cinq fabriques géologiques ont pu être reconnues sur la base de l'analyse géomorphologique du MNT global. Elles s'expriment par des systèmes très réguliers linéaires, sigmoïdes ou sans orientation particulière, probablement contrôlés par l'hétérogénéité lithologique des matériaux en place. Les échantillons permettront de préciser la nature pétrographique de ces formations rocheuses. Ces fonds durs sont intimement imbriqués avec les sédiments meubles, limités aux dépôts dans les failles ou localement sous forme de constructions dunaires. L'intensité des courants est responsable d'une grande mobilité du matériel sédimentaire le plus fin (sable et coquille) avec des vitesses de déplacement mesurées jusqu'à 40m/an (cas des dunes de Bannec). Les échanges sédimentaires entre le nord et le sud de l'archipel à travers la barrière rocheuse ont été observés. Ces données vont permettre de développer des modèles de distribution spatiale des principales espèces de laminaires pour prédire leur présence/absence ainsi que leur biomasse dans des endroits où les données sont actuellement non disponibles. Pour cela les données de paramètres biologiques mesurés *in situ* sont intégrées aux données physiques et environnementales pour élaborer des modèles additifs généralisés pouvant prédire avec exactitude la structure des forêts de laminaires dans le plateau de Molène. En plus des variables prédictives couramment utilisées (la profondeur, la lumière et la hauteur significative des vagues), il est important de considérer d'autres variables telles que la proximité du sédiment et la topographie du fond qui généralement influencent les communautés à des échelles spatiales plus fines.

Références bibliographiques (sur la zone d'étude)

Ehrhold A., Bajjouk T., Populus J., Cordier C., Gorman D., Gaffet J.D., Caisey X., 2011. Cartographie prédictive du champ de Laminaires du plateau Molénais sur la base des données physiques et biologiques. Recueil des données acoustiques, biologiques et

sédimentaires nouvellement acquises depuis septembre 2010. Rapport d'avancement Ifremer, R.INT.DYNECO/EB/11-04/AE, 29 pages + 3 annexes.

Gorman Daniel, Bajjouk Touria, Populus Jacques, Vasquez Mickael, Ehrhold Axel (2013). Modeling kelp forest distribution and biomass along temperate rocky coastlines. *Marine Biology*, 160(2), 309-325. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-012-2089-0>

Etude d'un champ de pockmarks associé à un peuplement de Haploops dans la Baie de Concarneau : apport de la prospection géophysique THR

Agnès Baltzer¹, Axel Ehrhold¹, Carinne Rigolet¹, Stanislas Dubois¹, Céline Cordier¹

¹ Ifremer, Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané, France

Contact : agnes.baltzer@ifremer.fr

1. Problématique

Les pockmarks sont des cratères de dégazage de forme généralement circulaire, de tailles variées : de quelques mètres à quelques centaines de mètres de diamètre pour des profondeurs variant de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres. Ils existent aussi bien en domaine profond (Hovland et Judd, 1988) qu'en domaine côtier (Fleisher *et al.*, 2001). Or ni leur mode de formation, ni leur taux d'activité ne sont toujours bien identifiés (Webb *et al.*, 2009).

D'autre part un papier récent de Wildish *et al.*, (2008) démontre l'influence des pockmarks sur les communautés benthiques dans la Baie du Fundy, en particulier sur les populations de *Asterias rubens* et *Cucumaria frondosa*.

Au large de Concarneau, dans un secteur situé entre les Glénans et Concarneau (Figure 1), un peuplement de Haploops nirae (10 000 individus/m²), petit crustacé amphipode grégaire tubicole, a été mis en évidence dès 1969 (Glémarec, 1969). Associé à cette faune, un champ de pockmarks a été cartographié lors d'une campagne de reconnaissance REBENT en 2005 grâce aux données du sonar latéral (Ehrhold *et al.*, 2006). Or ce champ de pockmarks est caractérisé par une densité remarquable de figures (2500 pockmarks/km²) qui est 10 à 100 fois supérieure aux données trouvées dans la littérature. Les cartographies de cette zone en 2009 lors de la campagne « Seisploops » (sonar latéral et boomer seistec) puis en 2011 lors de la campagne Haliotis « Pock&ploops » à l'aide du sonar ineterferométrique et du chirp (Figure 1), nous ont permis d'identifier un facteur déclencheur possible de ces pockmarks capable d'expliquer en même temps la raison de la symbiose Haploops/pockmarks .

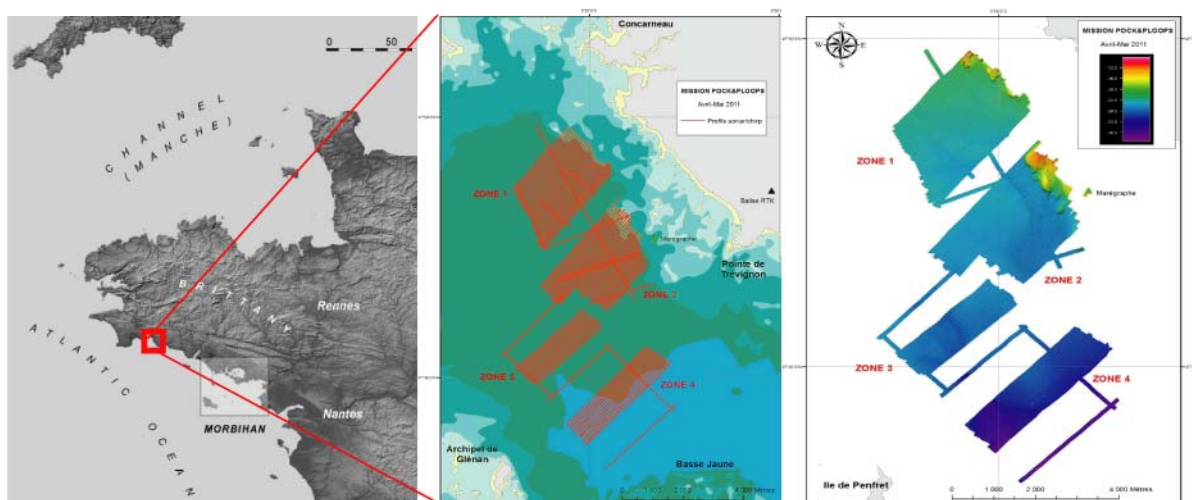


Fig.1 Localisation des 4 zones étudiées lors de la campagne Pock&ploops 2001 dans le sud de Concarneau

Si notre hypothèse de base est exacte, c'est à dire que les pockmarks engendrent une turbidité qui est propice à la nourriture des Haploops, animaux suspensivores dont la durée de vie est d'environ 2 ans, alors il faut un phénomène récurrent pour entretenir cet apport de nourriture.

La sismicité régionale (Baraza *et al.*, 1995) ou les variations du niveau marin, facteurs généralement invoqués pour provoquer des dégazages, sont des phénomènes qui ne sont pas à l'échelle de temps nécessaire pour maintenir en vie les populations de Haploops. Diez *et al.*, (2007) ont montré que les tempêtes ou la marée peut également être à l'origine de l'expulsion de méthane sur le fond.

Un papier récent de Brothers *et al.* (2012) explore le contrôle stratigraphique sur la répartition des champs de pockmarks dans la Baie du Fundy, Baie connue pour avoir le plus grand marnage au monde.

La marée nous semble être ainsi un candidat intéressant, capable de déclencher l'activité des pockmarks de façon cyclique et fréquente.

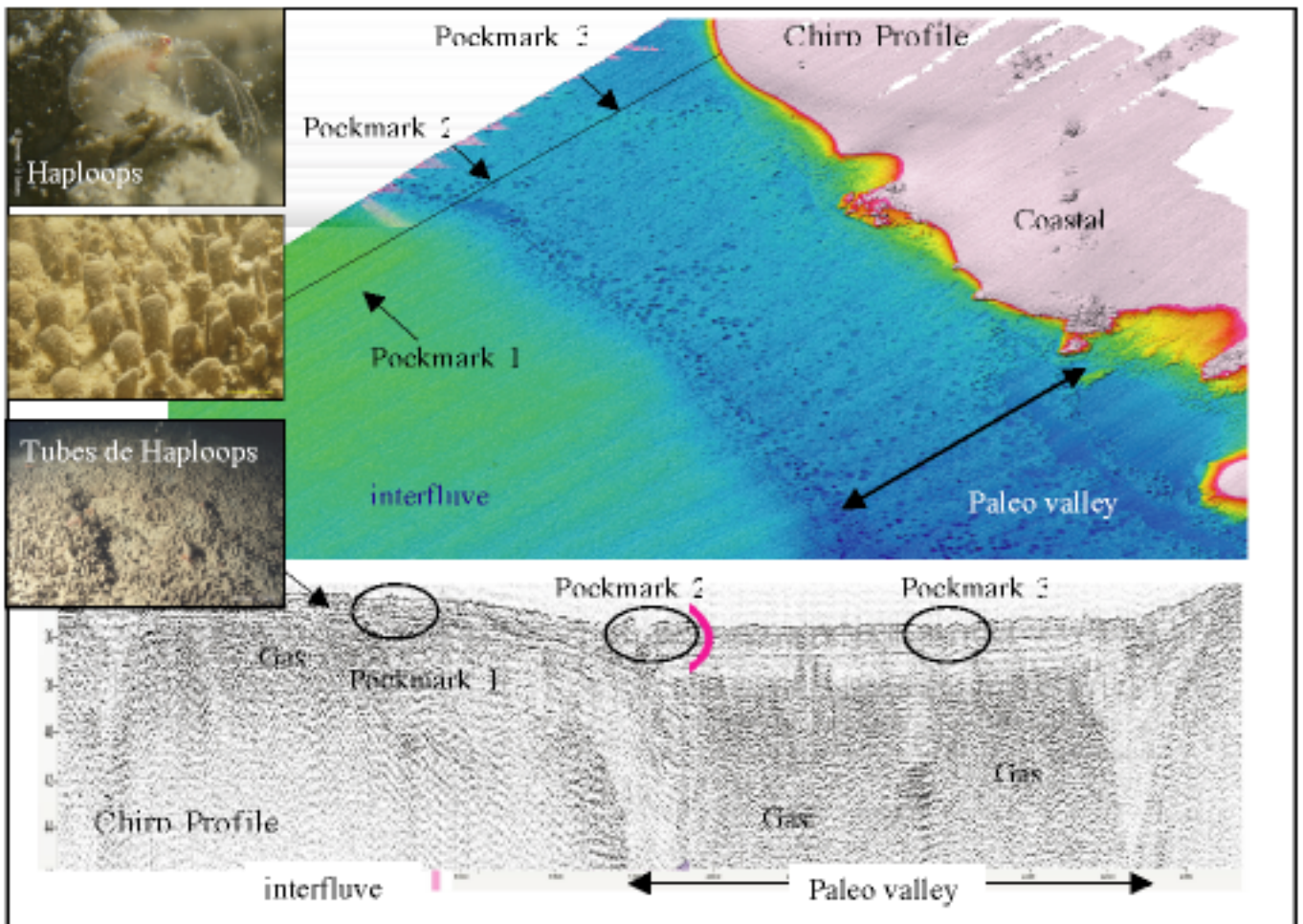


Fig.2 Mise en évidence des pockmarks à proximité des peuplements de Haploops

2. Outils et méthodes

L'acquisition simultanée de données du sonar latéral Edgetech 272TD et du boomer Seistec (mission Seisploops 2009) ou de l'imagerie sonar interférométrique et du chirp de l'Haliotis (Pock&nPloops 2011) nous permet de voir le fond sous marin dans un plan horizontal et

dans un plan vertical . C'est ainsi que nous avons pu coupler les profils chirp ci-contre (Figures 2 & 3) à la bathymétrie.

Le chirp et le sonar interférométrique étant fixés sur la coque de l'Haliotis toutes les données sont parfaitement positionnées. Il est donc possible de suivre dans le temps l'évolution du champ de pockmarks et des peuplements à Haploops.

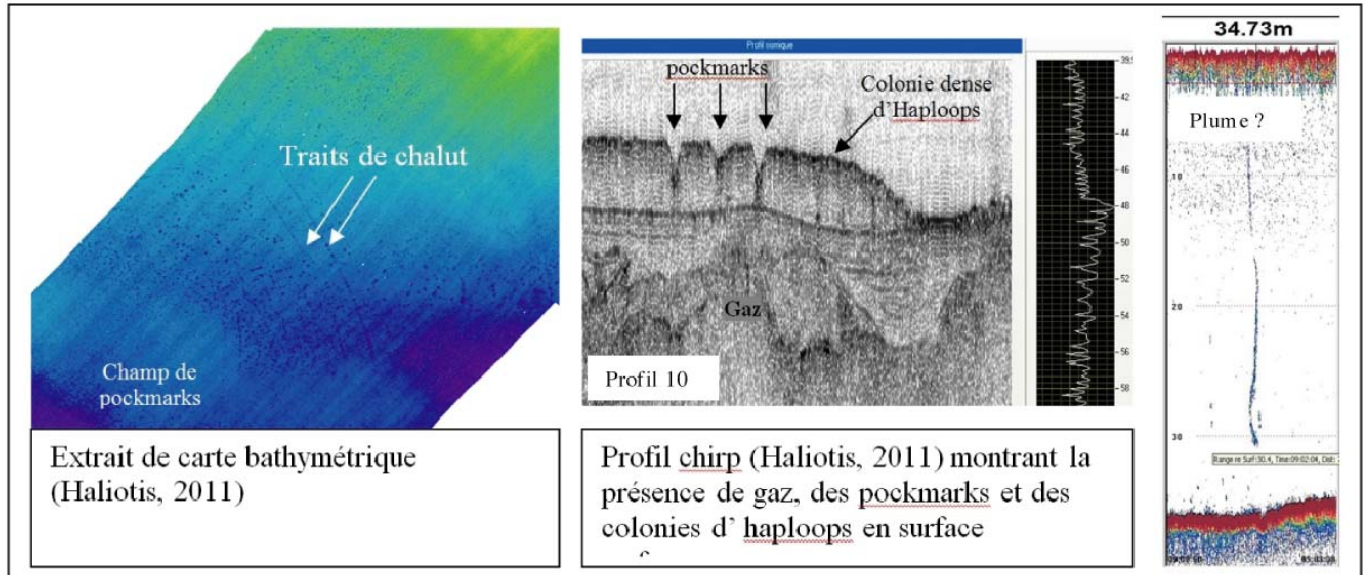


Fig.3 Mise en évidence de l'activité des pockmarks : les traits de chaluts « déclenchent » des pockmarks sur la vignette de gauche ; une expulsion de gaz est enregistrée dans la colonne d'eau (plume) pendant l'acquisition (Pock&Ploops 2011) sur la vignette de droite.

3. Résultats-discussion

L'analyse de ces données nous a permis de différencier deux groupes de pockmarks (Baltzer *et al.*, 2011). Un groupe de pockmarks de petites tailles qui semblent avoir une origine liée à un réflecteur sismique peu profond (< 2 m de profondeur) tel le pockmark 1 de la figure 2, alors que ceux de plus grandes tailles correspondent à un réflecteur plus profond (6 m environ) qui est caractéristique du remplissage sédimentaire des paléo vallées incisées quaternaires (figure 2). Des prélèvements d'eau interstitielle ont également permis de confirmer la présence de méthane à des concentrations relativement élevées à des profondeurs variables, ainsi qu'un carottage réalisé dans un pockmark actif (Souron, 2009).

L'activité de ces pockmarks est donc récente comme le prouvent les traces de chalutiers qui déclenchent les pockmarks (Figure 3) et cette activité apparaît même actuelle et probablement récurrente puisque l'on a pu enregistrer plusieurs expulsions de gaz dans la colonne d'eau lors de la mission Pok&Ploops en 2011. Or nous avons pu contrôler à quels moments exacts de la marée, coïncidaient les différents « plumes » observés et enregistrés en capture d'écran : ils correspondent à priori à la mi-marée montante par grand coefficient.

Pendant sa thèse, Carinne Rigolet a pu mettre en évidence plusieurs caractéristiques des colonies de Haploops de la zone Concarneau/Glénans qui apportent autant d'argument en faveur du rôle possible joué par la marée.

Les Haploops nirae, contrairement aux autres Ampelisca, sont uniquement suspensivores et ne peuvent pas quitter leurs tubes pour se nourrir ; ils ont donc besoin d'une turbidité importante, similaire à celle que l'on trouve dans les estuaires. Contrairement aux autres crustacés suspensivores qui ne montrent qu'une activité passive lorsque le courant augmente, les Haploops montrent une très nette activité de filtration lorsque le courant s'accroît. Les individus sont stimulés par la présence de particules en suspension, même si

ces particules sont inorganiques (Rigolet *et al.*, 2011). Il semble ainsi que la turbidité soit un facteur prépondérant et même déclencheur du nourrissage de ces Haploops, ce qui cadrerait très bien avec le facteur cyclique de la marée qui déclencherait l'expulsion de méthane lors de la marée montante. De plus, la vitesse maximum atteinte lors du flot est la mi-marée qui est justement l'heure des observations des « plumes » dans l'eau.

Enfin une caractéristique de ces tubes de Haploops est leur longueur de 2 cm environ qui n'est pas très haute pour ce genre d'animaux. Cet argument pourrait être interprété en faveur d'une turbidité provenant du sol, donc l'activité des pockmarks et non apportée par une masse d'eau comme dans le cas d'un estuaire. Enfin dans son papier, Rigolet *et al.*, (2011) estime que les Haploops ont une capacité à filtrer la colonne d'eau entière en 4 à 5 jours. Ces filtreurs seraient capables de filtrer un volume d'eau égal à celui de la Baie de Concarneau dans une durée de 29 à 30 jours.

4. Conclusion

La présence des colonies de Haploops nirae semble liée de façon très étroite à l'activité des pockmarks dans la zone Concarneau/Glénans. Notre hypothèse est que la marée semble être le candidat idéal pour déclencher l'expulsion de méthane dans l'eau qui provoquerait la remise en suspension des sédiments alentours et engendrerait une turbidité nécessaire au nourrissage des Haploops de façon récurrente. L'établissement de ces colonies dans une Baie caractérisée par un régime de marée macrotidal n'est probablement un hasard. Cette observation pourrait peut être s'appliquer aux observations faites dans la Baie du Fundy au Canada, où co-existent des Haploops et des pockmarks.

Références bibliographiques

- Baltzer A., Ehrhold A., Cordier C., Clouet H., Souron A., Cagna R., Gillier A., (2011) – Origine des pockmarks en surface des vasières à Haploops de la Baie de Concarneau à partir des dernières données acquises lors de la campagne Haliotis en 2011. 13^{ème} congrès de l'ASF, Dijon, 16-18 Novembre 2011.
- Baraza J., Ercilla G.,(1996). Gas charged sediments and large pockmark-like features on the Gulf of Cadiz slope (SW Spain), *marine and petroleum Geology*, vol. 13N°2, 253-261.
- Brothers L., Kelley J.T., Belknap D.F., Barnhardt W.A., Andrews B.D., Legere C., Clarke JEC, (2012).Shallow stratigraphic control on pockmark distribution in north temperate estuaries. *Marine geology* 329-331, 34-45.
- Diez R., Garcia-Gil S., Duran R., Vilas F., (2007). Gas-charged sediments in the Ria de Arousa : short-to long term fluctuation ? *Estuarine , coastal and shel science* 71, 467-479.
- Ehrhold A., Hamon D., Guillaumont B. (2006) . The REBENT monitoring network, a spatially integrated, acoustic approach to survey nearshore macrobenthic habitats : application to the Bay of Concarneau (South Brittany, France). *ICES Journal of Marine Science*, 63, 1604-1615.
- Fleisher P., Orsi T.H., Richardson M.D., Andersen A. L., (2001). Distribution of free gas in mature sediments : a global overview. *Geo-marine Letters* 2&, 103-122.
- Hovland M & Judd AG, (1988). Seabed pockmarks and seepages impacts on geology, biology and the marine environment. Graham et Trotman, London.
- Rigolet C., Le Souchu P., Caisey X., Dubois SF (2011). Group sweeping ; feeding activity and filtration rate in the tubicolous amphipod Haploops nirae (Kaim-Malka, 1976). *Journal of experimental Marine Biology and Ecology*, 406, 29-37/
- Souron A. (2009). Sédimentologie des vasières subtidales à Haploops spp. Sur les fonds à pockmarks de Bretagne Sud. Mémoire de Master2.Master SML. UBO Brest.

- Webb KE., Hammer O., Lepland A., Gray J., (2009). Pockmarks in the inner Oslofjord, Norway. *Geo-marine Letters*, 29, p 11-124.
- Wildish DJ., Akagi HM., McKeown DL., Pohle G.W., (2008). Pockmarks influence benthic communities in Passamaquoddy Bay, Bay of Fundy, Canada. *Marine Ecology Progress series*. 17p.

Géomorphologie du golfe de Gascogne et cartographie des habitats des coraux d'eau froide (Atlantique NE)

Jean-François Bourillet¹, Laurent de Chambure², Benoît Loubrieu¹, Samuel Toucanne¹, Mathieu Veslin¹, Jaime Davies³, Brigitte Guillaumont³, Lenaïck Menot³, Sophie Arnaud-Haond³

¹ Ifremer-Geosciences Marines, BP70, 29280 Plouzané, France

² LdC-Consult, 56, rue des Abbesses 75018 Paris France

³ Ifremer-Environnements Profonds, BP70, 29280 Plouzané, France

Contact : jfb@ifremer.fr

Mots clefs : géomorphologie, coraux, distribution, croissance, canyon

Introduction

Les coraux d'eau froide, contrairement aux coraux tropicaux, n'ont pas besoin de lumière et peuvent se développer en profondeur. Les espèces constructrices comme *Lophelia pertusa* et *Madrepora oculata* ont une distribution mondiale et sont présentes de la Norvège à la Grèce sous forme de monts carbonatés ou de récifs. Menacés par l'évolution des conditions environnementales et les actions anthropiques, les coraux d'eau froide sont actuellement classés comme écosystème vulnérable par plusieurs institutions internationales. Dans les eaux européennes, les indicateurs pour mesurer l'impact des pêcheries et l'efficacité des mesures de protection manquent encore. Le projet européen CoralFISH vise à étudier l'interaction entre les coraux, les poissons et les pêcheries par une approche écosystémique. Une des objectifs est de caractériser leurs habitats à partir des formes géologiques des fonds marins. Dans le golfe de Gascogne, des données historiques prouvent la présence de coraux d'eau froide (Joubin, 1922) mais leur distribution y restait méconnue et très en retard par rapport aux connaissances des autres mers régionales.

1. Nouvelles données haute résolution et analyse géomorphologique

1.1. Données de sondeurs multifaisceaux haute résolution

Deux campagnes (BobGeo, N/O *Pourquoi pas ?*, 2009 ; BobGeo2, N/O *Le Suroît*, 2010) ont permis d'acquérir des nouvelles données de sondeurs multifaisceaux haute résolution sur 4 secteurs soit environ 20.000 km². Elles présentent une résolution 5 fois plus précise que celle de la dernière compilation (Le Suavé et al, 2000). Les données de multifaisceaux sont traitées classiquement (logiciel Caraïbes © Ifremer) pour aboutir à un Modèle Numérique de Terrain, MNT, au pas de 15 à 25 mètres. Puis ils sont filtrés par géostatistique (logiciel Isatis © Geovariance). Pour assurer une couverture géographique plus large, le MNT est combiné avec un modèle numérique au pas de 125 m (Le Suavé et al, 2000).

1.2. Méthode d'analyse géomorphologique

La classification géomorphologique (de Chambure et al, 2010) se base sur des attributs extraits du MNT (logiciel Isatis © Geovariance) et une typologie des canyons. Elle se déroule en 4 étapes :

- calcul d'attributs bathymétriques et délimitation des grands secteurs physiographiques ou *mégagéoformes*,
- calcul d'attributs plus complexes mais mieux adaptés aux structures géologiques rencontrées comme les canyons, les réseaux de drainage (Bourillet et al, 2006),
- classement des éléments (*méso-* ou *macrogéofomes*) des canyons et des interfluves identifiés selon le standard du CMECS (Madden & al, 2008 ; Greene & al, 1999),

- validation et généralisation.

2. Résultats

2.1. Cartes géomorphologiques

Pour chacun des 4 secteurs représentatifs de la marge, une carte bathymorphologique et une carte géomorphologique au 1/100.000 ont été éditées (Bourillet et al, 2012a ; figure 1). Des structures morphologiques insoupçonnées jusqu'ici ont été identifiées : série de chutes de plusieurs centaines de mètres de haut dans les canyons, sur-incision de certains thalwegs. Ces arguments militent pour une évolution régressive des canyons. Malgré la forte résolution des données, aucune trace de monts carbonatés sous-marins semblables aux monts irlandais n'a été trouvée. Seuls des monticules bioclastiques avec des débris de coraux sur le rebord du plateau continental ont été confirmés par ces données.

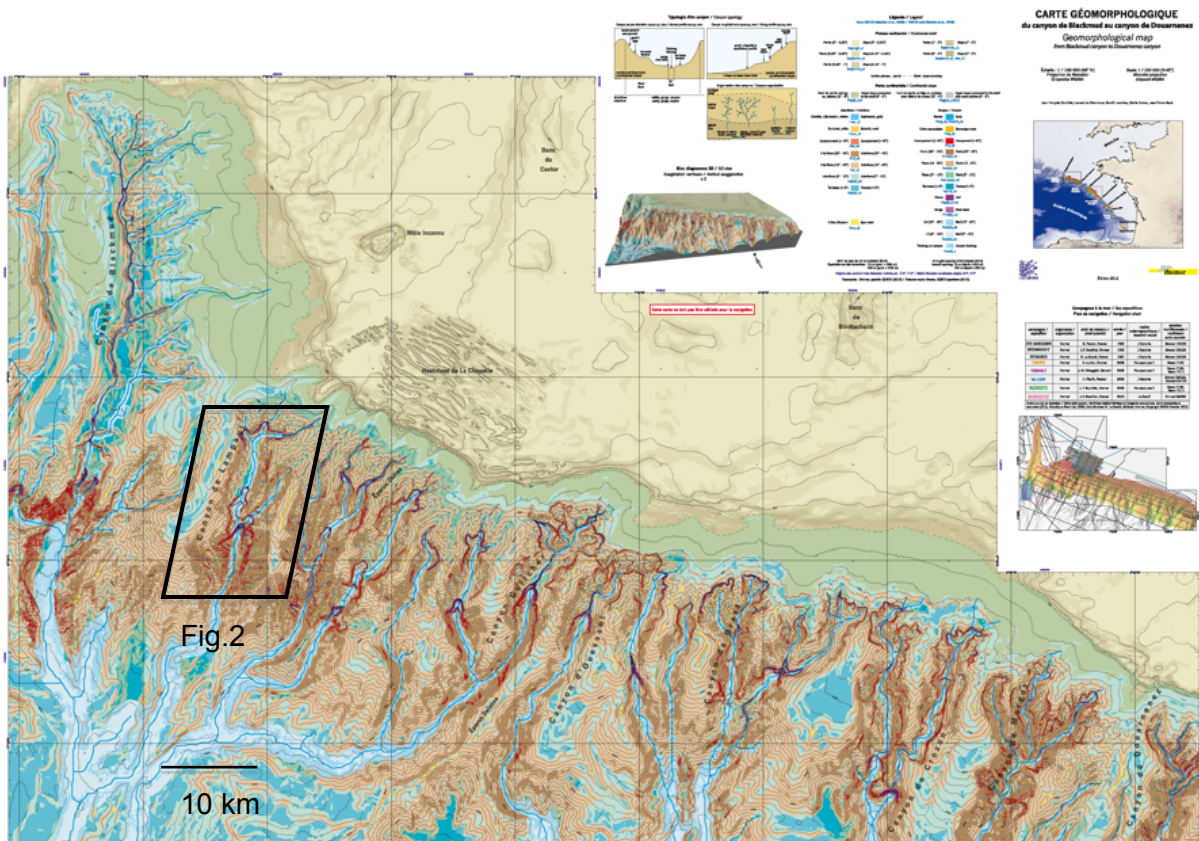


Fig.1 Carte géomorphologique du canyon de Blackmud au canyon de Douarnenez.

2.2. Distribution des associations de coraux

L'interprétation des vidéos des plongées de plusieurs campagnes (en particulier BobEco, N/O *Pourquoi pas ?*, 2011) a permis d'établir un catalogue des associations de coraux sur les 6 provinces du projet CoralFISH (Guillaumont et al, 2012). Pour le golfe de Gascogne, une corrélation préliminaire entre ces associations le long de plongées et les faciès géomorphologiques (Bourillet et al, 2012b) montre une distribution contrôlée par le type de substrat et la morphologie : des associations très variées de sclérectiniens sur les parois verticales des chutes, des récifs de coraux plus ou moins denses sur les flancs pentus des canyons, des associations peu denses de coraux de fond vaseux sur les interfluves, des associations variées sur les berges ou fonds sableux des thalwegs ou sur les gradins de vases consolidées des flancs de canyons (figure 2).

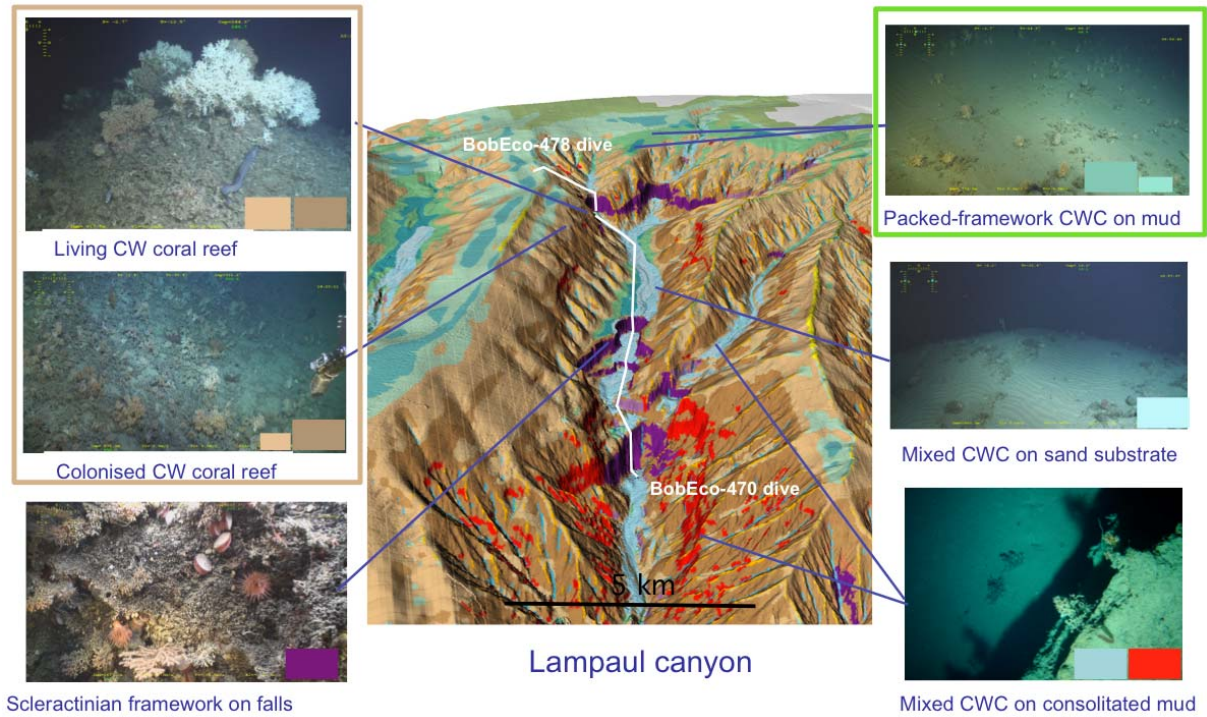


Fig.2 Vue 3D du canyon de Lampaul et répartition des associations de coraux. (Position fig. 1).

3. Développement des coraux dans l'espace et le temps

3.1. Cas de croissance opportuniste des coraux d'eau froide

Les récifs de coraux d'eau froide se développent selon 2 modèles connus : une croissance en progradation contre le courant dominant comme en Norvège avec les flancs raides des rides constitués de coraux vivants (Mortensen et al, 2001) ; une croissance en aggradation comme au large de l'Angola ou de l'Irlande (Olu, 2004). Une plongée du ROV Victor sur l'interfluve Croisic–Belle-île montre un champ de dunes à flanc doux et crête recouverts de coraux et à flanc raide dépourvu de coraux. Une explication serait une croissance opportuniste des coraux sur un relief préexistant de dunes de gravier d'origine catastrophique et gravitaire (figure 3). Les datations de débris indiquent une fourchette de 2,5 ka à nos jours (Kimbangui, 2012).

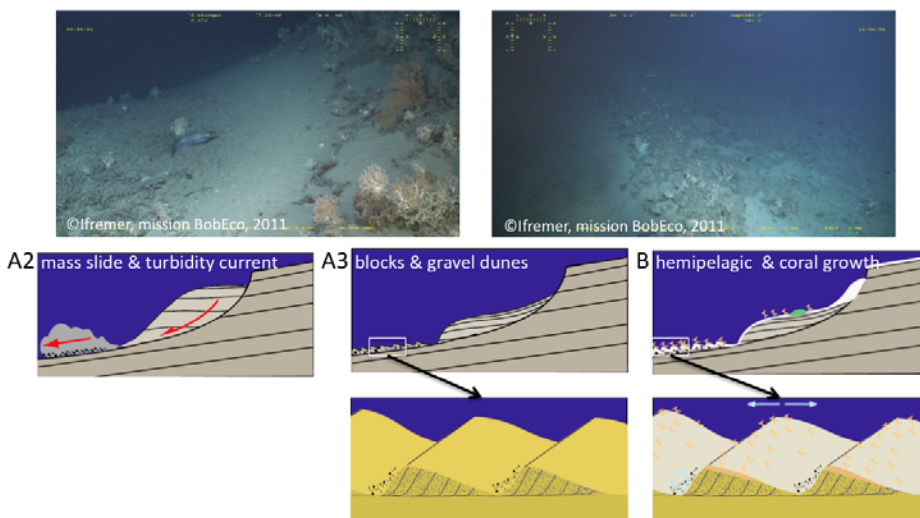


Fig.3 Modèle de croissance opportuniste des coraux

3.2. Croissance des coraux et taux de sédimentation

D'autres coraux présents sur les flancs des canyons sont confrontés à des turbidités et des courants très forts. L'asymétrie des taux de sédimentation sur les flancs droit et gauche a déjà été évoquée (Van Rooij *et al.*, 2010). Des mesures du taux d'aragonite sur des carottes de la campagne BobEco montrent la présence de plusieurs niveaux enfouis riches en coraux. Les datations des débris de coraux et des niveaux sédimentaires devraient nous renseigner sur les moments et conditions propices aux développements des coraux.

4. Conclusion

La cartographie haute résolution menée dans le golfe de Gascogne au cours du projet CoralFISH couvre quatre secteurs typiques soit 20% des canyons. Une analyse quantitative basée sur la typologie d'un canyon et sur la combinaison d'attributs complexes dérivés de MNT bathymétriques offre une vision des différentes classes géomorphologiques. Aucune trace de monts carbonatés semblables aux monts irlandais n'a été trouvée. En revanche, les nombreuses associations de coraux se répartissent selon le type du substrat et la morphologie. Un modèle de développement « opportuniste » des coraux complète les deux existants. Des niveaux fossiles de coraux ont été prélevés sur le flanc d'un des canyons. L'extension de la distribution des associations de coraux grâce aux classes géomorphologiques sera une aide précieuse pour la gestion de ces écosystèmes.

Références bibliographiques

- Bourillet J-F. (Coord.), de Chambure L. and Loubrieu B. (2012a). Sur les traces des coraux d'eau froide du golfe de Gascogne. 8 cartes bathymorphologiques et géomorphologiques, Quae (Ed.)
- Bourillet J-F., de Chambure L., Loubrieu B., Arnaud-Haond S., Guillaumont B., Veslin M. and BobGeo_BobEco_scientific_teams (2012b). Geomorphology of the Bay of Biscay and cold-water corals habitat mapping (NE Atlantic). Ecosystem based management and monitoring in the deep Mediterranean & N. Atlantic - Deepfishman & Coralfish meeting, August 28:31 2012, Galway, Ireland
- Bourillet J-F., Zaragosi S and Mulder T. (2006). "The French Atlantic margin and the deep sea submarine systems." *Geo-Marine Letters* 26(6): 311-315.
- de Chambure L. and Bourillet J-F. (2010). Geomorphological classification of the seabed - Bay of Biscay CoralFISH 2nd science meeting 29th November - 2nd December 2010, Milan, Italy.
- Greene H.G., O'Connell V., Brylinsky C.K. & Reynolds J.R. (2008). Marine Benthic Habitat Classification: What's Best for Alaska? *Marine Habitat Mapping Technology for Alaska*. Fairbanks U. 169-184.
- Guillaumont B., Tempera F, Vertino A, Ólafsdóttir S H, Greham A, Smith C, Fossa J H, Davies J, Van Den Beld I, Savini A and Rengstorf A. (2012). CoralFish Catalogue of Coldwater Coral-dominated Habitats: Northeast Atlantic and Mediterranean Environments.
- Joubin M.L. (1922). "Les Coraux de Mer Profonde nuisibles aux chalutiers." *Notes et mémoires de l'office scientifique et technique des pêches maritimes* 18: 3-19.
- Kimbangui C. (2012). Renaissance d'un récif corallien dans les profondeurs du canyon de Croisic. LSCE. Gif sur Yvette, université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines. Master 2: 41.
- Le Suavé R., Bourillet J-F. and Coutelle A. (2000). La marge nord du golfe de Gascogne. Connaissances générales et apport des nouvelles synthèses de données multifaisceaux. Synthèse bathymétrique et imagerie acoustique de la ZEE Atlantique Nord-Est. Ifremer, Ifremer: 55.

- Madden C.J., K. Goodin, B. Allee, M. Finkbeiner and D. Bamford (2008). Coastal and Marine Ecological Classification Standard. NOAA and NatureServe: 77.
- Mortensen P. B., M. T. Hovland, J. H. Fossa and D. M. Furevik (2001). "Distribution, abundance and size of *Lophelia pertusa* coral reefs in mid-Norway in relation to seabed characteristics." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 81(4): 581-597.
- Olu-Le Roy K. (2004) Les coraux profonds, une biodiversité à évaluer et à préserver. *Vertigo, revue électronique en environnement* 5
- Van Rooij D., De Mol L., Le Guilloux E., Wisshak M., Huvenne V.A.I., Moeremans R. and Henriet J-P. (2010). "Environmental setting of deep-water oysters in the Bay of Bisacy." *Deep-Sea Research I* 57: 1561-1572.

Apports des suivis de l'activité "granulats marins" à l'amélioration des connaissances des habitats marins benthiques

N. Delsinne¹

¹ UNPG 5 boulevard Vincent Gâche BP 36204 Nantes Cedex 2

Contacts : nicolas.delsinne@cemex.com; christian.corlay@unicem.fr

La contribution de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG) en 2013 est la continuité de la présentation faite lors de la première édition du colloque CarHamb'ar de 2009. Depuis lors, la profession a poursuivi sa réflexion sur des suivis environnementaux de l'activité "granulats marins" : la contribution des données collectées à l'amélioration générale des connaissances des milieux marins (UNPG, CarHamb'ar 2009), les moyens d'éviter et réduire les impacts de l'activité à partir de la cartographie et le suivi des habitats, en particulier les habitats benthiques, comment s'inscrire dans les plans et programmes de protection du milieu maritime qui se développent.

Depuis plusieurs années, la gouvernance de la mer se structure, et l'on voit poindre une ambition maritime pour la France (rapport Poséidon, 2006). Le Grenelle de la mer (2009) a eu pour cela de bénéfique, entre autres, de rassembler les grands acteurs de la mer. Le comité national de la mer et des littoraux, récemment réunis, la mise en place de la DC Stratégie pour le Milieu Marin en cours, sont quelques exemples de cette dynamique visant le milieu marin. Cette stratégie nationale est déclinée pour les 4 façades maritimes en métropole : Manche est/Mer du Nord, Nord Atlantique/Manche ouest (NAMO), Atlantique Sud, Méditerranée). Pour ce faire, des Conseils Maritimes de Façade (CMF) vont assurer la déclinaison de cette politique maritime nationale. Pour autant, si les ambitions sont grandes, les besoins le sont tout autant, en particulier en termes de connaissances. En effet, il est en commun de toutes les actions en cours, de désigner le manque de données, comme un point très limitant.

Les porteurs de projets de recherches et d'exploitation de granulats marins ont dans ce contexte, montré au colloque de 2009, qu'ils réalisaient des suivis en mer nombreux, mais surtout robustes. Ces informations s'inscrivent dans le cadre de programme de recherches (eg GIS SIEGMA), et de suivis au sein et aux abords des sites autorisés.

La somme des enjeux et objectifs pour l'UNPG en 2013 s'articule ainsi en cinq points

1. Réaliser un état de référence

La qualité des suivis en mer des zones de prospection et d'exploitation de granulats marins repose sur un état de référence robuste établi selon des méthodes scientifiques validées. Dans le cadre des exploitations de granulats marins, les protocoles conseillés par l'IFREMER (<http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Protocoles>) apportent un cadre harmonisé pour réaliser ces travaux proportionnellement aux enjeux de chaque zone concernée.

2. Évaluer les impacts

Pour déterminer l'indicateur approprié pour évaluer les impacts (directs, indirects, cumulés) d'un projet ou d'une exploitation sur le milieu marin, l'UNPG pourra se référer aux prescriptions des plans d'actions pour le milieu marin (PAMM) et à la liste des pressions et impacts établie par la DCSMM. Pour les extractions marines, l'indicateur est celui relatif à l'intégrité des fonds marins consistant à caractériser les modifications physiques des fonds marins et à décrire la communauté benthique.

3. Éviter et réduire les impacts

Les données environnementales recueillies permettent de déterminer des zones et d'adapter les méthodes d'exploitation pour favoriser la recolonisation biologique des fonds marins, et de choisir des modalités d'exploitation adaptées au secteur retenu.

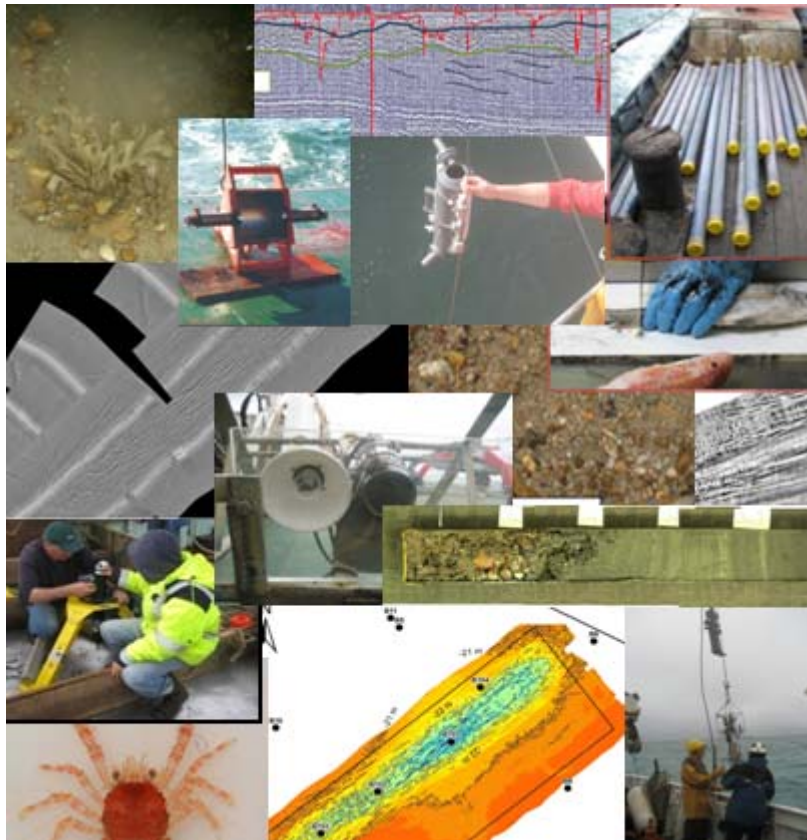
4. Assurer un suivi

Comme pour l'évaluation des impacts, l'orientation des suivis se fait selon les objectifs de conservation du site et proportionnellement à la pression du projet sur l'environnement.

5. Capitaliser les connaissances

L'état des connaissances du milieu marin est particulièrement lacunaire pour la France métropolitaine et plus encore pour l'outre-mer. Il existe des contraintes spécifiques au milieu marin pour l'acquisition de données, la surveillance et le suivi, compte tenu des moyens lourds à mobiliser (navires, outils de mesures en mer, prélèvements) et des contraintes météorologiques. Les données de cartographie des habitats à travers les suivis dédiés aux sites Granulats marins représentent de réelles opportunités de contribuer à la connaissance des milieux et donc de leur meilleure gestion.

Ainsi, à la suite de CarHamb'AR (2009), avec l'aide de l'AAMP, l'UNPG s'est engagée volontairement dans une démarche de mutualisation des métadonnées des suivis des sites en mer, dans le SINP MER. Cette action est en cours de finalisation et doit permettre de participer à l'amélioration de l'état des connaissances du milieu marin.



Cartographie et inventaire des zones côtières en Guyane

C. Noël¹, C. Viala¹, S. Marchetti¹, E. Bauer¹,
M. Foulquie, N. Dalias², C. Artero³, S. Brugneaux⁴

¹ SEMANTIC TS. 39 chemin de la Buge, 83110 SANARY s/Mer

² SEANEO – 34000 Montpellier Email : mathieufoulquie@seaneo.com

³ ONCFS Domaine de Suzini, BP 477, 97300 Cayenne. Email: celine.artero.merou@gmail.com

⁴ Agence des Aires Marines Protégées

Contacts : noel@semantic-ts.fr, sophie.brugneaux@aires-marines.fr

Mots clefs : acquisition multi-capteurs, caméra acoustique, classification des fonds, *Epinephelus itajara*

Introduction

Cet article présente les travaux de cartographie et d'inventaire réalisés dans le cadre du marché N°2011-AAMP-01.

L'étude réalisée vise à étudier l'intérêt patrimonial et la fonctionnalité écologique des secteurs de substrats durs côtiers du secteur Oyapock à l'îlet La Mère en Guyane. Elle se décompose en 3 phases :

- Phase I : Identification des zones de substrats durs au moyen d'une cartographie morpho-sédimentaire.
- Phase II : Étude de l'intérêt patrimonial et de la fonctionnalité écologique des secteurs de substrat dur identifiés par petits et grands fonds.
- Phase III : Estimation de la population de mérous géants (Travaux en cours)

Cet article présente plus particulièrement les travaux d'acquisition des données.

1. Acquisition de données en vue de l'étude morpho-sédimentaire

1.1. Intérêt de l'instrumentation multi-capteurs mise en œuvre

L'objectif de cette étude morpho-sédimentaire était de cartographier la zone de taille environ 50 km par 70 km à l'aide de différents instruments dans le but de détecter des zones rocheuses d'une surface de plus d'un kilomètre carré.

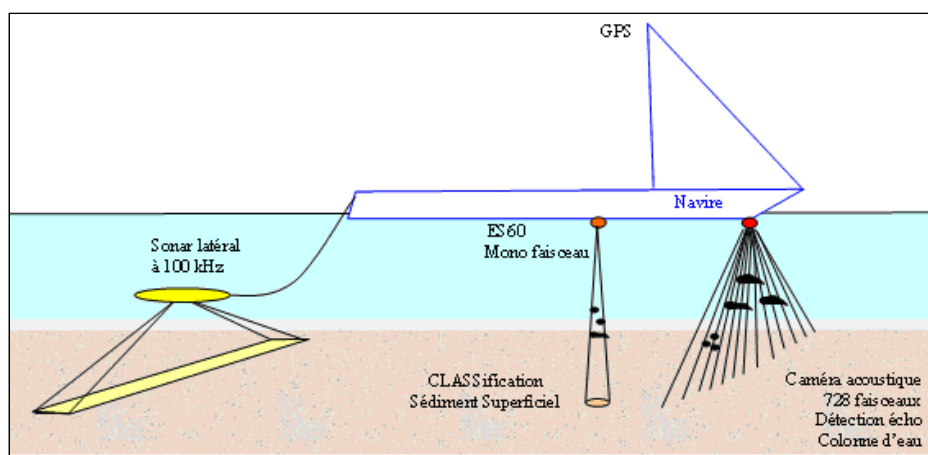


Fig.1 Principe de l'acquisition multi-capteurs mise en œuvre par SEMANTIC TS sur le navire GUYAVOILE d'OSL. Présentation des différents appareils acoustiques opérés simultanément

Pour cela les appareils suivants ont été opérés simultanément afin de collecter une information multi-capteurs :

Matériel / Méthode	Information mise en évidence	Limite
Caméra acoustique	Détection de ressource halieutique Observation de la biomasse Observation des textures du fond	Usage expérimental
Sonar Latéral	Délimitation de zone acoustiquement homogène	Besoin de données complémentaires pour l'interprétation
Sondeur mono-faisceau	Variation topographique du substrat	Existence de variations importantes Prise en compte des mouvements de plateforme
Sondeur mono-faisceau & Méthode CLASS	Classification du type de substrat	Besoin de calibration sur des secteurs bien connus et variés

Comme indiqué dans le tableau ci-dessus, les appareils, pris individuellement, ne permettent pas de répondre au besoin de connaissance exprimé.

En effet, le sonar latéral permet de déterminer des zones acoustiquement homogènes sans toutefois permettre de déterminer la nature du substrat par interprétation de la texture des motifs à la résolution adoptée pour ce projet (5m*5m). C'est pourquoi en complément, le sondeur mono-faisceau est mis en œuvre dans le but de donner une information sur la topographie des structures (bathymétrie) et en exploitant son signal (méthode CLASS) de déterminer la nature du substrat.

1.2. Résultats de l'acquisition de données

L'acquisition de 450 heures de données multi-capteurs, le long de 4300 km de radiales a été réalisée majoritairement à la voile, pour des raisons de coûts et d'impossibilité d'approvisionnement de carburant en grande quantité dans les ports de Guyane ni même de navigation au moteur, étant donné que les 120 radiales s'éloignent à plus de 70 km des côtes. La qualité des images sonar obtenues et la mosaïque globale constituée, harmonisée sur l'ensemble de la zone, valorise ce procédé qui s'intègre, sur cet aspect, dans le cadre du développement durable, et montre qu'une campagne d'acquisition d'une telle envergure peut se faire en respectant l'environnement et avec des moyens légers.

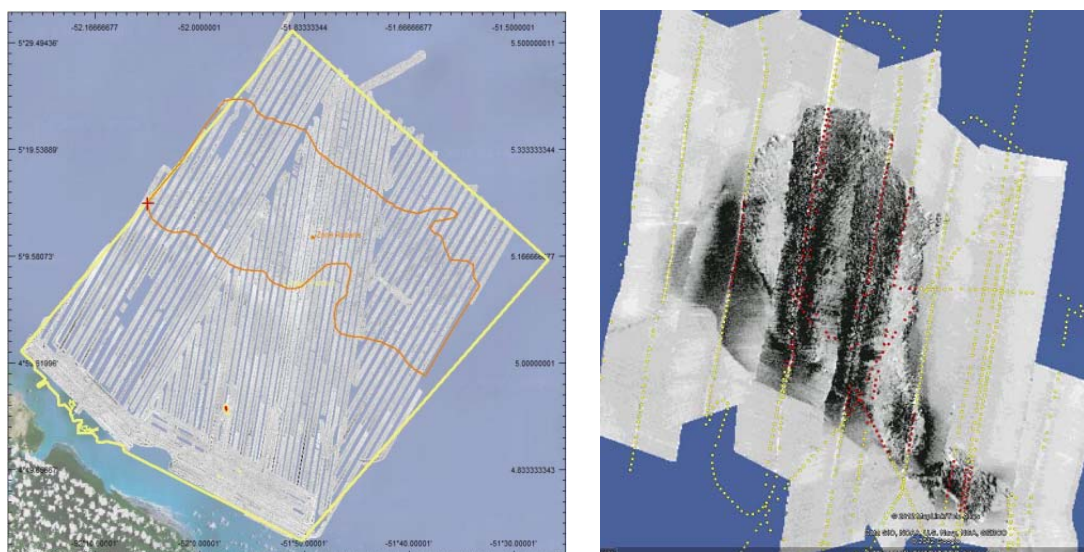


Fig.2 A gauche : En jaune : Zone d'étude au large de la Guyane : 50 km par 70 km. Résultat de l'imagerie sonar latéral. En orange : zone de rubans sédimentaires
A droite : Résultats de la méthode de classification acoustique des sédiments superposés à la mosaïque sonar latéral. En jaune : sédiments – En rouge : roche

L'analyse des résultats des mosaïques fusionnées avec les données de bathymétrie et de classification acoustique, montre que le sonar a bien détecté un comportement acoustique différent dans une zone importante située au large (en orange sur la figure 2), correspondant probablement à de vastes rubans sédimentaires, composés de sédiments plus grossiers ou de vases indurées, mais pas de roche. Il n'est pas observable dans ce secteur de remontée bathymétrique au sondeur mono-faisceau, ni de classification rocheuse des fonds.

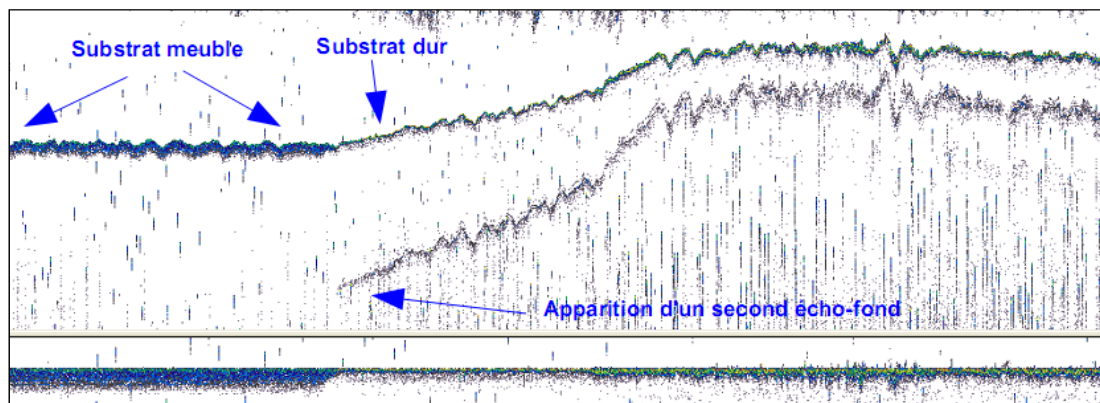


Fig.3 Extrait du signal du sondeur mono-faisceau au passage au dessus des roches des Battures du Connétable. Lors du passage sur les roches on observe l'apparition d'un second écho fond en même temps qu'une diminution de l'absorption du fond.

2. Acquisition de données en vue de l'étude de l'intérêt patrimonial et de la fonctionnalité écologique des secteurs de substrat dur

2.1. Exploitation des données de la caméra acoustique

Une caméra acoustique permettant la détection de ressource halieutique a d'autre part été mise en œuvre en tout temps afin de collecter des données sur l'ensemble de la zone, sous l'hypothèse qu'une zone rocheuse non connue pourrait être un concentrateur de ressources halieutiques qui aurait été détectées par les algorithmes mis en place.

Le traitement des données de la caméra acoustique a permis de valoriser la grande quantité de données acquises par la caméra et d'extraire une cartographie de la quantité d'individus détectés dans la colonne d'eau, fournissant ainsi des renseignements nouveaux sur la biomasse au large et près des côtes Guyanaises et validant la faisabilité de développement d'une méthodologie innovante, exploitant des données de 728 faisceaux acoustiques, et aux perspectives intéressantes pour les eaux fortement turbides de Guyane. La validation de cette méthode par calage avec des données optiques ainsi que son automatiser sont en cours. Notons que la caméra n'a pas détecté de ressources halieutiques au large.

L'usage de la caméra autour des îles rocheuses a permis d'enregistrer des séquences de déplacements de nombreux mérous *Epinephelus itajara* en banc ou isolés, observations corroborées par la pêche simultanée en no kill d'un mérou. Les informations extraites des séquences permettent une estimation de la population de mérous géants sur la zone, ainsi que l'étude de l'effet réserve (travaux en cours, thèse de C. ARTERO).

2.2. Prélèvements et échantillonnages

Un nombre important de prélèvements a été réalisé (12 plongées sous-marines - 56 échantillonnages subtidaux - 60 quadrats intertidaux - 8 prélèvements à la drague), selon le plan d'échantillonnage défini par avance en collaboration avec l'Agence de Aires Marines Protégées lors de la phase de préparation de la mission. Un programme de pêche expérimental (23 calées de pêche réparties sur l'ensemble des ilets rocheux) a été ajouté au

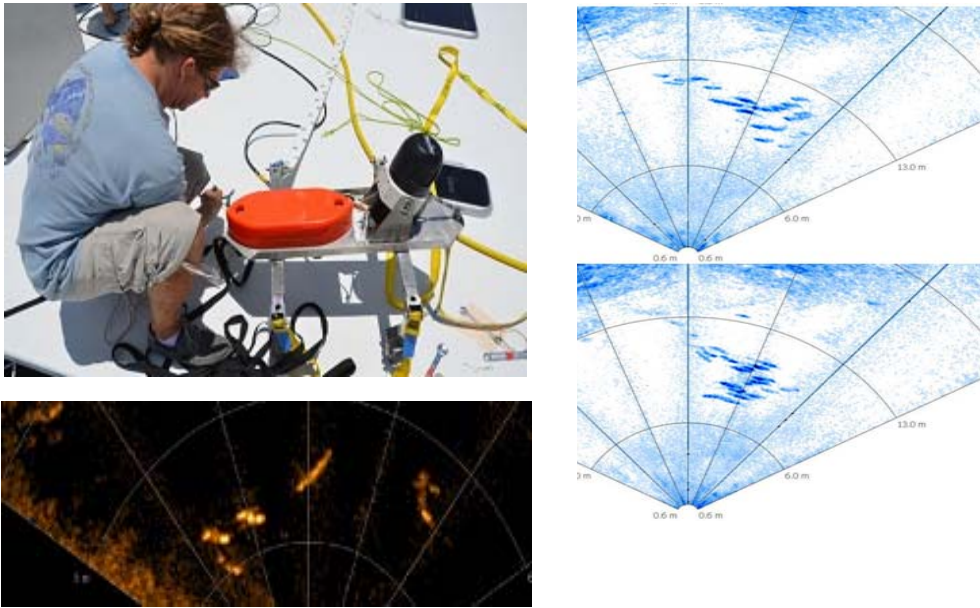


Fig.4 A gauche : Montage de l'interface mécanique sur le pont du bateau du sondeur mono-faisceau ES60 (sonde rouge) et de la caméra acoustique BLUEVIEW (sonde noire)
 A droite : Exemple de séquences de prises de vues extraites de la vidéo de la caméra acoustique BLUEVIEW Secteur du Connétable le 26/09/12

projet initial. Malgré des conditions de mer houleuses, et une visibilité médiocre ou nulle, les prélèvements intertidaux ont pu avoir lieu et des plongées sous-marines ont permis de collecter des images des fonds marins sur certains secteurs. Les différents prélèvements ont fait l'objet de fiches de vérité terrain dédiées qui ont été saisies en partie lors de la mission par le SIG de navigation, puis complétées par SEANEO au fur et à mesure de l'analyse des données, de la détermination des espèces prélevées avec l'aide de nombreux experts et du calcul des recouvrements des quadrats observés. Un logiciel spécifique a été développé afin de relire automatiquement ces fiches et d'importer les données, sans manipulation humaine génératrice d'erreurs potentielles, dans une base de données permettant l'analyse scientifique, actuellement en cours, de ces données.



Fig.5 Prélèvements dans les zones rocheuses

Remerciements

Les auteurs remercient les nombreux acteurs ayant participé à l'acquisition des données : Les équipes d'A. HAUSSELMAN de la Réserve Naturelle de l'île du Grand Connétable, de F. BLANCHARD de l'IFREMER, d'OSL et du GUYAVOILE, ainsi que C. BOUCHON et G. KARAM ; les nombreux experts contactés pour l'identification des espèces ; les services de l'état en Guyane pour leur aide à l'organisation de la mission : DREAL Guyane, Préfecture de la Région Guyane ; MNBSP et le CELRL.

Caractérisation des peuplements benthiques du Cap Corse

Marina Bonacorsi¹, Christine Pergent-Martini¹, Philippe Clabaut², Elodie Damier³, Boris Daniel³, Niels Bréand¹, Michel Marengo¹, Gérard Pergent¹

¹ Equipe « Ecosystèmes Littoraux », FRES 3041, Université de Corse, 20250 Corte, France

² Clabaut Consultant et GIS Posidonie, Université de Corse, 20250 Corte, France

³ Agence des Aires Marines Protégées, Antenne Méditerranée, 26 rue de la République
13001 Marseille, France

Mots clefs : Cartographie, coralligène, rhodolithes, herbiers *de magnoliophytes*, Corse

Introduction

Les peuplements benthiques (herbiers de magnoliophytes, coralligène et fonds à rhodolithes) constituent la base de la richesse spécifique méditerranéenne (Bellan-Santini *et al.*, 1994 ; Relini, 2009). Les herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile, magnoliophyte marine endémique de Méditerranée, se développent entre 0 et - 40 m, et jouent un rôle majeur au niveau biologique et dans le maintien des équilibres littoraux et des activités économiques concomitantes (Boudouresque *et al.*, 2012). Le coralligène est considéré comme un paysage sous-marin typique de Méditerranée, constitué par une structure d'algues corallines qui se développent dans des conditions de faible luminosité et dans des eaux relativement calmes (Ballesteros, 2006). Les fonds à rhodolithes sont constitués d'algues calcaires vivantes libres, qui se développent sur les fonds meubles (infralittoral et circalittoral) en présence de courants forts et des conditions de faible luminosité (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2008).

Le fait de disposer de cartes de répartition de ces formations benthiques constitue un préalable incontournable à toute activité de gestion et de conservation de ces formations. Si l'extension des herbiers à *Posidonia oceanica* est relativement bien connue, surtout le long des côtes européennes (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009a), et plus particulièrement en Corse (Pasqualini *et al.*, 1998), on ne dispose que de très peu d'informations sur la distribution du coralligène et des fonds à rhodolithes en Méditerranée (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009b).

Le site du Cap Corse a été choisi en raison de son intérêt au regard de la biodiversité marine (Anonyme, 2011) et du fait qu'il semble présenter des conditions favorables au développement de ces formations (morphologie des fonds, hydrodynamisme, faible pression anthropique). Un programme de cartographie des principaux peuplements et types de fonds du Cap Corse a donc été initié en collaboration avec l'Agence des Aires Marines Protégées.

1. Matériel et méthodes

L'acquisition des données cartographiques des principaux peuplements et types de fonds, entre la surface et 100 m de profondeur, est réalisée entre Juillet 2010 et Septembre 2011. La zone superficielle (0 à -15 m de profondeur) est cartographiée à l'aide d'une couverture photographique complète (146 photographies aériennes en couleurs naturelles au 1/5 000^{ème}, issues de la BD ORTHO® 2007 de l'Institut Géographique National et de résolution 0.5 m). Le traitement d'images est réalisé sur chaque photographie, à l'aide du logiciel Envi 4.4®, suivant la méthode de Pasqualini *et al.*, (1998).

La zone profonde (-15 à -100 m) est cartographiée à l'aide d'une couverture acoustique (couplage d'un sondeur multifaisceaux EM 1000™ et d'un sonar à balayage latéral Klein 3000™) acquise au cours des campagnes océanographiques Capcoral 1 et 2 (N/O Europe de l'Ifremer). Les données, traitées avec le logiciel CARIBES 3.8®, permettent d'obtenir un modèle numérique de terrain et une mosaïque des fonds (résolution de 0.5 m). Plus de 500 observations *in situ* (seau de calfat, plongées en scaphandre autonome, et images ROV) permettent de valider l'interprétation des données aériennes et de la mosaïque sonar.

L'ensemble des données est ensuite intégré dans un Système d'Informations Géographiques (Arc GIS 10® ; référentiel projection Mercator-WGS84). La fiabilité des cartes produites est calculée à l'aide des échelles disponibles (Pasqualini, 1997 ; Pasqualini *et al.* 1998 ; Projet MESH, 2008).

2. Résultats

La carte bathymétrique du site permet de mettre en évidence un relief important en particulier au Nord (e.g. présence d'une barre rocheuse de plus de 10 km de long, identification d'un « piton » rocheux d'une dizaine d'hectares).

La carte des peuplements et types de fonds concerne 75 000 ha (Figure 1) et permet de mettre en évidence :

- L'importance des herbiers à *Posidonia oceanica*, qui occupent 9 970 ha, soit près de 75 % de la tranche bathymétrique 0 à -40 m, et des substrats meubles qui constituent près de 82 % des fonds. Ces substrats sont souvent couverts de rhodolithes qui donnent lieu à des « tapis » continus (1 663 ha) ou des accumulations dans les dépressions (9 560 ha). Elles sont fréquentes jusqu'à des profondeurs de 80 à 90 m, mais s'observent plus ponctuellement jusque vers -105 m à -108 m.

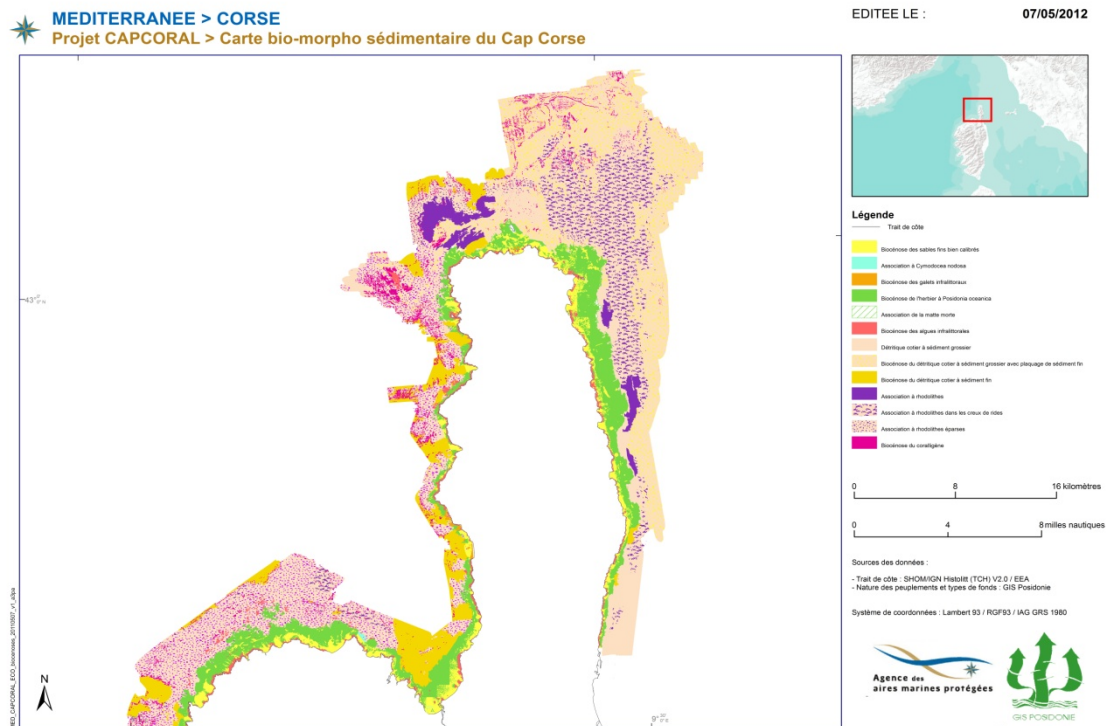


Fig.1 Cartographie des peuplements et types de fonds du Cap Corse

- La représentativité des algues photophiles sur roches, qui bien que n'occupant que des surfaces relativement limitées (881 ha) sont présentes sur l'ensemble du littoral étudié.
- La difficulté d'identification et la sous-évaluation de certains peuplements ou types de fonds comme i) le coralligène, qui bien que systématiquement présent au niveau des substrats rocheux du Nord du Cap Corse, n'occupe que des surfaces réduites (505 ha) dans la mesure où sa présence le long des parois rocheuses et sous les surplombs est sous estimée, ii) les herbiers à *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch, qui ne sont détectés que lorsqu'ils présentent une densité importante et donc uniquement à certaines saisons, et ce quelle que soit la méthode utilisée (photographie aérienne ou sonar à balayage latéral), iii)

- les galets infralittoraux (37 ha), qui peuvent masquer des substrats, et iv) les mattes mortes d'herbier (53 ha), qui peuvent être confondues avec des herbiers à faible recouvrement.
- La présence de traces d'impacts anthropiques localisées (e.g. trace de chalutage, d'explosion).

En outre des structures particulières, « atoll de coralligène », ont été identifiées, pour la première fois, vers 110 m de profondeur, au Nord de la zone d'étude. Ces « atolls » apparaissent sous formes de structures circulaires sombres, dessinées sur un fond meuble plus clair et présentant un noyau sombre au centre.

Toutes ces structures sont de tailles similaires (20 à 30 m de diamètre).

Les observations et prélèvements *in situ* montrent : i) une partie centrale massive, constituée par du coralligène de plateau; ii) une auréole de sédiments biogènes grossiers, et iii) une couronne périphérique, de un à trois mètres de large, constituée de coralligène, associé à des rhodolithes libres (pralines) et de nombreux invertébrés.

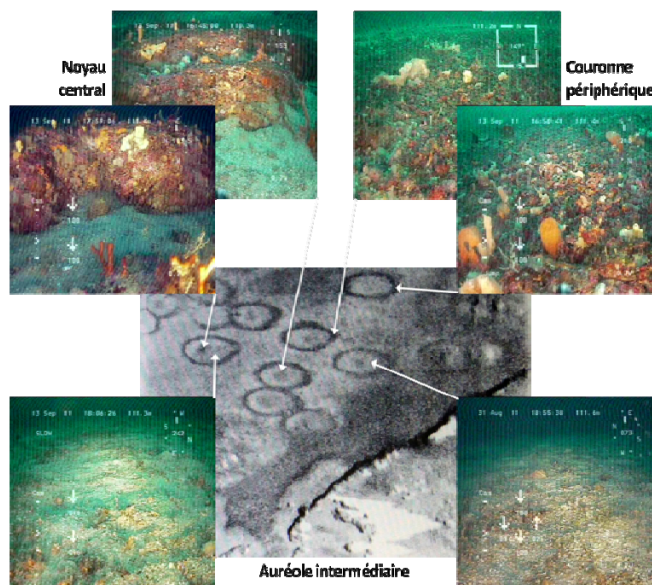


Fig.2 Observations réalisées sur le site des atolls de coralligène du Nord du Cap Corse

La fiabilité de la carte est élevée (entre 88 et 90 % en moyenne) et du même ordre, quelle que soit l'échelle utilisée.

3. Discussion et conclusion

Cette étude constitue une contribution significative à la connaissance des peuplements benthiques du Cap Corse, mais plus globalement à la distribution du coralligène et des fonds à rhodolithes, par rapport aux données de la littérature (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009b).

Bien que nos résultats soient en accord avec des observations réalisées précédemment en terme de distribution bathymétrique du coralligène (Ballesteros, 2006) comme des fonds à rhodolithes (Barbera *et al.*, 2003), la présence de coralligène jusqu'à 112 m de profondeur constitue apparemment la signalisation la plus profonde pour le bassin occidental.

De même, le site du Cap Corse apparaît comme de première importance dans la mesure où il abrite 15 % les fonds à rhodolithes, répertoriés en Méditerranée (Agnesi *et al.* 2009).

La découverte de nouvelles structures coralligènes (« atolls ») à la base de monts sous-marins, constitue un enjeu en terme de connaissance scientifique (origine et dynamique d'édification de ces structures) et renforce l'intérêt patrimonial du Cap Corse. La création d'une aire marine protégée, telle qu'envisagée dans le cadre de l'Analyse Stratégique Régionale (Anonyme, 2011), apparaît donc comme un moyen pertinent pour assurer la conservation de la biodiversité et la préservation de ces structures uniques.

Dans cette optique, une nouvelle campagne océanographique est d'ailleurs d'ores et déjà planifiée pour l'été 2013.

Remerciements

Les données présentées sont issues de la campagne CAPCORAL effectuée sur le navire L'Europe de l'Ifremer dans le cadre de l'UMS Flotte Océanographique Française ; ce travail a bénéficié du soutien financier de l'Agence des Aires Marines Protégées.

Références bibliographiques

- Agnesi, S., Annunziatellisi, A., Cassese, M.L., Di Nora, T., La Mesa, G., Mo, G., Pergent-Martini, C., Tunesi, L., 2009. Analysis on the coralligenous assemblages in the Mediterranean sea: a review of the current state of knowledge in support of future investigations. *In*: "Proceedings of the 1st Symposium on the Coralligenous and other calcareous bio-concretions of the Mediterranean Sea" Pergent-Martini, C., Brichet, M., eds., CAR/ASP Publ., Tabarka, 15-16 January 2009, 41-46.
- Anonyme, 2011. Analyse Stratégique Régionale de la Corse. Enjeux et propositions de création d'aires marines protégées, Agence des Aires Marines Protégées & Office de l'Environnement de la Corse, 1-96.
- Ballesteros, E., 2006. Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanographic Marine Biology Annual Review*, 44, 123-195.
- Barbera, C., Bordehore, C., Borg, J.A., Glemarec, M., Grall, J., Hall-Spencer, J.M., De La Huz, C.H., Lanfranco, E., Lastra, M., Moore, P.J., Mora, J., Pita, M.E., Ramos-Espla, A.A., Rizzo, M., Sanchez-Mata, A., Seva, A., Schembri, P.J., Valle, C., 2003. Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds. *Aquatic Conservation*, 13, 65-76.
- Bellan-Santini, D., Lacaze, J.C., Poizat, C., 1994. Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. *Museum National d'Histoire Naturelle publ.*, 1-246.
- Boudouresque C. F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2012. Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. RAMOGE and RAC/SPA publisher, Tunis, 1-202.
- Molinier, R., 1960. Etude des biocénoses marines du Cap Corse. *Vegetatio*, 9(3-4-5), 121-312.
- Pasqualini, V., 1997. Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral corse (Méditerranée, France). Thèse Doctorat, Université de Corse, 1-172.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P., Pergent, G., 1998. Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar : Application of the island of Corsica (France). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 47(3), 359-367.
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2008. Plan d'action pour la conservation du coralligène et des autres bioconstructions de Méditerranée. CAR/ASP édité., Tunis, 1-21.
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009a. Etat des connaissances relatif à la répartition des herbiers de magnoliophytes marines en Méditerranée. Document d'information pour la neuvième réunion pour les Points Focaux des ASP, préparé pour le CAR/ASP, par Leonardini, R., Pergent, G., Boudouresque, C.F., Floriana (Malte), UNEP(DEPI)/MED WG.331/Inf.5, 1-376.
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2009b. Etat des connaissances sur la distribution géographique du coralligène et des autres bio-concrétions calcaires de Méditerranée. Document d'information pour la neuvième réunion pour les Points Focaux des ASP, préparé pour le CAR/ASP par Agnesi, S., Annunziatellis, A., Cassese, M.L., La Mesa, G., Mo, G., Tunesi, L., Floriana (Malte), UNEP(DEPI)/MED WG.331/Inf.6, 1-93.
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2011. Projet de lignes directrices pour la standardisation des méthodes de cartographie et de surveillance des magnoliophytes marines en Méditerranée. PNUE-PAM-CAR/ASP, Document de travail pour la dixième réunion des Points Focaux pour les ASP Marseille (France), 17-20 mai 2011, UNEP(DEPI)/MED WG.359/10, 1-24.

- Projet MESH, 2008. Guide de cartographie des habitats marins. RST - DYNECO/AG/07-21/JP – Ifremer, Centre de Brest, 1-74.
- Relini, G., 2009. Marine bioconstructions, Nature's architectural seascapes. Italian Ministry of the Environment, Land and Sea Protection & Friuli Museum of Natural History pub., Udine, 1-159.

Cartographie de l'estran des Pertuis Charentais : télédétection, inventaire terrain, SIG et typologie EUNIS

Pierre-Guy Sauriau¹, Pauline Cajeri¹, Cécile Curti¹, Fabien Aubert¹,
Virginie Lafon², Ronan Launay³, Solène Mineau³, Philippe Guibert³,
Adrien Privat⁴, Pierre Le Gall⁵

¹ LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, UMR 7266 CNRS – ULR, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France.

² GEO-Transfert, Cellule de valorisation UMR 5805 EPOC – Université Bordeaux 1, Avenue des facultés, 33405 Talence cedex, France.

³ CREOCEAN, rue Charles Tellier, Zone Technocéan, 17000 La Rochelle, France.

⁴ IODDE, 111 route du Douhet, 17840 La Brée Les Bains, France.

⁵ Ré Nature Environnement, 14 rue Montamer, 17740 Sainte Marie-de-Ré, France.

Mots clefs : Natura 2000, cartographie estran, typologie EUNIS, télédétection, SIG

Introduction

Une cartographie des habitats intertidaux du périmètre d'étude du projet de PNM des Pertuis charentais – estuaire de la Gironde a été réalisée de 2011 à 2012 dans le cadre du programme CARTHAM pour le compte de l'AAMP. L'emprise géographique à couvrir s'étend des côtes vendéennes, au sud des Sables d'Olonne, jusqu'au Bec d'Ambès dans l'estuaire de la Gironde en incluant les îles charentaises d'Aix, Madame, Oléron et Ré. L'analyse des connaissances préexistantes pouvant servir de support à une telle cartographie révèle une bonne couverture des seuls estrans meubles des Pertuis charentais (Hily, 1976) avec leur mise en forme cartographique par le REBENT selon la typologie EUNIS (Davies *et al.*, 2004). Quelques travaux anciens de bionomie benthique très ponctuels sont aussi utilisables (voir synthèse de Montaudouin & Sauriau, 2000) tout comme les cartographies récentes « prédateur versus disponibilité de leurs proies » réalisées sur les périmètres intertidaux des réserves naturelles (Bocher *et al.* 2007). Au final, sont évidemment flagrantes de larges lacunes de connaissance pour les estrans meubles si ce n'est l'absence totale de connaissance pour les estrans rocheux codés en Natura 2000 habitat 1170 récifs (Bensettiti *et al.*, 2004). Leur cartographie a nécessité la réalisation d'un effort très conséquent de relevés de terrain, d'analyse typologique et d'interprétation concertée entre biologistes, géographes géomaticiens et spécialistes en télédétection. S'inspirant des protocoles REBENT (Bajjouk, 2009) et MESH, ont été combinés dans cette étude 1) l'analyse d'images aériennes et satellitaires, 2) les inventaires terrain avec relevés D-GPS, 3) un Système d'Information Géographique et 4) les typologies EUNIS *versus* Natura 2000.

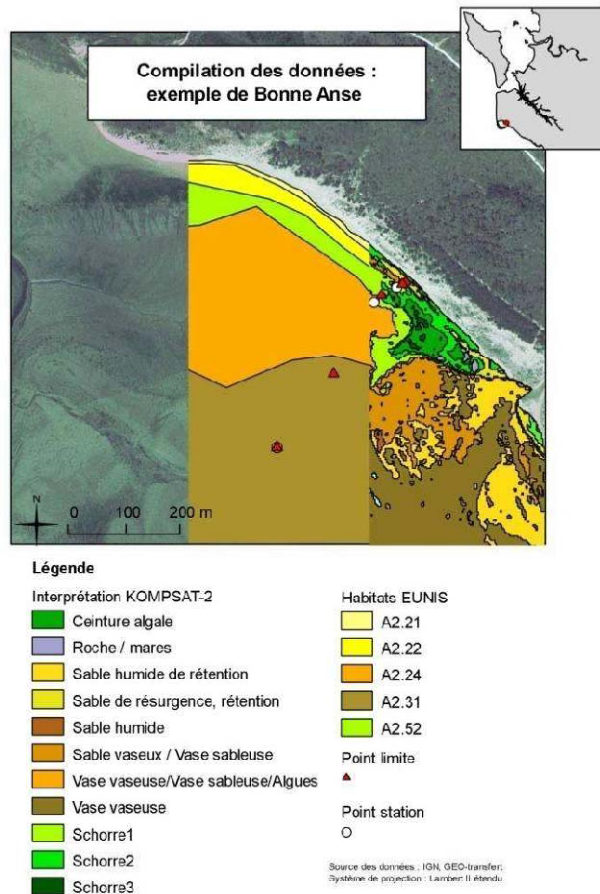
1. Matériel et méthodes

La combinaison de ces quatre approches exploite leurs avantages (Cajeri *et al.*, (2012) et permet d'optimiser le rendu cartographique tout en conservant les informations ponctuelles liées aux habitats particuliers des espèces ingénieurs (hermelles, huîtres, zostères, ...).

1.1. Analyse d'images aériennes et satellitaires (CREOCEAN, Géo-Transfert, LIENSs)

Les ortho littorales 2000 (© IGN) ou plus récentes prises à basse mer ont servi de supports de numérisation afin de tenir compte de la structuration des estrans selon leur nature de sol (roches calcaires du Jurassique et du Crétacé, sédiments sableux et/ou vaseux, flaques), topographie et présence supposée de végétation (macroalgues et phanérogames marines). Elles ont été complétées par l'analyse de treize scènes KOMPSAT-2 acquises de 2009 à 2011 pour couvrir la zone d'étude. D'une résolution au sol de 4 m, elles incorporent 4 bandes spectrales dans le bleu (0,45 – 0,52 µm), le vert (0,52 – 0,60 µm), le rouge (0,63 – 0,69 µm) et le proche infrarouge (0,76 – 0,90 µm). Chaque scène est géo-référencée en Lambert 93 à l'aide des Scan 25 IGN puis classée sous ENVI (© ITT VIS) à l'aide d'un arbre hiérarchique adapté à la date d'acquisition. Les arbres hiérarchiques sont ainsi constitués chacun d'une vingtaine de nœuds permettant de discriminer les différents types de milieux. Ces arbres de décision écartent à un premier niveau, les zones d'ombre et d'eaux permanentes du bas de l'estran des zones d'estran d'intérêt où figurent les mares permanentes, les ceintures d'algues, les substrats rocheux, les blocs, les galets, les milieux sableux secs, humides et de rétention, les sables vaseux, les vases sableuses et les vases pures (Figure 1).

Fig.1 Schéma de traitement combinant ortho littorale 2000, vérités terrain (points limite et station), scène satellite pixelisée après analyse par arbre hiérarchique et interprétation puis retranscription en typologie EUNIS. Source CREOCEAN



1.2. Inventaires terrain (CREOCEAN, IODDE, LIENSs, Ré Nature Environnement)

Les transects positionnés suite à l'analyse des ortho littorales ont été effectués avec un GPS différentiel Trimble GeoXT 2005 équipé du logiciel TerraSync 3.21 avec post traitement sous Pathfinder office 4.10 afin d'obtenir une précision submétrique. Le long des transects, les changements d'habitat sont repérés par un "point limite" dont le géopositionnement est enregistré simultanément à une photographie d'ensemble. A l'intérieur de chaque habitat un "point station" est acquis, accompagné de notes sur la table attributaire du GPS et de photographies d'ensemble et de détail de la station (espèces, substrat) sur un quadrat de 0,1 m². Au total 3584 relevés (points limite et points station) ont été réalisés. Ces observations sont complétées si nécessaire par des prélèvements faunistiques et sédimentaires, ces derniers étant interprétés en cohérence avec les cartes biosédimentaires disponibles.

1.3. SIG (CREOCEAN, IODDE, LIENSs)

La zone intertidale est délimitée par le trait de côte HistoLitt® V2 et par la laisse des plus basses mers (© SHOM). L'intégration sous Système d'Information Géographique (ArcGIS 10, © ESRI).a pour but de superposer les vérités terrain interprétées en habitats EUNIS aux résultats d'analyse des scènes KOMPSAT, tout en gardant la cohérence géographique des structures visibles sur les orthophotographies (Figure 1). La cartographie définitive est associée à une table attributaire renseignée en habitats EUNIS de niveau 4 (Figure 2).

1.4. Typologie EUNIS (CREOCEAN, IODDE, LIENSs, Ré Nature Environnement)

La typologie retenue est la classification EUNIS (Davis *et al.*, 2004) dans sa version 2008 (<http://inpn.mnhn.fr/telechargement/referentiels/habitats#eunis>) en utilisant le niveau 4. En cas d'imbrication d'habitats élémentaires à des échelles non compatibles avec le rendu cartographique au 5000^{ème}, des mosaïques d'habitats sont utilisées.

2. Résultats et discussion

Le domaine intertidal s'étend sur 462 km² dont plus de 31 km² de mosaïques comportant de 2 jusqu'à 5 habitats. Le littoral rocheux (A1) représente 92 km² avec 122 habitats dont 16 habitats élémentaires et 106 mosaïques. Le littoral meuble (A2) couvre 321 km² et est constitué de 29 habitats élémentaires et 62 mosaïques d'habitats, mais près de 49 km² de structures conchylicoles exercent des pressions anthropiques sur ces habitats.

Le caractère original de ces estrans tient à la juxtaposition de :

- Vastes vasières intertidales libres de végétation à l'abri des îles avec un rôle majeur fonctionnel pour les réseaux trophiques supérieurs (oiseaux, téléostéens dont sole, bar, mullet) qui se poursuivent par de vastes prés salés à rôles écologiques majeurs ;
- Habitats particuliers créés par les espèces ingénieurs comme la dizaine de km² de l'herbier à *Zostera nolte*⁵ sur Ré, Oléron, baie d'Yves mais avec la découverte de nouveaux sites sur Aix et l'estuaire du Lay, *Zostera marina*¹ toujours présente sur Ré en quelques populations éparses, les mollusques *Crassostrea gigas*¹, *Mytilus galloprovincialis*, *Modiolus barbatus*, les annélides hermelles *Sabellaria alveolata*¹ très représentées sur Oléron et Ré et les macroalgues qui regroupent 8 habitats pour un bilan spécifique de près de 290 espèces ;
- Mosaïques d'habitats rocheux très complexes sur Ré, Oléron et estuaire de la Gironde et imbrications des habitats rocheux-sableux sur côtes exposées et habitats rocheux-vaseux sur côtes abritées et estuaires en liaison avec 1) la morphologie des estrans (surface subhorizontale, fracturée, plissée, flaques et cuvettes submétriques, présence de structures anthropiques comme les écluses à poissons et parcs à huîtres empierrés), 2) la dynamique des flux de sable de charriage tout autour des îles (apparition/disparition de sables, fixation fugace par macroalgues ou pérennes par hermelles) et 3) la dynamique des flux de vase remise en suspension générant une forte imbrication des milieux rocheux et meubles ;
- Habitats singuliers des mares intertidales sur roche calcaire ou des roches perforées par organismes lithophages principalement à pholades et polychètes *Polydora* ;
- Habitats singuliers non décrits dans la typologie EUNIS comme les habitats d'huîtres *Crassostrea gigas* et cirripèdes sur roches, les récifs de *Crassostrea gigas* sur vases, les plaquages intertidaux de *Sabellaria alveolata* sur roche ou les champs de blocs en liaison avec la présence de falaises calcaires.

⁵ Couche d'information disponible sous sextant : <http://www.ifremer.fr/sextant/fr/web/guest/catalogue>

3. Conclusion

La cartographie obtenue constitue une avancée majeure dans nos connaissances sur la structuration et la diversité des habitats intertidaux des Pertuis charentais – estuaire de la Gironde. Beaucoup reste à faire car elle n’est pas exhaustive à ce stade de l’étude même si elle peut dès à présent être utilisée comme outil par les gestionnaires Natura 2000. Parmi les recommandations pouvant l’améliorer, peuvent être citées 1) l’ortho photo littorale V2 potentiellement disponible courant 2013 qui apportera un support de digitalisation de meilleure résolution et 2) la réalisation de nouveaux relevés sur l’estran afin de compléter les zones d’incertitude ou pallier les difficultés de caractérisation des habitats liées aux variations saisonnières.

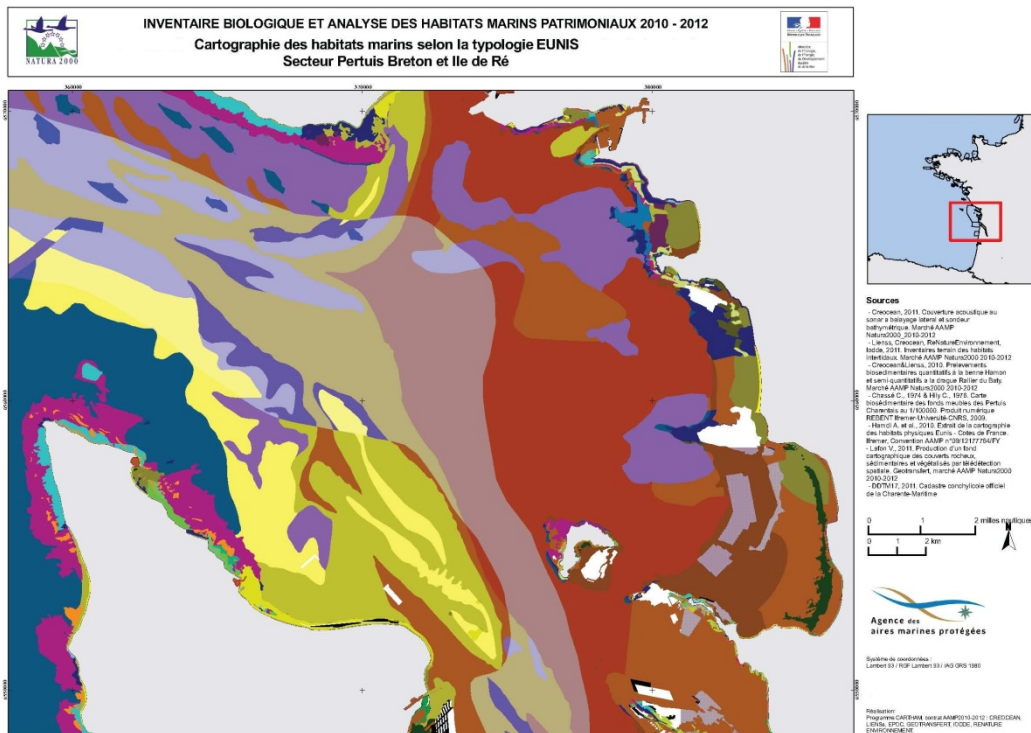


Fig.2 Cartographie des habitats marins : exemple du secteur Pertuis d'Antioche – Ile d'Aix – nord île d'Oléron – estuaire Charente. Source CREOCEAN- AAMP.

Références bibliographiques

- Bajjouk T. (2009). *Soutien aux actions NATURA 2000 de la région Bretagne - Cahier des charges pour la cartographie d'habitats des sites Natura 2000 littoraux : Guide méthodologique.* Ifremer, RST/IFREMER/DYNECO/AG/09-01/TB/NATURA2000: 107 p. + annexes p.
- Bensettiti F., Bioret F., Roland J., Lacoste J.-P., Géhu J.-M., Glémarec M., Bellan-Santini D. (eds.) (2004). *Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 Habitats côtiers.* MATE/MAP/MNHN, n° 2. La Documentation française, Paris, 399 p.
- Bocher P., Piersma T., Dekinga A., Kraan C., Yates M.G., Guyot T., Folmer E.O. & Radenac G. (2007). Site- and species-specific distribution patterns of molluscs at five intertidal soft-sediment areas in northwest Europe during a single winter. *Marine Biology*, 151 : 577-594.
- Cajeri P., Curti C., Lafon V., Launay R. & Sauriau P.-G. (2012). Cartographie des habitats intertidaux des sites Natura 2000 des Pertuis charentais : complémentarité des approches inventaire terrain, télédétection et SIG. In: *Actes des XIIèmes Journées*

- Nationales Génie Côtier – Génie Civil*. D. Levachez, Sanchez M. & Guillou S., (eds), Cherbourg : 855-864.
- Davies C.E., Moss D., Hill M.O. (2004). *EUNIS habitat classification. Revised 2004*. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency : 307 p.
- De Montaudouin X., Sauriau P.-G. (2000). *Contribution to a synopsis of marine species richness in the Pertuis Charentais Sea with new insights in soft-bottom macrofauna of the Marennes-Oléron Bay*. Cahiers de Biologie Marine, 41 : 181-222.
- Hily C. (1976). *Ecologie benthique des pertuis Charentais*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle, Université de Bretagne Occidentale : 236 p.

Une méthode de cartographie liant technique traditionnelle et nouvelle

Benjamin Guyonnet¹, Sylvain Chauvaud¹, Fabrice Pluquet², Eric Thiébaud³, Franck Gentil³, Jacques Grall⁴

¹ TBM - Sarl Chauvaud, 6 rue Ty Mad, 56400 Auray

² HOCER, 1 Place de Strasbourg, 29200 Brest

³ Station Biologique de Roscoff, UMR 7144, Place Georges Teissier, 29680 Roscoff

⁴ Observatoire de domaine côtier de l'IUEM, rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané

Mots clefs : Cartographie, habitats, sonar, drague Rallier du Baty

Introduction

Plusieurs programmes nationaux ou internationaux de cartographies se sont développés au cours des dernières années comme le programme européen "Mapping European Seabed Habitats (MESH) » (2004-2008) ou encore le programme britannique UK SeaMap 2010. L'objectif de ces projets était de produire des cartes d'habitats des fonds marins basés principalement sur des facteurs environnementaux. Cependant, l'augmentation des pressions sur les zones côtières comme sur les zones du large impose la mise en place de méthodes et de technologies de cartographie des habitats qui prennent en compte également leur composante biologique et permettent d'évaluer l'état de conservation des différents peuplements.

Les programmes cartographiques précédents étaient essentiellement basés sur des paramètres physiques et pas majoritairement sur des données de peuplements. Le REBENT sectoriel est une méthode très efficace qui pallie ce problème mais est très chronophage. Ainsi, l'objectif de cette présentation est double : premièrement, discuter d'une méthode cartographique d'un habitat au sens d'un peuplement biosédimentaire sur de grandes surfaces avec un temps et un budget limité, et deuxièmement, d'observer éventuellement des dégradations de l'état de santé du milieu.

Ainsi, dans le cadre du marché national CARTHAM de l'Agence des Aires Marines Protégées, une méthode d'acquisition couplant des technologies nouvelles d'investigation continue des fonds comme le sonar latéral et d'autres plus traditionnelles d'échantillonnage discret de la macrofaune benthique comme la drague Rallier du Baty a été mise en œuvre pour répondre à ces objectifs.

1. Démarche méthodologique et analytique

La méthode appliquée repose sur le couplage des campagnes d'acquisition des données morphologiques, sédimentologiques et biologiques ce qui permet de réduire les coûts et de travailler en complémentarité et en réactivité. Le sonar latéral CMAX (Figure 1) a été utilisé à une fréquence de 370 KHz avec une fauchée latérale de 150 m afin d'acquérir des données sur la nature des fonds sur une partie des sites. Il est constitué d'un poisson avec un capteur de pression permettant d'indiquer sa profondeur. L'enregistrement des données du sonar latéral a été réalisé via le logiciel Side Scan Survey (fenêtre HYPACK).

Le plan d'échantillonnage a été basé sur les cartes existantes quand elles étaient disponibles et sur une méthode hiérarchisée dans le cas contraire. Ainsi, sur certains sites, la zone 0-40 mètres a fait l'objet d'un échantillonnage plus important que les profondeurs plus élevées. En moyenne, 20 à 25% de la surface des sites ont ainsi pu être prospectés à l'aide du sonar latéral.



Fig.1 Sonar latéral CMAX. (Cliché Hocer)

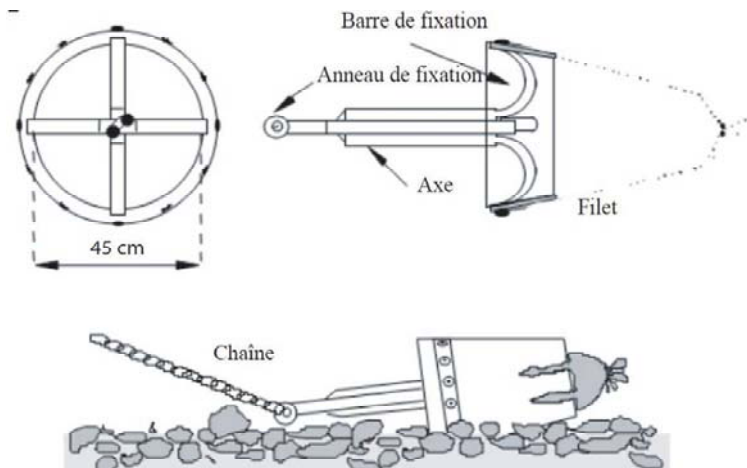


Fig.2 Drague Rallier du Baty (Cliché TBM) et schéma descriptif de son mécanisme de fonctionnement (Trigui, 2009)

Pour la caractérisation biologique des habitats, nous avons opté pour une technique de prélèvement classique, la drague Rallier du Baty (Figure 2). Cet engin traînant permet d'échantillonner une large variété de substrats, des vases aux galets et roches, et de déterminer dans de nombreuses situations les espèces indicatrices des principales unités de peuplement et de leurs divers faciès. Cette drague est constituée d'un cylindre métallique robuste de 45 cm de diamètre sur lequel est placé un filet qui permet la récolte du sédiment tout en permettant l'évacuation de l'eau, sans lavage excessif des sédiments. Simple d'utilisation, elle a été utilisée pour les prélèvements dits « semi-quantitatifs » dans le but de préciser les unités biosédimentaires et d'étudier la macro- et la mégafaune associées, en complément de la cartographie morphosédimentaire obtenue par l'interprétation des données du sonar. Ce moyen de prélèvement a été largement utilisé par Cabioch (1968), Glémarec (1969), Gentil (1976) ou Retière (1979) pour la cartographie et la définition des peuplements macrobenthiques en Manche-Atlantique.

Pour chaque station semi-quantitative échantillonnée, un volume moyen de 30 litres de sédiment est tamisé, directement sur le bateau, sur des tamis de maille décroissante (10, 5 et 2 mm). Ce volume de substrat dragué a été considéré comme un volume minimum pour définir la composition et la distribution des peuplements macrobenthiques en Manche (Gentil, 1976). Seules les espèces présentes sur les deux premiers tamis sont déterminées et dénombrées à bord par un tri exhaustif. La fraction de 2 mm n'a pas été retenue dans le cadre du programme CARTHAM car trop chronophage en termes de traitement (tri et identification). En revanche, cette fraction a été étudiée dans la cartographie des sites Natura 2000 Loire Nord et Loire Sud. L'apport de ces données obtenues sur la maille de 2 mm sera discuté.

Pour illustrer notre démarche, la figure 3 indique les différentes étapes jusqu'à obtention de la carte finale des habitats sur le site Natura 2000 incluant l'identification des faciès morphosédimentaires, la définition des unités biosédimentaires à partir d'une analyse multivariée de type MDS, et l'extrapolation à l'ensemble de la zone d'étude à partir des données existantes.

2. Discussion

Dans nos travaux, les apports combinés des différents outils ont permis d'acquérir des données sur l'ensemble des sites d'étude avec une excellente représentation qualitative de la distribution des espèces macrobenthiques et apportent une information semi-quantitative sur le niveau d'abondance des espèces les plus communes. Une réflexion est cependant à mener sur la nécessité d'étudier sur chaque échantillon le refus de tamis de 2 mm. En effet,

sur certains habitats, cette étape s'avère indispensable pour préciser l'habitat, notamment certaines vases sableuses. En revanche, sur d'autres stations, l'apport d'informations sur la maille de 2 mm est minime en termes de définition de l'habitat mais peut être une source d'information essentielle pour la définition de l'état de conservation (e.g. présence de polychètes opportunistes). L'autre intérêt de cette méthode est d'avoir une vision globale de nos habitats dans un délai rapide. Même si l'ensemble du site n'est pas couvert au sonar latéral, une extrapolation est possible grâce à l'utilisation de données existantes.

Dans le but d'obtenir des informations complémentaires notamment sur l'état de conservation des habitats, nous avons également positionné des stations quantitatives qui ont été échantillonnées à la benne Smith McIntyre dans chacun des peuplements définis. Ces stations quantitatives complémentaires peuvent être à la base de points de suivis à long terme et sont conformes aux normes en vigueur comme celle de la Directive Cadre sur l'Eau. Cet ajout limité fait partie de notre stratégie car réaliser des répliqués sur chaque station échantillonnée à la drague serait chronophage et coûteux. De plus, pour définir un habitat le besoin de répliqués n'est pas nécessaire.

Cette méthode pragmatique a donc permis de couvrir de larges secteurs dans un temps limité et pour un budget maîtrisé. De plus, tous les habitats meubles peuvent être échantillonnés avec ce type de drague. A l'inverse, certains milieux comme les galets par exemple ne peuvent être prélevés avec les méthodes classiques utilisant une benne. Dans le cadre de la DCSMM, la drague Rallier du Baty pourrait s'avérer être un engin de prélèvement intéressant et performant pour l'étude de la distribution des espèces et la cartographie des peuplements macrobenthiques des sédiments grossiers.

Aujourd'hui, la nécessité de créer un cahier des charges consensuel pour la cartographie des habitats est indispensable à la vue des multiples méthodes mises en œuvre. Une homogénéisation est indispensable et, en fonction des surfaces à prospecter, des directives doivent être faites. La méthode proposée n'est cependant pas optimale : des besoins de zooms sur certains secteurs à enjeux se sont fait sentir, l'analyse de la fraction 2 mm pourrait être faite systématiquement, la couverture sonar pourrait atteindre 50% du site, etc. Mais, les méthodes utilisées à ce jour ne sont pas non plus optimales pour être mises en œuvre sur de nombreux sites et sur des grandes surfaces avec des temps et des budgets raisonnables.

3. Conclusion

Les méthodes cartographiques à venir devront permettre de couvrir un large éventail de types de sites et d'habitats dans des délais et des budgets raisonnables et compatibles avec les enjeux de conservation. Ainsi, la méthode proposée et validée au cours de nos travaux réalisés dans le cadre de CARTHAM permet d'intégrer les données historiques (habitats, peuplement, conservation), de pouvoir prospecter un large éventail d'habitats et de profiter de l'énorme gain de précision et d'opérationnalité liés aux outils modernes.

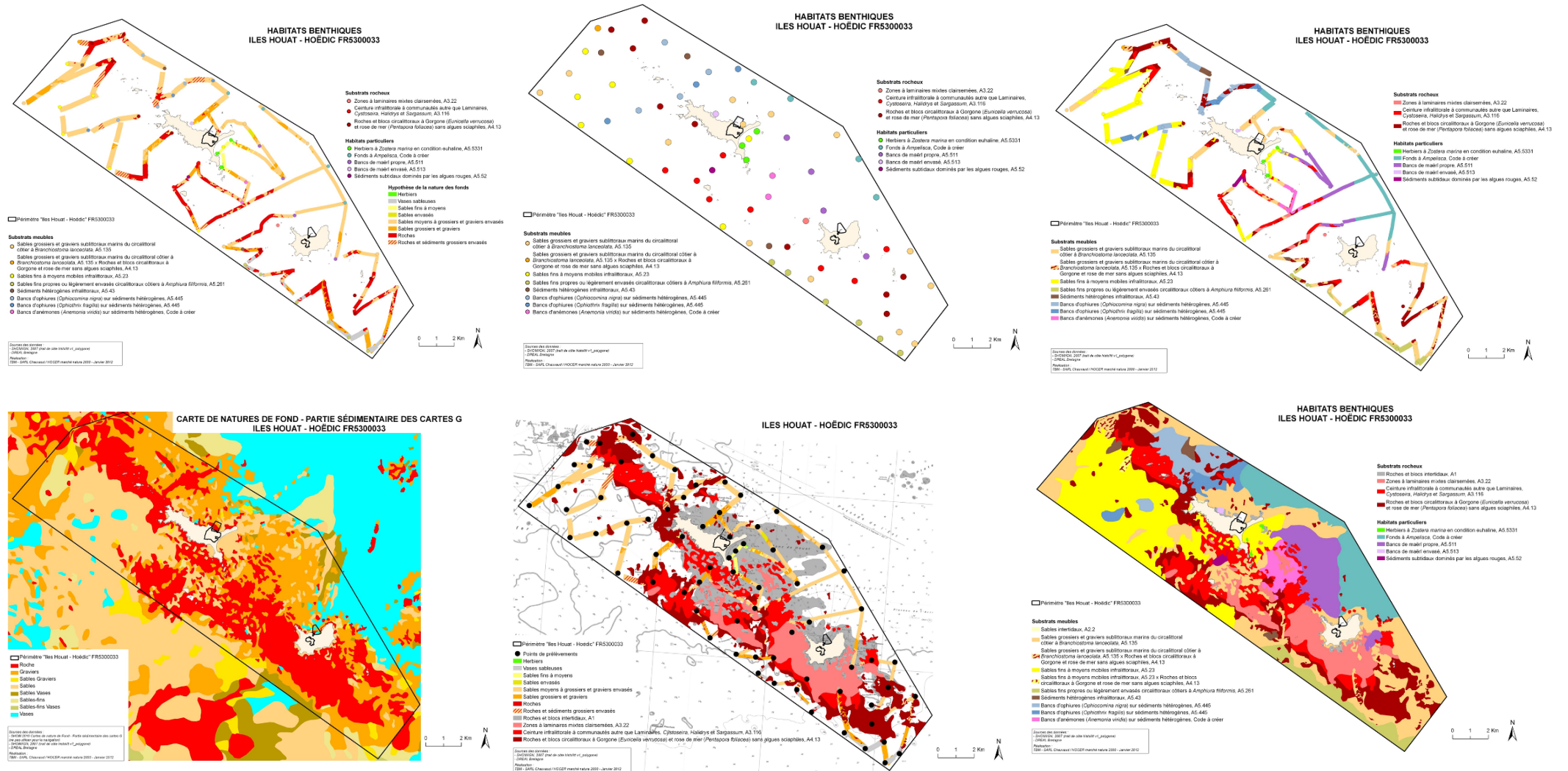


Fig.3 Illustration des différentes étapes nécessaires à l'obtention de la carte des Habitats sur le site Natura 2000 Iles Houat-Hoëdic (de gauche à droite et de haut en bas : Stations semi-quantitatives et attribution des habitats, Nature des fonds et tracés sonar, Attribution des habitats, Utilisation de données existantes : Carte G du SHOM, Attribution des habitats pour les données rocheuses extrapolées, Carte finale des habitats).

Approche multi-échelles de la cartographie des habitats benthiques des substrats meubles subtidaux : application à la frange côtière de Bretagne nord

C. Chevalier¹, M. Dutertre¹, D. Hamon², A. Ehrhold², F. Gentil³, E. Thiébaud³, T. Bajjouk⁴

¹ Bureau d'étude HOCER,

² IFREMER, ODE/DYNECO/EB,

³ CNRS, UMR 7144, Station Biologique de Roscoff,

⁴ IFREMER, ODE/DYNECO/AG

Dans le contexte du REBENT (REseau de surveillance BENThique) appliqué au littoral breton, le volet sectoriel subtidal consiste à cartographier et à caractériser, du point de vue morpho-sédimentaire et biologique, les habitats benthiques des substrats meubles sur une douzaine de secteurs de référence répartis sur le littoral. La méthodologie utilisée, commune à tous les secteurs REBENT, repose sur une stratégie consistant tout d'abord à effectuer une reconnaissance acoustique des fonds, afin d'identifier les principales unités morpho-sédimentaires, puis à procéder aux échantillonnages sédimentaires et biologiques, de manière stratifiée, pour caractériser ces diverses unités. La délimitation et la caractérisation des différents ensembles identifiés aboutissent à une cartographie bio-morphosédimentaire des habitats benthiques qui constitue une référence à un instant donné.

Faisant suite aux travaux de cartographie des habitats benthiques des secteurs de Bretagne sud, les campagnes REBENT réalisées entre 2005 et 2010 ont concerné trois sites de Bretagne nord : Abers, baie de Morlaix et Trégor-Goëlo (fig.1).



Fig.1 Localisation et cartes des travaux acoustiques des trois sites REBENT de Bretagne nord.

Le volet stationnel du projet REBENT, mis en œuvre annuellement par ailleurs, vise à évaluer la variabilité spatiale et temporelle de certains habitats sur chacun des secteurs considérés. Dans le domaine subtidal, ces suivis portent sur les fonds rocheux (faune et flore), les bancs de maërl et les sables fins plus ou moins envasés (<http://www.rebent.org/>).

En baie de Morlaix, les travaux de cartographie des habitats benthiques subtidaux et le suivi annuel réalisé à la station « Pierre Noire » dans les sables fins, partiellement intégré au volet stationnel du projet REBENT depuis 2005, permettent, à titre d'exemple, d'illustrer à une échelle locale, la complémentarité de ces deux approches, sectorielle et stationnelle. Enfin, l'intégration des données bio-sédimentaires des trois sites de Bretagne nord dans une approche régionale de la structuration des habitats benthiques subtidaux par les facteurs

environnementaux permet de mieux appréhender leurs caractéristiques biologiques et environnementales.

1. Approche locale : cartographie des habitats benthiques subtidaux et suivi du peuplement des sables fins de la baie de Morlaix

En se référant à la carte de distribution des principaux faciès acoustiques, un échantillonnage biologique stratifié portant sur 36 stations a été réalisé à la benne Hamon (1/8m²), à raison de 3 réplicats par station. L'étude de la totalité de la macrofaune benthique supérieure à 2 mm a permis de dénombrer 11215 individus appartenant à 424 taxons et de déterminer six unités majeures de peuplements (fig. 2).

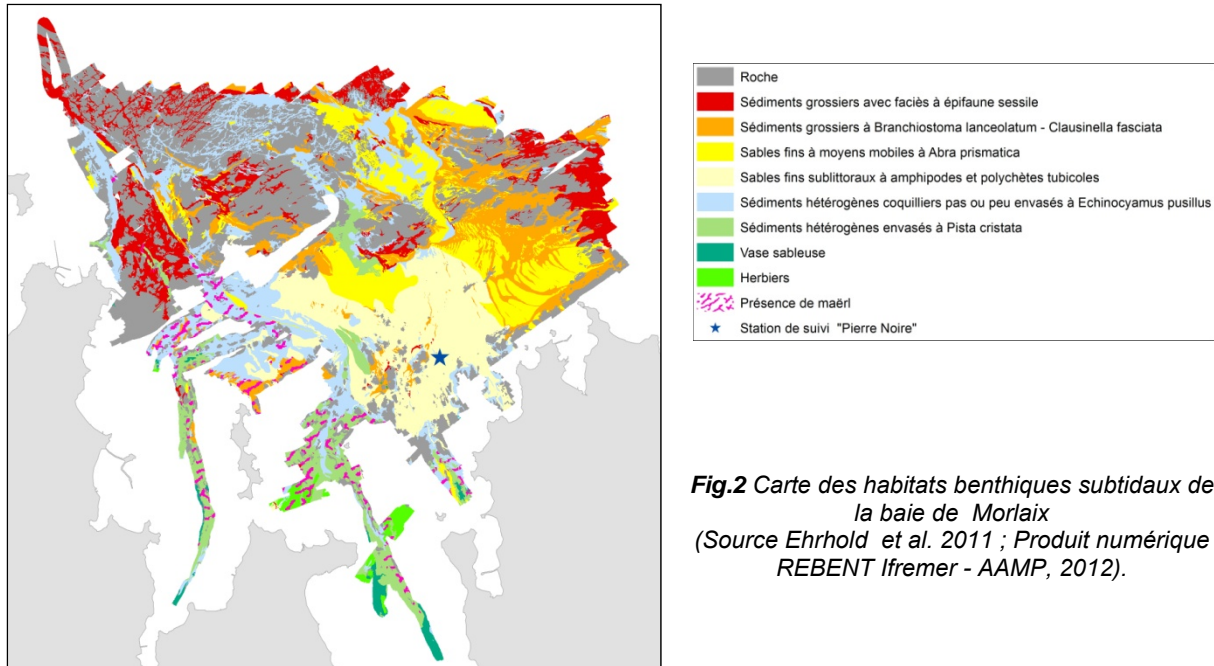


Fig.2 Carte des habitats benthiques subtidaux de la baie de Morlaix
(Source Ehrhold *et al.* 2011 ; Produit numérique REBENT Ifremer - AAMP, 2012).

Les substrats meubles sont dominés par des sables fins à grossiers, composés d'une fraction coquillière importante, plus ou moins grossière, très mobile. La couverture sédimentaire est richement modelée de figures de courant, aussi bien transversales (mégarides, dunes hydrauliques) que longitudinales (traînées, rubans, queues de comète, sillons). La dynamique tidale des sédiments charriés sur les fonds de la baie montre une direction préférentielle contrôlée par le courant de jusant, sauf localement autour des plateaux rocheux. Les fonds de la baie de Morlaix offrent une mosaïque complexe de biotopes soumis à des conditions d'environnement très variables. Ainsi, l'imbrication des fonds durs et des fonds meubles, l'exposition à la houle, la vitesse des courants, l'éclairement, ou encore les apports des rivières, déterminent des conditions écologiques d'une grande diversité d'un point de la baie à un autre mais aussi très ponctuellement.

Au-delà de son objectif premier visant à cartographier et caractériser les habitats benthiques de la baie de Morlaix, cette étude aura permis d'actualiser et de préciser la carte des peuplements benthiques de substrats meubles établie par Cabioch en 1968 et d'enrichir l'inventaire de la faune marine par le signalement de nouvelles espèces d'invertébrés recensés dans la baie.

Les données, issues du suivi à long terme initié en 1977 du peuplement des sables fins sublittoraux à la station « Pierre Noire » à raison de 5 à 12 dates de prélèvement annuelles

(Dauvin, 1998) et intégré, depuis 2006, au volet stationnel du programme REBENT permettent de mieux cerner la variabilité temporelle de ce peuplement (fig 3).

Largement dominé par les amphipodes du genre *Ampelisca* dont les densités excédaient 30 000 ind. m⁻² en 1977, le peuplement a été très profondément bouleversé par les hydrocarbures issus du naufrage de l'Amoco-Cadiz en mars 1978. Cela s'est traduit par une quasi-disparition des Ampeliscidae, famille regroupant des espèces polluosensibles, une chute des densités de plus de 80 % et une diminution de la richesse spécifique proche de 20 %. En dépit d'une dépollution rapide des fonds, la recolonisation du peuplement s'est faite de manière lente et progressive, celui-ci retrouvant une structure voisine de celle de 1977 uniquement au milieu des années 90.

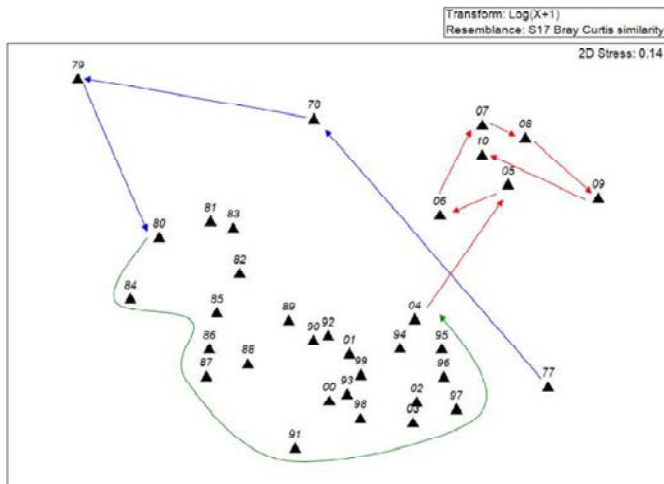


Fig.3 Evolution à long terme (entre 1977 et 2010) du peuplement de sables fins du site « Pierre Noire » en baie de Morlaix à partir d'un cadrage multidimensionnel (MDS) réalisé sur la matrice de similarité (indice de similarité de Bray-Curtis) établie entre les différents prélèvements annuels échantillonnés en mars ou avril. Les données d'abondances ont subi une transformation $\log(x+1)$ afin de limiter le poids des espèces dominantes.

En 2005, il a de nouveau brusquement évolué pour des raisons indéterminées et demeure depuis cette date à un nouvel état qui correspond à un « faciès d'appauvrissement » du peuplement initial avec une diminution des densités moyennes de 90 % et une baisse de la richesse spécifique d'environ 20 %. Contrairement à la situation de 1978, il demeure cependant dominé par les amphipodes du genre *Ampelisca* auxquels s'ajoutent des polychètes telles que *Marphysa belli* ou *Scoloplos armiger*.

2. Approche régionale : structuration des habitats benthiques subtidiaux de la frange côtière de Bretagne nord en relation avec les facteurs environnementaux

Les inventaires de la macrofaune benthique réalisés dans les trois secteurs géographiques ont été harmonisés et regroupés afin de constituer une matrice faunistique comportant les abondances de 533 espèces macrobenthiques réparties dans 70 stations d'échantillonnage. En se basant sur la similarité des assemblages d'espèces de ces stations, l'analyse de la matrice faunistique a permis d'identifier six grands types de peuplements benthiques et de définir leur structure fonctionnelle (Fig. 4). En plus des variables morpho-sédimentaires acquises dans le cadre du REBENT, des variables hydrodynamiques et physico-chimiques, générées à partir de modèles numériques 3D mis en œuvre dans le cadre du programme PREVIMER, ont été utilisées pour expliquer la répartition spatiale de la macrofaune benthique.

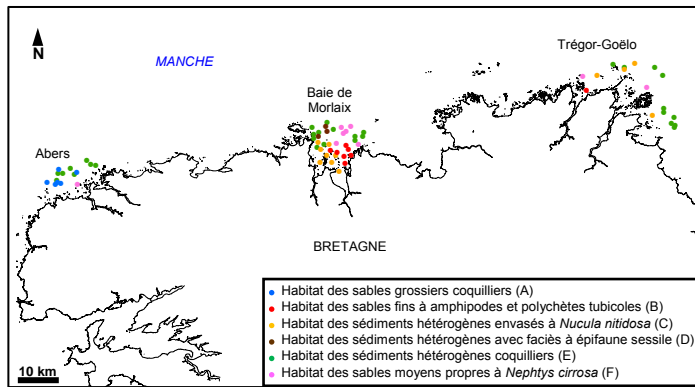


Fig.4 Distribution géographique des six grands types de peuplements benthiques (A - F) identifiés à partir des travaux sectoriels du REBENT réalisés en Bretagne nord.

L'analyse des relations entre les matrices faunistique et environnementale montre que, sur les 29 variables environnementales testées, 11 ont une influence significative ($p < 0,01$) sur la distribution de la macrofaune benthique à l'échelle de la frange côtière de Bretagne nord et expliquent 39 % des variations de cette distribution (Tableau 1).

Tableau 1 Hiérarchisation des variables environnementales ayant un impact significatif sur la distribution de la macrofaune benthique de la frange côtière de Bretagne nord.

Variable environnementale	Significativité (p)	Pourcentage d'explication individuel	Pourcentage d'explication cumulé
Concentration moyenne en chlorophylle-a	0,001	8	8
Vitesse moyenne du courant	0,001	6	14
Salinité moyenne	0,001	4	18
Concentration moyenne en MES	0,001	4	22
Indice de dispersion des sédiments	0,003	3	25
Concentration maximale en MES	0,002	3	28
Bathymétrie	0,003	3	31
Température moyenne	0,005	3	34
Agitation moyenne des vagues	0,006	2	36
Diamètre moyen des sédiments	0,005	2	38
Teneur en vase des sédiments	0,008	1	39

Les variables morpho-sédimentaires expliquent 9 % de ces variations alors que les variables hydrologiques en expliquent 30 %. Afin de déterminer les conditions environnementales associées à chaque type de peuplement benthique, les variables environnementales ont été moyennées sur l'ensemble des stations d'échantillonnage présentant des assemblages d'espèces similaires.

Dans les zones côtières, peu profondes et abritées des courants de marée, les apports d'eau douce et de nutriments par les rivières induisent des dessalures régulières, un envasement plus important et une production primaire plus élevée mise en évidence par la concentration moyenne en chlorophylle-a. Au niveau de la baie de Morlaix et du Trégor-Goëlo, cette influence estuarienne est à l'origine de la présence d'un habitat des sables fins à amphipodes et polychètes tubicoles et d'un habitat des sédiments hétérogènes envasés, tous deux caractérisés par une richesse spécifique élevée et de très fortes densités d'individus. Dans les zones éloignées de la côte, l'influence des apports estuariens n'est plus détectable du fait de l'augmentation de la profondeur et de la vitesse du courant, qui

favorise, au nord des trois secteurs explorés par le REBENT, la présence de sédiments très grossiers et hétérogènes montrant des densités d'individus beaucoup plus faibles et la prédominance d'une épifaune libre et très mobile. Au niveau des Abers, bien que les flux estuariens soient à l'origine de dessalures et de fortes concentrations en matières en suspension, ils ne semblent pas avoir d'effet sur la présence des peuplements benthiques mis en évidence dans le secteur retenu par les travaux du REBENT. Ceci est probablement dû à l'hydrodynamisme important, tant au niveau de la vitesse des courants qu'au niveau de l'agitation des vagues. Cette forte agitation liée aux vagues pourrait ainsi être responsable de la présence d'un habitat benthique particulier localisé uniquement à l'ouest du secteur des Abers et au sein duquel le sédiment est plus homogène et moins grossier que dans les zones uniquement soumises à de forts courants de marée (Dutertre, 2012).

Références bibliographiques

- Cabioch, L., 1968. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cahiers de Biologie Marine* 9, 493-720.
- Carte des habitats benthiques subtidiaux du secteur de Morlaix (REBENT 2011) ; Produit numérique REBENT Ifremer – AAMP, 2012.
- Dauvin J.C., 1998. The fine sand *Abra alba* community of the Bay of Morlaix twenty years after the Amoco-Cadiz oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 36, 669-676.
- Dutertre, M., 2012. Structuration des habitats benthiques des substrats meubles subtidiaux de la frange côtière de Bretagne nord en relation avec les facteurs environnementaux. *RST/IFREMER/ODE/DYNECO/AG/12-12/MD*, 38 pp. + 3 annexes
- Ehrhold, A., Hamon, D., Chevalier, C., Autret, E., Houlgatte, E., Gaffet, J.D., Caisey, X., Cordier, C., Dutertre, M., Alix, A.S., Navon, M., Kerdoncuff, J., Gentif, F., Thiébaud, E., 2011. Réseau de surveillance benthique (REBENT) – Région Bretagne. Approche sectorielle subtidale : Identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Morlaix. *RST/IFREMER/ODE/DYNECO/Ecologie benthique/11-03/REBENT*, 129 pp

Session 4 : Modélisation d'Habitats

Approche spatiale à échelle régionale : comparaison du réseau trophique de cinq habitats benthiques de la partie orientale de la baie de Seine

Stella Marmin¹, Clément Garcia² et Jean-Claude Dauvin¹

¹ Normandie Univ, France ; 2 UCBN, M2C, F-14000 Caen, France ; 3 CNRS, UMR 6143 M2C, F-14000 Caen, France

² Cefas, Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, Lowestoft, UK

Introduction

Les opérations de dragage (entretien ou approfondissement lié à l'augmentation du tirant d'eau des navires marchands) sont des pratiques indispensables à la navigation et aux activités portuaires. En France, les ports métropolitains sont amenés à draguer et à claper 50 millions de m³ de sédiments par an pour assurer leur accès entraînant des impacts environnementaux majeurs. Du fait de sa sédentarité et de sa longévité, le macrobenthos est un bon intégrateur et un bon indicateur des variations de l'environnement (Dauvin, 1993). Dans le cadre de la recherche d'un nouveau site de dépôt de dragage en mer, le Grand Port Maritime de Rouen (GPMR) a proposé en 2012 à l'Etat, la mise en œuvre d'expérimentations de clapage (2012-2014) sur un site dit du Machu sur le banc de Seine dans la partie orientale de la baie. Les principaux objectifs sont : (1) mesurer l'érosion, l'évolution de la granulométrie de surface en tentant de localiser les lieux privilégiés de re-déposition des sédiments érodés et (2) évaluer sur le milieu vivant l'impact des clapages et l'évolution temporelle de cet impact sur la richesse biologique du site et de ses environs en terme de diversité des espèces, de biomasse et de fréquentation par les espèces piscicoles au droit et au voisinage des sites expérimentaux. Une approche écosystémique a été développée comme outil de diagnostic afin de déterminer si le fonctionnement trophique de la zone du Machu est différente ou comparable à celle de la zone Natura 2000 Baie de Seine orientale jouxtant la zone de dépôt expérimentale de Machu afin de mesurer quelles seraient les changements fonctionnels de ce site après immersion des dépôts de clapage.

1. Structure et principe de la modélisation

1.1. Présentation de la zone d'étude

Cette étude concerne les habitats benthiques de la partie orientale de la baie de Seine. Le caractère le plus remarquable de la distribution des communautés macrobenthiques est leur ordonnancement en systèmes édaphiques liés aux séquences sédimentaires, elles-mêmes dépendantes de l'hydrodynamisme. Dans ce secteur de la baie, trois principales communautés benthiques ont été distinguées (Cabioch & Gentil, 1975 ; Gentil & Cabioch, 1997) : (1) la communauté des sables fins à moyens propres dunaires à *Ophelia borealis* ; (2) la communauté des sables très fins à fins plus ou moins envasés à *Abra alba*, avec ses différents faciès selon l'envasement ; et (3) la communauté des vases d'estuaires à *Macoma balthica*.

Différentes études hydrauliques, sédimentologiques ainsi que des modélisations hydrosédimentaires sur le devenir des sédiments clapés en baie de Seine ont été réalisées respectivement par SOGREAH (2008) et le GPMR. Les résultats ont montré que le site NATURA 2000 baie de Seine orientale était situé dans la zone d'influence hydrosédimentaire potentielle des immersions et pourrait donc être impactée par les dépôts. Ce site NATURA 2000 baie de Seine orientale se situe au sud de la zone d'expérimentations de clapage (Machu). Le recensement de l'ensemble des données disponibles sur ce secteur (consultation de la base de données du GIP Seine-Aval MABES et campagnes récentes

réalisées dans le projet Seine-Aval COLMATAGE) a permis de dresser une carte de distribution des habitats benthiques sensu Natura 2000 (Figure 1). A ainsi été recensé et cartographié, l'habitat 1100 'Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine' décliné selon l'hydrodynamisme et la granulométrie en quatre sous-habitats (1110-1, -2, -3,-4). Le site de Machu est quand à lui caractérisé par des sables fins et moyens (1110-2).

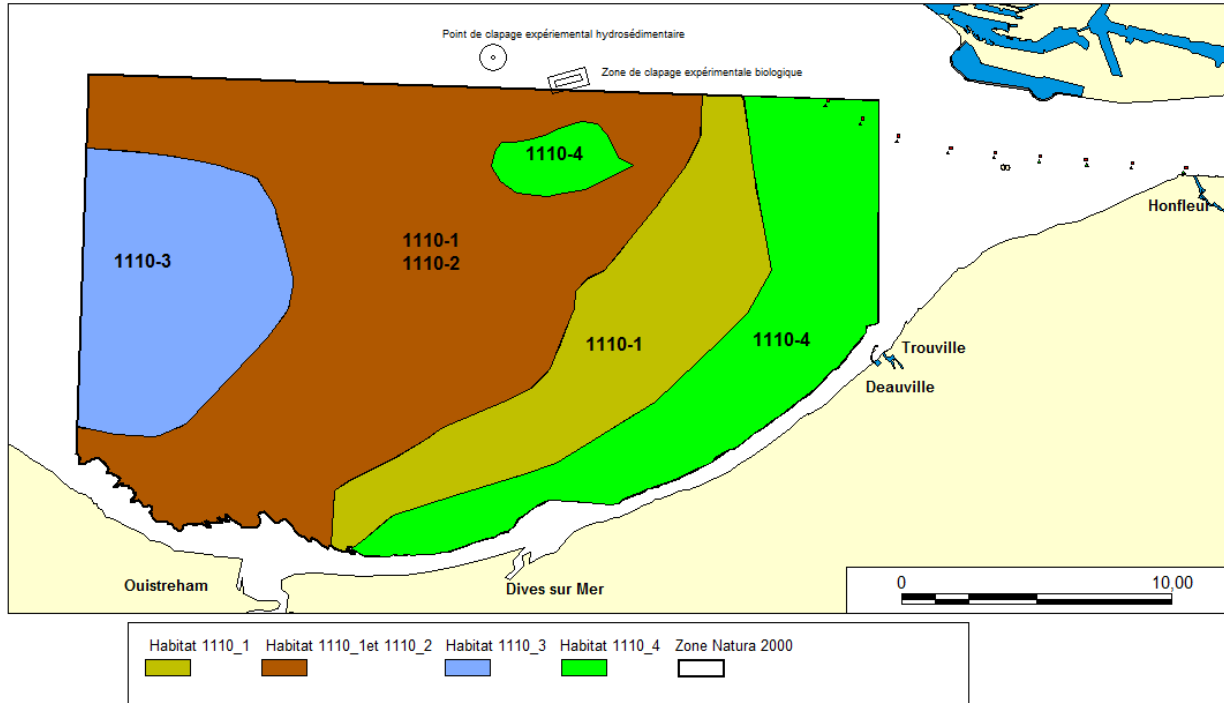


Fig.1 Cartographie des habitats côtiers sur le SIC Baie de Seine Orientale

1.2. Principe et fonctionnement du modèle Ecospath

Ecospath est un outil de modélisation des réseaux trophiques basé sur le principe d'équilibre des flux. Son fonctionnement a été développé par (Christensen & Pauly 1992, 1993; Christensen et al. 2000) à partir des travaux antérieurs d'écologie théorique et pratique (Polovina 1984; Ulanowicz 1986) portant sur l'analyse des flux de matière entre les différents compartiments d'un écosystème. Ecospath est en fait un complexe de trois éléments concernant différents aspects de la modélisation trophique : (i) Ecospath est une image statique à l'équilibre, du système, (ii) Ecosim, est une simulation temporelle dynamique et (iii) Ecospace, une simulation spatio-temporelle destinée à l'étude d'aire naturelle protégée. La composante Ecosim ainsi que le paramètre d'accumulation de biomasse ont pour conséquence qu'Ecospath ne peut plus être simplement considéré comme un modèle de type dit à l'état stable (c'est-à-dire une image statique et moyenne du système sur un an) même si à l'origine il a été conçu comme tel et dont le principe fondamental, l'équilibre des masses, est toujours à la base de son fonctionnement.

L'équation générale d'Ecospath est basée sur la production divisée, par la suite, en différentes composantes. Ainsi pour chaque compartiment, il est considéré que :

Production = captures + mortalité par prédation + accumulation de biomasse + migration nette + autres mortalités

La production ne concerne que la production somatique d'un élément donné du réseau. Elle est égale aux sommes des captures ou pêcheries, la mortalité par prédation (consommation des compartiments proies par les compartiments prédateurs), l'accumulation de biomasse (croissance d'un compartiment sur une année), la migration nette (différence entre

importation et exportation de matière de la zone considérée) et les autres mortalités non causées par la prédation.

Dans la pratique, toute modélisation de réseau trophique commence par l'établissement d'un diagramme fonctionnel ou conceptualisation. Il s'agit d'une simplification de l'écosystème qui est divisé en différents compartiments (aussi appelés boîtes ou unités) reliés entre eux par des flux trophiques.

A l'aide du modèle ECOPATH, les réseaux trophiques de cinq habitats benthiques ont été simulés à partir des nombreuses données de biomasses accumulées sur ce secteur de la baie de Seine. Un total de 13 groupes fonctionnels a été choisi réunis en trois grandes catégories: les compartiments proies, les compartiments macrobenthos et les compartiments poissons.

2. Discussion

Les résultats ont mis en évidence une cohérence parmi les différents paramètres étudiés. La comparaison des valeurs issues des modèles des cinq habitats considérés font apparaître, même si les habitats sont proches géographiquement et proches d'un point de vue sédimentaire et biocénotique, deux groupes fonctionnels bien séparés et un troisième groupe intermédiaire. Le premier groupe est constitué des habitats 1110-1 (sables fins) et 1110-4 (sables fins envasés). Le second regroupe les habitats 1110-3 (sables grossiers) et Machu (sables fins à moyens peu envasés). En position intermédiaire, se trouve l'habitat 1110-1&2 composé de sables moyens mais ne correspondant pas strictement à l'un ou à l'autre de ces deux habitats types.

Le premier groupe (1110-1 et 1110-4) peut être défini, en ce qui concerne les rapports trophiques, comme ayant un système basé en priorité sur la production primaire accompagné d'une forte efficacité de transfert d'un compartiment à l'autre mais dont le recyclage de la matière à l'échelle du réseau se révèle relativement faible ce qui est également illustré par des flux retour aux détritiques plus faibles. Plus haut dans les différents maillons du réseau, ce groupe est caractérisé par une forte implication du trio 'prédateur, suspensivore benthique et dépositivore sélectif' qui gouverne la majorité des échanges trophiques entre la base et le sommet. En terme de dépenses pour le maintien de l'intégrité du système les flux de consommations sont les plus fortes. Elles s'accompagnent en conséquence des valeurs de production primaire requise (PPR) les plus fortes également. Malgré cela, l'une des propriétés de ce groupe se révèle être la forte maturité des systèmes qui le compose en accord avec les principaux indices le caractérisant. Finalement, cette maturité permet malgré son coût en équivalent trophique 1 élevé, à ce groupe de posséder un fort potentiel de réactivité face à une éventuelle perturbation.

Le second groupe (1110-3 et Machu) est caractérisé par un système basé essentiellement sur le complexe détritique. Cette caractéristique implique une place prépondérante à la méiofaune (connue pour être étroitement liée au complexe détritique) et les dépositivores non sélectifs par rapport au premier groupe. A la différence du premier groupe qui est basé sur la matière nouvellement formée, celui-ci dépend plus du recyclage de cette dernière, comme le montre la quantité de retour au détritiques apparaissant comme une part importante des flux totaux. Pour finir, et à l'inverse du premier groupe, ce second groupe peut être caractérisé par une immaturité indiquée par les différents rapports le caractérisant.

Entre ces deux groupes, situé en position intermédiaire le groupe 3 (habitat 1110-1 & 1110-2) présente à la fois des propriétés communes au premier et au deuxième groupe suivant les paramètres observés. Ainsi, il partage avec le premier groupe la forte implication du trio 'prédateur, suspensivore et dépositivore sélectif' dans le transfert de la matière, une forte demande en PPR et un indice d'omnivorie du système élevé. Il affiche dans le même temps un retour au détritiques fort, une maturité relativement faible et un potentiel de réactivité faible face à une éventuelle perturbation, caractéristique du deuxième groupe. Pour finir, il possède une forte efficacité de l'utilisation totale du niveau trophique 1 (comme le groupe 1) mais est

basé en majorité sur le système détritique (comme le groupe 2). Il rend compte du gradient progressif des caractéristiques des systèmes du large caractérisé par des sédiments sableux vers la côte caractérisé par des sédiments sablo-vaseux. Il faut cependant noter que certaines propriétés ne sont partagées par les deux membres respectifs des deux groupes définis. Par exemple, l'utilisation détritiques/production primaire de l'habitat 1110-1 (groupe 1) même si la production primaire domine ($99,47 \text{ gC.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$), l'utilisation des détritiques est égale ($99,47 \text{ gC.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$). En 1110-4, la méiofaune est co-dominante avec les prédateurs, voir légèrement supérieure, ce qui serait plus une caractéristique du groupe 2. Pour finir, le 'total system throughput' ou taille du système est en désaccord avec les caractéristiques définies auparavant, les habitats 1110-1, 1110-3 et Machu sont les plus petits ($830-860 \text{ gC.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$) et les deux autres, 1110-1&2 et 1110-4 sont les plus grands ($880-900 \text{ gC.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$). En résumé, un gradient de changement fonctionnel est identifié passant des propriétés définies pour le groupe 1 à celles définies pour les éléments du groupe 2 en passant par les caractéristiques intermédiaires du groupe 3.

3. Conclusion

A l'échelle de la partie orientale de la baie de Seine et du littoral Augeron, les caractéristiques fonctionnelles des cinq habitats sont suffisamment différentes pour pouvoir être regroupés en trois grandes entités. L'habitat Machu a des caractéristiques fonctionnelles plus proches de l'habitat 1110-3 Sables grossiers et graviers que des autres habitats. Il se distingue donc des habitats plus sableux et sablo-vaseux. Un affinement sédimentaire dû aux dépôts de dragage est susceptible de le faire basculer dans l'un des deux autres groupes fonctionnels. Une simulation avec les nouvelles valeurs de biomasse mesurées à l'issue des expérimentations sera réalisée afin de préciser son évolution. Il est enfin remarquable de noter qu'Ecopath s'avère être un outil de diagnostic performant et complémentaire des indicateurs de changements structurels des habitats benthiques suite à un impact anthropique.

Références Bibliographiques

- Cabioch, L., Gentil, F. (1975). Distribution des peuplements benthiques dans la partie orientale de la Baie de Seine. C. R. Acad. Sci. 280 : 571-574.
- Christensen, V., Pauly D. (1992). "ECOPATH II-a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecological Modelling 61: 169-185.
- Christensen, V., Pauly D. (1993). Trophic models of aquatic ecosystems. ICLARM Conference Proceedings.
- Christensen, V., Walter C. J. et al. (2000). ECOPATH with ECOSIM: a user's guide. Penang, Malaysia, Fisheries Centre, University of British Columbia Vancouver, Canada and ICLARM.
- Dauvin, J.C. (1993). Le benthos: témoin des variations de l'environnement. Océanis 19, 25-53.
- Gentil, F., Cabioch, L. (1997). Carte des peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine et Manche centrale sud. Carte et notice explicative de la Carte. Edition de la Station Biologique de Roscoff, France.
- Polovina, J.J. (1984). Model of a coral reef ecosystem. The Ecopath model and its application to French Frigate Shoals. Coral Reefs 3: 1-11.
- SOGREAH (2008) Analyse comparative des sites du Kannik. Septembre 2008, n°1711817.
- Ulanowicz, R. E. (1986). Growth and development. Ecosystems phenomenology. New York, Springer-Verlag.

Modélisation de la distribution des habitats à algues rouges le long des côtes bretonnes (Résultats préliminaires)

R. Gallon¹, B. Leroy² et E. Feunteun¹

¹ MNHN, UMR 7208 BOREA, Station Marine de Dinard, 38 rue du Port Blanc, 35800 Dinard, France

² Equipe Biodiversité et Gestion des Territoires et Service du Patrimoine Naturel, Université de Rennes I, Rennes Cedex, France

1. Contexte

Les zones côtières sont reconnues pour faire partie des zones les plus productrices de la biosphère (Gattuso *et al.*, 1998). Elles ont une contribution majeure dans les cycles du carbone et l'enrichissement des milieux marins adjacents. La compréhension de ce phénomène repose essentiellement sur le paradigme de l'*outwelling* proposé par Odum en 1968 suivant lequel les systèmes à phanérogames marins produisent plus de matière végétale que les organismes ne peuvent en consommer sur place.

Les communautés de macroalgues marines sont certainement parmi les communautés végétales les plus productives du monde, avec une productivité pour atteindre de 500 gC.an⁻¹ à 2600 gC.an⁻¹ en fonction des caractéristiques de l'habitat ainsi que des espèces dominantes (ie. Kerambrun, 1984 pour les laminaires; Lefeuvre and Feunteun, 2004 pour les prés salés; Gollety *et al.*, 2008 pour les fucales; Miller, 2009 pour les algues rouges)

Les algues rouges en sous-strates et/ou en épiphytes des laminaires, forment des prairies qui peuvent s'étendre de l'infralittoral inférieur au circalittoral proche. Par conséquent, la contribution de ces communautés à l'écosystème n'est pas négligeable car leurs productions peuvent atteindre 1000 gC.m⁻².an⁻¹ (Miller *et al.*, 2009).

L'objectif de cette étude est de prédire la distribution des communautés à algues rouges. Pour cela, nous avons utilisé une approche de prédiction globale (ensemble forecasting approach) pour prédire de manière robuste leurs distributions (Araújo and New, 2007; Wilfried Thuiller *et al.*, 2013).

2. Matériel et Méthodes

2.1. Données biologiques et environnementales

Les données biologiques proviennent d'un échantillonnage en plongée par les plongeurs de la Station Marine de Dinard durant la période 2010-2011. Les profondeurs de plongée n'ont pas excédé 30 mètres. Au total 19 stations ont été échantillonnées, 10 dans la zone Natura 2000 « Roches de Penmarc'h » et 9 dans le Golfe Normano-Breton. Seules les espèces présentes dans au moins 5 stations ont été utilisées pour modéliser (20 espèces).

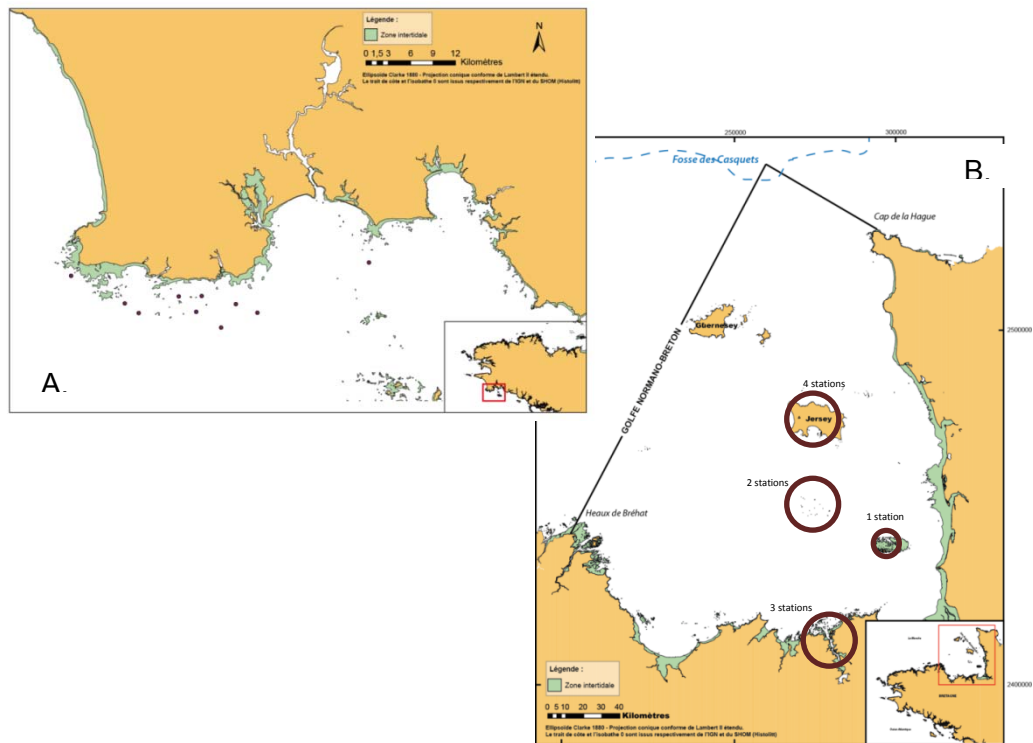


Fig.1 Localisation des sites d'échantillonnage (points noirs). A: Roche de Penmarc'h ; B: Golfe Normano-Breton

Les données environnementales proviennent de données spatialisées sous forme de raster :

Variable	Description	Résolution (degrés)	Source	Période
<i>Pente</i>	Changements maximum d'élévation entre chaque cellule et les cellules voisines (3x3)	0.0042x 0.0042		
<i>Indice de position benthique (BPI)</i>	Modélise la topographie (crêtes / dépressions / platiers ou pentes) à partir de la bathymétrie en comparant l'élévation d'une cellule par rapport à ses voisines plus ou moins proches.	0.0042x 0.0042		
<i>Profondeur</i>	Mesure de la hauteur d'eau exprimée en mètre	0.0042x 0.0042	emodnet-hydrography.eu	
<i>Température de surface</i>	Mesure de la température de surface de l'eau exprimée en °C	0.02 x 0.02	AVHRR	2010-2011
<i>Matière inorganique particulaire en suspension</i>	Mesure de la concentration en matière en suspension minérale (10^{-2} g/m ³)	0.015 x 0.01	MODIS	2010-2011

<i>Chlorophylle a</i>	Mesure de la concentration chlorophylle a (10^{-2} mg/m ³)	0.015 x 0.01	MODIS	2010-2011
-----------------------	---	--------------	-------	-----------

L'inter-corrélation des variables explicatives peut rendre la modélisation instable et biaiser la calibration des modèles. Nous avons donc choisi des non corrélées à fort pouvoir prédictif pour nos espèces via un protocole en deux étapes (Leroy *et al.*, submitted) :

- 1- Les groupes de variables inter-corrélées sont identifiés par une classification hiérarchique ascendante utilisant une distance basée sur le coefficient de corrélation de Pearson : $d = 1-r$.
- 2- On identifie les variables qui prédisent le mieux la distribution des espèces étudiées pour chaque groupe de variables inter-corrélées.

2.2. Modélisation

Dix variables environnementales ont été retenues : la concentration en matière minérale particulaire (1) maximale et (2) minimale, la concentration en chlorophylle a (3) moyenne et (4) maximale durant la période de croissance (avril à septembre) et (5) moyenne durant la période étudiée, (6) la température de surface moyenne durant la période de croissance, (7) la vitesse maximale des courants pour une marée de vive-eaux moyennes (coeff 95) et (8) la pente.

Nous avons appliqué l'approche de prédiction globale (« Ensemble forecasting approach ») pour prendre en compte les incertitudes de chaque modèle (Araújo and New, 2007). La distribution des espèces d'algues rouges a été modélisée par 7 modèles différents : (1) Generalized additive model (GAM); (2) Generalized boosted model (GBM); (3) Classification tree analysis (CTA); (4) Flexible discriminant analysis (FDA); (5) Multivariate adaptive regression splines (MARS); (6) Random forests (RF); (7) Maximum entropy (MAXENT). Le package-R BIOMOD version 2.0 (R-Team, 2010; Wilfried Thuiller *et al.*, 2013) a été utilisé pour modéliser les distributions.

2.3. Calibration des modèles

Comme les données correspondent à des données de type « présence seulement », nous avons généré 5 jeux de 1000 pseudo absences. Les modèles ont été calibrés à partir de 70% des données, tirées aléatoirement, puis évalués avec les 30% restants en utilisant 2 métriques classiques : l'aire en dessous de la courbe (AUC) et le « True skill statistic » (TSS). Cette procédure est répétée 3 fois pour obtenir une valeur moyenne des performances.

3. Résultats

3.1. Calibration des modèles

Les performances des modèles sont bonnes pour prédire la distribution des algues rouges. Toutes les valeurs de TSS sont supérieures à 0.7 et celles du ROC supérieures à 0.85.

3.2. Prédictions

Les prédictions estiment que les zones associées à de fortes concentrations de chlorophylle a présentent une richesse plus importante (Les Minquiers, Baie de Saint Malo, la zone de Lesconil à Penmarc'h). L'hydrodynamisme semble aussi organiser la diversité, les richesses prédites des zones à fort courant (>1.5 m.s⁻¹) (Jersey, Ouest Penmarc'h) semblent plus faible par rapport aux zones plus protégées (Est Penmarc'h, Côtes de ouest Cotentin). L'hydrodynamisme est un facteur clé dans la structuration des communautés (Hurd, 2001) ;

les forces de frottement sur la roche peuvent arracher certaines algues, le courant peut influencer l'alimentation de certains herbivores et affecter les mouvements de sédiments, réduisant l'accessibilité à la lumière (Airoldi and Cinelli, 1996; Blanchette, 1996; Kawamata, 1998; Kiirikki, 1996; Viejo et al., 1995).

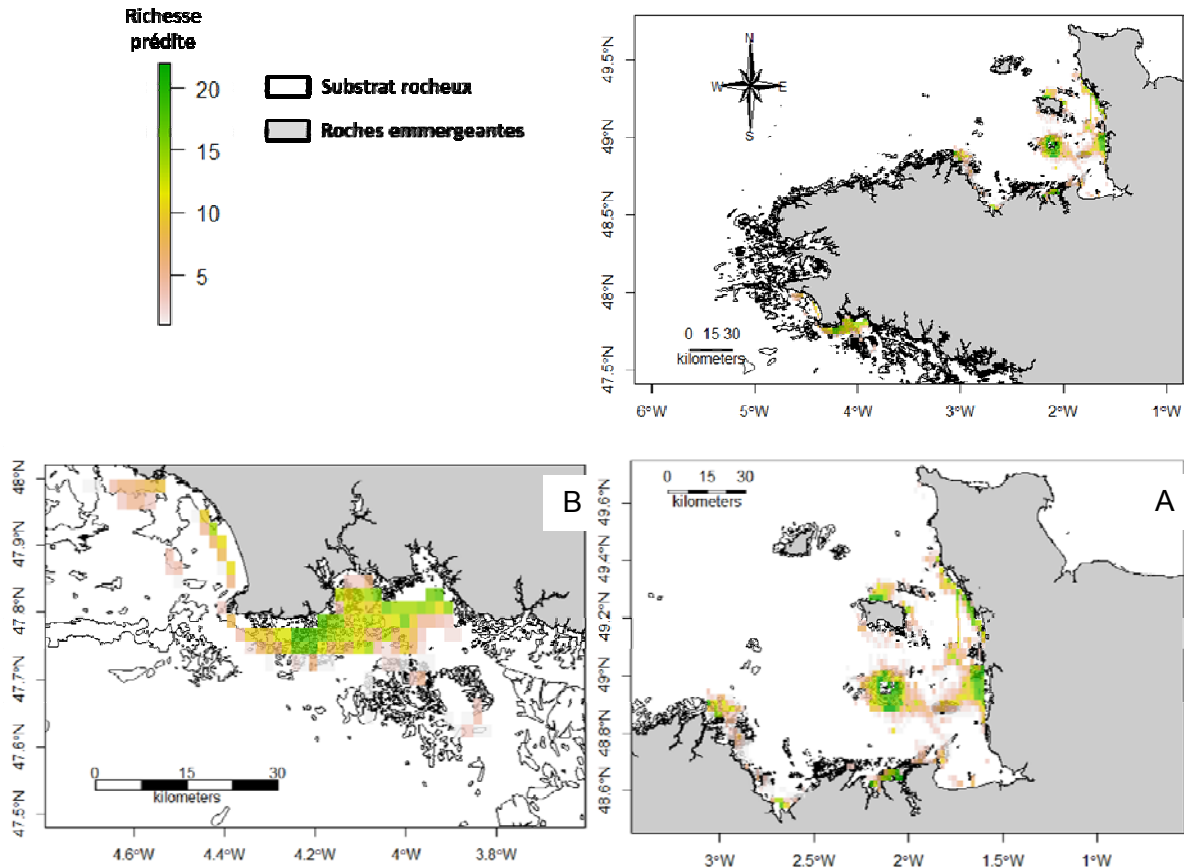


Fig.2 Cartographie prédictive de la diversité alpha des communautés à algues rouge en Bretagne. A. Golfe Normano-Breton B. Roches de Penmarc'h.

3.3. Validation des modèles

Concernant la validation des prédictions, les modèles ont tendance à surestimer la richesse, cela peut s'expliquer par le nombre important de variables retenues. Un effort plus important doit être réalisé pour réduire le nombre de variables explicatives, ce qui augmentera la robustesse des prédictions.

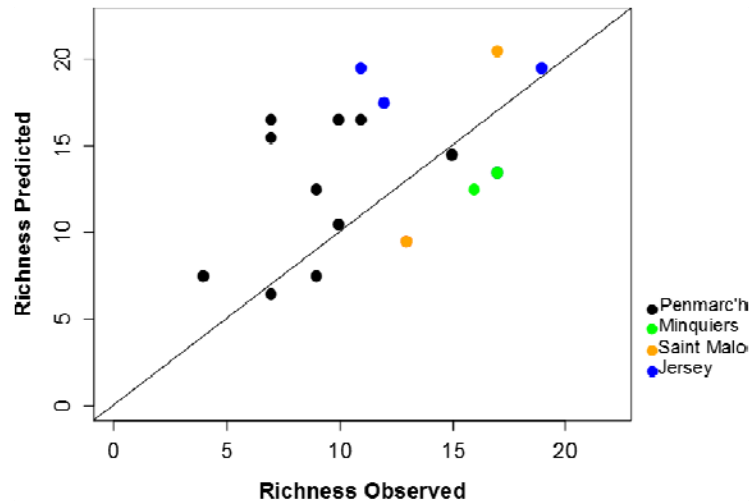


Fig.3 Relation entre richesse prédite et richesse observée des communautés à algues rouges.

Références bibliographiques

- Airoldi, L., Cinelli, F., 1996. Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 215, 269-288.
- Araújo, M.B., New, M., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution* 22, 42-47.
- Blanchette, C.A., 1996. Seasonal patterns of disturbance influence recruitment of the sea palm, *Postelsia palmaeformis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 197, 1-14.
- Gattuso, J.P., Frankignoulle, M., Wollast, R., 1998. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 405-434.
- Golléty, C., Migné, A., Davoult, D., 2008. Benthic metabolism on a sheltered rocky shore : role of the canopy in the carbon budget. *Journal of Phycology* 44, 1146-1153.
- Hurd, C.L., 2001. Water motion, marine macroalgal physiology, and production. *Journal of Phycology* 36, 453-472.
- Kawamata, S., 1998. Effect of wave-induced oscillatory flow on grazing by a subtidal sea urchin *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 224, 31-48.
- Kérambrun, L., 1984. Contribution à l'étude de la fertilité des fonds rocheux côtiers de Bretagne. Université de Bretagne Occidentale, p. 150p + annexes 151p.
- Kiirikki, M., 1996. Experimental evidence that *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta) controls filamentous algae by means of the whiplash effect. *European Journal of Phycology* 31, 61-66.
- Lefeuvre JC, Feunteun E., Thorin S, 2004. EUropean Salt Marsh Modelling. EUROSSAM. , University of Rennes1 ed. University of Rennes1
- Miller, R.J., Reed, D.C., Brzezinski, M.A., 2009. Community structure and productivity of subtidal turf and foliose algal assemblages. *Mar Ecol Prog Ser* 388, 1-11.
- R-Team, 2010. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Viejo, R., Arrontes, J., Andrew, N., 1995. An experimental evaluation of the effect of wave action on the distribution of *Sargassum muticum* in northern Spain. *Botanica Marina* 38, 437-442.
- Wilfried Thuiller, Damien Georges, Robin Engler, 2013. biomod2: Ensemble platform for species distribution modeling.

Modélisation à l'échelle européenne des habitats physiques du fond de la mer

Mickaël Vasquez¹, Anouar Hamdi², Jacques Populus¹

Au nom du consortium EUSeaMap³

¹ Ifremer - ZI de la Pointe du Diable - CS 10070 - 29280 Plouzané

² Auto-entrepreneur Géomaticien – Taillade - 65130 Péré

³ <http://jncc.defra.gov.uk/page-5020>

Introduction

La réalisation des cartes d'habitats des fonds marins passe habituellement par des campagnes d'acquisition aéroportées ou embarquées d'imagerie et d'échantillons (sédiment et biologie), qui sont par la suite interprétées pour produire les cartes. Le programme Natura 2000, le réseau Rebenet, ou d'autres initiatives appliquent couramment cette approche. Celle-ci permet certes d'aboutir à des cartes très détaillées à la fois sur le plan géométrique et sémantique, mais présente l'inconvénient d'être extrêmement coûteuse et chronophage, puisqu'elle requiert de lourds moyens logistiques et humains. L'appliquer en tout point pour atteindre l'exhaustivité géographique est donc inenvisageable. L'obligation imposée par les directives européennes, ou plus simplement le besoin qu'a l'ensemble de la communauté de mieux connaître les fonds, montrent pourtant une très forte attente quant à cette exhaustivité.

C'est avec l'objectif de répondre à cette demande que le projet INTERREG MESH a proposé une méthodologie permettant d'aboutir à une cartographie certes nettement moins détaillée, mais exhaustive, et à faible coût car s'appuyant sur des données déjà acquises ou issues de modélisations (Coltman *et al.*, 2008). Le projet EUSeaMap, financé par la DG/MARE de la Commission européenne dans le cadre du programme EMODnet, a par la suite mis en pratique cette méthode pour cartographier à l'échelle du millionième les fonds d'une partie de l'Europe (Cameron and Askew, 2011), cartographie que le projet INTERREG MeshAtlantic vient aujourd'hui compléter pour les régions qui le concernent. Sous l'impulsion de l'Agence des aires marines protégées, cette cartographie a également été portée à l'échelle du 300 millièmes pour les eaux françaises métropolitaines (Hamdi *et al.* 2010).

L'objectif de la présentation est de montrer comment, en structurant les données existantes suivant des règles propres à la typologie d'habitats EUNIS (European Nature Information System), on arrive à créer une couverture continue de cartes d'habitats dits "physiques" à l'échelle européenne. Seront ainsi présentés a) la méthodologie, et b) les résultats obtenus, leurs limites, et les perspectives futures.

1. Méthodologie

1.1. Cadre général

La typologie EUNIS, classification européenne des habitats pour les domaines terrestres, dulçaquicoles et marins, classe les habitats selon une hiérarchie à six niveaux. Au niveau 1, les habitats sont répartis entre habitats marins (code A) et autres. A partir du niveau 2 les habitats marins sont classés selon 3 critères de nature physique :

- la nature des fonds : dès le niveau 2 les habitats à fond rocheux sont séparés des habitats à fond sédimentaire
- l'étagement biologique (ex. : Roche **infralittorale**, vase sableuse **circalittorale**)

- et, en milieu rocheux uniquement, le niveau d'agitation due à la houle ou aux courants. Exemple : roche infralittorale soumise à un **fort hydrodynamisme**

Ces descriptions exclusivement physiques s'étendent jusqu'aux niveaux 3 en milieu rocheux et 4 en milieu sédimentaire. Passés ces niveaux, la biologie commence à être décrite. Il apparaît donc que si l'on parvient à constituer une couche SIG à couverture continue pour chacun de ces 3 critères (nature du fond, étage biologique, agitation), on est capable de produire, par l'intermédiaire d'une simple combinaison des 3 couches, une carte à couverture continue des habitats **physiques** de la typologie EUNIS. Un exemple de résultat obtenu est illustré en figure 1.

1.2. Elaboration des 3 couches de base

La nature des fonds

De nombreuses cartographies de la nature des fonds ont pu être élaborées au cours des dernières décennies. Celles-ci mises bout à bout on parvient, malgré leur hétérogénéité en termes d'échelle, à constituer une carte à couverture continue. La classification de sédiments sur laquelle repose EUNIS est une classification Folk simplifiée, réduite à 6 classes. Tout le challenge consiste ici à convertir les cartes existantes, qui possèdent leur propre classification, dans la classification proposée par EUNIS. L'exercice est souvent périlleux, et ne peut en général se faire sans le concours de l'auteur de la carte.

Les zones biologiques

EUNIS prend en considération 5 étages marins : l'Infralittoral, le Circalittoral côtier, le Circalittoral du large, le Bathyal et l'Abyssal. Ces étages n'ont jamais été cartographiés sur de grandes étendues. Leur cartographie est donc une étape cruciale. Etant donné qu'ils sont définis selon des critères physiques uniquement, celle-ci peut s'effectuer par modélisation. Avant cela il faut dans un premier temps s'entendre sur la définition de chacune des zones biologiques. A titre d'exemples, si la limite Infralittoral - Circalittoral côtier fait consensus sur le fait qu'il s'agit de celle à partir de laquelle les algues photophiles disparaissent, ça n'est pas le cas pour la limite Circalittoral côtier - Circalittoral du large : pour les uns le Circalittoral du large commence aux profondeurs à faible variabilité thermique saisonnière (Glémarec, 1973), pour les autres il commence aux profondeurs où l'agitation due à l'hydrodynamisme est stable (Connor, 2004). La définition retenue des étages va ensuite conditionner le choix de proxys pertinents, c'est-à-dire de variables permettant d'approcher au mieux les étages (ex. pourcentage de lumière pour la limite inférieure de l'Infralittoral). Après avoir déterminé ces proxys, il convient de constituer une couche pour chacun d'entre eux. Le plus souvent ces couches sont des climatologies, c'est-à-dire des synthèses statistiques (moyenne, percentile, maximum) calculées sur une période de temps donnée.

L'ultime étape consiste en le calcul de seuils. Par exemple, à partir de quelle quantité de lumière parvenant au fond de la mer considère-t-on que l'on quitte l'Infralittoral ? Ceci se fait par une approche bottom-up, qui consiste à calculer un seuil à partir de points de vérité terrain qualifiés "présence / absence" de l'étage à considérer. Un autre problème se pose ici: se procurer de tels points.

Le tableau ci-dessous résume, pour chaque limite, la définition qui a été retenue dans EUSeaMap, ainsi que le proxy et les seuils qui ont été utilisés.

Limite	Définition / proxy / seuil
Infralittoral - Circalittoral côtier	Disparition des algues photophiles Atténuation de la lumière (kpar), 5 ans, percentile 90 1% de lumière incidente arrivant au fond
Circalittoral côtier - Circalittoral du large	Conditions hydrodynamiques stables Modèle de houle, 5 ans, valeur maximum Base des vagues, où longueur d'onde / hauteur d'eau = 2
Circalittoral du large – Bathyal	Rupture de pente due à l'entrée dans le talus Bathymétrie Rupture délimitée manuellement
Bathyal - Abyssal	Rupture de pente due à l'entrée dans la plaine abyssale Bathymétrie Rupture délimitée manuellement

L'agitation due à l'hydrodynamisme

En milieu rocheux EUNIS considère qu'après la lumière, le paramètre qui conditionne le plus la présence ou l'absence d'une communauté est l'agitation. 3 niveaux d'agitation sont ainsi retenus : faible, modéré et fort. Par "agitation" EUNIS entend l'action combinée de la houle et du courant. Les mêmes questions que pour les étages biologiques se posent ici : quel proxy, et quels seuils ? Le calcul des seuils est ici compliqué par le fait que l'on manque cruellement de points de présence / absence des communautés décrites dans les niveaux inférieurs d'EUNIS, ce qui interdit toute approche bottom-up. Des essais ont été pratiqués à partir de points qualifiés à dire d'expert, mais il faut reconnaître qu'il est difficile de se faire une idée de la qualité des résultats obtenus par cette approche.

1.3. Évaluation de la fiabilité des cartes résultant du modèle

La modélisation étant une approximation de la réalité, il est fondamental d'en établir la qualité afin d'avertir l'utilisateur de ses limites. Une représentation spatiale de la fiabilité des habitats modélisés doit être considérée comme un livrable du projet (voir figure 1, au centre de la carte), car il est important de montrer à quels endroits la carte peut être améliorée. Pour ce faire, on a simplement évalué la fiabilité de deux couches, la nature du fond et la bathymétrie, puis calculé une somme pondérée des deux scores obtenus. Ne retenir que ces deux couches est pertinent car elles portent une large partie de la variance de la carte finale. Par exemple la profondeur contribue à la détermination de toutes les zones biologiques.

2. Discussion

Les résultats obtenus ont été largement salués par les gestionnaires et la communauté scientifique. Des premiers cas d'utilisation ont pu être identifiés en France et en Europe dans les domaines de l'extraction des granulats, dans la délimitation des aires marines protégées, ou encore pour la cartographie à échelle comparable de l'impact des pressions sur les habitats (projet HARMONY en Mer Baltique, projet PEGASO en Méditerranée occidentale, en cours). La cartographie obtenue a également contribué à l'évaluation initiale de la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM).

EUNIS est une typologie qui sied particulièrement aux habitats côtiers de la Manche et de l'Atlantique. Ailleurs elle est parfois imprécise, voire inadaptée. C'est pourquoi dans EUSeaMap un effort substantiel a été accordé à son adaptation aux particularités de la Méditerranée, de la Mer Baltique et de l'environnement profond, et les réflexions issues de ces aménagements contribueront certainement aux prochaines mises à jour de la typologie.

Outre la cartographie des habitats physiques, EUSeaMap et ses équivalents nationaux (UKSeaMap, projet Ifremer-AAMP) ont permis la production d'informations synthétiques qui jusqu'à présent n'étaient pas disponibles. Citons la carte des zones biologiques, la synthèse des cartes de nature du fond, ou les climatologies de l'atténuation de la lumière et de conditions hydrodynamiques. Ces informations sont à disposition de tous, soit en téléchargement sur le serveur Sextant soit, pour certaines d'entre elles, sur demande.

La carte des habitats n'est pas parfaite, tous les acteurs qui ont participé à son élaboration, benthologues, géologues, géomaticiens ou autres, en conviennent; mais elle va s'améliorer, progressivement. Grâce à des initiatives européennes (Easyco), ou nationales (PREVIMER), les modèles hydrodynamiques sont de mieux en mieux résolus. De même, au gré des campagnes océanographiques la bathymétrie et les cartes de nature du fond vont s'améliorer. Il est un point critique néanmoins, qui est la calibration et la validation par le biais de données de terrain. Si pour la modélisation des étages biologiques de telles données ont pu être collectées, ce qui fait de cette carte un élément bien calibré et donc fiable, il n'en va pas de même pour les niveaux d'agitation sur la roche. Cette couche de base est donc sans doute celle qui a la plus grande marge d'amélioration; les initiatives à venir de cartographie des habitats physiques devront donc veiller à bien prendre en compte la collecte de vérité terrain, quitte à en faire une tâche à part entière du projet.

Enfin, quelles que soient les améliorations qui puissent leur être apportées, il est évident que ces cartes ne remplaceront jamais les cartes détaillées évoquées plus haut. Néanmoins elles constituent un apport essentiel pour les nombreuses applications qui ne nécessitent pas d'information détaillée mais qui, en revanche, requièrent de l'information en tout point.

Remerciements

Nous tenons à remercier ici tous les producteurs de données, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible. Il s'agit en premier lieu du SHOM dont la bathymétrie fine et les MNT qui en sont dérivés interviennent à plusieurs stades de l'étude. Le SHOM, en la personne de Thierry Garlan, nous a aussi autorisés à utiliser ses cartes de nature des fonds dites "cartes G", une composante majeure des cartes au 300 millièmes. Concernant les autres données de nature du substrat marin, plusieurs auteurs nous ont aidés à compiler leurs données historiques et nous ont conseillés pour leur harmonisation. Il s'agit de Pol Guénoc et Fabien Paquet du BRGM, de Jean-Claude Aloïsi et François Bourrin de l'Université de Perpignan, d'Hervé Gillet de l'Université de Bordeaux, de Gérard Pergent de l'Université de Corse. Le projet a aussi utilisé les données du CIESM, de GEBCO, de l'IOC-IBCM, de l'Agence spatiale européenne.

Pour les données de biocénoses de Méditerranée, rien n'aurait pu être fait sans le soutien du Medbenth et de l'Agence de l'eau RMC en la personne de Pierre Boissery et du GIS Posidonie. Les contributeurs en cartographie de posidonies sont tous cités en annexe 2 du rapport Hamdi *et al.* 2010. Qu'ils soient ici vivement remerciés.

Enfin, à l'Ifremer nous avons reçu l'aide précieuse de Stéphane Sartoretto, Benoît Loubrieu, Corinne Tomasino, Catherine Satra Le Bris, Claude Augris, Axel Ehrhold, Eric Moussat, Pierre Garreau, Ronan Loarer, Pierre Bodénès, Francis Gohin et Gilles Trut.

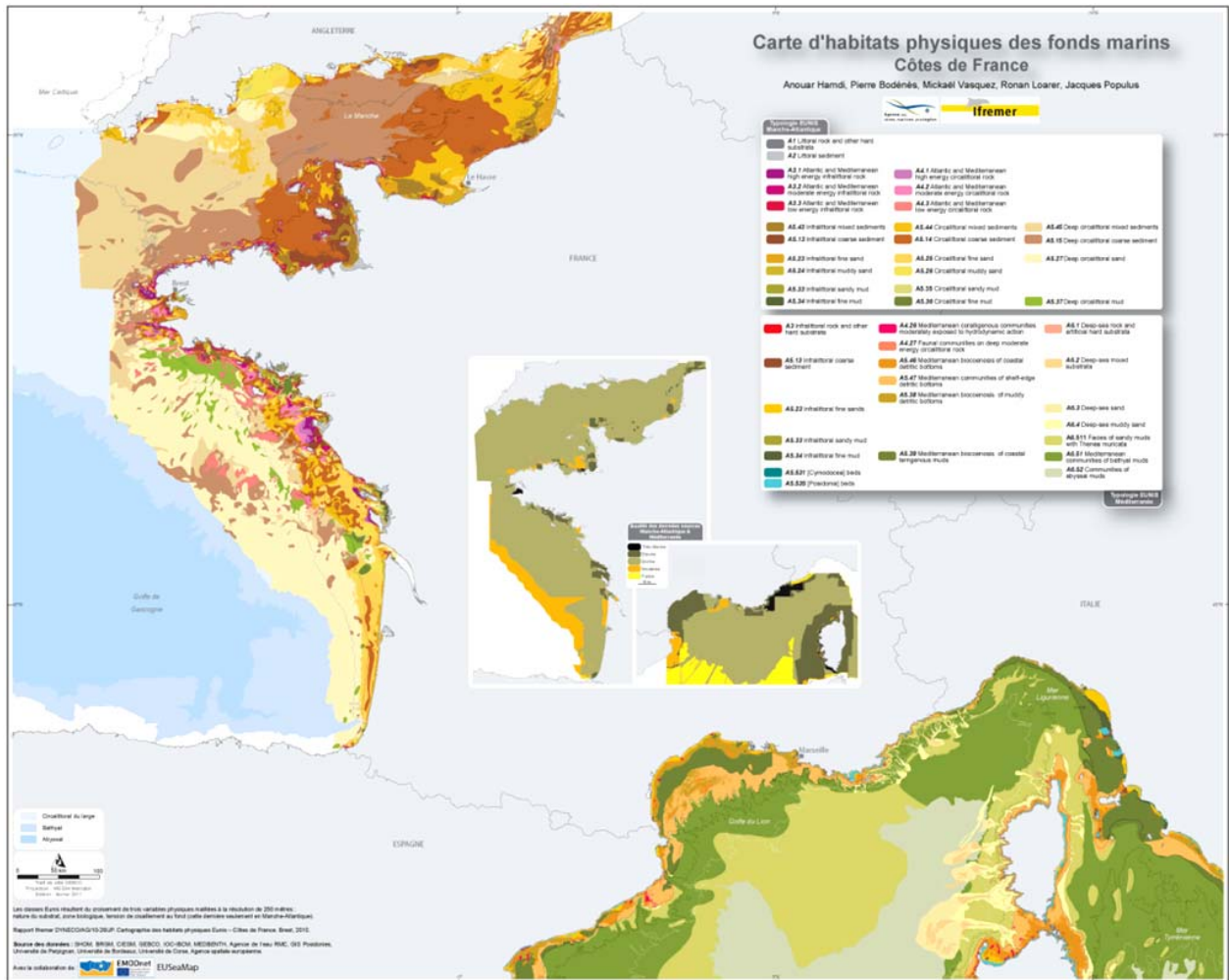


Fig.1 Exemple de carte d'habitats obtenue, ici la carte au millionième. Les tons rouge à violet correspondent aux roches ou autres substrats durs, les tons marron - orange - beige aux substrats grossiers ou sableux, et les tons verdâtres aux substrats vaseux. Au centre se trouve la carte de confiance, dans laquelle figurent 5 niveaux allant de "Très élevée" (vert très foncé) à "Faible" (jaune)

Références bibliographiques

- Cameron, A. and Askew, N. (eds.). 2011. EUSeaMap - Preparatory Action for development and assessment of a European broad-scale seabed habitat map final report.
- Coltman, N., Golding, N. & Verling, E. (2008) Developing a broadscale predictive EUNIS habitat map for the MESH study area. In: MESH Guide to Marine Habitat Mapping.
- Connor, D.W., Allen, J.H., Golding, N., Howell, K.L. Lieberknecht, L.M., Northen, K.O. & Reker, J.B. (2004) The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland. Version 04.05. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- Davies, C.E., Moss, D. & Hill, M.O. (2004). *EUNIS Habitat Classification*. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, Paris for European Environment Agency, Copenhagen. October 2004. <http://EUNIS.eea.eu.int/habitats.jsp>.
- Glémarec (1973). The benthic communities of the european north Atlantic continental shelf. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1973, 11, 263-289.
- Hamdi Anouar, Vasquez Mickael, Populus Jacques (2010). Cartographie des habitats physiques Eunis - Côtes de France. Convention Ifremer/AAMP n° 09/12177764/FY. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00026/13751/>

Session 5 : Gestion des incertitudes et de la qualité

Inventaire et cartographie des habitats marins méditerranéens : synthèse des apports et des difficultés

Patrick Astruch¹, Denis Bonhomme¹, Adrien Goujard¹

¹ GIS Posidonie, Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'étude de l'environnement marin, Université Aix-Marseille, campus universitaire de Luminy, case 901, 13288 Marseille, Cedex 09, France.

Contact : patrick.astruch@univ-amu.fr

Mots clefs : cartographie des habitats, Méditerranée, méthodologie

Introduction

En Méditerranée, la cartographie des habitats marins et types de fonds associée à des inventaires patrimoniaux s'est largement développée au cours des années 2000, dans le cadre principalement de la Directive Habitat Faune et Flore (Natura 2000, programme CARTHAM) ou lors d'initiatives locales (rade de Marseille : Andromède Océanologie, 2008 ; golfe de Fos : Astruch *et al.*, 2008; Parc national de Port-Cros : Bonhomme *et al.*, 2011). Les progrès techniques des méthodes d'acquisitions hydrophysiques ont permis d'augmenter la précision des levés au regard de surfaces cartographiées de plus en plus grandes.

A partir de l'analyse de plusieurs cas d'études, une synthèse des apports méthodologiques et des limites techniques est dressée concernant les principaux habitats et groupes d'habitats.

1. Réalisation d'une campagne de cartographie

1.1. Organisation d'une campagne de cartographie

Classiquement, une étude cartographique débute par la prise en compte de données existantes, ce qui permet soit d'affiner les acquisitions (si ces données sont suffisamment précises et récentes), soit de contribuer à l'analyse de l'évolution des habitats. Ensuite, un plan d'échantillonnage est défini, incluant une première acquisition acoustique (sonar latéral pour la nature du fond et sondeur multifaisceaux pour la forme du fond). Pour les fonds les plus superficiels, les prises de vue aériennes disponibles sont exploitées (BD Ortho IGN®). La bathymétrie de ces petits fonds peut éventuellement être exploitée (méthode LIDAR, LITTO3D). Une pré-cartographie est ensuite réalisée, afin de définir les zones d'incertitudes et ainsi planifier les campagnes de vérité-terrain (plongée sous-marine, vidéo remorquée, ROV, prélèvements, etc.).

1.2. Objectifs

Dans de nombreux cas, une telle étude présente deux objectifs :

- Définir la nature et l'emprise des habitats marins et des types de fonds,
- Définir l'état de conservation (fonctionnalité, structure, restauration), les atteintes (exemple : chalutage, ancrage, changement climatique global, etc.) et les enjeux de conservation et de gestion.

2. Apports et limites par habitat

2.1. L'herbier à *Posidonia oceanica*

Au niveau de sa limite supérieure, l'herbier de posidonie est relativement facile à cartographier. Les photographies aériennes permettent une bonne distinction de son emprise, même sur substrat dur. Seulement, plusieurs jeux de photographies sont nécessaires pour identifier la présence de banquettes de posidonies (feuilles en épaves mobiles) qui peuvent être confondues avec de l'herbier vivant en place.

Au-delà d'une dizaine de mètres de profondeur, le sonar s'avère indispensable pour la cartographie de l'herbier. Une acquisition bathymétrique précise s'avère très complémentaire pour identifier les intermattes ainsi que la présence de tombants érosifs. Cette complémentarité du « couple sonar-bathymétrie » est essentielle pour la cartographie fine de l'herbier de posidonie. La mise en évidence de phénomènes de régression sans comparaison temporelle implique la réalisation de vérité-terrain. Malgré une définition de plus en plus précise, il reste difficile de localiser précisément une limite inférieure d'herbier épars (recouvrement inférieur à 30%).

Au-delà d'établir la forme du fond, la bathymétrie peut permettre, en amont d'une campagne de vérité-terrain, une prédiction de la nature des fonds en considérant, la profondeur, la pente et les caractéristiques propres à la zone d'étude. Il s'agit de modéliser la nature du fond en fonction de ces paramètres (Figure 1 ; Bonhomme *et al.*, 2011). Cette approche s'avère intéressante pour (i) la réalisation d'un pré-cartographie mais également (ii) pour mettre en lumière *a posteriori* de larges régressions de l'herbier de posidonie (cas de l'herbier du littoral marseillais largement impacté par les aménagements et les rejets urbains, Astruch *et al.*, 2012). Le plus souvent, le sonar latéral apporte un complément d'informations qui précise d'autant plus les observations.

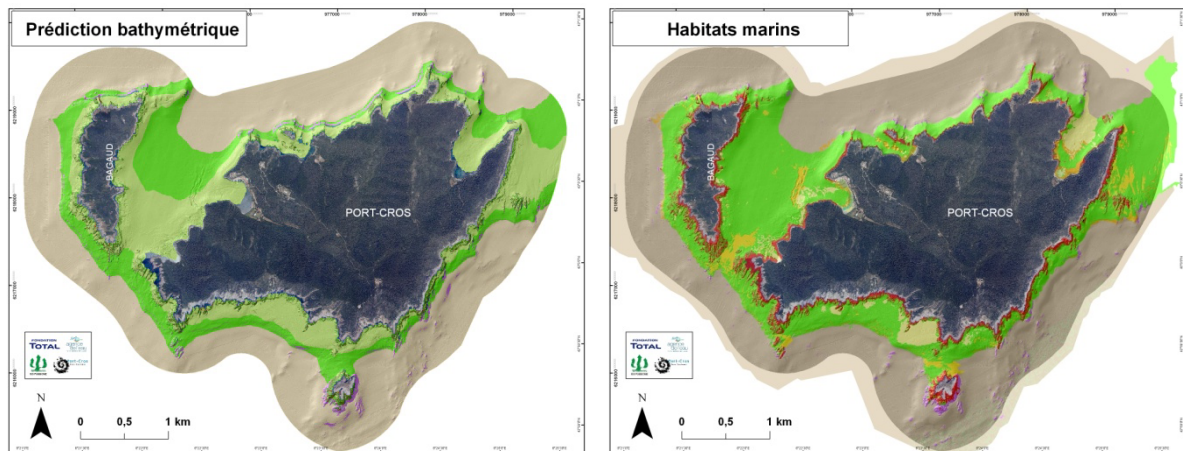


Fig.1 Comparaison de la prédiction bathymétrique (à gauche, vert : herbier de posidonie ; vert clair : herbier ou substrats meubles infralittoraux, gris : roche infralittorale à algues photophiles ; violet : coralligène ; beige : détritique côtier) et de la cartographie finalisée des habitats marins (à droite, vert : herbier de posidonie ; rouge : roche infralittorale à algues photophiles ; violet : coralligène ; beige : détritique côtier) des alentours de Port-Cros (Bonhomme *et al.*, 2011).

2.2. Les récifs

Le positionnement de l'imagerie sonar s'est nettement amélioré par l'utilisation d'un positionnement acoustique (disparition du décalage lié au calcul souvent approximatif du « layback ») et le calage par rapport à la bathymétrie fine (lorsque celle-ci est acquise en complément). Grâce à ce progrès technique, le positionnement et la délimitation des entités de taille significative de types récifs sont d'une très grande fiabilité. Des vérités-terrain restent nécessaires pour préciser l'habitat (roche infralittorale à algues photophiles,

coralligène, roche du large ?). Celles-ci peuvent ensuite être extrapolées au reste de la zone d'étude (prise en compte de la profondeur limite qui distingue les différentes biocénoses et qui varie d'une zone à l'autre).

Il subsiste quelques difficultés quant à l'identification d'enclaves d'autres habitats au sein de récifs. Par exemple, la présence d'enclaves sciaphiles (tombants et surplombs coralligènes, grottes semi-obscuras) au sein de roches infralittorales reste très difficile voire impossible à représenter cartographiquement. En effet, il s'agit de structures tridimensionnelles, souvent éparpillées en petites entités dont les surfaces sont sous-estimées lorsqu'elles sont représentées en deux dimensions. Elles sont néanmoins repérables à partir d'une bathymétrie fine en exploitant les informations de pente et d'orientation.

2.3. Les substrats meubles

Les substrats meubles (infra- et circalittoraux) sont parmi les habitats les plus délicats à cartographier. La bathymétrie va mettre en évidence une pente plus faible et l'absence de relief alors que le sonar mettra en évidence différents faciès acoustiques traduisant des variations de granulométrie. L'identification précise des biocénoses de substrats meubles impliquent donc la réalisation de vérités-terrain. En fonction des études, deux approches sont utilisées : (i) le prélèvement (benne ou drague) pour l'analyse de la granulométrie et de l'endofaune et (ii) l'observation *in situ*.

Le prélèvement de sédiments permet une analyse granulométrie fine ainsi qu'une identification de l'endofaune, sources de nombreuses informations qualifiant l'habitat ou la biocénose. Cependant, cette approche ponctuelle implique un grand nombre de réplicats et la représentation cartographique des interprétations est difficile. Les observations *in situ*, quant à elles, ne peuvent considérer qu'un certain nombre de critères parfois subjectifs (épi-mégafaune benthique, hydrodynamique sédimentaire, bioturbation, macrodéchets, traces de chalutages, etc.). Chaque point d'observation possède toutefois une emprise spatiale plus étendue (champ de vision, distance parcourue) et certains aspects sont mieux appréhendés (atteintes par abrasion mécanique par exemple). Dans les deux cas, les critères de qualification des biocénoses rejoignent, pour la plupart, ceux de la littérature (Pérès et Picard, 1964). L'idéal reste une combinaison des deux approches mais celle-ci n'est pas systématique et plus coûteuse.

3. Discussion

Les méthodes et les protocoles ont évolué dans le but de répondre principalement aux besoins de gestion des AMP (sites Natura 2000, Parcs nationaux, etc.). Bien qu'il subsiste toujours certains points discutables quant à la fiabilité de certaines interprétations, il existe un réel progrès dans la qualité des cartographies les plus récentes, en considérant l'augmentation des surfaces à étudier et la précision demandée (métrique, décimétrique, centimétrique).

La certitude de l'interprétation de la nature du fond est un critère essentiel pour évaluer la qualité d'une cartographie des habitats. Dans ce sens, les vérités-terrain se doivent d'être suffisamment représentatives. Montefalcone *et al.* (2013) préconisent par exemple 1 point de vérité terrain pour 1 hectare d'herbier de posidonies. Que faire sur des sites de plusieurs dizaines de milliers d'hectares ? Quelle est la fiabilité des cartographies bénéficiant de peu de vérités-terrain (Leriche *et al.*, 2004) ? Au-delà de l'intensité de vérité-terrain nécessaire, la qualité des investigations est également d'une grande importance dans le cas d'un objectif combiné « cartographie des habitats » et « inventaires patrimoniaux, analyse écologique ».

Pour ce qui est de la qualité des cartes, les limites ne sont pas techniques mais économiques. L'organisme en charge d'une étude cartographique doit alors faire le meilleur compromis possible entre les moyens mis en œuvre, les résultats attendus, la concurrence et le budget alloué à une étude. Concernant la qualité de l'analyse écologique de ces habitats, il n'y a pas eu jusqu'à récemment d'homogénéisations des méthodes d'évaluation qui se sont le plus souvent basées sur le dire d'expert. Le programme CARTHAM a fourni

une grille de critères d'évaluation par habitat (via le MNHN, Lepareur, 2011). En parallèle, de nombreux indicateurs existent ou sont en cours de développement (INDEXCOR en cours, RECOR, Deter *et al.*, 2012 ; PREI, Gobert *et al.*, 2009 ; POMI, Bennett *et al.*, 2011 ; BIPO, Lopez y Royo *et al.*, 2010 ; AMBI, Borja *et al.*, 2000 ; etc.). Par ailleurs, la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM) développe une approche écosystémique afin de qualifier la qualité écologique des habitats (Personnic S. comm. pers.).

Références bibliographiques

- Andromède Océanologie, 2008. Cartographie bathymétrique et biocénotique de l'ensemble du littoral de Marseille. *Contrat Ville de Marseille/Andromède Océanologie*.
- Astruch P., Rouanet E., Chemisky B., Seguin E., Bonhomme D., Goujard A., Le Direach L., Harmelin J.G., Vacelet J., Perez T., Chevaldonné P., Bellan G., 2012. Inventaires biologiques et analyse écologique de l'existant, Natura 2000 en mer, Lot n°6 « Calanques et îles marseillaises – Cap Canaille et Massif du Grand Caunet » FR 9301602. *Contrat COMEX SA/GIS Posidonie – Agence des Aires Marines Protégées, COMEX SA/GIS Posidonie* publ., 500 p + 9 annexes.
- Astruch P., Bonhomme D., Fraleu B., Sialelli J., Ruitton S., Donato M., Mayot N., 2008. Etude et cartographie des biocénoses marines remarquables du golfe de Fos (Bouches-du-Rhône, France). Carte A0 au 1/20 000 ème. *Contrat Port Autonome de Marseille & GIS Posidonie – Copetech-SM - HydroConsult*, GIS Posidonie publ.
- Bennett S., Roca G., Romero J., Alcoverro T., 2011. Ecological status of seagrass ecosystems: An uncertainty analysis of the meadow classification based on the *Posidonia oceanica* multivariate index (POMI), *Mar Pollut Bull.* 2011 Aug;62(8):1616-21.
- Bonhomme D., Astruch P., Goujard A., Bonhomme P., Antonioli P.-A., Ruitton S., Harmelin J.-G., Perez T., Thibaut T., Fourt M., Verlaque M., 2011. Description et cartographie des habitats et biocénoses du milieu marin du Parc national de Port-Cros. *Contrat GIS Posidonie – Parc national de Port-Cros, GIS Posidonie* publ. 388 p.
- Borja A., Franco J., Pérez V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar. Poll. Bull.* 40, 1100–1114.
- Deter J., Descamp P., Ballesta L., Boissery P., Holon F., 2012. A preliminary study toward an index based on coralligenous assemblages for the ecological status assessment of Mediterranean French coastal waters. *Ecol. indicat.*, doi:10.1016/j.ecolindi.2012.03.001.
- Gobert S., Sartoretto S., Rico-Raimondino V., Andral B., Chery A., Lejeune P., Boissery P., 2011. Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 58, Issue 11, 1727–1733.
- Lepareur F., 2011. Evaluation de l'état de conservation des habitats naturels marins à l'échelle d'un site Natura 2000 – Guide méthodologique - Version 1. Février 2011. Rapport SPN 2011 / 3, MNHN, Paris, 55 pages.
- Leriche A., Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Denis J., 2004. A one century suite of seagrass bed maps: can we trust ancient maps? *Est. Coast. Shelf Sci.* 59: 353-362.
- Lopez y Royo, C., Casazza, G., Pergent-Martini, C., Pergent, G., 2010. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecol. Ind.* 10, 380–389.
- Montefalcone M., Rovere A., Parravicini V., Albertelli G., Morri C., Bianchi C.N., 2013. Evaluating change in seagrass meadows: A time-framed comparison of Side Scan Sonar maps. *Aquatic Botany* 104, 204–212.
- Pérès J.M., Picard J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, Fr.*, 31 (47) : 5-137.

Le problème de la détermination de la nature des habitats et de leur état écologique dans un programme de cartographie.

Gérard Bellan¹, Florian Labadie², Denise Bellan-Santini¹

¹ Université d'Aix-Marseille, OSU Pythéas, Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), Station marine d'Endoume, 13007 MARSEILLE

² In Vivo-Environnement, Z.A Grande Halte 2)29940 LA FORET –FOUESNANT

Contact : gerard.bellan@univ-amu.fr

Mots-clefs : cartographie, Camargue, Habitats, indicateurs, sentinelles instabilité, chalutage.

Introduction

Les nouveaux outils de détection acoustique (sonar latéral, multi faisceaux...) utilisés notamment dans le cadre du programme initié par l'Agence des Aires Marines Protégées (A.A.M.P.) pour les levés cartographiques, les traitements et les interprétations de données ont contribué à déterminer la nature des Habitats (au sens des Directives européennes) rencontrés ainsi que leur état écologique. Cependant, il a été relevé des incertitudes, voire des inexactitudes, en termes de détermination exacte de certains Habitats, lesquels doivent intrinsèquement être définis par leurs composantes faunistiques et floristiques. Seuls des prélèvements de contrôle *in situ* à l'aide de bennes, dragues ou chaluts permettent de lever ces incertitudes sur un site donné.

L'A.A.M.P. a chargé le Cabinet d'Etude In Vivo d'exécuter un contrat intitulé : *Inventaire et cartographie des habitats marins patrimoniaux du lot Natura 2000 FR9301592 « Camargue » Novembre 2010*. In Vivo a été mandaté pour identifier et cartographier les biocénoses benthiques marines sur ce lot. Le but était donc d'établir cette cartographie au large de la Camargue afin d'y garantir le maintien ou la restauration du bon état de conservation des habitats marins et des espèces marines des directives « Habitats » et « Oiseaux ». L'objectif final est de promouvoir une gestion durable de cette zone dans le cadre de ces Directives, pouvant aussi être prise en compte dans la Directive Cadre « Stratégie du milieu marin » (DCSMM) préconisant son bon état écologique à l'horizon 2020.

Il fallait donc :

- 1 fournir une description correcte des habitats benthiques conforme aux normes de la Directive « Habitat »,
- 2 déterminer de manière aussi précise que possible le bon état écologique effectif du secteur en mettant en évidence les causes de dysfonctionnements éventuels,
- 3 Proposer des moyens d'y remédier pour atteindre les exigences communautaires.

1. Méthodologie

Le périmètre du lot Natura 2000 en « Camargue » s'établit des limites terrestres du Parc Naturel Régional de Camargue jusqu'à 3 miles nautiques, au droit du Parc, périmètre correspondant à la Zone Spéciale de Conservation « Camargue ». Dans un cadre limité par rapport au Contrat, seule la partie marine et la plage ont fait l'objet de prospections et d'une caractérisation des biocénoses. La partie marine de la zone considérée s'étend sur 50 Km de longueur et 3 milles nautiques de large. Dans cette communication, nous nous limiterons *grosso modo* au secteur s'étendant du Petit Rhône au Grand Rhône. Au total, 75 stations ont été prospectées, les prélèvements ont été effectués avec une benne Day Grab (voisine de la Van Veen).

Le matériel récolté a été traité selon les procédures classiques : analyses granulométriques, mesure du carbone organique total, détermination de la macrofaune (individus de taille > 1 mm, épifaune et endofaune) et caractérisation des peuplements-habitats. La qualité du milieu a été

établie en prenant en compte des indices écologiques (Richesse spécifique, Densité, Indice de Shannon, Equitabilité, etc.) et des indices biotiques de qualité environnementale de la macrofaune benthique (AMBI et BENTIX) développés dans le cadre du contrôle de surveillance des eaux de transition pour la Directive Cadre sur l'Eau (Agence de l'Eau et Ifremer), etc. Par ailleurs, nous nous sommes largement appuyés sur la notion d'indicateurs biologiques (Dauvin *et al.* 2010 ; Dauvin *et al.*, 2012).

2. Résultats et Discussion

Au cours des analyses que nous avons pratiquées sur les listes d'espèces, nous avons constaté qu'un petit nombre d'entre elles (*Athanas nitescens*, *Chaetozone gibber*, *Aloides gibba*, *Lumbrinereis latreilli*, *Myrthea spinifera*, *Nebalia bipes*, *Thyasira flexuosa*) présentaient, dans un certain nombre de prélèvements, des abondances non négligeables (Tableau 1). Bien qu'ayant été remarquées par Picard (1965), Bourcier (1976) dans des secteurs perturbés considérés alors comme hors des atteintes anthropiques, d'autres auteurs (Bellan, 1967 ; Bellan et Bourcier, 1982, 1990) avaient mis aussi en évidence l'abondance relative de ces espèces dans des secteurs largement soumis à des actions anthropiques (débouché en mer d'émissaires urbains ou industriels, ports, etc.). Bellan (1991) avait considéré ces espèces comme des « sentinelles » de perturbations anthropiques sur le milieu et spécifiquement, ce qu'il avait défini, en 1967, comme « zone subnormale » au large du débouché en mer de l'égout de Marseille. Si dans de telles conditions environnementales, elles ne regroupaient guère plus de 10% des espèces recueillies, elles pouvaient largement dominer le peuplement des stations prospectées avec plus de 50%, jusqu'à 75-80% des individus présents.

Au large du delta du Rhône et des côtes camarguaises, l'abondance des représentants de ce groupe d'espèces nous a intrigué. Si leur présence avait été reconnue par Picard dès 1965, dans des secteurs éloignés des aires anthropisées, comme partie intégrante de la composition faunistique bien définie des biocénoses, leur dominance cumulée dans ces secteurs ne dépassait guère, à l'exception de stations désignées comme « fonds meubles instables », quelques %, circonstances révélatrices d'instabilités au niveau du sédiment. Ces faibles pourcentages auraient dû, *a priori*, se retrouver dans l'ensemble de la zone prospectée. Néanmoins, dans 14 stations au large de la Camargue, ces dominances regroupées atteignaient 20 % des individus présents et s'établissaient à plus de 30 % dans 4 d'entre elles. De surcroît, ceci apparaissait comme contradictoire avec les résultats proposés par les indices biotiques AMBI et BENTIX pour estimer la qualité des eaux. L'AMBI affichait des « scores » globalement faibles, révélateurs d'un bon état écologique des masses d'eau ; 28 stations étant qualifiées d'« Excellente » et 45 de « Bonne » selon les normes de la Directive Cadre Eau (DCE). Le BENTIX, mieux adapté à la Méditerranée, affichait de même des « scores » globalement faibles, 64 stations qualifiées d'« Excellente », 9 stations de « Bonne » et 2 de « Moyenne » selon les normes DCE.

Un problème d'interprétation se posait : en l'état actuel des données environnementales disponibles, on ne saurait incriminer des teneurs anormales en polluants ou en matière organique dans les sédiments. On notera, d'ailleurs, que les espèces (*Capitella capitata*, *Malacoceros fuliginosus*, *Neanthes caudata*) recueillies dans la « zone polluée » de Bellan (1967), au contact direct des émissaires, n'ont été rencontrées en Camargue que de manière tout à fait marginale. En revanche, comme l'avaient déjà mis en évidence Picard (1965), Bourcier (1976), Bourcier *et al.* (1979), des perturbations hydrodynamiques des fonds, notamment de la couche superficielle du sédiment, pouvaient favoriser le développement d'espèces du groupe fonctionnel des « sentinelles d'instabilité ».

Partant de ces constats bien documentés, nous avons recherché quels types de perturbations avaient pu provoquer ce que nous avons observé.

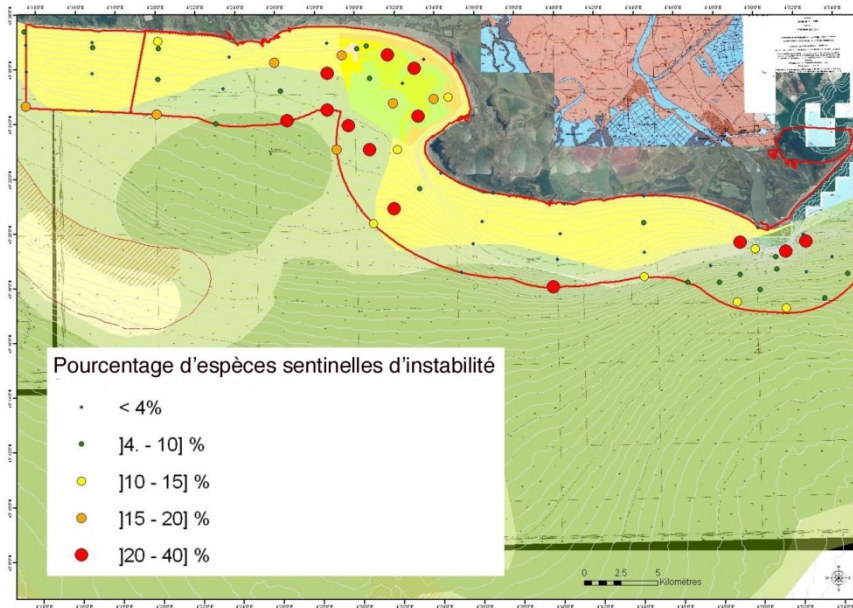


Fig.1 Proportion d'espèces « sentinelles d'instabilité »

Selon différentes constatations réalisées par les agents du PNR de Camargue, aucune perturbation importante (inondation, déplacement massif de sédiment, tempête, etc.) n'avait été enregistrée à l'époque des prélèvements. En revanche, de nombreux constats de chalutages en secteurs interdits sont observés depuis de nombreuses années. La mise en place de récifs anti-chalutage dans le Golfe de Beauduc dans les années 1970 est d'ailleurs un indicateur de l'activité intensive de chalutiers sur cette zone depuis des décennies. En l'état actuel, et à titre purement d'hypothèse bien que celle-ci ait été maintes fois documentée en d'autres lieux : sur les vasières Ouest-Gironde par Lesueur (1992) ou plus récemment en Baie de Seine orientale par Garnaud (2003) à titre d'exemples, nous suggérons l'action déstabilisante des chalutages répétitifs au large de la Camargue. Seules, des études spécifiques pourraient confirmer ou non, notre hypothèse de travail. Ces chalutages contribueraient à modifier sensiblement la composition faunistique des peuplements présents et, ce faisant, la caractérisation des Habitats tels que définis dans les Conventions et Directives internationales et/ou européennes. Cela ne signifie pas nécessairement un impact négatif des chalutages sur la composition ichthyologique des fonds au large du Rhône et des côtes camarguaises, mais nous conduit à proposer une vigilance accrue de l'activité des chalutiers présents sur le secteur, si à tout le moins, on se réfère à la Directive Cadre « Stratégie du milieu marin » en cours de mise en place, tout comme à la caractérisation des Habitats concernés du secteur par des méthodes classiques de prélèvements directs. Ceux-ci, considérés parfois comme impactants, doivent être limités et pratiqués à bon escient.

Remerciements

Nous tenons tout particulièrement à remercier l'Agence des Aires Marines Protégées, le Parc Naturel Régional de Camargue et plus généralement, toutes, entités et personnes qui ont facilité cette étude.

Références bibliographiques

- Bellan, G.- 1967. Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Première partie. Le secteur de Cortiou. *Rev. intern. Océanogr. méd.*, 6-7 :51-95. Deuxième partie. L'ensemble portuaire marseillais. *Idem.*, 8 : 51-95.
- Bellan G.- 1991. Characteristic, indicative and sentinel species: from the conception to the utilisation. 95-100 in : *Perturbation and recovery for terrestrial and aquatic ecosystems*, O. Ravera Ed., Ellis Horwood Ltd. Publ., Chichester, England, 613 p.

- Bellan, G. et M. Bourcier- 1982. Bilan écologique du détournement permanent d'un petit fleuve côtier dans l'émissaire d'eaux usées d'une grande ville. *Mar. Environ. Res.* 12: 103-111
- Bellan, G. et M. Bourcier- 1990. Les enseignements d'une étude de dix ans (1976-1986) des peuplements de substrats meubles au large d'un émissaire d'eaux usées: Marseille-Cortiou. *Cahiers Biol. Mar.*: 31: 225-249
- Bourcier, M. 1976. Economie benthique d'une baie méditerranéenne largement ouverte et des régions marines en fonction des influences naturelles et humaines. Univ. Aix-Marseille II, Thèse Doct. Etat : 1-161 + I-L.
- Bourcier M., Nodot C., Jeudy de Grissac A., Tiné J., 1979. Répartition des biocénoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la Rade de Toulon. *Téthys*, 9 (2): 103-112.
- Dauvin, J.C., Bellan, G, Bellan-Santini, D. 2010. Benthic indicators: From subjectivity to objectivity –Where is the line? *Marine Pollution Bulletin* 60 : 947–953.
- Dauvin J.-C., Alizier A. , Rolet C., Bakalem A., Bellan G. , Gomez Gesteira J. L., Grimes S., De-La-Ossa-Carretero et Del-Pilar-Ruso. 2012. Response of different benthic indices to diverse human pressures. *Ecological Indicators* 12:143–153
- Garnaud S., 2003. La sédimentation fine sur une plate-forme interne actuelle macrotidale: la Baie de Seine sud-orientale (France). Université de Caen/ Basse-Normandie, Sciences, thèse de doctorat. 307 + 78 p.
- Lesueur P., 1992. Les vasières de la plate-forme ouest-girondine (France): modèle faciologique et archive sédimentaire des flux côtiers. Thèse de 3ème cycle, Université de Bordeaux, 197 p.
- Picard J., 1965. Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Rec. Trav. St. mar. Endoume* , 52 (Bull. 36) : 1-160.

Tableau 1 Stations à fort pourcentage » d'espèces sentinelles d'instabilité »

Stations	42	51	52	57	64	70	71	72	76	78	102	127	139	143
Profondeur	16	12	15	15	16	9	11	24	9	10	31	19	16	25
Abondance Espèces indicatrices	31	46	48	50	149	218	70	34	94	169	31	84	171	41
Abondance totale	39	55	56	68	177	231	75	45	107	212	39	95	204	43
Biocénoses	V	V>S	V	V/S	V/S	V>S	S/V>D	V	D/S>V	S>V	S>V	S/V	V>S	V
<i>BENTIX</i>	5,586	4,792	4,928	5,174	4,958	4,792	5,254	4,45	5,848	3,77	4,782	4,408	4,264	4,244
% Espèces sentinelles d'instabilité	28,2	36,4	30,36	36,76	28,8	25,54	23,43	28,89	20,6	21,7	25,6	28,4	27,32	34,09
% Sables	2,56	10,91	5,36	12,34	25,42	29	28	4,44	21,5	27,83	30,77	30,53	14,22	2,33
% Vases	48,72	30,91	35,71	14,71	26,55	32,9	22,67	37,78	14,02	18,87	15,38	29,47	41,67	51,16
% Détritiques		3,63	8,93	5,88	2,26	6,06	10,67		23,36	3,77				2,33

% Sables : Proportion globale d'espèces caractéristiques des biocénoses des Sables Fins de Haut Niveau, des Sables Fins Bien bien calibrés (S) et des sabulicoles.

% Vases : Proportion globale des espèces caractéristiques de la Vase Terrigène Côtière (V) et de vasicoles.

% Détritiques : Proportion globale des espèces caractéristiques des biocénoses des Fonds Détritiques côtiers (DC) et Détritiques Envasés (DE) et des détriticoles

Assurance qualité des données géoréférencées : importance des métadonnées

K. Beryouni¹, E. Poizot¹, A. Murat¹ et Y. Méar¹.

¹ GEOCEANO, Cnam/Intechmer – F-50100 Cherbourg, France et LUSAC (EA 4253) UCBN, F-50100 Cherbourg, France.

Introduction

Pour gérer les données acquises au cours du temps, il est aujourd'hui courant d'alimenter en données un observatoire à l'aide d'un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) et de mettre en œuvre des outils d'interprétation et d'élaboration de produits d'information. Les observatoires de l'environnement rassemblent de nombreuses informations de nature différentes (physiques, sociales, économiques), hétérogènes, multi-source et multi-échelle.

Les métadonnées associées aux données doivent représenter au mieux la variété de cette information. En parallèle, la structure des métadonnées doit s'inspirer des normes en vigueur ou en développement dans ce domaine (ENV 12657 : standard européen, FGDC : standard USA, ISO/TC 211 : international, ISOb19115, Darwin Core, Dublin Core, Sensor ML).

Les systèmes de classification des habitats comme EUNIS (EUropean Nature Information System) s'appuient directement sur les informations géoréférencées collectées au sein de bases de données. La classification EUNIS (Louvel *et al.*, 2013) est établie à partir de paramètres biotiques et abiotiques. Cette classification affecte à un « habitat » un des 5282 codes répartis en 11 grands types de milieux qui correspondent pour les sédiments à quatre classes granulométriques : vase et vase sableuse (Mu), sable et sable envasé (Sa), sédiments mixtes (Mx) et sédiments grossiers (Cs). Cette classification sédimentaire simplifiée (Davies *et al.*, 2004 ; Connor *et al.*, 2004) est basée sur les travaux de Folk et Ward (1957).

La question posée par de nombreux chercheurs concerne l'influence éventuelle du choix des méthodes analytiques sur les résultats obtenus et donc sur la classification qui va être définie. De nombreuses études ont déjà été menées sur cette problématique (influence de la stratégie d'échantillonnage : Ramsey (1997), van der Perk (2008); influence de la technique de prélèvement : Flannagan (1970), Bett *et al.* (1994), influence de la technique de mesure granulométrique : Sternberg et Creager, (1961), Scott-Jackson et Walkington (2005); influence des protocoles d'analyse : Geffard *et al.* (2004), Arnett (2009). Malgré tous les travaux déjà réalisés, Forde *et al.* (2012) montrent que ces questions sont encore d'actualité.

Il est évident que la donnée est le résultat d'une succession de convolutions (chaque étape analytique influence les résultats obtenus aux l'étape suivantes et est influencée par les étapes précédentes). Il faut se poser la question sur la pertinence du choix des métadonnées qui accompagnent les données analytiques lors de leur intégration au sein des SGBG.

Les travaux présentés ont été réalisés dans le cadre de la participation de GEOCEANO (Cnam/Intechmer) au programme COLMATAGE financé par le GIPSA. Contrairement aux travaux précédents, ils concernent toutes les étapes de la chaîne analytique qui préside à la détermination du « faciès » sédimentaire (plan d'échantillonnage, technique de prélèvement, précision du géoréférencement, stockage et conservation l'échantillon, prétraitements, méthode d'analyse, choix des paramètres analytiques...). De plus, l'ensemble des tests ainsi réalisés a été appliqué (Beryouni, 2012) aux principaux faciès reconnus en baie de Seine (Crevel, 1986; Méar *et al.*, 2006).

Dans le cadre des programmes de recherche fondamentaux et/ou appliqués réalisés en Manche par notre groupe de recherche depuis 1985, une base de données sédimentologiques a été mise en place. En 2012, plusieurs milliers d'échantillons sont répertoriés dans cette base de données. En 2009-2010, dans le cadre du programme de recherche COLMATAGE (GIP SA), une refonte

complète de la base a été initiée. Pour optimiser l'utilisation des données archivées au sein de cette base, nous avons recherché une approche standardisée permettant une comparaison rapide des informations acquises à des moments différents, avec des méthodes différentes et une prise en charge variable. Pour mener à bien cette démarche, nous avons dû définir le plus précisément possible les différentes étapes de la chaîne analytique et quantifier, quand cela était possible, l'influence du choix fait par le sédimentologue sur le résultat obtenu en fin de processus. Pour illustrer notre propos, nous présentons ici à CARHAMB'AR 2013 un focus sur les choix à faire et leur importance relative en ce qui concerne la granulométrie par diffraction laser.

1. Tamis vs diffraction laser

La Querelle des Anciens et des Modernes radicalise une vieille opposition. Les uns, tournés vers le passé, croient qu'il convient d'imiter les prédécesseurs, parce qu'ils ont atteint la perfection dans leur art : ce sont les partisans des Anciens. Les autres, fixés sur le présent, pensent qu'il faut, au contraire, innover, trouver des solutions qui correspondent à l'esprit de l'époque. Si le tamisage est considéré comme une méthode éprouvée (la plupart des interprétations sont basées sur des données obtenues par cette méthode), le coût « technicien » devient progressivement rédhibitoire. Au coût technicien plus faible de la diffraction laser s'ajoute des avantages qui eux aussi ne sont pas négligeables (méthode très reproductible, simplicité apparente, automatisation et informatisation...). L'ensemble de ces raisons fait que la diffraction laser est largement mise en œuvre dans les études scientifiques pour l'environnement. Malgré ce fort engouement, de nombreux chercheurs s'opposent à l'utilisation d'une méthode analytique mise au point avec des poudres uniformes et monominérales, pour l'étude de sols et sédiments naturels qui par définition sont « hétérogènes ». Il ne nous appartient pas ici de prendre part à cette querelle car force est de constater que la diffraction laser est « La méthode granulométrique » la plus utilisée actuellement. Cependant, les problèmes rencontrés par les sédimentologues qui cherchent à obtenir une correspondance entre données granulométriques acquises par la combinaison suspension-tamis et par diffraction laser nous amènent à douter de la confiance que l'on peut donner à une donnée granulométrique. Des points analytiques fondamentaux ont été testés les uns après les autres afin de confirmer leur influence relative sur la valeur finale. Il est apparu que les paramètres suivants devaient être pris en compte : choix de la théorie (Mie ou Fraunhofer), choix du modèle optique, algorithmes, vitesse de la pompe, vitesse de recirculation, utilisation des ultrasons (durée et intensité), durée de la mesure, valeur d'obscurité, pH, présence d'agrégats, présence de carbonate, présence de gypse, présence de surfactant, présence de plusieurs modes granulométriques, présence de quelques grosses particules isolées...

Les figures suivantes illustrent l'influence de quelques uns de ces paramètres sur l'interprétation que l'on peut faire de la donnée granulométrique finale telle qu'elle est enregistrée dans une base de données. La figure 1a représente la distribution granulométrique d'un même échantillon de sable envasé analysé en modifiant simplement la vitesse de circulation de la suspension. La figure 1b représente le même échantillon mais lors des 3 runs analytiques ce sont les réglages des ultrasons qui sont modifiés. Dans les deux exemples présentés, les résultats obtenus sont significativement différents. Lorsque ces jeux de données sont ensuite insérés dans des outils interprétatifs tels que les diagrammes triangulaires ou les analyses statistiques, les résultats obtenus sont donc forcément biaisés.

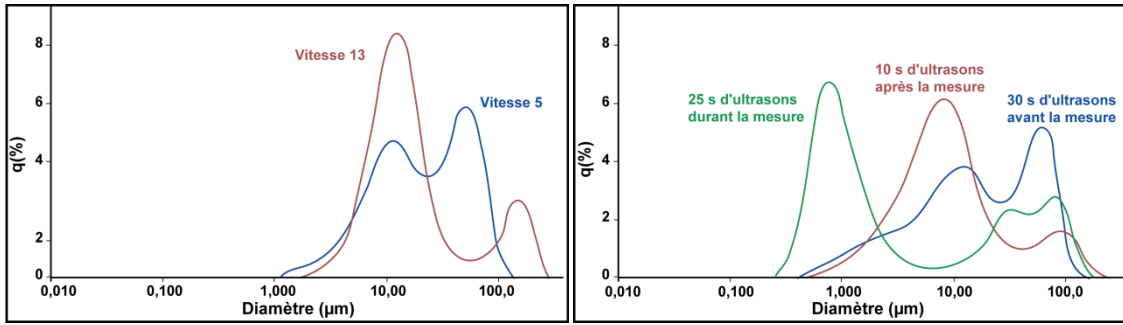


Fig.1 Influence de quelques réglages « annexes » sur les résultats granulométriques obtenus par diffraction laser. 1) influence de la vitesse de circulation de la suspension. 2) influence des ultrasons (intensité identique).

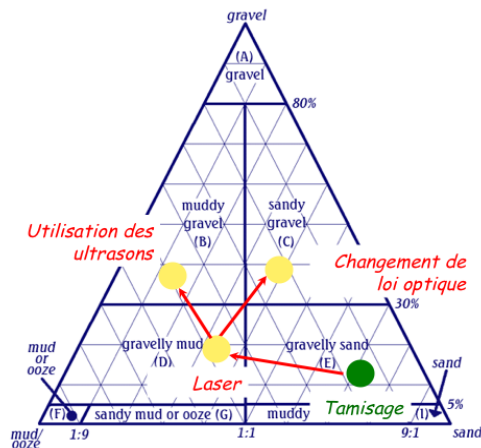


Fig.2 Influence du paramétrage de l'analyse granulométrique par diffraction laser sur la classification sédimentaire

Sur la figure 2, l'utilisation d'un tamis à 63 μm permet un classement dans la catégorie « gravelly sand ». La diffraction laser amène à une classification différente, ce qui peut être corrigé si une fonction de transfert existe entre les jeux de données. Cependant, il apparaît que le choix des paramètres analytiques fondamentaux (ici l'utilisation d'ultrasons et le changement de la loi optique) ont une influence au moins aussi grande sur le résultat obtenu que la méthode d'analyse granulométrique elle-même.

2. Conclusion

Des outils comme les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont maintenant devenus d'usage courant grâce à l'évolution de leur interface d'utilisation (GUI). Ils permettent, entre autres, de sélectionner une zone géographique et de faire apparaître différentes couches (layers) informatives. Lorsque le SIG est relié à une base de données sédimentologiques, il est ainsi possible de faire apparaître sur un écran les différents prélèvements réalisés dans la zone d'étude. Une étude spatiale et/ou temporelle des paramètres analytiques associés à ces points de prélèvement est alors très aisée. Cette facilité n'est cependant qu'apparente et trompeuse car malgré les différentes normes qui conditionnent la gestion des données et métadonnées de nombreuses informations relatives aux conditions analytiques ne sont pas prises en compte. Après avoir pris conscience du problème, il faut pouvoir en tenir compte. Les nombreuses études menées sur la comparaison entre les résultats obtenus par tamisage-suspension et diffraction laser illustrent bien le fait que la communauté scientifique est consciente du problème et essaie de proposer des solutions. Ainsi, c'est plus d'une trentaine de modèles numériques ou fonction de transfert qui ont été proposés depuis l'avènement du granulomètre laser au milieu des années 1980. La quasi totalité des modèles proposés est affecté par leurs auteurs d'une confiance de haut niveau mais toujours suivant leurs auteurs ne sont applicables que pour les faciès sédimentaires

étudiés et donc non-exportables à d'autres sites. Cette situation semble provenir de la complexité de la méthode par diffraction laser mise en œuvre et de la multitude de paramètres capables de modifier drastiquement la valeur du résultat final. En attendant de proposer un protocole universel de transformation entre deux jeux de données, il est suggéré d'au moins considérer le fichier résultat donné par un granulomètre laser dans sa totalité, en tant que métadonnées pour une interprétation de qualité de la donnée granulométrique.

Références bibliographiques

- Arnett M. P., 2009. Particle Size Distribution of Gypseous Samples. PhD thesis, Texas A&M University, 102 pp.
- Bett B. J., Reusel A. V., Vincx M., Soltwedel T., Pfannkuche O., Lamshead P. J. D., Gooday A. J., Ferrero T. et Dinert A., 1994. Sampler bias in the quantitative study of deep-sea meiobenthos. *Marine Ecology Progress Series*, 104, 197-203.
- Connor, D. W., J. H. Allen, N. Golding, K. L. Howell, L. M. Lieberknecht, K. O. Northen and J. B. Reker, 2004. The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland Version 04.05. Peterborough, JNCC. ISBN 1 861 07561 8 (internet version) URL : www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification.
- Davies S.M., Wohlfarth B., Wastegård S., Andersson M., Blockley S. & Possnert G. 2004. Were there two Borrobol Tephros during the early Lateglacial period: implications for tephrochronology? *Quaternary Science Reviews* 23 : 581-589.
- Flannagan J. F., 1970. Efficiencies of various grabs and corers in sampling freshwater benthos. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 27, 1691-1700.
- Folk R. et Ward W., 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentology and Petrology*, 27(1), 3-26.
- Forde J, Collins PC, Patterson A, Kennedy R., 2012. Comparison of granulometric methods and sampling strategies used in marine habitat classification and Ecological Status assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (5), 1018–1028.
- Geffard O., His E., Budzinski H., Chiffolleau J. F., Coynel A. et Etchebe H., 2004. Effects of storage method and duration on the toxicity of marine sediments to embryos of *Crassostrea gigas* oysters. *Environmental Pollution*, 129(3), 457-465.
- Sternberg R. W. et Creager J. S., 1961. Comparative efficiencies of size analysis by hydrometer and pipette methods. *Journal of Sedimentary Research*, 31 (1), 96-100.
- Louvel J., Gaudillat V. et Poncet L., 2013. EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce. MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 289 p.
- Ramsey A., 1997. A systematic approach to the planning of urban networks for walking. In: *The Greening of Urban Transport* (Eds R. S. Tolley). Wiley, Chichester.
- Scott-Jackson J. E. et Walkington H., 2005. Methodological issues raised by laser particle size analysis of deposits mapped as Clay-with-flints from the Palaeolithic site of Dickett's Field, Yarnhams Farm, Hampshire, UK. *Journal of Archaeological Science*, 32, 969-980.

Quelques perspectives de recherche pour minimiser les problèmes de caractérisation et de cartographie des habitats côtiers

Christian Hily¹

¹ UMR 6539 CNRS UBO, IRD IFREMER, IUEM;

Contact : christian.hily@univ-brest.fr

Mots clefs : biocénose, biotope, écotone, étage hydroclimatique, typologie, prospective

Introduction

Le programme CARTHAM a révélé les limites actuelles de la cartographie des habitats : pour la première fois l'application à grande échelle spatiale et en simultané des typologies Natura, Eunis et Rebenat par différentes équipes (bureaux d'études et experts associés) a révélé les lacunes des différentes approches typologiques, les problèmes concrets d'équivalence entre ces trois typologies, les imprécisions limitant la fiabilité et l'homogénéité des diagnostics, et la variabilité induite par le choix des engins et méthodes d'échantillonnage dans ces diagnostics. Pour la première fois également à large échelle géographique, des acquisitions de données récentes se sont portées sur des secteurs disposant de données antérieures et de cartographies plus anciennes. Ces retours sur site ont révélé des difficultés pour mettre en cohérence les données nouvellement acquises et les cartes historiques et/ou les cartes numérisées et harmonisées.

Deux phases sont nécessaires pour la cartographie des habitats : 1 - Leur caractérisation : identifier dans une typologie, l'habitat correspondant à un jeu de données spatialisé (point, site, station) basé sur des éléments du biotope et/ou de la biocénose, 2 - La délimitation géographique des unités d'habitat : tracer les contours d'un polygone considéré comme homogène en termes de biotope et de biocénose. A ces deux niveaux, des problèmes sont restés irrésolus, malgré les échanges informels entre les acteurs, mettant en évidence la nécessité de travail en amont, concertation mais aussi travaux de recherche plus fondamentaux sur certains habitats et certains concepts écologiques. Ils ont induit des interprétations différentes d'un groupe à l'autre et des incertitudes, engendrant des incompréhensions et des quiproquos. Pour limiter ces problèmes et éviter parallèlement que la recherche de consensus n'amène à une trop grande dégradation des informations disponibles (tentation de remonter à un niveau hiérarchique supérieur dans la typologie) qui ne révélera pas la diversité et la richesse des habitats réellement présents dans un secteur, il est important d'inventorier précisément ces incertitudes et d'essayer d'avancer point par point pour trouver des solutions satisfaisantes pour tous.

L'analyse proposée ici consiste donc à explorer quelques-uns des principaux problèmes rencontrés à ces deux étapes, tenter de mettre en évidence leur origine, et proposer des perspectives pour les résoudre, pistes méthodologiques mais donc également pistes de recherche plus fondamentale. Trois cas généraux se sont révélés : les limites méthodologiques, les lacunes de la connaissance et les limites liées à la structure même des écosystèmes.

1. Identifier un habitat

1.1. Améliorer la typologie

Pour identifier l'habitat, la connaissance des caractéristiques du biotope (nature du substrat, profondeur...) et de la biocénose (espèces dominantes, caractéristiques) est nécessaire. De manière générale les approches hiérarchiques privilégient dans les premiers niveaux les caractéristiques globales du biotope : substrat, exposition à l'hydrodynamisme et domaine bathymétrique (supralittoral, médiolittoral, infralittoral, circalittoral côtier et circalittoral du large). C'est dans ces catégories définies *a priori* que se déclinent ensuite les différents habitats intégrant

les caractéristiques des biocénoses. Ce principe est pratique et est efficace pour la plupart des cas. Cependant il s'avère que plusieurs types de biocénoses peuvent se développer dans les zones de limite et de transition entre ces domaines. Des ambiguïtés persistent alors dans les zones limites entre ces grands types (domaines ou étages).

Ces différentes ambiguïtés et contradictions entre typologies ont été abordées lors de l'élaboration de la typologie Rebut mais leurs implications continuent de perturber les interprétations et rendus cartographiques. Par exemple en milieu meuble, des contradictions persistent entre typologies dans les définitions d'habitats entre la zone supralittorale et la zone médiolittorale, voire au sein d'une même typologie (ex : typologie Natura entre les laisses de mer et sables des hauts de plage (I.e.1210 et 1140-1). De même, à la limite entre le médio et l'infralittoral, dans le bas de la zone intertidale, les caractéristiques biocénologiques des habitats des sédiments sableux ne sont pas aujourd'hui suffisamment précises pour prouver l'existence de deux habitats différents. Deux approches différentes ont été privilégiées selon les équipes pour cartographier ces secteurs : celle faisant « remonter » les sables de l'infralittoral dans la zone de saturation en eau (1110) et celle se basant sur une limite tidale : sables découvrants/sables non découvrants (1140 -3). Ces deux approches conduisent à de fortes différences dans les rendus cartographiques. Une étude précise de ces habitats s'avère donc indispensable, un vrai programme de recherche est nécessaire à une échelle géographique suffisamment large pour disposer d'un cadre général applicable aux côtes Manche-Atlantiques. Un problème important de séparation des habitats des étages infralittoral et cirralittoral a également été soulevé dans le cadre du projet Cartham en particulier en Manche, probablement lié aux forts courants de marée qui complexifient les structures hydroclimatiques des masses d'eau sur lesquelles s'appuie le concept d'étage. Des prospections organisées et un travail complet de recherche biocénologique pour étayer les différentes hypothèses s'avèrent là aussi indispensables.

Les limites entre les domaines des eaux océaniques et des eaux de salinité variable (ou de transition, anciennement estuariennes) mériteraient aussi d'être approfondies. La délimitation des habitats sur la base de leur biocénose reste problématique et peut induire de larges différences d'appréciation. Si quelques espèces caractéristiques de dessalures telles que les Scrobiculaires et *Macoma* étaient classiquement utilisées pour identifier la dessalure, celles-ci ne sont pas ou plus présentes dans de nombreux sites sous les impacts anthropiques multiples et du changement climatique. A leur place des espèces exogènes et/ou proliférantes telles que les huitres du Pacifique, les Spartines, les Gracilaires, les ulves ou des espèces à large spectre écologique (coques) se sont installées mais n'apportent pas les mêmes informations, ayant chacune des exigences écologiques soit plus larges (huîtres, coques) ou plus étroites (gracilaires, spartines). Les résultats des travaux menés dans le cadre de la DCE sur les eaux de transition seraient à exploiter et approfondir pour avancer sur cette question.

Enfin certains habitats des zones au biotope complexe et hétérogène restent encore à préciser à la fois dans le descriptif du biotope et de leur biocénose. C'est le cas des habitats de sédiments grossiers et de galets et cailloutis, fréquents en particulier en Manche. La complexité et l'hétérogénéité se situe à plusieurs échelles spatiales imbriquées. A petite échelle (ordre du mètre carré), les éléments du substrat peuvent se présenter en plusieurs couches de taille élémentaire très disparate : galets et blocs, cailloutis, se surimposant à des sédiments grossiers généralement dépourvus de pélites mais pouvant contenir localement une fraction non négligeable de sables fins. Galets et cailloutis sont occupés par une épibiose sessile, tandis que les sédiments sous-jacents sont principalement des invertébrés endogés souvent vagiles. Les images vidéo obtenues dans de tels secteurs (échelle de l'ordre de 1000 m² à 1 ha) montrent que les taux de couvertures des sédiments par les galets et cailloutis sont très variables et qu'ils se distribuent souvent en patchs de surfaces très variables. Ainsi selon le type d'engin d'échantillonnage utilisé : benne, drague chalut, l'image donnée par la biocénose est elle-même très variable et pouvant être en contradiction apparente avec les données obtenues sur le biotope par vidéo, sonar latéral ou sondeur multifaisceaux, d'où des diagnostics d'habitats et des rendus cartographiques pouvant apparaître très contradictoires d'une étude à l'autre, d'autant que selon l'on se trouve à la limite des habitats de substrat dur et de substrat meuble.

1.2. Améliorer et harmoniser le processus de pose de diagnostic

Il est donc important de disposer d'éléments suffisamment précis sur les espèces présentes dans un biotope, leur écologie et leur tolérance aux principaux facteurs de l'environnement, pour poser le diagnostic. L'expérience récente de Cartham montre que, bien souvent, les données disponibles en termes de liste d'espèces et d'abondance sont plus précises que la description donnée pour l'habitat type. Des approches méthodologiques de traitement des données sont utilisées couramment pour regrouper les stations « homogènes » en particulier les analyses multivariées basées sur les matrices d'abondance des espèces. Le problème d'échelle spatio-temporelle est cependant un handicap pour la caractérisation consensuelle des habitats par ces analyses. En effet les regroupements de points d'observations se réalisent sur les similarités/dissimilarités des cortèges d'espèces des stations intégrés dans la matrice. Les résultats des regroupements ne sont donc pertinents qu'à l'échelle de la zone étudiée, ils identifient des « assemblages » d'espèces et des groupes de stations, réels à la période de l'échantillonnage et dans le secteur géographique, mais qui ne correspondent pas à des biocénoses d'« habitats types » différents. Le positionnement d'une station dans un groupe peut ne dépendre que de la présence ou l'abondance d'une ou deux espèces, non déterminantes pour différencier un habitat, ou dont l'absence n'est que temporaire ou accidentelle. Ces analyses ne sont donc que des aides (certes précieuses) à l'interprétation et l'identification des habitats.

La description de l'habitat type (biotope, faune et flore) devrait donc être suffisamment précise, en donnant en particulier des éléments sur les possibilités de différentes « variantes » d'assemblages d'espèces pour aider à lever les ambiguïtés. Dans le cadre de la typologie Eunis seules quelques lignes présentent les espèces caractéristiques, souvent sur des bases d'espèces présentes dans les eaux du Royaume Unis et de mer du Nord. Une démarche française est initiée pour faire intégrer dans la typologie de nouveaux habitats rencontrés sur les côtes françaises, mais c'est un long processus non abouti. La typologie Rebent ne dispose pas encore de descriptif particulier des habitats et s'appuie principalement sur les descriptifs Eunis. Actuellement le Ministère de l'Ecologie a chargé le MNHN de proposer une typologie harmonisée dont une première version pour les côtes Manche-Atlantiques reprenant le principe de la typologie Rebent a été proposée en décembre 2012. L'année 2013 devrait permettre de valider une version consensuelle. Une description précise de chaque habitat de cette « typologie intégrative » est donc une étape urgente indispensable. Elle devrait également accélérer l'intégration dans les descriptions européennes des habitats Eunis, des espèces caractéristiques présentes dans les biotopes du Golfe de Gascogne en particulier. En parallèle il serait souhaitable que la faisabilité d'une approche de type de clé d'identification soit étudiée. Sûrement très difficile à construire, une telle clé faciliterait le diagnostic et homogénéiserait les rendus cartographiques en limitant au maximum les interprétations personnelles quasiment obligatoires aujourd'hui. Cette recherche d'une clé d'identification des habitats aurait également le mérite d'identifier plus précisément les cas litigieux qui rendent souvent cette interprétation délicate.

2. Identifier les limites d'un habitat : le problème des zones de transition

L'expérience montre que ces cas litigieux sont la plupart du temps révélateurs de zones de transition entre deux habitats différents. Il s'agit là d'un point crucial qui mérite une réflexion approfondie pour dégager une ligne de conduite harmonisée et consensuelle.

Dans certains cas en effet les profils des espèces présentes dans un site présentent des caractéristiques propres à plusieurs biocénoses d'habitats-types différents. Il peut ne pas s'agir cette fois d'un manque de précision dans la définition des habitats types, mais de stations situées dans des zones de transition entre deux habitats. Dans la majorité des cas les limites entre deux habitats sont en effet progressives et constituent des zones de transition encore appelées écotones ou zones écotonales, dont l'étendue est très variable. Seuls quelques habitats particuliers (herbiers, bancs d'hermelles, bancs d'ophiures...) ou les contacts substrat dur/substrat meubles sont limités de manière précise, visuelle et indiscutable et présentent une véritable frontière bien commode pour la cartographie. L'exercice de cartographie et sa valorisation (calcul

des surfaces...) impose, jusqu'à présent, des limites nettes entre habitat ne serait-ce que pour des raisons techniques de différenciation des polygones. Les zones de transition entre différents habitats sont pourtant une réalité écologique et le problème de leur intégration dans un rendu cartographique demeure non résolu de façon satisfaisante.

Si quelques essais d'identification cartographiques de zones de transition, ont pu avoir lieu (en particulier en substrat rocheux subtidal dans le cadre de Cartham), son utilisation systématique ne semble ni souhaitable ni réalisable. En effet d'une part, une zone de transition constitue un nouveau polygone qui présente donc des limites tracées entre les deux habitats types qu'elle sépare, on reporte donc le problème. Son application rend d'autre part la typologie inopérable car un habitat peut être en contact avec un grand nombre d'autres d'où un nombre de cas trop important rendant toute présentation cartographique d'ensemble illisible.

D'autre part l'étendue géographique réelle des zones de transition est très variable selon l'environnement : si en milieu intertidal ou proche infralittoral les gradients physiques et édapho-climatiques sont forts et imposent des changements rapides des biotopes et donc des zones de transition de faible étendue, celles-ci peuvent s'étendre sur de grandes distances plus en profondeur comme par exemple sur la plateforme continentale du Nord Gascogne où les conditions sont sténoèces. Se retrouvent ici les questions soulevées par les transitions entre les étages infralittoraux et circalittoral côtier et entre le circalittoral côtier et circalittoral du large.

Enfin de plus des zones souvent instables dans le temps avec des mouvements sédimentaires parfois de grande ampleur intervenant lors des événements tempétueux et conduisant à l'installation de biocénoses temporaires où se côtoient des cortèges d'espèces de plusieurs habitats pendant quelques temps. Ces zones de transition illustrent ainsi les limites de la démarche classique de cartographie. Les pistes possibles pour diminuer ces problèmes inhérents à la structure des écosystèmes benthiques, peuvent aller dans au moins deux directions : soit donner une priorité aux caractéristiques du biotope par rapport à la composition spécifique en fixant arbitrairement les limites étages (profondeur par exemple) ou bien rechercher par des études d'écologie et de physiologie, les espèces indicatrices sensibles à l'amplitude des variations annuelles et pluriannuelles des facteurs hydroclimatiques (lumière, salinité, température) et obtenir un indicateur basé sur l'abondance relative de ces espèces dans un site.

Conclusion

Le champ des investigations et des travaux de recherche à mener pour améliorer la typologie et l'identification des habitats côtiers reste donc encore vaste. Cet exercice permet une fois de plus de prendre la mesure de la diversité et la complexité des écosystèmes marins et des difficultés de la catégorisation et de la délimitation de frontières là où n'existe que continuité, dispersion et échanges.

Session 6 : Évolution spatiotemporelle et indicateur surfacique

Evolution inattendue des récifs à *Posidonia oceanica* dans le golfe de Saint-Florent (Corse)

Christine Pergent-Martini¹, Marina Bonacorsi¹, Dorian Plantecoste¹, Gérard Pergent¹

¹ Equipe « Ecosystèmes Littoraux », FRES 3041, Université de Corse, 20250 Corte, France

Mots clefs : Cartographie, dynamique, herbiers, aménagements littoraux, Corse

Introduction

Les herbiers de magnoliophytes marines jouent un rôle clés dans les équilibres littoraux méditerranéens (Hemminga & Duarte, 2000). Parmi les cinq espèces présentes, *Posidonia oceanica* joue un rôle majeur tant au niveau écologique, sédimentaire qu'économique (Boudouresque *et al.*, 2012). Dans le cadre du Plan d'Action pour la Conservation de la Végétation Marine en Méditerranée (UNEP-MAP-RAC/SPA, 1999), les parties contractantes à la Convention de Barcelone se sont engagées à assurer la conservation des herbiers et plus spécifiquement les « monuments naturels » qu'ils peuvent constituer (récifs-barrières, atolls et herbiers tigrés).

La formation de récifs-barrières résulte de la conjonction d'un environnement particulier (fonds de baies abritées, impacts humains réduits) et de la croissance verticale des rhizomes de *Posidonia oceanica*. La croissance de la matte conduit à la formation d'une véritable barrière végétale, avec émergence de la partie supérieure (faisceaux foliaires) et l'apparition d'un lagon entre la côte et le récif (Molinier & Picard, 1952). Les atolls de *Posidonia oceanica* constituent également des monuments naturels caractéristiques des eaux peu profondes ; leur dynamique est encore peu connue et ils n'ont été observés que dans cinq pays du bassin Méditerranéen (France, Italie, Libye, Tunisie et Turquie (Pergent *et al.*, 2007). Du fait de leur rareté et de leur fragilité, ces monuments naturels nécessitent un effort de conservation particulier (Relini, 2000).

Du fait d'une pression anthropique réduite la Corse dispose d'herbiers à *Posidonia oceanica* très étendus (63 000 ha *in* Pasqualini *et al.*, 1998) et de nombreux monuments naturels (Vela & Garrido-Maestracci, 2008) dont une plate-forme récifale unique en Méditerranée, située dans le Golfe de Saint-Florent (Boudouresque *et al.*, 1985).

Afin de mieux comprendre la dynamique de ces structures et l'impact éventuel des aménagements littoraux sur leur conservation un suivi de monuments naturels présents dans le golfe de Saint-Florent est réalisé sur une cinquantaine d'années.

1. Matériel et méthodes

La zone d'étude est située sur la façade occidentale de la Corse (42.67874°N ; 9.290606°E). Les photographies aériennes utilisées couvrent une période comprise entre 1960 et 2006 (Tableau 1). Le « Plan Terrier » de la Corse établi à la fin du XVIII^{ème} siècle (1/10 000) est également pris en compte pour le suivi du trait de côte (Testevuide & Begidis, 1770-1795).

Tableau 1 Caractéristiques des photographies aériennes utilisées.

Date	Type	Echelle	Taille du pixel
Juillet 1960	Niveaux de gris	1/25 000	1.2 m
Juin 1974	Niveaux de gris	1/8 000	0.2 m
Août 1982	Niveaux de gris	1/30 000	0.8 m
Juin 1994	Couleurs naturelles	1/20 000	0.5 m
Mars 2006	Couleurs naturelles	1/20 000	0.5 m

Un traitement d'images est appliqué à chaque photographie à l'aide du logiciel Envi 4.4® selon la méthode de Pasqualini *et al.* (1998). Les données terrain sont acquises pendant les étés 2010 et 2011 par l'utilisation d'un seau de calfat et en apnée; la localisation des données est réalisée à l'aide d'un GPS (Garmin C260) et la profondeur relevée avec un sondeur à main (Plastimo Echotest II).

La typologie utilisée pour la définition des principales biocénoses est celle validée par les parties contractantes à la Convention de Barcelone (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2006) et l'échelle de fiabilité utilisée est celle de Pasqualini *et al.* (1997). L'ensemble des données est intégré dans un Système d'Informations Géographiques (ArcGis 9.3®).

2. Résultats

Au niveau du golfe de Saint-Florent, la carte obtenue à partir des photographies aériennes de Juillet 1960 (Figure 1) fournit un état de référence des principaux peuplements avant la mise en place des aménagements littoraux (e.g. port de Saint-Florent, digues, enrochements).

L'herbier à *Posidonia oceanica* est présent au niveau du récif barrière (à l'ouest) et de la plate-forme récifale (au sud) alors que l'herbier à *Cymodocea nodosa* est observé dans le secteur nord-est. Le récif barrière présente une structure classique, parallèle à la côte, délimitant un petit lagon, occupé par de la matte morte. La plate-forme récifale, de forme triangulaire, est occupée dans sa partie centrale par de la matte morte, ponctuellement recouverte de sable et l'esquisse d'un micro-atoll est observée dans la partie sud-ouest de la structure.

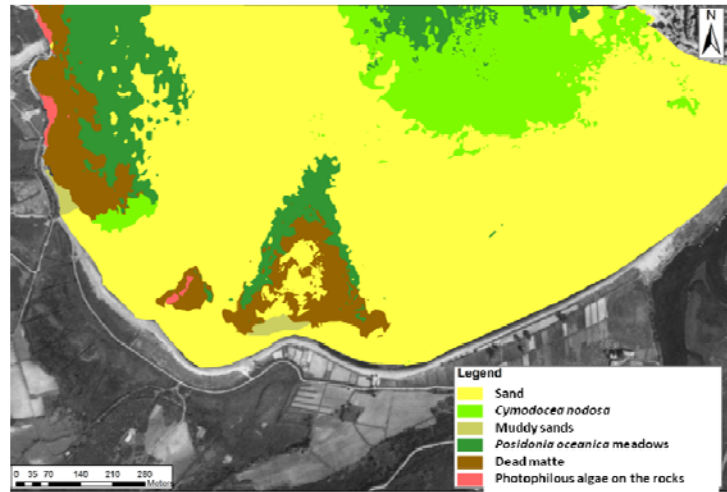


Fig.1 Cartographie des principaux peuplements et types de fonds en 1960

La carte obtenue à partir des photographies aériennes de Mars 2006 (Figure 2) montre que les surfaces totales couvertes par l'herbier à *Posidonia oceanica* sont en légère diminution (9.5 %) alors que celles de l'herbier à *Cymodocea nodosa* diminue fortement (59.8 %).

La fiabilité est maximale pour la carte de 2006 (93%) et plus réduite pour celle de 1960 (74%) du fait du type de photographie utilisée (en niveaux de gris) et du nombre réduit de données terrain.

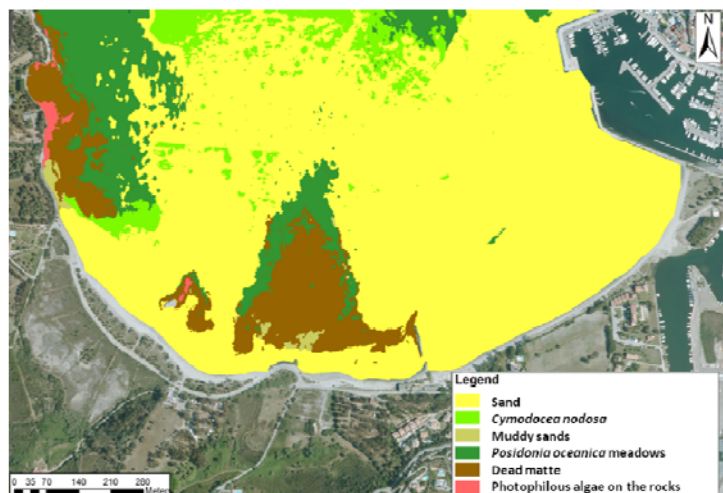


Fig.2 Cartographie des principaux peuplements et types de fonds en 2006

En revanche, au niveau du récif barrière et de la plate-forme récifale la surface de l'herbier à *Posidonia oceanica* augmente respectivement de 10 % et 2 % ; la surface du micro-atoll augmente quant à elle de 72 % (Fig).

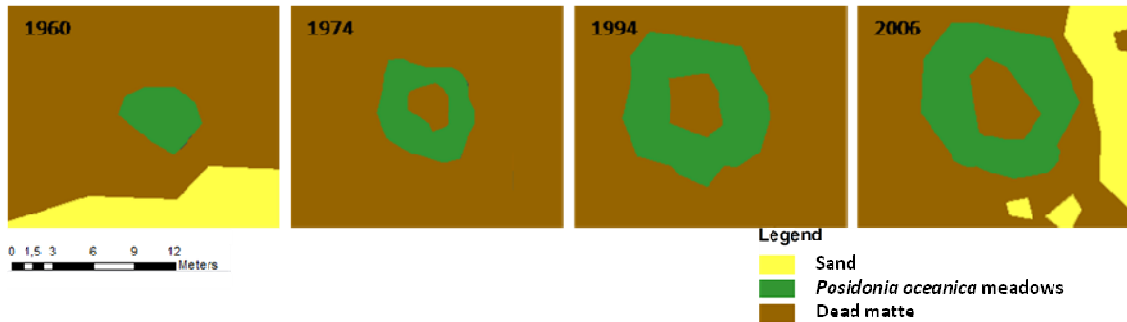


Fig.3 Evolution du micro-atoll entre 1960 et 2006. Sur les images de 1960 et 2006, la matte morte est partiellement masquée par les substrats meubles.

L'évolution du trait de côte, au cours des 200 dernières années, montre :

- Une progression entre la fin du XVIII^{ème} siècle et 1960 (+0.27 à +0.39 m.an⁻¹),
- Un recul important du trait de côte entre 1960 et 1974 (-2.70 m.an⁻¹), période de construction du port.
- Un recul plus régulier et de moindre ampleur, depuis 1974 (-0.78m.an⁻¹).

3. Discussion

L'utilisation de la même méthode (traitement d'images, taille du pixel, précision du positionnement) sur des clichés photographiques anciens (depuis 1960) a permis de s'affranchir des imprécisions liées aux méthodes cartographiques et de mieux appréhender l'évolution effective des surfaces couvertes par l'herbier à *Posidonia oceanica* (Figures 1 et 2). Ainsi il apparaît qu'en dehors de la partie Nord-Est où la construction du port a entraîné une réduction des herbiers à *Posidonia oceanica* de 9.5 %, on enregistre une stabilité, voire une progression de cette biocénose :

(i) Les surfaces occupées par *Posidonia oceanica* au niveau de la **plate-forme récifale sont restées stables** au cours de ces cinquante dernières années. Les régressions de la partie centrale sont compensées en bordure de littoral. En effet, le recul du trait de côte, concomitant à la construction du port, semble avoir favorisé la recolonisation de mattes mortes situées entre la plate-forme récifale et la plage. Cette progression, estimée à trois mètres, depuis 1960, correspond à une vitesse de colonisation moyenne de 6.0 cm par an, qui est tout à fait compatible avec la vitesse de croissance des rhizomes plagiotropes.

(ii) Les surfaces occupées par *Posidonia oceanica* au niveau du **récif barrière sont en légère progression** (1.2 %). Cette dynamique s'explique par une extension de l'herbier au niveau du front interne et une stabilité au niveau du front externe (tombant de mat). Cette progression est estimée en moyenne de 5.3 cm.an⁻¹, depuis 1960.

(iii) Le **micro-atoll présente une progression significative**, puisque sa surface passe de 21 m² en 1960 à 85 m² en 2006, soit une vitesse de colonisation moyenne de 4.2 cm.an⁻¹. Deux structures similaires (micro-atoll en formation) semblent également présenter une progression significative dans ce secteur. Leur vitesse de colonisation moyenne est de 4.3 (± 0.3) cm.an⁻¹.

Ainsi, il apparaît clairement que l'herbier superficiel à *Posidonia oceanica* situé au fond du golfe de Saint-Florent présente une dynamique progressive. Même si cette dynamique est relativement limitée, du fait de la vitesse de croissance de la plante, elle constitue un exemple unique en Méditerranée dans la mesure où les aménagements littoraux se

traduisent généralement par une régression de l'herbier (Montefalcone *et al.* 2007, Boudouresque *et al.*, 2009).

Remerciements

Les données présentées sont en partie issues de la campagne CAPCORAL effectuée sur le navire L'Europe de l'Ifremer dans le cadre de l'UMS Flotte Océanographique Française ; ce travail a bénéficié du soutien financier de l'Agence des Aires Marines Protégées.

Références bibliographiques

- Boudouresque C. F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2012. Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. RAMOGE and RAC/SPA publisher, Tunis: 1-202.
- Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Lefevre, J., 1985. Cartographie des peuplements benthiques marins de Corse : I. La formation récifale à *Posidonia oceanica* de Saint-Florent. *Annales Institut océanographique*. 61(1), 27-38.
- Boudouresque, C.F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., Verlaque, M., 2009. Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina* 52, 395-418.
- Hemminga, M.A., and C.M. Duarte. 2000. Seagrass Ecology. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 1-298.
- Molinier, R., Picard, J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Annales de l'Institut Océanographique* 27, 157-234.
- Montefalcone, M., Albertelli, G., Morri, C., Bianchi, C.N., 2007. Urban seagrass: status of *Posidonia oceanica* facing the Genoa city waterfront (Italy) and implications for management. *Mar. Poll. Bull.* 54: 206–213.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P., Pergent, G., 1998. Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar : Application of the island of Corsica (France). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 47(3), 359-367.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Fernandez, C., Pergent, G., 1997. The use of airborne remote sensing for benthic cartography : advantages and reliability. *International Journal of Remote sensing* 18(5), 1167-1177.
- Pergent, G., Djellouli, A., Hamza, A.A., Ettayed, K.S., Alkekli, A., Talha, M., Alkunti, E., 2007. Structure of *Posidonia oceanica* meadows in the vicinity of Ain Al-Ghazala lagoon (Libya): the "macroatoll" ecomorphosis. In: Proceedings of the 3rd Mediterranean symposium on marine vegetation (Marseille, 27-29 March 2007). 135-140.
- Relini, G., 2000. Nuovi contributi per la conservazione della biodiversità marina in Mediterraneo. *Biologia Marina Mediterranea*. 7(3), 173-211.
- Testevuide, D., Begidis, M., 1770-1795. Plan Terrier de la Corse. Saint-Florent, rouleau de plan n°4. 37 rouleaux de plan.
- UNEP-MAP-RAC/SPA, 1999. Action plan for the conservation of marine vegetation in the Mediterranean sea. RAC/SPA publ., Tunis : 1-47.
- Vela A., Garrido-Maestracci M., 2008. Recensement des formations récifales superficielles bioconstruites sur le littoral corse – Contrat SINTINELLE & DIREN CORSE, 154p.

Quatre vingt dix années d'aménagement du littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Quels impacts sur les herbiers de posidonie ?

J. Deter^{1,2}, P. Descamp¹, A. Guibert¹, E. Freschet³, B. Jullian³, P. Boissery⁴, F. Holon¹

¹ Andromède océanologie 34280 Carnon ; ² UMR 5554 ISEM Université Montpellier 2, 34095 Montpellier ;

³ L'œil d'Andromède, 34280 Carnon ;

⁴ Agence de l'eau RMC, 13001 Marseille

Mots clefs : *Posidonia oceanica*, Cartographie évolutive, PACA, pressions anthropiques

Introduction

Angiosperme protégée et endémique de méditerranée, la posidonie *Posidonia oceanica* constitue des prairies sous-marines aux rôles écologique (frayère, nurserie, alimentation, oxygénation) et économique (protection du littoral, clarté de l'eau) majeurs. Au cours de ces dernières années et plus particulièrement depuis 1950, il a été observé une régression des herbiers aux alentours des grandes zones industrialo-portuaires (Boudouresque et al, 2006). Il semble en effet probant que la construction d'infrastructures côtières, les ancrages de bateaux ou encore les émissaires en mer aient un impact délétère sur la dynamique de ces herbiers. Les régressions des herbiers se traduisent par un abaissement des limites supérieures (les moins profondes) et/ ou par une remontée des limites inférieures (en cas de diminution de la transparence des eaux). Toutefois, il existe peu de données à large échelle de temps et d'espace permettant de quantifier et d'analyser les dégâts réels causés au fil du temps par ces pressions le long du littoral.

A ce jour l'évolution des herbiers n'est étudiée qu'à l'échelle d'une ou de quelques baies. La présente étude consiste en l'évaluation de la dynamique des herbiers de posidonies sur tout le littoral de la région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA, 200 km de côte) **entre 0 et -15 m** de profondeur. Connaissant la vitesse très lente de croissance des herbiers de posidonie, en moyenne de 3 à 4 cm par an pour les rhizomes plagiotropes (Meinesz et al, 1991), l'état majoritairement attendu est celui de stabilité de l'herbier. On s'attend toutefois à observer des modifications dans le recouvrement des herbiers aux abords des zones sensibles aux pressions anthropiques. Les objectifs de cette étude sont multiples. Premièrement, dresser un **état des lieux** des herbiers à **grande échelle spatiale** puis **mettre en lien les cartographies évolutives obtenues avec les pressions anthropiques**.

1. Méthodologie

Après avoir cartographié les herbiers de posidonies d'après des photographies aériennes historiques (1922, 1924, 1927, 1950 et 1971) et actuelles (2008, 2012), nous avons analysé les changements spatiaux (concordance = stabilité de l'herbier, discordance positive = progression, discordance négative = régression) intervenus au niveau des herbiers durant cette période. Des analyses plus précises des zones de régression montrent l'influence directe et indirecte de certaines activités anthropiques sur ces régressions.

1.1. Données utilisées

- **Plusieurs mosaïques géo-référencées de photographies aériennes anciennes** (1922, 1924, 1927, 1942, 1944 et 1950) toutes fournies par le consortium « Région Provence-Alpes-Côte d'Azur © SHOM, IFREMER et Photothèque nationale (2008) ».

- **Une mosaïque géo-référencée de photographies aériennes récentes** de 2008 fournies par L'IGN (2008) et de 2012 fournies par l'ortho littoral V2 « **Ortho Littorale V2 – MEDDE** ».
- **Le trait de côte ancien** défini par l'Oeil d'Andromède à partir du trait de côte de 2009 fourni par l'IGN et le SHOM (2009).
- **Le trait de côte actuel** fourni par l'IGN et le SHOM (2009).
- **L'isobathe des -15 m** réalisé à partir de données bathymétriques fournies par Andromède Océanologie et à partir de données SHOM.
- **Les aménagements littoraux** définis par l'Œil d'Andromède et le MEDAM.

1.2. Protocole

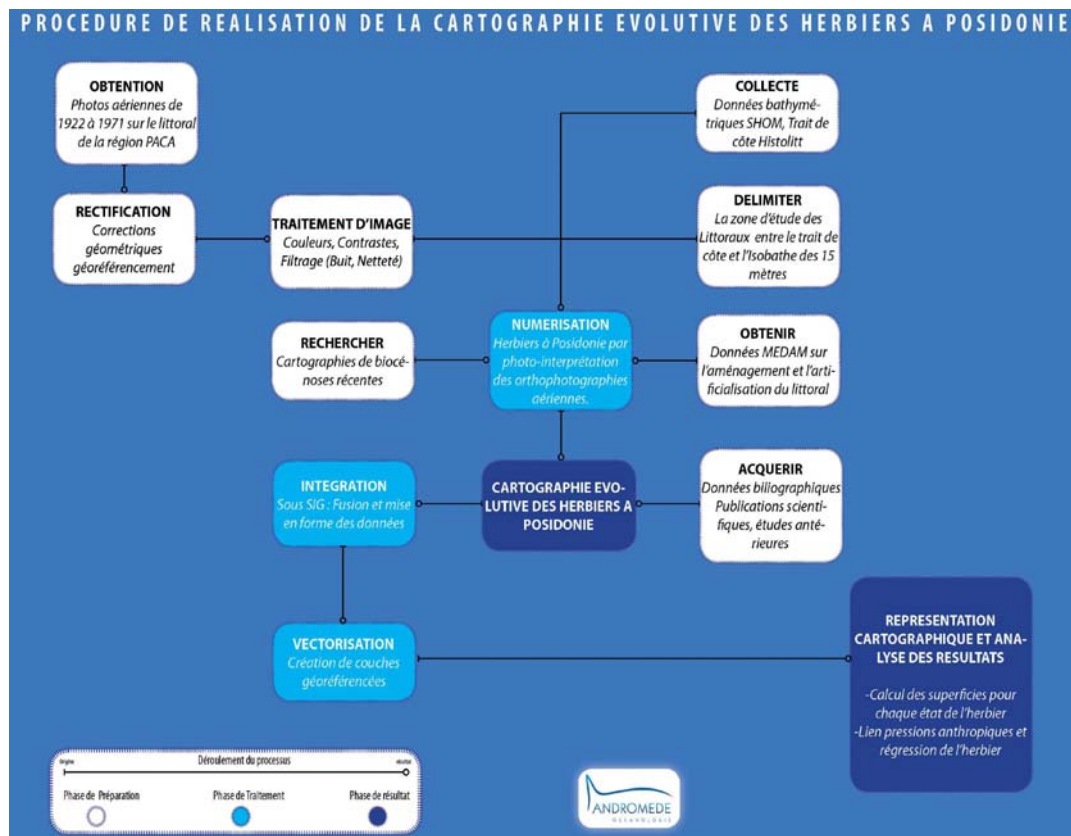


Fig.1 Procédure de réalisation de la cartographie évolutive des herbiers entre 0 et -15 m

Afin de considérer au mieux les erreurs liées à l'interprétation des photographies aériennes un indice de certitude est mis en place. Trois catégories de certitude sont utilisées. En niveau I de certitude sont classées les zones de très bonne qualité des photographies aériennes (contours de l'herbier nettement discernables). En incertitude de niveau II sont classées les zones où l'interprétation est plus difficile mais encore fiable d'après l'expérience et les connaissances du photo-interprète ainsi que l'appui des données externes. Enfin pour les zones classées en incertitude de niveau III, les photographies aériennes anciennes sont inexistantes ou ne permettent pas une interprétation fiable.

Lors de l'analyse des données présentées ici, seules les superficies d'herbiers classées en **certitude de niveau I** sont utilisées.

2. Résultats

2.1. Evolution de la partie supérieure de l'herbier

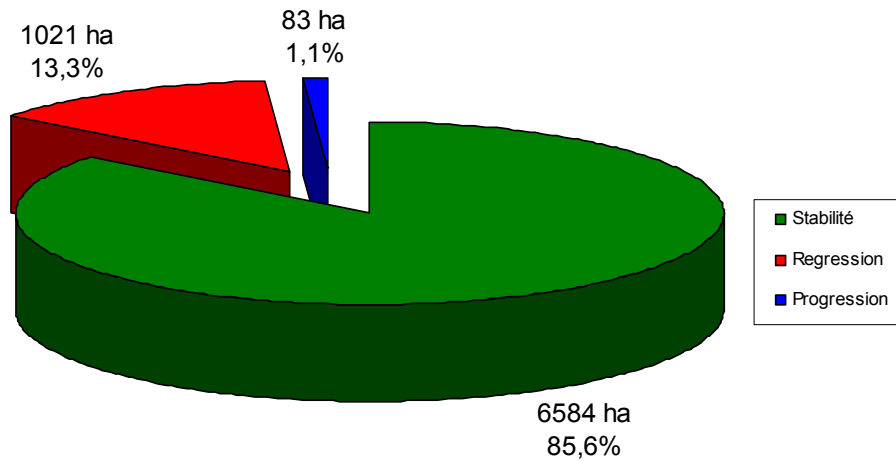


Fig.2 Evolution de la répartition de l'herbier entre 0 et -15 m à l'échelle de la région PACA entre 1922 et 2012

2.2. Origine de la régression de la partie supérieure de l'herbier

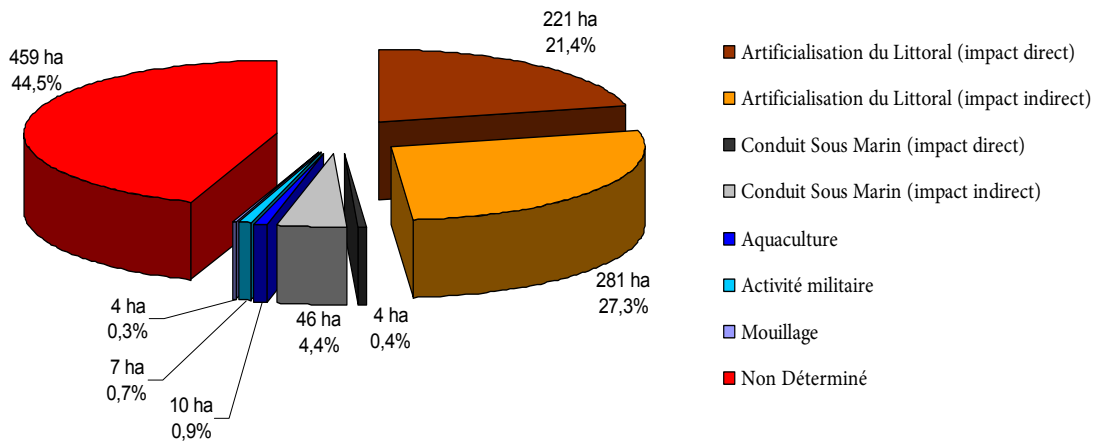


Fig.3 Origines de régression de l'herbier entre 0 et - 15 m à l'échelle de la région PACA entre 1922 et 2012

Nous avons tenté de mettre en lien les régressions observées dans l'herbier avec des impacts anthropiques, que nous avons classés en deux catégories :

- les impacts directs qui correspondent à une emprise physique des constructions sur l'herbier
- les impacts indirects des constructions qui ont entraîné la régression de l'herbier au-delà de leur emprise physique.

Pour les régressions « non déterminées », l'origine n'a pas pu être identifiée via l'utilisation unique de photographies aériennes (régression certainement liées à l'action de plusieurs facteurs ou à la qualité de la masse d'eau).

Concernant les effets du mouillage de 0 à 15m (estimés à <1% à l'échelle de la région PACA) il est important de noter qu'ils sont très probablement **sous-estimés** dans l'ensemble de cette étude. Ceci s'explique par trois phénomènes. Premièrement par la difficulté d'observer les impacts du mouillage dans l'herbier uniquement à partir de photographies aériennes. Ensuite par la méthode de travail employée qui justifie toutes régressions aux abords des ports par l'impact indirect de l'artificialisation du littoral, laissant peu de place aux impacts du mouillage. Enfin par la zone d'étude cartographiée limitée à -15m quand la pression du mouillage forain est plutôt observée entre les isobathes -15m et -30 m où elle peut entraîner une destruction massive de l'herbier (la lutte contre l'impact du mouillage forain entre 15 et 30m fait l'objet d'un programme spécifique porté par Andromède Océanologie nommé : « DONIA », projet qui vise à développer une application smartphone d'aide au mouillage écologique hors des herbiers et autres écosystèmes sensibles.)

3. Perspectives

Nous prévoyons désormais de poursuivre cette étude jusqu'en limite inférieure de l'herbier par une cartographie précise de l'herbier et de la matte morte entre -15m et la limite inférieure de la matte morte. Cette cartographie fera appel à de nouveaux outils cartographiques tels que le sonar latéral, la sismique réflexion complétés par l'acquisition de points de vérité terrain en plongée. Les objectifs finaux sont ainsi d'obtenir une cartographie évolutive de l'herbier de posidonie dans son ensemble (entre la surface et -40m) et de relier les régressions observées aux pressions anthropiques. A terme, l'ensemble des cartographies obtenues en 2 D pourront être projetées en 3 D sur la base de modèles numériques de terrain (bathymétrie). Il sera alors possible de recalculer avec plus de précision les superficies réelles de recouvrement des herbiers et de suivre au plus près leur évolution.

Références bibliographiques

- Boudouresque, C.F, Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Tunesi, L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Ramoge Pub., pp. 1–202.
- Meinesz, A., Lefevre, J.R., Astier, J.M., 1991. Impact of coastal development on the infralittoral zone along the southeastern Mediterranean schore of continental France. *Marine Pollution Bulletin* 23, 343–347.

Deux habitats sous-marins remarquables en Méditerranée : les herbiers de posidonie et le coralligène. Quels indicateurs surfaciques pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières ?

F. Holon¹, P. Boissery², B. Jullian³, A. Pedoussaut¹, J. Deter^{3,4}

¹ Andromède Océanologie, 34280 Carnon ;

² Agence de l'eau RMC, 13001 Marseille ;

³ L'œil d'Andromède, 34280 Carnon ;

⁴ UMR5554 ISEM Université Montpellier 2, 34095 Montpellier

Mots clefs : cartographie 3D, hétérogénéité des habitats,

Introduction

La cartographie des habitats est nécessaire pour apprécier l'hétérogénéité écologique et spatio-temporelle des milieux, la répartition potentielle et réelle d'espèces, identifier les corridors écologiques, proposer des mesures de gestions pertinentes et évaluer leur effet. Depuis une dizaine d'années des cartographies (plus ou moins locales) d'habitats sous-marins sont produites pour les différents étages littoraux à travers deux principaux programmes : MEDBENTH (Agence de l'Eau RMC/IFREMER), CARTHAM (AAMP/MEEDTL)... Pourtant, la cartographie sous-marine du littoral méditerranéen français est encore incomplète...et reste en deux dimensions.

Or on sait que la non-prise en compte du relief peut entraîner des mesures erronées (Hoechstetter et al. 2008) ; par exemple un écosystème se développant sur des surfaces verticales comme le coralligène sur des tombants est sous-représenté puisque seule sa surface « aplatie » en 2D est comptabilisée. Il reste donc un énorme travail à fournir pour prendre en compte le relief dans le décompte des surfaces et combler les espaces entre les cartographies existantes.

Les objectifs du projet sont de compléter la cartographie sous marine 2D des habitats Herbier et Coralligène sur l'ensemble du littoral continental français entre 0 et 80 m, établir sa correspondance en 3D et de proposer et mesurer différentes variables pouvant servir d'indicateurs surfaciques (= spatiaux) de l'état de santé des habitats et donc de la qualité des eaux côtières.

1. Méthodologie

Après synthèse des données existantes et afin d'établir une cartographie continue tout le long du littoral PACA, nous réalisons la cartographie biocénotique entre 0 et 80 m des zones manquantes ou incomplètes en couplant données aériennes, sonar (nature des fonds), bathymétriques (relief des fonds) et campagnes de vérifications de terrain (Figure 1).

Sur cette base, nous pourrions estimer et localiser tout le long du littoral français méditerranéen, les surfaces couvertes par les herbiers de posidonies et les assemblages coralligènes (deux habitats littoraux les plus remarquables de méditerranée) entre 0 et 80 m de profondeur à une échelle 1/10 000^{ème} (1mm=10m suffisante pour travailler à l'échelle de la masse d'eau).

L'ensemble des calculs et traitements sont réalisés sous la suite ESRI (Arcgis 9.3) et Adobe (Photoshop, Illustrator, In Design, Flash...). La modélisation bathymétrique du relief du terrain permet de calculer des indicateurs 3D grâce aux modèles numériques de terrain.

Sur la base des cartes 2D de deux masses d'eau, nous présentons différentes variables pouvant être influencées par les usages et pressions exercées sur le milieu littoral. Ces

variables d'hétérogénéité des fonds sous-marins (composition et configuration spatiale) sont calculées avec le logiciel FRAGSTATS (McGarigal et al. 2002).

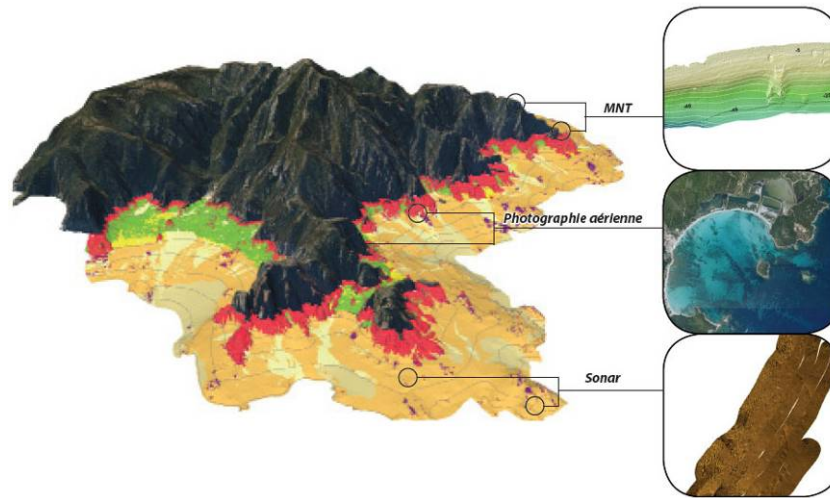


Fig.1 Données Sonar, photographies aériennes, modèle numérique de terrain (MNT) et points de vérité-terrain sont utilisées pour cartographier les habitats sous-marins

2. Résultats

2.1. Cartographies du littoral méditerranéen à compléter

L'analyse de l'existant montre de nombreuses zones pour lesquelles les données nécessaires à la cartographie biocénotique restent à compléter ou à acquérir (Figure 2).

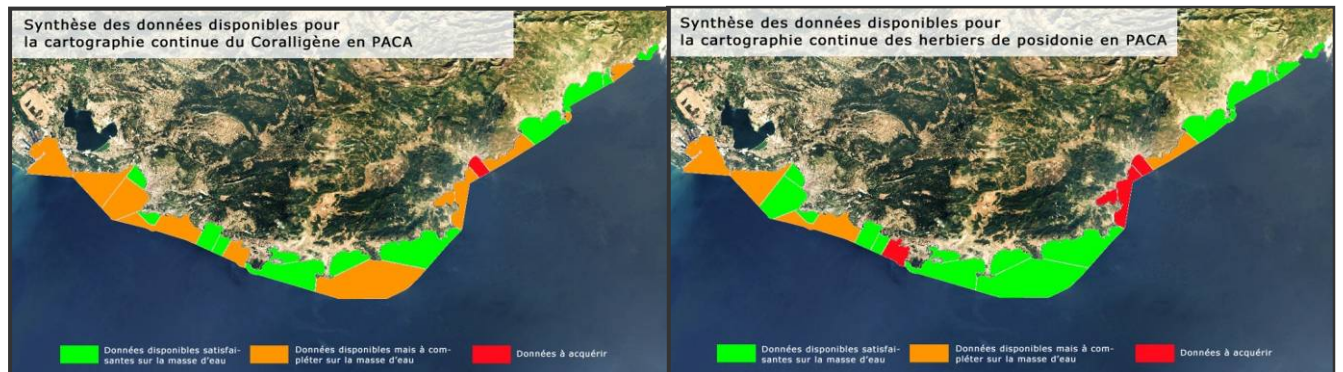


Fig.2 Synthèse des données disponibles pour la cartographie des herbiers de posidonie et le coralligène en région PACA (données disponibles en vert, à compléter en orange, à acquérir en rouge)

2.2. Analyses des cartographies 2D : l'exemple de quatre masses d'eau

Dans le var, zone où les cartographies 2D sont disponibles, l'hétérogénéité des habitats sous-marins est décrite sur quatre masses d'eau dont l'état écologique et chimique est bon ou mauvais (Tableau 1).

A l'échelle de la masse d'eau, FRDC08b présente la plus forte densité en tâches d'habitats (262) et des tâches aux formes les plus complexes (indice de forme = 22,7). FRDC08c présente la plus forte juxtaposition d'habitats aux proportions les plus variées (Indice de juxtaposition = 86,7 et indice de Shannon = 0,88). FRDC07a présente la densité de tâches la plus faible (37), avec la tâche la plus grande occupant seulement 26 % du paysage.

Le tableau 2 montre que l'habitat coralligène occupe de 4 à 28 ha soit 0,2 à 2,4 % des masses d'eau cartographiées, dispersé en 66 à 546 tâches différentes, la plus grande tâche occupant 0,3 % des fonds cartographiés. FRDC07a, masse d'eau en mauvais état écologique présente malgré une densité la plus faible (5), les tâches les plus connectées (contiguïté = 0,78) et aux formes les plus complexes (complexité = 1,69).

L'habitat herbiers à posidonie occupe de 26 à 948 ha soit 3,0 à 39,4 % des masses d'eau cartographiées, dispersé en 89 à 1633 tâches différentes, la plus grande tâche occupant 30,0 % des fonds cartographiés. FRDC07a, masse d'eau en mauvais état écologique présente malgré une densité de tâches la plus faible (89), les tâches les plus connectées (contiguïté = 0,78) et aux formes les plus complexes (complexité = 1,64).

D'autres analyses de masses d'eau sont nécessaires pour tester un éventuel lien entre état écologique et hétérogénéité du paysage sous marin.

Tableau 1 Différentes mesures de l'hétérogénéité de 4 masses d'eau du Var cartographiées pour 6 habitats entre 0 et 60 m (cartographies biocénotiques 2D de 2009). Localisation des masses d'eau : FRDC08b = Golfe de St Tropez ; FRDC08c = Fréjus – St Rapahel – Ouest de Ste Maxime ; FRDC07a = Iles de Marseille hors Frioul ; FRDC07g = Cap Cepet-Cap de Carqueiranne.

Masses d'eau	FRDC08b	FRDC08c	FRDC07a	FRDC07g
Etat écologique / chimique	bon / bon	bon / bon	mauvais / bon	bon / mauvais
Surface (ha)	2408.2	840.4	1211.1730	2161.0351
Nombre de tâches	6318.00	1305.00	458.00	5058.00
Densité de tâches	262.35	155.26	37.81	234.05
% plus grande tâche	40.88	67.95	26.10	56.41
Indice de forme	22.72	9.39	13.36	21.72
Contiguïté	62.08	73.92	64.7494	64.0792
Indice de juxtaposition (%)	72.02	85.66	72.68	75.22
Cohésion-connectivité physique	99.80	99.83	99.7276	99.6831
Indice d'agrégation (%)	98.35	99.23	98.7190	97.6433
Indice de Shannon	1.26	0.88	1.20	1.16

Tableau 2 Différentes mesures de l'hétérogénéité des habitats sous-marins herbiers de posidonie et coralligène entre 0 et 60 m pour 4 masses d'eau du Var à partir de cartographies biocénotiques 2D de 2009.

Habitats	Coralligène				Herbier à posidonie			
	FRDC08b	FRDC08c	FRDC07a	FRDC07g	FRDC08b	FRDC08c	FRDC07a	FRDC07g
Masses d'eau	bon / bon	bon / bon	mauvais / bon	bon / mauvais	bon / bon	bon / bon	mauvais / bon	bon / mauvais
Etat écologique / chimique	bon / bon	bon / bon	mauvais / bon	bon / mauvais	bon / bon	bon / bon	mauvais / bon	bon / mauvais
Surface (ha)	7.81	4.82	28.73	4.31	947.95	25.71	247.26	346.99
% du paysage	0.32	0.57	2.37	0.20	39.36	3.05	20.42	16.06
Nombre de tâches	546	149	66	395	1633	169	89	1361
Densité de tâches	22.67	17.72	5.45	18.28	67.80	20.10	7.35	62.98
% plus grande tâche	0.03	0.22	0.33	0.02	30.05	1.51	7	7.33
Complexité de forme (1 = carré)	1.30	1.37	1.69	1.28	1.31	1.32	1.64	1.24
Contiguïté	0.4596	0.58	0.78	0.33	0.3058	0.28	0.78	0.30
Indice de juxtaposition (%)	45.82	62.56	59.41	46.91	80.05	89.12	59.41	79.96
Cohésion-connectivité physique	90.94	96.10	98.25	84.40	99.89	99.34	98.25	99.63
Indice d'agrégation (%)	81.66	91.23	95.14	66.36	98.53	96.24	95.14	95.73

2.3. Evaluer les surfaces d'herbiers et de coralligène en 3D

L'analyse de la cartographie 3D de Nice-Cap Ferrat prise en exemple montre une augmentation de 15% des surfaces à biocénose coralligène, 5% des herbiers à *Posidonia oceanica* et 1% de l'association de la matte morte à *Posidonia oceanica* par rapport à l'analyse de la cartographie 2D. Pour des entités d'une centaine de mètres carrés de surface, la variation s'étend de 4 à près de 74 % (Figure 4).

Exemples	Habitat	Surface 2D en m ²	Surface 3D en m ²	% de variation 2D/3D
C1	Association de la matte morte de <i>Posidonia oceanica</i>	124,8721	132,1979	5,867
C2	Biocénose coralligène	364,7701	634,1370	73,893
C3	Biocénose de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	908,4210	950,9321	4,679

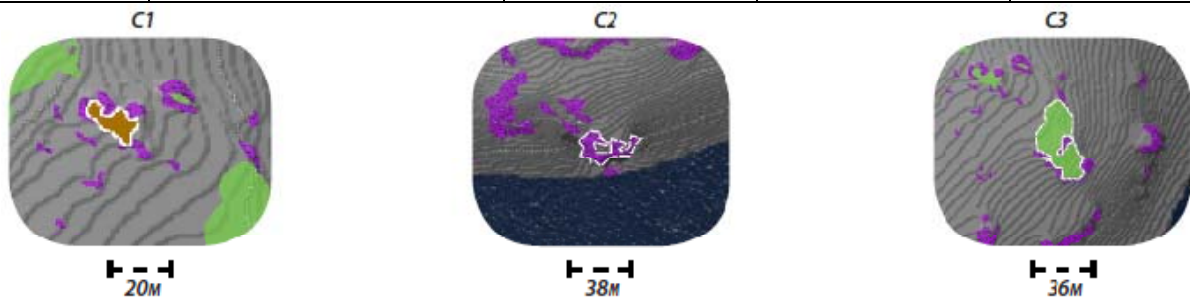


Fig.3 Comparaisons des surfaces planimétriques (2D) et de surface avec prise en compte du MNT (3D) pour trois entités

3. Perspectives

Cette étude large échelle fournira une analyse plus précise des surfaces occupées (résolution 1/10 000ème avec prise en compte du relief) et des services rendus par les deux habitats principaux des côtes méditerranéennes entre 0 et 80 m de profondeur. Ce sont de nouvelles données à prendre en compte comme bases de description pour les réseaux de surveillance de qualité des eaux et/ou pour la comparaison des masses d'eaux entre elles. Les données seront disponibles sur un site web dédié courant 2013.

Enfin, le but de cette étude sera également de rechercher s'il existe un lien entre patrons spatiaux et état de santé de différents habitats en commençant par l'herbier à posidonie.

Références

- Hoechstetter, S., et al., 2008. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure – A proposal to modify the existing set of landscape metrics. *Landscape Online* 3, 1-14.
- McGarigal, K., et al. 2002. FRAG-STATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available from <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

L'indice paysager *Caulerpa racemosa* "ICar"

Nicolas Cariou¹, Aurélia Chery², Matthieu Jousseume², Jonathan Richir¹, Pierre Lejeune², Sylvie Gobert¹

¹ Laboratoire d'Océanologie, Université de Liège, B6c, 4000 Liège, Belgium

² STARESO sas, Pointe Revellata BP33, 20260 Calvi, France

Introduction

Apparues respectivement en 1984 et en 1991 en Méditerranée, les Chlorobiontes *Caulerpa taxifolia* (M. Vahl) C. Agardh (Meinesz et Hesse, 1991) et *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Verlaque et al., 2003) sont actuellement qualifiées d'espèces invasives. *Caulerpa taxifolia* a été introduite accidentellement par l'aquarium de Monaco en 1984 (Jousson et al., 1998). Dès fin 2000, cette souche envahissante affectait plus de 13000 ha de fonds marins sur un linéaire de côte de 200 km, dans 6 pays de Méditerranée (Meinesz et al., 2001). *C. taxifolia* semble avoir atteint son maximum de colonisation en 2007 et se trouve actuellement en forte régression dans de nombreuses zones (Cottalorda et al., 2008).

Caulerpa racemosa a été signalée pour la première fois en Méditerranée, en 1991 le long des côtes lybiennes (Nizamuddin, 1991). Cette algue s'est ensuite dispersée en Méditerranée occidentale jusqu'aux îles Baléares. En 2003, elle était présente dans une dizaine de pays sur un linéaire côtier estimé à plus de 700 km (Piazzi et al., 2005 ; Ruitton et al., 2005), révélant une propagation plus rapide que *C. taxifolia* (Cottalorda et al., 2008).

C. taxifolia et *C. racemosa* colonisent le benthos méditerranéen (sable, roche), réduisant la biodiversité naturelle. La facilité et la rapidité avec laquelle *C. racemosa* continue de coloniser des zones de plus en plus étendues, pourraient à terme menacer les macroalgues, les herbiers de posidonies, les fonds coralligènes,... (Gravez et al., 2005; Dumay, 2008).

Le premier indice *Caulerpe* fut mis au point par Vaugelas et al. en 1999. Cet indice visait à estimer l'ampleur de la colonisation de *C. taxifolia*. A l'échelle d'une baie, il est défini en 3 niveaux (Tab.1) donnant une estimation de la superficie totale colonisée. Cependant, aucune information n'est collectée sur l'état de la couverture algale à plus petite échelle (m², 10 m²).

Tableau 1 Niveau de colonisation standardisé de *C. taxifolia* (Vaugelas et al, 1999)

Niveau 1	Zone dans laquelle une ou plusieurs petites colonies couvrent une surface totale inférieure à 1000 m ²
Niveau 2	Zone où plusieurs colonies couvrent une surface totale supérieure à 1000 m ² avec de petites colonies dispersées sur une zone de surface inférieure à 10 ha
Niveau 3	Zone avec plusieurs grandes colonies de plus de 1000 m ² réparties sur une surface plus grande que 10 ha

En 2005, Ruitton et al. utilisent cet indice et l'appliquent à l'échelle d'une baie à *C. racemosa*. Pour caractériser des zones à plus petite échelle, ils définissent un nouvel indice à 6 niveaux (Tab.2).

Tableau 2 Indice de Ruitton *et al.* (2005) pour *C. racemosa*.

Niveau 0	Non colonisé
Niveau 1	Individu clairsemé avec seulement quelques axes dressés horizontaux
Niveau 2	Patch de moins de 1 m de diamètre
Niveau 3	Patch de plus de 1 m de diamètre
Niveau 4	Prairie continue avec une seule couche de stolon
Niveau 5	Prairie continue avec une épaisse couche de stolon

Afin d'évaluer les conséquences de l'algue invasive *C. racemosa* dans un milieu oligotrophe regroupant tous les écosystèmes caractéristiques du littoral méditerranéen, nous avons, en 2011, commencé une étude de la physiologie (contenu élémentaire), de l'écotoxicologie (contenu en élément trace) et de la dynamique de colonisation (indice paysager) de *C. racemosa*.

C'est sur base de l'indice utilisé par Ruitton *et al.* (2005) que nous avons élaboré un Indice paysager *Caulerpa racemosa* ("ICar") qui tient compte de 4 critères: la topographique, la superficie de la zone colonisée, la couverture algale et l'expérience du plongeur.

1. Matériels et Méthodes

Contrairement au reste du littoral français méditerranéen, la Corse n'a jamais été envahie par *C. taxifolia*. Par contre, depuis 2002, l'algue invasive *C. racemosa var. cylindracea* est signalée autour de l'île (Cottalorda *et al.*, 2008). En 2008, elle apparaît pour la première fois dans la Baie de La Revellata au large de Calvi (Fig.1).

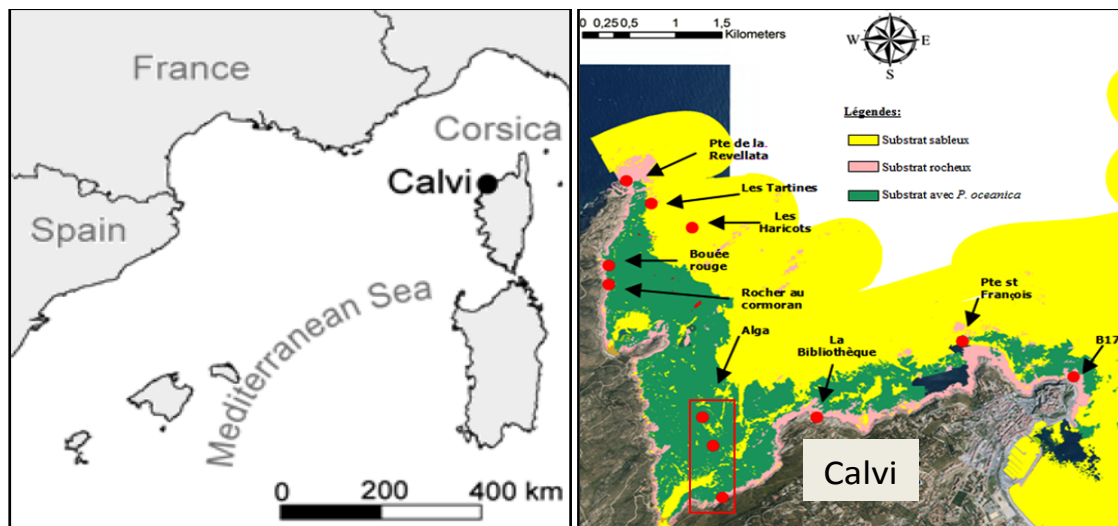


Fig.1 La Baie de La Revellata au large de Calvi en Corse. Les points rouges indiquent des stations colonisées par *C. racemosa* qui ont permis d'établir l'indice paysager ICAR.

2. Construction de l'indice

L'indice paysager ICAR est composé de 4 critères qui qualifient (1) le substrat, (2) la superficie, (3) la couverture algale et (4) l'expérience du plongeur. Chaque critère est un code à 2 caractères permettant de donner des informations sur le site étudié. Ainsi on obtient un code à 8 caractères pour chaque site.

Critère 1 : Qualification du substrat (Tab.3) Pour chaque site, le substrat est qualifié en 7 catégories soit de (Va) vase, (Sa) sable, (Ro) roche, (RA) roche avec algues, (Po) posidonie, (MP) matre morte de posidonie ou (CM) coralligène-maërl.

Tableau 3 Critère 1, qualification du substrat; code et description.

Va	Vase
Sa	Sableux
Ro	Rocheux
RA	Rocheux avec algue
Po	Posidonie
MP	Matte morte de Posidonie
CM	Coralligène-maërl

Critère 2 : Qualification de la superficie à petite échelle (Tab.4) Pour chaque site, la superficie de la zone colonisée est qualifiée en 4 catégories soit une absence de *C. racemosa* (S0), soit des tâches colonisées inférieures à 1 m² (S1), soit des tâches colonisées supérieures à 1 m² (S2), soit une prairie continue (S3).

Tableau 4 Critère 2, qualification de la superficie; code et description.

S0	Absence de <i>C. racemosa</i>
S1	Tâche inférieur à 1 m ²
S2	Tâche supérieure à 1 m ²
S3	Prairie continue

Critère 3 : Qualification de la couverture algale *C. racemosa* (Tab.5). Pour chaque site, la couverture algale est qualifiée en 5 catégories : soit une absence de *C. racemosa* (C0); soit une répartition très irrégulière de l'algue à densité très faible avec un nombre de frondes faciles à compter (C1); soit une densité de l'algue plus importante mais avec une répartition irrégulière (C2); soit une densité relativement importante et régulière avec la partie rampante (stolon) en une voir deux couches (C3) ; soit une densité importante et régulière avec la partie rampante en plusieurs couches (stolons se superposant) (C4).

Tableau 5 Critère 3, qualification de la couverture algale *C. racemosa*; code et description.

C0	Absence de <i>C. racemosa</i>
C1	Répartition très irrégulière de l'algue, densité très faible, nombre de frondes facile à compter
C2	Densité de l'algue plus importante mais répartition irrégulière
C3	Densité relativement importante et régulière, partie rampante (stolon) en une voir deux couches
C4	Densité importante et régulière, partie rampante en plusieurs couches (stolons se superposant)

Critère 4 : Qualification du plongeur (Tab.6). Pour chaque site, l'expérience du plongeur est qualifiée en 3 catégories : soit il n'a jamais vu la caulerpe (P1), soit il a déjà observé certains indices de couverture de *C. racemosa* (P2), soit il a déjà observé tous les indices de couverture en *C. racemosa* (P3).

Tableau 6 Critère 4, qualification plongeur ; code et description.

P1	Jamais vu de la caulerpe
P2	Déjà observé certains indices de couverture de <i>C. racemosa</i>
P3	Déjà observé tous les indices de couverture en <i>C. racemosa</i>

Pour chaque site étudié, l'indice ICar, en 8 caractères, doit être associé au nom du site, ses coordonnées exactes et la profondeur.

3. Résultats et discussion

Tableau 7 Données des prospections effectuées en 2011 et 2012 dans la Baie de La Revellata.

Site et point GPS (WGS84)	Profondeur (m)	Année	Indice ICar
Pte de La Revellata N 42,584974 - E 8,727145	15	2011	RA-S2-C2-P2
		2012	RA-S2-C4-P2
	20	2011	RA-S2-C2-P2
		2012	RA-S2-C4-P2
		2011	RA-S3-C4-P2
Les Tartines N 42,583059 - E 8,728870	15	2011	RA-S3-C4-P2
	20		RA-S3-C4-P2
Les Haricots N 42,580799 - E 8,731248	40	2011	Sa-S3-C3-P2
Bouée rouge N 42,579741 - E 8,724656	3	2011- 2012	RA-S1-C2-P2
Rocher au Cormoran N 42,578504 - E 8,725056	10	2011 - 2012	MP-S1-C2-P2
Alga (1) N 42,563378 - E 8,732221	3	2011	Ro-S1-C2-P2
Alga (2) N 42,566262 - E 8,731163	15	2012	Sa-S3-C4-P2
Alga (3) N 42,567652 - E 8,730605	28	2012	Sa-S3-C4-P2
La bibliothèque N 42,568881 - E 8,741061	15	2011	RA-S2-C2-P2
Pte Saint François N 42,572132 - E 8,754149	17	2011	RA-S2-C2-P2
B17 N 42,570157 - E 8,762367	10	2011 – 2012	RA-S2-C2-P2

15	2011	Sa-S3-C3-P2
	2012	Sa-S3-C4-P2
20	2011	Sa-S3-C3-P2
	2012	Sa-S3-C4-P2
22	2011	MP-S3-C4-P2
	2012	Po-S3-C4-P2
28	2011	MP-S3-C4-P2

ICar a été appliqué en 2011 et 2012 dans la Baie de La Revellata sur une large gamme de profondeur pouvant aller de 3 à 42 m (Tab.7). *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* y a été observée la première fois en 2008. Depuis, elle a colonisé de nombreux sites de la baie entre 3 à 42 m de profondeur (Aucune prospection n'a été effectuée au delà). Actuellement (juillet 2012), elle ne couvre ni la vase, ni le coralligène, mais elle est présente sur toutes les autres catégories de substrats rencontrées dans cette zone d'étude.

Les zones les plus profondes présentent une densité plus importante en *C. racemosa* (C3-C4), et des tâches supérieures à 1 m² (S2-S3). L'analyse de l'évolution temporelle (de 2011 à 2012) confirme que *C. racemosa* colonise d'abord les sites profonds (Cottalorda *et al.*, 2008). Par exemple, à 15 et à 20 m, au niveau de la Pointe de La Revallata et du B17, la couverture algale passe respectivement de C2 à C4 et de C3 à C4.

Le type de substrats ne semble pas être un facteur limitant à son expansion. Elle colonise la matre morte de posidonie, le détritique côtier, les substrats rocheux et sableux. Nous l'avons même observé au sein d'un herbier sain de posidonie.

Mis au point en Baie de Calvi, l'indice paysager ICar pourrait être appliqué sur la Corse et sur l'ensemble de la Méditerranée. Cette méthodologie simple permet de qualifier les différentes zones colonisées par la Chlorobionte. Il permet également de réaliser un suivi de l'évolution spatio-temporelle de la distribution de l'algue invasive.

Cet indice paysager peut facilement être intégré dans l'indice LIMA qui sert à traduire de manière chiffrée l'attrait paysager et la richesse patrimoniale du benthos méditerranéen (Gobert *et al.*, 2011).

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce à des subsides du FNRS (2.4.502.08.F), de la Collectivité Territoriale de Corse, de l'Agence de l'Eau (RMC) et une bourse STARESO (Dans le cadre du projet STARECAPMED).

Références bibliographiques

- Cottalorda J., Gratiot J., Mannoni P.A., Vaugelas J., Meinesz A., 2008. Suivi de l'invasion des algues introduites *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en Méditerranée : Situation devant les côtes françaises au 31 décembre 2007. E.A. ECOMERS-Laborato.
- Dumay O., 2002. Dynamique compétitive entre la Magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* et les Bryopsidophycées invasives *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*. Thèse de Doctorat de l'Université de Corse : 164p. + Ann.
- Gobert S., Chéry A., Volpon A., Pelaprat C., Lejeune P., 2011. Méthodologie qualifiant des sites sous-marins méditerranéens en fonction de leur attrait paysager et patrimonial. Développement de l'outil et expérimentation dans la baie de Calvi. Carhambar Brest : Paysages sous marins.
- Gravez V., Boudouresque C.F., Ruitton S., 2005. Proposition d'une stratégie de contrôle des espèces envahissantes marines dans les eaux du Parc national de Port-Cros, illustrée par

- le cas de deux espèces de *Caulerpa*. GIS Posidonie et Parc national de Port-Cros publ., Fr : 1-68.
- Jousson O., Pawlowski J., Zaninetti L., Meinesz A., Boudouresque C.F., 1998. Molecular evidence for the aquarium origin of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 172 : 275-280.
- Meinesz A., Hesse B., 1991. Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanologica Acta*, 14 (4) : 415-426.
- Meinesz A., Cottalorda J.M., Chiaverini D., Garcia D., Thibaut T., Vaugelas J. de, 2001. Suivi de l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : situation en France au 31 décembre 2000. LEML (UNSA) publ., Fr. : 1-74.
- Nizamuddin M., 1991. The Green Marine Algae of Libya. Elga Publ., Bern, 227 pp.
- Piazzi L., Meinesz A., Verlaque M., Akc ali B., Antolic´ B., Argyrou M., Balata, D., Ballesteros E., Calvo S., Cinelli F., Cirik S., Cossu A., D'Archino F., Djellouli A.S., Javel F., Lanfranco E., Mifsud C., Pala D., Panayotidis, P., Peirano A., Pergent G., Petrocelli A., Ruitton S., Zˇuljevic´ A., Ceccherelli G., 2005. Invasion of *Caulerpa racemosa* var *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: an assessment of the spread. *Cryptogamie Algologie* 26 (2), 189–202.
- Ruitton S., Javel F., Culioli J.M., Meinesz A., Pergent G., Verlaque M., 2005. First assessment of the *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) invasion along the French Mediterranean coast. *Mar. Poll. Bull.*, 50 : 1061-1068.
- Vaugelas J., Meinesz A., Antolic B., Ballesteros E., Belsher T., Cassar N., Ceccherelli G., Cinelli F., Cottalorda J.M., Frada` Orestano C., Grau A.M., Jaklin A., Morucci C., Relini M., Sandulli R., Span A., Tripaldi G., Van Klaveren P., Zavodnik N., Žuljević A., 1999. Standardization proposal for the mapping of *Caulerpa taxifolia* expansion in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 22, 85–94.
- Verlaque, M., Durand, C., Huisman, J.M., Boudouresque, C.F., Le Parco, Y., 2003. On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *European Journal of Phycology* 38, 325–339.

Session 7 : La cartographie au service de la gestion

Utilisation de l'imagerie hyperspectrale et du Lidar pour la cartographie et l'évaluation spatiale de l'état de santé d'habitats du milieu récifal de l'île de La Réunion

T. Bajjouk¹, P. Mouquet², A. Cebeillac¹, J.P. Quod³, L. Maurel², M. Ropert², R. Le Goff¹ et P. Talec⁴

¹ Ifremer Brest

² Ifremer Réunion

³ ARVAM

⁴ DEAL Réunion

Mots clefs : cartographie, géomorphologie, habitats, télédétection, imagerie hyperspectrale, Lidar, librairie spectrale, radiométrie sous-marine, récifs coralliens, réflectance spectres.

Contexte et objectifs de l'étude

La DCE établit un cadre pour la préservation et la restauration des eaux de surface, souterraines et côtières des Etats Membres. Elle leur impose de mettre en place, pour chacune des masses d'eau suivie, différents contrôles/suivis de la qualité des eaux et des biocénoses qui les peuplent, pour statuer sur son état de qualité écologique et chimique.

Les suivis GCRMN de la RNMR⁶, mis en œuvre depuis plus de 10 ans, reposent sur une approche de type stationnel. Ils permettent d'appréhender des tendances évolutives (amélioration ou dégradation) des zones suivies (Bigot, 2008). La limite majeure de cette approche réside dans la représentativité de la dimension spatiale et du caractère très hétérogène et mosaïqué qui caractérise ces masses d'eau récifales.

Du fait de la variabilité des conditions de milieu, de la diversité très importante des faciès et des habitats, la présente étude a pour objectif d'évaluer l'intérêt de l'imagerie hyperspectrale et de données Lidar pour les suivis de la DCE, soit directement, pour qualifier l'état des masses d'eau, soit en vue d'optimiser le positionnement des stations/transects.

Ces données ont été exploitées dans le cadre du projet *Spectrhabent-OI*⁷, qui vise à développer des méthodes de traitement automatiques des données hyperspectrales et Lidar dans le but de réaliser des cartographies d'habitats des îles françaises de l'océan Indien. L'île de La Réunion en est le site pilote. Ainsi, des cartographies utiles à la mise en œuvre de la DCE sont notamment proposées dans le cadre du projet parallèle *Bio Indication*.

1. Données, référentiels et méthodes utilisés

1.1. Typologie

Les travaux de cartographie d'habitats réalisées dans le cadre de *Spectrhabent* sont basés sur le référentiel IFRECOR⁸ (Nicet *et al.*, 2013). Ce référentiel est construit à partir des couches d'informations thématiques suivantes :

- Les conditions hydrodynamiques et la bathymétrie ;
- La géomorphologie (l'architecture et taille des unités et de la rugosité)
- Le substrat et son origine ;
- Les peuplements dominants ;
- Le recouvrement ou abondance des peuplements.

⁶ Réserve Naturelle Marine de la Réunion

⁷ Convention quadripartite entre la Préfecture de la Réunion, le Préfet des Terres Australes et Antarctiques Françaises, l'Agence des Aires Marines Protégées et Ifremer

⁸ Initiative Française pour les Récifs Coralliens (protection et gestion durable des récifs coralliens dans les COM)

Chaque couche d'information est divisée en plusieurs niveaux emboîtés allant du plus général (niveau 1) au plus précis (niveau 3 à 5).

1.2. Données & prétraitements

Dans un premiers temps, des campagnes de radiométrie de terrain ont permis de constituer une librairie spectrale de référence des différents types de nature de fond rencontrés dans les habitats récifaux (Mouquet et Quod, 2010). A l'occasion des vols Litto3D® dans l'océan Indien (2009-2010), l'Etat a procédé à des acquisitions complémentaires en associant un capteur hyperspectral. Les hautes résolutions spatiales (décimétriques) et spectrales (quelques 160 bandes) de ces images permettent la discrimination fine des objets du fond. Plusieurs opérations ont été nécessaires préalablement à l'utilisation des images pour les différents traitements développés (lissage spectral et application de masques sur la terre et dans les zones de déferlement afin de réduire le bruit et d'augmenter la dynamique de l'image). Les images hyperspectrales ont également été corrigées des perturbations du signal dues à la présence de l'eau. Ce traitement est basé sur l'équation d'atténuation du signal simplifiée du modèle de Lee (1998) suivante :

$$R_{\lambda} = R_{\infty,\lambda} + (R_{0,\lambda} - R_{\infty,\lambda}) \cdot e^{-2K_{\lambda}P}$$

Avec :

- R_{λ} : Réflectance (ou luminance) apparente en surface pour la longueur d'onde
- $R_{\infty,\lambda}$: Réflectance (ou luminance) à la profondeur infinie pour la longueur d'onde
- $R_{0,\lambda}$: Réflectance (ou luminance) à une profondeur nulle pour la longueur d'onde
- K_{λ} : Coefficient d'atténuation du signal lumineux pour la longueur d'onde
- P : Profondeur

Ce traitement a permis de produire des images hyperspectrales en réflectance au fond et le calcul d'une bathymétrie fine dans les zones les moins profondes (< 2m). Le modèle de correction de la colonne d'eau permet aussi de générer des images en pseudo-couleur des fonds marins (jusqu'à plus de 30 m de profondeur).

2. Cartographie d'habitats et aide à la mise en place du réseau

2.1. Cartographie des unités géomorphologiques

L'exploitation des données Lidar a permis d'extraire un certain nombre de paramètres géomorphologiques supplémentaires utiles à l'élaboration des cartes d'habitats (isobathes, pente, rugosité, ...). La figure suivante montre les résultats préliminaires, obtenus par un algorithme de classification basé ces paramètres géomorphologiques et des indices spatiaux (proximité, position bathymétrique), selon la description de Montaggioni & Faure (1980) du récif frangeant de l'île de La Réunion.

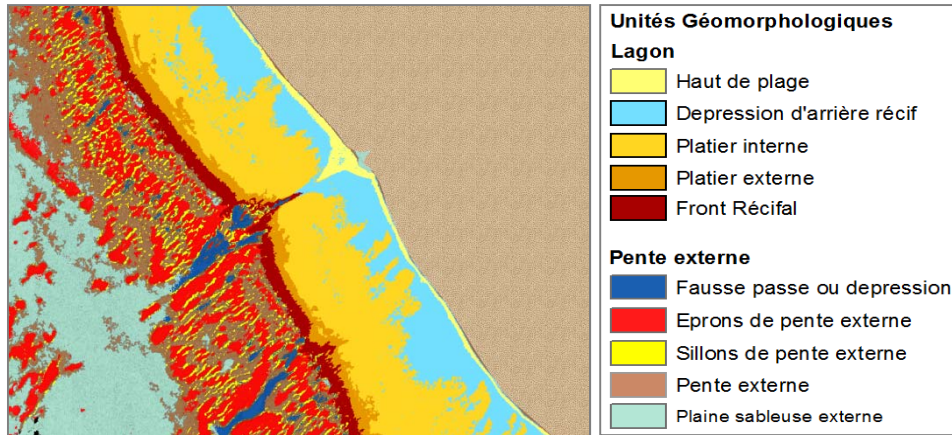


Fig.1 Cartographie des unités géomorphologiques à partir des données Lidar

Il s'agit de résultats préliminaires qui nécessitent d'être validés par des données acquises sur le terrain. L'algorithme, étant basé sur l'intégration des connaissances thématiques, est sans doute à améliorer en intégrant les recommandations des experts du milieu.

2.2. Cartographie des principales unités bio-sédimentaires

Plusieurs méthodes de classification ont été testées, basées sur deux approches parallèles complémentaires : une approche classique orientée pixel (basée sur les valeurs radiométriques des pixels sans prendre en compte leur environnement tel que la K means, ACP, MNF) et une seconde approche orientée objet (composante sémantique qui considère des objets dans l'image et donc les relations mutuelles entre les pixels) utilisant des outils de segmentation. Ces deux approches de classification testées sur le platier récifal réunionnais, donnent des résultats satisfaisants, en accord avec les données des vérités terrain disponibles. Pour le traitement de la totalité des images des masses d'eau, seule l'approche orienté pixel a pour l'instant été appliquée.

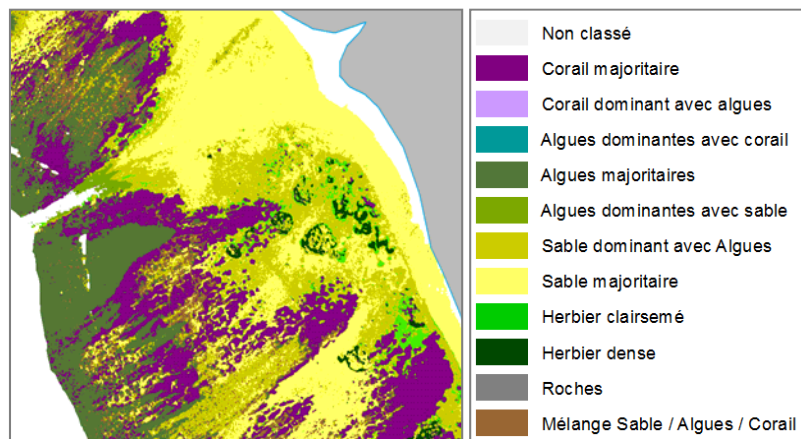


Fig.2 Cartographie d'habitats issue de l'imagerie hyperspectrale (Passe de l'Ermitage)

2.3. Cartographie du recouvrement des principaux peuplements

La méthode utilisée pour récupérer les informations de composition des pixels est l'égalisation spectrale (*spectral matching*) à partir d'un tableau de correspondance (*look-up table* – LUT) Le traitement se décompose en trois étapes successives :

1. la création d'une librairie spectrale "de mélange" à partir de constituants purs connus.
2. la comparaison des spectres de l'image avec ceux de la librairie de mélange,
3. l'évaluation des proportions des principaux constituants au sein de chaque pixel.

Une nouvelle image, avec un nombre de bandes égal au nombre de constituants purs est ainsi obtenue. On dispose alors, à l'échelle de chaque pixel (40 × 40 cm), d'une information quantitative intégrant l'ensemble des 4 composants majoritaires (Sable, Corail, Algues et Herbiers) de la zone récifale observée. L'affichage d'une seule bande permet de mettre en évidence les abondances de l'un ou l'autre des constituants (Fig. 3).

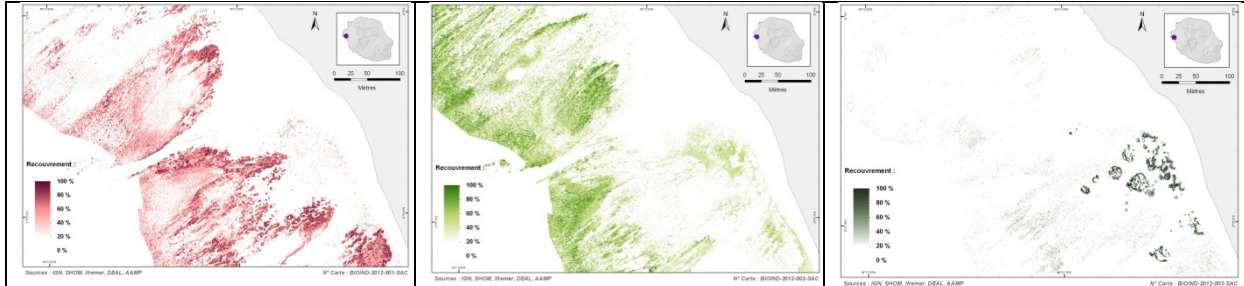


Fig.3 Part des composants Corail/Algue/Herbier autour de la Passe de l'Ermitage

3. Aide à la mise en œuvre de la DCE

3.1. Aide au positionnement des stations de suivi DCE

A la Réunion, la délimitation des masses d'eau littorales a été réalisée en juin 2004 à dire d'expert, et revue en juin 2012. Ce nouveau découpage a abouti à l'identification de huit masses d'eau côtières (MEC) et de quatre masses d'eau correspondant aux quatre secteurs récifaux majeurs de l'île (Saint Gilles, Saint Leu, Etang-Salé et Saint Pierre) qualifiées de masses d'eau récifales (MER). Cette révision a été possible grâce aux connaissances acquises entre 2004 et 2012 (projet Cartomar conduit par le BRGM, données de la plateforme de modélisation hydrodynamique Hydrorun) et notamment les cartographies des limites des pentes externes des récifs frangeants produites par le projet Spectrhabent. Il est d'ores et déjà possible de localiser les zones potentielles susceptibles d'accueillir ces stations : 4 stations à St Gilles, 3 à St leu, 2 à L'Etang Salé et 3 à St Pierre.

3.2. Indicateurs surfaciques potentiels pour le suivi DCE

Dans le cadre de l'évaluation de l'état biologique des masses d'eau récifales, il a été proposé par le groupe de travail "Benthos de Substrat Durs" (Zubia *et al.*, 2012), un indicateur d'état de santé pouvant approcher la "vitalité corallienne" :

$$Vitalité(HS) = \frac{TauxCorail}{TauxCorail + TauxAlgues}$$

A partir de l'ensemble des informations de nature géomorphologique (distinction de la dépression d'arrière récif constituée de substrat meuble non colonisable vs platier récifal de substrat dur) et biologiques (taux de recouvrements respectifs en algue, corail et sable), il a été proposé de recalculer un indice surfacique de vitalité corallienne dite "hyperspectrale" pour bien le distinguer de l'indice de référence calculé à partir des mesures stationnelles *in situ*.

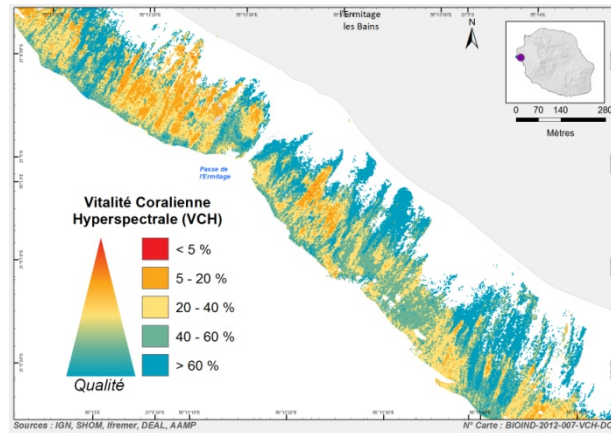


Fig.4 Indice surfacique de la vitalité corallienne hyperspectrale (VCH).

4. Conclusion et perspectives

Les résultats proposés portent sur la réalisation de cartographies des couvertures coralliennes ou algales, des zones d'herbiers et du substrat. Ces cartographies permettent d'appréhender à une échelle fine, la grande hétérogénéité spatiale qui caractérise ces écosystèmes récifaux. En regard des méthodes classiques de suivi, proposées jusqu'à présent et recommandées dans le cadre de la DCE, l'utilisation de l'imagerie hyperspectrale révèle un potentiel particulièrement encourageant et complémentaire des méthodes classiques existantes.

Des perspectives sont cependant envisagées :

- Améliorer les méthodes de prétraitement et de classification et tester leur application sur les autres îles de l'Océan Indien dont les données brutes sont déjà acquises,
- Consolider les indicateurs proposés et développer d'autres indicateurs surfaciques,
- Mettre en œuvre l'approche de cartographie prédictive sur la pente externe,
- Proposer un protocole d'acquisition de données terrain pour la validation adapté aux traitements développés.

Références bibliographiques

- Bigot L, 2008. Evolution spatio-temporelle de la biodiversité et de la structure des communautés benthiques entre 1998 et 2008 sur les stations sentinelles GCRMN de la Réunion. Rapport ECOMAR pour le compte de APMR 32 p. + annexes.
- Lee, Z. et al., 1998. Hyperspectral remote sensing for shallow waters. I. A semianalytical model. *Applied Optics*, 37(27), p.6329–6338.
- Montaggioni, L.F. & Faure, G., 1980. Les récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes Trav. Univ. Réunion.,
- Mouquet, P. & Quod, J.-P., 2010. Spectrhant-OI : Cartographie des habitats benthiques littoraux et subtidaux des îles françaises de l'océan Indien à partir de données hyperspectrales. Rapport de synthèse, Ifremer, AAMP, Arvarm, TAAF, DIREN Renion.
- Zubia M., Cuet P., Nicet J.B., Cambert H., Bein A. et Turquet J., 2012. Définition d'un bio indicateur d'eutrophisation (coraux, algues, invertébrés) pour les récifs coralliens de la Réunion. Rapport final Septembre 2012. Arvam n°10/1218779. 188p.
- J.B. Nicet, M. Porcher, G. Pennober, P. Mouquet, S. Andrefouet, N. Alloncle, Y. Denis, G. Dirberg, A. Nicolas, B. Pribat, J. Ringelstein, J.P. Quod (2012). Approche harmonisée pour la commande et la réalisation de carte des habitats en milieu récifal sur les territoires français. Guide de mise en œuvre à l'attention des gestionnaires. Guide IFRECOR, 51 pages, octobre 2012.

De la cartographie des habitats marins à la mise en place d'un zonage pour la gestion d'un territoire : cas du Parc national des Calanques

Elodie Rouanet¹, Bertrand Cousin², Patrick Astruch¹, Denis Bonhomme¹,
Alessandra Accornero-Picon²

¹ GIS Posidonie, Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'étude de l'environnement marin, Université Aix-Marseille, campus universitaire de Luminy, case 901, 13288 Marseille, Cedex 09, France

² GIP des Calanques, Parc d'affaire Marseille Sud – Impasse Paradou, 13009 Marseille, France

Mots clefs : habitats marins, usages, gestion, Parc national des Calanques, aire marine protégée.

Introduction

Le site des Calanques est célèbre et réputé pour sa valeur paysagère, sa biodiversité remarquable et son patrimoine culturel. Les nombreux travaux de recherches et d'expertises font état d'un milieu à la fois riche, diversifié mais aussi fragile et menacé. Plusieurs initiatives ponctuelles de protection ont vu le jour (Réserve Naturelle Nationale, Sites Classés, sites Natura 2000), mais très vite, un besoin d'harmonisation et de gestion globale du site dans son intégralité est apparu évident. La synthèse des nombreuses données scientifiques et cartographiques des habitats marins croisés avec le travail de concertation auprès des usagers, mené par le Groupement d'intérêt public des Calanques depuis 1999, a conduit à l'élaboration de la cartographie des périmètres du parc et des différents zonages réglementaires (Cousin, 2012) actée dans le décret de création du Parc national des Calanques le 18 avril 2012. Avec un périmètre à 93 % marin, le Parc national des Calanques permet à la France d'avancer significativement dans ses engagements internationaux en termes d'aires marines protégées. Les nouvelles connaissances acquises dans le cadre des programmes CARTHAM et MEDSEACAN confortent les objectifs de la Charte et constitueront une base de travail pour les états initiaux des Zones de Non Prélèvement (ZNP).

1. Cartographie des habitats marins du périmètre du parc

1.1. Méthode et moyens utilisés

La réalisation de la cartographie des habitats marins est basée sur l'analyse de cartes existantes, notamment en zones littorales, de la bibliographie très abondante sur la zone d'étude, et de nouvelles acquisitions de données dans la zone comprise depuis le littoral vers le rebord du plateau continental et sur des zones dont les données ont été jugées trop anciennes ou incertaines (in. Astruch *et al.*, 2012).

Les nouvelles acquisitions et investigations de terrain ont été réalisées à partir (i) d'ortho photographies aériennes de l'IGN (2008), (ii) d'imageries acoustiques au sonar latéral pour la zone au large et autour du phare de la Cassidaigne, (iii) de levés bathymétriques au sondeur multifaisceaux autour du phare de la Cassidaigne et (iv) de vérités terrain en plongée scaphandre, ROV et par prélèvements de substrats meubles sur 85 points. Les données acquises dans le cadre du programme MEDSEACAN (Fourt et Goujard, 2012) ont également été utilisées au niveau du canyon de Cassidaigne.

1.2. Cartographie des habitats marins et définition des secteurs à enjeux de conservation

La zone cartographiée représente 48 540 ha et englobe les 43 462 ha de la partie marine du cœur de parc (

Fig.1). Elle couvre une majorité de substrats meubles circalittoraux (36 748 ha), infralittoraux (741.34 ha), mais aussi de vases polluées portuaires ou sous l'influence du rejet urbain de Cortiou (135 ha). L'herbier à *Posidonia oceanica*, qui représente 769 ha, est bien présent sur le site avec localement des signes de progression au vue des dégradations passées, entre autre au niveau de la rade sud ou au regard du rejet de Cortiou. La matre morte de Posidonie, thanatocénose de l'herbier, représente 418 ha. L'habitat de la roche infralittorale à algues photophiles couvre 318 ha et du coralligène 178 ha. Les fonds coralligènes du site, notamment ceux de l'archipel de Riou et des Calanques sont d'une qualité exceptionnelle et emblématique en Méditerranée et présentent une richesse spécifique remarquable. Ils abritent des espèces patrimoniales comme les gorgones ou le corail rouge de Méditerranée qui peut former de véritables faciès. Les roches du large et bathyales couvrent 351.7 ha et sont localisées au large de Riou et dans le canyon de Cassidaigne. Enfin, le site ne compte pas moins d'une quarantaine de grottes sous-marines dont la grotte Cosquer qui enferme des peintures rupestres ou les grottes des 3PP et de Jarre qui abritent l'éponge carnivore *Asbestopuma hypogea*.

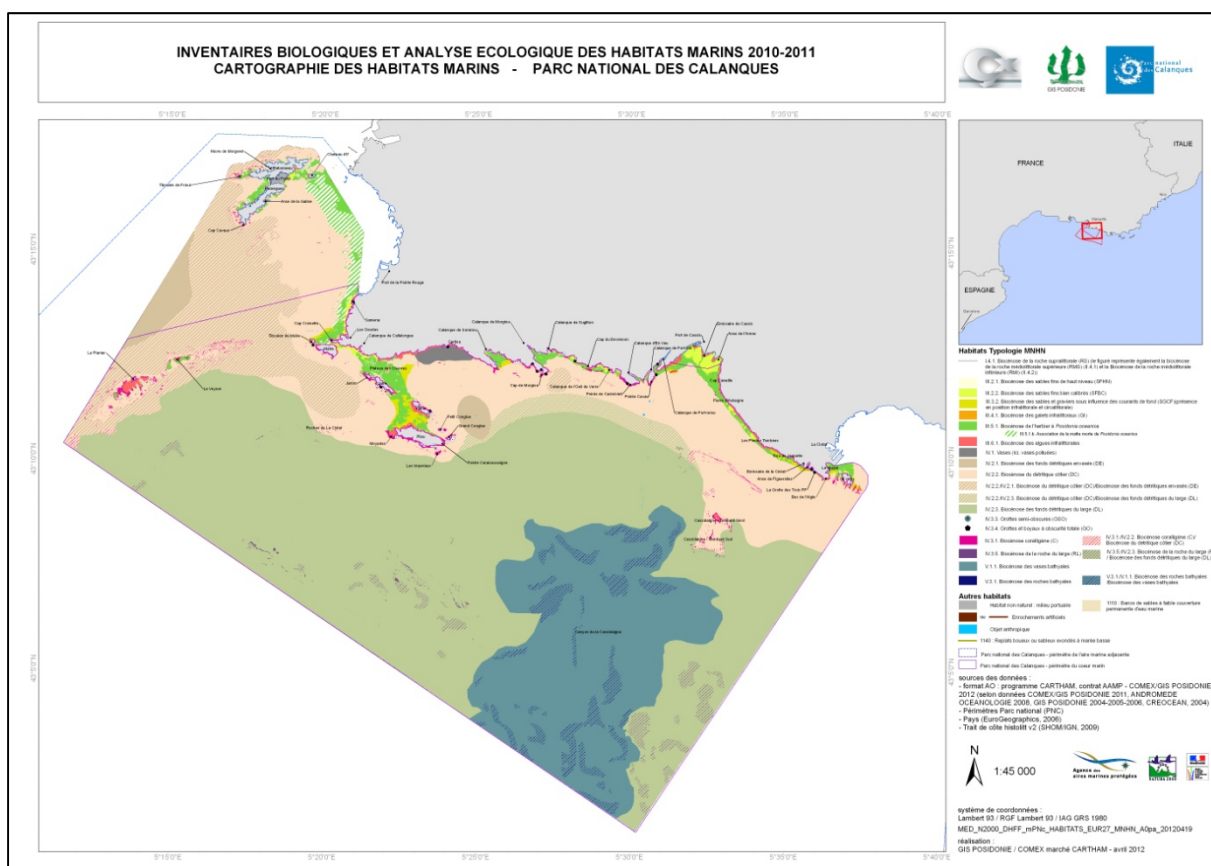


Fig.1 Carte des habitats marins (typologie MNHN, Michez *et al.*, 2011) du périmètre du Parc national des Calanques (d'après Astruch *et al.*, 2012).

2. Application pour la gestion : exemple de gestion et réglementation de la ZNP « Riou-Podestat-Vaisseau »

Les données issues des cartographies, quelles soient anciennes ou récentes, sont utilisées à plusieurs étapes dans la mise en place d'une gestion d'un territoire.

2.1. Utilisation pour délimiter la ZNP et déterminer les objectifs de gestion

La ZNP « Riou – Podestat – Vaisseau » couvre 1 050 ha. Elle abrite dans la partie de l'archipel Riou-Plane des fonds d'herbiers de Posidonie, de roches infralittorales à algues photophiles, de coralligènes et de fonds meubles infralittoraux et détritiques côtiers. La richesse et la fragilité de ces fonds ont été maintes fois soulignées et la protection de cette zone proposée puis actée notamment par la création de la Réserve Nationale en 2003 (Bonhomme *et al.*, 2005 ; Harmelin *et al.*, 1998). Dans la partie de la cuvette de Cortiou, les fonds ont été fortement dégradés par les rejets des eaux usées de la ville, et malgré les progrès d'épuration des eaux, les dégradations, bien que moins importantes que par le passé, demeurent toujours présentes (Arfi *et al.*, 2000). L'herbier de Posidonie a régressé pour laisser place à des fonds de vases pollués ; néanmoins des signes de progressions de l'herbier de Posidonie à proximité sont signalés (Astruch *et al.*, 2012).

Les objectifs de gestion sont ici la protection du milieu et des espèces avec l'interdiction de prélèvements par toutes formes d'activités de pêche au niveau de l'archipel, et le contrôle de la qualité des eaux ainsi que la restauration des fonds dégradés au regard du rejet de Cortiou.

2.2. Utilisation pour des actions opérationnelles et de perspectives de gestion

Les données cartographiques des habitats marins et des espèces vont permettre, au quotidien, de :

- mener des actions opérationnelles sur le terrain (balisages, surveillance, etc). Ces données appuieront notamment les actions de gestion de la fréquentation humaine au niveau de l'archipel avec par exemple la mise en place d'un balisage de signalement des ZNP. Pour cela, les couches SIG de la nature des habitats marins issues de CARTHAM couplé aux données de courantologie RHOMA de l'Ifremer permettront de définir le type de balisage à utiliser et leur positionnement (ancrage de type Harmony sur des fonds d'herbier par exemple) ;
- proposer de nouvelles actions de gestion comme la création de nouveaux périmètres de protection (réserve intégrale sur la face sud de l'île de Riou) ;
- réaliser l'état initial des ZNP et de mettre en place des suivis scientifiques pour déterminer les évolutions des communautés marines au regard de la mise en place du zonage de gestion ;
- d'informer et de sensibiliser le public.

3. Plus-values des programmes de cartographies pour la gestion du Parc national

Les programmes récents de cartographies comme CARTHAM apportent de nombreuses informations sur la connaissance du territoire, essentielles pour assurer une gestion cohérente. Dans le cas du Parc national des Calanques, ces apports de connaissances portent sur l'emprise de la zone cartographiée plus importante par rapport au périmètre de cœur de parc, la précision de la donnée avec des délimitations des habitats de plus en plus précises, mais aussi un regard sur les données historiques, nombreuses sur ce site, et une confrontation avec les nouvelles acquisitions. En outre, de nouveaux secteurs en cœur de parc, jusqu'alors mal appréhendés, ont été cartographiés (baie de Cassis, roches de Soubeyranes et au large de Riou, canyon de Cassidaigne dans le cadre du programme MEDSEACAN) ainsi que d'autres secteurs en aires marines adjacentes (Frioul, baie de La Ciotat).

Par ailleurs, en parallèle de la cartographie des habitats marins réalisée dans le cadre de CARTHAM, une cartographie des espèces a été dressée. Elle répertorie l'ensemble des espèces observées lors des investigations avec la mise en regard de leur statut de protection (DHFF, Conventions de Barcelone, de Berne) le cas échéant. De même, les observations d'atteintes faites sur les habitats et les espèces (engins de pêche abandonnés, traces de chalutage, macrodéchets) ont été géo localisées.

Toutes ces données de cartographies des habitats, d'observations d'espèces et de perturbations alimenteront à la fois l'expertise des états initiaux des ZNP, les actions de gestion et seront utiles pour des études ciblées (mouillage sur herbier de posidonie, balisage pour une manifestation nautique ponctuelle, etc.).

Références bibliographiques

- Arfi R., Arnoux A., Bellan-Santini D., Bellan G., Laubier L., Pergent-Martini C., Bourcier M., Dukan S., Durbec J.P., Marinopoulos J., Millot C., Moutin T., Patriti G., Petrenko A., 2000. Impact du grand émissaire de Marseille et de l'Huveaune détournée sur l'environnement marin de Cortiou. Etude bibliographique raisonnée. *Centre d'Océanologie de Marseille et Université de la Méditerranée, Rapport pour la Ville de Marseille* : 138p.
- Astruch P., Bonhomme D., Goujard A., Rouanet E., Chemisky B., 2012. Inventaires biologiques et analyse écologique de l'existant, Natura 2000 en mer, lot n°6. Site Fr 9301602 « Calanques et îles marseillaises – Cap canaille et massif du Grand Caunet », Atlas cartographique des habitats marins et des espèces. *Contrat Agence des Aires Marines Protégées – COMEX SA / GIS Posidonie, GIS Posidonie publ* : 100 p.
- Bonhomme P., Ganteaume A., Bellan G., Cadiou G., Emery E., Clabaut P., Bernard G., Herve G., Bourcier M., Boudouresque C-F., 2005. Etude et cartographie des biocénoses marines des calanques de Marseille à Cassis, y compris l'archipel de Riou. Phase 3 : Rapport final. Contrat GIS Posidonie – IFREMER-COM/GIP des Calanques. 1-156.
- Cousin B., 2012. Carte des périmètres du Parc national des Calanques : Décret N° 2012-507 du 18 avril 2012 créant le Parc national des Calanques.
- Fourt M., Goujard A., 2012. Rapport final de la campagne MEDSEACAN (Têtes des canyons méditerranéens continentaux) novembre 2008 – avril 2010. *Partenariat Agence des aires marines protégées – GIS Posidonie, GIS Posidonie publ.* 218 p. + annexes.
- Harmelin J.G., Sartoretto S., Francour P., Boudouresque C.F., Bellan-Santini D., Vacelet J., 1998. Création d'une aire marine protégée dans l'archipel de Riou : proposition de plans de gestion. *Contrat d'étude COM/Ville de Marseille*, 198 p.
- Michez N., Dirberg G., Bellan-Santini D., Verlaque M., Bellan G., Pergent G., Pergent-Martini C., Labrune C., Francour P., Sartoretto S., 2011. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée, Liste référence française et correspondances. *Rapport SPN 2011 – 13, MNHN, Paris*, 48 p.

Une stratégie sur le long terme du suivi des habitats en domaine portuaire pour une gestion d'aire marine protégée

Christine Dobroniak¹

¹ Grand Port Maritime de Dunkerque Port 2505 – 2505 Route de l'Ecluse Trystram – BP 46 534 - 59386 Dunkerque cedex 01

Contact : cdobroniak@portdedunkerque.fr

1. Enjeux et responsabilité du port de Dunkerque

Les ports sont des interfaces entre monde marin et monde terrestre. Ils jouent un rôle majeur dans l'économie mondiale de par les flux de marchandises et de personnes qu'ils permettent. Toutefois, ces flux de marchandises ne sont possibles que si les ports offrent de bonnes conditions de navigation au sein de leurs infrastructures. Ainsi, les tirants d'eau des chenaux d'accès, avant-ports et bassins doivent rester optimaux pour la navigation des navires qui y accostent ou qui y transitent. Or, les infrastructures portuaires sont généralement configurées de façon à protéger des aléas climatiques les navires en édifiant des bassins où les conditions hydrodynamiques sont largement atténuées par rapport à celles du milieu extérieur, propices à la sédimentation des matières en suspension. Outre cette sédimentation marine, les ports subissent aussi une sédimentation d'origine terrestre *via* les cours d'eau (fleuve, canaux, ...) dont ils sont le réceptacle. Afin de lutter contre cet engraissement permanent, les dragages d'entretien réguliers restaurent les tirants d'eau indispensables à la navigation, à la sécurité et, en règle générale, au bon fonctionnement du port. Chaque année, l'ensemble des ports français se doit de draguer un volume total de 40 à 50 Mm³.

Le Grand Port Maritime de Dunkerque, troisième port national en termes d'activité commerciale (47,2 millions de tonnes en 2012), n'échappe pas à cette règle et a engagé de tout temps des opérations de dragage et d'élimination des sédiments qui conduisent à l'extraction de plusieurs millions de m³ de sédiments annuellement. La sédimentation est en effet estimée de 1 à 4 m/an selon la zone considérée. Si le maintien de ces pratiques de dragage constitue une impérative nécessité pour Dunkerque-port, il n'en demeure pas moins qu'elles doivent s'inscrire dans un cadre environnemental clairement défini et de plus en plus rigoureux du fait notamment des nouvelles exigences réglementaires en vigueur édifiées à l'échelle nationale et internationale pour assurer la meilleure conservation possible de l'espace marin dans un esprit de développement durable, à l'image de la récente Directive cadre stratégie milieu marin (DCSMM). D'autant plus, que le port de Dunkerque fait face à une aire marine protégée, le site Natura 2000 des Bancs des Flandres (ZPS FR3112006 au titre de la Directive Oiseaux ; et pSIC FR3102002 au titre de la Directive Habitat), dont il est l'animateur du DOCOB. Les zones de vidage du port sont situées dans le site Natura 2000 en mer (Figure 1).

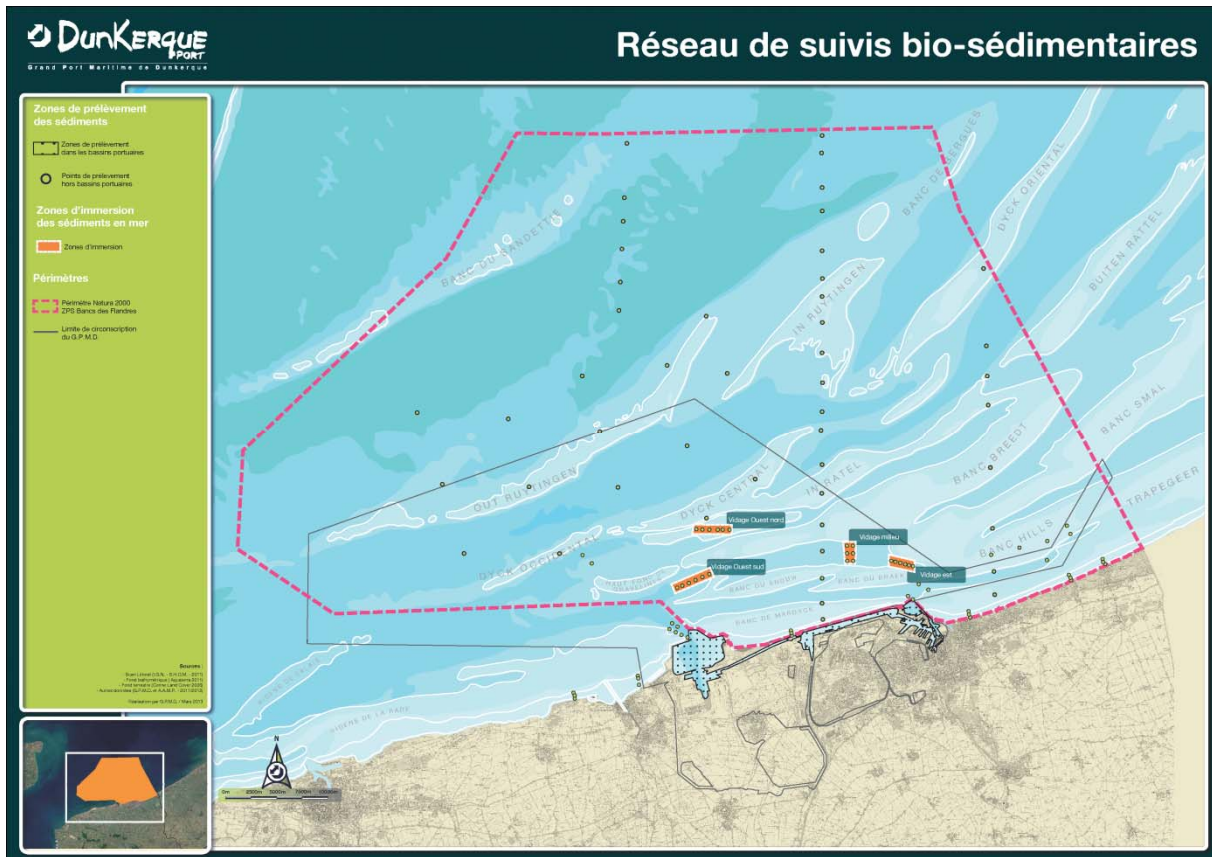


Fig.1 Localisation du site Natura 2000 bancs des Flandres, de la circonscription portuaire et du réseau de surveillance.

Les opérations de dragage proprement dites ne dépendent pas d'une réglementation spécifique. Elles doivent toutefois satisfaire à plusieurs textes de lois (Directive Cadre Eau ; Loi sur l'eau ; Arrêté ICPE déchets ; SDAGE ; Natura 2000....) notamment en ce qui concerne les filières d'élimination et de gestion des sédiments dragués. Une des solutions de gestion consiste à redistribuer les matériaux dans leur milieu d'origine pour le maintien du transit sédimentaire en garantissant l'innocuité sur le milieu marin. Par ailleurs, d'autres orientations de gestion des sédiments dragués sont encouragées pour lutter contre l'érosion des côtes littorales et répondre à la problématique de gestion du trait de côte en lien avec les changements climatiques.

Fort de ces constats et d'une volonté affichée de concilier activité portuaire, préservation de l'environnement et anticipation des orientations réglementaires à venir, Dunkerque-port s'est engagé dans un Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PA2D), document qu'il est un des premiers à lancer parmi les grands ports maritimes, et dont l'objectif est d'anticiper et planifier les enjeux d'avenir pour le port. En effet, les enjeux sont considérables : sur 17 km de façade, le territoire portuaire couvre 7 500 hectares et sa circonscription maritime 38 000 hectares. Le PA2D est ensuite décliné en schémas d'orientation, outils stratégiques de planification des actions à mener par Dunkerque-port pour une meilleure gestion environnementale de ses activités. Parmi ces schémas, se distinguent notamment le Schéma Directeur des Dragages (SDD) dont le GPMD s'est doté dès 2006.

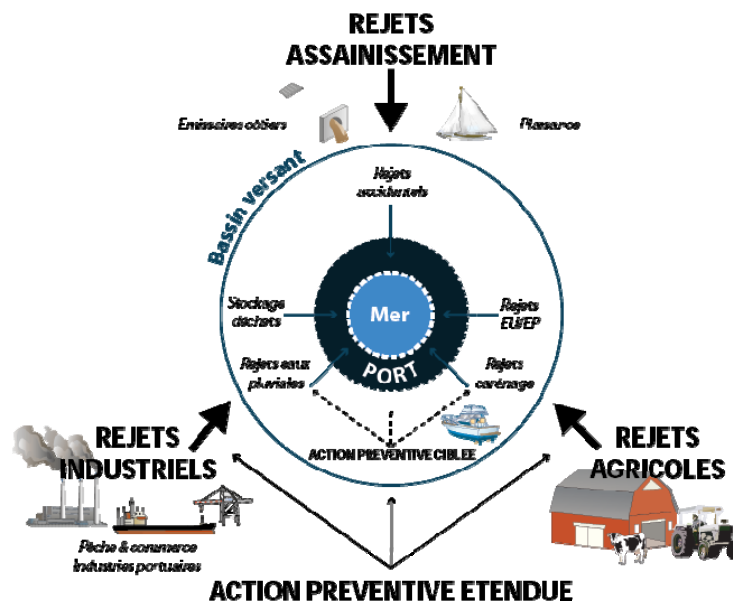
2. Une surveillance développée du milieu marin

Véritable outil stratégique des dragages et de gestion des sédiments extraits, le SDD fixe les objectifs environnementaux, et définit un plan d'actions à mettre en œuvre pour les atteindre : le Plan de Gestion Opérationnel des Dragages (PGOD).

Ce dernier définit d'une part protocoles de gestion des produits de dragage en fonction de la qualité des sédiments. D'autre part, celui-ci propose un plan de suivi et de surveillance environnementale. Ainsi, le port de Dunkerque réalise un suivi régulier de l'état des milieux sédimentaires, dont l'objectif s'inscrit dans le contexte de surveillance globale de la qualité chimique et biologique des milieux marins. Ainsi, ce sont près de 100 stations qui sont suivies annuellement (Figure 1). Ce réseau concerne à la fois la qualité de l'eau et celle des sédiments, mais aussi les habitats. En effet, la qualité physico-chimique des sédiments revêt ici une importance considérable puisqu'elle précise à la fois l'état général des sites qui peuvent être dragués mais aussi la nature des matériaux qui sont mobilisés et la filière de gestion adéquate. Plusieurs campagnes annuelles d'analyses sont exploitées pour dresser un état initial des sédiments et habitats marins.

En outre, l'impact de la présence de contaminants mais aussi des perturbations des fonds, sur les populations benthiques sont évalués à l'aide d'indices écologiques, puis comparés à un site de référence. Ainsi, l'analyse des peuplements benthiques, couplée à l'analyse du milieu (sédiments, oxygène, contamination organique, contaminants métalliques...) permet de faire le bilan des conditions environnementales et d'expliquer le degré de dégradation éventuelle.

Enfin, le PGOD détermine les actions de réduction des sources de pollution. L'apport de flux de contamination dans le milieu marin est très complexe (Figure 2). Il s'agit à la fois des pollutions diffuses issues du territoire portuaire mais aussi du bassin versant étendu (lessivage des eaux pluviales, pollutions atmosphériques...) et des pollutions plus ponctuelles ou accidentelles qui viennent également dégrader la qualité du milieu naturel. Dunkerque-port contribuant à la réduction des sources de contamination sur son territoire, en partenariat avec les entreprises, la qualité des sédiments s'améliore d'année en année.



Un partenariat avec les acteurs scientifiques locaux

Fig. 2 Schéma de principe des sources potentielles de pollution sur un port et milieu marin (d'après IDRA environnement)

Aujourd'hui, à travers Natura 2000 Bancs des Flandres dont il a l'animation, Dunkerque-port souhaite anticiper les objectifs à venir et contribuer à l'établissement d'un état initial exhaustif du milieu marin. Il s'agit donc, d'une part, de prévoir les incidences des opérations de dragage, et d'autre part, d'évaluer, à court et moyen terme, les incidences réelles des autres

activités économiques présentes sur le site, notamment la pêche, le transport maritime et la plaisance.

Dans ce cadre, il complète le dispositif déjà mis en place par des conventions de partenariat avec les universitaires et/ou associations locales. Ainsi, la dynamique des populations des mammifères marins est appréciée. Il en est de même des espèces d'oiseaux remarquables fréquentant le site.

Par ailleurs, du fait de la grande variabilité du milieu marin, une mesure ne représente que la situation ponctuelle de ce milieu au moment et à l'endroit du prélèvement. Aussi, le port de Dunkerque parachève le réseau de prélèvements, par des analyses de chairs, utilisant la propriété de bio-accumulation des animaux marins (mammifères marins, mollusques et poissons). Les teneurs en polluants mesurées dans ces organismes sont le résultat et le reflet d'une situation moyenne. Elles sont donc davantage représentatives de l'état chronique du milieu. De plus, le réseau étant dense et couteux, cela apparaît pour Dunkerque-port être une alternative acceptable.

D'autre part, un suivi biennuel géomorphologique du littoral et des petits fonds est réalisé par bathymétrie et topographie. Des mesures courantométriques ponctuelles sont aussi programmées. En étroite collaboration avec les laboratoires de recherches universitaires, les résultats permettent d'apprécier la dynamique hydro-sédimentaire du littoral et des bancs côtiers, caractéristiques du site Natura 2000.

En parallèle, un état des lieux des activités socio-économiques sur le site est en cours de finalisation. Il concerne les pratiques de pêche professionnelles, de pêche de loisirs et de plaisance et de sports de nature. La compilation et le croisement des informations avec celles naturalistes doivent ainsi permettre de statuer sur l'acceptabilité et le bien-fondé des pratiques ou les éventuelles évolutions à engager.

3. Conclusions

Ces chaînes de suivi et de surveillance (Figure 3) ainsi que les bilans obtenus et les conséquences en découlant, font intervenir différents protagonistes (Etat, gestionnaire portuaire, universitaires...) qui apportent, chacun à leur niveau, des informations charnières sur la connaissance du milieu et les conséquences avérées des travaux. Dunkerque-port travaille actuellement à la compilation et au partage des données avec les acteurs locaux

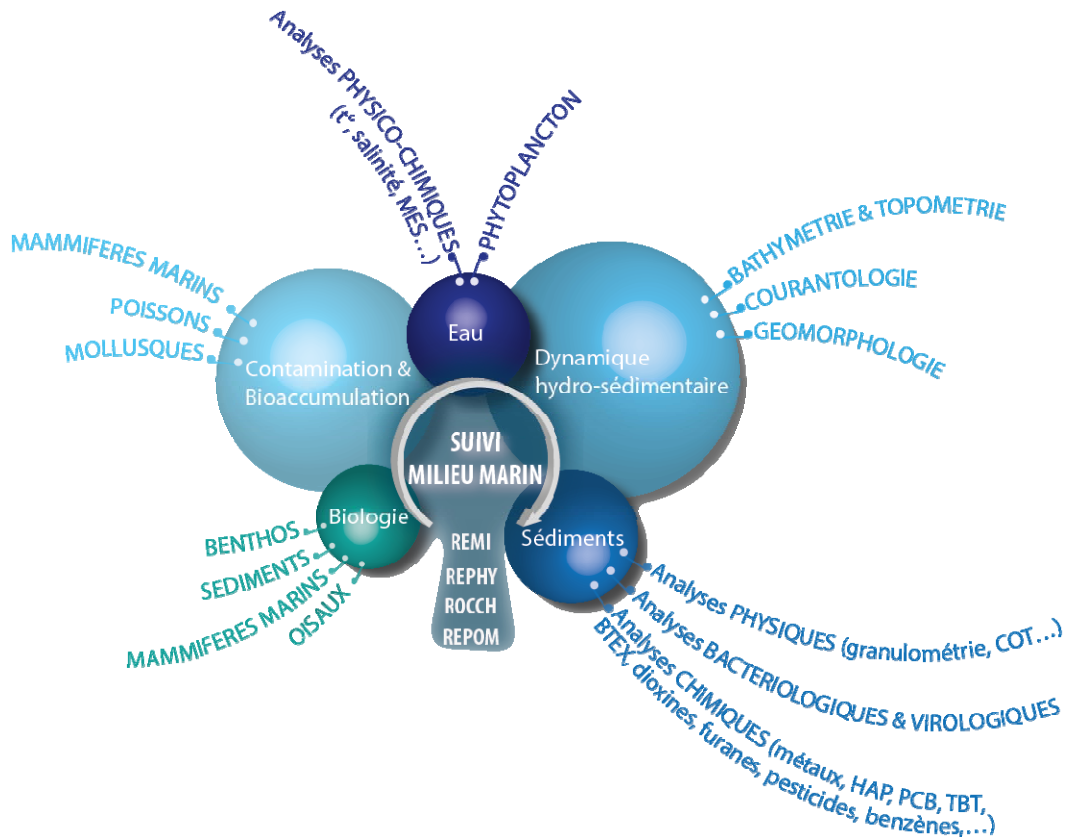


Fig.3 Synthèse des suivis sur le port de Dunkerque et site Natura 2000 Bancs des Flandres

Ces suivis rigoureux et systématiques, menés par le port de Dunkerque au-delà des obligations réglementaires, et l'exploitation des résultats, doivent permettre d'alimenter l'état des connaissances sur les pratiques et usages des Bancs des Flandres pour justifier leur acceptabilité mais également déterminer les conditions de leur évolution. Ce programme ambitieux s'insère dans un ensemble international d'activités de surveillance et coordonne les activités entreprises dans ce domaine pour un bon état écologique du milieu marin et une optimisation des efforts accomplis.

Cartographie profonde des biocénoses pour l'implantation d'un centre sous-marin d'essais et d'expertises

R. Legras¹

¹ CREOCEAN, 243 avenue de Bruxelles, 83500 La Seyne-sur-Mer.

Contact : legras@creocean.fr

La société ABYSSEA envisage de créer un centre d'expertises et d'essais en mer profonde. Pour ceci, elle souhaite poser un câble au départ de la calanque de la Carbonnière sur l'île du Levant (PACA, Var) pour rejoindre, dans le canyon des Stoechades, deux plateformes d'essais (1 300 et 2 400 m).

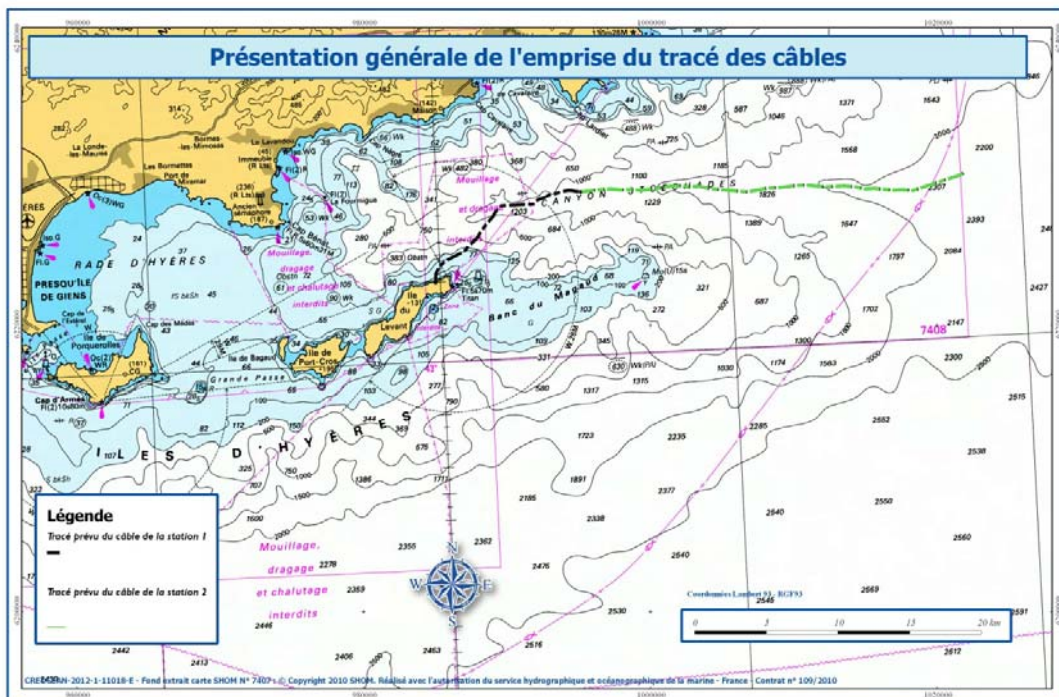


Fig.1 Présentation du site et du tracé du câble d'alimentation

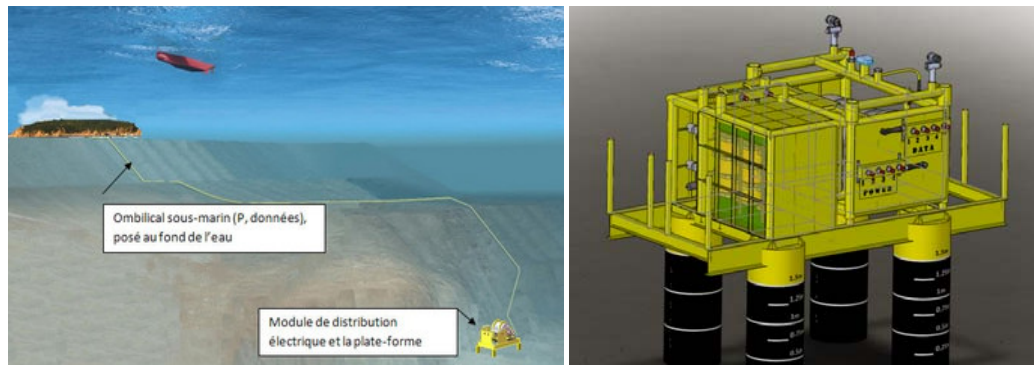


Fig.2 Aspect général des plates-formes sous-marines.

Afin de définir le meilleur tracé marin possible pour la pose des câbles alimentant les plates formes, une cartographie des fonds a été réalisée par la COMEX et CREOCEAN.

Deux types de cartographies ont été réalisés :

- une cartographie bathymétrique,
- une cartographie des biocénoses.

1. Bathymétrie Multi faisceaux

Les acquisitions à l'aide du sondeur multifaisceaux Reson Seabat 8101 ont été réalisées le mardi 14 août 2012 entre 250m et 10m de profondeur le long du tracé théorique, sur une bande de 120m (dans la calanque) jusqu'à 850m de large.

2. Cartographie au sonar latéral

La cartographie au sonar latéral permet de déterminer les variations de substrat et de détecter d'éventuelles obstructions pouvant compromettre la pose du câble.

Cette cartographie a été réalisée suivant un corridor allant de 600m à 800m de large autour du tracé théorique. Les premières observations réalisées à l'aide du ROV le 16 août ont amené l'équipe de COMEX à modifier légèrement le tracé théorique et à étendre la largeur du corridor initialement prévue.

Le levé sonar a été réalisé entre le 16 et le 17 août 2012. Le système Klein 3000 a été mis en oeuvre entre les profondeurs 20m et environ 900m.

Le sonar a été positionné par le système de positionnement acoustique dans les faibles profondeurs (<200m), puis en longueur filée.

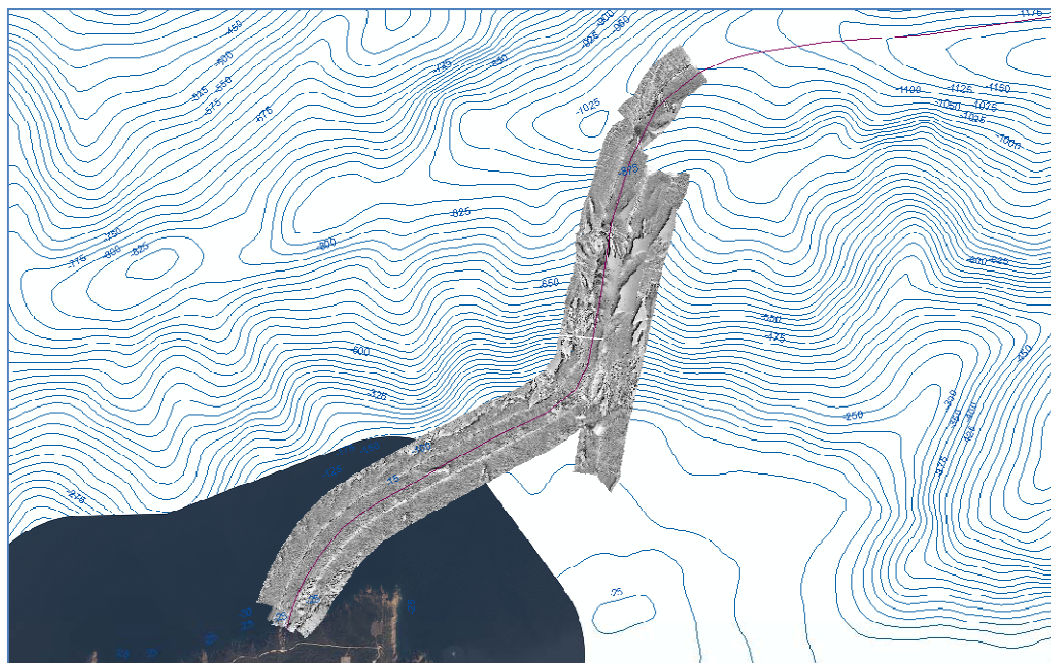


Fig.3 Mosaïque sonar

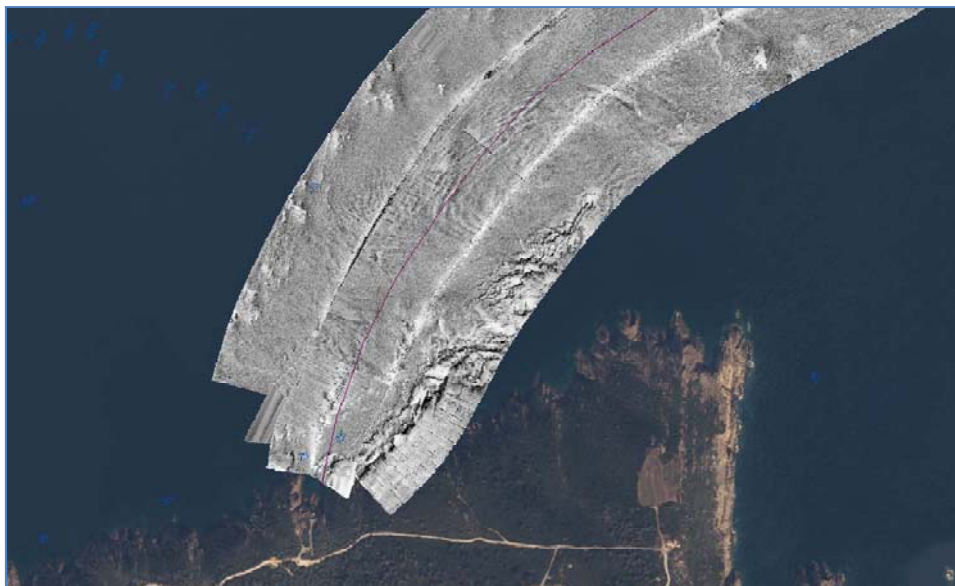


Fig.4 Couverture sonar au niveau de l'atterrage

3. Résultats

Ces cartographies jusqu'à 750 m de fond ont permis de choisir le meilleur tracé notamment au niveau de l'atterrage pour éviter au mieux les impacts potentiels sur les habitats et espèces marines remarquables.

Grâce à cette mosaïque sonar, des points de « vérité » terrain ont pu être déterminés et positionnés.

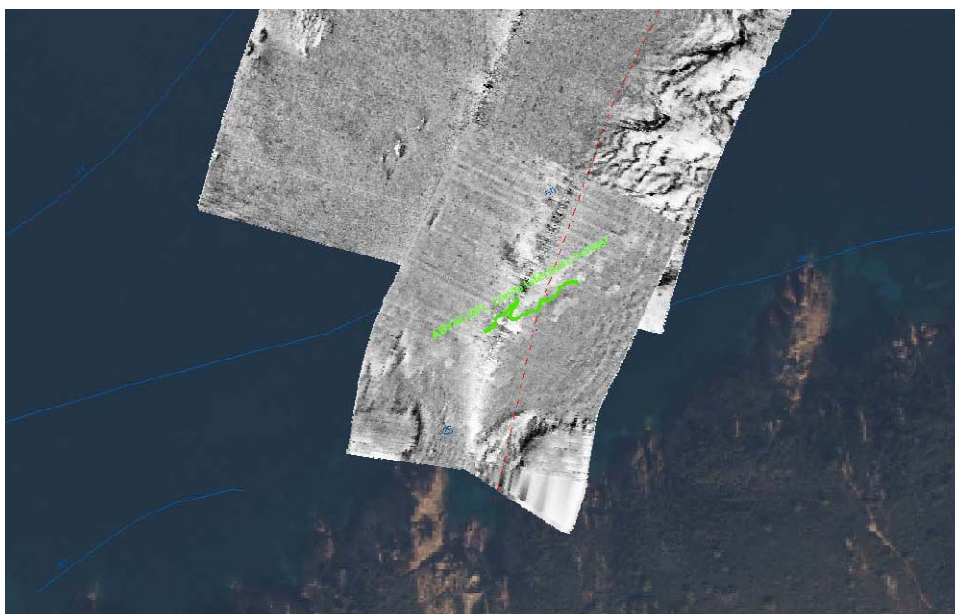


Fig.5 Points vérifiés terrain à proximité de l'atterrage

Ils ont ensuite été vérifiés en plongée ou au ROV pour préciser la cartographie.

La description suivante est réalisée en prenant en compte les observations faites lors (i) de la mission cartographie, inventaire et qualité du milieu CREOCEAN&COMEX d'août 2012 (annexe 4), (ii) de la cartographie de la nature des fonds (Ruitton et al, 2007), (iii) du programme de reconnaissance des têtes de canyons de la Méditerranée française (Agence Aires Marines Protégées-COMEX, 2008-2012) et (iv) en s'inspirant du manuel

d'interprétation des types d'habitats marins (PNUE, 2007) ainsi que du DOCOB pour l'île du Levant de 2008.

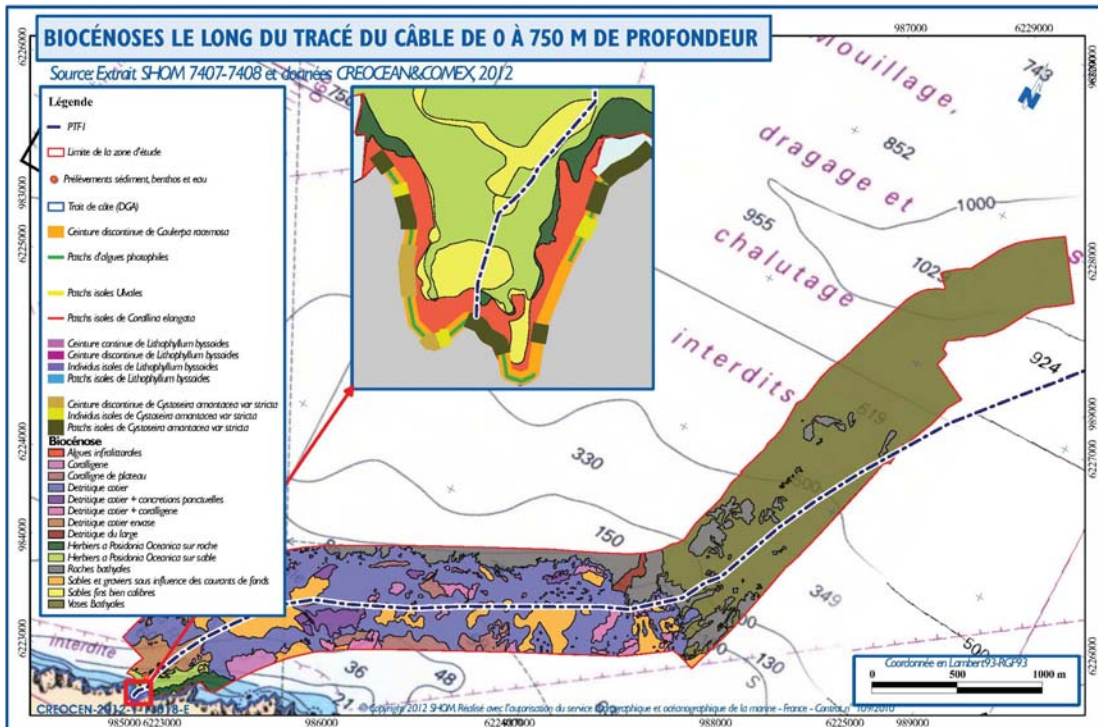


Fig.6 Biocénoses le long du tracé du câble de 0 à 750 m de profondeur

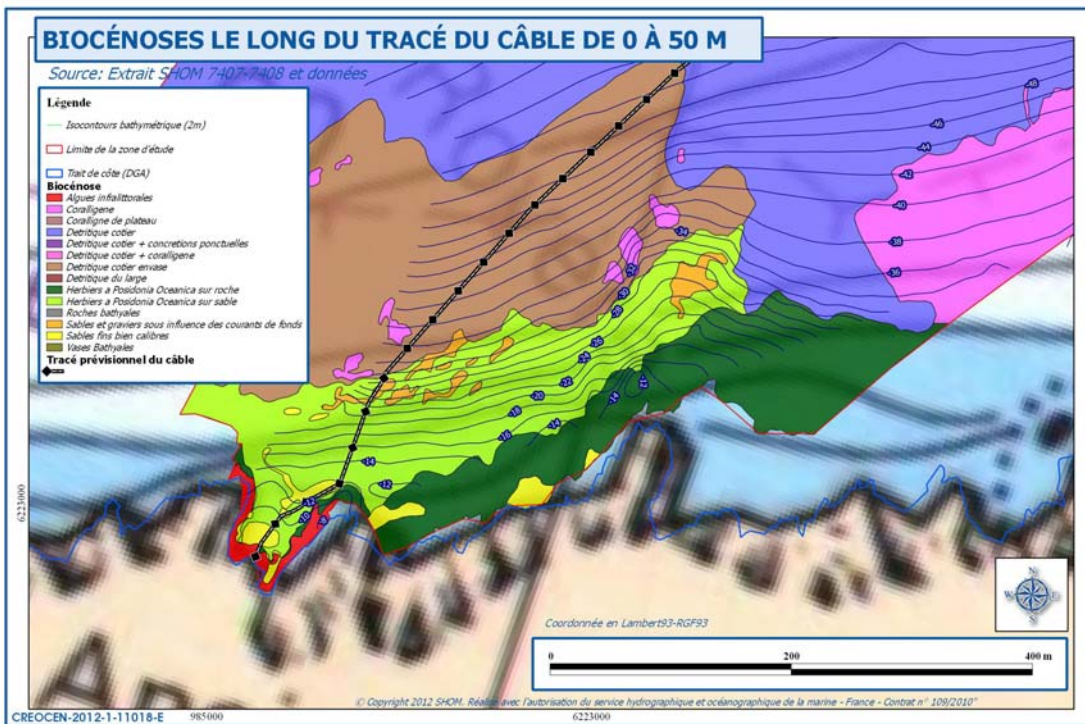


Fig.7 Biocénoses le long du tracé du câble de 0 à 50 m de profondeur

Analyse de la répartition spatiale des limicoles et des ressources benthiques pour la gestion de la Réserve naturelle.

Alain Ponsero¹, Anthony Sturbois, Clara Morey-Rubio, Séverine Kwiecien, Alicia Simonin.

¹ Réserve Naturelle nationale de la Baie de Saint-Brieuc, site de l'étoile, 22120 Hillion, France

Résumé

La Baie de Saint-Brieuc est un site d'importance internationale pour l'hivernage des oiseaux. L'avifaune présente sur l'espace intertidal est étroitement liée aux caractéristiques bio-morpho-sédimentaires. La macrofaune benthique et les faciès sédimentaires ont été cartographiés. En parallèle, une étude de la distribution spatiale et de l'activité de six espèces de limicoles a été conduite. Chaque groupe d'oiseaux a été comptabilisé et localisé par télémètre. Dans le but d'améliorer la compréhension du système prédateur-proie, les zones d'alimentation des oiseaux ont été confrontées à la cartographie de leurs ressources alimentaires. Cette étude permet aux gestionnaires d'identifier les zones d'importance pour la conservation des oiseaux, d'évaluer l'impact du dérangement ou d'aménagement sur l'utilisation de zones identifiées comme favorables en comparant les habitats potentiels et les habitats réellement utilisés par l'avifaune, et d'améliorer la compréhension du système ressources benthiques/avifaune/activités humaines.

Introduction

Le macrobenthos est un élément clef du fonctionnement des écosystèmes estuariens ou intertidaux. De nombreux auteurs ont mis en évidence son rôle prépondérant dans les réseaux trophiques benthiques et pélagiques, et en particulier son importance nutritionnelle pour l'avifaune (Goss-Custard, 1980; 2006 ; Baird *et al.*, 1985...). Les distributions des espèces de canards et de limicoles sont fortement liées à celle de leur nourriture (Evans *et al.*, 1984 ; Mclusky et Elliott, 2004), notamment au cours de l'hivernage (Piersma *et al.*, 1993), périodes pendant lesquelles les ressources alimentaires doivent être suffisantes pour subvenir à leurs besoins énergétiques accrus en particulier en cas de vague de froid (Kersten et Piersma, 1987 ; Piersma, 1990 ; Degré, 2006). Durant ces phases, l'abondance et la diversité spécifique des oiseaux présents sur la zone intertidale dépendent, d'une part, de la biomasse en invertébrés benthiques disponibles et accessibles (Moreira, 1997 ; Newton, 1998) et d'autre part, de l'existence de sites de repos ou de remise à proximité (Granadeiro *et al.*, 2007). L'une des difficultés à identifier ces relations trophiques dans les conditions naturelles est de savoir clairement, dans le même temps, les ressources et les modalités de l'exploitation par les prédateurs (Ponsero et Le Mao, 2011). Pourtant la connaissance et la cartographie précise de ces peuplements et des principales zones d'alimentation des oiseaux permettent aux gestionnaires d'aires marines protégées d'identifier des zones fonctionnelles à forts enjeux de conservation pour la préservation de l'avifaune. L'approche développer en baie de Saint-Brieuc repose sur le couplage de la distribution spatiale les limicoles en fonction de leur activité, et les données bio-sédimentaires.

1. Site

Le fond de baie de Saint-Brieuc (48°32'N; 2°40'W), sur la façade nord de la Bretagne au sud-ouest du golfe Normand-Breton, est constitué par l'anse d'Yffiniac et l'anse de Morieux qui s'étendent sur 2900 hectares d'estran principalement sableux dont 1136ha sont classés en réserve naturelle nationale depuis 1998. Le marnage varie de 4m en mortes-eaux à près de 13m en vives-eaux (marnage moyen: 6,5m).

Le fond de baie de Saint-Brieuc est d'intérêt national (plus de 1% de la population hivernante française) voire international (plus de 1% de la population hivernante mondiale) dans l'hivernage des limicoles, d'après les seuils d'effectifs définis pour chaque espèce dans le cadre de la convention de Ramsar (Delany *et al.*, 2009). En période hivernale, leur effectif correspond à un tiers du nombre total d'oiseaux du site (Sturbois et Ponsero, 2011).

2. Méthode

2.1. Localisation des zones d'alimentation

Six espèces de limicoles, parmi les plus abondantes ont été étudiées durant les hivers 2010/11 et 2011/12 : Huîtrier-Pie *Haematopus ostralegus*, Courlis cendré *Numenius arquata*, Barge rousse *Limosa lapponica*, Bécasseau maubèche *Calidris canutus*, Bécasseau sanderling *Calidris alba*, Bécasseau variable *Calidris alpina*. Le déplacement imprévisible des oiseaux et la distance d'observation ne permettent pas d'utiliser des points d'observation fixes. Le principe consiste donc à suivre les oiseaux au fur et à mesure de leurs déplacements. Pour chaque groupe d'oiseaux observé, les nombres d'oiseaux au total et en alimentation sont comptés, afin de déterminer la proportion en alimentation. Le comptage des oiseaux est effectué à l'aide d'une longue-vue. La position du groupe est déterminée grâce à un télémètre à faisceau laser donnant la distance et l'angle du groupe par rapport au nord. La position de l'observateur est déterminée par le GPS, la position du groupe est calculée selon les règles trigonométriques d'usages. Le télémètre permet d'effectuer des mesures efficaces jusqu'à 700 mètres en limitant ainsi au maximum le dérangement des oiseaux. L'heure est également notée pour resituer l'observation par rapport aux conditions de marée.

2.2. Cartographie benthique

La cartographie des communautés benthiques et des faciès sédimentaires a eu lieu en octobre 2010 et mars 2011. Le plan d'échantillonnage comprend 131 stations espacées de 500 mètres et couvrant l'ensemble des 2900ha d'estran. Sur chaque station, trois prélèvements de la macrofaune benthique, deux prélèvements de sédiment et une mesure de la cohésion du sédiment ont été réalisées. Les prélèvements ont ensuite été analysés en laboratoire. Les figures sédimentaires ont été cartographiées en 2012

3. Résultats

3.1. Les peuplements benthiques et faciès sédimentaires

Trois grands types de communautés benthiques ont été recensés en fond de baie :

	peuplement	Surface (ha)
	peuplement des sables fins de bas niveau à <i>Donax Vittatus</i> et <i>Magelona sp.</i>	1200
	peuplement des sables fins de niveau moyens à <i>Tellina tenuis</i> et <i>Cerastoderma edule</i>	1220
	peuplement oligohalins des sables fin vaseux à <i>Macoma balthica</i> et <i>Hediste diversicolor</i>	370
	Peuplement des Vases silteuses à <i>Scrobicularia plana</i> , <i>Macoma balthica</i> et <i>Hediste diversicolor</i>	65

Les faciès sédimentaires sont dominés par des sables fins à très fins. Des zones de sables fins envasés sont présentes en fond d'anse d'Yffiniac et dans l'estuaire du Gouessant. Ces travaux ont notamment permis de mettre à jour les données acquises lors des précédentes campagnes de cartographie (1987, 2001) et montrent une relative stabilité des communautés benthiques et des faciès sédimentaires sur plus de vingt ans. Le jeu de données permet par ailleurs de réaliser des cartes de répartition de la macrofaune benthique et plus particulièrement des principales espèces consommées par les limicoles.

3.2. Répartition spatiale des limicoles

L'étude de la répartition spatiale des limicoles permet de mettre en évidence une utilisation différente de l'espace en fonction de leurs activités. Pour la majorité des espèces, les repaires se limitent aux parties supérieures de l'estran et sont utilisés à marée haute. La distribution des oiseaux en phase d'alimentation n'est pas homogène. Certains secteurs apparaissent ainsi comme d'importance majeure pour l'alimentation d'une ou plusieurs espèces. D'autres sont en revanche très peu fréquentés comme les bouchots ou les zones où le sédiment est fortement compacté.

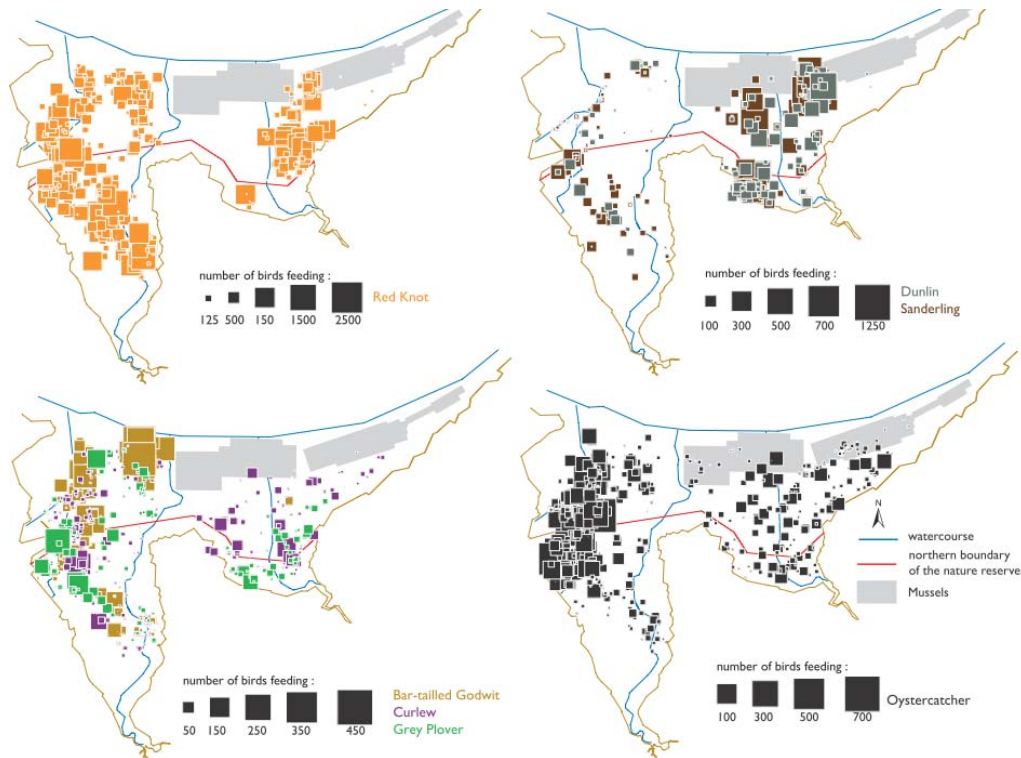


Fig.1 L'étude de la répartition spatiale des limicoles permet de mettre en évidence une utilisation différente de l'espace en fonction des espèces et de leurs types d'activités (ici les effectifs d'oiseaux en alimentation).

Les outils statistiques (modèles additifs généralisés (GAM) par exemple) permettent de coupler les données de macrofaune benthique et les données sédimentaires à la répartition de l'abondance des oiseaux en alimentation. Bien que la présence simultanée d'un prédateur et d'une source d'alimentation n'induit pas obligatoirement consommation par le prédateur, un certains nombres de corrélations fortes sont mis en évidence. Des études complémentaires du régime alimentaire (comme l'analyse des fèces par exemple) peuvent s'avérer nécessaires pour valider ces relations. Certaines relations mis en évidence sont bien connues comme les liens étroits entre l'Huîtrier pie et la Coque de taille comprise entre 15 et 25mm. Mais d'autres relations, moins ou pas renseigné dans la littérature (comme le Bécasseau maubèche et la Telline de la Baltique ou la Donax) ont été identifiée.

En fonction du cycle de marée, l'analyse permet d'identifier les modifications du régime alimentaire au fur et à mesure que de nouveaux peuplements deviennent accessibles aux oiseaux. Le régime de marée, la configuration bathymétrique générale du site, la position bathymétrique de chacun des habitats intertidaux, mais également le moment de la marée conditionnent des variations parfois importantes de superficies réellement accessibles ou attractives pour les limicoles. Si on souhaite quantifier ou comparer la fréquentation de différents habitats par les limicoles, et la quantité de nourriture qu'ils sont susceptibles d'y prélever, il convient donc de pondérer les abondances d'oiseaux qui fréquentent chaque

habitat non seulement par la surface de chacun des habitats, mais aussi par leur surface réellement exploitable (Ponsero *et al.*, 2012).

La modélisation de la répartition spatiale de l'avifaune en alimentation à partir des variables biologiques et sédimentaires permet d'établir des cartes prédictives de l'utilisation potentielle de l'espace et de comparer ces résultats aux observations ornithologiques. Ces outils de modélisation non linéaire permettent de mieux comprendre quels paramètres environnementaux influencent leur présence et leur abondance sur l'estran. L'utilisation de l'espace intertidal par l'avifaune est fonction du type et de la densité de proies, de leur accessibilité, de la nature du sédiment, mais également de la présence ou non d'évènements susceptibles d'occasionner un dérangement ou de limiter l'accessibilité de la ressource alimentaire. Le jeu de données ainsi constitué permet de comparer les habitats d'alimentation potentiels (prédites par le modèle) aux habitats réalisés pour analyser la compatibilité d'un système complexe entre les ressources benthiques, avifaune et les activités humaines.

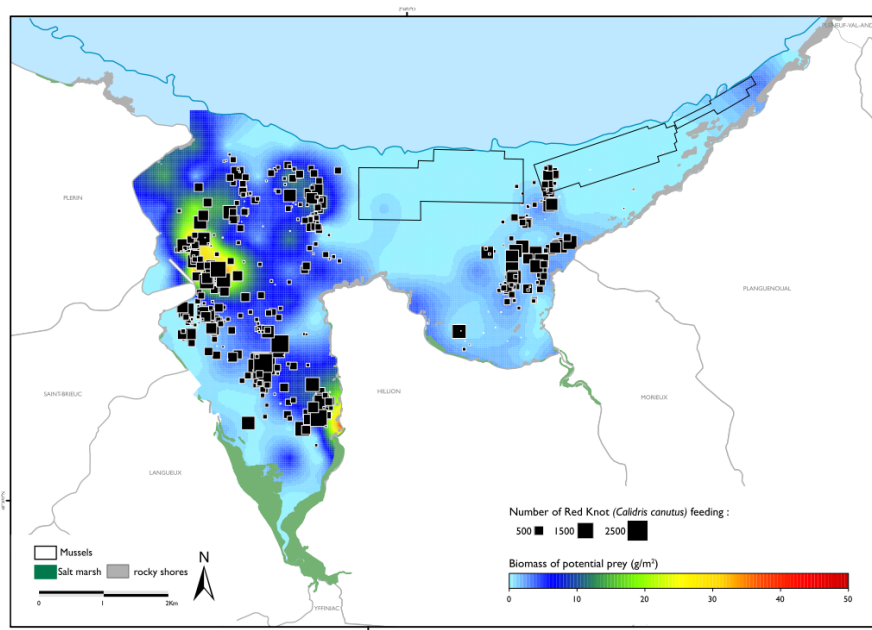


Fig.2 Carte établie par krigeage de la répartition des biomasses des proies potentielles du bécasseau maubèche (définies par la bibliographie) et répartition des effectifs de Bécasseau maubèche en alimentation

4. Conclusions

Un tiers de l'estran est classé en réserve naturelle nationale. Si la réserve naturelle protège efficacement la totalité des reposoirs de haute de mer du fond de baie, les principales zones d'alimentation des oiseaux sont en dehors du périmètre. La cartographie bio-morpho-sédimentaire de l'estran permet de développer nos connaissances sur l'utilisation potentiel de l'espace par l'avifaune et d'apporter des éléments pour juger de la pertinence du périmètre de la réserve naturelle. Cette approche centrée sur la fonctionnalité des écosystèmes peut facilement s'adapter à d'autres baies ou estuaires, voir à d'autres habitats (Schmiing *et al.*, 2013) pour déterminer en amont un périmètre pertinent pour un projet d'aire marine protégée.

Références bibliographiques

- Baird D., Evans P. R., Milne H. & Pienkowski M. W., 1985. Utilization by shorebirds of benthic invertebrate production in intertidal areas. *Oceanography and Marine Biology. Annual Review* 23, 573-597.
- Degré D., 2006. *Réseau trophique de l'anse de l'Aiguillon : Dynamique et structure spatiale de la macrofaune et des limicoles hivernants*. Université de La Rochelle, 518.
- Delany S., Scott D., Dodman T. & Stroud D., 2009. *An atlas of wader populations in Africa and Western Eurasia*. Wetlands International, Wageningen, 521p.
- Evans P. R., Goss-Custard J. D. & Hale W. G., 1984. *Coastal waders and wildfowl in winter*. Cambridge University Press, Cambridge, 331p.
- Goss-Custard J. D., 1980. Competition for food and interference among waders. *Ardea*. 68, 52.
- Goss-Custard J. D., 2006. Intake rates and the functional response in shorebirds (Charadriiformes) eating macro-invertebrates. *Biological Revue*. 1-29.
- Granadeiro J. P., Santos C. D., Dias M. P. & Palmeirim J. M., 2007. Environmental factors drive habitat partitioning in birds feeding in intertidal flats: implications for conservation. *Hydrobiologia*,. 587, 291-302.
- Kersten M. & Piersma T., 1987. High levels of energy expenditure in shorebirds: metabolic adaptations to an energetically expensive way of life. *Ardea*. 75, 175-187.
- McLusky D. S. & Elliott M., 2004. *The estuarine ecosystem: ecology, threats, and management*. Oxford University Press Oxford (UK), 214p.
- Moreira F., 1997. The importance of shorebirds to energy fluxes in a food web of a South European estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 44, 67-78.
- Newton I., 1998. *Population limitation in birds*. Academic Press, London, 597p.
- Piersma T., 1990. Pre-migratory 'fattening' usually involves more than the deposition of fat alone. *Ringling & Migration*. 11, 113-115.
- Piersma T., De Goeij P. & Tulp I., 1993. An evaluation of intertidal feeding habitats from a shorebird perspective: towards relevant comparisons between temperate and tropical mudflats. *Netherlands Journal of Sea Research*. 31, 503-512.
- Ponsero A. & Le Mao P., 2011. Consommation de la macro-faune invertébrée benthique par les oiseaux d'eau en baie de Saint-Brieuc. *Revue d'Ecologie*. 66, 383-397.
- Ponsero A., Le Mao P., hacquebart P., Jaffre M., Godet L. & Triplet P., 2012. Prendre en compte les surfaces réellement exploitables par les limicoles. In: *Triplet P., (Ed.), Manuel de gestion des oiseaux et de leurs habitats dans les écosystèmes estuariens et littoraux*. Estuaria, 321-330.
- Schmiing M., Afonso P., Tempera F. & Santos R.S., 2013. Predictive habitat modelling of reef fishes with contrasting trophic ecologies. *MEPS*. 474, 201-216.
- Sturbois A. & Ponsero A., 2011. *Synthèse ornithologique de la baie de Saint-Brieuc, phénologie et évolution des effectifs sur la période 1970-2010*. Réserve Naturelle Baie de Saint-Brieuc, 83p.

Cartographies et représentations sensibles du paysage sous-marin. Les outils du paysagiste appliqués au monde marin.

Maxime Aubinet¹

¹ Paysagiste DPLG

Depuis plus de 20 ans (1992, date de publication du premier atlas des paysages sur le département des Yvelines), les atlas de paysages sont utilisés comme des outils au service du paysage. Ces outils, véritables diagnostics de territoires, répondent à plusieurs objectifs qui sont notamment :

- L'identification et la caractérisation des paysages ;
- L'évaluation des dynamiques paysagères ;
- L'étude des usages et des perceptions sociales.

L'un des principaux supports de communication des atlas est la carte des paysages.

La cartographie de paysage se doit de rendre la lecture du paysage compréhensible et accessible par tous. Une carte de paysage permet de rassembler et partager sur un seul support les impressions dispersées sur un vaste territoire. Elle doit être lisible au premier regard, la légende n'est là que pour préciser les choses. Les méthodes de représentation des paysages font appel à un langage commun, une simplification de la vision aérienne.

Ce support de communication permet de passer de l'étape de reconnaissance des différents paysages d'un territoire, au véritable dialogue sur les enjeux et le devenir de ces paysages.

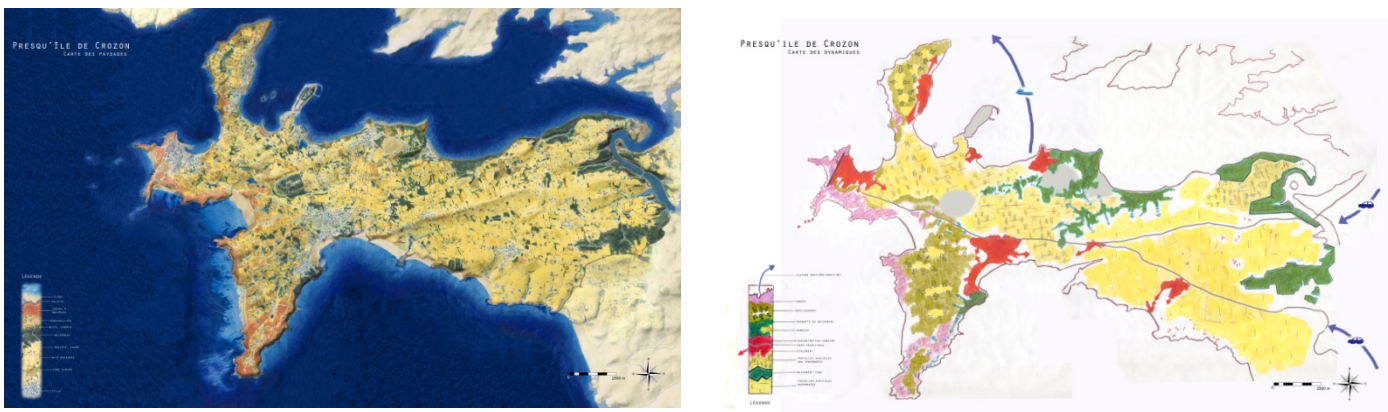


Fig.1 Carte des paysages de la presqu'île de Crozon et Carte des dynamiques paysagères

L'un des enjeux du paysage sous-marin est sa reconnaissance par le grand public, par les acteurs territoriaux. Avant de pouvoir imaginer une gestion/protection de ces espaces, il nous faut les reconnaître, les situer, les spatialiser.

La carte de paysage sous-marin peut constituer un premier pas vers ces objectifs de protection et de gestion.

Quelles méthodes utiliserons-nous alors pour cartographier ces paysages, le plan est-il suffisamment parlant pour représenter un espace tridimensionnel ?

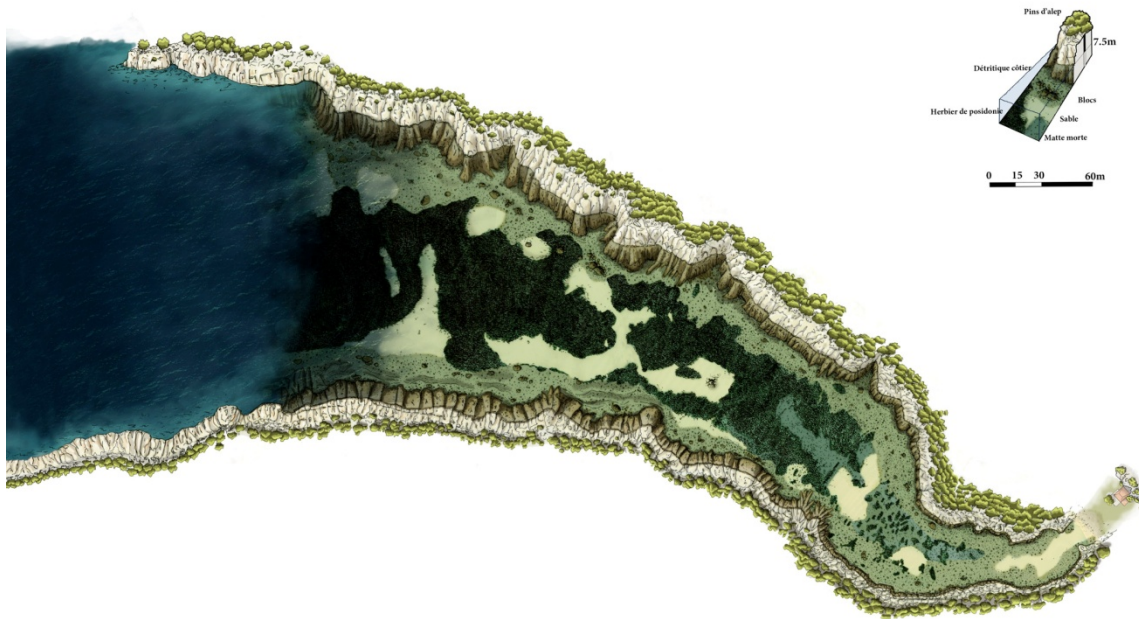


Fig.2 Carte des paysages sous-marins, calanque de Port-Pin, Marseille

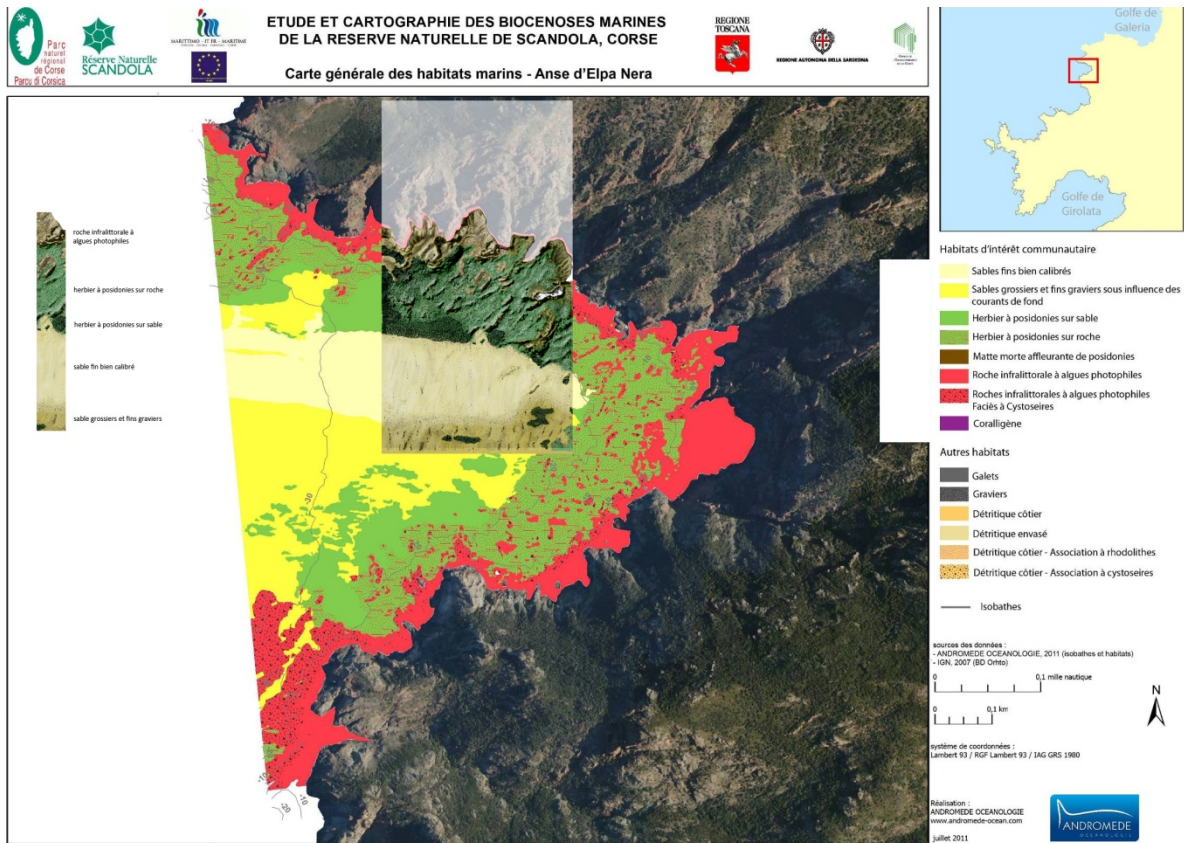


Fig.3 Essai cartographique pour la réserve de Scandola, Corse

Pourtant l'écart est grand entre l'expérience du paysage perçu par l'observateur et la représentation cartographique. Le paysage sous-marin est un espace en permanence praticable en trois dimensions.

Comment rendre perceptible la composante verticale du paysage sous-marin ? Donner du relief à la carte ?

Le bloc diagramme est un outil idéal dans la résolution de ces problèmes. Il se situe à la convergence de la coupe et du plan, dans l'esprit du croquis. Il permet de représenter les motifs de paysage avec finesse.

Appliqué au milieu sous-marin, il permet de représenter avec une grande lisibilité l'enchaînement des différents espaces, s'abstrayant ainsi des contraintes physiques liées au paysage sous-marin. Il peut fonctionner à différentes échelles et permet de donner une grande lisibilité à la continuité de la terre sous la mer. Le paysage du littoral n'est ainsi plus perçu comme un bord, une limite, mais comme une frange mobile.

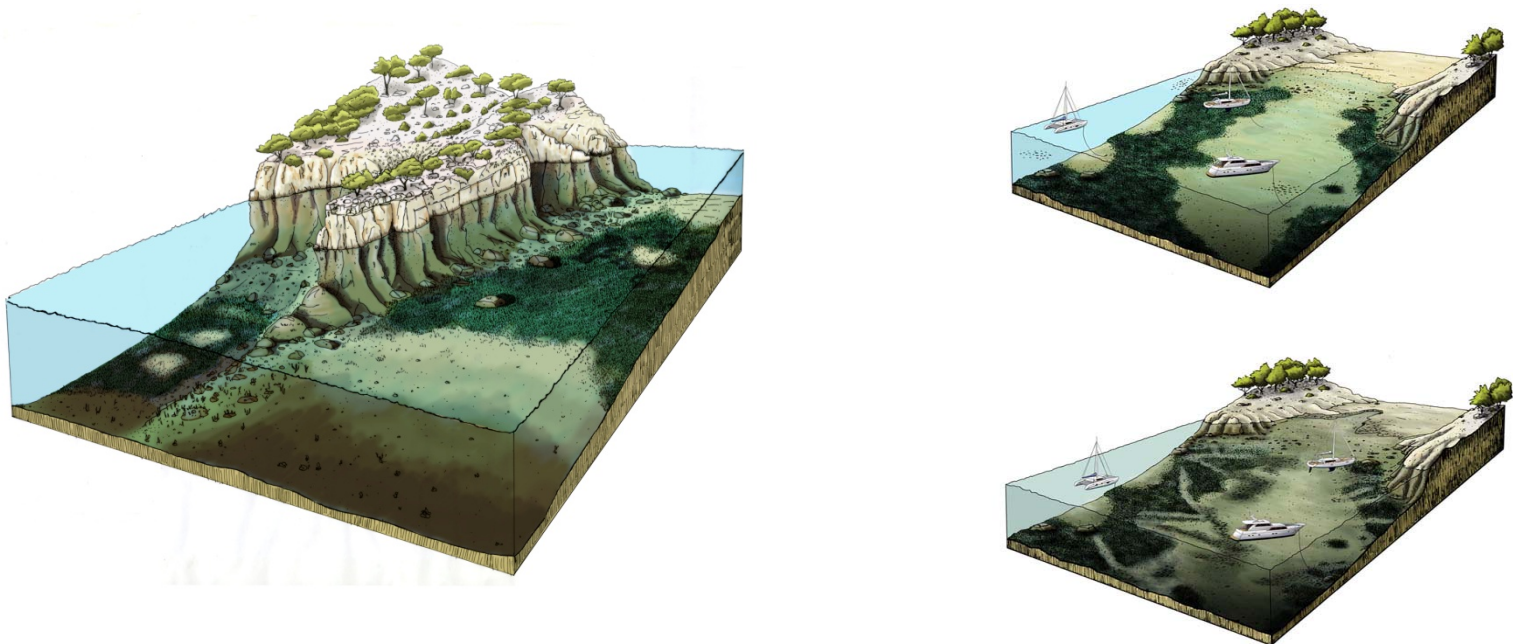


Fig.4 A gauche : bloc diagramme de la pointe d'en Vau, calanque de Port-Pin, Marseille ;
A droite : comparaison de 2 blocs illustrant les effets néfastes des ancrages sur l'herbier de posidonie.

Aujourd'hui se pose la question des atlas de paysages appliqués au milieu marin. La méthode d'élaboration de ces atlas sera-t-elle la même pour le paysage sous-marin ? Les outils utilisés pour les atlas de paysages terrestres (montages photographique, cartographie, dessins) fonctionnent également pour représenter les paysages immergés.

Pourtant les atlas de paysages ne se résument pas à ces outils ; avec quelle sensibilité décrivons-nous les espaces sous-marins, comment retranscrire une perception multi-spatiale ?

Session 8 : Bancarisation et diffusion

Le système d'information ZOODEX, un outil pour le stockage, le traitement, la consultation et la restitution des données de la campagne MEDSEACAN

Adrien Goujard¹, Maïa Fourt¹, Pierre Watremez²

¹ GIS POSIDONIE, campus de Luminy, 13288 Marseille cedex 09

² Agence des aires marines protégées, 42 bis quai de la douane 29200 Brest

Mots clefs : Méditerranée, canyons, système d'information, bancarisation, données, images.

Introduction

Les canyons sous-marins, nombreux, qui entaillent le plateau continental méditerranéen facilitent les échanges entre les eaux côtières et les eaux profondes et forment des habitats essentiels à la compréhension et à la gestion de la biodiversité des zones côtières et du plateau continental. Ils constituent un lieu de refuge, de nurserie et d'exportation vers le plateau continental pour de nombreuses espèces (larves de poissons, décapodes, cétacés...) dont certaines ont un intérêt patrimonial, voire parfois commercial. Des observations ont été effectuées à plusieurs reprises il y a près de cinquante ans par soucoupes plongeantes et plus récemment par ROV sur les canyons Lacaze-Duthiers au large de Banyuls-sur-mer (Reyss, 1964 et 1971) et de Cassidaigne au large de Marseille (Bourcier et Zibrowius, 1972, Vivier, 1976). Ces campagnes ont révélé l'existence de peuplements à coraux froids, mais elles n'ont fourni qu'un éclairage très limité sur une biodiversité *a priori* importante et sur la vulnérabilité de cette zone. Le milieu marin méditerranéen français est fréquemment exploré jusqu'à 50 m de profondeur grâce à la plongée en scaphandre. Il l'est également, évidemment moins souvent, au-delà de 1 000 m, à l'aide de grands navires océanographiques et d'équipements importants (ROV, sous-marin). La zone entre 50 et 1 000 m reste quant à elle, très mal connue.

L'Agence des aires marines protégées (AAMP) a conçu et mis en œuvre le programme MEDSEACAN « Exploration des têtes des canyons méditerranéens continentaux » (figure 1), un programme ambitieux dont les campagnes de terrain se sont déroulées entre novembre 2008 et août 2010.

L'objectif de cette campagne a été d'établir un état de référence des têtes de canyon concernant les habitats, les espèces protégées et commerciales, les écosystèmes et les pressions anthropiques, en s'appuyant sur les compétences d'un réseau de scientifiques.

La quantité et l'hétérogénéité des données acquises durant la campagne, au moyen du ROV (Remotely Operated Vehicle) Super Achille et du sous-marin REMORA de la COMEX, a nécessité la mise en place d'un système d'information : le ZOODEX (ZOOlogical Data EXploitation system). Cette plateforme de travail a permis de bancariser, de traiter, de consulter et de diffuser les données au travers d'une base de données relationnelle, d'un SIG (Système d'Information Géographique) et de fichiers PDF interactifs.

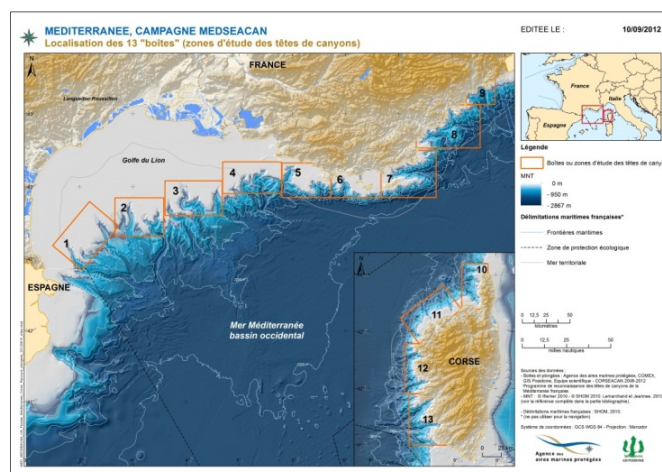


Fig.1 Localisation des 13 « boîtes » ou sites d'étude de la campagne MEDSEACAN

1. Matériel et méthodes

1.1. Les données brutes

La campagne MEDSEACAN a été conduite sur 2 façades maritimes. La première concerne la côte méditerranéenne française continentale, de la frontière espagnole à la frontière monégasque, soient 197 plongées de -50 à -800 m, 320 km de parcours, 14 800 photos, 390 heures de vidéos et une dizaine de prélèvements. La seconde exploration s'est déroulée sur la façade Ouest de la Corse, du Cap Corse aux Bouches de Bonifacio, soient 100 plongées, de -29 à -731 m, 200 km de parcours, 7 200 photos, 200 heures de vidéos et une dizaine de prélèvements. L'expédition sous-marine rassemble des observations sur un total de 35 canyons, 5 bancs rocheux, 2 roches isolés sur le plateau et 1 haut-fond.

1.2. Le système d'information ZOODEX

Le ZOODEX est une façon de traiter et d'organiser les données, mis en place par le GIS Posidonie avec le soutien de l'AAMP et de l'Institut Pythéas, il s'appuie essentiellement sur trois logiciels pour le traitement (Access 2010, ArcGis 10.0 et Adobe Acrobat X Pro) et trois pour sa consultation (Access 2010, ArcReader (gratuit) et Adobe Reader X (gratuit)). Le ZOODEX regroupe la base de données « BDD_MEDSEACAN » qui est au cœur du système d'information, les photos et les vidéos associées, les fichiers géoréférencés de type shapefile, les projets cartographiques (MXD et PMF), ainsi que d'autres documents en lien avec la base de données.

1.3. Le prétraitement des données

La première étape de traitement a consisté en l'homogénéisation, la synchronisation et l'unification de deux logbooks à savoir : (1) le logbook COMEX, qui contenait l'ensemble des paramètres techniques des événements photos (heure, observations, longitude, latitude, profondeur, cap, noms des photos) et (2) le logbook Agence, qui comportait les notes saisies par les scientifiques embarqués (heure, observations, substrat, bioturbation, biodiversité, paysage, pente, patches de coraux, traces de courants, etc.). L'unification des logbooks a été réalisée manuellement sous Excel en se basant sur « l'heure » des événements. Les événements ont été alors comparés un à un entre les 2 logbooks et les répliques ont été supprimés. Le logbook COMEX a été utilisé comme référence puisque « l'heure » est à la seconde près, alors qu'elle est moins précise dans le logbook Agence.

1.4. Le traitement des données

Le prétraitement a permis d'obtenir le listing des photos, des vidéos en basse et haute définition (avec les heures de début et de fin de chaque séquence) et des événements (regroupés dans le

logbook unifié). Ces listes ont été ensuite intégrés dans la base de données afin d'établir les différentes connexions. Le traitement de chaque plongée a pu alors commencer. L'objectif du traitement était d'établir une succession d'évènements uniques et chronologiques caractérisés par les différentes variables et associés aux séquences vidéo et aux photos. Un évènement est associé à de nombreuses informations telles que la profondeur, l'identification au taxon le plus précis, le nombre d'individus, la ou les manœuvres, les déchets, les traces de chalut, le substrat, la bioturbation visible, le faciès, les habitats, le paysage, la biodiversité sessile et vagile, le code de l'échantillon, les autres descriptions et les commentaires.

Le traitement des données avec le SIG a permis la création de couches SIG thématiques et l'édition de cartes à l'échelle de MEDSEACAN, de la boîte, du site et de la plongée ainsi que l'édition d'un Atlas. Le traitement des données cartographiques se résume en 6 étapes : (1) homogénéisation des couches thématiques : parcours plongées, données acoustiques, etc., (2) élimination des points de navigation aberrants, (3) transformation des parcours plongée ponctuels en parcours plongée linéaires, (4) synchronisation des évènements avec les fichiers de navigation du ROV ou du sous-marin pour le recalage des évènements sur le parcours de la plongée et création de nouvelles coordonnées GPS par une technique d'interpolation, (5) importation des évènements géolocalisés de la base de données vers le SIG, (6) création manuelle des zones de substrats.

2. Valorisation : les outils d'accès aux données

2.1. Les fichiers PDF interactifs

Un fichier PDF interactif correspond à un logbook, soit la finalité du traitement de l'ensemble des données acquises pour une plongée. Les logbooks sont consultables au format papier ou au format PDF. Au format PDF, des liens Internet sécurisés renvoient aux vidéos et aux photos. Ces données images volumineuses (plus de 6,5 To) sont stockées au sein du réseau informatique de l'université d'Aix-Marseille. La visualisation interactive de ces données par le PDF offre un moyen de diffusion et de communication rapide. Ces logbooks qui reflètent le déroulement d'une plongée sont associés à une carte précise et une fiche apportant toutes les informations existantes sur la plongée.

2.2. La base de données consultable

La base de données « BDD_MEDSEACAN » conçue essentiellement pour le traitement des données a été adaptée pour permettre un accès aisé aux données (figure 2). La base de données offre la possibilité de consulter des résumés de plongées, de sites ou de boîtes, de revivre une plongée avec un affichage des évènements et des images (photos et vidéos) associées. On peut également consulter des fiches d'espèces, s'informer sur leur amplitude bathymétrique sur les différents sites explorer, observer leur répartition spatiale, etc. De plus, la base de données est capable d'exporter les différentes informations traitées afin de faciliter leur exploitation par les scientifiques et les gestionnaires. Ces informations concernent les résumés, la géolocalisation des espèces, des traces de chaluts ou des déchets, la répartition bathymétrique des espèces ou encore l'export de tous les évènements, sous d'autres formats de travail (.xls ou .txt par exemple), etc.



Fig.2 Capture d'écran de la base de données « BDD_MEDSEACAN » pour consulter et exporter les différentes informations de la campagne.

2.3. La cartographie interactive : PMF

Une carte interactive, au format informatique PMF et exécutable au moyen du logiciel ArcReader (gratuit), a été conçue afin de donner la possibilité d'explorer, d'apprécier le traitement des données MEDSEACAN, de découvrir les espèces observées et identifiées en ROV et sous-marin, de visualiser les photos et les vidéos via des liens internet et d'éditer ses propres cartes.

3. Perspectives

Le système d'information ZOODEX permettra aux scientifiques, aux gestionnaires d'AMP et autres personnels de l'environnement marin d'exploiter directement les données pour leurs propres activités.

Il deviendra également un outil pour des suivis scientifiques futurs. En effet, la bancarisation et la consultation des différentes données offrent la possibilité de revenir sur les sites d'étude et retrouver avec précisions les observations, grâce à leur géolocalisation. De plus, l'utilisation du ZOODEX peut servir pour intégrer et comparer des données d'anciennes campagnes (exemple CYACOR 1991 et CYLICE 1997).

Par ailleurs, le ZOODEX peut être transposé sur des missions en plongées scaphandre autonome, des campagnes de recensement de cétacés, de comptage d'oiseaux, etc.

Références bibliographiques

- Bourcier M., Zibrowius H. 1972. Les « boues rouges » déversées dans le canyon de la Cassidaigne : Observations en soucoupe plongeante SP350 (Juin 1971) et résultats de dragages. *Tethys*. Vol 4 (4) : 811-842.
- Reyss D. 1964. Observations faites en soucoupe plongeante dans deux vallées sous-marines de la mer Catalane: le rech du Cap et le rech Lacaze-Duthiers. *Bulletin de l'Institut Océanographique*, Monaco. Vol. 63 (1308) :1-8.
- Reyss D. 1971. Les canyons sous-marins de la mer catalane, le rech du Cap et le rech Lacaze-Duthiers. 3. Les peuplements de macrofaune benthique. *Vie Milieu (B)*. Vol. 22 (3) : 529-613.
- Vivier, M.H. 1976. Influence d'un déversement industriel profond sur la nématofaune (Canyon de Cassidaigne, Méditerranée). *Tethys*. Vol. 8 (4) : 307- 321.

« VUDO » un outil de mutualisation convivial et interopérable des données d'observations d'espèces sous-marines illustrées de photographies et/ou de vidéos géoréférencées.

Denis Bonhomme¹, Maurice Libes², Christophe Yohia²

¹ GIS Posidonie, Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'étude de l'environnement marin, Université Aix-Marseille, campus universitaire de Luminy, case 901, 13288 Marseille, Cedex 09, France.

² Service Informatique (CNRS, UMS 3470) de l'Institut PYTHEAS (Antenne de l'Institut Méditerranéen d'Océanologie). Université Aix-Marseille, campus universitaire de Luminy, case 901, 13288 Marseille, Cedex 09, France.

Mots clefs : mutualisation, bancarisation, vulgarisation, observations d'espèces marines, photographies géoréférencées, vidéos géoréférencées, interopérabilité, cartographie interactive.

Introduction

VUDO pour vue d'eau, vue de la diversité océanique, vue de haut.

Cet outil consiste à partager de façon conviviale sur internet au travers de différentes plateformes cartographiques des données d'observations d'espèces marines localisées, illustrées de photographies et/ou de vidéos.

La mise en place de cet outil émerge à la date anniversaire des trente ans de la création du GIS POSIDONIE (1982-2012). C'est un moyen pour l'équipe de prendre du recul, de donner une seconde vie à cette information dont les coûts d'acquisition en mer sont très élevés, de transférer ses acquis, de partager avec la communauté scientifique, de gestionnaire et le grand public la masse considérable de photos/vidéos et d'observations acquises ou traitées. Ces données sont fragmentées, mais soigneusement archivées. Elles proviennent de différents programmes et études pour des commanditaires ou partenaires variés mais ont toutes, trois dénominateurs communs : 1-observations d'espèces, 2-géoréférencement 3-illustration par des photos et/ou vidéos.

Dans un contexte -(i) d'une démarche nationale de mise en place d'aires marines protégées, (ii) d'une volonté affirmée de l'Etat de mettre à disposition au plus grand nombre la donnée acquise avec des fonds publics, (ii) du développement des technologies de l'internet et de l'internet mobile qui donne alors à l'internaute la possibilité d'accroître sa connaissance du lieu qu'il fréquente, la mutualisation des données d'observations d'espèces illustrées est devenu une priorité. Ce partage de la donnée offre de multiples applications tant en matière de bancarisation, de diffusion et d'aide à la gestion, de valorisation environnementale et touristique en portant à la connaissance du plus grand nombre une vision de la biodiversité sous la surface de l'eau.

Dans ce contexte, le soutien du GBIF (Système mondial d'information sur la biodiversité porté en France par le MNHN), accordé au GIS POSIDONIE depuis septembre 2012, a permis de démarrer le projet VUDO sur le site pilote de Port-Cros. Le GBIF, consortium international fondé à l'initiative de l'OCDE, est un programme qui tente de rassembler des collections d'histoire naturelle et d'observations naturelles afin de les mettre en commun à la disposition des chercheurs et du grand public.

1. Objectifs

Les objectifs de VUDO sont de :

- Contribuer à une véritable mémoire visuelle de la diversité biologique de nos fonds marins.

- Constituer un puissant outil pédagogique, de vulgarisation favorisant le respect du milieu, en associant la diversité biologique illustrée à un lieu potentiellement fréquenté par les usagers.
- Servir aisément ces données d'observations d'espèces marines illustrées sur différentes plateformes cartographiques en ligne.
- Assurer une connexion mondiale avec les bases du GBIF
- Collaborer et valider en ligne ces données d'observations acquises par le GIS POSIDONIE
- Inciter les autres producteurs de données, de par l'aspect convivial, pédagogique et « esthétique » de l'outil, à mutualiser également leurs données d'observations.
- « Servir » d'autres données d'observations illustrées

2. Contenus et interfaces utilisateurs

L'outil VUDO permet de servir, sur des plateformes cartographiques en ligne, des données d'observations d'espèces illustrées de photographies sous-marines et/ou de vidéos localisées. Dans une première phase de développement, ce sont les données acquises ou traitées par le GIS POSIDONIE qui seront partagées, et dans un second temps le système permettra d'accueillir ou de référencer les observations d'autres contributeurs autorisés.

La figure 1 présente l'ensemble du jeu de données acquis sur le terrain par le GIS POSIDONIE, ou traité par le GIS POSIDONIE, qui pourra à terme potentiellement alimenter l'outil VUDO. L'ensemble des photos, vidéos et données d'observations est actuellement stocké sur des serveurs de l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (Unité mixte de recherche sous la tutelle du CNRS, de l'IRD et de l'université d'Aix-Marseille) qui assure des sauvegardes journalières du contenu et offre un accès permanent aux données via le réseau internet.

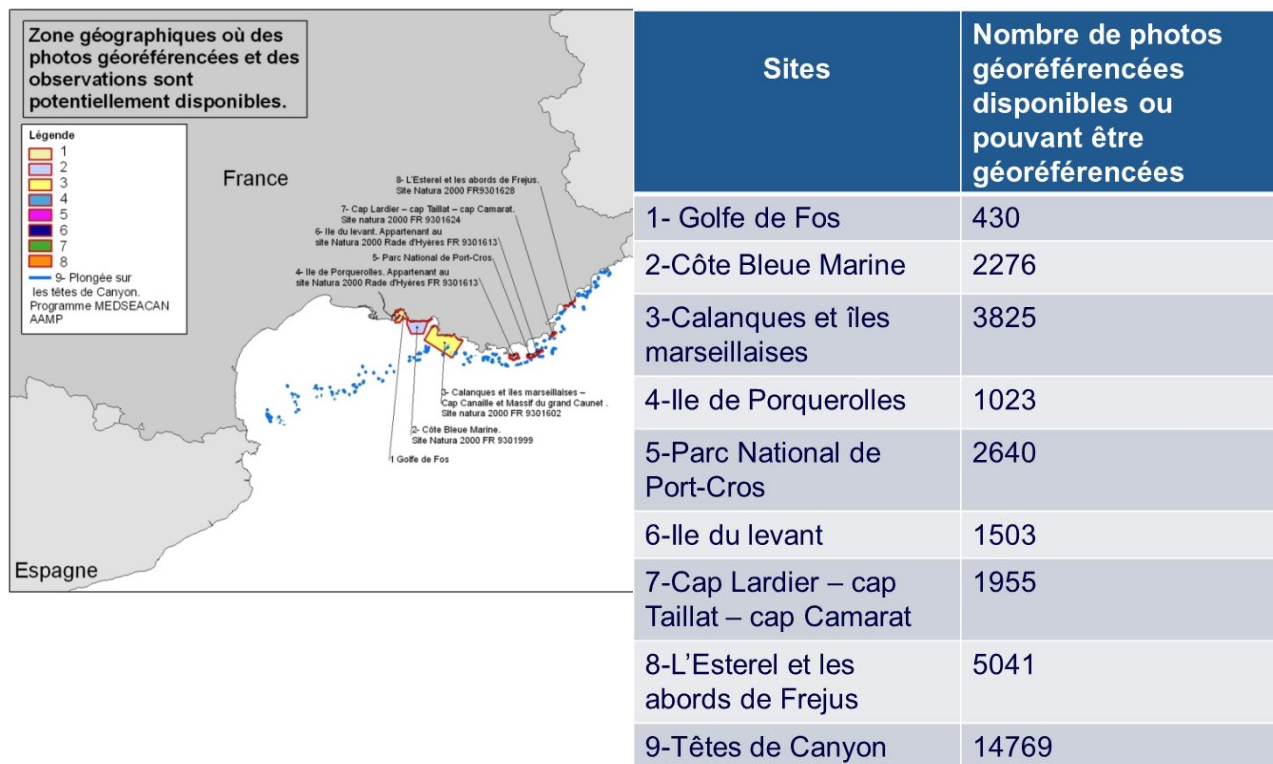


Fig.1 Localisation et nombre de photos potentiellement intégrables dans l'outil VUDO

Les données du GIS POSIDONIE ont été acquises dans le cadre de contextes d'études scientifiques. Chaque observation, photo, vidéo constitue une mémoire de la biodiversité et

des fonds marins à un instant et un lieu donné. L'outil VUDO présente donc deux niveaux de contenu.

Un niveau « **mémoire du fond** » qui contient l'ensemble de l'information disponible. C'est à dire l'ensemble des photos et vidéos pour lesquelles des interprétations d'espèces ont été réalisées ainsi que toutes les autres photos exploitables datées et géo localisées afin de pérenniser la totalité de cette mémoire visuelle acquise.

Un niveau « **vulgarisation** » qui présente un jeu d'observations filtrées, éliminant les photos et observations redondantes, éliminant les photos les moins esthétiques et dégradant la localisation des observations d'espèces rares dont la localisation précise entrainerait une menace même de l'espèce.

VUDO est l'outil qui permet de servir ces données d'observations marines illustrées. Ceci au travers de logiciels cartographiques (Google Earth, Arcis (avec l'extension ArcGlobe)) installés sur un matériel (ordinateur, smartphone) connecté à internet. VUDO permet également de servir ces données au travers d'un navigateur internet sur des sites dotés d'applications cartographiques comme avec Google map ou sur des sites internet intégrant des cartes googlemap ou des cartes géoportail (sites utilisant l'API googlemap ou l'API Geoportail). VUDO peut être considéré comme une couche cartographique (contenant l'emplacement des photos et des vidéos disponibles) facilement superposable, dans plusieurs applications logicielles ou de navigateurs, à des jeux de données préexistants et contribue ainsi à les enrichir de son propre contenu.



Fig.2 Présentation de l'outil VUDO avec l'application Google Earth. Une présentation de l'outil VUDO sur le site pilote de Port-cros est accessible à l'adresse http://www.com.univ-mrs.fr/GISPOSIDONIE_DATA/VUDO/index.html.

Le portail cartographique convivial sur internet (VUDO) présenté dans la figure 2 sous l'application Google Earth permet à l'internaute de visualiser la diversité biologique des fonds

marins en découvrant interactivement, au cours de sa navigation, les photographies et vidéos géoréférencées et renseignées. La barre latérale permet de sélectionner dans l'arbre du vivant le niveau taxonomique ou l'espèce désirée, et le sélecteur temporel restreint l'affichage des observations à la période désirée. Interactivement toutes les localisations des photos correspondant aux sélections choisies sont cartographiées. L'interrogation de ces localités affiche alors la photo ou la vidéo et les informations la concernant : photo en haute définition, profondeur, date, longitude, latitude, espèces recensées et hyperlien vers les sites de l'INPN et de WORMS, photographe, programme ou étude pour lequel cette observation a été réalisée, statut de protection des espèces...

3. Servir un jeu de données quasi illimitées

Le développement informatique réalisé avec le service informatique de l'Institut Méditerranéen d'Océanologie permet de servir un jeu de données d'un volume quasi illimité. Nous avons dit, plus haut, que VUDO peut être considéré comme une couche interopérable contenant l'emplacement des observations d'espèces, des photos et vidéos associées. Cependant, cette couche ne contient pas réellement l'ensemble des emplacements considérés. Cette couche grâce au réseau internet, est en permanence connectée à la base de données cartographique développée. Ainsi, seules les données comprises dans la zone géographique de navigation de l'internaute sont servies et en permanence réactualisées lorsque la zone géographique explorée change. Ce système permet à l'application de travailler avec un nombre de données réduites et ainsi d'assurer une navigation qui reste fluide. Si la zone de navigation est très large et qu'elle contient potentiellement un très grand volume de données, alors l'outil limite et répartit de façon homogène, dans la zone de navigation, le nombre d'éléments chargés. Ceci évite les superpositions qui rendraient la lecture difficile et maintient un jeu de données réduit qui facilite rapidité et fluidité de la navigation.

4. Perspectives

Cet aspect interopérable de l'outil VUDO et notamment sur des smartphones permet d'imaginer de nombreuses applications. Par exemple, une collectivité, une aire marine protégée, un office de tourisme, un centre de plongée (etc...) possédant sur son site internet une carte interactive fonctionnant avec l'interface Google API, peut facilement superposer, à ses propres informations cartographiques, les images et vidéos issues de VUDO et par exemple dévoiler aux randonneurs du littoral, aux plaisanciers et plongeurs, la beauté et la richesse des fonds présents sous la surface de l'eau à l'endroit où il se trouve.

La mise en ligne des cartes des habitats, au travers de l'outil VUDO comme ceci est réalisé sur le site pilote de Port-Cros offre par exemple un outil de gestion pour les Aires Marines Protégées afin de gérer le mouillage et d'informer les plaisanciers sur la localisation des zones favorables à l'ancrage ;

Références bibliographiques

Rapport final de la campagne MEDSEACAN (Têtes des canyons méditerranéens continentaux) novembre 2008 – avril 2010. 218 p.+ annexes, par Fourt M., Goujard A., 2012. Partenariat Agence des aires marines protégées – GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.

Système de surveillance des principales espèces de macrophytes dans les étangs de Berre et Vaïne et évaluation de l'abondance de la moule de Méditerranée *Mytilus galloprovincialis*. Suivi 2012. 46 p. + annexes par P. Bonhomme, N.Frachon, P. Astruch, C.F. Boudouresque, 2012. Contrat GIS Posidonie / GIPREB. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.

Inventaires biologiques et analyse écologique de l'existant, Natura 2000 en mer. Lot n°6 «Calanques et îles marseillaises – Cap Canaille et massif du Grand Caunet ». Site FR

9301602. 500 p+ 9 annexes par Astruch P., Rouanet E., Chemisky B., Seguin E., Bonhomme D., Goujard A., Le Direach L., Harmelin J.G., Vacelet J., Perez T., Chevaldonne P., Bellan G., 2012. Contrat COMEX SA/GIS Posidonie – Agence des Aires Marines Protegees. COMEX SA/GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.
- Inventaires biologiques et Analyse écologique de l'existant, Natura 2000 en mer, Lot n°12 « Côte Bleue Marine » FR 9301999. 400 p + 62 p d'annexes par P. Astruch, A. Goujard, E. Charbonnel, E. Rogeau, E. Rouanet, F. Bachet, R. Bricout, D. Bonhomme, P.A. Antonioli, O. Bretton, M. Monin, J.G. Harmelin, S. Sartoretto, P. Chevaldonne, H. Zibrowius, M. Verlaque. 2011. Contrat GIS Posidonie Agence des Aires Marines Protegees, GIS Posidonie/PMCB publ.
- Description et cartographie des habitats et biocénoses du milieu marin du Parc national de Port-Cros. 388 p. par D. Bonhomme, P. Astruch, A. Goujard, P. Bonhomme, P.A. Antonioli, S. Ruitton, J.G. Harmelin, T. Perez, T. Thibaut, M. Fourt, M. Verlaque, 2011. Contrat GIS Posidonie – Parc national de Port-Cros, GIS Posidonie publ.
- Inventaire et Cartographie des Habitats Naturels, des espèces végétales et animales du Site Natura 2000 « l'Estérel et des abords de Fréjus (FR9301628) » – Lot 2 : Milieux marins. 267 p. par Bonhomme D., Astruch P., Antonioli P.A., Bonhomme P., Perez T., Ruitton S. et Ivanisevic J., 2010. Contrat GIS Posidonie – Ville de Saint Raphael.
- Etude et cartographie des biocénoses marines remarquables du golfe de Fos (Bouches-du-Rhône, France). Rapport final. 220 p., par S. Ruitton, J. Sialelli, P. Astruch, D. Bonhomme, M. Donato, B. Fraieu, N. Mayot, 2008. Contrat Port Autonome de Marseille & GIS Posidonie, Copetech-SM - HydroConsult, GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.
- Etude et cartographie des biocénoses marines de la zone Natura 2000 des 3 Caps (Var, France). Rapport final. 188 p. par S. Ruitton, D. Bonhomme, P. Astruch, M. Donato, R. Gravel, 2007. Contrat SIVOM du littoral des Maures & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ. Marseille, Fr.

Le SINP, démonstration du prototype

Mathilde Laboulais¹

¹ ODE/Dyneco/Vigies - Ifremer Centre Atlantique - Rue de l'Île d'Yeu - BP 21105 – 44311 Nantes Cedex 03.

Contact : Mathilde.laboulais@ifremer.fr

Le SINP désigne le Système d'Information sur la Nature et les Paysages. Ce projet a pour but de mettre en place une organisation favorisant la mise en réseau des producteurs de données sur la biodiversité et les paysages et l'échange des données produites. Il se propose, pour cela, de mettre à disposition des producteurs les outils nécessaires à la saisie, la bancarisation, la diffusion et au partage des données.

A l'initiative du Ministère en charge de l'environnement, ce projet a été impulsé dans un contexte marqué par une mise en commun jugée insuffisante des données sur la nature, notamment au sein des structures publiques. Cette situation résulte d'un ensemble de facteurs et on constate notamment :

- l'existence, sur le territoire français, d'un certain nombre de systèmes d'information mis en œuvre et opérationnels, mais un manque d'interopérabilité entre les outils développés ;
- une mise en réseau lacunaire des producteurs à l'échelle infranationale et nationale ;
- des pratiques disparates en fonction des producteurs de données (échelle et périmètre d'étude, méthodes de collecte, bancarisation).

Pour ces raisons, il s'est avéré nécessaire de mettre en place un dispositif fédérateur permettant d'améliorer la cohérence et l'homogénéité des données produites.

Ce dispositif, lorsqu'il sera opérationnel, se donne les objectifs suivants. D'une part, le SINP constituera un outil permettant d'évaluer et d'orienter les politiques publiques de gestion de l'environnement. D'autre part, il aidera la France à remplir ses obligations européennes et internationales, notamment vis-à-vis de la Convention sur la Diversité Biologique et de la Convention d'Aarhus qui concerne l'accès du citoyen à l'information sur l'environnement.

Depuis 2010, différents groupes de travail ont été constitués afin de définir concrètement ce que sera le SINP et, en 2011, l'Ifremer s'est vu confier la tâche de piloter le Groupe de Travail « Définition de l'architecture organisationnelle, fonctionnelle et technique du SINP ». Ce groupe a pour mission de définir comment seront organisés le réseau d'acteur et la mise en partage des données, mais aussi quelles fonctions devra remplir le futur système d'information et enfin, quels choix technologiques permettront de les mettre en œuvre.

Le périmètre du SINP couvre potentiellement toutes les données relatives à la biodiversité (faune, flore, fonge, habitats, génétique, espaces protégés, etc.) et les paysages sur les domaines terrestre et marin, sur l'ensemble du territoire français (métropole et outre-mer). Tenant compte de ce périmètre, le groupe de travail a été constitué d'experts thématiques travaillant dans le domaine de la gestion des données de biodiversité et des systèmes d'information, au sein de structures supranationales, nationales et infranationales.

Outre ce groupe de travail qui s'est réuni régulièrement afin de travailler à la définition de l'architecture du SINP, les autres producteurs - régionaux, associatifs, nationaux - ont également été sollicités ponctuellement afin de recueillir leurs attentes vis-à-vis du futur système.

Cette phase de recueil a permis de déterminer les grands principes sur lesquels reposera le SINP. Il s'engage entre autres à :

- diffuser une information fiable pour tous, par un accès simple, masquant la

- complexité technique ;
- assurer la valorisation des producteurs et respecter les droits de propriété intellectuelle ;
- mettre à disposition les moyens humains (animation, formation), juridiques (licences, chartes, protocole) et techniques (outils, technologies) nécessaires au bon fonctionnement du système dans son ensemble ;
- mettre en place une interopérabilité sémantique et technique facilitant le partage des données.

Ces principes ont été traduits par des choix d'architecture, faits en concertation avec l'ensemble du groupe de travail ; l'objectif de cette démarche étant de faire émerger des solutions partagées par tous, favorisant l'appropriation de l'outil et de la démarche.

Pour satisfaire aux attentes des producteurs, l'organisation du SINP reposera sur plusieurs niveaux, auxquels sont associés des plateformes :

- le niveau régional qui représente le principal niveau auquel s'effectue la collecte des données (pour le domaine terrestre). Une plateforme sera désignée par région.
- le niveau thématique, lorsque l'organisation actuelle d'un réseau ne permet de gérer la collecte des données au niveau régional. La mer est considérée comme un niveau thématique.
- le niveau national.

L'aspect novateur de ce système d'information réside dans le choix d'une **architecture répartie**. Cela permet aux administrateurs des systèmes d'information de maintenir la gestion de leurs données localement, tout en y autorisant l'accès par des serveurs extérieurs. D'un point de vue fonctionnel et technique, cela se traduit par la mise à disposition et la consultation des données et des métadonnées associées par des **flux**.

La faisabilité technique de ce choix d'architecture devait être démontrée. Etant donné l'importance de la **composante cartographique** dans le SINP, les performances en termes de temps d'affichage des données devaient être testées, c'est pourquoi un prototype a été mis au point. Il a été développé sous Géosource, utilise l'API du Géoportail pour le fond de carte et assure le requêtage de plusieurs serveurs distants par des flux.

Une démonstration du prototype sera faite au cours de la présentation. Elle sera l'occasion de montrer concrètement le fonctionnement et certaines des **fonctionnalités du futur outil**, notamment en termes de recherche :

- Elle est **multicritères** et **alphanumérique**. Elle offre la possibilité de requêter par critère(s) :
 - o Géographique (emprise spatiale),
 - o Taxonomique (à partir d'un référentiel),
 - o Temporelle,
 - o Par organisme,
 - o Par mots-clés (thésaurus),
 - o Par type de données.
- Elle s'effectue sur les **données et les champs de métadonnées**, ces dernières accompagnant systématiquement les données entrant dans le SINP.

Et en termes d'**accès à la donnée** :

- Cet accès est réalisé selon les principes de la Directive INSPIRE à savoir :
 - o Découverte,
 - o Visualisation,
 - o Téléchargement.
- Il est possible en flux.
- Il se fait par la métadonnée puis la donnée.

- L'utilisateur accède :
 - o à la donnée (unitaire) ou au jeu entier auquel elle appartient,
 - o A la fiche de métadonnée complète du jeu de donnée ou à la fiche de métadonnée associée à la donnée.

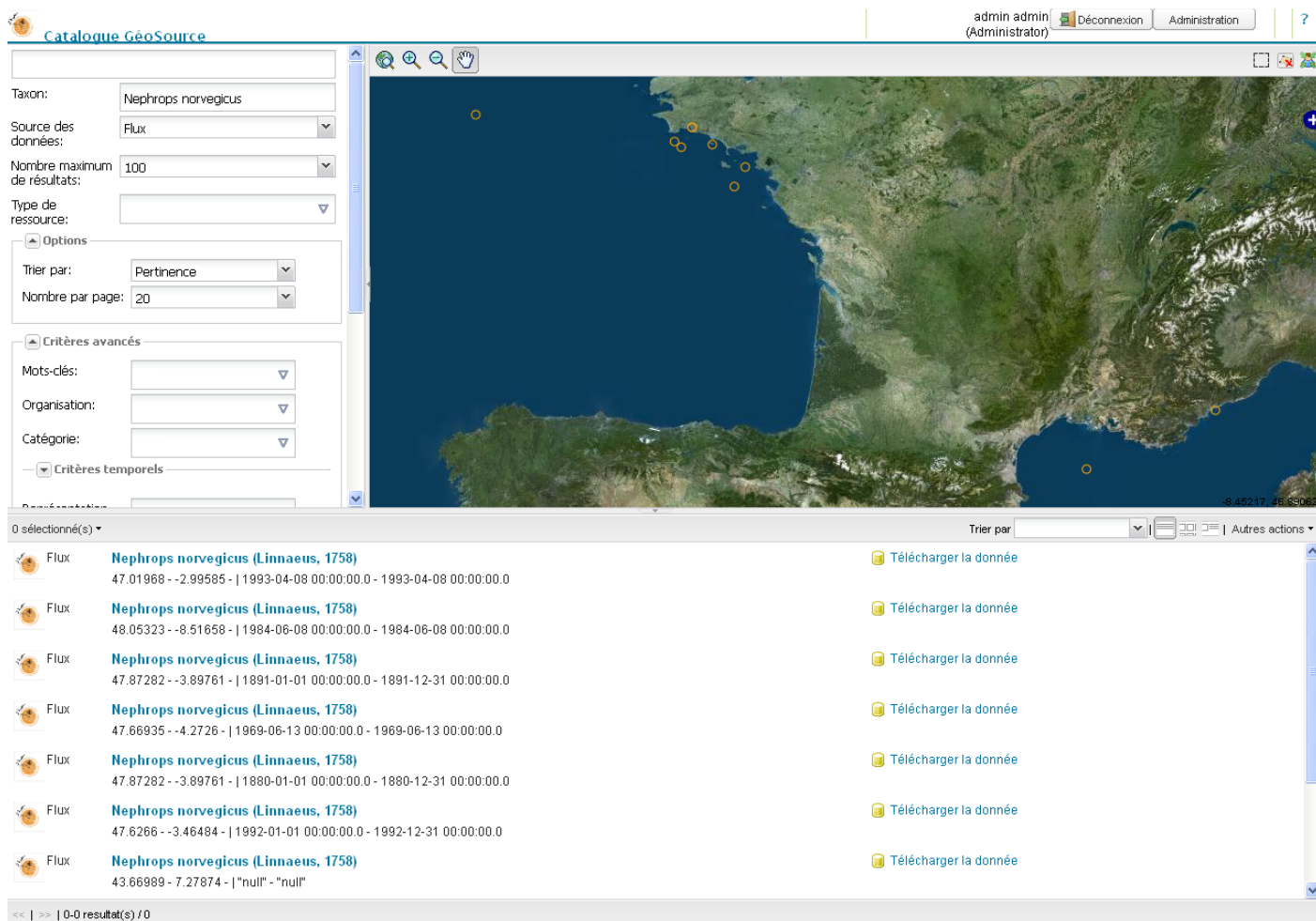


Fig.1 Interface cartographique du prototype SINP

Dans le cadre de ce prototype, le requêtage de données est réalisé sur des serveurs distants de différents producteurs et concerne pour le moment des données relatives à l'occurrence de taxons. Le périmètre des données sera progressivement élargi et intégrera dans le futur les données sur les habitats naturels et les paysages.

Des processus de validation et de qualification des données par des experts thématiques seront mis en œuvre dans le SINP, dans l'optique de mettre à disposition des utilisateurs une information qualifiée et fiable. Dans le cadre de la cartographie des habitats, le SINP pourrait constituer un outil pertinent pour comparer et valider les différents inventaires réalisés.

Sextant, une plateforme de bancarisation et de diffusion de données marines, au service de la cartographie des habitats

Erwann Quimbert¹

¹ Ifremer – Informatique et Données Marines / SISMER BP 70 – 29280 Plouzané - France

Tel : 02 98 22 49 61

Contacts : Erwann.Quimbert@ifremer.fr, Catherine.Satra@ifremer.fr

1. Améliorer et faciliter l'accès aux données d'habitats marins

La Directive européenne INSPIRE, transposée en droit français à travers l'ordonnance du 21 octobre 2010, vise à faciliter l'accès aux données géographiques afin de favoriser la réalisation de projets de recherche et d'étude liés à la protection et à la gestion de l'environnement.

Les dispositions prises dans cette directive doivent permettre de simplifier l'accès à l'information géographique produite par les autorités publiques à tous les acteurs et au grand public.

Ifremer est directement concerné par cette directive et doit rendre accessible au public ses données (entrant dans le périmètre des données géographiques concernées par la directive) sur Internet au moyen de services de données : service de recherche, de consultation et de téléchargement.

Depuis 1999, pour répondre à ces obligations, mais également pour répondre à ses besoins internes, Ifremer a développé Sextant (<http://www.ifremer.fr/sextant>) qui est une infrastructure de données géographiques marines proposant un accès à une grande variété de données géographiques portant sur le milieu marin et littoral.

Depuis 2005, Sextant repose sur un serveur accessible via internet à l'ensemble des partenaires de l'Institut ainsi qu'au grand public et, depuis 2008, les évolutions successives de Sextant se sont toujours inscrites dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive INSPIRE et, plus récemment, du Grenelle de la mer.

Voici un aperçu des couches d'informations géographiques disponibles dans Sextant :

- **Données physiques** : climatologie, bathymétrie, géologie, sédimentologie, etc.
- **Données biologiques** : mammifères marins, poissons, oiseaux, peuplements benthiques, habitats remarquables, etc.
- **Usages et activités humaines** : pêche et industrie, zones militaires, navigation maritime, tourisme et plaisance, etc.
- **Données réglementaires et administratives** : zones Natura 2000, Znieff, OSPAR, ZEE, Domaine Public Maritime, etc.
- **Ouvrages et infrastructures** : voies de communication, réseau électrique, obstructions, radars, etc.

Cette présentation va s'attacher à présenter les données liées aux habitats marins bancarisées et diffusées à travers le portail Sextant.

2. Fonction « Entrepôt de données »

Conforme aux normes de l'Organisation Internationale de Normalisation ([ISO](#)) et aux standards de l'Open Geospatial Consortium ([OGC](#)), Sextant est un système répondant à toutes les règles de l'interopérabilité. Il permet ainsi des échanges et des partages de données géographiques avec la plupart des organismes et services de l'Etat (DREAL, DEAL, DIRM, Préfectures, ...), avec les partenaires scientifiques de l'Institut (IRD, Aamp, MNHN, Conservatoire du littoral, universités, ...), mais également avec les autres grands producteurs de données de référence que sont l'IGN, le BRGM et le SHOM.

Le caractère national et institutionnel de l'infrastructure de données Sextant confère au système une dimension pérenne qui permet d'assurer une bancarisation durable et sécurisée des données géographiques. Le système est adapté pour accueillir des données de type vecteur (shapefile, mapinfo, bases de données spatiales PostGIS, Oracle) et raster (images géoréférencées et grilles numériques).

3. Fonction « Service de recherche »

Sextant propose un catalogue de métadonnées permettant de rechercher des données géographiques selon de multiples critères : thème, recherche libre, localisation géographique, producteur, date...

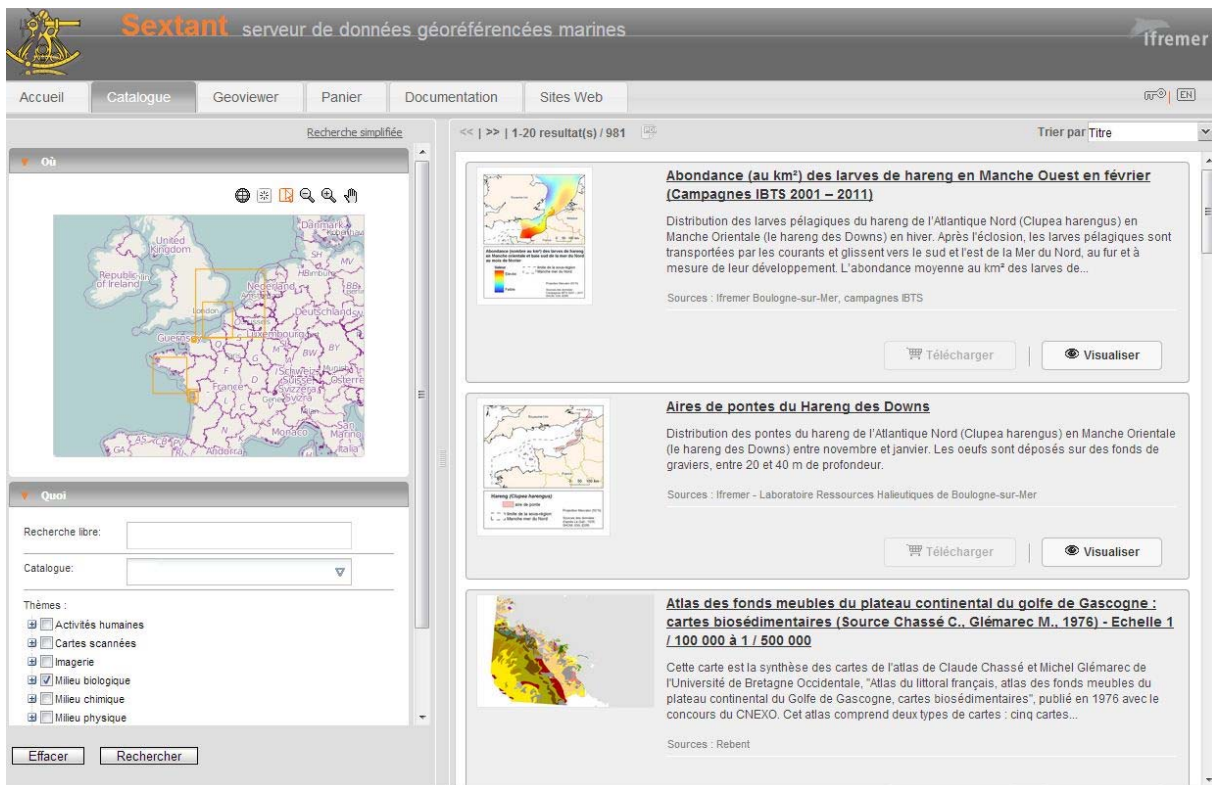


Fig.1 Aperçu du catalogue de métadonnée Sextant

Conformément à la Directive INSPIRE, ce catalogue intègre les normes ISO 19115 et ISO 19139 garantissant un format de métadonnées compatible et accessible via le protocole standardisé Catalog Service for the Web (CSW) de l'OGC. A ce propos, une partie du catalogue de Sextant est moissonné par le Geocatalogue national qui est le point d'entrée au niveau français du Geoportail européen INSPIRE.

Le portail Sextant est structuré autour de catalogues thématiques, pouvant être rattachés à un laboratoire, un organisme, un projet ou une emprise géographique. Aujourd'hui, plus de 70 catalogues thématiques cohabitent et offrent l'accès à plus de 2500 fiches de métadonnées. Parmi ces catalogues, un certain nombre propose l'accès à des données sur les habitats marins et sur la distribution des espèces marines. Citons notamment les catalogues :

- **REBENT** : données relatives à la distribution des habitats côtiers et au suivi de leur biodiversité faunistique et floristique
- **MEDBENTH** : données sur les biocénoses marines à l'échelle de la façade méditerranéenne française
- **NATURA2000** : carte des habitats des sites Natura 2000 en mer
- **CHARM** : répartition géographique de 34 espèces halieutiques et 23 benthiques en Manche Mer du Nord selon le stade de vie, Modèles d'habitats potentiel/probable et leurs erreurs
- **GRANULATS MARINS** : synthèse de cartes de peuplements benthiques pour les façades Manche Est, Bretagne, Loire-Gironde et Sud-Gascogne
- **DCSMM** : distribution des principaux biotopes des fonds marins, cartes sur les biocénoses à l'échelle des sous-régions marines.

4. Fonction « Service de consultation »

Sextant propose un Geoviewer permettant de visualiser et manipuler les données géographiques illustrées et décrites dans le catalogue de métadonnées. Des outils de navigation, de zoom, de mesures, d'interrogation et de mise en forme (ordre, transparence, symbologie) des couches permettent d'explorer les données. L'interface, via le protocole de visualisation normalisé Web Map Service (WMS), permet l'affichage de couches de données distantes, hébergées sur d'autres serveurs que Sextant.

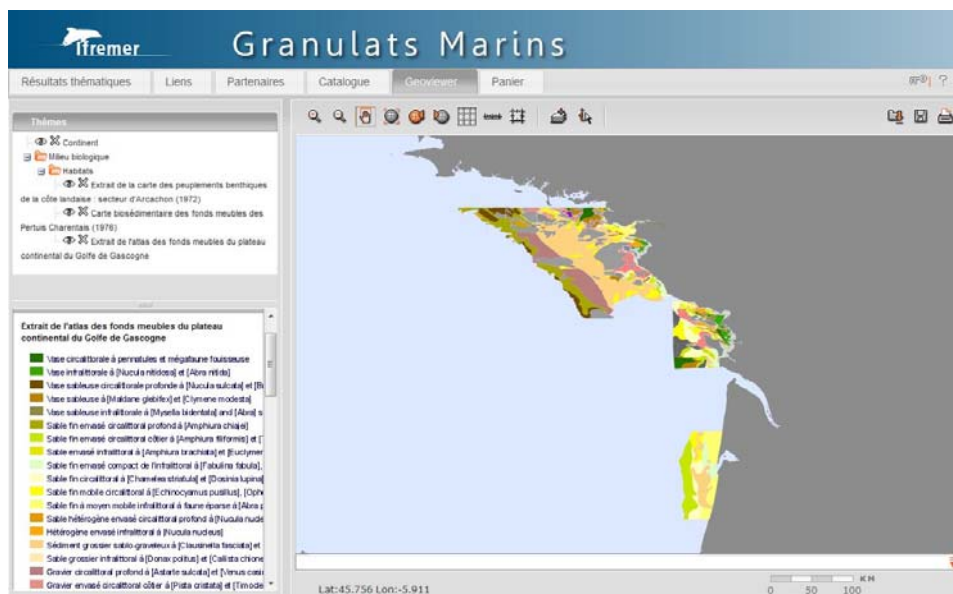


Fig.2 Aperçu du Géoviewer Sextant => Carte des peuplements benthiques de la façade Loire-Gironde (projet Granulats marins : <http://www.ifremer.fr/sextant/fr/web/granulats-marins>)

5. Fonction « Service de téléchargement »

Sextant permet également le téléchargement des données géographiques à travers son 'Panier'. L'extraction des données géographiques fonctionne avec les standards de l'OGC Web Feature Services (WFS), pour les données vecteurs, et Web Coverage Services (WCS), pour les données rasters. Les formats disponibles sont variés, tant pour les rasters (Geotiff, ECW, Jpeg2000) que pour les données vectorielles (ESRI, MapInfo, GML, KML, ...). L'utilisateur dispose également du choix du type de référentiel géographique (WGS84) ou projeté (Lambert 93...) dans lequel il souhaite rapatrier ses données.

6. Les apports de Sextant dans la cartographie des habitats marins

Sextant apporte ainsi différents éléments favorisant et facilitant l'échange, le partage et la mise à disposition des données d'habitats marins à travers, comme on l'a vu précédemment, des modules de catalogage, de visualisation et d'extraction des données mais également en contribuant à la valorisation des données (support de synthèses et de communication) et en assurant une complète interopérabilité avec des systèmes d'informations nationaux et internationaux (GBIF, SINP, Geocatalogue ...).

Posters

Caractérisation des sédiments biogènes du Cap Corse

Philippe Clabaut¹, Marina Bonacorsi², Christine Pergent-Martini², Aymeric Bein², Michel Marengo², Elodie Damier³, Boris Daniel³, Emeric Gautier⁴, Laure Simplet⁴, Gérard Pergent²

¹ Géologue Consultant et GIS Posidonie Centre de Corse, Université de Corse, 20250 Corte, France

² Equipe « Ecosystèmes Littoraux », FRES 3041, Université de Corse, 20250 Corte, France

³ Agence des Aires Marines Protégées, Antenne Méditerranée, 26 rue de la République, 13001 Marseille, France

⁴ IFREMER, Géosciences Marines, 29250 Brest, France.

L'analyse sédimentologique des échantillons, prélevés à la benne et par carottage, dans le cadre du programme Capcoral- cartographie des principales biocénoses du Cap Corse (110 km de côte) entre 0 et 100 m de profondeur - montre l'importance de la sédimentation biogène sur le plateau continental, en lien avec les peuplements d'algues calcaires et de coralligène identifiés.

Les teneurs en carbonates sont particulièrement élevées sur la côte occidentale (80 – 90%) et au Nord du cap, et plus réduites sur la côte orientale (40-70%).

L'interprétation des analyses de sédiments prélevés sur le plateau, de l'imagerie acoustique, et de la bathymétrie souligne le contraste entre les deux façades du cap, caractérisé par une exposition aux houles plus forte côté ouest, et des apports terrigènes plus importants côté est.

Au sein même des herbiers de posidonies, les teneurs en carbonates des sédiments décroissent nettement de la base vers la limite supérieure. Plusieurs plages de la côte occidentale et du Nord du cap sont constituées majoritairement de sédiments biogènes. Situées au droit de zones marines à forte productivité, elles sont susceptibles d'être alimentées à la fois par l'herbier et les sédiments biogènes du large.

Les Bernaches cravants peuvent-elles être utilisées comme un proxy du bon état écologique des herbiers à *Zostera noltii* ?

Sébastien Dalloyau

Contact : sebastien.dalloyau@lpo.fr

Mots clefs : Bernaches cravants à ventre sombre, *Zostera noltii*, ajustement spatial, qualité de l'habitat intertidal.

La variabilité spatio-temporelle des herbiers intertidaux est identifiée comme étant un indicateur majeur qui traduit des modifications de la qualité des écosystèmes côtiers. Les herbiers à Zostères sont largement reconnus comme habitat primordial soutenant une forte structuration du compartiment benthique (biodiversité élevée, rôle éco-fonctionnel, physico-chimique et mécanique). Ainsi les herbiers permettent la caractérisation écologique des masses d'eau de transition, mais demeurent néanmoins sensibles à de nombreuses sources de perturbations (modifications de la qualité de l'eau, impacts mécaniques directs...).

Par ailleurs, la biomasse produite par ces herbiers procure une ressource alimentaire essentielle pour de nombreux organismes marins (invertébrés et vertébrés), mais également pour certains oiseaux herbivores comme la Bernache cravant à ventre sombre. En effet, celle-ci, lors de la période hivernale, va exploiter préférentiellement et majoritairement les herbiers à *Zostera noltii* traduisant, *de facto*, d'un fort degré de dépendance d'un consommateur à une ressource quasi exclusive.

En effet, au cours de l'hiver, les Bernaches cravants vont ajuster leur distribution spatiale et temporelle à la disponibilité et à l'abondance des ressources alimentaires en accord avec les mécanismes écologiques d'acquisition optimale des ressources, caractérisant ainsi une réponse dite fonctionnelle.

Nous avons élaboré une méthode corrélative intégrant l'ajustement spatio-temporel des Bernaches cravants à la variabilité de la biomasse des herbiers à *Zostera noltii* au cours de l'hiver.

Dans un premier temps, nous avons déterminé le statut des herbiers (localisation et extension maximale) présents dans le complexe des pertuis charentais, afin de caractériser la disponibilité de la ressource et de pouvoir estimer la variabilité de la biomasse au cours de l'hiver. En parallèle, nous avons également suivi l'évolution numérique des oiseaux au cours de leur hivernage.

Cette étude a été appliquée sur trois sites majeurs identifiés pour leur importance en surface d'herbier (1564 ha). Chaque site diffère par le nombre d'oiseaux accueilli, les densités et les surfaces d'herbier, leur localisation géographique ainsi que leurs particularités géomorphologiques.

Notre approche basée sur la caractérisation bio-physique de l'habitat intertidal pourrait procurer un support dans les orientations de gestion et de conservation des herbiers et de la faune associée reposant sur l'évolution des populations d'oiseaux en hiver.

CARTHAMED : Cartographie continue des biocénoses benthiques en Méditerranée française

Elodie Damier¹

¹ Antenne Méditerranée de l'Agence des aires marines protégées 244 avenue de l'infanterie de marine 83000 Toulon

A l'état de projet, CARTHAMED vise à produire une cartographie des habitats marins de la façade méditerranéenne. Ce programme consiste à compiler et harmoniser les principales données existantes issues de programmes de connaissance divers (CARTHAM^(a), MEDBENTH^(b), CAPCORAL^(c), MEDSEACAN et CORSEACAN^(d), Cartographie prédictive des habitats^(e), Etudes d'impacts validées etc.).

Il a pour vocation de développer un produit de synthèse opérationnel, diffusé via le catalogue de données Sextant de l'Ifremer et actualisé à chaque nouvelle contribution.

Cette carte sera également assortie d'un produit bibliographique, outil de traçabilité de l'ensemble des données compilées.

Une seconde étape consistera à aller jusqu'à la production d'un cahier des charges type devant permettre la production de produits géographiques normés et labélisés alimentant la carte de référence.

(a) *CARTHAM : Inventaire biologique et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux, 2012,*

(b) *MEDBENTH : Référentiel BENTHique MEDiterranéen, 2007,*

(c) *CAPCORAL : Cartographie des peuplements coralligènes du Cap Corse, 2012,*

(d) *MEDSEACAN et CORSEACAN : Programme de reconnaissance des têtes de canyons, 2012,*

(e) *Cartographie prédictive des habitats : Cartographie des habitats physiques, EUNIS, 2010.*

Les coraux d'eau froide en Méditerranée : Etat écologique et critères biogéographiques de la DCSMM

Marie-Claire Fabri¹ & Laura Pedel¹

¹ Ifremer ODE / LER PAC, Z. P. Bregailon, 83500 La Seyne sur Mer

Introduction

Les massifs de coraux blancs *Lophelia pertusa* et *Madrepora oculata* abritent des communautés très diversifiées et sont protégées au niveau européen (CE 734/2008) et international (ONU,CITES). Ils vivent entre 200 et 1500 m de profondeur, sur le talus continental ou sur des monts sous-marins, dans une eau préférentiellement à 4°C (Atlantique) mais en Méditerranée ils vivent exceptionnellement dans une eau à 13°C. Ils sont localisés entre 200 et 600 m de profondeur dans les canyons de Méditerranée française.

En Méditerranée, la communauté des coraux d'eau froide est composée des deux espèces de coraux blancs *Lophelia pertusa* et *Madrepora oculata*, et du corail solitaire *Desmophyllum dianthus*. D'autres espèces sont associées aux coraux d'eau froide dont le polychète *Eunice norvegica*, des échinodermes, gastéropodes, crustacés, éponges, brachiopodes, bryozoaires, l'antipathaire *Leiopathes glaberrima*, l'huître *Neopycnodonte cochlear* et divers poissons. Les communautés des coraux d'eau froide constituent de véritables « hotspot » de biodiversité (Freiwald et al. 2009, Danovaro et al. 2010).

Les coraux forment une structure tridimensionnelle complexe et servent d'abris et de lieux de nutrition pour de nombreuses espèces associées. Ces massifs sont très vulnérables au chalutage en Atlantique Nord-Est. Mais dans la sous-région Méditerranée occidentale, leur répartition le long de pentes abruptes ou sur des crêtes au sein des canyons les protège du chalutage. Les communautés sont cependant impactées par les filets et les lignes de pêche car les canyons se situent près de la côte et sont donc facilement accessibles, même aux petits bateaux (pêche de loisir, pêche artisanale). Non seulement sensibles à la pêche, ils sont aussi sensibles à l'envasement. Les coraux d'eau froide sont considérés comme vulnérables et feront l'objet d'un suivi dans le cadre de la Directive Cadre pour la Stratégie sur le Milieu Marin (**DCSMM**) qui a pour objectif de protéger, de préserver et, lorsque cela est réalisable, de remettre en état le Milieu Marin. Cette directive est axée sur les écosystèmes (intégration notamment des activités anthropiques et de leurs impacts) et les habitats (dont des zones marines protégées). Elle introduit la notion fondamentale de **bon état écologique** pour le milieu marin à atteindre à l'horizon 2020. Pour caractériser l'état écologique des écosystèmes, la DCSMM fait appel à 11 Descripteurs. Les deux descripteurs qui traitent des écosystèmes benthiques sont le **Descripteur 1 (biodiversité)** et le **Descripteur 6 (intégrité des fonds)**. Ces deux descripteurs devront être renseignés par différents critères dont la **répartition** et l'**étendue des habitats**.

L'objectif de cette étude était de cartographier la distribution des coraux d'eau froide et les impacts anthropiques à partir de données vidéos acquises entre 180 et 700m dans les canyons de Méditerranée française au cours de différentes campagnes océanographiques (Watremez 2012, Fabri et al. submitted).

1. Matériels et méthodes

La distribution des communautés, des espèces et des impacts anthropiques a été cartographiée le long des trajets de navigation à partir de l'analyse vidéo de chaque plongée (Tableau I). Le traitement des données de navigation et de vidéo des submersibles a été réalisé à l'aide du logiciel "Adelie" (www.ifremer.fr/adelie) développé sous ArcGIS (©ESRI).

Tableau 1 Liste des campagnes et des plongées utilisées pour la cartographie des coraux d'eau froide dans cette étude

Années	Campagne	Navire	Submersible	Chef de mission	Plongées Lacaze-Duthiers	Plongées Cassidaigne
1995	CYATOX	Le Suroit (Ifremer)	Cyana	F. Galgani		1
2008-2010	MEDSEACAN	Minibex (Comex)	ROV Super Achille	P. Watremez	8	7
2009	MARUM	Minibex (Comex)	ROV Super Achille / Remora	D. Hebbeln		13
2010	ESSROV	Pourquoi pas? (Ifremer)	ROV Victor 6000	P. Simeoni		3
2011	MARUM-Senckenberg	Minibex (Comex)	ROV Super Achille	S. Tesche	6	
					14	24

Tous les fichiers de navigation du ROV Super Achille (Comex) enregistrés pendant la campagne MEDSEACAN ont du être formatés manuellement pour une utilisation dans "Adelie". Tous les fichiers vidéos originaux (10 minutes chacun) ont été concaténés et encapsulés afin d'obtenir un seul fichier vidéo par plongée, plus facilement maniables et intégrables dans "Adelie". Les métadonnées "date-heure-nom d'image" des photos haute définition capturées durant les plongées du ROV Super Achille ont été formatées manuellement dans un fichier distinct. Ce fichier a permis de relier les images à leur position via les paramètres date et heure. Durant le traitement des films vidéos "Adelie" a permis de compléter la collection d'image pour chaque observation avec des images basse définition extraites de films video.

1. Résultats

DESCRIPTEUR 1: BIODIVERSITE

Critère 1.4 Répartition

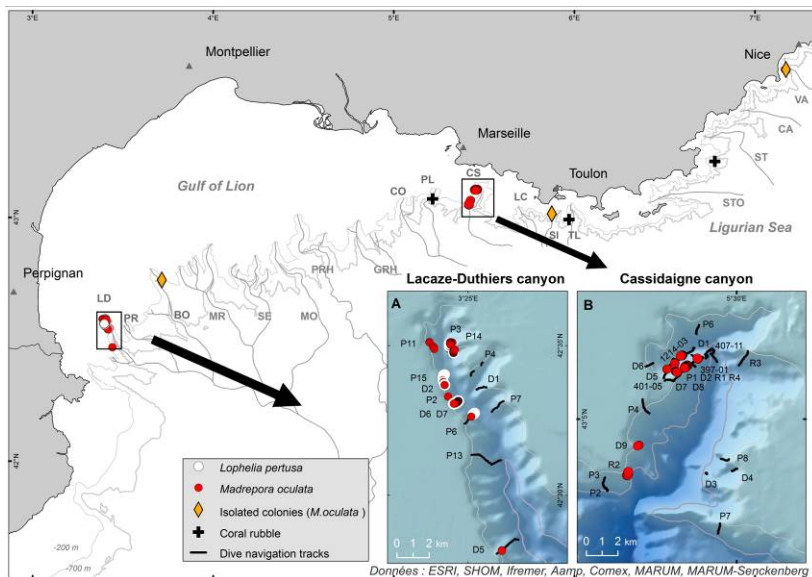


Fig.1 Localisation des coraux d'eau froide dans les canyons de Méditerranée française (Fabri et al, submitted).

La communauté des coraux d'eau froide en Méditerranée (par ex: Cap Creus en Espagne et Santa Maria di Leuca en Italie) est constituée de deux espèces de coraux blancs, *Lophelia pertusa* et *Madrepora oculata*, qui sont accompagnées par une grande diversité d'espèces (Freiwald et al. 2009). Cette communauté a été observée dans deux canyons de méditerranée française : Lacaze-Duthiers et Cassidaigne, dans ce dernier une seule des deux espèces (*M. oculata*) est présente (Fig. 1).

Dans le canyon de Lacaze-Duthiers, la communauté est présente sur les deux flancs du canyon, entre 200 et 500 m de profondeur. A noter que la communauté est particulièrement développée sur le flanc Ouest du canyon, où de gros massifs de *Lophelia pertusa* et de *Madrepora oculata* ont été observés, accompagnés par de nombreux coraux solitaires *Desmophyllum dianthus*.

En revanche, dans le canyon de Cassidaigne, l'assemblage d'espèces est totalement différent car il n'y a qu'une seule espèce de corail blanc, *Madrepora oculata*, qui vit avec

plusieurs espèces de l'étage circalittoral (*Corallium rubrum*, *Paramuricea clavata*, *Eunicella cavolinii*). Cela s'explique en partie par la faible profondeur de la communauté qui est située sur une crête culminant à 200 m de profondeur. La communauté des coraux d'eau froide a également été signalée en 1995 beaucoup plus profond, à 500 m de profondeur sur une paroi verticale. D'après les vidéos de l'époque elle semble là aussi n'être composée que d'une seule espèce de corail blanc (*Madrepora oculata*) (Fabri et al. submitted). Cette zone est très impactée par le déversement de boues rouges rejetées à proximité par 320 m de profondeur (voir Descripteur 6). D'autres colonies ont été observées lors de la campagne Marum en 2009 à la sortie du canyon (Fabri et al. submitted).

Dans les canyons de Bourcart, de Sicié et du Var, de petites colonies récemment installées ont été localisées. Dans les canyons du Planier, de Toulon et au large de Pampelone, des débris de colonies ont été observés, mais la présence de colonies vivantes n'a pas été prouvée.

Critère 1.5 Etendue de l'habitat

Les données dont nous disposons sont très ponctuelles et ne permettent pas de renseigner cet indicateur en calculant la surface couverte par les communautés de coraux d'eau froide car les données existantes (campagne MEDSEACAN, MARUM et MARUM-Senckenberg) ont été acquises avec un objectif d'exploration et non avec un objectif de suivi quantitatif. Afin de pouvoir renseigner cet indicateur, il est nécessaire d'acquérir de nouvelles données *in situ* suivant un protocole prédéfini.

Critère 1.6 Etat des habitats

En raison de la qualité des données disponibles pour cette étude et de l'**absence d'indices** pour mesurer l'état des communautés profondes à partir de **l'imagerie optique**, seule une estimation qualitative de l'état de la communauté des coraux d'eau froide à partir de la visualisation des données d'imagerie optique a pu être réalisée (Pedel & Fabri 2012)

Dans le canyon de Lacaze-Duthiers, la communauté des coraux d'eau froide est principalement impactée par les engins de pêche dormants qui cassent des branches et qui détachent des colonies de la paroi. Les colonies sont toutefois exubérantes et semblent en bon état.

Dans le canyon de Cassidaigne, la communauté des coraux d'eau froide est impactée par les engins de pêche dormants, qui détériorent les colonies principalement sur le haut de la crête rocheuse. Cette communauté est aussi soumise à une sédimentation élevée due à des résidus de bauxite déversés dans le canyon depuis 1967 (voir 6.1.1 ci-dessous). Sous l'isobathe 320m qui correspond à l'immersion du rejet, des colonies de *M. oculata* ont toutefois été observées, mais la diversité de la faune associée était très faible. Ces colonies semblent s'accommoder de la charge sédimentaire élevée mais à un coup métabolique qui reste à déterminer (Fabri et al. submitted).

DESCRIPTEUR 6: INTEGRITE DES FONDS

6.1.1 Etendue de substrat biogénique concerné par les dommages physiques : abrasion par les engins de pêche dormants

Bien que la pêche à la palangre ou au filet entraîne moins de conséquences directes sur les habitats benthiques que le chalutage, les plombs des lignes et les lignes elles-mêmes peuvent provoquer des dommages à la faune benthique, principalement sur les espèces fixées érigées (coraux, gorgones, éponges) (Photo A). Ces conséquences n'ont jamais été quantifiées mais, comme pour le chalutage, elles dépendent de l'intensité de la pêche et de la répartition spatiale de l'effort de pêche en relation avec les habitats sensibles (Ramirez-Llodra et al. 2011). Les zones les plus impactées par les engins de pêches dormants se situent là où les substrats rocheux présentent des morphologies accidentées, qui retiennent certains engins de pêche (filets, fils et cordes) (Photo B). Les abondances maximales

d'engins de pêche dormants ont été observées conjointement à la présence de la communauté des coraux d'eau froide dans les canyons de Cassidaigne et de Lacaze-Duthiers (Fig. 2).

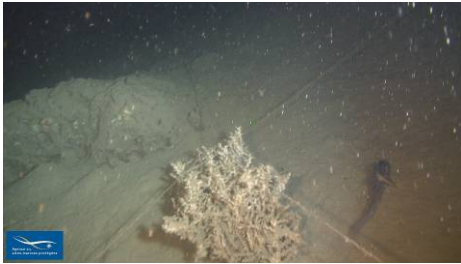


Photo A: Bout pris dans un massif de *Lophelia pertusa* (C. de Lacaze-Duthiers)

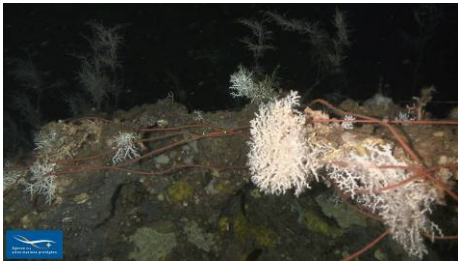


Photo B: Bout pris dans un massif de *Madrepora oculata* (C. de Cassidaigne)

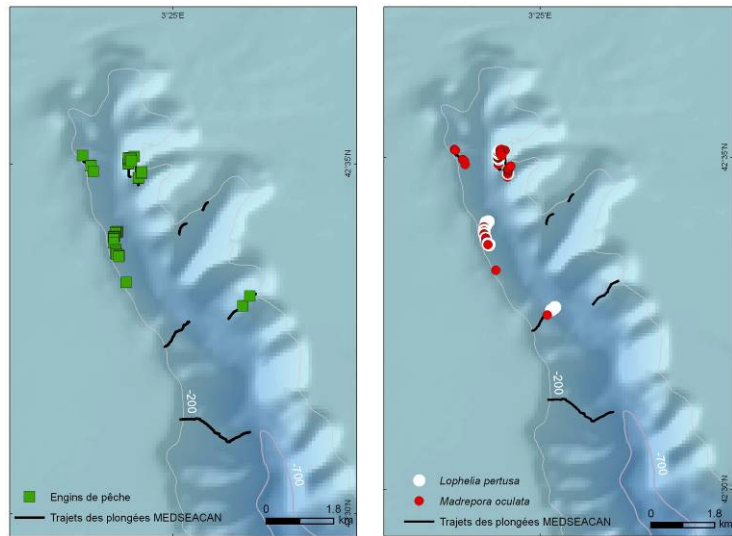


Fig.2 Localisation des déchets dus à la pêche (vert) et des coraux d'eau froides (rouge et blanc), observés au cours de différentes plongées dans le canyon de Lacaze-Duthiers.

6.1.2. Etendue de substrat biogénique concerné par les dommages physiques : rejets industriels (résidus de bauxites, boues rouges)

Certains rejets industriels en mer véhiculent des particules solides en plus d'une phase liquide, dont la sédimentation modifie la nature et la morphologie du fond, c'est le cas des résidus de bauxite. Depuis 1967, plusieurs millions de tonnes de boues rouges, résidus de bauxite, ont été déversées à 320m de profondeur dans le canyon de Cassidaigne (l'arrêt est prévu pour 2015). Les boues rouges ont recouvert l'axe du canyon ainsi qu'une partie des flancs, jusqu'à plus de 2000 m de profondeur et jusqu'à plus de 50 km au large du point de rejet (Dauvin 2010). Le principal impact du déversement est la perturbation physique liée à la sédimentation des boues rouges et à leur instabilité, qui empêchent tout recrutement ou colonisation de la macrofaune (Dauvin 2010). Le déversement des boues rouges affecte aussi les communautés de mégafaune de substrats durs, comme les communautés de coraux d'eau froide (Fig. 3).

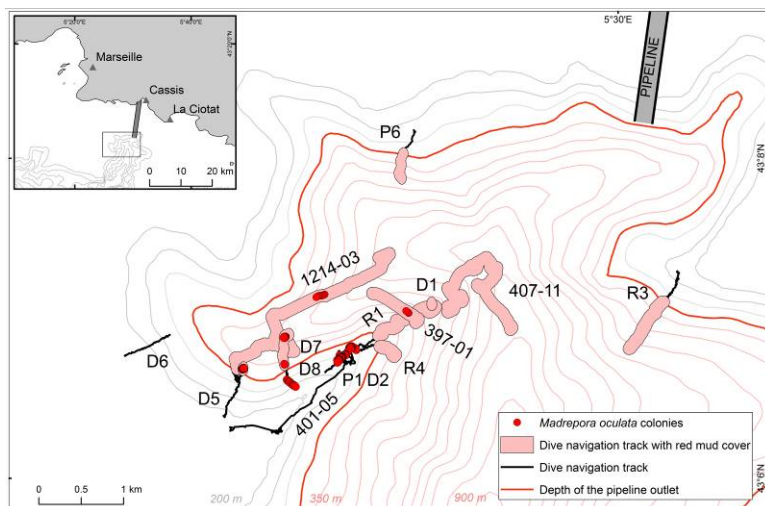


Fig.3 Carte d'extension des boues rouges et de distribution des colonies de *M. oculata* observées à partir d'imagerie optique (Fabri et al. submitted).

Sous l'isobathe 320m qui correspond à l'immersion du rejet, les communautés de coraux froides ont toutefois été observées, mais principalement sur des parois abruptes ou sous des surplombs, suggérant l'installation (ou la survie) des colonies dans des zones de sédimentation moindre (Fabri et al. submitted).



2. Discussion et conclusion

Les critères biogéographiques de la DCSMM tels que le critère 1.5 "Etendue de l'habitat" (D1 Biodiversité) et le critère 6.1. "Etendue de substrat biogénique concerné par les dommages physiques" (D6 Intégrité des fonds) ne peuvent actuellement pas être renseignés de façon précise en raison du manque de données disponibles. Ces lacunes mettent en évidence un besoin de connaissance sur les habitats benthiques profonds de Méditerranée, tels que les coraux d'eau froide, ainsi que sur l'étendue des pressions qui s'exercent sur eux. L'acquisition de données sur ces habitats vulnérables est un des objectifs de la DCSMM afin de pouvoir quantifier l'état de ces écosystèmes menacés. Cependant une acquisition de données suivant des consignes strictes de navigation et de configuration des caméras est nécessaire afin de collecter des informations de façon standardisée et comparable, aussi bien dans l'espace au niveau régional, que dans le temps au niveau local. Des données spatiales haute résolution sont indispensables à la réalisation d'une cartographie d'habitat détaillée dans le cadre d'une surveillance sur le long terme.

Références bibliographiques

- Danovaro R, Company JB, Corinaldesi C, D'Onghia G, Galil BS, Gambi C, Gooday A, Lampadariou N, Luna GM, Morigi C, Olu K, Polymenakou P, Ramirez-Llodra E, Sabbatini A, Sarda F, Sibuet M, Tselepides A (2010) Deep-sea Biodiversity in the Mediterranean Sea: The known, the Unknown, and the knowable. *Plos One* 5 (8):1-25
- Dauvin JC (2010) Towards an impact assessment of bauxite red mud waste on the knowledge of the structure and functions of bathyal ecosystems: The example of the Cassidaigne canyon (north-western Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin* 60 (2):197-206
- Fabri MC, Pedel L, Beuck L, Galgani F, Hebbeln D, Freiwald A (submitted) Vulnerable Marine Ecosystems in French Continental Mediterranean Submarine canyons : Spatial Distribution and Anthropogenic Impacts. *Deep-Sea Research II*
- Fontanier C, Fabri MC, Buscaill R, Biscara L, Koho KA, Reichart GJ, Cossa D, Galaup S, Chabaud G, Pigot L (2012) Deep-sea foraminifera from the Cassidaigne Canyon (NW Mediterranean): Assessing the environmental impact of bauxite red mud disposal. *Marine Pollution Bulletin*

- Freiwald A, Beuck L, Ruedgeberg A, Taviani M, Hebbeln D (2009) The WHITE CORAL COMMUNITY in the Central Mediterranean Sea Revealed by ROV Surveys. *Oceanography* 22 (1):58-74
- Pedel L, Fabri MC (2012) Caractérisation de l'état écologique des Ecosystème Marins Vulnérable (VME) bathyaux benthiques de Méditerranée française (Megafaune), Ifremer, La Seyne sur mer. p:1-56
- Ramirez-Llodra E, Tyler PA, Baker MC, Bergstad OA, Clark MR, Escobar E, Levin LA, Menot L, Rowden AA, Smith CR, Van Dover CL (2011) Man and the Last Great Wilderness: Human Impact on the Deep Sea. *Plos One* 6 (8):e22588
- Watremez P (2012) Canyon heads in the French Mediterranean Sea - Overview of results from the MEDSEACAN and CORSEACAN campaigns (2008-2010). In: Wurtz M (ed) *Mediterranean Submarine Canyons : Ecology and Governance*. IUCN, Gland, Switzerland, p 105-112

Cartographie des biocénoses marines à l'aide de vidéo-transects et relevés bathymétriques en coeur du Parc national de la Guadeloupe

Ilets Pigeon, Bouillante

Matthias Gaboriau¹, Hervé Magnin¹, Simone Mège¹,
Céline Lesponne¹, Alice Leblond¹, Claude Bouchon²

¹ Parc national de la Guadeloupe "Montéran", 97120 Saint-Claude

² Université des Antilles et de la Guyane Labex CORAIL, Dynecar Campus de Fouillole 97159 Pointe-à-Pitre

Le Parc national de la Guadeloupe, créé en 1989, a vu son territoire changer suite à la réforme de 2006 sur les Parc nationaux. Désormais composé de 10 zones coeurs, aussi bien marines que terrestres, d'une aire optimale d'adhésion et d'une aire maritime adjacente, le parc couvre une surface totale d'environ 245.000 ha.

La quasi-totalité des écosystèmes de la Caraïbe est représentée dans les 10 espaces terrestres et marins classés en coeur de Parc. Les récifs coralliens et les herbiers de Magnoliophytes marins sont les deux écosystèmes marins les plus riches de l'archipel guadeloupéen; leur grande complexité et la biodiversité élevée qui les caractérisent suscitent l'intérêt de la communauté scientifique.

Parmi les zones coeurs du Parc national de la Guadeloupe, les îlets Pigeon, situés au large de la Côte sous-le-vent, offrent une biodiversité marine parmi les plus élevées des Antilles françaises. Le Parc national a donc décidé de mener en 2011 une campagne de reconnaissance et de cartographie des biocénoses marines dans cette zone.

L'acquisition simultanée des données biologiques (biocénoses et substrats), géographiques et bathymétriques a été effectuée par la technique de vidéo-transects; elle aura permis de couvrir les 1200 ha de fonds sous-marins concernés.

Les cartes résultant du traitement des données ont révélé que les biocénoses sont disposées de façon quasi-parallèle à la côte. Les peuplements coralliens, associés aux Millepores, Spongiaires et Gorgonaires occupent les tombants et les pointes rocheuses peu profondes, alors que les massifs coralliens profonds précédant la bordure externe du plateau continental sont caractérisés par des coraux foliacés (Agaricidae), des Antipathaires et des Éponges. Les fonds meubles, très envasés en profondeur, occupent plus de 50% de la surface cartographiée. L'étude a aussi permis de mettre en évidence l'apparition d'herbiers à *Halophila stipulacea*, espèce exotique envahissante, dans la zone sud du coeur de Parc.

Cette campagne cartographique va permettre au Parc national d'orienter ses mesures de gestion ainsi que certains de ses protocoles de suivis scientifiques.

Répartition et dynamique des champs de dunes sous-marines en Manche et Mer Celtique

Thierry Garlan¹

¹ SHOM 13, rue du Chatellier CS 92803, 29228 BREST Cedex 2

Contact : thierry.garlan@shom.fr

Le SHOM réalise depuis une dizaine d'années des levés hydrographiques sur des champs de dunes répartis en Manche orientale, dans le Golfe normand breton et en Mer Celtique. En accompagnement de ces levés, des campagnes sont actuellement consacrées à la dynamique sédimentaire de ces dunes. La réalisation de grands profils en Centre Manche et en Mer Celtique et des passages successifs sur les mêmes dunes permettent désormais d'avoir une première évaluation sur les déplacements de ces structures sédimentaires. Nous étudions plus particulièrement deux grands champs de dunes de la Manche occidentale et de la Mer Celtique qui avaient été découverts dans les années 1960 ; mais l'imprécision de la localisation et l'écartement important des profils réalisés au sondeur monofaisceau n'avaient pas permis une évaluation de ces structures et de leur répartition. Les campagnes Dunes 2011 et 2012 ont permis d'observer plus de deux mille dunes, de définir les limites de ces champs et de découvrir des dunes de forme et de dimensions inhabituelles.

Cartographie des champs d'huîtres par télédétection très haute résolution spatiale – Application au Bassin d'Arcachon

Virginie Lafon¹, Nathalie Tertre², Cécile Curti¹, Bastien Simonnet³, Olivier Regniers⁴, Aurélie Dehouck¹

¹ GEO-Transfert, UMR 5805 EPOC, Avenue des facultés, 33405 Talence cedex

² CREOCEAN, Zone Technocéan / Chef de Baie, rue Charles Tellier, 17000 La Rochelle

³ Unité gestion de l'espace littoral et maritime, DTM33/DML, 5, quai du Capitaine Allègre 33311 Arcachon Cedex

⁴ Laboratoire IMS, Bordeaux Sciences AGRO, 351, Cours de la Libération - bâtiment A4, 33405 Talence Cedex

Contact : v.lafon@epoc.u-bordeaux1.fr

Les ortho-photographies de la lagune d'Arcachon, d'une résolution de 50 cm, ont été exploitées pour estimer la superficie totale occupée par les champs d'huîtres dans le cadre des inventaires biologiques Natura 2000 en mer. Une méthode d'analyse de texture et segmentation des images a été développée et déployée sur un survol réalisé en 2007. Puis, la procédure et la carte produite ont été validées à l'aide de 358 points de contrôle (GPS et photos terrain). Globalement la procédure de détection des couverts est correcte dans environ 75 % des cas, quand environ 9 % des couverts sont des fausses alertes. Sur la carte, les polygones générés sont valides dans 98 % des cas, ce qui est un excellent score. En revanche, les zones propres ne le sont effectivement que dans un peu moins de 65 % cas. Ces travaux montrent qu'une partie du couvert n'est pas détectée : les couverts très fractionnés, ou ceux situés sous une lame d'eau importante ou encore sur un sédiment très sableux, les tables isolées, étroites, peu couvertes d'huîtres ne seront pas systématiquement détectés. Ainsi, la précision globale de détection du couvert est de l'ordre de 77 %.

L'analyse des ortho-photographies 2007 montre que la superficie totale couverte par des champs d'huîtres représente 2108 ha, soit 9.31 % de la superficie totale du SIC. Il y a donc une différence de près de 414 ha entre la surface couverte par les champs d'huîtres et la surface répertoriée comme dévolue à l'activité ostréicole. Cette valeur est un minimum si on considère que l'approche par analyse d'image sous-estime le couvert.

Une analyse poussée visant à caractériser l'état du couvert (friche vs culture) a débuté. Ce sont en effet 84 123 polygones représentant des couverts d'huîtres qui ont été générés à Arcachon, montrant à la fois le fractionnement du couvert et l'effet induit par la haute résolution des données images qui permet un repérage très exhaustif. Ce résultat soulève d'ores et déjà la difficulté d'attribution d'un attribut d'état pour chaque polygone. Outre la méthode et la validation des cartes obtenues, nous présentons ici deux approches couplées expérimentées sur un dite atelier représentatif permettant de caractériser les polygones pour un rendu qui apporterait une aide efficace pour la gestion d'une aire marine protégée et plus généralement du Domaine Public Maritime et qui permettrait de mieux appréhender cet habitat complexe.

Vers une typologie hiérarchique des habitats récifaux des territoires français de l'océan Indien.

J.B. Nicet¹, S. Andrefouët², G. Pennober², P. Mouquet^{3,4}, Y. Denis¹, M. Grellier⁵, J.P. Quod⁶

¹ PARETO, 16 rue Albert Lougnon, Technopole de La Réunion , Sainte Clotilde, La Réunion

² Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

³ Agence des Aires Marines Protégées,

⁴ IFREMER

⁵ Museum National d'Histoire Naturelle

⁶ ARVAM

Contact : jbnicet.pareto@wanadoo.fr

Dans le cadre de l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR), un guide à destination des gestionnaires sur la cartographie des habitats en milieu récifal est en cours de rédaction pour une édition en 2013. Ce guide a, entre autre, pour objectif de proposer une ébauche de typologie des habitats récifaux en milieu corallien pour la réalisation de carte d'habitats normalisées par télédétection. Cette démarche est complémentaire de la mise en place d'une typologie des habitats des récifs français initiée par l'IFRECOR et le MNHN.

Nous proposons donc ici une première typologie normalisée et hiérarchique des habitats récifaux français de l'océan Indien en accord avec les principes exposés dans le guide, et après analyse de nombreuses cartes d'habitats réalisées sur les territoires de l'Océan Indien.

Au total, à un niveau typologique détaillé (niveau haut de la hiérarchie d'habitats), plus de 600 classes d'habitat sont dénombrées, soit 33 aux Iles Eparses, 325 à Mayotte et 235 à La Réunion. Ce nombre ne reflète toutefois pas le nombre total de classes d'habitat pour chacun des territoires. Il reste contraint par l'effort consenti et la résolution thématique choisie, selon les territoires. Ainsi, le nombre de classes d'habitat total devrait augmenter avec la réalisation de nouvelles cartes. Ceci est particulièrement vrai pour Mayotte et les Iles Eparses. La typologie et son usage pour la réalisation de futures cartes d'habitats permettra de donner une première information homogène entre différents sites sur la biodiversité potentielle qu'abrite un site cartographié.

Application de la méthode de fusion multi-capteurs et de la sismique UHR à la cartographie du coralligène de plateau

C. Noël¹, C. Viala¹, S. Marchetti¹, E. Bauer¹, S. Blouet², R. Dupuy de la Grandrive²

¹ SEMANTIC TS, 39 chemin de la Buge, 83110 SANARY s/Mer

² ADENA – Site Natura 2000 « Posidonies du Cap d'Agde »

Contacts : noel@semantic-ts.fr, adena.bagnas@free.fr

Le concept de fusion des données multi-capteurs est innovant et très puissant. Il permet d'établir des cartographies extrêmement précises des biocénoses marines de façon aisée en diminuant les besoins en vérité terrain (plongeur, caméra, rov).

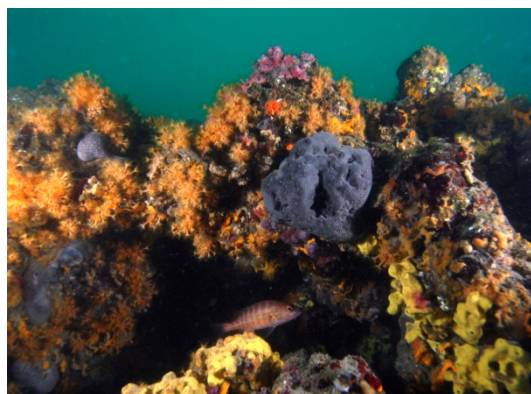
Les données surfaciques de micro-rugosité acoustique, l'imagerie sonar latéral HR-HP (haute résolution - haute précision) et la sismique UHR couplées aux données de classification constituent une approche surfacique innovante dans le domaine de la cartographie et l'imagerie structurale du coralligène.

Problématique

Les profondeurs de distribution de la biocénose à coralligène (20-100m) rend souvent difficile, ou limitées dans le temps, les interventions des plongeurs scaphandriers autonomes. L'objet de cette étude est de développer une méthode multi-capteur afin d'analyser la faisabilité de détecter acoustiquement du coralligène et d'établir ainsi des cartographies extrêmement précises de cette biocénose en limitant les besoins en vérité terrain (plongeur, caméra, rov, etc.)

L'ensemble des prospections acoustiques et des vérités ont été réalisées dans l'aire marine protégée agathoise, site Natura 2000 « Posidonies du Cap d'Agde » sur un bioconcrétionnement de type « coralligène de plateau » tel que décrit par Laborel (1960, 1961), Péres et Picard (1961) et Sara (1968, 1971)

Le coralligène d'Agde se développe principalement sous l'apparence de petits récifs patatoïdes et de petits murets (Blouet *et al.*, 2008, Foulquié *et al.*, 2008) rendant d'autant plus complexe la cartographie de cette biocénose.



Paysage des peuplements benthiques du coralligène dans l'Amp agathoise. (Blouet sylvain)

Le développement d'une méthode multi-capteur permettra d'envisager la cartographie du coralligène dans des secteurs où se développe de façon éparse sur de vaste secteur

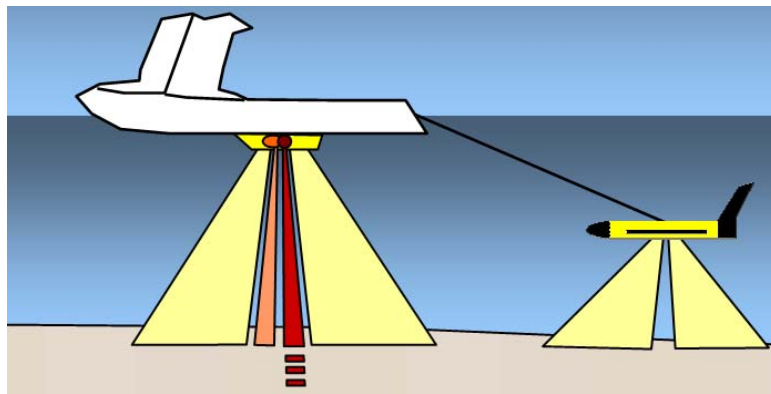
1. Méthodologie

SEMANTIC TS, bureau d'études en océanographie acoustique, mène depuis 2004 des travaux de recherche dans le domaine de la cartographie et du monitoring des fonds marins. Dans une chaîne d'instrumentation, chaque capteur joue un rôle spécifique. En augmentant le nombre (et la nature) des capteurs, l'ensemble des informations collectées permet une meilleure compréhension du milieu exploré. Lors de cette expérimentation, SEMANTIC TS déploie simultanément différents instruments permettant la collecte de données

bathymétriques et de réponse acoustique du fond marin. Toutes ces données possèdent une précision extrêmement fiable puisqu'elles sont géo-référencées à l'aide d'un GPS RTK centimétrique. L'attitude du bateau est connue en permanence grâce à une centrale inertielle.

Les moyens suivants sont opérés simultanément à partir d'un mini-navire océanographique dédié à la reconnaissance des fonds marins :

- Un sonar latéral interféromètre (GEOSWATH) à 250 kHz : il réalise l'imagerie sonar latéral des sites peu profonds en même temps que la bathymétrie multifaisceaux,
- un sonar latéral (KLEIN 3900) à 900 kHz pour l'acquisition d'une mosaïque sonar latéral haute résolution
- Un sondeur de sédiment INNOMAR SES 2000 compact bi-fréquence (100 kHz et 10 kHz)



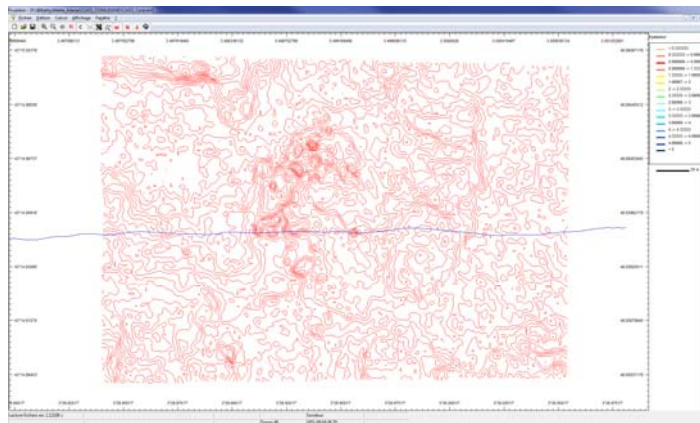
Principe de l'acquisition multi-capteurs dédiée à la cartographie du coralligène de plateau

Délimitation des zones de forte probabilité de présence du coralligène

Dans cette étude, un recalage de la mosaïque haute résolution du sonar latéral tracté est réalisé à l'aide des données haute précision (bathymétrie, classification acoustique, mosaïque sonar) du sonar de coque pour lequel l'attitude est corrigée. Il s'agit de la méthode de monitoring RTK HR récemment mise au point par SEMANTIC TS.

L'imagerie sonar latéral obtenue admet alors les caractéristiques suivantes :

- Haute précision (géo-référencement) = 0.5 à 1 m
- Haute résolution (taille de la maille de la mosaïque) = 0.1 à 0.3 m



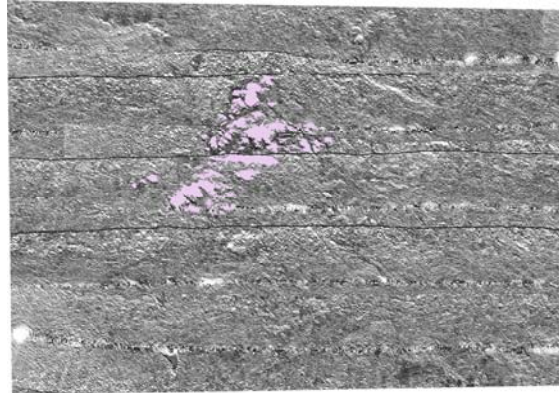
Les données surfaciques :

A gauche : imagerie sonar latéral HR-HP (haute résolution - haute précision) à droite : micro-rugosité bathymétrique

Les données surfaciques :

- Micro-rugosité bathymétrique
- Mosaïque sonar latéral haute résolution – haute précision

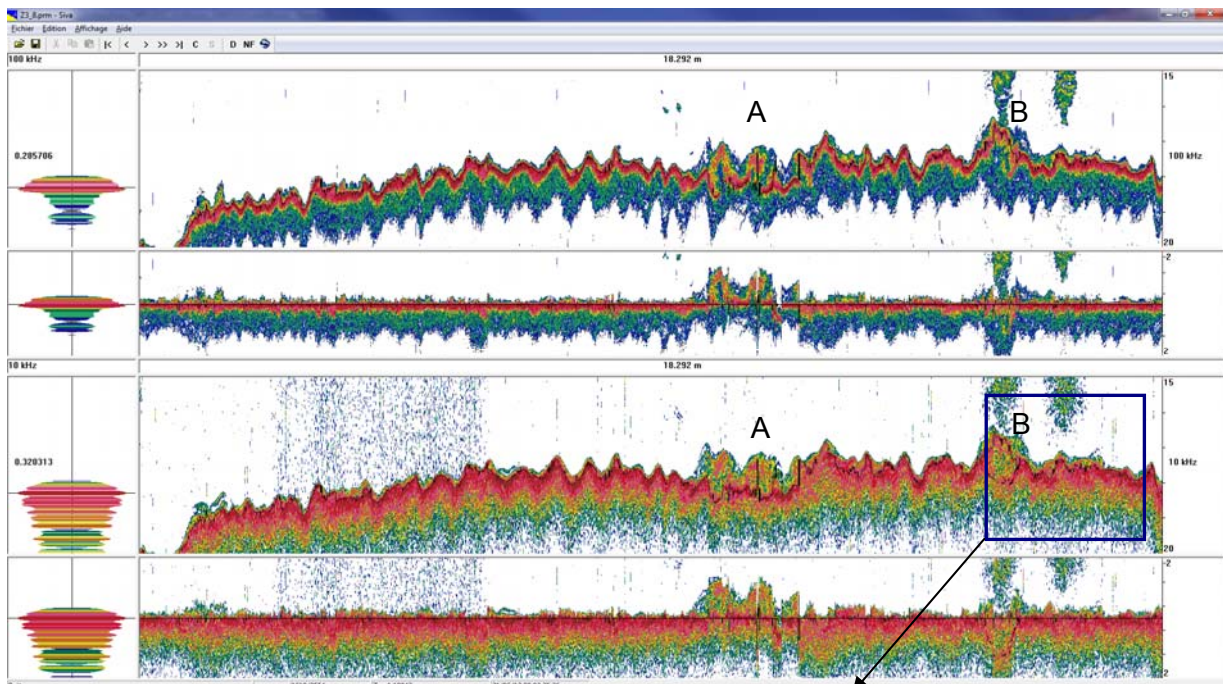
permettent de délimiter les contours des zones de forte probabilité de présence de coralligène.



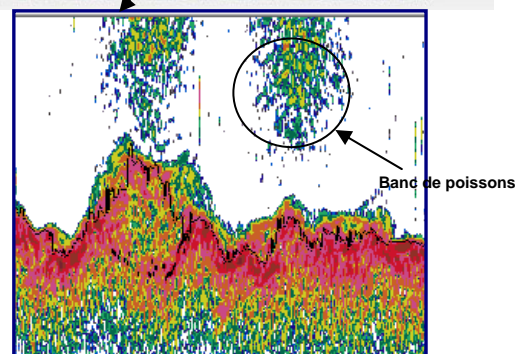
Délimitation des zones de forte probabilité de présence de coralligène (violet)

Classification acoustique

De plus les données mono-faisceau du sondeur de sédiment, fusionnées avec les données surfaciques, permettent d'effectuer la classification acoustique des zones identifiées, et dans le cas du coralligène d'en mesurer l'épaisseur.



Sondeur de sédiments : Historique des données de la radiale A-B. En haut à 100 kHz – En bas à 10 kHz



Conclusions

Les données surfaciques de micro-rugosité acoustique et d'imagerie sonar latéral HR-HP (haute résolution – haute précision), couplées aux données de classification constituent une approche surfacique innovante dans le domaine de la cartographie du coralligène.

Compte tenu de la complexité de la zone d'étude (mosaïque de coralligène et de roche), le développement de cette méthode par fusion multi capteurs a montré toute sa puissance et sa performance permettant ainsi d'envisager des cartographies de la biocénose à coralligène à de plus vastes zones.

Les auteurs remercient l'Agence de l'eau, la région Languedoc-Roussillon et la Dreal L-R qui ont soutenu ces travaux.

Du sonar à la ZNIEFF en passant par la benne, le ROV et les plongeurs : cartographie du site Natura 2000 de Rochebonne

Pierre-Guy Sauriau¹, Ronan Launay², Morgane Ravilly², Lise Latry¹, Brigitte Ravail², Fabien Aubert¹, Cécile Curti¹, Pauline Cajeri¹, Anne-Laure Barillé³, Sandrine Derrien-Courtel⁴, René Derrien⁴, Philippe Guibert²

¹ LIENSs, CNRS, Université de la Rochelle, UMR 7266 CNRS – ULR, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France.

² CREOCEAN, rue Charles Tellier, Zone Technocéan, 17000 La Rochelle, France.

³ Bio-Littoral, 2 rue du Château de l'Eraudière, Immeuble le Nevada, 44306 Nantes Cedex 3, France.

⁴ Station de Biologie Marine du Muséum National d'Histoire Naturelle et du Collège de France, BP 225, 29182 Concarneau Cedex, France.

Contact : pierre-guy.sauriau@univ-lr.fr

Une cartographie des habitats infralittoraux et circalittoraux du site Natura 2000 Plateau de Rochebonne a été réalisée en 2011 dans le cadre du projet CARTHAM-AAMP. La panoplie des méthodes d'investigation englobe le sonar latéral (couverture acoustique des fonds), le sondeur bathymétrique, le ROV (visualisation relief et mégafaune), la plongée sur les têtes de roche (protocole pré-ZNIEFF pour algologie et macrofaune fixée), la benne Hamon et la drague Rallier du Baty (analyse sédimentaire et taxonomie endofaune). Ces informations confirment l'originalité du paysage sous-marin et la richesse biologique exceptionnelle du site. Elles ont été interprétées selon la typologie EUNIS sous forme d'une cartographie d'habitats. La prise en compte d'espèces et d'habitats déterminants, préalables à la délimitation de périmètres ZNIEFF, apporte un guide au gestionnaire de ce site connu pour son intérêt halieutique.

