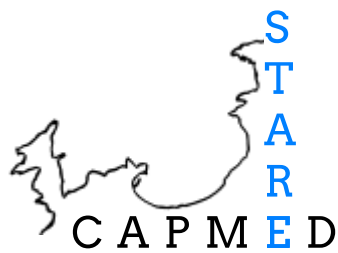




STATION STARESO
Pte de la Revellata – BP 33 – 20260 Calvi
(Corse) - FRANCE
Tel : +00 33 (0)6 86 22 32 61
Email : basemarine@stareso.com
Site web : www.stareso.com



STARECAPMED



STATION of Reference and RESEARCH on Change of local and
global Anthropogenic Pressures on Mediterranean
Ecosystems Drifts

Rapport d'activité 2017





STARESO

**Station de Recherche Sous- Marine et
Océanographique**

Président : Gérard Bonifacio

Directeur : Pierre Lejeune

Directrice Scientifique : Sylvie Gobert

Equipe : Corinne Pelapat, Michèle
Leduc, Annick Donnay, Michela
Patrissi, Michel Marengo, Quentin
Fontaine, Laura Iborra, Gabriel
Escorza, Sylvain Plaza, Cyril Steibel

Partenaires :

Université de Liège, Andromède
Océanologie, Chorus, Seaviews,...

Edité en Septembre 2018
Par STARESO

EDITO.....	4
2017, EN CHIFFRES	5
INTRODUCTION	7
WORKSHOP 2017.....	13
ORGANISATION DU PROGRAMME.....	21
ETAT ECOLOGIQUE.....	25
DONNEES HISTORIQUES DE REFERENCE.....	26
TENDANCES EVOLUTIVES GLOBALES.....	28
CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	33
IMPACT DU AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	34
ANNEE TYPE.....	36
PRESSIONS ANTHROPIQUES.....	41
CARACTERISATION DES PRESSIONS.....	42
IMPACT DES PRESSIONS.....	45
PERSPECTIVES 2018.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	54

EDITO

Après 5 années de programme, 2017 a permis l'organisation du premier workshop STARECAPMED (en avril 2018), regroupant plus d'une vingtaine de chercheurs menant des travaux dans le cadre du projet. Ce colloque a été l'occasion de réunir les différentes thématiques, de croiser les données et d'impulser la suite du programme dans le respect de l'attente des institutions qui portent politiquement et financièrement le programme.

Ainsi, le workshop débute par les mots introductifs de Mr Marc BENEDETTI (Collectivité de Corse) et la présentation de Mr Pierre BOISSERY (Agence de l'Eau RMC) portés par Pierre LEJEUNE et Michèle Leduc (STARESO).

Mr BENEDETTI souligne l'importance du projet STARECAPMED car ces projets sont essentiels pour orienter les politiques environnementales et correspondent à une attente régionale.

Mr Pierre BOISSERY rappelle que STARECAPMED fait partie des 4 sites ateliers de Méditerranée portés par l'Agence. Il souligne son caractère particulier de site de référence, représentatif de l'ensemble des écosystèmes méditerranéens et l'importance du suivi de long terme et des travaux de recherches fondamentaux.

Il rappelle cependant que le projet doit impérativement être en capacité d'apporter des informations étayées pour répondre aux « questions Agence » qui relayent l'attente sociétale et politique en matière de compréhension des liens « états des écosystèmes/pression anthropiques locales et globales ».



Wade McGillis and Shawnee Traylor

Columbia University participation and collaboration in STARECAPMED

Our mission at Columbia University is to understand benthos health of calcifying and productive ecosystems. STARECAPMED provides the unique environmental legacy site to contrast the Mediterranean seagrass meadows with North American and Caribbean seagrasses. STARECAPMED also provides longterm, continuous environmental conditions that allows us to scale up our metabolism algorithms for complete annual growth and carbon balances. Also, complementary techniques to our experimental innovations are contrasted and compared to other STARECAPMED activities. STARECAPMED provides a robust and successful backbone for sustained ecosystem monitoring in our program.

2017, En chiffres

14/101



C'est le nombre de participation à des colloques nationaux ou internationaux en 2017. 101 présentations sur le programme STARECAPMED ont eu lieu depuis 2012



~150

Plongées ont été réalisées dans le cadre des études STARECAPMED

200



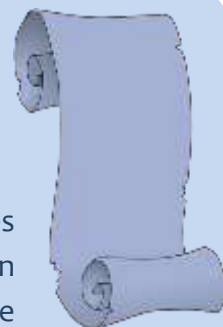
Campagnes en mer pour la récolte des données en baie de Calvi

7,8 millions



C'est le nombre de données STARECAPMED contenues dans la base de données RACE

9/60



Publications dans des journaux scientifiques en 2017 sur 60 depuis le début du programme.

4



Rapports de master sur 40 depuis 2012. Les étudiants restent durant 6 mois et travaillent sur une thématique précise.

164h



C'est le nombre d'heures passées pour extraire les données des diverses sondes et capteurs.

1 livret

En préparation pour diffuser une information synthétique sur le programme





Introduction

INTRODUCTION

Il est désormais admis que l'environnement est en danger. Le développement des activités humaines le long des côtes est toujours croissant. La gestion intégrée de ces espaces en préservant les activités sont au centre des préoccupations.

La directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 appelée « directive-cadre stratégique pour le milieu marin » (DCSMM) conduit les États membres de l'Union européenne à prendre les mesures nécessaires pour réduire les impacts des activités sur ce milieu afin de réaliser ou de maintenir un bon état écologique du milieu marin au plus tard en 2020.

La protection du milieu marin débute par sa bonne connaissance et l'analyse des processus globaux qui sont engagés.

C'est dans cette logique que le projet STARECAPMED a été initié par la station STARESO de Calvi, l'Agence de l'Eau RMC et la Collectivité de Corse. Ce site atelier permet de mettre en commun de longues séries temporelles de données au service de différentes équipes scientifiques pour étudier les processus naturels fondamentaux du fonctionnement des écosystèmes marins et leurs interactions avec les facteurs extérieurs dont les pressions anthropiques.

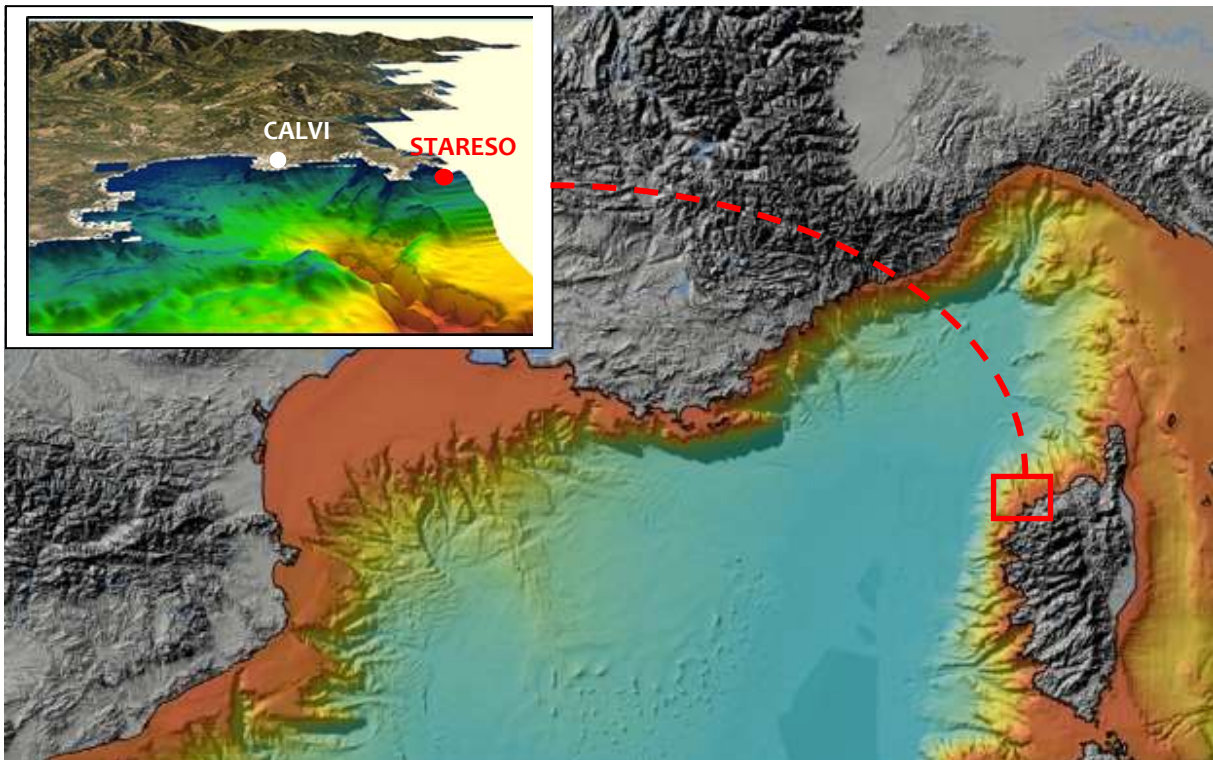
Le but du présent rapport est de présenter l'état d'avancement du programme en 2017.

La baie de Calvi, un site atelier de la Méditerranée

De nombreux réseaux de surveillance, pour qualifier l'état des écosystèmes et leur évolution, sont déployés à l'échelle de masse d'eau, de façade voire de la mer. Ces réseaux apportent une vision importante à large échelle. Cependant, travailler à une échelle plus fine et à plus haute fréquence permet de mettre en évidence des faibles variations et ainsi des événements conjoncturels qui échappent aux grands réseaux.

Le site atelier STARECAPMED permet d'augmenter les connaissances sur l'état et l'évolution des écosystèmes marins par la prise de mesures à haute fréquence sur tous les compartiments. Le site de référence regroupe l'ensemble des écosystèmes de la masse d'eau qu'il représente dans un bon état de conservation.

La Baie de Calvi offre un cadre littoral représentatif et accessible. C'est une baie méditerranéenne typique, se prolongeant vers le large par un canyon sous-marin qui la connecte avec les grands fonds de plusieurs milliers de mètres (Carte 1). Les fonds côtiers et les grandes colonnes d'eau du large cohabitent et permettent des travaux scientifiques depuis le littoral jusqu'à des masses d'eaux de type océanique.



Carte 1 : Carte Morpho-Bathymétrique de la Méditerranée à l'échelle de 1/4 000.000. ©CCGM et carte 3D de la baie de Calvi avec l'entrée du canyon sous-marin

La partie sud de la baie de Calvi est intégrée dans le site Natura 2000 Calvi-Cargèse, FR94112010 "Capu Rossu", Sandola, Revellata, profitant ainsi de mesures de protection spéciales. Le réseau Natura 2000 s'inscrit au cœur de la politique de conservation de la nature de l'Union européenne et est un élément clé de l'objectif visant à enrayer l'érosion de la biodiversité. Ce site s'étend sur 50227 hectares et présente un ensemble de côtes rocheuses et de fonds marins remarquables dont l'intégrité est unique en Europe.

Le conservatoire du littoral, depuis les années 90, mène une politique de protection du littoral et protège 67 hectares sur la pointe de la Revellata. À l'autre bout de la baie, la pointe de Spanu profite aussi des

mesures de protection du conservatoire du littoral avec 65 hectares préservés. La pointe de Spanu constitue une ZNIEFF (Zone Naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique) depuis 1990.

Le programme de mesures porté par l'Agence de l'Eau RMC, arrêté par le Préfet coordonnateur de bassin, recense les mesures dont la mise en œuvre est nécessaire à l'atteinte des objectifs environnementaux du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) pendant la période 2016-2021, 2ème cycle de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE). Selon ce programme, la masse d'eau incluant la baie de Calvi ne nécessite pas d'actions pour la restauration du bon fonctionnement du milieu marin (Fig 1).



Figure 1 : Carte de la Corse représentant les masses d'eau côtières nécessitant ou non des actions pour la restauration du bon fonctionnement du milieu marin.

Cependant, dans le cadre du plan de gestion des sites Natura 2000, diverses pressions ont été listées sur la pointe de la Revellata (Tableau 1).

Tableau 1: Impacts et activités sur le site Natura 2000 FR9400574 - PORTO/SCANDOLA/REVELLATA /CALVI/CALANCHES DE PIANA.

Libellé	Influence	Intensité
Autres activités de plein air et de loisirs	Négative	Forte
Autres intrusions et perturbations humaines	Non évaluée	Moyenne
Chasse	Non évaluée	Faible
Nuisance et pollutions sonores	Non évaluée	Faible
Pêche de loisirs	Négative	Moyenne
Pêche professionnelle active (arts trainants)	Négative	Forte
Sports nautiques	Négative	Forte

La baie de Calvi est, en fait, soumise à de nombreuses pressions anthropiques (Figure 2) dont leurs impacts sont étudiés dans le programme STARECAPMED:

- le développement de la population, notamment touristique, qui a un impact sur les rejets domestiques via une station d'épuration et un émissaire en mer,
- le développement des activités touristiques en mer marqué par un accroissement important de la plaisance, de la croisière et des activités portuaires,
- le développement des activités autour du bassin versant, notamment la viticulture, entraînant des rejets via des cours d'eaux lors de phénomènes pluvieux
- des activités d'aquaculture, de pêches professionnelles et plaisancière, de plongée, de chasse sous-marine.

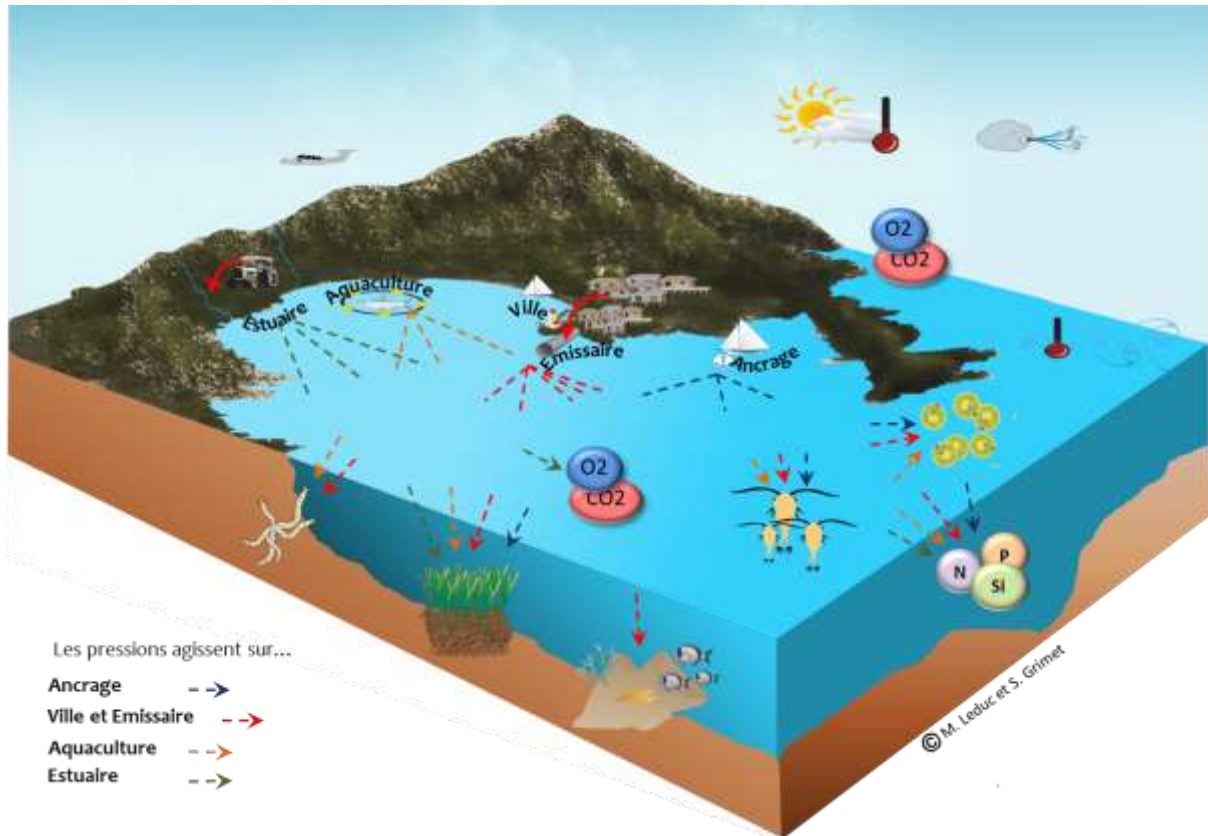


Figure 2 : Schéma représentant les compartiments fonctionnels présents en baie de Calvi et les pressions interagissant sur ces écosystèmes (flèches).

Le programme STARECAPMED permet de mesurer les influences des pressions globales liées aux évolutions du climat et aux pressions locales liées au développement des activités humaines.

Un schéma représentatif permet d'appréhender les processus naturels et les interactions permettant de connecter les différents compartiments (Figure 3).

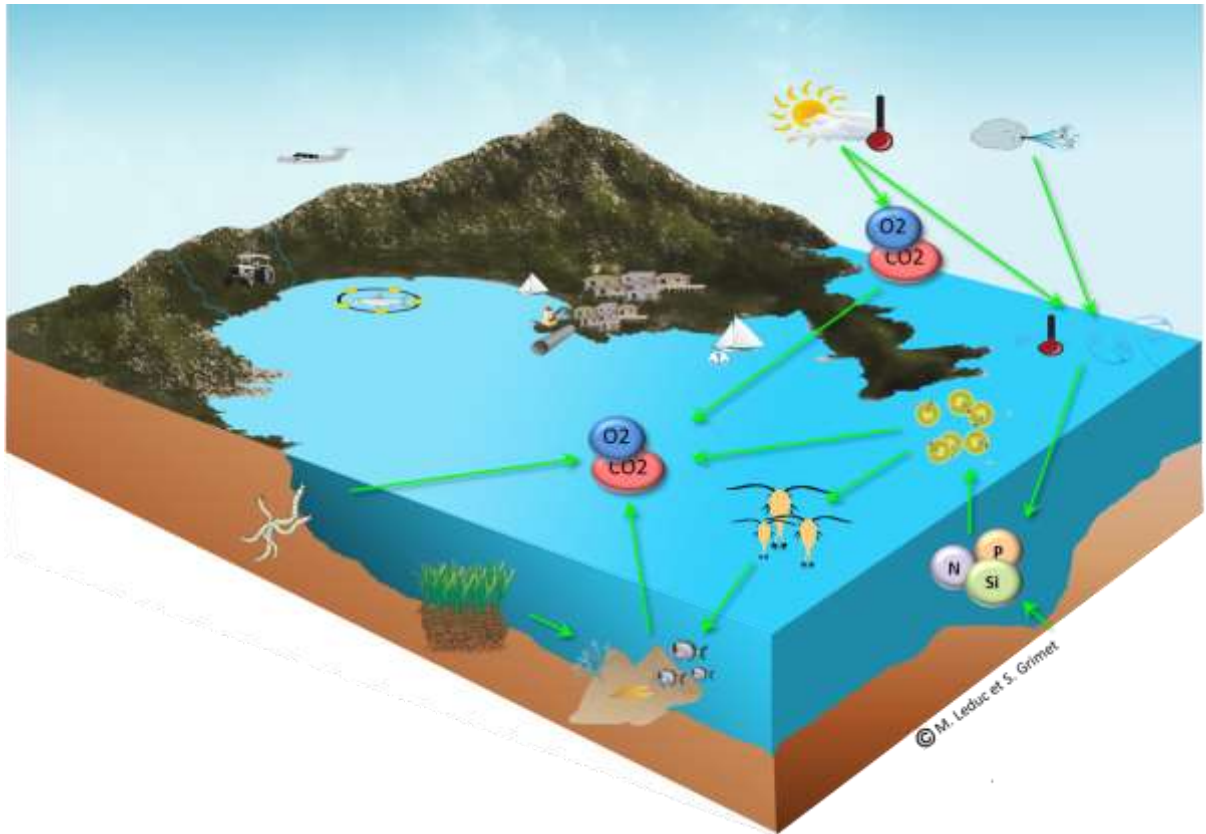


Figure 3 : Schéma représentant les interactions fonctionnelles entre les différents écosystèmes (flèches vertes) présents en baie de Calvi.



Workshop 2017

Workshop 2017 : Bilan

STARECAPMED a débuté en 2012. Après 5 ans de récoltes de données et d'interprétation, le premier workshop STARECAPMED a été largement préparé en 2017 et s'est tenu les 10 et 11 avril 2018.

STARECAPMED a débuté en 2012 avec différents objectifs :

- Comprendre les processus de l'évolution des écosystèmes méditerranéens côtiers et océaniques en réponse aux changements actuels globaux et locaux des pressions anthropiques,
- Etablir un site de référence méditerranéen, en Corse, à long terme, basé sur des mesures à haute fréquence permettant de faire progresser la compréhension des évolutions du milieu marin,
- Fournir aux utilisateurs finaux (collectivités, administrations, pêcheurs, aquaculteurs, UE, ...) des orientations de gestion basées sur l'analyse étayée des processus en jeux.

Et pour atteindre ces objectifs, le programme STARECAPMED doit :

- Fédérer et synchroniser les recherches des nombreuses équipes travaillant sur le site,
- Susciter des travaux complémentaires et attirer des équipes internationales.

STARECAPMED est un programme pluridisciplinaire et permet de réunir de nombreuses équipes de divers organismes en France ou à l'internationale (Fig. 16).

Thématique	Equipe	Organisme	Projet associé
Collaboration Internationale			
Météorologie et base de donnée	UR Sphères, Dpt de Géographie	Université de Liège	STARECAPMED
Courantologie	Département d'astrophysique, géophysique et océanographie (AGO) / GeoHydrodynamics and Environment Research (GHER)	Université de Liège	
Etude de la Posidonie	Laboratoire d'Océanologie Dpt de Biologie Ecologie Evolution	Université de Liège	Mc GILLIS/USA project
Chimie de l'herbier de Posidonie	Unité d'Océanographie Chimique	Université de Liège	
Etude du bassin versant	Aquapôle, Département de Biologie, Ecologie et Evolution	Université de Liège	FOCUS
Zooplancton	Ecologie Numérique des Milieux Aquatiques UMH	Université de Mons	
Macrobenthos et foraminifères	UMR CNRS 6112 LBG-BIAF Bioindicateur Actuel et Fossile	Université d'Angers	
Physico chimie de la colonne d'eau	Department of Earth and Environmental Engineering	Columbia University	Lamont Doherty Earth Observatory
Recrutement des juvéniles de Langoustes	IEO – Instituto Español de Oceanografía	Centre océanographique des Baléares	
Etude des substrats durs	Department of Biological, Geological and Environmental Sciences	Università di Bologna	SEAMOBB
Etude des substrats durs	TAXON Estudios Ambientales	TAXON Estudios Ambientales	SEAMOBB
Collaboration Nationale			
Posidonie, Puit de Carbone	Equipe Ecosystèmes Littoraux	Université de Corte et OEC	PADDUC-CHANGE
Etude du bassin versant		Université de Corte	FOCUS
Etude des substrats durs	IMBE, MOI	Université de Marseille	SEAMOBB
Impact des pêcheries	STELLAMARE	Université de Corte et OEC	DACCOR, Moonfish
Restauration écologique		Société Ecocean	Respire
Evaluation des ressources naturelles halieutiques par acoustique		Semantic TS	
Caractérisation des populations de méduses		CIESM	
Ecologie acoustique appliquée à l'herbier de Posidonie		Chorus	Calme

Figure 16 : Collaboration nationales et internationales dans le cadre du programme STARECAPMED

Exemples de collaborations

Étude de la séquestration naturelle du carbone

Columbia University, Earth Institute

Professeurs Wade McGillis et Shawnee Traylor

Alors que les menaces posées par la hausse des températures globales des océans, la pollution côtière et l'acidification ont suscité l'inquiétude de la communauté internationale vis-à-vis des récifs coralliens charismatiques, les herbiers marins n'ont pas bénéficiés d'une telle visibilité. Les herbiers marins disparaissent à un taux alarmant de 7% de la superficie connue par an, ce qui est comparable au taux de perte de coraux et de forêt tropicale. Les herbiers marins fournissent une vaste gamme de fonctions biologiques, chimiques et physiques aux communautés côtières. Ils agissent comme un habitat pour de nombreux organismes marins, soutiennent la biodiversité, améliorent la clarté de l'eau, atténuent les rejets industriels et les eaux de ruissellement, résistent à l'érosion benthique et même atténuent les forts courants, protégeant les habitations côtières des dommages causés par les tempêtes. Les herbiers de Posidonie sont un important puit de carbone, stockant jusqu'à 20 milliards de tonnes de carbone. Par superficie, cela représente plus du double de la quantité de carbone stockée par une forêt moyenne (83 000 tonnes / km² contre 30 000 tonnes / km²). Les chercheurs Wade McGillis et Shawnee Traylor de l'Université de Columbia utilisent les installations de STARESO dans la baie de Calvi pour déterminer la santé des prairies calcifiantes de *Posidonia oceanica*. Ils emploient des techniques in situ autonomes et continues qui permettent des mesures non invasives de la production communautaire nette et de la calcification dans des conditions naturelles et à différentes échelles de temps. Jusqu'à présent, deux techniques ont été utilisées avec le système de mesure de l'écosystème benthique et de l'acidification (BEAMS) - flux de gradient et flux de covariance dans la couche limite. Ces techniques sont également utilisées sur les récifs coralliens pour évaluer la santé des récifs sans perturber l'écosystème. Le système fournit également une série chronologique des mesures d'oxygène dissous, de pH, de température, de salinité, de vitesse et de rayonnement.



Photo1 : Système BEAMS de mesure posé sur l'herbier devant STARESO

Étude du bassin versant

Université de Liège, Unité de recherches FOCUS - Freshwater and Oceanic sScience Unit of reSearch
Environ 40 scientifiques dont les professeurs Jean-François Deliege, Eric Parmentier, Sylvie Gobert, Etienne Everbecq

ISLAND-SEA est une étude prospective initiée par l'unité de recherche FOCUS (Freshwater and Oceanic sciences Unit of reSearch) de l'université de Liège, qui vise à étudier le continuum entre les eaux continentales et l'océan. Le but est de comprendre la phénologie des événements liés à l'alternance de l'assèchement et de crue des rivières avec l'impact que cela peut avoir au niveau des estuaires. Cette étude est réalisée par une approche multi-disciplinaire qui vise à collecter les données abiotiques et biotiques nécessaires à l'établissement de modèles. De plus, dans le cadre de la création et du développement de l'UR FOCUS, ce projet est un excellent moyen de grouper les expertises des différents laboratoires au sein d'une première étude en adéquation avec le plan stratégique. Cette étude devrait aussi permettre de récolter des résultats préliminaires nécessaires à la rédaction de projets de plus grande envergure.

Le logiciel PEGOPERA est un outil scientifique et opérationnel utilisé entre autres par les gestionnaires de l'eau dans les champs d'applications de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau. Développé à l'unité R&D de l'Aquapôle (Université de Liège), il est composé :

- du modèle PEGASE (Planification Et Gestion de l'ASSainissement des Eaux), un modèle intégré bassins hydrographiques/rivières qui permet de calculer de façon déterministe et prévisionnelle la qualité des eaux des rivières en fonction des rejets et apports de pollution (relation pression-impact).
- d'une interface utilisateurs conviviale permettant son utilisation aisée

Le logiciel PEGOPERA permet d'orienter les choix des opérateurs publics et privés en matière de gestion des eaux de surface à l'échelle des petits et grands bassins versants. Il est actuellement utilisé en Région Wallonne, en Région Flamande, en France (5 Agences de l'eau sur 6) pour leurs besoins de simulations liés entre autres à la DCE (2000/60/CE).

Dans le cadre d'un stage à l'Aquapôle, une étudiante ingénieur de l'ENGEES de Strasbourg (E. Fumagalli), a développé une application test du modèle PEGASE sur le bassin de la Corse. Cette application a été utilisée dans le cadre du projet Island Sea pour faire des simulations des bassins versant de la Figarella et du Fiume Seccu (Baie de Calvi). Ces simulations (à améliorer et valider) pourraient à l'avenir servir de base pour estimer l'impact de ces rivières sur la Baie de Calvi.



Photo 2 : Proche de l'embouchure du Fiume Seccu

Workshop STARECAPMED : le bilan



Photo 3 : Participants au premier Workshop STARECAPMED

Le premier Workshop STARECAPMED s'est tenu en début d'année 2018 avec la présence d'une trentaine de scientifiques travaillant sur le programme. L'ensemble des thématiques ont pu être abordées (Programme).

Cette rencontre a été riche en échanges et réflexions permettant de croiser l'ensemble des thématiques. La richesse du projet STARECAPMED en fait aussi sa complexité. L'importante quantité de données acquises dans le programme doit permettre de répondre à des questions cibles des gestionnaires comme par exemple l'impact d'une pression sur un écosystème. STARECAPMED doit pouvoir répondre aux différents descripteurs de la DCSMM, questions Agence de l'eau ou encore aux enjeux de la Collectivité de Corse.

Dans le programme STARECAPMED, les résultats apportés dans le cadre de recherches fondamentales doivent pouvoir être transposés en réponses à des questionnements posés par les gestionnaires. Par exemple, l'analyse descriptive des phénomènes et la récolte de nombreuses données doit permettre de calibrer des modèles tels que dans le projet IMPACT qui permet de modéliser les pressions anthropiques côtières et définir des seuils de vulnérabilité.



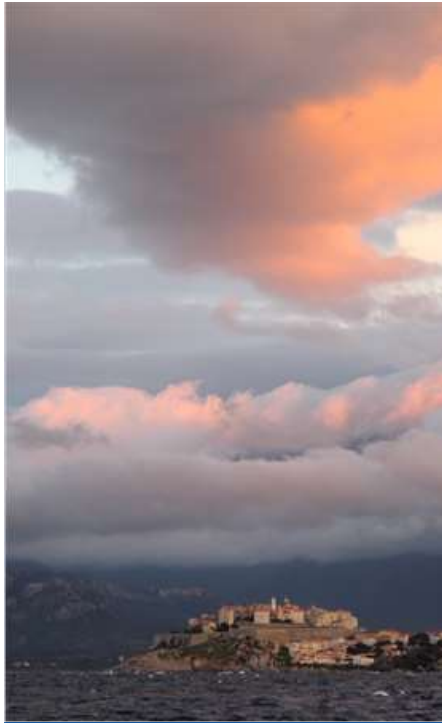
Programme du Workshop STARECAPMED

Jour 1		
09h00	P.Boissery	Présentation par l'Agence de l'eau
09h15	M.Benedetti	Présentation par la CTC
09h30	P.Lejeune/M.Leduc	Présentation du programme STARECAPMED
Session 1:		Paramètres météorologiques et physiques
10h00	M.Binard	Météo et base de données
10h15		Pause-café
10h45	Sylvain Watelet (travaux de A.Alvera)	Approche courantologique tridimensionnel pour l'étude de l'influence d'un canyon sous- marin sur les écosystèmes côtiers: cas de la Baie de Calvi
11h15	J.Richir	L'analyse des données environnementales et climatologiques : exemple de la température de l'eau
12h00		Pause déjeuner
Session2:		Herbiers: puit de carbone
14h00	S.Gobert	Contamination par les éléments traces en Méditerranée occidentale, focus sur la baie de Calvi et la Corse: bilan et perspectives
14h15	J.Richir (travaux de W.Champenois)	Inter-annual variations over a decade of primary production of the seagrass <i>Posidonia oceanica</i>
14h30	A.Abadie	Influences naturelles et anthropiques sur la structure paysagère des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> dans la baie de Calvi: bilan et perspectives
14h45	J.Richir	Etude de l'activité photosynthétique de <i>Posidonia oceanica</i>
15h00		Pause-café
15h30		Atelier
Q		Proposition des intervenants du séminaire en relation avec les sessions du jour et pour l'avancée du programme STARECAPMED

Programme du Workshop STARECAPMED

Jour 2		
Session 3:		Différents acteurs
09h00	Q.Fontaine	Interactions entre les compartiments climatiques, physico-chimiques et biologiques de la baie de Calvi dans un contexte de changement global et de pressions anthropiques locales
09h15	D.Scirjacobs	Etude des communautés de macroalgues en baie de Calvi
09h30	L.Fullgrabe	Evolution et variations à long terme du mésozooplancton de la Baie de Calvi
09h45	C.Pelaprat (travaux de A.Donnay)	Suivi du macrobenthos de substrats meubles en baie de Calvi dans le cadre du programme STARECAPMED
10h00	L.Iborra	Substrat dur et ichtyologie
10h15	C. Noel	Evaluation des ressources naturelles halieutiques par acoustique - Site STARECAPMED
10h30		Pause-café
Session4:		Approche globale
11h00	C.Gervaise	Ecoutez l'herbier de Posidonie de la baie de la Revelatta. Ecologie acoustique appliquée à l'herbier de <i>Posidonia oceanica</i> & STARECAPMED
11h15	M.Bolgan	Abondance et diversité acoustique des populations de poissons
11h30	S.Personnic	Une approche intégratrice pour le site Atelier STARECAPMED
11h45	G.Delaruelle	Cartographie et surveillance des habitats marins sensibles du site atelier de la baie de Calvi
12h00		Echanges- Discussions
12h30		Pause déjeuner
13h30		Atelier
Q		Proposition des intervenants du séminaire en relation avec les sessions du jour et pour l'avancée du programme STARECAPMED





Organisation de STARECAPMED

Organisation de STARECAPMED

Le suivi scientifique est un outil de collecte de données utilisé dans le cadre de la gestion et de la conservation des espaces naturels. Il est conçu pour répondre à des interrogations et /ou des objectifs clairs. Il permet d'identifier et d'évaluer, en utilisant un protocole bien défini, des changements par rapport à un état de référence donné.

En 2012, le programme STARECAPMED a été construit selon un modèle bien défini pour répondre à des questions précises. Comment fonctionnent les processus naturels ? Quels sont les influences des changements globaux et locaux ? Ce suivi scientifique à haute fréquence peut également apporter des éléments de comparaison entre sites ou servir à évaluer l'efficacité des actions de gestion.

La baie de Calvi a été choisie comme site référence pour établir un état des lieux du système marin et de donner des informations sur son évolution. Sur ce site, l'ensemble des compartiments des écosystèmes marins est étudié.

Le programme STARECAPMED a débuté en 2012. Dans le cadre d'une dynamique de coopération scientifique, il a été conçu pour qualifier l'état des écosystèmes et son évolution à tous les niveaux biologiques, du milieu côtier et du proche large. Au travers de 10 axes d'études définis au départ du programme :

- ①. Suivi du cadre hydrographique et physico-chimique
- ②. Suivi et quantification des pressions anthropiques
- ③. Ecosystème planctonique
- ④. Benthos de substrat meuble
- ⑤. Benthos de substrat dur et faune vagile
- ⑥. Zones protégées et recrutement
- ⑦. Magnoliophytes marines et écosystèmes associés
- ⑧. Mouillages et processus d'altération des herbiers à *Posidonia oceanica*
- ⑨. Ecotoxicologie, polluants émergents
- ⑩. Bilan CO₂ des écosystèmes

Durant ces 5 dernières années, le programme STARECAPMED a évolué en décroissant ces 10 axes d'études pour permettre d'élargir la vision sur les phénomènes mis en jeu et d'identifier les corrélations entre les différents processus.

STARECAPMED s'intéresse à l'étude de l'ensemble des compartiments du milieu marin ou influençant ce dernier. En s'appuyant sur des travaux interdisciplinaires, STARECAPMED a la volonté de répondre aux attentes des politiques régionales, nationales et des programmes opérationnels européens.

L'ensemble des compartiments sont abordés soit dans un contexte environnemental général soit sur un focus plus spécifique (une espèce clé par exemple).

Les différentes échelles d'analyses permettent d'étudier les processus naturels puis les influences des pressions anthropiques et du changement climatique sur ces derniers.

L'ensemble des études sont orientées afin de répondre aux questions Agence de l'eau, aux enjeux de la Collectivité de Corse et de répondre aux différents descripteurs de la DCSMM (Figure 4).

Agence de l'eau	DCSMM
Changement climatique	1-diversité biologique
Lien Etat/Pression	2-espèces non indigènes
Compréhension des processus	3-espèces exploitées
Apports polluants	4-réseau trophique marin
Ecotoxicologie	5-Eutrophisation
Base de Données	6-intégrité des fonds marins
Restauration	7- conditions hydrographiques
Mise au point de méthode	8-contaminants/milieu
	9-contaminants / aliments
	10-déchets marins
	11-introduction d'énergie
Collectivité de Corse	
Biodiversité	
Gérer l'espace durablement	
Préserver le patrimoine naturel tout en développant l'économie	
Connaitre, maintenir ou restaurer la biodiversité	
Gestion des déchets	
La qualité de l'eau	
lutter contre les pollutions de l'eau	
Améliorer la qualité des eaux de baignade	
Préserver la qualité des eaux conchylicoles	
Gérer durablement la ressource en eau face au changement climatique	
Les ressources marines	
Promouvoir le développement de la pêche professionnelle en assurant la préservation du milieu et de la ressource piscicole	
Promouvoir le développement de l'aquaculture respectueuse de l'environnement	
Les risques naturels et industriels	
Améliorer les outils de connaissance et de prévention de l'érosion littorale	
Améliorer les connaissances sur les risques sanitaires face à l'amiante dans le milieu naturel	
Evaluer les niveaux de pollutions en mer et ses effets	
Limiter les pollutions marines issues des macro-déchets	
Le cadre de vie	
Maintenir la qualité, la diversité, l'originalité des paysages	
Concilier développement touristique, activités de loisirs, sports de nature et préservation du patrimoine naturel	

Figure 4 : Liste des questions Agence de l'Eau RMC et des différents descripteurs de la DCSMM

Ainsi, un tableau synthétique reprend l'ensemble des études du programme en présentant les liens avec les questions Agence de l'Eau RMC, les enjeux de la Collectivité de Corse et les descripteurs DCSMM (Figure 5).

Page suivante :

Figure 5 : Présentation des études menées dans le cadre du programme STARECAPMED en cohérence avec les questions Agence de l'Eau RMC, les enjeux de la Collectivité de Corse et les descripteurs de la DCSMM

Programme STARECAPMED					Réponses	Questions Agence de l'eau	Enjeux Collectivité de Corse	Descripteurs DCSMM
Contexte environnemental	Suivi associé	Etude des Processus naturels	Etude des Pressions anthropiques					
			Locales	Changement climatique				
Cadre météorologique	température de l'air, direction et force du vent, pluviométrie, ...	x		x	Changement climatique	Ressource en eau	7- conditions hydrographiques	
					Comprehension des processus			
					Base de données (1980-auj)			
Colonne d'eau/physico-chimie	température et niveau de l'eau, oxygène, salinité, nutriments, courantologie, ...	x	x	x	Changement climatique	La qualité de l'eau	7- conditions hydrographiques	
					Lien Etat/Pressions			
					Comprehension des processus	Les risques naturels et industriels	5-Eutrophisation	
					Base de données (1980-auj)	Le cadre de vie		
Colonne d'eau/biologique	phytoplancton (biomasse (Chlorophylle a) et communautés)	x	x	x	Changement climatique	Biodiversité	1-diversité biologique	
	zooplancton (biomasse et communautés)	x		x	Lien Etat/Pressions			
	ichtyologie	x			Comprehension des processus			Le cadre de vie
Substrat dur	ichtyologie	x	o	x	Comprehension des processus	Biodiversité	1-diversité biologique	
	espèces remarquables et structurantes	x		x	Apports polluants			
	espèce envahissante (<i>Caulerpa cylindracea</i>)	o	o		Changement climatique	Les ressources marines	3-espèces exploitées	
	macroalgues	x	x	x	Mise au point de méthode		4-réseau trophique marin	
	herbier de Posidonie	x	x	x	Lien Etat/Pressions	Le cadre de vie	6-intégrité des fonds marins	
	langouste rouge	x		x	Base de Données		2-espèces non indigènes	
Substrat meuble	macrobenthos		x	x	Comprehension des processus	Biodiversité	1-diversité biologique	
	ichtyologie	o	o	o	Mise au point de méthode			
	herbier de Posidonie	x	x	x	Base de données (2006-auj)	Les ressources marines	2-espèces non indigènes	
	espèce envahissante (<i>Caulerpa cylindracea</i>)		x		Changement climatique			
Bassin versant	estuaires		x	o	Appports polluants	La qualité de l'eau	8-contaminants/milieu	
					Lien Etat/Pression	Les risques naturels et industriels	5-Eutrophisation	
Focus								
Herbier de Posidonie	phénologie et état	x	x	x	Comprehension des processus	Biodiversité	6-intégrité des fonds marins	
	cartographie	x	x	x	Changement climatique			
	bio-indicateurs et bio-marqueurs	x	x		Lien Etat/Pressions	Le cadre de vie	8-contaminants/milieu	
Espèce envahissante (<i>Caulerpa cylindracea</i>)	phénologie et état	x	o	x	Ecotoxicologie	Les risques naturels et industriels	2-espèces non indigènes	
	influence sur macrobenthos		x		Comprehension des processus	Le cadre de vie		
Langouste rouge	recrutement de juvéniles en milieu naturel et artificiel	x		x	Lien Etat/Pressions	Biodiversité	1-diversité biologique	
	Stocks		x		Base de données (2004-auj)			
						Changement climatique	Les ressources marines	3-espèces exploitées
Icthyologie	Phenologie et état	x	o	x	Comprehension des processus	Biodiversité	1-diversité biologique	
	réécifs artificiels pour juvéniles	x	x	x	Restauration			
	écotoxicologie	x	x		Ecotoxicologie	Les ressources marines	8-contaminants/milieu	
	stocks		x		Appports polluants		9-contaminants / aliments	
					Lien Etat/Pressions	Les risques naturels et industriels	3-espèces exploitées	
					Base de données (2004-auj)	Le cadre de vie		

Etat écologique



Etat écologique

Depuis 2012, STARECAPMED récolte des données à haute fréquence et reprend les données anciennes afin de qualifier l'état dans une perspective de l'analyse du lien état/pression attendu par les gestionnaires.

L'analyse de ces longues séries temporelles permet de décrire l'état des processus naturels et leur évolution.

L'état écologique est décrit successivement par les caractéristiques physiques et chimiques du milieu puis par les caractéristiques biologiques. Cette distinction permet de définir les conditions abiotiques qui vont influencer le compartiment biologique et la répartition des communautés. Les états physiques, chimiques et biologiques subissent des évolutions perceptibles.

Données historiques de référence





Depuis la création de la station océanographique de Calvi (STARESO) au début des années 1970, un grand nombre de données ont été acquises par les chercheurs. Il est possible d'obtenir des données historiques de « référence ». Evidemment, une année prise au hasard ne peut pas être défini comme référence puisqu'il y a de grandes variabilités interannuelles. Ici, les données historiques sont présentées, pour chaque paramètre, depuis la plus anciennes données connues en baie de Calvi retrouvée par le programme.

Cadre météorologique et état physique et chimique

L'état physique est défini par l'ensemble des éléments physiques, très variés, caractérisant le milieu comme par exemple, la luminosité, la nature des fonds, la température et la salinité de l'eau de mer, ainsi que leurs variables de forçage physiques telles que la climatologie marine, la météorologie, la courantologie ou encore l'agitation.

L'état chimique est étroitement lié à l'état physique qui le conditionne. Parmi ces paramètres, la concentration en oxygène dissous, le PH, la disponibilité en nutriments, les contaminants sont les caractéristiques qui déterminent le développement de la vie des organismes marins.

Les données historiques les plus anciennes sont obtenues pour les paramètres température de l'air et de l'eau (Fig 6 et 7). Pour l'ensemble des données, les moyennes annuelles, les minimums et maximums mensuelles ainsi que les moyennes saisonnières ont pu être relevés.

DONNÉES HISTORIQUES DE RÉFÉRENCE					
CADRE MÉTÉOROLOGIQUE					
	ANNÉE DE LA DONNÉE	MOYENNE ANNUELLE	MAX/MIN MENSUEL		
 TEMPÉRATURE DE L'AIR	1976	14,33°C	8,6°C 20,85°C	Hiver Printemps Eté Automne	9,08 15,55 19,90 12,47
 VENT	1981	75,98KM/H	51,9KM/H 96,1KM/H	Hiver Printemps Eté Automne	82,07 73,90 67,80 80,13
 ENSOLEILLEMENT	2000	226,33H/MOIS	97,9H/MOIS 356,3H/MOIS	Hiver Printemps Eté Automne	174,47 296,23 313,60 121,00
 PLUVIOMÉTRIE	1990	28MM	3MM 62MM	Hiver Printemps Eté Automne	NM 22,67 12,50 43,67

Hiver= Janvier/Février/Mars Printemps= Avril/Mai/Juin, Eté= Juillet/Aout/Septembre, Automne= Octobre/Novembre/Décembre

Figure 6 : Données historiques de référence pour le cadre météorologique



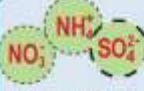


DONNÉES HISTORIQUES DE RÉFÉRENCE					
ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE DE LA COLONNE D'EAU					
	ANNÉE DE LA DONNÉE	MOYENNE ANNUELLE	MAX/MIN MENSUEL		
 TEMPÉRATURE DE L'EAU	1981	16,1°C	8,3°C 24°C	Hiver Printemps Eté Automne	9,72 17,80 22,35 14,40
 SALINITÉ	1978	37,79	37,6 38,15	Septembre 1978 Décembre 1978 Mars 1979 Juin 1979	38,15 37,66 37,64 37,71
 NUTRIMENTS	2006/ 2009	NO ₃ (2006) 0,6 NH ₄ (2009) 0,04 PO ₄ (2009) 0,05 Si (2006) 1,14	Min Max NO ₃ 0 1,29 NH ₄ 0 0,15 PO ₄ 0,04 0,08 Si 0,54 2,01	Hiver Printemps Eté Automne	NO ₃ 1,18 NH ₄ 0 PO ₄ 0,06 Si 1,95 NO ₃ 0,62 NH ₄ 0,11 PO ₄ 0,07 Si 1,02 NO ₃ 0,45 NH ₄ 0,03 PO ₄ 0,05 Si 0,59 NO ₃ 0,17 NH ₄ 0,03 PO ₄ 0,04 Si 0,99
 OXYGÈNE, GPP	2007	104%	66% 287%	Hiver Printemps Eté Automne	100,8% 107,0%
 COURANTOLOGIE	1995	RÉGIME D'HIVER (NOVEMBRE –MARS): COLONNE D'EAU MÉLANGÉE RÉGIME D'ÉTÉ (AVRIL-OCTOBRE): COLONNE D'EAU STRATIFIÉE APPORTS D'EAUX PROFONDES PAR NORD-EST MÉLANGES DES EAUX DE SURFACE -> 52M PAR SUD-OUEST MODÉLISATION: UNE CYRE PRINCIPALE DE L'EST VERS L'OUEST			
Hiver= Janvier/Février/Mars Printemps=Avril/Mai/Juin, Eté= Juillet/Aout/Septembre, Automne= Octobre/Novembre/Décembre					

Figure 7 : Données historiques de référence pour l'état physique et chimique de la colonne d'eau

Etat biologique

La biologie des espèces est étroitement dépendante des caractéristiques physiques et chimiques. Cependant, en fonction des espèces étudiées, le temps de réaction sera différent et ainsi l'impact ou la résilience se fera à plus ou moins long terme. Les changements observés seront dépendants de la durée de vie de l'organisme, du temps de reproduction ou de renouvellement.

Différentes espèces ont fait l'objet d'études approfondies. Par exemple, le phytoplancton est étudié depuis 1979 avec les mesures de biomasse réalisées lors du bloom annuel.

C'est à partir de 2007, avec l'évolution des techniques, que l'analyse des communautés phytoplanctoniques à partir des pigments a pu débuter.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des données historiques de « référence » sur les compartiments biologiques étudiés.

DONNÉES HISTORIQUES DE RÉFÉRENCE		
ÉTAT BIOLOGIQUE		
ANNÉE DE LA DONNÉE		
 PHYTOPLANCTON	1979/ 2007	BIOMASSE (Chla): MAX: 1,81 g L ⁻¹ MIN: 0 g L ⁻¹ BLOOM: MI-MARS COMPOSITION PIGMENTAIRE MESURÉE À PARTIR DE 2013
 MACROALGUES	1979	RÉPARTITION D'UNE TRENTAINE D'ESPÈCES D'ALGUE DONT DES ESPÈCES SENSIBLES: L.BYSSOIDES, C.BRACHYCARPA, C.COMPRESSA, C.STRICTA. INDICE CARLIT TRÈS BON SUR 18/19 TRANSECTS
 POSIDONIE	1975	PRODUCTION: 3832 T.AN ⁻¹ DE POIDS FRAIS 1071 HA ENTRE 0 ET 38M DE PROFONDEUR
 CAULERPA CYLINDRACEA	2008	INDICE PAYSAGER ICAR EN 2011 COUVERTURE IRRÉGULIÈRE EN FONCTION DES ZONES
 ZOOPLANCTON	2005	SAISONNALITÉ DES ESPÈCES ÉTABLIE DIFFÉRENTES COMMUNAUTÉS ZOOPLANCTONIQUES
 ICHTYOLOGIE	1994	400 ESPÈCES DE POISSONS DÉNOMBREES, SEULES 60 ESPÈCES SONT PÊCHÉES RÉGULIÈREMENT
	1989	LA MOYENNE DE PRISE JOURNALIÈRE PAR BATEAU ET PAR SORTIE ÉTAIT DE 30,32 KG EN 1989
 LANGOUSTE ROUGE	2004	LA PRODUCTION ANNUELLE EST DE 80 TONNES
 MACROBENTHOS DE SUBSTRAT MEUBLE	2011	INDICE BEMSI: ÉTAT BON À TRÈS BON

Figure 8 : Données historiques de référence pour l'état biologique

Tendances évolutives globales

Le programme STARECAPMED permet la mesure de différents paramètres à haute fréquence mais a surtout permis de regrouper l'ensemble des données acquises depuis les années 1980. Ainsi, par ce travail, les tendances évolutives peuvent être dégagées puisque les séries comptent parfois plus de 30 années de mesures.

Dans ce paragraphe, les tendances générales sont présentées (Fig 9). Cependant, une analyse plus fine de chaque paramètre sur la série temporelle a été réalisée pour réaliser des analyses comparatives entre les différents facteurs et permettre de visualiser des corrélations.



Figure 9 : Tendances évolutives pour le cadre météorologique et l'état physique et chimique de la colonne d'eau

Par exemple, la température de l'eau a été mesurée en continu de 1981 à aujourd'hui. Les données semblent montrer une tendance à l'augmentation de la température moyenne de l'eau de 0,7°C sur 35 ans. L'analyse

graphique de l'évolution des températures moyennes mensuelles sur 35 ans présentent d'importantes variations interannuelles, avec des successions d'années, de périodes plus chaudes et plus froides. Une analyse statistique (statistique glissante) a été réalisée pour pouvoir identifier des périodes de température de l'eau s'écartant de la moyenne de température sur le long terme. Cette analyse des tendances permet de mettre en évidence une première période avec des températures moyennes légèrement plus élevées que la moyenne générale (de 1981 à 1995), une seconde période avec des températures proches de la moyenne générale (de 1996 à 2005) suivi d'une 3ème avec des températures plus basses (de 2006 à 2010) et enfin une quatrième avec des températures plus élevées (de 2011 à aujourd'hui).

La température de l'eau étant un paramètre physique essentiel pour l'analyse des processus physiques, chimiques et biologiques, ces analyses descriptives participent à l'explication des événements ponctuels ou plus étendus observés dans le milieu marin. De la même façon, l'analyse de l'état biologique permet d'observer des tendances évolutives présentées dans le tableau ci-dessous (Fig 10).

Ces tendances évolutives renseignent sur l'état et l'évolution sur un temps donné d'un compartiment physique, chimique et biologique. Cependant, les variabilités interannuelles doivent être étudiées pour comprendre finement les processus et les corrélations entre les différents compartiments.

Les tendances globales observées peuvent être mises en relation avec les changements globaux et locaux. Le programme STARECAPMED permet de montrer que le changement climatique induit des changements sur les paramètres abiotiques ainsi que sur les compartiments biologiques à différents niveaux. De plus, les pressions anthropiques au sein de la baie de Calvi ont des impacts modérés sur les paramètres abiotiques plaçant la baie de Calvi comme site de référence pour l'étude des changements globaux concernant ces paramètres. Cependant, certaines pressions présentent malgré cette situation, des impacts très nets sur certains compartiments biologiques.

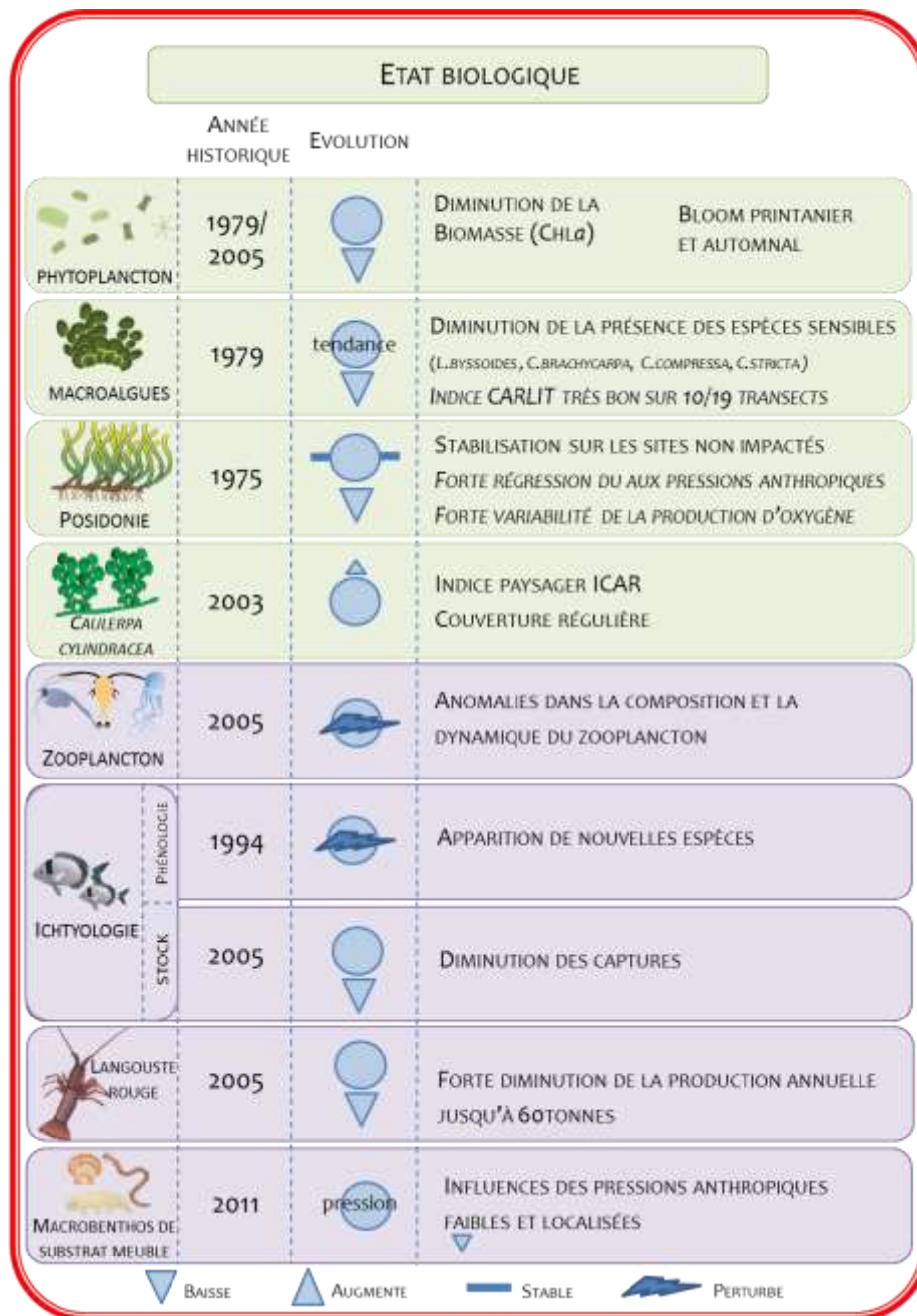


Figure 10 : Tendances évolutives pour l'état biologique



Changement climatique

Changement climatique

Le projet STARECAPMED permet, grâce aux longues séries de données de commencer à décrire et comprendre les influences du changement climatique sur différents paramètres.

Impact dû au changement climatique

Il est maintenant largement admis que le climat change et qu'il impacte le milieu. Il est clair que la pression induite par le changement climatique a une influence sur l'ensemble des compartiments. Le programme STARECAPMED permet, pour plusieurs paramètres, de raisonner sur une série de données suffisamment longues (>30ans) pour avoir des réponses.

La réflexion est portée ici à l'échelle d'une baie de référence de Méditerranée occidentale. Cette baie étant très peu impactée par les pressions anthropiques, les degrés d'impact et la nature des phénomènes induits par le changement climatique est directement interprétable (Figure 11).

Changement climatique		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Cadre météorologique	Température de l'air	+2,65°C en 40 ans
	Direction et Force du vent	direction inchangée, modification du pattern saisonnier des intensités
	Pluviométrie	augmentation des événements extrêmes
	Luminosité, Ensoleillement	augmentation de l'ensoleillement
Colonne d'eau/physico-chimie	Température de l'eau	+0,7°C en 35 ans, alternance de périodes "froides" et "chaudes", augmentation de la température sur toute la colonne d'eau en hiver
	Oxygène	changement de l'activité des écosystèmes
	Salinité	aucun effet mesuré
	Nutriments	modification du pattern saisonnier
	Matière organique	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	
	Lumière	augmentation
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	
	Microdéchets	
Macrodéchets		
Colonne d'eau	Phytoplancton	diminution importante au printemps, apparition d'un second bloom en été
	Zooplancton	communautés zooplanctoniques perturbées
	Ichtyologie	
Substrat dur	Macroalgues	diminution de la fréquence de algues dites sensibles
	Herbier de Posidonies	augmentation de la fréquence de floraison
	Ichtyologie	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	diminution
	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	
Substrat meuble	Macrobenthos de substrat meuble	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	

Figure 11 : Tableau indiquant les impacts du changement climatique sur les différents compartiments à l'échelle de la baie de Calvi

Dans le rapport, réalisé par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse en 2012, sur les impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, l'évolution des températures de l'air au 20e siècle s'appuie sur des projections régionalisées (Moisselin et al., 2002). Cette étude montre que la température moyenne a augmenté de 1 °C environ entre 1901 et 2000 (de + 0,7 °C dans le Nord-Est à + 1,1 °C dans le Sud- Ouest), et que les températures minimales ont eu tendance à augmenter plus rapidement que les températures maximales.

Certains projets de recherche ont abouti à la création de scénarios climatiques régionalisés sur un ou plusieurs bassins versants inclus dans le territoire Rhône-Méditerranée.

Dans le rapport réalisé par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse en 2012 sur les impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, l'évolution

des températures de l'air au 20e siècle s'appuie sur des projections régionalisées (Moisselin et al., 2002). Cette étude montre que la température moyenne a augmenté de 1 °C environ entre 1901 et 2000 (de + 0,7 °C dans le Nord-Est à + 1,1 °C dans le Sud- Ouest), et que les températures minimales ont eu tendance à augmenter plus rapidement que les températures maximales.

Le programme STARECAPMED, concernant le bassin de Calvi, a permis de constater des anomalies de température allant jusqu'à 1,5°C (Figure 12). Ces anomalies sont majoritairement positives depuis 1999. Ces 4 dernières années, la température moyenne annuelle est entre 1,4 et 1,5°C supérieure à la moyenne climatique mesurée entre 1981 et aujourd'hui.



Figure 12 : Anomalies des températures moyennes annuelles de l'air (°C) entre 1981 en 2017

En 2017, les anomalies de températures sont différentes en fonction des saisons, les anomalies les plus importantes mesurées le sont sur les températures estivales (+1,80°C), puis printanières (+1,41°C), puis automnales (+1,08°C), et enfin hivernales (+0,75°C).

Les effets du changement climatique sur l'ensemble des écosystèmes ont été décrits dans le rapport 2016. Nous reprenons ici le schéma montrant les différentes influences (Figure 13).

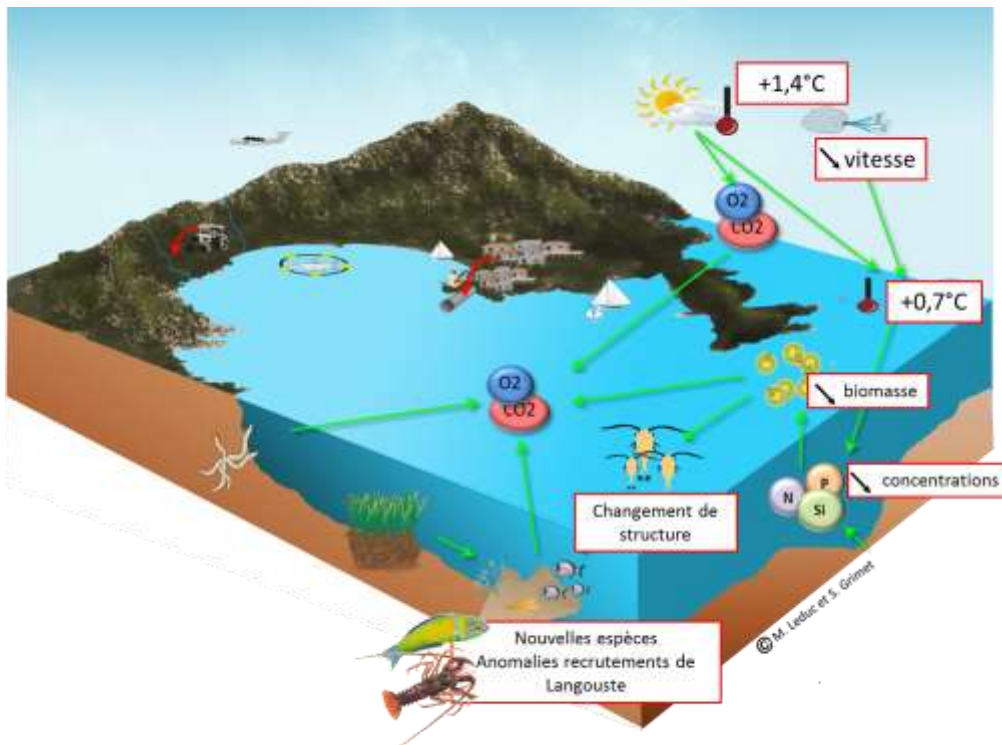


Figure 13 : Le changement climatique induit des changements sur les paramètres abiotiques ainsi que sur les compartiments biologiques à différents niveaux

Année type

L'analyse des séries à long terme permet de constater les variabilités interannuelles et ainsi de souligner des anomalies. Ce type d'analyse « climatologique » permet de décrire des phénomènes qui semblent apparaître fréquemment pouvant ainsi déterminer une année type « normale ». A l'opposé, certaines années apparaissant très particulière pour certains paramètres sont décrites comme des années exceptionnelles. Au vu des changements observés, cette année exceptionnelle pourrait décrire une année normale dans le futur.

L'analyse des communautés zooplanctoniques et de la production d'oxygène par l'écosystème Posidonie a permis de mettre en évidence la description d'années types pour ces compartiments.

Analyse des communautés zooplanctoniques

Le zooplancton est prélevé depuis 2004 sur un profil horizontal en sub-surface de façon hebdomadaire, cette richesse représente environ 650 échantillons.

Une première analyse a pu être réalisée pour la période de 2005 à 2017 à l'aide d'un analyseur scanner.

Pour mettre en évidence certains aspects remarquables de la variation interannuelle de la communauté zooplanctonique, les abondances respectives de chaque taxa ont été comparées pour les 12 années (Fig 14). Un changement important de structure communautaire et surtout d'abondance apparaît notamment en 2007. Les abondances (nombre d'individus/m³) sont plus basses cette année-là.

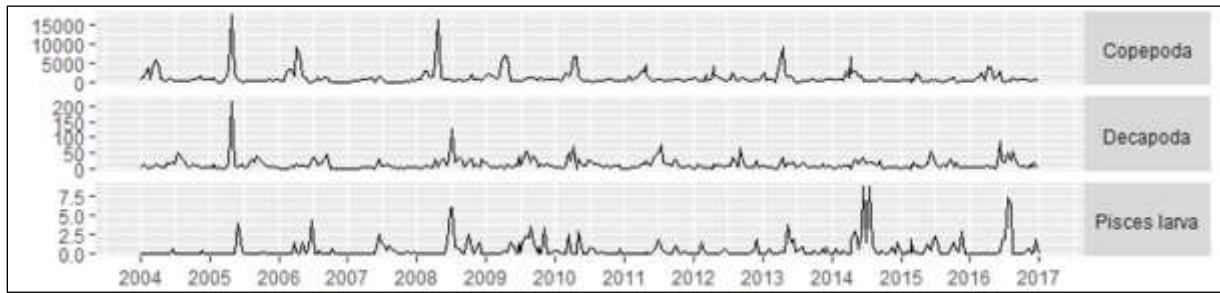


Figure 14 : Abondances relatives de trois taxons zooplanctoniques (Copépodes, Décapodes, Larves de poissons) entre 2004 et 2017

Des méthodes statistiques d'analyse innovatrices, sur la base de l'analyse d'abondance et de composition générale, permettent de mettre en évidence une répartition des communautés zooplanctoniques qui s'articule autour d'une succession saisonnière de chaque communauté (Fig 15).

Cette analyse permet de représenter les différents états des communautés en fonction des saisons. Les proportions entre les différents clades de zooplancton définissent un état « été », « hiver », ou « bloom » par exemple.

Ainsi, on obtient une « année type » caractérisée par une succession de type de communautés zooplanctoniques.

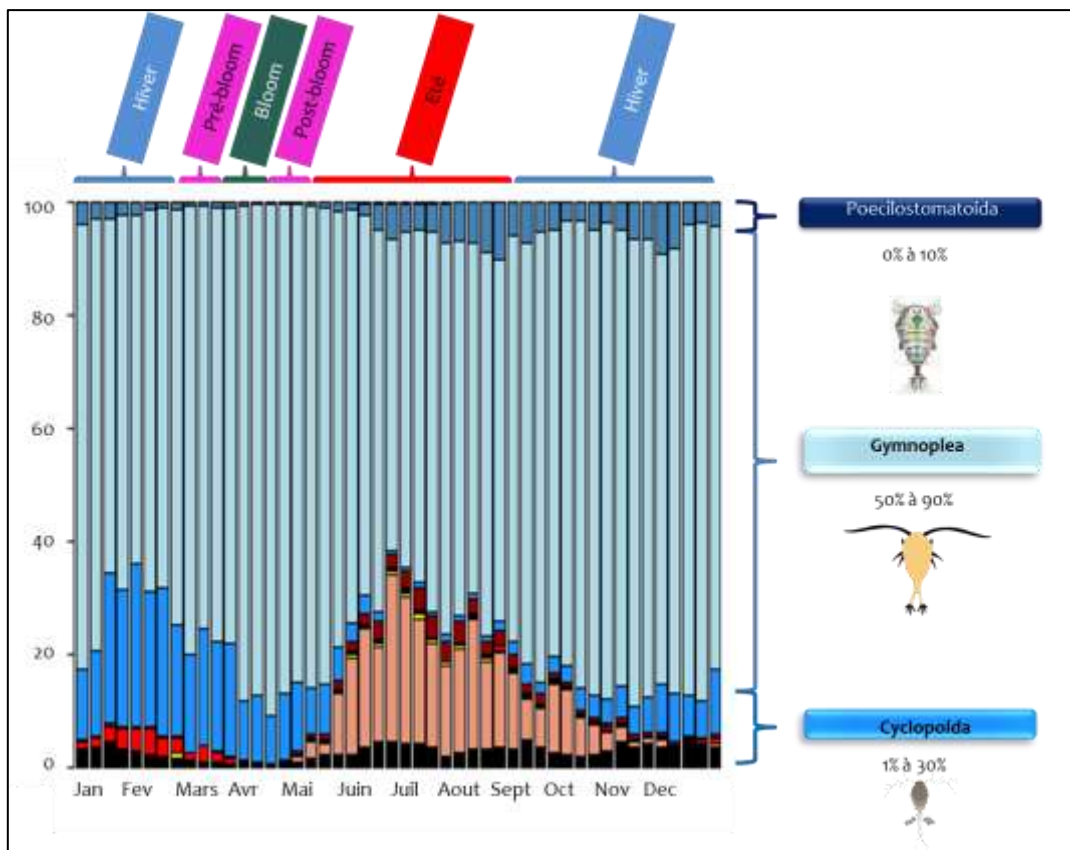


Figure 15 : Variabilités saisonnières des différentes communautés zooplanctoniques

Le cycle du zooplancton est connu avec un pic (« bloom ») au printemps. L'état des communautés zooplanctoniques passe par différentes phases en fonction de la disponibilité de la nourriture. La description des communautés zooplanctoniques entre 2004 et 2017 fait apparaître des variabilités

interannuelles. La succession des états est différente en fonction des années (Fig 16). L'année 2007, par exemple, est vraiment particulière avec une absence de « bloom » et un état « hivernal » quasi constant sur l'année.

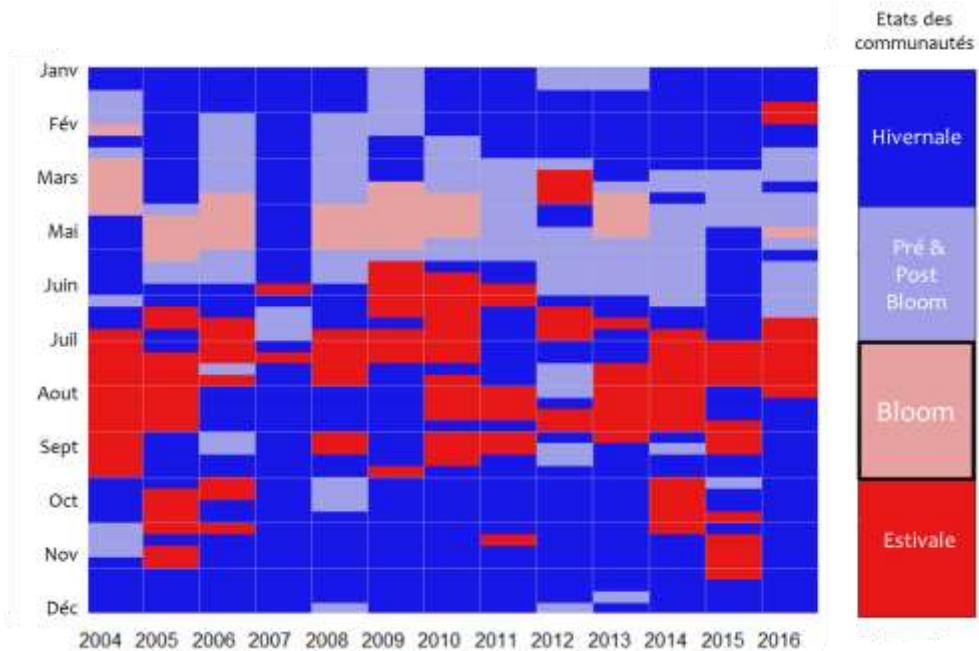


Figure 16 : Variabilités interannuelles des différents états des communautés

Avec le même type d'approche, l'étude de la production d'oxygène par l'écosystème Posidonie a permis de mettre en évidence ce type de description des années types.

Analyse de la production d'oxygène par l'écosystème Posidonie

Les herbiers de Posidonies pourraient jouer un rôle primordial dans la régulation des changements climatiques grâce à leur capacité à séquestrer le carbone. Ainsi, même si les herbiers ne couvrent que 0,2% de la surface des océans, ils permettent de capturer 10% du carbone piégé par les océans chaque année. Dans ce cadre, les milieux côtiers apparaissent comme des acteurs de premier ordre (Champenois, 2008). Les écosystèmes à macrophytes sont clairement des puits de carbones (Gattuso et al., 1998). Les connaissances sur son état de conservation est donc essentiel. L'étude des variations de la production d'oxygène au sein des herbiers de posidonies, due à des causes naturelles ou à des facteurs de stress, permet d'évaluer leur état et leur évolution à long terme.

Un suivi de la production primaire brute d'oxygène de l'écosystème herbier (production globale de l'écosystème résultat du bilan production/respiration) a été réalisé sur une période de 11 ans (2006-2017). La PPB est naturellement rythmée par des cycles saisonniers (Fig. 17) dépendant de facteurs abiotiques et biotiques.

Ce suivi sur 11 ans a permis de définir une « année type », liée à une climatologie permettant d'interpréter certaines anomalies. Par exemple, de septembre à janvier, la PPB est constante si les tempêtes automnales, qui exportent les feuilles mortes, libèrent les sols et la production du compartiment algal, ont eu lieu.

La PPB hivernale 2006-2007 est inférieure à la moyenne (manque de tempêtes hivernales et l'absence d'exportation des feuilles de Posidonies).

De février à mars, la PPB dépend du cumul d'heures de soleil et de la concentration en Chlorophylle a . En Avril, s'y ajoute l'influence de la température de surface de l'eau (SST). De mai à août, la PPB dépend du cumul d'heures de soleil et la SST.

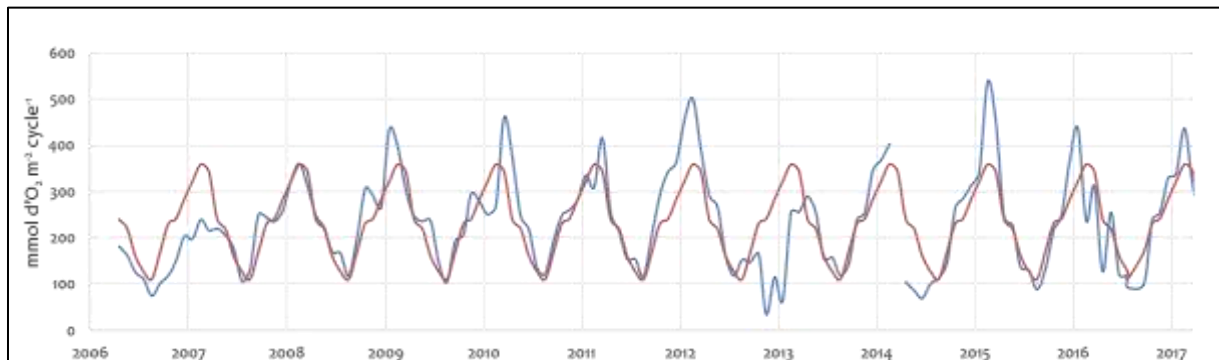


Figure 17 : Production Primaire Brute d'oxygène (PPB) de l'écosystème herbier (bleue) et climatologie (rouge) sur un suivi de 11 ans (2006-2017).

Les modèles de climatologie prévoient une diminution de la fréquence des tempêtes automnales et une augmentation de la température de l'ordre de 3°C à la fin du siècle dans le bassin nord-ouest méditerranéen. Ces prédictions, en plus du développement des algues filamenteuses qui entrent en compétition avec la Posidonie, pourraient induire une forte diminution de la PPB. De plus, avec une augmentation de la température de l'eau de 3°C , la valeur de 28°C , létale sur une longue période pour la plante, pourrait être dépassée à de multiples reprises durant l'été. Ainsi, l'année 2007 pourrait devenir l'archétype de l'année « normale » du futur avec une absence de tempêtes automnales, des vagues de chaleur et une prolifération d'algues épiphytes en été (Fig. 18).

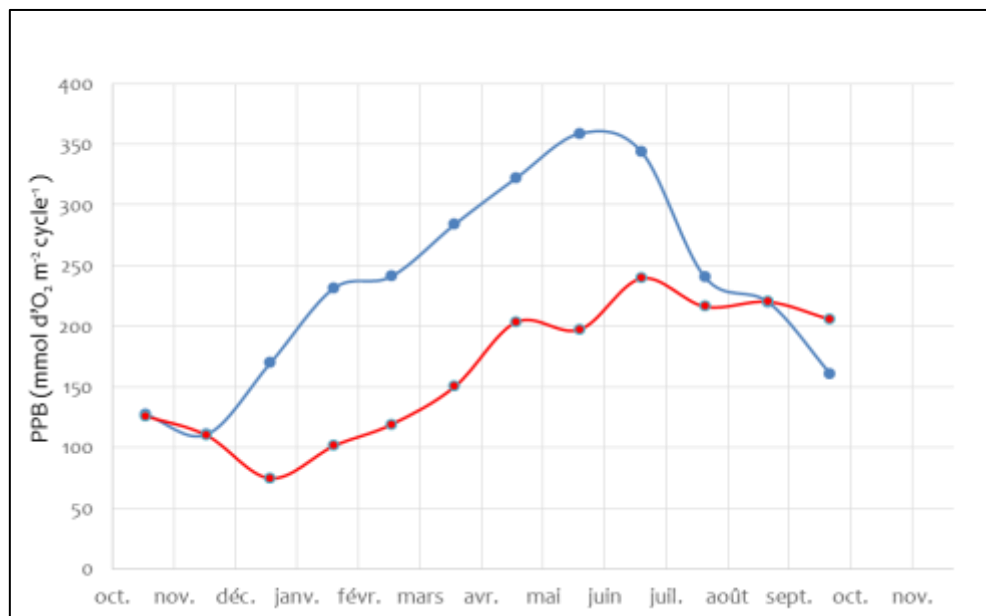


Figure 18 : Climatologie de la PPB actuelle (bleue) et archétype de l'année « normale » du futur (rouge)

Ces prévisions sont alarmante puisque lorsque l'on regarde la production primaire brute d'oxygène de l'herbier au regard de la respiration communautaire, le système sera hétérotrophe à 41% alors qu'il est actuellement autotrophe à 90%. Ainsi, les conditions ne seront plus optimum pour une bonne production d'oxygène mais pire encore, l'herbier devra tenter de survivre à des conditions létales plus fréquemment ce qui pourrait l'affaiblir et le faire disparaître.



Pressions anthropiques

Pressions anthropiques

Le projet STARECAPMED permet de décrire et de comprendre les influences du changement climatique sur différents paramètres. Cependant, il intègre aussi la compréhension des impacts des activités anthropiques.

Caractérisation des pressions anthropiques

La baie de Calvi est considérée comme site de référence de la Méditerranée Nord Occidentale. Cependant, elle intègre différents types de pressions anthropiques dont leurs effets, bien que très localisés sont présents. Ainsi, l'étude détaillée de leurs caractéristiques et leurs effets sur le milieu permet de mieux répondre au problème de dimensionnement des infrastructures mise en place pour répondre aux besoins tout en préservant l'environnement.

Le programme STARECAPMED permet l'étude approfondie de la pression globale ainsi que de 7 pressions anthropiques listées sur la figure 19. Certaines analyses sont réalisées au travers d'autres projets avec différents partenaires. Ces différents partenariats permettent d'enrichir les compétences et les connaissances du programme STARECAPMED.

Pression	Activités associées	Partenaire/Projet
PRESSIONS GLOBALES		
Changement climatique		STARECAPMED
		Mc GILLIS/USA project
		Université de Liège et de Corte/FOCUS
		Université de Corte et OEC/PADDUC-CHANGE
PRESSIONS PHYSIQUES		
Modification de la nature du fond	Plaisance/Ancrage	STARECAPMED
Perturbations sonores sous marine d'origine anthropique	Plaisance	CHORUS/CALME
Déchets marins		Université de Liège
Dérangement de la faune	Plongée sous marine	STARECAPMED/Thèse
	Pêche	STARECAPMED/Thèse
PRESSIONS CHIMIQUES		
Enrichissement par des nutriments et de la matière organique	STEP	STARECAPMED
	Aquaculture	STARECAPMED
	Bassin versant	Université de Liège et de Corte/FOCUS
	Activités portuaires	STARECAPMED
PRESSIONS BIOLOGIQUES		
Espèces non indigènes		STARECAPMED
Exploitation des ressources halieutiques	Pêche professionnelle et récréative	STARECAPMED/Thèse
		Université de Corte et OEC/Moonfish
		OEC/DACCOR

Figure 19 : Tableau listant les différentes pressions étudiées et les partenariats réalisés

En baie de Calvi, la pression anthropique est plus importante en été en raison de l'augmentation de la population et des activités sur le plan d'eau. Sept pressions ont été identifiées en fonction des impacts humains potentiels auxquels ils sont soumis :

Les rejets en mer des cours d'eaux

Le réseau hydrographique corse est dense. Il est constitué de petits cours d'eau marqués par un régime hydrologique de type pluvio-nival (deux périodes de hautes eaux et deux périodes de basses eaux) et par des crues torrentielles auxquelles les organismes vivants ont dû s'adapter.

En baie de Calvi les deux fleuves sont la Figarella et le Fiume Seccu. Leurs débits varient fortement au cours de l'année, et atteignent généralement des valeurs maximales lors des orages d'automne. L'eau du fleuve, quant à elle, est susceptible d'être plus chargée en particules que celle de la baie (augmentation de la turbidité) et/ou en nutriments issus de l'activité humaine dans le bassin versant du cours d'eau, notamment lié à l'activité agricole. Les caractéristiques de ces deux fleuves en font des cours d'eau et un bassin versant de petites tailles très typique des régions méditerranéennes montagneuses (Fig 20).

Caractéristiques Cours d'eau	Superficie (km ²) du bassin versant	Longueur (km)	Altitude maximale (m)	Pente moyenne (%)
Figarella	132	25	2148	8,6
Fiume Seccu	68	17	2032	11,9

Figure 20 : Quelques caractéristiques de la Figarella et du Fiume Seccu. (D'après la DRAE Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement de la Corse, repris par Moretti, 1989).

Les rejets en mer de la station d'épuration

La station d'épuration (STEP) des eaux usées de Calvi a été créée en mai 1994. Elle a été mise en fonctionnement le 31 décembre 1995 afin de collecter les eaux de Calvi, d'une partie de Lumio et d'une partie de Calenzana pour une capacité de 60 000 équivalents habitant (EH). Depuis sa création, la station a mis en place un traitement primaire physicochimique avec dégrillage et décantation. En décembre 2011, la station s'est dotée d'un traitement secondaire biologique composé de billes de polystyrène sur lesquelles sont fixées des bactéries qui favorisent la dégradation des composés organiques. La station ne dispose pas de système destiné à prévenir les crues éventuelles. Les boues sont destinées au compostage, il n'y a donc pas d'épandage en milieu dulçaquicole ou terrestre.

Le rejet de l'émissaire s'effectue à partir d'une profondeur de 30 mètres (diffuseur) à environ 500 mètres des côtes. Malgré la proximité des côtes, le site est soumis aux courants présents dans la baie permettant un renouvellement régulier des eaux.

Les rejets de l'émissaire sont soumis à une importante saisonnalité, en raison des importantes variations de population de la région. En effet, la Balagne a accueilli 24 % des 3 227 659 séjours touristiques dénombrés en Corse en 2009 (AGENCE DU TOURISME DE CORSE, 2010). Si la population des 3 communes (Calvi, Calenzana et Lumio) concernées par la station d'épuration dont l'effluent est rejeté à l'émissaire est relativement faible (8653 habitants en 2009), la fréquentation estivale est néanmoins bien plus importante, avec des pics à 70 000 personnes.

L'aquaculture

La ferme aquacole de Spano est spécialisée dans l'élevage de bars (*Dicentrarchus labrax*) depuis 1992. La ferme produit environ 60 tonnes/an de poissons destinés à l'alimentation humaine. Elle est titulaire du Label Rouge depuis plusieurs années et passera également Indication Géographique Protégée (IGP) courant 2019. Les activités aquacoles halieutiques ont tendance à entraîner une eutrophisation du milieu liée aux déjections et à la nourriture des poissons exploités (Cannac et al., 2006). Dans ce cas précis, les cages de la ferme de Spano sont très exposées aux courants et aux vents et sont soumises au cahier des charges du Label Rouge comportant des normes environnementales très strictes.

Cette ferme produit ses propres alevins de loup (*Dicentrarchus Labrax*, Linnaeus 1758) en bassin d'écloserie, puis les élèvent en mer dans 10 cages de pisciculture marine de 25m² au dessus d'un fond de 20 mètres de profondeur. En mer, l'activité d'élevage est répartie entre les cycles de prégrossissement et de grossissement. La ferme nourrit ses espèces avec les granulés de la marque Legouessant spécialiste en nutrition animale. Les proportions dans la composition de ces granulés sont 47 % de protéines, 13 % de matières grasses et 17,7 % d'extraits non azoté (ENA). Le reste comprend des glucides, de la cellulose, des cendres et du phosphore. Il n'y a aucune alimentation d'origine animale terrestre (Legouessant, 2013).

Zone portuaire et zone de mouillage organisée

Une zone de mouillage organisé est présente durant la saison touristique à l'extérieur du port de Calvi depuis les années 90. La densité de mouillage à cet endroit peut être élevée (plus de 130 bateaux par nuit la semaine du 15 août, pour l'ensemble du mouillage et ses environs directs), occasionnant des rejets non

négligeables dans le milieu naturel. Le nombre de place dans le port de Calvi est de 550 toutes catégories de bateaux confondues. 30 à 50 places sont prévues pour les bateaux de commerce et le reste pour les bateaux de plaisances. Il y a 310 contrats annuels et 240 contrats réservés à l'estival. Les bateaux qui occupent les places réservées à l'estival sont essentiellement des bateaux supérieurs à 8 m (Source : Capitainerie de Calvi, 2013). Jusqu'en 2016, des ferries accostaient au port de Calvi à une fréquence d'environ 40 bateaux sur juillet en août brassant ainsi des quantités d'eaux sur une profondeur de seulement 10 m où se trouve des herbiers à cymodocée, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch., 1870.

Plaisance, Ancrage

Une forte pression d'ancrage dû à la plaisance est exercée en baie de Calvi surtout au niveau d'une plage située à la base de la pointe de la Revellata. Cette plage est très fréquentée durant l'été, de par sa beauté naturelle et la présence d'un bar-restaurant en bordure arrière de plage. De plus, cette crique, relativement protégée, est un site de choix pour les plaisanciers, et les mouillages forains y sont fréquents. Toutes ces activités ne sont bien sûr pas sans entraîner des rejets et dégradations de l'écosystème côtier. En particulier, l'herbier à *Posidonia oceanica* situé face à la plage est soumis à une forte pression d'ancrage durant la période estivale (Thèse Arnaud Abadie, 2016). La répartition spatiale des navires dans cette baie suit un zonage bathymétrique selon les données de 2012 à 2014. Les petits bateaux (longueur <10 m) semblent s'ancrer à faible profondeur (<5 m). La majorité des navires mesurant entre 10 et 20 m préfèrent s'ancrer en dehors des herbiers à des profondeurs inférieures à 15 m, quand les plus gros navires choisissent de jeter l'ancre dans les herbiers à partir de 10 jusqu'à 30 m de profondeur. Par exemple, en 2017, plus de 1200 bateaux ont pu être observés au mouillage dans cette baie, exerçant ainsi une forte pression, essentiellement sur l'herbier.

Pêches

La baie de Calvi est soumise à trois types de pêche : la pêche professionnelle, la pêche de loisir et la chasse sous-marine. En effet, la pêche est généralement le premier facteur mis en cause lorsque l'on parle de la raréfaction des ressources halieutiques (Christensen et al., 2003; Pauly et al., 2005; Worm et al., 2006). Plusieurs études suggèrent que la pêche récréative et la pêche professionnelle pourraient avoir des impacts similaires sur les stocks halieutiques (Cooke and Cowx, 2004 ; Rangel and Erzini, 2007). En effet, les prélèvements de loisir sont loin d'être négligeables puisqu'ils peuvent être équivalents à ceux de la pêche professionnelle voire supérieurs pour certaines espèces (Le Goff et al., 2012). Jusqu'à présent peu d'études ont été menées sur la pêche de loisir et la chasse sous-marine (Levrel et al., 2009), il est maintenant nécessaire de pouvoir quantifier ces forces de pressions.

Un projet de thèse sera déposé à différentes école doctorale en 2018 sur l'analyse de cette pression. Cette étude propose de prendre en compte les pressions induites par trois types de pêche : la pêche professionnelle, la pêche de loisir et la chasse sous – marine et de mesurer leurs impacts sur les peuplements ichtyologiques.

Plongée sous-marine

Quatre sites essentiels sont soumis à une forte pression de plongée, fréquentés majoritairement entre avril et octobre. L'activité est globalement répartie entre les baptêmes de plongée et les formations de niveau 1, donc des plongées essentiellement entre 0 et 20m de profondeur. Six clubs de plongée sont présents sur la zone et se rendent chaque jour sur les sites de plongée. Pour le site de la Revellata, le plus réputé, la fréquentation peut atteindre jusqu'à 60 à 150 plongeurs par jour régulièrement en saison estivale.

Un projet de thèse sera déposé à différentes école doctorale en 2018 sur l'analyse de cette pression. Cette étude propose de prendre en compte les pressions induites par trois types de pêche : la pêche professionnelle, la pêche de loisir et la chasse sous – marine et de mesurer leurs impacts sur les peuplements ichtyologiques.

Impacts des pressions

Un des objectifs principal du programme STARECAPMED est de mesurer les influences des pressions anthropiques sur le milieu et d'identifier les compartiments majoritairement impactés. L'analyse des pressions anthropiques est essentielle pour atteindre ou maintenir un bon état écologique. La très bonne connaissance des pressions et de leurs impacts est nécessaire pour permettre au gestionnaire d'agir sur les sources de pressions. Le programme STARECAPMED a donc la volonté d'apporter des éléments de réponses pour permettre l'action des gestionnaires.

Les pressions anthropiques en baie de Calvi sur le milieu sont très localisées et faibles dans l'ensemble. Ce faible impact est dû à :

- une baie ouverte vers le large permettant une bonne circulation des flux par les courants,
- un bon dimensionnement des infrastructures type activités portuaires, station d'épuration et aquaculture,
- des activités locales artisanales pour la pêche et l'agriculture induisant une pression mesurée.

Le programme STARECAPMED permet d'apporter des réponses sur les cibles de chaque pression. Ainsi, un tableau récapitulatif permet d'identifier les compartiments plus ou moins impactés par les pressions (Fig. 21). Quatre classifications d'impact ont été définis : Fort, Moyen, Faible et Nul, associés à une couleur (Fig. 22). Dans certain cas, l'impact de la pression sur un paramètre n'a pas été étudié le statut est donc défini comme Non étudié. Dans d'autre cas, la pression n'a aucune raison d'impacter un paramètre le statut est donc défini comme Sans objet.

Les impacts présentés dans ce tableau sont mesurés à partir des pressions induites en baie de Calvi et sont donc présentés à l'échelle de la baie.

Des tableaux, plus détaillés, spécifiques à chaque pression sont présentés en annexe.

Couleur	Type d'impact
Rouge	Fort
Orange	Moyen
Vert	Faible
Bleu	Nul
Gris	Non étudié
Blanc	Sans objet

Figure 21 : Code couleur des types d'impact pour la figure 19

De manière générale, les compartiments les plus impactés sont les macroalgues et la faune ichtyologique par les pressions anthropiques de type aquaculture, pêches, activités portuaires et la plaisance mais toutefois modéré. En revanche, l'herbier de Posidonie est très fortement impacté par la plaisance et particulièrement l'ancre.

Page suivante : Figure 22 : tableau indiquant les impacts des pressions sur les différents compartiments à l'échelle de la baie de Calvi

Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Changement climatique	STEP	Aquaculture	Bassin versant	Activités portuaires	Plaisance	Pêche
Cadre météorologique	Température de l'air							
	Direction et Force du vent							
	Pluviométrie							
	Luminosité, Ensoleillement							
Colonne d'eau/physico-chimie	Température							
	Oxygène							
	Salinité							
	Nutriments							
	Matière organique							
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)							
	Polluants inorganiques (Elements traces)							
	Turbidité							
	Luminosité							
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique							
	Courantologie							
	Microdéchets							
	Macro-déchets							
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton							
	Zooplancton							
	Ichtyologie							
Substrat dur	Macroalgues							
	Herbier de Posidonies							
	Ichtyologie							
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)							
	Polluants inorganiques (Elements traces)							
	Espèces remarquables							
	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)							
Substrat meuble	Macrobenthos de substrat meuble							
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)							
	Polluants inorganiques (Elements traces)							
	Espèces envahissantes							

A titre d'exemple : Impact dû à l'ancrage



Figure 23 : Gauche : Trace d'ancrage dans l'herbier de Posidonie à 30 mètres de profondeur en baie de Calvi, Droite : Traces d'ancrage intensif dans l'herbier de Posidonie à 18 mètres de profondeur avec des sillons creusés par de grands navires (photos: Arnaud Abadie).

La pression d'ancrage en baie de Calvi a été étudiée lors d'un travail de thèse en particulier sur la baie de l'Alga. La fréquentation de cette baie atteint 0,8 bateaux.ha-1.d-1 pendant la période de pointe, semble modéré par rapport aux travaux antérieurs en Corse (Jousseume et al. 2013) ou à Port-Cros, France: jusqu'à 8,8 bateaux.ha-1.d-1 (Ganteaume et al. 2005). Cependant, la pression d'ancrage ne peut pas être décrite uniquement par la densité des bateaux mais nécessite, en complément, la proportion de la taille des bateaux et de leur préférence du substrat.

Dans ce cas, bien que moins nombreux que les petits et moyens bateaux, les grands navires (longueur > 20 m) cible très largement les herbiers pour l'ancrage (84%) plutôt que le sable et ou les fonds rocheux, entraînant des dommages mécaniques plus importants à des profondeurs plus élevées (Ganteaume et al. 2005b).

Les dommages mécaniques d'un ancrage intensif induit un changement de la nature du substrat associé à une modification des processus chimiques diminuant la possibilité de recolonisation et conduisant à l'expansion de la surface des trouées.

Ce travail a été complété par l'étude de la recolonisation de petites intermattes d'ancrage après mesures de gestion (interdiction de mouillage sur zone). Cinq intermattes issues de la destruction mécanique par les ancres sont identifiées dans une zone d'ancrage récemment interdite au mouillage et suivies pendant 4 ans. Les résultats montrent que l'herbier se « stabilise » en 4 ans. Ces résultats, cependant, portent sur de très petites atteintes en surface, plutôt caractéristiques des petits bateaux.



Perspectives 2018

Perspectives 2018

Chaque année, le projet implique également la réalisation de nouvelles études. Diverses thématiques sont abordées et traitées, ce qui permet d'avoir une analyse des interactions entre les forçages naturels, anthropiques et les écosystèmes de la baie de Calvi de plus en plus exhaustive.

Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle des peuplements d'algues dans la baie de Calvi, Corse.

Un stage de Master 2 sera proposé sur la thématique des peuplements d'algues.

La caractérisation et l'étude des associations algales est une partie du programme STARECAPMED. Ces producteurs primaires sont en effet à la base de nombreux réseaux trophiques. Les associations algales, notamment celles basées sur les fucales telles que les *Cystoseira* spp., ont subies de fortes régressions depuis le milieu du 20^e siècle à l'échelle de la Méditerranée. Sensibles aux variations abiotiques, les causes principales proviennent de l'anthropisation du littoral comme l'enrichissement en nutriments ou l'artificialisation du littoral. L'identification des différents faciès cumulée à la connaissance de leur distribution à l'échelle de la baie permettra d'observer d'éventuelles variations.

Depuis les années 1970, les scientifiques étudient les écosystèmes marins de la baie de Calvi. De nombreuses études portant sur les algues ont été menées avec des sujets très disparates avec aussi bien des études sur la distribution des principales communautés algales et des études portant sur la variation spatio-temporelle de la teneur en phosphore d'espèces particulières.

Les relevés effectués en 1979 et en 1994 se localisent au niveau de 24 stations réparties entre la pointe de la Revellata et l'entrée du port de Calvi entre la surface et 3 mètres de profondeur. En mars 2014, une nouvelle campagne a été réalisée dans ce secteur pour discuter de l'évolution temporelle de la distribution des associations algales. Les données acquises ont été retraitées pour les traduire en indice Carlit.

Le travail du stagiaire consistera à effectuer une nouvelle campagne pour estimer l'évolution des populations algales au travers de l'indice CARLIT.

Dans ce contexte, le présent stage aura pour objectifs :

- la vérification et la mise en forme des données issues des précédentes études
- réaliser une nouvelle campagne en mer pour caractériser l'indice CARLIT en 2018
- la collecte et la mise en forme de données environnementales existantes
- l'analyse de la structure des communautés algales et mise en relation avec les données environnementales

L'objectif, à terme, est d'estimer la dynamique spatio-temporelle des populations algales et de la qualité des eaux de la baie à travers l'indice CARLIT.

Suivi de l'évolution du substrat dur en baie de Calvi à l'aide de l'indice LIMA

Un stage de Master 2 sera proposé sur la thématique du suivi des substrats durs.

L'indice paysager LIMA (Littoral MARin) a ainsi été mis en place par la STARESO en 2005 et valide en baie de Calvi. Il permet de mesurer l'attrait paysager et la richesse patrimoniale du benthos Méditerranéen pour des profondeurs allant de 0 à 40 mètres. Pour cela, la mesure de l'indice prend en considération les critères physiques du relief par la composante topographique et les critères biologiques (Gobert et al., 2014). La valeur paysagère d'un tel indice vise ainsi à caractériser puis comparer les fonds-marins entre eux.

Dans le cadre de cette étude, un premier travail consistera à suivre l'évolution des valeurs paysagères mesurées à partir de l'indice paysager LIMA de 3 sites localisés en baie de Calvi. Dans

cette approche paysagère, une analyse spatio-temporelle sera réalisée pour rendre compte des variabilités observées au sein de la baie.

Un second objectif visera à montrer l'intérêt d'utiliser l'indice LIMA dans le suivi des biocénoses de substrats durs par une analyse approfondie de l'évolution de certains peuplements biologiques. Afin de faciliter le suivi de ces évolutions et l'interprétation de ces variations, un outil informatique sera créé. Enfin dans la volonté d'étendre et de promouvoir l'utilisation de l'indice LIMA, une plaquette de communication sera réalisée et présentera cet outil et ses finalités.

Interactions entre pressions anthropiques et ichtyofaune : Applications au suivi des peuplements ichtyologiques de la baie de Calvi

Une demande de projet de thèse sera déposée pour une bourse CIFRE par Laura Iborra. Ce doctorat en entreprise, sera porté par la STARESO SA et soutenue par l'Université d'Aix-Marseille et l'Université de Liège.

L'objectif principal de cette thèse est, donc, de quantifier et de hiérarchiser les pressions directes et indirectes sur les communautés ichtyologiques dans le but de décrire le lien état/pression. L'étude sera multifactorielle avec la prise en compte de multiples pressions et de diverses espèces. Les pressions ciblées seront l'aquaculture, la plongée sous-marine, la plaisance et la pêche. Cette étude propose de prendre en compte les pressions induites par trois types de pêche : la pêche professionnelle, la pêche de loisir et la chasse sous – marine. En effet, la pêche est généralement le premier facteur mis en cause lorsque l'on parle de la raréfaction des ressources halieutiques.

Les résultats de cette étude permettront d'apporter de meilleures connaissances sur le lien état/pression des communautés ichtyologiques dans le but de développer des indicateurs de biodiversité. Les conséquences économiques des pressions exercées sur la biodiversité des écosystèmes marins et la qualité des services écosystémiques seront alors mieux appréhendées. Un tel projet contribuera également à améliorer l'élaboration de plans de gestion des espaces naturels et la mise en place de politiques de conservation à l'échelle locale, régionale voire à l'échelle de la façade maritime.

Algues filamenteuses et *Caulerpa cylindracea* en Méditerranée Nord Occidentale : Suivi et déterminisme de leurs proliférations et création d'un outil de gestion facilitant leurs observations

Un projet de thèse sera en construction sur la thématique des algues invasives et leurs impacts.

En mer Méditerranée, les changements climatiques, l'augmentation des pressions anthropiques et l'introduction de nouvelles espèces (120-130 espèces d'algues) bouleversent la biodiversité des zones côtières. Parmi les macrophytes introduites certaines sont devenues très envahissantes comme :

- la chlorobionte *Caulerpa cylindracea* qui ne cesse de s'étendre en Méditerranée et est classée parmi les espèces marines les plus envahissantes du Monde. La chlorobionte été aperçue en Corse par le « réseau Caulerpe » pour la première fois en 2002 puis plus précisément au niveau de la baie de Calvi en 2009.
- les algues filamenteuses constitués de plusieurs espèces de Chrysophyceae et/ou de Phacophyceae qui s'agrègent dans un mucus de polysaccharides entre la fin du printemps et le début de l'automne et colonisent de très grandes surfaces.

Certaines études laissent supposer que ces algues modifient le fonctionnement de leurs écosystèmes. Hors les conséquences directes et précises de ces dernières sur le benthos ne sont pas connues. De plus, l'uniformisation du paysage marin, dû au développement des algues, impact fortement l'attractivité du milieu pouvant réduire le tourisme sous-marin. Des recherches pour comprendre l'apparition accrue de ces blooms et leurs conséquences s'avèrent nécessaires afin de tenter d'en réduire la potentielle nuisance.

Dans ce contexte, pour mieux comprendre la phénologie, l'augmentation et les conséquences de ces événements algaux, il paraît essentiel de développer des outils facilitant leur observation. Ce projet se propose donc :

- Etudier les facteurs favorisant l'émergence et le développement des algues filamenteuses en mer Méditerranée.
- Développer un outil technique permettant le calcul d'un indice d'état, validé scientifiquement, traduisant le statut des milieux côtiers face à la présence des algues filamenteuses et de *Caulerpa cylindracea*.

Suivi des variations spatiale et temporelle de l'herbier à *Posidonia oceanica*

Un projet de thèse va débuter en 2018 sur la réactualisation des données sur l'herbier de Posidonie en baie de Calvi. L'herbier est étudié depuis 1976 et a fait l'objet en 2005 d'une thèse qui a permis de mettre en évidence des modifications de la structure de l'herbier (densité et biométrie). Les objectifs de cette nouvelle thèse vont permettre :

- d'évaluer l'amplitude des variations temporelles de l'herbier à *P. oceanica*, ceci afin de définir l'état de santé de l'herbier et ses changements depuis 1975 et de déterminer l'effet des facteurs environnementaux sur l'amplitude de ces variations.
- d'évaluer les variations spatiales de l'herbier à *P. oceanica* et déterminer l'effet des facteurs environnementaux sur l'amplitude de ces variations.

La méthodologie utilisée sera identique à celle réalisée auparavant pour permettre une comparaison des données. Des techniques novatrices seront utilisées par exemple pour évaluer la fixation des épiphytes à l'aide de fausses feuilles de Posidonies.

Etude des communautés épiphytes sur macroalgues lors des efflorescences d'*Haslea* bleues

Un projet de thèse sera en construction sur la thématique de l'exploitation d'une algue du genre *Haslea*. Cette thèse sera réalisée dans le cadre du projet GHANA qui vise à explorer et à caractériser une nouvelle source biologique de ressources marines destinée aux applications de la biotechnologie bleue en aquaculture, en cosmétique et éventuellement dans les secteurs de l'alimentation et de la santé. Le projet déterminera la diversité biologique et chimique des diatomées *Haslea* afin de développer une production à grande échelle pour des applications industrielles viables en maximisant la production de biomasse et la production de composés de haute valeur associée, notamment des terpénoïdes, des pigments de type marennine, des lipides et des squelettes de silice. Le genre *Haslea*, type *H. ostrearia*, produit de la marennine, un pigment bleu hydrosoluble utilisé pour verdir les huîtres dans l'Ouest de la France, qui est également une molécule bioactive. Les diatomées *Haslea* ont donc un fort potentiel d'utilisation dans (1) l'ostréiculture existante, (2) la production de pigments et de composés bioactifs aux propriétés antibactériennes naturelles, (3) l'application en tant qu'agent colorant dans l'industrie et (4) l'utilisation de squelettes de silice. comme «biocharges» inorganiques dans la formulation de nouveaux matériaux élastomères. Cet objectif sera atteint grâce à des recherches fondamentales et appliquées visant à isoler les souches de *Haslea* à croissance rapide, en optimisant leur environnement de croissance afin d'accroître la productivité des plantes marennines et autres composés de grande valeur; développer une biotechnologie bleue spécifiquement appliquée aux microalgues benthiques (approche du bioraffinage, processus); et développer l'exploitation industrielle des composés colorants et bioactifs par le biais d'activités commerciales telles que l'aquaculture, l'alimentation, les cosmétiques et la santé. La diatomée *Haslea ostrearia* a longtemps été considérée comme le seul organisme apte à produire un pigment surnuméraire bleu nommé marennine, connu pour son rôle dans le verdissement des branchies des huîtres affinées dans les bassins ostréicoles. Certains des mécanismes et facteurs influençant l'entrée de cette diatomée en phase de reproduction sexuée (auxosporulation) ont été mis en évidence, tels la concentration cellulaire, la

qualité de l'éclairage incident, ou le préconditionnement des algues. La découverte dans le cadre d'un projet européen, de populations de diatomées apparentées à *H. ostrearia* en divers points du globe a conduit à la description et l'identification de trois nouvelles espèces de diatomées bleues : *Haslea silbo* sp. des îles Canaries, *Haslea karadagensis* sp., provenant de Mer Noire et *Haslea provencialis* sp. de Méditerranée Occidentale.

Dans ce projet, deux sites d'études seront utilisés caractérisés par la présence de bloom d'espèces *Haslea* différentes. STARESO présente de fort bloom d'*Haslea provencialis* sp. entre février et juillet chaque année sous forme de biofilm sur des *Padina* (ou d'autres macroalgues) tandis que des blooms d'*Haslea silbo* se produisent en Caroline du Nord tous les ans, généralement entre novembre et mars directement sur les sédiments. L'analyse des liens entre les paramètres environnementaux et les communautés d'*Haslea* seront envisagées

Collaboration avec Chorus sur les paysages acoustiques

Depuis 2016, STARESO et STARECAPMED servent de soutien logistique et scientifique à la réalisation et à l'analyse des mesures sur ce site pour CALME (moyen nautique, plongeurs, mise à l'eau des enregistreurs, connaissances de l'herbier, données environnementales connexes à la mesure acoustique) piloté par CHORUS. Un point de mesure en continu est situé sur 20 mètres de profondeur devant STARESO pour accéder aux variabilités temporelles des paysages acoustiques.

En 2018, la société CHORUS souhaite mettre en place une station câblée. Elle sera équipée d'une station d'écoute à 20 mètres de profondeur couplée à une CTD enregistrant les paramètres et les sons en continu. Une caméra postée sur le phare de la Revellata permettra d'enregistrer le trafic dans la baie en temps réel. L'ensemble de ces données seront envoyés directement sur une plateforme informatique gérée par CHORUS permettant de traiter les données et de diffuser les résultats en temps réel sur internet (Fig. 24).

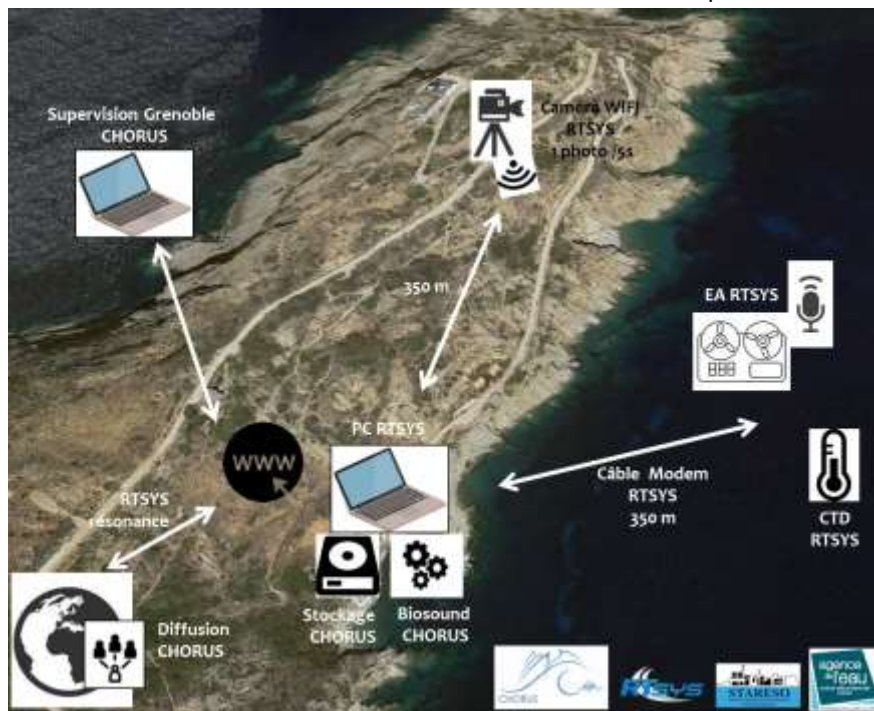


Figure 24 : Schéma de la future station câblée de CHORUS

Bibliographie

Abadie A., (2016) Thèse sur l'Etude des intermattes des herbiers à *Posidonia oceanica*. Analyse à différentes échelles spatiales de la structure des paysages sous-marins.

Abadie A, Lejeune P, Pergent G, Gobert S (2016) From mechanical to chemical impact of anchoring in seagrasses: the premises of anthropogenic patch generation in *Posidonia oceanica* meadows. *Marine Pollution Bulletin* 109:61-71

Champenois W (2008) Etude du métabolisme, à l'échelle de l'écosystème, de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delille en Baie de Calvi. Mémoire de Master

Christensen, V., Guenette, S., Heymans, J.J., Walters, C.J., Watson, R., Zeller, D., Pauly, D., 2003. Hundred-year decline of North Atlantic predatory fishes. *Fish Fish.* 4, 1–24.

Cooke, S.J., Cowx, I.G., 2004. The role of recreational fishing in global fish crises. *BioScience* 54, 857–859.

Ganteaume A, Bonhomme P, Bernard G, Poulain M, Boudouresque CF (2005a) Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale). *Scientific Reports of Port-Cros national Park* 21:147-162

Gattuso J-P, Frankignoulle M, Wollast R. (1998), Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 405-434.

Gobert S., Chéry A., Volpon A., Pelaprat C., Lejeune P., 2014, The Seascape as an indicator of environmental interest and quality of the Mediterranean benthos: the in situ development of a description index: the LIMA, in: *Underwater Seascapes*. Springer, pp. 277–291.

Jousseaume M, Buron K, Chery A, Lejeune P (2013) Étude relative à la plaisance et aux mouillages en Corse : Rapport final – Année 2012/2013. STARESO, Calvi, Corsica

Le Goff, R., Morizur, Y., Levrel, H., Biseau, A., Véron, G., Drogou, M., Laurans, M., Merrien, C., Morandeau, G., Caill-Milly, N., 2012. Note relative à la pêche maritime de loisir et à sa gestion.

Levrel, H., Herfaut, J., Berthou, P., Thebaud, O., Morizur, Y., Véron, G., Dintheer, C., Guyader, O., Tranger, H., Senac, S., others, 2009. Enquête relative à la pêche de loisir (récréative et sportive) en mer en Métropole et dans les DOM. Synthèse des résultats finaux. IFREMER Dir. Pêch. Marit. Aquac. 13.

Cannac M., Ferrat L., Pergent-Martini C., Pergent G. & Pasqualini V. (2006) : Effects of fish farming on flavonoids in *Posidonia oceanica*. *Science of the Total Environment* 370 : 91-98.

Moisselin, J.M., M. Schneider, C. Canellas et al., 2002. Les changements climatiques en France au XXe siècle. *La Météorologie* 38, 45–56.

Pauly, D., Watson, R., Alder, J., 2005. Global trends in world fisheries: impacts on marine ecosystems and food security. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 360, 5–12.

Rangel, M.O., Erzini, K., 2007. An assessment of catches and harvest of recreational shore angling in the north of Portugal. *Fish. Manag. Ecol.* 14, 343–352.

Chaouche, K., L. Neppel, C. Dieulin et al., 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Comptes Rendus Géoscience* 342 (3), 234-243.

Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse
Bilan des connaissances, 2012. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., others, 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *science* 314, 787-790.

Annexes

	Impact:
	Fort
	Moyen
	Faible
	Nul
	Non étudié
	Sans objet

Changement climatique		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Cadre météorologique	Température de l'air	+2,92°C en 35 ans
	Direction et Force du vent	direction inchangée, modification du pattern saisonnier des intensités
	Pluviométrie	augmentation des évènements extrêmes
	Luminosité, Ensoleillement	augmentation de l'ensoleillement
Colonne d'eau/physico-chimie	Température de l'eau	+0,7°C en 35 ans, alternance de périodes "froides" et "chaudes", augmentation de la température sur toute la colonne d'eau en hiver
	Oxygène	changement de l'activité des écosystèmes
	Salinité	aucun effet mesuré
	Nutriments	modification du pattern saisonnier
	Matière organique	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	
	Lumière	augmentation
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	
	Microdéchets	
Macrodéchets		
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton	diminution importante au printemps, apparition d'un second bloom en été
	Zooplancton	communautés zooplanctoniques perturbées
	Ichtyologie	
Substrat dur	Macroalgues	diminution de la fréquence de algues dites sensibles
	Herbier de Posidonies	augmentation de la fréquence de floraison
	Ichtyologie	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	diminution
Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	augmentation	
Substrat meuble	Macrobenthos de substrat meuble	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	

Emissaire		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Colonne d'eau/physico-chimie	Température	aucun effet mesuré
	Oxygène	aucun effet mesuré
	Salinité	diminution très localisée
	Nutriments	augmentation ponctuelle en été, très localisée
	Matière organique	augmentation ponctuelle en été, très localisée
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	augmentation très localisée
	Luminosité	diminution très localisée
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	
	Microdéchets	
	Macrodéchets	aucun effet mesuré
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton	aucune modification mesurée
	Zooplancton	
	Ichtyologie	effet attractif de certaines espèces
Substrat dur	Macroalgues	diminution des espèces dites sensibles très localisée
	Herbier de Posidonies	remontée de la limite inférieure très localisée
	Ichtyologie	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	
	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	
Substrat meuble	Macrobenthos de substrat meuble	Faible impact très localisé en après saison estivale
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	

Aquaculture		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Colonne d'eau/physico-chimie	Température	aucun effet mesuré
	Oxygène	effet très localisé
	Salinité	aucun effet mesuré
	Nutriments	apports importants localisés
	Matière organique	apports importants localisés
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	augmentation très localisée
	Luminosité	diminution très localisée
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	aucun effet mesuré
	Microdéchets	
	Macrodéchets	aucun effet mesuré
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton	biomasse inchangée, composition peu différente de la référence
	Zooplancton	
	Ichtyologie	attraction de certaines espèces
Substrat dur	Macroalgues	
	Herbier de Posidonies	??
	Ichtyologie	attraction de certaine espèces
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	
	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	
Substrat meuble	Macrobenthos de substrat meuble	Faible impact très localisé en après saison estivale
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	

Plaisance		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Colonne d'eau/physico-chimie	Température	aucun effet mesuré
	Oxygène	aucun effet mesuré
	Salinité	aucun effet mesuré
	Nutriments	aucun effet mesuré
	Matière organique	aucun effet mesuré
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	aucun effet mesuré
	Luminosité	aucun effet mesuré
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	
	Microdéchets	
	Macrodéchets	
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton	augmentation de la biomasse, composition modifiée
	Zooplancton	
	Ichtyologie	attraction de certaine espèces
Substrat dur	Macroalgues	diminution des espèces sensibles très localisée
	Herbier de Posidonies	destruction massive de l'herbier par l'ancrage
	Ichtyologie	attraction de certaine espèces
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	
	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	
Substrat meuble	Macrobenthos de substrat meuble	Impact très localisé en après saison estivale
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	transport d'espèces

Zone urbaine		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Colonne d'eau/physico-chimie	Température	aucun effet mesuré
	Oxygène	aucun effet mesuré
	Salinité	aucun effet mesuré
	Nutriments	aucun effet mesuré
	Matière organique	aucun effet mesuré
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	aucun effet mesuré
	Luminosité	aucun effet mesuré
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	
	Microdéchets	
	Macrodéchets	
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton	aucun effet mesuré
	Zooplancton	
	Ichtyologie	attraction de certaine espèces
Substrat dur	Macroalgues	diminution des espèces sensibles très localisée
	Herbier de Posidonies	aucun effet mesuré
	Ichtyologie	attraction de certaine espèces
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	
	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	
Substrat meuble	Macrobenthos de substrat meuble	Impact très localisé en après saison estivale, passage d'un statut
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	

Bassin versant		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Colonne d'eau/physico-chimie	Température	changements très localisés
	Oxygène	aucun effet mesuré
	Salinité	changements très localisés
	Nutriments	changements très localisés
	Matière organique	changements très localisés
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	aucun effet mesuré
	Luminosité	aucun effet mesuré
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	
	Microdéchets	
	Macrodéchets	
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton	aucun effet mesuré
	Zooplancton	
	Ichtyologie	
Substrat dur	Macroalgues	
	Herbier de Posidonies	
	Ichtyologie	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	
Substrat meuble	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	
	Macrobenthos de substrat meuble	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	

Pêche		
Contexte environnemental	Facteur pouvant être influencé	Impact à l'échelle de la baie
Colonne d'eau/physico-chimie	Température	
	Oxygène	
	Salinité	
	Nutriments	
	Matière organique	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Turbidité	
	Luminosité	
	Perturbations sonores sous marines d'origine anthropique	
	Courantologie	
	Microdéchets	
	Macrodéchets	
Colonne d'eau/biologie	Phytoplancton	
	Zooplancton	
	Ichtyologie	
Substrat dur	Macroalgues	
	Herbier de Posidonies	
	Ichtyologie	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces remarquables	
Substrat meuble	Espèces envahissantes (<i>Caulerpa cylindracea</i> et algues filamenteuses)	
	Macrobenthos de substrat meuble	
	Polluants organiques (Hydrocarbures dont HAP)	
	Polluants inorganiques (Elements traces)	
	Espèces envahissantes	

