



AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

ECOLE DOCTORALE 251 Sciences de l'environnement

ECOLE DOCTORALE 372 Sciences économiques et de gestion

Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

Aix-Marseille School of Economics

Thèse présentée pour obtenir le grade universitaire de docteur

Discipline : Sciences de l'environnement

Spécialité : Ecologie

Laure THIERRY DE VILLE D'AVRAY

Identification et évaluation des services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes

**Identification and valuation of ecosystem services provided by
coralligenous habitats**

Soutenue le 29/06/2018 devant le jury composé de :

Patrice FRANCOUR	Université Nice Sophia Antipolis	Rapporteur
Mbolatiana RAMBONILAZA	IRSTEA	Rapporteur
Rutger DE WIT	CNRS	Examineur
Chiara PAOLI	Università degli Studi di Genova	Examineur
Thierry TATONI	Aix-Marseille Université	Examineur
Jean-Pierre FERAL	CNRS	Directeur de thèse
Dominique AMI	Aix-Marseille Université	Directeur de thèse
Anne CHENUIL	CNRS	Directeur de thèse

Numéro national de thèse/suffixe local : 2018AIXM0186/019ED251



Cette oeuvre est mise à disposition selon les termes de la [Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International](#).

Résumé

Cette thèse étudie la dépendance du bien-être humain à des habitats marins méditerranéens : les habitats coralligènes.

Le bassin méditerranéen est reconnu comme un "point chaud" de biodiversité soumis à de fortes pressions anthropiques. En domaine marin, les habitats coralligènes participent grandement à cette biodiversité et leur situation côtière les rend accessibles aux hommes. Ces habitats fournissent des services écosystémiques, c'est-à-dire des services à l'origine de bien-être pour les êtres humains. J'ai cherché, au cours de ma thèse, à identifier et caractériser ces services ainsi qu'à quantifier et évaluer économiquement ceux qui s'y prêtaient le mieux. Afin d'avoir une approche appliquée et compatible avec des problématiques de gestion, j'ai utilisé le concept de *service écosystémique* à une échelle locale, en me concentrant sur la Baie de Marseille (anthropisée) et le Parc national de Port-Cros (sous pression humaine minimale). Le premier volet de la thèse porte sur l'identification et la caractérisation des services rendus par les habitats coralligènes dans les zones d'étude. Les services les plus évidents (*production de ressource alimentaire, production de corail rouge et sites récréatifs de plongée sous-marine*) font l'objet d'une étude plus approfondie dans le deuxième volet de la thèse, via l'application du concept de la cascade de service écosystémique d'Haines-Young et Potschin. Ce concept permet de décrire les éléments et fonctions de l'écosystème impliqués dans chaque service, ainsi que les bénéficiaires et les types de valeurs économiques qui en sont issus, et des indicateurs pour mesurer chaque niveau de la cascade. Le service écosystémique *sites récréatifs de plongée sous-marine* étant le plus clairement identifié, le troisième volet de la thèse porte sur une analyse de l'activité de plongée sur les habitats coralligènes de la baie de Marseille. Le dernier volet de la thèse est une étude des préférences déclarées dans les secteurs de Marseille et Port-Cros concernant les services rendus par les habitats coralligènes, grâce à la méthode des choix discrets. Ce dernier volet comprend une étude de l'impact de la connaissance initiale et de l'apport d'information dans la formation des préférences. En conclusion cette thèse présente : (1) les services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes, (2) l'évaluation des plus évidents à une échelle locale, et (3) les problématiques rencontrées lors de l'application du concept de service écosystémique dans une perspective de gestion du milieu.

Mots-clés : habitats coralligènes, services écosystémiques, évaluation économique, Marseille, Méditerranée.

Abstract

This work assesses the dependance of human well-being on a marine environment : the coralligenous habitats.

The Mediterranean basin is recognized as a "hotspot" of biodiversity subjected to strong anthropic pressures. In the marine domain, coralligenous habitats greatly contribute to the basin's biodiversity and their coastal location makes them accessible to humans. These habitats provide ecosystem services that contribute to the well-being of humans. I attempt to identify, characterize, quantify and economically evaluate some of those ecosystem services. To generate findings compatible with environmental management issues, I used the concept of *ecosystem service* at a local scale, focusing on the Bay of Marseille (anthropized) and the Port-Cros Natural Park (under minimal human pressure) as ecosystems under two very different levels of human influence. The first part of the thesis deals with the identification and characterization of the services rendered by coralligenous habitats in the study areas. The second part of the thesis assessed the most prominent services (*production of food, production of red coral and recreational scuba diving sites*) through the application of the concept of ecosystem service cascade as developed by Haines-Young and Potschin. This approach helps to identify the elements and functions of the ecosystem involved in each service, as well as the human beneficiaries and the types of economic benefits associated with the services. This chapter also proposes variables to measure each level of the cascade. As the ecosystem service *recreational scuba diving sites* is the most readily recognized service provided, the third part of the thesis deals with an analysis of the relationship between the presence of coralligenous habitat and the frequency of dives in the Bay of Marseille. The last part of the thesis, more oriented towards the economic aspect, employs the method of discrete choices experiment to study the declared preferences in the study areas of Marseille and Port-Cros concerning the services rendered by the coralligenous habitats. This analysis provided insight into how preferences can evolve as initial knowledge is enhanced through the provision of additional information. In summary, this thesis presents: (1) the ecosystem services rendered by coralligenous habitats, (2) evaluation at the local level of the most prominent services and (3) the challenges encountered when applying the concept of ecosystem service to environmental management.

Keywords : coralligenous habitats, ecosystem services, economics valuation, Marseille, Mediterranean sea.

Remerciements

Je remercie les organismes qui ont soutenu financièrement mon doctorat et mes formations. Aix Marseille Université m'a accordé la bourse sans laquelle ce doctorat n'aurait pas été possible. L'Observatoire Homme-Milieu a financé les programmes Evacor et Evacor2 m'accordant ainsi les moyens de réaliser les enquêtes et de participer à des événements scientifiques. L'école doctorale Sciences de l'Environnement a soutenu le projet de cette thèse interdisciplinaire et financé ma participation à un événement scientifique. L'IMBE et l'AMSE m'ont offert un cadre de travail favorable. Je remercie également mes directeurs de thèse qui m'ont fait bénéficier de financements pour participer à des événements scientifiques et des formations, notamment celle de plongeur professionnel qui sera un atout dans ma recherche d'emploi à venir.

En franchissant cette étape j'éprouve une profonde reconnaissance pour toutes les personnes qui m'ont soutenue durant ces années de doctorat...et sur le chemin qui y a mené.

Je remercie mes directeurs de thèse pour m'avoir fait confiance. Anne tu es la première que j'ai rencontrée alors que je candidatais pour ton sujet de stage. Mais c'est finalement Jean-Pierre qui m'a ouvert la première porte, avec Romain, en me proposant ce stage sur les protocoles d'observation du coralligène. En cours de stage, vous avez pensé que mon profil pourrait convenir pour aborder une problématique interdisciplinaire sur le coralligène qui vous tenait à cœur. J'en profite pour te remercier Romain, car sans toi je n'aurais sans doute pas envisagé de faire une thèse et tu t'es beaucoup investi au démarrage. Quand nous avons commencé à écrire la proposition de thèse, il a fallu chercher un économiste acceptant de se lancer avec nous sur ce sujet. Jean-Pierre, tu m'as dit qu'on t'avait recommandé une certaine Dominique Ami était justement une économiste expérimentée en interdisciplinarité et en environnement, la perle rare ! Dominique, tu as accepté de nous rejoindre et avec toi nous avons pu compléter l'écriture de la proposition de thèse. Peu après c'est toi, Anne, qui nous as rejoints pour répondre aux exigences de l'école doctorale. Tu as accepté cette position délicate de co-encadrement sur un sujet un peu en marge de tes intérêts de recherche et je t'en suis reconnaissante car tu as toujours été là quand j'ai fait appel à toi. Tous les trois vous m'avez fait confiance alors que je n'avais pas un profil d'étudiante en recherche, et que j'avais beaucoup à apprendre dans les disciplines concernées. Vous m'avez conseillée, soutenue et fait progresser, avec une grande bienveillance toujours, sans laquelle j'aurais sans doute perdu confiance en moi.

Je remercie les membres de mes comités de thèse et les membres de mon jury

pour leur investissement et leurs conseils : Pierre Batteau, Nicolas Gravel, Hélène Rey-Valette, Thierry Tatoni, Mbolatiana Rambonilaza, Chiara Paoli, Rutger de Wit et en particulier Patrice Francour à qui nous avons appelé dès le début et qui a toujours répondu présent.

Ce doctorat représentait une chance de progresser dans la voie que j'avais choisie : l'écologie marine. Mon expérience d'un an de Master me semblait si peu, j'avais envie d'y plonger pour de bon ! L'interdisciplinarité n'était pas pour déplaire à mon esprit curieux. Naviguant entre deux mondes, j'ai réalisé combien l'interdisciplinarité va au-delà de la connexion de disciplines. C'est aussi la connexion de cultures, de modes de travail et d'humains. Il faut du temps pour réussir la connexion, ça repose sur beaucoup de communication, d'ouverture d'esprit, et sur la remise en question des approches habituelles. J'ai eu la chance d'arriver au moment où ont été lancées les bourses de thèse interdisciplinaires et j'en suis heureuse car ça correspond à mon état d'esprit. L'interdisciplinarité en est encore à ses débuts à l'AMU, ce qui nous a valu quelques complications et situations floues, mais j'espère que nous avons contribué à faciliter le chemin pour les doctorants interdisciplinaires suivants.

J'ai donc entamé cette thèse avec mon bagage d'école d'ingénieur en agro-écologie, mon léger bagage en écologie marine, et quant à mon bagage d'économie... Mais j'ai eu la chance d'être entourée de personnes brillantes et généreuses. Je remercie mes directeurs de thèse pour leur grande disponibilité et leur patience. Jean-Pierre et Anne vous m'avez éclairée sur la recherche, les questions d'écologie et le coralligène qui est, c'est vrai, bien complexe ! Dominique, tu as su trouver des mots simples pour m'initier à cette façon propre aux économistes d'aborder les problèmes de l'environnement. De même pour l'économétrie. Dans ce domaine, j'adresse un grand merci à Frédéric Aprahamian, l'économètre en chef ! Moi qui avait déjà 3 directeurs de thèse, il me semble que j'ai réussi l'exploit de te recruter comme le 4ème Fred, si je m'en réfère à ton investissement ! Merci à tous les deux pour les cours particuliers accélérés qui m'ont évité de me perdre dans cette vaste littérature. J'ai souvent été gagnée par votre enthousiasme et je vous remercie d'avoir fait de ces séances de travail de bons moments. Merci aux enseignants et aux doctorants de l'AMSE qui ont souvent répondu à mes questions naïves avec patience et bienveillance surtout quand j'ai suivi les cours d'économie de master en première année de doctorat. A l'IMBE je remercie particulièrement tous les membres de l'équipe OEB pour leur aide et leur soutien, en particulier Marine Pratlong, Aurélien De Jode et Pascal Mirleau. Merci Jo (Jean-Georges Harmelin) pour l'intérêt que tu m'as témoigné et tes enseignements sur le coralligène. J'ai aussi beaucoup appris sur le coralligène auprès des chercheurs de différentes nationalités investis dans le programme Cigesmed, merci Jean-Pierre de m'y avoir fait une place. Je remercie en particulier Giulia Gatti avec qui ce fut toujours un grand plaisir de travailler, merci de m'avoir pris

sous ton aile et j'espère qu'on se retrouvera par la suite ! A l'OSU Pythéas il y a aussi les plongeurs qui m'ont partagé leur expérience et que j'aurais souhaité accompagner plus souvent en plongée : Dorian Guillemain, Romain David, Pascal Mirleau, Christian Marschal, Laurent Vanbostal, Frédéric Zuberer...

Dans la première phase de ma thèse je suis allée à la rencontre de nombreuses personnes qui ont accepté de répondre à mes questions en entretiens, questionnaires ou ateliers, malgré leurs emplois du temps très chargés : plus de cinquante chercheurs, gestionnaires, plongeurs, pêcheurs, corailleurs. Je remercie les responsables des structures de plongée qui ont accepté de mettre à ma disposition leurs données de palanquées. Je remercie enfin la centaine de citoyens volontaires qui s'est prêté au jeu de l'enquête, ainsi que les personnes qui m'ont aidé à les organiser, notamment au sein du parc national de Port-Cros, des mairies du Pradet et de Hyères, et de l'Établissement Français du Sang.

Je remercie les stagiaires de master Ante Ivcevic et Laurine Jambois pour leurs travaux de synthèse qui nous ont aidé à y voir plus clair dans la littérature récente de la méthode des choix discrets et les modèles économétriques associés. Je remercie aussi Quentin Baldaccini et Antoine Massiani pour leur aide à la collecte de données auprès des structures de plongée. Un très grand merci enfin à Thomas Schön pour son aide, en tant qu'assistant de recherche, dans les phases de collectes et organisation des données. Nos tentatives pour recenser et utiliser les données de pêche existantes ont été chronophages pour s'avérer malheureusement non fructueuses, mais on tire aussi de l'enseignement d'un échec !

Je remercie les personnes qui étaient là pour m'éclairer sur les diverses démarches administratives et ont fait en sorte de me les faciliter, en particulier Joëlle Masseï de l'IMBE, Isabelle Hammad de l'ED251, Kaina Tighilt et Corinne Michaud de l'AMSE.

J'ai eu la chance de rencontrer beaucoup de personnes d'horizon variés pendant mon doctorat, l'interdisciplinarité c'est aussi ça : deux labos, deux écoles doctorales, plusieurs équipes, plusieurs programmes, beaucoup de formations... Tout est multiplié et les rencontres aussi ! Je remercie en particulier toutes ces personnes avec qui j'ai tissé des liens d'amitié au-delà du cadre du travail. La team Happy SME s'est dispersée mais malgré les distances on garde contact... et chaque retour est l'occasion d'un apérocher ! Le charme de Malmousque risque de me manquer, surtout les tours de l'îlot et le passage du tunnel ! Aurélien, garde un œil sur Dondice et les crevettes voisines, il ne faudrait pas qu'on nous les enlève comme les pauvres poulpes ! C terrible skispas ! Que la force soit avec toi pour la dernière ligne droite ! Marine, tant de qualités en ta personne, j'ai du souvent t'exaspérer et pourtant tu m'as accordé ton amitié, dans les moments difficiles heureusement que tu étais là, le temps de la marmatmobile est fini (reste

la Chevwwrowlleyyy par contre) mais longue vie aux Marmat ! Do... rian (ouf ! ma langue n'a pas fourché), compagnon de la première heure de stage, toujours là et pour longtemps j'espère ! (mais tu ne nous auras plus avec la Ramesse !). Marine R.,...décidément les Marine sont des perles rares, c'est sur toi que j'ai le plus compté pendant le master et le stage, dommage que tu sois si loin, mais j'ai un bon prétexte pour aller en Martinique, surtout depuis que tu es maman ! Selmane, mon compagnon de bureau, de coralligène et plus ! Nos séances de motivations mutuelles m'ont bien boostée, merci pour ta gentillesse et ton enthousiasme, et hza saeidaa à toi ! Romain, je n'ai pas oublié les bons moments du début et le demi-étage des stagiaires super-héros. Yamasss !! Maïa, je remercie R, notre passion commune (ou presque !), qui nous a rapprochées, j'ai une pensée pour toi à chaque fois que je me régale de ton huile d'olive (c'est-à-dire souvent !) et je compte sérieusement venir voir ces olives de plus près ! Morgan merci d'avoir organisé ces cours de salsa sur la terrasse de la station, c'est plutôt sympathique de faire des Nchoufla entre collègues ! Amélie, cette année a filé trop vite, qu'à cela ne tienne, l'été arrive alors prépare toi pour les plans salsa and cie ! Les copains de l'AMSE, merci d'avoir fait une place à la SBF (Sans Bureau Fixe) et squatteuse de pouf que j'étais (nota bene : un doctorant sur un pouf ne dort pas, il réfléchit...) ! La team des Rolling Stones (IAM !) vos coups de folies vont me manquer (mais ce qui se passe à San Remo, reste à San Remo !), vos talents culinaires et nos épiques séances de rollers aussi ! Ilia, Audrey, Majda, João, Clém, Anwasha, Nicolas, Pauline, Lara, Khalid, Ugo, Edwin, Tanguy, Solène, Victor, Stéphane, Alberto, Victorien, Océane et les derniers arrivés... merci pour tous ces petits moments de détente saisis à la volée entre les murs de la Vieille Charité puis de l'IBD, mais surtout en dehors !

La team MT180s, Olivier Chabrol et Delphine Fouquout, ce fut une joie de vivre cette expérience avec vous tous et j'ai même pris goût à la scène ! Sandrine A. merci pour ton remarquable travail de coach, et merci à tout le groupe de co-orientation ! La team DynAMU, ce fut un plaisir de participer à la création de cette association des doctorants d'AMU et de la voir progresser. Hommage aux pionniers de DynAMU : Rym Ibrahim, William Zylberman, Lola Duprat,...

Merci aussi aux amis de hockey sub, tango, cirque, plongée... que j'étais ravie de retrouver régulièrement pour oublier un peu la thèse et évacuer le stress ! Merci de m'avoir soutenue encore quand j'ai du vous laisser pour aborder la dernière ligne droite de la thèse.

Mes ultimes, mais non moindres, remerciements vont à ma famille qui m'a toujours soutenue. Je remercie les membres de ma famille qui se sont portés relecteurs volontaires : Katy, Gérard, Paps. Un merci particulier à Katy qui a participé à la transcription des entretiens et mams qui m'a toujours proposé son aide. Merci Louis-Daniel et Phil (tu fais un peu partie de la famille !) pour votre

aide sur l'anglais. Ma plus profonde reconnaissance va à mes parents, vous qui m'avez toujours soutenue, et tellement donné. Les mots sont dérisoires. A cette étape de ma vie, je réalise que je tiens certainement de mon père l'amour de la Terre, et de ma mère l'amour de la Mer... et surtout cet irrésistible besoin d'être dans l'eau ! Sur ces 10 dernières années, j'en ai consacré 5 à l'étude de la terre et 5 à l'étude de la mer. Que l'avenir me permette d'appliquer le conseil de Confucius : *Choisis un travail que tu aimes, et tu n'auras pas à travailler un seul jour de ta vie.*

Avant-propos

Cette thèse est interdisciplinaire, abordant la problématique sous deux aspects : l'écologie et l'économie. Le manuscrit se présente sous un format classique mais le chapitre 1 correspondant à un article accepté pour publication dans la revue *Marine Pollution Bulletin* (sous réserve de modifications concernant l'organisation générale et des précisions méthodologiques). Le choix a été fait de présenter le manuscrit en français pour en faciliter l'accès local, sauf pour l'article qui a vocation à être publié dans une revue de qualité internationale. La valorisation du travail de thèse est présenté en annexe.

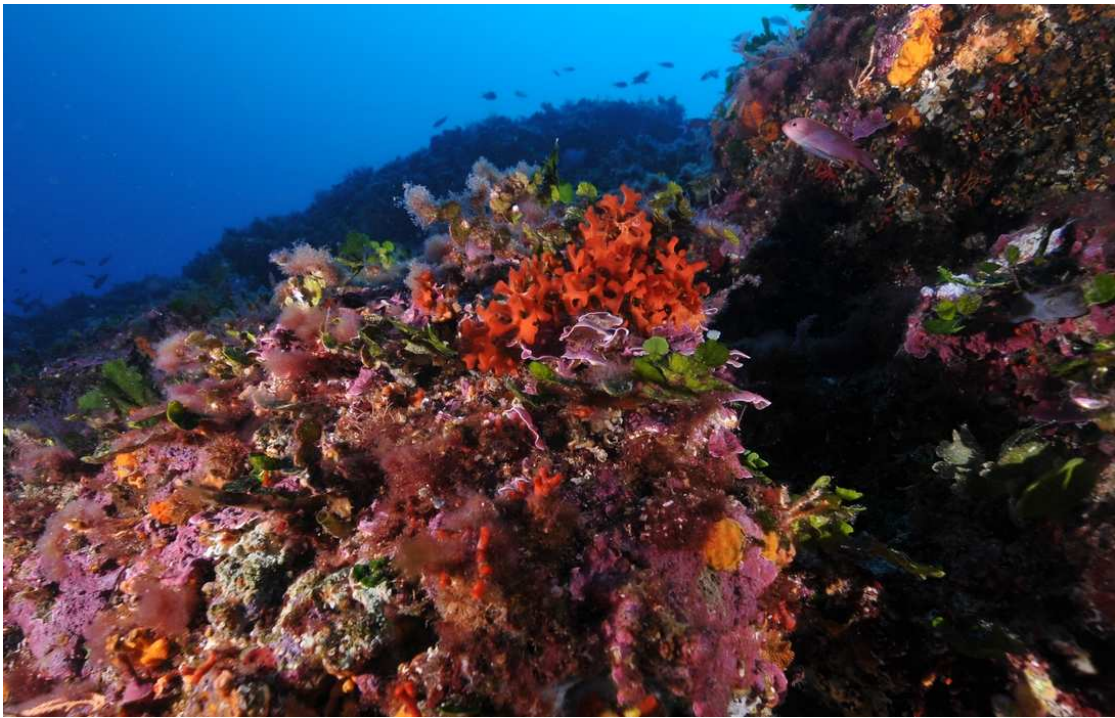
Table des matières

Résumé	3
Abstract	4
Remerciements	9
Avant-propos	11
Introduction	17
0.1 Le concept de service écosystémique	20
0.1.1 Historique	20
0.1.2 Définitions et classifications	26
0.1.3 Réflexions et limites du concept	31
0.2 L'évaluation économique des services écosystémiques	33
0.2.1 La valeur économique des biens environnementaux	34
0.2.2 Les préférences et le consentement-à-payer (CAP)	36
0.2.3 Les méthodes d'évaluation du CAP	38
0.3 Les services écosystémiques et l'évaluation économique des écosystèmes marins	38
0.4 Les habitats coralligènes	40
0.4.1 Définition et description	41
0.4.2 Activités humaines	48
0.4.3 Pressions	50
0.4.4 Conservation et surveillance	53
0.5 Problématique et objectifs	53
1 Application du concept de service écosystémique à une échelle locale : le cas des habitats coralligènes du Nord-Ouest de la Méditerranée.	55
1.1 Introduction	62
1.2 Materials and methods	64
1.2.1 Locations	64
1.2.2 Preliminary list of ecosystem services based on literature	65
1.2.3 Expert survey	67
1.2.4 Experts panel	70
1.2.5 Interviews	70
1.2.6 Questionnaire	71
1.2.7 Workshops	73
1.3 Results	74
1.3.1 Acceptance of ecosystem services	74
1.3.2 Importance and classification of the ecosystem services	74

1.3.3	Differences in ecosystem services offer among the locations (Marseille vs Port-Cros)	80
1.4	Discussion	81
1.5	Conclusion and perspectives	87
2	Description des services écosystémiques fournis par les habitats coralligènes : intérêt du modèle conceptuel de service écosystémique en cascade	89
2.1	Introduction	94
2.2	Application du concept de la cascade	96
2.3	Description des services d’approvisionnement fournis par les habitats coralligènes d’après le concept de la cascade	99
2.3.1	Approvisionnement en ressources alimentaires	100
2.3.2	Approvisionnement en corail rouge	107
2.4	Discussion	116
3	Importance du coralligène pour l’activité récréative de plongée sous-marine en scaphandre autonome dans la région de Marseille	119
3.1	Introduction	124
3.2	Matériels	131
3.2.1	La zone d’étude : Marseille, Cassis et La Ciotat	131
3.2.2	La collecte des données	131
3.3	Description de l’activité de plongée et de la présence de coralligène dans la zone d’étude et l’échantillon	135
3.3.1	Sites de plongées	135
3.3.2	Structures de plongées	138
3.3.3	Les plongeurs et palanquées de l’échantillon	139
3.3.4	Fréquentation des sites de plongées observée dans l’échantillon	140
3.4	Analyse de l’effet de la présence de coralligène sur la fréquentation des sites de plongées par 8 structures	146
3.4.1	Description de l’échantillon	146
3.4.2	Choix du modèle : négatif binomial NB2 tronqué en zéro	148
3.4.3	Résultats des estimations	151
3.4.4	Interprétation des résultats	155
3.5	Discussion	157
4	Évaluation économique de services écosystémiques fournis par le coralligène et étude de l’impact de la connaissance et l’information sur la formation des préférences individuelles par une application de la méthode des choix discrets	161
4.1	Introduction	166
4.2	Matériels et Méthodes	170
4.2.1	Application de la méthode des choix discrets (MCD)	170
4.2.2	Le questionnaire d’enquête et la collecte des données	176

4.3	Description de l'échantillon	188
4.3.1	Les caractéristiques socio-démographiques	188
4.3.2	Connaissances sur le coralligène	195
4.3.3	Les attitudes environnementales	202
4.4	Estimation économétrique du comportement de choix	204
4.4.1	Variables considérées et spécification des modèles	210
4.4.2	Résultats des estimations économétriques pour expliquer les choix	214
4.4.3	Evaluation des consentements-à-payer (CAP)	220
4.5	Discussion	221
4.6	Conclusion	226
5	Discussion générale	229
	Discussion générale	229
5.1	Résumés des résultats	233
5.2	Confrontation des avis experts et des préférences du grand public	236
5.3	Impact de l'information sur la formation des préférences	237
5.4	Apports pour la gestion	238
5.4.1	Pertinence du modèle de la cascade de service écosystémique selon l'objectif d'utilisation	238
5.4.2	Importance et vulnérabilité du coralligène par rapport aux usages humains	240
5.5	Perspectives d'études	241
	Bibliographie	243
	ANNEXES	262
A	Annexe du chapitre 1 : Descriptif du questionnaire en ligne communiqué aux experts	264
B	Annexe du chapitre 3 : Exemple d'une fiche de sécurité de plongée	267
C	Annexe du chapitre 3 : Cartographie de la fréquentation des sites de plongée	268
D	Annexe du chapitre 3 : Estimations du modèle expliquant le nombre de palanquées recensées par sites de plongée (modèle de type NB2, selon 4 spécifications)	274
E	Annexe du chapitre 3 : Présentation du programme CIGESMED	279
F	Annexe du chapitre 4 : Questionnaire de l'enquête menée pour appliquer la méthode des choix discrets	282
G	Annexe du chapitre 4 : Commandes SAS utilisées pour réaliser le plan d'expérience optimal et les cartes de choix	303
H	Valorisations de la thèse et formations	305

Introduction



Photographie prise par Dorian Guillemain à Moyade (Riou, Marseille)

Table des matières

0.1	Le concept de service écosystémique	20
0.1.1	Historique	20
0.1.2	Définitions et classifications	26
0.1.3	Réflexions et limites du concept	31
0.2	L'évaluation économique des services écosystémiques	33
0.2.1	La valeur économique des biens environnementaux	34
0.2.2	Les préférences et le consentement-à-payer (CAP)	36
0.2.3	Les méthodes d'évaluation du CAP	38
0.3	Les services écosystémiques et l'évaluation économique des écosystèmes marins	38
0.4	Les habitats coralligènes	40
0.4.1	Définition et description	41
0.4.2	Activités humaines	48
0.4.3	Pressions	50
0.4.4	Conservation et surveillance	53
0.5	Problématique et objectifs	53

0.1. Le concept de service écosystémique

0.1.1. Historique

L'origine et l'évolution du concept de service écosystémique permettent de comprendre en quoi ce concept est, par définition, à l'intersection de plusieurs disciplines : l'écologie et l'économie essentiellement, mais pas seulement (notamment la sociologie, la philosophie, la géographie). Le rappel du contexte historique permet de comprendre les enjeux qui ont motivé un nombre croissant de recherches sur le sujet des services écosystémiques. La littérature sur le sujet est abondante, mais est très hétérogène en termes de vocabulaire, de définition, d'approche, surtout avant 2005, date du rapport du Millennium Ecosystem Assessment rassemblant 1300 experts du sujet.

1970-1990 : Émergence du concept

Dès le 5^{ème} siècle avant J-C, Platon soulignait le service que la forêt rendait en limitant l'érosion des sols. Mais c'est au XX^{ème} siècle que l'Homme prend conscience de la vulnérabilité des écosystèmes aux pressions anthropiques alors qu'il est confronté aux problèmes d'épuisement de ressources, d'érosion de la biodiversité et de catastrophes écologiques majeures (Minamata 1956, Love Canal 1970, Darvaza 1971, Tchernobyl 1986, Exxon Valdez 1989, etc.). En 1947, Gandhi répond à Lord Mountbatten qui lui demande s'il souhaiterait reproduire le modèle britannique pour le développement de son pays : *Les Anglais ont mobilisé la moitié de la richesse de la planète pour construire leur prospérité, combien de planètes seraient nécessaires pour qu'un pays comme l'Inde atteigne le même résultat ?* Cette conscience de la vulnérabilité des écosystèmes et, en même temps, de la dépendance du bien-être humain aux écosystèmes met en évidence la responsabilité de l'Homme dans le maintien des éléments naturels qui sont à l'origine de son bien-être. Ainsi émergent les notions de développement durable, de soutenabilité et de services écosystémiques. Le concept de service écosystémique vise surtout à mettre en évidence les relations d'interdépendance entre l'Homme et les écosystèmes.

Les revues de la littérature (GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2010; MÉRAL 2012)

s'accordent à situer l'origine du concept de service écosystémique dans les années 1970. Les pionniers sont majoritairement des écologues de la conservation étudiant la dégradation des écosystèmes résultant de l'impact des activités humaines. La première étude mentionnant la notion de *environmental services* est celle de la SCEP (Study of Critical Environmental Problem) de 1970. Cette étude est préparatoire de la première Conférence des Nations Unies sur l'Homme et l'Environnement de 1972 (Stockholm). Parmi ses auteurs, certains venant du domaine de l'écologie de la conservation, ont marqué la littérature des services écosystémiques : Daily, Ehrlich, Mooney. Ceux-ci ont introduit la notion de *services des écosystèmes* (P. EHRLICH et A. EHRLICH 1981 ; P. EHRLICH et MOONEY 1983). Leurs travaux étaient motivés par la volonté de faire grandir l'intérêt public pour la conservation de la biodiversité et de démontrer de façon pédagogique que la perte de biodiversité fait diminuer le bien-être humain.

Dans la même période, des économistes développent des approches concernant les questions environnementales. Ils traitent des pollutions, des dégradations et de la gestion des ressources naturelles (dont on prend conscience à l'époque qu'elles sont limitées). L'approche soutenue par HARTWICK (1977), appelée plus tard *soutenabilité faible*, suppose que le capital artificiel peut se substituer au capital naturel. L'objectif de la soutenabilité faible n'est pas nécessairement de maintenir le capital naturel, l'important est de maintenir la somme du capital naturel et du capital artificiel, ce qui peut être réalisé grâce aux progrès techniques. En économie, la soutenabilité faible s'applique en cherchant à pallier les dysfonctionnements des marchés : les travaux traitent par exemple de l'établissement de droits pour les ressources naturelles ou du principe pollueur-payeur pour internaliser les pollutions.

1990-2003 : Les débuts de l'évaluation économique

En économie, l'approche de *soutenabilité forte*, soutenue par DALY (1990), émerge en opposition à l'approche de *soutenabilité faible*. Elle suppose que le capital naturel n'est pas substituable et doit être maintenu en l'état. Par cette approche, l'économie est considérée *subordonnée au respect des régulations natu-*

relles car, incapable de produire les normes assurant la marche de la biosphère¹, [...] elle ne saurait les appréhender et assurer sa reproduction que dans le respect de leur propre logique (PASSET 1989). Les recherches associées portent sur les méthodes d'analyse de la dépendance des systèmes économiques aux écosystèmes. Le début des années 2000 voit l'émergence de l'évaluation globale des écosystèmes et de l'approche des paiements pour services environnementaux.

En écologie, on parle à cette époque de fonctions plutôt que de services (BONIN et al. 2012). Dans ce domaine, les services sont considérés comme les fonctions des écosystèmes qui bénéficient à l'humanité. Parmi les travaux des écologues, on distingue deux approches qui ont toutes deux comme objectif de légitimer la conservation de la biodiversité :

- une approche qui légitime la conservation des écosystèmes par l'évidence d'un lien ou d'une causalité entre biodiversité et services, soutenue notamment par P. R. EHRLICH et al. (1991),
- une approche qui tente d'identifier les liens fonctionnels entre biodiversité et fonctions écosystémiques soutenue notamment par LOREAU et al. (2001). Cette approche vise à identifier les espèces et fonctions clés impliquées dans les services.

We don't protect what we don't value (J. MYERS et al. 1997). Cette citation illustre le besoin ressenti de procéder à l'évaluation économique des écosystèmes afin de mettre en évidence leur importance et fournir des arguments économiques pour leur protection. Des travaux marquent les années 1990 : DAILY (1997) et P. R. EHRLICH et al. (1991) précisent la définition de service écosystémique et COSTANZA et DALY (1992) et PERRINGS et al. (1992) proposent des méthodes d'évaluation économique des écosystèmes. L'étude la plus médiatisée, mais aussi la plus controversée, est l'évaluation économique de 17 services écosystémiques par l'écologue Costanza et ses 12 co-auteurs (COSTANZA, D'AGRE et al. 1997). L'objectif de cette méta-analyse était d'estimer la valeur économique totale de l'ensemble des services écosystémiques fournis par la biosphère. Les auteurs utilisent le cadre de systématisation des services issu de l'écologie et la méthode économique d'analyse coûts-bénéfices qui était alors en plein dévelop-

1. Biosphère : l'ensemble des organismes vivants et leurs milieux de vie

pement. Ils estiment la valeur des 17 services écosystémiques étudiés à l'échelle mondiale à 33 trillions de dollars, soit 1.8 fois la valeur du PIB² mondial (63% pour les services marins et 37% pour les terrestres). Ce qu'il faut conclure de cette évaluation, d'après les auteurs, est que la plupart des services écosystémiques sont non-marchands et qu'ils bouleverseraient les prix et la composition du PIB mondial s'ils étaient intégrés au marché. Ces résultats participèrent grandement à la médiatisation du concept de service écosystémique mais furent fortement remis en question par les économistes quant à la démarche de monétarisation des services. En effet, pour les économistes néoclassiques, la valeur ne peut être mesurée que dans une situation d'échange consenti par les individus. Par ailleurs il n'est possible d'évaluer que des variations marginales : les décisions courantes sont rarement du type "tout ou rien", mais portent sur de petits ajustements (variation marginale) à une situation existante. Or l'étude de COSTANZA, D'AGRE et al. (1997) ne s'applique ni à une situation d'échange, ni à une variation marginale : le calcul consiste à utiliser des valeurs de services écosystémiques publiées, converties en dollars par hectare d'écosystème, et à multiplier ces valeurs par la surface mondiale estimée pour chaque écosystème. Les critiques pointèrent que, selon le critère de rareté, le dernier hectare à disparaître vaudrait bien plus que le premier, et qu'ainsi la multiplication n'est pas un calcul valable. Finalement, l'intérêt de l'étude de COSTANZA, D'AGRE et al. (1997) ne résida pas dans le calcul d'une valeur monétaire totale de la biosphère mais dans le débat qu'il provoqua, suscitant auprès du grand public et des politiciens un intérêt nouveau pour la valeur des services écosystémiques.

Le débat entre économistes et écologues suscité par l'article de COSTANZA, D'AGRE et al. (1997) témoigne du fait que les recherches sur les services écosystémiques restent généralement ancrées dans une des deux disciplines, faisant appel à l'autre discipline mais sans nécessairement en maîtriser les fondements. La mise en place de véritables travaux de collaboration interdisciplinaire prend du temps. Par ailleurs, jusqu'au début des années 2000, la littérature sur les services écosystémiques est assez confuse à cause de la polysémie du vocabulaire et de la multiplicité des approches.

2. Produit Intérieur Brut : indice de la production de richesse effectuée par les agents économiques résidant à l'intérieur d'un territoire

2001-2005 : L'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (EM) ³

L'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire a été conduite entre 2001 et 2005 pour évaluer les conséquences de l'évolution des écosystèmes sur le bien-être de l'Homme. De plus l'EM a établi des recommandations d'actions requises pour renforcer la conservation des écosystèmes, pour les exploiter de façon soutenable et pour maintenir leurs contributions au bien-être de l'Homme.

L'EM aboutit à un rapport en 2005 dans lequel on trouve notamment une définition consensuelle de *service écosystémique*, une classification des services et une présentation schématique des liens entre les éléments des écosystèmes et le bien-être humain, que HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010) adapteront pour donner le concept de *cascade de service écosystémique*. L'EM rassembla 1300 participants de diverses disciplines dont 534 auteurs leaders. La figure 0.1 détaille les disciplines des auteurs leaders. Parmi eux 45% sont des biologistes, et 13% sont des économistes, faiblement représentés (ARNAULD DE SARTRE 2013).

Post 2005 : application du concept et politisation

Conséquemment aux recommandations de l'EM, de nouvelles pistes de recherche et initiatives institutionnelles émergent en mettant l'accent sur l'évaluation économique, de type monétaire principalement. La démarche TEEB (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*) s'inscrit dans cette tendance. Elle a été initiée par les ministres de l'environnement participants au G8+5 à Potsdam en 2007 et vise à promouvoir une meilleure compréhension de la valeur économique des services fournis par les écosystèmes pour une application politique (TEEB 2008). Le TEEB s'inscrit dans la continuité de l'EM, repense les problématiques économiques et politiques liées (subventions, paiements, nouveaux marchés). En France, le rapport du Conseil d'Analyse Stratégique (CAS) (CHEVASSUS-AU-LOUIS et al. 2009) fait office de référence en ce domaine. Il clarifie la problématique, fournit un état des lieux des connaissances nécessaires à l'évaluation économique des services écosystémiques, propose des perspectives de recherches et donne un cadre d'évaluation monétaire à un niveau micro-

3. Traduit en anglais : Millennium Ecosystem Assessment (MEA)

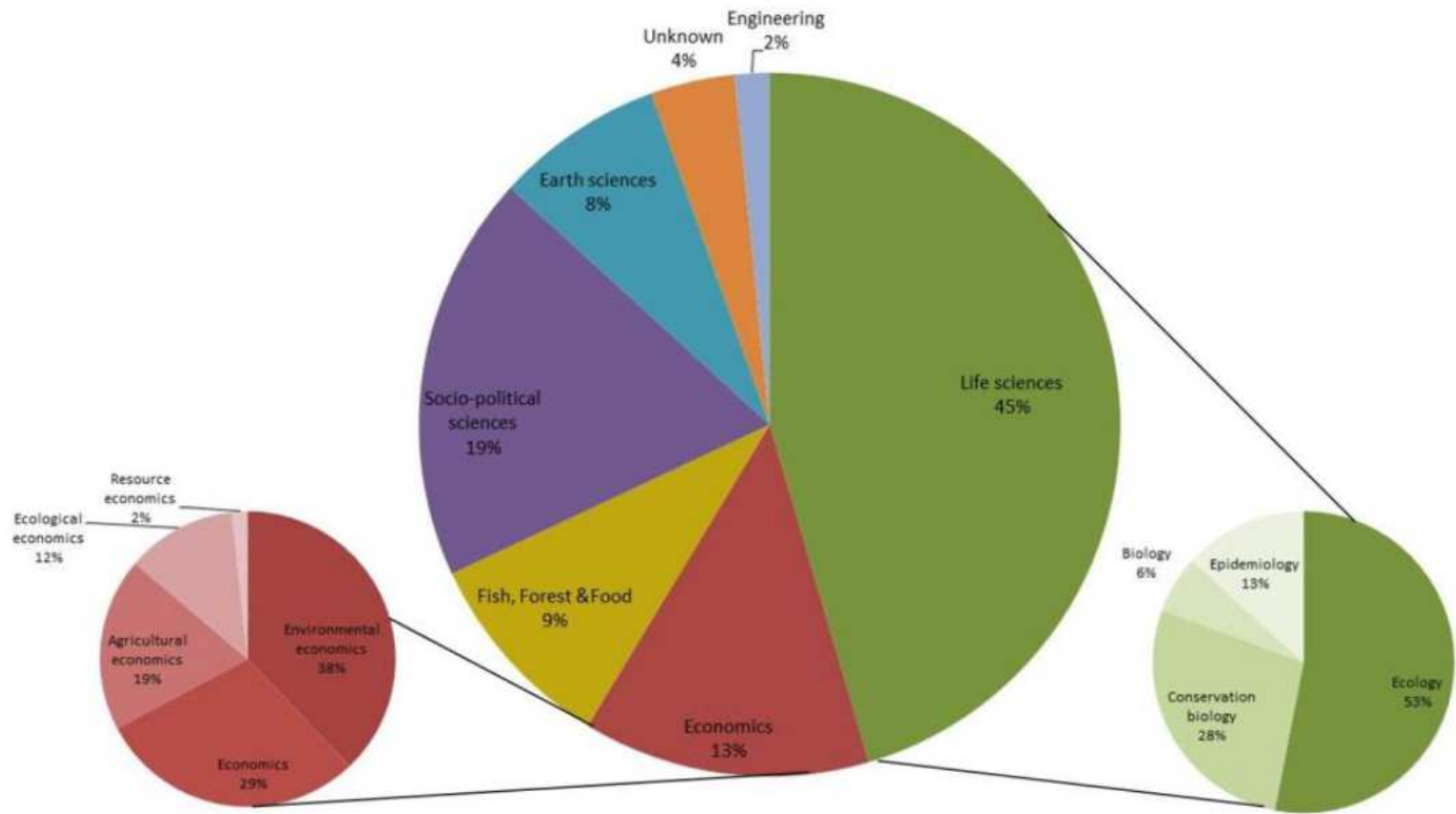


Figure 0.1. – Disciplines des 534 auteurs leaders de l'EM
(KULL et al. 2015)

économique.

Depuis les années 2000, les travaux de recherche sur les services écosystémiques connaissent une forte augmentation, comme le montre la figure 0.2. En 2012, le lancement de la revue *Ecosystem Services* prouve que la recherche dans ce domaine est suffisamment active et spécifique. 2400 articles sur le thème ont été écrits entre 1990 et 2012 (COSTANZA et KUBISZEWSKI 2012).

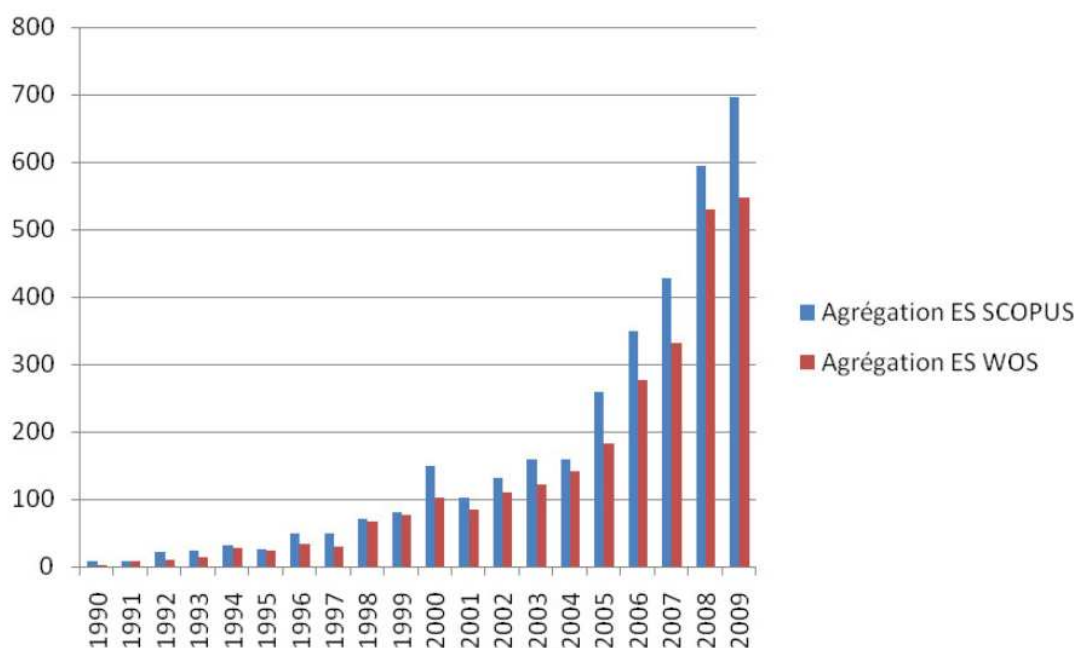


Figure 0.2. – Évolution des publications portant sur le thème des services écosystémiques dans les bases de données SCOPUS et WOS (JEANNEAUX et al. 2012)

0.1.2. Définitions et classifications

Il existe diverses appellations pour le même concept dont trois ont été utilisées plus couramment : *services écosystémiques*, *services écologiques* et *services environnementaux*. Les deux premières appellations peuvent être considérées comme synonymes, elles désignent la même approche écosystémique, celle retenue par l'EM. L'appellation *services environnementaux* est plutôt employée dans le discours des économistes. Elle renvoie à une approche d'externalités positives entre

acteurs environnementaux et à la problématique de paiements pour services environnementaux. Le concept de service écosystémique, tel que présenté par l'EM, est une approche véritablement écosystémique au sens où elle embrasse toutes les interactions au sein des systèmes écologiques et humains pour tendre vers une compréhension globale des bénéfices rendus par les écosystèmes. Cette thèse se place dans la lignée des travaux débutés par l'EM dont l'aboutissement récent est la classification internationale commune des services écosystémiques (CICES).

Vers la fin des années 1990, l'appellation *service écosystémique* est devenue la plus utilisée, ayant toutefois diverses définitions dont les plus citées sont les suivantes :

- Ecosystem services are *the conditions and processes through which natural ecosystems, and the species that make them up, sustain and fulfill human life.* (DAILY 1997)
- Ecosystem services are *the benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions.* (COSTANZA, D'AGRE et al. 1997)
- Ecosystem services are *the benefits people obtain from ecosystems.* (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005)
- Final ecosystem services are *components of nature, directly enjoyed, consumed, or used to yield human well-being.* (BOYD et al. 2007)
- Final ecosystem services are *the contributions that ecosystems make to human well-being. These services are final in that they are the outputs of ecosystems (whether natural, semi-natural or highly modified) that most directly affect the well-being of people. A fundamental characteristic is that they retain a connection to the underlying ecosystem functions, processes and structures that generate them.* (HAINES-YOUNG et M. B. POTSCHEIN 2013)

La définition de l'EM (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005) est la moins précise, mais est pourtant souvent citée comme référence. Sa simplicité est un avantage pour la communication toutes disciplines confondues, mais peut aussi nuire à son application pratique. Les définitions données par BOYD et al. (2007) et HAINES-YOUNG et M. B. POTSCHEIN (2013) précisent que les services écosystémiques sont "finaux", c'est à dire qu'ils impactent directement le bien-être humain. La motivation de cette précision est de clarifier le statut des

fonctions écologiques que l'EM avait classées comme services écosystémiques supports. D'après les définitions de BOYD et al. (2007) et HAINES-YOUNG et M. B. POTSCHEIN (2013), cette catégorie *support* correspond à des fonctions écologiques à la base de services écosystémiques et non à des services en soit. L'objectif est d'éviter que des services soient à la base d'autres services, et éviter ainsi le double comptage de bénéfices lors d'évaluation ou quantification des services écosystémiques.

L'EM a proposé une classification des services en quatre catégories :

- les services d'approvisionnement : fourniture de matières premières pour l'Homme.
- les services de régulation : maintenance d'un environnement favorable à l'Homme.
- les services culturels : apports de connaissances et de plaisirs favorable à l'épanouissement culturel et spirituel de l'Homme.
- les services supports : support et maintien des trois précédents types de services.

L'inconvénient de la classification proposée par l'EM, incluant la catégorie *services de support*, est qu'elle mélange les finalités et les moyens (WALLACE 2007). En effet, la catégorie *services de support* a une relation indirecte avec le bien-être humain, contrairement aux trois autres catégories de services. C'est pourquoi la catégorie *services de supports* de l'EM a été, par la suite, également considérée comme fonctions écologiques et non comme services écosystémiques (HAINES-YOUNG et M. B POTSCHEIN 2010 ; BOYD et al. 2007) lorsque les auteurs ont estimé qu'une classification à deux niveaux de services (directs et indirects) posait des problèmes de double-comptage dans la phase d'évaluation économique. La classification internationale commune des services écosystémique (CICES), créée en 2013, en est à sa version 5.1 et se limite aux trois premières catégories de services. La CICES dissèque dans le détail les services écosystémiques, en créant différents niveaux de précision. Il en résulte une classification en plusieurs niveaux de détail qui fait penser aux classifications taxonomiques des biologistes. La CICES est organisée en 5 niveaux hiérarchiques : section, division, groupe, classe et type. La figure 0.4 présente un exemple d'application des niveaux hiérarchiques de la CICES.

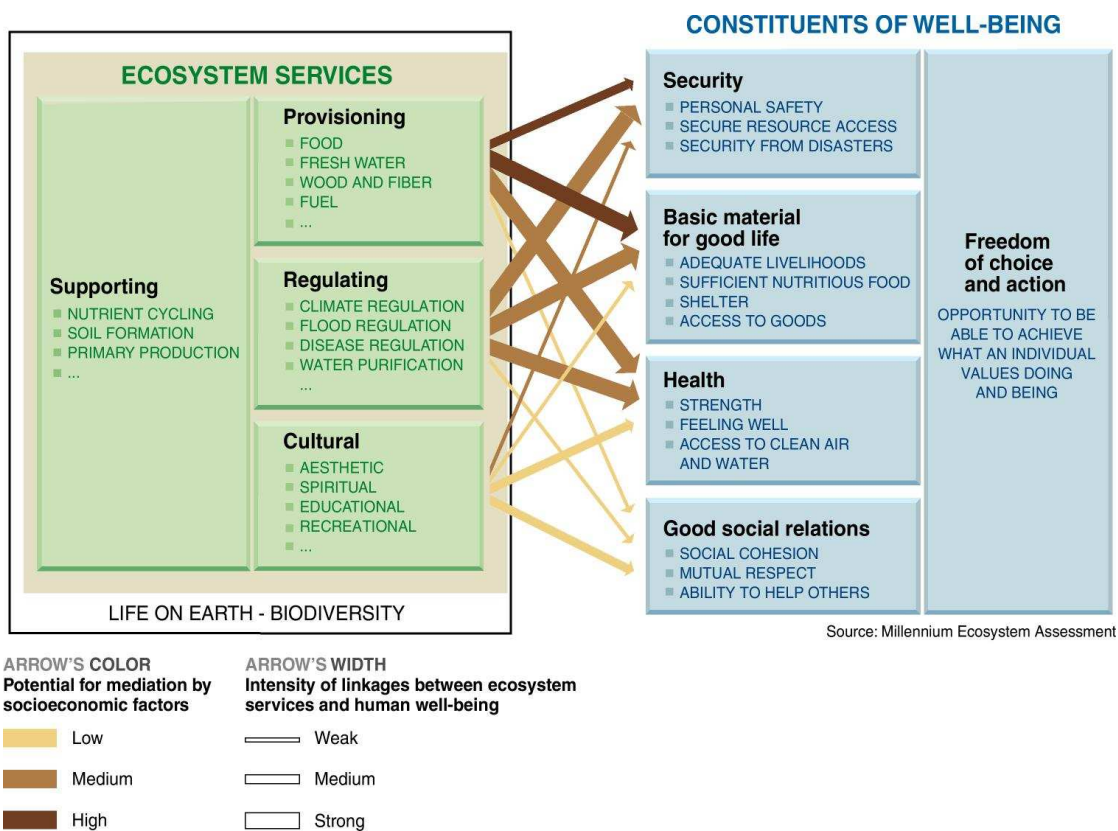


Figure 0.3. – Les catégories de services écosystémiques, les catégories de bien-être humain et leurs relations d'après le Millennium Ecosystem Assessment (2005)

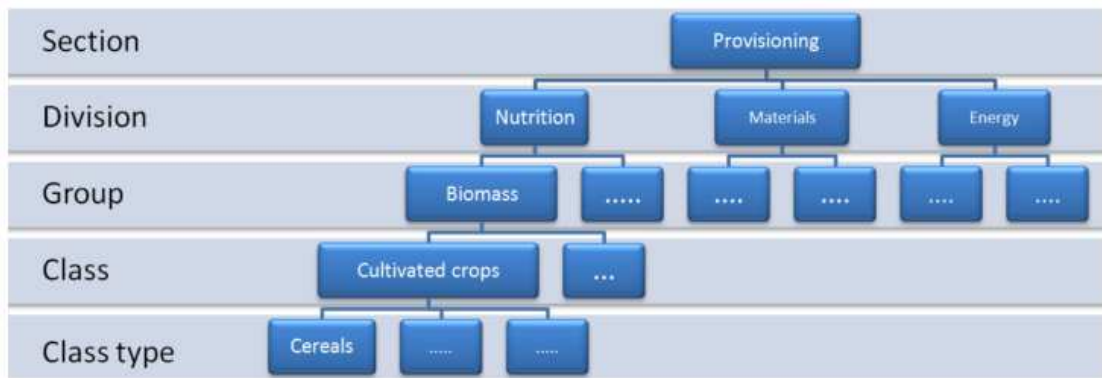


Figure 0.4. – Les niveaux hiérarchiques de la CICES
(HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN 2010)

L'intérêt de la CICES est de clarifier la définition générale de *service écosystémique* en limitant cette appellation aux services "finaux"/"directs" et de clarifier la définition de chaque services grâce aux différents niveaux hiérarchiques. L'objectif de la CICES est d'éviter les problèmes de double comptage lors d'une évaluation économique des services rendus par un écosystème. Cette démarche montre que les préoccupations économiques sont devenues directrices dans la construction de la classification des services. La CICES n'intègre pas les *fonctions de support* qui étaient considérées comme des services (intermédiaires) par l'EM. Cependant la description des fonctions écologiques de support ne doit pas être négligée car les fonctions écologiques conditionnent l'existence des services. Dans l'application, il n'est pas toujours aisé de distinguer un service d'une *fonction de support*, car une fonction peut être à la fois une source directe et indirecte de service. Dans le cadre de cette thèse, j'étudie les *fonctions de support* autant que les services de façon à présenter un schéma complet de la dépendance de l'Homme à l'écosystème.

La définition et la place de la biodiversité dans le schéma des services écosystémiques est également un sujet de débats. JAX et al. (2015) clarifie cette question en replaçant la problématique en perspective : l'objectif est-il de l'ordre du didactique, de la conservation ou de la gestion durable des ressources ? Dans un cadre didactique, l'objectif est de montrer l'importance de la biodiversité, au sens de *l'ensemble du monde vivant*, pour le bien-être humain. Dans un cadre

conservationniste, l'objectif est d'identifier les composantes de l'écosystème qui ont besoin d'être protégées afin de ne pas disparaître. Dans le cadre de la gestion des ressources, l'objectif est de maintenir durablement les ressources nécessaires au bien-être humain. Le terme générique "biodiversité" est polysémique et nécessiterait d'être remplacé ou clairement défini pour être utilisé de façon intelligible dans le cadre de l'application du concept de service écosystémique.

0.1.3. Réflexions et limites du concept

Le concept de service écosystémique est né d'un besoin de communication et de pédagogie pour mettre en évidence l'importance de préserver la nature. Il est le fruit d'une réflexion interdisciplinaire initiée par des écologues et des économistes qui ont ensuite œuvré à intégrer le concept dans l'agenda politique. Les politiques s'en sont effectivement emparé, espérant trouver là un outil d'aide à la décision concernant la gestion des environnements naturels et de leurs ressources.

Le concept de *services écosystémiques* est à l'intersection des environnements naturels (écosystèmes) et des communautés humaines (socio-systèmes). C'est un concept relationnel qui lie un écosystème à un individu (ou groupe) bénéficiaire. L'intérêt de cette approche est d'aborder l'ensemble des dimensions du développement durable : la conservation de l'environnement, les dimensions économiques et sociales et les interactions socio-culturelles entre l'Homme et les écosystèmes. Les notions de *services écosystémiques* et de *développement durable* ont évolué en parallèle, dans un même souci originel de soutenabilité et de préservation des écosystèmes, mais le concept de *services écosystémiques* ouvre de nouvelles perspectives de gestion de l'environnement en basant la décision sur le plan de l'apport au bien-être humain (SERPANTIÉ et al. 2012). Cette vision anthropocentrée et utilitariste est critiquée par les défenseurs d'une conservation de la nature pour son intérêt propre (MARIS 2014), recouvrant ainsi pour partie les débats et les courants sur la durabilité forte et faible (GODARD et al. 2015). L'utilisation du concept de service écosystémique peut en effet être à double tranchant. Ce concept peut aider à la compréhension des relations et de l'interdépendance entre les écosystèmes et le bien-être des sociétés humaines, ce qui

relève d'un intérêt pédagogique plutôt favorable à la valorisation positive des écosystèmes. Mais ce concept peut aussi être utilisé pour réduire la valeur d'un écosystème à la valeur des services qu'il fournit, calculable de diverses façons, et ainsi justifier des dégradations environnementales par des mesures compensatoires. L'approche par services est plus réductrice que l'approche classique de conservation de la biodiversité à ses différents niveaux (génétique, spécifique, fonctionnelle, etc.).

Cependant, la définition des services écosystémiques de l'EM (*bienfaits que les écosystèmes procurent aux êtres humains*) témoigne d'une approche trop partielle : l'étude est focalisée sur les bienfaits. Pourtant, un écosystème ne fournit pas que des services mais aussi potentiellement des "disservices", effets négatifs sur le bien-être humain. Il est possible que ce qui est perçu comme un service par un groupe de bénéficiaires soit perçu comme une nuisance par un groupe de "déficitaires". On attribue par exemple de nombreux services aux zones humides : maîtrise des crues, recharge des eaux souterraines, rétention et exportation des sédiments et matières nutritives, épuration de l'eau, réservoirs de diversité biologique, etc. Cependant les zones humides sont aussi considérées comme des zones insalubres, source de propagation de maladies, zone non cultivables et non praticables. Agréger les préférences individuelles au niveau collectif relève de la décision politique.

Le concept de service écosystémique peut être appliqué avec peu de détail, simplement pour communiquer sur la dépendance homme-milieu. Mais dans une application plus poussée, il peut permettre de mettre en évidence la complexité et l'intrication des relations entre les communautés humaines et leur environnement et être ainsi utile à des fins de gestion. Les écosystèmes fournissent des services à différentes échelles spatiales et temporelles. Les bénéficiaires qui en découlent sont, en conséquence, eux aussi répartis selon des échelles spatiales et temporelles. Par exemple, un écosystème qui piège du CO_2 fournit un service à une échelle spatiale globale. Alors qu'un écosystème participant à un développement touristique fournit un service à une population locale et des visiteurs de passage. Une gestion ciblée sur les services écosystémiques consisterait à identifier les bénéficiaires et les éventuels conflits d'intérêts pour gérer les usages et identifier les sources des services pour assurer leur maintien. Dans cette démarche

les échelles spatiales et temporelles sont importantes. A une échelle locale (une baie ou un parc marin par exemple) l'identification précise des éléments sources et bénéficiaires du services peut aider à engager des mesures de gestion de façon concertées pour tirer le meilleur parti de l'écosystème.

Le concept de service écosystémique encourage et nécessite une véritable collaboration interdisciplinaire, pas encore atteinte aujourd'hui mais en bonne voie. Les disciplines les plus impliquées sont l'écologie et l'économie. Ces deux disciplines partagent la racine grecque *oikos* signifiant "maison", dont le sens peut être interprété comme habitat naturel pour l'écologie et comme ménage familial pour l'économie. Bien que les fondements de l'écologie soient très anciens (Aristote), c'est en 1866 que le biologiste allemand Ernst Haeckel nomme l'écologie en tant que science qui étudie les relations des organismes entre eux et en fonction de leur environnement abiotique. Les organismes vivants peuvent constituer des ressources, ce qui est l'objet de la science économique que Joseph Stiglitz (Nobel en 2001) définit comme *l'étude de la manière dont les individus, les entreprises et les gouvernements effectuent des arbitrages au sein de notre société. Les arbitrages sont inévitables car les biens, les services et les ressources désirés sont inévitablement rares*. L'écologie et l'économie dominent le sujet des services écosystémiques, mais celui-ci peut faire appel à des réflexions et des applications dans d'autres disciplines telles que la sociologie, l'anthropologie, la psychologie, la philosophie, la géographie, etc.

0.2. L'évaluation économique des services écosystémiques

Les services rendus par les écosystèmes contribuent au bien-être humain mais n'apparaissent généralement pas dans les transactions de marché. L'une des questions débattues dans le champ de l'économie de l'environnement concerne la construction de méthodes appropriées (fiables) afin d'attribuer une valeur chiffrable (souvent monétaire) aux biens environnementaux (tel le coralligène) et aux services qu'ils rendent afin de prendre en compte cette valeur dans la gestion des biens environnementaux. En économie de l'environnement, *évaluer* un bien ou un service c'est lui attribuer une valeur.

0.2.1. La valeur économique des biens environnementaux

Le terme *valeur* est polysémique, de même que les termes *utilité*, *préférences*, et *bien-être* qu'on ne peut éviter quand on parle de *valeur économique*. Il n'est donc pas superflu de rappeler ici les définitions de ces termes dans le champ économique. L'approche économique des décisions suppose que les individus cherchent à maximiser leur bien-être tout en tenant compte des contraintes (physiques, financières, technologiques...) auxquels ils sont soumis. Dans cette recherche de la satisfaction maximale, les intérêts individuels peuvent se heurter aux intérêts collectifs. Ces analyses sont au cœur de la théorie économique.

La valeur est toujours subjective. En économie, la *valeur* est définie comme une variation nette de bien-être d'un individu (ou d'une collectivité) (KJÆR 2005). Ainsi, tout ce qui apporte une satisfaction à un individu possède une valeur. Par définition, la valeur économique est anthropocentrée. Ainsi, elle ne comprend pas les valeurs se rapportant à la valeur inhérente à toute chose, indépendamment de tout évaluateur (TURNER et al. 2003). Ce type de valeur non-anthropocentrée sort du champ d'étude des économistes et ne peut pas être mesurée par les méthodes d'évaluation économique.

An object can have no value unless it has utility (F.M. Taussig, Principles of Economics, 1912). L'*utilité* est une mesure de la satisfaction qu'un individu obtient par la consommation ou l'obtention d'un bien ou d'un service. Cependant il n'existe pas d'échelle objective de la mesure de l'utilité car la satisfaction d'un individu est subjective. L'utilité apportée par un bien est propre à chaque individu et dépend de ses préférences.

Les *préférences* d'un individu sont le résultat de sa capacité à ordonner des paniers⁴ de biens en fonction de la satisfaction apportée : ce résultat est un classement des paniers de biens et services. Un individu est dit rationnel si les classements qu'il effectue satisfont un certain nombre d'axiomes dont les plus emblématiques sont la complétude⁵ et la transitivité⁶.

4. Panier de biens : combinaison de biens

5. Une relation de préférence est complète si l'individu est capable de comparer et ordonner tous les biens et services

6. Une relation de préférence est transitive si : lorsque le bien A est préféré au bien B, et le

Le concept de *valeur économique totale* (VET), utilisé dans les analyses coûts-bénéfices, distingue les différents types de valeurs qui en théorie, une fois sommées, représentent la valeur économique totale d'un bien ou service. L'application du concept de valeur économique totale est fortement critiquable en raison de l'insuffisance des valeurs sommées et de l'hétérogénéité des méthodes d'évaluation qui doivent être employées. Ce concept a cependant l'avantage de présenter une classification des types valeurs qui fait office de référence et permet d'identifier les méthodes d'évaluation appropriées. La valeur économique totale intègre les valeurs associées à la consommation d'un bien/service, appelées *valeurs d'usages*, mais aussi des valeurs associées à un bien/service indépendantes de la consommation des individus, appelées *valeurs de non-usage*. La consommation d'un bien/service est associée à un marché mais, en l'absence de consommation, la valeur du bien/service n'est pas estimable au regard des marchés existants. Par ailleurs, la valeur peut se référer à l'opportunité de consommer le bien/service dans le futur, on parle alors de *valeur d'option*. Ainsi, le concept de valeur économique totale classe les valeurs en deux grandes catégories : les valeurs d'usage et les valeurs de non-usage. Dans cette classification, la catégorie *valeur d'option* est tantôt représentée au même niveau que les valeurs d'usage et de non-usage, tantôt dans la catégorie des valeurs d'usage, sans que cela ne perturbe fondamentalement l'utilisation du concept.

Les valeurs d'usage se déclinent en valeurs d'usages directs, en valeurs d'usage indirectes et en valeurs d'option pour un usage futur. Les usages directs sont la consommation directe des ressources de l'écosystème ou l'interaction *in situ* avec l'écosystème. Les valeurs d'usage indirects sont associées aux services écologiques maintenant un environnement favorable à la vie humaine, comme par exemple la régulation du climat par le piégeage de carbone. Parmi les valeurs de non-usage, on distingue la valeur de legs, associée à la volonté de transmettre un patrimoine aux générations futures, et la valeur d'existence, associée à des espèces/habitats apportant une satisfaction par le simple fait de leur existence.

Les économistes ont développé des méthodes d'évaluation adaptées au type

bien B est préféré au bien C, alors A est préféré à C

de valeur à estimer. Le schéma 0.5 représente une façon de classer les différents types de valeurs associées à un bien environnemental et les méthodes d'évaluation économique appropriées. Pour mon étude j'ai utilisé la méthode des choix discrets (MCD) car elle permet d'évaluer tous types de valeurs et permet d'évaluer, en valeurs relatives, plusieurs bénéfices fournis par l'écosystème. L'autre méthode permettant d'évaluer tous types de valeurs par une approche de préférences déclarées est la méthode d'évaluation contingente, mais celle-ci ne permet d'évaluer les bénéfices d'un écosystème que dans leur ensemble, sans distinction ni classement possible.

0.2.2. Les préférences et le consentement-à-payer (CAP)

L'approche économique classique suppose que la société est composée d'*homo economicus* (MCFADDEN 1982) : individus qui cherchent à maximiser leur utilité et font des choix rationnels en conséquence. L'évaluation économique d'un bien environnemental consiste à mesurer les préférences individuelles des "individus-utilisateurs" pour les biens et services dont ils jouissent. Techniquement cette évaluation nécessite d'observer les choix individuels réalisés en différentes situations induisant des variations de disponibilité ou de qualité du bien à évaluer. Ce qu'on peut évaluer économiquement ce n'est pas la valeur du bien environnemental, mais la valeur de l'utilité que l'homme en retire. L'évaluation économique peut être appliquée tant que l'individu a un consentement à donner ou à recevoir correspondant à la variation nette de bien-être que lui procure la variation de qualité ou de disponibilité du bien environnemental en question.

Les valeurs d'usage et de non-usage associées aux préférences individuelles peuvent être mesurées en termes de *consentement-à-payer* (CAP). Le CAP est défini comme la somme monétaire maximale qu'un individu est prêt à payer pour acquérir ou disposer d'un bien ou d'un service. C'est un moyen d'exprimer la valeur sur une échelle de transaction dont l'unité est une monnaie. Le CAP est une valeur positive ou nulle en unité monétaire. Une autre façon de traiter le problème est d'utiliser le *consentement-à-recevoir* (CAR) en compensation d'une perte d'utilité liée à une dégradation du bien environnemental, mais cette approche est éthiquement moins recevable et mathématiquement plus complexe

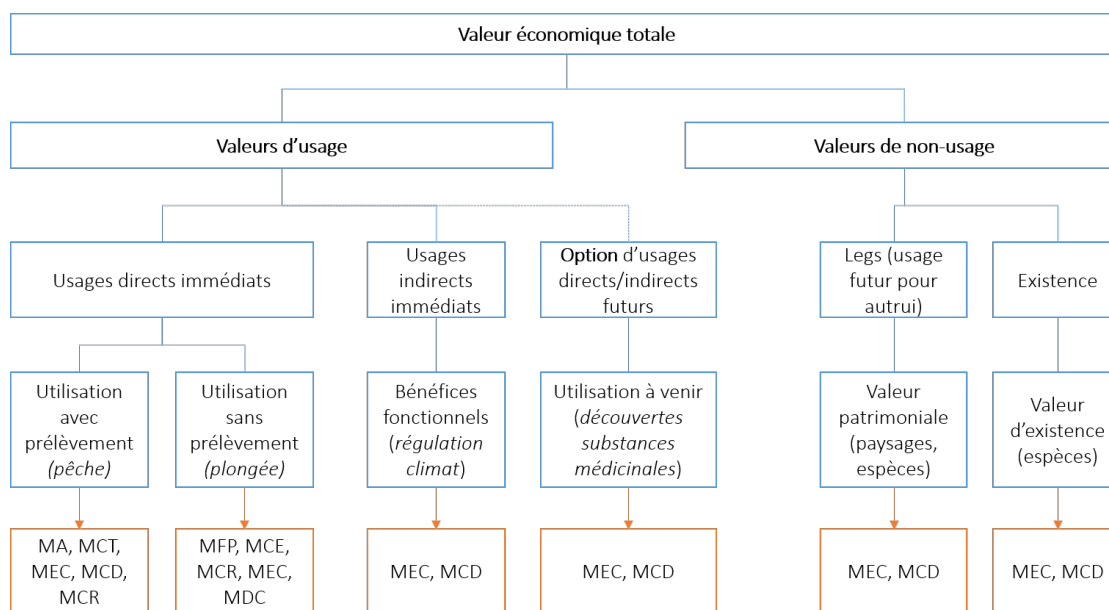


Figure 0.5. – Valeur économique totale des écosystèmes et méthodes d'évaluation économique. Inspiré de Foley et al. (2010).

En bleu : les types de valeurs ; en orange : les méthodes d'évaluation économique

- MA : méthode de marché
- MCT : méthode des coûts de transport
- MEC : méthode d'évaluation contingente
- MCD : méthode des choix discrets
- MCR : méthode des coûts de remplacements
- MFP : méthode des fonctions productives
- MCE : méthode des coûts évités

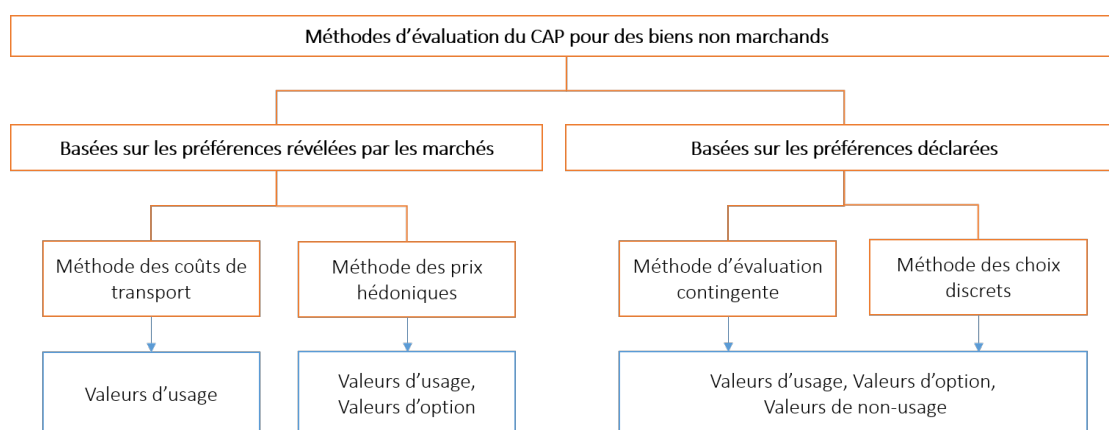


Figure 0.6. – Méthodes d'évaluation économique des biens non-marchands et les types de valeur économique qu'elles peuvent mesurer. Inspiré de Kjær (2005).

car elle n'est pas bornée (contrairement au CAP qui est naturellement borné par le revenu). Des études montrent que pour un même bien environnemental, le CAP et le CAR peuvent être différents à cause d'effets de substitution, de peur de la perte, d'incertitude et d'apprentissage (TVERSKY et al. 1991 ; ZHAO et al. 2001). Les économistes s'accordent à penser que le CAP est une mesure plus fiable que le CAR (ARROW et al. 1993).

0.2.3. Les méthodes d'évaluation du CAP

Il existe deux approches pour estimer le CAP. La première consiste à observer les choix réalisés via des marchés existant : c'est l'approche des *préférences révélées* par les marchés. La seconde consiste à demander directement aux individus de faire des choix entre différentes situations induisant une variation du bien à évaluer : c'est l'approche des *préférences déclarées*. Cette approche consiste à inférer les préférences des individus à partir de l'expression de choix qu'ils effectuent dans des situations de marchés hypothétiques qui leur sont proposées (HANLEY et BARBIER 2009). De ces deux approches découlent deux grandes familles de méthodes d'évaluation économique.

Les deux approches peuvent être complémentaires, mais l'approche des préférences révélées par les marchés est insuffisante pour évaluer les valeurs de non-usage associées à un bien environnemental. En effet il n'existe pas de marché pour tous les services rendus par un bien environnemental. Par ailleurs l'approche par les préférences révélées par les marchés nécessite de disposer de données de consommation pour les marchés concernés.

0.3. Les services écosystémiques et l'évaluation économique des écosystèmes marins

Les écosystèmes marins sont parmi les plus exploités de la planète. Les zones côtières représentent seulement 4% des surfaces terrestres et 11% des surfaces marines mais accueillent plus d'un tiers de la population mondiale (BARBIER 2017). Du fait que les mers et les océans sont moins visibles et accessibles à

l'Homme que les territoires terrestres, les études sont souvent tournées en priorités vers les territoires terrestres. Les études portant sur les services écosystémiques n'ont pas fait exception et ont d'abord eu pour objets des écosystèmes terrestres. Les écosystèmes marins se distinguent par le fait qu'ils sont souvent moins étudiés et aussi moins connus du grand public, entre autres parce qu'ils sont moins accessibles donc moins fréquentés. Par ailleurs les écosystèmes marins ont des frontières plus fluides que les systèmes terrestres, ce qui rend les flux de services difficiles à cartographier (JOBSTVOGT et al. 2014). Ces particularités par rapport aux écosystèmes terrestres compliquent l'étude et l'évaluation des services écosystémiques marins.

Par ailleurs, en terme de gestion, les écosystèmes marins posent le problème de la juridiction. Les États sont juridiquement compétents dans leurs Zones Économiques Exclusives (ZEE), qui s'étendent sur le plateau continental généralement jusqu'à 200 milles nautiques des côtes. La Convention des Nations Unies sur le Droit de la mer de 1982 définit les droits et responsabilités des États sur l'océan mondial. L'Autorité Internationale des Fonds Marins est compétente pour la gestion des ressources en dehors des territoires étatiques. Cependant une grande part de l'océan n'est pas sous juridiction, la colonne d'eau et le plancher océanique notamment.

Certaines politiques intègrent le concept de service écosystémique. Au sein de l'Union européenne, les États membres doivent depuis 2008 se conformer à la Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) qui affirme, dans son article 1.3, que *la gestion des activités humaines doit permettre l'utilisation durable des biens et des services marins par les générations actuelles et à venir*. La DCSMM utilise le concept de services écosystémiques pour promouvoir une gestion intégrée des écosystèmes marins : les protéger dans le but de garantir leurs fonctions écologiques et ainsi les services qu'ils produisent.

0.4. Les habitats coralligènes

Les habitats coralligènes, couramment regroupés sous le nom de "le coralligène", sont des biocénoses⁷ benthiques que l'on ne trouve qu'en Méditerranée (E. BALLESTEROS 2006). Parmi les zones marines, la mer Méditerranée se distingue comme point chaud de biodiversité⁸. Elle contient environ 18% de la biodiversité marine connue (BIANCHI et al. 2000 ; COLL et al. 2010) soit environ 17 000 espèces alors qu'elle ne couvre que 0,8% de la superficie marine mondiale (DEFANT 1961). Parmi les habitats marins méditerranéens, le coralligène est un des plus grands contributeurs de cette biodiversité.

Les premières recherches sur le coralligène sont attribuées à MARION (1883), chercheur en biologie marine à la Station Marine d'Endoume à Marseille. Cet historique fait que le coralligène de Marseille est considéré comme le coralligène typique, dont l'observation a abouti à la définition actuelle. Il en résulte également que Marseille est un des secteurs où le coralligène est le plus étudié. Au temps de Marion, la technologie ne permettait pas encore de plonger sur le coralligène ; il a donc été décrit d'abord à partir de ce que les pêcheurs remontaient à l'aide de leurs engins de pêche. Avec le développement du matériel d'investigation sous-marine, le coralligène a pu être étudié *in situ*, par échantillonnage et images.

Le terme *coralligène* a été proposé par MARION (1883) pour décrire les fonds durs bioconcrétionnés de Méditerranée que les pêcheurs de Marseille appelaient *broundo* (E. BALLESTEROS 2006). D'après Marion, *coralligène* signifie *producteur de corail* en référence au corail rouge (*Corallium rubrum*) qu'il abrite. Le terme suscite actuellement une polémique car le faciès⁹ à corail rouge n'est que l'un des faciès possibles du coralligène (UNEP/MAP-RAC/SPA 2008). D'après la définition actuelle, le coralligène est défini avant tout par la présence d'un bio-

7. En écologie, la biocénose est l'ensemble des êtres vivants coexistant dans un espace écologique donné, plus leurs organisations et interactions. Ensemble, le biotope et la biocénose forment un écosystème

8. Point chaud de biodiversité (biodiversity hotspot) : Zones géographiques avec une forte concentration d'espèces endémiques (espèces qui ne sont trouvées nulle part ailleurs) et qui subissent de grandes pertes d'habitats naturels (N. MYERS 1988)

9. En écologie, le faciès désigne la physionomie particulière présentée par une association d'espèces en une station où domine une espèce.

concrétionnement de Corallinacées¹⁰. Le terme *coralligène* peut alors plutôt faire référence à ces Corallinacées. Bien qu'assez trompeur, le terme *coralligène* reste couramment employé par habitude ou commodité. Le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) y fait d'ailleurs encore référence dans l'inventaire national du patrimoine naturel qui fait office de référentiel des habitats. Les termes *coralligène* et *habitats coralligènes* sont donc des synonymes. L'emploi des termes *habitats coralligènes* souligne la diversité des faciès coralligènes, mais l'emploi des termes *le coralligène* est souvent privilégié par commodité.

0.4.1. Définition et description

Le coralligène est un fond dur d'origine biogénique principalement produit par l'accumulation et le concrétionnement de corallinacées vivant dans des conditions de luminosité réduite (E. BALLESTEROS 2006). Cette définition fait actuellement référence.

Les chercheurs impliqués dans le programme de recherche CIGESMED¹¹ ont proposé récemment une version soulignant la richesse taxonomique et l'endémisme méditerranéen : *récif bioconstruits principalement par des algues calcaires corallinacées sur des substrats durs en condition de luminosité réduite, qui se développent sur les côtes méditerranéennes. Ils sont considérés comme point chaud de biodiversité, abritant de nombreuses espèces sessiles et sédentaires notamment des éponges, bryozoaires, coraux, gorgonaires* (www.cigesmed.eu).

Le coralligène est qualifié d'habitat car il est constitué d'espèces sessiles qui fournissent des abris et de la nourriture pour de multiples espèces. Le coralligène est très variable en communautés d'espèces qui le constituent et en morphologies (inclinaison, rugosité, épaisseur du bio-concrétionnement) c'est pourquoi on parle souvent d'habitats coralligènes au pluriel que l'on décline en plusieurs faciès.

Le coralligène est répertorié dans la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée officielle de l'inventaire national du patrimoine naturel sous le

10. Les Corallinacées représentent une famille d'algues rouges de l'ordre des Corallinales.

11. CIGESMED : programme sur les indicateurs basés sur les habitats coralligènes pour évaluer et surveiller le "bon état écologique" des eaux côtières méditerranéennes.

code 1170-14. Le coralligène présente deux morphologies principales : les bancs (ou plateau) et les affleurements (ou paroi). Le coralligène en banc est plus ou moins horizontal, peut présenter les bio-concrétionnements les plus épais (jusque 4 mètres) et a souvent une structure très caverneuse (LABOREL 1961). Le coralligène d’affleurement est dans la partie extérieur des grottes marines et sur des falaises verticales (tombants), généralement dans des profondeurs moindre que les bancs et avec des bio-concrétionnements moins épais (2 mètres maximum) (LABOREL 1961). Le coralligène de Marseille, dont il est question dans ce travail, est un coralligène d’affleurements, généralement distribué sur de larges surfaces de tombants (voir figure 0.8).

La typologie des habitats (MNHN 2017) distingue ces deux grands types de coralligène (bancs et affleurements) et distingue pour le coralligène d’affleurement des associations (domination de plusieurs espèces) et des faciès (domination d’une espèce) souvent observés :

- IV.3.1. - Biocénose coralligène (de paroi)
 - IV.3.1.a. - Association à *Cystoseira zosteroides* (Syn. *C. opuntoides*)
 - IV.3.1.b. - Association à *Sargassum spp.*
 - IV.3.1.c. - Association à *Laminaria rodriguezii* sur roche
 - IV.3.1.d. - Association à *Flabellia petiolata* et *Peyssonnelia squamaria* (présent à Marseille)
 - IV.3.1.e. - Association à *Halymenia floresii* et *Halarachnion ligulatum*
 - IV.3.1.f. - Association à *Rodriguezella spp.*
 - IV.3.1.g. - Association à *Lithophyllum spp.* et *Mesophyllum spp.*
 - IV.3.1.h. - Faciès à *Eunicella cavolini* (présent à Marseille)
 - IV.3.1.i. - Faciès à *Eunicella singularis* (présent à Marseille)
 - IV.3.1.j. - Faciès à *Leptogorgia sarmentosa*
 - IV.3.1.k. - Faciès à *Paramuricea clavata* (présent à Marseille)
 - IV.3.1.l. - Faciès à *Parazoanthus axinellae* (présent à Marseille)
- IV.3.2. - Biocénose coralligène de plateau

La figure 0.7 présente certaines de ces espèces présentes à Marseille.

Le coralligène est le seul récif calcaire d’origine biogène¹² en Méditerranée.

12. Biogène : construit par une activité biologique

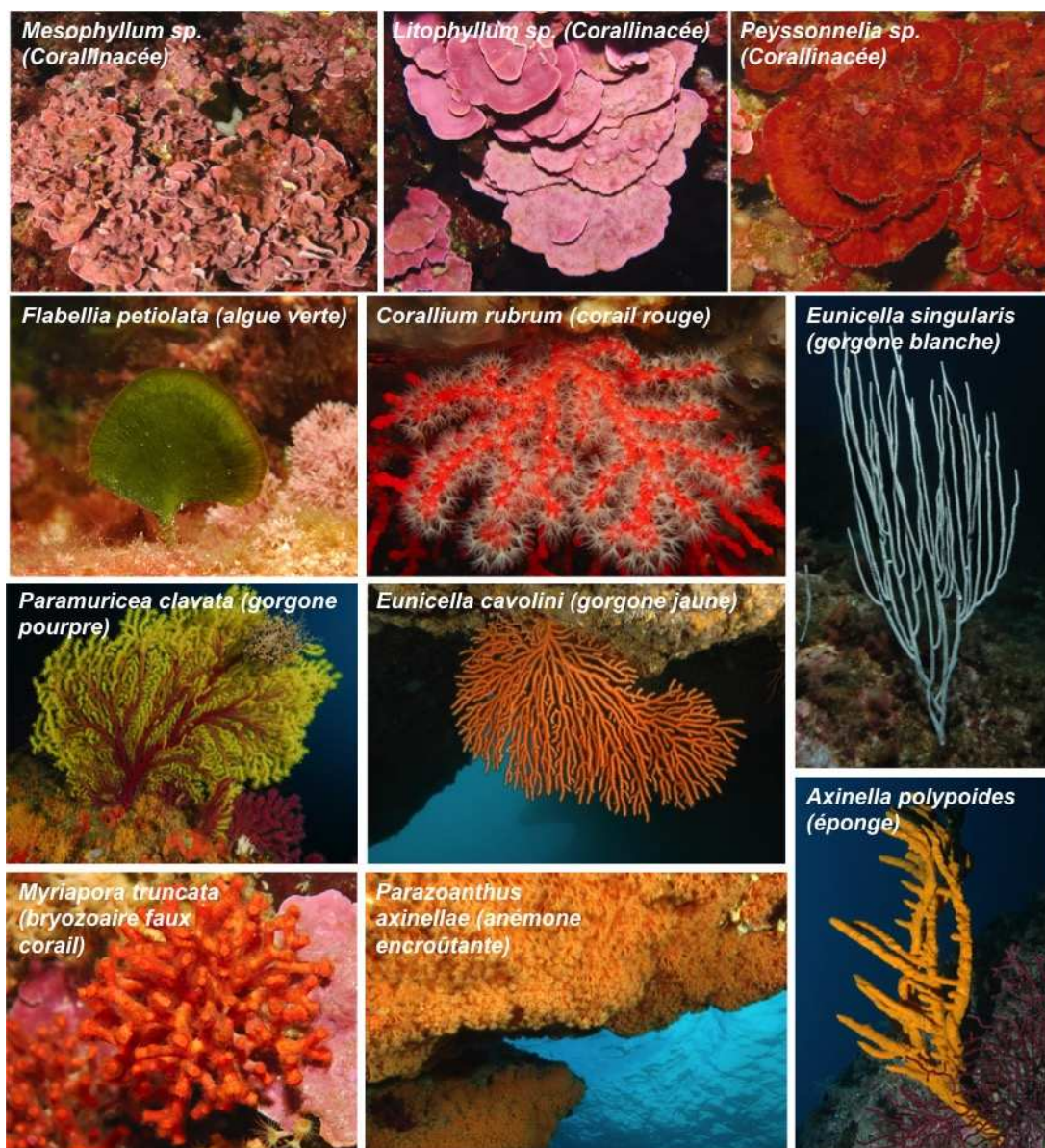


Figure 0.7. – Exemple d'espèces sessiles du coralligène dans la région de Marseille
©Frédéric Zuberer et Dorian Guillemain.



Figure 0.8. – Habitats coralligènes de Marseille
©Frédéric Zuberer et Dorian Guillemain.

née. Le développement des bio-concrétionnements résulte essentiellement de l'accumulation d'algues rouges calcaires (corallinacées), dont la vitesse est estimée entre 1 et 4 mm/an dans le bassin Nord-Méditerranéen où les études ont été menées (LABOREL 1961; LAUBIER 1966; SARTORETTO 1996; E. BALLESTEROS 2006). En plus des algues calcaires, des animaux bio-constructeurs participent à la formation du bio-concrétionnement par leur constitution calcaire, parmi lesquels des bryozoaires, des serpulidés, des anthozoaires, des foraminifères, des éponges, des crustacés (HONG 1980; GILI et al. 1985). Les bio-concrétionnements ont en moyenne entre 25 et 200 ans (GARRABOU et E. BALLESTEROS 2000; TEIXIDÓ et al. 2011) et ont une épaisseur comprise entre quelques millimètres et quelques mètres (E. BALLESTEROS 2006). Le coralligène est un habitat dynamique. Certaines espèces sont impliquées dans la construction du bio-concrétionnement ou dans la structure paysagère. D'autres espèces érodent et creusent des galeries dans le bio-concrétionnement. Les principales Corallinacées responsables du bio-concrétionnement sont des genres *Lithophyllum*, *Mesophyllum* et *Peyssonnelia*. Parmi les animaux sessiles participants à la structure, de nombreuses espèces de bryozoaires et de serpulidés polychètes sont impliquées. Parmi les macro bio-érodeurs, l'éponge *Cliona viridis*, le bivalve *Lithophaga lithophaga* et divers annelidés sont les plus actifs. Ainsi le développement des bio-concrétionnements coralligènes, déjà lents, sont ralentis par l'action érodeuse de certains organismes. Mais cette action a aussi pour effet de complexifier la structure des bio-concrétionnements. Ainsi, l'endofaune¹³ des bio-concrétionnements peut être riche en espèces : par exemple, dans 370 grammes de poids sec de bio-concrétionnements coralligènes du Sud de l'Espagne 903 espèces ont été trouvées par Garcia-Raso en 1988 (E. BALLESTEROS 2006). La dynamique du coralligène et la diversité des espèces qui le constituent en font un habitat très complexe et en trois dimensions, avec des cavités dont la taille varie entre 2 mètres et l'infiniment petit. Des études récentes montrent que la variabilité de la composition en espèces est très forte à petite échelle dans le coralligène (à quelques mètres près)

Le coralligène est considéré comme l'un des habitats marins de Méditerranée les plus riches en espèces, avec au moins 1666 espèces recensées dans la revue

13. Endofaune : faune vivant enfouie dans le substrat

de littérature de E. BALLESTEROS (2006). La figure 0.9 présente le nombre d'espèces recensées dans le coralligène par groupe taxonomique. En plus de cette diversité taxonomique, le coralligène a de hauts niveaux de diversité fonctionnelle¹⁴ et de diversité phylogénétique¹⁵ (HOLON 2015). L'inventaire des espèces constituant les habitats coralligènes et des espèces associées est toujours en cours. De nouvelles espèces sont découvertes en particulier des espèces cryptiques (non différenciables à l'œil nu) grâce à l'utilisation des méthodes moléculaires.

C'est dans le Nord de la Méditerranée (le Nord-Ouest surtout) que le coralligène est le plus étudié. A l'Est et au Sud de la Méditerranée, les études sont rares, donc la cartographie et les descriptions de coralligène dans ces zones sont très incomplètes. La figure ?? présente une modélisation cartographique de la présence de coralligène en Méditerranée. Pour la zone côtière française, il existe une cartographie fine (résolution de 20 mètres) des habitats marins réalisée en depuis 2014 (CARTHAM). Cette cartographie estime la surface de coralligène à 2661 hectares "aplatis" sur une carte en deux dimensions et 2932 hectares en prenant en compte la verticalité (HOLON 2015). Mais cette surface ne prend pas en compte la structure 3D complexe des habitats coralligènes.

D'après les études comparatives de coralligène menées en France, Grèce et Turquie dans le cadre du programme Cigesmed (ARVANITIDIS et al. 2016), le coralligène dans ces trois pays serait différent en terme de faciès et de couverture surfacique. Dans les sites d'études de France par exemple, le coralligène couvre de larges surfaces et les faciès à *Paramuricea clavata* (gorgone pourpre) est très présent. En Grèce le coralligène est plus morcelé et les éponges sont fortement représentées. En France le coralligène est présent notamment autour de Marseille, Hyères (Port-Cros), Banyuls et en Corse.

Le coralligène a été observé dans sa limite supérieure entre 12 et 50 mètres de profondeur et dans sa limite inférieure entre 40-120 mètres de profondeur. La tranche de profondeur où on peut l'observer dépend de la transparence de l'eau, laquelle détermine les conditions de luminosité en profondeur. A Marseille, on

14. Diversité fonctionnelle : diversité des fonctions/rôles écologiques

15. Diversité phylogénétique : diversité relative aux liens de parenté entre taxons

Groupe	Totaux	Références
Algues	315	1
Protozoaires	61	2,3
Eponges	142	2,3,4,5,6,7
Hydrozoaires	55	2,4,5,8
Anthozoaires	43	2,4,5,6,19
Scyphozoaires	1	2,3
Turbellariens	3	2,3
Nemertéans	12	2
Polychètes	191	9
Sipunculidés	3	2,3
Echiuridés	2	2
Chitons	7	3
Prosobranches	61	3
Opistobranches	33	3
Bivalves	41	3
Céphalopodes	3	6
Mites	6	2
Pycnogonidés	15	3
Copepodes	54	2
Ostracodes	10	2
Cirripèdes	3	2,3
Phyllocaridés	1	3
Mysidés	7	3
Cumacéaires	3	2,3
Tanaïdés	2	2,3
Isopodes	14	2,3
Amphipodes	100	10
Décapodes	56	11,12
Brachiopodes	8	13
Pterobranches	1	2
Bryozoaires	171	14
Crinoïdes	2	15
Ophiuroïdés	17	2,15
Echinoïdés	14	2,3,4,5,6,15,16
Astéroïdés	8	2,15,16
Holoturioidés	9	2,3,4,5,6,15,16
Tuniciers	82	17
Poissons	110	18,19

Références

- | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 1 Boudouresque (1973) | 7 Rosell & Uriz (2002) | 14 Zabala (1986) |
| 2 Laubier (1966) | 8 Llobet et al. (1991a) | 15 Tortonese (1965) |
| 3 Hong (1980) | 9 Martin (1987) | 16 Munar (1993) |
| 4 Ros et al. (1984) | 10 Belan Santini (1998) | 17 Ramos (1991) |
| 5 Ballesteros et al. (1993) | 11 Garcia Raso (1988) | 18 Whitehead et al. (1984/86) |
| 6 Ballesteros & Tomas (1999) | 12 Garcia Raso (1989) | 19 Ballesteros (unpublished data) |
| | 13 Logan (1979) | |

Figure 0.9. – Nombre d'espèces recensées dans le coralligène par groupe taxonomique (E. Ballesteros 2006)

Les références sont codées par des chiffres et détaillées sous le tableau.

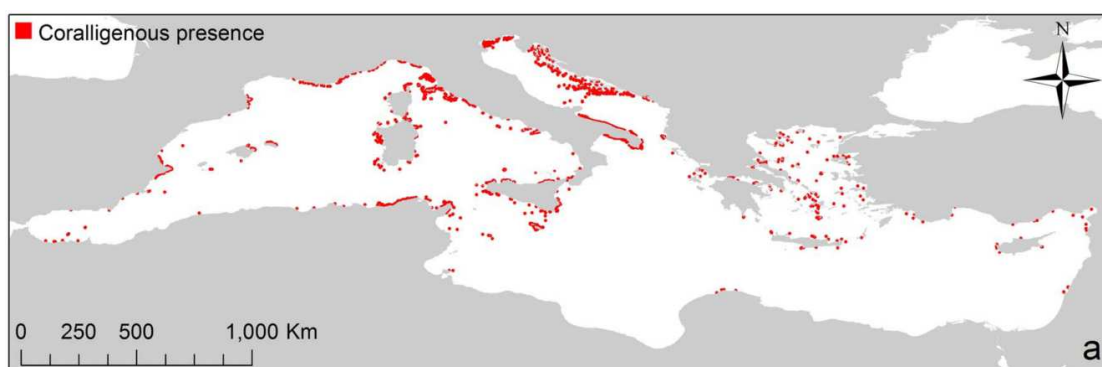


Figure 0.10. – Cartographie d’observations d’habitats coralligènes
(C. S. MARTIN et al. 2014)

peut l’observer dès les 12 mètres de profondeur, mais le coralligène typique est généralement dans l’étage¹⁶ circalittoral, qui commence vers les 35 mètres et descend bien plus en profondeur. La figure 0.11 présente le positionnement du coralligène dans l’étagement des biotopes. La côte de Marseille et ses alentours est l’un des endroits où le coralligène est le plus proche de la surface car l’eau y est plus turbide¹⁷ qu’ailleurs en Méditerranée.

0.4.2. Activités humaines

Les activités humaines pratiquées sur le coralligène se résument essentiellement à la pêche et la plongée. On distingue nettement la pratique professionnelle et la pratique récréative de ces deux activités.

La pratique de la pêche récréative est peu encadrée et les moyens de surveillance sont faibles. Bien qu’il n’existe pas de données sur les pêches et les impacts des pêcheurs plaisanciers, la surveillance menée par le Parc marin de la Côte Bleue estime que les quantités pêchées par les plaisanciers pourraient représenter 50% des quantités pêchées sur l’année. Cela serait dû en grande partie au fait que les pêcheurs plaisanciers sont bien plus nombreux que les pêcheurs professionnels : des centaines de plaisanciers occasionnels face à une quinzaine

16. En océanographie, un étage est une zone bathymétrique (tranche de profondeur) littorale marquée par des types de peuplements benthiques, depuis le haut de la zone d’influence des embruns jusqu’à la fin du plateau continental

17. La turbidité désigne la teneur d’un fluide en matières qui le troublent

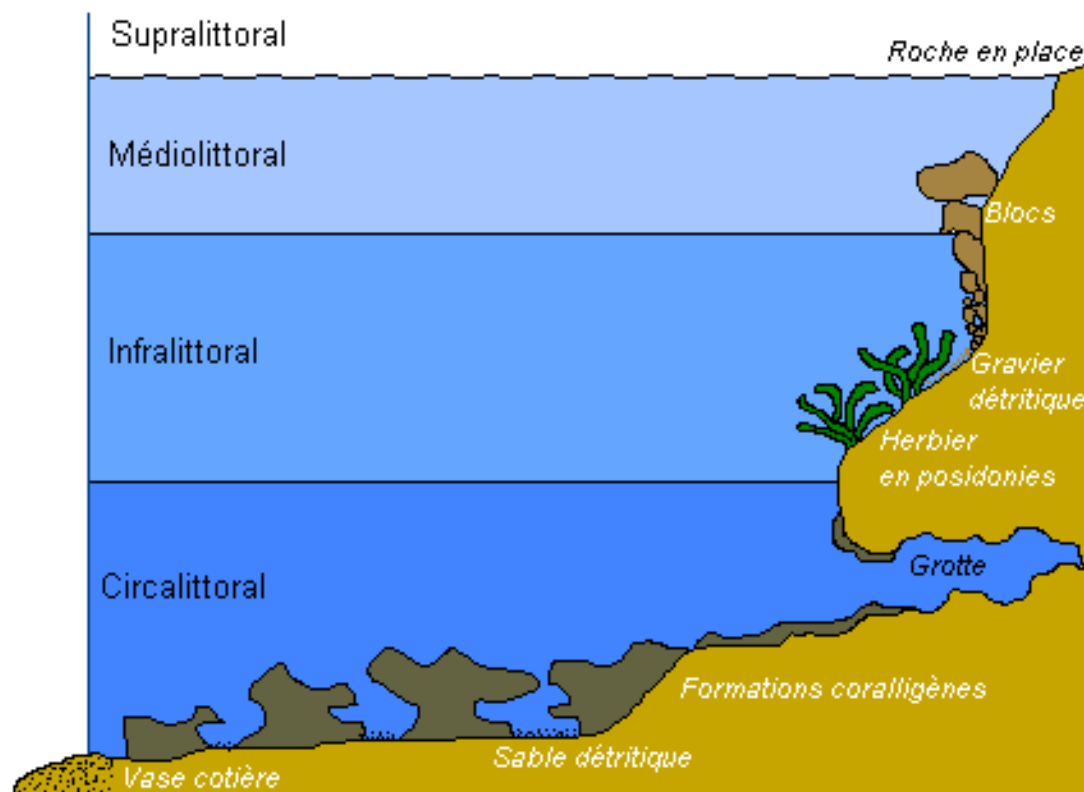


Figure 0.11. – Les étagements de biotopes en Méditerranée
(source : ilesmedes.chez-alice.fr)

de pêcheurs professionnels actifs dans le secteur de la Côte Bleue. La pêche pratiquée sur le coralligène de paroi est dite "aux petits métiers", c'est à dire avec des petits engins de pêche (filets trémail ou maillant, palangre, casiers) et sur des bateaux de moins de 12 mètres de long. Cette pêche est artisanale et pratiquée à petite échelle.

Par ailleurs les habitats coralligènes sont reconnus pour leur qualité esthétique, ce qui attirent les visiteurs en plongée subaquatique. La récente étude de TRIBOT et al. (2016) montre que, confrontés à un paysage coralligène, les gens préfèrent les organismes de type arbustif, aux couleurs vives et présentant des contrastes intenses. Il n'y a actuellement pas de données précises sur la fréquentation des sites de plongées, mais des estimations de fréquentation sont réalisées dans les aires marines protégées telles que le parc national des Calanques et le parc national de Port-Cros. Les plongeurs professionnels fréquentant le coralligène, hors encadrants de plongée loisir et hors corailleurs, sont essentiellement des scientifiques qui essaient de minimiser leur propre impact. La plongée récréative est limitée au 60 premiers mètres de profondeurs. La plongée professionnelle se limite souvent à cette profondeur également sauf pour les corailleurs qui, au contraire, doivent chercher du corail au delà de 50 mètres de profondeur.

0.4.3. Pressions

Le coralligène est soumis à des pressions d'origines anthropiques ou naturelles : la pollution transitant par les eaux usées et les fleuves, la sédimentation, les dommages mécaniques induits par des engins de pêches, des ancres ou des coups donnés par des plongeurs, les invasions biologiques, les anomalies de température prolongées.

La pêche au chalut de fond cause d'importants dégâts sur les communautés benthiques, mais cette pratique ne concerne pas le coralligène de paroi, sauf pour la mise en suspension qu'elle peut générer dans les alentours directs. La pêche au corail rouge était très destructrice du temps où la croix de Saint André était utilisée pour arracher le corail au substrat, emportant d'énormes quantités d'organismes benthiques et détruisant les fonds. Par ailleurs le corail rouge a été

sur-pêché, mais de nos jours la pêche est moins impactante car elle se pratique en plongée et le corail est collecté *in situ* par le plongeur qui prélève uniquement la branche ciblée au moyen d'une marteline (sorte de marteau).

La plongée de loisir impacte le coralligène par des dommages physiques de type casse ou dérangement d'individus et mise en suspension des sédiments qui, par leur effet de recouvrement, empêche le développement des espèces.

Des études ont montré des dommages physiques sur des gorgones, bryozoaires, ascidies et poissons (LINARES et al. 2005 ; SALA et al. 1996 ; LUNA-PÉREZ et al. 2010 ; NARANJO et al. 1996 ; MILAZZO et al. 2006).

Enfin l'homme est à l'origine d'introduction d'espèces nouvelles via le trafic maritime (échanges des eaux de ballast et accrochage sur les coques), l'aquaculture en eau libre, les aquariums (rejets), et les connections artificielles comme le canal de Suez. Parmi les espèces introduites, certaines algues ont envahi le coralligène ces dernières années et le menacent : *Womersleyella setacea* (E. BALLESTEROS 1998 ; L. PIAZZI et al. 2002), *Caulerpa cylindracea* (MEINESZ 1999), *Caulerpa racemosa*, *Asparagopsis taxiformis* (E. BALLESTEROS et RODRIGUEZ-PRIETO 1996).

Les travaux de HONG montrent que dans les zones soumises à des rejets d'eaux usées, le coralligène est moins riche en espèces et en nombre d'individus et les espèces bio-érosives sont favorisées (HONG 1980 ; HONG 1982 ; HONG 1983). Par ailleurs, SIMKISS (1964) a montré que les ions orthophosphates présents dans des engrais pouvaient empêcher la calcification. Pour le coralligène cela signifie la fin de son développement.

Le processus de calcification du coralligène, seule formation calcaire d'origine biogénique de Méditerranée (E. BALLESTEROS 2006), est également sensible à l'acidification de la mer (S. MARTIN, COHU et al. 2013 ; NOISETTE 2013). Depuis, le milieu du 18^{ème} siècle la concentration en CO_2 atmosphérique n'a cessé d'augmenter, ce qui a entraîné une augmentation de la pCO_2 ¹⁸ en surface des océans. L'absorption de CO_2 par une mer augmente sa concentration en ions HCO_3^- et

18. pCO_2 : pression partielle en CO_2

en ions H^+ . L'augmentation en ions H^+ implique une diminution de pH¹⁹. C'est le phénomène d'acidification des océans. Par ailleurs, une partie des ions H^+ se combine aux ions CO_3^{2-} présents dans l'eau de mer pour se transformer en ions HCO_3^- , limitant le phénomène d'acidification. Cependant cet effet tampon des ions carbonates réduit la disponibilité des ions CO_3^{2-} . Or les Corallinacées utilisent le carbone inorganique dissous (HCO_3^- ; CO_3^{2-} ; CO_2) dans les processus de photosynthèse et de calcification. Elles précipitent du carbonate de calcium ($CaCO_3$) pour former leur thalle²⁰ calcaire qui leur confère un squelette solide, résistant aux brouteurs et à l'hydrodynamisme (NELSON et al. 2009). Mais l'acidification de la Méditerranée limite la calcification des Corallinacées (NOISETTE 2013).

Enfin, certaines espèces du coralligène, les organismes suspensivores comme les gorgones en particulier, sont particulièrement vulnérables aux anomalies thermiques prolongées. Cet effet a été observé en 1999 lors d'une anomalie thermique positive de plus d'un mois en Méditerranée (BEN MUSTAPHA et al. 2001 ; PEREZ et al. 2000 ; ROMANO et al. 2000 ; GARRABOU et J. G. HARMELIN 2002).

La capacité de résilience du coralligène à ces pressions est encore relativement peu connue. Cependant l'extrême lenteur de croissance des espèces constructrices du coralligène, le fait que l'équilibre dynamique entre les processus de construction et d'érosion soit sensible aux changements environnementaux (CERRANO et al. 2001 ; GARRABOU et E. BALLESTEROS 2000 ; SARTORETTO et FRANCOUR 1997 ; TEIXIDÓ et al. 2011) en font des habitats non aptes à une régénération rapide, donc particulièrement vulnérables. Cette caractéristique est un élément essentiel à prendre en compte dans la gestion des habitats coralligènes et dans leur évaluation économique, en particulier lors de l'étude de la valeur d'existence. Par ailleurs le coralligène se trouve sur les côtes, à proximité des activités humaines et donc particulièrement sujet aux pressions anthropiques liées aux usages et aux rejets côtiers.

19. potentiel hydrogène, noté pH : mesure de l'activité chimique des ions H^+ (appelés aussi couramment hydrons, protons ou ions hydrogène) en solution.

20. Thalle : corps végétatif non différencié de certains organismes non mobiles (végétaux, champignons, lichens, algues)

0.4.4. Conservation et surveillance

Le coralligène est reconnu d'intérêt communautaire, étant inscrit dans la directive « Habitats/Faune/Flore » 92/43/CEE et une évolution de son statut en habitat prioritaire est envisagée. Les états signataires de la convention de Barcelone (UNEP/MAP-RAC/SPA 2008) se sont engagés à le protéger. Cependant il n'y a actuellement pas d'outil réglementaire spécifique à la protection du coralligène. De plus, la part de coralligène intégrée dans des aires marines protégées est relativement faible (GIAKOUMI et al. 2013) et la distribution morcelée du coralligène le rend plus sensible à la fragmentation des habitats provoquée par l'Homme (L. PIAZZI, GENNARO et al. 2012).

Parmi les espèces du coralligène, certaines ont un statut de protection telles que le mérou brun, le corail rouge, l'oursin diadème, la grande cigale de mer

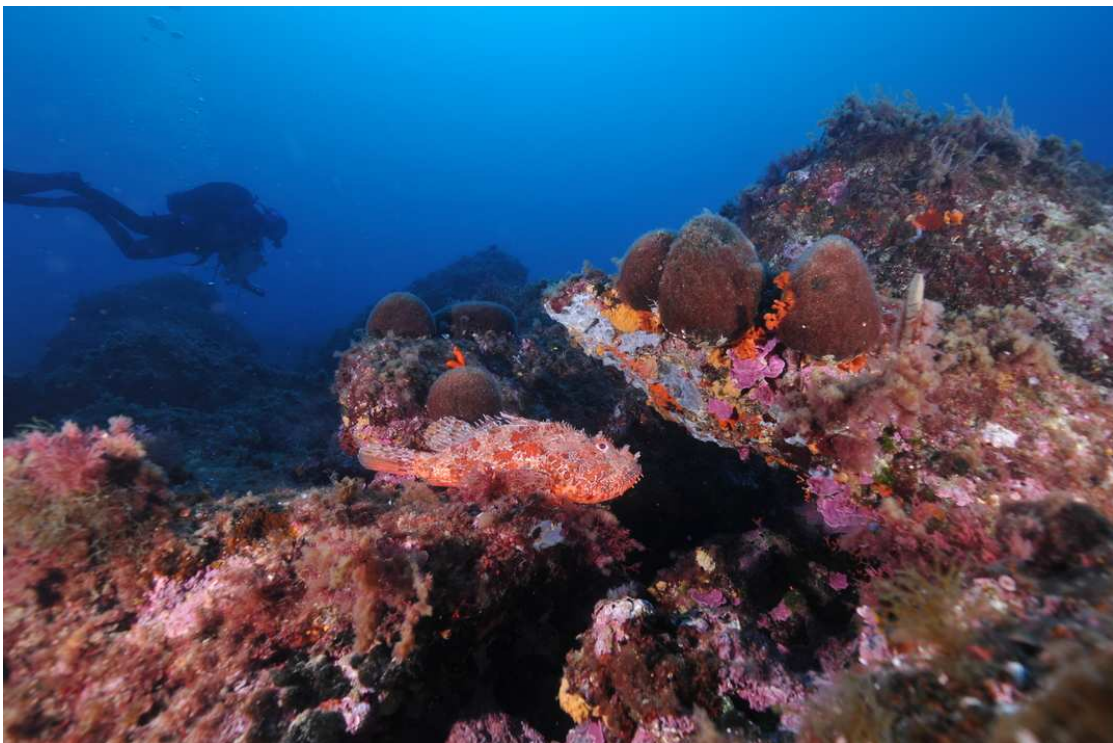
0.5. Problématique et objectifs

Le coralligène est reconnu d'intérêt communautaire, voire prioritaire et contribue grandement à la biodiversité marine de Méditerranée. Pourtant les services qu'il rend aux communautés humaines ne sont pas clairement identifiés ni évalués. Dans le contexte actuel de pressions qui le menacent, la mise en évidence des services rendus par le coralligène et de leur valeur économique pourrait constituer des arguments en faveur de sa préservation.

J'utilise le concept de services écosystémiques comme outil d'aide à la compréhension de la dépendance du bien-être humain du coralligène en me focalisant sur la région de Marseille, où le coralligène est typique et soumis à de fortes pressions anthropiques. Mon premier objectif est d'identifier et définir les services rendus par le coralligène. Je réponds à cet objectif dans les chapitres 1 et 2 : le premier traite de l'identification des services par le recensement des connaissances d'experts, le deuxième présente en détails les relations de dépendance du bien-être humain à l'encontre du coralligène. Mon deuxième objectif est de quantifier et évaluer l'importance du coralligène pour le bien-être humain. Je réponds à cet objectif dans les chapitres 3 et 4. Le chapitre 3 évalue l'importance du coralligène pour l'activité de plongée de loisir. Le chapitre 4 évalue les préférences

individuelles (à travers les consentements-à-payer) des personnes locales pour les services rendus par le coralligène, aboutissant ainsi à une hiérarchisation des services en fonction des préférences observées.

1. Application du concept de service écosystémique à une échelle locale : le cas des habitats coralligènes du Nord-Ouest de la Méditerranée.



Photographie prise par Dorian Guillemain à Moyade (Riou, Marseille)

Application du concept de service écosystémique à une échelle locale : le cas des habitats coralligènes du Nord-Ouest de la Méditerranée.

Ce chapitre correspond à un article soumis à *Marine Pollution Bulletin* pour publication et accepté sous réserve de modifications. Pour cette raison il est présenté en anglais.

Résumé

La compréhension des services fournis par les écosystèmes est essentielle pour soutenir l'utilisation durable et la préservation des écosystèmes. Les habitats coralligènes, principaux contributeurs de la biodiversité marine méditerranéenne, sont encore peu étudiés en termes de services fournis. Cette étude présente une approche originale à l'échelle locale pour étudier les services fournis par les habitats coralligènes de deux sites marins contrastés en terme de pression anthropique. Nos résultats sont basés sur les avis de 43 experts. Quinze services potentiellement fournis par les habitats coralligènes ont été soumis à l'avis des experts pour validation et classement selon leur importance pour le bien-être humain. D'après les experts, si les fonctions écologiques de support sont considérées comme des services écosystémiques alors c'est la catégorie de service la plus importante. Parmi les 3 catégories de services restantes, ce sont les services d'approvisionnement et les services culturels qui sont ensuite les plus importants. Les services de régulation sont l'objet d'un manque de connaissances. Malgré la différence de pression anthropique, notre étude n'a révélé que peu de différence dans la nature des services fournis. L'approche à l'échelle locale a mis en évidence le besoin d'un cadre référentiel pour déterminer l'existence de services : par exemple l'échelle géographique et temporelle, les types de bénéficiaires (*i.e.* domaine du loisir versus professionnel) et les caractéristiques des bénéficiaires (local ou global, directs ou indirects).

Application of the ecosystem service concept at a local-scale : the cases of coralligenous habitats in the North-western Mediterranean Sea.

Thierry de Ville d'Avray L.^{1,2}, Ami D.², Chenuil A.¹, David R.¹ & Féral J.-P.¹

1. Aix Marseille Univ, Univ Avignon, CNRS, IRD, IMBE UMR 7263, Marseille, France

2. Aix Marseille Univ, AMSE, CNRS, EHESS, Centrale Marseille, Marseille, France

Affiliations :

Aix Marseille Univ : Aix Marseille Université

AMSE : Aix-Marseille School of Economics

CNRS : Centre National de Recherche Scientifique

EHESS : Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales

IRD : Institut de Recherche et Développement

IMBE : Institut Méditerranéen de Biodiversité et Ecologie marine et continentale

Univ Avignon : Université d'Avignon

Acknowledgements :

The work of Laure Thierry de Ville d'Avray was supported by a grant from Aix-Marseille University. This work was also supported by the ERA-NET (SeasEra) through CIGESMED Program (contract ANR-12-SEAS-0001-01) and by the Observatoire Hommes-Milieu (OHM) littoral Méditerranée through EVACOR and EVACOR2 programs. We thank the three marine parks (parc marin de la Côte Bleue, parc national des Calanques, parc national de Port-Cros) for their logistic support and/or their help to identify the relevant local experts. We are very grateful to all the experts who shared their experience, and took the time to participate to the survey. We thank our colleagues who helped testing the questionnaire and in particular Thomas Schohn for his support to transcribe experts' speech.

Table des matières

1.1	Introduction	62
1.2	Materials and methods	64
1.2.1	Locations	64
1.2.2	Preliminary list of ecosystem services based on literature	65
1.2.3	Expert survey	67
1.2.4	Experts panel	70
1.2.5	Interviews	70
1.2.6	Questionnaire	71
1.2.7	Workshops	73
1.3	Results	74
1.3.1	Acceptance of ecosystem services	74
1.3.2	Importance and classification of the ecosystem services	74
1.3.3	Differences in ecosystem services offer among the locations (Marseille vs Port-Cros)	80
1.4	Discussion	81
1.5	Conclusion and perspectives	87

1.1. Introduction

Coralligenous habitats are considered to be some of the more complex marine habitats (PAOLI, MORTEN et al. 2016) and the 1666 species (at least) reported by E. BALLESTEROS (2006) contribute actively to the biodiversity of the Mediterranean Sea. Such great biodiversity and coastal location suggest that these habitats provide many ecosystem services. However, services from marine ecosystems are less studied than those of terrestrial ecosystems (BEAUMONT et al. 2007) and there is almost no literature dealing with ecosystem services provided by coralligenous habitats (PAOLI, MONTEFALCONE et al. 2016), while there is a relative abundance of literature on ecosystem services provided by other marine habitats : seagrasses (NORDLUND et al. 2016), coral reefs (MOBERG et al. 1999), deep marine ecosystems (ARMSTRONG et al. 2012), coastal ecosystems (LIQUETE et al. 2013).

Since MARION (1883) first identified them in Marseille, coralligenous habitats have been the subject of a relatively small but increasing number of studies that has been increasing in the last decade. Since the review of E. BALLESTEROS (2006), various indicators have been created during the last five years specifically to measure the health status of coralligenous habitats (CAHILL et al. 2017; DETER et al. 2012; GATTI et al. 2015; DOXA et al. 2016; SARTORETTO, SCHOHN et al. 2017). These indicators confirm the interest of ecologists in coralligenous habitats, while literature dealing with the economics aspect of coralligenous habitats is in its infancy (PAOLI, MORTEN et al. 2016).

Coralligenous habitats are encountered along most of the Mediterranean coasts but they are mainly studied in the North-western region. Figure ?? shows typical coralligenous habitats of Marseille. Existing from 20 m to 120 m under the surface of the sea (E. BALLESTEROS 2006). These habitats are very complex and heterogeneous assemblages, which differ from one Mediterranean region to another. Thus ecologists hardly agree on a common definition. In this study we use the most consensual definition of coralligenous habitats : hard substrates of biogenic origin that are mainly produced by the accumulation of calcareous encrusting algae growing in dim light conditions, and unique calcareous formations of biogenic origin in Mediterranean benthic environments (E. BALLESTE-

ROS 2006). Coralligenous habitats are threatened by large-scale events, waste waters (HONG 1980), physical impacts from diving (Harmelin1994; GARRABOU, SALA et al. 1998) or fishery activities (BELL 1983; GARCÍA-RUBIES et al. 1990) and invasive species (L. PIAZZI, CECCHERELLI et al. 2005). Recent studies showed that sea acidification is also a threat to coralligenous habitats (S. MARTIN et GATTUSO 2009; S. MARTIN, COHU et al. 2013; NASH et al. 2016). Their extremely slow development makes their recovery from these impacts very limited. In this study we focused on sites in the North-western Mediterranean Sea where coralligenous habitats are closest to the surface, which favors their observation and interaction with human beings.

The concept of ecosystem services has been used since the 1960's in order to raise awareness of human dependency on nature and the need to preserve nature for the sake of human well-being. The Millenium Ecosystem Assessment (2005), the proceeding of The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) (2010) and the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) in 2010 show a common international and cross-disciplinary academic effort to define and classify ecosystem services in order to facilitate their assessment. However, there is a break between the MEA-TEEB and the CICES concerning both the definition and the classification of ecosystem services. The MEA and TEEB adopted wide understandings of ecosystem services and both included supporting services as a category of ecosystem services. Respectively, ecosystem services are defined by the MEA as benefits that ecosystems provide and by TEEB as the direct and indirect contributions of ecosystems to human well-being. These definitions are coherent with a classification of ecosystem services into four categories : provisioning, regulating, cultural and supporting. However, these wide definitions and classifications can lead to some confusion when the economic contributions of ecosystem services are assessed. In the prospect of undertaking an economic valuation, the CICES followed the more restrictive definition of ecosystem service proposed by BOYD et al. (2007) with the aim to avoid double-counting of some categories : components of nature, directly enjoyed, consumed, or used to yield human well-being. In this study we opted to include the supporting services, since our aim at this step was not to make an economic valuation but to gather the maximum available knowledge regarding the services provided by coralligenous habitats and to test the application of the concept of ecosystem service with

experts at a local scale.

As underlined by (LEVREL et al. 2017), one of the main issues with the concept of ecosystem services is its absence on the ground in concrete operational decision-making. An aim of the present study is to apply the ecosystem service concept to a complex and relatively unknown ecosystem at an operational management scale. To accomplish this we identified the bundle of ecosystem services provided by coralligenous habitats in the two sites of the bay of Marseille and the Port-Cros national park, which were a priori contrasted in terms of human impact (CAHILL et al. 2017; DETER et al. 2012; SARTORETTO, SCHOHN et al. 2017). The small-scale of this project enabled us to work with a common reference of coralligenous habitats type despite their variability. It also enabled the investigation of practical issues since stakeholders could be identified precisely and we could gather experts who had a deep knowledge of the sites. We gathered expert opinions on the importance of ecosystem services and we analyzed their possible variation from one location to another. This was done through three complementary methods of surveys : semi-directive interviews, Vivantes

1.2. Materials and methods

1.2.1. Locations

The two study locations were *Marseille* and *Port-Cros*. The so-called Marseille site encompassed the coastal and marine zone from Martigues to La Ciotat, including the Côte Bleue marine park and the Calanques national park. The Port-Cros site included the marine core and adjacent area of Port-Cros national park. Figure 1.1 displays the two studied sites, and indicates the location of coralligenous habitats and the marine protected areas. We chose Marseille and Port-Cros because they present similarities in terms of coralligenous habitats but differences in terms of anthropogenic pressure, economic and social contexts. Both sites harbor abundant coralligenous habitats, considered as some of the most beautiful across the French Mediterranean coast (TRIBOT et al. 2016). Those coralligenous habitats can be considered to be quite homogeneous compared to other coralligenous habitats along the Mediterranean coasts. They are mostly on vertical cliffs, between depths of 20 m and 50 m [Hong, 1980, Laborel, 1961], and

their communities are often dominated by gorgonians. Both sites include marine protected areas but with varying ages : the Port-Cros national park (since 1963), the Calanques national park (since 2012), and the marine park of the Côte Bleue (since 1983). There is an abundance of historical ecological data in those areas (MARION 1883 ; J. PÉRÈS et al. 1951 ; HONG 1980 ; HONG 1982 ; WITKOWSKI et al. 2016). Marseille is the second largest city in France with about 852,000 inhabitants (INSEE, 2012). This city is located in a department of almost 2 million inhabitants and is the first French Mediterranean harbor. Next to Port-Cros site, the main town, Hyères, counts about 56,000 inhabitants in a département of about 1 million inhabitants. Thus, human impacts on natural environment are likely to be much higher in the Marseille site than in the Port-Cros site. Both sites include islands where most of the coralligenous habitats are found. Marseille islands are closer to the mainland than Port-Cros islands, thus the former are more accessible than the latter. In both sites diving activities are intense (but more regulated in Port-Cros), while professional artisanal fishing activities are declining. A recent study identified differences between the bay of Marseille and the Port Cros national park area (including coralligenous habitats (CAHILL et al. 2017) : Port-Cros coralligenous displayed particularly high intraspecific genetic diversity (shared with Corsica, another insular and preserved location), which was suggested to be a consequence of a lower human pressure (e.g. much lower population density) in these areas. Various indicators of impacts also confirm a higher pristineness of the Port-Cros site, although there is considerable variation in environment quality within the Bay of Marseille (and between it and the Calanques) (DETER et al. 2012 ; SARTORETTO, SCHOHN et al. 2017).

1.2.2. Preliminary list of ecosystem services based on literature

The literature was investigated in 2015 previously to the survey in order to identify services to submit in the online questionnaire. The literature published in 2016 was added ex-post to complete our review but could not be a basis for the experts' survey. Our literature review included peer-reviewed articles available on Google Scholar and on the CNRS portal, reports on the studied protected marine areas and scientific books. The only document which explicitly mentioned the ecosystem services provided by coralligenous habitats were the ones written

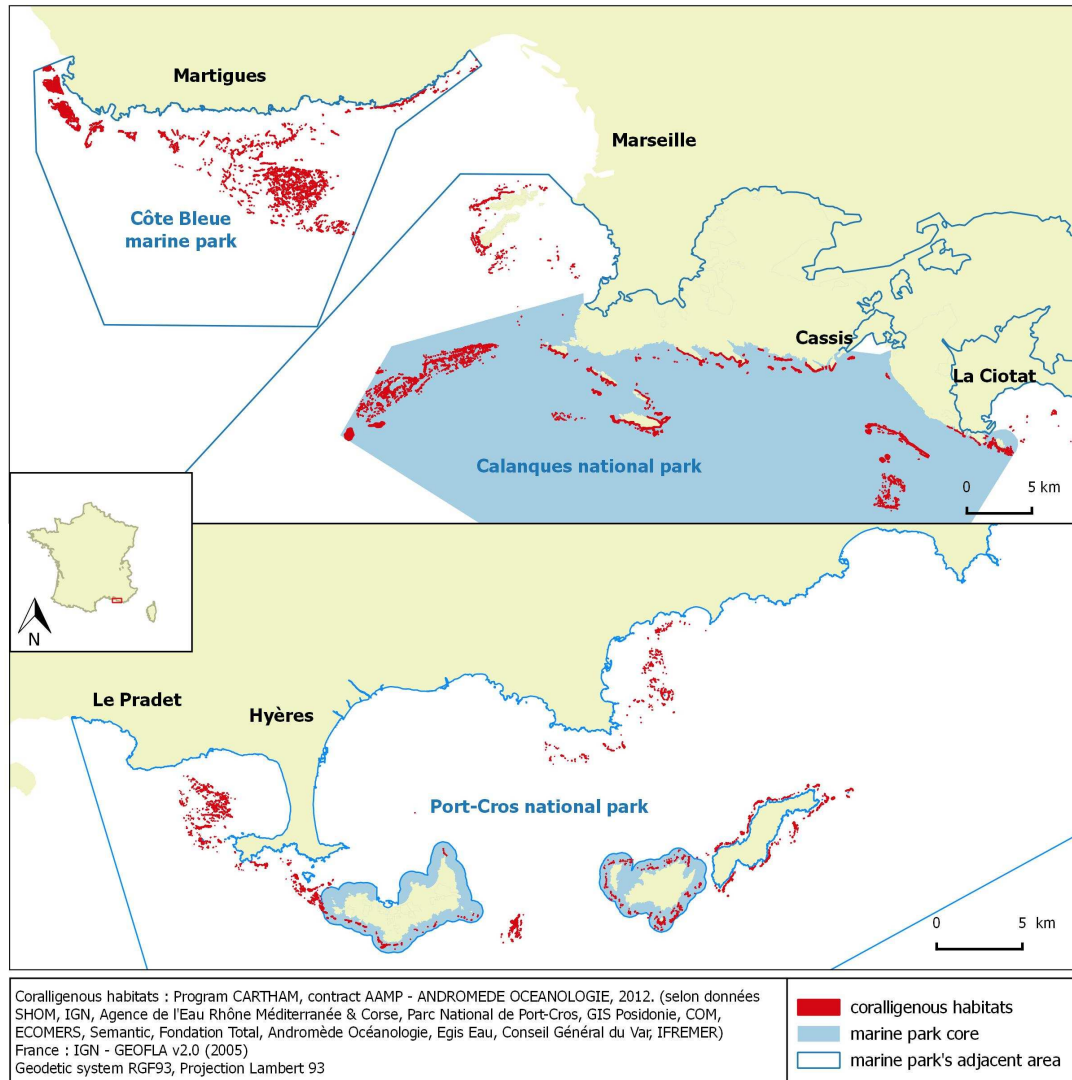


Figure 1.1. – Map of the two studied areas

Top : the Marseille site (including the bay of Marseille, the marine park of the Côte Bleue and the national park of the Calanques). Down : the Port-Cros site (including the national park of Port-Cros and its marine adjacent area in the bay of Hyères).

by MANGOS et al. (2010), which was a large scale project that estimated the economic benefits of five marine ecosystems at the Mediterranean Basin scale. This work contrasted with our objective, which was to validate the existence of ecosystem services provided by a specific ecosystem at a local-scale. We identified some ecosystem services provided by coralligenous habitats in other references which didn't mentioned explicitly ecosystem services, or did mention ecosystem services but provided by other ecosystems sharing with coralligenous habitats the relevant characteristics implied in the supply of the service mentioned (table 1.2).

A preliminary list of ecosystem services potentially provided by coralligenous habitats was assembled from the literature and was completed with input from expert interviews. This list included 15 ecosystem services, which were submitted to the 43 experts via the online questionnaire and the workshops. The ecosystem services included in the preliminary list are presented in the table 1.3. The preliminary list was established independently from location.

1.2.3. Expert survey

Since the literature review revealed few studies clearly describing the ecosystem services provided by coralligenous habitats, an expert survey was employed to expand our understanding of them. We carried out the survey between October 2015 and June 2016 in three steps : individual face-to-face interviews, an online questionnaire and workshops. This three-step approach enabled us to gather individual and shared points of view, and to handle open and closed answers in a funnel-shaped way. All the 43 experts answered the online questionnaire, but only 8 of them were interviewed face-to-face and 16 participated to the workshops. Our survey protocol was inspired by the methods Delphi and focus group. (SKULMOSKI et al. 2007) described Delphi as a method that uses several rounds of survey amongst a panel of experts to reach a consensus, and is a flexible research technique well suited when there is incomplete knowledge about a phenomenon. We collected individual points of views of the experts through an online questionnaire, and then organized focus groups with some participants that we informed previously brought up to date with the anonymous responses collected. The detailed process of the expert survey is displayed in figure 1.4.

Figure 1.2. – Literature supporting the existence of ecosystem services provided by coralligenous habitats.

In grey : literature published after our survey with experts

Ecosystem service	Illustrating references	Comments
Food	Harmelin 1990, Mangos <i>et al.</i> 2010, INPN MNHN 1170-14, Witkowski 2016, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	Targeted species are not only found in coralligenous habitats even if it might be their preferable habitats. Fishing is usually done not directly on coralligenous habitats but at the edge. Mangos <i>et al.</i> Provide a rough estimation of quantities of species caught over coralligenous habitats, using FAO data and expert knowledge to determine the species distribution between habitats.
Red coral production	Liverino 1989, Ascione 1993, Santangelo <i>et al.</i> 1993, Santangelo and Abbiati 2001, Paolini 2004, Ballesteros 2006, Tsounis <i>et al.</i> 2007, Mangos <i>et al.</i> 2010, Allemand 2012, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	Red corals can be found in coralligenous habitats, but not only there. For many years, they have been over-exploited and with impacting tools. Nowadays there are regulations for the harvesting (in France basal diameter must be over 7mm, depth>50m). Red corals have also a strong cultural value in the Mediterranean basin, and divers enjoy to see it alive as well.
Diving spot	Harmelin 1993, Mangos <i>et al.</i> 2010, Scorsonelli <i>et al.</i> 2012, Paoli <i>et al.</i> 2016a,, Robert & Plouvier 2017.	From depth 0 to 60 m coralligenous habitats are commonly reachable and targeted by recreational divers enjoying their spectacular landscapes, built by gorgonians and other macro and colored fixed species, and the dense populations of macro vertebrates gravitating around.
Support for scientific discoveries	Jares-Erijman <i>et al.</i> 1991, Ballesteros 2006, Leal <i>et al.</i> 2012, Paoli <i>et al.</i> 2016a, Jaspars <i>et al.</i> 2016.	Ballesteros reported 1666 species and 250 scientific references about coralligenous habitats previous to 2006. Many substances, useful to an anthropogenic point of view, can be extracted from organisms thriving in animal forests (eg. anticancer, anti-inflammatory, HIV treatments). The families of sponges and cnidarians are known have a potential to provide active compounds, and most of the species well represented in coralligenous habitats are still not analyzed. For example <i>Crambe crambe</i> provides the crambescidins (antiviral and cytotoxic compounds). Scientists can also use bio-constructions to track changes in the marine environment.
Aesthetic, inspiration	Mangos <i>et al.</i> 2010, Tribot <i>et al.</i> 2016, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	Coralligenous habitats are very rich in colours, structures, species. Divers take pictures of it and share their images. Coralligenous habitats are often represented in underwater photographic competition.
Biodiversity existence	Ballesteros 2006, Mangos <i>et al.</i> 2010.	Biodiversity may be consider as cultural service in the sense that people can give it an existence value for itself, and not consider the use they can make of it.
Carbon sequestratio	Mangos <i>et al.</i> 2010, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	Bioconstructions of calcareous organisms use carbon to build their calcareous skeleton. They may act as carbon sink.
Water filtration	Mangos <i>et al.</i> 2010, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	Corals, sponges and other filter feeders contribute to the absorption of suspended particulate matter.
Coast stabilization	Cesar <i>et al.</i> 2004, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	This service has been reported for reef type ecosystems such as coral reef
Bio-indicator	Sartoretto <i>et al.</i> 2017.	Indexcor is an indicator which use coralligenous habitats to indicate the water quality.
Nursery	Mangos <i>et al.</i> 2010, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	As coastal habitats with a very complex structure which constitute refuges for species, coralligenous habitats may provide nurseries and spawning beds to halieutic species. But this function is hard to study since juveniles are difficult to find in cavities.
Habitat and refuge	Ballesteros 2006, Paoli <i>et al.</i> 2016a.	Ballesteros report the species living in coralligenous habitats. Paoli <i>et al.</i> , confirmed that the great structural complexity provide habitats to various species.

Figure 1.3. – Definition of the 15 services submitted in the online questionnaire.

CICES themes	Ecosystem service short name	Definition of the ecosystem service
Provisioning	Food	Wild stocks of species that professional fishermen fish, restaurants serve, people eat and savour. Species examples : <i>Scorpaena scrofa</i> , <i>Palinurus elephas</i> , <i>Homarus gammarus</i> .
	Red coral	Wild stocks of red corals that professional coral fishermen harvest, jewellers shape and sell, people enjoy as ornamental or jewellery.
	Aquarium	Wild stocks of individuals captured for public aquariums (exceptionnally, under regulations).
Cultural and social	Diving spot	Landscape and biodiversity for divers enjoyment.
	Angling spot	Species that anglers enjoy.
	Spearfishing spot	Landscape and species that spearfishers enjoy.
	Research	Support for scientific discoveries (ecology, biology, medicine, ...)
	Inspiration	Enjoyment and inspiration by aesthetic characteristics through in situ visit or media.
	Biodiversity	Enjoyment of coralligenous specific biodiversity.
Regulation and maintenance	Carbon sequestration	Global climate regulation by carbon sequestration.
	Water filtration	Biological filtration of pollutants by filter feeders.
	Coastline stabilization	Protection from the erosion of the coastline by physical characteristics of the bioconcretioned reefs.
	Bio-indicator	Indication on the quality of local environment observed on species very sensitive to some environmental changes.
	Nursery	Essential habitat for juveniles which use other habitats for the other stage of their life cycle.
	Habitat and refuge	Favourite habitat and refuge for some species.

1.2.4. Experts panel

Following KRUEGER et al. (2012) we considered as an expert any person having relevant and extensive knowledge or in-depth experience in relation to coralligenous habitats and/or their use or management in one or both of the sites studied. The expert pool was formed by 43 individuals from Marseille (25) and Port-Cros (18) sites. They were selected for their profiles : researchers (ecologist or economist), managers of marine protected areas, professional artisanal fishermen, representatives of diving activities (federation or diving structures), professional divers, and people monitoring coralligenous habitats. Their distribution among profiles and sites is presented in table 1.1. Our panel represented most of the available expertise.

Table 1.1. – Profiles of the 18 experts of Port-Cros site (PC) and 25 experts of Marseille site (MRS).

An expert can correspond to several profiles

Researchers						MPA managers	Other professions				
Ecologists		Economists		Others			Diving structure	Artisanal fishermen			
MRS	PC	MRS	PC	MRS	PC	MRS		PC	MRS	PC	
11	2	3	0	0	1	5	5	2	1	2	3

1.2.5. Interviews

Interviews were conducted individually face-to-face in a semi-directive way, lasting between 40 and 90 minutes, and were recorded and transcribed. Interviews were carried out to obtain some deep knowledge that could not be gathered through questionnaires or focus groups. The interviews helped to complete the preliminary list of ecosystem services and to confirm our findings from the literature. Thus it was a preliminary step to prepare the questionnaire. Only few interviews were carried out because the total number of experts in these two locales is very small. The experts selected for the interviews had very specific

knowledge on at least one of the following subjects : artisanal fishery (including red coral), diving, coralligenous habitats general ecology or characteristics of a taxonomic group (algae, sponges, fishes, red coral). The fishermen selected represented the diversity of fishing practices, targeted species and sites. In many cases their professional constraints prevented them from attending the workshops, but they were able to grant us in-situ interviews.

1.2.6. Questionnaire

The questionnaire was performed online, using the software ©Limesurvey (version 2.06+ Build 150731). It contained 25 questions grouped in 6 parts : vocabulary issues, list of services, importance of services, pressures, management, and respondents' profiles. The entire questionnaire is available in appendix ???. In this paper we focus on 2 parts of the online questionnaire : the list of services and their importance. Most of the closed questions followed a Likert-type scale with five levels. The online questionnaire was fully completed by the 43 experts who each answered about one of the sites. Respondents took 30 minutes on average to answer the questions.

Acceptance of ecosystem services. This issue was treated in question *Is this an ecosystem service provided by coralligenous habitats ?*. We rank-ordered the services according to the frequencies of answers and applied a like-lexicographical method on the five modalities of answers : *Yes I'm sure / Yes I think / I don't know / No I don't think so / No I'm sure it's not*. We tested different hierarchies of modalities (presented in the figure 1.5), when applying the lexicographical order, to test the ranking consistency. Regarding the frequency thresholds we classified the 15 services a posteriori in four acceptance categories. We chose the thresholds between categories in such a way as to maximize the consistency of the groups. As observed in figure 1.5), when applying the lexicographical order, to test the ranking consistency. Re, the mergings of services in categories are consistent regardless of the hierarchy of modalities chosen (see cases A, B, and C in 1.5). In the first class we included the services with the highest frequencies of positive answers. Those services were considered provided by coralligenous habitats according to all experts : more than 90% of them were sure of their answer. In the second class we included services gathering more than 80% of positive answers,

independent of the status in the first class. In the third class we included services not falling in the previous classes and gathering more than 20% of *I don't know* answers and fewer than 10% of negative answers. In the fourth class we put services gathering more negative and uncertain than positive answers.

Importance and ranking of ecosystem services. To explore this aspect, we used a set of four questions in the online questionnaire. First, experts were asked to state a level of importance of services provided in the studied site. A Likert-type scale (LIKERT 1932) with a set of four items (*strong importance, medium importance, low importance* and *Do not know*) was used. To confirm this judgment, later in the questionnaire experts had to select at least six services that they considered as main services provided by coralligenous habitats in the studied site. Finally, experts had to rank these services : 1 for the most important, 2 for the subsequent service, and so on. When experts didn't select a service in the first part of the questionnaire, this service was not proposed to them for the following questions and thus the item *no answer* was automatically generated and included in the analysis.

Services were ordered three times according to the answers obtained through the three questions dealing with importance and we compared the results displayed in figures 1.6 and 1.7 and table 1.5. Figure ?? displays the services ranked according to the frequencies of the answers obtained through the question 5, ordered as follow : *strong, medium, low, I don't know, and no answer* (automatically generated in the no answer case). As a cross-check of these results, a second question dealing with importance ranked the services according to the number of experts who select them as most important. The results of this are displayed in figure 1.7. Then, we aggregated the individuals rankings obtained from the last question dealing with importance by putting in first position the service mostly placed in this position, then in second position (respectively third, etc...) the service placed mostly in first or second position in the individuals rankings (respectively in first, second or third, and so on) : see table 1.5.

Lastly, a question enabled exploration of the specific meaning of "importance" to each expert. Each of them was asked to define his/her own criterion of importance, the one s/he used to rank services. We proposed four definitions of

importance as follows : a service is more important if . . . *it is at the basis of other services / it is perceived by more people / it impacts more people / it is more threatened*. The experts didn't reveal any other definitions of importance in the online questionnaire but they discussed this issue during the workshops.

Further analyses. Our panel of experts was limited (43 individuals) but represented most of the relevant experts of the sites. In order to cross-reference the results from questions about acceptance and importance we transformed the modalities of acceptance into scores from 1 to 5, and the modalities of importance from 1 to 4. The mean and median scores of the 43 answers were then calculated. The plots of these results are displayed in the figures ?? and ??. A comparison of the results of different groups of experts representing the two geographical groups (Marseille and Port-Cros) was undertaken using the Fisher exact test. The results of this test are discussed in section 3.3 of this report.

1.2.7. Workshops

The main objective of the workshops was to help the interpretation of the answers obtained through the online questionnaire, and to more deeply investigate differences. Experts were encouraged to discuss especially the controversial points and seek consensual answers. We conducted two one-day workshops : one took place on the 3rd of December 2015 including 11 experts from the Marseille site ; a second took place on the 16th of June 2016 with 6 experts from Port-Cros. This last step of our survey protocol allowed us to get precise information about the ecosystem services available at each of the study sites. Thus, we were able to compare results obtained from both study sites in terms of ecosystem services perceived by the expert panel as actually provided by coralligenous habitats at this small scale.

1.3. Results

1.3.1. Acceptance of ecosystem services

Online questionnaire. Analysis of the answers to the online questionnaire indicated that services are distributed across four categories with respect to the experts' opinion as follows (figure 1.5). The services *habitat and refuge*, *diving*, and *biodiversity* are the services accepted unanimously (category 1). The services *food*, *Inspiration*, *spearfishing*, *angling*, *research*, *red coral*, and *bio-indicator* are accepted by the majority of experts (category 2). The category 3 corresponds to very uncertain services : the service *aquarium* is consistent in this category while the services *nursery* and *carbon sequestration* are borderline with the category 2. Finally, the services *water filtration* and *coast stabilization* are mostly not accepted by experts (category 4).

Workshops. During the workshops, the participants discussed the questionnaire results and collectively revised some of their initial assessments and came to a consensus : they finally stated that they could only refute the ecosystem service *Coast stabilization*. Their argument was that the coralligenous habitats that could play this role are the flat types, which were not represented in our study locations, and usually are at depths too deep to impact the coastline. They weren't confident enough to categorically refute the other controversial services such as *water filtration* and *carbon sequestration* : they mostly agreed on the fact that many species are filter feeders and that calcareous species use carbon to build their skeletons. However they doubted the capacity of coralligenous habitats to impact the global environment and didn't agree on the relative volume occupied by coralligenous habitats compared to other benthic habitats (*Posidonia meadows* was often taken as a reference). Thus, these last two services remain controversial until the knowledge gaps are filled.

1.3.2. Importance and classification of the ecosystem services

Online questionnaire. All services were selected at least by one expert to be a part of the most important (see figure 1.7) and also to be of strong importance (see figure 1.6). The ranking of services varies with the method used. However

Figure 1.4. – Protocol applied for the survey inspired from Delphi method

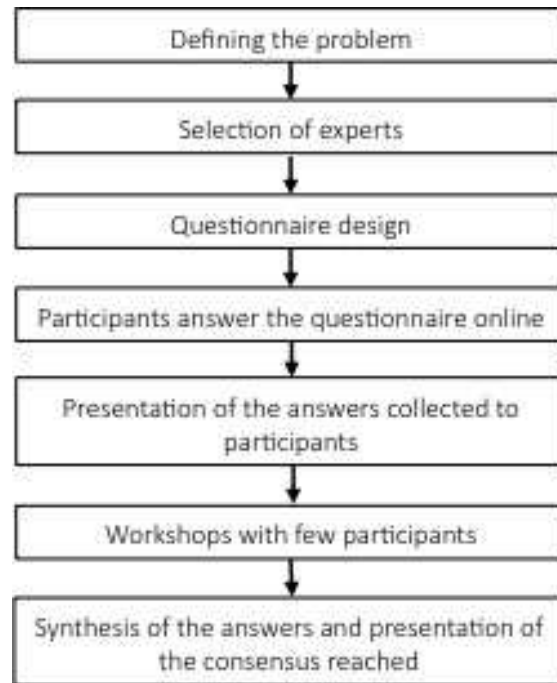


Figure 1.5. – Answers to the question 3 "Is this an ecosystem service provided by coralligenous habitats?" of the online questionnaire.

The three cases (A,B,C) corresponds to three possibilities of ranking the modalities.

according to the concordant results presented in figures 6 and 5 and table 4 there are four distinct categories of importance. We included in this ranking all services presented in the preliminary list.

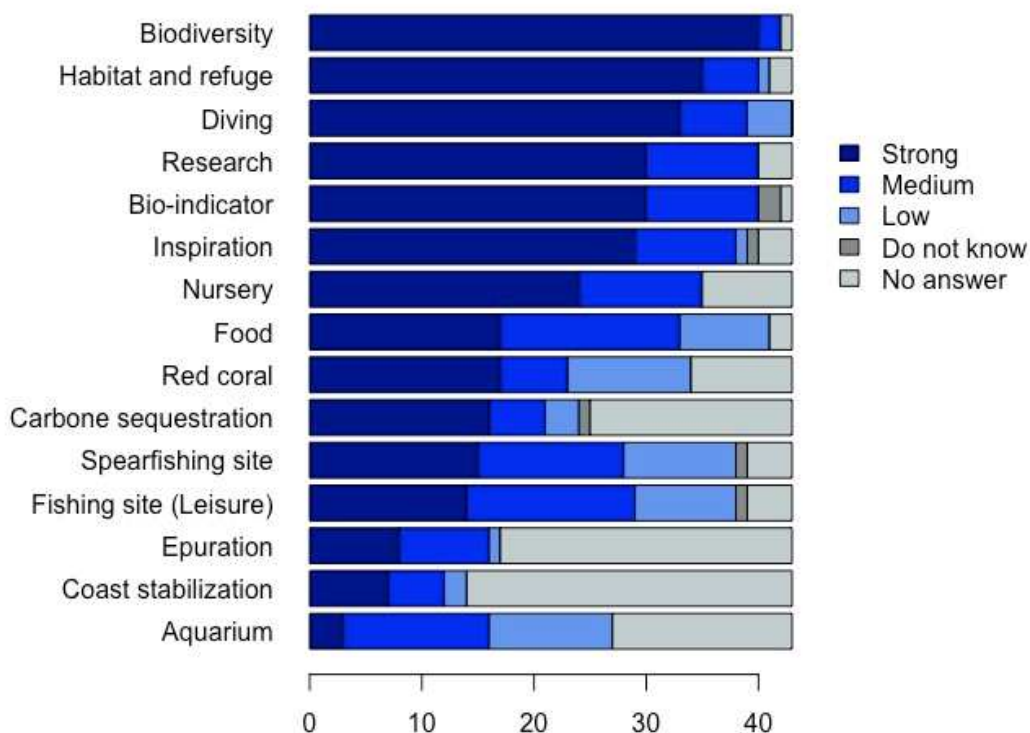


Figure 1.6. – Experts' answers to the question *According to you, how important is this service (in the studied site) ?*.

The status *no answer* was generated automatically when an expert did not validate the service in previous question

With respect to the experts' opinions, the most important services (category 1) are *biodiversity* and *habitat and refuge* : *biodiversity* was selected by 42 experts as part of the most important services and placed in first position by 35 experts, *habitat and refuge* was selected by 35 experts as part of the most important services and was placed in first position by 5 experts and in second position by 21 experts. The services *diving*, *research*, *nursery*, *inspiration* and *food* are part of the category 2 that we called *services of strong importance*. In the category 3, services of medium importance, we included the services *red coral* and *carbon sequestration*. Finally, the services *water filtration*, *angling*, *spearfishing*, *aquarium* and *coast stabilization* were put in category 4 : services of low importance. The service *bio-indicator* is subjected to non-concordance between rankings methods : it

Table 1.2. – Answers obtained from experts when asked to rank the services they selected as most important.

The table shows the cumulative numbers of positions 1 to 7 in the individual ranking of experts.

	1	1 + 2	1 to 3	1 to 4	1 to 5	1 to 6	1 to 7
Biodiversity	35	37	41	42	42	42	42
Habitat and refuge	5	26	32	35	35	35	35
Nursery	2	7	16	19	22	23	23
Food	0	7	11	19	24	28	28
Diving site	1	4	10	13	16	22	22
Research	1	3	6	9	13	18	20
Inspiration	2	5	7	9	14	17	19
Red coral	3	3	5	10	13	16	18
Carbone sequestration	2	6	7	8	11	12	12
Water filtration	2	3	0	7	8	8	8
Coastline stabilization	1	2	2	2	4	4	4
Angling site	0	1	2	2	3	4	4
Spearfishing site	0	0	0	1	1	2	2
Aquarium	0	0	1	1	1	1	1
Bio-indicator	0	0	0	0	0	0	0

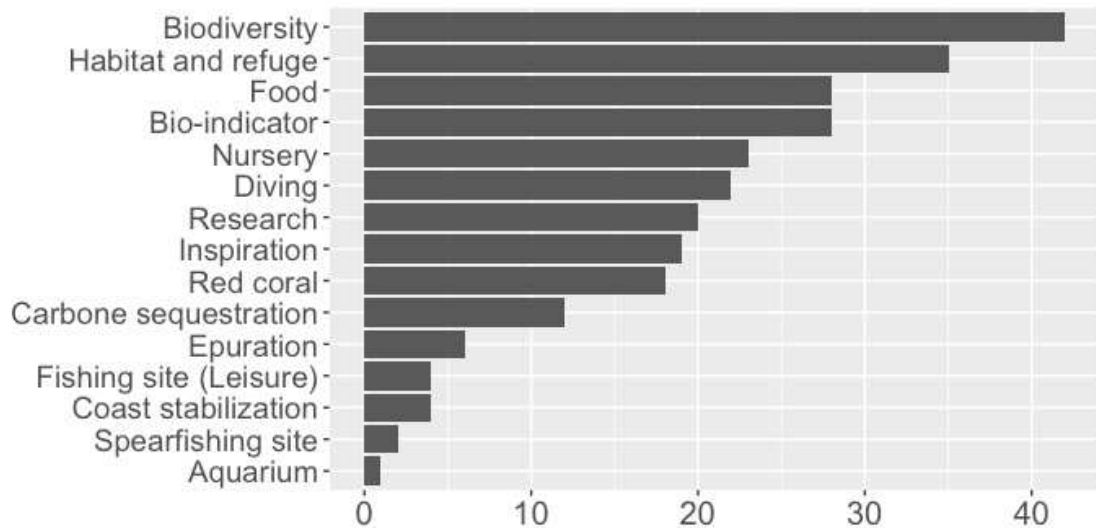


Figure 1.7. – Number of experts who selected each service when asked for the most important services.

Experts had to select at least 6 services and could select only the services they previously validated

was selected by 65% of the experts as part of the most important services, was stated of *strong importance* by 68% but then ranked in the last position when experts had to directly compare it to other services. Thus we didn't attribute to it a consensual level of importance.

Both graphs (figure 1.8) display a positive relationship between acceptance and importance of ecosystem service. Those figures distinguish services accepted and very important (*biodiversity, habitat and refuge, bio-indicator, research, diving, inspiration and nursery*), services accepted and of medium importance (*food, red coral, angling and spearfishing*), services controversially accepted and classified (*carbon sequestration and aquarium*), and services not accepted (*water filtration and coast stabilization*).

The results obtained through the different methods of ranking converge to this ranking : experts considered supporting services (*biodiversity, habitat and refuge and nursery*) as the most important, then provisioning (*food and red coral*) and cultural (*diving, research and inspiration*) services. Regulating services (*carbon sequestration and water filtration*) were placed after, but experts recognized a lack of knowledge concerning the input-output related to the ecological processes underlying these services.

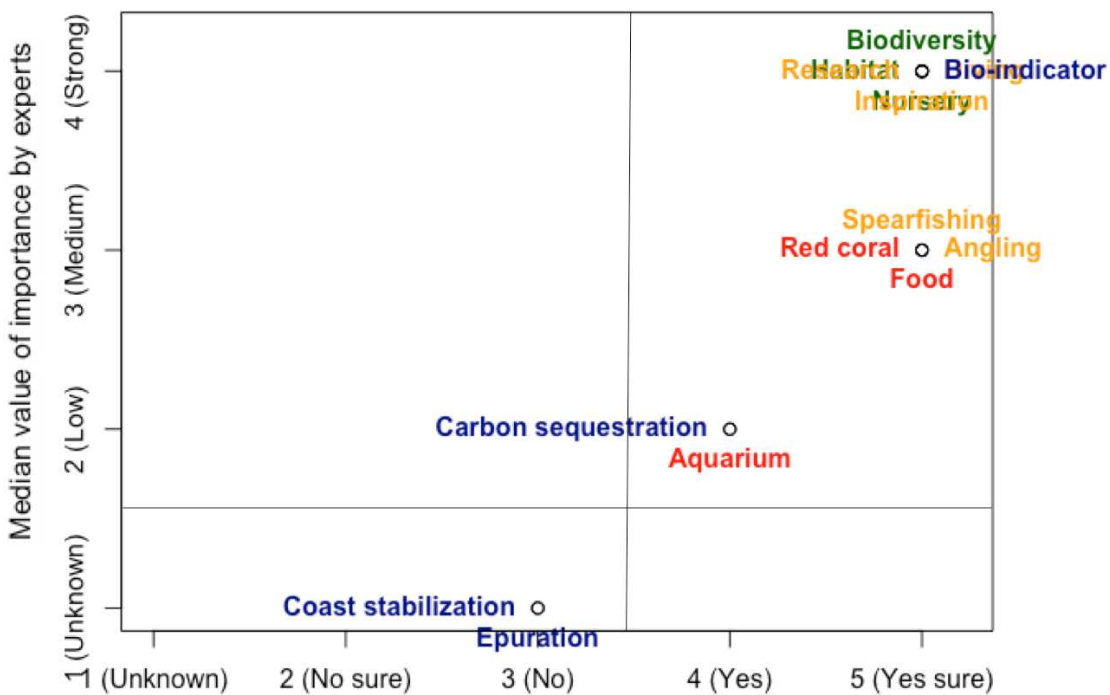
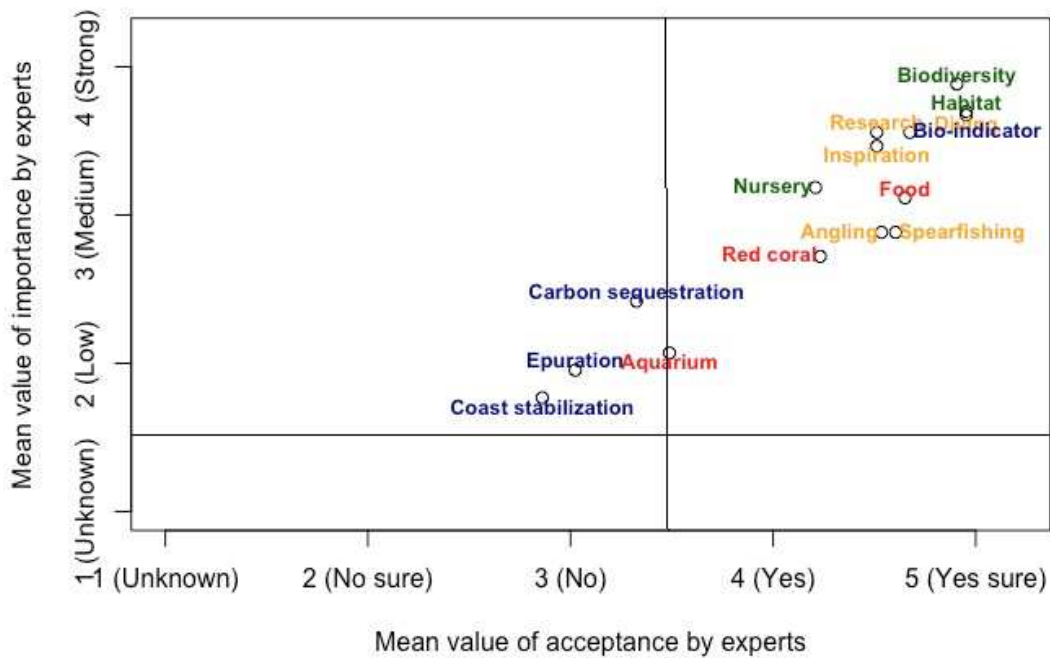


Figure 1.8. – Mean and median of the scores given by the 43 experts to the questions *Is it an ecosystem service provided by coralligenous habitats?* and *How important is this ecosystem service?*

The criterion mostly used to rank the services according to the declaration of the experts was *a service is more important if it is at the basis of other services* (selected by 70% of the experts). 40% of the experts also used the criteria *impacts more people* and *is more threatened*. Only 20% of them declared using the criteria *is perceived by more people* (see figure ??). These results confirm that experts placed the supporting services at the head of the ranking.

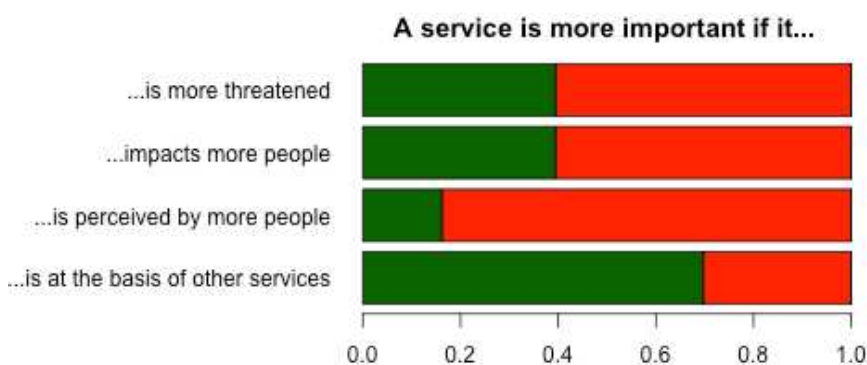


Figure 1.9. – Percentage of experts who declared that they used the criterion in their ranking of the importance of services.

Legend : green=yes, red=no.

Workshop. Except as noted above, previous results obtained through the online questionnaire were confirmed during the workshops. It can be noted that the services *water filtration* and *carbon sequestration* were considered to be more likely not significant according to the actual scientific knowledge of the biophysical mechanisms underlying these services and the volume of water potentially treated by coralligenous habitats compared to the whole Mediterranean Sea.

1.3.3. Differences in ecosystem services offer among the locations (Marseille vs Port-Cros)

Among the fifteen ecosystem services, a divergence for four of them can be observed between the expert opinions of Marseille (25) and Port-Cros (18) concer-

ning the questions 3, 5 and 9 of the online questionnaire : *red coral*, *water filtration*, *nursery*, *coast stabilization*. The service *coast stabilization* was the one triggering the most divergent opinions : it was considered as not existing by 72% of the experts of Marseille but only by 16% of the experts of Port-Cros (Fischer exact p-value = 0.0051). The service "Red coral" was considered existing and important by 96% experts of Marseille while only by 61% experts of Port-Cros (Fischer exact p-value = 0.0062). On the contrary the ecosystem service *water filtration* was considered important by 44% of the experts of Port-Cros but not by the experts of Marseille (Fischer exact p-value = 0.0007). Likewise, the service *nursery* was considered important by 83% of the experts of Port-Cros but by only 36% of the experts of Marseille (Fischer exact p-value = 0.0059).

1.4. Discussion

Reliance on experts. In the absence of scientific evidence, experts' experience is the best knowledge proxi available even if subjectivity cannot be avoided and if consensus does not guarantee scientific veracity. This study relied on 43 experts for two North-western Mediterranean sites. This sample is significantly more robust than those in other studies treating similar issues at a large scale : for example BEAUMONT et al. (2007) consulted 21 experts about ecosystem services provided by marine ecosystems globally, NORDLUND et al. (2016) consulted 91 experts to deal with the different types of seagrasses in the whole world.

The list of ecosystem services. Thanks to the experts and literature the status of services proposed in our preliminary list has been established as shown in Figure 1.3. We can now assert that the services *diving*, *food*, *inspiration*, *research* and *bio-indicator* are actually provided by coralligenous habitats in the study sites, and surely provided by coralligenous habitats of other sites. *Biodiversity* and *habitat and refuge* have been validated by all experts to be provided by coralligenous habitats of any type and any site. The services *red coral*, *aquarium*, *spearfishing*, and *angling* were validated with less confidence due to their unestimated but probably low benefits or low number of beneficiaries. The service "red coral" was provided in one of the study sites. It should be provided in all areas

where resources is available and where harvesting is possible. However it may be anecdotal in term of population impacted by the benefits. The same may be true for the service *aquarium* which is certainly even more anecdotal. The services *spearfishing* and *angling* are recreational activities practiced in the studied sites, but the proportion of activity practiced on coralligenous habitats is unknown, it could be either low or high, experts were not able to estimate any tendency. The services *water filtration*, *carbon sequestration* and *nursery* are still controversial pending scientific proof, since we found no reference supporting their effectiveness and even the experience of experts was insufficient to give a probability of effectiveness. The pros argument for the *carbon sequestration* service is the presence of many calcareous species (especially red algae) in coralligenous habitats, which used carbon to grow and then fossilize. The pros argument for the service *water filtration* is the presence of many filterers such as sponges. The cons argument for both is the effective regulating impact of coralligenous habitats at the global Mediterranean scale and the capacity of calcareous species to capture carbon and the time of sequestration are unknown. Apart from its status of function or service, the *nursery* role, as defined by BECK et al. (2003), of coralligenous habitats would be verified only after the observations of juveniles living exclusively in coralligenous habitats and moving to another habitat for their adult phase. Juveniles are not easy to observe and identify, thus their observation would need a specific experiment that have not been performed on coralligenous habitats to date. Finally, the service *coast stabilization* was refuted predominantly through the questionnaire and unanimously through the workshops, thus we removed it from the list. The study from PAOLI, MONTEFALCONE et al. (2016) validated some similar services provided by coralligenous habitats of Italian sites such as "natural medicine availability" (*research* in our study), "ornaments" (*red coral*), "landscapes" (*diving*), "habitat", "storage of energy and matter" (*food*), and they added the role of sediment and nutrients retention by the planar structure of gorgonians. PAOLI, MONTEFALCONE et al. (2016) reported also the controversial status of "waste treatment" (*water filtration*), "breathable air" (*carbon sequestration*) and "nursery".

Definition of ecosystem service from the perspective of economic valuation. Among the propositions of the preliminary list, all are consistent with the restrictive definition of ecosystem services recommended by BOYD et al. (2007).

Table 1.3. – Status of the 15 propositions of ecosystem services provided by coral-ligenous habitats after our study.

Ecosystem service	Status
Food	unanimously validated
Diving spot	unanimously validated
Research	unanimously validated
Inspiration	unanimously validated
Red coral	majoritarly validated
Aquarium	majoritarly validated
Angling spot	majoritarly validated
Spearfishing spot	majoritarly validated
Bio-indicator	majoritarly validated
Biodiversity bequest	majoritarly validated
Carbon sequestration	controversial
Water filtration	controversial
Coast stabilization	refuted
Ecosystem function	Status
Habitat and refuge	unanimously validated
Nursery	controversial

To avoid double counting, *biodiversity, habitat and refuge* and *nursery* which can also be considered as ecological functions providing a service only indirectly. However, those ecological functions can be considered all together as *lifecycle maintenance* for coralligenous and other species, which appear in the CICES list of ecosystem services (version 4.3 of January 2013), to which people can place non-use values and thus incorporate them into an economic valuation.

Comparison with services provided by other coastal marine ecosystems.

We found that even if less known, coralligenous habitats provide services similar to those provided by coral reefs : food, ornamental and aquarium resources, habitat maintenance, recreation and tourism opportunities (ELLIFF et al. 2017; MOBERG et al. 1999). But coralligenous services are quite different from those provided by *Posidonia oceanica* seagrass (considered as one of the most important Mediterranean marine ecosystem together with coralligenous habitats), that are primarily *nursery, food* and *carbon sequestration* (CAMPAGNE et al. 2015).

Differences between sites. Our study highlighted a few significant differences in the services bundle of two nearby sites contrasted in anthropogenic pressures. We suppose that the comparison between very distant and heterogeneous sites would highlight greater differences in the service bundles. The origin of observed differences between the two studied sites may come from the "supply side" (morphotypes, ecological communities, accessibility of the coralligenous habitats) or from the "demand side" (peoples' perceptions, cultural habits, size of the local human population), or may arise from contextual constraints as local specific regulations. It can be note that an ecosystem service exists if it is both supplied and demanded. Our results showed that opinions of experts from both sites were divergent for the service *red coral, nursery, water filtration* and *coast stabilization*. The service *red coral* was more accepted and considered more important by the experts of Marseille than by those of Port-Cros. This result is consistent with the fact that there are four active harvesters of red coral in Marseille area, and only one in Port-Cros area. Then our survey protocol allows us to identify this difference. Unfortunately, it does not allows us to explain this difference that can be due to a higher presence of exploitable red coral in Marseille, or due to local regulations or to the local socioeconomic context. Specific studies combining natural and social sciences should be undertaken to get a robust answer at this

small-scale where dataset usually does not exist.

Concerning the services *nursery*, *water filtration* and *coast stabilization*, there are classified as regulating services with large scale impact. Thus, we consider that the average answer (average of the two sites) is more reliable than site specific answers because, at the current scientific knowledge, there is no study to support the difference in regulating services provided by two nearby sites.

Validation and utility of the small-scale approach. This research focused on the importance of ecosystem services perceived and utilized by local experts. It assessed the importance granted by experts and discussed their criteria for determining the relative importance of ecosystem services. The criterion mostly used by experts was *a service is more important if it is at the basis of other services*. This suggests that the concerned services are indirect.

This criterion is not compatible with the definition of ecosystem services refers to the CICES program and with an economic valuation perspective. The large number of environmental experts compared to economists may explain this result, since the questionnaire showed that environmental experts mostly didn't take in account the double-counting issue while economists were really aware of it.

The two other criteria to decide of the "importance" of an ecosystem service that are mostly cited by experts were *is perceived by more people* and *impacts more people*. These criteria justify the elimination of very anecdotal services. Indeed, the experts confirmed that the service *aquarium* is so anecdotal that it could be not considered in the list of services. The basis of this observation is the minimum necessary number of people that should be benefiting the service to validate it. Experts did not consider the threatened status as a criterion of importance of a service. The most threatened services, certainly *red coral* and *food*, were not ranked based on this criterion, but on the number of beneficiaries.

We carefully treated the issues of existence and importance separately. However, the results showed an evident positive correlation of the answers to the two questions. This would have been an unexpected result for a large-scale study, but for a small-scale study it confirms that a minimum level of "importance" (in term of global benefits on people) confirms the existence of a service. In most large-

scale studies this minimum "level" of importance is not investigated. However when the concept of ecosystem service is applied at a small-scale, the recognized existence of a service yields a ranking of at least a minimum level of importance. The first step toward the identification of ecosystem services relies essentially on this condition : an ecological function can be considered as a service if and only if it benefits humans. For the application purpose, our case study highlights the need for a frame of reference to identify ecosystem services. In our study we constrained the geographical scale (the two studied sites), but experts triggered on a minimum threshold of population impacted and the perceived value of the benefits to identify ecosystem services. For example the services *red coral* or *aquarium* impact very few local people but possibly have a high value (specially a high economic or/and cultural value) for these people and thus reach a minimum threshold to be considered as a service. The existence of a service *carbon sequestration* might depend on the temporal and geographical frame : the impact might be significant only at large scale and long term. These reflections lead us to think that, for the identification of an ecosystem service, a frame of reference should be calibrated in term of geographical scale, size of population impacted, benefits value and eventually temporal scale. For each of these criteria, a minimum threshold should determine the existence of the service and then its importance can be estimated for each criterion based on the distance from this minimum threshold. The category of well-being impacted should also be specified in order to balance importance : does the service satisfy essential basic needs for survival or only those needs related to supplementary well-being ? For example, the existence of favourable diving spots represents immediate benefits only, is essential to the local professionals of diving, and is profitable to divers from local to distant divers. Depending on the population framed, the service would be considered and valued differently. To this perspective, only studies at small-scales such as the one we implemented can provide meaningful input to policies aimed at managing the local environmental.

Apart from the evident positive correlation between existence and importance, we observed slight variations in this correlation. For example the experts mostly accepted the services *spearfishing*, *angling* and *red coral* but considered them of medium-low importance. The three activity-related services were considered to not be practiced by a large number of people and were not supportive of other

services. These results are consistent with the criterion of importance highlighted by experts. We are aware that the criteria of importance of the services must be considered cautiously, and that it is incorrect to balance the importance of a service that is essential for the living of a small part of the population (such as the artisanal fishermen or professional of diving structure), with the importance of services which affect the recreational activities, and with the importance of a service which helps for the maintenance of a healthy environment at an unknown level.

1.5. Conclusion and perspectives

The findings of this work validate the concept of ecosystem service as a useful input to local community decision making and also help to define the beneficial services provided to local areas by the ecosystems of coralligenous habitat. This study presents a first attempt to list the services provided by coralligenous habitats, validated by a panel of experts, plus a complementary list of potential services that should not be eliminated before further researches. Carrying out surveys at local scales allowed us to actually decide on the existence and importance of services in both studied areas. According to the expert panel, we can consider that the major services identified in this study will be likely to be found in other coralligenous sites. Moreover, our survey protocol could be easily extended to other Mediterranean sites to confirm it.

Provisioning and cultural services are quite evident and mostly accepted. But there is a significant lack of knowledge about the regulation of some ecosystem services, the importance of which is very uncertain. To start filling the knowledge gap regarding these services, which may be essential if effective, scientific studies in two areas are clearly needed : 1) the capacity of calcareous species to sequester carbon and 2) to quantify the provisioning and cultural services, specific data should be collected about the recreational activities and the resources caught and harvested in coralligenous habitats.

The application of the ecosystem service concept to coralligenous habitats at

a very local scale showed that the current widespread definition of ecosystem services used for the CICES must be adapted to be applied and that the identification of service should always be based on a referential frame (geography, time, population, benefits scales) to allow concrete operational decision-making. Indeed, our study highlighted few differences in the supplying and perception of services between two close-by sites with relatively similar coralligenous habitats but different socio-economic context. Thus we expect that further studies made in more distant sites involving differences in supply and demand would highlight further site-related differences in the bundle of services.

Current knowledge on coralligenous habitats does not allow quantifying precisely the benefits precisely, but is sufficient to use non-market valuation methods for the valuation of some of the services provided.

2. Description des services écosystémiques fournis par les habitats coralligènes : intérêt du modèle conceptuel de service écosystémique en cascade



Photographie prise par Frédéric Zuberer (Marseille)

Description des services écosystémiques fournis par les habitats coralligènes : intérêt du modèle conceptuel de service écosystémique en cascade

Résumé

Le concept du service écosystémique en cascade décrit la chaîne de production d'un service en distinguant 5 niveaux. Il a été proposé par HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010) et peut être utilisé pour décrire les éléments impliqués dans un service et dans sa soutenabilité. L'application du concept de service écosystémique en cascade invite à formuler des problématiques sur les relations de dépendance du bien-être humain aux écosystèmes à chaque niveau de la cascade. Les habitats coralligènes, n'ayant pas fait l'objet de modélisation jusqu'à présent, offrent l'occasion de tester le concept de la cascade sans répéter un schéma existant qu'il s'agirait d'adapter. Dans ce chapitre, je prends l'exemple des services d'approvisionnement pour appliquer le concept du service écosystémique en cascade, décrivant les entités et relations impliquées à chaque niveau. J'utilise pour cela les entretiens, les ateliers et la revue de littérature présentés dans le chapitre 1. En focalisant la cascade sur le service d'approvisionnement en corail rouge, je présente un schéma plus détaillé qui remet en question certaines composantes de la cascade en 5 niveaux (*entités structurelles, fonctions, service, bénéfiques, valeurs*), en particulier les relations entre les niveaux *entités structurelles* et *fonctions* qu'il est difficile de représenter en "cascade" suggérant un lien hiérarchique de causalité à sens unique. Le concept de la cascade aide à identifier ce qui est mesuré ou évalué en associant des indicateurs potentiels à chaque niveau de la cascade. Les indicateurs classiquement utilisés pour évaluer la biodiversité ou l'état écologique ne sont pas suffisants pour l'approche de service écosystémique car ils ne prennent pas directement en compte l'intérêt de l'Homme. Le concept de la cascade met en évidence les relations de dépendance entre les niveaux de la cascade et la nécessité de mesurer ces niveaux de dépendance. Dans une approche de service écosystémique, la gestion des écosystèmes doit prendre en compte ces relations de dépendance pour répondre aux divers objectifs de gestions tels que la soutenabilité du service, l'arbitrage entre services et la justice sociale.

Ce chapitre découle chapitre 1. Il s'appuie sur les mêmes matériels et méthodes qui ne sont donc pas décrits de nouveau.

Table des matières

2.1	Introduction	94
2.2	Application du concept de la cascade	96
2.3	Description des services d’approvisionnement fournis par les habitats coralligènes d’après le concept de la cascade	99
2.3.1	Approvisionnement en ressources alimentaires	100
2.3.2	Approvisionnement en corail rouge	107
2.4	Discussion	116

2.1. Introduction

Le terme *service écosystémique* est sujet à confusion avec les termes *fonction écologique* et *bénéfice*, ce qui nuit à la clarté du discours mais aussi aux travaux de quantification ou d'évaluation. Les services écosystémiques tels que définis par le MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) sont des *bénéfices que l'Homme tire d'un écosystème*. Il est important de souligner le terme *tirer* car il implique bien un investissement de l'Homme pour obtenir un bénéfice de la part de l'écosystème. Cette définition assimile donc les services à des bénéfices et n'est pas suffisamment précise pour une application opérationnelle. On lui accorde cependant d'être compréhensible et appropriable par toutes les disciplines et d'être issue d'un consensus d'experts, ce qui explique qu'elle soit très citée. La revue de 405 études traitant de quantification de services écosystémiques par Annelies BOEREMA et al. (2017) témoigne du manque de clarté quant à ce qui est mesuré ou évalué dans la plupart des études. Le concept de service écosystémique en cascade, développé par HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010), permet d'y remédier. Il décompose la *chaîne de production* du service en 5 niveaux (voir figure 2.1) : dans l'écosystème **une entité structurelle ou un processus** a une **fonction** potentiellement utile pour l'Homme, cette fonction est à l'origine d'un **service**, et ce service fournit à l'Homme un **bénéfice** qui a une **valeur économique** estimable *via* un marché réel ou hypothétique. Voici un exemple de cascade de service écosystémique : un organisme (élément de l'écosystème) absorbe du carbone pour se développer (processus) et piège du carbone (fonction), il en résulte une réduction de la quantité de carbone dans l'atmosphère (service), d'où un air plus sain à respirer pour l'Homme (bénéfice non marchand), qui en dégage une valeur d'usage indirect mesurable en terme de consentement-à-payer en l'absence de marché. Le concept de cascade permet de mettre en évidence tout ce qui est impliqué dans le bénéfice finalement obtenu et de présenter assez simplement un ensemble complexe de relations. Dans le cadre de la cascade, la définition d'un service écosystémique implique de décrire les 5 niveaux de la *chaîne de production*. Ainsi, les estimations ou évaluations peuvent se référer à l'un de ces niveaux. La représentation des pressions et des mesures de gestion engendrées par l'Homme permet de boucler la chaîne et d'intégrer la notion de soutenabilité, c'est-à-dire le maintien des services dans le temps. Le concept de cascade rappelle ainsi les fondements du service écosystémique : ce qui est à la

source et ce qu'il faut gérer pour assurer la soutenabilité du service.

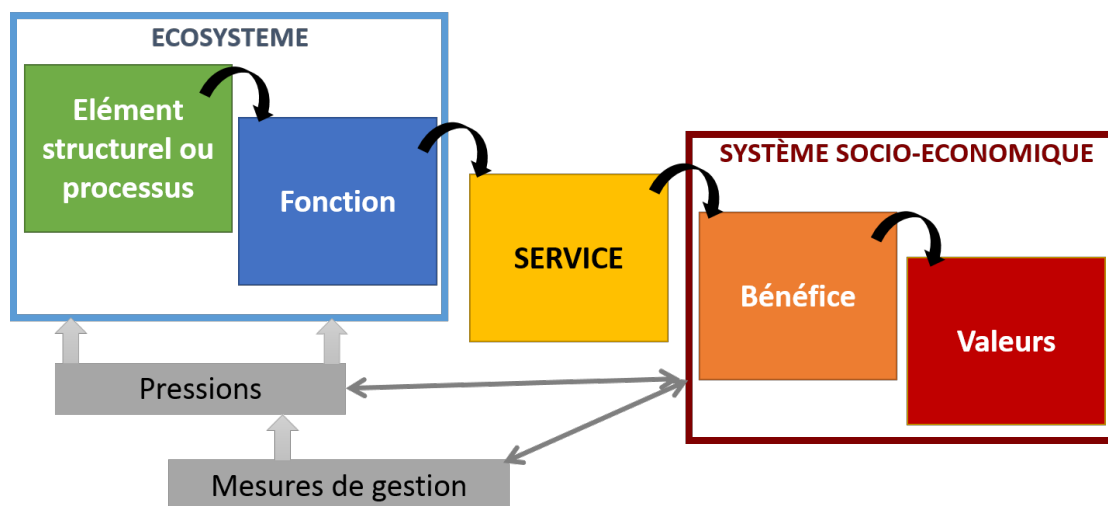


Figure 2.1. – Concept de la cascade du service écosystémique d'après HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010)

Sept années après avoir introduit le concept de service écosystémique en cascade, Haines-Young et Potschin recensent 27 études l'utilisant, l'adaptant selon les besoins d'application (POTSCHIN-YOUNG et al. 2017). Ils observent trois objectifs d'application : la cascade comme structure organisationnelle pour décrire les relations complexes, la cascade comme référence pour lier les services écosystémiques à d'autres approches, basées sur des indicateurs, comme DP-SIR (Drivers-Pressures-States-Impacts-Responses), la cascade comme cadre analytique des éléments qui la compose.

Dans ce chapitre j'utilise la cascade comme structure organisationnelle pour décrire les services rendus par les habitats coralligènes et les relations entre les entités de différents niveaux. Cette réflexion a été alimentée par les dires d'experts collectés d'après le protocole présenté dans le chapitre précédent. L'application du concept de cascade me permet d'organiser de façon systématique la grande diversité des informations recueillies alors. L'objectif est de tester l'utilisation de la cascade à des fins opérationnelles de gestion de l'écosystème dans une perspective de soutenabilité des services.

2.2. Application du concept de la cascade

J'ai construit une représentation de la cascade des services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes (voir figure 2.2) à partir des services validés par les experts et de ceux qui restent incertains en l'attente d'évidence scientifique. Pour respecter le cadre d'Haynes-Young et Potschin, les *services de support* traités dans le chapitre 1 apparaissent dans la cascade au niveau *fonctions*, en amont des services. Ils échappent de fait à l'analyse économique. Par ailleurs, consciente des multiples facettes de la *biodiversité* (MACE et al. 2012), j'ai choisi d'en considérer deux. La *biodiversité comme élément à la source de tous les services* est présentée aux niveaux de la structure et des fonctions. La *biodiversité comme maintien d'espèces typiques du coralligène* auxquelles l'Homme peut attribuer une valeur patrimoniale est présentée au niveau des services. Les fonctions et services incertains sont présentés avec un point d'interrogation. Les pressions et mesures de gestion validées par les experts sont prises en compte en amont de la chaîne pour simplifier le schéma mais pourraient intervenir à d'autres niveaux (le niveau service ou le niveau bénéfice). J'ai décidé de présenter les bénéficiaires plutôt que les bénéfices, car les bénéficiaires sont multiples et peuvent être eux-mêmes en cascade. Le type de valeur est représenté entre le niveau service et le niveau bénéficiaire, car il s'agit de la valeur du service pour le bénéficiaire, la schématisation de la valeur entre ces deux niveaux est donc pertinente. La représentation en cascade est orientée vers l'Homme car le concept de service écosystémique est anthropocentré. Cependant il n'est pas rare qu'une activité humaine résultant d'un service écosystémique (pêche ou plongée par exemple) devienne une pression quand elle dépasse le seuil soutenable par l'écosystème, ou bien soit perçue comme un bénéfice par une part de la population et comme une nuisance pour une autre part de la population. Les relations entre chaque niveau de la cascade sont multiples : une entité d'un niveau peut dépendre de plusieurs entités du niveau inférieur et peut contribuer à plusieurs entités du niveau supérieur.

Certains services peuvent être en conflit. Ça peut être le cas des services *ressources alimentaires* et *site de plongée* car il s'agit de deux activités qui peuvent se faire concurrence. Le conflit peut porter sur la fréquentation et l'utilisation des sites. Pêcheurs et plongeurs se gênent mutuellement : le pêcheur en posant des

Les 5 niveaux de la cascade

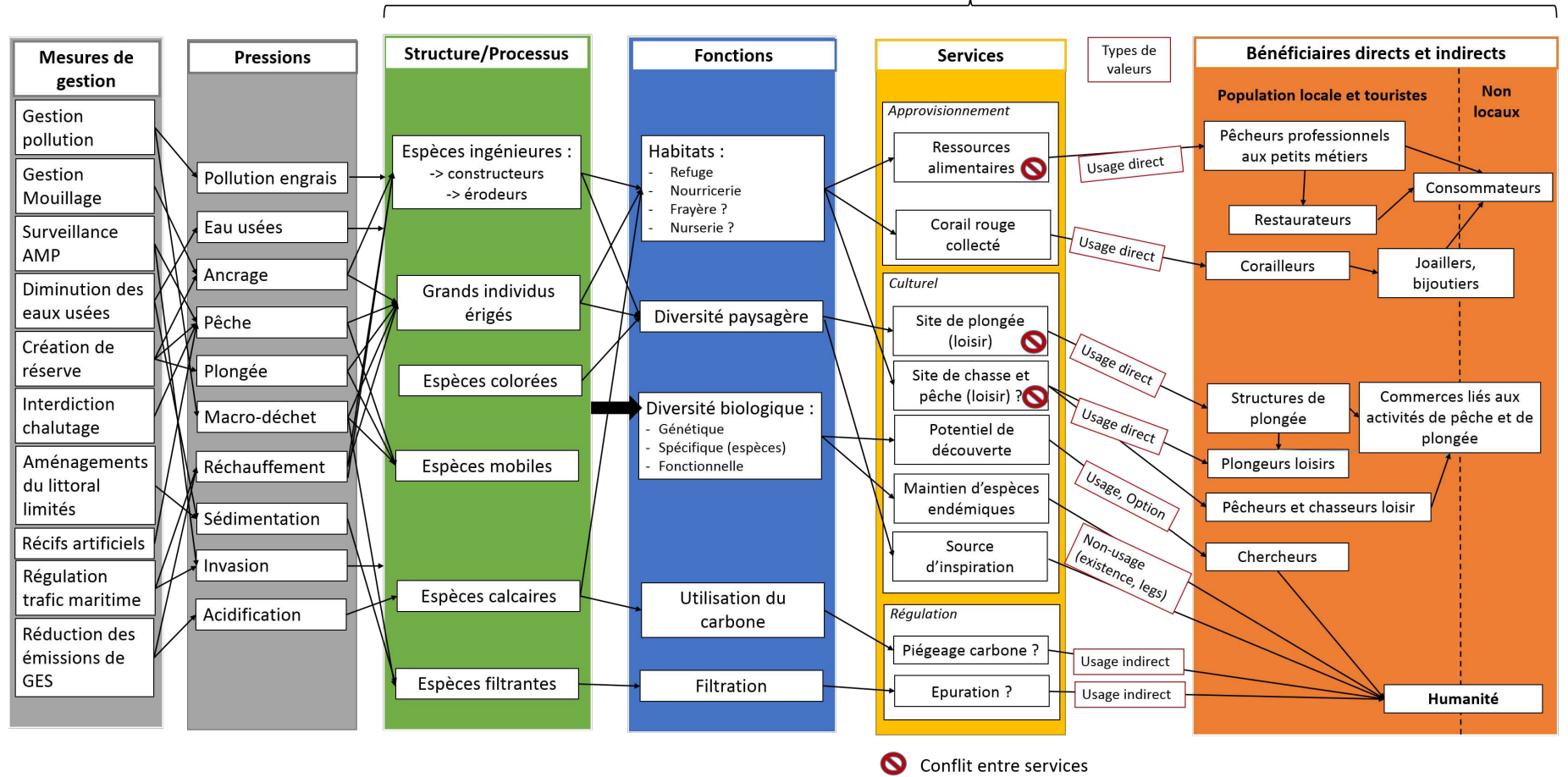


Figure 2.2. – Cascade des services écosystémiques des habitats coralligènes

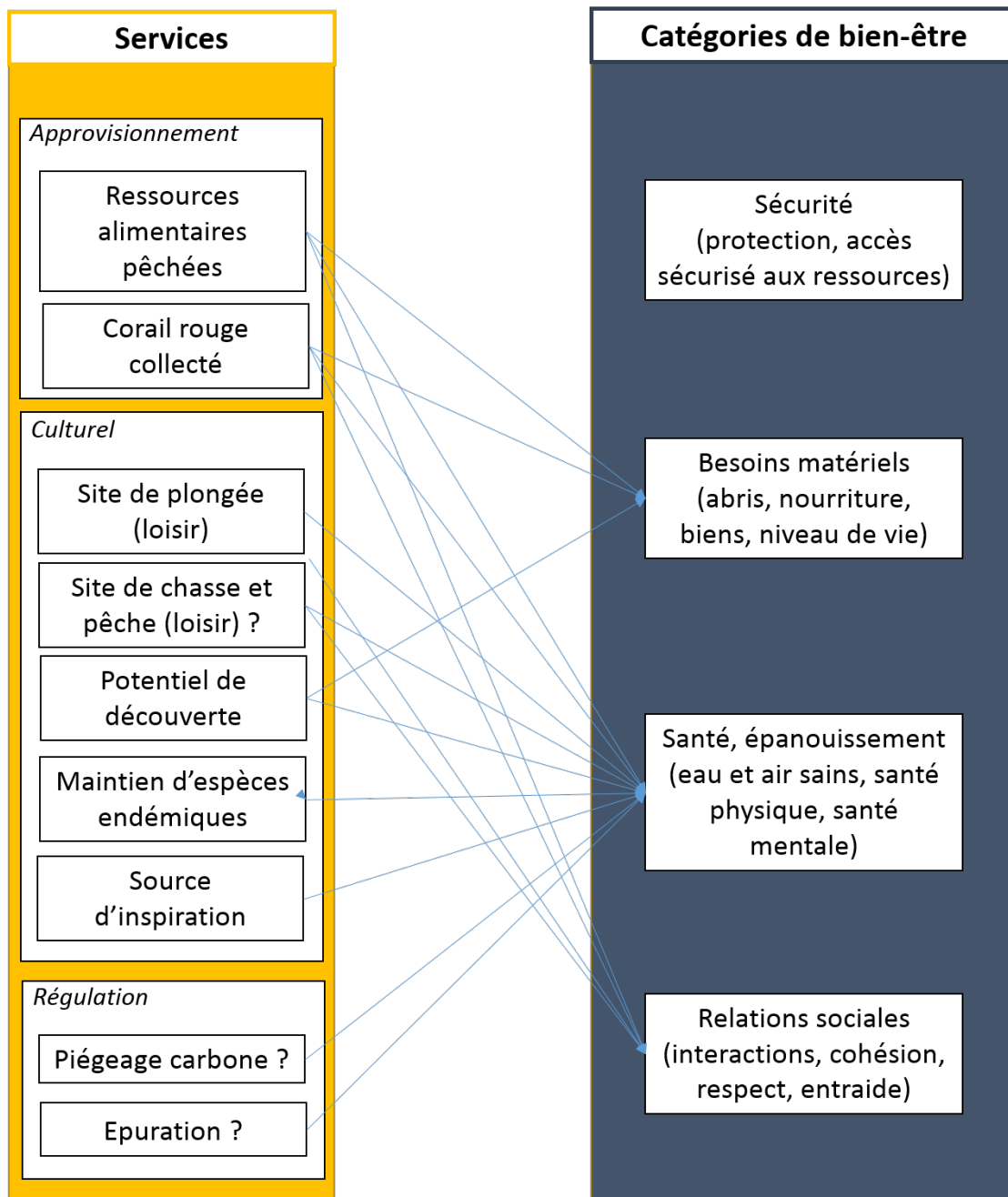


Figure 2.3. – Les catégories de bien-être impactées par les services associés aux habitats coralligènes

engins de pêche dangereux pour le plongeur et en diminuant l'abondance d'organismes que le plongeur vient observer, le plongeur en empêchant le pêcheur de poser ses engins de pêche ou en perturbant les individus d'espèces ciblées par le pêcheur.

L'application du concept de cascade de services écosystémiques invite à formuler des problématiques sur les relations de dépendance du bien-être humain aux écosystèmes à chaque niveau de la cascade. Quelle est la nature précise du service? L'importance du service se mesure-t-elle en terme de qualité ou de quantité? Quel est le seuil de soutenabilité du service? Quel est le niveau de dépendance du service à l'écosystème considéré? Quelles catégories du bien être humain sont impactées par le service? Qui sont les bénéficiaires directs et indirects? A quelles échelles, spatiales et temporelles, sont perçus les bénéfices? Quel type de valeur est attribué au service? Y a-t-il des arbitrages entre les services qui représentent des disservices pour des non bénéficiaires? Les réponses à ces questions sont importantes pour appliquer le concept de service écosystémique dans le cadre de la gestion des écosystèmes. Par ailleurs, les niveaux de la cascade aident à identifier des indicateurs pertinents de soutenabilité du service.

2.3. Description des services d'approvisionnement fournis par les habitats coralligènes d'après le concept de la cascade

Les habitats coralligènes fournissent des ressources alimentaires et du corail rouge. Pour décrire ces services je m'appuie sur les entretiens réalisés avec 5 pêcheurs et 2 corailleurs.

En France les corailleurs et pêcheurs artisanaux sont recensés et licenciés pour assurer un contrôle de l'activité. Le contenu de leurs pêches est renseigné à titre indicatif via des enquêtes régulières et des déclarations de pêche. Le système d'organisation de la pêche professionnelle sur les côtes méditerranéennes est unique et se maintient depuis des siècles : les patrons pêcheurs se sont regroupés en prud'homies par secteur avec pour objectif d'organiser leurs pêches pour un par-

tage équitable des ressources de la mer dans le respect des réglementations. Les prud'homies sont administrées et représentées par des prud'hommes patron pêcheur, élus par la communauté des pêcheurs (www.crpmem-paca.fr¹). La région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA) comporte 18 prud'homies représentées sur la carte 2.4. Les pêcheurs que j'ai interrogés appartiennent aux prud'homies de Martigues, de La Ciotat et du Lavandou.

Dans les deux sections suivantes, je détaille les cinq niveaux du modèle conceptuel de service écosystémique en cascade d'après HAINES-YOUNG et M. B POT-SCHIN (2010) pour les deux services d'approvisionnement considérés.

2.3.1. Approvisionnement en ressources alimentaires

Niveau "service" de la cascade

D'après les pêcheurs interrogés, les habitats coralligènes sont perçus comme des *oasis*, des récifs concentrant des espèces sessiles et mobiles de passages. Les espèces qu'ils ont citées comme pêchées sur les habitats coralligènes sont présentées dans la figure 2.5. Celles qu'ils considèrent les plus ciblées sont le chapon et la langouste. Les pêcheurs ont indiqué que leur activité de pêche sur les habitats coralligènes est plus intense en été, moyenne en printemps-automne et faible ou nulle en hiver. La saisonnalité de l'activité est en partie dû à la disponibilité des espèces ciblées, mais aussi aux réglementations, aux conditions météorologiques, et à la concurrence du marché.

Sur la côte française, la pêche pratiquée sur le coralligène est artisanale *aux petits métiers* c'est-à-dire que les bateaux de pêche ne mesurent pas plus de 12 mètres et ne sont équipés que d'engins de pêche (métiers) de petite capacité. Les engins de pêche utilisés sont des filets essentiellement (maillant simple ou trémail) et, plus rarement, des palangres (voir figures 2.7, 2.8, 2.9). La pêche au casier (qui peut cibler la langouste) est peu pratiquée. Le chalut ne figure pas

1. CRPME PACA : Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Cet organisme est interprofessionnel de droit privé, tous les professionnels qui pêchent, élèvent et récoltent (hors conchyliculture) sur l'espace maritime y adhèrent.

Cartographie des limites territoriales des prud'homies de pêche dans les eaux méditerranéennes Région PACA

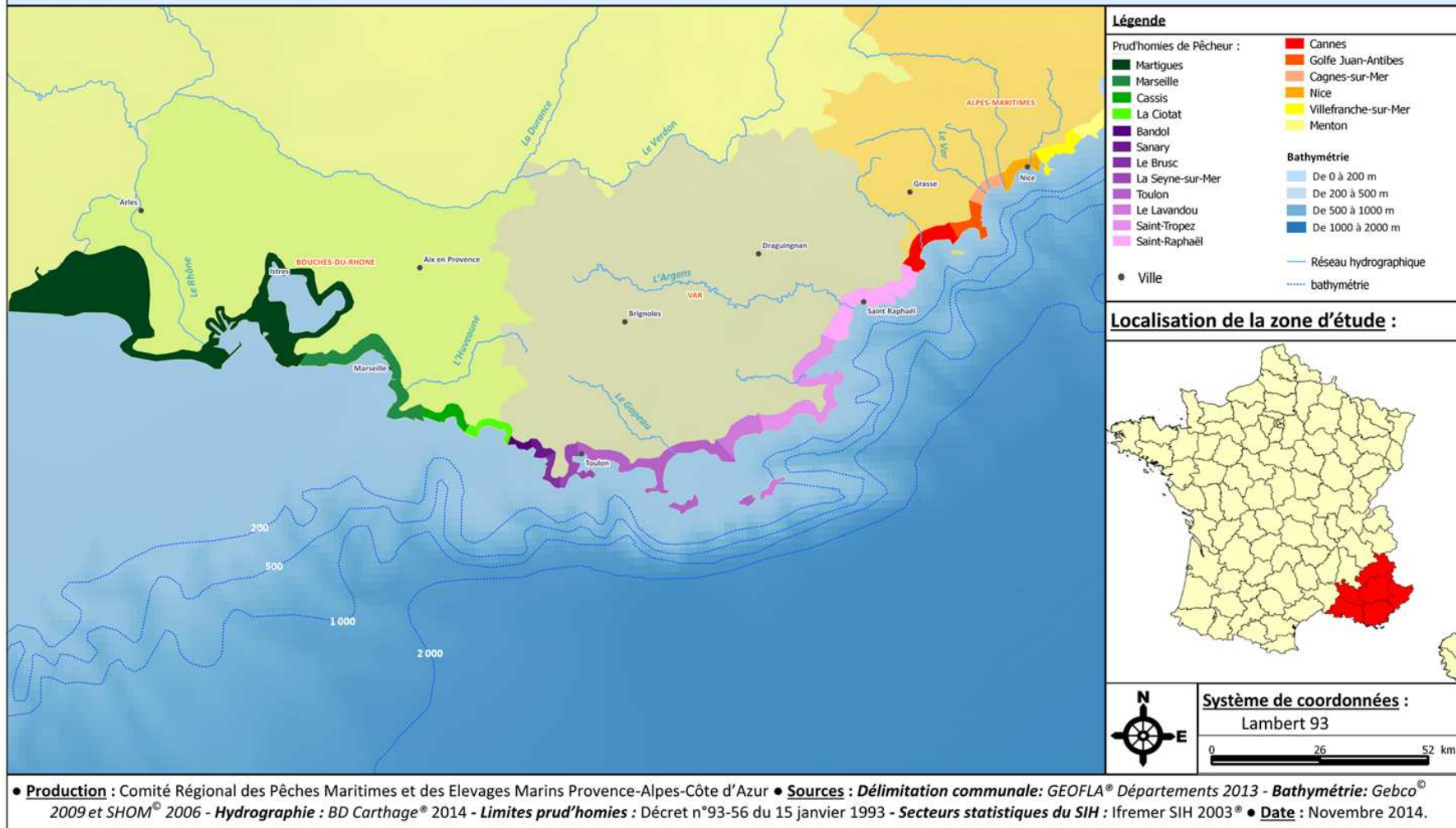


Figure 2.4. – Cartographie des 18 prud'homies de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur
source : CRPMEM PACA

Noms vernaculaires	Nom latin	Fonction des habitats coralligènes*	Dépendance aux habitats coralligènes	Notes
Langouste	<i>Palinurus elephas</i>	Refuge, nourricerie	Forte	Se trouve dans les anfractuosités, les failles en journée. Mobile la nuit. Les juvéniles se rencontrent souvent dans les herbiers de posidonies. Se nourrit d'échinodermes, mollusques, mais également d'algues, éponges, bryozoaires, annélides, crustacés et poissons. Grégaire. Se pêche au casier ou au filet trémail ou maillant à proximité de fonds avec anfractuosité. Espèce menacée de surexploitation.
Chapon, grande rascasse rouge	<i>Scorpaena scrofa</i>	Refuge, nourricerie	Forte	Vit essentiellement sur les fonds rocheux et coralligènes. Se nourrit de crustacés décapodes et amphipodes, mysidacés, copépodes, mollusques et petits poissons. La reproduction a lieu de mai à août et les larves se développent en pleine eau avant de rejoindre le fond.
Mostelle de roche	<i>Phycis phycis</i>	Refuge, nourricerie	Forte	Le plus souvent dans le coralligène, fréquente les fonds rocheux, grottes, cavités. Se nourrit de crustacés, vers petits poissons.
Congre, anguille de mer	<i>Conger conger</i>	Refuge, nourricerie	Moyenne	Se trouve dans les rochers, failles, cavités, dans les épaves, et aussi les fonds meubles et dégagés en profondeur. Se nourrit de poissons, mollusques (seiches, poulpes) et crabes.
Petite rascasse rouge	<i>Scorpaena notata</i>	Refuge, nourricerie	Moyenne	Abondante à partir de 20 m de profondeur sur substrat rocheux, cavités, grottes et coralligène. Se nourrit de crustacés décapodes et amphipodes, mysidacés, copépodes.
Rascasse brune	<i>Scorpaena porcus</i>	Refuge, nourricerie	Faible	Très commune sur les fonds exposés à la lumière, présente aussi sur les fonds rocheux riches en algues et sur le coralligène. Se nourrit principalement de petits poissons (blennies, gobies), de crustacés.
Baudroie commune, lotte blanche	<i>Lophius piscatorius</i>	Refuge, nourricerie	Faible	Poisson benthique, la baudroie vit généralement dans des fonds meubles jusque 100m, mais parfois dans les herbiers de zostères et sur les fonds rocheux près du bord. Carnassier. Forte valeur commerciale. Pêchée au chalut sur les fonds meubles, au filet maillant près du bord.
Dorade (daurade) royale	<i>Sparus aurata</i>	Nourricerie, frayère	Faible	Solitaire ou en petits groupes. Fréquente les herbiers de posidonies et les fonds sableux, et aussi le coralligène et les fonds rocheux. Se nourrit de mollusques bivalves, crustacés, oursins, et très accessoirement de poissons.
Daurade grise, canthare, cantre	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Nourricerie, frayère	Faible	Les jeunes se rencontrent à moins de 30 m de profondeur sur des fonds rocheux ou de l'herbier de posidonie. Les adultes préfèrent les fonds sableux plus profond pouvant aller jusque 300 m. les adultes se rapprochent des côtes en été. Carnivore : annélides, polychètes, crustacés, ophiures, hydrozoaires, jeunes seiches. Le décret n° 99-1163 du 21/12/1999 fixe la taille minimale des prises à 23 cm
Denté commun, denti	<i>Dentex dentex</i>	Nourricerie	Faible	Espèces capable de très grands déplacements. Fréquente les fonds rocheux, les habitats coralligènes, mais aussi les épaves. Se nourrit de poissons, céphalopodes, crustacés. Préfère chasser en pleine eau.
Pagre commun	<i>Pagrus pagrus</i>	Nourricerie	Faible	Fréquente les fonds sableux, les zones rocheuses, les rochers couverts d'algues, ou à proximité de parois verticales entre 5 et 250 m de profondeur, près des côtes l'été, au large sinon. Les jeunes vivent plutôt dans les herbiers peu profonds. Se nourrit principalement de crustacés et de mollusques bivalves et céphalopodes. Inscrit comme espèce en danger (statut EN depuis 1996) dans la liste rouge de l'UICN. Capture des individus de taille inférieure à 18 cm interdite dans l'union européenne.
Saint-Pierre	<i>Zeus faber</i>	Nourricerie	Faible	Fréquente les eaux côtières, occasionnellement présent sur les petits fonds rocheux inférieurs à 10 m, mais généralement plutôt à 30-400 m de profondeur. Individus solitaires. Se nourrit de poissons, seiches, crevettes, etc.

Figure 2.5. – Espèces pêchées associées aux habitats coralligènes d'après les pêcheurs interrogés
* d'après comm. pers. des pêcheurs interrogés



Figure 2.6. – Photos d'espèces pêchées associées aux habitats coralligènes

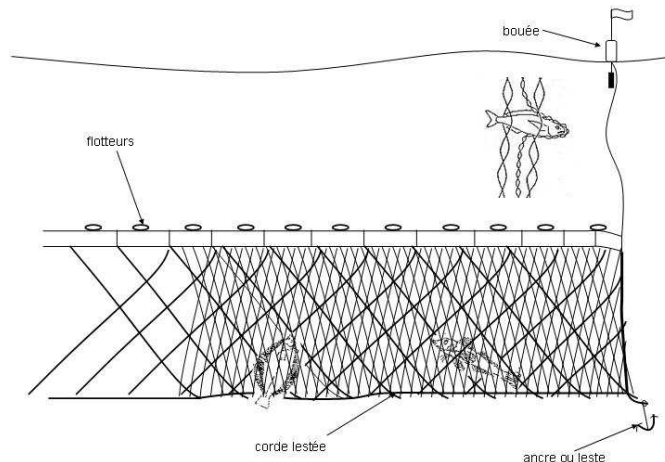


Figure 2.7. – Filet trémail
©CRPMEM Normandie

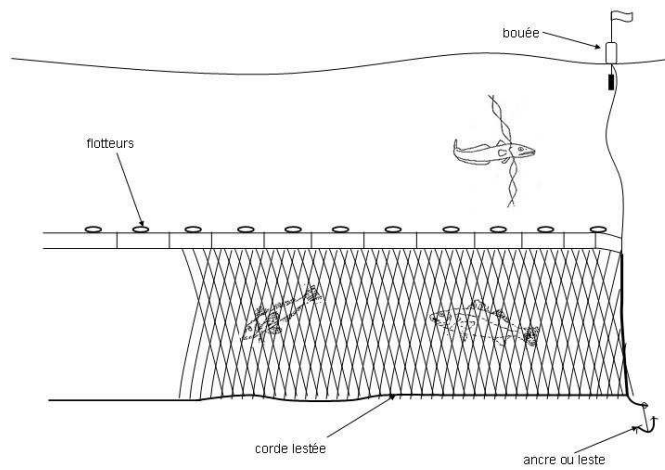


Figure 2.8. – Filet maillant
©CRPMEM Normandie

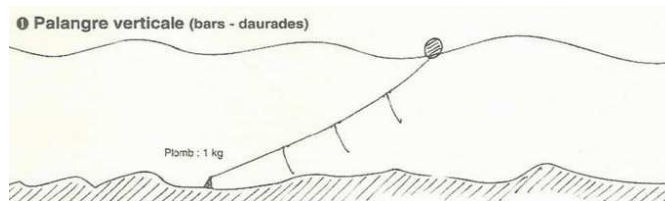


Figure 2.9. – Palangre
©www.dielette.fr

parmi les engins de pêche artisanaux, et est interdit au dessus des habitats coralligènes. Les pêcheurs-fileyeurs ne pêchent pas directement sur le coralligène par crainte d'abîmer ou de perdre leurs engins de pêche. Cependant ils calent leurs engins de pêche à proximité (quelques mètres ou dizaines de mètres) pour attraper les individus des espèces ciblées itinérant en lisière.

L'approvisionnement en ressources alimentaires fluctue selon un rythme saisonnier auquel le pêcheur est soumis. Par ailleurs, le pêcheur peut choisir de laisser des zones en "jachère" pendant un période pour laisser les stocks se reconstituer, le plus souvent en accord avec les autres pêcheurs de la prud'homie. Voici le calendrier de pêche sur des habitats coralligènes à proximité de Marseille que l'un des pêcheurs-fileyeurs interrogé m'a communiqué :

- Février-mars : baudroie,
- Avril-mai : langouste, dorade, petites espèces de roche, denti (occasionnel),
- Juin-juillet : langouste, chapon, petites espèces de roche, St Pierre (occasionnel).

D'après ce calendrier, le pêcheur ne pêche que 6 mois de l'année sur le coralligène. Il affirme *laisser le coralligène se reposer l'autre moitié de l'année quand la pêche est moins rentable* et concentre alors son activité sur d'autres habitats. En automne par exemple il cible les dorades en migration le long des côtes.

Niveau "fonction" de la cascade

La fonction essentielle pour maintenir les ressources pêchées est la fonction d'habitat qui peut se décliner en plusieurs sous-fonctions selon que l'habitat est nécessaire pour tout le cycle de vie d'une espèce ou certaines étapes seulement : refuge, nourricerie, frayère², nurserie³. Une espèce peut utiliser plusieurs habitats successivement suivant son stade de vie, ou selon un rythme circadien ou saisonnier.

Les espèces pêchées dans les habitats coralligènes sont mobiles et n'ont pas les habitats coralligènes comme seuls habitats. Cela pose la question du niveau de

2. Frayère : lieu où se reproduisent les poissons

3. Nurserie : habitat d'une espèce à son stade juvénile et délaissé à son stade adulte

dépendance de la ressource pêchée aux habitats coralligènes. Par ailleurs il est possible que des ressources pêchées ailleurs que dans les habitats coralligènes soient dépendantes des habitats coralligènes à un stade de leur vie. D'après les entretiens avec des experts, je propose une première estimation d'un niveau de dépendance des espèces aux habitats coralligènes selon leur mode de vie sur une échelle faible-moyenne-forte (voir figure 2.5).

Parmi les espèces pêchées, les chapons et les langoustes sont considérés par les pêcheurs comme étant les plus dépendants des habitats coralligènes car ces espèces sont plutôt sédentaires et utilisent prioritairement les habitats coralligènes comme refuge et nourricerie. Les dorades et les dentis sont des espèces à larges déplacements qui utilisent les habitats coralligènes comme nourricerie de passage et parfois comme refuge temporaire. Un pêcheur ayant observé les contenus stomachaux de nombreux dentis affirme qu'ils se nourrissent entre autres d'anthias, petits poissons très typiques des habitats coralligènes.

Niveau "structure" de la cascade

La fonction d'habitat est essentiellement conditionnée par la structure caverneuse, complexe et en trois dimensions formée par les différentes strates des habitats coralligènes et la dynamique d'alternance de bio-construction et bio-érosion. Quelle que soit l'échelle d'observation, les habitats coralligènes ont une forte rugosité, c'est-à-dire qu'ils sont un ensemble de cavités et de surplombs. Cette structure complexe constitue de nombreux habitats de tailles extrêmement variables. De plus chaque cavité ou surplomb constitue des conditions particulières de luminosité, courant, exposition, inclinaison. Cette diversité d'environnements permet la colonisation par de nombreuses espèces sessiles, qui elles-mêmes attirent d'autres espèces.

Niveau "bénéfices" et "bénéficiaires" de la cascade

Les bénéfices sont perçus à l'échelle locale essentiellement. Les bénéficiaires directs sont les pêcheurs aux petits métiers. Ce groupe représente une faible part de la population locale, cependant c'est une part de la population qui dépend complètement des ressources associées aux habitats marins côtiers dont fait par-

tie le coralligène.

Les pêcheurs interrogés pratiquent essentiellement la vente directe aux particuliers, ou la vente aux restaurateurs ou poissonniers. La vente à la criée n'est plus pratiquée à Marseille. Les quantités et prix au kilos sont très variables selon les arrivages. Néanmoins, les pêcheurs s'accordent à dire que les espèces associées aux habitats coralligènes sont des espèces "nobles", qu'ils vendent cher. Certaines espèces (denti, St Pierre) ne sont pêchées qu'occasionnellement car elles ne peuvent pas être ciblées mais sont fortement valorisées.

Les ressources alimentaires fournies par les habitats coralligènes sont source de bien-être matériel en particulier pour les pêcheurs, qui en dépendent pour leur revenu et de façon plus générale pour l'avenir de leur profession. Les consommateurs (clients des pêcheurs) perçoivent aussi un certain bien-être matériel mais aussi l'épanouissement et des relations sociales. En effet, la pratique de la vente directe favorise les relations sociales et participe au "folklore" local, ce qui favorise également le tourisme.

D'après les estimations de MANGOS et al. (2010) basées sur les données de la FAO⁴, 4% des ressources pêchées en Méditerranée seraient sur des zones de coralligène (soit 37 450 tonnes), contre 3% pour les zones d'herbier de posidonie, 14% pour les zones de fonds meubles, 5% pour les zones de fonds rocheux et 74% en pleine eau. La pêche artisanale côtière, qu'elle soit pratiquée sur des habitats coralligènes ou pas, ne représente pas une grande part des tonnages de ressources alimentaires. En revanche les espèces pêchées sur les habitats coralligènes se distinguent par un prix de vente nettement supérieur à celui de la plupart des autres espèces pêchées en Méditerranée, en raison de leur rareté et leur qualité gustative.

2.3.2. Approvisionnement en corail rouge

Le corail rouge (*Corallium rubrum*) est une des espèces caractéristique du coralligène (E. BALLESTEROS 2006; LABOREL 1961; J.M. PÉRÈS et al. 1964).

4. FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

C'est également une espèce emblématique de Méditerranée dont la renommée dépasse largement les côtes méditerranéennes comme en témoigne des oeuvres d'art mongoles (TORRENTS 2007). Le corail rouge se trouve presque exclusivement en mer Méditerranée, des colonies ont toutefois été signalées sur les côtes de l'océan atlantique voisines espagnoles et marocaines (MARCHETTI 1965 ; TESCIONE 1973 ; ZIBROWIUS et al. 1984 ; CHINTIROGLOU et al. 1989) (cf. carte 2.10). La distribution géographique des colonies est ponctuelle, en "tâches", et principalement concentrée dans le bassin occidental de la Méditerranée (MARCHETTI 1965 ; CUDONI et al. 1991).

Parmi les espèces des habitats coralligènes, le corail rouge est l'une des plus longévives, la colonie recensée comme la plus âgée avait plus de 100 ans (RIEDL 1983 ; GARCÍA-RODRÍGUEZ et al. 1986). La colonie observée la plus grande mesurait 50 cm de hauteur (GARRABOU et J. G. HARMELIN 2002). L'espèce a un taux de croissance lent, de l'ordre de 1,78 mm/an en hauteur et 0,24 mm/an en diamètre (MARSCHAL et al. 2004). Les gorgonaires ont généralement un squelette protéique mais le corail rouge a un squelette calcaire qui doit sa couleur rouge à un pigment caroténoïde (CVEJIC et al. 2007). Ces caractéristiques en font ce matériau précieux dont on fait des ornements et des bijoux (voir photos 2.11). Le corail rouge a été observé entre 5 et 800 mètres de profondeur mais le plus souvent entre 30 et 200 mètres (CARPINE et al. 1975 ; ROSSI et al. 2008 ; COSTANTINI et al. 2010), ce qui implique qu'il est possible d'en collecter en apnée et en plongée.

Niveau "service" de la cascade

Le corail rouge est récolté depuis l'Antiquité pour l'utilisation de son squelette calcaire en bijouterie et en ornementation (MARCHETTI 1965 ; MOREL et al. 2000). Les corailleurs sont actifs dans le sud de l'Italie, le sud-est de la France, en Sardaigne, en Corse, à l'île d'Elbe, en Croatie, dans les îles grecques, en Turquie, à Majorque, dans la mer d'Alboran, sur la Costa Brava et sur la côte nord africaine (B. LIVERINO 1983).

L'exploitation d'un site corallifère s'apparente à celle d'une mine : le corailleur cherche et trouve un site corallifère, il l'exploite, jusqu'à épuisement éventuelle-

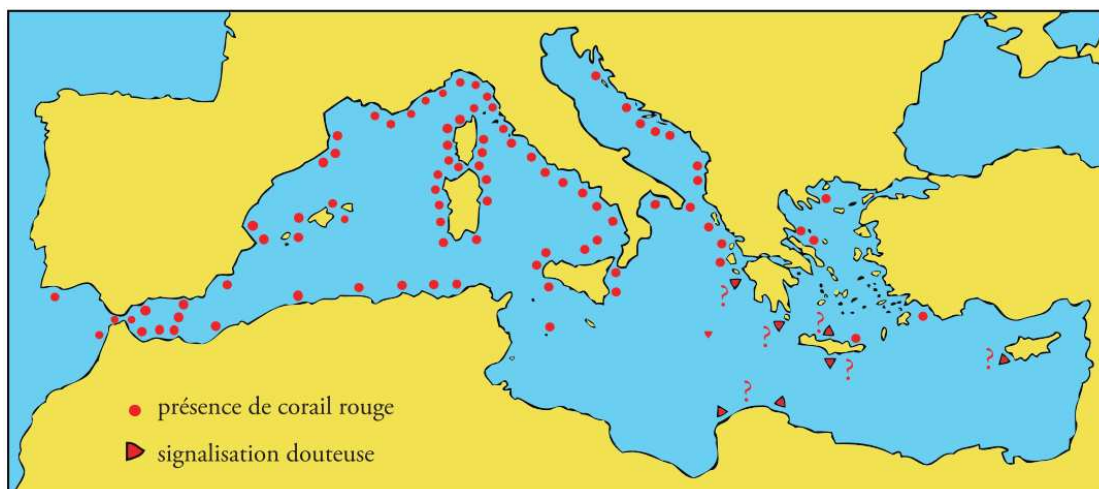


Figure 2.10. – Distribution du corail rouge en Méditerranée, d'après J-G Harmelin en 2000 (Torrents 2007)



Figure 2.11. – Gauche : Colonies de corail rouge sur tombant ©Frédéric Zuberer.
 Droite : une colonie (branche) de corail rouge dans son milieu naturel ©Dorian Guillemain

ment ou laissant les colonies se renouveler à leur lent rythme de croissance.

Le corail rouge n'est collecté que par beau temps prolongé et mer calme, c'est-à-dire surtout l'été. Le corailleur est toujours à la recherche de nouveaux sites corallifères. Une part de ses plongées est donc consacrée à l'exploration. Le corailleur se repère à l'aide de cartes et de sondeurs. Il peut utiliser un ROV (Remote Operated Vehicule), engin téléguidé équipé d'un capteur d'images, pour repérer les sites corallifères. Mais cette pratique n'est pas autorisée partout, notamment pas dans l'aire marine du parc national de Port-Cros. La réglementation française n'autorise l'exploitation qu'au delà de 50 mètres de profondeur. Le corailleur qui trouve une colonie de corail rouge de taille suffisante la détache, généralement à l'aide d'une marteline (sorte de marteau). A ces grandes profondeurs, le temps imparti au plongeur est rarement plus de vingt minutes par plongée et seule une plongée est possible par journée.

Niveau "fonction" de la cascade

Comme le dit son nom, le coralligène est *porteur de corail* (ROS et al. 1984). C'est la fonction d'habitat du coralligène qui est sollicitée pour assurer le développement des colonies de corail rouge. Le coralligène n'est pas le seul habitat du corail rouge, on le trouve plus généralement dans des conditions de lumières réduites dans des cavités, des grottes, des entrées de grotte, des tunnels, des tombants et sous surplombs, là où se développent des communautés animales sessiles (TORRENTS 2007) entre 10 et plus de 200 m de profondeur. D'après l'un des corailleurs interrogés : *le corail rouge se trouve dans les grottes, dans le coralligène. Il y en a plus dans le coralligène que dans la roche.*

Niveau "structure" de la cascade

Les algues rouges calcaires à la base des habitats coralligènes forment un substrat dur calcaire d'origine biogénique sur lequel le corail rouge s'installe. La structure caverneuse des habitats coralligènes offrent des cavités ombragées dans lesquelles cette espèce sciaphile⁵ trouve des conditions favorables à son

5. sciaphile : qui aime l'ombre

installation.

Niveau "bénéfices" et "bénéficiaires" de la cascade

Les bénéficiaires directs sont les corailleurs, infime part de la population locale. Une vingtaine de corailleurs disposent d'une licence active sur les côtes Méditerranéennes françaises. Pour exercer le métier de corailleur il faut être marin et scaphandrier. Les corailleurs ne peuvent généralement pas vivre du corail rouge toute l'année et "hors saison" ils pratiquent généralement d'autres pêches aux petits métiers.

Le corail rouge est un matériau précieux, parfois surnommé *l'or rouge de Méditerranée*. Le corail rouge du Nord-Ouest de la Méditerranée est particulièrement recherché : c'est le plus rouge et le plus dense. La quantité de corail rouge collectée par plongée est très variable. Un corailleur a un rendement qui peut être très variable, de 1 à 100 kg par an (comm.pers. de corailleur). Le prix est tout aussi variable selon la taille et la qualité de la branche⁶ de corail, et se négocie ou se détermine aux enchères. Le prix minimum est 60 euros le kilo, mais peut monter jusqu'à plus de 3000 euros le kilo. Le corail rouge est échangé sur un marché et les bénéficiaires en sont donc les agents économiques qui interviennent dans la chaîne de producteurs (corailleurs et vendeurs) et les consommateurs finaux. Ce marché est l'affaire de connaisseurs et est difficilement observable. La vente est rarement faite à des bijoutiers en France, la plupart des branches de corail rouge collectées en Méditerranée sont vendues à des manufactures italiennes qui sont les spécialistes en la matière par le biais de courtiers. Les bijoutiers, joailliers utilisent la matière travaillée pour monter des bijoux. Les bénéfices du corail rouge ne se limitent pas à des aspects marchands, en effet l'Homme l'associe depuis des millénaires à de nombreuses histoires, croyances et légendes qui contribuent à sa popularité et son succès. La valeur symbolique du corail rouge est certainement en partie prise en compte par le marché et contribue au prix élevé du corail rouge mais il reste vraisemblablement une grande part de cette valeur symbolique non prise en compte.

6. On parle généralement de colonie pour un corail rouge vivant, et de branche pour un corail rouge collecté

Niveau "pressions" et "mesures de gestion"

Dans les années 1980 la communauté internationale s'intéresse particulièrement à l'évolution de la ressource et des études montrent un déclin dans toutes les régions mise à part en Algérie. La surexploitation des colonies de corail rouge fut identifiée comme la cause principale de la diminution de la ressource (G SANTANGELO et al. 1993). Les événements climatiques sont des pressions secondaires. Pourtant le corail rouge n'est pas une espèce en danger, en partie grâce au fait qu'il devient fertile dès qu'il atteint 2 à 3 cm de haut, une taille où il n'a aucune valeur commerciale. L'espèce n'est pas protégée mais elle est inscrite à l'annexe II de la convention de Berne et à l'annexe III de la convention de Barcelone et son exploitation est aujourd'hui très réglementée. En France, le nombre de licence de pêche au corail est décidé annuellement par les Directions régionales des affaires maritimes en accord avec les représentants de la profession. Par ailleurs la technique de collecte du corail a évolué et est aujourd'hui bien moins impactante qu'avant les années 1980 où la croix de Saint-André était encore en usage et destructrice des fonds (voir figure 2.13). Les réglementations de l'Union européenne interdisent de collecter des coraux dont la base de la colonie mesure moins de 7mm de diamètre pour laisser au corail la possibilité de se renouveler. Comme pour toute autre espèce, la conservation du corail rouge nécessite une bonne connaissance de sa distribution géographique, de son abondance, de la dynamique de populations et des effets des perturbations sur ses populations (BAILLIE et al. 2004).

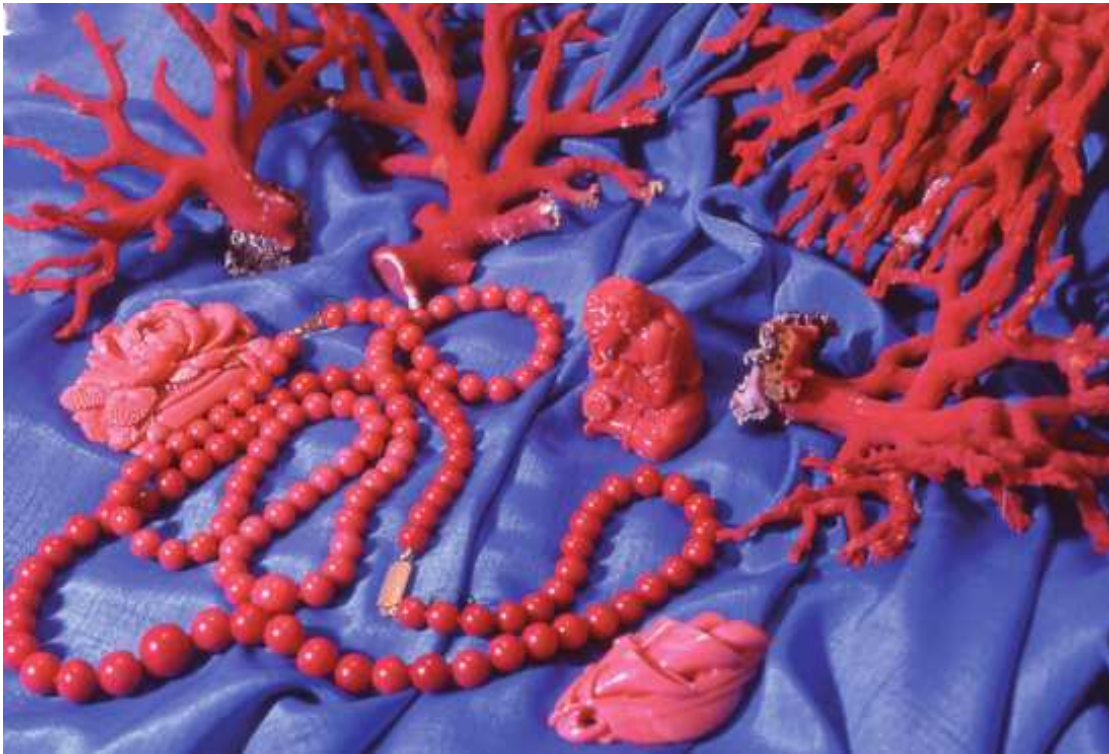


Figure 2.12. – Bijoux et ornements en corail rouge, d'après Torrents (2007)



Figure 2.13. – Gauche : Corailleur à l'œuvre ©Jean-Georges Harmelin, droite : une coralline pêchant du corail avec la croix de Saint-André, d'après Torrents (2007)

Le modèle conceptuel de la cascade appliqué au service d'approvisionnement en corail rouge

Le concept de service en cascade peut être appliqué jusqu'à un degré de détail avancé, en particulier en se concentrant sur un seul service. A titre d'exemple, je l'ai appliqué au cas du service d'approvisionnement en corail rouge (voir figure 2.14), qui est assez simple à représenter car il ne concerne qu'une seule espèce (au niveau *service*). Cette représentation de cascade du service d'approvisionnement en corail rouge est possiblement incomplète, mais est suffisante pour traiter des problématiques induites par le concept de cascade. En détaillant les niveaux *entités structurelles* et *fonctions*, le principe de cascade en deux niveaux n'a pas semblé pertinent car dans l'écosystème les entités structurelles remplissent des fonctions qui impactent elles-mêmes des entités structurelles. Or la cascade suppose une causalité entre les niveaux qui ne permet pas de représenter clairement des relations allers-retours entre niveaux. Il semble plus juste de représenter l'amont du service (c'est à dire l'écosystème), non pas en deux niveaux *entités structurelles* et *fonctions*, mais en autant de niveaux que nécessaires pour aboutir au service en précisant la nature de l'entité (*entité structurelle* ou *fonction*). Cette représentation des écosystèmes est plus proche de leur représentation en écologie. Les fonctions peuvent traduire soit des changements d'état ou de statut des entités structurelles, soit des l'impact d'un élément structurel sur un autre. Dans tous les cas, les fonctions impliquent une transformation structurelle.

L'identification des maillons de la "chaîne de production" du service est nécessaire appréhender le service dans son ensemble. Mais dans un objectif de gestion, ce n'est que la première étape. La seconde consiste à évaluer le service, en termes de qualité, de soutenabilité ou de justice sociale par exemple. L'évaluation peut alors porter sur différents maillons de la chaînes, et reposer sur des indicateurs de quantité, de qualité ou d'état. J'en propose, pour l'exemple, dans la figure 2.14. Les entités structurelles se mesurent plutôt en grandeurs. Alors que les fonctions se mesurent plutôt en taux⁷.

7. taux : rapport entre deux grandeurs, exprimé en valeur absolue et souvent en pourcentage

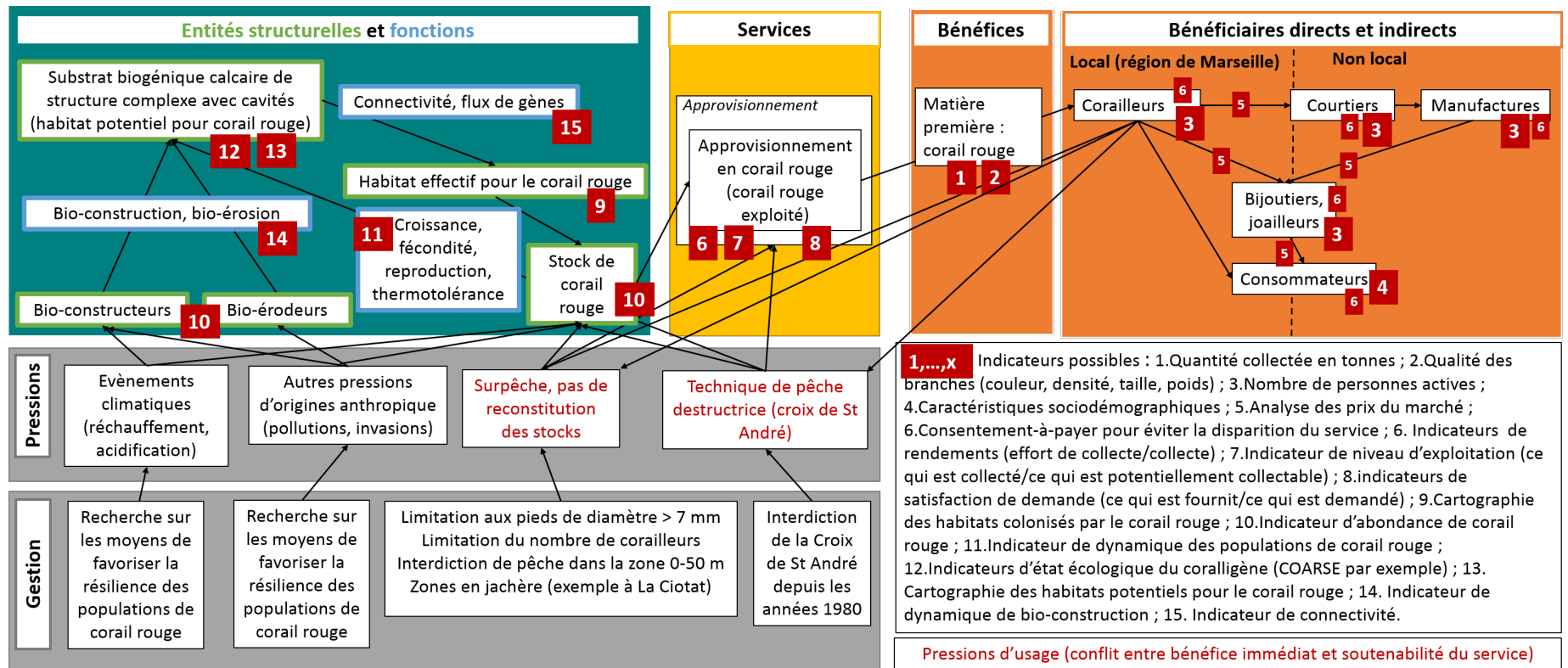


Figure 2.14. – Le modèle conceptuel de la cascade appliquée au service d'approvisionnement en corail rouge

2.4. Discussion

Les questions discutées dans ce chapitre s'appuient sur les connaissances d'experts interrogés, en particuliers les pêcheurs et corailleurs. Ceux-ci ont tous une grande connaissance des fonds qu'ils fréquentent mais qui diffère selon leur expérience. Ceux qui restent en surface ont une représentation des fonds à travers la topographie indiquée par les cartes et sondeurs et à travers leurs pêches. Alors que les corailleurs, qui plongent pour collecter le corail, ont une connaissance des fonds par leurs expérience *in situ* et distinguent plus nettement le coralligène d'autres fonds durs. Étant donné que le terme *coralligène* n'est pas couramment employé, j'ai commencé chaque entretien par une discussion sur la définition du coralligène. J'ai ainsi identifié que les termes *roches vivantes*, *madrépore*, *roche madréporique*, *fonds sales*, *fonds de branchignoles*, *fonds tourmentés* pouvaient désigner des habitats coralligènes, mais aussi parfois d'autres types de fonds durs riches en espèces, en particulier pour les pêcheurs. Ce constat incite à poursuivre le travail d'identification des espèces pêchées sur les habitats coralligènes et leur dépendance à ce milieu.

Les habitats coralligènes offrent l'occasion de tester le concept de cascade de service écosystémique avec un regard neuf invitant à se poser des questions sur la pertinence du modèle. D'un point de vue purement didactique, le concept de cascade peut simplifier la communication entre experts de différentes disciplines. Par ailleurs la diversité disciplinaire des experts utilisant et modelant le concept du service en cascade peut permettre d'enrichir le schéma pour tendre vers une vue d'ensemble, la plus simple possible. Un modèle conceptuel abouti est le premier pas vers la modélisation mathématique pour simuler la dynamique du système écosystème-service-société.

La gestion d'un service peut avoir différents objectifs tels que la soutenabilité du service, l'amélioration du service, la justice sociale, ou un arbitrage entre services. L'importance accordée aux éléments de la cascade dépend de ces objectifs. Par exemple, si l'objectif est de veiller à la justice sociale ou d'effectuer un arbitrage entre services, l'intérêt portera sur ce qui est en aval du service : qui a accès au service ? comment sont répartis les bénéfices ? Si l'objectif est la soutenabilité du service, l'intérêt portera davantage sur ce qui est en amont du service (no-

tamment la capacité de production de l'écosystème), les pressions et les mesures de gestion. Il semble que la plupart des études portant sur les services écosystémiques soit focalisées sur un des deux côtés de la cascade : soit l'amont (écosystème) soit l'aval (société) du service. Les écologues se préoccupent naturellement de l'amont et les économistes de l'aval du service. Ignorer ce qui en amont du service c'est prendre le risque qu'il disparaisse. Ignorer ce qui est en aval du service relève plus de l'approche d'écologie conservationniste (ou l'Homme n'a pas de place particulière) que de l'approche de service écosystémique (anthropocentrée).

Le concept de cascade de service écosystémique est pertinent pour être utilisé à des fins de gestion car il met en évidence les interactions (dépendance notamment) entre écosystèmes et sociétés. Plus le schéma est détaillé, plus il reflète la complexité des interactions et aide à cibler les mesures de gestion adéquates. Le schéma de la cascade permet également de clarifier ce qui est mesuré ou évalué.

Le concept de la cascade clarifie en partie le discours sur les services écosystémiques qui, comme le terme biodiversité, sont des termes fourre-tout ayant l'avantage d'être facilement appropriable mais l'inconvénient d'avoir diverses définitions. Néanmoins, malgré les définitions des niveaux de la cascade données par HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010), les études appliquant le concept de cascade ne concordent pas parfaitement sur la place des éléments dans la cascade. Par ailleurs pour évaluer un même service écosystémique, différentes études mesurent généralement différentes choses, sans nécessairement préciser à quel niveau de la cascade se place l'évaluation (A. BOEREMA et al. 2016). L'important pour clarifier le discours et les évaluations est que les études se basent sur une référence commune : ce peut être la cascade en 5 niveaux proposée par HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010) ou pas, mais l'important est que les auteurs précisent leur schéma du service écosystémique et à quel niveau de leur schéma se place l'évaluation.

Pour quantifier les services aux différents niveaux de la cascade, il est possible d'utiliser des indicateurs déjà existants. En amont du service, les variables essentielles de biodiversité sont pertinentes : il s'agit d'un ensemble minimal de variables biologiques indicatrices de changements dans l'écosystème. Elles

sont regroupées en six catégories : structure de l'écosystème, fonctionnement de l'écosystème, composition des communautés, traits fonctionnels des espèces, populations d'espèces, composition génétique. De même les indicateurs d'état écologiques des écosystèmes sont pertinents : plusieurs indicateurs d'état écologique ont déjà été développés pour les habitats coralligènes (SARTORETTO, SCHOHN et al. 2017 ; GATTI et al. 2015 ; DETER et al. 2012 ; PAOLI, MORTEN et al. 2016). Cependant ces variables sont focalisées sur l'état et le fonctionnement de l'écosystème, sans considérer l'Homme dans le système, si ce n'est éventuellement comme source de pression pour l'écosystème, ce qui ne correspond pas à l'approche de service écosystémique. D'autres indicateurs sont nécessaires pour évaluer les services, en particulier pour évaluer les interactions de dépendance entre niveaux de la cascade. Par exemple pour quantifier un service d'approvisionnement en pêche fourni par un habitat, il faut identifier la dépendance des espèces pêchées à l'habitat en question. Si on considérait un indice de dépendance d'une espèce à son habitat qui s'exprimerait sur une échelle de 0 % à 100 % : 100% serait le niveau de dépendance maximale correspondant au cas où une espèce ne vit que dans l'habitat considéré, à tous les stades de son cycle de vie. Le calcul de cet indice pourrait se baser sur la connaissance des habitats fréquentés par l'espèce à chaque étape de son cycle de vie (larve, juvénile, adulte, reproduction), et la disponibilité de ces habitats en surface ou l'estimation de la fréquentation des différents habitats dans un secteur donné. Les indicateurs associés aux niveaux de la cascade peuvent aider à faire des arbitrages entre services lorsque ceux-ci sont en conflits. Si par exemple le conflit concerne l'occupation du territoire cela peut aboutir à un partage du territoire en zones d'activités privilégiées. Dans une approche de service écosystémique, les décisions de gestion ont besoin d'indicateurs d'interdépendance entre les maillons de la chaîne de production des bénéfices pour l'Homme.

3. Importance du coralligène pour l'activité récréative de plongée sous-marine en scaphandre autonome dans la région de Marseille



Photographie prise par Frédéric Zuberer (Marseille)

Importance du coralligène pour l'activité récréative de plongée sous-marine en scaphandre autonome dans la région de Marseille

Résumé

Le coralligène fournit des services écosystémiques, parmi lesquels la production de paysage sous-marin d'intérêt pour les plongeurs est celui qui sensibilise le plus les bénéficiaires directs, puisque ceux-ci en profitent *in situ*. Cette condition en fait aussi le service écosystémique le plus facilement identifiable, contrairement à d'autres services comme l'approvisionnement en ressources alimentaires, qui dépend d'espèces dont la qualité mobile rend délicate l'association au coralligène par rapport à d'autres habitats marins. Par ailleurs, la plongée semble être l'activité liée au coralligène qui a le plus fort impact économique actuellement. La motivation à pratiquer la plongée, malgré les risques d'accidents et les investissements nécessaires, est principalement la volonté d'explorer un monde marin riche en vie. Plusieurs études suggèrent que le coralligène est l'un des paysages préférés des plongeurs parmi les paysages sous-marins méditerranéens. Les objectifs de ma recherche sont de décrire l'activité de plongée dans la région de Marseille et d'analyser l'effet de la présence de coralligène sur le choix d'un site de plongée. La contribution majeure de cette étude est d'apporter des données réelles de fréquentation des sites de plongées contenues dans les fiches de sécurité fournies par 8 structures de plongée pour les années 2014 et 2015 : date et lieu de la sortie, profil des plongeurs et paramètres des plongées. L'analyse des 6924 palanquées (soit 13910 plongeurs) confirme que la présence de coralligène a un effet positif sur le choix d'un site de plongée tandis que le niveau des plongeurs, leur objectif de plongée (formation ou exploration) et la protection du site aux vents dominants sont des contraintes qui n'impactent pas significativement le choix du site de plongée. Ainsi, ce dernier est effectué en fonction d'autres paramètres de type attrait plutôt que contraintes. D'après l'échantillon, le coralligène est l'intérêt paysager qui impacte le plus significativement le choix du site, et ce de façon positive.

Table des matières

3.1	Introduction	124
3.2	Matériels	131
3.2.1	La zone d'étude : Marseille, Cassis et La Ciotat	131
3.2.2	La collecte des données	131
3.3	Description de l'activité de plongée et de la présence de coralligène dans la zone d'étude et l'échantillon	135
3.3.1	Sites de plongées	135
3.3.2	Structures de plongées	138
3.3.3	Les plongeurs et palanquées de l'échantillon	139
3.3.4	Fréquentation des sites de plongées observée dans l'échantillon	140
3.4	Analyse de l'effet de la présence de coralligène sur la fréquentation des sites de plongées par 8 structures	146
3.4.1	Description de l'échantillon	146
3.4.2	Choix du modèle : négatif binomial NB2 tronqué en zéro	148
3.4.3	Résultats des estimations	151
3.4.4	Interprétation des résultats	155
3.5	Discussion	157

3.1. Introduction

Après avoir présenté l'état actuel des connaissances sur les services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes (chapitre 1) et avoir testé l'application du concept de cascade de service écosystémique (chapitre 2), j'ai souhaité mettre en évidence l'importance du coralligène en tant qu'agrément de l'activité de plongée. La plongée est l'activité la plus clairement identifiable comme ayant lieu sur le coralligène, puisqu'elle implique une présence *in situ*. Par ailleurs, la plongée semble être l'activité liée au coralligène qui a le plus fort impact économique.

La plongée sous-marine peut désigner plusieurs types d'activités mais dans ce chapitre il s'agit de la plongée sous-marine en scaphandre autonome de loisir : activité qui consiste pour une personne à évoluer librement en plongée sous l'eau, pour son loisir, et en respirant à l'aide d'un dispositif individuel portatif contenant une réserve de gaz respirable comprimé. Cette activité est à distinguer de la plongée libre en apnée, ou de toute pratique de la plongée à vocation professionnelle.

D'après MASCRET (2010) : *La Mer Méditerranée est le berceau de la plongée*. Plus précisément, la plongée de loisir telle que pratiquée aujourd'hui, est née en France dans les environs de Marseille dans les années 1930 et n'a cessé de se développer depuis (FORET et al. 2007). La technologie nécessaire pour plonger en scaphandre autonome se développe à partir des années 1860, mais seulement dans un cadre professionnel. C'est dans la période 1935-1960 que se développe la plongée de loisir au fur et à mesure que la technologie fournit les équipements nécessaires : le masque et les palmes vers 1930, une version perfectionnée du détendeur par Gagnan et Cousteau en 1943, et la combinaison de plongée moderne par Beuchat en 1950. La plongée de loisir est d'abord une activité de quelques pionniers. Elle devient associative au niveau national avec, en 1948, la création de l'actuelle Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins (FFESSM). Puis l'intérêt pour le monde sous-marin et l'envie de l'explorer gagnent le grand public dans les années 1960 grâce à la diffusion sur écran des premiers films et documentaires sur le monde sous-marin (FORET et al. 2007), dont *Le Monde du silence* de Cousteau et Malle en 1956. Dans les années 1960 tous les éléments sont réunis pour généraliser la pratique de la plongée : les congés payés

favorisent depuis 1936 le développement de toute activité de loisir, l'intérêt du public pour le monde sous-marin est éveillé par les documentaires et la médiatisation de l'explorateur Cousteau, la technologie est prête bien qu'encore rudimentaire, des outils sont développés pour le plongeur (livret technique, tables de décompressions diffusées en dehors du milieu militaire, brevets techniques) et des structures offrent un cadre sécurisé aux personnes désirant s'initier à la plongée sous-marine (FORET et al. 2007). La période 1960-1985 est une période de structuration de l'activité de plongée de loisir en France (FORET et al. 2007). En parallèle, l'activité se développe à l'étranger, ainsi qu'en témoigne la création en 1959 de la CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques) suite à une volonté commune des fédérations de France, Allemagne, Belgique, Grèce, Italie, Portugal, Monaco, Suisse, Yougoslavie, Brésil et Etats-Unis d'Amérique. Vers 1985, l'activité de plongée se démocratise grâce à l'apparition d'équipements plus sécurisés (notamment l'ordinateur de plongée), accessibles à tous, et un encadrement de la pratique. Il y a alors suffisamment d'adeptes pour encourager le marché à se développer, la plongée de loisir est alors commercialisable et commercialisée, être moniteur devient un métier (MASCRET 2010). Entre 1985 et 1995, le nombre de plongeurs licenciés à la FFESSM fait un bond de 80 000 à 150 000. L'engouement populaire pour le film *Le Grand Bleu* de Luc Besson en 1988 n'y serait pas pour rien, bien qu'il s'agisse essentiellement d'apnée (FORET et al. 2007). L'évolution du nombre de plongeurs semble assez liée à la médiatisation d'images du monde sous-marin. En 2007, la France compte plus de 350 000 plongeurs réguliers et plus de 2 millions de personnes ayant pratiqué au moins une fois de la plongée dans leur vie (FORET et al. 2007).

Dans l'historique de la plongée et l'étude du monde marin, Marseille se distingue en pionnière dans les domaines des sciences naturalistes, de la technique des équipements sous-marins, et enfin dans l'activité de loisir. La station marine d'Endoume, créée en 1869, est l'un des premiers centre de recherche en zoologie et biologie marine de province. C'est aussi à Marseille que fut créé dès le début des années 1940, l'un des premiers clubs de plongée au monde : le Groupement de Pêche et d'Etudes Sous-Marine (GPES, aujourd'hui basé à La Ciotat) (SCORSONELLI et al. 2012). Marseille fut le siège de l'Office Français de Recherches Sous-Marines (OFRS) créé par Cousteau en 1952. Marseille est aujourd'hui le siège de la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins (FFESSM) et

des organismes professionnels spécialisés tels que l'Institut National de Plongée Professionnelle (INPP), le Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines (DRASM), la Compagnie maritime d'expertise (COMEX) spécialiste de la plongée sous-marine par grands fonds, sans compter les organismes de recherche dans le domaine marin. Ce riche historique témoigne de l'importance du secteur de Marseille pour le développement de l'activité de plongée.

En 2014, une enquête auprès des structures de plongées estime à 12 000 le nombre de sorties de plongées du département Bouches du Rhône, dont la moitié seraient réalisées à Marseille (PLOUVIER 2014). Pour comprendre l'analyse faite dans ce chapitre, il est nécessaire d'avoir quelques connaissances sur la pratique de la plongée qui est une discipline tout à fait particulière dont les codes et règlement sont rarement connus du grand public. La pratique de la plongée implique de la part du plongeur un lourd investissement à la fois en formations (obligatoire en France sauf pour un baptême de plongée) et en matériel (dont une partie est obligatoire). Notons que la plupart des plongeurs pratiquent leur plongée au sein d'une structure disposant de l'équipement et de l'encadrement complémentaire (bateau, bouteille de plongée, connaissance des sites, etc.). Ces contraintes, ajoutées à la nécessaire bonne condition physique requise, en font un sport réservé à une minorité de personnes, qui sont généralement tout à fait passionnées.

Marseille et ses alentours comptent aujourd'hui un grand choix de sites et de structures de plongée, ainsi que des prestataires de services et vendeurs de matériel tirant partie de l'activité de plongée. Il existe aujourd'hui deux types de structures de plongée : les structures commerciales et les structures associatives. Les structures commerciales visent généralement un marché de "clients consommateurs" et de touristes (bien que de plus en plus de structures associatives essayent maintenant de s'attaquer à ce marché et entrent en compétition avec les structures commerciales). Les structures associatives s'intéressent quant à elles au marché local, en recevant majoritairement des plongeurs habitant à proximité et ayant tendance à s'investir d'avantage en plongeant toute l'année (CHAUVEAU 2005). Ces deux types de structures proposent généralement des stratégies de vente différentes. Les structures commerciales sont des entreprises

ayant des salariés. Pour être rentables, elles proposent des tarifs de plongée à l'unité plus élevés que les associations (*l'organisation d'une plongée est peu ou pas rentable pour une plongée tarifée en moyenne à 28€ en 2004* (CHAUVEAU 2005)). Le prix moyen d'une plongée est estimé à 37€ en 2010. Les structures associatives peuvent se permettre de proposer des tarifs plus faibles grâce aux subventions et/ou en s'associant à plusieurs pour alléger les frais et les investissements (bateaux, compresseurs, etc.). Par contre, elles demandent en général à leurs adhérents de payer une cotisation annuelle en plus du prix de la plongée. Certaines associations demandent une cotisation très élevée, traduisant une offre qui s'étale au-delà de la prestation classique d'un club de plongée qui propose une simple sortie de plongée en mer payante. Ces associations demandant une cotisation "élevée" le justifie par un éventail d'activités (entraînement hebdomadaire en piscine, un forfait illimité de sortie en mer pendant l'année, etc.).

La plongée se distingue des autres sports qui impliquent une confrontation à la nature difficilement accessible comme l'escalade ou la spéléologie, en ce sens que l'objectif de l'activité est essentiellement d'explorer et observer des paysages et des espèces marines et d'évoluer dans un environnement aquatique. Avec la technologie actuelle, la pratique de la plongée ne représente pas une performance sportive en soi, mais ce sport exige une bonne condition physique et une discipline stricte. Plusieurs études montrent que les plongeurs sont principalement motivés par l'observation de la richesse de la vie marine, puis par la recherche de l'ambiance sous-marine particulièrement calme (BRIQUET-LAUGIER et al. 2007 ; DITTON et al. 2002 ; TABATA 1992 ; MUNDET et al. 2001). D'autres motivations avancées sont la convivialité de la pratique et la recherche d'aventure (BRIQUET-LAUGIER et al. 2007 ; DITTON et al. 2002 ; MASCRET 2010). Par ailleurs, bien que la plongée puisse provoquer des traumatismes physiques (barotraumatismes essentiellement), elle est aussi source de réduction de stress et de bien-être mental (BENETON et al. 2017).

Les paysages sous-marins jouent un rôle majeur dans la motivation à pratiquer la plongée et leur attrait est renforcé par des facteurs biologiques, géomorphologiques (*i.e.* complexité 3D) et anthropogéniques (THORIN et al. 2014). Parmi les facteurs identifiés par THORIN et al. (2014), ceux qui renforcent particulièrement l'attrait d'un site sont la présence de grandes cavités, de parois, de grandes

espèces érigées, et de formes et couleurs abondantes et diversifiées. Le coralligène justement constitue l'un des paysages sous-marins parmi les plus riches en espèces, les plus complexes et les plus diversifiés de Méditerranée. La valeur esthétique du coralligène a par ailleurs été démontrée via une enquête en grand public basée sur des photographies par TRIBOT et al. (2016) qui montrent que parmi les espèces fixées du coralligène, les préférences des plongeurs vont aux gorgones et coraux, et aux couleurs rouge et violet. Par ailleurs, la curiosité des plongeurs pour les éléments biologiques d'un site est grandissante. La pratique de la plongée évolue avec le développement des sensibilités écologiques et de protection de l'environnement : en témoigne la commission spécialisée en environnement et biologie subaquatique créée en 1969 au sein de la FFESSM Au-delà de l'approche sportive et techniciste des années pionnières, la plongée est aujourd'hui pratiquée avec une recherche de compréhension et de respect du milieu. C'est pourquoi les formations pour les plongeurs sur la vie marine s'ajoutent aux formations classiques de technique de plongée.

En France, les règles qui encadrent l'activité de plongée sont très strictes. Le niveau du plongeur conditionne la profondeur à laquelle il est autorisé à évoluer. D'après la certification CMAS française, les profondeurs autorisées sont les suivantes : 6 m pour un débutant (baptême) / 12 m pour un plongeur de niveau 1 / 20 m pour un plongeur de niveau 2 autonome ou 40 m encadré / la tranche de profondeur des 40-60 m n'est accessible qu'aux plongeurs de niveaux 3 et supérieurs. Les certifications étrangères (PADI et SSI) présentent des variantes mais les tranches de profondeurs de la CMAS sont les plus appliquées en France. Ainsi des palanquées plongeant sur le même site, mais dont les prérogatives sont différentes, n'atteindront probablement pas la même profondeur. Ces prérogatives conditionnent la possibilité de voir du coralligène, puisque c'est à partir de 20 m de profondeur que le coralligène est présent. Ceci exclut les nageurs de surface, les apnéistes sauf rares cas très expérimentés, et les plongeurs débutants et de niveau 1. Il est possible que cette particularité d'être accessible uniquement en plongée autonome avec un certain niveau d'expérience soit un critère d'attrait pour les plongeurs. En effet, les plongées en profondeur permettent d'observer des espèces différentes et des individus de taille plus importante que proche de la surface.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, l'activité de plongée est fortement motivée par la volonté d'observation du monde marin. Le choix du site de plongée conditionne grandement la satisfaction du plongeur, puisque c'est sur lui que repose le potentiel d'observations de la plongée. On peut supposer que le choix du site de plongée est motivé par des éléments d'intérêt du site : éléments paysagers, présence et abondance d'espèces visibles et d'intérêt. Par ailleurs le choix du site est conditionné par les aptitudes des plongeurs, les conditions environnementales et la distance au port d'attache. Pour que la fréquentation des sites de plongée puisse être considérée comme indicateur de l'attrait du site, il faut donc prendre en considération ces contraintes. D'autre part il faut comprendre comment s'organise une plongée typique au sein d'une structure. Lorsqu'un plongeur lambda réserve un créneau de plongée dans une structure, cette dernière décide de la formation des palanquées¹. Les palanquées emmenées dans le même bateau plongent sur le même site de plongée. Le choix du site est fait par la structure mais celle-ci prend en considération les préférences des plongeurs. La distance du site au port d'attache fait nécessairement partie des facteurs pris en considération. Le plongeur paye un prix fixe quel que soit le site de plongée. On suppose que le plongeur régulier choisit de plonger dans une structure qui l'emmène sur des sites qu'il apprécie. Toutes ces considérations mettent en évidence la complexité de l'analyse de choix du site de plongée, due à l'ensemble des contraintes évoquées.

Le coralligène de Marseille est typique. En effet, la définition du coralligène repose historiquement sur le coralligène de Marseille puisque c'est Marion en 1883 qui a utilisé le mot coralligène pour la première fois pour décrire des fonds durs que les pêcheurs marseillais appelaient *broundo*. La particularité du coralligène marseillais est qu'il recouvre de grandes surfaces continues, contrairement à d'autres régions de Méditerranée comme en Grèce ou en Turquie (constat établi par les chercheurs impliqués dans le programme CIGESMED (présenté en annexe). Le coralligène est donc particulièrement bien représenté à Marseille. Toutefois le plongeur, même expérimenté, peut fréquenter le coralligène régulièrement sans nécessairement le distinguer d'un tombant à gorgones non coralligène (c'est à dire sans bio-concrétionnement par des algues calcaires). Il n'est

1. Palanquée : groupe de 2 à 5 plongeurs qui effectuent ensemble une plongée présentant les mêmes caractéristiques de durée, de profondeur et de trajet.

ainsi pas si évident d'obtenir des données fiables en demandant à un plongeur s'il plonge régulièrement sur du coralligène, mieux vaut évaluer son expérience en s'appuyant sur des photographies et une description détaillée. Plusieurs enquêtes récentes menées auprès de structures de plongée suggèrent que le coralligène est le paysage marin préféré des plongeurs (PLOUVIER 2014 ; CHIMIENTI et al. 2017).

Mon travail s'inscrit dans l'effort actuel de mettre en évidence l'importance du coralligène pour le bien-être humain, en me focalisant sur l'activité de plongée de loisir. La problématique de cette étude est d'estimer l'importance du coralligène pour l'activité de plongée dans la région de Marseille en observant directement les plongées réalisées et les éléments de contexte de l'activité.

Cette étude a deux objectifs :

- décrire l'activité de plongée dans la région de Marseille en mettant en évidence le lien avec le coralligène,
- analyser l'effet de la présence de coralligène sur la fréquentation d'un site de plongée.

3.2. Matériels

3.2.1. La zone d'étude : Marseille, Cassis et La Ciotat

La zone d'étude comprend les communes de Marseille, Cassis et La Ciotat ainsi que leur espace marin adjacent fréquenté par les plongeurs. La Côte Bleue n'est pas comprise dans la zone d'étude car aucune donnée de fréquentation n'a pu être collectée dans ce secteur.

3.2.2. La collecte des données

Pour répondre à la problématique j'ai collecté en 2016 des données de plongées effectuées dans les années 2014 et 2015, ainsi que des données complémentaires pouvant expliquer la fréquentation des sites de plongée. Après élimination des observations pour lesquelles des informations nécessaires étaient manquantes, seule une partie de ces données a constitué l'échantillon retenu pour répondre au second objectif (analyser l'effet de la présence de coralligène sur le choix d'un site de plongée).

J'ai retenu les facteurs suivants pour le choix d'un site de plongée :

- Contraintes liées aux plongeurs : niveau de plongée, objectif de plongée (formation ou exploration)
- Contraintes liées au site : protection du site aux vents dominants (le mistral (Nord-Nord-Ouest) et le vent du Est-Sud-Est),
- Intérêts paysagers du site : herbier, grotte, épave, tombant², blocs rocheux, éboulis, faille/arche, fond sableux),
- Présence de coralligène.

La présence de coralligène est traitée séparément des autres intérêts paysagers car il s'agit du sujet de mon étude et de plus le mot *coralligène* est rarement cité comme intérêt paysager dans les sources bibliographiques présentant les sites de plongée. En revanche ces sources citent souvent le mot *tombant* qui est souvent associé à du coralligène.

2. Un tombant est une paroi rocheuse sous-marine.

Les données utilisées dans ce chapitre ont une double nature. D'une part j'ai recensé les données disponibles sur internet ou dans la littérature. D'autre part j'ai pu avoir accès aux fiches de sécurité de certaines structures de plongée, ce qui constitue une source unique d'information sur les pratiques réelles des structures de plongée. Les données sont réparties en deux niveaux : la *zone d'étude* qui fait référence à l'ensemble des données recensées, et l'*échantillon* fait référence aux données de la zone d'étude qui ont pu faire l'objet de l'analyse de fréquentation des sites (voir le tableau 3.1).

Table 3.1. – Contenu de la base de données

Catégories de données	Données collectées	Sources	Dans la zone d'étude	Dans l'échantillon
Sites de plongées	Nom, secteur, coordonnées géographiques, orientations, présence de coralligène, intérêts paysagers	Bibliographie, internet	156	97
Structures de plongées	Nom, commune, statut (commercial ou associatif)	Bibliographie, internet, structures de plongée	65	8
Palanquées	Informations issues de la fiche de sécurité	Structures de plongées		3441 (2014) 3483 (2015) fournies par 8 structures

Les sites de plongée

Les sites de plongée de la zone d'étude ont été recensés à partir de l'ouvrage de référence *100 belles plongées de Marseille et sa région de la Côte Bleue à La Ciotat* (SCORSONELLI et al. 2012). Au total 156 sites de plongée ont été recensés dans la zone d'étude. Parmi ces sites, 97 sont représentés dans l'échantillon des plongées

observées : c'est à dire qu'ils ont été fréquentés en 2014 ou 2015 par au moins une des 8 structures constituant l'échantillon et les informations les concernant nécessaires à l'analyse ont bien été collectées. La zone d'étude est divisée en 7 secteurs facilement identifiables et mutuellement exclusifs : la rade de Marseille, le Frioul, le Planier, l'archipel de Riou, les Calanques, Cassis et La Ciotat. Le tableau 3.2 indique, par secteur, le nombre de sites de plongée recensés et ceux retenus dans l'échantillon.

Table 3.2. – Nombre de sites recensés par secteur
Les pourcentages se réfèrent au nombre de sites recensés

Secteur	Sites recensés	Sites dans l'échantillon
L'Archipel de Riou (Marseille)	50	31 (62%)
Le Frioul (Marseille)	25	14 (56%)
Les Calanques (Marseille)	15	7 (47%)
La Rade de Marseille	12	6 (50%)
Le Planier (Marseille)	8	4 (50%)
Cassis	19	15 (79%)
La Ciotat	27	20 (74%)
Total	156	97 (62%)

Pour chaque site les informations suivantes ont été recherchées : nom, secteur, coordonnées géographiques, orientation aux points cardinaux, présence de coralligène et intérêt paysager. Il arrive qu'il y ait des confusions concernant les noms des sites, en particulier pour les sites les moins fréquentés. En cas de doute, les informations ont été validées par les structures de plongée fréquentant le site. L'orientation aux points cardinaux et la connaissance des sites par des plongeurs ont permis de déduire la protection du site aux vents, en particulier aux vents dominants. A Marseille, les vents dominants sont le Mistral (Nord-Nord-Ouest et Nord-Ouest) et le vent d'Est-Sud-Est. Les intérêts paysagers considérés sont ceux couramment cités dans les présentations des sites de plongée. Nous en avons recensé 8 : tombant, grotte, blocs rocheux, épave, fond sableux, éboulis, faille/arche, herbier. La présence de coralligène a été déduite de plusieurs sources d'informations : prioritairement les connaissances des sites par des plongeurs biologistes et à défaut la cartographie d'habitats CARTHAM (2012).

Les structures de plongée et les palanquées

Les structures de plongées de la zone d'étude ont été recensées en effectuant les recherches sur internet et avec le livre *100 belles plongées à Marseille et dans sa région, de la Côte Bleue à La Ciotat* (SCORSONELLI et al. 2012). Au total 65 structures de plongée ont été recensées dans la zone d'étude (tableau 3.3).

Pour l'estimation de la fréquentation des sites de plongées, j'ai choisi d'utiliser les informations contenues dans une *fiche de sécurité* type que les structures de plongées françaises ont l'obligation de remplir pour chaque plongée et de conserver durant un an. Il n'y a pas de modèle de fiche de sécurité réglementaire, mais un certain nombre d'informations doivent obligatoirement y figurer notamment la date, le site de plongée, les niveaux des plongeurs et les paramètres de plongée de chaque palanquée (heure de début et de fin, profondeur, durée). Une fiche de sécurité type est présentée en annexe.

Parmi les 65 structures recensées, 62 ont pu être contactées, et 9 ont accepté de mettre à notre disposition leurs fiches de sécurité mais l'une d'entre elle n'a pas été prise en compte dans l'échantillon car les fiches de sécurité de l'année 2014 étaient manquantes. La nature sensible des données demandées explique un taux de réponse favorable relativement bas (14,5%). Parmi les 8 structures constituant l'échantillon, 6 sont de Marseille, 1 de Cassis, 1 de La Ciotat (tableau 3.3). Les données ont été saisies le plus souvent sur place (dans les locaux des structures de plongées) pour des raisons de confidentialité. L'échantillon est constitué de 6924 palanquées, soit 13910 plongeurs (tableau 3.4). Les analyses sont faites principalement à l'échelle de la palanquée, plutôt qu'à l'échelle du plongeur, car les plongeurs d'une même palanquée font exactement la même plongée.

Logiciels utilisés

Les statistiques ont été réalisées avec les logiciels ©Excel et ©Stata. Les sites ont été cartographiés avec le logiciel ©Qgis et en utilisant les ressources cartographiques de l'IGN.

Table 3.3. – Nombre de structures de plongée recensées et dans l'échantillon

Communes	Structures recensées	Structures dans l'échantillon
Marseille	54	6 (11%)
Cassis	4	1 (25%)
La Ciotat	7	1 (14%)
Total	65	8 (12%)

Table 3.4. – Nombre de plongeurs et palanquées observés constituant l'échantillon

	2014	2015	Totaux
Plongeurs	6868	7047	13910
Palanquées	3441	3481	6924

3.3. Description de l'activité de plongée et de la présence de coralligène dans la zone d'étude et l'échantillon

3.3.1. Sites de plongées

L'objectif de cette section est de présenter les sites selon les variables potentiellement explicatives du choix d'un site de plongée. Je présente donc la répartition des sites selon la présence de coralligène, les autres intérêts paysagers et la protection face aux vents dominants.

Présence de coralligène

La figure 3.1 présente la répartition des sites selon la présence de coralligène. Sans tenir compte des données manquantes, on observe que dans la zone d'étude il y a environ équi-répartition du nombre de sites avec coralligène (55%) et sans coralligène (45%). En revanche dans l'échantillon, le nombre de sites avec coralligène est dominant (66%).

La figure 3.2 présente la cartographie des sites avec et sans coralligène. On observe que dans chaque secteur il y a des sites avec et des sites sans coralligène,

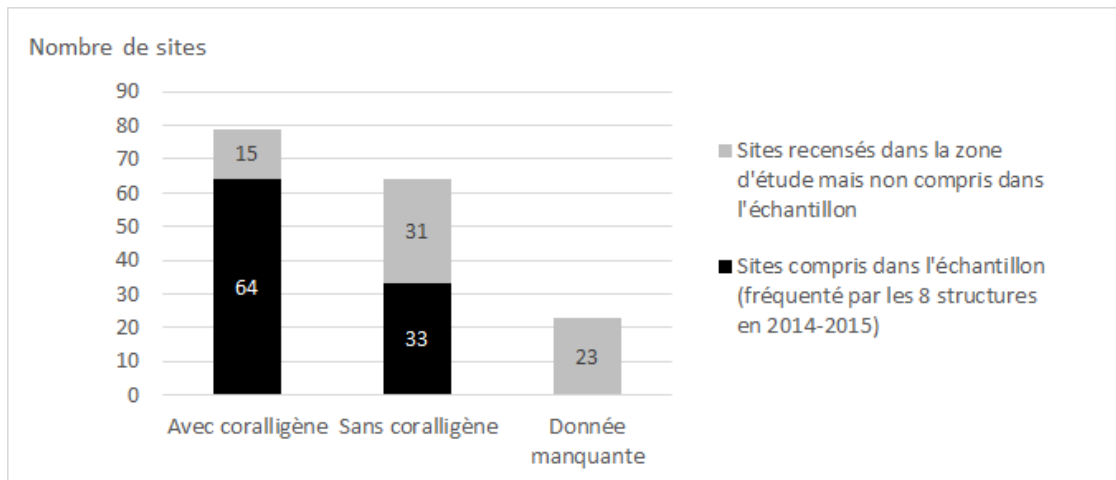


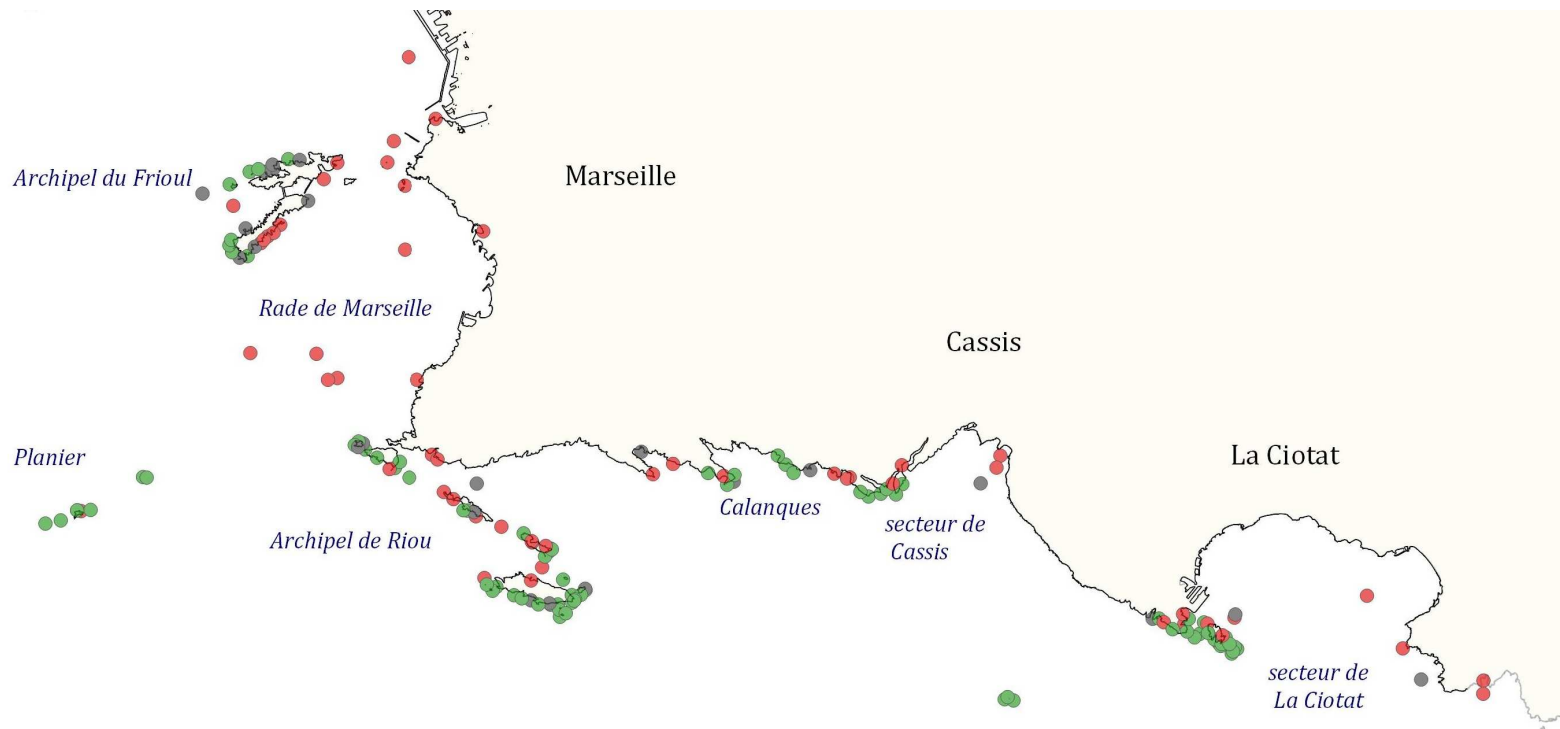
Figure 3.1. – Répartition des sites selon la présence de coralligène

sauf dans la rade de Marseille où il n’y a pas de coralligène mais aucune structure n’a un rayon d’action restreint à la rade de Marseille. La figure 3.3 confirme cette observation. Ainsi, quel que soit le lieu de départ des plongeurs, ceux-ci ont la possibilité de se rendre sur un site avec ou sans coralligène dans les secteurs qui leurs sont accessibles.

Les intérêts paysagers

Parmi les 8 intérêts paysagers considérés, d’après les données collectées, c’est le *tombant* qui est sans conteste le plus représenté sur les sites de plongée (voir tableau 3.5). Les *grottes*, les *épaves* et les *blocs rocheux* sont ensuite les plus représentés sur les sites de plongée. Les autres intérêts paysagers (*faille/arche*, *fond sableux*, *herbier* et *éboulis*) sont peu représentés.

La figure 3.4 montre la répartition de la présence de coralligène parmi les intérêts paysagers recensés dans les sites de l’échantillon. On observe sans surprise que le *tombant* et le *coralligène* sont fortement associés. Au contraire le coralligène est très rarement associé aux sites à *épaves* ou *herbier*.



Sites de plongée

- avec coralligène
- sans coralligène
- donnée manquante

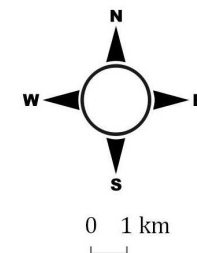


Figure 3.2. – Carte des sites de plongée selon la présence de coralligène

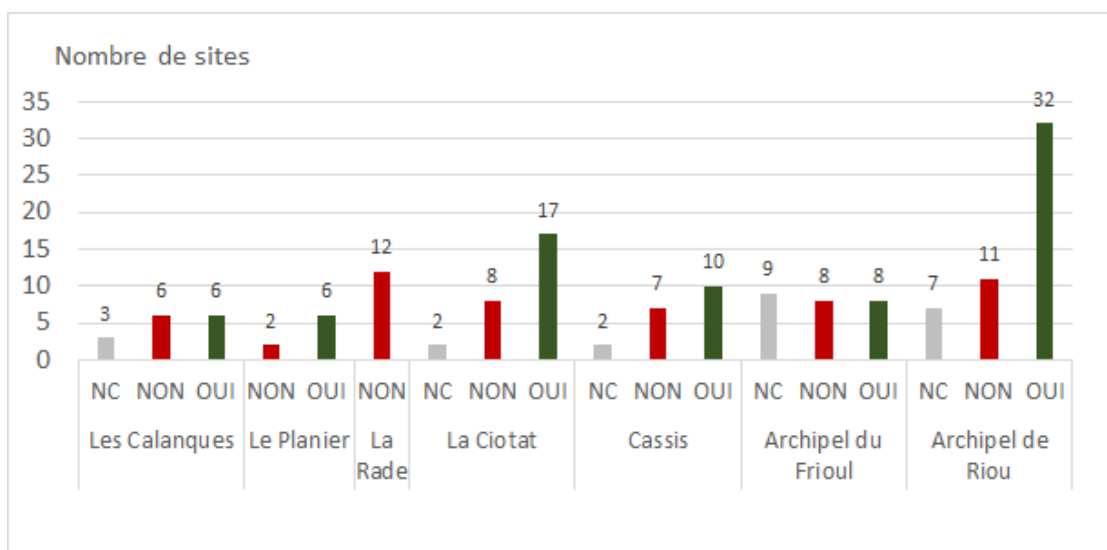


Figure 3.3. – Répartition des sites avec ou sans coralligène selon les secteurs
OUI : sites avec coralligène ; NON : sites sans coralligène ; NC : donnée manquante

Table 3.5. – Répartition des sites selon leurs intérêts paysagers
Un site peut avoir deux intérêts paysagers

Intérêts paysagers	Sites dans l'échantillon
Tombant	61
Grottes	27
Blocs rocheux	25
Epave	19
Faille/Arche	12
Fond sableux	9
Herbier	8
Eboulis	4
Total	165

3.3.2. Structures de plongées

Dans la zone d'étude, les structures associatives sont dominantes et représentent 77% des structures, contre 23% de structures commerciales (voir tableau 3.6). Cependant il faut prendre en considération que parmi les structures associatives, certaines ont une activité très proche de celle des structures commerciales de par leurs prestations et les moyens et salariés dont elles disposent, à des prix concurrentiels face aux structures commerciales. Pour l'analyse du choix du site

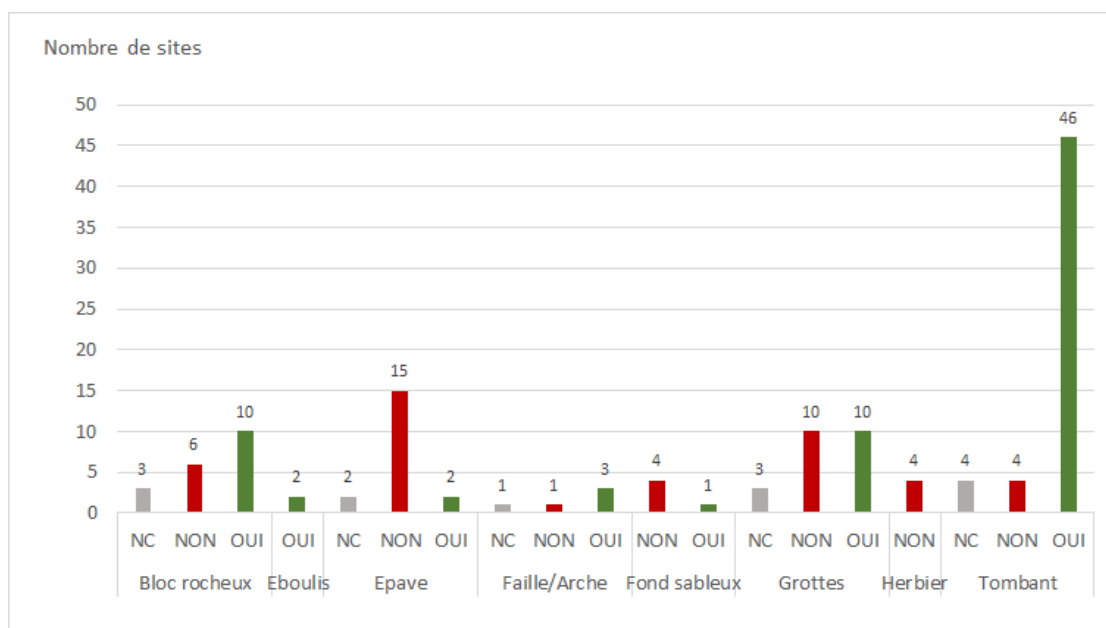


Figure 3.4. – Répartition des sites selon leurs intérêts paysagers et la présence de coralligène

OUI : sites avec coralligène ; NON : sites sans coralligène ; NC : donnée manquante

de plongée faite dans la section suivante, j'ai donc décidé de ne pas prendre en compte la variable "statut de la structure".

Table 3.6. – Répartition des structures de plongée selon leurs type associatif ou commercial

Zone	Commercial	Associatif	Totaux
Marseille	11 (20%)	43 (80%)	54 (100%)
Cassis	2 (50%)	2 (50%)	4 (100%)
La Ciotat	2 (29%)	5 (71%)	7 (100%)
Zone d'étude	15 (23%)	50 (77%)	65 (100%)

3.3.3. Les plongeurs et palanquées de l'échantillon

L'analyse des données de l'échantillon montre que les deux années (2014 et 2015) présentent des observations très similaires en tous points. Ceci permet de

s'affranchir de l'effet "année" dans l'analyse du choix du site de plongée faite dans la section suivante. J'ai choisi de ne pas prendre en compte dans l'échantillon les données de la structure qui n'a fourni que les fiches de sécurité de l'année 2015, alors que les autres structures ont fourni les données sur les années 2014 et 2015, afin que la période d'observation soit la même pour toutes les structures.

Les données présentées dans les tableaux 3.5 et 3.6 confirment le caractère saisonnier de l'activité de plongée. En effet, l'été comptabilise à lui seul environ 50% des palanquées observées avec un pic au mois d'août. Le printemps et l'automne comptabilisent respectivement environ 28% et 20% des palanquées, alors que le nombre de palanquées observées en hiver est négligeable. La plupart des structures de plongée ne sont actives que d'avril à novembre et concentrent leur activité entre mai et octobre.

Seuls les plongeurs de niveau 2 et supérieurs peuvent faire de l'exploration. On observe que dans l'échantillon la part de palanquées ayant pour objectif de faire de l'exploration est dominante : 68% des palanquées dont l'objectif est connu en 2015 (figure 3.7). Le fait que l'on observe plus de palanquées dont le niveau limitant³ est 2 ou 3 (voir figure 3.8) est cohérent avec le fait que la plupart des palanquées aient pour objectif de faire de l'exploration plutôt que de la formation. Ces résultats sont aussi cohérents avec le nombre de palanquées observées sur des sites ayant du coralligène. Le coralligène étant situé à plus de 20 m de profondeur, il est visité nécessairement par des plongeurs de niveau 2 minimum et dont l'objectif est plutôt l'exploration que la formation (voir figures 3.9 et 3.10).

3.3.4. Fréquentation des sites de plongées observée dans l'échantillon

L'étude de la fréquentation des sites montre que le secteur le plus fréquenté par les palanquées de l'échantillon est le secteur de l'Archipel de Riou, suivi du secteur de l'Archipel du Frioul à Marseille. La figure 3.11 montre que les sites

3. Le niveau limitant d'une palanquée est celui du plongeur de plus bas niveau dans la palanquée.

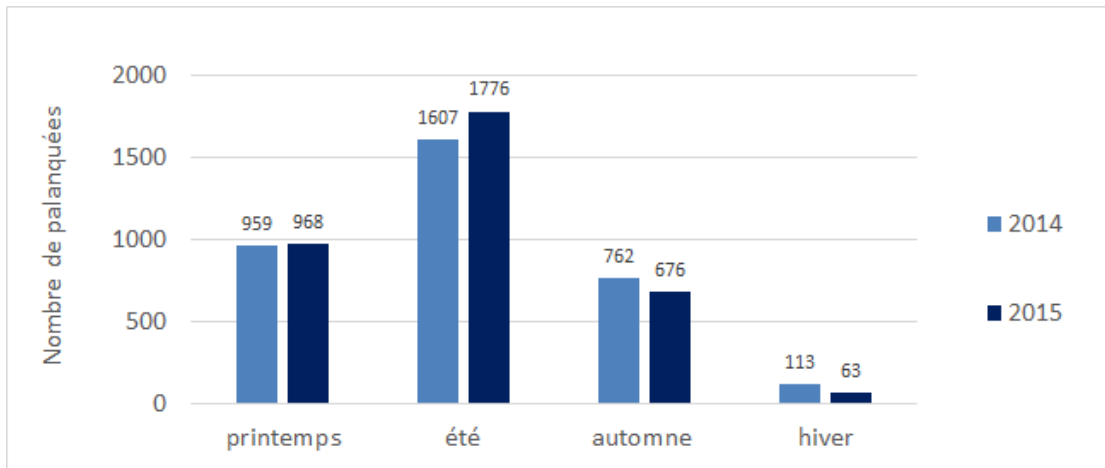


Figure 3.5. – Nombre de palanquées par saison observées dans l'échantillon en 2014-2015

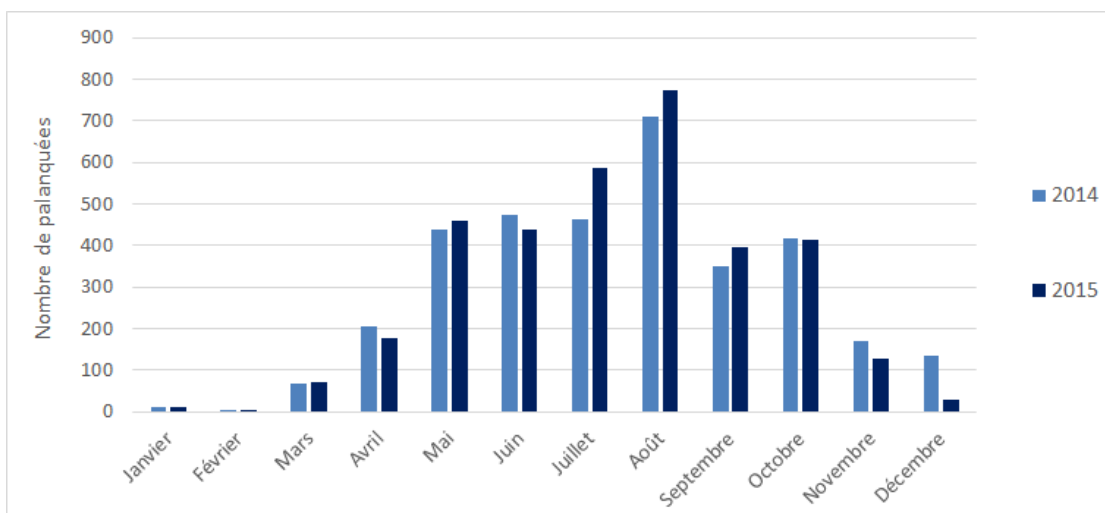


Figure 3.6. – Nombre de palanquées par mois observées dans l'échantillon en 2014-2015

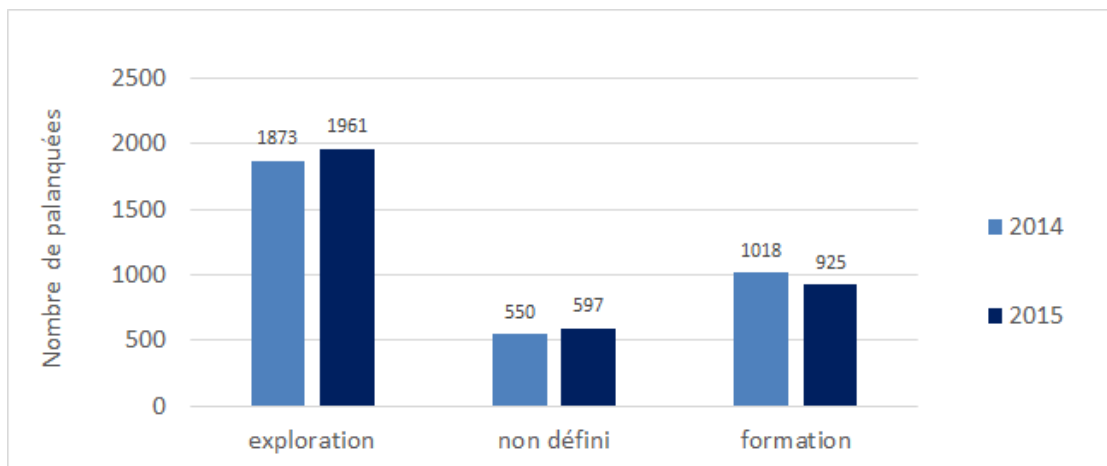


Figure 3.7. – Nombre de palanquées par objectif de plongée observées dans l'échantillon en 2014-2015

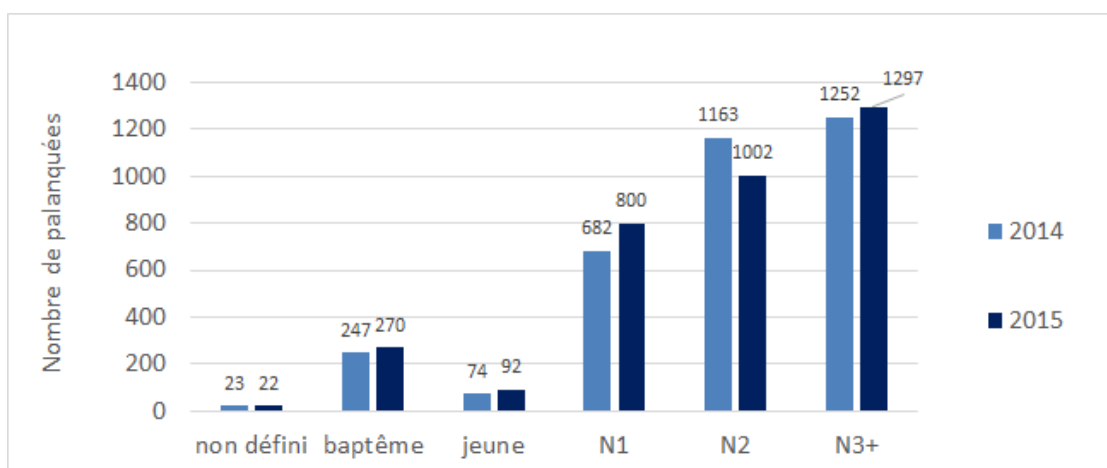


Figure 3.8. – Niveaux limitant des palanquées observées dans l'échantillon en 2014-2015

N1 : niveau 1 ; N2 : niveau 2 ; N3+ : niveau 3 et supérieur (niveau 4 ou encadrant)

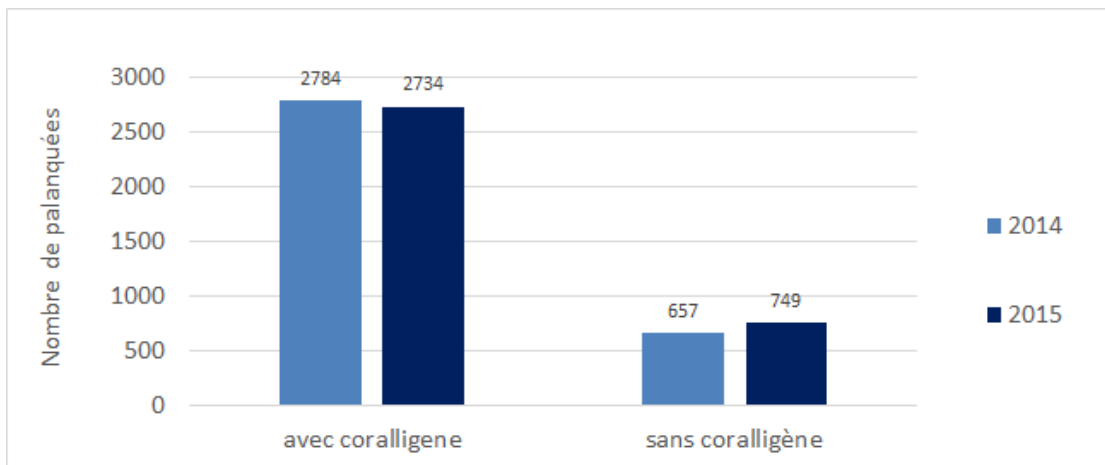


Figure 3.9. – Nombre de palanquées observées dans l'échantillon en 2014-2015 sur des sites avec ou sans coralligène

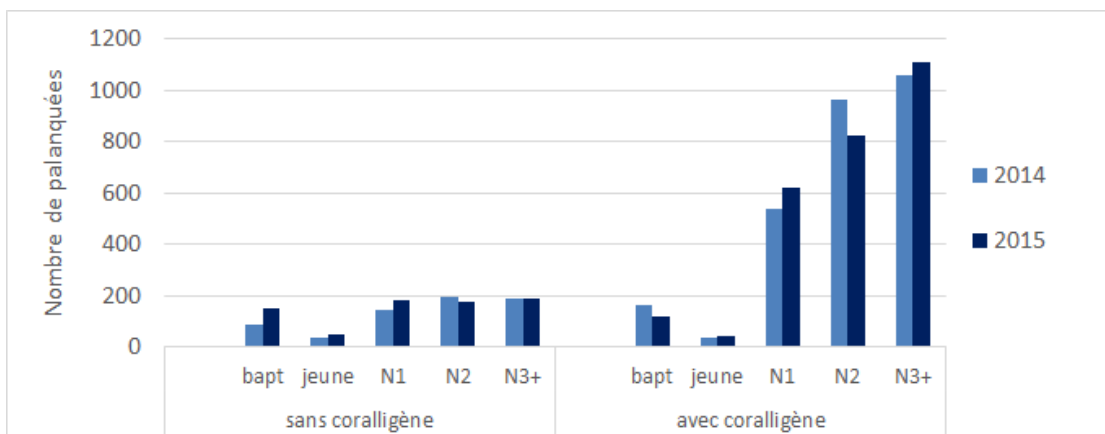


Figure 3.10. – Nombre de palanquées par niveau observées dans l'échantillon en 2014-2015 sur des sites avec ou sans coralligène

les plus fréquentés sont majoritairement des sites avec coralligène. Ces résultats sont présentés de façon cartographique en annexe.

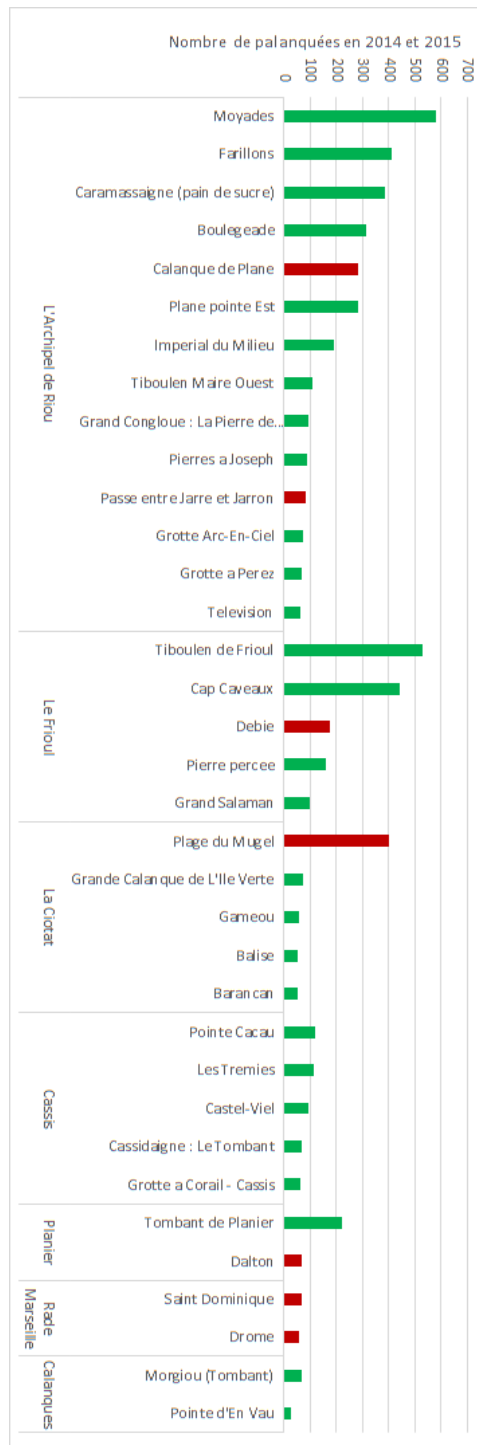


Figure 3.11. – Nombres de palanquées observées dans l'échantillon en 2014-2015 sur les sites les plus fréquentés

en vert : sites AVEC coralligène ; en rouge : sites SANS coralligène

3.4. Analyse de l'effet de la présence de coralligène sur la fréquentation des sites de plongées par 8 structures

3.4.1. Description de l'échantillon

L'objectif de l'analyse est d'identifier les variables ayant un effet sur le choix d'un site de plongée, parmi lesquelles la variable *présence de coralligène* qui est l'objet d'étude. Pour cela, je m'intéresse maintenant au nombre de palanquées par site de plongée sur la période 2014-2015. L'échantillon à partir duquel sont effectuées les analyses comporte alors 97 observations, soit une par site. La variable à expliquer (ou variable dépendante) *NbPalanquées* est le nombre de palanquées observées par site de plongée en 2014-2015. Les variables explicatives potentielles que j'ai considérées sont présentées dans le tableau 3.7. Les variables explicatives potentielles peuvent être classées en plusieurs catégories. On peut distinguer les variables caractérisant les palanquées ayant plongé sur le site (niveau limitant de la palanquée, objectif de la palanquée) de celles qui caractérisent les sites (protection aux vents dominants, intérêts paysagers dont la présence de coralligène). De même on peut distinguer les variables présentant des contraintes (niveau limitant de la palanquée, protection au vent dominant) de celles qui présentent les attraits recherchés (intérêt paysager dont la présence de coralligène).

Les données dont je dispose sont en coupe transversale (observées à une date donnée). Ainsi que le montre la figure 3.12, la variable à expliquer *NbPalanquée* est une variable discrète ne comportant que des entiers positifs, et dont les occurrences des petits effectifs sont majoritaires, alors que les occurrences de grands effectifs sont rares. Le tableau 3.8 présente les statistiques descriptives usuelles des variables aléatoires considérées. On observe que la variable à expliquer *NbPalanquées* a une variance (118) presque deux fois supérieure à la moyenne (71). Pour modéliser des données de comptage on utilise classiquement la Régression de Poisson, qui est un cas de régression log-linéaire appartenant au modèle linéaire généralisé. Mais celui-ci suppose l'équi-dispersion des données (soit l'égalité de la variance et de la moyenne conditionnelles).

Table 3.7. – Variables explicatives potentielles du nombre de palanquées observé par site prises en compte

Nom	Description	Modalités ou valeurs
MoyNivMini	Moyenne du niveau limitant des palanquées ayant fréquenté le site.	Le niveau limitant de la palanquée a été codé : 0 (niveau baptême), 1 (niveau 1), 2 (niveau 2), 3 (niveau 3 et plus). Puis cette donnée a été moyennée par site.
MoyObj	Objectif moyen de la palanquée entre exploration et formation.	L'objectif a été codé : 0 (formation), 1 (exploration), et 0,5 (formation et exploration, ou inconnu). Puis cette donnée a été moyennée par site.
NW_protect	Protection du site par rapport au vent dominant du Nord-Ouest et Nord-Nord-Ouest (Mistral).	Codé : 0 si non protégé, 1 si protégé.
SE_protect	Protection du site par rapport au vent du Est-Sud-Est (2eme vent dominant)	Codé : 0 si non protégé, 1 si protégé.
Coralligène	Présence de coralligène sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Tombant	Présence de tombant sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Epave	Présence d'épave sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Grotte	Présence de grotte sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Herbier	Présence d'herbier sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Faille/Arche	Présence de faille ou arche sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Fonds sableux	Présence de fonds sableux sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Eboulis	Présence d'éboulis sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence
Blocrocheux	Présence de blocs rocheux sur le site de plongée	Codé : 0 si absence, 1 si présence

Table 3.8. – Statistiques descriptives des variables aléatoires considérées dans les modèles

Variabes	Observations	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
NbPalanquees	97	71.38	118.58	1	578
MoyNivMini	97	1.98	0.62	0	3
MoyObj	97	0.68	0.21	0	1
NW_protect	97	0.44	0.50	0	1
SE_protect	97	0.22	0.41	0	1
Coralligene	97	0.66	0.48	0	1
Tombant	97	0.47	0.50	0	1
Blocrocheux	97	0.12	0.33	0	1
Eboulis	97	0.05	0.22	0	1
Epave	97	0.09	0.29	0	1
FailleArche	97	0.08	0.28	0	1
Fondsableux	97	0.06	0.24	0	1
Grottes	97	0.16	0.37	0	1
Herbier	97	0.04	0.20	0	1

3.4.2. Choix du modèle : négatif binomial NB2 tronqué en zéro

En cas de sur-dispersion des données (c'est-à-dire en cas de variance supérieure à la moyenne), comme c'est le cas pour *NbPalanquees*, la méthode classiquement utilisée et la plus performante est la régression négative binomiale⁴(NB). Le modèle de régression binomiale négative est une généralisation du modèle de régression de Poisson qui inclue un paramètre de sur-dispersion. J'ai appliqué une variante de ce modèle plus couramment utilisée, le modèle dit NB2, qui a la particularité de modéliser la variance en fonction du carré de la moyenne plutôt que la moyenne simple (cas du NB1). Alors que le modèle NB1 modélise une surdispersion constante, le modèle NB2 modélise une surdispersion variable des données et permet ainsi des estimations plus fines.

Sachant que mon échantillon ne comporte pas de site non fréquenté (ce qui

4. Le modèle de régression binomiale négative est présenté dans l'encadré de ce chapitre. Pour plus de détails se référer à (CAMERON et al. 2009), chapitre 17.

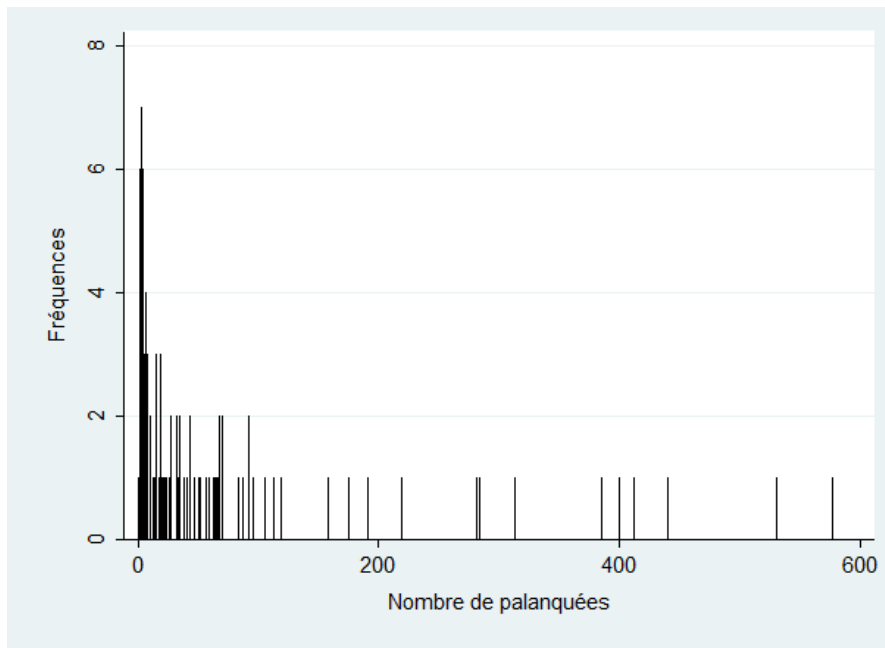


Figure 3.12. – Histogramme des comptages de palanquées observées par site de plongée
 Nombre de site ayant reçu le même nombre de palanquées.

serait délicat car alors comment choisir quel site non fréquenté ajouter?), j'ai appliqué le modèle de régression binomial NB2 tronqué en zéro. C'est le logiciel ©Stata qui a fourni les outils d'estimation des modèles.

Afin de tenir compte de la présence éventuelle d'hétéroscédasticité⁵ dans les modèles, les estimations réalisées dans ce chapitre sont des estimations robustes de la matrice de variance-covariance des estimateurs (VCE), tel que recommandé par (CAMERON et al. 2009). Ainsi l'interprétation des tests reste valable.

5. Il y a homoscedasticité des variables quand leurs variances sont homogènes. Inversement il y a hétéroscédasticité des variables quand leurs variances sont hétérogènes.

LE MODÈLE DE RÉGRESSION BINOMIAL NÉGATIF

d'après (CAMERON et al. 2009), chapitre 17

La régression binomiale négative est une généralisation de la régression de Poisson qui relaxe l'hypothèse faite dans le modèle de Poisson que la variance de la variable dépendante est égale à sa moyenne. Cette sur-dispersion peut être prise en compte de différentes façon parmi lesquelles l'hétérogénéité non observable est une des plus commune. L'hétérogénéité non observable, qui génère de la variabilité supplémentaire dans y , peut être générée en introduisant de la multiplicité aléatoire : on remplace μ par $\mu\nu$ où ν est une variable aléatoire, de sorte que $y \rightsquigarrow Poisson(y|\mu\nu)$. On spécifie ν tel que $E(\nu) = 1$ et $Var(\nu) = \sigma^2$. Ainsi ν préserve la moyenne mais augmente la dispersion. Plus précisément, $E(y) = \mu$ et $Var(y) = \mu(1 + \mu\sigma^2) > E(y) = \mu$. Le terme "sur-dispersion" décrit le fait que $Var(y) > E(y)$ ou plus précisément que $Var(y|x) > E(y|x)$ dans un modèle de régression.

Dans le cas où $\mu \rightsquigarrow Gamma(1, \alpha)$, avec α et le paramètre de variance de la distribution Gamma, la distribution marginale de y est un mélange Poisson-Gamma, ou distribution binomiale négative (NB) spécifiée $NB(\mu, \alpha)$, donc la distribution de probabilité est la suivante : avec $\mu_i = t_i\mu$ et $\alpha = \frac{1}{\nu}$,

$$Pr(Y = y|\mu_i, \alpha) = \frac{\Gamma(y_i + \alpha^{-1})}{\Gamma(y_i + 1)\Gamma(\alpha^{-1})} \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \mu_i} \right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\mu}{\alpha^{-1} + \mu_i} \right)^{y_i}$$

Le modèle binomial négatif (NB) se ramène au modèle de Poisson quand $\alpha \rightsquigarrow 0$. Le paramètre μ est le taux d'incidence moyen de y par unité d'exposition (souvent temporelle). Quand il n'y a pas d'exposition définie, on assume que $t = 1$. Dans le modèle de régression binomiale négative, la moyenne des y est déterminée par l'exposition t et un ensemble de k variables régresseurs (les x 's). L'équation liant ces quantités est :

$$\mu_i = \exp(\ln(t_i) + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki})$$

Souvent, $x_1 \equiv 1$, et dans ce cas β_1 est appelé *intercept*. Les coefficients de régressions $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$ sont des paramètres inconnus qui sont estimés à partir du jeu de données d'après la méthode du maximum de vraisemblance.

Le modèle NB dont les moments sont $E(y|\mu, \alpha) = \mu$ et $Var(y|\mu, \alpha) = \mu(1 + \gamma)$, se décline en une version NB2 où $Var(y|\mu, \alpha) = \mu(1 + \alpha\mu)$. C'est la version utilisée par défaut par le logiciel ©Stata.

Dans la phase de spécification du modèle, j'ai testé plusieurs combinaisons de variables explicatives potentielles. J'ai choisi d'inclure systématiquement les variables explicatives de type "contrainte" (*MoyNivMini*, *MoyObj*, *NW_protect* et *SE_protect*) bien que leurs effets ne soient pas significatifs dans la plupart des estimations; sachant par expérience que le niveau des plongeurs, l'objectif de plongée et les conditions de vent sont nécessairement pris en compte dans le choix d'un site de plongée. J'ai procédé ensuite de façon descendante en partant du modèle complet (contenant toutes les variables explicatives potentielles) et en retirant progressivement celles qui n'apportaient pas suffisamment d'information au modèle. J'ai ensuite testé des interactions entre les variables explicatives retenues. L'existence d'une interaction entre deux variables signifie que l'effet d'une variable peut être différent selon les valeurs prises par l'autre variable.

3.4.3. Résultats des estimations

L'objectif est de comparer l'apport d'information par les différentes variables explicatives potentielles. J'ai comparé les résultats obtenus par différentes spécifications de sorte à identifier de façon robuste les variables explicatives dont l'effet est le plus significatif sur le choix du site de plongée. Je présente ici les modèles testés les plus performants et ayant permis d'observer des effets significatifs des variables explicatives potentielles.

Je compare ici les estimations d'après 4 spécifications possibles du modèle NB2 pour répondre à notre problématique :

- le modèle 1 : avec les variables de contraintes et uniquement *Coralligène* (voir figure .6),
- le modèle 2 : avec toutes les variables explicatives (voir figure .7),
- le modèle 3 : avec les variables de contraintes plus les variables d'intérêt paysager apportant le plus d'informations (voir figure .8),
- le modèle 4 : idem que le modèle 3 mais en ajoutant l'interaction des variables *Herbier* et *MoyNivMini* (voir figure .9). J'explique plus loin pourquoi ce choix.

Les estimations complète des quatre modèles sont présentées en annexe. Le tableau 3.9 résume les résultats.

Table 3.9. – Estimations selon les spécifications 1,2,3,4 d'un modèle de type NB2 (binomial négatif) tronqué en zéro

	(1)	(2)	(3)	(4)
Coralligène	1.06***	1.54**	1.86**	1.86***
Blocrocheux		0.43		
Eboulis		0.97		
Epave		1.96**	1.76	1.77
FailleArche		1.25**	0.94**	0.94**
Fondsableux		0.17		
Grotte		0.45		
Herbier		2.72***	2.76***	2.68
Tombant		1.47**	1.01**	1.08***
MoyNivMini	0.09	-0.50	-0.53	-0.54
MoyObj	-3.04**	1.50	-2.05	-2.05
NW_protect	0.04	-0.02	0.10	0.10
SE_protect	0.20	0.02	0.11	0.11
cons	4.98***	3.50***	4.17***	4.19***
/lnalpha	0.88	0.56	0.58	0.58
alpha	2.40	1.75	1.78	1.78
Observations	97	97	97	97
log-vraisemblance	-482.20	-471.40	-472.23	-472.23
DL	7	15	11	12
AIC	978.40	972.28	966.46	968.45
BIC	996.42	1010.90	994.78	999.35
Wald chi2	22.65***	87.91***	69.92***	72.45

*p-value<0.1; **p-value<0.05; ***p-value<0.01

alpha : paramètre de dispersion

cons : estimateur quand toutes les variables du modèle sont à zéro

DL : Degrés de Liberté

AIC : Critère d'Information d'Akaike

BIC : Critère d'Information Bayésien

ELEMENTS POUR LA COMPARAISON DES MODÈLES DE RÉGRESSION BINOMIALE NÉGATIVE

d'après (CAMERON *et al.* 2005)

Comparaison de modèles

Lorsque l'on compare les modèles on s'intéresse à la quantité d'information apportée par l'ensemble du modèle, que l'on peut comparer grâce aux indicateurs suivants :

- le *Log likelihood* (log du maximum de vraisemblance) : plus la vraisemblance est élevée, plus la log vraisemblance est élevée, meilleure est l'estimation, et meilleur est le modèle.
- le *critère d'information d'Akaike* (AIC) : permet de pénaliser les modèles en fonction du nombre de paramètres estimés afin de satisfaire le critère de parcimonie. On choisit alors le modèle avec le critère d'information d'Akaike le plus faible. L'AIC s'écrit ainsi : $AIC = 2k - 2\ln(L)$ où k est le nombre de paramètres à estimer du modèle et L est le maximum de la fonction de vraisemblance du modèle.
- le *critère d'information bayésien* (BIC) : indicateur inspiré de l'AIC et pénalise le nombre de paramètres plus fortement que l'AIC. Le BIC s'écrit ainsi $BIC = -2\ln(L) + \ln(n)k$ avec n le nombre d'observations dans l'échantillon étudié et k le nombre de paramètres.

Par ailleurs le paramètre de dispersion α permet de savoir si le modèle de régression binomiale négative est plus performant que le modèle de régression de Poisson. Si α est égal à zéro, cela signifie qu'il n'y a pas sur-dispersion des données de la variable à expliquer, et donc le modèle de régression de Poisson est plus performant.

Performance du modèle

Le test de Wald χ^2 (présenté avec le nombre de degrés de liberté et la p-value) compare le modèle spécifié avec un modèle dans lequel tous les coefficients estimés seraient égaux à zéro. La p-value < 0.05 (ou autre seuil de risque choisis) indique que le modèle spécifié apporte statistiquement significativement plus d'information que le modèle nul (constante seule). Toutefois un modèle pour lequel le coefficient estimé pour la constante est significatif n'est pas suffisamment bien spécifié ; il se peut qu'il lui manque des variables explicatives.

**ELEMENTS POUR L'INTERPRÉTATION DES ESTIMATIONS DES MODÈLES DE
RÉGRESSION BINOMIALE NÉGATIVE**

d'après (CAMERON et al. 2005)

Les coefficients estimés sont présentés avec leurs standard errors, z-scores, p-values et intervalle de confiance. Ils sont significatifs lorsque la p-value est inférieure au seuil de risque choisit (en général on les considère significatifs au seuil de risque 5% et très significatifs au seuil 1%).

L'interprétation du signe est aisée. Un coefficient positif signifie que la variable a un effet favorisant l'augmentation de la variable à expliquer. Inversement, un coefficient négatif signifie que la variable a un effet favorisant la diminution de la variable à expliquer.

L'interprétation de la valeur du coefficient est moins aisée car dans les modèles non linéaires l'impact d'une variation de x_1 sur μ dépend de la valeur de x_1 . En effet d'après l'équation du modèle ($\mu = \exp(\ln(\beta_0) + \beta_1 x_1)$), la variable à expliquer est une fonction de type exponentielle des variables explicatives. Cependant il est possible de linéariser simplement le modèle $\mu = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1)$ en utilisant la fonction logarithmique. Ainsi $\ln(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x_1$ alors β_1 peut être interprété comme l'impact marginal de x_1 sur $\ln(\mu)$.

3.4.4. Interprétation des résultats

Je n'ai présenté que les estimations des quatre modèles (voir tableau 3.9) que je considère comme les plus significatifs au regard des critères de comparaison de modèles. Si l'on cherchait à identifier le modèle le plus pertinent parmi les quatre modèles, la comparaison du log-vraisemblance inciterait à choisir le modèle 2 qui a le plus élevé log-vraisemblance, alors que la comparaison des AIC et BIC inciterait à choisir le modèle 3 avec les plus faibles AIC et BIC. Toutefois l'objectif ici n'est pas de choisir un modèle mais plutôt d'identifier les résultats confirmés par plusieurs modèles et ainsi mettre en évidence la robustesse de ces résultats malgré les choix de spécification des modèles.

Les coefficients associés à la variable *Coralligène* sont toujours significatifs et positifs. Ce qui atteste que la présence de coralligène favorise un nombre plus grand de palanquées sur un site de plongée par rapport à un site sans coralligène. Par ailleurs les effets marginaux des variables significatives calculés d'après les quatre modèles présentés sont rarement significatifs.

Les autres intérêts paysagers qui ont été introduits dans les modèles et qui ont un impact positif sur la fréquentation des sites sont la présence de tombant, de faille/arche, d'épave et d'herbier. L'effet de la présence de tombant est sensiblement le même, un peu moindre, que celui de la présence de coralligène. De même l'effet de la présence de faille/arche est relativement fortement significatif. Le fait que le coefficient de la variable *Herbier* soit très significatif nécessite d'être interprété en connaissance des données. En effet, seuls 4 sites contiennent de l'herbier (de Posidonie toujours), et 2 de ces sites sont très fréquentés. L'un de ces sites se trouve être le site privilégié d'une structure associative qui y réalise une grande partie de ses sorties pour deux raisons : la première est que c'est un site accessible de la plage sans mobiliser de bateau ni de pilote, la deuxième est que le site est propice pour le plongeurs de petits niveaux (baptêmes et niveau 1). C'est pourquoi j'ai testé un modèle (le modèle 4) considérant l'interaction des variables *Herbier* et *MoyNivMini*. On observe alors que le coefficient de cette variable d'interaction est à peine significatif et que le coefficient de la variable *Herbier* ne l'est plus. L'interaction des variables *MoyNivMini* et *Coralligène* ne s'est en revanche pas avérée significative.

Les coefficients associés à la variable *Epave* sont faiblement significatifs ou non significatifs selon les modèles estimés. En regardant les données on observe que le nombre de sites avec épaves est supérieur au nombre de sites avec faille/arche, le nombre de palanquées observées sur des sites avec épaves est relativement faible. Ceci peut s'expliquer du fait que les épaves sont généralement dans la tranche de profondeurs accessible uniquement aux niveaux 3 et plus. Ce qui fait que cet "intérêt paysager" peut être très attrayant, mais peu fréquenté.

Le fait que *cons*, le coefficient de la constante seule, soit très significatif dans les quatre modèles montre qu'aucun d'entre eux n'explique complètement le nombre de palanquées, c'est à dire qu'il manque des variables non observées.

3.5. Discussion

Au regard des résultats que peut-on dire de l'importance du coralligène pour l'activité de plongée de loisir ?

En répondant à cette problématique par l'analyse de données réelles de fréquentation des sites de plongée et par un modèle économétrique, j'apporte des résultats robustes ne laissant pas beaucoup de place au doute quant à l'importance du coralligène pour l'activité de plongée. Les statistiques conditionnelles valident ce que les statistiques descriptives mettent en évidence : le coralligène est le paysage le plus fréquenté par les plongeurs des palanquées observées dans la zone d'étude et il impacte de façon significativement positive la fréquentation des sites. Le coralligène est ciblé par les plongeurs, malgré les contraintes qu'impose sa profondeur (réservé aux niveaux 2 et supérieurs). On peut supposer que le coralligène est plus présent sur les tombants exposés nord puisque les espèces du coralligène sont sciaphiles⁶, or à Marseille cette exposition est moins souvent accessible à cause du Mistral. Malgré cela, le coralligène est fortement fréquenté, ce qui suggère encore une préférence des plongeurs pour ce milieu.

Le fait que certains "paysages" soient mieux représentés que d'autres témoigne dans une certaine mesure des préférences des plongeurs. En effet, qu'est ce qu'un site de plongée, sinon un site populaire reconnu pour son intérêt par de nombreux plongeurs ? Les noms officiels, cartographies et descriptions des sites de plongée témoignent de l'intérêt porté par les plongeurs à ces sites. Les sites moins populaires ne sont généralement pas cartographiés précisément et sont nommés différemment par leurs visiteurs. Certains "intérêts" ont une représentation limitée de fait : le nombre d'épaves et de grottes est limité, on ne peut donc pas conclure que leur faible représentation témoigne d'un faible intérêt des plongeurs. En revanche, les fonds sableux et les herbiers, dans une moindre mesure, sont représentés sur de grandes surfaces et comportent pourtant relativement peu de sites de plongées. Le peu de site de plongée recensés sur des fonds sableux peut s'expliquer par le fait que les plongeurs n'y voient pas de quoi les émerveiller et trouvent ces fonds pauvres en vie. Le cas de l'herbier, qui est lui riche en vie, peut s'expliquer d'une autre façon : l'herbier est souvent suffisam-

6. Les espèces sciaphiles se développent dans les milieux de faible luminosité

ment proche de la surface pour qu'un nageur pratiquant un minimum l'apnée puisse s'y promener. Il est probable que le plongeur préfère s'aventurer dans des fonds plus profonds, inaccessibles sans l'équipement de plongée, pour rentabiliser sa plongée.

En terme de gestion, le fait que le coralligène soit le paysage attirant le plus de palanquées incite à une certaine vigilance quant à la capacité de charge des sites de plongée, c'est à dire le nombre de visites à partir duquel un site coralligène est considéré comme sur-fréquenté. Ce seuil indique le basculement d'un service en une pression qui nuit finalement à la qualité du service. La surfréquentation est nuisible d'une part parce qu'elle implique plus de dérangement et de dommages physiques du milieu, d'autre part parce que les plongeurs recherchent la solitude en plongée d'exploration. En effet, plus le nombre de plongeurs simultanément présent est grand, plus les plongeurs risquent de se déranger en terme de déplacement, de visibilité (risque de remuer le fond), d'observations (dérangement des espèces recherchées), et de ressenti. Le seuil peut être fixé en fonction du ressenti des plongeurs, et/ou en fonction de l'impact de l'activité sur le milieu. Dans le cas de sites menacés de surfréquentation, des mesures de gestion peuvent être mise en place telles qu'un quota de plongeurs pour ces sites, ou une répartition des plongeurs sur d'autres sites.

Les modèles estimés ne sont pas satisfaisants pour expliquer complètement le choix des sites de plongée. De façon évidente il manque des variables explicatives dans la spécification des modèles. Parmi les variables explicatives candidates : la distance du site au port d'attache, ou une analyse plus fine des données de vents au moment de la plongée pourraient faire l'objet d'une analyse complémentaire. Une approche de statistique spatiale serait certainement très pertinente pour capter ces effets.

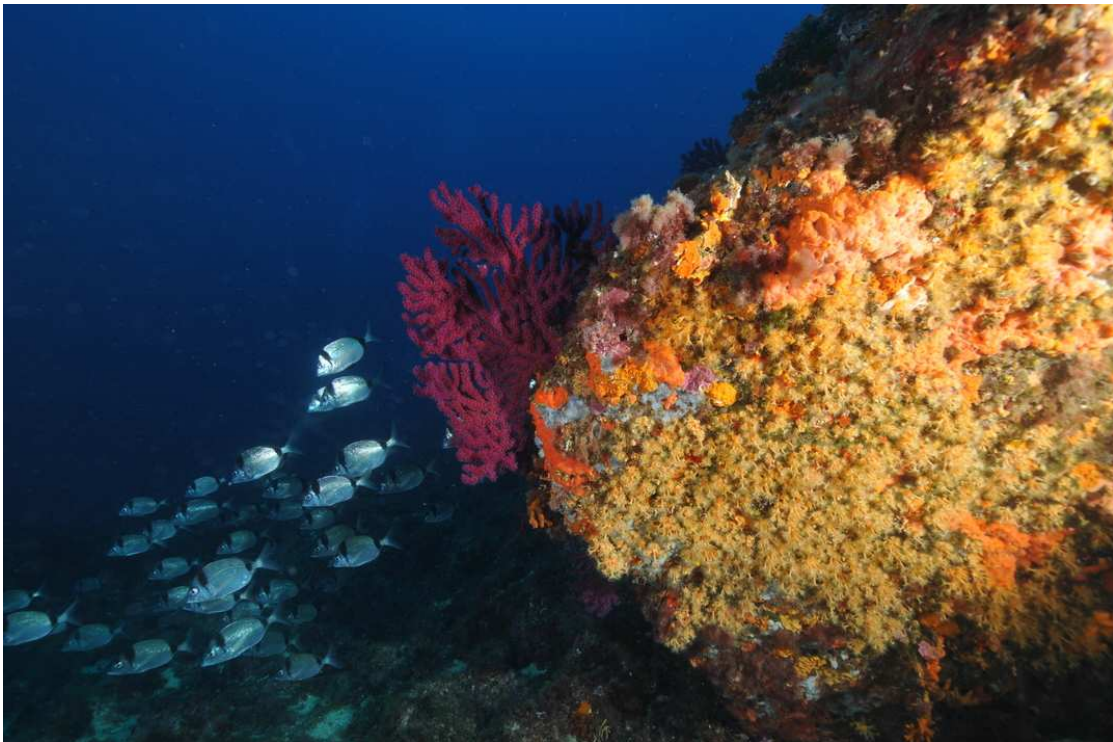
Le fait que les structures associatives soient dominantes dans la zone d'étude, avec une tendance à se comporter comme des structures commerciales suggère que pour étudier l'impact économique de l'activité de plongée il ne faudrait pas se limiter uniquement à l'étude des structures commerciales.

Ces résultats renforcent ceux d'études récentes (PLOUVIER 2014; CHIMIANTI et al. 2017; TRIBOT et al. 2016; THORIN et al. 2014) qui, de façon complémen-

taire, montrent, le plus souvent par enquête, que le coralligène est en tête de liste des paysages apprécié et fréquenté des plongeurs en Méditerranée. A tel point, que l'on pourrait se demander ce que deviendrait l'activité de plongée en Méditerranée sans ce paysage emblématique.

Les études sur le sujet sont peu nombreuses et surtout menées dans le bassin méditerranéen nord occidental. Il serait intéressant d'étudier les relations des plongeurs avec le coralligène des côtes orientales de la Méditerranée, où le coralligène est notablement différent de celui qu'on observe en France, Espagne ou Italie.

4. Évaluation économique de services écosystémiques fournis par le coralligène et étude de l'impact de la connaissance et l'information sur la formation des préférences individuelles par une application de la méthode des choix discrets



Photographie prise par Dorian Guillemain (Marseille)

Evaluation économique de services écosystémiques fournis par le coralligène et étude de l'impact de la connaissance et de l'information sur la formation des préférences individuelles par l'application de la méthode des choix discrets

Ce chapitre est alimenté par les résultats du partenariat scientifique avec le Parc national de Port-Cros (AMI et al. 2017)

Résumé

Ce chapitre porte sur l'évaluation de certains services écosystémiques fournis par le coralligène. Nous avons choisi d'appliquer la méthode des choix discrets (MCD). L'application de cette méthode pose le problème de familiarité du répondant avec le bien environnemental à évaluer. Or le coralligène n'est pas très connu du grand public. C'est pourquoi nous avons décidé de tester le niveau de connaissance du grand public sur le coralligène et d'étudier l'impact de l'apport d'information sur la construction des préférences individuelles. Les questions de recherche abordées dans ce chapitre sont les suivantes : Quelles sont les préférences individuelles relatives aux services rendus par le coralligène ? La formation des préférences individuelles est-elle impactée par l'apport d'information et par des caractéristiques individuelles telles que les attitudes environnementales et la connaissance initiale du répondant sur le coralligène ? Nous avons observé que le coralligène est méconnu par 75% des individus de l'échantillon. Le test de connaissance a révélé un écart non négligeable entre ce que les répondants pensent savoir et ce que le test a révélé de leur niveau de connaissance. Les préférences déclarées sont en faveur de la préservation des habitats coralligènes prioritairement par rapport aux usages. Parmi les usages proposés, c'est le potentiel de découverte (usage futur incertain) qui est préféré, puis l'activité de plongée. L'activité de pêche est perçue par certains répondants comme une menace et cela se reflète par un consentement-à-payer (CAP) faible, voire un refus. L'impact de l'information sur la formation des préférences individuelles s'est avéré complexe et inattendu : d'après notre échantillon c'est l'interaction de l'apport d'information et du niveau de connaissance initial qui impacte le CAP. Chez des individus peu informés, on observe des CAP plus forts que chez les individus ayant reçu de l'information supplémentaire. En revanche, parmi les individus ayant un niveau de connaissance initial supérieur, on observe des CAP plus faibles chez les individus ayant reçu de l'information supplémentaire. Nous n'avons pas observé d'impact significatif des attitudes environnementales, du revenu ou du sexe sur la formation des préférences individuelles. L'étude présentée est pilote. Une étude à plus grande échelle est prévue pour faire suite à ce travail.

Table des matières

4.1	Introduction	166
4.2	Matériels et Méthodes	170
4.2.1	Application de la méthode des choix discrets (MCD)	170
4.2.2	Le questionnaire d'enquête et la collecte des données	176
4.3	Description de l'échantillon	188
4.3.1	Les caractéristiques socio-démographiques	188
4.3.2	Connaissances sur le coralligène	195
4.3.3	Les attitudes environnementales	202
4.4	Estimation économétrique du comportement de choix	204
4.4.1	Variables considérées et spécification des modèles	210
4.4.2	Résultats des estimations économétriques pour expliquer les choix	214
4.4.3	Evaluation des consentements-à-payer (CAP)	220
4.5	Discussion	221
4.6	Conclusion	226

4.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons une évaluation d'un ensemble de services écosystémiques fournis par le coralligène et validés dans le chapitre premier. Étant donnée la nature non marchande de plusieurs d'entre eux, le recours à une méthode basée sur les préférences déclarées s'impose. Comme nous l'avons vu en introduction générale, ces méthodes consistent à demander directement aux individus leur consentement-à-payer (CAP) via une enquête.

Au sein de ces méthodes de préférences déclarées, il y a principalement deux méthodes : la méthode d'évaluation contingente (MEC) et la méthode des choix discrets (MCD)¹.

La plus connue et la plus utilisée est la MEC (mais la MCD est de plus en plus utilisée). La première enquête d'évaluation contingente, conduite par DAVIS (1961), cherchait à estimer la valeur récréative des forêts du Maine. Depuis, cette méthode a largement été utilisée à travers le monde (CARSON 2011).

La MCD trouve ses origines dans les années 1960 en psychologie (ANDERSON 1962; LUCE et al. 1964) et est utilisée en marketing depuis les années 1970 (GREEN, WIND et al. 1972; GREEN et RAO 1971) où elle est plus connue sous le nom d'analyse conjointe (GREEN et SRINIVASAN 1978). Le développement de la théorie de l'utilité aléatoire (BEN-AVIKA et al. 1985) et des modèles associés ont fait basculer l'utilisation de la MCD dans le domaine de l'économie car la MCD relie alors le comportement du consommateur à la théorie économique. Les économistes de l'environnement se sont tournés vers cette méthode dans les années 1990 suite aux travaux de ADAMOWICZ et al. (1994). En France, la première étude à notre connaissance est celle de BONNIEUX et al. (2005) concernant la valorisation des mesures de protection des forêts corses.

La grande différence entre entre la MEC et la MCD repose sur la construction du marché hypothétique. La MEC n'observe qu'un choix par l'individu en réponse à une question d'évaluation de type : « Accepteriez-vous de payer X euros afin que le programme décrit soit mis en place? » ou « Combien accepteriez-vous de payer afin que soit mis en place le programme décrit? ». La MCD peut être considérée comme une généralisation de la MEC dans le sens où elle repose sur une suite de choix observés et estime un CAP non pas pour le bien dans son

1. En anglais la MCD est appelée Discret Choice Experiment ou DCE.

ensemble mais pour les attributs de ce bien.

Pour évaluer les services écosystémiques du coralligène, nous avons choisi d'appliquer la MCD afin d'estimer un CAP relatif à plusieurs services du coralligène, plutôt qu'un CAP pour disposer du coralligène dans son ensemble.

L'approche par les méthodes de préférences déclarées posent le problème de la familiarité des individus quant au bien à évaluer. En effet, pour que l'individu soit en mesure de faire un choix entre des niveaux de qualité et de disponibilité d'un bien environnemental, il doit avoir connaissance de ce bien environnemental. Dans le cas d'écosystèmes méconnus du grand public, le processus d'évaluation économique par enquête commence par une phase d'information. Les participants reçoivent tous les mêmes informations sur l'écosystème en question afin d'assurer un niveau d'information minimum général. L'apport d'informations représente un surplus plus ou moins grand par rapport au niveau de connaissance initial d'un répondant. Si nous faisons l'hypothèse que cet apport d'information peut influencer la formation des préférences alors il est intéressant de le contrôler et d'évaluer son impact sur le consentement-à-payer. Si les études concernant la formation des préférences et l'apprentissage sont assez courantes dans les applications de la MEC, cela est beaucoup plus rare dans les applications de la MCD. Une des raisons est que l'usage courant de la MEC est antérieur de plusieurs années à celui de la MCD, l'autre est que la MEC consiste en un protocole plus simple, plus propice à tester des effets qui lui sont associés (LIU et al. 2010).

La théorie utilitariste sur laquelle se fonde l'essentiel de l'analyse microéconomique repose sur l'existence de préférences individuelles rationnelles et stables. De nombreux résultats ont remis en cause l'existence et les propriétés supposées de ces préférences. Il a notamment été démontré leur dépendance au contexte dans lequel s'exprime les choix individuel (SLOVIC 1995). MUNRO et al. (1999) a étudié l'impact de l'apport d'information dans l'application de la MEC : il a qualifié de positif l'information qui informe le répondant d'une augmentation possible de bénéfice et a montré que lorsque des individus reçoivent de l'information positive sur le bien à évaluer, leur consentement-à-payer pour ce bien augmente. Une autre étude sur la MEC (SPASH 2002) a montré que le même apport d'information influence différemment les répondants : certains se sont trouvés simplement informés sans que cela ne change leurs préférences, d'autres

ont complètement formé leurs préférences pendant le processus d'enquête en fonction de l'information apportée. L'impact de l'information apportée durant l'enquête est en fait fortement lié à la familiarité du répondant avec le bien à évaluer. Dans le cas où le répondant est familier du bien à évaluer, il est plus probable qu'il ait déjà formé des préférences plutôt stables à son rencontre, et l'information apportée n'a alors que peu d'influence. En revanche si le répondant n'est pas familier du bien à évaluer, il a besoin de plus d'informations et se basera sur celles-ci pour former des préférences ce qui interroge sur l'hypothèse concernant la stabilité des préférences individuelles stipulée par la théorie économique standard (MACMILLAN et al. 2006 ; ALBERINI et al. 2004). Ainsi dans le cas d'un bien environnemental peu connu du grand public comme le coralligène, notre hypothèse est que l'impact de l'information sur les préférences est fort et que les préférences observées sont peu stables.

D'autres variables peuvent expliquer les préférences individuelles, parmi lesquelles nous avons choisi de tester : le revenu, le sexe et l'attitude environnementale. Si le revenu et le sexe sont des variables couramment intégrées dans les analyses économiques, les attitudes environnementales en revanche y sont rarement intégrées mais sont traitées en sociologie et psychologie sociale de l'environnement depuis une trentaine d'années. Les attitudes environnementales peuvent être définies comme la disposition à réagir de manière évaluative (positive ou négative) au sujet de l'environnement. Elles peuvent s'exprimer dans le domaine cognitif (suppositions et convictions), affectif (sentiments et émotions) ou comportemental (action), d'après SCHLEYER-LINDENMANN et al. (2016). Différentes façons de mesurer les attitudes environnementales ont été proposées. L'une d'entre elles est devenue incontournable ces dernières années, il s'agit de l'échelle "Nouveau Paradigme Environnemental" (NEP). Pour la comprendre il faut revenir à ses origines. C'est dans les années 1970 que l'on voit d'une part émerger le concept de service écosystémique au sein des écologues et économistes, et d'autre part la New Environmental/Ecological Paradigm Scale (NEPs) proposée par DUNLAP et VAN LIERE (1978) considéré comme l'un des fondateurs de la sociologie de l'environnement aux Etats-Unis. SCHLEYER-LINDENMANN et al. (2016) présente un bref historique de la NEP que je résume ci-après. Dunlap s'est appuyé sur les travaux de PIRAGES et al. (1974). Ces sociologues affirmaient que la société américaine adhérait à une vision des rapports entre l'homme et

la nature assimilable à un Paradigme Social Dominant constitué d'un ensemble de trois grandes croyances partagées : confiance dans le progrès scientifique et la croissance économique, conviction du caractère inépuisable des ressources, domination légitime de l'homme sur la nature. Cependant les événements des années 1970 (crise énergétique, catastrophes écologiques) ébranlèrent l'opinion publique et Dunlap émit l'hypothèse que le Paradigme Social Dominant évoluait vers un Nouveau Paradigme Environnemental basé sur trois croyances : l'existence de limites écologiques à la croissance, l'importance de préserver les équilibres naturels et le rejet de l'anthropocentrisme. Dans leur version révisée de la NEP DUNLAP, VAN LIERE et al. (2000) y ajoutent deux croyances : les humains sont comme les autres espèces soumis aux contraintes de la nature et l'humanité est menacée par des catastrophes écologiques majeures. L'échelle NEP proposée par Dunlap consiste à identifier si les répondants partagent ces cinq croyances en leur demandant leur niveau d'adhésion à 15 affirmations (soit 3 affirmations par croyance). La brièveté de ce questionnaire permet de l'intégrer facilement dans une enquête.

Ce travail est une application de la méthode des choix discrets, mais se distingue par le fait que le bien environnemental à évaluer (le coralligène) soit supposé méconnu du grand public. Nous nous sommes inspirés de travaux sur les coraux d'eaux froides qui utilisent la MCD (JOBSTVOGT et al. 2014; ARMSTRONG et al. 2012) et de travaux explorant l'impact de l'apport d'information sur les consentements-à-payer déclarés lors de l'utilisation de cette méthode (AANESEN et al. 2015; CZAJKOWSKI, GIERGICZNY et al. 2014; CZAJKOWSKI, HANLEY et al. 2016).

L'un des objectifs de ce travail est méthodologique : tester l'impact de l'information sur la formation des préférences déclarées. L'autre objectif de ce travail est d'évaluer les préférences individuelles pour des services écosystémiques du coralligène.

Cette étude est pilote et ses résultats seront exploités pour une étude en plus large échantillon de population.

4.2. Matériels et Méthodes

L'enquête a été menée à Marseille et dans deux communes adhérentes du Parc national de Port-Cros : Hyères et Le Pradet.

4.2.1. Application de la méthode des choix discrets (MCD)

4.2.1.1. Fondements théoriques et principe d'application

La MCD est basée sur la théorie du consommateur de Lancaster (1966) et sur la théorie de l'utilité aléatoire.

La pierre d'angle de l'analyse microéconomique est la théorie dite "du consommateur"; il s'agit d'un modèle du choix optimal par le consommateur d'un panier des biens disponibles dans l'économie sous la contrainte de son financement (contrainte dite "budgétaire"). Chaque panier de biens procure un niveau d'utilité et le consommateur est supposé choisir le panier qui lui procure le maximum d'utilité. Dans ce panier, chaque bien, en fonction de sa quantité, contribue à l'utilité du panier tout en respectant sa contrainte budgétaire. La théorie de Lancaster propose de répliquer ce raisonnement au niveau de chaque bien. Chaque bien est donc supposé être porteur d'un ensemble de caractéristiques (attributs) qui chacune contribue à l'utilité procurée par ce bien. Choisir un bien particulier revient donc à choisir un panier d'attributs. Le modèle de Lancaster a préfiguré les modèles de choix discrets en concevant les offres en concurrence comme des paniers d'attributs entre lesquels le consommateur doit arbitrer. Son choix est supposé se porter sur le produit dont la combinaison d'attributs maximisent son utilité.

La théorie de l'utilité aléatoire, apparue suite aux travaux de MCFADDEN (1975), ANAS (1983) et WEGENER (1994), est une extension de la théorie classique du consommateur permettant de prendre en compte certaines variations non explicables des choix individuels. Dans les modèles standards, on considère que la fonction d'utilité de l'individu représentant ses préférences est de type déterministe. Ce qui suppose que l'individu dispose d'un pouvoir discriminant parfait qui lui permet de déterminer sa préférence de manière certaine et cohérente. On fait aussi l'hypothèse qu'il existe une règle de décision de l'individu

qui est stable. Or, en réalité, même si les individus sont dans des situations identiques, leurs choix ne sont pas uniformément rationnels, ni répétitifs. Il est donc nécessaire de prendre en compte la dispersion des préférences individuelles, qui est à l'origine de la variabilité des choix.

La théorie de l'utilité aléatoire fonde l'utilisation de modèles statistiques également nommés "modèles de choix discrets". En effet, si l'utilité procurée par un choix est en partie aléatoire, il devient pertinent de déterminer la probabilité qu'un choix particulier soit effectué par un individu particulier. Cette classe de modèles statistiques constitue la plus grande partie de l'analyse économétrique contemporaine des choix individuels.

L'utilité de l'individu face à une alternative de choix parmi plusieurs a deux composantes : une composante déterministe, reflétant les caractéristiques de l'alternative et de l'individu, et une composante aléatoire, reflétant les éléments de subjectivité du répondant et les erreurs d'évaluation dues au manque d'information ou à la rationalité limitée de celui-ci. Ces modèles permettent de calculer la probabilité de choix d'une alternative et permettent donc de prévoir le comportement des répondants, d'après des hypothèses sur la distribution de la composante aléatoire. Ils se basent sur le principe de la maximisation de l'utilité, précédemment décrit. La probabilité qu'un consommateur particulier choisisse une alternative est celle que l'utilité de cette alternative pour ce consommateur soit la plus élevée (plus élevée que pour toutes les autres alternatives).

La MCD repose sur la construction d'un scénario et d'un marché hypothétique présentés aux répondants afin d'élucider leurs préférences individuelles. Le scénario met l'individu-répondant en situation de consommateur de biens/services environnementaux et lui propose un moyen de paiement pour provoquer une variation de la qualité de ces biens/services à travers différents programmes proposés. L'individu fait un choix parmi un ensemble fini de programmes. Nous voulons observer le processus comportemental menant au choix de l'individu.

Les étapes essentielles de l'application de la méthode des choix discrets sont décrites dans l'encart qui suit.

ÉTAPES D'APPLICATION DE LA MÉTHODE DES CHOIX DISCRETS (MCD)

d'après HANLEY, MOURATO *et al.* (2001)

Etape 1 : Sélection des attributs

Il s'agit d'identifier les attributs du bien à évaluer pertinents. Un attribut monétaire ou véhicule de paiement est nécessairement proposé pour permettre l'estimation du consentement-à-payer. Les attributs doivent permettre de décrire au mieux le bien mais ne pas être trop nombreux afin de garder une certaine simplicité de l'exercice d'évaluation qui sera demandé aux répondants. Bien que cette étape soit rarement décrite en détail dans les publications, il s'agit d'une étape cruciale car le choix des attributs est déterminant dans les résultats de l'enquête. Cette étape peut être réalisée au moyen de consultation d'experts, d'ateliers, et de revue de la littérature.

Etape 2 : Détermination des niveaux d'attributs et du statu Quo

Les niveaux d'attributs doivent être vraisemblables, réalistes. Un programme particulier nommé *Statu Quo* est inclus. Ce programme qui a un coût nul, propose chaque attribut à son niveau actuel. Le programme *Statu Quo* est indispensable afin d'interpréter les choix individuels en termes de variation de bien-être. La situation présente, décrite par le programme *Statu Quo*, sert de référence à toutes les autres situations décrites par les autres programmes. La fixation des niveaux de l'attribut *coût* est très importante. LAREAU *et al.* (1989) ont remarqué que si les valeurs de l'attribut *coût* sont trop basses, alors les enquêtés classent les attributs en se concentrant principalement sur les attributs environnementaux. En revanche, si les valeurs de l'attribut *coût* sont trop élevées, alors les enquêtés classent les alternatives uniquement en fonction du coût. Si les coûts sont trop bas ou trop hauts alors tous les individus interrogés vont établir un classement identique donc les données récoltées ne seront pas très informatives.

ETAPES D'APPLICATION DE LA MCD (SUITE)

Etape 3 : Construction du plan d'expérience

Il s'agit de combiner les différents niveaux d'attributs au sein d'un nombre fini de programmes à présenter aux répondants. Le plan d'expérience complet permet l'estimation des effets de tous les niveaux d'attributs et leurs interactions. Mais le plan d'expérience complet comprend généralement trop de programmes pour qu'ils puissent tous être proposés aux répondants lors de l'enquête. Par exemple, dans une expérience construite avec 4 attributs dont 3 à 4 niveaux et 1 à 2 niveaux, le nombre de combinaisons possibles est $4 \times 4 \times 4 \times 2 = 128$ programmes. Le nombre de programmes du plan complet d'expérience est souvent élevé, même avec peu d'attributs et peu de niveaux par attribut. C'est pourquoi on génère un plan d'expérience partiel en sélectionnant un nombre réduit de programmes. Cela induit une perte concomitante de puissance d'estimation (i.e. certaines interactions ou toutes les interactions ne seront pas détectées), mais on sélectionne un plan partiel d'expérience optimal qui permet d'estimer les effets étudiés. Les plans d'expérience partiels peuvent être générés avec les logiciels SAS, Ngene ou R.

Etape 4 : Construction des cartes de choix

Les programmes du plan d'expérience partiel sont regroupés au sein de cartes de choix destinées à être présentées aux répondants. Une carte de choix confronte au moins un programme au programme Statu Quo. Les cartes de choix peuvent être générées avec les logiciels SAS, Ngene ou R. Le répondant fait autant de choix qu'il y a de cartes de choix.

Etape 5 : Mesure des préférences

Il s'agit de choisir la méthode par laquelle le répondant va exprimer ses préférences. Il peut lui être demandé de classer les programmes, de les noter ou de choisir celui qu'il préfère au sein de chaque carte.

Etape 6 : Procédures d'estimation

L'estimation des consentement-à-payer repose sur des modèles spécifiques qui sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance (logit, probit, logit ordonné, logit multinomial, logit multinomial à coefficients aléatoires, etc.). Le choix du modèle doit être cohérent avec la mesure des préférences (étape 5).

4.2.1.2. Sélection des attributs et des niveaux d'attributs

La méthode des choix discret (MCD) contraint à sélectionner un nombre limité d'attributs et de niveaux d'attributs qui entrent dans la construction des programmes. Un des objectifs de notre étude est de valoriser des attributs qui reflètent des services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes. Ces services, identifiés au moyen d'une revue de la littérature et de consultations d'experts (ateliers et entretiens), ont été décrits dans le chapitre 1. Ce travail préliminaire a permis d'identifier des attributs et des niveaux d'attributs pertinents et crédibles à proposer dans les scénarios de l'enquête. Finalement, trois attributs en plus de l'attribut monétaire obligatoire, ont été retenus pour construire les programmes de choix. Le nombre d'attributs et de niveaux d'attributs a été ajusté afin de limiter le nombre de combinaisons possibles dans le plan d'expérience partiel optimal.

L'attribut 1 : la qualité des habitats coralligènes et des espèces mobiles associées

Cet attribut reflète des niveaux de préservation de la biodiversité typique du coralligène. Les mesures de préservation peuvent s'appliquer soit aux espèces fixées telles que les algues, les gorgones, les bryozoaires et les éponges, soit aux espèces mobiles associées telles que les langoustes, les chapons et les poulpes. Cet attribut permet d'estimer des valeurs de non-usage (notamment des valeurs d'existence) qui peuvent être associées à ces habitats.

Cet attribut comporte 4 niveaux (dont le statu quo) :

— Le statu quo : rester sans mesure de protection spécifique pour les habitats coralligènes.

Les alternatives proposées sont :

- Protéger l'habitat (c'est à dire uniquement les espèces fixées : algues,...)
- Protéger des espèces mobiles (langoustes, poulpes, poissons,..)
- Protéger tout (habitats et espèces mobiles)

L'attribut 2 : Les usages directs immédiats

Cet attribut présente la possibilité de pratiquer de façon durable des activités de pêche et de plongée sur les habitats coralligènes. Il permet d'estimer des valeurs d'usages directs.

Cet attribut comporte 4 niveaux (dont le statu quo) :

— Le statu quo : maintenir les activités de pêche et de plongée telle qu'elles sont actuellement pratiquées.

Les alternatives proposées sont :

— Favoriser l'activité de plongée durable

— Favoriser l'activité de pêche durable

— Développer les deux activités (plongée et pêche) de façon durable.

L'attribut 3 : Le potentiel de découverte

Cet attribut présente des niveaux de recherche sur les habitats coralligènes. Il s'agit de mener des études afin d'identifier les espèces présentant des intérêts tels que : capacité à piéger du carbone (contribution à atténuer le changement climatique), découverte de molécules d'intérêt médical ou industriel. Cet attribut permet d'estimer une valeur d'option (usage futur et incertain) des habitats coralligènes.

Cet attribut comporte 2 niveaux (dont le statu quo) :

— Le statu quo consiste à ne pas développer la recherche scientifique sur ces habitats.

L'alternative proposée est :

— Encourager la recherche sur les espèces des habitats coralligènes et maintenir le réservoir d'espèces à intérêt particulier.

4.2.1.3. Détermination d'une situation hypothétique et de l'attribut monétaire

Les répondants sont donc placés en situation hypothétique mais vraisemblable. Dans le cadre de cette étude la mise en situation était exprimée en ces termes :

Actuellement diverses menaces pèsent sur les habitats coralligènes. Cependant il

n'existe actuellement pas de mesure de protection spécifique de ces milieux. Une politique publique régionale pourrait être mise en place afin d'assurer la durabilité et l'amélioration des services rendus par les habitats coralligènes, moyennant un certain coût pour les citoyens.

Les scénarios hypothétiques ont en commun le moyen de financement. Nous avons établi qu'il s'agirait d'une taxe spécifique et obligatoire prélevée annuellement par la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA). Nous avons pris comme référence le revenu mensuel moyen déclaré par foyer fiscal en PACA en 2013 (environ 2000€ net) et sélectionné des montants qui représentaient moins de 1% de ce revenu de référence.

Nous avons choisi de retenir 5 niveaux pour l'attribut monétaire : 60€, 120€, 180€, 240€ et 0€. Le niveau 0€ s'applique uniquement pour le programme représentant la combinaison des niveaux statu quo de tous les attributs.

4.2.1.4. Construction des programmes et des cartes de choix

Le tableau 4.1 récapitule les attributs et niveaux d'attributs retenus pour constituer les programmes de choix soumis aux répondants.

Ces 4 attributs impliquent un plan d'expérience complet de $4 \times 4 \times 2 \times 4 = 128$ programmes possibles. C'est à dire la somme de toutes les combinaisons possibles des niveaux d'attributs, sachant que le niveau 0 de l'attribut monétaire ne doit pas être pris en compte. En considérant qu'il est impossible de demander aux individus de choisir leur programme préféré parmi un si grand nombre, nous avons cherché le plan d'expérience partiel "optimal", composé d'un sous-ensemble de programmes organisés en cartes de choix. Cela a été fait à l'aide du logiciel SAS en appliquant les macro %MktRuns et %MktEx, puis %ChoiceEff. Nous avons ainsi obtenus 8 cartes de choix proposant chacune 2 programmes en plus du programme *Statu Quo*.

4.2.2. Le questionnaire d'enquête et la collecte des données

4.2.2.1. Le questionnaire d'enquête

Le questionnaire est disponible en annexe ???. Il est composé de 7 parties :

Table 4.1. – Les attributs et leurs niveaux retenus pour constituer les programmes de choix soumis aux répondants

	statu quo	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Attribut 1 : Qualité du coralligène	Pas de protection. Risque de dégradation	Protection de l'habitat (espèces fixées)	Protection des espèces mobiles associées	Protection de l'habitat et des espèces mobiles	
Attribut 2 : Usages	Pratique actuelle de la plongée et de la pêche	Favoriser l'activité de plongée	Favoriser l'activité de pêche	Favoriser les deux activités (pêche et plongée)	
Attribut 3 : Potentiel de découverte		Pas de recherche supplémentaire	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel		
Attribut 4 : Coût (par ménage/an)	0 €	60 €	120 €	180 €	240 €

- A. Les habitats coralligènes (quizz)
- B. Pour votre information
- C. Exprimez votre avis. . .
- D. La nature et vous
- E. La mer et vous
- F. A propos de vous
- G. Quelque chose à ajouter ?

A. Les habitats coralligènes (test de connaissances)

Cette partie du questionnaire a pour but d'estimer le niveau de connaissance initial du répondant sur les habitats coralligènes.

Les premières questions sont des questions fermées portant sur le niveau de familiarité avec le coralligène :

- *Avez-vous déjà entendu parler des habitats coralligènes ? oui/non*
- *Avez-vous déjà vu des habitats coralligènes en photo ou en vidéo ? oui/non*
- *Avez-vous déjà vu des habitats coralligènes in situ ? oui/non*
- *Pensez-vous pouvoir définir ce que sont les habitats coralligènes ? oui/non*

Ces questions sont suivies d'un quizz sur le coralligène que j'ai construit pour évaluer le niveau de connaissance initial du répondant sur le coralligène.

A partir de ce quizz j'ai calculé une note de connaissance initiale (comprise entre 0 et 10). Cette note globale est la moyenne de 3 notes :

$$note_globale = (note_paysage + note_profondeurs + note_espèces)/3$$

La *note_paysage* est obtenue suite à l'identification d'un habitat coralligène sur une photo, parmi 9 photos d'habitats marins méditerranéens ou récifaux. La bonne réponse rapporte 10 points, toute autre réponse rapporte 0 point.

La *note_profondeurs* est obtenue suite à l'identification des 3 tranches de profondeur au sein desquelles les habitats coralligènes sont observés parmi 5 tranches de profondeur proposées (0-10 m; 10-40 m; 40-60 m; > 60 m; > 200m). Chaque tranche de profondeur correctement identifiée rapporte 2 points, une réponse fautive rapporte 0 point.

La *note_espèces* est obtenue suite à l'identification des 6 espèces des habitats coralligènes parmi 13 espèces proposées. Une espèce correctement attribuée ou non attribuée au coralligène rapporte 1 point, 1 espèce incorrectement attribuée ou non attribuée au coralligène retire 1 point. Ne pas se prononcer ne rapporte ou ne fait perdre aucun point. Le total de points sur 13 est ramené sur 10 points par un produit en croix.

Ainsi les 3 notes (*note_paysage*, *note_profondeur* et *note_espèces*) sont comprises entre 0 et 10, et la *note_globale* aussi.

B. Pour votre information

Cette partie donne le minimum d'informations sur les habitats coralligènes que nous avons jugé nécessaire pour qu'une personne complètement ignorante de ces habitats en sache suffisamment pour garantir une certaine fiabilité des réponses. Le dépliant informatif (distribué aléatoirement à certains participant

contient beaucoup plus d'informations que cette partie B. La partie A est traitée en premier et sans possibilité d'y revenir afin que les répondants n'utilisent pas les informations apportées dans la partie B et le dépliant.

C. Exprimez votre avis

Cette partie est l'application directe de la méthode des choix discrets (MCD). Elle présente les 8 cartes de choix.

Les cartes de choix proposent toujours 3 programmes : le programme de *Statu Quo* (attributs à leur niveau actuel) et deux programmes alternatifs (construits avec différentes combinaisons des niveaux d'attributs). Le programme de *Statu Quo* est sans coût (0 €) alors que les autres programmes entraînent un coût/ménage/an décrit par l'attribut monétaire. Le répondant doit effectuer un choix par carte (donc 8 choix au total). Un exemple de carte de choix est présenté par la figure 4.1. Nous avons choisi de présenter 8 cartes de choix car c'est le nombre de carte de choix minimum au-delà duquel la variance du terme d'erreur de la fonction d'utilité se stabilise (CZAJKOWSKI, GIERGICZNY et al. 2014). La plupart des études récentes utilisent 6 ou 8 cartes de choix.

La partie C s'achève avec trois questions qui permettent d'évaluer la fiabilité des réponses obtenues, et en particulier de distinguer parmi les répondants qui ont choisi au moins une fois le programme *Statu Quo*, ceux qui ont répondu des "zéros vrais" de ceux qui ont répondu des "zéros de protestation". En effet les "vrais zéros" reflètent un comportement économique compatible avec la théorie économique standard, alors que les "zéros de protestation" reflètent un comportement non standard et donc pas ou difficilement exploitables par la MCD.

Les "vrais zéros" sont justifiés par une des raisons suivantes :

- *Les autres options sont trop chères,*
- *La situation actuelle me convient, je ne veux pas de nouvelle mesure de gestion,*
- *La gestion des habitats coralligènes n'est pas importante pour moi.*

Les "zéros de protestation" sont en revanche justifiés par une des raisons suivantes :





CARTE 4	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection des espèces mobiles	Protection de l'habitat (espèces fixées)	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser l'activité de plongée	Favoriser les deux activités (pêche et plongée)	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	180 €/an soit 15 €/mois	60 €/an soit 5 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 4.1. – Exemple d'une des 8 cartes de choix présentées dans l'enquête

- *Les autres options ne sont pas assez chères pour être crédibles,*
- *Les autres options ne sont pas réalistes, elles ne fonctionneront pas,*
- *Ce n'est pas à moi de payer pour la gestion des habitats coralligènes.*

Ces raisons étaient proposées dans le questionnaire, mais les répondants avaient aussi la possibilité d'avancer d'autres raisons. Les "zéros de protestation" ne doivent pas être interprétés comme un consentement-à-payer nul mais bien comme l'expression d'une protestation : ils ne signifient pas que le répondant n'accorde pas de valeur à la protection des habitats coralligènes, ils signifient qu'un ou plusieurs aspects du scénario ne lui conviennent pas. Classiquement les répondants "protestataires" sont exclus de l'analyse, ce que nous avons fait.

D. La nature et vous

Cette partie du questionnaire sert à mesurer l'attitude du répondant vis-à-vis de l'environnement. La méthode que nous avons retenue est celle proposée par DUNLAP, VAN LIERE et al. (2000), dans sa traduction française proposée par SCHLEYER-LINDENMANN et al. (2016). DUNLAP, VAN LIERE et al. (2000) proposent de mesurer l'attitude environnementale des individus à l'aide d'une série de quinze affirmations qui constituent ce qui est connu dans la littérature comme l'échelle "Nouveau Paradigme Ecologique" (New Ecological Paradigm Scale, NEPs). Pour chaque affirmation, le répondant doit exprimer s'il est *tout à fait d'accord*, *plutôt d'accord*, *plutôt pas d'accord*, *pas du tout d'accord*, ou s'il *ne sait pas* selon une échelle du type Likert classiquement utilisée en psychologie (LIKERT 1932). L'ordre des affirmations de la NEP n'est pas aléatoire : les items impairs sont des affirmations a priori favorables à l'environnement, tandis que les items pairs sont des affirmations a priori défavorables à l'environnement. Par ailleurs les affirmations sont regroupés en 5 facettes d'attitudes environnementales : anti-anthropocentrisme, anti-exceptionnalisme, équilibre de la nature, crise écologique, limites de la croissance. L'échelle des quinze affirmations a été proposée initialement en anglais, mais SCHLEYER-LINDENMANN et al. (2016) en a proposé une version française et c'est celle-ci que nous avons utilisée. Les quinze affirmations et leur facette sont présentés dans le tableau 4.2.

E. La mer et vous

Table 4.2. – Les 15 affirmations de l'échelle mesurant le "Nouveau Paradigme Ecologique" (NEPs) et les 5 facettes correspondantes

Les 15 affirmations proposées aux répondants	Facette de la NEPs correspondante (non communiquée aux répondants)
1. Nous nous approchons du nombre limite de personnes que la Terre peut nourrir.	Limites de la croissance
2. Les êtres humains ont le droit de modifier l'environnement naturel selon leurs besoins.	Anti-anthropocentrisme
3. Quand les êtres humains essaient de changer le cours de la nature cela produit souvent des conséquences désastreuses.	Equilibre de la nature
4. L'ingéniosité humaine fera en sorte que nous ne rendrons PAS la terre invivable.	Anti-exceptionnalisme
5. Les êtres humains sont en train de sérieusement malmenager l'environnement.	Crise écologique
6. La Terre posséderait une infinité de ressources naturelles si seulement nous savions comment en tirer mieux parti.	Limites de la croissance
7. Les plantes et les animaux ont autant le droit que les êtres humains d'exister.	Anti-anthropocentrisme
8. L'équilibre de la nature est assez fort pour faire face aux effets des nations industrielles modernes.	Equilibre de la nature
9. Malgré des aptitudes particulières, les humains sont toujours soumis aux lois de la nature.	Anti-exceptionnalisme
10. La prétendue « crise écologique » qui guette le genre humain a été largement exagérée	Crise écologique
11. La Terre est comme un vaisseau spatial avec un espace et des ressources très limités.	Limites de la croissance
12. Les humains ont été créés pour gouverner le reste de la nature.	Anti-anthropocentrisme
13. L'équilibre de la nature est très fragile et facilement perturbé.	Equilibre de la nature
14. Les humains vont un jour apprendre suffisamment sur le fonctionnement de la nature pour pouvoir le contrôler.	Anti-exceptionnalisme
15. Si les choses continuent au rythme actuel nous allons bientôt vivre une catastrophe écologique majeure.	Crise écologique

Cette partie du questionnaire permet d'identifier le niveau de familiarité du répondant avec la mer. Il est demandé au répondant d'indiquer la fréquence avec laquelle il pratique des activités en lien avec la mer, l'activité loisir est distinguée de l'activité professionnelle. L'objet de notre étude étant le coralligène, le questionnaire est orienté particulièrement vers les activités subaquatiques marines, et la pêche embarquée. Ces activités peuvent être considérées comme un indicateur de la familiarité du répondant avec l'environnement marin méditerranéen, familiarité qui peut influencer le consentement-à-payer.

F. A propos de vous

Cette partie concerne les données socio-démographiques standards (telles que l'âge, le sexe, le revenu, le niveau d'étude, la composition du ménage) et l'appartenance à une éventuelle association de protection de la mer ou de l'environnement. Certaines questions concernent aussi un éventuel conjoint car l'entité pertinente de la prise de décision économique est souvent le ménage et le coût des programmes est exprimé en €/ménage/an dans les cartes de choix.

G. Quelque chose à ajouter ?

Cette partie est une question ouverte permettant au répondant de s'exprimer librement sur la clarté du questionnaire, d'expliquer ses réponses, d'indiquer leur ressenti sur le déroulement du questionnaire. Sachant que l'enquête décrite ici est pilote, les commentaires recueillis sont utilisés pour améliorer le questionnaire en prévision d'une enquête avec un échantillon de population plus important.

4.2.2.2. Le Dépliant informatif

J'ai conçu un dépliant informatif spécialement pour l'enquête. Le texte donne des informations sur les espèces et le biotope, les ressources et activités pratiquées dans le milieu, et les menaces concernant les habitats coralligènes. Les illustrations sont des photos de paysages et d'espèces caractéristiques des habi-

tats coralligènes. J'ai conçu le dépliant en m'inspirant de modèles de dépliants distribués dans les parcs et réserves naturels. Le dépliant a été imprimé sur un format A4 recto-verso plié en 3 volets. La figure 4.2 présente la maquette du dépliant recto et verso.

Le dépliant informatif sur le coralligène et ses services écosystémiques a été distribué à la moitié de l'échantillon entre les parties A et B.

4.2.2.3. Le déroulement de l'enquête

L'enquête pilote quantitative s'est déroulée en janvier et février 2017. Elle a comporté cinq sessions qui ont réuni entre 13 et 24 répondants chacune. Deux sessions ont eu lieu à Marseille dans des locaux universitaires (sessions *Marseille 1* et *Marseille 2*). Les trois autres sessions ont eu lieu à Hyères lors de dons du sang (sessions *Hyères 1* et *Hyères 2*), et au Pradet sur un marché (session *Le Pradet*).

Le questionnaire (disponible en annexe F) a été conçu pour se dérouler en deux étapes : la première étape consiste à évaluer la familiarité des répondants avec les habitats coralligènes (partie A), la seconde étape est l'application de la méthode des choix discrets (parties B à G).

Le répondant reçoit la partie A du questionnaire. Lorsqu'il a terminé d'y répondre, il rend cette partie, puis reçoit la suite du questionnaire. Avant de recevoir la suite du questionnaire, un groupe aléatoire de répondant aura reçu un dépliant informatif sur les habitats coralligènes. La figure 4.4 présente un schéma du protocole d'enquête pour les cinq sessions réalisées. La figure 4.3 résume le nombre de participants informés par session.

Au total 97 personnes ont été interrogées. Sur ces 97 questionnaires, 17 ne peuvent pas être utilisés, ce qui représente une proportion raisonnable. Diverses raisons nous ont amenés à rejeter un questionnaire. Certaines personnes ont déclaré ne pas connaître leur revenu ou ont refusé de répondre à cette question. D'autres n'ont pas déclaré leur âge et/ou leur sexe. D'autres encore ont refusé



LE CORALLIGÈNE :

Récif typique de Méditerranée, entre 20 et 120 m de profondeur, dans des conditions de lumière réduite.

RESSOURCES...

Corail rouge, chapon, langouste, denti, St Pierre sont parmi les espèces les plus appréciées !

...& PAYSAGES

Les paysages coralligènes sont extrêmement variés : tombants, plateaux, entrées de grotte...



Construit par des algues rouges calcifiées accumulées depuis des millénaires, le coralligène est très riche en espèces (environ 1700). Certaines pourraient avoir un intérêt industriel ou thérapeutique. De plus, la masse d'organismes calcaires pourrait jouer un rôle de puits de carbone, participant ainsi à la régulation du climat.

Sur le coralligène, les pêcheurs professionnels pratiquent surtout une pêche artisanale, avec des bateaux de moins de 12 m. Les corailleurs collectent le corail rouge en plongée profonde. Et les ressources attirent aussi les pêcheurs de loisir en bateau ou en plongée en apnée !

On y trouve gorgones, coraux, bryozoaires, éponges, nudibranches, poulpes, mérous, mostelles, murènes... Des espèces et des paysages très colorés et variés... Les plongeurs sont nombreux à venir dans les profondeurs explorer ces milieux riches et complexes !

Figure 4.2. – Dépliant informatif distribué à la moitié de l'échantillon de population interrogé

de répondre à la partie économique du questionnaire ou y ont répondu de façon incomplète. Les traitements statistiques et économétriques ont donc été réalisés sur un échantillon de 80 individus.

Sessions	Nombre de participants non informés (NI)	Nombre de participants informés (I)	Nombre de participants
Hyères 1 (H1)	23	1	24
Hyères 2 (H2)	3	19	22
Le Pradet (LP)	3	16	19
Marseille1 (M1)	0	13	13
Marseille2 (M1)	11	8	19
Total	40	57	97

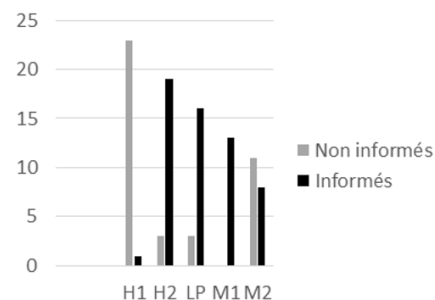


Figure 4.3. – Nombre de participants informés par session

Étant donné la qualité pilote de l'enquête, les répondants ont été invités à donner leur avis et ressenti sur le déroulement du questionnaire. Le petit nombre de répondants a permis d'approfondir les discussions. L'objectif de cette enquête pilote était de tester le protocole (faisabilité, intelligibilité, acceptabilité) dans la perspective d'une application de l'enquête à grande échelle.

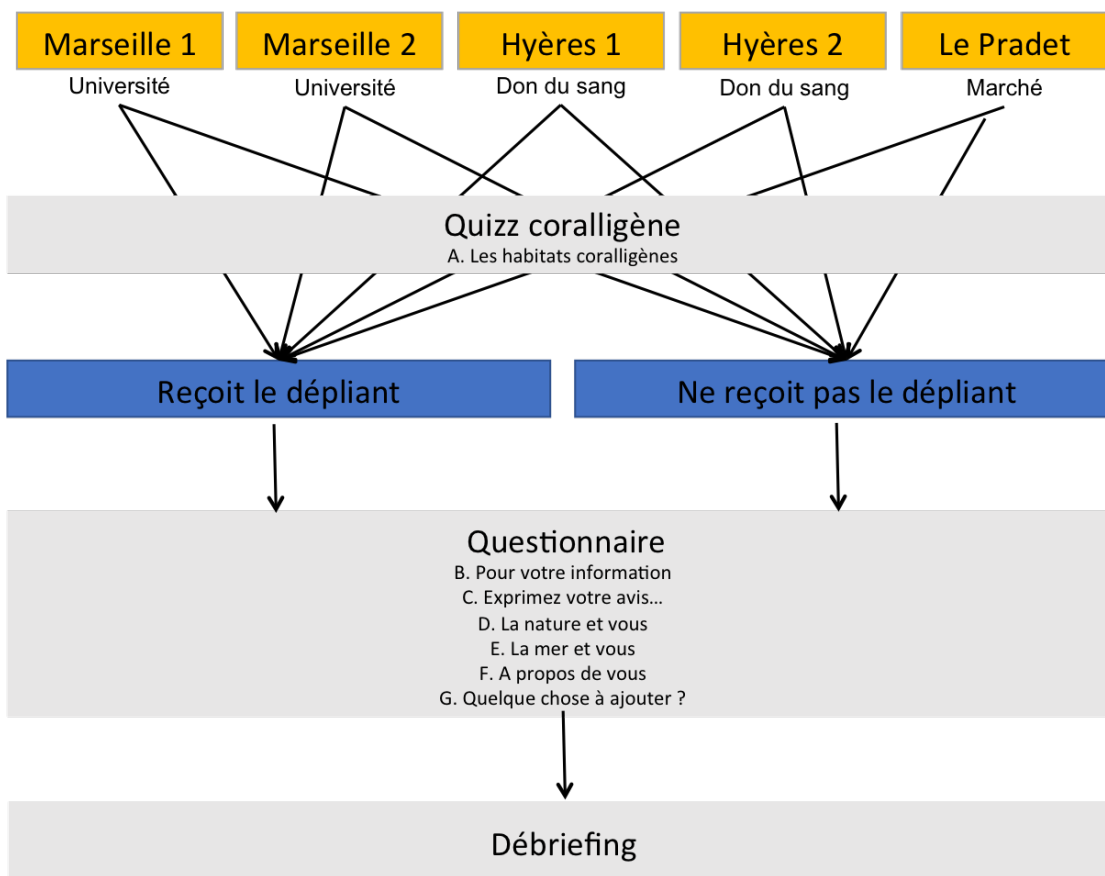


Figure 4.4. – Schéma de déroulement de l'enquête

4.3. Description de l'échantillon

L'échantillon issu de l'enquête en population générale est constitué de 97 individus. Cependant nous avons éliminé de l'échantillon les individus :

- n'ayant pas répondu à des questions obligatoires telles que le choix d'un programme, le revenu, le sexe, l'attitude environnementale (15 individus),
ou
- ayant choisi le programme *Statu Quo* parmi les programmes proposés et ayant été identifié comme protestataires contre le marché hypothétique proposé ou la démarche elle-même (2 individus).

L'identification des individus protestataires a été basée sur leur justification des choix du programme *Statu Quo*. Parmi les justifications proposées certaines identifient l'individu comme protestataire, d'autres justifient un consentement à payer nul qui peut être pris en compte dans l'évaluation économique. Les répondants pouvaient aussi donner une autre justification que nous avons interprétée au cas par cas comme protestataire ou non. Afin d'éviter de diminuer la taille de l'échantillon de façon importante, les individus n'ayant pas systématiquement choisi le programme *Statu Quo* ont été maintenus dans l'échantillon même s'ils ont justifié le statu quo par une affirmation "protestataire" (5 individus dans ce cas dont 2 qui ont aussi une justification de CAP nul).

4.3.1. Les caractéristiques socio-démographiques

Sexe

Sur les 80 personnes composant l'échantillon, 54 sont des femmes (67,50%), donc l'échantillon est fortement féminin. La répartition hommes-femmes au sein de chacune des sessions (figure 4.5) est assez similaire : autour de 25% d'hommes et 75% de femmes sauf pour la session *Le Pradet* où cette proportion s'inverse. Les figures 4.6 et 4.7 comparent les proportions d'hommes et de femmes, informés et non informés.

Un test de Chi-2 a été réalisé, ce qui nous permet d'accepter l'hypothèse d'indépendance des variables *sexe* et *information* (p-value = 0.725). Il est donc possible de considérer que l'information, qui a été donnée sous la forme du dépliant pré-

cédemment décrit, l'a été de façon aléatoire entre les hommes et les femmes au sein de notre échantillon.

Age

Le tableau 4.3 donne des indications sur les âges des individus de l'échantillon. L'âge moyen de notre échantillon est plus jeune que celui de la région PACA (42 ans), mais identique à celui de la France métropolitaine en 2014.

Table 4.3. – Indications sur les âges des 80 individus interrogés

Age moyen	Age médian	Ecart-type	Age minimum	Age maximum
40 ans	36 ans	16 ans	19 ans	74 ans

Niveau d'études

La figure 4.8 présente la répartition des niveaux d'étude des 80 individus interrogés. Plus de la moitié d'entre eux ont un niveau supérieur au baccalauréat.

Mode de vie

Le mode de vie des individus interrogés est un indicateur de la façon dont ces individus supportent les charges financières. Les individus de notre échantillon sont répartis de façon relativement équitable entre célibat, couple et famille (figure 4.9). Une minorité vit en collocation.

Situation patrimoniale

La situation patrimoniale des individus peut influencer l'utilisation de leurs ressources. Les individus de notre échantillon sont répartis relativement équitablement entre locataires et propriétaires (figure 4.10).

Sessions	Hommes (%)	Femmes (%)	Total (%)
Hyères 1 (H1)	21,05	78,95	100
Hyères 2 (H2)	25,00	75,00	100
Le Pradet (LP)	73,33	26,67	100
Marseille1 (M1)	25,00	75,00	100
Marseille2 (M2)	26,67	73,33	100
TOTAL	32,50	67,50	100

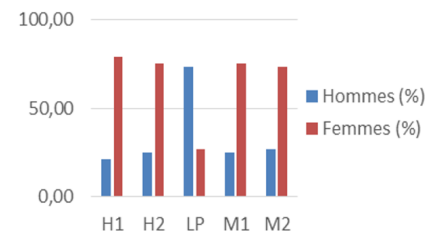
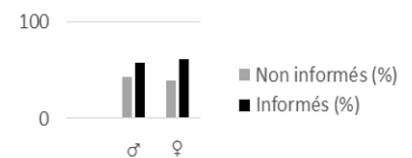


Figure 4.5. – Répartition des sexes par session

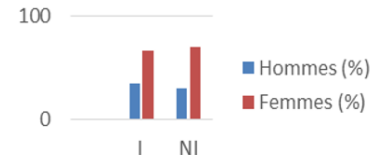
Sexes	Non informés (%)	Informés (%)	Total (%)
Hommes ♂	42,59	57,41*	100
Femmes ♀	38,46	61,54	100



* Sur 100 hommes, 57.41% ont été informés en recevant le dépliant.

Figure 4.6. – Répartition des informés parmi les sexes

Information	Hommes (%)	Femmes (%)	Total (%)
Informés (I)	34,04	65,96*	100
Non informés (NI)	30,30	69,70	100



* Sur 100 individus informés par le dépliant, 65.96 % sont des femmes.

Figure 4.7. – Répartition des sexes parmi les informés

Etudes	Nombres d'individus	Pourcentages d'individus	Pourcentages cumulés
Avant bac	11	13,75	13,75
Bac	24	30,00	43,75
Bac +2	9	11,25	55,00
Bac +3	11	13,75	68,75
Bac +4/5	18	22,50	91,25
GED*	7	8,75	100
Total	80	100	100

* GED : grande école ou doctorat

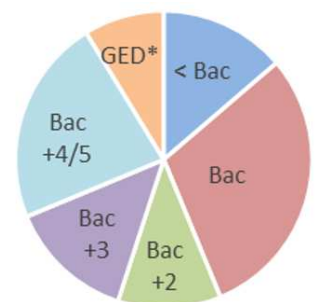


Figure 4.8. – Répartition des niveaux d'étude parmi les 80 individus interrogés

Situation professionnelle

La figure 4.11 présente la répartition des 80 interrogés selon leur situation professionnelle. Dans l'échantillon 51,85% des individus sont actifs non chômeurs. En comparaison 60,9% de la population de Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA) est déclarée active en 2014. La proportion d'étudiants dans notre échantillon (22,22%) est très supérieure à la proportion régionale (10,1% élèves, étudiants et stagiaires non rémunérés de plus de 15 ans en 2014), cela est dû au fait que les deux sessions de Marseille ont été organisées au sein de l'Université. Notre échantillon comporte 12,50% de retraités (contre 7,4 en PACA en 2014). Parmi les individus se déclarant dans une "autre" situation, la moitié est au chômage, soit 6,25% de notre échantillon (contre 10,7% en 2014 en PACA). Dans ce paragraphe les chiffres relatifs à la région PACA sont extraits du site de l'INSEE².

Revenus

La figure 4.12 présente la répartition des 80 individus interrogés selon les classes de revenus mensuels définies par l'INSEE. Nous avons fait une approximation des revenus en attribuant à chaque individu le revenu central de sa classe : un individu ayant déclaré un revenu dans la classe 0-500 € se verra ainsi attribué un revenu de 250 €. Basé sur cette approximation, le revenu mensuel moyen dans notre échantillon est égal à 1493 €, bien en-dessous du revenu mensuel moyen déclaré par foyer fiscal en PACA en 2013 qui est de 2068 €. L'écart-type dans notre échantillon est très élevé (1006 €), ce qui est cohérent avec l'étendue de la distribution. En effet, le revenu le moins élevé est égal à 250 € et le plus élevé de 4750 € (rappelons que ces valeurs sont des centres de classes). Le coefficient d'asymétrie (skewness), qui permet de discuter de la symétrie des distributions, est égal à 1,15. Il est positif, ce qui signifie que la distribution des revenus de notre échantillon est asymétrique à droite, ce qui est une caractéristique standard des distributions de revenus. Le revenu mensuel médian est quant à lui égal à 1250 €, inférieur au revenu moyen ce qui est cohérent avec le type d'asymétrie de la distribution.

2. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques en France

<i>Modes de vie</i>	Pourcentages
Vit seul	35,00
Vit en couple	30,00
Vit en famille	27,50
Vit en collocation	7,50

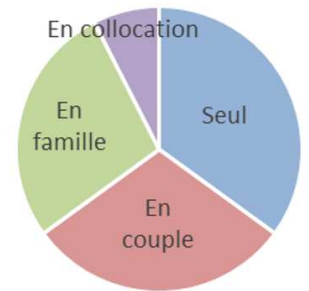


Figure 4.9. – Répartition des modes de vie des 80 individus interrogés

<i>Situations patrimoniales</i>	Pourcentages
Propriétaire	40,00
Locataire	49,00
Autres	11,00



Figure 4.10. – Répartition des situations patrimoniales des 80 individus interrogés

<i>Activité</i>	Nombres d'individus	Pourcentages d'individus	Pourcentages cumulés
Temps plein	32	39,51	39,51
Temps partiel	10	12,35	51,85
Etudiant	18	22,22	74,07
Retraité	10	12,50	87,50
Autre	9	12,50	100,00
Total	80	100,00	100,00

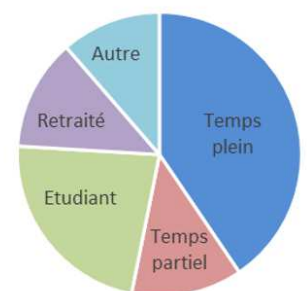


Figure 4.11. – Répartition des situations professionnelles des 80 individus interrogés

Revenus et information

Dans notre échantillon : 33 individus sont considérés "informés" sur les habitats coralligènes par le dépliant que nous leur avons distribué, contre 47 individus "non-informés". Le tableau 4.4 présente les revenus observés dans les deux groupes (informés et non-informés).

Table 4.4. – Indications sur les revenus mensuels parmi les individus informés et parmi les individus non-informés

	Revenu* moyen (€)	Ecart-type (€)	Nombre d'individus
Informés	1386	978	33
Non-informés	1569	1029	47
Total	1493	1006	80

**approximation du revenu sur le centre de classe*

Pour comparer les revenus moyens entre l'échantillon des informés et des non-informés, nous avons réalisés un test d'égalité des moyennes : le test de Student pour échantillon indépendants avec des variances non égales. Ce test nous permet d'accepter l'hypothèse que le revenu moyen des informés est égal au revenu moyen des non informés (p-value = 0.4234). Nous avons aussi recodé la variable revenu à l'aide d'une variable binaire qui prend la valeur 1 si le revenu de la personne interrogée est supérieur ou égal au revenu médian de notre échantillon (soit 1250 €) et 0 sinon. Nous acceptons l'hypothèse d'indépendance entre cette nouvelle variable et le fait d'être informé ou pas (p-value = 0.838). Nous avons refait ce test en créant une nouvelle variable binaire pour le revenu prenant la valeur 1 si le revenu de la personne interrogée est strictement supérieur au revenu médian de notre échantillon (soit 1250 €) et 0 sinon. Là encore, nous acceptons l'hypothèse d'indépendance entre ces deux variables. Nous avons finalement réalisé un test de rang (Wilcoxon ; Mann-Whitney) sur les distributions de revenu entre les deux sous échantillons composés de personnes informées et non-informées. Ici encore nous concluons que les différences entre ces deux distributions ne sont pas statistiquement significatives (p-value = 0,4109).

Ainsi, quel que soit le test utilisé, nous en concluons qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative dans les distributions de revenu entre les personnes informées de notre échantillon et celles qui sont, selon notre protocole, des personnes non-informées. Cela est important, car si les résultats économétriques révèlent une différence entre les CAP déclarées et en particulier si les personnes informées ont en moyenne un CAP déclaré supérieur à celle des personnes non informées, cela ne pourra pas être expliqué par le fait que les personnes informées seraient systématiquement plus riches dans notre échantillon. L'ensemble des tests que nous venons de réaliser nous permet d'établir cette première conclusion.

Relation à la mer

Nous souhaitons connaître le degré de familiarité avec la mer des individus composant l'échantillon et leur engagement pour l'environnement, car nous considérons que ces caractéristiques peuvent être liées au CAP des individus pour la préservation du coralligène.

Sur les 80 personnes de notre échantillon, 52 (65%) déclarent avoir pratiqué des activités de loisir en lien avec la mer au cours des 12 derniers mois. Les résultats détaillés sont présentés en figure 4.13 où plusieurs activités peuvent être déclarées par la même personne.

Les autres activités citées qui concernent chacune au plus 4 personnes dans notre échantillon sont : la voile (4 personnes), la baignade (3), la natation (2), le "paddle" (2), la plage (2), la randonnée et la balade (2), les sports nautiques (1), le bateau (1), le canoë (1), la pirogue (1), le kayak (1). Ces activités ne laissent pas, *a priori*, supposer que la personne concernée ait pu développer un lien particulier avec le coralligène. De plus les effectifs de ces sous-échantillons sont trop faibles pour espérer pouvoir développer des analyses statistiques ayant un sens.

Sur les 80 individus de notre échantillon, 3 déclarent pratiquer certaines activités en relation avec la mer dans le cadre professionnel, dont 2 sont chercheurs en

océanologie, 1 travaille dans l'industrie nautique. Ces effectifs sont trop faibles pour espérer pouvoir mener des analyses statistiques qui seraient informatives sur un éventuel comportement spécifique de ces individus.

Sur les 80 individus constituant notre échantillon, 5 ont déclaré appartenir à une association de protection de l'environnement et aucun à une association de protection de la mer (questions non exclusives).

4.3.2. Connaissances sur le coralligène

Dans cette partie nous traitons les réponses des individus à la première partie du questionnaire, dans laquelle des questions portant sur la familiarité des individus avec le coralligène étaient suivies d'un quizz permettant d'estimer un niveau de connaissances des individus sur les habitats coralligènes.

Sur les 80 individus de l'échantillon :

- 25 (soit 31%) déclarent avoir *déjà entendu parler des habitats coralligènes*,
- 26 (soit 32%) déclarent *avoir vu les habitats coralligènes en photo*,
- 8 (soit 10%) déclarent *avoir vu les habitats coralligènes in situ*,
- 25 (soit 31%) pensent savoir définir les habitats coralligènes
- 19 (soit 24%) ont correctement identifié le coralligène parmi les photos d'habitats.

Les notes obtenues au quizz sur les habitats coralligènes sont résumées dans le tableau 4.5.

Au test d'identification de l'habitat (figure 4.14), on observe que le coralligène est le plus souvent confondu avec le récif corallien (36,25% des réponses), les coraux profonds d'eau froide (15% des réponses) ou les grottes (10% des réponses). Ces trois habitats marins peuvent être considérés au moins visuellement comme proches et peuvent abriter des coraux. Parmi les 25 personnes ayant déclaré avoir *déjà entendu parler des habitats coralligènes*, 11 personnes (44% de 25) ont choisi la photographie représentant les récifs coralliens et 8 (32%) celle des habitats coralligènes. On retrouve les mêmes résultats pour ceux qui affirment avoir déjà

Classes de revenus (€)	Nombres d'individus	Pourcentages d'individus (%)
0-500	12	15
1001-1500	13	16,25
1501-2000	23	28,75
2001-2500	15	18,75
2501-3000	6	7,5
3001-3500	4	5
3501-4000	2	2,5
4001-4500	2	2,5
4501-5000	2	2,5
Total	80	100,00

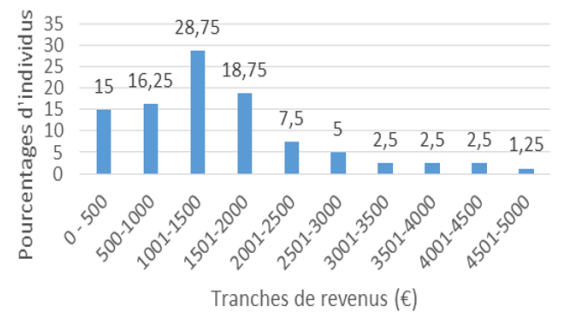


Figure 4.12. – Répartition des 80 individus interrogés dans les classes de revenus de l'INSEE

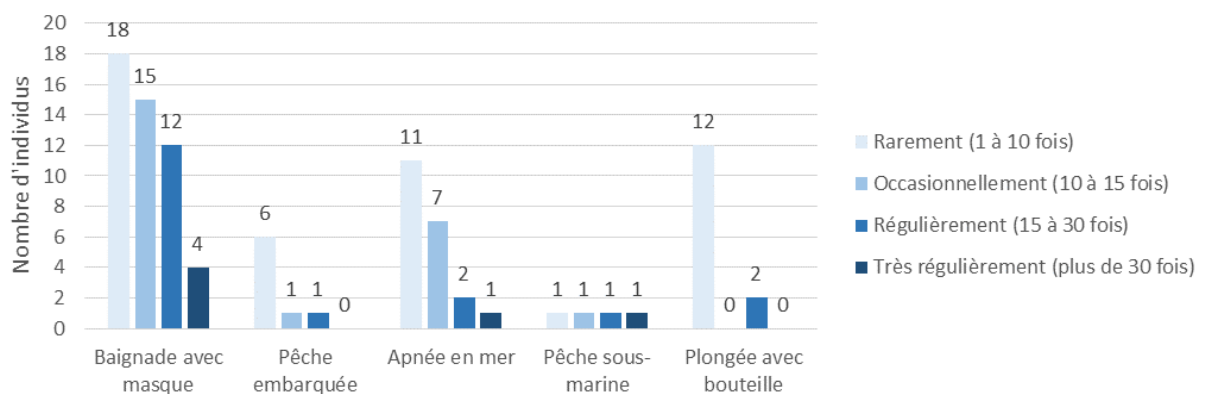


Figure 4.13. – Pratique d'activités marines de loisir par les 80 individus interrogés

Table 4.5. – Résumé des notes obtenus au quizz sur les habitats coralligènes par les 80 individus de l'échantillon

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Note_paysage	2,38	4,28	0	10
Note_profondeurs	5,2	2,48	0	10
Note_espèces	3,27	2,20	0	8,5
Note_globale	3,61	1,93	0	7,8

Rappel : la note espèces est obtenue suite à l'identification de 6 espèces du coralligènes sur 13 proposées. La note globale est la moyenne des note paysage, note profondeur et note espèces.

vu des habitats coralligènes in situ ($N = 7$) ou ceux qui déclarent savoir les définir.

Au test d'identification des profondeurs auxquelles il est possible de trouver des habitats coralligènes (tableau 4.6), on observe que la majorité des répondants identifie correctement les habitats coralligènes entre 10 et 40 mètres et pas au-delà de 200 mètres. Près de la moitié des répondants identifie correctement l'absence d'habitats coralligènes dans la tranche 0-10 m et leur présence dans la tranche 40-60 m. En revanche seul un quart des répondants savent que l'on trouve des habitats coralligènes au-delà de 60 m de profondeur. On note que la pratique de la plongée de loisir à l'air est limitée à 60 m et il est possible que cette limite de profondeur explorée représente aussi une limite de connaissance du milieu marin par le grand public (les plongeurs au moins).

Table 4.6. – Fréquence des réponses au test d'identification des profondeurs où se situent les habitats coralligènes

	Fréquence de <i>Oui</i>	Fréquence de <i>Non</i>	Fréquence de <i>Ne sais pas</i>
0-10 m	41 %	54 %	5 %
10-40 m	59 %	36 %	5 %
40-60 m	44 %	51 %	5 %
> 60 m	21 %	74 %	5 %
> 200 m	11 %	83 %	6 %

Les réponses exactes sont représentées en vert.

Au test d'identification des espèces vivant en milieu coralligène (tableau 4.7), on observe que les espèces ayant une apparence de corail sont fortement associées au coralligène : à raison pour le corail rouge et la gorgone pourpre, mais à tort pour le corail table qui se trouve en milieu tropical. Les espèces des récifs coralliens (chirurgien bleu, bénitier, corail table) sont les plus souvent sources d'erreurs, associées à tort au coralligène. Ce qui confirme les résultats du test d'identification de l'habitat coralligène d'après photo où le récif corallien a été, à tort, le plus fréquemment choisi. On observe que les algues rouges calcaires sont

Photos présentées	Habitats marins	Fréquences	Pourcentages
G 	Récifs coralliens	29	36.25
D 	Habitats coralligènes	19*	23.75
B 	Coraux profond d'eau froide	12	15
H 	Grottes	10	12.5
	Ne sais pas	7	8.75
A 	Roche Infralittorale	2	2.5
E 	Fonds de galets	1	1.25
C 	Herbier de Posidonie	0	0
F 	Fonds sableux	0	0
I 	Herbier à cymodocées	0	0

Les photos sont triées par ordre décroissant des fréquences de réponse. La réponse exacte est représentée en vert

Figure 4.14. – Fréquences des réponses au test d'identification du coralligène d'après photographie

correctement associées au coralligène par 56 % des répondants, avec 10 % de mauvaises réponses et 34 % de non réponse.

Table 4.7. – Fréquence des réponses au test d'identification des espèces des habitats coralligènes

	Fréquence de <i>Oui</i>	Fréquence de <i>Non</i>	Fréquence de <i>Ne sais pas</i>
Corail rouge	69 %	6 %	25 %
Algues rouges calcaires	56 %	10 %	34 %
Gorgone pourpre	46 %	10 %	44 %
Posidonie	22.5 %	40 %	37.5 %
Uranoscope	16 %	38 %	46 %
Langouste	34 %	31 %	35 %
Grondin	25 %	27.5 %	47.5 %
Barbier	27.5 %	21 %	52 %
Mérou	25 %	35 %	40 %
Grande nacre	33 %	21 %	46 %
Chirurgien bleu	35 %	15 %	50
Bénitier	37.5 %	15 %	47.5 %
Corail table	55 %	11 %	34 %

Les réponses exactes sont représentées en vert.

Nous avons ensuite comparé ce que les répondants pensent savoir et ce qu'ils savent sur les habitats coralligène d'après notre estimateur de niveau de connaissance (la *note_globale* du quizz).

Le tableau 4.8 compare les caractéristiques des notes entre les individus qui ont déclaré savoir définir le coralligène et les autres, en présentant les hommes et les femmes séparément. D'après ce tableau, les résultats obtenus par les deux groupes (ceux qui se disent "savant", et ceux qui se disent non savant), sont très proches. On n'observe pas de différence statistiquement significative entre le nombre de hommes et de femmes déclarant savoir définir les habitats coralli-

gènes. Toutefois, on observe que les hommes auraient tendance à surestimer leur niveau de connaissance alors que les femmes auraient tendance à sous-estimer leur niveau de connaissance.

Table 4.8. – Comparaison des réponses à la question "pensez-vous savoir définir le coralligène" et des notes obtenues au quizz (hommes vs femmes)

	Effectif		Moyenne notes		Ecart-type notes		Note min		Note max	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
savoir le définir : OUI	9	16	3,58	4,25	1,81	1,84	0,92	1,59	6,46	7,38
savoir le définir : NON	17	38	3,12	3,58	2,22	1,85	0	0	7,28	7,79

Un résumé des "chemins de réponses" (suites de réponses d'un répondant) de la partie A est présenté dans la figure 4.15. On observe que parmi les 25 répondants qui ont déclaré avoir entendu parlé du coralligène, 23 déclarent l'avoir vu en photo, 7 déclarent l'avoir vu in situ et 4 pensent savoir le définir. Ces 4 individus ont obtenu en moyenne 5,38/10 au quizz et 3/4 ont reconnu le coralligène parmi les photos d'habitats. On observe que cette note moyenne du groupe n'est pas très élevée (on rappelle que la meilleure note est 7,79/10). A l'opposé, les 43 individus ayant répondu par la négative aux 4 questions ont eu en moyenne 3,43/10 au quizz et 9/43 individus ont reconnu le coralligène parmi les photos d'habitats. On remarque que cette note moyenne du groupe n'est pas si faible. Par ailleurs, on identifie des répondants relativement incohérents qui déclarent n'avoir jamais entendu parler du coralligène mais qui pensent savoir le définir (cas de 9 individus), sans doute en se basant sur ce que leur évoque le terme "coralligène".

Le tableau 4.9 montre que les niveaux de connaissance des individus ayant déclaré connaître la définition du coralligène sont en moyenne à peine supérieurs aux niveaux de connaissance des individus ayant déclaré ne pas savoir le définir. Parmi les 25 individus déclarant savoir définir le coralligène, seulement 8 ont une note supérieure à 5 (sur un barème de 10).

4.3.3. Les attitudes environnementales

La figure 4.16 présente une série d'indicateurs statistiques calculés sur les modalités de l'échelle de Likert, pour chacun des items (après recodage des items pairs), tels que le score moyen, son écart-type, le score médian et le coefficient d'asymétrie de la distribution. D'après ces résultats, nous pouvons affirmer que les répondants sont plutôt pro-NEP, ce qu'on peut extrapoler en les considérant pro-environnement d'après la définition de la NEP par DUNLAP, VAN LIERE et al. (2000).

Figure 4.16. – Réponses aux items de la NEPs (regroupés en facette)

Les affirmations pro-environnement sont les items impairs en vert tandis que les affirmations anti-environnement sont les items pairs en rouge. L'analyse des réponses de type "d'accord"/"pas d'accord" à ces affirmations rendrait la lecture difficile car les deux types d'affirmations devraient être lus et interprétés dans des sens opposés. C'est pourquoi nous avons recodé les items pairs en inversant leurs valeurs de l'échelle de Likert et en les présentant sur une nouvelle échelle de "pro-NEP". Ainsi l'interprétation de l'échelle de Likert va dans le même sens quel que soit l'item, rendant possible la comparaison des réponses recueillies. Les chiffres des 5 colonnes de l'échelle NEP sont des pourcentages de réponses.

	Très anti-NEP (pas du tout d'accord ou Tout à fait d'accord)	Anti-NEP (plutôt pas d'accord ou plutôt d'accord)	Ne sait pas	Pro-NEP (plutôt d'accord ou plutôt pas d'accord)	Très pro-NEP (tout à fait d'accord ou pas du tout d'accord)	Score moyen	Ecart-type	Score médian	Skewness
Scores associés à l'échelle de Likert	1	2	3	4	5				
Limites à la croissance						2,80	0,77	3,1	-0,21
D.1 Nous nous approchons du nombre limité de personnes que la terre peut nourrir.	15,00	18,75	5,00	36,25	25,00	3,37	1,42	4	-0,46
D.6 La terre posséderait une infinité de ressources naturelles si seulement nous savions comment en tirer mieux parti.	36,25	37,50	5,00	13,75	7,50	2,18	1,27	2	0,94
D.11 La terre est comme un vaisseau spatial avec un espace et des ressources très limités.	12,50	15,00	2,50	35,00	65,00	4,25	1,20	5	-1,36
Anti-anthropocentrisme						4,16	0,87	4,6	-0,97
D.2 Les êtres humains ont le droit de modifier l'environnement naturel selon leurs besoins.	2,50	21,25	3,75	28,75	43,75	3,90	1,24	4	-0,79
D.7 Les plantes et les animaux ont autant le droit que les êtres humains d'exister.	5,00	6,25	1,25	23,75	63,75	4,35	1,11	5	-1,88
D.12 Les humains ont été créés pour gouverner le reste de la nature.	2,50	15,00	2,50	15,00	65,00	4,25	1,20	5	-1,36
Equilibre de la nature						4,04	0,73	4,33	-0,60
D.3 Quand les êtres humains essaient de changer le cours de la nature cela produit souvent des conséquences désastreuses.	5,00	8,75	2,50	41,25	42,50	4,07	1,12	4	-1,4
D.8 L'équilibre de la nature est assez fort pour faire face aux effets des nations industrielles modernes.	3,75	21,25	3,75	28,75	42,50	3,85	1,28	4	-0,76
D.13 L'équilibre de la nature est très fragile et facilement perturbé.	3,75	5,00	1,25	46,25	43,75	4,21	0,97	4	-1,74
Anti-exceptionnalisme						3,50	0,78	3,33	0,16
D.4 L'ingéniosité humaine fera en sorte que nous ne rendrons PAS la terre invivable.	6,25	41,25	12,50	20,00	20,00	3,06	1,29	3	0,27
D.9 Malgré des aptitudes particulières, les humains sont toujours soumis aux lois de la nature.	3,75	11,25	2,50	48,75	33,75	3,97	1,07	4	-1,23
D.14 Les humains vont un jour apprendre suffisamment sur le fonctionnement de la nature pour pouvoir le contrôler.	3,75	23,75	17,50	31,25	23,75	3,47	1,20	4	-0,27
Crise écologique						4,11	0,80	3,33	-0,62
D.5 Les êtres humains sont en train de sérieusement malmenager l'environnement.	5,00	3,75	1,25	28,75	61,25	4,37	1,04	5	-0,05
D.10 La prétendue « crise écologique » qui guette le genre humain a été largement exagérée.	1,25	26,25	5,00	16,25	51,25	3,90	1,31	5	-0,65
D.15 Si les choses continuent au rythme actuel nous allons bientôt vivre une catastrophe écologique majeure.	5,00	5,00	7,50	43,75	38,75	4,06	1,05	4	-1,41

4.4. Estimation économétrique du comportement de choix

L'analyse statistique du comportement de choix est dépendante du modèle statistique qui est sélectionné. Aussi, il est d'usage d'estimer plusieurs modèles statistiques en faisant varier les hypothèses susceptibles de conditionner les résultats. Cette approche permet de se garantir d'une certaine robustesse des résultats.

La première étape consiste à sélectionner l'ensemble des variables explicatives potentiellement pertinentes. Plusieurs sous-ensembles de variables seront utilisés en fonction des tests de significativité. La deuxième étape consiste à sélectionner une classe de modèles statistiques au sein de laquelle plusieurs modèles seront estimés.

Dans cette partie nous présentons la méthode d'estimation des consentements-à-payer (CAP) individuels à partir des choix des répondants déclarés d'après les 8 cartes de choix proposées dans le questionnaire. Parmi les modèles de choix discrets, nous avons choisi d'utiliser le modèle logit multinomial standard (à coefficients non aléatoires) et le modèle logit multinomial à coefficients aléatoires.

L'encart de cette section présente les fondements théoriques pour la modélisation statistique du choix effectué par l'individu d'après les cartes de choix qui lui sont présentées.

**FONDEMENTS THÉORIQUES POUR LA MODÉLISATION STATISTIQUE DU CHOIX
EFFECTUÉ PAR L'INDIVIDU D'APRÈS LES CARTES DE CHOIX (1)**

d'après (GREENE 2012)

Dans la MCD, un ensemble de cartes de choix sont séquentiellement présentées à chaque individu participant à l'expérience. Sur chaque carte figurent plusieurs programmes dont un seul sera sélectionné par l'individu. Le programme *Statu quo* est commun à toutes les cartes de choix. Il est la combinaison des attributs à leur niveau de statu quo. Puisque un même individu effectue plusieurs choix, les données récoltées ont une structure de panel.

Supposons que les programmes proposés soient au nombre de J (programme "Statu quo" inclus). Suivant la théorie usuelle du consommateur, nous supposons que chaque programme $j = 1, \dots, J$ procure à chaque individu $i = 1, \dots, N$ une satisfaction qui lui est propre et que nous représentons par un niveau d'utilité noté U_{ij} .

Si nous observons que le programme j est choisi par l'individu i , nous pouvons en déduire, sous les hypothèses définies par la théorie économique standard du consommateur de maximisation de l'utilité, que :

$$\forall k \neq j, \quad U_{ij} > U_{ik}$$

Cependant, on observe assez couramment que :

- face à une même tâche de choix, un individu peut ne pas répéter le même choix,
- des individus ayant les mêmes caractéristiques et face aux mêmes programmes de choix peuvent faire des choix différents.

Une solution initiée par les travaux de MCFADDEN (1975), consiste à supposer que l'utilité retirée par un individu d'un choix particulier est composée d'une partie déterministe et d'une partie aléatoire.

**FONDEMENTS THÉORIQUES POUR LA MODÉLISATION STATISTIQUE DU CHOIX
EFFECTUÉ PAR L'INDIVIDU D'APRÈS LES CARTES DE CHOIX (2)**

Soit X_{ij} un vecteur de K variables permettant de caractériser l'utilité U_{ij} . Le double indice ij du vecteur X nous rappelle que chacune de ses composantes peut dépendre des caractéristiques de l'individu i , de celle du choix j ou des deux simultanément.

Le modèle d'utilité aléatoire linéaire suppose que :

$$U_{ij} = X_{ij}\beta + e_{ij}$$

où β est un vecteur de K coefficients et e_{ij} un terme d'erreur aléatoire.

Soit une variable aléatoire discrète Y_i qui représente le choix de l'individu i . Elle peut donc rendre les valeurs $\{1, \dots, J\}$. Nous pouvons déduire du raisonnement économique précédent que la probabilité que l'individu i choisisse le programme j est égale à la probabilité jointe que $U_{ij} > U_{ik}$ pour toute valeur de k différente de j :

$$P(Y_i = j) = P_{ij} = P(\forall k \neq j, U_{ij} > U_{ik})$$

Le choix d'une distribution de probabilités pour le terme d'erreur est nécessaire afin de pouvoir estimer les paramètres du modèle par la méthode du maximum de vraisemblance.

Si l'on fait l'hypothèse que les termes d'erreurs e_{ij} sont indépendamment et identiquement distribués (IID), hypothèse qui est équivalente à l'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes (IIA) et que les termes d'erreurs e_{ij} suivent une distribution de Gumbel, dont la fonction de répartition est : $F(e_{ij}) = \exp(-\exp(-e_{ij}))$.

Alors on obtient le modèle logit multinomial (modèle MLM) avec X_{ij} les variables explicatives et β les paramètres à estimer :

$$P_{ij} = \frac{e^{X_{ij}\beta}}{\sum_j e^{X_{ij}\beta}}$$

L'estimateur usuel des paramètres β se fonde sur le principe du maximum de vraisemblance qui consiste à déterminer la valeur des paramètres qui maximise la probabilité d'observer la réalisation de l'échantillon aléatoire issue de la MCD.

**FONDEMENTS THÉORIQUES POUR LA MODÉLISATION STATISTIQUE DU CHOIX
EFFECTUÉ PAR L'INDIVIDU D'APRÈS LES CARTES DE CHOIX (3)**

Soit Y_{ij} une variable indicatrice qui prend la valeur 1 si $Y_i = j$ c'est-à-dire si l'individu i a effectué le choix j et 0 sinon.

Alors la probabilité du choix effectué par l'individu i , peut s'écrire :

$$P_i = \prod_j P_{ij}^{y_{ij}}$$

La probabilité jointe associée à l'échantillon des choix des N individus, la fonction de vraisemblance lorsque elle est considérée comme une fonction des paramètres β , est donc :

$$L(\beta; Y) = \prod_i \prod_j P_{ij}^{y_{ij}}$$

L'estimateur du maximum de vraisemblance est donc le vecteur $\hat{\beta}$ qui maximise cette fonction. Il doit être déterminé en utilisant une procédure d'optimisation numérique de la fonction de vraisemblance.

Le modèle logit multinomial possède plusieurs restrictions théoriques.

- L'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes (independence from irrelevant alternatives (IIA)) qui implique que le rapport des probabilités de choix entre deux alternatives est indépendant de la présence ou non d'autres alternatives.
- L'hypothèse d'homogénéité des préférences d'individus qui possèdent les mêmes caractéristiques observables.

Ces hypothèses peuvent être relaxées de plusieurs manières. Parmi celles-ci, le modèle Logit Multinomial à paramètres aléatoires (également nommée Logit mixte) tend à s'imposer ces dernières années.

Contrairement au modèle logit multinomial standard, le modèle logit mixte :

- prend en compte l'hétérogénéité dans les préférences, c'est à dire le fait que 2 individus ayant les mêmes caractéristiques individuelles ne feront pas forcément les mêmes choix.
- ne nécessite pas que l'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes (communément appelée IIA) soit respectée, c'est à dire que le ratio des probabilités de choix entre deux alternatives peut être dépendant des caractéristiques des autres choix.

**FONDEMENTS THÉORIQUES POUR LA MODÉLISATION STATISTIQUE DU CHOIX
EFFECTUÉ PAR L'INDIVIDU D'APRÈS LES CARTES DE CHOIX (4)**

Un Logit mixte suppose que tout ou une partie des paramètres du modèle sont aléatoires. Si nous reprenons l'expression des probabilités individuelle de choix :

$$P_{ij} = \frac{e^{X_{ij}\beta}}{\sum_j e^{X_{ij}\beta}}$$

En supposant que les paramètres β sont aléatoires, ces probabilités deviennent conditionnelles à leurs réalisations :

$$P_{ij}|\beta_i = \frac{e^{X_{ij}\beta_i}}{\sum_j e^{X_{ij}\beta_i}}$$

Pour obtenir l'expression des probabilités de choix inconditionnelles, nous devons compléter la distribution conditionnelle par la distribution marginale des coefficients. Soit $f(\beta; \mu)$ la distribution marginale des paramètres β dépendantes des paramètres μ . Alors la distribution jointe des probabilités de choix et des paramètres β s'écrit :

$$(P_{ij}|\beta_i)f(\beta; \mu)$$

En intégrant sur les paramètres β nous obtenons les probabilités de choix non conditionnelles :

$$P_{ij} = \int_{\beta} (P_{ij}|\beta_i)f(\beta; \mu)d\beta$$

Ce problème d'intégration de dimension égale à la dimension du vecteur β peut se résoudre par intégration numérique.

Une autre solution repose sur l'observation que les P_{ij} peuvent s'interpréter comme des espérances conditionnelles au regard de la distribution de probabilité des paramètres β .

En conséquence, il est possible de remplacer le problème d'intégration numérique par un problème de simulation ce qui transforme l'estimateur du maximum de vraisemblance des paramètres β en un estimateur du maximum de vraisemblance simulé.

**FONDEMENTS THÉORIQUES POUR LA MODÉLISATION STATISTIQUE DU CHOIX
EFFECTUÉ PAR L'INDIVIDU D'APRÈS LES CARTES DE CHOIX (5)**

Supposons que la distribution de probabilités jointe des paramètres β ait été sélectionnée. Alors conditionnellement à des valeurs des paramètres, nous pouvons mettre en œuvre la procédure suivante :

1. Générer R vecteurs pseudo aléatoires β^r suivant la loi $f(\beta; \mu)$,
2. Calculer pour $r = 1, \dots, R$, les probabilités :

$$P_{ij}^r = \frac{e^{X_{ij}\beta_i^r}}{\sum_j e^{X_{ij}\beta_i^r}}$$

3. Calculer la probabilité moyenne : $\bar{P}_{ij} = R^{-1} \sum_{r=1}^R P_{ij}^r$
4. Utiliser dans le calcul de la fonction de vraisemblance les \bar{P}_{ij} en remplacement des P_{ij} .

Si le modèle Logit mixte permet d'outrepasser certaines restrictions du modèle Logit multinomial usuel, il en partage certaines restrictions. Notamment, il ne permet pas d'identifier les coefficients associés aux variables explicatives strictement individuelles. Il est donc nécessaire que les coefficients de ces variables soient spécifiques aux alternatives en prenant une alternative en référence (le Status quo usuellement)

Par ailleurs, le modèle Logit mixte introduit de nouvelles difficultés spécifiques à son utilisation dans la modélisation des DCE. En effet, dans ce type d'expérience, un des principaux objectifs est l'évaluation du consentement à payer pour chaque attribut de chacun des programmes qui constituent les choix individuels possibles hors le "Status quo" dont le coût est nul par définition.

Si nous notons β^a le coefficient associé à un l'attribut particulier a et β^c le coefficient associé à la variable coût présente dans chaque programme constituant un choix possible, alors le consentement à payer pour la présence de l'attribut a dans un programme est :

$$CAP(a) = -\frac{\beta^a}{\beta^c}$$

Dans le cas d'un modèle Logit mixte, les coefficients étant aléatoires, le consentement à payer est une variable aléatoire qui est une fonction non linéaire de deux variables aléatoires. Lorsque les coefficients sont supposés distribués suivant une loi Normale, la distribution du consentement à payer ne possède pas de moments théoriques. Une solution usuelle consiste à supposer que le coefficients du coût n'est pas aléatoire.

4.4.1. Variables considérées et spécification des modèles

L'échantillon issu de l'enquête est constitué de 80 individus. Chaque individu a effectué 8 choix successifs correspondants aux 8 cartes lui ayant été présentées. L'échantillon a une structure de panel. En conséquence nous disposons de $8 \times 80 = 640$ observations. Cette taille d'échantillon peut être considérée comme faible pour un panel, mais elle est néanmoins suffisante pour estimer les paramètres des modèles d'utilité aléatoire.

Lors de la construction des modèles, la première réflexion porte sur les variables à incorporer.

Les variables explicatives potentielles de ce choix sont classées en deux catégories :

- les variables explicatives spécifiques aux alternatives
- les variables explicatives correspondant aux caractéristiques des individus

Les variables explicatives spécifiques aux alternatives sont nécessairement incluses dans le modèle. Elles correspondent aux niveaux d'attributs des programmes soumis aux choix des individus et sont dans notre cas au nombre de 8 (en excluant le choix du programme *Statu Quo*). Parmi les caractéristiques individuelles, nous avons sélectionné 4 variables susceptibles d'expliquer le choix de l'individu que nous avons intégrées dans les modèles testés. Nous avons également testé des effets croisés pour des variables individuelles qui nous ont semblé dépendantes : ainsi l'interaction *Information supp.*Connaissance a priori* est intégrée dans certains modèles afin d'identifier si l'effet de l'information supplémentaire est dépendante de la connaissance *a priori* des individus. L'ensemble des variables que nous avons testées avec les modèles logit multinomiaux est listé dans le tableau 4.10.

La deuxième réflexion à mener lors de la construction des modèles logit multinomiaux porte sur les hypothèses concernant les coefficients. En effet, les coefficients associés aux variables spécifiques aux alternatives peuvent être supposés déterministes ou aléatoires (à l'exception du coefficient de la variable coût qui est toujours déterministe). Lorsque tous les coefficients sont déterministes, nous ob-

Table 4.10. – Variables incluses dans les modèles de choix discret

Type de variable	Nom de la variable	Description de la variable
Dépendante	Choix	Choix de l'option j (combinaison de niveaux d'attributs) parmi A, B, C (statu quo) (8 cartes * 80 individus = 640 observations)
Explicatives spécifiques aux alternatives	Habitat	Niveau <i>protection de l'habitat</i> (espèces fixées) de l'attribut <i>qualité des habitats coralligènes et de leurs habitants</i>
	Espèces	Niveau <i>protection des espèces mobiles</i> de l'attribut <i>qualité des habitats coralligènes et de leurs habitants</i>
	Habitat+Espèces	Niveau <i>protection de l'habitat (espèces fixées) et des espèces mobiles</i> de l'attribut <i>qualité des habitats coralligènes et de leurs habitants</i>
	Plongée	Niveau <i>favoriser l'activité de plongée</i> de l'attribut <i>usages</i>
	Pêche	Niveau <i>favoriser l'activité de pêche</i> de l'attribut <i>usages</i>
	Plongée+Pêche	Niveau <i>favoriser les activités de plongée et de pêche</i> de l'attribut <i>usages</i>
	Découverte	Niveau <i>Augmenter la recherche</i> de l'attribut <i>potentiel de découverte</i>
	Coût programme	Niveaux de l'attribut <i>Coût</i>
Explicatives spécifiques aux individus	Revenu	Proxi du revenu mensuel net de l'individu (revenu central de la tranche de revenu déclarée.)
	Sexe	Sexe déclaré par l'individu
	Information supp.	Indique si l'individu a reçu le dépliant d'information sur les habitats coralligènes
	Connaissance a priori	Note_globale obtenue au quizz sur les habitats coralligènes par l'individu.

tenons un modèle multinomial standard. Lorsque ces coefficients sont supposés aléatoires, il faut spécifier la distribution de probabilité paramétrique correspondante et imposer ou non l'indépendance des coefficients.

Considérer que l'effet des variables individuelles est différent selon les choix effectués se traduit par l'estimation de deux coefficients par variable individuelle : un coefficient correspondant au choix de l'option A et un coefficient correspondant aux choix de l'option B (le programme *Statu Quo* sert de référence).

Au total nous avons estimé 9 modèles en testant diverses possibilités : choix des variables individuelles, coefficients aléatoires ou non, hypothèse d'indépendance des coefficients maintenue ou relaxée. Le tableau 4.11 précise les éléments pris en compte dans la construction des 9 modèles testés. Dans les cas où les coefficients ont été supposés aléatoires, nous avons supposé que leur distribution de probabilités suivait une loi Normale. Ce choix implique que pour chaque variable, deux paramètres seront estimés : l'espérance et l'écart-type.

Le fait de tester différents modèles permet d'analyser la robustesse des résultats à la spécification statistique retenue. En effet, lorsque plusieurs modèles tendent vers le même résultat, on peut considérer ce résultat plus robuste qu'un résultat soutenu par un seul des modèles. Les modèles logit mixtes (à coefficients aléatoires) permettent de rendre compte de l'hétérogénéité individuelle non observable (le fait que 2 individus ayant les mêmes caractéristiques individuelles observables ne feront pas forcément les mêmes choix). Ils sont donc a priori préférables aux modèles à coefficients non aléatoires. Toutefois il faut faire un compromis entre l'efficacité du modèle et le nombre de paramètres estimés. En effet le nombre de paramètres augmente lorsque l'hypothèse d'indépendance des coefficients est relaxée car nous devons estimer l'ensemble des paramètres de la matrice de covariance. Par exemple, pour 7 coefficients cela implique l'estimation de 28 paramètres supplémentaires.

Table 4.11. – Comparaison des spécifications des modèles testés

Modèles	Variables individuelles intégrées dans le modèle					Hypothèses faites sur les coefficients		
	<i>Revenu</i>	<i>Sexe</i>	<i>Info supp.</i>	<i>Connaissance a priori</i>	<i>Info supp. *</i> <i>Connaissance a priori</i>	<i>Stochasticité</i>	<i>Distribution de probabilité paramétrique</i>	<i>Hypothèse d'indépen- dance</i>
Modèle 1	x	x	x	x		Aléatoires	loi normale	x
Modèle 2	x	x	x	x	x	Aléatoires	loi normale	x
Modèle 3			x	x	x	aléatoires	loi normale	x
Modèle 4	x	x	x	x		aléatoires	loi normale	relaxée
Modèle 5	x	x	x	x	x	aléatoires	loi normale	relaxée
Modèle 6			x	x	x	aléatoires	loi normale	relaxée
Modèle 7	x	x	x	x		déterministes	-	-
Modèle 8	x	x	x	x	x	déterministes	-	-
Modèle 9			x	x	x	déterministes	-	-

4.4.2. Résultats des estimations économétriques pour expliquer les choix

Les résultats d'estimation des 9 modèles sont présentés dans les tableaux 4.17, 4.18, et 4.19.

Le coefficient de la variable *coût* mérite une attention particulière avant de s'intéresser aux autres coefficients car il permet de s'assurer que notre échantillon d'individus s'inscrit dans la théorie économique qui stipule que si le prix d'un bien augmente alors la demande qui s'adresse à ce bien diminue ; autrement dit les individus sont contraints dans leurs choix par leur budget. Pour chacun des 9 modèles testés, le coefficient de la variable *coût* est significatif et son signe est négatif. Cela confirme que les individus de l'échantillon ont des comportements compatibles avec la théorie économique, et nous pouvons donc utiliser leurs CAP pour évaluer leur surplus de bien être apporté par les alternatives au programme *Statu Quo* proposées.

Parmi les coefficients des alternatives proposés dans les programmes, on observe que tous ceux qui concernent l'attribut *qualité du coralligène* sont significativement différents de zéro et positifs (au seuil de 5%) dans l'ensemble des modèles. Le CAP global de l'échantillon pour des mesures de protection de l'habitat et des espèces du coralligène est positif.

De même l'ensemble des modèles indiquent que le CAP à payer pour *augmenter la recherche* sur les espèces coralligène est positif.

En revanche le coefficient associé à l'usage *pêche* est non significatif dans l'ensemble des modèles ce qui indique que le consentement de l'échantillon à payer pour des mesures favorisant la pêche n'est pas significatif ou nul.

Parmi les variables individuelles, on observe la non significativité des variables *sexe* et *revenu* : c'est-à-dire que la probabilité du choix d'un programme différent du programme *Statu Quo* est indépendante du sexe et du revenu déclaré par l'individu.

Figure 4.17. – Modèles aléatoires 1, 2 et 3

	<i>Variable expliquée : Choix individuel d'un programme</i>		
	Hypothèse d'indépendance des coefficients		
	(1)	(2)	(3)
Habitat	2.133*** (0.436)	1.775*** (0.433)	1.705*** (0.435)
Espèces	1.596*** (0.434)	1.120** (0.439)	0.907** (0.433)
Habitat+Espèces	2.682*** (0.429)	2.089*** (0.400)	1.841*** (0.366)
Plongée	0.862*** (0.292)	0.567* (0.290)	0.455 (0.278)
Pêche	0.138 (0.306)	-0.227 (0.315)	-0.394 (0.299)
Plongée+Pêche	0.557** (0.249)	0.384 (0.252)	0.352 (0.238)
Découverte	1.333*** (0.208)	1.301*** (0.206)	1.356*** (0.206)
Coût Programme	-0.010*** (0.002)	-0.009*** (0.002)	-0.009*** (0.002)
Revenu (A)	-0.094 (0.075)	-0.130* (0.075)	
Revenu (B)	0.034 (0.078)	0.001 (0.077)	
Sexe (A)	0.607 (0.403)	0.409 (0.391)	
Sexe (B)	0.334 (0.413)	0.263 (0.404)	
Information supp. (A)	0.068 (0.427)	2.212*** (0.703)	2.180*** (0.658)
Information supp. (B)	0.077 (0.441)	1.193* (0.689)	1.304** (0.649)
Connaissance a priori (A)	0.125 (0.095)	0.454*** (0.154)	0.431*** (0.145)
Connaissance a priori (B)	0.059 (0.094)	0.240* (0.141)	0.250* (0.133)
Information supp. X Connaissance a priori (A)		-0.675*** (0.194)	-0.676*** (0.190)
Information supp. X Connaissance a priori (B)		-0.371** (0.187)	-0.385** (0.187)
Ec. Type : Habitat	-0.208 (1.639)	-0.177 (1.654)	0.051 (3.016)
Ec. Type : Espèces	0.530 (0.721)	-0.067 (2.899)	0.485 (0.635)
Ec. Type : Habitat+Espèces	1.163*** (0.412)	-1.070*** (0.405)	1.009** (0.406)
Ec. Type : Plongée	1.434*** (0.406)	1.222*** (0.398)	1.193*** (0.401)
Ec. Type : Pêche	0.651 (0.525)	0.648 (0.522)	0.702 (0.507)
Ec. Type : Plongée+Pêche	0.759 (0.501)	0.787 (0.482)	-0.730 (0.475)
Ec. Type : Découverte	0.874*** (0.249)	0.791*** (0.246)	0.833*** (0.245)
Observations	640	640	640
Log Likelihood	-461.659	-453.499	-455.915

Note :

*p-value<0.1 ; **p-value<0.05 ; ***p-value<0.01

Figure 4.18. – Modèles aléatoires 4, 5 et 6

	<i>Variable expliquée : Choix individuel d'un programme</i>		
	Hypothèse d'indépendance des coefficients relaxée		
	(4)	(5)	(6)
Habitat	4.637*** (1.299)	3.937*** (1.180)	3.906*** (1.165)
Espèces	3.751*** (1.288)	2.995** (1.175)	2.820** (1.152)
Habitat+Espèces	3.207*** (0.554)	2.761*** (0.598)	2.363*** (0.510)
Plongée	0.628 (0.614)	0.477 (0.583)	0.309 (0.548)
Pêche	0.238 (0.420)	-0.046 (0.428)	-0.304 (0.384)
Plongée+Pêche	0.689** (0.311)	0.601* (0.314)	0.497* (0.294)
Découverte	1.684*** (0.274)	1.626*** (0.267)	1.642*** (0.268)
Coût Programme	-0.013*** (0.002)	-0.013*** (0.002)	-0.011*** (0.002)
Revenu (A)	-0.044 (0.112)	-0.109 (0.109)	
Revenu (B)	0.106 (0.110)	0.039 (0.112)	
Sexe (A)	0.338 (0.492)	0.145 (0.498)	
Sexe (B)	0.177 (0.500)	0.036 (0.504)	
Information supp. (A)	0.337 (0.593)	2.508*** (0.874)	2.441*** (0.760)
Information supp. (B)	0.330 (0.602)	1.860** (0.902)	1.899** (0.791)
Connaissance a priori (A)	0.118 (0.118)	0.477** (0.199)	0.449** (0.177)
Connaissance a priori (B)	0.109 (0.116)	0.366* (0.193)	0.362** (0.171)
Information supp. X Connaissance a priori (A)		-0.742*** (0.242)	-0.735*** (0.230)
Information supp. X Connaissance a priori (B)		-0.548** (0.245)	-0.542** (0.235)
Ec. Type : Habitat	3.236*** (1.108)	2.773*** (0.978)	2.840*** (0.944)
Ec. Type : Espèces	1.221*** (0.386)	1.134*** (0.384)	1.085*** (0.396)
Ec. Type : Habitat+Espèces	0.356 (0.426)	-0.432 (0.521)	-0.361 (0.472)
Ec. Type : Plongée	0.429 (1.914)	0.587 (1.059)	0.620 (0.955)
Ec. Type : Pêche	-0.098 (0.858)	-0.067 (3.628)	-0.063 (3.723)
Ec. Type : Plongée+Pêche	0.243 (3.037)	0.381 (1.131)	0.434 (0.982)
Ec. Type : Découverte	0.084 (2.647)	0.105 (2.195)	0.006 (2.330)
Observations	640	640	640
Log Likelihood	-421.718	-417.611	-419.736

216
Note :

*p-value<0.1 ; **p-value<0.05 ; ***p-value<0.01

Figure 4.19. – Modèles NON aléatoires 7, 8 et 9

	<i>Variable expliquée : Choix individuel d'un programme</i>		
	(7)	(8)	(9)
Habitat	1.679*** (0.298)	1.380*** (0.309)	1.325*** (0.303)
Espèces	1.436*** (0.332)	0.946*** (0.356)	0.818** (0.341)
Habitat+Espèces	1.981*** (0.279)	1.526*** (0.303)	1.359*** (0.280)
Plongée	0.734*** (0.235)	0.475** (0.240)	0.393* (0.232)
Pêche	0.182 (0.223)	-0.158 (0.245)	-0.273 (0.232)
Plongée+Pêche	0.513*** (0.180)	0.392** (0.183)	0.350* (0.180)
Découverte	0.877*** (0.120)	0.932*** (0.123)	0.953*** (0.121)
Coût Programme	-0.008*** (0.001)	-0.007*** (0.001)	-0.007*** (0.001)
Revenu (A)	-0.070 (0.061)	-0.090 (0.061)	
Revenu (B)	0.011 (0.063)	-0.013 (0.062)	
Sexe (A)	0.486 (0.311)	0.347 (0.322)	
Sexe (B)	0.393 (0.335)	0.295 (0.341)	
Information supp. (A)	0.133 (0.278)	1.996*** (0.539)	1.995*** (0.523)
Information supp. (B)	0.183 (0.301)	1.317** (0.550)	1.395*** (0.521)
Connaissance a priori (A)	0.104 (0.066)	0.403*** (0.106)	0.392*** (0.103)
Connaissance a priori (B)	0.078 (0.068)	0.258** (0.103)	0.265*** (0.095)
Information supp. X Connaissance a priori (A)		-0.600*** (0.143)	-0.609*** (0.140)
Information supp. X Connaissance a priori (B)		-0.385*** (0.145)	-0.401*** (0.139)
Observations	640	640	640
Log Likelihood	-473.554	-463.753	-465.838

Note :

*p-value<0.1 ; **p-value<0.05 ; ***p-value<0.01

Les coefficients estimés pour les variables concernant la connaissance du coralligène, *a priori* ou acquise pendant l'enquête *via* le dépliant distribué, nous permettent d'évaluer les effets de l'apport d'information à un groupe d'individus dont les connaissances *a priori* sont hétérogènes, certains individus étant mieux informé que d'autres. Sur les neuf modèles testés, trois modèles (modèle, 1, 4 et 7) incluent les variables *info supp.* et *connaiss. a priori* sans leur effet croisé, tandis que les six autres (modèles 2, 3, 5, 6, 8 et 9) incluent leur effet croisé. Les modèles qui n'incluent pas l'effet croisé *info. supp. * connaiss. a priori* présentent des coefficients non significatifs pour les variables *info. supp.* et *connaiss. a priori*.

Par ailleurs, dans les six modèles où l'interaction *info. supp. * connaiss. a priori* a été testée, non seulement celle-ci a un effet significatif sur le CAP, mais encore les effets des variables *info. supp.* et *connaiss. a priori* sont aussi significatifs.

Dans les six modèles où les effets de la connaissance sont significatifs sur le CAP, les effets des variables *info. supp.* et *connaiss. a priori* sont positifs alors que leur effet croisé *info. supp. * connaiss. a priori* est négatif.

Afin d'étudier l'interaction *info. supp. * connaiss. a priori*, quatre groupes ont été construits a posteriori de l'enquête selon deux critères. Le premier critère est la note, divisant les répondants en deux groupes d'après le seuil 4/10, 4 étant la note médiane. Le seuil de note a été choisi pour favoriser une équirépartition des individus dans les groupes. Le deuxième critère est l'information supplémentaire : dépliant reçu ou non. Pour chaque groupe les justifications de choix de statu quo et l'importance accordées aux attributs déclarées sont présentées. Les niveaux d'importance indiqués sont les réponses majoritaires.

La figure 4.20 détaille des réponses spécifiques à chacun de ces 4 groupes d'individus.

Figure 4.20. – Mise en relation des CAP nuls et de la variable d'interaction *connaiss a priori * info. supp*

	[info+ , note+]	[info+ , note-]	[info- , note+]	[info- , note-]
Note	4 < note < 7	1 < note < 3,9	4 < note < 7	1 < note < 3,9
Dépliant	Oui	Oui	Non	Non
Nombre de répondants	19	28	10	23
Nombre de répondants ayant choisi au moins une fois le statu quo	7	9	1	6
Explications de type non protestataire fournies par les répondants pour justifier le choix du statu quo (nombre de répondants concernés)	- les alternatives sont trop chères (4) - les alternatives ne proposent pas de recherche (1) - les alternatives n'étaient pas assez bien : je veux les 3 caractéristiques au niveau le plus fort (1)	- les alternatives sont trop chères (4) - les alternatives ne proposent pas de recherche (1) - les alternatives favorisent la pêche que je considère comme une menace (2).	- les alternatives sont trop chères (1)	- les alternatives sont trop chères (3) - la situation actuelle me convient (1) - je ne connais pas assez le sujet pour payer autant (1)
Explications de type protestataire fournies par les répondants pour justifier le choix du statu quo (nombre de répondants concernés)	- ce n'est pas à moi de payer (1)	- ce n'est pas à moi de payer (1) - les alternatives ne sont pas réalistes (1)		- les alternatives ne sont pas réalistes (2) - les alternatives ne sont pas assez chères pour être crédibles (1)
Importance de l'attribut "qualité du coralligène"	fort	fort	faible	moyen/faible
Importance de l'attribut "usages"	faible	moyen/faible	fort	faible
Importance de l'attribut "potentiel de découverte"	fort	moyen	moyen	moyen
Importance de l'attribut "coût"	fort/moyen	fort/moyen	fort	fort/moyen/faible

4.4.3. Evaluation des consentements-à-payer (CAP)

L'analyse s'achève sur l'évaluation des CAP moyens pour chaque niveau d'attribut d'après les 9 modèles testés. Le tableau 4.21 présente ces résultats. Ces CAP sont annuels et ne peuvent pas être sommés puisque leur interprétation est marginale. Le CAP indiqué pour un attribut représente ce que les individus (de l'échantillon) sont prêts à payer en moyenne, toutes choses égales par ailleurs, et donc à la condition qu'il ne paye pas pour une autre mesure simultanément. Nous avons donc interprété les CAP les uns par rapport aux autres et ordonné les niveaux d'attributs suivant ce critère. Quel que soit le modèle les CAP ordonnent les attributs dans un ordre relativement similaire. Les CAP les plus élevés sont associés aux mesures de protection de l'habitat et des espèces coralligènes avec une préférence pour l'habitat par rapport aux espèces mobiles. Les CAP les plus élevés ensuite sont pour le potentiel de découverte. Les CAP pour les usages sont les plus faibles et le CAP pour la pêche est non significatif. Le CAP le plus élevé est obtenu pour la variable *Habitat* dans le modèle (4) et correspond à 348 € par an, soit 29 € par mois.

Figure 4.21. – Consentements-à-payer moyens pour les attributs des 9 modèles

	Habitat	Espèces	Habitat+Espèces	Plongée	Pêche	Plongée+Pêche	Découverte
Mod. (1)	207.97	155.66	261.54	84.06	(13.46)	54.31	130.02
Mod. (2)	190.01	119.90	223.67	60.68	(-24.25)	(41.13)	139.34
Mod. (3)	190.81	101.53	206.04	(50.96)	(-44.07)	(39.40)	151.74
Mod. (4)	348.80	282.15	241.22	(47.20)	(17.86)	51.84	126.68
Mod. (5)	310.75	236.43	217.96	(37.62)	(-3.61)	47.40	128.32
Mod. (6)	346.14	249.90	209.42	(27.40)	(-26.92)	44.02	145.49
Mod. (7)	220.00	188.18	259.61	96.16	(23.88)	67.27	114.92
Mod. (8)	192.14	131.78	212.46	66.19	(-22.03)	54.55	129.78
Mod. (9)	193.93	119.70	198.91	57.58	(-40.03)	51.23	139.50

Note :

Entre () les CAP correspondants à des coefficients non significatifs au seuil de 5%

4.5. Discussion

SCHAAFSMA et al. (2015) ont recensé 233 travaux d'évaluations économiques d'habitats marins menés dans la période 2000-2014 et ont mis en évidence un manque d'études en la matière en particulier pour certains écosystèmes. La majorité des travaux recensés portent sur des plages et des récifs coralliens et sont focalisés sur les services liés au tourisme.

La méthode des choix discrets (MCD) est de plus en plus utilisée depuis une quinzaine d'années, et les procédures d'estimation associées ont été approfondies en parallèles. Le modèle multinomial logit à coefficients aléatoires utilisé dans ce chapitre est l'une des procédures d'estimation les plus récentes et permet de prendre en compte l'hétérogénéité non observable des répondants. D'autres méthodes, telle que la méthode des fonctions productives auraient pu être mobilisées afin d'estimer certains services en particulier la pêche, mais nous y avons renoncé faute de données accessibles aux échelles concernées.

Ainsi, le travail présenté dans ce chapitre a mobilisé les outils théoriques et empiriques les plus récents pour procéder à une évaluation économique de services écosystémiques d'un écosystème qui n'en avait jamais fait l'objet avant : le coralligène.

Cet habitat marin a la particularité d'être méconnu du grand public, ce qui présente un défi pour l'évaluation par enquête. Il y a actuellement peu de travaux appliquant la MCD à un bien environnemental si méconnu. Les seuls à notre connaissance portent sur les coraux profonds d'eaux froides : IVCEVIC (2016) en a recensés quatre dans la période 2000-2015 (WATTAGE et al. 2011 ; GLENN et al. 2010 ; LARIVIERE et al. 2014). Nous nous sommes inspirés de ces travaux qui portaient la relation entre les connaissances des répondants sur le bien à évaluer et leur CAP. L'originalité de notre travail est d'avoir testé l'effet sur le consentement-à-payer de l'interaction entre le niveau de connaissance initial du répondant et l'apport d'information sur le bien à évaluer.

Concernant la familiarité du grand public avec les habitats coralligènes, nos résultats sont concordant avec ceux d'une autre étude menée au même moment :

31% des 80 répondants de notre étude ont déclaré avoir déjà entendu parler du coralligène, tandis que S. TONIN (2017) a observé que 28% de 4000 répondants qui avaient entendu parler du tegnue (terme local désignant un coralligène particulier de la région de Venise, Italie). Ces résultats confirment que le coralligène est relativement méconnu. Mais nos résultats, issue d'une étude incluant un test de connaissance, suggèrent qu'une large proportion des répondants ayant déclaré connaître le coralligène n'en ont pas une représentation correcte et que globalement les connaissances des répondants sur le coralligène sont plutôt faibles. Les résultats doivent être interprétés avec prudence car lors du débriefing plusieurs répondants ont affirmé avoir répondu au hasard lorsqu'ils ne connaissaient pas la réponse à une question, ainsi ils peuvent avoir eu des réponses correctes par chance. Les résultats du test de connaissance montrent que le coralligène est fortement et faussement identifié aux récifs coralliens, certainement à cause de la consonance avec le mot "corail". Si cette association est trompeuse, il est néanmoins possible d'utiliser l'amalgame à bon escient dans le but d'amener facilement un individu n'ayant jamais entendu parlé du coralligène à se le représenter assez justement. En effet d'après les échanges avec les répondants et avec les experts mobilisés dans les ateliers préparatoires de l'enquête, il est plus facile, pour décrire le coralligène, de partir de cette référence connue que de rien. Il suffit de préciser que les habitats coralligènes se trouvent en Méditerranée en eau tempérée, non pas en milieu tropical, qu'ils se situent plus profond là où la lumière se raréfie, et que les espèces fondatrices ne sont pas des coraux mais des algues rouges calcaires ou corallinacées d'où elles tiennent leur nom. D'après les résultats du test de connaissances, on observe que les algues rouges calcaires ont été souvent correctement associées au coralligène. Cela est surprenant car les algues rouges ne sont pas considérées comme emblématiques et ne font pas l'objet d'un usage direct. Mais ce résultat mérite d'être approfondi et utilisé étant donné que les algues rouges calcaires sont à la base de la définition du coralligène. Parmi les espèces du coralligène emblématiques ou pêchées, les cas de la langouste et du mérrou sont intéressants. Pour une espèce pêchée, la langouste n'est pas aussi bien identifiée au coralligène qu'attendu : un tiers des répondants l'a correctement associée au coralligène. De même il était attendu que le mérrou soit bien identifié comme espèce fréquentant le coralligène, étant considéré comme espèce patrimoniale et médiatisé par les organismes de conservation des aires marines. Or seul un quart des répondants a correctement associé

le mérrou au coralligène. Le barbier, qui est le poisson le plus directement associé au coralligène a été correctement associé au coralligène par environ un quart des répondants également. Indépendamment de l'objectif d'évaluation économique, les résultats du test de connaissance sur le coralligène peuvent servir de référence pour de futurs travaux sur la connaissance de cet habitat marin et sur la sensibilisation du public.

Les CAP observés montrent que les préférences des répondants sont majoritairement en faveur de la protection du coralligène malgré le niveau de connaissance majoritairement faible des répondants. Les CAP révèlent des préférences plus fortes pour la conservation de l'habitat et des espèces que pour les usages présents et futurs. Cela suggère que, pour une population générale (non ciblée sur les utilisateurs), la valeur d'existence du coralligène serait plus forte que sa valeur d'usage. Une des particularités du coralligène est qu'il n'est pas accessible à tous et n'est fréquenté que par une petite part de la population : principalement des pêcheurs et des plongeurs récréatifs et professionnels. Ces profils d'individus sont peu représentés dans la population générale et ont été très peu représentés dans notre échantillon : parmi les 80 répondants, 2 se sont déclarés plongeurs réguliers, et 1 s'est déclaré pêcheur régulier. Il est probable que les CAP de ces catégories d'utilisateurs pour favoriser les activités de pêche et de plongée soient supérieurs à ceux observés dans l'échantillon étudié.

Si la présentation de photographies est un apport d'information important dans l'enquête, il est cependant difficile à mesurer. Le questionnaire comportait quatre photographies, et le dépliant montrait quatre autres photographies de paysages coralligènes variés. D'après l'étude de TRIBOT et al. (2016) sur la valeur esthétique des habitats coralligènes et basée sur 1260 répondants, les photos d'habitats coralligènes préférées sont celles comportant du rouge et du violet avec une abondance de corail rouge et gorgones. Les photos présentées dans le dépliant de notre étude remplissent ces critères et devraient, d'après l'étude de TRIBOT et al. (2016), être considérées comme des photos plutôt valorisantes des habitats coralligènes. Ces photos peuvent être considérées comme de l'information positive au sens de MUNRO et al. (1999), donc influencer positivement les préférences des individus ayant reçu le dépliant pour ces habitats.

Les CAP observés et les remarques des répondants montrent que la pêche a été perçue par nombre d'entre eux comme une menace plutôt que comme une source de bénéfices. Ces derniers devaient avoir formé ce point de vue avant l'enquête puisque les informations données durant l'enquête ne présentaient pas la pêche comme une menace du coralligène. Ces individus ont été perturbés dans leur choix par la pêche qu'ils ont systématiquement refusé de choisir quel que soit le programme proposé. Dans la perspective d'une nouvelle enquête, je recommande d'insister sur l'aspect durable de la pêche proposée dans les scénarios et éventuellement traiter la pêche et la plongée comme des attributs à part entière plutôt qu'en niveau de l'attribut "usages", et avec seulement deux niveaux chacun pour garder un nombre de combinaisons de niveaux d'attributs raisonnable pour le plan d'expérience.

Le fait que parmi les variables individuelles, on observe la non significativité des variables "sexe" et "revenu" est inattendu en particulier pour la variable "revenu" car les individus sont contraints dans leur choix par leur budget.

Le fait que les habitats coralligènes soient, pour la plupart des individus, totalement inconnus, fût à la fois un avantage et un inconvénient. Cela a permis de supposer que l'apport d'information aurait un impact significatif sur les préférences et les CAP déclarés. Mais cela a aussi limité la possibilité de construire un protocole testant plus de deux niveaux d'information. L'impact de l'information observé a été inattendu : le niveau d'information a priori et l'apport d'information traités indépendamment n'ont pas montré d'effet significatif sur les préférences individuelles, en revanche l'introduction dans les modèles d'une variable croisée de ces deux variables a montré que toutes les variables concernant l'information ont un effet significatif sur les préférences individuelles. On a observé que les effets des variables *information supplémentaire* et *connaissance a priori* sont positifs alors que l'effet de leur interaction est négatif sur la probabilité d'avoir un CAP non nul pour les attributs des habitats coralligènes proposés. Ces observations montrent la complexité de la gestion de l'information a priori ou supplémentaire concernant un bien à évaluer : dans le cas de cette étude l'apport d'information via le dépliant a probablement renforcé l'importance que les répondants ont accordé aux attributs dans la réalisation de leurs choix, cependant l'effet sur le CAP n'a pas été forcément positif car en renforçant leurs exigences cet apport d'information supplémentaire peut avoir conduit à un CAP

nul pour des alternatives proposées.

Concernant les attitudes environnementales observées dans l'échantillon : elles sont majoritairement conformes au Nouveau Paradigme Environnemental qui suppose que l'homme moderne du modèle occidental a conscience de sa dépendance et de son impact sur la "Nature". Ce résultat est cohérent avec le fait que les attributs ayant une valeur d'existence soient préférés aux attributs ayant une valeur d'usage. La variable *attitude environnementale* introduite dans des modèles non présentés dans les résultats n'a pas révélé d'effet significatif sur le CAP. Cela s'explique certainement par le fait que la majorité des répondant ont les mêmes attitudes environnementales. Si la théorie du nouveau paradigme environnemental dominant est vérifiée, alors il est probable que même en grand échantillon on n'observe pas d'effet significatif des attitudes environnementales sur les choix des individus. Sur le plan méthodologique, une remarque peut être faite sur l'échelle NEPs : l'affirmation "les humains ont été créés pour gouverner le reste de la nature" mêle une croyance sur la relation homme-environnement à une croyance culturelle d'origine religieuse ce qui brouille l'interprétation. En effet, l'idée que l'homme a été créé, et qu'il est légitime à dominer les autres espèces est un point de vue qui a été véhiculé par des courants religieux dominants. Cette croyance influence évidemment la relation homme-environnement. Mais la non acceptation de cette affirmation peut porter aussi bien sur le fait que "l'homme a été créé", que sur le fait que "l'homme domine les autres espèces". La connotation religieuse est troublante, et particulièrement en France où la laïcité est inscrite dans la Constitution (article premier). Pour toute utilisation future de la NEP en France, nous recommandons d'isoler un effet propre uniquement à la relation homme-nature, indépendamment d'autres croyances qui brouillent l'analyse des choix.

Cette étude était pilote et avait entre autre pour objectif de tester un protocole. Les résultats ne peuvent être interprétés que comme des pistes de réponses, encore à tester sur un plus grand échantillon. Ainsi nous n'avons pas cherché à réaliser un échantillonnage représentatif de la population générale puisque le modèle statistique est un modèle conditionnel, mais nous avons toutefois veillé à recruter des répondants ayant des profils diversifiés et non spécifiques à l'objet d'étude. Les lieux des sessions d'enquête peuvent avoir favorisé le recrutement de per-

sonnes de l'enseignement supérieur (deux sessions à l'université d'Aix-Marseille) et de personnes particulièrement altruistes (deux sessions lors de Don du Sang). Néanmoins la variable session, introduite dans des modèles non présentés dans ce chapitre, n'a pas révélé d'effet significatif sur le CAP.

Un des résultats de cette enquête pilote est que le protocole testé fonctionne et pourrait être reproduit à grande échelle, moyennant quelques améliorations mineures. En effet, l'apport d'information minimum (sans dépliant) a été suffisant pour que les répondants soient en mesure de déclarer leurs préférences sur un écosystème que la plupart d'entre eux ne connaissait pas. Le protocole d'étude de l'impact de l'information initiale et de l'information apportée au moyen d'un test de connaissance et d'un dépliant a été plutôt correctement suivi par les répondants, mis à part des réponses hasardeuses. Notre présence à proximité des répondants pendant l'enquête a permis de s'assurer que les répondants ayant reçu le dépliant prenaient bien le temps de le parcourir. Cependant nous n'avons pas testé ce que les répondants en ont retenu comme information.

4.6. Conclusion

Cette étude pilote montre que le protocole testé est fonctionnel et pertinent pour répondre aux objectifs que nous nous sommes donnés : recueillir les préférences d'individus concernant les caractéristiques et services d'un écosystème méconnu du grand public, mesurer l'effet des connaissances initiales et apportées via l'enquête sur la formation des préférences individuelles, fournir une des premières évaluations économiques portant sur les habitats coralligènes. Les préférences observées sont en faveur de la conservation de l'habitat et des espèces en priorité, puis en faveur du potentiel de découverte, puis de l'activité de plongée. L'activité de pêche en revanche n'a pas reçu de consentement à payer positif et a été plutôt perçue comme une menace pour le coralligène. Ces résultats témoignent d'une valeur d'existence supérieure aux valeurs d'usage d'option et d'usage direct. Ce qui témoigne de bon sens ou de maturité puisque la préservation de l'habitat est la condition pour que les services puissent être rendus. Par ailleurs cela est cohérent avec les attitudes environnementales observées qui sont très majoritairement pro-NEP. Ce qui témoigne d'une conscience écologique

générale. Le protocole d'évaluation de l'impact de l'information a révélé d'une part que les habitats coralligènes sont effectivement méconnus du grand public et qu'il existe souvent un décalage entre ce que l'individu pense savoir et ce qu'il sait réellement sur le coralligène. D'autre part, l'enquête a révélé que l'impact de l'information sur la formation des préférences est complexe. Pour le comprendre, il ne suffit pas d'évaluer le niveau de connaissance initial, ni la quantité d'information fournie, il faut étudier l'interaction des deux c'est à dire l'apport d'information par rapport à ce que l'individu sait déjà. Les résultats de l'enquête montrent que l'impact de cette interaction d'information peut avoir un effet positif ou négatif sur la probabilité d'avoir un CAP positif pour le scénario proposé.

La problématique de l'impact de l'information sur le consentement-à-payer a été abordée depuis la fin des années 1990, dans des travaux tels que MUNRO et al. (1999), MACMILLAN et al. (2006) et ALBERINI et al. (2004). Cependant la présente étude est la seule à ma connaissance à avoir associé la méthode MCD avec un test de connaissance initiale et un apport d'information sur l'écosystème évalué permettant l'étude de l'impact de l'information apportée par rapport au niveau de connaissance initiale sur le CAP. Par ailleurs il s'agit d'un des tous premiers essais d'évaluation économique des habitats coralligènes. Les autres études étant MANGOS et al. (2010) présentant une évaluation plutôt comptable et peu précise, et Stefania TONIN et al. (2017) basée la méthode d'évaluation contingente donc non spécifique aux attributs et qui de plus porte sur un type de coralligène particulier, le tegnùe³, dans la région de Venise (Italie). Enfin, notre étude est aussi la seule à ma connaissance à avoir étudié conjointement les préférences sur des services écosystémiques et les attitudes environnementales liant des approches d'économie de et de sociologie de l'environnement. Ce travail donne des pistes intéressantes à tester en grand échantillon et fournit un protocole fonctionnel pour sa mise en œuvre.

Dans la mesure où l'écosystème traité est peu familier du grand public, il est difficile de savoir si les CAP observés sont spécifiques aux habitats coralligènes ou si les résultats seraient très proches pour d'autres habitats marins méconnus. La réponse à cette question sera difficile à obtenir dans la mesure où il est déli-

3. le tegnùe est un habitat marin rocheux formé de bio-concrétionnements, irrégulièrement distribué dans des fonds sableux ou boueux (CASELLATO et al. 2008)

cat de comparer les CAP observés dans différentes enquêtes puisque les résultats sont en partie conditionnés par le protocole d'enquête et la situation hypothétique présentée. Il faudrait pour cela appliquer exactement le même protocole ou traiter plusieurs habitats au cours d'une même enquête.

Enfin, sachant que le coralligène n'est utilisé directement que par une petite part de la population (pêcheurs et plongeurs), les préférences de cette part de population avec celles du grand public sont probablement différentes et la comparaison mérite d'être étudiée.

5. Discussion générale



Photographie prise par Frédéric Zuberer (Marseille)

Table des matières

5.1	Résumés des résultats	233
5.2	Confrontation des avis experts et des préférences du grand public	236
5.3	Impact de l'information sur la formation des préférences	237
5.4	Apports pour la gestion	238
5.4.1	Pertinence du modèle de la cascade de service écosystémique selon l'objectif d'utilisation	238
5.4.2	Importance et vulnérabilité du coralligène par rapport aux usages humains	240
5.5	Perspectives d'études	241

5.1. Résumés des résultats

L'objectif de cette thèse était d'identifier et d'évaluer les services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes : habitats marins côtiers, points chauds de biodiversité, tout à fait typiques de Méditerranée et pourtant relativement méconnus. Les habitats coralligènes sont de plus en plus étudiés mais il reste beaucoup à en apprendre en particulier concernant leur fonctionnement écologique. Côté grand public, les habitats coralligènes sont très peu connus, et s'ils sont reconnus c'est plutôt sur la base de photos ou de description que d'après leur nom. Le terme *coralligène* d'ailleurs est trompeur car il évoque les récifs coralliens qui ont certes des points communs avec les habitats coralligènes (bio-constructions, structure complexe en 3 dimensions, grande biodiversité) mais aussi des différences majeures (espèces impliquées dans la bio-construction, utilisation de la lumière, localisation, profondeur, température, communautés). Les habitats coralligènes posent donc un double problème *a priori* : le manque de connaissances scientifiques sur leur fonctionnement et le peu de familiarité du grand public rendent difficiles à la fois l'identification des services écosystémiques et leur évaluation économique par des méthodes d'enquête. Cette situation, relativement handicapante et peu commune dans le champ d'étude actuel des services écosystémiques, a cependant pu être exploitée avantageusement dans cette thèse dans le but d'éprouver les méthodes les plus récentes en termes de représentation conceptuelle de services écosystémiques et de leurs évaluation : le modèle conceptuel de service écosystémique en cascade développé par HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010) (chapitre 2) et la méthode des choix discrets (chapitre 4) face à un manque de connaissance du bien environnemental. La problématique de cette thèse était donc à multiples facettes : à la fois écologique et économique, (touchant à la sociologie avec les entretiens d'experts et l'application de la NEP), appliquée mais avec un apport théorique ; à l'image du concept de service écosystémique. Ce travail, bien que très préliminaire par certains aspects, présente un premier essai d'évaluation des services écosystémiques des habitats coralligènes et une avancée dans le domaine d'étude et d'évaluation des services écosystémiques d'écosystèmes méconnus, tels que le sont de nombreux écosystèmes marins. Les méthodes choisies ont beaucoup sollicité l'humain : entretiens, ateliers, enquêtes. Cette entrée par l'humain est cohérente avec l'utilisation du concept de service écosystémique qui est fondamentalement anthropocentré.

Cette thèse a présenté, dans le chapitre 1, un état des connaissances bibliographiques et des connaissances d'experts jusque là non publiées, concernant les services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes. Les cinq services considérés par les experts comme étant les plus importants sont aussi ceux pour lesquels il y a le moins d'incertitude. Ces services sont, par ordre décroissant d'importance d'après les experts : l'approvisionnement en ressources alimentaires, l'accès à des paysages coralligènes en plongée, le potentiel de découverte, l'inspiration et l'approvisionnement en corail rouge. Les services suivants, de types *culturel* ou *régulation*, sont considérés moins importants ou fortement incertains : le piégeage de carbone, la filtration de l'eau, l'accès à des sites de pêche et de chasse sous-marine de loisir, l'approvisionnement en espèces pour aquarium publics, et le rôle de bio-indicateur. Les fonctions écologiques, à l'origine de services n'ont pas été négligées et sont considérées plus importantes que les services. La biodiversité en tant que maintien d'espèces typiques du coralligène a été considéré comme service culturel mais son caractère polysémique a brouillé le classement par les experts.

Le chapitre 2 a présenté une application du concept de service écosystémique en cascade (HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010)) aux services écosystémiques issus des habitats coralligènes, traités en globalité d'abord, puis à l'unité pour les deux services d'approvisionnement (en ressources alimentaires et en corail rouge). L'application du concept de la cascade à un seul service a permis d'augmenter le niveau de détail en représentant mieux la complexité des relations de dépendances entre les entités de la chaîne de production du bien-être humain. A ce degré de détail, il est apparu qu'il serait possiblement plus pratique et correct de considérer les *éléments structurels* et les *fonctions* comme deux types d'entités du niveau *écosystème* plutôt que comme deux niveaux de la cascade impliquant une relation de causalité et rendant difficile la représentation des chaînes de production de service impliquant des interactions multiples entre éléments structurels et fonctions. La cascade permet également de représenter des indicateurs pour chaque entité de la chaîne de production et clarifier ainsi le discours sur ce qui est mesuré ou évalué ou identifier des besoin d'indicateurs ou de données.

Le chapitre 3 a mis en évidence l'importance de la présence de coralligène dans le choix d'un site de plongée. D'après les estimations des modèles basées sur les 6924 palanquées observées, le coralligène est l'intérêt paysager qui impacte le plus positivement le choix du site. Face au manque de données réelles pour l'évaluation des services écosystémiques des habitats coralligènes, l'intérêt de ce chapitre réside aussi dans la quantité de données réelles collectées sur l'activité de plongée pour laquelle les données sont généralement de l'ordre du déclaratif.

Suite à l'identification et la description des services écosystémiques, le chapitre 4 constitue un aboutissement de ce travail interdisciplinaire en traitant de l'évaluation économique des services. Les méthodes d'évaluation des préférences déclarées sont les plus pertinentes mais posent le problème de familiarité du répondant avec le bien environnemental à évaluer. Le coralligène en l'occurrence n'est pas très connu du grand public. Ce constat nous a amené à tester l'impact du niveau de connaissance initial et de l'apport d'information sur la formation des préférences individuelles concernant les services écosystémiques issus des habitats coralligènes. Les résultats que l'on peut tirer d'une enquête de 80 personnes sont préliminaires, mais présentent des pistes de recherche à suivre. Parmi celles-ci se trouve un constat intéressant : le niveau de connaissance initial et l'apport d'informations n'ont pas d'impact pris séparément, mais ont un impact lorsqu'on les considère en interaction. Parmi les individus ayant un niveau de connaissance initial sur le coralligène bas, on observe des consentement-à-payer plus fort de la part des individus ayant reçu de l'information sur le coralligène pendant l'enquête. En revanche parmi les individus ayant un niveau de connaissance initial supérieur, les consentement-à-payer sont plus faible de la part des individus ayant reçu de l'information. Sachant que le coralligène est méconnu par 75% de l'échantillon. Nous avons mis en évidence que les préférences déclarées sont en faveur de la préservation des habitats coralligènes prioritairement, puis le potentiel de découverte, puis l'activité de plongée de loisir. Alors que l'activité de pêche est perçue comme une menace.

5.2. Confrontation des avis experts et des préférences du grand public

Les chapitres 1 et 4 mettent en évidence une certaine concordance entre les avis d'experts et les préférences individuelles du grand public. Les fonctions écologiques et la *biodiversité comme maintien d'espèces spécifiques au coralligène* sont en premier dans les classements, que ce soit les experts ou le grand public. Ce qui est également concordant avec la thèse du Nouveau Paradigme Environnemental qui suppose que l'Homme moderne occidental ne se considère plus comme dominateur et exploiteur des écosystèmes naturels, mais comme responsable de leur préservation dans la perspective maintenir les bénéfices qu'ils induisent. Les résultats de nos enquêtes auprès des experts et du grand public témoignent d'une conscience générale de la dépendance de l'homme aux habitats coralligènes et d'une volonté générale de les préserver. Les usages directs principaux (pêche professionnelle et plongée de loisir) sont les moins "préférés" du grand public, mais sont hauts dans le classement par les experts (comprenant des usagers professionnels). Sachant que les usagers directs (pêcheurs et plongeurs, professionnels et de loisir) ne représentent qu'une toute petite part de la population, leur avis n'est pas valorisé dans une enquête en population générale. Or le groupe d'usagers pourrait se distinguer des préférences de la population générale, et les usagers professionnels sont particulièrement dépendants des habitats coralligènes pour leur bien-être. Le fait que les habitats coralligènes soient encore relativement peu étudiés par les scientifiques et peu connus grand public explique sans doute en partie le fait que le grand public, de même que les experts, aient placé le service *potentiel de découverte (support de recherche)* haut dans leur classement des services rendus par les habitats coralligènes. Cette place importante du service *potentiel de découverte* est en faveur de l'application du principe de précaution pour la conservation des habitats coralligènes *selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement, à un coût économiquement acceptable* (d'après la loi Barnier du 2 février 1995 relative à la protection de l'environnement).

5.3. Impact de l'information sur la formation des préférences

Dans le domaine marin beaucoup d'écosystèmes, comme les habitats coralligènes, sont méconnus du grand public. Pour évaluer la valeur économique de leurs bénéfices non marchands, les méthodes d'évaluation des préférences déclarées s'imposent mais nécessitent un apport d'informations. Cela implique que les préférences se forment à partir de l'information communiquée.

L'évaluation économique s'en trouve compliquée par la nécessité de contrôler l'information apportée dans le protocole d'enquête et par la mesure de l'impact de cette information sur la formation des préférences. Pour l'application des méthodes d'évaluation des préférences déclarées à des écosystèmes méconnus, il est donc pertinent d'inclure dans le protocole d'enquête un test de connaissance initial, et un test de connaissance a posteriori de l'apport d'information (ou bien procéder comme dans le chapitre 4 en divisant l'échantillon en sous-groupes informés/non-informés). Mais ces ajouts à un protocole d'enquête déjà long rendent difficile le recrutement de répondants volontaires, et peut nécessiter alors de les rémunérer et rendre ainsi le processus d'évaluation plus coûteux. Par ailleurs, l'impact de l'information fraîchement reçue peut se traduire par des préférences moins stables que lorsqu'il s'agit d'évaluer un bien familier.

L'hypothèse d'un impact significatif de l'information sur la formation des préférences suggère qu'il est possible de faire varier la valeur économique d'un bien en communiquant de l'information, en particulier sur un bien environnemental méconnu. Concernant les écosystèmes marins comme le coralligène, les informations peuvent être diffusées au grand public à travers des actions de communication de la part des gestionnaires d'aires marines protégées. L'impact sur les préférences en population générale pourrait être mesuré en comparant les résultats d'enquêtes *ex ante* et *ex post* une campagne de sensibilisation.

5.4. Apports pour la gestion

Deux problématiques abordées dans cette thèse peuvent avoir une application en terme de gestion. La première est l'utilisation du concept de service écosystémique. La seconde est l'importance des habitats coralligènes pour le bien-être humain, et leur vulnérabilité aux usages humains.

5.4.1. Pertinence du modèle de la cascade de service écosystémique selon l'objectif d'utilisation

Le principe de la cascade représente la *chaîne de production* du bénéfice, de l'écosystème vers l'Homme. Il suppose un enchaînement de cause à effet entre des entités classées en niveaux hiérarchiquement ordonnés (éléments structurels, fonctions, services, bénéfiques, valeur), à sens unique avec l'Homme en bout de chaîne. Ce concept peut avoir pour objectif de communiquer de façon simple sur la dépendance du bien-être humain à un écosystème. Cette façon d'utiliser la cascade rejoint l'objectif premier qui a motivé l'émergence du concept de service écosystémique : sensibiliser l'opinion publique et les politiques à la dépendance de l'Homme à la Nature et à sa responsabilité dans la préservation. Dans ce cas il est préférable que la cascade soit aussi simple et épurée que possible. Le modèle de la cascade peut aussi être utilisé dans le but de clarifier la nature des éléments impliqués dans un service écosystémique.

Dans le chapitre 2 j'ai testé le concept de la cascade pour représenter les relations entre l'ensemble des entités impliquées dans le service *approvisionnement en corail rouge*. Cette application a pointé des inconvénients de la cascade en 5 niveaux telle que proposées par HAINES-YOUNG et M. B POTSCHIN (2010). Le premier inconvénient est la difficulté de faire correspondre la complexité de fonctionnement de l'écosystème avec le modèle en 2 niveaux (*éléments structurels* et *fonctions*). Dans le cas du service d'approvisionnement en corail rouge par exemple, l'espèce collectée est un élément structurel, dépendant d'un habitat de substrat biogénique en faible condition de lumière (structure), qui lui même dépend de l'action bio-construtrice (fonction) des algues calcaires (structure). Le deuxième inconvénient est que le modèle tel que présenté par HAINES-YOUNG

et M. B POTSCHIN (2010) ne distingue pas le potentiel de ce qui est effectivement fourni par l'écosystème. Dans le cas du service d'approvisionnement en corail rouge par exemple, il y a le corail rouge exploité, et le stock de corail rouge disponible (potentiellement exploitable). Dans le cadre de mesure de gestion où l'on souhaiterait par exemple augmenter le stock de corail par réimplantation de colonies, il peut être intéressant également de différencier dans la cascade l'habitat potentiellement colonisable de l'habitat effectivement utilisé par le corail rouge. Cette ambiguïté entre potentiel et effectif dans la modélisation des éléments de la cascade peut expliquer l'hétérogénéité des indicateurs choisis pour quantifier un même service montrée par la revue de littérature de A. BOEREMA et al. (2016). Dans le cadre de l'application de la cascade de service écosystémique dans un objectif de gestion, la représentation de la cascade devrait préciser les différents niveaux sur lesquels peuvent s'appliquer des mesures de gestions et identifier un ou plusieurs indicateurs pertinents à chaque niveaux. Les éléments structurels peuvent être quantifiés ou évalués par des suivis réguliers à l'aide d'indicateurs d'abondance et d'état écologique. Tandis que les fonctions (construction, connectivité,...) peuvent être quantifiées en taux (taux de croissance, taux de recouvrement) ou évaluées par des indicateurs de fonctionnalité. La cascade peut alors aider à cibler les mesures nécessaire pour assurer la soutenabilité du service.

Par ailleurs, en aval du service la cascade comporte les niveaux *bénéfices* et *valeur*. Mais si la cascade est utilisée dans un objectif de gestion ou d'aide à la décision pour les politiques, il serait très pertinent de représenter les bénéficiaires. En effet, le service est anthropocentré et se définit par l'existence de bénéficiaires. Mais ce qui représente un service pour les uns, ne l'est pas forcément pour les autres. Il y a des services qui ne bénéficient qu'à un petit groupe d'individus, d'autres à l'humanité tout entière. L'échelle des bénéficiaires compte pour choisir l'échelle de gestion adaptée.

Les zones d'étude, Marseille-Cassis-La Ciotat et le parc national de Port-Cros et son aire d'adhésion, ont servi de référentiel pour l'identification, la description et l'évaluation économique des services écosystémiques. Ces deux zones d'études à la fois proches géographiquement et contrastées ont permis d'explorer la dimension locale des services écosystémiques ainsi que les problématiques soulevées

à petites échelle. L'échelle locale de représentation des services écosystémiques est particulièrement pertinente pour identifier des mesures de gestion adaptées à une aire marine protégée ou à une zone littorale sujette à conflits d'intérêts entre usagers. En atelier avec les experts, nous avons identifié par exemple des conflits d'usages entre les pêcheurs et les plongeurs. Le modèle de cascade peut alors être utilisé pour représenter conjointement les services qui présentent des interactions conflictuelles et identifier les conséquences d'arbitrages entre services. Dans le cas d'interactions complexes, la modélisation et la simulation des conséquences de mesures de gestion peuvent aider à réaliser l'arbitrage entre services en conflits (c'est-à-dire entre bénéficiaires concurrents).

5.4.2. Importance et vulnérabilité du coralligène par rapport aux usages humains

Les résultats de cette thèse montrent que lorsqu'une population a connaissance des habitats coralligènes, elle est favorable à leur préservation pour leur valeur d'existence prioritairement à leur valeurs d'usage présent ou futur (option). Toutefois les préférences des usagers directs du coralligènes n'ont pas été mis en évidence dans cette thèse et mériteraient d'être étudiées, en particulier pour les groupes d'usagers de plongeurs de loisirs et de pêcheurs professionnels aux petits métiers, mais aussi pour les activités de pêche de loisir embarquée ou sous-marine. La forte dépendance de deux activités économiques (pêche professionnels, secteur de la plongée de loisir) au coralligène devrait leur donner un poids particulier dans l'estimation de la valeur économique du coralligène. De même cette dépendance et les impacts potentiels de ces activités incitent à une gestion vigilante pour assurer la soutenabilité des services écosystémiques. La gestion consiste à limiter les impacts des activités humaines en maintenant les bénéfices à un niveau souhaité par la population.

5.5. Perspectives d'études

Ce travail a mis en évidence que l'état des connaissances est actuellement insuffisant pour établir la liste complète des services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes et procéder à leur évaluation. Il manque notamment des données sur les capacités de piégeage du carbone par les communautés coralligènes, et sur les volumes de bio-concrétionnements coralligènes en Méditerranée afin d'estimer l'impact des habitats coralligènes sur le cycle du carbone à l'échelle de la Méditerranée. Si l'action de piégeage de carbone par les communautés coralligènes est validée, le rendement et l'impact globale à l'échelle de la Méditerranée sont importants pour statuer sur la qualité de service écosystémique.

Dans le contexte actuel d'acidification des océans, un service de *piégeage de carbone*, qui contribue à freiner le processus d'acidification, est potentiellement très important à l'échelle planétaire. Les mêmes questions se posent concernant la capacité de filtration et d'épuration des organismes filtreurs des habitats coralligènes (les éponges en particulier). Par ailleurs, le service d'*approvisionnement en ressources alimentaires* est conditionné par le niveau de dépendance des espèces aux habitats coralligènes et aux habitats voisins, mais les données manquent pour construire un indice de dépendance. Une possibilité d'évaluation du service d'*approvisionnement en ressources alimentaires* est d'observer ce qui est pêché par les pêcheurs au niveau des habitats coralligènes en les accompagnant.

Malgré les connaissances limitées, il est possible de procéder à une évaluation économique des bénéfiques produits par les habitats coralligènes en l'état actuel des connaissances en appliquant à grande échelle le protocole présenté dans le chapitre 4 de cette thèse qui s'est avéré fonctionnel avec quelques ajustements concernant le test de connaissances initiales. L'application du concept de la cascade dans les ateliers de réflexions préliminaires a aidé à identifier différents groupes de bénéficiaires des services rendus par les habitats coralligènes, des conflits entre bénéficiaires et des différences d'échelles des bénéfiques. Cela nous encourage à comparer les préférences déclarées entre des groupes de bénéficiaires spécifique et la population générale. Ce sujet est l'objet d'une étude en cours qui fait suite à cette thèse.

Bibliographie

- AANESEN, M., C. ARMSTRONG, M. CZAJKOWSKI, J. FALK, N. HANLEY et S. NAVRUD (2015). « Willingness to pay for unfamiliar public goods : Preserving cold-water corals in Norway ». In : *Ecological economics* 112, p. 53–67 (cf. p. 169).
- ADAMOWICZ, W., J. LOUVIERE et M. WILLIAMS (1994). « Combining revealed and stated preferences methods for valuing environmental amenities ». In : *Journal of Environmental Economics and Management* 26, p. 271–292 (cf. p. 166).
- ALBERINI, A., P. ROSATO, A. LONGO et V. ZANATTA (2004). « Information and Willingness to Pay in a Contingent Valuation Study : The Value of S. Erasmo in the Lagoon of Venice ». Milano (cf. p. 168, 227).
- ALLEMAND, D. (2012). « Les coraux précieux ». In : p. 1–5.
- AMI, D., F. APRAHAMIAN, O. CHANEL, A. CHENUIL, R. DAVID, J.-P. FÉRAL, A. IVCEVIC, L. JAMBOIS, S. LUCHINI, T. SCHOHN, A. SCHLEYER-LINDENMANN et L. THIERRY DE VILLE D'AVRAY (2017). *Rapport final d'activité : Valeurs d'écosystèmes marins et Impact de l'information*. Rapp. tech., p. 113 (cf. p. 163).
- ANAS, A. (1983). « Discrete Choice Theory, Information Theory and the Multinomial Logit and Gravity Models ». In : *Transportation Research Part B : Methodological* 17.1, p. 13–23 (cf. p. 170).
- ANDERSON, N. (1962). « Application of an additive model to impression formation ». In : *Science* 138.3542, p. 817–818 (cf. p. 166).
- ARMSTRONG, C., N. FOLEY, R. TINCH et S. VAN DEN HOVE (2012). « Services from the deep : Steps towards valuation of deep sea goods and services ». In : *Ecosystem Services* 2, p. 2–13 (cf. p. 62, 169).
- ARNAULD DE SARTRE, X. (2013). « Des biens communs aux services écosystémiques : changement de discours ou changement de locuteur ? » In : *Penser les biens communs dans les espaces ruraux : regards croisés*. Université Toulouse-Jean Jaurès (Toulouse II-le Mirail) (cf. p. 24).
- ARROW, K., R. SOLOW, P. PORTNEY, E. LEAMER, R. RADNER et H. SCHUMAN (1993). « Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation ». In : *Federal Register* 58.10, p. 4601–4614 (cf. p. 38).
- ARVANITIDIS, C., A. CHENUIL, R. DAVID, A. FREMAUX, D. KOUTSOUBAS et S. SARTORETTO (2016). « CIGESMED : coralligenous based indicators to evaluate

Bibliographie

- and monitor the good environmental status of the mediterranean coastal waters a seasera project » (cf. p. 46).
- ASCIONE, C. (1993). « The art of corals : myth, history and manufacture from ancient times to the present. » In : *Red coral in the Mediterranean Sea : Art, History and Science*. Sous la dir. de F. CICOGNA et R. CATTANEO-VIETTI. Roma : Ministero Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, p. 25–36.
- BAILLIE, J., C. HILTON-TAYLOR et S. N. STUART (2004). *2004 IUCN red list of threatened species : a global species assessment*, p. 191 (cf. p. 112).
- BALLESTEROS, E. (1998). « Addicions a la fauna d'invertebrats bentònics marins de l'Arxipelag de Cabrera (Illes Balears, Mediterrània Occidental) ». In : *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears* 41, p. 41–48 (cf. p. 51).
- (2006). « Mediterranean coralligenous assemblages : a synthesis of present knowledge ». In : *Oceanography and Marine Biology : An Annual Review* 44, p. 123–195 (cf. p. 40, 41, 45–47, 51, 62, 107).
- BALLESTEROS, E. et C. RODRIGUEZ-PRIETO (1996). « Presència d'Asparagopsis taxiformis (Delile) Trevison a Balears ». In : *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears* 39, p. 135–138 (cf. p. 51).
- BALLESTEROS, Enric et Fiona TOMAS (1999). *Avaluació de l'estat de les comunitats bentòniques de La Roja (Tossa de Mar, Girona) en vistes a la seva declaració com a reserva marina*. Rapp. tech. Blanes : Centre d'Estudis Avançats de Blanes — CSIC.
- BALLESTEROS, Enric et Mikel ZABALA (1993). « El bentos : el marc físic. » In : *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears 2*. Sous la dir. de J.A. et al ALCOVER. CSIC-Ed. M. Palma de Mallorca, p. 663–685.
- BARBIER, E. B. (2017). « Marine ecosystem services ». In : *Current Biology* 27.11, p. 507–510 (cf. p. 38).
- BEAUMONT, N.J., M.C. AUSTEN, J.P. ATKINS, D. BURDON, S. DEGRAER, T.P. DENTINHO, S. DEROUS, P. HOLM, T. HORTON, E. van IERLAND, A.H. MARBOE, D.J. STARKEY, M. TOWNSEND et T. ZARZYCKI (2007). « Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity : Implications for the ecosystem approach ». In : *Marine Pollution Bulletin* 54.3, p. 253–265 (cf. p. 62, 81).
- BECK, M. W., K. L. HECK, D. L. CHILDERS, D. B. EGGLESTON, B. M. GILLANDERS, B. S. HALPERN, C. G. HAYS, K. HOSHINO, T. J. MINELLO, R. J. ORTH,

- P. F. SHERIDAN et M. P. WEINSTEIN (2003). « The role of nearshore ecosystems as fish and shellfish nurseries ». In : *Issues in ecology* 11.Spring (cf. p. 82).
- BELL, Johann (1983). « Effects of depth and marine reserve fishing restrictions on the structure of a rocky fish assemblage in the north-western Mediterranean Sea. » In : *Journal of Applied Ecology* 20, p. 357–369 (cf. p. 63).
- BELLAN-SANTINI, Denise (1998). « Ecology ». In : *The Amphipoda of the Mediterranean, Part 4*. Sous la dir. de S. RUFFO. Monaco : Mémoires de l'Institut Océanographique (Monaco), p. 869–894.
- BEN MUSTAPHA, K. et A. ABED (2001). « Données nouvelles sur des éléments du macro-benthos marin de Tunisie. » In : *Rap. Comm. Int. Mer. Médit.* P. 36–38 (cf. p. 52).
- BEN-AVIKA, M. et S. LERMAN (1985). *Discrete choice analysis : theory and application to travel demand (Vol.9)*. MIT press (cf. p. 166).
- BENETON, F., G. MICHOD, M. COULANGE, N. LAINE, C. RAMDANI, M. BORGNETTA, P. BRETON, R. GUIEU, J. C. ROSTAIN et M. TROUSSELARD (2017). « Recreational diving practice for stress management : An exploratory trial ». In : *Frontiers in Psychology* 8.DEC, p. 1–7 (cf. p. 127).
- BIANCHI, C. N. et C. MORRI (2000). « Marine biodiversity of the Mediterranean Sea : situation, problems and prospects for future research ». In : *Marine Pollution Bulletin* 40.5, p. 367–376 (cf. p. 40).
- BOEREMA, A., A. J. REBELO, M. B. BODI, K. J. ESLER et P. MEIRE (2016). « Are ecosystem services adequately quantified? » In : *Journal of Applied Ecology* (cf. p. 117, 239).
- BOEREMA, Annelies, Alanna J. REBELO, Merche B. BODI, Karen J. ESLER et Patrick MEIRE (2017). « Are ecosystem services adequately quantified? » In : *Journal of Applied Ecology* 54.2, p. 358–370. ISSN : 13652664. DOI : [10.1111/1365-2664.12696](https://doi.org/10.1111/1365-2664.12696) (cf. p. 94).
- BONIN, M. et M. ANTONA (2012). « Généalogie scientifique et mise en politique des services écosystémiques et services environnementaux ». In : *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* 12.3, p. 1–12 (cf. p. 22).
- BONNIEUX, F., A. CARPENTIER et J.-C. PAOLI (2005). « Aménagement et protection de la forêt Méditerranéenne : application de la méthode des programmes en Corse. » In : *Inra Sciences sociales* (cf. p. 166).

Bibliographie

- BOUDOURESQUE, Charles-François (1973). « Les peuplements sciaphiles de mode relativement calme sur substrats durs ». In : *Bulletin du Muséum d'histoire naturelle de Marseille* XXXIII, p. 147–225.
- BOYD, J. et S. BANZHAF (2007). « What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units ». In : *Ecological Economics* 63.2-3, p. 616–626 (cf. p. 27, 28, 63, 82).
- BRIQUET-LAUGIER, J.-C., O. CHANCOLLON, J.-M COTTALORDA et P. FRANCOUR (2007). « Vers une évaluation économique du mérrou en Méditerranée? » In : *2nd Symposium on Mediterranean Groupers*. Nice (France) (cf. p. 127).
- CAHILL, A. E., A. DE JODE, S. DUBOIS, Z. BOUZAZA, D. AURELLE, E. BOISSIN, O. CHABROL, R. DAVID, E. EGEEA, J.-B. LEDOUX, B. MÉRIGOT, Al. A.-T WEBER et A. CHENUIL (2017). « A multispecies approach reveals hot spots and cold spots of diversity and connectivity in invertebrate species with contrasting dispersal modes ». In : *Molecular Ecology* 26.23 (cf. p. 62, 64, 65).
- CAMERON, A. C. et P. K. TRIVEDI (2005). *Microeconometrics : methods and applications* (cf. p. 153, 154).
- (2009). *Microéconomics Using Stata*. Sous la dir. de STATA CORP. Stata Press (cf. p. 148–150).
- CAMPAGNE, C. S., J.-M. SALLES, P. BOISSERY et J. DETER (2015). « The seagrass *Posidonia oceanica* : Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits ». In : *Marine Pollution Bulletin* (cf. p. 84).
- CARPINE, C. et M. GRASSHOFF (1975). « Les Gorgonaires de la Méditerranée ». In : *Bulletin de l'Institut Océanographique* 71, p. 1–140 (cf. p. 108).
- CARSON, Richard (2011). *Contingent valuation : a comprehensive bibliography and history*. Sous la dir. d'Edward ELGAR (cf. p. 166).
- CASELLATO, S. et A. STEFANON (2008). « Coralligenous habitat in the northern Adriatic Sea : an overview ». In : *Marine Ecology* 29.3, p. 321–341 (cf. p. 227).
- CERRANO, C., G. BAVESTRELLO, C.N. BIANCHI, B. CALCINAI, R. CATTANEO-VIETTI, C. MORRI et M. SARÀ (2001). « The role of sponge bioerosion in mediterranean coralligenous accretion. » In : *Mediterranean Ecosystems : Structures and Processes*, p. 235–240 (cf. p. 52).
- CESAR, H. S. J. et P. VAN BEUKERING (2004). « Economic valuation of the coral reefs of Hawaii ». In : *Pacific Science* 58.2, p. 231–242.
- CHAUVEAU, M. (2005). *Etude socio-économique relative à la plongée subaquatique de loisir en 2004-2005*. Rapp. tech., p. 118 (cf. p. 126, 127).

- CHEVASSUS-AU-LOUIS, B., J.-M. SALLES, S. BIELSA, D. RICHARD, G. MARTIN et J.-L. PUJOL (2009). *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*. Rapp. tech. (cf. p. 24).
- CHIMIENTI, G., M. STITHOU, I.D. MURA, F. MASTROTOTARO, G. D'ONGHIA, A. TURSI, C. IZZI et S. FRASCHETTI (2017). « An explorative assessment of the importance of mediterranean coralligenous habitat to local economy : The case of recreational diving ». In : *Journal of Environmental Accounting and Management* 5.4, p. 315–325 (cf. p. 130, 158).
- CHINTIROGLOU, C. C., C. DOUNAS et A. KOUKOURAS (1989). « The presence of *Corallium rubrum* (Linnaeus, 1758) in the Eastern Mediterranean Sea ». In : *Mitt. Zool. Mus. Berlin* 65.1, p. 145–149 (cf. p. 108).
- COLL, M., C. PIRODDI, J. STEENBEEK, K. KASCHNER, F. BEN RAIS LASRAM, J. AGUZZI, E. BALLESTEROS, C. N. BIANCHI, J. CORBERA, T. DAILIANIS, R. DANOVARO, M. ESTRADA, C. FROGLIA, B. S. GALIL, J. M. GASOL, R. GERTWAGE, J. GIL, F. GUILHAUMON, K. KESNER-REYES, M. S. KITSOS, A. KOUKOURAS, N. LAMPADARIOU, Elijah LAXAMANA, C. M. LÓPEZ FÉ DE LA CUADRA, H. K. LOTZE, D. MARTIN, D. MOUILLOT, D. ORO, S. RAICEVICH, J. RIUS-BARILE, J. I. SAIZ-SALINAS, C. San VICENTE, S. SOMOT, José TEMPLADO, X. TURON, D. VAFIDIS, R. VILLANUEVA et E. VOULTSIADOU (2010). *The biodiversity of the Mediterranean Sea : Estimates, patterns, and threats* (cf. p. 40).
- COSTANTINI, F., M. TAVIANI, A. REMIA, E. PINTUS, P. J. SCHEMBRI et M. ABBIATI (2010). « Deep-water *Corallium rubrum* (L., 1758) from the Mediterranean Sea : Preliminary genetic characterisation ». In : *Marine Ecology* 31.2, p. 261–269 (cf. p. 108).
- COSTANZA, R., R. D'AGRE, R. de GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, K. LIMBURG, S. NAEEM, R. V. O'NEILL, J. PARUELO, R.G. RASKIN, P. SUTTON et M. van den BELT (1997). « The value of the world's ecosystem services and natural capital ». In : *Nature* 387, p. 253–260. ISSN : 0028- (cf. p. 22, 23, 27).
- COSTANZA, R. et H. DALY (1992). « Natural capital and sustainable development ». In : *Conservation Biology* 6, p. 37–46 (cf. p. 22).
- COSTANZA, R. et I. KUBISZEWSKI (2012). « The authorship structure of "ecosystem services" as a transdisciplinary field of scholarship ». In : *Ecosystem Services* 1.1, p. 16–25 (cf. p. 26).

Bibliographie

- CUDONI, S. et L. CHESSA (1991). « Present and past distribution of *Corallium rubrum* along the northern and central Sardinian coast. » In : *Les espèces marines à protéger en Méditerranée*, p. 71–81 (cf. p. 108).
- CVEJIC, J., S. TAMBUTTÉ, S. LOTTO, M. MIKOV, I. SLACANIN et D. ALLEMAND (2007). « Determination of canthaxanthin in the red coral (*Corallium rubrum*) from Marseille by HPLC combined with UV and MS detection ». In : *Marine Biology* 152.4, p. 855–862 (cf. p. 108).
- CZAJKOWSKI, M., M. GIERGICZNY et W. H. GREENE (2014). « Learning and Fatigue Effects Revisited : Investigating the Effects of Accounting for Unobservable Preference and Scale Heterogeneity ». In : *Land Economics* 90.2, p. 324–351 (cf. p. 169, 179).
- CZAJKOWSKI, M., N. HANLEY et J. LARIVIERE (2016). « Controlling for the Effects of Information in a Public Goods Discrete Choice Model ». In : *Environmental and Resource Economics* 63.3, p. 523–544 (cf. p. 169).
- DAILY, G. C. (1997). *Nature's services : societal dependence on natural ecosystems*, p. 392 (cf. p. 22, 27).
- DALY, H. (1990). « Toward some operational principles of sustainable development ». In : *Ecological Economics* 2, p. 1–6 (cf. p. 21).
- DAVIS, R. (1961). « The spruce-fir forests of the coast of Maine ». Thèse de doct. Cornell University (cf. p. 166).
- DEFANT, A. (1961). « Physical oceanography vol. 1 ». In : (cf. p. 40).
- DETER, J., P. DESCAMP, L. BALLESTA, P. BOISSERY et F. HOLON (2012). « A preliminary study toward an index based on coralligenous assemblages for the ecological status assessment of Mediterranean French coastal waters ». In : *Ecological Indicators* 20.2012, p. 345–352 (cf. p. 62, 64, 65, 118).
- DITTON, R. B., H. R. OSBURN, T. L. BAKER et C. E. THAILING (2002). « Demographics, attitudes, and reef management preferences of sport divers in offshore Texas waters ». In : *ICES Journal of Marine Science* 59, p. 186–191 (cf. p. 127).
- DOXA, A., F. HOLON, J. DETER, S. VILLÉGER, P. BOISSERY et N. MOUQUET (2016). « Mapping biodiversity in three-dimensions challenges marine conservation strategies : The example of coralligenous assemblages in North-Western Mediterranean Sea ». In : *Ecological Indicators* 61, p. 1042–1054 (cf. p. 62).
- DUNLAP, R. et K. VAN LIERE (1978). « The "new environmental paradigm" ». In : *The journal of environmental education* 9.4, p. 10–19 (cf. p. 168).

- DUNLAP, R., K. VAN LIERE, A. MERTIG et R. E. JONES (2000). « New Trends in Measuring Environmental Attitudes : Measuring Endorsement of the New Ecological Paradigm : A Revised NEP Scale ». In : *Journal of Social Issues* 56.3, p. 425–442 (cf. p. 169, 181, 202).
- EHRlich, P. R et E. O. WILSON (1991). « Biodiversity studies : science and policy ». In : *Science* 253.5021, p. 758–762 (cf. p. 22).
- EHRlich, P. et A. EHRlich (1981). *Extinction : the causes and consequences of the disappearance of species*. New York : Random House (cf. p. 21).
- EHRlich, P. et H. MOONEY (1983). « Extinction, substitution, and ecosystem services ». In : *BioScience* 33, p. 248–254 (cf. p. 21).
- ELLIFF, C. I. et R. K.P. KIKUCHI (2017). « Ecosystem services provided by coral reefs in a Southwestern Atlantic Archipelago ». In : *Ocean & Coastal Management* 136, p. 49–55 (cf. p. 84).
- FOLEY, N. S., T. M. van RENSBURG et C. W. ARMSTRONG (2010). *The ecological and economic value of cold-water coral ecosystems* (cf. p. 37).
- FORET, A. et P. MARTIN-RAZI (2007). *Une histoire de la plongée*. Sous la dir. de SUBAQUA et FFESSM. 1ère édit, 864 p. (Cf. p. 124, 125).
- GARCÍA-RASO, J.E. (1988). « Consideraciones generales sobre la taxocenosis de crustáceos decápodos de fondos de concrecionamiento calcáreo superficial del alga *Mesophyllum lichenoides* (Ellis & Sol.) Lemoine (Corallinaceae) del mar de Alborán. » In : *Investigación Pesquera* 52, p. 245–264.
- (1989). « Resultados de la segunda campaña del I.E.O. para la exploración de los fondos de coral rojo en el mar de Alborán. Crustáceos decápodos. » In : *Boletín Instituto Español de Oceanografía* 5, p. 27–36.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M. et C. MASSÓ (1986). « Algunas bases para la determinación directa de la edad del coral rojo (*Corallium rubrum*, L.) » In : *Bol. Inst Esp. Oceanogr.* 3.4, p. 65–74 (cf. p. 108).
- GARCÍA-RUBIES, A. et M. ZABALA (1990). « Effects of total fishing prohibition on the rocky fish assemblages of Medes Islands marine reserve (NW Mediterranean) ». In : *Scientia Marina* 54.4, p. 317–328 (cf. p. 63).
- GARRABOU, J. et E. BALLESTEROS (2000). « Growth of *mesophyllum alternans* and *lithophyllum frondosum* (corallinales, rhodophyta) in the northwestern mediterranean ». In : *European Journal of Phycology* 35.1, p. 1–10 (cf. p. 45, 52).
- GARRABOU, J. et J. G. HARMELIN (2002). « A 20-year study on life-history traits of a harvested long-lived temperate coral in the NW Mediterranean : insights

Bibliographie

- into conservation and management needs. » In : *Journal of Animal Ecology* 71.6, p. 966–978 (cf. p. 52, 108).
- GARRABOU, J., E. SALA, A. ARCAS et M. ZABALA (1998). « The impact of diving on rocky sublittoral communities : a case study of a bryozoan population. » In : *Conservation Biology* 12, p. 302–312 (cf. p. 63).
- GATTI, G., C. N. BIANCHI, C. MORRI, M. MONTEFALCONE et S. SARTORETTO (2015). « Coralligenous reefs state along anthropized coasts : Application and validation of the COARSE index, based on a rapid visual assessment (RVA) approach ». In : *Ecological Indicators* 52.March, p. 567–576 (cf. p. 62, 118).
- GIAKOUMI, S., M. SINI, V. GEROVASILEIOU, T. MAZOR, J. BEHER, H. P. POSSINGHAM, A. ABDULLA, M. E. ÇINAR, P. DENDRINOS, A. C. GUCU, A. A. KARAMANLIDIS, P. RODIC, P. PANAYOTIDIS, E. TASKIN, A. JAKLIN, E. VOULTSIADOU, C. WEBSTER, A. ZENETOS et S. KATSANEVAKIS (2013). « Ecoregion-Based Conservation Planning in the Mediterranean : Dealing with Large-Scale Heterogeneity ». In : *PLoS ONE* 8.10 (cf. p. 53).
- GILI, J. M. et J. ROS (1985). « Study and Cartography of the Benthic Communities of Medes Islands (NE Spain) ». In : *Marine Ecology* 6.3, p. 219–238 (cf. p. 45).
- GLENN, H., P. WATTAGE, S. MARDLE, T. Van RENSBURG, A. GREHAN et N. FOLEY (2010). « Marine protected areas -substantiating their worth ». In : *Marine Policy* 34.3, p. 421–430 (cf. p. 221).
- GODARD, O., M. LEMOINE et F. LECOCQ (2015). *Environnement et développement durable : une approche méta-économique*. De Boeck (cf. p. 31).
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E., R. de GROOT, P. L. LOMAS et C. MONTES (2010). « The history of ecosystem services in economic theory and practice : From early notions to markets and payment schemes ». In : *Ecological Economics* 69.6, p. 1209–1218 (cf. p. 20).
- GREEN, P. et V. RAO (1971). « Conjoint measurement for quantifying judgemental data. » In : *Journal of Marketing research*, p. 355–363 (cf. p. 166).
- GREEN, P. et V. SRINIVASAN (1978). « Conjoint Analysis in consumer research : Issues and outlook ». In : *Journal of Consumer Research* 5.2, p. 103–123 (cf. p. 166).
- GREEN, P., Y. WIND et F. CARMONE (1972). « Subjective evaluation models and conjoint measurement. » In : *Systems Research and Behavioural Science* 17.3, p. 288–299 (cf. p. 166).
- GREENE, W. H. (2012). *Econometric analysis*. Pearson Education (cf. p. 205).

- HAINES-YOUNG, R. H. et M. B. POTSCHIN (2010). « The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. » In : *Ecosystems ecology : a new synthesis*, p. 31 (cf. p. 24, 28, 30, 91, 94, 95, 100, 117, 233, 234, 238).
- HAINES-YOUNG, R. H. et M. B. POTSCHIN (2013). « Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) : consultation on version 4, august-december 2012. » In : *EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003*, p. 1–17 (cf. p. 27, 28).
- HANLEY, N. et E. B. BARBIER (2009). *Pricing Nature : Cost-benefit Analysis and Environmental Policy*, p. 360 (cf. p. 38).
- HANLEY, N., S. MOURATO et R. WRIGHT (2001). « Choice Modelling Approaches : A Superior Alternative for Environmental Valuation ? » In : *Journal of Economic Surveys* 15.3, p. 435–462 (cf. p. 172).
- HARME LIN, Jean-Georges (1993). « Invitation sous l'écume ». In : *Cahier de découverte* 10. Sous la dir. de Parc national de PORT-CROS.
- HARME LIN, J.G. (1990). « Ichthyofaune des fonds rocheux de Méditerranée : structure du peuplement du coralligène de l'île de Port-Cros (Parc National). » In : p. 23–30.
- HARTWICK, J. M. (1977). « Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources ». In : *American Economic Review* 67.5, p. 972–974 (cf. p. 21).
- HOLON, Florian (2015). « Interactions entre écosystèmes marins et pressions anthropiques. Applications au suivi et à la gestion des eaux côtières de la mer Méditerranée. » Thèse de doct. Université de Montpellier, p. 270 (cf. p. 46).
- HONG, J. S. (1980). « Étude faunistique d'un fond de concrétionnement de type coralligène soumis à un gradient de pollution en Méditerranée nord-occidentale (Golfe de Fos). » Thèse de doct. Université d'Aix- Marseille II. (cf. p. 45, 51, 63, 65).
- (1982). « Contribution à l'étude d'un fond de concrétionnement dans la région marseillaise, Méditerranée nord-occidentale ». In : *Bulletin of KORDI* 4, p. 27–51 (cf. p. 51, 65).
- (1983). « Impact of the pollution on the benthic coralligenous community in the Gulf of Fos ». In : (cf. p. 51).
- INPN. 1170-14 - *Le Coralligène (Méditerranée)*.
- IVCEVIC, Ante (2016). *Scientific information , discrete choice and environmental valuation*. Rapp. tech., p. 37 (cf. p. 221).

Bibliographie

- JARES-ERIJMAN, E. A., R. SAKAI et K. L. RINEHART (1991). « Crambescidins : new antiviral and cytotoxic compounds from the sponge *Crambe crambe* ». In : *The Journal of Organic Chemistry* 56.19.
- JASPARS, M., D. DE PASCALE, J. H. ANDERSEN, F. REYES, A. D. CRAWFORD et A. IANORA (2016). « The marine biodiscovery pipeline and ocean medicines of tomorrow ». In : *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 96.1, p. 151–158.
- JAX, K. et U. HEINK (2015). « Searching for the place of biodiversity in the ecosystem services discourse ». In : *Biological Conservation* 191, p. 198–205 (cf. p. 30).
- JEANNEAUX, Philippe, Olivier AZNAR et Sybille de MARESCHAL (2012). « Analyse bibliométrique de la notion de “ service environnemental ” pour éclairer la mise à l’agenda scientifique des "services environnementaux". » In : *VertigO - la revue électronique en sciences de l ’ environnement* 12.3 (cf. p. 26).
- JOBSTVOGT, N., N. HANLEY, S. HYNES, J. KENTER et U. WITTE (2014). *Twenty thousand sterling under the sea : Estimating the value of protecting deep-sea biodiversity* (cf. p. 39, 169).
- KJÆR, T. (2005). « A review of the discrete choice experiment - with emphasis on its application in health care ». In : *Health Economics Papers*, p. 1–139 (cf. p. 34, 37).
- KRUEGER, T., T. PAGE, K. HUBACEK, L. SMITH et K. HISCOCK (2012). « The role of expert opinion in environmental modelling ». In : *Environmental Modelling and Software* 36, p. 4–18 (cf. p. 70).
- KULL, C. A. et X. ARNAULD DE SARTRE (2015). « The political ecology of ecosystem services ». In : *Geoforum* (cf. p. 25).
- LABOREL, J. (1961). « Le concretionnement algal "coralligène" et son importance géomorphologique en Méditerranée. » In : *Recueil des Travaux de la Station Marine d’Endoume* 23.37, p. 37–60 (cf. p. 42, 45, 107).
- LAREAU, T. et D. RAE (1989). « Valuing WTP for Diesel Odor Reductions : An Application of Contingent Ranking Technique ». In : *Southern Economic Journal* 55.3, p. 728–742 (cf. p. 172).
- LARIVIERE, J., M. CZAJKOWSKI, N. HANLEY, M. AANESEN, J. FALK-PETERSEN et D. TINCH (2014). « Effects of Experience , Knowledge and Signals on Willingness to Pay for a Public Good ». In : 68.April, p. 376–389 (cf. p. 221).

- LAUBIER, L. (1966). « Le Coralligène des Albères-Monographie biocénétique ». In : *Annales de l'institut océanographique* 43.2, p. 137 (cf. p. 45).
- LEVREL, H., P. CABRAL, C. FEGER, M. CHAMBOLLE et D. BASQUE (2017). « How to overcome the implementation gap in ecosystem services? A user-friendly and inclusive tool for improved urban management ». In : *Land Use Policy* 68, p. 574–584 (cf. p. 64).
- LIKERT, R. (1932). « A technique for the measurement of attitudes. » In : *Archives of psychology* (cf. p. 72, 181).
- LINARES, C., R. COMA, D. DIAZ, M. ZABALA, B. HEREU et L. DANTART (2005). « Immediate and delayed effects of a mass mortality event on gorgonian population dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean Sea ». In : *Marine Ecology Progress Series* 305, p. 127–137 (cf. p. 51).
- LIQUETE, C., C. PIRODDI, E. G. DRAKOU, L. GURNEY, S. KATSANEVAKIS, A. CHAREF et B. EGOH (2013). « Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services : A Systematic Review ». In : *PLoS ONE* 8.7 (cf. p. 62).
- LIU, X. et K. W. WIRTZ (2010). « Managing coastal area resources by stated choice experiments. » In : *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86, p. 512–517 (cf. p. 167).
- LIVERINO, B. (1983). *Il Corallo—Esperienze e ricordi di un corallaro*. Sous la dir. de Li CAUSI. Torre del Greco, Italy : Banca di credito popolare Torre del Greco (cf. p. 108).
- LIVERINO, Basilio (1989). *Red, coral jewel of the sea*, p. 208.
- LOBET, I., J. M. GILI et R. G. HUGHES (1991). « Horizontal, vertical and seasonal distributions of epiphytic Hydrozoa on the alga *Halimeda tuna* in the northwestern Mediterranean Sea ». In : *Marine Biology* 110, p. 151–159.
- LOREAU, M, S NAEEM, P INCHAUSTI, J BENGTSSON, J P GRIME, A. HECTOR, ... & et D TILMAN (2001). « Biodiversity and ecosystem functioning : current knowledge and future challenges ». In : *Sciences* 294 (cf. p. 22).
- LUCE, D. et J. TUKEY (1964). « Simultaneous conjoint measurement : A new type of fundamental measurement ». In : *Journal of Mathematical Psychology* 1.1, p. 1–27 (cf. p. 166).
- LUNA-PÉREZ, B., C. VALLE, T. VEGA FERNÁNDEZ, J.L. SÁNCHEZ-LIZASO et a.a. RAMOS-ESPLÁ (2010). « *Halocynthia papillosa* (Linnaeus, 1767) as an indicator of SCUBA diving impact ». In : *Ecological Indicators* 10.5, p. 1017–

Bibliographie

1024. ISSN : 1470160X. DOI : [10.1016/j.ecolind.2010.02.010](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.02.010). URL : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X10000440> (cf. p. 51).
- MACE, G. M., K. NORRIS et A. H. FITTER (2012). « Biodiversity and ecosystem services : A multilayered relationship ». In : *Trends in Ecology and Evolution* 27.1, p. 19–25 (cf. p. 96).
- MACMILLAN, D., N. HANLEY et N. LIENHOOP (2006). « Contingent valuation : Environmental polling or preference engine ? » In : *Ecological Economics* 60.1, p. 299–307 (cf. p. 168, 227).
- MANGOS, A., J.-P. BASSINO et D. SAUZADE (2010). « Valeur économique des bénéfiques soutenables provenant des écosystèmes marins méditerranéens ». In : *Les cahiers du plan bleu* (cf. p. 67, 107, 227).
- MARCHETTI, R. (1965). « Ricerche sul corallo rosso della costa Ligure e Toscana. I. distribuzione geografica ». In : *Istituto Lombardo (Rend Sc)* B99, p. 255–278 (cf. p. 108).
- MARION, A.F. (1883). « Esquisse d'une topographie zoologique du Golfe de Marseille. » In : *Annales Musée d'Histoire Naturelle Marseille* 1, p. 1–108 (cf. p. 40, 62, 65).
- MARIS, V. (2014). *Nature à vendre : les limites des services écosystémiques*, p. 94 (cf. p. 31).
- MARSCHAL, C., J. GARRABOU, J.-G. HARMELIN et M. PICHON (2004). « A new method for measuring growth and age in the precious red coral *Corallium rubrum* (L.) » In : *Coral reefs* 23, p. 423–432 (cf. p. 108).
- MARTIN, C. S., M. GIANNOULAKI, F. DE LEO, M. SCARDI, M. SALOMIDI, L. KNITWEISS, M. L. PACE, G. GAROFALO, M. GRISTINA, E. BALLESTEROS, G. BAVESTRELLO, A. BELLUSCIO, E. CEBRIAN, V. GERAKARIS, G. PERGENT, C. PERGENT-MARTINI, P. J. SCHEMBRI, K. TERRIBILE, L. RIZZO, J. BEN SOUSSI, M. BONACORSI, G. GUARNIERI, M. KRZELJ, V. MACIC, E. PUNZO, V. VALAVANIS et S. FRASCHETTI (2014). « Coralligenous and maërl habitats : Predictive modelling to identify their spatial distributions across the mediterranean sea ». In : *Scientific Reports* 4, p. 1–8 (cf. p. 48).
- MARTIN, D. (1987). « La comunidad de anélidos poliquetos de las concreciones de algas calcáreas del litoral catalán. Caracterización de las especies. » In : *Publicaciones del Departamento de Zoología de la Universidad de Barcelona* 13, p. 45–54.

- MARTIN, S., S. COHU, C. VIGNOT, G. ZIMMERMAN et J.-P. GATTUSO (2013). « One-year experiment on the physiological response of the Mediterranean crustose coralline alga, *Lithophyllum cabiochae*, to elevated pCO₂ and temperature ». In : *Ecology and Evolution* 3.3, p. 676–693 (cf. p. 51, 63).
- MARTIN, S. et J.-P. GATTUSO (2009). « Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature ». In : *Global Change Biology* 15.8 (cf. p. 63).
- MASCRET, V. (2010). « L' aventure sous-marine : Histoire de la plongée sous-marine de loisir en scaphandre autonome en France (1865-1985). » Thèse de doct. Université Claude Bernard - Lyon I (cf. p. 124, 125, 127).
- McFADDEN, D. (1975). « The revealed preferences of a government bureaucracy : theory ». Thèse de doct. University of California, Berkeley (cf. p. 170, 205).
– (1982). *Econometric Models of Probabilistic Choice*. Chap. Chapitre 5, p. 198–272 (cf. p. 36).
- MEINESZ, A. (1999). « Killer Algae, The True Tale of Biological Invasion ». In : *University of Chicago. Chicago & London*. (Cf. p. 51).
- MÉRAL, P. (2012). « Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes ». In : *Natures Sciences Sociétés* 20.1, p. 3–15 (cf. p. 20).
- MILAZZO, M., I. ANASTASI et T. WILLIS (2006). « Recreational fish feeding affects coastal fish behavior and increases frequency of predation on damselfish *Chromis chromis* nests ». In : *JSTOR* 310, p. 165–172 (cf. p. 51).
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). *Ecosystems and human well-being : Synthesis*. T. 5, p. 1–100 (cf. p. 27, 29, 94).
- MNHN (2017). *Rapport SPN 2017-1 : Typologies d'habitats et de végétation pour la France - Guide méthodologique*. Rapp. tech. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle, p. 1–61 (cf. p. 42).
- MOBERG, F. et C. FOLKE (1999). « Ecological goods and services of coral reef ecosystems ». In : *Ecological Economics* 29.2, p. 215–233 (cf. p. 62, 84).
- MOREL, J P, C RONDICOSTANZO et D UGOLINI (2000). « Corallo di Ieri – Corallo di Oggi ». In : *Atti Del Convegno, Ravello, Villa Rufolo, 13–15 Dicembre 1996* (cf. p. 108).
- MUNAR, J. (1993). « Els equinoderms ». In : *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*, sous la dir. de J.A. ALCOVER et ET AL. CSIC-Ed. M. Palma de Mallorca : Monografies de la Societat d'Història Natural de Balears 2, p. 597–606.

Bibliographie

- MUNDET, L. et L. RIBERA (2001). « Characteristics of divers at a Spanish resort ». In : *Tourism Management* 22.5, p. 501–510 (cf. p. 127).
- MUNRO, A. et N. HANLEY (1999). « Information, Uncertainty, and Contingent Valuation ». In : *Valuing Environmental Preferences : Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the US, EU , and developing Countries*. Oxford University Press (cf. p. 167, 223, 227).
- MYERS, J. et J. REICHERT (1997). « Perspective in nature's services ». In : *Nature's Services : Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Sous la dir. de G. DAILY. Washington (DC). : Island Press. Chap. XVII- XX (cf. p. 22).
- MYERS, N. (1988). « Threatened biotas : "Hot spots" in tropical forests ». In : *The Environmentalist* 8.3, p. 187–208 (cf. p. 40).
- NARANJO, S. A., J. L. CARBALLO et J. C. GARCÍA-GÓMEZ (1996). « Effects of environmental stress on ascidian populations in Algeciras Bay (southern Spain). Possible marine bioindicators? » In : *Marine Ecology Progress Series* 144.1-3, p. 119–131 (cf. p. 51).
- NASH, M. C, S. MARTIN et J.-P. GATTUSO (2016). « Mineralogical response of the Mediterranean crustose coralline alga *Lithophyllum cabiochae* to near-future ocean acidification and warming ». In : *Biogeosciences* 13.21. ISSN : 17264189 (cf. p. 63).
- NELSON, E., G. MENDOZA, J. REGETZ, S. POLASKY, H. TALLIS, D. R. CAMERON, K. M. A. CHAN, G. C. DAILY, J. GOLDSTEIN, P. M. KAREIVA, E. LONSDORF, R. NAIDOO, T. H. RICKETTS et M. R. SHAW (2009). « Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales ». In : *Frontiers in Ecology and the Environment* 7.1, p. 4–11 (cf. p. 52).
- NOISETTE, Fanny (2013). « Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés ». Thèse de doct., p. 267 (cf. p. 51, 52).
- NORDLUND, L. M., E. W. KOCH, E. B. BARBIER et J. C CREED (2016). « Seagrass Ecosystem Services and Their Variability across Genera and Geographical Regions ». In : p. 1–23 (cf. p. 62, 81).
- PAOLI, C., M. MONTEFALCONE, C. MORRI, P. VASSALO et C.N. BIANCHI (2016). « Ecosystem functions and services of the marine animal forests ». In : *Marine animal forests*. Sous la dir. de S. ROSSI, L. BRAMANTI, A. GORI et O. COVADONGA. Springer. Springer Nature. Chap. 44, p. 1272–1312 (cf. p. 62, 82).

- PAOLI, C., A. MORTEN, C. N. BIANCHI, C. MORRI, M. FABIANO et P. VASSALLO (2016). « Capturing ecological complexity : OCI, a novel combination of ecological indices as applied to benthic marine habitats ». In : *Ecological Indicators* 66, p. 86–102 (cf. p. 62, 118).
- PASSET, R. (1989). « L'économie de l'environnement et de la biosphère. » In : *Cahier du C3E* (cf. p. 22).
- PÉRÈS, J. et J.M. PICARD (1951). « Notes sur les fonds coralligènes de la région de Marseille. » In : *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale* 88, p. 24–38 (cf. p. 65).
- PÉRÈS, J.M. et J. PICARD (1964). « Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. » In : *Recueil Travaux Station Marine Endoume* 31, p. 1–137 (cf. p. 107).
- PEREZ, T., J. GARRABOU, S. SARTORETTO, J.-G. HARMELIN, P. FRANCOUR et J. VACELET (2000). « Mortalité massive d'invertébrés marins : un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale ». In : *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie* 323.10, p. 853–865 (cf. p. 52).
- PERRINGS, C., C. FOLKE et K. G. MÄLER (1992). « The Ecology and Economics of Biodiversity Loss : The Research Agenda ». In : *Ambio*, p. 201–211 (cf. p. 22).
- PIAZZI, L., G. CECCHERELLI, A. MEINESZ, M. VERLAQUE, B. AKALI, B. ANTOLIC, M. ARGYROU, D. BALATA, E. BALLESTEROS, S. CALVO, F. CINELLI, R. D'ARCHINO, A.S. DJELLOULI, F. JAVEL, C. MIFSUD, D. PALA, P. PANAYOTIDIS, A. PEIRANO, G. PERGENT, A. PETROCELLI, S. RUITTON et A. ZULJEVIC (2005). « No Invasion of *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea : the balance of thirteen years of spread. » In : *Cryptogamie Algologie* 26, p. 189–202 (cf. p. 63).
- PIAZZI, L., P. GENNARO et D. BALATA (2012). « Threats to macroalgal coralligenous assemblages in the Mediterranean Sea ». In : *Marine Pollution Bulletin* 64.12 (cf. p. 53).
- PIAZZI, L., G. PARDI, D. BALATA, E. CECCHI et F. CINELLI (2002). « Seasonal dynamics of a subtidal north-western Mediterranean macroalgal community in relation to depth and substrate inclination ». In : *Botanica Marina* 45.3, p. 243–252 (cf. p. 51).
- PIRAGES, D. et P. EHRLICH (1974). « ArkII : Social response to environmental imperatives ». In : sous la dir. de W. FREEMAN. San Francisco (cf. p. 168).

Bibliographie

- PLOUVIER, T. (2014). *Pratiques de la plongée sous-marine sur le littoral marseillais, éléments de connaissance pour une aide à la gestion*. Rapp. tech. (cf. p. 126, 130, 158).
- POTSCHIN-YOUNG, M, R HAINES-YOUNG, C GÖRG, U HEINK, K JAX et C SCHLEYER (2017). « Understanding the role of conceptual frameworks : Reading the ecosystem service cascade ». In : *Ecosystem Services* (cf. p. 95).
- RAMOS, A.A. (1991). « Ascidiés litorales del Mediterráneo ibérico. Faunística, ecología y biogeografía. » Thèse de doct. Universidad de Alicante.
- RIEDL, R. (1983). *Fauna und Flora des Mittelmeers*. 3rd editio. Hamburg (cf. p. 108).
- ROBERT, S. (2017). « Integrated geographical approach of the marine coastal zone Lieux et pratiques de la plongée sous-marine sur la côte marseillaise : pour une approche géographique intégrée de l'espace marin littoral ». In : 17, p. –23.
- ROMANO, J.-C., N. BENSOUSSAN, W.a.N. YOUNES et D. ARLHAC (2000). « Anomalies thermiques dans les eaux du Golfe de Marseille durant l'été 1999. Une explication partielle de la mortalité des invertébrés fixés ». In : *Academic Sciences* 323, p. 853–865 (cf. p. 52).
- ROS, J, I OLIVELLA et JM GILI (1984). *Els Sistemes Naturals de les Illes Medes*. Barcelona (cf. p. 110).
- ROSELL, D et M. J. URIZ (2002). « Excavating and endolithic sponge species (Porifera) from the Mediterranean : species descriptions and identification key. » In : *Organisms Diversity and Evolution* 2, p. 55–86.
- ROSSI, S., G. TSOUNIS, C. OREJAS, T. PADRÓN, J. M. GILI, L. BRAMANTI, N. TEIXIDÓ et J. GUTT (2008). « Survey of deep-dwelling red coral (*Corallium rubrum*) populations at Cap de Creus (NW Mediterranean) ». In : *Marine Biology* 154.3, p. 533–545 (cf. p. 108).
- SALA, E., J. GARRABOU et M. ZABALA (1996). « Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan *Pentapora fascialis* ». In : *Marine Biology* 126.3, p. 451–459 (cf. p. 51).
- SANTANGELO, G. et M. ABBIATI (2001). « Red coral : conservation and management of an over - exploited Mediterranean species ». In : *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems* 11.November 2000, p. 253–259.
- SANTANGELO, G, M ABBIATI, F GIANNINI et F CICOGNA (1993). *Red coral fishing trends in the western Mediterranean Sea during the period 1981-1991* (cf. p. 112).

- SARTORETTO, S. (1996). « Vitesses de croissance et de bioérosion des concrétionnements coralligènes de Méditerranée nord-occidentale. Rapport avec les variations Holocènes du niveau marin. » Thèse de doct. Université d'Aix-Marseille 2 (cf. p. 45).
- SARTORETTO, S. et P. FRANCOUR (1997). « Quantification of bioerosion by *Sphaerorchinus granularis* on Coralligène concretions of the western mediterranean ». In : *Journal of Marine Biological* 77, p. 565–568 (cf. p. 52).
- SARTORETTO, S., T. SCHOHN, C. N. BIANCHI, C. MORRI, J. GARRABOU, E. BALLESTEROS, S. RUITTON, M. VERLAQUE, B. DANIEL, E. CHARBONNEL, S. BLOUET, R. DAVID, J.-P. FÉRAL et G. GATTI (2017). « An integrated method to evaluate and monitor the conservation state of coralligenous habitats : The INDEX-COR approach ». In : *Marine Pollution Bulletin* 120.1-2, p. 222–231 (cf. p. 62, 64, 65, 118).
- SCHAAFSMA, M et R K TURNER (2015). « Valuation of coastal and marine ecosystem services : A literature Review ». In : *Coastal zones ecosystem services*. Sous la dir. de R. TURNER et M SCHAAFSMA. Springer, p. 103–125 (cf. p. 221).
- SCHLEYER-LINDENMANN, A., B. DAUVIER, H. ITTNER et M. PIOLAT (2016). « Mesure des attitudes environnementales : analyse structurale d'une version française de la NEPS (Dunlap et al., 2000). » In : *Psychologie française* 61.2, p. 83–102 (cf. p. 168, 181).
- SCORSONELLI, F., H. CHAUVEZ et M.-L. GARRIER (2012). *100 belles plongées à Marseille et dans sa région*. Sous la dir. d'Éditions GAP. 2^e éd., p. 346 (cf. p. 125, 132, 134).
- SERPANTIÉ, G., P. MÉRAL et C. BIDAUD (2012). « Des bienfaits de la nature aux services écosystémiques ». In : *VertigO - la revue électronique en sciences de l' environnement* 12.2, p. 1–28 (cf. p. 31).
- SIMKISS, K. (1964). « Phosphates as crystal poisons of calcification. » In : *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 39, p. 487–505 (cf. p. 51).
- SKULMOSKI, G. J. et F. T. HARTMAN (2007). « The Delphi Method for Graduate Research ». In : *Journal of Information Technology Education* 6.1, p. 1–21 (cf. p. 67).
- SLOVIC, P. (1995). « The construction of preference ». In : *American Psychologist* 50.5, p. 364–371 (cf. p. 167).

Bibliographie

- SPASH, C. L. (2002). « Informing and forming preferences in environmental valuation : Coral reef biodiversity ». In : *Journal of Economic Psychology* 23.5, p. 665–687 (cf. p. 167).
- TABATA, R. S. (1992). « Scuba diving holidays ». In : sous la dir. de B WEILER et C M HALL. London, UK : Belhaven Press, p. 171–184 (cf. p. 127).
- TEEB (2008). *L'économie des écosystèmes et de la biodiversité*. Rapp. tech., p. 64 (cf. p. 24).
- TEIXIDÓ, N, A ALBAJES-EIZAGIRRE, D BOLBO, E LE HIR, M DEMESTRE, J GARRABOU, L GUIGUES, Jm GILI, J PIERA, T PRELOT et A SORIA-FRISCH (2011). « Hierarchical segmentation-based software for cover classification analyses of seabed images (Seascape) ». In : *Marine Ecology Progress Series* 431, p. 45–53 (cf. p. 45, 52).
- TESCIONE, G. (1973). « The italians and their coral fishing ». In : *FaustoFiorentino, Napoli*, p. 490 (cf. p. 108).
- THORIN, S., P. BODILIS, T. SCHVARTZ, E. DUTRIEUX et P. FRANCOUR (2014). *Underwater seascapes : From geographical to ecological perspectives*. Sous la dir. d'O. MUSARD, L. LE DÛ-BLAYO, P. FRANCOUR, J.-P. BEURIER, E. FEUNTEUN et L. TALASSINOS. Springer Science & Business Media. Chap. chapitre 1, p. 263–275 (cf. p. 127, 158).
- TONIN, S. (2017). « Economic value of marine biodiversity improvement in coralligenous habitats ». In : *Ecological Indicators* 85 (cf. p. 222).
- TONIN, Stefania et Greti LUCARONI (2017). « Understanding social knowledge, attitudes and perceptions towards marine biodiversity : The case of tegnùe in Italy ». In : *Ocean & Coastal Management* 140, p. 68–78. ISSN : 09645691. DOI : [10.1016/j.ocecoaman.2017.02.019](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.02.019). URL : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0964569117301837> (cf. p. 227).
- TORRENTS, O. (2007). « Biologie des populations du corail rouge de Méditerranée nord-occidentale ». Thèse de doct., p. 230 (cf. p. 108–110, 113).
- TORTONESE, E. (1965). *Fauna d'Italia. Echinodermata*. Bologna : Calderini.
- TRIBOT, A.-S., N. MOUQUET, S. VILLÉGER, M. RAYMOND, F. HOFF, P. BOISSERY, F. HOLON et J. DETER (2016). « Taxonomic and functional diversity increase the aesthetic value of coralligenous reefs ». In : *Nature, scientific reports* 6.August, p. 1–12 (cf. p. 50, 64, 128, 158, 223).

- TURNER, R. K., J. PAAVOLA, P. COOPER, S. FARBER, V. JESSAMY et S. GEORGIU (2003). « Valuing nature : Lessons learned and future research directions ». In : *Ecological Economics* 46.3, p. 493–510 (cf. p. 34).
- TVERSKY, A. et D. KAHNEMAN (1991). « Loss aversion in riskless choice : A reference-dependent model ». In : *The Quarterly Journal of Economics* 106, p. 1039–1061 (cf. p. 38).
- UNEP/MAP-RAC/SPA (2008). *Guide for risk analysis assessing the impacts of the introduction of non-indigenous species*. Rapp. tech. Tunis : UNEP/MAP-RAC/SPA, p. 30 (cf. p. 40, 53).
- WALLACE, K. J. (2007). *Classification of ecosystem services : Problems and solutions* (cf. p. 28).
- WATTAGE, P., H. GLENN, S. MARDLE, T. VAN RENSBURG, A. GREHAN et N. FOLEY (2011). « Economic value of conserving deep-sea corals in Irish waters : A choice experiment study on marine protected areas ». In : *Fisheries Research* 107.1-3, p. 59–67 (cf. p. 221).
- WEGENER, M. (1994). « Operational urban models state of the art. » In : *Journal of the American planning Association* 60.1, p. 17–29 (cf. p. 170).
- WHITEHEAD, P.J.P., M.L. BAUCHOT, J.C. HUREAU, J. NIELSEN et E. TORTONESE, édés. *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Bungay : Chaucer.
- WITKOWSKI, F., A. VION et M. BOUCHOUCHA (2016). « L'ichtyofaune associée aux fonds coralligènes de l'île de Port-Cros (Var, Provence , France) – assemblages et rythmes diurnes ». In : 252, p. 229–252 (cf. p. 65).
- ZABALA, Mikel (1986). « Fauna dels briozous dels Països Catalans. » In : *Arxius Secció Ciències* 84, p. 1–833.
- ZHAO, J. et C. L. KLING (2001). « A new explanation for the WTP/WTA disparity ». In : *Economics Letters* 73.3, p. 293–300 (cf. p. 38).
- ZIBROWIUS, H., V. MONTEIRO MARQUES et M. GRASSHOFF (1984). « La répartition du *Corallium rubrum* dans l'Atlantique ». In : *Téthys* 11.2, p. 163–170 (cf. p. 108).

ANNEXES

A. Annexe du chapitre 1 : Descriptif du questionnaire en ligne communiqué aux experts

n1 : Number of participants from answering the particular question about Marseille area

n2 : Number of participants answering the particular question about Port-Cros area

N : Sum of participants answering the particular question.

Questions	Answers type or choices	n1	n2	N
PART 1 : Vocabulary				
1) In what terms would you refer to coralligenous habitats to general public ?	Free text (Not compulsory)	23	18	41
2) In what terms would you refer to ecosystem services to general public	Free text (Not compulsory)	25	18	43
PART 2 : Services provided by coralligenous habitats				
3) According to you, are the following ecosystem services provided by coralligenous habitats ? -> ES-list	Multiple choices (5): "Yes I'm sure", "Yes I think", "I don't know", "No, I don't think so", "No, I'm sure" (Compulsory)	25	18	43
4) List other services that you think provided by coralligenous habitats	Free text (Not compulsory)	9	7	16
5) What level of importance for human well-being do you suspect for each services ? -> Services from ES-list selected at 3).	Multiple choice (3)s : "Strong importance", "Middle importance", "Low importance" (Not compulsory)	25	18	43
6) According to you, are coralligenous habitats replaceable ? -> Services from ES-list selected at 3).	Multiple choices (4) : "Irreplaceable : only provided by coralligenous habitats", "Partly replaceable : other habitats can provide the same service but at lower quality or quantity", "Totally replaceable : other habitats provide this service at the same level at least", "I don't know" (Not compulsory)	25	18	43
7) indicate alternatives to coralligenous habitats for the following services ES-list	Free text (Not compulsory)	25	18	43
8) Comments on part 2	Free text (Not compulsory)	11	10	21

*n1 : Number of participants from answering the particular question about Marseille area
n2 : Number of participants answering the particular question about Port-Cros area
N : Sum of participants answering the particular question.*

Questions	Answers type or choices	n1	n2	N
PART 3 : Classification of services provided by coralligenous habitats				
9) According to you, which are the most important services ? Select at least 6 service	Multiple choice (15): ES-list (<i>Not compulsory</i>)	25	18	43
10) Rank the services that you selected in order of importance ("1" for the most important)	Multiple numerical input (controlled) (<i>Not compulsory</i>)	25	18	43
11) On which criterion did you base your ranking ?	Multiple choices (5) : "A service is more important especially as it forms the basis of others", "A service is more important especially as it is perceived by a large population", "A service is more important especially as it impacts a large population", "A service is more important especially as it is threatened", "other reason". (<i>Not compulsory</i>)	25	18	43
12) Comments on part 3	Free text (<i>Not compulsory</i>)	7	4	11
PART 6 : Respondent profiles				
21) Tick your profiles	Multiple choices () : "Researcher", "Marine area manager", "Economist", "Ecologist/Biologist", "Professional fisherman", "Diving structure", "Diver (leisure)", "In charge of coralligenous monitoring", "In charge of monitoring of activities on coralligenous habitats", "Other" (<i>Not compulsory</i>)	25	18	43
22) Are coralligenous habitats your speciality ?	Yes/No (<i>Not compulsory</i>)	23	14	37
23) For how long have you work on coralligenous habitats ?	Numerical (<i>Not compulsory</i>)	7	1	8
24) What is your main discipline ?	Free text (<i>Not compulsory</i>)	16	12	28
25) Comments on part 6	Free text (<i>Not compulsory</i>)	8	3	11

B. Annexe du chapitre 3 : Exemple d'une fiche de sécurité de plongée

Date :	12-juin-15	
Lieu de plongée :	Marseille	
Site de plongée :	Pharillons	
Bateau :	Pitchoune	
Pilote :	Marius Fabe	
Sécurité surface :	Marius Fabe	

Palanquée 1	Niv	Apt	Paramètres & Consignes DP			
M. Cinto	E4		HD	HS	Prof	Durée
A. Catalan	P2		14h49	15h48	20m	60'
M. Dupont	P2		Paliers		Paramètres	
			6m	3m	Prof	Durée
				3	17m	51'

Plongeurs	Niveau	Qualif
M. Dupont	P2	PE40
A. Catalan	P2	PE40
R. Auffes	E2	
P. Rouvières	P4	PA60
S. Caruzzo	P3	PA60
M. Cinto	E4	
E. Herva	P3	PA60
B. Thierry	P1	PE20
M. Liguori	P1	PE20
P. Forest	P3	PA60
S. Carry	P4	PA60
C. Philibert	E2	
F. Sonnette	E3	

Palanquée 2	Niv	Apt	Paramètres & Consignes DP			
P. Rouvières	P4		HD	HS	Prof	Durée
S. Caruzzo	P3		14h47	15h42	20m	60'
R. Auffes	E2		Paliers		Paramètres	
			6m	3m	Prof	Durée
				3	18m	43'

Palanquée 3	Niv	Apt	Paramètres & Consignes DP			
F. Sonnette	E3		HD	HS	Prof	Durée
B. Thierry	P1		14h58	15h48	20m	60'
M. Liguori	P1		Paliers		Paramètres	
			6m	3m	Prof	Durée
				3	17m	50'

Palanquée 4	Niv	Apt	Paramètres & Consignes DP			
E. Herva	P3		HD	HS	Prof	Durée
S. Carry	P4		14h40	15h38	20m	60'
			Paliers		Paramètres	
			6m	3m	Prof	Durée
				3	16m	52'

Palanquée 5	Niv	Apt	Paramètres & Consignes DP			
C. Philibert	P4		HD	HS	Prof	Durée
P. Forest	P3		14h44	15h38	20m	60'
			Paliers		Paramètres	
			6m	3m	Prof	Durée
				3	16m	54'

Palanquée 6	Niv	Apt	Paramètres & Consignes DP			
			HD	HS	Prof	Durée
			Paliers		Paramètres	
			6m	3m	Prof	Durée

Notes :

**C. Annexe du chapitre 3 : Cartographie de la
fréquentation des sites de plongée**

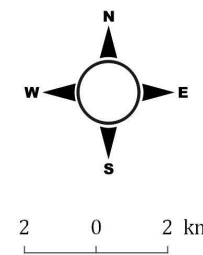
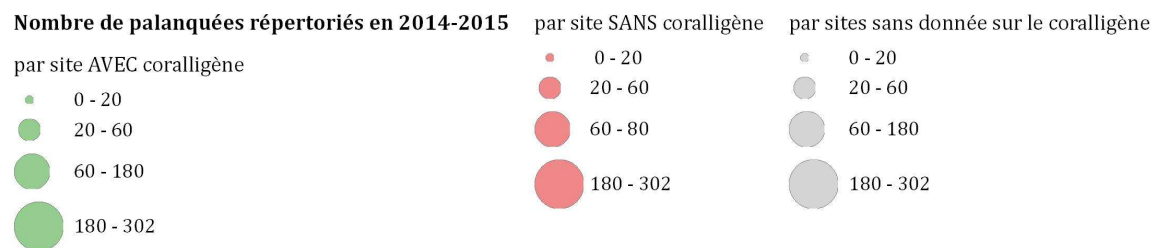
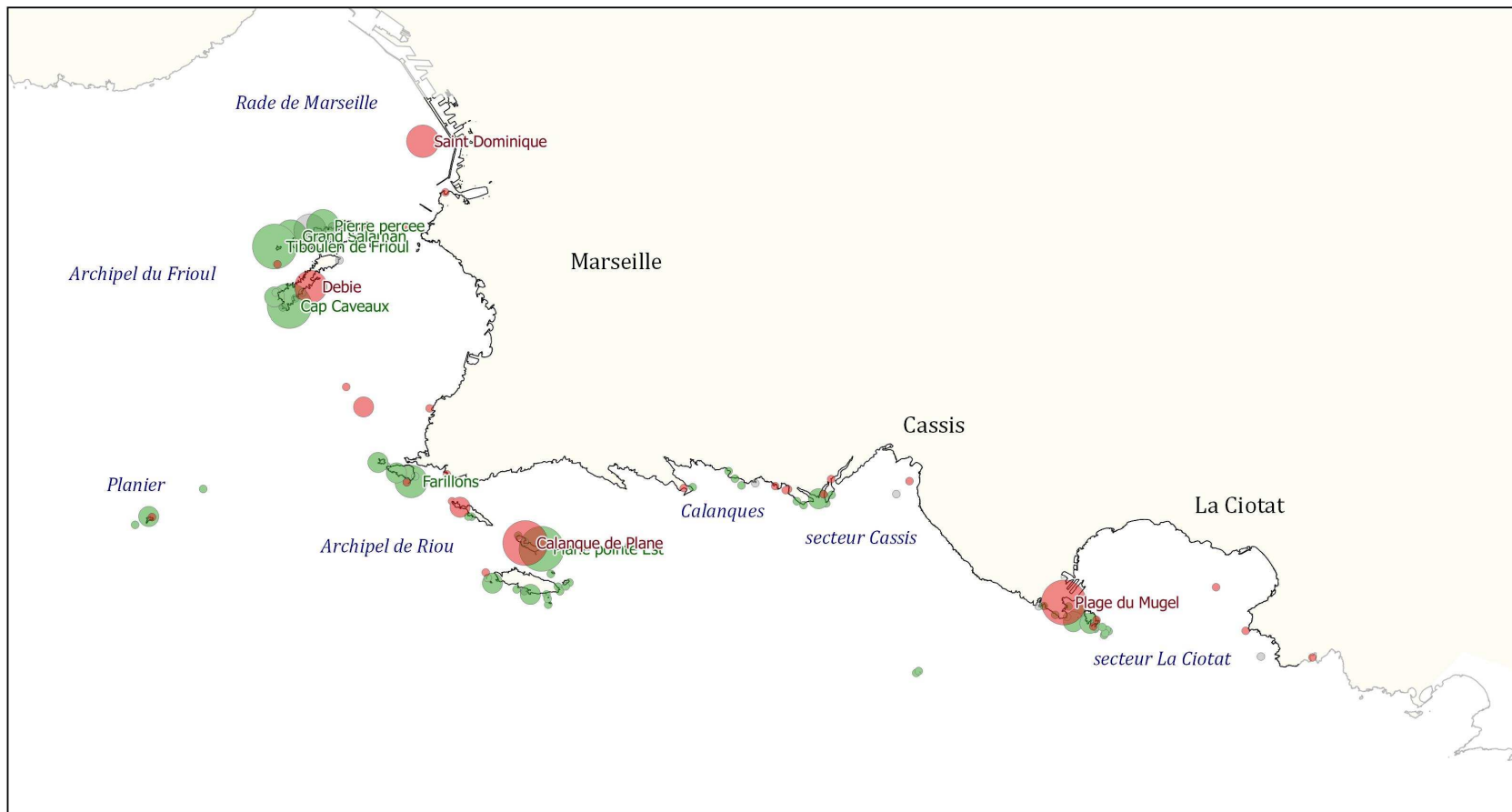


Figure .1. – Carte de fréquentation des sites de plongée par les 8 structures de l'échantillon en 2014-2015

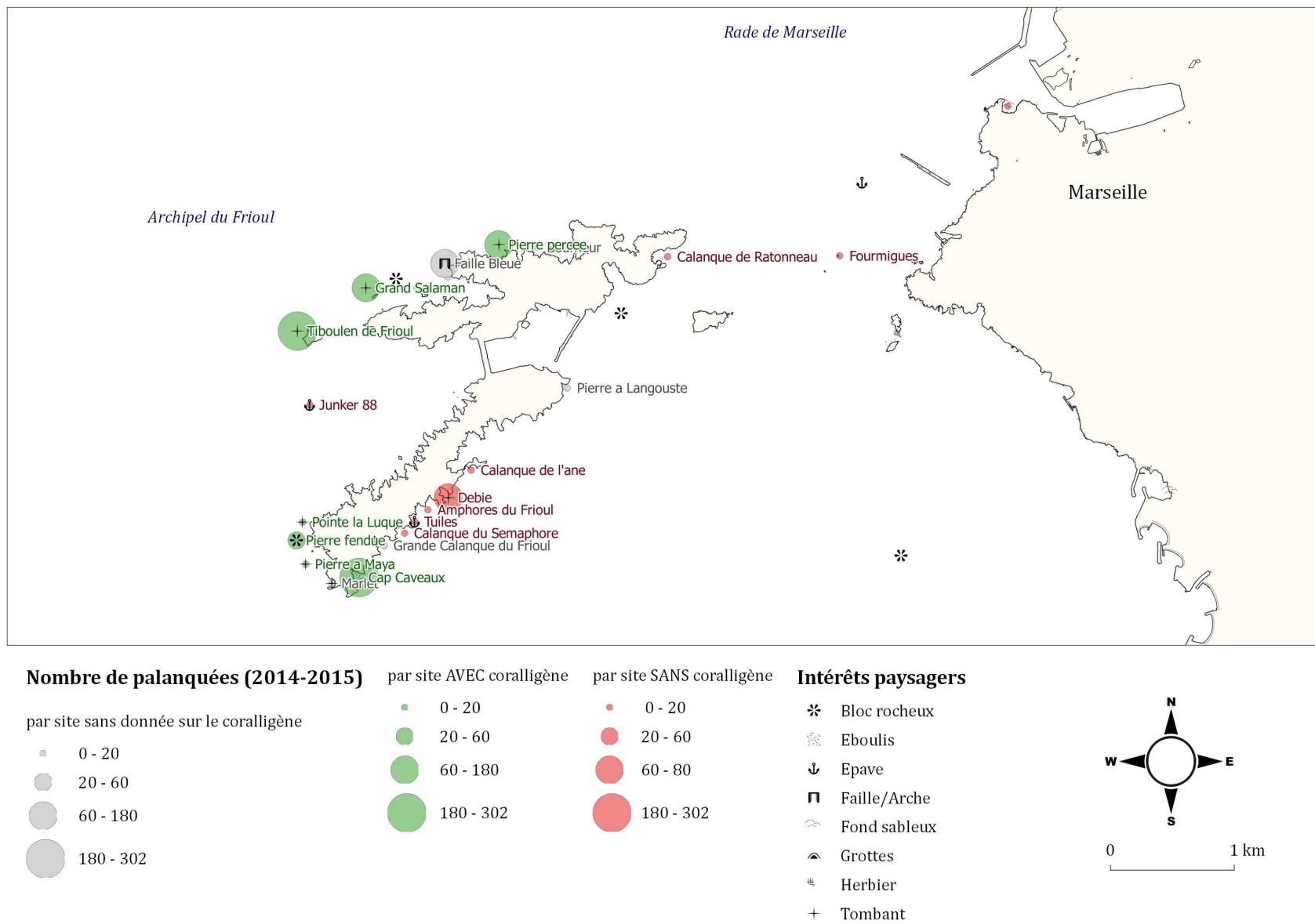
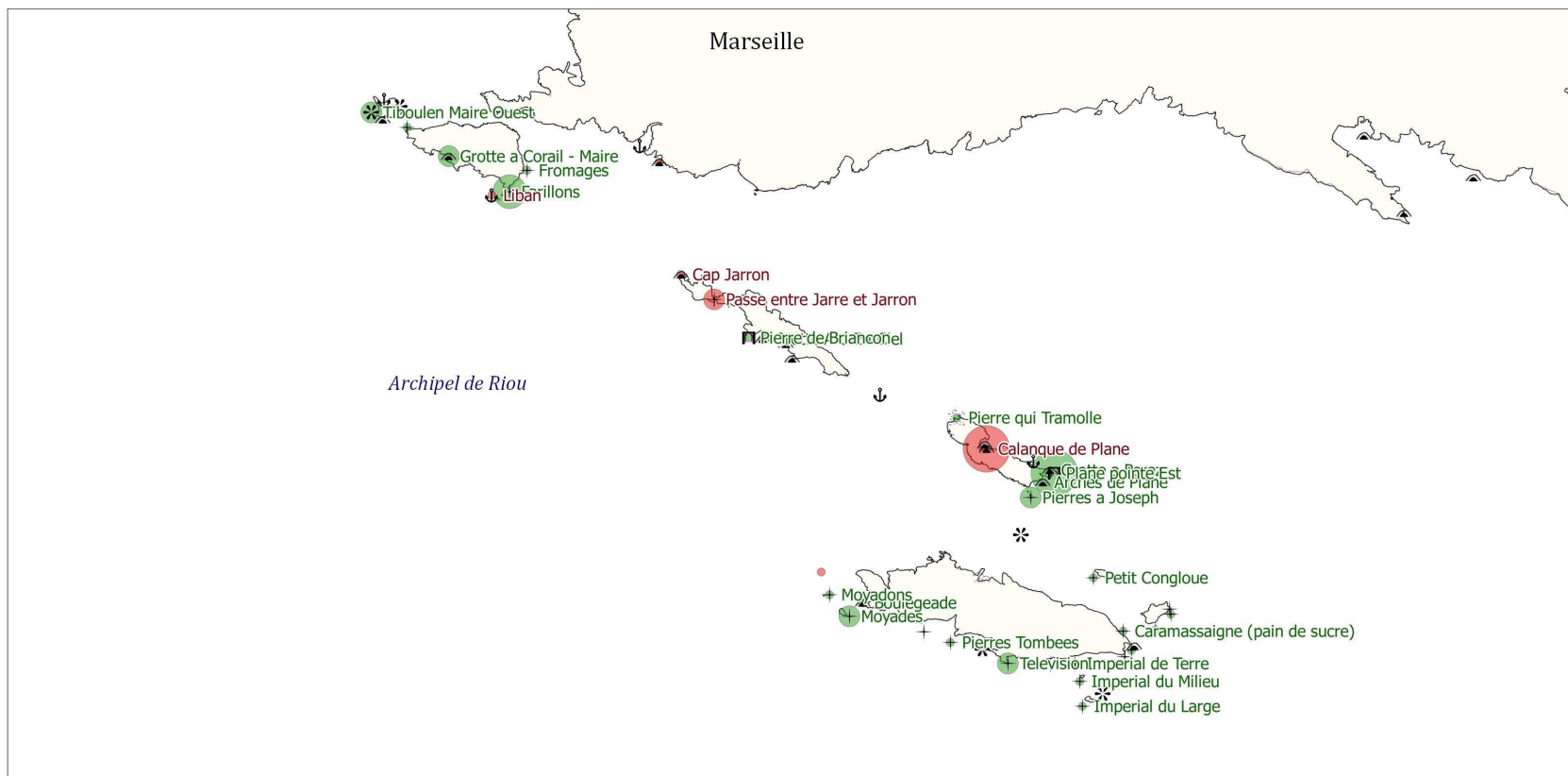
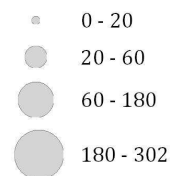


Figure .2. – Carte de fréquentation des sites de plongée des secteurs "Archipel du Frioul" et "Rade de Marseille" par les 8 structures de l'échantillon en 2014-2015

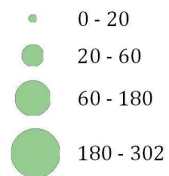


Nombre de palanquées (2014-2015)

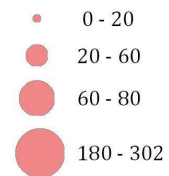
par site sans donnée sur le coralligène



par site AVEC coralligène



par site SANS coralligène



Intérêts paysagers

- * Bloc rocheux
- ☼ Eboulis
- ⚓ Epave
- ▣ Faille/Arche
- ⌋ Fond sableux
- ⌒ Grottes
- ☼ Herbière
- + Tombant

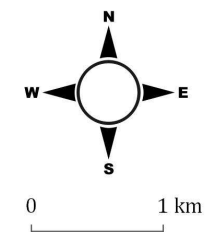


Figure .3. – Carte de fréquentation des sites de plongée du secteur "Archipel de Riou" par les 8 structures de l'échantillon en 2014-2015

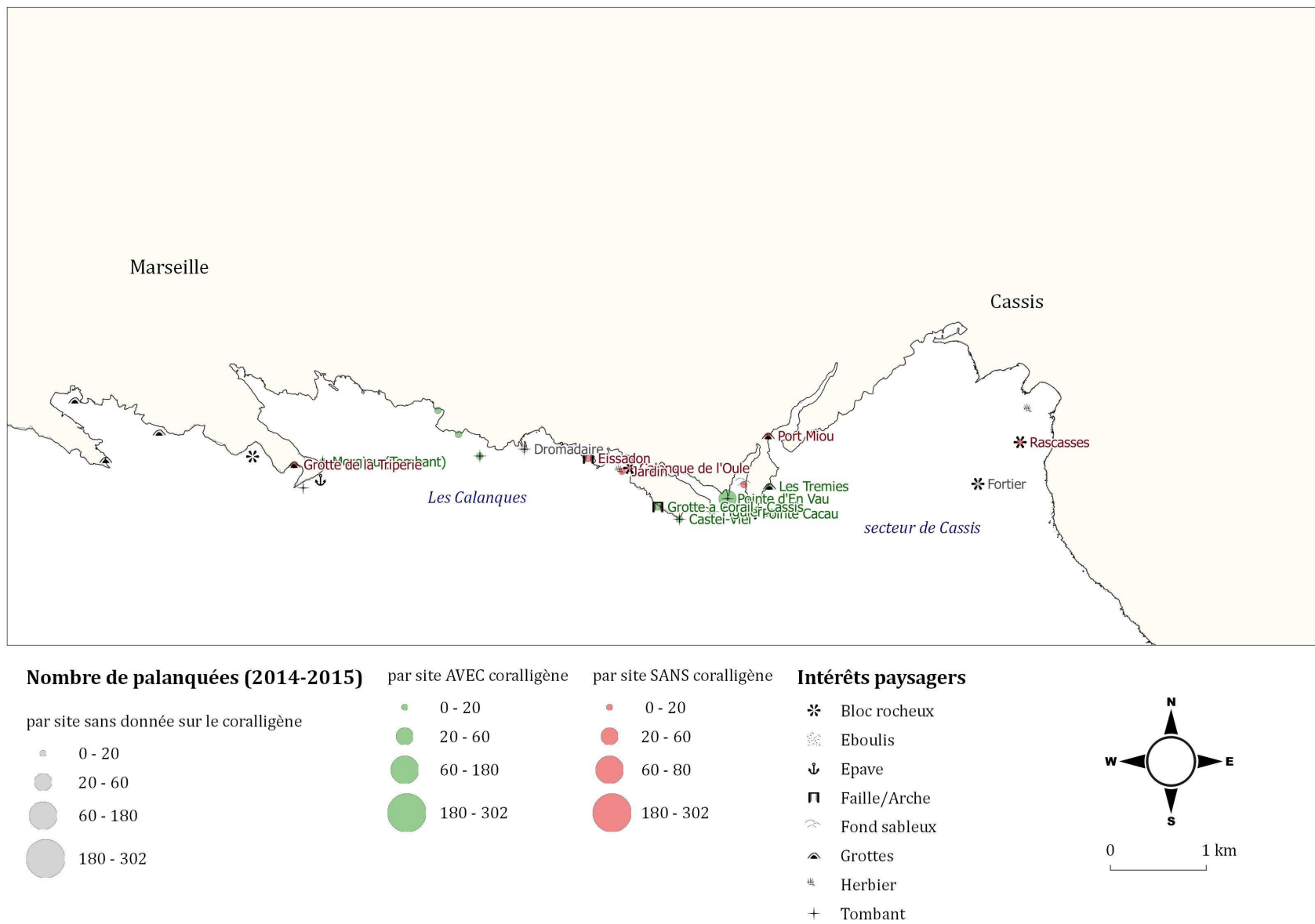
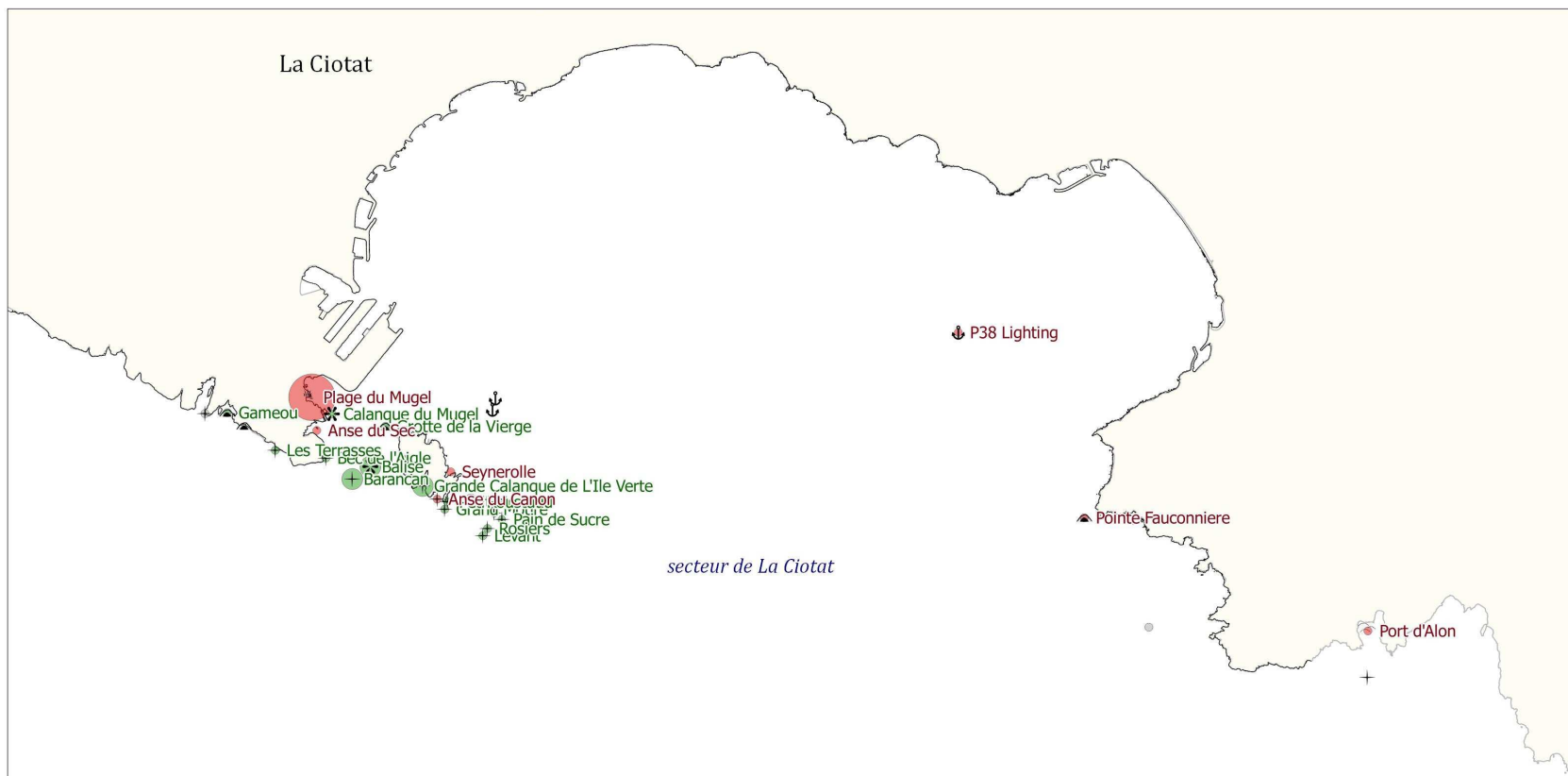
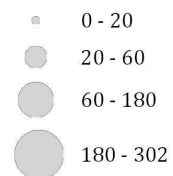


Figure .4. – Carte de fréquentation des sites de plongée des secteurs "Les Calanques" et "Cassis" par les 8 structures de l'échantillon en 2014-2015

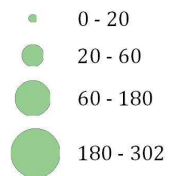


Nombre de palanquées (2014-2015)

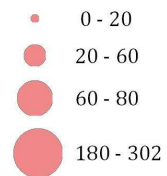
par site sans donnée sur le coralligène



par site AVEC coralligène



par site SANS coralligène



Intérêts paysagers

- ✱ Bloc rocheux
- ☄ Eboulis
- ⚓ Epave
- ⌈ Faille/Arche
- ⌋ Fond sableux
- ⌒ Grottes
- ☪ Herbier
- + Tombant

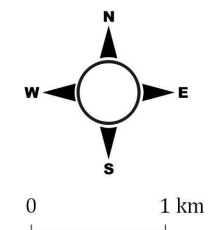


Figure .5. – Carte de fréquentation des sites de plongée du secteur "La Ciotat" par les 8 structures de l'échantillon en 2014-2015

D. Annexe du chapitre 3 : Estimations du modèle expliquant le nombre de palanquées recensées par sites de plongée (modèle de type NB2, selon 4 spécifications)

Figure .6. – Modèle 1

Truncated negative binomial regression

Truncation point: 0
 Dispersion = mean
 Log likelihood = -482.19946

Number of obs = 97
 Wald chi2(5) = 22.65
 Prob > chi2 = 0.0004

NbPalanquees	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Coralligene	1.067609	.327489	3.26	0.001	.4257426	1.709476
MoyNivMini	.0880343	.5461199	0.16	0.872	-.982341	1.15841
MoyObj	-3.040938	1.476657	-2.06	0.039	-5.935133	-.1467432
NW_protect	.3047573	.3156815	0.97	0.334	-.3139671	.9234818
SE_protect	.2003139	.3501564	0.57	0.567	-.4859801	.8866079
_cons	4.984984	.9721412	5.13	0.000	3.079622	6.890346
/lnalpha	.8775614	.209647			.4666609	1.288462
alpha	2.405028	.5042067			1.594661	3.627203
Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	97	-489.2966	-482.1995	7	978.3989	996.4219

Average marginal effects
 Model VCE : Robust

Number of obs = 97

Expression : Predicted number of events, predict()
 dy/dx w.r.t. : Coralligene

	dy/dx	Delta-method Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Coralligene	72.833	29.28506	2.49	0.013	15.43534	130.2307

Figure .7. – Modèle 2

Truncated negative binomial regression
 Truncation point: 0
 Dispersion = mean
 Log likelihood = -471.14019
 Number of obs = 97
 Wald chi2(13) = 87.91
 Prob > chi2 = 0.0000

NbPalanquees	Coef.	Robust		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
		Std. Err.					
Coralligene	1.540083	.5200435		2.96	0.003	.5208169	2.55935
Blocrocheux	.4385234	.4659163		0.94	0.347	-.4746558	1.351703
Eboulis	.9754699	1.571122		0.62	0.535	-2.103873	4.054813
Epave	1.956313	.9939375		1.97	0.049	.0082317	3.904395
FailleArche	1.250218	.4642796		2.69	0.007	.3402469	2.16019
Fondsableux	.1702051	1.305391		0.13	0.896	-2.388315	2.728725
Grottes	.4493115	.4060551		1.11	0.268	-.3465419	1.245165
Herbier	2.746307	.6576203		4.18	0.000	1.457395	4.035219
Tombant	1.468342	.4713774		3.12	0.002	.5444589	2.392224
MoyNivMini	-.4972722	.6696982		-0.74	0.458	-1.809857	.8153122
MoyObj	-1.497883	1.395607		-1.07	0.283	-4.233222	1.237456
NW_protect	-.0212966	.3505222		-0.06	0.952	-.7083074	.6657142
SE_protect	.2133503	.3141702		0.68	0.497	-.402412	.8291126
_cons	3.495675	.9366583		3.73	0.000	1.659858	5.331491
/lnalpha	.5579189	.1758077				.2133421	.9024958
alpha	1.747033	.3071419				1.237808	2.465749
Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC	
.	97	-489.2966	-471.1402	15	972.2804	1010.901	

Average marginal effects
 Model VCE : Robust
 Number of obs = 97

Expression : Predicted number of events, predict()
 dy/dx w.r.t. : Coralligene Epave FailleArche Herbier Tombant

	Delta-method		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	dy/dx	Std. Err.				
Coralligene	138.4507	123.2999	1.12	0.261	-103.2126	380.114
Epave	175.869	177.0194	0.99	0.320	-171.0827	522.8207
FailleArche	112.3923	88.34371	1.27	0.203	-60.75817	285.5428
Herbier	246.888	207.871	1.19	0.235	-160.5317	654.3077
Tombant	132.0012	103.7952	1.27	0.203	-71.43373	335.4361

Figure .8. – Modèle 3

Truncated negative binomial regression
 Truncation point: 0
 Dispersion = mean
 Log likelihood = -472.22797
 Number of obs = 97
 Wald chi2(9) = 69.92
 Prob > chi2 = 0.0000

NbPalanquees	Robust		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
Coralligene	1.855935	.6214618	2.99	0.003	.6378921	3.073978
Epave	1.760871	1.13163	1.56	0.120	-.4570825	3.978824
FailleArche	.9437242	.3710703	2.54	0.011	.2164398	1.671009
Herbier	2.75754	.6495292	4.25	0.000	1.484487	4.030594
Tombant	1.006202	.3590617	2.80	0.005	.3024542	1.70995
MoyNivMini	-.5349025	.7859074	-0.68	0.496	-2.075253	1.005448
MoyObj	-2.050485	1.486368	-1.38	0.168	-4.963713	.8627436
NW_protect	.0985957	.3080763	0.32	0.749	-.5052227	.7024141
SE_protect	.1131915	.2983348	0.38	0.704	-.471534	.6979169
_cons	4.172606	.8456722	4.93	0.000	2.515119	5.830093
/lnalpha	.5784869	.178414			.2288019	.9281718
alpha	1.783338	.3181724			1.257093	2.52988
Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	97	-489.2966	-472.228	11	966.4559	994.7778

Average marginal effects
 Model VCE : Robust
 Number of obs = 97

Expression : Predicted number of events, predict()
 dy/dx w.r.t. : Coralligene FailleArche Herbier Tombant

	Delta-method		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	dy/dx	Std. Err.				
Coralligene	145.2164	89.21767	1.63	0.104	-29.64704	320.0798
FailleArche	73.84107	39.86584	1.85	0.064	-4.294536	151.9767
Herbier	215.7619	109.9681	1.96	0.050	.2283675	431.2955
Tombant	78.72962	44.21487	1.78	0.075	-7.92994	165.3892

Figure .9. – Modèle 4

Truncated negative binomial regression
 Truncation point: 0
 Dispersion = mean
 Log likelihood = -472.22716
 Number of obs = 97
 Wald chi2(10) = 72.45
 Prob > chi2 = 0.0000

NbPalanquees	Robust					[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.	z	P> z			
Coralligene	1.861686	.675648	2.76	0.006	.5374407	3.185932	
Epave	1.771393	1.230415	1.44	0.150	-.6401753	4.182962	
FailleArche	.9435325	.3708749	2.54	0.011	.2166311	1.670434	
Tombant	1.007734	.3663885	2.75	0.006	.2896261	1.725843	
Herbier	2.676472	1.738868	1.54	0.124	-.7316468	6.08459	
Herbier#c.MoyNivMini							
1	.0553173	1.116344	0.05	0.960	-2.132677	2.243312	
MoyNivMini	-.5447594	.9035589	-0.60	0.547	-2.315702	1.226183	
MoyObj	-2.047404	1.50325	-1.36	0.173	-4.993721	.8989122	
NW_protect	.097202	.3095158	0.31	0.753	-.5094379	.7038418	
SE_protect	.1078374	.3589418	0.30	0.764	-.5956756	.8113504	
_cons	4.186117	.972072	4.31	0.000	2.280891	6.091343	
/lnalpha	.5786689	.1799083			.2260551	.9312827	
alpha	1.783663	.3208957			1.253645	2.537762	
Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC	
.	97	-489.2966	-472.2272	12	968.4543	999.3508	

Average marginal effects
 Model VCE : Robust
 Number of obs = 97

Expression : Predicted number of events, predict()
 dy/dx w.r.t. : Coralligene FailleArche Tombant

	Delta-method					[95% Conf. Interval]	
	dy/dx	Std. Err.	z	P> z			
Coralligene	145.2858	88.96393	1.63	0.102	-29.08025	319.6519	
FailleArche	73.63319	38.94622	1.89	0.059	-2.699995	149.9664	
Tombant	78.6435	43.33537	1.81	0.070	-6.29227	163.5793	

**E. Annexe du chapitre 3 : Présentation du programme
CIGESMED**

Partenaires

1. **CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, FR**
· **IMBE, UMR 7263, Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale, Station Marine d'Endoume, Marseille (coordination)**
· **MIO, UMR 7294, Institut Méditerranéen d'Océanographie Campus de Luminy, Marseille, FR**
· **SPE, UMR 6134, Sciences pour l'Environnement, Université de Corse, Corte, FR**

2. **Université EGE - Faculté des Pêcheries, Izmir, TR**
· **Université Dokuz Eylül**
· **Institut des Sciences et de Technologie Marines, Izmir, TR**
· **Faculté des Sciences, Izmir, TR**
· **Université Cela Bayar, Manisa, TR**
· **Ministère de la Forêt et de l'Eau, Direction Générale de la Gestion de l'eau, Ankara, TR**

3. **LIGAMEN - Arbres de connaissances, Marseille, FR**

4. **IFREMER - Centre de Méditerranée, La Seyne s/ Mer, FR**

5. **HCMR - Centre Grec de Recherche Marine, GR**
· **Institut de Biologie Marine, biotechnologie et aquaculture, Thalassocosmos, GR**
· **Institut d'Océanographie, Thalassocosmos / Athènes, GR**
· **Institut des Ressources Biologiques Marines, Thalassocosmos, GR**

6. **Parc National Marin de Zakynthos, GR, Sub-contractor**



FR - CNRS - ANR convention n° 12-SEAS-0001-01
FR - LIGAMEN - ANR convention n° 12-SEAS-0001-02
FR - IFREMER - ANR convention n° 12-SEAS-0001-03
GR - GSRT - 12SEAS-12-C2
TR - Tübitak contract n° 112Y393

© Photographies: Sandrine Ruitton, Fred Zuberer
Maquette: Jean-Pierre Féral



COORDINATEUR du Projet CIGESMED

Dr Jean-Pierre FERAL
courriel: jean-pierre.feral@imbe.fr
Tel : +33 491041614

GESTION DU PROJET CIGESMED

Dr Emilie EGEE
courriel: emilie.egaa@imbe.fr



Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

UMR 7263

Station Marine d'Endoume
Chemin de la Batterie des Lions
13007 Marseille (France)
URL: <http://www.imbe.fr>

CIGESMED



Seasera
EUF7ERA-NET

Indicateurs basés sur le coralligène pour évaluer et suivre le «Bon Etat Ecologique» des eaux côtières méditerranéennes



www.cigesmed.eu

CIGESMED est un projet Seasera (EUF7ERA-NET)

Vers une intégration européenne de la stratégie de recherche marine dans les programmes financés par la C.E. sous le thème 3: Développement d'indicateurs et soutien scientifique aux outils de gestion pour la détermination du Bon Etat Ecologique de la Méditerranée.

CIGESMED est un programme de 3 ans lancé par:

GR: 1er Janvier 2013 (GSRT)
TR: 1er Février 2013 (TÜBITAK)
FR: 1er Mars 2013 (ANR)



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

GSRT



Le **coralligène** est un environnement côtier méditerranéen clé complexe, à l'origine d'une très importante biodiversité. Il produit des biens (abris, nourriture, matière première) et des services dans plusieurs domaines (séquestration de CO₂). Les pollutions, les ancrages et la pêche au chalut peuvent le dégrader, tandis que la pêche traditionnelle comme la pêche à la ligne affectent principalement des espèces cibles. La fréquentation par les plongeurs est une autre cause de sa dégradation. Le coralligène peut également être sensible aux espèces allochtones envahissantes. Ces habitats qui sont de grande importance écologique, socio-économique et patrimoniale subissent également des pressions liées au réchauffement global.

L'**ambition** de CIGESMED est de comprendre les liens entre les pressions naturelles et anthropogènes et le fonctionnement de cet écosystème afin de définir et maintenir le bon état écologique (BEE) de la mer Méditerranée.

Une approche globale de la complexité permettra de mutualiser et de visualiser de grandes collections de données, et de gérer la connaissance pour étudier des écosystèmes. Des index, spécifiques au coralligène, destinés à évaluer le BEE, seront co-construits et validés par des scientifiques, des gestionnaires de parcs naturels marins et de réserves, et par la mise en place d'un réseau « de science participative ». L'utilisation des arbres de connaissance comme outils de tri, d'organisation et d'illustration de très grands ensembles de données hétérogènes constituera une approche originale.

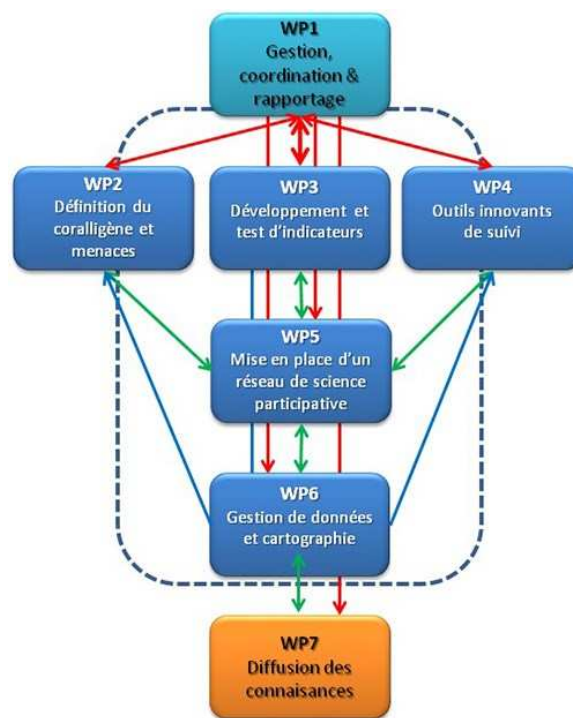
Les **résultats** seront une évaluation intégratrice du BEE *Bon Etat Ecologique* dans le cadre de la DCSMM *Directive Cadre pour une Stratégie sur le Milieu Marin*.

Pour atteindre ses objectifs, CIGESMED associe 10 laboratoires d'écologie marine français, grecs et turcs, qui travailleront sur des sites communs pour répondre aux mêmes questions dans les bassins méditerranéen Nord-occidental et Egé-Levantin.

Le **comité de pilotage**, comprenant les représentants des parties (responsables de WP) et le coordonnateur, sera responsable des prises de décision pratiques, de la planification stratégique et de l'exécution.

Un **comité des conseillers extérieurs** (scientifiques, parties prenantes et responsables politiques) se réunira sur une base annuelle, et visera à conseiller sur tous les aspects de l'exécution du projet pour faire en sorte que CIGESMED réponde à ses objectifs.

Modules de Travail (WP) Work Packages



Les objectifs de CIGESMED sont :

(1) de **combler les principales lacunes** de la connaissance scientifique actuelle sur les **habitats coralligènes** qui rendent difficile la formulation de recommandations pour les protéger, en développant le **barcoding** afin d'augmenter la fiabilité de l'identification des espèces dans des buts de conservation et de protection (espèces ingénieurs, envahissantes et cryptiques), et en étudiant la **structuration génétique** et les **capacités de dispersion** d'espèces clef de voûte ou d'espèces ingénieurs.

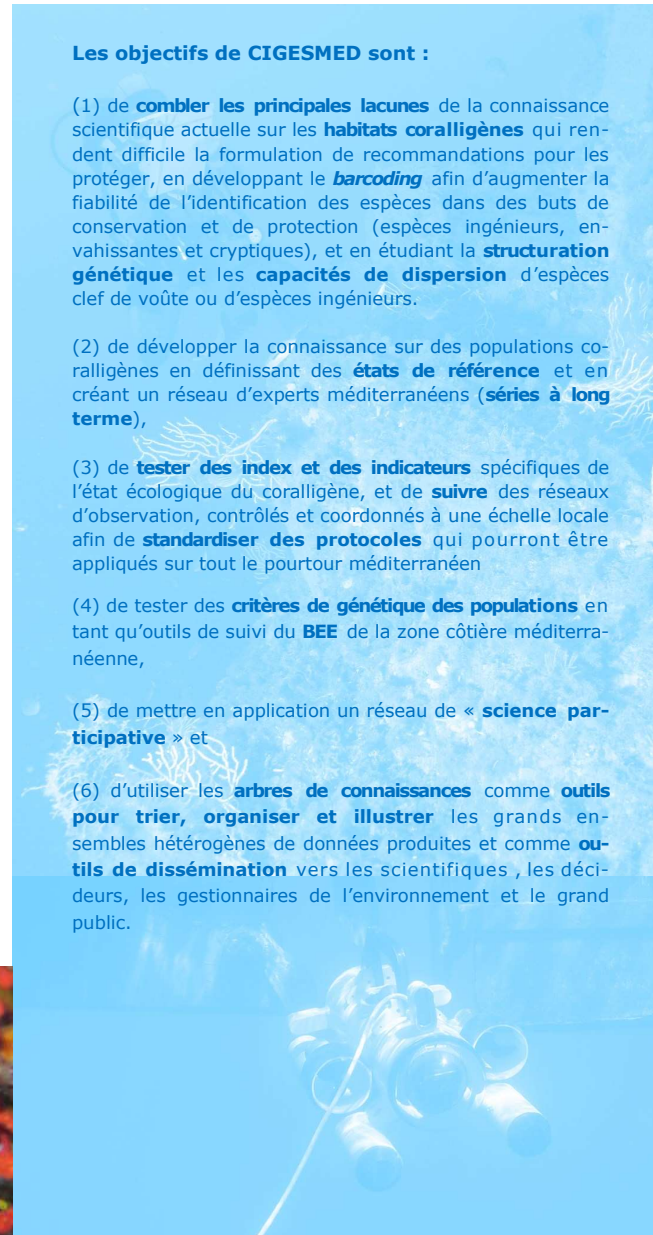
(2) de développer la connaissance sur des populations coralligènes en définissant des **états de référence** et en créant un réseau d'experts méditerranéens (**séries à long terme**),

(3) de **tester des index et des indicateurs** spécifiques de l'état écologique du coralligène, et de **suivre** des réseaux d'observation, contrôlés et coordonnés à une échelle locale afin de **standardiser des protocoles** qui pourront être appliqués sur tout le pourtour méditerranéen

(4) de tester des **critères de génétique des populations** en tant qu'outils de suivi du **BEE** de la zone côtière méditerranéenne,

(5) de mettre en application un réseau de « **science participative** » et

(6) d'utiliser les **arbres de connaissances** comme **outils pour trier, organiser et illustrer** les grands ensembles hétérogènes de données produites et comme **outils de dissémination** vers les scientifiques, les décideurs, les gestionnaires de l'environnement et le grand public.



**F. Annexe du chapitre 4 : Questionnaire de l'enquête
menée pour appliquer la méthode des choix discrets**

Session : Dépliant : O / N N° du questionnaire :



ENQUETE

Nous sommes une équipe de recherche rattachée à l'université d'Aix Marseille et au CNRS.

Nous réalisons une enquête auprès du public sur la protection et la conservation d'écosystèmes marins typiques dans la région : les habitats coralligènes.

Les résultats seront publics et disponibles sur le site internet de notre université dans quelques mois.

Pour nous contacter :
laure.thierry@imbe.fr
dominique.ami@univ-amu.fr

C'est parti !

Commencez par le questionnaire sur les habitats coralligènes.

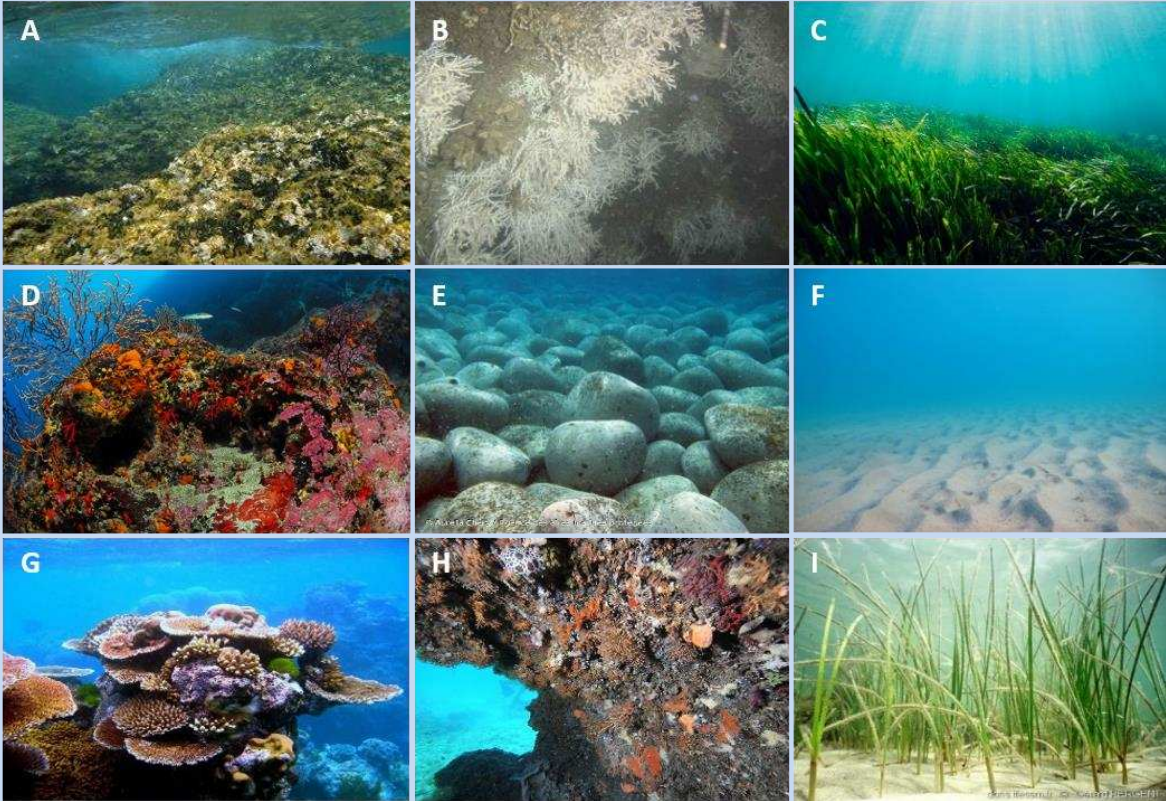
A. LES HABITATS CORALLIGENES

Votre avis nous intéresse quelle que soit votre connaissance de ces habitats.
Répondez simplement.

- A1. Avez-vous déjà entendu parler des habitats coralligènes ? oui non
A2. Avez-vous déjà vu des habitats coralligènes en photo ou en vidéo ? oui non
A3. Avez-vous déjà vu des habitats coralligènes in situ ? oui non
A4. Pensez-vous savoir définir ce que sont les habitats coralligènes ? oui non

N° du questionnaire :

A5. D'après vous quelle photo montre un habitat coralligène ? une seule réponse possible



La photo qui représente un habitat coralligène est :
(notez la lettre correspondant à la photo, une seule réponse possible).

A6. Trouve-t-on les habitats coralligènes aux profondeurs suivantes en Méditerranée ?

Cochez (plusieurs réponses possibles) :

- 0-10 m 10-40 m 40-60 m > 60 m > 200 m

A7. Parmi les espèces suivantes, lesquelles peut-on trouver dans les habitats coralligènes ?

Entourez une des 3 réponses sous chaque photo :

"Oui" ou "Non" ou "?" (Je ne sais pas)

Une seule réponse possible.



Mérou
Oui / Non / ?



Grande nacre
Oui / Non / ?



Algues rouges calcaires
Oui / Non / ?



Corail table
Oui / Non / ?



Langouste
Oui / Non / ?



Posidonie
Oui / Non / ?



Corail rouge
Oui / Non / ?



Chirurgien bleu
Oui / Non / ?



Gorgone pourpre
Oui / Non / ?



Uranoscope
Oui / Non / ?



Grondin
Oui / Non / ?



Bénitier
Oui / Non / ?



Barbier
Oui / Non / ?

N° du questionnaire :

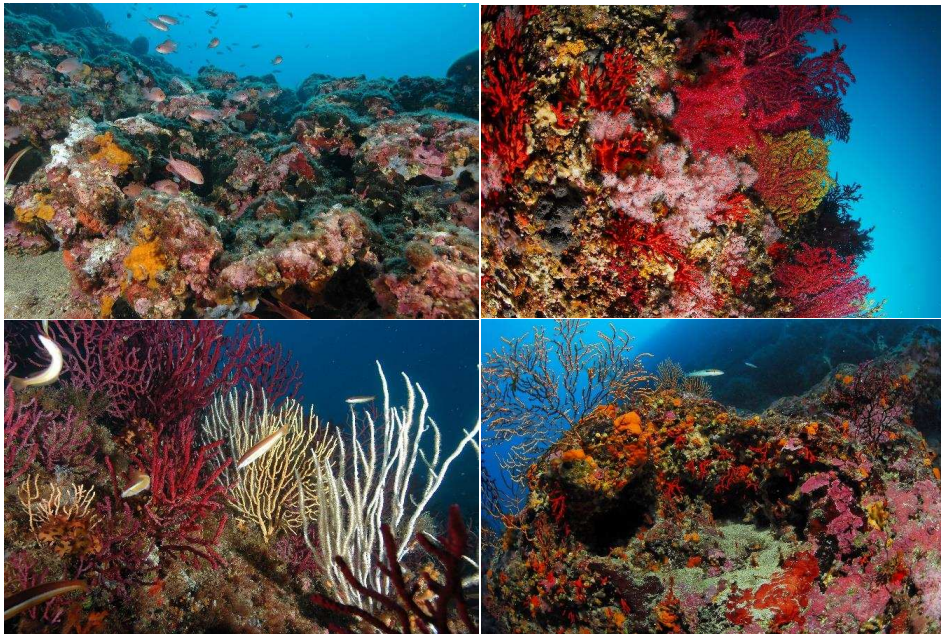
B. POUR VOTRE INFORMATION ...

Les habitats coralligènes sont des écosystèmes marins côtiers de Méditerranée. On ne peut pas les voir de la surface, mais on peut les voir en plongée. Ils sont très riches en espèces dont : algues calcaires, éponges, coraux et gorgones. Ils abritent des crustacés, poissons, poulpes, et bien plus...

Actuellement diverses menaces pèsent sur les habitats coralligènes. Cependant il n'existe actuellement pas de mesure de protection spécifique de ces milieux.

Une politique publique régionale pourrait être mise en place afin d'assurer la durabilité et l'amélioration des services rendus par les habitats coralligènes, moyennant un certain coût pour les citoyens.

Photos : Différents types d'habitats coralligènes



Photographe : Frédéric Zuberer

B1. Parmi les informations que nous vous avons données sur les habitats coralligènes, que saviez-vous déjà ?

- Rien
- Un peu
- La moitié
- La plupart
- Tout

C. EXPRIMEZ VOTRE AVIS...

INSTRUCTIONS

(page détachable à garder sous les yeux)

Les questions suivantes vont vous permettre d'exprimer vos préférences concernant la gestion des habitats coralligènes des côtes françaises.

La gestion des habitats coralligènes peut avoir divers objectifs, et nous souhaiterions savoir quels sont les plus importants pour vous.

Avant de commencer, lisez bien attentivement les instructions !

Dans les 8 cartes suivantes (pages 7 à 11), 3 options vous seront proposées : vous aurez le choix entre maintenir la situation actuelle (Statu quo) pour un coût zéro ou accepter de payer une certaine somme pour une des deux autres options proposées.

Dans chaque carte, choisissez et cochez parmi les 3 options celle que vous préférez.

OPTION C "STATU QUO" :

C'est la situation par défaut, celle qu'on maintient si on ne fait rien de nouveau : pas de mesure de protection spécifique des habitats coralligènes, pas de recherche supplémentaire concernant les espèces à fort potentiel, et un maintien des activités de plongée et de pêche telles qu'elles sont pratiquées aujourd'hui.

Cette option ne coûte rien.

OPTION A ou B :

Ces options sont des alternatives au Statu quo, correspondant à un plan de gestion spécifique des habitats coralligènes. **Elles ont un coût.**

Le plan de gestion sera financé par une taxe spécifique et obligatoire prélevée annuellement par la région PACA.

Les options proposées sont composées des 3 caractéristiques suivantes :



1. Qualité des habitats coralligènes et de leurs habitants

Il s'agit du niveau de préservation de la biodiversité typique du coralligène.

Le Statu quo consiste à rester sans mesure de protection spécifique pour les habitats coralligènes.

Les alternatives proposées sont :

- Protéger l'habitat (c'est à dire uniquement les espèces fixées : algues,...)
- Protéger des espèces mobiles (langoustes, poulpes, poissons,..)
- Protéger tout (habitats et espèces mobiles)



2. Usages (Plongée et Ressources pêchées)

Les habitats coralligènes présentent des paysages recherchés par les plongeurs et offrent des ressources qui peuvent être pêchées.

Le Statu quo consiste à maintenir les activités de pêche et de plongée telle qu'elles sont actuellement pratiquées.

Les alternatives sont :

- Favoriser l'activité de plongée durable
- Favoriser l'activité de pêche durable
- Développer les deux activités (plongée et pêche) de façon durable



3. Potentiel de découverte

Il s'agit de mener des études afin d'identifier les espèces présentant des intérêts tels que: capacité à piéger du carbone (contribution à atténuer le changement climatique), découverte de molécules d'intérêt médical ou industriel.

Le Statu quo consiste à ne pas développer la recherche scientifique sur ces habitats.

L'alternative proposée est :





- Encourager la recherche sur les espèces des habitats coralligènes et maintenir le réservoir d'espèces à intérêt particulier.

N° du questionnaire :





Vous allez maintenant cocher votre option préférée dans chacune des 8 cartes suivantes.





Lorsque vous faites votre choix, demandez-vous si vous êtes vraiment prêt à payer la somme indiquée pour l'option choisie.

Il n'y a pas de bonne ou mauvaise réponse, seul votre avis compte.





CARTE 1	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection des espèces mobiles	Protection de l'habitat (espèces fixées)	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser les deux activités (pêche et plongée)	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	180 €/an soit 15 €/mois	240 €/an soit 20 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





N° du questionnaire :

CARTE 2	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection de l'habitat (espèces fixées) et des espèces mobiles	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser l'activité de pêche	Favoriser l'activité de plongée	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	180 €/an soit 15 €/mois	60 €/an 5 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





CARTE 3	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection de l'habitat (espèces fixées) et des espèces mobiles	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser les deux activités (pêche et plongée)	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	240 €/an soit 20 €/mois	120 €/an soit 10 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





N° du questionnaire :

CARTE 4	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection des espèces mobiles	Protection de l'habitat (espèces fixées)	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser l'activité de plongée	Favoriser les deux activités (pêche et plongée)	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	180 €/an soit 15 €/mois	60 €/an soit 5 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





CARTE 5	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection de l'habitat (espèces fixées) et des espèces mobiles	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>	Favoriser l'activité de pêche	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	120 €/an soit 10 €/mois	240 €/an soit 20 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

N° du questionnaire :

CARTE 6	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection des espèces mobiles	Protection de l'habitat (espèces fixées)	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser l'activité de pêche	Favoriser l'activité de plongée	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	60 €/an soit 5 €/mois	180 €/an soit 15 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CARTE 7	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection de l'habitat (espèces fixées)	Protection des espèces mobiles	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser l'activité de pêche	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	120 €/an soit 10 €/mois	240 €/an soit 20 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

N° du questionnaire :

CARTE 8	Option A	Option B	Option C (Statu quo)
Qualité du coralligène (habitats et espèces mobiles) 	Protection de l'habitat (espèces fixées) et des espèces mobiles	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>	<i>Pas de protection, Risque de dégradation</i>
Usages (Plongée et ressources)  	Favoriser l'activité de plongée	Favoriser les deux activités (pêche et plongée)	<i>Pratique actuelle de la pêche et la plongée</i>
Potentiel de découverte (médecine,...) 	Augmentation de la recherche sur les espèces à haut potentiel	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>	<i>Pas de recherche supplémentaire</i>
Coût (par ménage/an)	60 €/an soit 5 €/mois	180 €/an soit 15 €/mois	0 €
COCHEZ VOTRE CHOIX :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

N° du questionnaire :

C9. Si vous avez choisi l'option C (Statu quo) au moins une fois dans les 8 cartes, pouvez-vous essayer de nous expliquer ce qui a motivé votre choix ?
(Cochez autant de réponses que vous le souhaitez)

- Les autres options sont trop chères.
 - Les autres options ne sont pas assez chères pour être crédibles.
 - Les autres options ne sont pas réalistes, elles ne fonctionneront pas.
 - La situation actuelle me convient, je ne veux pas de nouvelle mesure de gestion.
 - La gestion des habitats coralligènes n'est pas importante pour moi.
 - Ce n'est pas à moi de payer pour la gestion des habitats coralligènes.
 - Autres raisons : _____
- _____
- _____

C10. Si vous avez choisi l'option A ou B au moins une fois dans les 8 cartes, quelles caractéristiques étaient les plus importantes pour vos choix ?

	Très importante	Moyennement importante	Peu importante	Sans importance
a. Qualité du coralligène	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Usages	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Potentiel de découverte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Coût	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C11. Le montant maximal proposé était 240€ par an soit 20€ par mois.
Seriez-vous prêt à payer plus cher pour au moins l'une des options proposées ?
 oui non.

D. LA NATURE ET VOUS

Ci-dessous vous trouverez des phrases concernant la relation entre les êtres humains et l'environnement. **Pour chaque phrase**, indiquez, si vous êtes tout-à-fait d'accord – plutôt d'accord – plutôt pas d'accord – pas du tout d'accord – je ne sais pas – en **cochant la case correspondant à votre réponse**.

	Tout-à-fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord	Je ne sais pas
D.1 Nous nous approchons du nombre limite de personnes que la terre peut nourrir.					
D.2 Les êtres humains ont le droit de modifier l'environnement naturel selon leurs besoins.					
D.3 Quand les êtres humains essaient de changer le cours de la nature cela produit souvent des conséquences désastreuses.					
D.4 L'ingéniosité humaine fera en sorte que nous ne rendrons PAS la terre invivable.					
D.5 Les êtres humains sont en train de sérieusement malmenier l'environnement.					
D.6 La terre posséderait une infinité de ressources naturelles si seulement nous savions comment en tirer mieux parti.					
D.7 Les plantes et les animaux ont autant le droit que les êtres humains d'exister.					
D.8 L'équilibre de la nature est assez fort pour faire face aux effets des nations industrielles modernes.					
D.9 Malgré des aptitudes particulières, les humains sont toujours soumis aux lois de la nature.					
D.10 La prétendue « crise écologique » qui guette le genre humain a été largement exagérée.					
D.11 La terre est comme un vaisseau spatial avec un espace et des ressources très limités.					
D.12 Les humains ont été créés pour gouverner le reste de la nature.					
D.13 L'équilibre de la nature est très fragile et facilement perturbé.					
D.14 Les humains vont un jour apprendre suffisamment sur le fonctionnement de la nature pour pouvoir le contrôler.					
D.15 Si les choses continuent au rythme actuel nous allons bientôt vivre une catastrophe écologique majeure.					

N° du questionnaire :

E. LA MER ET VOUS...

E. 1. Pratiquez-vous des loisirs en rapport avec la mer ? oui non.

E. 2. A quelle fréquence avez-vous pratiqué ces activités au cours des 12 derniers mois ?

	Jamais 0	Rarement 1 à 10	Occasionnellement 10 à 15 (ou 1/mois)	Régulièrement 15 à 30 (ou 1 à 2/mois)	Très régulièrement >30 (ou 1/semaine)
a. Plongée avec bouteille	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Pêche sous-marine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Apnée en mer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Pêche embarquée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Baignade avec masque	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Autres : précisez	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Autres : précisez	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

E.3. Pratiquez-vous une des activités suivantes en tant que professionnel ?

- Plongée en mer
- Apnée en mer
- Pêche aux petits métiers
- Recherche en océanologie
- Gestion d'aires marines
- Je pratique une autre activité professionnelle en lien avec la mer.
Précisez l'activité :

N° du questionnaire :

F. A PROPOS DE VOUS...

F.1. Vous êtes : un homme Une femme

F.2. Né (e) en 19

F.3 Actuellement?

- Vous vivez seul ? Vous partagez une collocation
 Vous vivez en couple ? Autre situation.....
 Vous vivez en famille ?

F.4. Ainsi, combien de personnes, **vous inclus(e)**, vivent régulièrement dans votre logement ?

personne(s)

F.5. Avez-vous des enfants ? Oui Non

F.6. Combien d'enfants (les vôtres ou non) de moins de 18 ans vivent avec vous? enfants.

F.7. Concernant votre logement, actuellement vous êtes :

- F7_1. Propriétaire de votre logement principal ? Oui Non
F.7_2. Locataire de votre logement principal ? Oui Non
F.7_3. Hébergé(e) à titre gratuit Oui Non
F.7_4. Autre, précisez..... Oui Non

F.8. Disposez-vous d'une résidence (en tant que propriétaire ou locataire) dans la Région Provence-Alpes-Côtes d'Azur ? Oui Non

F.9. Quel est le lieu de votre résidence principale, c'est-à-dire la ville ou le village où vous résidez le plus souvent au cours de l'année ?

Nom de la commune :

Code postal :

F.10. Etes-vous membre d'une association de protection de l'environnement ? Oui Non

F.11. Etes-vous membre d'une association de protection de la mer ? Oui Non

F.12_1. Quel est le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ? F.12_2. Quel est le diplôme le plus élevé que votre conjoint(e) a obtenu ?	Vous-même	Votre conjoint (e)
a. Aucun diplôme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Certificat d'études primaire (CEP) ou 6 ^{ième}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. BEPC, brevet élémentaire ou brevet des collèges	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. CAP, BEP ou diplôme de niveau équivalent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Baccalauréat général, technologique ou professionnel, brevet professionnel, diplôme équivalent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. BTS, DUT, Deug, Deust, diplôme de la santé ou du social de niveau bac+2, diplôme équivalent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Licence, licence professionnelle, diplôme équivalent de niveau bac+3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Maîtrise, diplôme équivalent de niveau bac+4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. Master, DEA, DESS, diplôme équivalent de niveau bac+5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. Diplôme de grande école de niveau bac+5, doctorat de santé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k. Doctorat (hors santé).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
l. Autres situation (diplômes étrangers,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
z. Je ne sais pas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F.13-1. Actuellement vous êtes F.13-2. Actuellement votre conjoint est...	Vous – même	Votre conjoint(e)
a. Travailleur (se) à temps plein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Travailleur (se) à temps partiel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Etudiant (e)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. En formation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Retraité(e)/préretraité(e)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Au chômage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Autre, précisez.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
z. Je ne sais pas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

N° du questionnaire :

F.14_1 Quelle est la dernière profession que vous avez exercé ou celle que vous exercez actuellement : F.14_2Quelle est la dernière profession que votre conjoint(e) a exercé ou celle qu'il (qu'elle) exerce actuellement :	Vous-même	Votre conjoint(e)
a. Agriculteurs exploitants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Artisans	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Commerçants et assimilés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Chefs d'entreprise de 10 salariés ou plus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Professions libérales et assimilés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Cadres de la fonction publique, professions intellectuelles et artistiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Cadres d'entreprise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Professions intermédiaires de l'enseignement, de la santé, de la fonction publique et assimilés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. Professions intermédiaires administratives et commerciales des entreprises	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. Techniciens	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k. Contremaîtres, agents de maîtrise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
l. Employés de la fonction publique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
m. Employés administratifs d'entreprise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
n. Employés de commerce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
o. Personnels des services directs aux particuliers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
p. Ouvriers qualifiés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
q. Ouvriers non qualifiés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
r. Ouvriers agricoles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
s. Autres, précisez.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
z. Je ne sais pas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

N° du questionnaire :

F.15. Quel est le montant de votre revenu personnel mensuel net (il comprend les revenus liés à votre activité, salaire par exemple, les revenus du patrimoine, loyers perçus par exemple, les pensions de retraite, les indemnités de chômage, les allocations familiales et autres prestations sociales perçues.	
a. 0 euros par mois	<input type="checkbox"/>
b. Moins de 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
c. 500 – 1 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
d. 1 001 – 1 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
e. 1 501 – 2 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
f. 2 001 – 2 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
g. 2 501 – 3 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
h. 3 001 – 3 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
i. 3 501 – 4 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
j. 4 001 – 4 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
k. 4 501 – 5 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
l. 5 001 – 6 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
m. 6 001 – 7 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
n. 7 001 euros par mois et plus	<input type="checkbox"/>
z. Je ne sais pas	<input type="checkbox"/>
y. Je refuse de répondre	<input type="checkbox"/>

N° du questionnaire :

F.16. Quel est le montant de votre revenu de la famille mensuel net (il comprend les revenus liés à votre activité, salaire par exemple, les revenus du patrimoine, loyers perçus par exemple, les pensions de retraite, les indemnités de chômage, les allocations familiales et autres prestations sociales perçues.	
a. 0 euros par mois	<input type="checkbox"/>
b. Moins de 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
c. 500 – 1 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
d. 1 001 – 1 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
e. 1 501 – 2 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
f. 2 001 – 2 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
g. 2 501 – 3 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
h. 3 001 – 3 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
i. 3 501 – 4 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
j. 4 001 – 4 500 euros par mois	<input type="checkbox"/>
k. 4 501 – 5 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
l. 5 001 – 6 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
m. 6 001 – 7 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
n. 7 001 – 8 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
o. 8 001 – 9 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
p. 9 001 – 10 000 euros par mois	<input type="checkbox"/>
q. 10 001 euros par mois et plus	<input type="checkbox"/>
z. Je ne sais pas	<input type="checkbox"/>
y. Je refuse de répondre	<input type="checkbox"/>

N° du questionnaire :

G. QUELQUE CHOSE A AJOUTER ?

Les questions étaient elles bien posées ?

Avez-vous ressenti des difficultés à répondre à certaines questions ? Pourquoi ?

L'enquête vous a-t-elle paru raisonnablement longue ? Compréhensible ?

Autres commentaires.

Vous êtes libres de vous exprimer ICI :

Et voilà, l'enquête est terminée !

Un grand merci pour votre participation !

..... à détacher.....

Si vous souhaitez recevoir les résultats de l'enquête vous pouvez nous laisser votre adresse email :

G. Annexe du chapitre 4 : Commandes SAS utilisées pour réaliser le plan d'expérience optimal et les cartes de choix

The %MktRuns autocall macro suggests reasonable sizes for experimental designs. It tries to find sizes in which perfect balance and orthogonality can occur, or at least sizes in which violations of orthogonality and balance are minimized.

The %MktEx autocall macro creates efficient factorial designs. It can handle simple problems like main-effects designs and more complicated problems, including designs that have interactions and restrictions on which levels can appear together. For most simple problems, you need to specify only the levels of all the factors and the number of runs. For more complicated problems, you might also need to specify the interactions that you want to estimate or any restrictions that you want to impose on the design. The macro uses a variety of methods and works iteratively as it attempts to optimize the D-efficiency of the design. As D-efficiency increases, the standard errors of the parameter estimates in the linear model decrease. A perfect design is orthogonal and balanced and has 100% D-efficiency. A design is orthogonal when all the parameter estimates are uncorrelated. A design is balanced when all the levels within each of the factors occur equally often. A design is orthogonal and balanced when the variance matrix, which is proportional to $(X'X)^{-1}$, is diagonal, where X is a suitable orthogonal coding of the design matrix.

The %ChoiceEff autocall macro finds efficient experimental designs for choice experiments and evaluates choice designs. You supply a set of candidates, and the macro searches the candidates for an efficient experimental design. An efficient design is defined as a design for which the variances of the parameter estimates are minimized, given an assumed parameter vector β .

H. Valorisations de la thèse et formations

Publications

Publications à comités de lecture :

Thierry de Ville d'Avray, L., Ami, D., Chenuil, A., David, R., & Féral, J.-P. (in prep). Application of the ecosystem service concept to a local-scale : the cases of coralligenous habitats in the North-western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*.

Gerovasileiou V., Dailianis T., Panteri E., Michalakis N., Gatti G., Sini M., Dimitriadis C., Issaris Y., Salomidi M., Filiopoulou I., Doğan A., Thierry de Ville d'Avray L., David R., Ertan Çinar M., Koutsoubas D., Féral J.-P., Arvanitidis C., (2016). CIGESMED for divers: Establishing a citizen science initiative for the mapping and monitoring of coralligenous assemblages in the Mediterranean Sea. *Biodiversity data journal*, (4).

[*En cours de soumission*] David R., Uyarra M. C., Carvalho S., Anlauf H., Borja A., Cahill A. E., Danovaro R., Carugati L., De Jode A., Thierry de Ville d'Avray L., Féral J.-P., Guillemain D., Lo Martire M., Pearman J. K., Chenuil A. (201X). Photo analyses of Autonomous Reef Monitoring Structures (ARMS) placed from the Bay of Biscay to the Red Sea to detect spatial, environment and anthropic pressure effects on community composition.

Proceedings de conférences :

David R., Dubois S., Erga Z., Guillemain D., Thierry de Ville d'Avray L., Arvanitidis C., Çinar M. E., Sartoretto S., Zuberer F., Chenuil A., Féral J.-P., (2014). CIGESMED's Protocol and Network (Coralligenous based Indicators to evaluate and monitor the "Good Environmental Status" of the Mediterranean coastal waters). In Proceedings of the 5th Symposium "Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques". Livorno (Italy), pp. 17-19.

David R., Arvanitidis C., Çinar M.E., Sartoretto S., Doğan A., Dubois S., Erga Z., Guillemain D., Thierry de Ville d'avray L., Zuberer F., Chenuil A., Féral J.-P. (2014). CIGESMED. Protocols: how to implement a multidisciplinary approach on a large scale for coralligenous habitats surveys. RAC/SPA 2nd Mediterranean Symp. on the Conservation of coralligenous and other calcareous bio-concretions, Portorož (SI), 29-30/10/2014, pp. 66-71.

David R., Arvanitidis C., Çinar M.E., Sartoretto S., Doğan A., Dubois S., Erga Z., Guillemain D., Thierry de Ville d'Avray L., Zuberer F., Chenuil A., Féral J.-P. (2014). CIGESMED. Habitat's characterization: a simple and reusable typology at the Mediterranean scale. RAC/SPA 2nd Mediterranean Symp. on the Conservation of coralligenous and other calcareous bio-concretions, Portorož (SI), 29-30/10/2014, pp. 211-212.

David R., Féral J.-P., Archambeau A.-S., Bailly N., Blanpain C., Breton V., De Jode A., Delavaud A., Dias A., Gachet S., Guillemain D., Lecubin J., Romier G., Surace C., Thierry de Ville d'Avray L., Arvanitidis C., Chenuil A., Çinar M. E., Koutsoubas D., Sartoretto S., Taton T., (2016). IndexMed projects: new tools using the CIGESMED DataBase on Coralligenous for indexing, visualizing and data mining based on graphs. In : S. Sauvage, J.-M. Sánchez-Pérez, A. Rizzoli (Eds.) Proc. 8th International Congress on Environmental Modelling and Software, Stream

C/32 Processing environmental information including data mining, machine learning, GIS, remote sensing, Toulouse, France, 11-13 July 2016.

<http://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2016/Stream-C/32>.

Gatti G., Gerovasileiou V., Dailianis T., Panteri E., Issaris Y., Sini M., Salomidi M., Dimitriadis C., Nikitas M., Doğan A., Thierry de Ville d'Avray L., David R., Çınar M.E., Koutsoubas D., Arvanitidis C., Sartoretto S., Chenuil A., Féral J.-P. 2016. Citizen science for CIGESMED: pour une cartographie et un suivi des habitats coralligènes à l'échelle Méditerranéenne. Colloque LITEAU, Observation et recherche en appui aux politiques du littoral et de la mer. Brest, France, 14-15 Janvier 2016, communication orale, p.34.

Sartoretto S., David R., Aurelle D., Chenuil A., Guillemain D., Thierry de Ville d'Avray L., Féral J.-P., Çınar M. E., Kipson S., Arvanitidis C., Schohn T., Daniel B., Sakher S., Garrabou J., Gatti G., Ballesteros E., (2014). An integrated approach to evaluate and monitor the conservation state of coralligenous bottoms: the INDEX-COR method. RAC/SPA 2nd Mediterranean Symp. on the Conservation of coralligenous and other calcareous bio-concretions, Portorož (SI), 29-30/10/2014, pp. 159-164.

Participation à des conférences et communications

Conférences internationales :

- **Food security and Biodiversity**. 29-30 octobre 2014. Poster.
- **Our common future** (Unesco), Paris, 7-10 juillet 2015. Poster.
- **Mistral**, Marseille, 20 octobre 2015. Poster.
- **Congrès SFE** (Société Française d'Ecologie), 24-28 octobre 2016, Marseille. Oral (20').

Présentations à des séminaires et conférences de doctorants :

- **Congrès de l'ED251**. 21-22 avril 2015. Poster.
- **Journée des doctorants de l'IMBE**, 1^{er} juillet 2015. Oral (5').
- **Journée des doctorants de l'IMBE**, Marseille, 30 juin 2016. Oral (15')
- **Séminaire doctorant GREQAM**, Marseille, 21 février 2017. Oral (45')
- **Congrès de l'ED251**. 4 mai 2017. Oral (15')
- **Journées des thèses interdisciplinaires Doc2AMU**. Marseille, 12 oct 2017. Oral (15')

Evènements scientifiques :

- **Workshop on non market valuation**. Aix-en-Provence. Juin 2014.
- **Journées de l'OHM**, Marseille, 30-31 mars 2015 => oral 15 min (projet EvaCor)
- **Journée interdisciplinaire Eccorev-AMSE**. Biodiversité et services écosystémiques, valeurs, mesures et évaluation. **Marseille. 24 avril 2015**.
- **Cigesmed Assembly**, Mytilène, mai 2015 => oral 15 min
- **Workshop Marine Ecosystem Services**, Villefranche, 26 novembre 2015
- **Atelier Cigesmed++**. Interdisciplinarité sur le coralligène. Marseille, 17 décembre 2015. => animation d'atelier. 5h.
- **Atelier de réflexion EFES-Mer (Evaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques)**, Marseille, 4 février 2016 => oral 15 min
- **Journées de l'OHM**, Marseille, 23 mars 2016. (projet EvaCor2)

- **Cigesmed final meeting**, Marseille, 29 juin 2016 => animation d'atelier 1h.

Communications de vulgarisation :

- **Causerie de la commission biologie de la FFESSM**, Marseille, 7 janvier 2015. Oral (45').
- **Journées enseignants-chercheurs**, Marseille, 14 avril 2015. Oral (30').
- **Journées enseignants-chercheurs**, Marseille, 4 avril 2017. Oral (45').

Participation à des programmes

Contribution directe à ma thèse :

- **Evacor et Evacor2** (projets financés par l'OHM, labex DRIIHM). Identification et définition des services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes.
- **Partenariat scientifique avec le Parc national de Port Cros**. (projetco financé par le PNC et la fondation Total)
Enquête pilote pour l'estimation des préférences locales pour les services rendus par les habitats coralligènes.

En lien avec le coralligène :

- **Cigesmed** : Coralligenous based indicators to evaluate and monitor the "Good Environmental Status" of the MEDiterranean coastal waters. EraNet impliquant des équipes scientifiques de laboratoires français, grecs, et turcs.
<http://www.cigesmed.eu/>.
Rédaction d'une partie du protocole d'observation (stage de master), identification d'espèces sur photos, plongées de collecte de données, participation à des réunions d'avancement de projet, animation d'ateliers de réflexion.
- **Cigesmed for divers** : Programme de sciences participatives issu du programme cigesmed visant à impliquer les plongeurs de loisirs dans l'observation et le suivi des habitats coralligènes. <http://cs.cigesmed.eu/>.
Test du protocole, support technique plongeur lors d'un stage de formation de plongeurs au protocole, aide à l'animation d'une page facebook.
- **Devotes** : DEVELOPMENT OF innovative TOOLS for understanding marine biodiversity and assessing good Environmental Status. <http://www.devotes-project.eu/>
Aide technique lors du conditionnement des échantillons.
- **INDEX-COR** : An integrated approach to evaluate and monitor the conservation state of coralligenous bottoms.
Identification d'espèces sur photos pour la génération de la base de données.

Formations réalisées

Cours de master (74 h) :

- **Econométrie** (Master 1), P. Sevestre, AMU, Marseille. 2014. 36 h
- **Micro-économie avancée** (Master 1), N. Gravel, AMU, Marseille. 2014. 24 h
- **Non-market evaluation methods** (Master 2), O. Channel, AMU marseille. 2015. 24 h.

Cours pour les doctorants (64 h) :

- **Institutional analysis for environmental economics** (PhD course), D. Ami et J. Rouchier. 12h.
- **Prendre ses fonctions de doctorants**, P. Gerbail, AMU. Marseille. 2014. 5 h.
- **Monter une dynamique des doctorants**, P. Gerbail, AMU. Marseille. 2014. 13 h.
- **Droits et obligations des chercheurs**, AMU. 2015. 8 h.
- **LaTeX premiers pas**, AMU. Marseille. 2017. 2 h.
- **Faire de la recherche au niveau européen**, AMU. Marseille. 2017. 4 h.
- **Interdisciplinary doctoral day**, Doc2AMU. Marseille, 2017. 8 h.
- **Rédiger pour être publié**, Eric Lichtfouse. Marseille. 2017. 12 h.

Summerschool (140 h) :

- **Summer School Invest**, University of Padua, TESAF, , Italie. 2015. 35 h.
- **Devotes Euromarine Summer School, Marine ecosystem services, management and governance: linking social and ecological research**. A. Borja, AZTI. Espagne. 2016. 35 h.
- **Statistiques avec R**, AMU-IMBE, MedNet, F. Torre. Barcelonnette. 2017. 35 h.
- **Stated preference methods, state of the art modelling**. B. Kriström, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea. 2017. 35 h.

Formations professionnalisantes (74 h) :

- **Plongeur professionnel - CAH classe I B**, GRASM, Marseille. 2015, 50 h.
Cela a permis ensuite l'obtention du CAH classe II B par équivalence.
- **S'exprimer devant un groupe**, AMU. Marseille. 2016. 24 h.

TOTAL : 307 h de formation

Résumé

Cette thèse étudie la dépendance du bien-être humain à des habitats marins méditerranéens : les habitats coralligènes.

Le bassin méditerranéen est reconnu comme un "point chaud" de biodiversité soumis à de fortes pressions anthropiques. En domaine marin, les habitats coralligènes participent grandement à cette biodiversité et leur situation côtière les rend accessibles aux hommes. Ces habitats fournissent des services écosystémiques, c'est-à-dire des services à l'origine de bien-être pour les êtres humains. J'ai cherché, au cours de ma thèse, à identifier et caractériser ces services ainsi qu'à quantifier et évaluer économiquement ceux qui s'y prêtaient le mieux. Afin d'avoir une approche appliquée et compatible avec des problématiques de gestion, j'ai utilisé le concept de *service écosystémique* à une échelle locale, en me concentrant sur la Baie de Marseille (anthropisée) et le Parc national de Port-Cros (sous pression humaine minimale). Le premier volet de la thèse porte sur l'identification et la caractérisation des services rendus par les habitats coralligènes dans les zones d'étude. Les services les plus évidents (*production de ressource alimentaire, production de corail rouge et sites récréatifs de plongée sous-marine*) font l'objet d'une étude plus approfondie dans le deuxième volet de la thèse, via l'application du concept de la cascade de service écosystémique d'Haines-Young et Potschin. Ce concept permet de décrire les éléments et fonctions de l'écosystème impliqués dans chaque service, ainsi que les bénéficiaires et les types de valeurs économiques qui en sont issus, et des indicateurs pour mesurer chaque niveau de la cascade. Le service écosystémique *sites récréatifs de plongée sous-marine* étant le plus clairement identifié, le troisième volet de la thèse porte sur une analyse de l'activité de plongée sur les habitats coralligènes de la baie de Marseille. Le dernier volet de la thèse est une étude des préférences déclarées dans les secteurs de Marseille et Port-Cros concernant les services rendus par les habitats coralligènes, grâce à la méthode des choix discrets. Ce dernier volet comprend une étude de l'impact de la connaissance initiale et de l'apport d'information dans la formation des préférences. En conclusion cette thèse présente : (1) les services écosystémiques rendus par les habitats coralligènes, (2) l'évaluation des plus évidents à une échelle locale, et (3) les problématiques rencontrées lors de l'application du concept de service écosystémique dans une perspective de gestion du milieu.

Mots-clés : habitats coralligènes, services écosystémiques, évaluation économique, Marseille, Méditerranée.

Abstract

This work assesses the dependence of human well-being on a marine environment : the coralligenous habitats.

The Mediterranean basin is recognized as a "hotspot" of biodiversity subjected to strong anthropic pressures. In the marine domain, coralligenous habitats greatly contribute to the basin's biodiversity and their coastal location makes them accessible to humans. These habitats provide ecosystem services that contribute to the well-being of humans. I attempt to identify, characterize, quantify and economically evaluate some of those ecosystem services. To generate findings compatible with environmental management issues, I used the concept of *ecosystem service* at a local scale, focusing on the Bay of Marseille (anthropized) and the Port-Cros Natural Park (under minimal human pressure) as ecosystems under two very different levels of human influence. The first part of the thesis deals with the identification and characterization of the services rendered by coralligenous habitats in the study areas. The second part of the thesis assessed the most prominent services (*production of food, production of red coral and recreational scuba diving sites*) through the application of the concept of ecosystem service cascade as developed by Haines-Young and Potschin. This approach helps to identify the elements and functions of the ecosystem involved in each service, as well as the human beneficiaries and the types of economic benefits associated with the services. This chapter also proposes variables to measure each level of the cascade. As the ecosystem service *recreational scuba diving sites* is the most readily recognized service provided, the third part of the thesis deals with an analysis of the relationship between the presence of coralligenous habitat and the frequency of dives in the Bay of Marseille. The last part of the thesis, more oriented towards the economic aspect, employs the method of discrete choices experiment to study the declared preferences in the study areas of Marseille and Port-Cros concerning the services rendered by the coralligenous habitats. This analysis provided insight into how preferences can evolve as initial knowledge is enhanced through the provision of additional information. In summary, this thesis presents: (1) the ecosystem services rendered by coralligenous habitats, (2) evaluation at the local level of the most prominent services and (3) the challenges encountered when applying the concept of ecosystem service to environmental management.

Keywords : coralligenous habitats, ecosystem services, economics valuation, Marseille, Mediterranean sea.