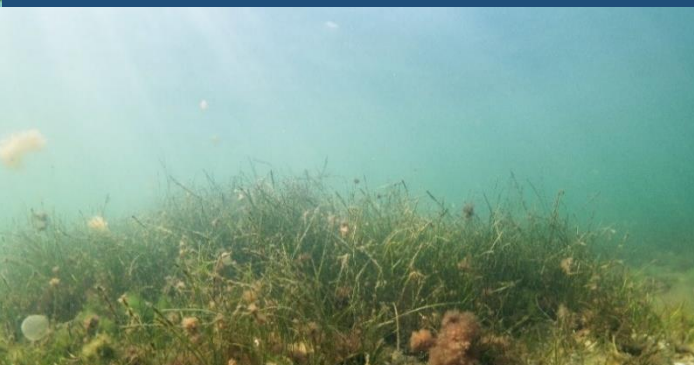


**Atlas métropolitain de la biodiversité
marine Aix-Marseille-Provence**
**Synthèse des sources de connaissance
2022**

~

**Volume 1 :
Rapport final**



Convention annuelle d'objectifs

Métropole Aix-Marseille-Provence

2 bis, Boulevard Euro-méditerranéen Quai d'Arenc

13002 Marseille

Site web: <https://ampmetropole.fr/>

Chef de projet : Christine DURAND

Mail : christine.durand@ampmetropole.fr



GIS Posidonie

OCEANOMED - MIO – case 901

Campus Universitaire de Luminy

163, avenue de Luminy

13009 Marseille

Site web : <http://mio.pytheas.univ-amu.fr/gisposidonie/>



Avec la collaboration scientifique d'Aix-Marseille Université

Jardin du Pharo

58, Boulevard Charles Livon

13007 Marseille

Site web : <https://www.univ-amu.fr/>



Responsables scientifiques

Thierry PEREZ (IMBE), Sandrine RUITTON (MIO) et Laurence LE DIREACH (GIS Posidonie)

Responsables de l'étude

Mélanie CABRAL (AMU – GIS Posidonie), Bruno BELLONI (GIS Posidonie) et Laurence LE DIREACH (GIS Posidonie)

Rédaction du rapport final

Mélanie CABRAL (AMU – GIS Posidonie), Bruno BELLONI (GIS Posidonie) et Laurence LE DIREACH (GIS Posidonie)

Crédits photographiques

GIS Posidonie

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des personnes ayant contribué au projet et plus particulièrement Mme Michèle Perret-Boudouresque pour son appui lors de l'identification des références bibliographiques à la plateforme macrophytes.

Ce rapport doit être cité sous la forme suivante :

CABRAL M., BELLONI B., LE DIREACH L., LAZENNEC A., CHEVALDONNE P., LEJEUSNE C., PEREZ T., RUITTON S., BOUDOURESQUE C.-F., PERRET-BOUDOURESQUE M., THIBAUT T., THIBAUT D., BLANFUNE A., 2022. Atlas métropolitain de la biodiversité marine Aix-Marseille-Provence. Volume 1. Synthèse des sources de connaissance (2022). Rapport final. Convention annuelle d'objectifs Métropole Aix-Marseille-Provence & GIS Posidonie. GIS Posidonie edit., Marseille, Fr., 115 p.

SOMMAIRE

Acronymes et abréviations.....	7
Glossaire	9
Chiffres-clés	13
Avant-propos	14
I. Contexte et objectifs de l'étude	15
1.1. Qu'est-ce que la biodiversité ?	15
1.2. Atlas de la biodiversité	16
1.3. Contexte et objectifs	17
II. Méthodologie	19
2.1. Périmètre de l'étude.....	19
2.2. Identification des données bibliographiques	26
2.2.1. Sources bibliographiques collectées en bibliothèques ou dans les archives	26
2.2.1.1. Bibliothèque de la station marine d'Endoume.....	26
2.2.1.2. Plateforme macrophytes du MIO	27
2.2.1.3. Archives du GIS Posidonie	27
2.2.1.4. Archives de la DDTM.....	28
2.2.2. Sources bibliographiques collectées grâce aux personnes-ressources	28
2.2.2.1. Scientifiques.....	28
2.2.2.2. Structures gestionnaires du milieu marin	28
2.2.2.3. Associations de protection de l'environnement	28
2.2.2.4. Services de l'Etat.....	29
2.2.2.5. Collectivités.....	29
2.2.2.6. Autres structures	29
2.2.3. Sources collectées sur Internet	34
2.3. Bancarisation des données.....	34
2.3.1. Champs concernant les références bibliographiques (quoi ?)	34
2.3.2. Champs concernant les personnes-ressources (qui ?)	35
2.3.3. Champs concernant la date des données (quand ?)	35
2.3.4. Champs concernant la localisation (où ?).....	35
2.3.5. Champs concernant les habitats	35
2.3.5.1. Etagement biocénotique en Méditerranée.....	35
2.3.5.2. Typologie des habitats appliquée.....	36
2.3.6. Champs concernant les regroupements taxonomiques.....	44
2.3.7. Bancarisation des données cartographiques	45
2.4. Analyse des données et représentation cartographique	45

2.5.	Bilan des connaissances et des lacunes.....	46
III.	Résultats et interprétations.....	47
3.1.	Analyse globale du corpus de données.....	47
3.1.1.	Evolution temporelle des sources de connaissance.....	48
3.1.2.	Répartition des connaissances en fonction du type de références.....	49
3.1.3.	Répartition des connaissances en fonction du type de données.....	51
3.1.4.	Répartition des connaissances en fonction des habitats.....	53
3.1.5.	Répartition des connaissances en fonction des grands regroupements taxonomiques.....	54
3.1.5.1.	Répartition des connaissances concernant la flore.....	55
3.1.5.2.	Répartition des connaissances concernant la faune.....	56
3.1.5.3.	Répartition des connaissances concernant le plancton et les micro-organismes.....	57
3.2.	Représentations cartographiques des connaissances.....	58
3.2.1.	Analyse cartographique globale.....	59
3.2.1.1.	Couverture géographique des connaissances.....	59
3.2.1.2.	Analyse cartographique par période.....	60
3.2.1.3.	Couverture géographique par type de références.....	61
3.2.2.	Analyse cartographique par habitats.....	63
3.2.2.1.	Surface des biocénoses marines.....	63
3.2.2.2.	Etage supralittoral.....	64
3.2.2.2.1.	Roche supralittorale.....	64
3.2.2.2.2.	Banquette de posidonie et laisse de mer.....	64
3.2.2.3.	Etage médiolittoral.....	65
3.2.2.3.1.	Fonds meubles médiolittoraux.....	65
3.2.2.3.2.	Roche médiolittorale.....	65
3.2.2.4.	Etage infralittoral.....	65
3.2.2.4.1.	Herbier à <i>Zostera noltei</i>	65
3.2.2.4.2.	Herbier à <i>Zostera marina</i>	66
3.2.2.4.3.	Herbier à <i>Cymodocea nodosa</i>	66
3.2.2.4.4.	Herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	66
3.2.2.4.5.	Matte morte de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	67
3.2.2.4.6.	Fonds meubles infralittoraux.....	67
3.2.2.4.7.	Galets infralittoraux.....	67
3.2.2.4.8.	Roche infralittorale.....	68
3.2.2.5.	Etage circalittoral.....	68
3.2.2.5.1.	Fonds meubles circalittoraux.....	68
3.2.2.5.2.	Coralligène.....	68
3.2.2.5.3.	Grottes sous-marines submergées ou semi-submergées.....	69

3.2.2.5.4.	Roche du large	69
3.2.2.6.	Etage bathyal	69
3.2.2.6.1.	Vases bathyales	69
3.2.2.6.2.	Roches bathyales	70
3.2.2.7.	Autres habitats	70
3.2.2.7.1.	Lagune : Etang de Berre.....	70
3.2.2.7.2.	Structures artificielles.....	70
3.2.2.7.3.	Colonne d'eau.....	71
3.2.3.	Analyse cartographique par regroupements taxonomiques	72
3.2.3.1.	Flore	72
3.2.3.1.1.	Magnoliophytes.....	73
3.2.3.1.2.	Ulvophycées	73
3.2.3.1.3.	Phéophycées.....	73
3.2.3.1.4.	Rhodobiontes	73
3.2.3.2.	Faune	74
3.2.3.2.1.	Eponges	74
3.2.3.2.2.	Cnidaires	74
3.2.3.2.3.	Cténaires.....	74
3.2.3.2.4.	Echinodermes.....	75
3.2.3.2.5.	Lophophorates	75
3.2.3.2.6.	Annélides et autres vers.....	75
3.2.3.2.7.	Mollusques	76
3.2.3.2.8.	Arthropodes.....	76
3.2.3.2.9.	Tuniciers et céphalocordés.....	77
3.2.3.2.10.	Poissons téléostéens	77
3.2.3.2.11.	Chondrichtyens.....	77
3.2.3.2.12.	Mammifères marins	77
3.2.3.2.13.	Oiseaux marins et divers	78
3.2.3.3.	Micro-organismes.....	78
3.2.3.3.1.	Foraminifères	78
3.2.3.3.2.	Procaryotes.....	78
3.2.3.4.	Plancton	78
3.2.3.4.1.	Phytoplancton	78
3.2.3.4.2.	Zooplancton.....	79
3.3.	Que nous enseigne cet inventaire des connaissances ?.....	80
3.3.1.	Lacunes de connaissance.....	80
3.3.2.	Des « hotspots » de biodiversité	80

3.3.3.	Les enjeux majeurs de connaissance sur la biodiversité marine.....	81
3.3.3.1.	Les herbiers de posidonie de la région marseillaise sont-ils en phase de reconquête ?	82
3.3.3.2.	La caractérisation des communautés végétales de la roche infralittorale.....	86
3.3.3.3.	La caractérisation du type de coralligène.....	87
3.3.3.4.	À quoi pourrait ressembler la mer métropolitaine d’Aix-Marseille-Provence en 2050 dans le contexte de changement global ?	90
3.4.	Limites de l’exercice et perspectives.....	94
3.4.1.	Qualité de la donnée et points faibles de l’étude	94
3.4.1.1.	Qualité de la donnée	94
3.4.1.2.	Complétude de l’inventaire	95
3.4.1.3.	Choix méthodologiques.....	96
3.4.2.	Perspectives et proposition d’actions à réaliser pour améliorer les connaissances de la biodiversité	97
3.4.3.	Outils permettant de bancariser, mettre à jour et exploiter les données de biodiversité marine mais aussi de les rendre accessibles.....	100
IV.	Conclusion	102
	Références bibliographiques du rapport.....	103
	Liste des tableaux	108
	Liste des figures	108
	Liste des annexes.....	109
	Annexes	110

Acronymes et abréviations

ABC : Atlas de la Biodiversité Communale

ABC-I : Atlas de la Biodiversité Intercommunale

AERMC : Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

AGAM : Agence d'urbanisme de l'agglomération marseillaise

BHL : Biodiversity Heritage Library

CEREGE : Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement

CNEXO : Centre National pour l'Exploitation des Océans

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

COMEX : COmpagnie Maritime d'Expertises

DCE : Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE)

DCSMM : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (2008/56/CE)

DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer

DHFF : Directive Habitat-Faune-Flore (92/43/CEE)

DIRM : Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée

EBQI : Ecosystem-Based Quality Index

EEE : Espèce Exotique Envahissante

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GIPREB : Gestion Intégrée Prospective et Restauration de l'Etang de Berre

GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique

GPMM : Grand Port Maritime de Marseille

GPS : Global Positioning System

ICPE : Installations Classées Protection de l'Environnement

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

IMBE : Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

INPN : Inventaire National du Patrimoine Naturel

LPO : Ligue pour la Protection des Oiseaux

MAMP : Métropole Aix-Marseille-Provence

MEDAM : Côtes MEDiterranéennes françaises : inventaire et impact des AMénagements gagnés sur le domaine marin

MIO : Institut Méditerranéen d'Océanologie

OFB : Office Français de la Biodiversité

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

PMCB : Parc Marin de la Côte Bleue

PNCa : Parc national des Calanques

RSP : Réseau de Surveillance Posidonie

SIG : Système d'Information Géographique

STEP : STation d'Épuration

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

ZNP : Zone de Non-Prélèvement

Glossaire

Aires marines protégées (AMP) : Espaces délimités en mer au sein duquel un objectif de protection de la nature à long terme a été défini, objectif pour lequel un certain nombre de mesures de gestion sont mises en œuvre : suivi scientifiques, programme d'actions, chartes de bonne conduite, protection du domaine public maritime, réglementations, surveillance, information du public, etc. Sur la base de cette définition, l'objectif de protection n'est pas exclusif d'autres objectifs, notamment de développement économique maîtrisé (utilisation et exploitation durables des ressources marines).

Anthropique : Dû aux activités humaines.

Benthique : Qui vit au niveau du fond ou en relation étroite avec le fond.

Biocénose : C'est l'ensemble des organismes vivants, et de leurs interactions, vivant dans un même biotope (habitat) ; chaque biocénose comprend notamment la phytocénose, limitée aux végétaux, et la zoocénose, limitée aux animaux. Sans être vraiment superposables à la notion de biocénose, celles de communauté et d'association au sens phytosociologique en sont très proches.

Biodiversité : La biodiversité est un concept multidimensionnel qui englobe la diversité du vivant dans toutes ses dimensions, du gène à l'écosystème. La biodiversité inclut donc la diversité au sein des espèces (diversité génétique), entre espèces (diversité spécifique), entre niveaux taxonomiques supérieurs à l'espèce, du genre au phylum (diversité phylétique), entre écosystèmes et paysages (écodiversité) et la diversité des fonctions que remplissent les espèces au sein des écosystèmes (diversité fonctionnelle). La diversité spécifique est le nombre d'espèces, de l'échelle locale du relevé (diversité ponctuelle) à celle de l'écosystème (diversité α), de l'ensemble des écosystèmes d'une région (diversité γ) ou d'une province biogéographique (diversité ϵ). Enfin, la biodiversité peut décrire la distribution d'abondance des espèces (diversité d'hétérogénéité). La diversité β mesure le renouvellement des espèces (ou des taxons supérieurs à l'espèce) entre relevés, écosystèmes ou régions. Cette complexité des niveaux et des échelles, qu'englobe le concept de biodiversité, rend impossible l'utilisation d'une mesure unique pour la décrire (Boudouresque, 2014b).

Biotope : Le biotope, ou habitat, est une zone géomorphologique de surface ou de volume variable, soumise à des conditions environnementales, physiques et chimiques, homogènes.

Catalogage de métadonnées : Action de construire un catalogue de métadonnées ou de renseigner des fiches de métadonnées dans un catalogue selon une méthode préalablement standardisée, afin d'optimiser la recherche, la découverte, la consultation des séries ou des jeux de données liés aux métadonnées de ce catalogue.

Chondrichthyens : Poissons à squelette cartilagineux dont font partie les raies, les requins et les chimères. La peau de ces poissons est recouverte d'écailles placoides (en forme de dents et une structure en dentine). Les poissons possédant un squelette osseux sont les ostéichthyens.

Circalittoral : Le circalittoral est l'un des étages marins situé entre la profondeur limite inférieure de la vie des algues photophiles (entre 20 m et 40 m) et la profondeur limite de la vie des organismes photosynthétiques (entre 70 m et 150 m).

Cnidaires : les cnidaires sont des animaux invertébrés exclusivement aquatiques et principalement marins. Les cnidaires sont soit fixés sous forme de polypes, soit libres comme les méduses. Ces organismes possèdent la plupart du temps des cellules urticantes caractéristiques qui sont les cnidocystes. La

bouche des cnidaires est généralement entourée de tentacules. Ils sont en majorités carnivores et se nourrissent de zooplancton ou de petits poissons.

Coralligène : Ecosystème circalittoral à forte biodiversité, dominé par des bioconstructions massives constituées par la superposition de rhodophycées et d'animaux à squelette calcifié (Ballesteros 2006).

Directive Cadre sur l'Eau (DCE) : Réglementation européenne incitant, entre autres, à obtenir des eaux de meilleures qualité physicochimique et biologique ; et à suivre cet état par masse d'eau.

Directive Habitats-Faune-Flore (DHFF) : Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, dite directive DHFF. Elle vise à contribuer au maintien de la biodiversité en définissant un cadre commun pour la conservation des habitats naturels - terrestres ou aquatiques - et des espèces de plantes et animaux sauvages d'intérêt communautaire. Elle impose notamment aux États membres de désigner des zones spéciales de conservation (ZSC) où doivent s'appliquer des mesures de maintien ou de rétablissement d'un état de conservation favorable. L'ensemble des listes de ces sites sélectionnés, dressées par chaque Etat membre, constitue le réseau européen Natura 2000.

Eaux côtières : Eaux de surface situées entre la ligne de base servant pour la mesure de la largeur des eaux territoriales et une distance d'un mille marin.

Eaux de transition : Eaux de surface situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves, qui sont partiellement salines en raison de leur proximité des eaux côtières mais qui restent fondamentalement influencées par des courants d'eau douce.

Echinoderme : Animal marin caractérisé par une symétrie radiaire d'ordre cinq, protégé, selon les espèces, par des spicules calcaires ou plaques calcifiées plus ou moins développées. Les échinodermes regroupent les astéries (étoiles de mer), les crinoïdes (lys de mer), les oursins, les holothuries (bêches de mer ou concombres de mer) et les ophiures. Ils sont pourvus de « pieds » tubulaires et sont capables de se déplacer (très) lentement.

Ecosystème : C'est l'ensemble formé par les différentes espèces animales et végétales vivants et par leur biotope (ou habitat). Plus qu'une juxtaposition d'organismes, un écosystème se définit par l'ensemble des relations qui lient ces organismes entre eux et ces organismes avec leur habitat.

Epibionte : Les épibiontes sont l'ensemble des organismes qui vivent fixés sur d'autres organismes.

Espèce exotique envahissante (EEE) : Une espèce exotique envahissante est une espèce exotique, dite aussi allochtone ou non indigène, dont l'introduction par l'homme, volontaire ou fortuite, sur un territoire menace les écosystèmes, les habitats naturels ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques et sanitaires négatives.

Etage : L'étage est l'espace vertical du domaine marin où les conditions écologiques, en fonction de la situation par rapport au niveau de la mer, sont sensiblement constantes ou varient régulièrement entre deux niveaux critiques (les limites de l'étage) correspondant à un changement complet des communautés vivantes.

Etang d'eau saumâtre : Plan d'eau d'origine naturelle en liaison plus ou moins directe avec la mer et les eaux continentales, ce qui lui confère une salinité comprise approximativement entre 2 et 20 g/kg.

Faune : Ensemble des espèces animales présentes en un lieu donné et à un moment donné.

Flore : Ensemble des espèces de plantes constituant une communauté végétale propre à un habitat ou un écosystème donné.

Habitat : L'habitat est une zone se distinguant par ses caractéristiques géographiques, abiotiques et biotiques (définition de la directive 92/43 CEE – Anonyme, 1992). En langue anglaise, et dans ce travail, le terme habitat peut être assimilé à celui de l'écosystème.

Habitat : Synonyme de biotope.

Hotspot : Sous-entendu hot spot de biodiversité. Point chaud de biodiversité. Région abritant une forte biodiversité et donc présentant un fort enjeu environnemental.

Infralittoral : L'infralittoral est l'un des étages marins. Il est compris entre la surface (zéro biologique) et la limite inférieure de l'herbier de posidonie. La profondeur de sa limite inférieure est donc variable en fonction de la clarté de l'eau et donc la profondeur de la limite inférieure des herbiers (entre 15 m et 40 m de profondeur).

Laisses de mer : Ce que la mer dépose sur le littoral (débris végétaux ou animaux, déchets).

Macrophyte : Organisme multicellulaire photosynthétique marin (macroalgues, Magnoliophytes).

Magnoliophytes (ou Angiospermes) : Plantes à fleurs.

Matte : La surface constituée par les entrelacements des rhizomes de posidonies vivants et morts complétés par le sédiment remplissant les interstices est appelée « matte ». Lorsque l'herbier meurt, la matte reste en place et témoigne de la présence passée de l'herbier. Elle est alors appelée « matte morte ».

Médiolittoral : Le médiolittoral est l'un des étages marins situé dans la zone de balancement des marées et des vagues.

Pélagique : Qui vit en pleine eau.

Photophile : Se dit d'un organisme qui a besoin de lumière pour se développer.

Phytoplancton : Plancton végétal, essentiellement formé d'organismes unicellulaires (1 seule cellule).

Polychètes : Ce sont des vers annélides dont les segments portent des expansions latérales (parapodes) sur lesquelles sont insérées des soies chitineuses.

Réseau Natura 2000 : C'est un réseau des sites naturels ou semi-naturels de l'Union européenne ayant une grande valeur patrimoniale, par la faune et la flore exceptionnelle qu'ils contiennent. Il résulte de deux directives européennes : « Habitat, faune, Flore » et « Oiseaux ». Cette politique européenne a pour objectif de préserver la biodiversité tout en tenant compte des activités humaines.

Réseau trophique : Ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la biomasse circulent.

Résilience : Amplitude maximale de la modification du paramètre de référence pour laquelle il y a une réponse réversible de la population ou de l'écosystème, face à une perturbation. C'est donc la capacité d'une population, ou d'un écosystème à revenir à leur état moyen antérieur.

Sciophile : Se dit d'un organisme qui a besoin de peu de lumière pour se développer.

Services écosystémiques : Les services écosystémiques sont définis comme étant les biens et services que les hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement, pour assurer leur bien-être (e.g. nourriture, qualité de l'eau, paysages, etc.).

Supralittoral : Le supralittoral est l'un des étages marins situé au-dessus du niveau de la mer soumis à l'influence des embruns.

Trait de côte : Le trait de côte est défini comme la ligne théorique qui sépare la mer de la terre dans l'hypothèse d'une marée haute de coefficient maximal (120).

Tunicier : Animal invertébré, chordé, marin qui s'entoure, à l'âge adulte, d'une tunique protectrice cellulosique.

Zone de non-prélèvement (ZNP) : Au sein des zones de non-prélèvement située dans des espaces naturels protégés, toutes formes de pêche maritime (professionnelle et de loisirs) sont interdites de façon permanente et définitive.

Zooplancton : Plancton animal.

Afin de rendre ce document compréhensible par le plus grand nombre et dans le but de simplifier la restitution des résultats dans ce document, plusieurs taxons sont nommés par leur appellation « commune » et non par la terminologie taxonomique donnée dans les classifications actuelles (Lecointre et Le Guyader, 2006) :

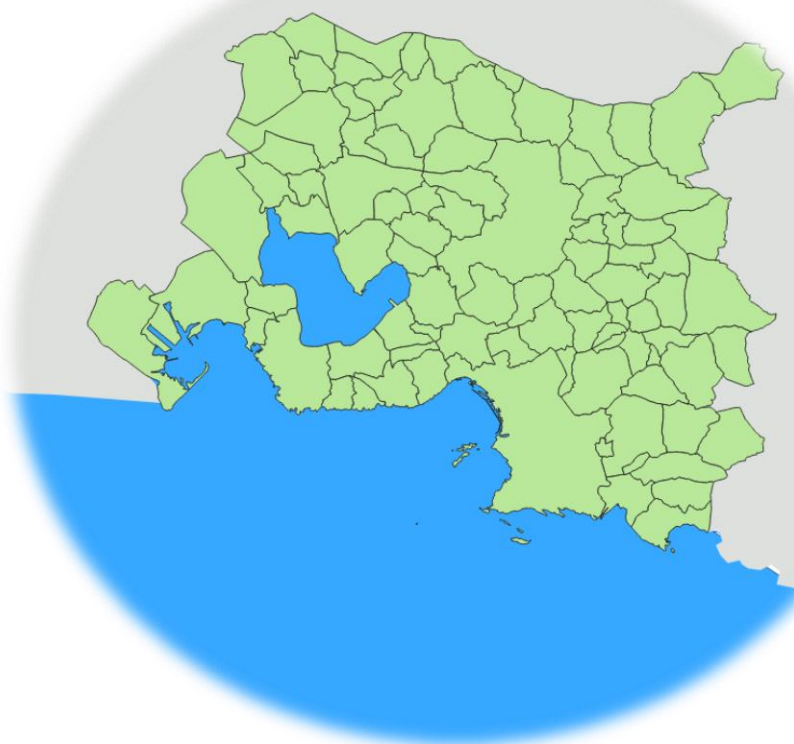
- « Poissons téléostéens » sera employé pour parler des Téléostéens (poissons osseux) ;
- « Chondrichthyens » sera employé pour parler des poissons cartilagineux ;
- « Macrophytes » sera employé pour parler de l'ensemble de plantes sous-marines macroscopiques (visible à l'œil nu) et multicellulaires photosynthétiques.
- « Zooplancton » sera employé pour parler des organismes animaux vivants dans la colonne d'eau en prenant en compte les organismes holoplanctoniques et les organismes méroplanctoniques uniquement en phases larvaires.

Chiffres-clés

255 km
de littoral

51
îles et îlots

2^{ème}
lagune salée d'Europe
Etang de Berre



1
Parc national
Les Calanques

1
Parc marin
La Côte Bleue

4
Zone Natura 2000

17
ZNIEFF marine
de type 1

10
ZNIEFF marine
de type 2

1
ZNIEFF continentale
de type 1

Avant-propos

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE ; 2000/60/CE), la Directive Habitats-Faune-Flore (DHFF ; 92/43/CEE) et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM ; 2008/56/CE) confortent la nécessité d'avoir des politiques intégrées terre-mer afin de permettre une gestion durable des milieux et des usages. Parvenir à une gestion intégrée du littoral et des milieux marins fait partie des enjeux stratégiques de la métropole Aix-Marseille-Provence.

Afin d'approfondir la connaissance de la biodiversité marine, la métropole Aix-Marseille-Provence a initié la mise en œuvre d'un « atlas métropolitain de la biodiversité marine ». Pour réaliser cet état des lieux des connaissances à l'échelle de la métropole les chercheurs de l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO), de l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) et du GIS Posidonie ont été mobilisés car ils parcourent ce territoire marin depuis des années dans le cadre de suivis et d'inventaires floristiques et faunistiques. Les chercheurs émérites ont apporté leur mémoire des sites remarquables et des travaux anciens disponibles dans les fonds documentaires des laboratoires ou conservés en propre. Les connaissances ont été complétées par les gestionnaires de l'environnement marin en charge de portions de ce territoire métropolitain, ainsi que par les chargés de mission environnement des services de l'Etat, des agences et des collectivités territoriales.

Cet atlas a pour objectif une meilleure prise en compte des enjeux du patrimoine naturel marin dans les politiques publiques métropolitaines. La réalisation d'une synthèse des connaissances liée à la biodiversité marine est un travail préalable nécessaire à l'établissement d'un atlas métropolitain de la biodiversité marine.

Ce travail a permis de :

- Réaliser un état des lieux des sources de connaissances sur la biodiversité marine du territoire de la métropole ;
- Mettre en évidence les lacunes de connaissances, les zones à grande valeur de biodiversité, les enjeux et les zones à enjeux de la biodiversité marine ;
- Réfléchir à des études permettant d'améliorer les connaissances sur la biodiversité marine via un double prisme, celui des enjeux de connaissance scientifique et celui des besoins du gestionnaire en vue de la préservation de la biodiversité et d'actions de valorisation.

I. Contexte et objectifs de l'étude

1.1. Qu'est-ce que la biodiversité ?

La biodiversité, contraction de « biologique » et de « diversité », représente la diversité des êtres vivants et des écosystèmes, mais englobe également toutes les interactions qui les lient. La biodiversité est souvent mesurée comme une diversité d'espèces, mais elle ne se réduit pas à cette seule composante. Elle n'est qu'un élément de la biodiversité qui présente une structure emboîtée.

En effet, la biodiversité comprend plusieurs échelles distinctes (Ville de Marseille, 2020) (Figure 1) :

- Diversité génétique : la diversité génétique correspond à la diversité des gènes au sein d'une espèce ou d'une population. Elle est aussi appelée « diversité intraspécifique ».
- Diversité des espèces : la diversité des espèces exprimées par le nombre d'espèces vivantes, la position des espèces dans la classification du vivant et leur répartition.
- Diversité des écosystèmes : la diversité des complexes dynamiques, formés des communautés de plantes, d'animaux, de micro-organismes et de leur environnement qui, par leurs interactions, constituent une unité fonctionnelle.

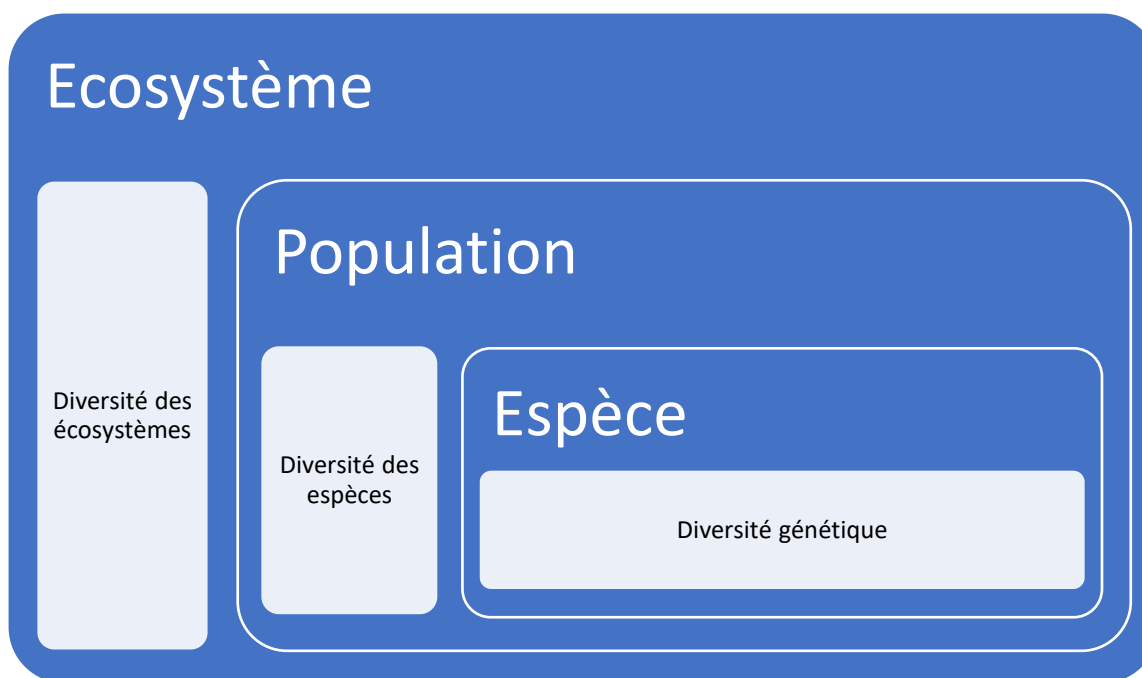


Figure 1 : Schéma simplifié de la structure emboîtée de la biodiversité.

La notion de biodiversité a été définie en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro dont l'un des objectifs était la préservation et la restauration de la diversité du vivant face au constat de son érosion. La biodiversité est essentielle aux sociétés humaines qui en sont dépendantes à travers les services écosystémiques rendus. La notion de biodiversité est donc liée à la problématique de son érosion. L'érosion de la biodiversité est principalement liée aux activités humaines, aux évolutions démographiques, à nos modes de production et de consommation. Elle résulte de plusieurs sources de pressions principales :

- La destruction, la fragmentation et l'altération des habitats naturels ;
- La pollution ;
- La surexploitation des espèces ;
- Le développement d'espèces exotiques envahissantes (EEE) ;

- Les changements climatiques.

1.2. Atlas de la biodiversité

Un atlas de la biodiversité est une démarche qui permet à une commune, ou une « structure intercommunale », de connaître, de préserver et de valoriser son patrimoine naturel. C'est un inventaire des milieux et des espèces présents sur un territoire donné, qui implique l'ensemble des acteurs (élus, citoyens, associations, entreprises, etc.) en faveur de la préservation du patrimoine naturel. La réalisation de cet inventaire permet de cartographier les enjeux de biodiversité (faune, flore et habitat) à l'échelle du territoire (« Les Atlas de la biodiversité communale », OFB).

Un atlas de la biodiversité vise à mieux connaître la biodiversité pour mieux la protéger et la valoriser. Cet outil doit permettre la mise en place d'une stratégie globale pour la biodiversité du territoire étudiée. L'atlas de la biodiversité est mené en plusieurs temps (Figure 2).

- (i) **Synthèse des connaissances.** Un état des lieux des connaissances sur la biodiversité du territoire est mis en place. Pour cela, une collecte des données disponibles auprès des scientifiques, des gestionnaires du milieu, des services de l'Etat, des associations, etc. est réalisée afin de constituer une base de données géoréférencée sur les espèces et habitats présents. Cette base va permettre d'identifier les manques de connaissance pour définir un plan de prospection et d'inventaires complémentaires à réaliser dans le cadre de l'atlas.
- (ii) **Acquisition de nouvelles connaissances.** Un plan de prospection est défini à partir des priorités identifiées notamment pour homogénéiser le niveau de connaissance sur le territoire. Des inventaires naturalistes complémentaires sont réalisés afin d'acquérir des données d'observation et de suivi d'espèces et/ou d'habitats.
- (iii) **Mobilisation des citoyens.** Des actions d'animation, de sensibilisation, de programmes de sciences participatifs sont mises en place à destination du public (population locale, élus, etc.) afin d'impliquer les acteurs locaux sur les enjeux liés à la biodiversité de leur territoire.
- (iv) **Diagnostic des enjeux de biodiversité.** Un diagnostic des enjeux est réalisé sous forme de cartographie, de rapports, etc. afin de faciliter l'intégration des enjeux de biodiversité dans les démarches d'aménagement et de gestion du territoire. L'atlas vise à être un outil d'information et d'aide à la décision.



Figure 2 : Schéma simplifié de mise en place d'un atlas de la biodiversité communale.

La réalisation d'un atlas de la biodiversité est une démarche principalement initiée à l'échelle de la commune ou de l'intercommunalité (« atlas de la biodiversité communale » (ABC) ou « atlas de la biodiversité intercommunale » ABC-I) en partenariat avec l'Office Français de la Biodiversité (OFB). Dans cette démarche de connaissance de la biodiversité présent sur le territoire, le département des Bouches-du-Rhône a contribué à la réalisation d'ouvrages sur la faune et sur la flore remarquable du département¹. Cette synthèse sur les organismes continentaux et marins montre la richesse de notre environnement. Certaines métropoles mettent également en place ce type de projet à plus grande échelle. En 2018, la métropole Aix-Marseille-Provence a initié la rédaction d'un atlas de la biodiversité terrestre (Figure 3). A la suite de ce volet continental, il paraissait cohérent de s'intéresser au milieu marin en raison de l'importance de la façade maritime de la métropole. Or, aucun projet d'atlas de la biodiversité marine au sein d'une métropole n'avait été initié auparavant en dehors de celui de la métropole Nice Côte d'Azur qui est en cours de réalisation.

1.3. Contexte et objectifs

La biodiversité marine constitue un patrimoine inestimable et intrinsèque pour l'humanité et pour une métropole bordée par un vaste territoire maritime. Le littoral de la métropole Aix-Marseille-Provence représente 255 km en comprenant celui de l'étang de Berre. Il comporte des zones avec des statuts de gestion très divers (e.g. parc national, parc marin, zone Natura 2000, etc.) qui sont soumises à des pressions anthropiques élevées.

La métropole Aix-Marseille-Provence souhaite s'engager davantage dans la prise en compte de la biodiversité sur son territoire dans le cadre de sa politique de valorisation du patrimoine naturel. Pour cette raison, la métropole a engagé la mise en œuvre d'un atlas métropolitain de la biodiversité marine comme elle l'a fait précédemment pour la biodiversité terrestre (Figure 3). Cette étude constitue le premier volet de l'atlas de la biodiversité, qui est une synthèse des sources de connaissances scientifiques sur la biodiversité marine.

Dans un premier temps, la compréhension de l'état des connaissances de la biodiversité sur le territoire est nécessaire. Pour cela, un inventaire des sources de connaissance des habitats naturels, de la faune et de la flore du territoire de la métropole est réalisé. Cet état des lieux s'appuie sur des données disponibles anciennes et récentes liées à la biodiversité marine. Ces travaux ont été collectés auprès des acteurs du territoire qui ont connaissance du milieu.

Dans un second temps, une analyse des données collectées est réalisée afin de mettre en évidence les lacunes de connaissances et les zones à grandes valeurs de biodiversité mais également aboutir à un diagnostic initial des enjeux et des zones à enjeux en termes de conservation des espèces et des habitats naturels. L'objectif est d'apporter à la collectivité, aux partenaires du territoire et aux citoyens, des éléments permettant la bonne compréhension de la biodiversité et sa prise en compte dans les démarches mises en œuvre sur le territoire métropolitain. Le constat de manques de connaissances peut déboucher sur des acquisitions de données complémentaires.

La métropole Aix-Marseille-Provence a fait appel aux compétences de l'Université d'Aix-Marseille, du CNRS (MIO et IMBE) et du GIS Posidonie afin de réaliser un bilan et une évaluation de l'état des connaissances sur

¹ La flore remarquable des Bouches-du-Rhône : plantes, milieux naturels et paysages. (2018). Biotope éditions. ; La Faune des Bouches-du-Rhône. (2019). Biotope éditions.

le territoire de la métropole en mobilisant l'ensemble des données scientifiques connues et disponibles (associations, gestionnaires du milieu, collectivités, services de l'Etat, etc.).

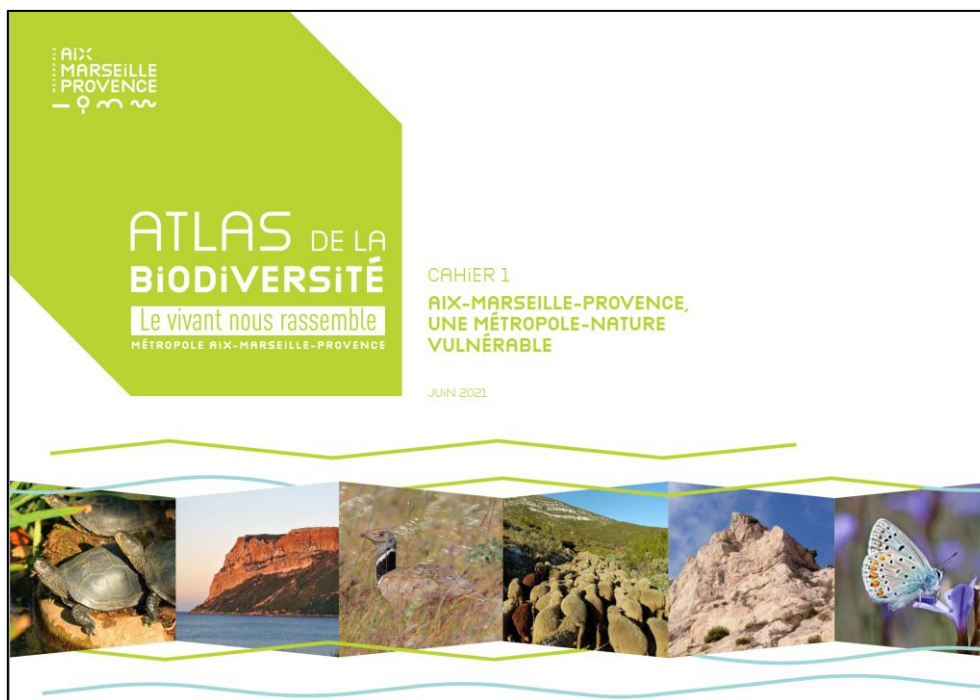


Figure 3 : Atlas de la biodiversité terrestre de la métropole Aix-Marseille-Provence.

(Source : <https://ampmetropole.fr/atlas-de-la-biodiversite/>)

II. Méthodologie

La première étape de l'étude consiste à réaliser un inventaire des sources de connaissances disponibles relatives aux habitats naturels, à la faune et à la flore marine. Pour cela, les sources de données sont identifiées et bancarisées. La seconde étape consiste à analyser les données collectées afin d'identifier les lacunes de connaissances et de déterminer les zones à enjeux du territoire (Figure 4).

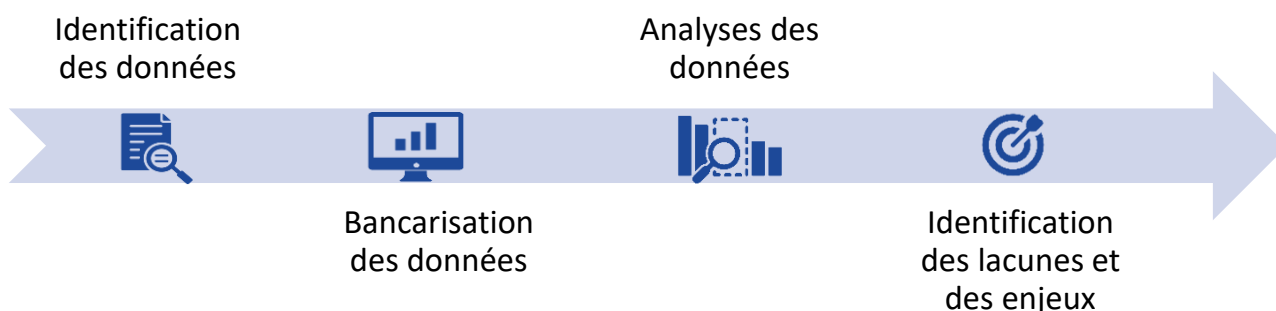


Figure 4 : Schéma simplifié des étapes de construction de l'atlas métropolitain de la biodiversité marine Aix-Marseille-Provence.

2.1. Périmètre de l'étude

Le territoire de la métropole Aix-Marseille-Provence est situé dans la région Sud, dans le département des Bouches-du-Rhône. Il comprend 92 communes, dont un quart est sur le littoral (AGAM, 2017).

Le périmètre d'est en ouest de l'étude correspond à la limite de la métropole Aix-Marseille-Provence, c'est-à-dire entre les villes de Port-Saint-Louis-du-Rhône et La Ciotat incluant les archipels de Riou et du Frioul, et l'étang de Berre.

Le territoire marin concerné par la métropole Aix-Marseille-Provence comporte de nombreuses zones avec des statuts de gestion très divers (e.g. Parc national des Calanques, zone Natura 2000, etc.) à considérer dans le cadre de cette étude. Afin de définir le périmètre de la zone d'étude y compris vers le large, c'est-à-dire la distance de la côte prise en compte, une superposition des zones réglementaires et protégées a été effectuée.

La zone d'étude prend en compte les sept masses d'eau homogènes côtières ainsi que les deux masses d'eau de transition reconnues par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE ; 2000/60/CE) (Figure 5) :

- FRDC04 - Golfe de Fos ;
- FRDC05 - Côte Bleue ;
- FRDC06a - Petite Rade de Marseille ;
- FRDC06b - Pointe d'Endoume – Cap Croisette – îles du Frioul ;
- FRDC07a - Iles de Marseille hors Frioul ;
- FRDC07b - Cap croisette – Bec de l'Aigle ;
- FRDC07c - Bec de l'Aigle – Pointe de la Fauconnière ;
- FRDT15a - Étang de Berre Grand étang ;
- FRDT15b - Étang de Berre Vaïne.



Figure 5 : Cartographie de la zone d'étude comprenant les masses d'eau côtières et les masses d'eau de transition.

La zone d'étude prend en compte un parc national, le Parc national des Calanques (PNCa), constitué du cœur de Parc et de son aire maritime adjacente ainsi que de 7 zones de non-prélèvement (ZNP) (Planier/Veyron, Riou/Podestat/Pointe du Vaisseau, Sormiou, Devenson, Pointe Cacau, Cap Soubeyran, Cassidaigne ouest et tête de Cassidaigne ouest) et des récifs artificiels immergés dans la baie du Prado entre 2007 et 2008, également interdit à toute forme de pêche (Figure 6).

La zone d'étude prend en compte un parc marin, le Parc marin de la Côte Bleue (PMCB) comportant deux zones marines protégées : la réserve du Cap Couronne et la réserve de Carry-le-Rouet (Figure 6).

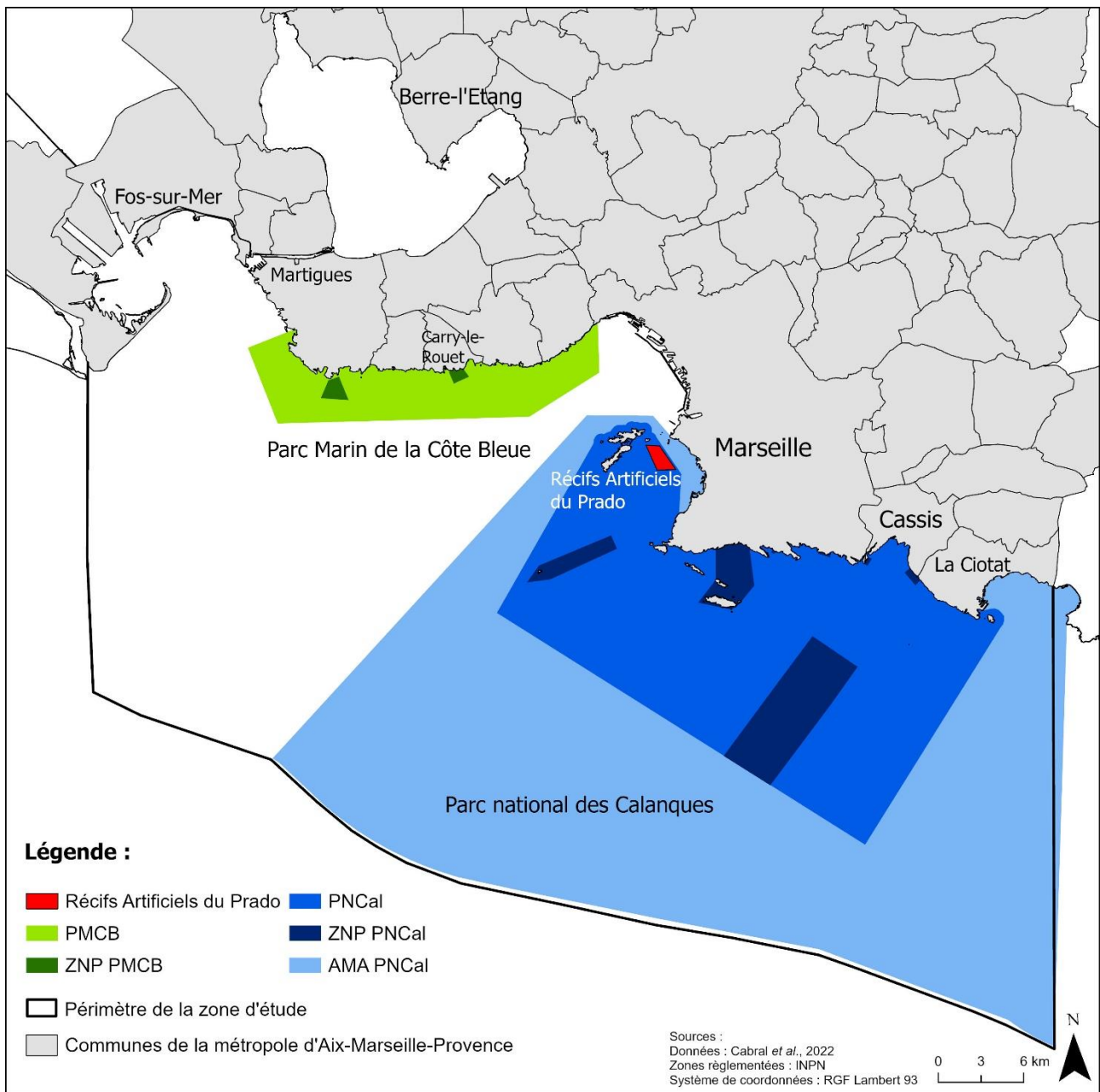


Figure 6 : Cartographie de la zone d'étude comprenant le Parc national des Calanques et le Parc Marin de la Côte Bleue.

(AMA : aire maritime adjacente, PMCB : Parc Marin de la Côte Bleue, PNCaI : Parc national des Calanques, ZNP : zone de non-prélèvement)

La zone d'étude prend en compte 5 zones Natura 2000 (Figure 7) :

- FR9301592 - Camargue ;
- FR9301999 - Côte Bleue Marine ;
- FR9301602 - Calanques et îles marseillaises - Cap Canaille - massif du Grand-Caunet ;
- FR9301998 - Baie de la Ciotat.

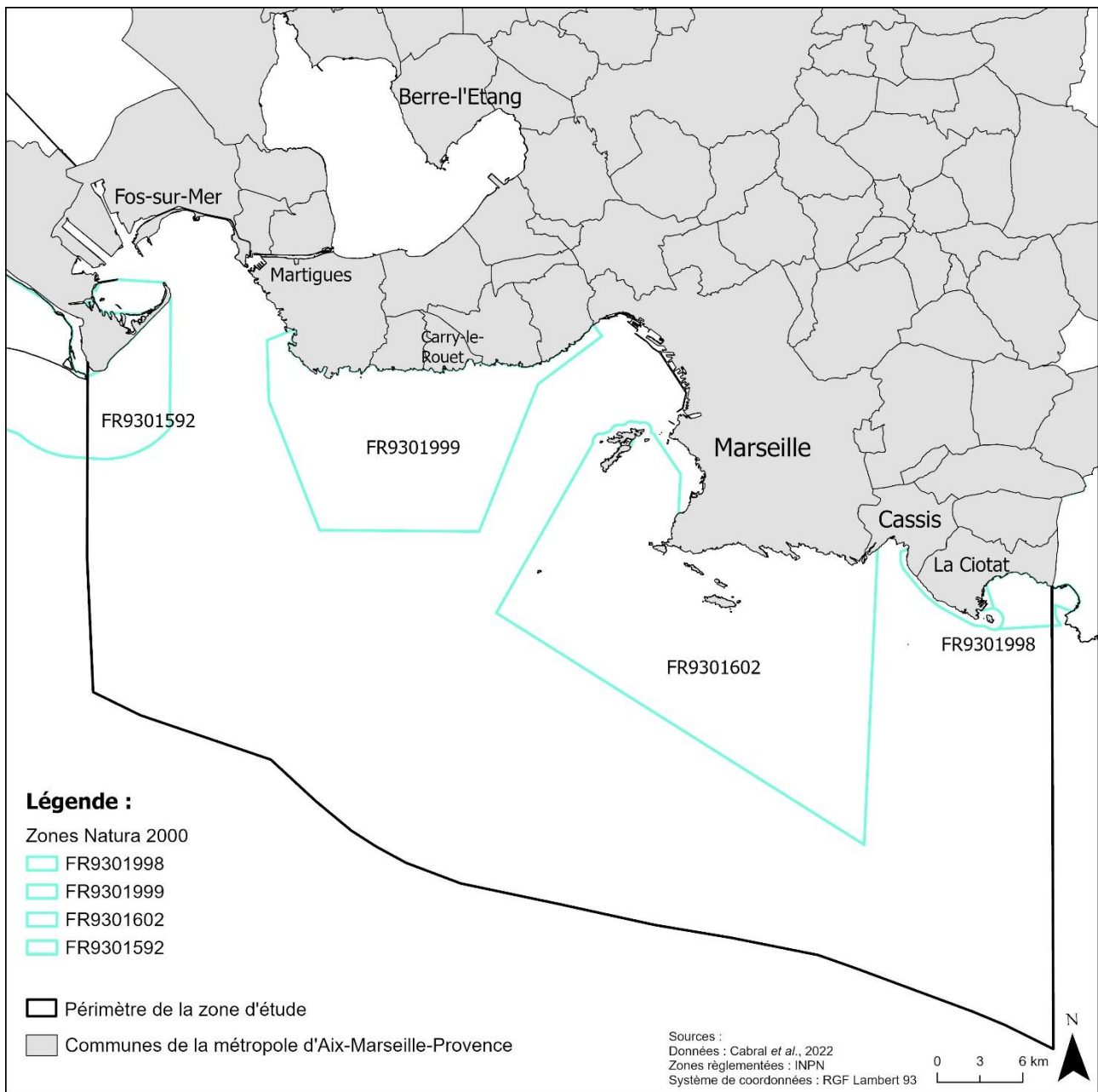


Figure 7 : Cartographie de la zone d'étude comprenant les zones Natura 2000.

La zone d'étude prend en compte 17 ZNIEFF marine de type I (Figure 8) :

- 93M000022 - Anse de Carteau ;
- 93M000023 - De Ponteau à la pointe de Carro ;
- 93M000024 - Herbier de posidonies de la Côte Bleue ;
- 93M000025 - Îlot Aragnon ;
- 93M000026 - Zone marine protégée de Carry-le-Rouet ;
- 93M000027 - Zone marine protégée du Cap Couronne ;
- 93M000028 - Coralligène profond de la Côte Bleue ;
- 93M000029 - Du Rouet à Niolon ;
- 93M000030 - Îlot Tiboulou du Frioul ;
- 93M000031 - Îlot du planier blanc du Veyron ;
- 93M000032 - Sud Ile Maire ;
- 93M000033 - Iles Jarre, Jarron, Plane ;

- 93M000034 - Ile Riou, îlots Conglué et impériaux ;
- 93M000035 - Calanques de Marseille à Cassis ;
- 93M000036 - Sèche de la Cassidaigne ;
- 93M000037 - Calanque de Figuerolles au Bec de l'Aigle ;
- 93M000038 - Ile Verte.

La zone d'étude prend en compte 10 ZNIEFF marine de type II (Figure 8) :

- 93M000050 - Banc de l'Esquine ;
- 93M000049 - Baies de La Ciotat et des Lecques ;
- 93M000048 - Cap Canaille-Calanque de Figuerolles ;
- 93M000047 - Tête du canyon de la Cassidaigne ;
- 93M000046 - Herbier de posidonies de la baie du Prado ;
- 93M000045 - Sud Pomègues ;
- 93M000044 - Pointe de banc et grand Salaman ;
- 93M000043 - De port de Bouc à Pouteau ;
- 93M000042 - They de la gracieuse ;
- 93M000100 - Banc des Blauquières.

La zone d'étude prend en compte une ZNIEFF continentale de type II (Figure 8) : 930020231 - Etang de Berre, Etang de Vaine.

Le périmètre de la zone d'étude correspond à la superposition des zones réglementaires et protégées citées précédemment (Figure 9). La surface de la zone d'étude dans le cadre de cet atlas de la biodiversité marine est de 2 405 km² (soit 240 500 ha).

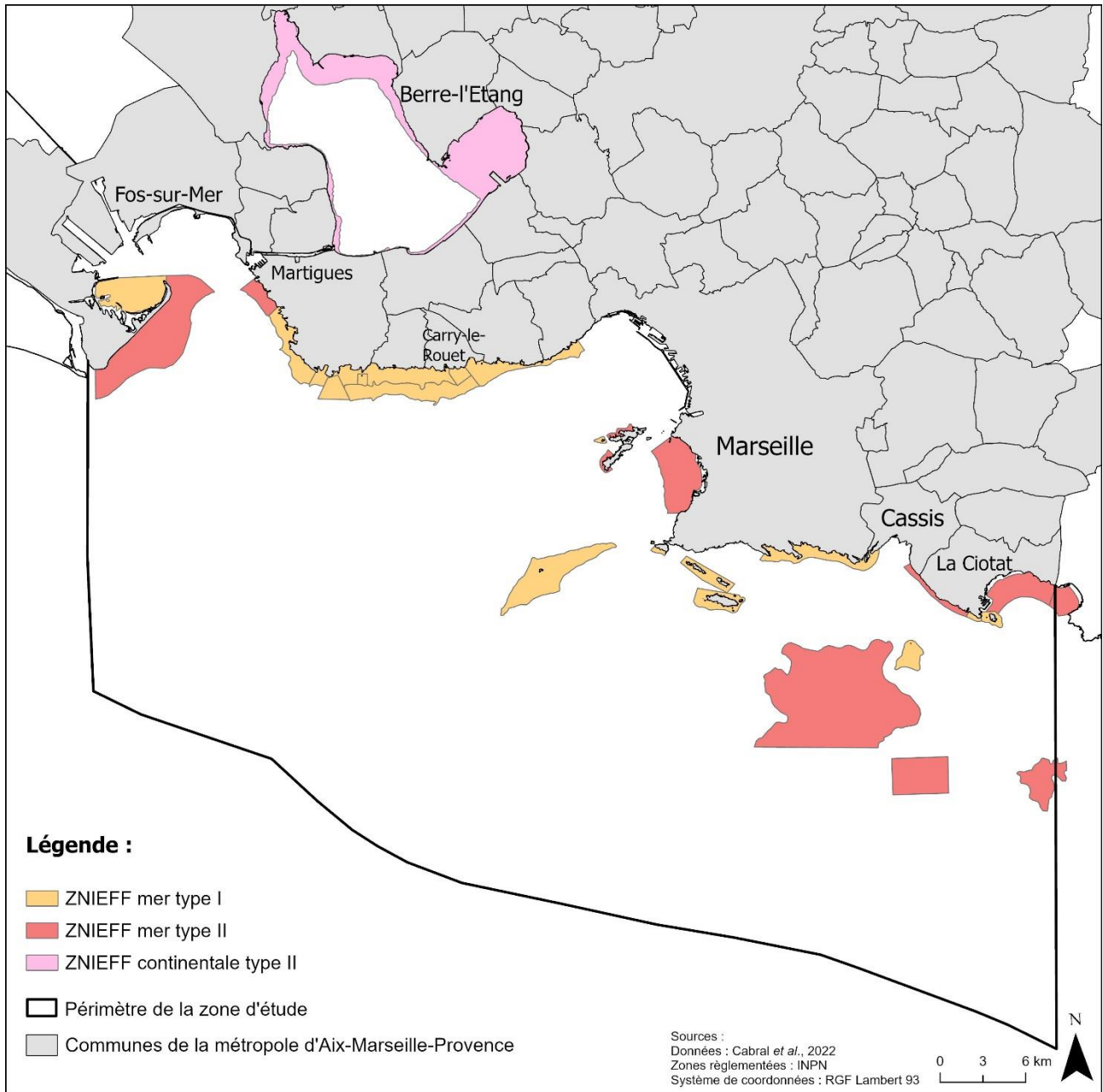


Figure 8 : Cartographie de la zone d'étude comprenant les zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) marine de type I et II et continentale de type II.



Figure 9 : Cartographie de la zone d'étude d'atlas métropolitain de la biodiversité marine Aix-Marseille-Provence.

2.2. Identification des données bibliographiques

La première étape consiste à identifier les données existantes sur la biodiversité c'est-à-dire les différentes sources bibliographiques permettant de décrire la faune, la flore et les habitats naturels marins du territoire. Les sources de données peuvent correspondre à des documents publiés, parmi lesquels on compte les articles scientifiques, les rapports scientifiques, les thèses, ainsi que les ouvrages. Les autres sources utilisées sont des données brutes de terrain correspondant aux données récentes qui n'ont pas encore fait l'objet de publication. Dans le cadre de cette étude, les bases de données, les programmes de science participative ainsi que la littérature grise n'ont pas été pris en compte.

Il existe beaucoup de sources et d'informations disponibles, leur recherche et leur analyse peuvent être chronophages, d'où l'importance de prioriser selon les moyens et le temps disponibles. Le recensement des connaissances de la biodiversité marine s'appuie ici essentiellement, et en priorité, sur des études plurispécifiques telles que des inventaires d'espèces (partiels ou exhaustifs) ou des suivis de peuplement. D'autres études, telles que les études monospécifiques, les études traitant de la génétique (diversité intraspécifique), de la cartographie des écosystèmes ou encore les études sur des approches écosystémiques (diversité écosystémique) n'ont été prises en compte que lorsqu'elles ont été jugées pertinentes pour décrire la biodiversité.

Ce travail de bibliographie et de compilation des connaissances a été complété en sollicitant les organismes et/ou les « personnes-ressources » locales susceptibles d'être en possession de données naturalistes. Les différentes sources de données ont été identifiées grâce à certaines collections de bibliothèques universitaires, aux archives accessibles telles que celles du GIS Posidonie et de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM), aux références communiquées par les personnes-ressources ou encore via des recherches thématiques sur Internet sur des bases de données spécialisées.

2.2.1. Sources bibliographiques collectées en bibliothèques ou dans les archives

2.2.1.1. Bibliothèque de la station marine d'Endoume

La bibliothèque de la station marine d'Endoume regroupe de nombreux ouvrages et publications scientifiques du domaine marin local et régional enrichie notamment par les spécialistes couvrant l'ensemble de la faune et de la flore marine qui s'y sont succédé (Figure 10).

Grâce au travail de rédaction et de gestion des références bibliographiques de Mme Catherine Beaussier, de nombreuses références ont été identifiées et collectées sur différentes thématiques. Le recensement des connaissances s'est appuyé sur les nombreux travaux publiés à la station marine d'Endoume tels que :

- Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume (1949-1969) ;
- Téthys (1969-1985) ;
- Thèses présentées par des chercheurs de la station marine d'Endoume (1959-1971) ;
- Publications et thèses des chercheurs de la station marine d'Endoume (1983-1986).

Le « Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume » est une revue scientifique française éditée par la station marine d'Endoume destinée à la publication de contributions dans le domaine de la biologie marine (Figure 10). « Téthys » a remplacé le « Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume » en 1969. La majorité des publications issues de ces revues n'est pas numérisées et accessibles uniquement en bibliothèque (Figure 10).

La bibliothèque de la station marine d'Endoume a été une ressource indispensable car elle dispose de nombreux ouvrages et publications scientifiques non numérisés introuvables sur Internet, notamment des données anciennes antérieures aux années 1960 publiées ou non par la station. Des recherches approfondies

dans les archives de la station marine d'Endoume permettraient de compléter encore les données historiques collectées.



Figure 10 : Photographie de la première de couverture du premier fascicule du Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume datant de 1949 (à gauche) et un des placards de la bibliothèque de la station marine d'Endoume contenant de nombreux ouvrages anciens (à droite).

2.2.1.2. Plateforme macrophytes du MIO

La plateforme macrophytes du MIO regroupe une importante collection de macrophytes marins, une bibliothèque et des bases de données associées qui ont été une ressource indispensable dans le cadre de cette étude. Elle dispose de nombreux ouvrages, publications et rapports scientifiques non numérisés introuvables sur Internet.

Grâce au travail de rédaction et de gestion de fiches thématiques des références bibliographiques de Mme Michèle Perret-Boudouresque, de nombreuses références ont été identifiées et collectées sur différentes thématiques.

L'étude s'est appuyée sur l'analyse de :

- 18 fiches thématiques sur les Bouches-du-Rhône ;
- 4 fiches thématiques sur le golfe de Fos ;
- 11 fiches thématiques sur l'étang de Berre ;
- 9 fiches thématiques sur le golfe de Marseille ;
- 3 fiches thématiques sur les Calanques.

Macrophytes
*Nomina si nescis,
perit cognitio rerum**

2.2.1.3. Archives du GIS Posidonie

Depuis sa création en 1982, le GIS Posidonie effectue des recherches et des expertises en écologie marine pour les collectivités régionales et locales, les services de l'Etat, etc. Le GIS Posidonie publie des rapports et des publications scientifiques dans le cadre d'inventaires et de cartographies des peuplements et des fonds marins, d'acquisition de données biologiques et écologiques plurispécifiques, de suivis biologiques (e.g. suivi ichtyologique, etc.), de système de surveillance (e.g. herbier à *Posidonia oceanica*, etc.), etc. L'ensemble de ses rapports et productions scientifiques sont référencées ou enregistrées en format numérique accessibles

depuis le GIS Posidonie sur le serveur de l'Université. Les travaux de la première décennie sont encore pour la plupart sous format papier. Le GIS Posidonie conserve une bibliothèque de référence des travaux qu'il a réalisés et des ouvrages qu'il a édités depuis sa création.

2.2.1.4. Archives de la DDTM

Les services de l'Etat ont porté à connaissance les données connues et disponibles dans leurs archives notamment la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) des Bouches-du-Rhône. Les archives de la DDTM comportent de nombreux rapports sur les installations classées protection de l'environnement (ICPE), sur les stations d'épuration (STEP), sur les dossiers de demande d'autorisation, etc.

2.2.2. Sources bibliographiques collectées grâce aux personnes-ressources

En complément des données identifiées en bibliothèques ou dans les archives, des « personnes-ressources » c'est-à-dire des personnes ayant acquis des connaissances dans le domaine de la biologie marine ont été contactées. Les personnes-ressources sont des scientifiques, des acteurs issus des structures gestionnaires de sites naturels, des membres d'associations naturalistes ou de protection de l'environnement, etc. qui ont travaillé ou travaillent sur des thématiques liées à la biodiversité marine du territoire.

Chaque structure productrice de données présente un fonctionnement différent. L'obtention des données, la synthèse et l'analyse nécessitent un coût de traitement. Il a donc été nécessaire de les contacter afin d'identifier les données disponibles et les modalités et conditions de leur mise à disposition. Différents acteurs du territoire ont été contactés afin de partager les sources de connaissances relatives à leurs domaines d'expertise. De nombreuses entrevues ont été réalisées dans le cadre de cette étude en présentiel et en distanciel. La liste des acteurs rencontrés n'est pas une liste exhaustive, d'autres acteurs locaux pourraient être contactés afin de compléter certaines disciplines.

2.2.2.1. Scientifiques

Les données des scientifiques sont issues principalement des deux laboratoires d'océanologie et de biodiversité marine de la région marseillaise qui sont l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO) et l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) travaillant sur différents groupes taxonomiques ou écosystèmes.

Au total, 20 scientifiques ont été rencontrés dans le cadre de cette étude dont 8 chercheurs du MIO, 10 chercheurs de l'IMBE et 2 chercheurs du CEREGE (Tableau I).

2.2.2.2. Structures gestionnaires du milieu marin

Les données des structures gestionnaires du milieu marin sont issues notamment du Parc Marin de la Côte Bleue, du Parc national des Calanques, du GIPREB (syndicat mixte de gestion intégrée prospective et restauration de l'étang de Berre) et du Parc naturel régional de Camargue (Tableau II).

2.2.2.3. Associations de protection de l'environnement

Les données des associations de protection de l'environnement sont issues de l'Institut Ecocitoyen (association d'acquisition de connaissances scientifiques sur l'environnement et l'effet des pollutions autour de Fos-sur-Mer), de MIRACETI (association de connaissances et de conservation des cétacés) et de Septentrion Environnement (association de protection du milieu marin) (

Tableau III).

2.2.2.4. Services de l'Etat

Les données des services de l'Etat sont issues de l'Office Français de la Biodiversité (OFB), de l'Agence de l'Eau (données collectées sur la plateforme MEDTRIX) et de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) des Bouches-du-Rhône (Tableau IV).

2.2.2.5. Collectivités

Les données des collectivités sont issues des données référencées par la ville de Marseille, le département des Bouches-du-Rhône et la Région Sud ((Tableau V).

2.2.2.6. Autres structures

D'autres structures ont été contactées telles que le Grand Port Maritime de Marseille (GPMM) qui est gestionnaire d'espaces naturels (Tableau VI).

Au total, 15 personnes-ressources en plus des scientifiques issus de 13 organismes différents ont été contactées et rencontrées.

Tableau I : Liste des scientifiques contactés, laboratoires et spécialités.

(MIO : Institut Méditerranéen d'Océanologie, IMBE : Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale, CEREGE : Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement)

Prénom NOM	Organisme	Direction ou fonction	Spécialité(s)
Didier AURELLE	MIO	Maître de conférences Equipe EMBIO (Ecologie Marine et Biodiversité)	Cnidaires ; roche infralittorale, coralligène, grottes sous-marines ; génétique
Marc BALLY	MIO	Chargé de Recherche Equipe MEB (Microbiologie Environnementale et Biotechnologies)	Micro-organismes ; génétique
Loïc GUILLOUX	MIO	Ingénieur Technicien Administratif Equipe EMBIO (Ecologie Marine et Biodiversité)	Zooplancton ; colonne d'eau, lagune
Mireille HARMELIN-VIVIEN	MIO	Directrice de Recherche Equipe EMBIO (Ecologie Marine et Biodiversité)	Poissons téléostéens ; fonds meubles infralittoraux, herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> , roche infralittorale, coralligène, colonne d'eau
Patrick RAIMBAULT	MIO	Directeur de Recherche Equipe CEM (Chimie des Environnements Marins)	Chimie ; colonne d'eau
Sandrine RUITTON	MIO	Maître de conférences Equipe EMBIO (Ecologie Marine et Biodiversité)	Poissons téléostéens ; herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> , roche infralittorale, coralligène, colonne d'eau ; approche écosystémique
Delphine THIBAUT	MIO	Maître de conférences Equipe EMBIO (Ecologie Marine et Biodiversité)	Cténaires, zooplancton ; colonne d'eau
Thierry THIBAUT	MIO	Professeur Equipe EMBIO (Ecologie Marine et Biodiversité)	Phycologie (phéophycées, ulvophycées, rhodobiontes) ; herbier à <i>Cymodocea nodosa</i> , roche infralittorale
Gérard BELLAN	IMBE	Directeur de Recherche émérite Equipe DFME (Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes)	Annélides ; fonds meubles infralittoraux, roche infralittorale, coralligène
Denise BELLAN-SANTINI	IMBE	Directeur de Recherche émérite Equipe DFME (Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes)	Arthropodes (crustacés) ; fonds meubles infralittoraux
Anne CHENUIL	IMBE	Directeur de Recherche Equipe OEB (Origine et évolution de la Biodiversité)	Coralligène ; génétique

Pierre CHEVALDONNE	IMBE	Directeur de Recherche Equipe DFME (Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes)	Bionomie benthique ; grottes sous-marines, roches et vases bathyales ; arthropodes (mysidacés), éponges
Christophe LEJEUSNE	IMBE	Maître de conférences Equipe DFME (Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes)	Ascidies ; grottes sous-marines, structures artificielles
Pascal MIRLEAU	IMBE	Maître de conférences Equipe OEB (Origine et évolution de la Biodiversité)	Epibiontes de posidonies ; herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>
Thierry PEREZ	IMBE	Directeur de Recherche Equipe DFME (Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes)	Bionomie benthique ; grottes sous-marines ; éponges
Jean VACELET	IMBE	Directeur de Recherche émérite Equipe DFME (Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes)	Eponges ; grottes sous-marines
Nicole BOURY-ESNAULT	GIS Posidonie	Directeur de Recherche honoraire	Eponges
Jean-Georges HARMELIN	GIS Posidonie	Directeur de Recherche honoraire	Cnidaires, bryozoaires, échinodermes ; coralligène, grottes sous-marines
Laetitia LICARI	CEREGE	Maître de conférences Equipe CL (Climat)	Foraminifères ; colonne d'eau
Thibault DE GARIDEL-THORON	CEREGE	Chargé de recherche Equipe CL (Climat)	Foraminifères

Tableau II : Liste des personnes-ressources et structures de gestion du milieu marin contactées.

Prénom NOM	Organisme	Direction ou fonction
Eric CHARBONNEL	Parc Marin de la Côte Bleue	Responsable scientifique
Raphaël GRISEL	GIPREB	Directeur
Nicolas MAYOT	GIPREB	Chargé de mission Observatoire du milieu
Alessandra ACCORNERO PICON	Parc national des Calanques	Référente Ecologie Milieux Marins
Delphine MAROBIN	Parc naturel de régional de Camargue	Chargée de mission littoral et milieu marin

Tableau III : Liste des personnes-ressources appartenant à des associations de protection ou d'étude de l'environnement marin contactées.

Prénom NOM	Organisme	Direction ou fonction
Annabelle AUSTRUY	Institut Ecocitoyen	Chargée de mission Sols et Ecotoxicité
Hélène LABACH	MIRACETI	Directrice
Adrien CHEMINEE	Septentrion Environnement	Directeur scientifique et pédagogique

Tableau IV : Liste des personnes-ressources appartenant à des services de l'Etat contactées.

Prénom NOM	Organisme	Direction ou fonction
Sandra RUNDE CARIOU	Office Français de la Biodiversité (OFB)	Chargée de mission aires marines protégées et gestion du milieu marin, usages côtiers et pêche PACA ouest
Audrey BERREBHA	Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) des Bouches-du-Rhône	Chargée de mission Protection du Milieu Marin

Tableau V : Liste des personnes-ressources et des collectivités contactées.

Prénom NOM	Organisme	Direction ou fonction
Liva ANDRIAMAMONJY	Ville de Marseille	Direction de la Mer Chargée d'opération Aménagement du littoral
Julie GUERY	Ville de Marseille	Responsable de Division Milieux Naturels et service Mer et Littoral Chargée de projet Récifs Prado
Matthieu ROSSI	Conseil Départemental des Bouches-du-Rhône	Chargée de mission Mer et Littoral
Valérie RAIMONDINO	Région Sud (Provence-Alpes-Côte d'Azur)	Chargée de mission

Tableau VI : Liste des personnes-ressources d'autres structures contactées.

Prénom NOM	Organisme	Direction ou fonction
Jérémy CLEMENT	Grand Port Maritime de Marseille (GPMM)	Chef du service Environnement

2.2.3. Sources collectées sur Internet

Une recherche bibliographique a été effectuée sur des bases de données de publications scientifiques telles que Google Scholar, Web of Science et le portail documentaire d'Aix-Marseille Université pour recenser des publications scientifiques parues dans des journaux scientifiques indexés. Les données scientifiques détaillées sont généralement disponibles à partir des années 1960 tout en restant parcellaires. Avant cette date, les données disponibles sont essentiellement des sources bibliographiques non numérisées et non accessibles directement sur Internet. Quelques données anciennes ont été numérisées sur des bibliothèques numériques telles que Gallica (bibliothèque numérique de la Bibliothèque nationale de France) ou encore sur Biodiversity Heritage Library (bibliothèque numérique pour la littérature scientifique sur la biodiversité).

2.3. Bancarisation des données

Afin de bancariser les données collectées, une **grille de collecte de métadonnées** stockées sur un tableau Excel a été élaborée afin d'adopter un format commun de renseignement des données. Les métadonnées correspondent aux informations sur les données telles que la date, la géolocalisation, etc. qui permettent de définir ou de décrire la donnée. Il est nécessaire d'assurer une traçabilité de l'information en renseignant ces métadonnées. Cela permet de connaître l'origine des données, etc. Ces informations ont été remplies pour chaque « jeu de données » (c'est-à-dire source de données) et pourront être enrichies à la suite de l'étude si d'autres sources de données sont collectées.

Cette grille de collecte de métadonnées est issue d'un travail collectif de sélection des métriques qui a mené à un consensus quant à la méthode estimée la plus pertinente pour récolter les données (choix des champs, niveau taxonomique, etc.). Toutes les données collectées dans le cadre de cette étude répondent à un cadre minimum assurant une certaine standardisation des données. Certains champs sont donc obligatoires (en blanc) et d'autres facultatifs (en bleu) (Annexe A). L'ensemble des champs de la grille de métadonnées avec leur description et leur format sont en Annexe A. Certains champs sont détaillés ci-dessous afin d'expliquer les choix réalisés.

2.3.1. Champs concernant les références bibliographiques (quoi ?)

Chaque ligne du tableau de métadonnées correspond à un jeu de données c'est-à-dire à une source bibliographique. Un identifiant unique a été incrémenté pour chaque source de données permettant d'identifier la source utilisée. Plusieurs types de sources bibliographiques peuvent être collectés dans le cadre de cette étude : des publications scientifiques, des rapports scientifiques, des thèses, des données brutes de terrain (lorsque les données n'ont pas encore été publiées) ou des ouvrages.

L'ensemble des métadonnées permettant de décrire la source bibliographique a été indiqué (nom du premier auteur, année de parution, référence bibliographique, titre, liens url, mots-clés).

La localisation des données est indiquée afin de situer le jeu de données pour le retrouver. Les sources des données ont été collectées à la bibliothèque de la station marine d'Endoume, à la plateforme macrophytes, dans les archives du GIS Posidonie ou de la DDTM, via les personnes-ressources ou sur Internet.

2.3.2. Champs concernant les personnes-ressources (qui ?)

Lorsque les données ont été identifiées et fournies par une personne-ressource, une indication concernant le nom de la personne-ressource, son organisme et son adresse e-mail a été donnée afin de retrouver les données si nécessaire.

2.3.3. Champs concernant la date des données (quand ?)

Les dates (année et mois) de collecte des données correspondent aux dates des échantillonnages ou d'observation des données. A défaut, lorsque l'information n'était pas spécifiée ou qu'elle était incertaine, aucune date n'a été indiquée.

2.3.4. Champs concernant la localisation (où ?)

Pour chaque source de données, le niveau de précision est indiqué (un ou plusieurs site(s) d'étude ; une ou plusieurs zone(s) d'étude). La profondeur (donnée non obligatoire) a été spécifiée lorsqu'elle était connue. Les coordonnées GPS d'un site d'étude sont également indiquées lorsqu'elles sont connues. Ces informations sont en relation avec la bancarisation des données cartographiques sous SIG (voir paragraphe 2.3.6).

2.3.5. Champs concernant les habitats

Dans le cadre de cette étude, différents habitats ont été sélectionnés en fonction des différents étages des biocénoses présentes dans le milieu.

2.3.5.1. Etagement biocénotique en Méditerranée

Le milieu marin comprend plusieurs étages et sous-étages biocénotiques qui ont été décrits en fonction des organismes marins qui y vivent. Plusieurs paramètres physico-chimiques et biologiques (humectation, embruns, vagues, courants, lumière, sédimentation, espèces ingénieurs, etc.) sont considérés afin d'expliquer les limites biocénotiques. Au sein d'un étage, ces paramètres sont homogènes, ou présentent un gradient entre des valeurs critiques correspondant aux limites de cet étage (Pérès J. M. et J. Picard, 1964 ; La Rivière *et al.*, 2021 ; Blanfuné *et al.*, 2022). Les différents étages et sous-étages méditerranéens de la zone euphotique sont présentés dans la Figure 11. De haut en bas, on distingue (Blanfuné *et al.*, 2022) :

- L'étage **supralittoral** qui correspond en moyenne à la zone atteinte par les embruns ;
- L'étage **médiolittoral** qui correspond en moyenne à la zone de balancement des vagues et des marées ;
- L'étage **infralittoral** qui est toujours immergé (sauf parfois et momentanément sa frange supérieure) et correspond à la zone de développement des herbiers de *Posidonia oceanica* ;
- L'étage **circalittoral** dont la limite inférieure correspond à la disparition des organismes photosynthétiques pluricellulaires (Pérès et Picard, 1964 ; Boudouresque, 2013) ;
- L'étage **bathyal** où la lumière devient insuffisante pour permettre la vie d'organismes photosynthétiques pluricellulaires, avant de disparaître complètement.

2.3.5.2. Typologie des habitats appliquée

Dans un souci d'homogénéisation, la typologie utilisée, concernant les habitats à prendre en compte dans le cadre de cette étude, est définie par les fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée actualisées en 2021 (La Rivière *et al.*, 2021). C'est un travail de référencement, d'homogénéisation et d'harmonisation des typologies d'habitats existantes qui a abouti à la création d'une liste de référence française des biocénoses, des faciès et des associations d'espèces présents en Méditerranée. Ce travail est utilisé sur de nombreux programmes et outils pour faciliter la mise en œuvre des politiques publiques, l'identification et la conservation des habitats à l'échelle méditerranéenne. Les habitats présents uniquement sur notre zone d'étude (voir liste des habitats ci-dessous) ont été pris en compte. Une cartographie des biocénoses présentes sur notre zone d'étude a également été utilisée (Figure 12, Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16 ou [voir atlas cartographique p. 18 et 19](#)).

L'intérêt de raisonner par liste d'habitats réside dans le fait que l'on détermine si certains types d'habitats ont été mieux inventoriés que d'autres. Toutefois, la question de correspondance entre les typologies se pose, d'où la nécessité de disposer de toutes les données existantes. NB. Les données anciennes n'utilisent pas la typologie actuelle.

Les biocénoses de l'étage supralittoral faisant l'objet de recherche scientifique dans le cadre de notre atlas sont les suivants :

- **Banquettes de posidonie ;**
- **Roche supralittorale.**

Les biocénoses de l'étage médiolittoral faisant l'objet de recherche dans le cadre de notre atlas sont les suivants :

- **Fonds meubles médiolittoraux ;**
- **Roche médiolittorale.**

Les biocénoses de l'étage infralittoral faisant l'objet de recherche dans le cadre de notre atlas sont les suivants :

- **Herbiers à *Zostera noltei* ;**
- **Herbiers à *Zostera marina* ;**
- **Herbiers à *Cymodocea nodosa* ;**
- **Herbiers à *Posidonia oceanica* ;**
- **Matte morte à *Posidonia oceanica* ;**
- **Fonds meubles infralittoraux ;**
- **Galets infralittoraux ;**
- **Roche infralittorale.**

Les biocénoses de l'étage circalittoral faisant l'objet de recherche dans le cadre de notre atlas sont les suivants :

- **Fonds meubles circalittoraux ;**
- **Coralligène ;**
- **Roche du large ;**
- **Grottes sous-marines.**

Les biocénoses de l'étage bathyal faisant l'objet de recherche dans le cadre de notre atlas sont les suivants :

- **Vases bathyales ;**
- **Roches bathyales.**

D'autres habitats ont été pris en compte, notamment l'habitat **lagunaire** (étang de Berre) pouvant abriter plusieurs biocénoses, les **structures artificielles** (e.g. récifs artificiels, ports, digues, ouvrages divers, etc.) et la **colonne d'eau** (pour les organismes pélagiques vivant dans la colonne d'eau).

Au total, 21 habitats/biocénoses ont été sélectionnés dans le cadre de cette étude. Sur la grille de collecte de métadonnées mise en place, il est possible de consigner au maximum cinq habitats. Lorsque des inventaires sont réalisés avec davantage d'habitats, une sélection des habitats les plus représentatifs du site est effectuée.

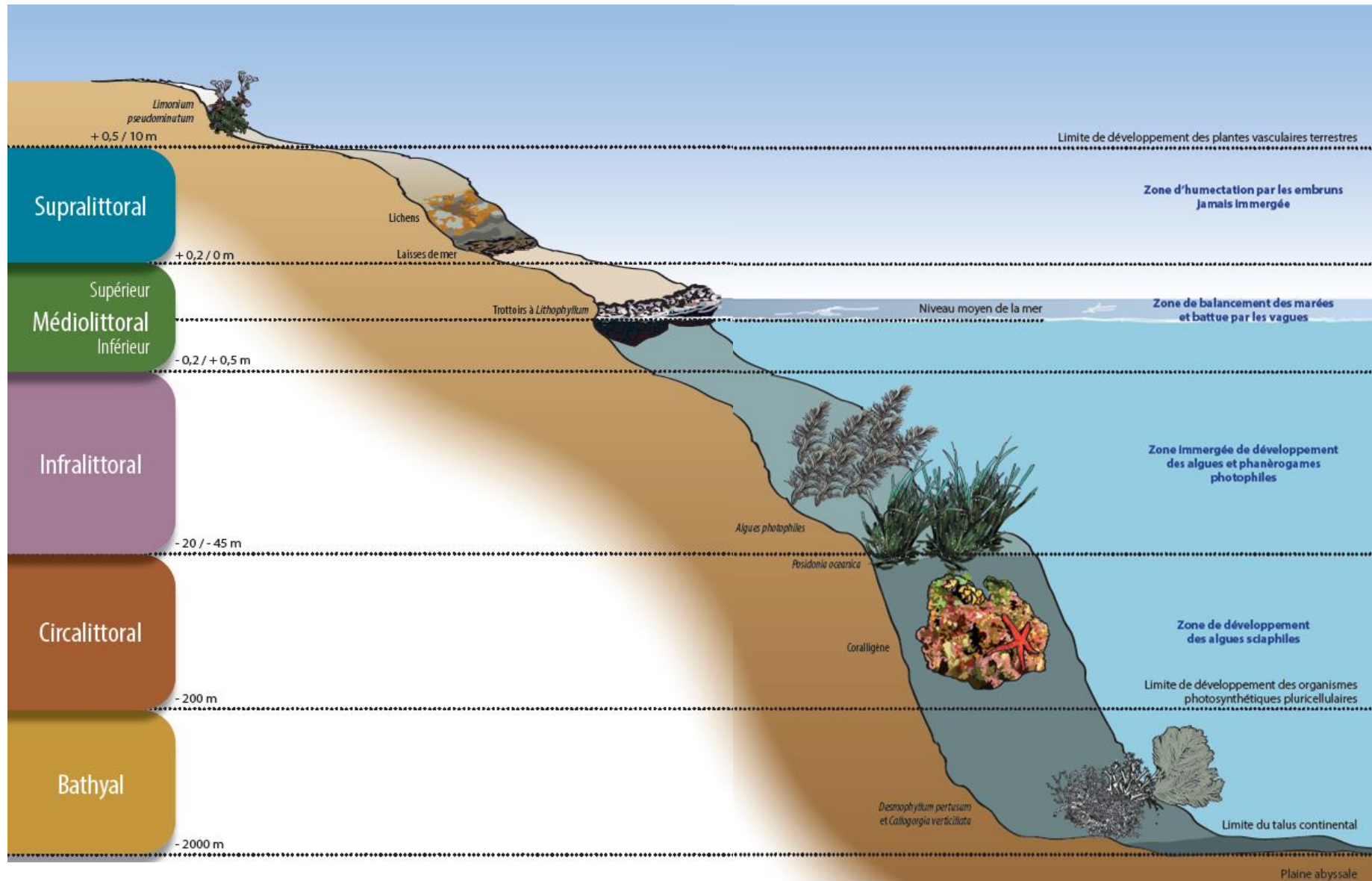


Figure 11 : Schéma des étages biocénotiques en mer Méditerranée.

(Modifié d'après La Rivière et al., 2021). Les limites bathymétriques ainsi que les exemples d'espèces typiques sont données à titre indicatif mais peuvent varier à l'échelle locale.

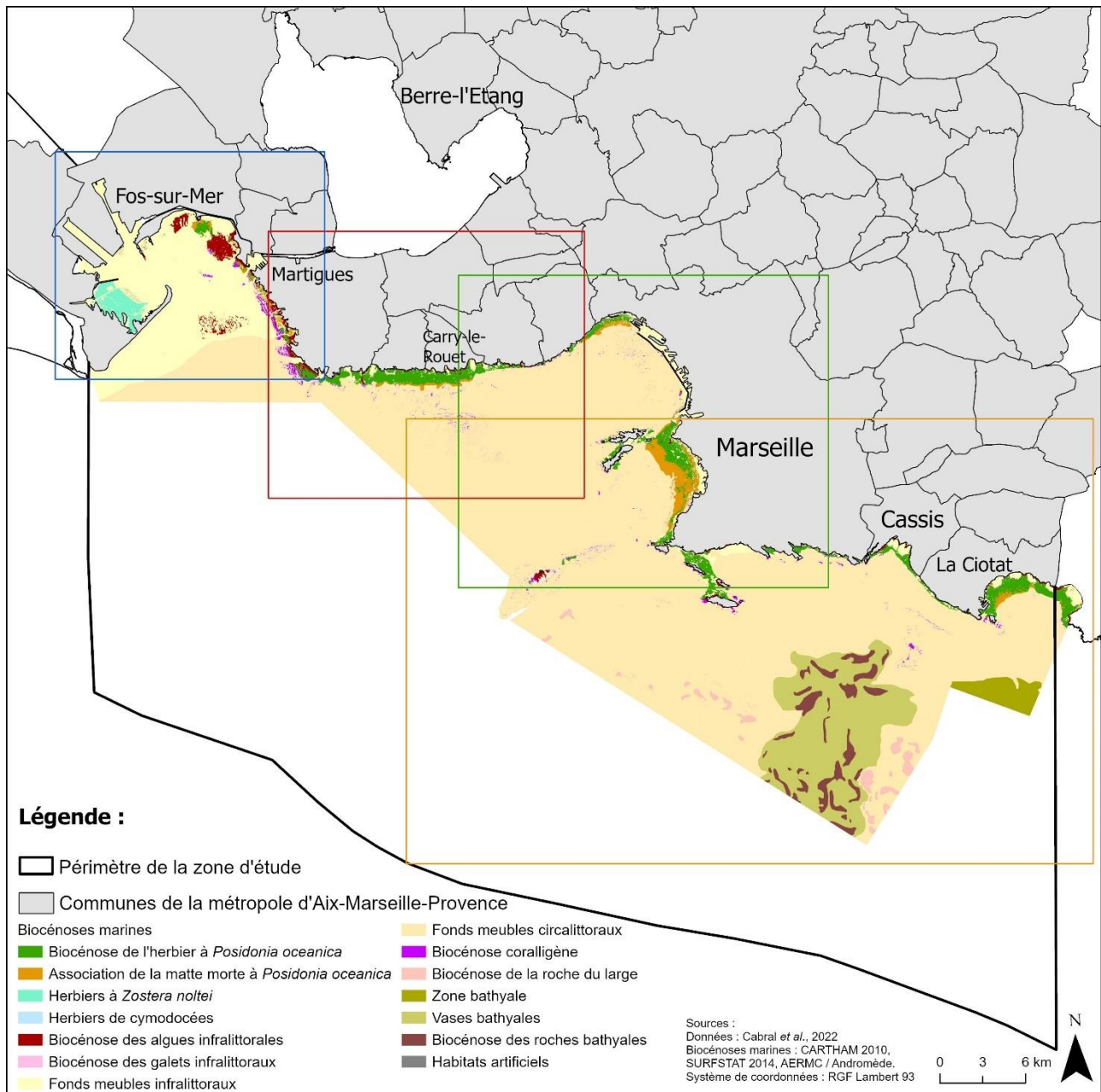


Figure 12 : Cartographie des biocénoses marines de la zone d'étude.

Le carré bleu correspond à la zone du golfe de Fos (Figure 13), le carré rouge correspond à la zone de la Côte Bleue (Figure 14), le carré vert correspond à la rade de Marseille (Figure 15) et le rectangle orange correspond à la zone des Calanques (Figure 16).

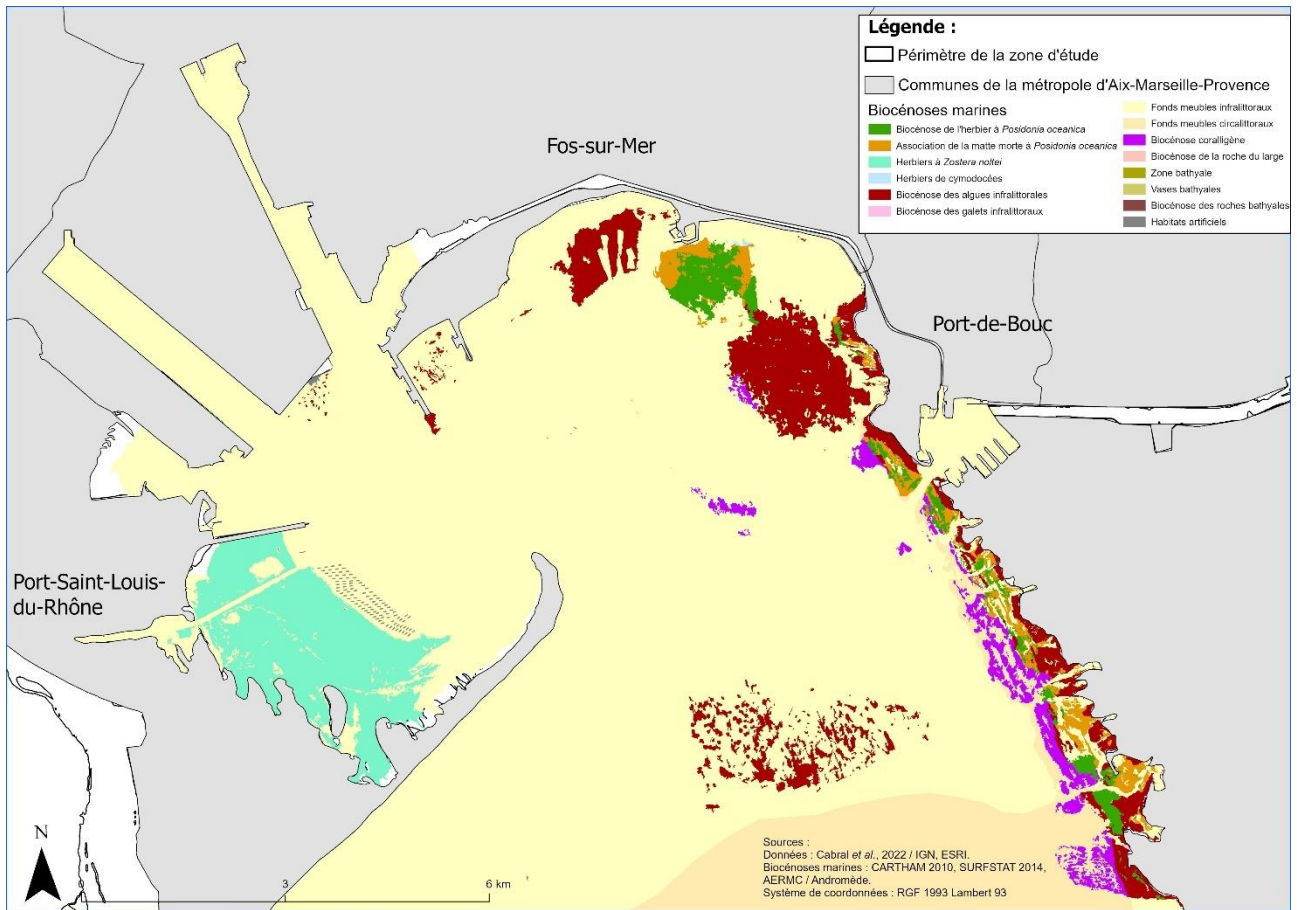


Figure 13 : Cartographie des biocénoses marines du golfe de Fos.

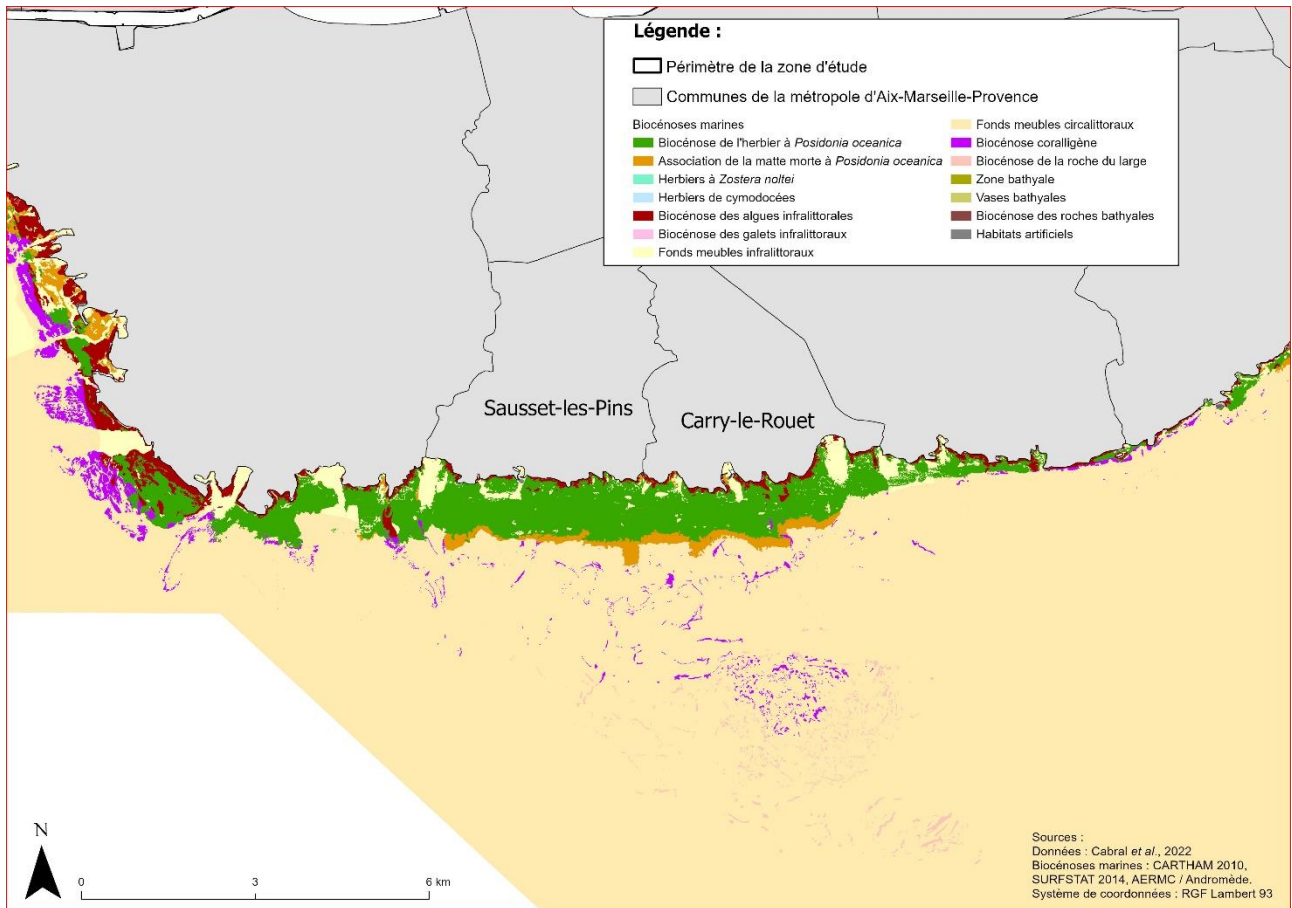


Figure 14 : Cartographie des biocénoses marines de la Côte Bleue.

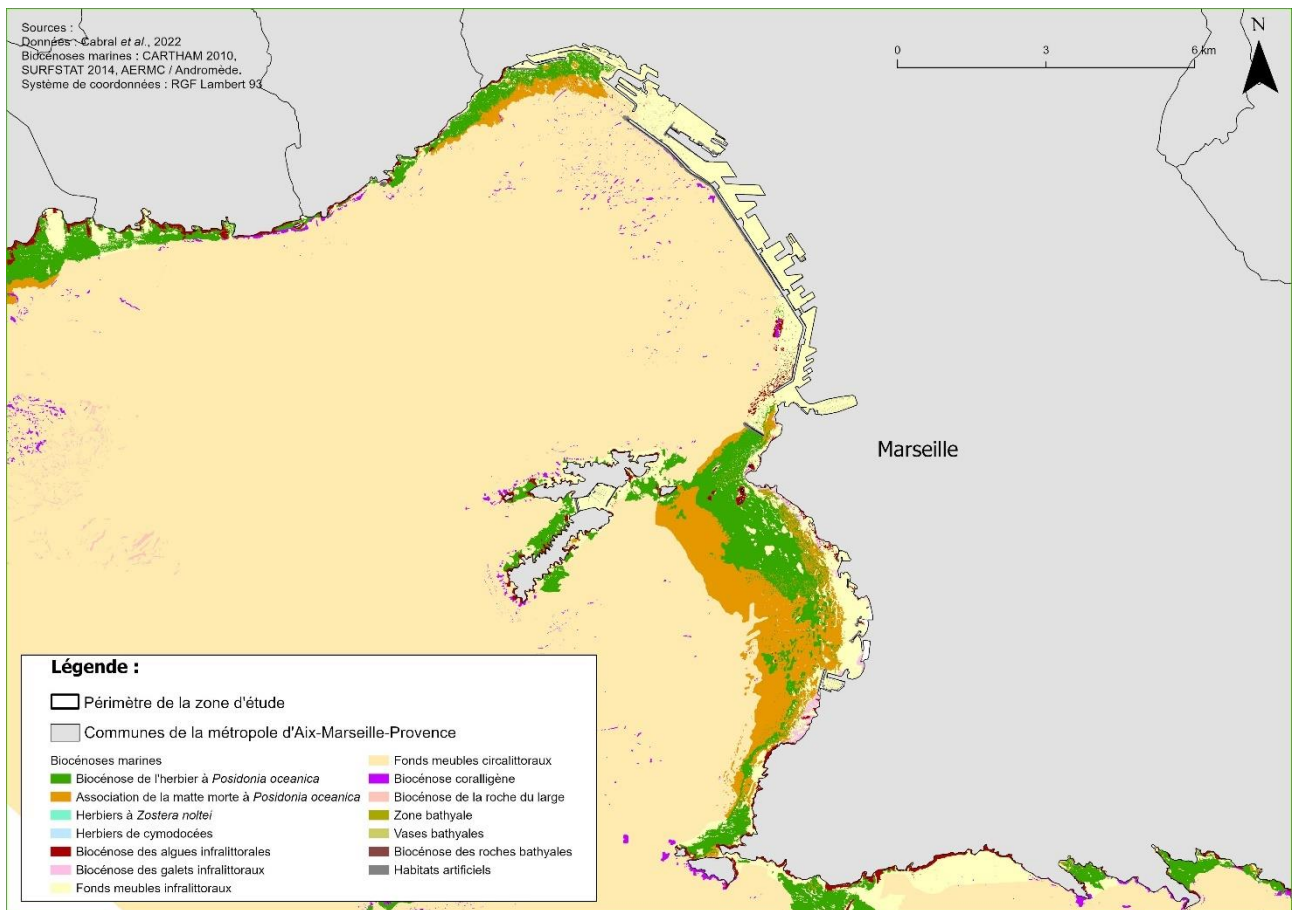


Figure 15 : Cartographie des biocénoses marines de la rade de Marseille.

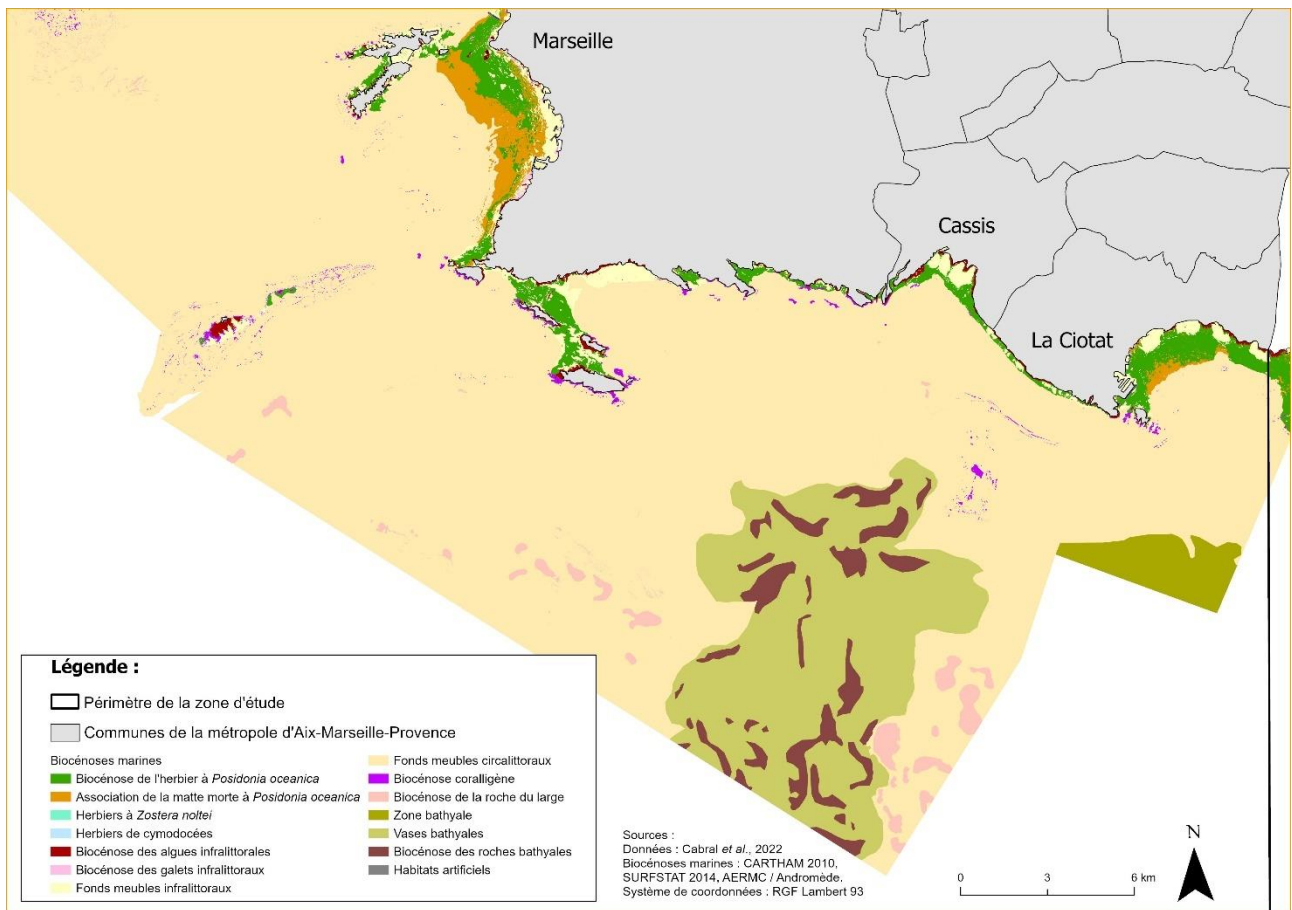


Figure 16 : Cartographie des biocénoses marines des Calanques de Marseille à La Ciotat.

2.3.6. Champs concernant les regroupements taxonomiques

Pour identifier les enjeux de biodiversité, un certain nombre de groupes taxonomiques concernant la flore et la faune sont utilisés. L'ensemble des groupes taxonomiques marins existants ne peuvent faire l'objet de l'étude. Un regroupement qui peut être taxonomique ou non a été réalisé. L'objectif de ce rapport n'est pas de réaliser un inventaire exhaustif des espèces présentes sur le territoire.

Les regroupements floristiques faisant l'objet de recherche dans le cadre de notre atlas sont les suivants :

- **Magnoliophytes** : plantes à fleurs (e.g. *Posidonia oceanica*, etc.) ;
- **Ulvophycées** : algues vertes (e.g. *Halimeda tuna*, etc.) ;
- **Phéophycées** : algues brunes (e.g. *Ericaria zosteroides*, etc.) ;
- **Rhodobiontes** : algues rouges (e.g. *Mesophyllum expansum*, etc.).

Les regroupements faunistiques faisant l'objet de recherche dans le cadre de notre atlas sont les suivants :

- **Eponges** (spongiaires, porifera) : (e.g. *Crambe crambe*, *Oscarella* spp., etc.) ;
- **Cnidaires** : (e.g. *Eunicella singularis*, etc.) ;
- **Cténaires** : (e.g. *Mnemiopsis leidyi*, etc.) ;
- **Echinodermes** : (e.g. *Paracentrotus lividus*, etc.) ;
- **Lophophorates** (Bryozoaires, Brachiopodes, Phoronidiens) : (e.g. *Myriapora truncata*, etc.) ;
- **Annélides et autres vers** : (e.g. *Sabella pavonica*, etc.) ;
- **Mollusques** : (e.g. *Pinna nobilis*, etc.) ;
- **Arthropodes** : (e.g. *Scyllarides latus*, etc.) ;
- **Tuniciers et céphalocordés** : (e.g. *Halocynthia papillosa*, etc.) ;
- **Poissons téléostéens** : poissons osseux (e.g. *Epinephelus marginatus*, *Conger conger*, etc.) ;
- **Chondrichthyens** : poissons cartilagineux (*Torpedo marmorata*) ;
- **Mammifères marins** : (e.g. *Stenella coeruleoalba*, etc.) ;
- **Oiseaux marins et divers.**

Deux autres regroupements ont été réalisés. Il ne s'agit pas de groupes taxonomiques, mais il était indispensable de faire figurer le plancton et les micro-organismes.

Le **plancton** constitue l'ensemble des organismes vivants en pleine eau. On distingue le **phytoplancton** qui est le plancton végétal à la base de la chaîne alimentaire aquatique et le **zooplancton** qui est le plancton animal. Au sein du zooplancton, on distingue l'holoplancton dont les organismes passent la totalité de leur vie en pleine eau et le méroplancton composé d'espèces ne restant qu'une partie de leur cycle de vie dans le plancton, généralement durant la phase larvaire. Dans le cadre de cette étude, le zooplancton correspond aux organismes vivants dans la colonne d'eau en prenant en compte les organismes holoplanctoniques et les organismes méroplanctoniques uniquement en phases larvaires. Les phases adultes (e.g. cnidaires, crustacés, etc.) ont été comptabilisées dans les autres groupes faunistiques cités précédemment.

Les **micro-organismes** sont des organismes vivants unicellulaires, invisibles à l'œil nu, ne pouvant être observés qu'à l'aide d'un microscope. Dans le cadre de cette étude, les **foraminifères**, micro-organismes protozoaires unicellulaires et les **procaryotes** (bactéries dont les cyanobactéries) ont été pris en compte.

L'objectif n'est pas de réaliser une liste d'espèces exhaustives et une cartographie avec une géolocalisation précise des espèces à enjeux mais d'identifier les grands groupes taxonomiques qui sont étudiés dans les sources de données. Au total, 21 « regroupements taxonomiques » ont été sélectionnés dans le cadre de cette étude. Sur la grille de collecte de métadonnées mise en place, il n'est possible de consigner que cinq regroupements taxonomiques. Lorsque des inventaires sont réalisés avec plus de cinq regroupements taxonomiques, une sélection des groupes les plus représentatifs est effectuée.

Plusieurs types de données relatives à des travaux sur la biodiversité des espèces peuvent être collectées dans le cadre de cette étude :

- des inventaires d'espèces (partiels ou exhaustifs) : acquisitions de données de répartition d'espèces ou de taxons dans le temps et dans l'espace à une période donnée ;
- des études plurispécifiques : études relatives à plusieurs espèces souvent caractéristiques d'un genre taxonomique ou de plusieurs populations en interaction dans le milieu ;
- des études monospécifiques : études relatives à une seule espèce ;
- des études génétiques : études relatives à la diversité intraspécifique ;
- des cartographies ou études sur les écosystèmes : études cartographiques d'un milieu, d'un habitat ou d'un écosystème ;
- des approches écosystémiques : études sur les interactions au sein d'un écosystème.

2.3.7. Bancarisation des données cartographiques

Afin de bancariser les données cartographiques collectées, une grille de métadonnées couplée à un système d'information géographique (SIG) sous ArcGIS® a été élaborée.

Pour chaque source de connaissance, les sites d'études ou les zones d'études ont été positionnés sur la cartographie afin de géoréférencer les données. Lorsqu'il s'agit de site(s) d'études dont les coordonnées GPS précises sont connues (latitude et longitude converties en degré décimaux), une zone tampon de 100 m a été prise en compte autour des sites précis. Les zones d'études correspondent aux zones géographiques délimitant le cadre de l'analyse.

Toutes les données cartographiques de ce rapport sont issues de la collecte des sources de données. Certaines sources de données possèdent peu d'indications sur la localisation (pas de coordonnées GPS, pas de cartographie précise des stations ou zone d'échantillonnage). Dans ce cas de figure, les zones d'études ont été placées approximativement avec les informations connues (profondeur, habitat, nom des sites d'études, amères, etc.), lorsque c'était réalisable.

2.4. Analyse des données et représentation cartographique

La réalisation des cartographies est basée sur les données géoréférencées collectées grâce aux sources de données. La restitution des résultats est faite sous forme de cartes de synthèse par habitats, par regroupements taxonomiques, etc., réalisées sur ArcGIS®.

Certaines couches SIG utilisées pour les représentations cartographiques ont été collectées sur différentes plateformes (Tableau VII).

Tableau VII : Tableau des couches SIG utilisées et de la source des données.

Couche SIG utilisées	Source de la donnée
Découpage communal	geo.data.gouv.fr
Masse d'eau côtières	https://geo.data.gouv.fr/fr/
Masse d'eau de transition	
Bathymétrie	SHOM
Biocénoses marines	CARTHAM 2010, Surfstat 2014, AERMC / Andromède océanologie
Délimitation du Parc Marin de la Côte Bleue	INPN https://inpn.mnhn.fr/telechargement/cartes-et-information-geographique?lg=fr
Délimitation du Parc national des Calanques	
Zone Natura 2000	
ZNIEFF	
Zone de non-prélèvement du Parc Marin de la Côte Bleue	
Zone de non-prélèvement du Parc national des Calanques	
Récifs artificiels du Prado	GIS Posidonie

2.5. Bilan des connaissances et des lacunes

Concernant le bilan des données, il peut être structuré selon 2 approches : une approche taxonomique/typologique et une approche géographique.

- (i) L'objectif de l'approche taxonomique/typologique est d'estimer le niveau de connaissance déjà acquis au niveau du territoire pour chaque habitat ou regroupement taxonomique ;
- (ii) L'objectif de l'approche géographique est d'estimer le niveau de connaissance déjà acquis selon les différentes zones du territoire. Par simplicité, les données ont été synthétisées par zones, par zones réglementaires, etc. ou en découpant la commune en grandes zones présentant une certaine homogénéité.
- (iii) Une approche temporelle a également été testée en regroupant les travaux réalisés à la fin du XIXème-début du XXème siècle, puis en regroupant des décennies.

Le niveau de connaissance des données est variable selon les groupes taxonomiques, les habitats ou encore la zone géographique. Le but est d'orienter les acteurs dans les choix à prioriser.

III. Résultats et interprétations

3.1. Analyse globale du corpus de données

Un corpus bibliographique de 880 sources de données a été collecté dans le cadre de cette étude. 24.1 % des sources ont été collectées via les personnes-ressources (soit 212 sources sur les 880 collectées), 10.7 % dans les archives du GIS Posidonie (soit 94 sources), 17.7 % sur Internet (soit 156 sources), 18.2 % à la bibliothèque de la station marine d'Endoume (soit 160 sources), 7.7 % à la plateforme macrophytes (soit 68 sources) et 21.6 % aux archives de la DDTM (soit 190 sources) (Figure 17). Environ un quart des sources provient des sources de personnes-ressources, un quart des bibliothèques, un quart des archives de la DDTM et le restant des archives du GIS Posidonie et d'Internet (Figure 17). Chaque méthode a apporté des sources de connaissances complémentaires.

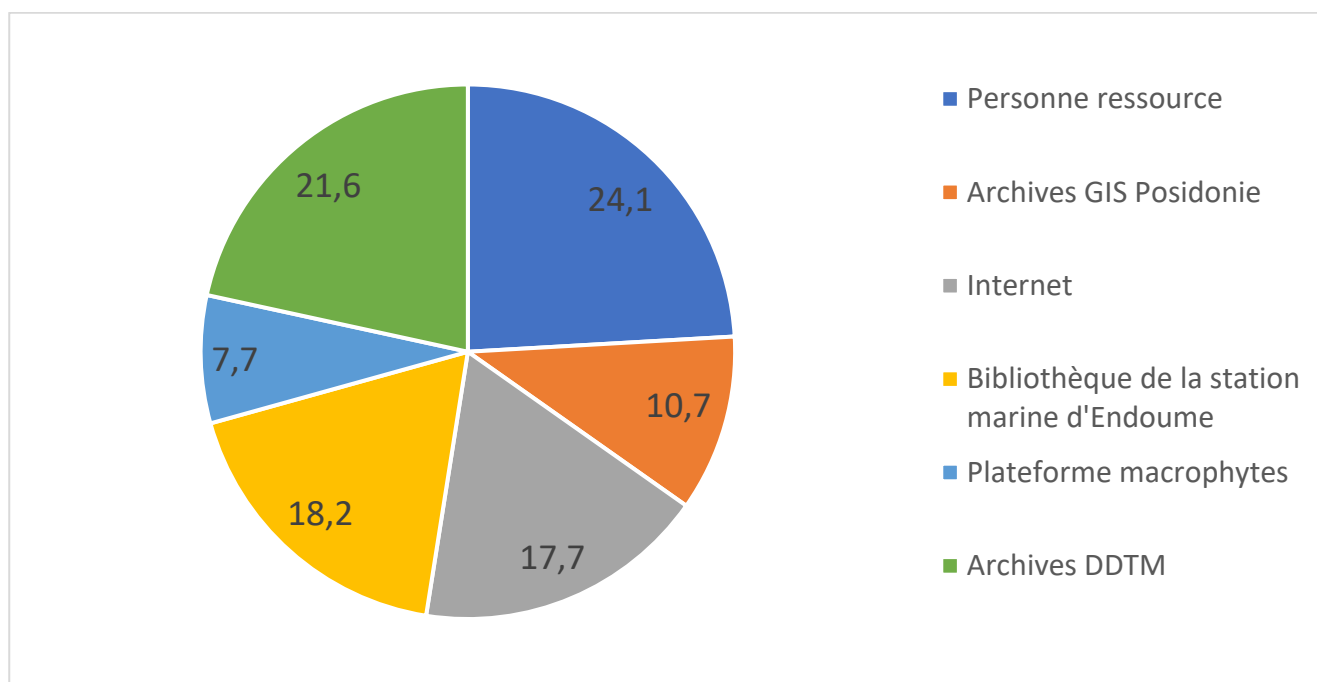


Figure 17 : Répartition en pourcentage de la localisation des sources de données.

(DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Bouches-du-Rhône)

Une source de données peut être identifiée à différentes reprises. En effet, elle peut être identifiée à la plateforme macrophytes mais avoir été saisie lors de recherches antérieures à une autre localisation. Afin d'éviter les doublons, une vérification constante des sources de données a été réalisée lors de la saisie et une seule et unique localisation est finalement considérée. La localisation de la première découverte de la donnée a été prise en compte. Cela explique en partie la plus faible proportion des données collectées à la plateforme macrophytes prospectée après d'autres sources.

De nombreuses études du GIS Posidonie n'ont pas été collectées car elles font référence principalement à la posidonie (e.g. le Réseau de Surveillance Posidonies, etc.) ou à une autre espèce. Ces études monospécifiques n'ont pas été priorisées dans le cadre de cette étude mais pourraient être ajoutées dans le cadre de données complémentaires. Les archives de la DDTM des Bouches-du-Rhône nous ont permis de collecter des données relatives aux rejets des stations, à des aménagements (e.g. extensions de digue, atterrissement de câble,

etc.) issues de commandes principalement à des bureaux d'études dans le cadre de dossier de demande d'autorisation, de suivi du milieu, etc.

Des données supplémentaires pourraient être collectées en réalisant des recherches dans d'autres bibliothèque du territoire (e.g. bibliothèque de Saint-Charles, etc.) ou via des requêtes complémentaires sur des bases de données spécialisées telle que Web Of Science ou encore en ajoutant des données de répartition d'espèces collectées dans le cadre de programmes de sciences participatifs. Des données complémentaires pourraient être également collectées auprès d'autres organismes (e.g. les bureaux d'études, associations, etc.) qui n'ont pas répondu à nos sollicitations dans le cadre de cette étude ou qui n'ont pas pu être contactés dans les délais impartis. Les rapports commandés par les instances publiques ne sont pas toujours accessibles en ligne et doivent être collectés directement dans les archives des instances ou auprès des personnes-ressources. Il n'existe pas de liste exhaustive des sources de références commandées par ces instances en ligne afin de sélectionner uniquement les sources en lien avec la biodiversité marine. De plus, de nombreuses archives ont été perdues ou supprimées au fil des années ou au moment du passage du tout numérique que cela soit en bibliothèque ou dans les instances publiques.

3.1.1. Evolution temporelle des sources de connaissance

L'ensemble des méthodes de collecte des données ont permis d'obtenir un panel de données allant des années 1870 jusqu'aux données les plus récentes (2022) (Figure 18). Les premières publications sur le recensement de la biodiversité apparaissent en 1872 puis 1876 et 1883 par Antoine-Fortuné Marion qui effectue des recherches sur les animaux inférieurs du golfe de Marseille, des dragages et une topographie zoologique permettant de connaître la distribution géographique des espèces marines de la rade de Marseille.

Avant les années 1960, les données collectées sont parcellaires. On constate une augmentation au fil des décennies du nombre d'études sur la biodiversité marine. Celle-ci décolle au début des années 1960 et connaît ensuite une forte croissance du nombre de sources collectées au cours des années 2010 (Figure 18).

Cette augmentation des sources est corrélée à l'acquisition des données et à l'accessibilité de la donnée. En effet, avant les années 1960, peu de moyens d'investigation existaient pour explorer les fonds marins et la plongée scientifique se développa vers les années 1950. De plus, avant les années 1960, les sources de connaissance sont peu accessibles directement sur Internet et très peu. Quelques données anciennes ont été collectées en bibliothèques ou sur des bases de données de publications numérisées spécialisées (e.g. Biodiversity Heritage Library).

Aucune donnée n'a été collectée entre 1910 et 1939 ou, tout du moins, ayant fait l'objet de publications scientifiques (Figure 18). Un travail de bibliographie historique permettrait de compléter notre base de connaissances afin d'ajouter des sources de références avant les années 1960 mais également d'identifier des sources potentielles au cours des années 1910 à 1939 ou même antérieures.

L'augmentation importante des sources de données liées à la biodiversité observée dans les années 2010 est corrélée avec la création du réseau européen Natura 2000 qui a conduit à de nombreux rapports dans le cadre de la création des sites mais également liés aux obligations européennes telles que la Directive Cadre sur l'Eau (DCE ; 2000/60/CE), la Directive Habitats-Faune-Flore (DHFF ; 92/43/CEE) et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM ; 2008/56/CE). Les moyens consacrés à la gestion et à la préservation des sites par les gestionnaires des milieux marins augmentent au cours de cette période permettant de développer des suivis et d'autres études.

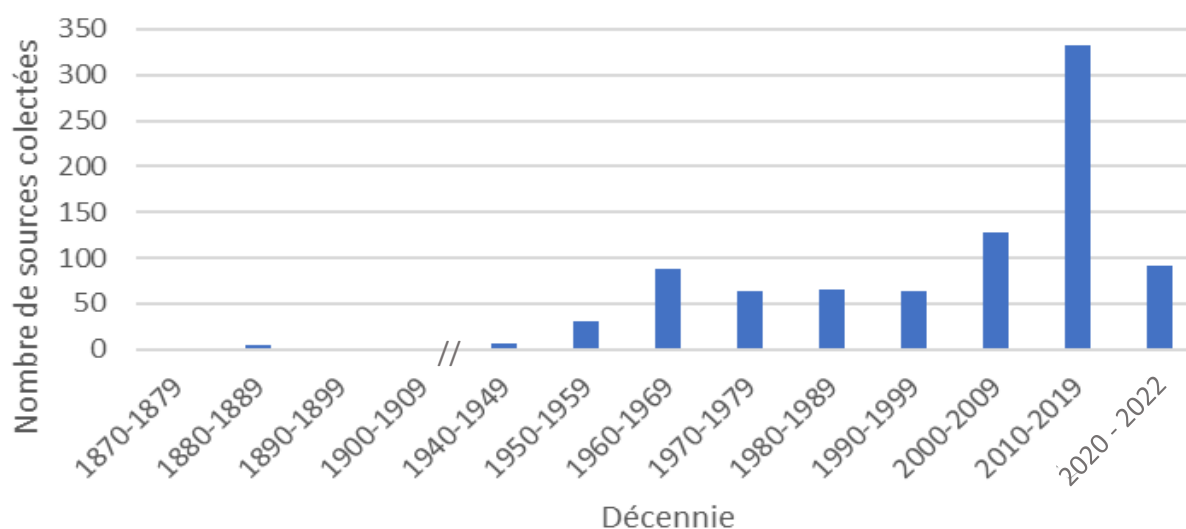


Figure 18 : Evolution temporelle du nombre de sources de données collectées.

Les données récentes sont plus facilement accessibles sur Internet contrairement aux données plus anciennes qui sont présentes uniquement en bibliothèque ou dans des archives (institutionnelles, personnelles, etc.). Ce travail n'étant pas exhaustif, d'autres bibliothèques (e.g. bibliothèque de Luminy, bibliothèque de Saint-Charles, etc.), d'autres personnes-ressources et d'autres bases de données non découvertes pourraient permettre d'enrichir les sources de connaissances identifiées (e.g. archives du Muséum d'histoire naturelle de la Ville de Marseille, Musée Océanographique de Monaco, etc.). Le maximum des sources de connaissance a été collecté dans le temps imparti de la collecte des données mais l'exhaustivité est à l'évidence impossible à atteindre.

3.1.2. Répartition des connaissances en fonction du type de références

Les données collectées ont été classées en fonction du type de source. 315 sources sur les 880 sources collectées sont des publications scientifiques (soit 35.8 %), 450 sources sont des rapports scientifiques (soit 51.1 %), 80 sources sont des thèses d'université (soit 9.1 %), 23 sources sont des données brutes de terrain (soit 2.6 %), 5 sources sont des ouvrages (soit 0.6 %) et 7 sources sont d'autres types de données (soit 0.8 %) (Figure 19).

L'étude s'est appuyée essentiellement sur les publications scientifiques collectées grâce aux connaissances des laboratoires travaillant sur cette étude (MIO et IMBE), ainsi que sur des rapports scientifiques notamment ceux du GIS Posidonie et de bureaux d'études (Figure 19 et Figure 20). Ces rapports scientifiques peuvent traiter aussi bien de recensement d'espèces, d'inventaires taxonomiques et de cartographies des habitats, d'études ou de suivis de quelques espèces que d'études de site ou d'impact liées à des projets d'aménagement du littoral.

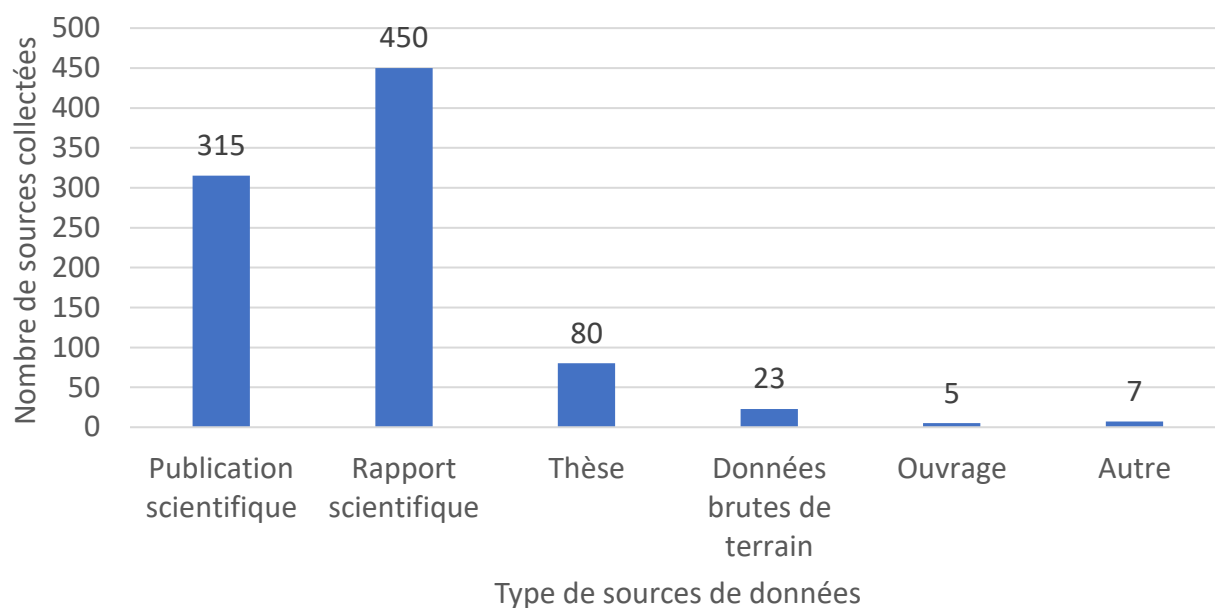


Figure 19 : Répartition des sources collectées par type de publication

Les données les plus anciennes collectées sont des publications scientifiques. Ces publications ont été rédigées par des océanologues marseillais connus tels que Paul Gourret et Antoine-Fortuné Marion (fondateur de la station marine d'Endoume). La production de connaissances de cette époque est stimulée par la création de la station marine d'Endoume, un des premiers instituts de recherche français dédié au milieu marin, en 1889.

Les rapports scientifiques pris en compte dans l'analyse des sources apparaissent dans les années 1970 alors que se développe la demande de connaissances sur le milieu marin (période des expéditions de la Calypso menées par Jacques-Yves Cousteau) et la création de structures de recherche et d'exploration du milieu marin (CNEXO centre national de recherche dédié aux océans ancêtre de l'Ifremer, COMEX entreprise de travaux sous-marins offshore, etc.) (Figure 20).

Les thèses incluses dans cette étude apparaissent au début des années 1960 (Figure 20). Il s'agit des thèses collectées à la station marine d'Endoume notamment dans les *Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume*. Les thèses antérieures à cette date n'ont pas été identifiées car elles ne sont pas accessibles directement sur Internet ou n'ont pas été collectées en bibliothèques. Aucune liste exhaustive des thèses réalisées dans le domaine marin de notre zone d'étude n'existe. Certaines thèses n'ont pas été prises en compte, notamment les thèses par article², dont les publications scientifiques ont été directement intégrées au corpus bibliographique afin de limiter les doublons.

Au cours des années 2010, des données brutes de terrain sont prises en compte (Figure 20) correspondant à des données récentes qui n'ont pas encore fait l'objet de publication mais qui seront exploitées dans les années à venir.

² La thèse par article, dite aussi thèse par publication est un format de présentation de thèse fondé sur des articles publiés ou prêts à être publiés dans des revues à comité de lecture reconnues dans le domaine.

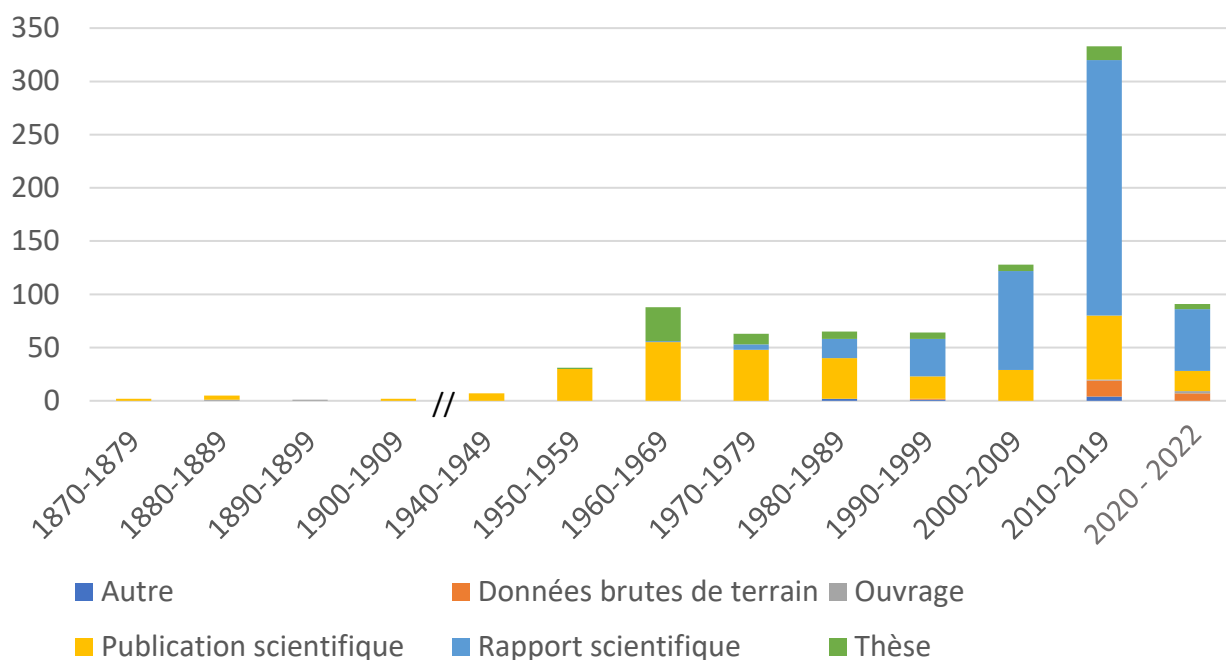


Figure 20 : Répartition temporelle du nombre de sources collectées par décennies et par types de sources de données.

3.1.3. Répartition des connaissances en fonction du type de données

Les données collectées ont été classées en fonction du type de données récoltées. 162 sources sur les 880 sources collectées sont des inventaires visant l'exhaustivité (soit 18.4 %), 241 sources sont des inventaires partiels (soit 27.4 %), 59 sources sont des cartographies (soit 6.7 %), 11 sources sont des approches écosystémiques (soit 1.3 %), 48 sources sont des études monospécifiques (soit 5.5 %), 344 sources sont des études plurispécifiques (soit 39.1 %) et 15 sources sont des études génétiques (soit 1.7 %) (Figure 21).

L'étude s'est appuyée essentiellement sur les inventaires, qu'ils soient exhaustifs ou partiels et sur les études plurispécifiques (Figure 21). D'autres approches ont été prises en compte lorsqu'elles ont été jugées pertinentes pour décrire la biodiversité, c'est le cas des études génétiques, des études cartographiques et des approches écosystémiques (Figure 21). Les études monospécifiques ont été prises en compte que lorsqu'elles ont été jugées pertinentes pour décrire la biodiversité ou lorsqu'un regroupement taxonomique semblait être peu étudié afin d'avoir des données (e.g. mammifères marins, etc.).

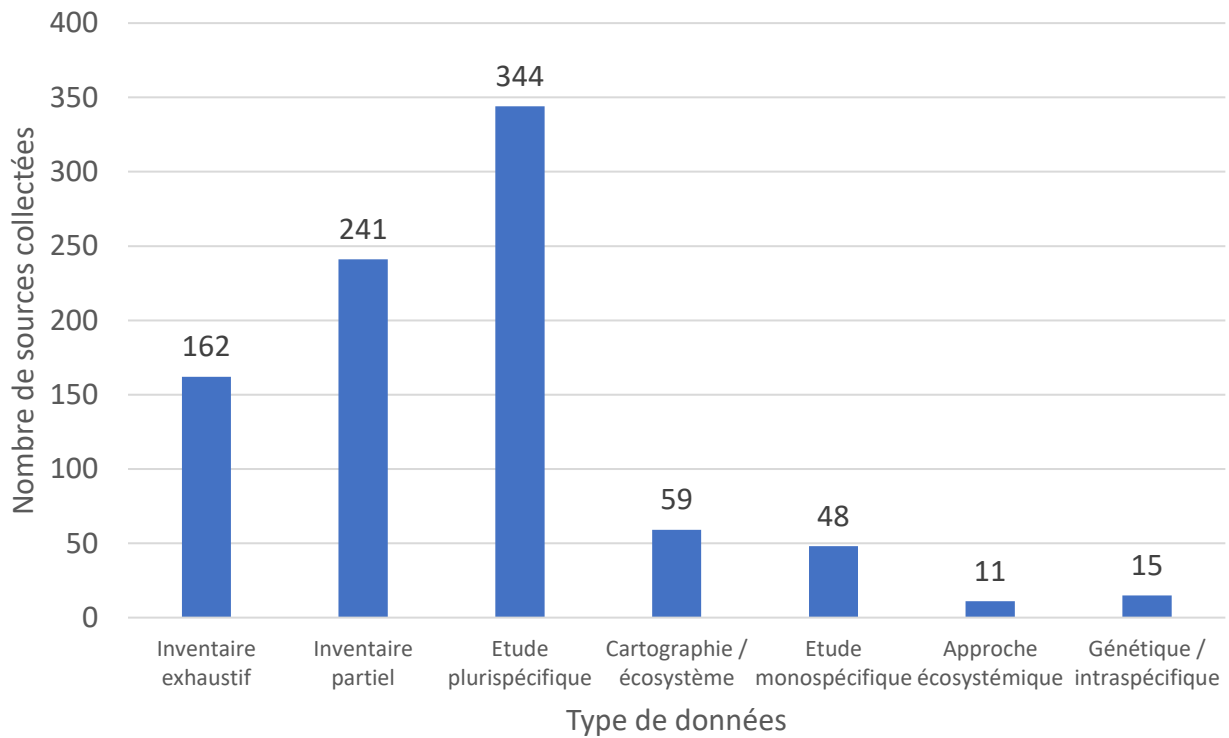


Figure 21 : Répartition des sources collectées en fonction du type de données.

Une évolution des types de données collectées est constatée au cours des décennies (Figure 22). La connaissance des milieux a évolué au cours du temps, ainsi que les méthodes d'acquisition des données :

- Avant les années 1950, afin d'étudier le milieu et les organismes, des observations (identification d'espèces en plongée, etc.) et des échantillonnages par prélèvement de types dragages ou pêches étaient réalisés afin de constituer des listes d'espèces (exhaustives ou partielles) présentes sur une zone ou sur une station échantillonnée. Certaines études traitant de la taxinomie n'étaient pas toujours structurées en fonction des différents habitats échantillonnés.
- Dans les années 1950, la classification des organismes est effectuée préférentiellement selon les biocénoses établies. Les chercheurs s'intéressent davantage à la taxinomie des organismes puis aux habitats (cartographie des habitats).
- Au cours des années 2010, d'autres approches apparaissent, liées à la diversité génétique ou encore liées aux fonctionnements des écosystèmes (approche écosystémique), pour une meilleure compréhension de la biodiversité.

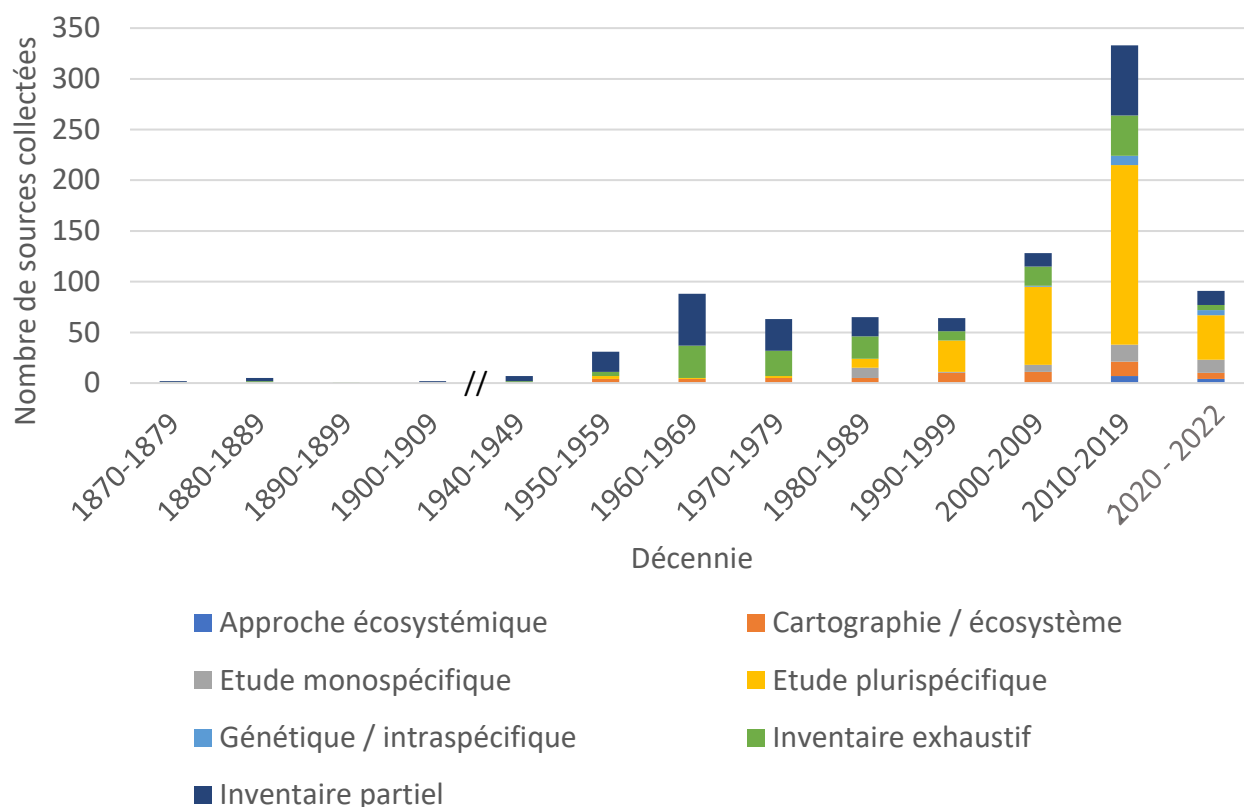


Figure 22 : Répartition temporelle du nombre de sources collectées par décennies et par type de données.

3.1.4. Répartition des connaissances en fonction des habitats

Une même publication peut porter sur plusieurs étagements. La Figure 23 représente la répartition des sources collectées par étage étudié. Les études peuvent traiter de données sur différents habitats d'un étage ou renseigner différents habitats sur plusieurs étages.

- 3.8 % des sources traitent de l'étage supralittoral (soit 33 données sur 880) et 7,2 % traitent de l'étage médiolittoral (soit 63 données). Ce sont des milieux relativement peu étudiés.
- 51.1 % des sources traitent l'étage infralittoral (soit 450 données) (Figure 23) qui sont des milieux peu profonds étudiés notamment pour la roche infralittorale et les herbiers à *Posidonia oceanica*. Ce sont des milieux accessibles et très étudiés.
- 25.6 % des sources traitent l'étage circalittoral (soit 225 données) (Figure 23) milieu de mieux en mieux étudié notamment pour les grottes (18 données).
- 4.2 % des sources traitent de l'étage bathyal (soit 37 données) (Figure 23) qui est un milieu peu accessible, dont l'exploration demande des moyens importants (campagne océanographique coûteuse et technique).
- 68.2 % des sources traitent des autres habitats, dont 18.8 % pour l'étang de Berre (soit 165 données), 18.4 % pour les structures artificielles (soit 162 données) et 31.0 % pour la colonne d'eau (soit 273 données) (Figure 23). Lorsque les études traitent des poissons pélagiques ou du plancton, l'habitat considéré est la colonne d'eau.

La distribution spatiale du nombre de sources de données est très inégale et suit un gradient bathymétrique et donc une facilité d'exploration depuis des petits fonds bien explorés aux fonds plus profonds, beaucoup moins prospectés. Les données utilisées pour constituer cette base peuvent être biaisées géographiquement, avec notamment une surreprésentation de la biodiversité dans les zones déjà connues pour leur richesse ou d'un accès aisé.

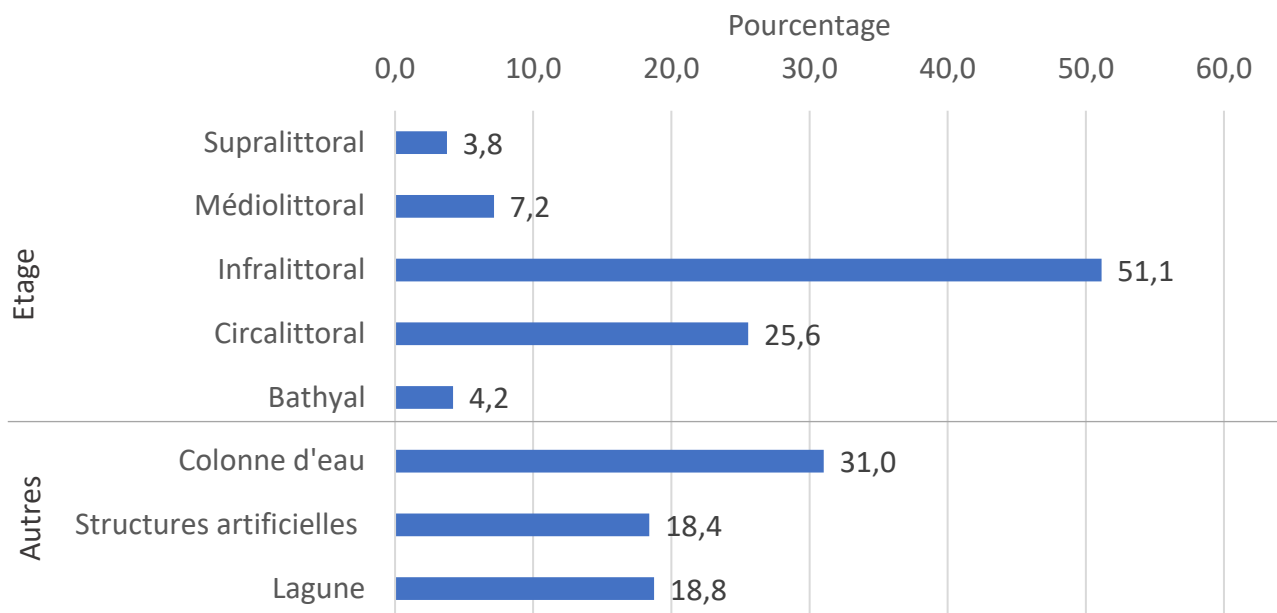


Figure 23 : Pourcentage des sources de données collectées par étage marins ou par type d'habitat.

(NB : une même source peut étudier plusieurs étages.)

3.1.5. Répartition des connaissances en fonction des grands regroupements taxonomiques

La Figure 24 représente la répartition des sources collectées par grands regroupements taxonomiques étudiés, c'est-à-dire la flore, la faune, le plancton et les micro-organismes. Une même publication peut concerner plusieurs grands groupes car les études peuvent réaliser des inventaires de la faune et de la flore présentes dans un même milieu.

Les sources de données collectées concernent, pour une grande majorité, la faune à 76.0 % (soit 307 données sur 880) et la flore représente 34.9 % des sources (soit 307 données). Le plancton comprenant à la fois le zooplancton et le phytoplancton ne concerne que 13.9 % des données (soit 122 données) et les micro-organismes représentent 4.8 % des sources (soit 42 données) (Figure 24).

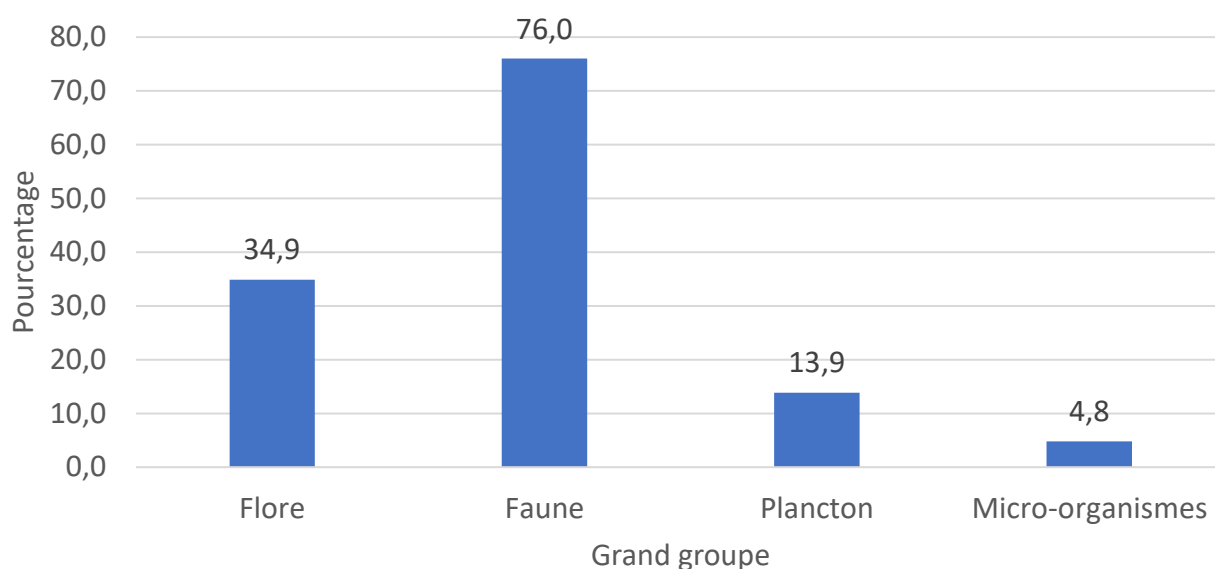


Figure 24 : Pourcentage des sources des données par grands groupes d'organismes.

(NB : une même source peut étudier plusieurs grands groupes d'organismes.)

3.1.5.1. Répartition des connaissances concernant la flore

La Figure 25 représente la répartition des données collectées par regroupements taxonomiques pour la flore. Une même publication peut concerner plusieurs regroupements floristiques. Les magnoliophytes sont étudiées dans 24.9 % des sources (soit 219 données sur 880), les ulvophycées (algues vertes) dans 15.3 % (soit 135 données), les phéophycées (algues brunes) dans 14.1 % (soit 124 données) et les rhodobiontes (algues rouges) dans 15.1 % (soit 133 données).

Davantage d'études concernent les magnoliophytes en raison du nombre d'études dédiées aux herbiers à *Posidonia oceanica*, aux zostères, etc. Les études concernant uniquement *Posidonia oceanica* n'ont pas été prises en compte car ce sont des études monospécifiques qui n'ont pas été priorisées. Les études concernant les algues (rouges, brunes et vertes) semblent être homogènes.

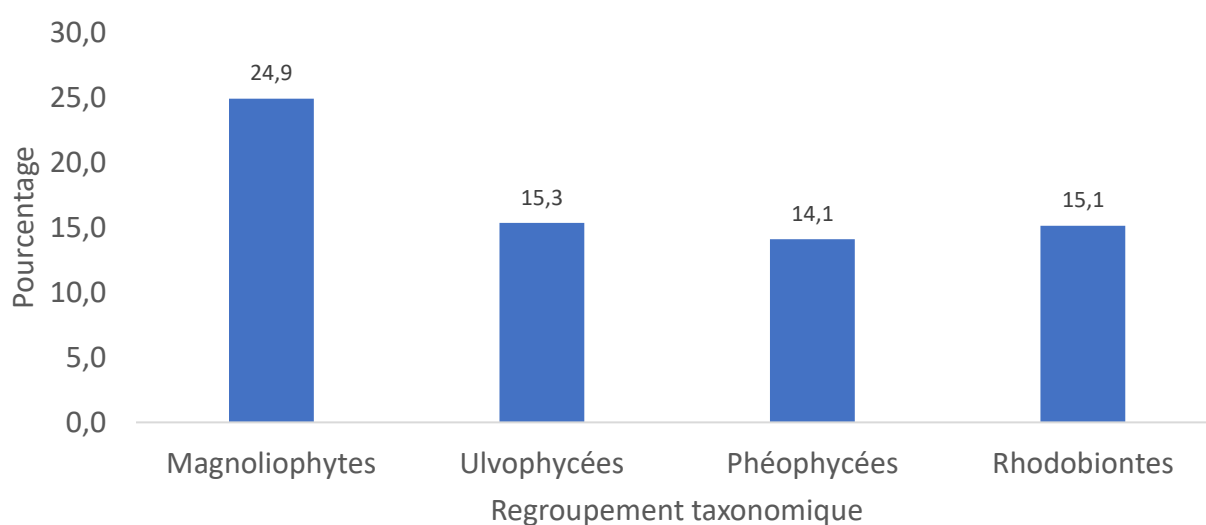


Figure 25 : Pourcentage des sources de données par groupe taxonomique pour la flore.

(NB : une même source peut étudier plusieurs groupes floristiques.)

3.1.5.2. Répartition des connaissances concernant la faune

La Figure 26 représente la répartition des études collectées par regroupements taxonomiques pour la faune.

Les groupes les plus étudiés sont les mollusques avec 40.1 % des sources (soit 353 données sur 880), les annélides et autres vers avec 29.9 % (soit 263 données), les arthropodes avec 29.8 % (soit 262 données), les poissons téléostéens avec 25.3 % (soit 223 données) et les échinodermes avec 23.1 % (soit 203 données). Ce sont les organismes les plus abondants sur le territoire et les groupes taxonomiques commercialisés (e.g. poissons, bivalves, etc.).

Dans le recensement des connaissances réalisé peu d'études traitent des cténaïres (0.9 %), des chondrichthyens (0.6 %), des oiseaux marins et divers (1.1 %) et des mammifères marins (3.0 %). Plusieurs explications peuvent être apportées à ce faible score. Il y a peu de spécialistes dans ces domaines en comparaison à d'autres groupes et/ou ces spécialistes n'ont pas été contactés en priorité (e.g. la ligue pour la protection des oiseaux (LPO) notamment pour les oiseaux marins, etc.). Pour les mammifères marins, les données collectées sont sous-estimées. Elles sont majoritairement monospécifiques et traitent principalement d'échouages. Des recherches spécifiques sur ces groupes taxonomiques pourraient être réalisées afin de compléter les données. Peu d'études sont réalisées sur les cténaïres car il y a peu d'espèces (entre 5 et 10) sur le territoire (*Mnemiopsis leidyi*, *Leucothea multicornis*, etc.).

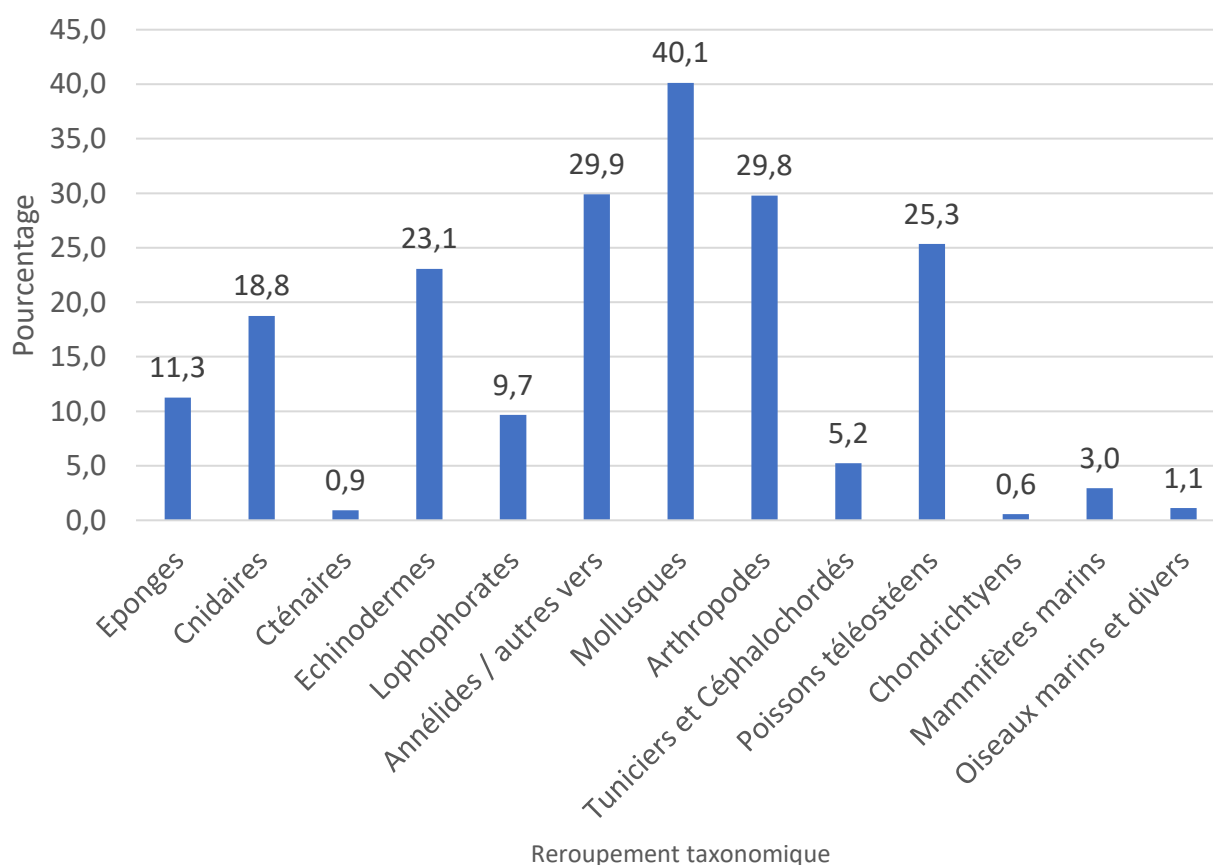


Figure 26 : Pourcentage des sources de données par groupe taxonomique pour la faune.

(NB : une même source peut étudier plusieurs groupes faunistiques.)

3.1.5.3. Répartition des connaissances concernant le plancton et les micro-organismes

La Figure 27 représente la répartition des données collectées par regroupements taxonomiques pour le plancton et les micro-organismes.

Pour le plancton, 7.7 % des sources concernent le phytoplancton (soit 68 données sur 880) et 8.8 % concernent le zooplancton (soit 77 données). Les données collectées pour ce compartiment sont indéniablement sous-estimées. Des recherches spécifiques sur ces groupes taxonomiques pourraient être réalisées afin de compléter les données dans d'autres bibliothèques plus spécialisées sur ces regroupements taxonomiques.

Pour les micro-organismes, 3.1 % des sources concernent les foraminifères (soit 27 données) et 1.7 % concernent les procaryotes (soit 15 données). Peu d'études dans le présent recensement concernent ces derniers regroupements d'organismes qui ne sont visibles qu'après analyse au laboratoire (e.g. loupe binoculaire, etc.). Le nombre de références concernant les procaryotes est nettement sous-estimé faute de temps pour explorer ce vaste domaine avec les spécialistes. Les études concernant ce groupe ne traitent pas majoritairement d'inventaires mais des processus et du fonctionnement des organismes. Il y a peu de spécialistes dans ces domaines en comparaison à d'autres groupes et pour réaliser l'atlas, une priorité a été accordée aux autres groupes.

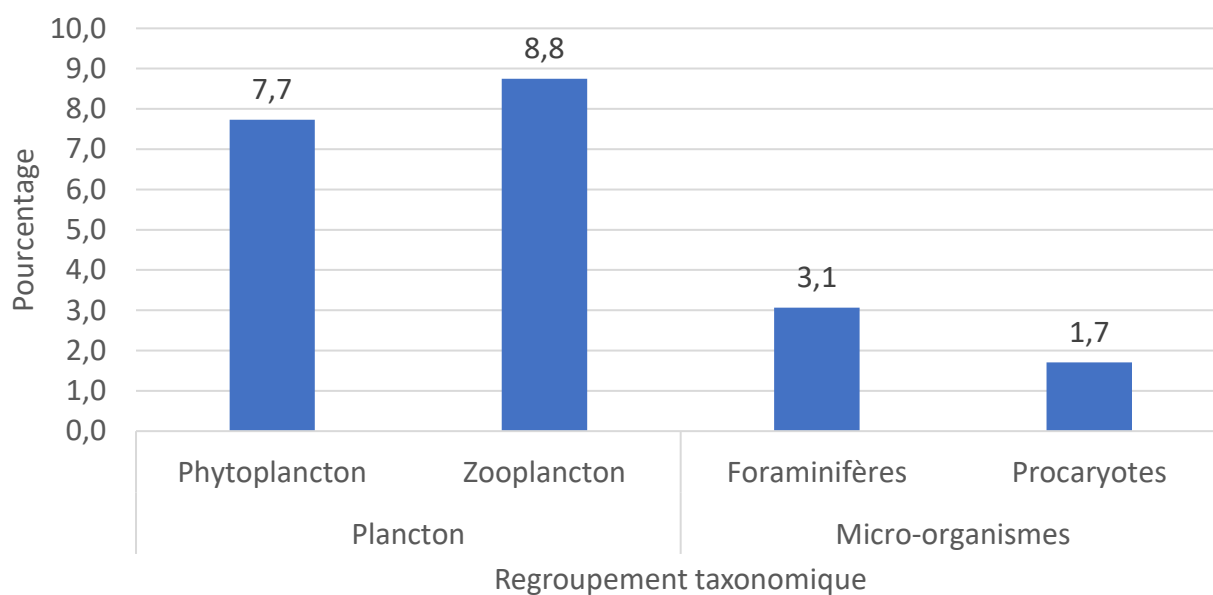


Figure 27 : Pourcentage des sources de données par groupe taxonomique pour le plancton et les micro-organismes.

(NB : une même source peut étudier plusieurs regroupements taxonomiques.)

3.2. Représentations cartographiques des connaissances

L'étude de la distribution spatiale des sources de données concernant la biodiversité est une étape préliminaire à la compréhension de ses déterminants et à la planification pour sa conservation. La connaissance de la biodiversité marine à l'échelle de la métropole n'a jamais fait l'objet d'une représentation et d'une analyse cartographique. Dans le présent travail, les sources de données collectées portant sur des habitats ou sur des regroupements taxonomiques ont été analysées spatialement, par habitat ou par regroupements taxonomiques.

99.4 % des données collectées ont pu être géoréférencées (soit 875 données sur 880). Certaines sources de données possèdent peu d'indications sur la localisation (pas de coordonnées GPS, pas de cartographie précise des stations ou des zones d'échantillonnage). Dans ce cas de figure, les zones d'études ont été placées approximativement avec les informations connues (profondeur, habitat, nom des sites d'études, amères, etc.), lorsque c'était réalisable. Ce sont des zones d'études élargies, qui permettent néanmoins de localiser la source à l'échelle de la métropole. Les sources de connaissance ayant trop peu d'informations sur leur localisation, n'ont pas été prises en compte pour les cartographies (0.6 % des sources, soit 5 données collectées présentes dans la grille de métadonnées) : Champalbert G., 1970 ; Bellan G., 1973 ; Luchini L., 1974 ; Travers M., 1975 et Ledoyer, 1983.

Une grille régulière correspondant à une maille de 500 m x 500 m a été utilisée pour les traitements et les représentations cartographiques. L'indicateur choisi est une densité de sources correspondant au nombre de sources de données pour chaque maille de 250 km². Les sources bibliographiques ainsi localisées et rapportées à une unité de surface, permettent d'avoir une représentation visuelle des données référencées dans la zone d'étude concernant la connaissance de la biodiversité sans prétendre à l'exhaustivité. Les zones les plus foncées sur l'échelle de densité font ainsi ressortir les mailles correspondant aux lieux où la densité d'études de connaissance sont les plus importantes. Cette maille a généré 9 971 cellules sur le site d'étude.



Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités à lister les 5 habitats les plus représentatifs de l'étude mais d'autres habitats ont pu être échantillonnés en plus des 5 indiqués. Il est important d'insister sur le fait que les cartes réalisées ne représentent pas la localisation des habitats ou des groupes taxonomiques en soi, mais la densité des sources de données collectées à l'échelle de la zone d'étude.


Etant donné le volume important de cartes produites et la cartographie n'étant qu'une étape de cette étude, l'éventail complet des productions possibles n'est pas présenté ici. Seules les plus pertinentes, relatives à des habitats ou des regroupements taxonomiques présentant des résultats caractéristiques ont été sélectionnées et figurent dans le second volume de l'**atlas cartographique** (Belloni *et al.*, 2022). Ces cartes ont été confrontées à l'expertise de certains chercheurs pour évaluer l'adéquation des répartitions avec les connaissances naturalistes du territoire.


3.2.1. Analyse cartographique globale


3.2.1.1. Couverture géographique des connaissances


Les données collectées proviennent de sources différentes de travaux réalisés à des périodes variables et en utilisant des protocoles différents. De ces divergences résulte un état de la connaissance qui n'est pas homogène à l'échelle de la métropole. Cependant, on peut dire que le territoire de la métropole a été globalement très étudié sur l'intégralité de son étendue. Aucune zone ne semble avoir aucune source de données, cependant ces résultats sont à analyser de plus près en fonction des habitats et des regroupements taxonomiques.

L'étang de Berre, le golfe de Fos, la Côte Bleue, la rade sud de Marseille et les Calanques ressortent de l'analyse comme des zones bénéficiant de nombreuses sources de données collectées dans le cadre de cette étude ([voir atlas cartographique](#)  p. 10). Pour mieux visualiser les résultats du recensement de sources, des focus ont été réalisés pour chacune de ces 4 zones géographiques (golfe de Fos, Côte Bleue, rade de Marseille et Calanques) à partir de la cartographie de la densité totale des sources collectées à l'échelle de la métropole de 1872 à 2022 ([voir atlas cartographique](#)  p. 11 et 12).


L'étang de Berre correspond à la zone qui bénéficie du plus grand nombre de sources bibliographiques collectées dans le cadre de cette étude ([voir atlas cartographique](#)  p. 12). L'étang de Berre est une des plus grandes lagunes d'Europe suscitant de nombreuses études scientifiques sur les espèces présentes dans un milieu de transition entre eaux douces (e.g. eau de pluie, eau du bassin versant, ruissellement, etc.) et eaux marines entrant au sud par le canal de Caronte. Depuis 1966, l'étang tient un rôle de réceptacle artificiel au déversement d'eau douce provenant de la centrale EDF de Saint-Chamas. De nombreuses études sont réalisées afin de comprendre l'impact écologique dû au fonctionnement de la centrale et les conditions écologiques de l'étang (e.g. variation de salinité, marée, vents, etc.). La lagune subit des hypoxies voire des anoxies fréquentes au fond de l'étang, qui se propagent progressivement vers les bordures en remontant vers la surface. Ces périodes de crise ont des impacts sur les peuplements de macrofaune benthique en provoquant des mortalités massives et en empêchant le développement d'un peuplement benthique pérenne et diversifié (« Généralités sur l'étang de Berre », GIPREB).

Le golfe de Fos ([voir atlas cartographique](#)  p. 11) est très étudié car c'est un milieu très artificialisé et c'est une zone industrialo-portuaire très importante du territoire. Ce milieu a subi de profondes transformations au cours du temps et en particulier durant la seconde partie du XXème siècle. De nombreuses études ont donc été réalisées à la suite de l'industrialisation de la zone et du développement d'activités à impact sur le milieu (e.g. usines de soude, de métallurgie, raffineries, etc.). Cette zone fait l'objet de suivis de la qualité des eaux et d'un observatoire écocitoyen du milieu.


La Côte Bleue ([voir atlas cartographique](#)  p. 11) est un espace très étudié qui est géré depuis 1983 grâce à la création de cantonnements de pêche puis d'une réserve marine à Carry-le-Rouet puis d'une autre à Couronne (1996), à la demande des pêcheurs professionnels. Ce site bénéficie d'une structure de gestion : le Parc Marin de la Côte Bleue, gouverné par un syndicat mixte de communes. Avant même la création du Parc, des études étaient réalisées dans cette zone (site atelier proche de la station marine d'Endoume, des balisages et cartographie des herbiers de posidonies à l'initiative de la DDTM des Bouches du Rhône, etc.).

La rade sud de Marseille ([voir atlas cartographique](#)  p. 11) est une zone très étudiée où les espaces naturels marins se retrouvent en contact avec un milieu très fortement anthropisé. C'est une zone stratégique d'étude de la biologie marine et de l'étude des écosystèmes notamment depuis la création de la station marine d'Endoume, un des premiers instituts de recherche français dédié au milieu marin, à Marseille, sur la


presqu'île de Malmousque en 1889. Les scientifiques qui s'y succèdent étudient la bionomie benthique et la systématique dans le golfe de Marseille.

Le Parc national des Calanques ([voir atlas cartographique](#)  p. 11) créé en avril 2012 est le plus grand Parc national périurbain d'Europe. Il s'étend sur 80 km de linéaire côtier sur une surface de près de 100 000 ha. Cette zone, proche des laboratoires de recherche marseillais, a fait l'objet de nombreuses études bien avant la création du Parc national en raison du caractère remarquable de ses habitats marins et afin de préserver la biodiversité du milieu. Depuis 2012, et grâce à la création du Parc national des Calanques, des suivis ont été mis en place et les travaux de recherche se poursuivent afin de mieux connaître et suivre la dynamique des espèces sous-marines.

Pour information, les études se référant au « Parc Marin de la Côte Bleue » ou au « Parc national des Calanques » dont la précision de la zone échantillonnée dans le Parc n'est pas indiquée, ont été rapportées à l'ensemble du Parc. Les zonages des aires protégées de la zone d'étude ont été confrontés à la densité totale d'études collectées. Au vu des résultats, il apparaît que les aires marines protégées (e.g. Parc national des Calanques, Parc Marin de la Côte Bleue, etc.) correspondent aux zones de forte densité de sources collectées dans le cadre de notre étude. Ceci pour deux raisons : (i) l'emplacement de ces aires marines protégées a été choisi en raison de la qualité de leurs habitats, de leurs peuplements ou des paysages sous-marins qu'elles abritent ; (ii) leurs créations s'est accompagnée de l'allocation de moyens et/ou d'obligations de suivi en articulation avec les agences de l'Etat (Office Français de la Biodiversité, Agence de l'Eau). Si les aires protégées apparaissent comme les zones avec une forte densité de source, il reste néanmoins un grand nombre de mailles qui peuvent être considérées par des enjeux mais qui ne font pas encore l'objet d'une protection de même niveau que les précédentes citées.

Les zones au large, la rade nord de Marseille et les environs de La Ciotat et de Cassis sont les zones ayant le moins de sources bibliographiques collectées dans le cadre de cette étude ([voir atlas cartographique](#)  p. 10). En effet, les études au large demandent une organisation et une logistique plus importantes. Les coûts de ces études sont également plus élevés car elles requièrent des moyens à la mer spécifiques (e.g. navire porteur d'engins, ROV). De plus, les zones au large, correspondent à des habitats marins profonds (entre 100 m et 1700 m de profondeur). Par ailleurs, les aménagements littoraux engendrent obligatoirement des études de site ordonnées par les services de l'Etat (DDTM, DREAL, DIRM).


3.2.1.2. Analyse cartographique par période

A la suite de l'analyse de l'évolution temporelle du nombre de sources de données collectées (Figure 18), un choix de regroupement en 4 périodes d'étude a été fait : 1872-1959, 1960-1979, 1980-1999 et 2000-2022. La période est définie par l'année de parution des références bibliographiques collectées. Les représentations cartographiques ont pour objectif de mettre en évidence l'évolution spatiale de la densité d'études au cours de ces différentes périodes ([voir atlas cartographique](#)  p. 13).

- 5 % des sources correspondent à la période entre 1872 et 1959 (soit 48 données sur 875). Les zones qui semblent le plus étudiées au cours de la fin du XIX^e et début du XX^{ème} siècle sont le littoral autour de Marseille (rade nord et rade sud). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 19 sources bibliographiques. Ces données sont corrélées avec la création de la station marine d'Endoume, un des premiers instituts de recherche français dédié au milieu marin, en 1889 qui a commencé par étudier principalement le golfe de Marseille.

- 17 % des sources correspondent à la période entre 1960 et 1979 (soit 147 données sur 875). Les zones qui semblent le plus étudiées au cours de cette période sont la rade sud de Marseille. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 37 sources bibliographiques. Ces travaux portent sur des recensement et descriptions d'espèces.
- 15 % des sources correspondent à la période entre 1980 et 1999 (soit 128 données sur 875). Les zones qui semblent le plus étudiées au cours de cette période sont l'étang de Berre. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 22 sources bibliographiques. Ces données sont corrélées avec la création d'un collectif d'associations pour l'étang de Berre à la suite de mobilisation face à sa dégradation. En 1992, le gouvernement s'est engagé dans une démarche de réhabilitation de l'étang de Berre (GIPREB). Le développement de l'écologie numérique fait évoluer les travaux, qui comprennent davantage d'analyses statistiques et de comparaisons entre sites et entre périodes.
- 63 % des sources correspondent à la période entre 2000 et 2022 (soit 552 données sur 875). Les zones qui semblent le plus étudiées au cours de cette période sont l'étang de Berre, la zone Natura 2000 Côte Bleue Marine, la rade sud de Marseille et les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 90 sources bibliographiques. Ces données sont corrélées avec la création du GIPREB (Groupement d'intérêt public pour la réhabilitation de l'étang de Berre) en 2000, la mise en place du site Natura 2000 Côte Bleue Marine en 2009 et la mise en place du Parc national des Calanques en 2012 qui induisent de nombreuses études (e.g. DOCOB, etc.). De même, la zone de forte densité d'études dans la rade sud de Marseille correspond au site d'immersion des récifs artificiels en 2008 dans la baie du Prado. Ces décennies voient se multiplier les rapports techniques, des études réalisées dans le cadre des différentes directives européennes. Ces décennies voient aussi apparaître les approches fonctionnelles et les recherches concernant la compréhension des écosystèmes dans leur ensemble, même si des travaux taxonomiques se poursuivent dans certains groupes.

3.2.1.3. Couverture géographique par type de références

A la suite de l'analyse de la répartition des sources en fonction du type de références collectées (Figure 19), un choix de distinguer les études scientifiques et les autres types d'études a été fait. Les études portant sur la recherche scientifique prennent en compte les publications scientifiques, les rapports scientifiques, les données brutes de terrain, les ouvrages et les thèses. Les rapports techniques sont principalement les données issues de bureau d'études ou d'associations concernant des dossiers d'impact, des dossiers d'aménagement du territoire, des suivis de stations d'épuration ou consécutifs à des aménagements, etc. Des représentations cartographiques ont été réalisées afin d'étudier l'évolution spatiale de la densité d'études en fonction du type de références ([voir atlas cartographique](#)  p. 15).

- 73 % des sources correspondent à de la recherche scientifique (soit 643 données sur 875). Les zones qui semblent le plus étudiées dans le cadre de la recherche scientifique sont l'étang de Berre, la zone Natura 2000 Côte Bleue Marine, la rade sud de Marseille et les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 120 sources bibliographiques.
- 27 % des sources correspondent aux rapports techniques (soit 232 données sur 875). Les zones qui semblent le plus étudiées sont l'étang de Berre, le golfe de Fos (autour des darses et de la centrale thermique d'EDF de Martigues) et le golfe de Marseille au niveau de la zone d'atterrissement des câbles de Marseille. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 41 sources bibliographiques. Ces données sont issues d'études d'aménagement (e.g. extension de quai, etc.), des études d'impact liées au suivi du milieu récepteur (notamment au niveau des darses et de la centrale EDF), d'atterrissement de câbles de télécommunications sur la plage du Prado à Marseille.

Des fiches thématiques sont réalisées pour la majorité des biocénoses et des regroupements taxonomiques comprenant (voir [atlas cartographique](#) 🗺️) :

- Une cartographie de la densité totale des sources collectées à l'échelle de la métropole Aix-Marseille-Provence de 1872 à 2022 ;
- Un diagramme comprenant le pourcentage de sources collectées par périodes ;
- Un diagramme comprenant le pourcentage de sources collectées par types de références.

Des représentations cartographiques ont également été réalisées par périodes pour les biocénoses majeures et les regroupements taxonomiques les plus étudiés afin d'analyser l'évolution spatiale de la densité d'études au cours du temps (voir [atlas cartographique](#) 🗺️).

Des représentations cartographiques ont été réalisées par types de références pour les regroupements taxonomiques les plus étudiés afin d'analyser l'évolution spatiale de la densité de sources de recherche scientifique et des rapports techniques (voir [atlas cartographique](#) 🗺️).

3.2.2. Analyse cartographique par habitats

Le territoire de la métropole abrite plusieurs types de écosystèmes remarquables parmi lesquels, les herbiers à *Posidonia oceanica* et le coralligène.

Les représentations cartographiques présentes dans l'**atlas cartographique** illustrent la densité des sources collectées à l'échelle de la métropole Aix-Marseille-Provence de 1872 à 2022 par habitat. Pour cela, une agrégation a été réalisée sur ArcGIS® afin de superposer les biocénoses (Figure 12 et **atlas cartographique p. 18 et 19**) et les zones d'études des sources de données collectées pour chaque habitat. Des focus ont été réalisés par zones (golfe de Fos, Côte Bleue, rade de Marseille et les Calanques) afin d'identifier les zones où les densités de données semblent les plus élevées (voir **atlas cartographique**).

Dans le volume regroupant les cartes de l'atlas (Belloni *et al.*, 2022), en plus des représentations cartographiques, deux diagrammes circulaires indiquant les périodes de parution des données de la carte et le type de références sont ajoutés afin de mieux décrire les données collectées. L'ensemble (cartographie de la densité des études, diagramme circulaire des périodes et diagramme circulaire des types de références) forme une fiche de synthèse des données.

Pour les habitats notamment de l'étage supralittoral et du médiolittoral, les couches de biocénoses n'existent pas dans les référentiels nationaux. Aucune cartographie n'a donc été réalisée pour ces étages. Par ailleurs, les habitats ayant trop peu de sources de données collectées (e.g. herbiers à *Zostera marina* (n = 8/875), etc.) n'ont pas fait l'objet de représentation cartographique dans l'**atlas** car trop peu informatives.

Pour rappel, des choix ont été faits pour réaliser au mieux le travail de collecte des données dans le temps imparti : (i) les études plurispécifiques telles que les inventaires ont été priorisées contrairement aux études monospécifiques ; (ii) 5 habitats au maximum étant les plus représentatifs de la zone ont été pris en compte ; (iii) les zones géoréférencées dans les travaux sélectionnés sont des zones d'échantillonnage pouvant être très étendues (e.g. étude portant sur l'ensemble de la façade, etc.) et la précision choisie pour la restitution est de 100 m minimum. Les cartographies réalisées n'indiquent donc pas la localisation des habitats mais bien la densité des sources par 250 km².

3.2.2.1. Surface des biocénoses marines

A partir de la cartographie des biocénoses marines (Figure 12 et **atlas cartographique p. 18 et 19**) datant de 2014 présent sur le site Medtrix d'Andromède Océanologie, des surfaces pour chaque habitat ont été déterminées (Tableau VIII). La cartographie des biocénoses marines produites ne prend pas en compte l'étage supralittoral et l'étage médiolittoral. Ses habitats ont été cartographiés uniquement sur les masses d'eau côtières. Les habitats marins y sont généralement décrits jusqu'à la profondeur de - 100 m mais pas au-delà. Or, dans notre zone d'étude, la profondeur peut atteindre plus - 1 300 m de profondeur.

Tableau VIII : Surface des biocénoses marines par habitat.

(Source : CARTHAM, 2010 ; SURFSAT, 2014, AERMC/Andromède Océanologie)

	Habitat	Surface en km ²	Surface en ha
Etage infralittoral	Herbiers à <i>Zostera noltei</i>	5.7	570
	Herbiers à <i>Cymodocea nodosa</i>	0.01	1
	Herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	30	3 000
	Matte morte à <i>Posidonia oceanica</i>	11	1 100
	Fonds meubles infralittoraux	114	11 400
	Galets infralittoraux	0.5	50
	Roche infralittorale	12.5	1 250
Etage circalittoral	Fonds meubles circalittoraux	635	63 500
	Coralligène	6	600
	Roche du large	7.9	790
Etage bathyal	Vases et zones bathyales	80.5	8 050
	Roches bathyales	14	1 400
Autres habitats	Lagune de Berre	155	15 500
	Structures artificielles	1	100

3.2.2.2. Etage supralittoral

3.2.2.2.1. Roche supralittorale

D'après les données collectées (33 études sur 875 géoréférencées), la roche supralittorale a été étudiée du Cap Couronne jusqu'à La Ciotat. Peu d'études ont été trouvées sur cet habitat ce qui ne permet pas d'avoir une représentation cartographique.

Pour information, 15 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 9 % à la période entre 1960 et 1979, 6 % à la période entre 1980 et 1999 et 70 % à la période entre 2000 et 2022. Ce sont donc principalement des données récentes. 88 % des données sont issues de la recherche scientifique et 12 % de rapports techniques.

Il s'avère que peu d'études ont été recensées sur cet habitat, une des raisons principales réside dans le fait qu'il ne s'agit pas du sujet principal des laboratoires de recherche marseillais interrogés dans le cadre de ce travail. Une recherche plus approfondie des références, non pas dédiées au milieu marin mais au milieu terrestre, aurait probablement permis de trouver des travaux consacrés à cet habitat.

3.2.2.2.2. Banquette de posidonie et laisse de mer

Aucune étude collectée ne traite des banquettes de posidonies en raison des critères retenus pour la collecte des données. En effet, une indication uniquement des 5 habitats majeurs concernés par chaque référence est réalisée dans la grille de métadonnées, ce qui conduit donc à sous-estimer le nombre de références consacrées aux habitats échantillonnés. De plus, la majorité des études traitant de cet habitat et écosystème sont monospécifiques.

3.2.2.3. Etage médiolittoral

3.2.2.3.1. Fonds meubles médiolittoraux

D'après les données collectées (9 études sur 875 géoréférencées), les fonds meubles médiolittoraux ont été étudiés au niveau du they de la Gracieuse et de la rade de Marseille. Peu d'études ont été collectées sur cet habitat ne permettant pas d'avoir une représentation cartographique.

Pour information, 33 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 11 % à la période entre 1960 et 1979, 11 % à la période entre 1980 et 1999 et 45 % à la période entre 2000 et 2022. 100 % des données sont issues de la recherche scientifique.

Dans le temps imparti à la collecte des données, il n'a pas été possible de s'entretenir avec tous les chercheurs et acteurs locaux de la métropole Aix-Marseille-Provence, notamment les experts de cet habitat qui sont, pour certain à la retraite. Par conséquent, il est fort probable que davantage d'études existent sur cet habitat. Des compléments de références sont probablement à chercher auprès de chercheurs émérites de la station marine d'Endoume, car ce compartiment a été pas mal étudié des années 1970 à 1990.

3.2.2.3.2. Roche médiolittorale

D'après les données collectées (55 études sur 875 géoréférencées), la roche médiolittorale a été étudiée sur la Côte Bleue, la rade sud de Marseille et les Calanques. Peu d'études ont été collectées sur cet habitat ne permettant pas d'avoir une représentation cartographique.

Pour information, 7 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 9 % à la période entre 1960 et 1979, 15 % à la période entre 1980 et 1999 et 69 % à la période entre 2000 et 2022. 89 % des données sont issues de la recherche scientifique et 11 % de rapports techniques.

3.2.2.4. Etage infralittoral

3.2.2.4.1. Herbier à *Zostera noltei*

Les herbiers de zostères *Zostera noltei* jouent un rôle majeur dans les écosystèmes lagunaires. En effet, leurs racines limitent la remise en suspension des sédiments et stockent la matière organique ; leur forte production photosynthétique permet la production d'oxygène dans l'eau ; leurs feuilles abritent une grande diversité d'épiphytes. Les herbiers de zostères sont des lieux de reproduction, de nurseries et d'abris pour de nombreuses espèces de poissons notamment (Les zostères dans l'étang de Berre, GIPREB). D'après les données collectées (25 études sur 875 géoréférencées), l'herbier à *Zostera noltei* a été étudié dans deux zones géographiques : l'étang de Berre et le golfe de Fos. Peu d'études ont été collectées sur cet habitat ne permettant pas d'avoir une représentation cartographique.

Pour information, 4 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 12 % à la période entre 1960 et 1979, 20 % à la période entre 1980 et 1999 et 64 % à la période entre 2000 et 2022. 80 % des données sont issues de la recherche scientifique et 20 % de rapports techniques.

3.2.2.4.2. Herbière à *Zostera marina*

D'après les données collectées (8 études sur 875 géoréférencées), l'herbière à *Zostera marina* a été étudié dans l'étang de Berre et dans l'anse de Carteau. Peu d'études ont été collectées sur cet habitat ne permettant pas d'avoir une représentation cartographique.

Pour information, 50 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, aucune donnée à la période entre 1960 et 1979, 12 % à la période entre 1980 et 1999 et 38 % à la période entre 2000 et 2022. Les références sont largement issues de la recherche scientifique (88 % des données) et 12 % de rapports techniques.

3.2.2.4.3. Herbière à *Cymodocea nodosa*

D'après les données collectées (11 études sur 875 géoréférencées), l'herbière à *Cymodocea nodosa* a été étudié dans l'étang de Berre et dans l'anse de Carteau. Ces deux herbiers sont d'ailleurs les principaux sites où se trouve cet habitat sur le territoire de la métropole. Un autre herbière existe dans la baie de Cassis, au niveau de la plage de l'Arène. Seules 11 études ont été collectées sur cet habitat ne permettant pas une représentation cartographique.

Pour information, aucune donnée ne correspond à la période entre 1872 et 1959, 9 % correspondent à la période entre 1960 et 1979, 18 % à la période entre 1980 et 1999 et 73 % à la période entre 2000 et 2022. 73 % des données sont issues de la recherche scientifique et 27 % de rapports techniques.

3.2.2.4.4. Herbière à *Posidonia oceanica*

D'après les données collectées (204 études sur 875 géoréférencées), l'herbière à *Posidonia oceanica* a principalement été étudié le long de la Côte Bleue, dans la rade sud de Marseille et dans les Calanques. A l'opposé, l'herbière semble moins étudié dans le golfe de Fos et à La Ciotat (voir [atlas cartographique](#) p. 20 et 21). L'herbière à *Posidonia oceanica* est un écosystème emblématique de Méditerranée très étudié, ce qui ressort dans cette étude. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 51 sources bibliographiques (dans la rade sud de Marseille principalement). Dans le cadre de cette étude, les études monospécifiques n'ont pas été priorisées. Or, de nombreuses études et réseaux de suivi existent uniquement sur l'herbière à *Posidonia oceanica* (e.g. le Réseau de Surveillance Posidonies de 1984 à 2004, etc.).

4 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 12 % à la période entre 1960 et 1979, 14 % à la période entre 1980 et 1999 et 70 % à la période entre 2000 et 2022. Des cartographies de l'évolution de la densité d'études portant sur l'herbière par période ont été réalisées (voir [atlas cartographique](#) p. 22 et 23). De 1872 à 1959, l'herbière est principalement étudié sur la Côte Bleue, la rade sud de Marseille et les Calanques (hors Cassis et La Ciotat). De 1960 à 1979, les données semblent similaires pour Marseille mais la Côte Bleue semble être moins étudiée. De 1980 à 1999, la rade sud de Marseille est moins étudiée que pour les périodes précédentes et des sources concernant l'herbière de La Ciotat semblent apparaître davantage. De 2000 à 2022, les travaux portent davantage sur la Côte Bleue. La rade sud de Marseille a été un haut lieu d'étude de l'herbière avant les années 1980. Les calanques semblent être très étudiées sur l'ensemble des périodes.

75 % des données sont issues de la recherche scientifique et 25 % de rapports techniques. Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont principalement étudiés dans le cadre de recherches scientifiques. L'autre part correspond aux études d'impact ou d'études de sites, lors d'aménagements notamment.

3.2.2.4.5. **Matte morte de l'herbier à *Posidonia oceanica***

D'après les données collectées (50 études sur 875 géoréférencées), la matte morte de l'herbier à *Posidonia oceanica* est principalement étudiée entre Port-de-Bouc et la centrale thermique EDF de Martigues, dans la rade sud de Marseille et les Calanques. A l'opposé, la matte morte à *Posidonia oceanica* de la Côte Bleue semble moins étudiée. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 11 sources bibliographiques (autour de Martigues principalement) (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 24 et 25).

2 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 12 % à la période entre 1960 et 1979, 14 % à la période entre 1980 et 1999 et 72 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, trop peu d'études traitent de la matte morte ne permettant pas de faire une comparaison avec les autres périodes. De 1960 à 1979, les sources de données étudient la matte morte dans la rade sud de Marseille. De 1980 à 1999, les travaux sur la matte morte portent à la fois sur la rade sud de Marseille et quelques zones sur la Côte Bleue et au niveau de La Ciotat. De 2000 à 2022, les références portent principalement sur la matte morte de la rade sud de Marseille (voir [atlas cartographique](#) 🕒 p. 26 et 27).

70 % des données sont issues de la recherche scientifique et 30 % de rapports techniques.

3.2.2.4.6. **Fonds meubles infralittoraux**

D'après les données collectées (257 études sur 875 géoréférencées), les fonds meubles infralittoraux ont principalement été étudiés dans le golfe de Fos et dans la rade sud de Marseille dans les Calanques. Le golfe de Fos est la zone la plus étendue concernant cet habitat. A l'opposé, les fonds meubles infralittoraux de Cassis ou de La Ciotat semblent moins étudiés. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 42 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 28 et 29).

3 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 19 % à la période entre 1960 et 1979, 12 % à la période entre 1980 et 1999 et 66 % à la période entre 2000 et 2022. Au cours des différentes périodes, les sources de données concernant les fonds meubles ont été étudiées sur l'ensemble de la zone d'étude et plus particulièrement dans le golfe de Fos (voir [atlas cartographique](#) 🕒 p. 30 et 31).

58 % des données sont issues de la recherche scientifique et 42 % de rapports techniques.

3.2.2.4.7. **Galets infralittoraux**

D'après les données collectées (13 études sur 875 géoréférencées), les galets infralittoraux ont principalement été étudiés de Martigues à la Côte Bleue et dans d'autres zones (e.g. Frioul, La Ciotat) dans la rade sud de Marseille et dans les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 3 sources bibliographique (autour de la Côte Bleue). Cela représente les données relatant de la zone Natura 2000 de la Côte Bleue Marine. Peu d'études ont été collectées sur cet habitat ne permettant pas d'avoir une représentation cartographique.

Pour information, 8 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 25 % à la période entre 1960 et 1979, 17 % à la période entre 1980 et 1999 et 50 % à la période entre 2000 et 2022. 83 % des données sont issues de la recherche scientifique et 17 % de rapports techniques.

3.2.2.4.8. Roche infralittorale

D'après les données collectées (187 études sur 875 géoréférencées), la roche infralittorale a principalement été étudiée de Port-de-Bouc à Niolon, la rade sud de Marseille et les Calanques. A l'opposé, la roche infralittorale semble avoir été moins étudiée dans le golfe de Fos, à Cassis et à La Ciotat. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 48 sources bibliographique (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 32 et 33).

5 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 11 % à la période entre 1960 et 1979, 16 % à la période entre 1980 et 1999 et 68 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1999, les sources de données concernant la roche infralittorale sont étudiées sur la Côte Bleue, la rade sud de Marseille et les Calanques. Le golfe de Fos semble un peu moins étudié au cours de cette période. De 2000 à 2022, davantage d'études traitent de la roche infralittorale. Ces sources concernent la Côte Bleue, le golfe de Fos (entre Port-de-Bouc et cap Couronne), la rade sud de Marseille et les Calanques (voir [atlas cartographique](#) 🌐 p. 34 et 35).

74 % des données sont issues de la recherche scientifique et 26 % de rapports techniques.

3.2.2.5. Etage circalittoral

3.2.2.5.1. Fonds meubles circalittoraux

D'après les données collectées (121 études sur 875 géoréférencées), les fonds meubles circalittoraux ont principalement été étudiés dans la rade de Marseille et dans les Calanques. A l'opposé, les données plus au large semblent être moins étudiées. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 32 sources bibliographique (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 36 et 37).

13 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 35 % à la période entre 1960 et 1979, 6 % à la période entre 1980 et 1999 et 68 % à la période entre 2000 et 2022.

De 1872 à 1959, les sources de données concernant les fonds meubles circalittoraux sont étudiées sur l'ensemble de la zone d'étude. De 1960 à 1979, les sources de données semblent moins étudiées au large du golfe de Fos et de la Côte Bleue. De 1980 à 1999, trop peu d'études traitent des fonds meubles ne permettant pas de faire une comparaison avec les autres périodes. De 2000 à 2022, les sources de données concernant les fonds meubles circalittoraux sont rapportées à l'ensemble de la zone d'étude (voir [atlas cartographique](#) 🌐 p. 38 et 39).

97 % des données sont issues de la recherche scientifique et 3 % de rapports techniques.

3.2.2.5.2. Coralligène

D'après les données collectées (104 études sur 875 géoréférencées), le coralligène a principalement été étudié dans la rade sud de Marseille autour des îles du Frioul et dans les Calanques (sur la côte et les îles). A l'opposé, le coralligène situé à l'est du golfe de Fos semble avoir été moins étudié. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 43 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 40 et 41).

5 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 11 % à la période entre 1960 et 1979, 16 % à la période entre 1980 et 1999 et 68 % à la période entre 2000 et 2022. L'échelle d'étude étant très grande et le coralligène étant une biocénose avec des surfaces dispersées dans la zone d'étude, cela ne permet pas de distinguer l'évolution spatiale en fonction des périodes (voir [atlas cartographique](#) 🌐 p. 42 et 43).

93 % des données sont issues de la recherche scientifique et 7 % de rapports techniques.

3.2.2.5.3. Grottes sous-marines submergées ou semi-submergées

La représentation cartographique des grottes sous-marines n'est pas basée sur une agrégation entre la couche de biocénose et la couche des zones d'études collectées dans le cadre de cette étude comme pour les autres cartographies. En effet, il n'existe pas de couche de biocénoses pour les grottes. Cette cartographie ne représente donc pas la localisation des grottes mais les zones d'étude des données collectées qui peuvent être très élargies car pouvant traiter de plusieurs écosystèmes.

D'après les données collectées (54 études sur 875 géoréférencées), les grottes sous-marines ont principalement été étudiées autour des îles marseillaises des Calanques et sur la côte Bleue (e.g. grotte de Niolon, grotte à Pérès, etc.). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 20 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 52).

15 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 16 % à la période entre 1960 et 1979, 10 % à la période entre 1980 et 1999 et 59 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, les sources de données portent sur les grottes situées vers Niolon et l'île de Jarre. De 1960 à 1979, les sources de données concernant les grottes portent sur l'ensemble de la façade. De 1980 à 1999, les sources de données concernent Niolon, les îles des Calanques et La Ciotat. Pour la période 2000 à 2022, les zones d'études sont les Calanques, la rade sud de Marseille et la Côte Bleue (voir [atlas cartographique](#) 🌐 p. 53).

80 % des données sont issues de la recherche scientifique et 20 % de rapports techniques.

3.2.2.5.4. Roche du large

D'après les données collectées (14 études sur 875 géoréférencées), la roche du large a principalement été étudiée vers Cassis. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 7 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 44 et 45).

7 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 43 % à la période entre 1960 et 1979, aucune donnée à la période entre 1980 et 1999 et 50 % à la période entre 2000 et 2022. 100 % des données sont issues de la recherche scientifique.

3.2.2.6. Etage bathyal


3.2.2.6.1. Vases bathyales

D'après les données collectées (21 études sur 875 géoréférencées), la vase bathyale a principalement été étudiée dans le canyon de la Cassidaigne (secteur nord du canyon). A l'opposé, le secteur sud semble moins étudié. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 9 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 46 et 47).

9 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 24 % à la période entre 1960 et 1979, aucune donnée à la période entre 1980 et 1999 et 67 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1979, les sources de données étudient le nord du canyon de la Cassidaigne. De 1880 à 1999, aucune donnée n'a été collectée dans les sources bibliographiques. De 2000 à 2000, les études se sont étendues à l'ensemble des zones du canyon de la Cassidaigne (voir [atlas cartographique](#) 🌐 p. 48 et 49).

95 % des données sont issues de la recherche scientifique et 5 % de rapports techniques.

3.2.2.6.2. Roches bathyales

D'après les données collectées (13 études sur 875 géoréférencées), la roche bathyale a principalement été étudiée dans le canyon de la Cassidaigne. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 10 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 50 et 51).

8 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 15 % à la période entre 1960 et 1979, aucune donnée ne concerne la période entre 1980 et 1999 et 77 % correspondent à la période entre 2000 et 2022. 92 % des données sont issues de la recherche scientifique et 8 % de rapports techniques. En effet, l'exploration du milieu profond nécessite des moyens importants et ces sites éloignés du bord font rarement l'objet d'études d'impact.

Les deux grands canyons situés plus au large, au sud, Cassidaigne et Planier ont été explorés ces 15 dernières années. Ils constituent un haut lieu de biodiversité en abritant plusieurs espèces animales d'intérêt patrimonial (Ville de Marseille, 2020).

3.2.2.7. Autres habitats


3.2.2.7.1. Lagune : Etang de Berre

D'après les données collectées, 165 études sur 875 géoréférencées concernent la lagune de Berre. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 120 sources bibliographiques. De nombreuses études ont été réalisées dans l'étang de Berre mais les positions exactes des études n'ont pas toujours été indiquées. L'étang a donc été indiqué comme zone d'étude dans sa globalité. Aucune représentation cartographique n'est réalisée pour l'étang de Berre car nous n'avons pas fait la distinction des différentes biocénoses au sein de la catégorie « lagune ». La lagune a été considérée comme un habitat dans le cadre de cette étude.


Pour information, 4 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 7 % à la période entre 1960 et 1979, 17 % à la période entre 1980 et 1999 et 72 % à la période entre 2000 et 2022. 67 % des données sont issues de la recherche scientifique et 33 % de rapports techniques.

3.2.2.7.2. Structures artificielles

La représentation cartographique des structures artificielles sous-marines n'est pas basée sur une agrégation entre la couche de biocénoses et la couche des zones d'études collectées dans le cadre de cette étude, comme pour les autres cartographies. En effet, il n'existe pas de couche de biocénoses incluant toutes les structures artificielles telles que les ports, les terre-pleins, les épis, les endiguements, les récifs artificiels, etc. Cette cartographie ne représente donc pas la localisation de l'habitat mais exclusivement les zones d'études des données collectées qui peuvent être très élargies car pouvant traiter de plusieurs écosystèmes.

D'après les données collectées (160 études sur 875 géoréférencées), les structures artificielles ont principalement été étudiées dans le golfe de Fos, entre Port-de-Bouc et la centrale thermique EDF de Martigues et dans la rade sud de Marseille. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 23 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 54). Le golfe de Fos est un milieu très artificialisé (e.g. darse, bassin, etc.). Le taux d'artificialisation du trait de côte dans la masse d'eau du golfe de Fos est de 27.39 % (MEDAM, 2022).


La zone présente dans la rade sud de Marseille correspond aux récifs artificiels immergés dans la baie du Prado de la Ville de Marseille répartis sur 200 ha dans la rade sud et destinés à une « réhabilitation écologique concertée et innovante des fonds sableux ». Ces récifs artificiels de production ont été immergés pour offrir des habitats de substrat dur aux peuplements de poissons suite à la régression des herbiers de posidonie résultant de la construction du port de la Pointe Rouge et des plages artificielles du Prado mais surtout pour supporter l'activité de pêche aux petits métiers.


5 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 11 % à la période entre 1960 et 1979, 16 % à la période entre 1980 et 1999 et 68 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, la zone d'étude des sources est située au sud de Riou dans les Calanques. De 1960 à 1979, les zones d'études de structures artificielles sont autour des îles du Frioul. De 1980 à 1999, les zones d'études sont situées sur la Côte Bleue ce qui correspond à la mise en place des premiers récifs artificiels en 1983 dans la réserve de Carry-le-Rouet, et le golfe de Fos qui est un milieu très artificialisé. De 2000 à 2022, les zones d'études sont localisées autour du golfe de Fos (au niveau des darses et des bassins), au niveau de la centrale thermique d'EDF et au niveau de la baie du Prado (voir [atlas cartographique](#)  p. 55).

36 % des données sont issues de la recherche scientifique et 64 % de rapports techniques.

3.2.2.7.3. Colonne d'eau

La représentation cartographique de la colonne d'eau n'est pas basée sur une agrégation entre la couche de biocénose et la couche des zones d'études collectées dans le cadre de cette étude comme pour les autres cartographies. En effet, il n'existe pas de couche de biocénose pour la colonne d'eau. Cette cartographie ne représente donc pas la localisation de l'habitat mais les zones d'études des données collectées qui peuvent être très élargies car pouvant traiter de plusieurs écosystèmes. Lorsque les données traitent de poissons pélagiques ou de plancton, l'habitat colonne d'eau a été attribué.

D'après les données collectées (270 études sur 875 géoréférencées), la colonne d'eau a principalement été étudiée dans le golfe de Fos, dans le Parc Marin de la Côte Bleue et dans les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 52 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 56).


3 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 4 % pour la période entre 1960 et 1979, 7 % pour la période entre 1980 et 1999 et 86 % pour la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, les zones d'études sont localisées autour de Marseille, dans la rade nord et la rade sud. De 1960 à 1979, les zones d'études sont situées à la fois à Marseille et dans le golfe de Fos. De 1980 à 1999, les zones d'études sont localisées dans le golfe de Fos, sur la Côte Bleue et dans les calanques autour des îles. De 2000 à 2022, l'ensemble de la zone d'étude semble étudié et plus particulièrement la Côte Bleue et les récifs artificiels du Prado dans la rade sud de Marseille (voir [atlas cartographique](#)  p. 57).

81 % des données sont issues de la recherche scientifique et 19 % de rapports techniques.

3.2.3. Analyse cartographique par regroupements taxonomiques

Le territoire de la métropole abrite un grand nombre d'espèces notamment des espèces remarquables (e.g. le corail rouge *Corallium rubrum*, le corb *Sciaena umbra*, etc.). Dans le cadre de notre étude, la méthodologie employée ne permet pas d'identifier jusqu'au rang des espèces mais d'identifier les grands regroupements taxonomiques présents (souvent au niveau du phylum). Certains regroupements taxonomiques sont plus riches et peuvent exercer un effet de levier important sur les résultats (e.g. mollusques, poissons, etc.). Les mailles les plus riches peuvent être riches d'un groupe taxonomique mais pauvres du point de vue du nombre d'espèces. D'autre part, certaines classes ou familles n'ont peut-être pas beaucoup de données mais font partie d'un regroupement taxonomique qui, lui, semble très étudié.



Les représentations cartographiques présentes dans l'**atlas cartographique** illustrent la densité des sources collectées à l'échelle de la métropole Aix-Marseille-Provence de 1872 à 2022 par regroupements taxonomiques. Pour cela, une jointure spatiale a été réalisée sur ArcGIS® afin de combiner les sources de données collectées dans le cadre de cette étude pour chaque regroupement taxonomique et le maillage établi de 500 m x 500 m.

Sur chaque rendu cartographique montrant la densité de sources recensé par regroupement taxonomique, une autre carte a été ajoutée en haut à droite (voir **atlas cartographique** ). Cette vignette cartographique indique la densité d'études du groupe taxonomique en question par rapport à la densité d'études maximale tous taxons confondus. En effet, certains taxons semblent très étudiés sur l'ensemble de la zone d'étude (par exemple les oiseaux marins et divers), mais relativement à l'ensemble des groupes taxonomiques, ils sont très peu étudiés. L'échelle des couleurs dans cette vignette a été définie par rapport à la densité maximum de sources calculée pour un regroupement taxonomique. Dans notre étude, ce maximum est atteint pour les magnoliophytes.


Comme pour les habitats, en plus des représentations cartographiques, des diagrammes circulaires : sur les périodes de parution des données et sur le type de références sont ajoutés, afin d'apporter des données complémentaires sur les données collectées. L'ensemble (cartographie de la densité des études, diagramme circulaire des périodes et diagramme circulaire des types de références) forme une fiche de synthèse des données.


Pour rappel, (i) les données collectées ont été sélectionnés en fonction du type de données (études plurispécifiques telles que les inventaires ont été priorisées contrairement aux études monospécifiques) ; (ii) 5 regroupements taxonomiques au maximum étant les plus représentatifs de la zone ont été pris en compte ; (iii) les zones géoréférencées sont des zones d'échantillonnage pouvant être très étendues (e.g. étude sur l'ensemble de la façade, etc.) et la précision est de 100 m minimum. Les cartographies n'indiquent donc pas la localisation des regroupements taxonomiques mais bien la densité des sources par 250 km².

3.2.3.1. Flore

De nombreuses sources de données ont été collectés pour la flore dans l'étang de Berre (e.g. suivis macrophytes, etc.) (voir **atlas cartographique**  p. 60, 62, 64 et 66). L'étang de Berre exerce un effet de levier important sur les résultats de la flore (magnoliophytes, ulvophycées, phéophycées et rhodobiontes) en comparaison avec les données sur le reste de la zone d'étude. Des cartographies sans les données collectées dans la lagune ont donc également été réalisées afin d'analyser les résultats de densité d'études sur la zone d'étude hors l'étang de Berre (voir **atlas cartographique**  p. 61, 63, 65 et 67).


3.2.3.1.1. Magnoliophytes


D'après les données collectées (219 études sur 875 géoréférences), les magnoliophytes (plantes marines) ont principalement été étudiées dans l'étang de Berre. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 73 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 60).

En dehors de l'étang de Berre, les magnoliophytes sont principalement étudiées dans la rade sud de Marseille, entre Port-de-Bouc et le cap Couronne. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 41 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 61).

2 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 2 % à la période entre 1960 et 1979, 16 % à la période entre 1980 et 1999 et 80 % à la période entre 2000 et 2022. 67 % des données sont issues de la recherche scientifique et 33 % de rapports techniques.


3.2.3.1.2. Ulvophycées


D'après les données collectées (135 études sur 875 géoréférences), les ulvophycées (algues vertes) ont principalement été étudiées dans l'étang de Berre. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 65 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 62).

Sans prendre en compte l'étang de Berre, les ulvophycées sont principalement étudiées dans la rade sud de Marseille, sur la Côte Bleue et dans les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 16 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 63).

4 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 9 % à la période entre 1960 et 1979, 13 % à la période entre 1980 et 1999 et 74 % à la période entre 2000 et 2022. 77 % des données sont issues de la recherche scientifique et 23 % de rapports techniques.


3.2.3.1.3. Phéophycées

D'après les données collectées (124 études sur 875 géoréférences), les phéophycées (algues brunes) ont principalement été étudiées dans l'étang de Berre. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 43 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 64).

Sans prendre en compte l'étang de Berre, les phéophycées sont principalement étudiées dans la rade sud de Marseille, sur la Côte Bleue et dans les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 19 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 65).

7 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 7 % à la période entre 1960 et 1979, 12 % à la période entre 1980 et 1999 et 74 % à la période entre 2000 et 2022. 91 % des données sont issues de la recherche scientifique et 9 % de rapports techniques.

3.2.3.1.4. Rhodobiontes

D'après les données collectées (133 études sur 875 géoréférences), les rhodobiontes (algues rouges) ont principalement été étudiées dans l'étang de Berre. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 46 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 66).

Sans prendre en compte l'étang de Berre, les rhodobiontes sont principalement étudiées dans la rade sud de Marseille, les Calanques et sur la Côte Bleue. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 21 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 67).

4 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 13 % à la période entre 1960 et 1979, 14 % à la période entre 1980 et 1999 et 69 % à la période entre 2000 et 2022. 81 % des données sont issues de la recherche scientifique et 19 % de rapports techniques.

Des cartographies ont également été réalisées par périodes pour la flore (tous taxons floristiques confondus) afin d'analyser l'évolution spatiale de la densité d'études (voir [atlas cartographique](#) 🌐 p. 68). De 1872 à 1959, les zones d'études sont dans l'étang de Berre, la Côte Bleue et Marseille. De 1960 à 1979, les zones d'études sont l'étang de Berre et Marseille. De 1980 à 1999, les zones d'études se concentrent principalement dans la lagune de Berre. De 2000 à 2022, la zone d'étude majeure est l'étang de Berre mais le reste du littoral est également étudié.

3.2.3.2. Faune

3.2.3.2.1. Eponges

D'après les données collectées (99 études sur 875 géoréférencées), les éponges ont principalement été étudiées dans le Parc Marin de la Côte Bleue, la rade sud de Marseille et les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 16 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 69).

9 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 12 % à la période entre 1960 et 1979, 12 % à la période entre 1980 et 1999 et 67 % à la période entre 2000 et 2022. 89 % des données sont issues de la recherche scientifique et 11 % de rapports techniques.

3.2.3.2.2. Cnidaires

D'après les données collectées (165 études sur 875 géoréférencées), les cnidaires (e.g. anémones, gorgones, etc.) ont principalement été étudiés dans le Parc Marin de la Côte Bleue, la rade sud de Marseille et les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 33 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 70).


5 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 12 % à la période entre 1960 et 1979, 5 % à la période entre 1980 et 1999 et 78 % à la période entre 2000 et 2022. 68 % des données sont issues de la recherche scientifique et 32 % de rapports techniques.


3.2.3.2.3. Cténaires


D'après les données collectées (8 études sur 875 géoréférencées), les cténaires (organismes gélatineux) ont principalement été étudiés dans l'étang de Berre. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 3 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 🗺️ p. 71). Ces données sont corrélées notamment avec les études sur les *Mnemiopsis leidyi*.

100 % des données correspondent à la période entre 2000 et 2022. 88 % des données sont issues de la recherche scientifique et 12 % de rapports techniques.


3.2.3.2.4. Echinodermes

D'après les données collectées (203 études sur 875 géoréférencées), les échinodermes (e.g. oursins, étoiles de mer, etc.) ont principalement été étudiés dans le Parc Marin de la Côte Bleue, la rade sud de Marseille, les Calanques et le golfe de Fos (entre Port-de-Bouc et le cap Couronne). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 32 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 72).


3 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 13 % à la période entre 1960 et 1979, 9 % à la période entre 1980 et 1999 et 75 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, les zones d'études sont situées sur l'ensemble de la zone sans prendre en compte l'étang de Berre. De 1960 à 1979, les zones d'études sont la rade sud de Marseille, les Calanques et le golfe de Fos. De 1980 à 1999, les zones d'études se concentrent principalement dans le golfe de Fos et les îles marseillaises. De 2000 à 2022, la zone d'étude majeure est la rade sud de Marseille mais le reste du littoral est également étudié (voir [atlas cartographique](#)  p. 73).

51 % des données sont issues de la recherche scientifique et 49 % de rapports techniques. Les principales zones d'étude dans le cadre de la recherche scientifique sont la Côte Bleue, les Calanques et la rade sud de Marseille. A contrario, les principales zones d'études en dehors de la recherche scientifique sont le golfe de Fos au niveau des darses et au niveau de la centrale thermique EDF de Martigues (voir [atlas cartographique](#)  p. 75).


3.2.3.2.5. Lophophorates

D'après les données collectées (85 études sur 875 géoréférencées), les lophophorates (bryozoaires, brachiopodes et phoronidiens) ont principalement été étudiés dans la rade sud de Marseille et les Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 21 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 76).

9 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 15 % à la période entre 1960 et 1979, 17 % à la période entre 1980 et 1999 et 59 % à la période entre 2000 et 2022.

86 % des données sont issues de la recherche scientifique et 14 % de rapports techniques. Les principales zones d'étude dans le cadre de la recherche scientifique sont situées dans les Calanques et dans la rade sud de Marseille. A contrario, les principales zones d'études en dehors de la recherche scientifique sont situées autour des îles marseillaises (voir [atlas cartographique](#)  p. 77).

3.2.3.2.6. Annélides et autres vers

D'après les données collectées (262 études sur 875 géoréférencées), les annélides et autres vers ont principalement été étudiés dans l'étang de Berre et le golfe de Fos (entre Port-de-Bouc et la centrale thermique EDF de Martigues). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 39 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 78).

9 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 15 % à la période entre 1960 et 1979, 17 % à la période entre 1980 et 1999 et 59 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, trop peu d'études ont été collectées ne permettant pas de comparer aux autres périodes. De 1960 à 1979, les zones d'études sont la rade sud de Marseille et les Calanques. De 1980 à 1999, les zones d'études se concentrent principalement dans l'étang de Berre et les Calanques. De 2000 à 2022, la zone d'étude majeure est l'étang

de Berre et le golfe de Fos (dans les darses et entre Port-de-Bouc et la centrale thermique d'EDF de Martigues) (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 79).

86 % des données sont issues de la recherche scientifique et 14 % de rapports techniques. Les principales zones d'étude dans le cadre de la recherche scientifique sont dans les Calanques, la rade sud de Marseille et le golfe de Fos. A contrario, les principales zones d'études en dehors de la recherche scientifique sont dans l'étang de Berre et le golfe de Fos au niveau des darses et au niveau de la centrale thermique EDF de Martigues (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 81).

3.2.3.2.7. Mollusques

D'après les données collectées (353 études sur 875 géoréférencées), les mollusques (e.g. bivalves, céphalopodes, etc.) ont principalement été étudiés dans l'étang de Berre et le golfe de Fos (entre Port-de-Bouc et la centrale thermique EDF de Martigues). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 67 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 82).

4 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 14 % à la période entre 1960 et 1979, 10 % à la période entre 1980 et 1999 et 72 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, les zones d'études sont situées sur l'ensemble du littoral de la zone d'étude. De 1960 à 1979, les zones d'études sont l'étang de Berre et Marseille. De 1980 à 1999, les zones d'études se concentrent principalement dans l'étang de Berre. De 2000 à 2022, la zone d'étude majeure est l'étang Berre mais le reste du littoral est également étudié (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 83).

50 % des données sont issues de la recherche scientifique et 50 % de rapports techniques. Les principales zones d'étude dans le cadre de la recherche scientifique sont les Calanques, la rade sud de Marseille, la Côte Bleue et le golfe de Fos. A contrario, les principales zones d'études en dehors de la recherche scientifique sont dans l'étang de Berre et le golfe de Fos au niveau des darses et au niveau de la centrale thermique EDF de Martigues (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 85).

3.2.3.2.8. Arthropodes

D'après les données collectées (262 études sur 875 géoréférencées), les arthropodes (crustacés) ont principalement été étudiés dans l'étang de Berre, le golfe de Fos (entre Port-de-Bouc et la centrale thermique EDF de Martigues), la rade sud de Marseille et les îles marseillaises. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 41 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 86).

5 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 19 % à la période entre 1960 et 1979, 10 % à la période entre 1980 et 1999 et 66 % à la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, les zones d'études sont situées sur l'ensemble de la zone d'étude. De 1960 à 1979, les zones d'études sont à Marseille. De 1980 à 1999, les zones d'études se concentrent principalement dans l'étang de Berre. De 2000 à 2022, la zone d'étude majeure est l'étang de Berre et autour de la centrale thermique d'EDF de Martigues mais le reste du littoral est également étudié (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 87).

54 % des données sont issues de la recherche scientifique et 46 % de rapports techniques. Les principales zones d'étude dans le cadre de la recherche scientifique sont les Calanques, la rade sud de Marseille, la Côte Bleue et le golfe de Fos. A contrario, les principales zones d'études en dehors de la recherche scientifique sont dans l'étang de Berre et le golfe de Fos au niveau des darses et au niveau de la centrale thermique EDF de Martigues (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 89).

3.2.3.2.9. Tuniciers et céphalocordés

D'après les données collectées (46 études sur 875 géoréférencées), les tuniciers (ascidies) et céphalocordés ont principalement été étudiés dans la rade sud de Marseille (au niveau des récifs artificiels du Prado), et dans les calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 12 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 91).

9 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 20 % à la période entre 1960 et 1979, 6 % à la période entre 1980 et 1999 et 65 % à la période entre 2000 et 2022. 61 % des données sont issues de la recherche scientifique et 39 % de rapports techniques.

3.2.3.2.10. Poissons téléostéens

D'après les données collectées (223 études sur 875 géoréférencées), les poissons téléostéens ont principalement été étudiés dans le Parc Marin de la Côte Bleue, l'étang de Berre et autour des îles marseillaises. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 47 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 92).

3 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 5 % pour la période entre 1960 et 1979, 15 % pour la période entre 1980 et 1999 et 77 % pour la période entre 2000 et 2022. De 1872 à 1959, les zones d'études sont situées sur l'ensemble de la zone d'étude mais peu de sources de données ont été collectées. De 1960 à 1979, les zones d'études sont Marseille, le golfe de Fos et l'étang de Berre. De 1980 à 1999, les zones d'études se concentrent principalement dans l'étang de Berre et les Calanques. De 2000 à 2022, la zone d'étude majeure est la Côte Bleue et la rade sud de Marseille au niveau des récifs du Prado mais le reste du littoral est également étudié (voir [atlas cartographique](#) 🕒 p. 93).

80 % des données sont issues de la recherche scientifique et 20 % de rapports techniques. Les principales zones d'étude dans le cadre de la recherche scientifique sont la Côte Bleue et l'étang de Berre. A contrario, les principales zones d'études en dehors de la recherche scientifique sont dans le golfe de Fos au niveau des darses et au niveau de la centrale thermique EDF de Martigues et dans la zone d'atterrissement des câbles sous-marins (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 95).

3.2.3.2.11. Chondrichthyens

D'après les données collectées (5 études sur 875 géoréférencées), les chondrichthyens (requins, raies, chimères) ont principalement été étudiés dans le Parc Marin de la Côte Bleue. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 3 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 96).


100 % des données correspondent à la période entre 2000 et 2022. 100 % des données sont issues de la recherche scientifique.

3.2.3.2.12. Mammifères marins

D'après les données collectées (26 études sur 875 géoréférencées), les mammifères marins semblent être étudiés sur l'ensemble du territoire. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 16 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📖 p. 97).

100 % des données correspondent à la période entre 2000 et 2022. 73 % des données sont issues de la recherche scientifique et 27 % de rapports techniques.


3.2.3.2.13. Oiseaux marins et divers

D'après les données collectées (10 études sur 875 géoréférencées), les oiseaux marins et divers semblent être étudiés dans le Parc Marin de la Côte Bleue et dans le Parc national des Calanques. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 4 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 98).

100 % des données correspondent à la période entre 2000 et 2022. 80 % des données sont issues de la recherche scientifique et 20 % de rapports techniques.


3.2.3.3. Micro-organismes

3.2.3.3.1. Foraminifères

D'après les données collectées (27 études sur 875 géoréférencées), les foraminifères ont principalement été étudiés dans les Calanques ou sur des sites épars dans la zone d'étude. Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 5 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 99).

11 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 26 % à la période entre 1960 et 1979, 11 % à la période entre 1980 et 1999 et 52 % à la période entre 2000 et 2022. 96 % des données sont issues de la recherche scientifique et 4 % de rapports techniques.


3.2.3.3.2. Procaryotes

D'après les données collectées (15 études sur 875 géoréférencées), les procaryotes (e.g. protozoaires, bactéries, etc.) ont principalement été étudiés dans l'étang de Berre et à Marseille (rade nord, rade sud et les Calanques). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 5 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 100).

Aucune donnée ne correspond à la période entre 1872 et 1959, 46 % à la période entre 1960 et 1979, 7 % à la période entre 1980 et 1999 et 47 % à la période entre 2000 et 2022. 93 % des données sont issues de la recherche scientifique et 7 % de rapports techniques.

3.2.3.4. Plancton

3.2.3.4.1. Phytoplancton

D'après les données collectées (66 études sur 875 géoréférencées), le phytoplancton (plancton végétal) a principalement été étudié dans l'étang de Berre et dans le golfe de Fos (notamment autour de la centrale thermique d'EDF de Martigues). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 15 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#)  p. 101).

5 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 29 % à la période entre 1960 et 1979, 18 % à la période entre 1980 et 1999 et 48 % à la période entre 2000 et 2022. 76 % des données sont issues de la recherche scientifique et 24 % de rapports techniques.

3.2.3.4.2. Zooplancton

D'après les données collectées (76 études sur 875 géoréférencées), le zooplancton (plancton animal) a principalement été étudié dans l'étang de Berre et dans le golfe de Fos (notamment autour de la centrale thermique d'EDF de Martigues). Les mailles les plus étudiées peuvent compter jusqu'à 12 sources bibliographiques (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 102).

3 % des données correspondent à la période entre 1872 et 1959, 30 % à la période entre 1960 et 1979, 24 % à la période entre 1980 et 1999 et 43 % à la période entre 2000 et 2022. 88 % des données sont issues de la recherche scientifique et 12 % de rapports techniques.

Des cartographies ont également été réalisées par périodes pour le plancton (phytoplancton et zooplancton confondus) afin d'analyser l'évolution spatiale de la densité d'études (voir [atlas cartographique](#) 📄 p. 103). De 1872 à 1959, les zones d'études sont à Marseille. De 1960 à 1979, les zones d'études sont dans le golfe de Fos et à Marseille. De 1980 à 1999, les zones d'études se concentrent principalement dans le golfe de Fos et dans l'étang de Berre. De 2000 à 2022, la zone d'étude majeure est l'étang de Berre mais le reste du littoral est également étudié.

3.3. Que nous enseigne cet inventaire des connaissances ?

3.3.1. Lacunes de connaissance

Par rapport à d'autres portions des côtes françaises et en raison de l'histoire scientifique marseillaise, en particulier la création d'un centre de recherche dédié à la mer : la station marine d'Endoume, en 1889, il faut souligner que la zone marine de la métropole a été très étudiée. Marseille et sa région bénéficie depuis des décennies de la présence de laboratoires de recherche qui dépendent du CNRS et de l'Université (actuellement le MIO, l'IMBE et le CEREGE, auparavant le Centre d'Océanologie de Marseille), qui ont contribué à la connaissance locale des fonds marins et au rayonnement scientifique à l'international dans le domaine.

L'analyse temporelle des sources de données récoltées montre qu'il y a eu des périodes de grandes acquisitions de données et de progrès sur la connaissance du milieu marin métropolitain et d'autres moins productives. Les progrès ne se sont pas faits au même rythme pour les différents habitats, ni pour les différents regroupements taxonomiques. C'est également variable selon les zones géographiques et l'étude met bien en évidence la corrélation positive entre le nombre d'études réalisées et la création de structures de gestion de l'environnement marin. Ceci est bien illustré par les travaux réalisés dans l'étang de Berre (Groupement d'Intérêt Public pour la Réhabilitation de l'Etang de Berre) et sur la Côte Bleue (Parc Marin de la Côte Bleue) pour ne citer que ces deux cas. L'autre facteur qui fait augmenter l'acquisition de connaissances est la réalisation de grands travaux, de projets industriels ou de mise en place de mesures de gestion comme, par exemple, l'aménagement du Grand Port Maritime dans le golfe de Fos ou la réalisation de mise en service de la station d'épuration de Marseille. Les études réalisées à ces occasions sont inhérentes à une obligation réglementaire. On peut donc souligner que le financement des études, est donc, dans ce cas guidé par des demandes sociétales plutôt que des questionnements scientifiques.

Cette étude bibliographique réalisée à l'échelle de la métropole illustre un phénomène bien connu de la communauté scientifique qui est le déclin des connaissances de type naturaliste à partir des années 1990. Les inventaires d'espèces et les travaux descriptifs ont été délaissés par la communauté scientifique au profit de recherches sur les écosystèmes, les fonctionnalités, la génétique et la génomique des populations et des espèces grâce au développement de nouvelles techniques, notamment de biologie moléculaire et de bioinformatique. Ainsi, la taxonomie et la systématique, des compétences fondamentales pour l'étude des changements de biodiversité, ont été largement délaissées au profit de ces nouvelles expertises. Ces nouveaux outils sont bien entendus pertinents pour répondre à de nombreuses questions scientifiques mais on ne peut pas les utiliser sans expertise taxonomique.

3.3.2. Des « hotspots » de biodiversité

Le territoire sous-marin face à la métropole Aix-Marseille-Provence abrite des zones d'une grande valeur pour la biodiversité marine. Ces zones de grande valeur, également qualifiées de « hotspots », abritent une grande richesse de biodiversité ou bien présentent de grands intérêts pour certaines fonctions écologiques et service écosystémiques et représentent donc un fort enjeu environnemental.

Les modalités de réalisation de ce travail ne permettent pas de réaliser une liste exhaustive d'espèces, ou encore d'en mesurer leur abondance ou leur rareté. Néanmoins, ce travail d'inventaire par grand habitat serait aujourd'hui tout à fait possible.

La présente étude avait pour objectif principal de réunir les sources bibliographiques permettant de localiser et caractériser les secteurs de concentration d'enjeux de biodiversité à l'échelle de la métropole. Ce travail, qui devra être complété par des analyses plus fines sur les territoires à forts enjeux identifiés, vise ainsi à orienter des prises de décision en faveur de la préservation de la biodiversité marine au sein de la métropole.

3.3.3. Les enjeux majeurs de connaissance sur la biodiversité marine

L'inventaire des connaissances nous conduit à définir des enjeux majeurs de connaissance pour les décennies à venir. D'une manière générale, les connaissances sur la biodiversité d'une zone naturelle sont toujours importantes, quelle que soit la zone. Pour les scientifiques, les connaissances fondamentales liées aux inventaires d'espèces, aux évolutions de la biodiversité, à l'état des écosystèmes ou à leur fonctionnement sont toujours importantes. Pour les gestionnaires ou les services de l'état, ses connaissances sont également importantes, partout, afin de définir des actions de gestion ou de la planification spatiale des activités par exemple. Également, il faut souligner le besoin de connaissances historiques lorsqu'il faut faire des diagnostics, des évaluations sur l'évolution d'un écosystème, état de la raréfaction ou de l'arrivée de nouvelles espèces (qu'elles soient méridionales ou introduites), etc. Pour toutes ces raisons, les connaissances sur la biodiversité marine face à la métropole doivent être actualisées et les actions d'observation pérennisées.

La demande de la métropole pour la réalisation d'un atlas de la biodiversité marine montre bien l'intérêt des établissements publics pour les questions environnementales. Cela peut être une opportunité d'être un site modèle en termes de connaissance pour ce territoire unique, et de pérenniser l'acquisition des connaissances qui pourrait se faire sous la forme d'un observatoire.

Certains écosystèmes concentrent des besoins de connaissance élevés de biodiversité, notamment ceux proches des sources de pression humaine. Certaines zones face à la métropole ressortent comme zones à enjeux. Ces zones sont remarquables pour la biodiversité qu'elles abritent, et/ou la beauté de leurs paysages sous-marins et/ou leur rôle fonctionnel. Lorsque ces zones sont soumises à de fortes pressions ou à une accumulation de pressions différentes susceptibles d'atteindre la biodiversité, il est crucial d'avoir des connaissances afin d'argumenter l'importance de leur conservation. Nous avons identifié quelques enjeux majeurs qui représentent des pistes de recherche importantes à l'échelle du territoire :

- Déclin ou reconquête des herbiers de posidonie de la région marseillaise ;
- Importance de la caractérisation des communautés végétales de la roche infralittorale ;
- Importance de la caractérisation des habitats coralligènes ;
- À quoi pourrait ressembler la mer métropolitaine d'Aix-Marseille-Provence en 2050 dans une dynamique de changement global : réchauffement, montée du niveau de la mer, espèces méridionales et espèces invasives marines.

3.3.3.1. Les herbiers de posidonie de la région marseillaise sont-ils en phase de reconquête ?

Charles-François Boudouresque et Sandrine Ruitton

La régression des herbiers à *Posidonia oceanica*, dans la région marseillaise, fait partie des 'classiques' de l'océanographie méditerranéenne. Généralisée à l'ensemble de la Méditerranée, elle a permis de protéger la posidonie (Boudouresque *et al.*, 2012 ; Pergent *et al.*, 2012 ; Boudouresque et Bianchi, 2013).

La *baseline* (ligne de base) sur l'extension historique des herbiers de posidonie est constituée par les cartes de Marion (1883) et de Pruvot (1897). Malheureusement, ces cartes, établies grâce aux outils de l'époque (la drague et le plomb de sonde), et à une très petite échelle³ (au 1/125 000° et au 1/460 000°, respectivement), sont très approximatives (Lerichie *et al.*, 2004). Les premières tentatives de synthèse cartographique, au 1/25 000°, sont celles de Harmelin et True (1964) pour la limite de l'herbier, de Jeudy de Grissac *et al.* (1985) et de Pergent et Pergent (1988) ; ces cartes assemblent des dizaines de cartes de détail, levées à des échelles et avec des méthodes différentes, et extrapolent pour les zones manquantes. En l'absence de SIG et des méthodes numériques actuelles, le graphisme était manuel ; mais qu'on ne se méprenne pas, un graphisme manuel peut être plus précis que des outils numériques utilisés grossièrement, comme de nombreux exemples tirés de la littérature récente le montrent. La synthèse cartographique la plus récente est celle d'Andromède Océanologie (2014) ; elle a le grand mérite d'exister, même si elle cite peu ses sources et est approximative au-delà de 15 m de profondeur).

Que peut-on conclure de toutes ces sources, quant à la distribution de *P. oceanica* dans la région marseillaise ? Tout d'abord, **la régression y a été importante**, depuis le 19^{ième} siècle : dans le golfe de Fos, à l'emplacement des ports de la Joliette, dans la baie du Prado et dans le massif des Calanques, au droit de l'émissaire des eaux usées de Marseille, à Cortiou. Mais **cette régression a peut-être été surestimée** ; plusieurs facteurs peuvent expliquer ces exagérations (Boudouresque *et al.*, 2009, 2021) : **(i)** la limite inférieure déduite des cartes de Marion (1883) et de Pruvot (1897) peut être plus profonde qu'elle ne le fut réellement (le plomb de sonde ou la drague pouvaient remonter des posidonies en épave) ; **(ii)** la présence de mattes mortes, au-delà de la limite actuelle de l'herbier, peut résulter de la remontée Holocène du niveau de la mer et ne pas être due aux impacts humains actuels (Boudouresque *et al.*, 2019, 2021 ; Boudouresque et Perret-Boudouresque, 2022) ; **(iii)** des événements climatiques et humains datant de plusieurs siècles (e.g. crues du Rhône et de l'Huveaune, épisodes de déforestation suivis d'apports sédimentaires massifs) peuvent avoir provoqué la régression de l'herbier à *P. oceanica*.

Dans d'autres secteurs, au contraire, la régression de l'herbier n'a pas été identifiée, notamment lorsque les cartographies les plus récentes (Andromède Océanologie, 2014) n'ont pas cartographié la matte morte de posidonie alors qu'elle est bien présente sur des grandes surfaces. C'est le cas de la face nord de l'île du Frioul, entre le cap de Croix et la pointe du Soldat (Figure 28).

³ Noter que le langage populaire intervertit souvent les notions de petite et grande échelle. Voir à ce sujet Boudouresque (2017).

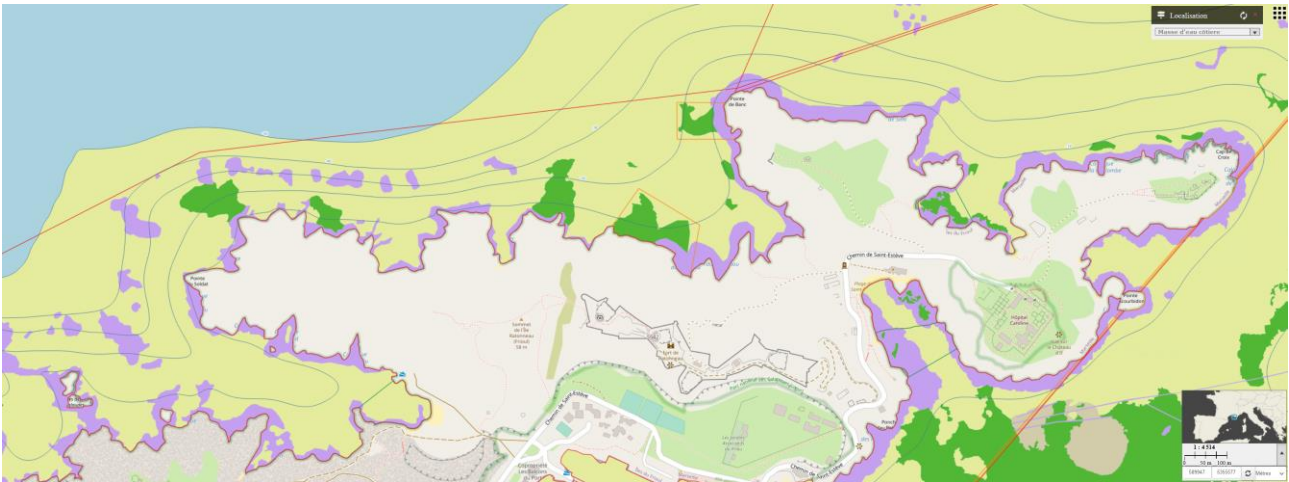


Figure 28 : Cartographie de la face nord de l'île du Frioul extraite du site Medtrix.

La matte morte n'a pas été identifiée entre la côte et environ 25 m de profondeur, alors qu'elle est bien présente. Seule figurent des fonds occupés par des fonds meubles infralittoraux en jaune. (Source : <https://medtrix.fr>)

Afin de juger de l'évolution des herbiers à *P. oceanica*, régressive et/ou progressive, des **systèmes de surveillance ont été mis en place**, à l'échelle locale ou régionale, en Région Sud ; le principal était le RSP (Réseau de surveillance posidonie) (Boudouresque *et al.*, 1990 ; Gravez *et al.*, 1992 ; Charbonnel *et al.*, 1997 ; Boudouresque *et al.*, 2000 ; Ruitton *et al.*, 2001 ; Charbonnel *et al.*, 2003 ; Cadiou *et al.*, 2004 ; Bonhomme *et al.*, 2010). Ces réseaux de surveillance étaient basés sur des méthodes simples, donc faciles à mettre en place et à suivre sur le long terme, et relativement bon marché (Figure 29) : **(i)** une dizaine de balises en ciment, en limite supérieure et inférieure de l'herbier, photographiées tous les trois ans depuis un piquet-repère ; **(ii)** des carrés permanents repérés par des balises du même type, et régulièrement cartographiés (Figure 30) ; **(iii)** des transects permanents (Meinesz, 1977 ; Gravez *et al.*, 1992 ; Boudouresque *et al.*, 2000, 2007, 2012).

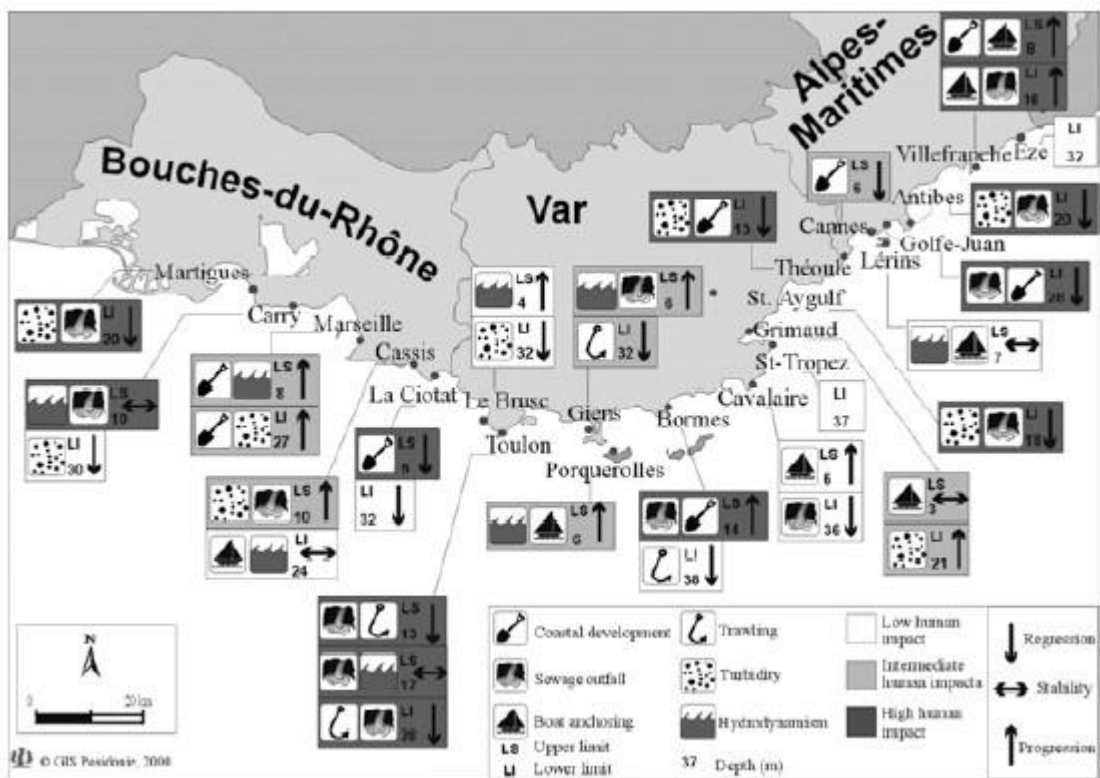


Figure 29 : Le Réseau de surveillance Posidonie (RSP) de la Région Sud.

(D'après Boudouresque *et al.*, 2000, 2007). Les sites des Bouches-du-Rhône, de Martigues à La Ciotat, correspondent à ce qui est aujourd'hui la métropole d'Aix-Marseille-Provence.

Mais pour les décideurs du Ministère de l'Environnement et de ses agences, ce qui est trop simple précis est suspect. Ils recherchent alors des méthodes plus complexes, et nécessairement plus coûteuses, faisant appel à des systèmes de repérage centimétriques et des modèles mathématiques. Après 20 ans de suivi, le RSP est abandonné à la fin des années 1990s, et au même moment, la ville de Marseille met fin au système de surveillance de l'herbier de la baie du Prado (Figure 30).

Ces décisions politiques sont extrêmement regrettables dans le contexte de changement global (climat, niveau de la mer, impacts anthropiques, etc.). Des **suivis à long terme sont indispensables**, ce qui ne signifie pas des études de 3 ans (la durée d'une thèse), ni de 10 ans, même en employant des techniques très sophistiquées. Une action sur le très long terme, voire même sur une durée indéfinie, n'a de sens que si la simplicité de sa mise œuvre la rend transposable à l'infini et pour un coût réduit.

Que montrait le Système de surveillance de la baie du Prado ? **Une progression naturelle de l'herbier spectaculaire**. Et trente ans après la fin des systèmes de surveillance de la posidonie, parfois remplacés par des systèmes hautement technologiques mais aux résultats décevants, **que sait-on de l'évolution des herbiers** dans l'aire métropolitaine d'Aix-Marseille-Provence ? La progression a-t-elle été spectaculaire ? La tendance initiale ne s'est-elle pas poursuivie, voire s'est-elle inversée ? Nous n'en savons rien, un constat triste et paradoxal quand on sait ce que les scientifiques marseillais ont apporté à la connaissance de cette espèce / écosystème, ce qui se traduit par 25 % des sources bibliographiques qui ont été réunies dans cette étude.

Quoi qu'il en soit, il est nécessaire de surveiller l'évolution des herbiers de posidonie ainsi que leur état écologique. L'approche écosystémique peut répondre à ces objectifs en utilisant des indicateurs tel que l'EBQI (Ecosystem-Based Quality Index ; Personnic *et al.*, 2014). Il permet de déterminer l'état écologique d'un écosystème en s'appuyant sur une méthode prenant en compte son fonctionnement.

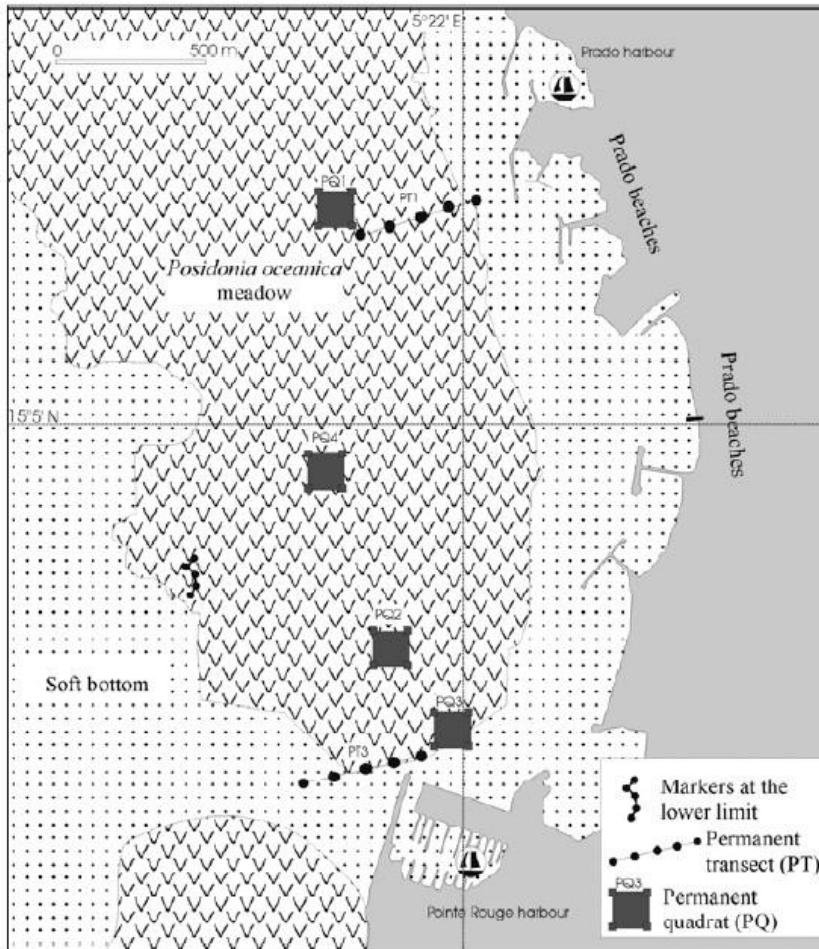


Figure 30 : Le système de surveillance de la baie du Prado, à Marseille ; carrés permanents, transects permanents et balisages.

(D'après Boudouresque et al., 2007)

3.3.3.2. La caractérisation des communautés végétales de la roche infralittorale

Thierry THIBAUT

Les biocénoses des algues des fonds durs infralittoraux constituent une mosaïque de 26 communautés (associations et faciès) (La Rivière *et al.*, 2021). Dans les eaux de la métropole, seules les Fucales (*Cystoseira*, *Ericaria*, *Sargassum*, *Gongolaria*) ont été précisément cartographiées, certaines espèces font l'objet de suivis réguliers notamment dans le cadre de la DCE et de programmes de restauration. Cela ne représente seulement que 6 communautés. La cartographie des 20 autres assemblages reste inconnue dans l'ensemble de la métropole. Ces communautés représentent 16 360 ha pour la façade française de la Méditerranée, et **1250 ha** (c'est-à-dire 12,5 km²) à l'échelle de la métropole d'Aix-Marseille-Provence.

Comme en milieu terrestre, la végétation algale constitue le premier maillon de la chaîne trophique et la production primaire est incorporée dans la chaîne alimentaire sous différentes formes via différentes voies passant des détritivores aux herbivores. De plus, ces communautés jouent également un rôle d'habitats pour différentes espèces d'invertébrés et de Téléostéens. Ne pas connaître la composition de ces communautés est une immense lacune alors qu'elles sont censées être évaluées à travers la Directive Habitat-Faune-Flore.

Le littoral de la métropole est soumis depuis des siècles à de multiples pressions (destruction de l'habitat, pullulation d'herbivores par effet cascade, espèces invasives, apports de matières organiques, de contaminants et de nutriments par les rejets, pêche destructrice, etc.), les communautés algales n'ont pas été épargnées par ces perturbations et une bascule irréversible d'habitats a eu lieu avec le passage de fonds rocheux structurés par des forêts marines formant une strate arborescente de plusieurs dizaines de centimètres de hauteur à des habitats bien moins structurés au mieux constitués d'une strate arbustive de quelques centimètres de hauteur (*Halopteris scoparia*, *Padina pavonica*, etc.) et au pire constitués d'une strate filamenteuse et encroûtante de quelques millimètres de hauteur (*Litophyllum inscrustans*, etc.). Même s'il est difficile de dater précisément quand ces bascules ont eu lieu, on peut affirmer que certaines peuvent être très anciennes (19^{ème} siècle) ou plus récentes (années 1950) selon les sites. Ces changements étant pérennes, le résultat est qu'actuellement les roches photophiles de la métropole présentent globalement des strates dégradées. La résilience vers des forêts marines est lente, très lente, à cause des capacités de dispersions limitées des Fucales et surtout la présence massive d'herbivores (saupes et oursins) qui empêchent une recolonisation des espèces formant ces forêts marines.

Dans une période de changement climatique et d'érosion de la biodiversité, la non-connaissance de ces communautés est une aberration. Comment évaluer précisément le rôle qu'elles jouent dans le fonctionnement des écosystèmes côtiers, notamment au sein des réseaux trophiques ? Quel rôle écosystémique rendent-elles ? Comment évaluer l'impact actuel et futur des changements de biodiversité dû aux invasions biologiques ? Quel est leur importance dans le flux de carbone et son piégeage dans le sédiment ? Quelles mesures de gestion peut-on prendre pour favoriser la résilience des forêts marines ? Des solutions existent mais avant de mettre en place quoique soit comme pour les herbiers de posidonies, pour les mérours, les corbs il faut d'abord connaître l'état de conservation de ces communautés à l'échelle de la métropole.

3.3.3.3. La caractérisation du type de coralligène

Thierry Pérez

Le coralligène est très répandu dans la métropole où il apparaît pratiquement partout où la profondeur est suffisante, parfois même sur des îlots dispersés au milieu d'étendues de fonds meubles. Cet écosystème est le résultat combiné d'une bioconstruction réalisée par des Rhodobiontes et différents animaux invertébrés à squelette calcaire (Laborel, 1961) et de la bioérosion opérée par de nombreuses espèces brouteuses ou perforantes. Par ailleurs, la sédimentation, parfois d'origine terrigène, vient colmater les petits interstices et consolider ainsi la bioconstruction qui, après plusieurs centaines d'années, peut se transformer en véritable roche par lithification. Au-delà, des organismes qui participent à cette construction, équivalente aux récifs coralliens des zones tropicales, de nombreuses espèces de macrophytes et d'invertébrés fixés participent à la constitution de cet écosystème, parmi lesquels quelques espèces emblématiques de Méditerranée, comme différentes *Cystoseira*, différentes gorgones, grands bryozoaires et éponges massives ou arborescentes.

L'inventaire le plus complet de la biodiversité de cet écosystème dans la métropole a été réalisé par Hong (1980 et 1983), ce qui a permis de dénombrer 650 espèces d'invertébrés, mais ne représenterait que 50 % du nombre d'espèces qui aurait été inventorié dans le coralligène toutes régions méditerranéennes confondues (voir Ballesteros, 2006). Cependant, cette étude ne prenait en compte que le faciès avec un important concrétionnement (bioherme coralligène) et ne considérait pas le coralligène de paroi et de falaise, très répandu dans la région. Dans cet écosystème, les peuplements de poissons et grands crustacés sont aussi très riches, mais les espèces du coralligène sont en grande majorité les mêmes que celles rencontrées dans les fonds rocheux infralittoraux et les grottes sous-marines (Harmelin, 1990). Les espèces de poissons les plus spécifiques du coralligène sont les barbiers (*Anthias anthias*), souvent inféodés aux grandes gorgones pourpres *Paramuricea clavata*, les chapons (*Scorpaena scrofa*) ou encore les deux espèces de labres profonds (*Acantholabrus palloni*, *Lappanella fasciata*).

A l'exception des travaux de Hong, toutes les autres études ayant porté sur le coralligène dans la métropole ont été focalisées sur des compartiments relativement précis, comme les bioconstructeurs et bioérodeurs par exemple (Laborel 1961, puis Sartoretto 1996), sur certains groupes taxonomiques particulièrement abondants dans cet écosystème, comme par exemple les éponges (voir pour une revue Grenier *et al.* 2018), sur le développement de bioindicateurs, de pollution (dans le cadre des programmes LITEAU par ex ; Pérez *et al.*, 2002), ou enfin pour mesurer les effets des premiers effets catastrophiques des vagues de chaleur estivale (e.g. Pérez *et al.*, 2000 ; Garrabou *et al.*, 2009).

Ce patrimoine biologique est très sensible aux rejets de polluants d'origine urbaine et industrielle. Ces derniers entraînent la fragilisation des bioconstructions et l'appauvrissement conséquent de leurs peuplements avec la disparition de certains groupes d'invertébrés normalement présents (Hong, 1983), ce qui semblerait être encore le cas aujourd'hui pour les massifs coralligènes du golfe de Fos. Dans la région marseillaise, et particulièrement dans le secteur du Parc National des Calanques, les effets des rejets de l'émissaire de Cortiou mesurés sur la diversité des grands bryozoaires ou sur l'état de vitalité des gorgones (Pérez *et al.*, 2002) sont depuis plus de 20 ans masqués par les effets catastrophiques des répétitions de vagues de chaleur estivale (pour une revue voir par exemple Lejeusne *et al.*, 2010 ; Garrabou *et al.*, 2022). En lien avec le changement climatique, ce sont jusqu'à 40 espèces qui sont régulièrement impactées par ces événements à travers des épisodes de maladie et de mortalité massive. Si ces événements apparaissent depuis plus de 20 ans comme le facteur premier de dégradation de l'écosystème coralligène, la vague de chaleur de l'été 2022 nous aura montré que ce type d'événements pouvait occasionner de véritables

extinctions locales de population (article en cours de soumission). L'événement de 2022 a été d'une intensité rare dans le secteur de la métropole, qui avait été jusqu'à lors relativement épargné en comparaison du littoral varois, des Alpes Maritimes ou de nos voisins italiens. A la fin de l'été 2022, certains sites de la métropole ont vu 100 % de ses colonies de gorgone pourpre *P. clavata* exterminées jusqu'à 25 m de profondeur (Figure 31). Mais cette espèce, bien heureusement, prospère encore à plus grande profondeur, jusqu'à plus de 100 m par endroits, ce qui en étant optimiste permet de dire que l'espèce n'est pas véritablement en danger. Par contre, son aire de répartition n'a plus rien à voir avec celle évaluée par Hong dans les années 1980. Et il y a des organismes pour lesquels malheureusement on peut parler d'extinction locale. Pour la famille des éponges de bain (Spongiidae), ce sont toutes les populations connues dans le périmètre de la métropole qui ont disparu. C'est à faible profondeur, autour de 10 m, que ces populations étaient les plus denses, et aucune d'entre elles n'a survécu à la vague de chaleur de 2022. Après un trop petit nombre de plongées effectuées pour chercher des survivants sur le territoire maritime de la métropole, seuls quelques individus dispersés et à grande profondeur ont pu être localisés.

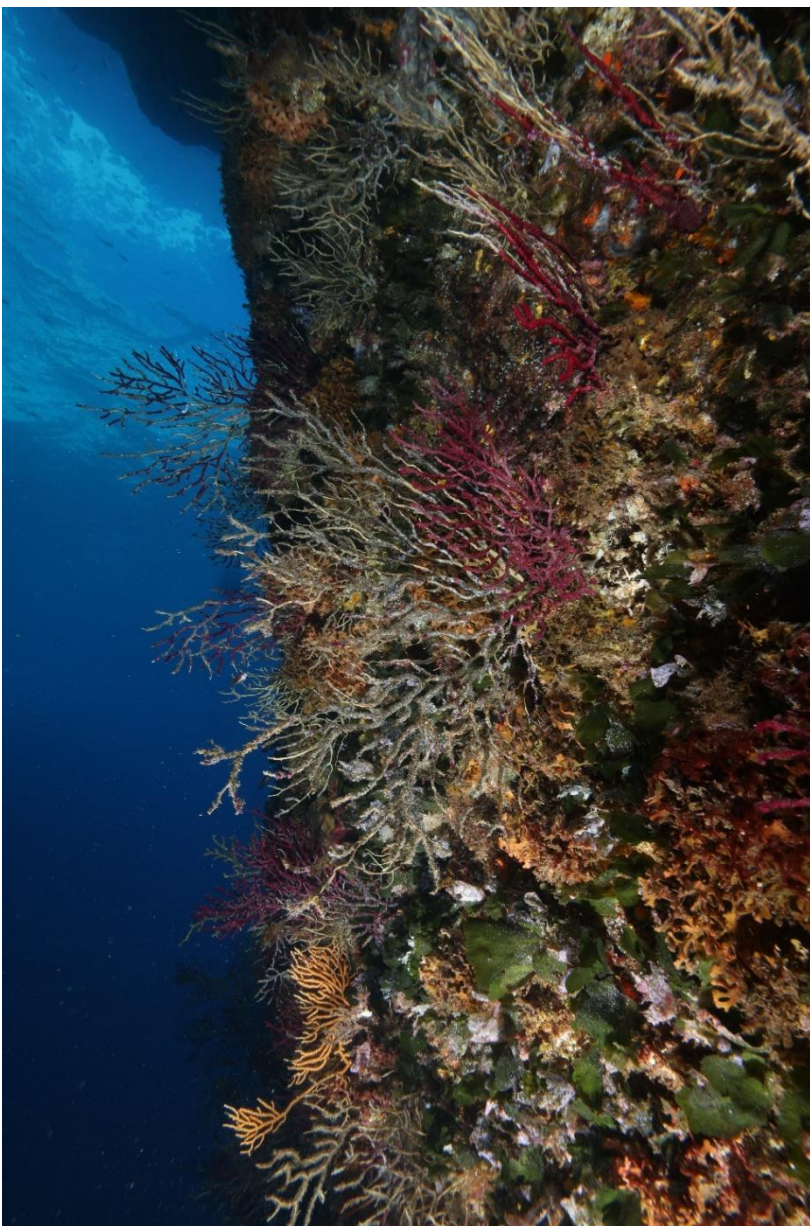


Figure 31 : Mortalité massive ayant touchée le peuplement de gorgones rouges de 10 à 30 m de profondeur sur le site de l'impérial de Terre.

(Source : Sandrine Ruitton)

Même si elle relève d'une certaine expertise taxonomique, l'observation de ces dernières victimes est relativement aisée s'agissant d'espèces de grande taille. Cela prend toujours du temps pour évaluer les principales espèces impactées, les plus grandes, celles que l'on considère souvent comme des clés de voute ou ingénieuses de l'écosystème. Mais si ces éponges, gorgones, bryozoaires et autres grandes espèces érigées dans le coralligène sont véritablement des clés de voute comme le clame la grande majorité des articles scientifiques qui les concernent, cela veut dire que les épisodes de mortalité ont beaucoup plus d'effets que ceux que les scientifiques ont mesuré au cours des 25 dernières années. Cela veut dire que de nombreuses espèces beaucoup plus difficiles à observer, celles qui nécessiteraient un effort d'échantillonnage tel que celui déployé par Hong dans les années 80, ont pu être également impactées par ces répétitions de vague de chaleur. Et pourtant, aucune étude en Méditerranée n'a été réalisée pour évaluer les éventuels changements de biodiversité dans le coralligène.

Ainsi, il paraît primordial de dédier un effort significatif à de nouvelles études du coralligène, un écosystème qui dans la métropole a longtemps constitué certains des plus beaux paysages de Méditerranée. Mais il faut sortir de la mouvance de ces 30 dernières années qui ne visait qu'à développer des bioindicateurs pour reproduire de véritables études naturalistes. Pour appliquer avec justesse une évaluation à l'échelle écosystémique du coralligène, il est indispensable, au préalable, de définir avec précision le contenu des différents compartiments biologiques qui sont pris en compte dans ces approches intégratives. Cela fait plus de 40 ans qu'aucune étude aussi exhaustive que possible n'a été entreprise sur le coralligène, pas plus à l'échelle de la Méditerranée, qu'à celle de la métropole. A l'aide des méthodes les plus modernes de caractérisation de la richesse spécifique, il est donc largement temps de se donner les moyens d'apprécier de manière pertinente l'impact du changement climatique sur la biodiversité, ce qui permettra de proposer des scénarios réalistes pour les horizons 2050 et 2100.

3.3.3.4. À quoi pourrait ressembler la mer métropolitaine d'Aix-Marseille-Provence en 2050 dans le contexte de changement global ?

Charles-François BOUDOURESQUE

Quel que soit le scénario proposé par le GIEC⁴, **la température continuera à augmenter** dans les décennies qui viennent. Le climat a en effet une inertie, et le changement climatique se poursuivra, telle la course d'un TGV lancé à pleine vitesse, même dans l'hypothèse du scénario le plus optimiste. Mais le climat ne sera pas le seul levier des changements prévisibles d'ici 2050 dans la mer qui borde la métropole d'Aix-Marseille-Provence.

Même en supposant que la vitesse actuelle de **montée du niveau de la mer** (4 mm/an) ne continue pas à accélérer, le niveau de la mer aura monté d'au-moins 10 cm en 2050 (Boudouresque et Blanfuné, 2022). Un écosystème endémique de Méditerranée, le trottoir à algues calcaires *Lithophyllum byssoides*, inféodé à un niveau marin stable, et déjà en voie de submersion (Faivre *et al.*, 2013 ; Blanfuné *et al.*, 2016), aura donc disparu. Les très beaux trottoirs du massif des Calanques n'auront pas encore été démantelés par l'érosion physique et biologique, mais ils constitueront un écosystème fossile.

Les espèces méridionales, c'est-à-dire indigènes de Méditerranée, mais longtemps cantonnées à ses régions les plus chaudes (Méditerranée orientale, Afrique du Nord, Sicile, Baléares), continueront à progresser vers le nord et à s'y épanouir. Ce sera le cas, chez les poissons, de la girelle paon *Thalassoma pavo*, du poisson perroquet *Sparisoma cretense* (Figure 32), de la rascasse *Scorpaena maderensis* et du barracuda *Sphyraena viridensis* (Francour *et al.*, 1994 ; Astruch *et al.*, 2022). Les espèces végétales thermophiles progressent également dans le bassin nord-occidental méditerranéen à l'instar l'algue verte *Microdictyon umbilicatum* trouvée pour la première fois à Marseille en décembre 2022 (Figure 33). L'impact paysager et écologique des espèces de **macrophytes introduites** sera déterminant : par exemple *Caulerpa cylindracea*, *Halophila stipulacea*, *Womersleyella setacea*, *Lophocladia lallemandii* et *Rugulopteryx okamurae* (Figure 34) (Verlaque *et al.*, 2003 ; Klein *et al.*, 2005 ; Ruitton *et al.*, 2021 ; Thibaut *et al.*, 2022).



Figure 32 : Le poisson perroquet *Sparisoma cretense* est arrivé à Port-Cros (Provence orientale).

Ici, un individu de 35 cm à 10 m de profondeur, à La Gabinière. (Source : Olivier Hoffmann)

⁴ GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)

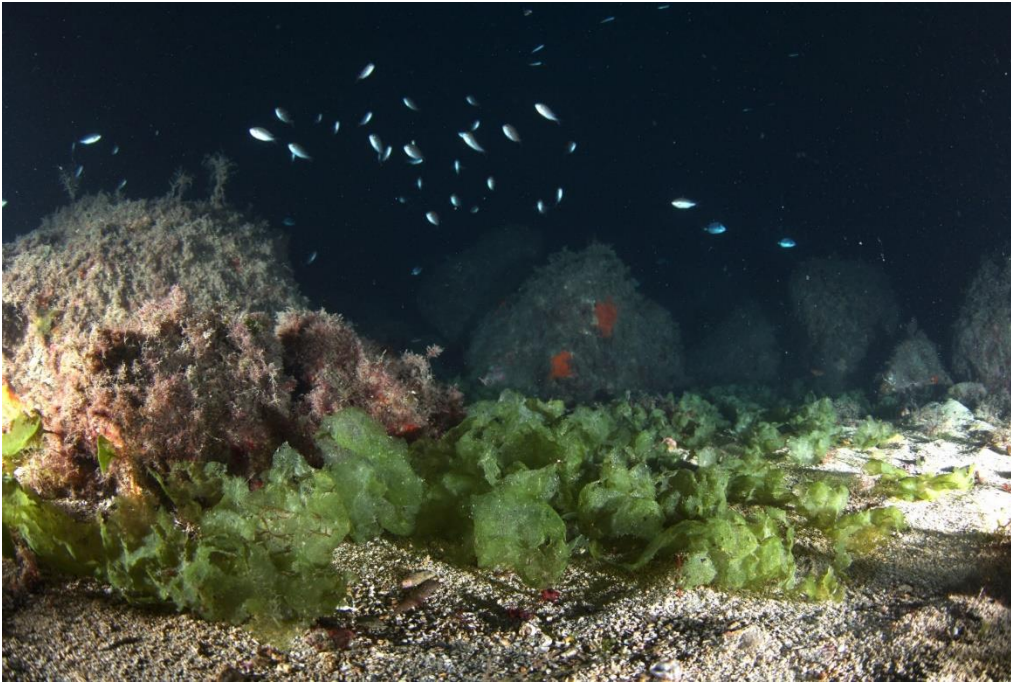


Figure 33 : L'algue verte Microdictyon umbilicatum trouvée pour la première fois à Marseille, à 28 m de profondeur en décembre 2022.

(Source : Sandrine Ruitton)



Figure 34 : L'invasion de Rugulopteryx okamurae (algue brune, straménopiles), originaire du Japon, dans le massif des Calanques (Marseille).

Les taches roses correspondent à l'algue rouge *Sphaerococcus coronopifolius*, l'un des rares macrophytes capables de lui résister. (Source : Sandrine Ruitton.)

Des espèces introduites venues de mer Rouge, et entrées en Méditerranée par le canal de Suez (on les qualifie d'**espèces lessepsiennes**, du nom de Ferdinand de Lesseps, le diplomate français qui a été à l'origine du projet et de sa finalisation), seront probablement présentes, voire omniprésentes, en 2050. Aujourd'hui (début des années 2020s), elles sont abondantes en Méditerranée orientale et 'frappent à la porte' de la Méditerranée nord-occidentale. Des premières signalisations dans la région marseillaise ont été enregistrées.

Les poissons-lapins *Siganus luridus* et *S. rivulatus* sont des herbivores voraces. Ils se déplacent en bancs immenses. Après leur passage, la roche semble nue (Bianchi *et al.*, 2014 ; Boudouresque *et al.*, 2017). Pour la pêche artisanale, les conséquences pourraient être dramatiques, car le réseau trophique, au lieu d'aboutir à des espèces 'nobles', appréciées par les consommateurs, comme e.g. le loup, la daurade et le corb, culminera avec des poissons-lapins. Les poisson-lapin sont mangeables, comme la plupart des poissons. La pêche artisanale figure parmi les activités économiques durables, par opposition avec la pêche industrielle, et porteuses d'une identité méditerranéenne forte, et qu'il est nécessaire de promouvoir (Boudouresque, 2014a). Cette pêche survivra-t-elle à l'arrivée des poissons-lapins ?

Le paysage sous-marin sera donc bouleversé par l'arrivée des espèces méridionales et des espèces invasives, en particulier par celles qui viennent de mer Rouge. Quant aux espèces indigènes, il y aura de nombreuses '**perdantes**'. Beaucoup de macroalgues, sans disparaître totalement, seront confinées dans des habitats-refuges. Les grandes espèces longévives, qui ont constitué des forêts, telles que les *Cystoseira* (au sens large⁵) et les *Sargassum*, dont certaines espèces sont déjà au bord de l'extinction, locale ou fonctionnelle⁶ (Thibaut *et al.*, 2015, 2016), auront disparu, à l'exception des espèces cantonnées à des habitats très superficiels, comme *Ericaria amentacea*. Parmi les espèces 'perdantes', il y aura également des espèces de gorgones, telles *Paramuricea clavata*, et le corail rouge *Corallium rubrum* ; déjà malmenées par les canicules marines qui se succèdent depuis 1999 (Romano *et al.*, 2000 ; Garrabou *et al.*, 2001, 2009, 2022).

En 2050, il y aura sans doute des perdants, mais aussi des **gagnants**. **L'écosystème à *Posidonia oceanica*** devrait faire partie de ces derniers sauf si des herbivores comme les poissons lapins arrivent de manière massive dans quelques décennies. En effet, la posidonie est une espèce plutôt thermophile. Dans le nord de la Méditerranée, les basses températures hivernales constituent l'un des facteurs limitants. En outre, la maîtrise des facteurs qui ont favorisé sa régression, dans les années 1950s-1980s, principalement l'urbanisation littorale, la pollution et les chalutages, permet la restauration naturelle des herbiers à *P. oceanica*, restauration déjà observable mais qui devrait accélérer (Boudouresque *et al.*, 2012, 2021) (voir chapitre 'Les herbiers de posidonie sont-ils en phase de reconquête ?').

Le Parc national des Calanques et le Parc Marin de la Côte bleue constitueront-ils des refuges face à tous ces changements ? Non. Les limites des Aires marines protégées, pas plus que les frontières administratives des États, ne constituent des frontières pour les gaz à effet de serre, la montée du niveau de la mer ou les espèces invasives (Simberloff, 2000 ; Boudouresque et Verlaque, 2005 ; Ruitton *et al.*, 2021).

⁵ Les *Cystoseira* (au sens large) appartiennent en fait à trois genres : *Cystoseira* (*sensu stricto*), *Ericaria* et *Gongolaria* (Blanfuné *et al.*, 2022). Certaines espèces peuvent vivre plus de 100 ans.

⁶ On parle d'extinction locale (*Regional extinction*, RE) quand une espèce a disparu d'une région, tout en restant présente dans d'autres parties de son aire de répartition. On parle d'extinction fonctionnelle (*Functional extinction*, FE) quand une espèce, tout en restant présente, est devenue trop rare pour continuer à jouer le rôle qui était le sien au sein des écosystèmes.

Au total, pour les provençaux de 2050, il est probable que le paysage marin soit très différent de ce qu'il est aujourd'hui, en bien et en mal. **En bien**, avec des herbiers à *P. oceanica* ayant reconquis, ou en voie de reconquête de leurs positions historiques, et des plages 'écologiques' où les banquettes de feuilles mortes de posidonie seront choyées par les services métropolitains et accueilleront les serviettes de baigneurs bienveillants. **En mal**, avec des espèces introduites omniprésentes et des paysages sous-marins bouleversés. Celles et ceux qui auront 20 ans en 2050, et qui n'auront pas connu le 'monde d'avant', n'auront aucun ressenti négatif ; après tout, sommes-nous perturbés par le fait que le paysage terrestre provençal, avec ses maquis et ses forêts de pins ou de chênes, n'ait rien à voir avec la Provence sans arbres et les *bancaous* (restanques - terrasses et murets) montant jusqu'au sommet des collines de nos grands-parents ? Celles et ceux qui se baigneront en novembre seront-ils plus perturbés que nous, qui n'avons pas traversé à pied le Rhône gelé d'Avignon ?

Pour appréhender tous ces changements à venir, il est donc essentiel d'avoir des connaissances récentes sur la biodiversité marine et l'état de conservation des communautés à l'échelle de la métropole puis de mettre en place des suivis pérennes sur le long terme.

3.4. Limites de l'exercice et perspectives

Les résultats obtenus lors de cette étude sont issus d'un processus d'analyse dépendant à la fois des données, des outils disponibles et des choix méthodologiques effectués. Cette méthode de collecte et d'analyse des sources de connaissance n'est pas la seule et unique méthode possible pour l'identification des enjeux de biodiversité du territoire mais une approche qui doit être interprétée en fonction des éléments mentionnés dans ce rapport. Les résultats présentés ici sont donc à examiner dans ce cadre et n'ont pas vocation à proposer une version stricte et définitive des enjeux du territoire métropolitain mais plutôt une première version pour susciter la réflexion et qui pourra évoluer avec l'acquisition de connaissances nouvelles sur la biodiversité. Certaines limites et des solutions identifiées pour les dépasser sont présentées ci-dessous pour proposer des compléments à ce premier travail et ainsi améliorer le ciblage des enjeux majeurs concernant la biodiversité marine sur le territoire.

3.4.1. Qualité de la donnée et points faibles de l'étude

3.4.1.1. Qualité de la donnée

Les données dépendent directement des sources de données utilisées. Or, la qualité des données et des sources collectées est variable (fiabilité, pertinence, robustesse, etc.). Cela peut biaiser certaines informations produites dans le cadre de l'étude notamment les cartographies (e.g. répartition spatiale qui peut être faussée).

La qualité de la donnée varie entre des données récentes et des données plus anciennes. L'analyse est basée sur des informations contemporaines (récentes) et sur des informations antérieures (anciennes) permettant de disposer d'un socle important de connaissance. Ainsi, le cadre temporel prend en compte l'intégralité des données collectées. Cependant, les données collectées dans le cadre de cette étude proviennent de sources différentes réalisées à des périodes plus ou moins distinctes, et parfois en utilisant des protocoles sensiblement différents. De ces divergences résulte un état de la connaissance qui ne peut être homogène notamment entre les périodes ou sur les méthodes d'échantillonnage et d'identification des groupes taxonomiques et des habitats. La qualité de la donnée au regard de son ancienneté mérite discussion. Certaines données descriptives de base même très anciennes sont indispensables à la description et au recensement de la biodiversité marine. Les données récentes nous indiquent l'état actuel des habitats et des espèces, ce qui est une autre forme de connaissance. En outre, les connaissances taxonomiques évoluent au cours du temps et également la classification des biocénoses. Il faut bien intégrer le fait que l'état et la qualité de la connaissance évoluent constamment.

La qualité de la donnée varie également entre des rapports techniques et des études scientifiques. C'est pourquoi, une distinction a été réalisée entre les études produites dans le cadre de la recherche scientifique et rapports techniques produits principalement par des bureaux d'études qui concernent des études d'impact, des études de qualité de l'eau, etc. Dans le cadre de certains rapports, il ne s'agit pas de réaliser une liste d'espèces présentes dans le milieu mais d'identifier des espèces pouvant être bioindicatrices, sensibles à la pollution par exemple. Dans ces travaux, il ne s'agissait pas de réaliser un inventaire de présence ou absence des groupes taxonomiques mais d'étudier des groupes ou habitats ciblés.

3.4.1.2. Complétude de l'inventaire

Les données dépendent directement de la **disponibilité et de l'accessibilité des données**.

En effet, avant les années 1960, peu de moyens d'investigation existaient pour explorer les fonds marins. Les moyens techniques et financiers se sont développés au cours du temps afin notamment d'explorer des zones plus profondes ou inexplorées dans le passé. De plus, les données anciennes sont très peu numérisées et souvent accessibles uniquement en bibliothèque. Il y a également une difficulté liée à l'archivage (e.g. perte de rapport, de cartographie ancienne non incluse dans les publications scientifiques, suppression des archives papiers, etc.) et à la transmission des données à long terme (problème de conservation des données et de numérisation, d'accessibilité en ligne gratuitement). On peut prendre l'exemple de nombreux rapports commandés par les instances publiques qui ne sont accessibles que dans les archives de ces instances. Il n'existe pas de liste exhaustive des références commandées par ces instances.

La disponibilité des données varie également entre les regroupements taxonomiques et les habitats, principalement en fonction des structures productrices et des outils utilisés. Outre les lacunes de connaissance, il peut exister des disparités locales qui ne permettent pas la mobilisation ou la valorisation des données récoltées. Le travail de synthèse et d'intégration des données étant très chronophage, il n'a bien sûr pas été possible de le réaliser de manière exhaustive, c'est pourquoi les actions ont été ciblées envers certaines personnes-ressources.

Les données dépendent de la **temporalité des données**. Les données remontent de nos jours à 1872 (pour les données les plus anciennes). Il est probable qu'une partie des stations ait disparu entre temps ; tout particulièrement pour les espèces ou pour les habitats lorsqu'elles évoluent rapidement ou qu'elles subissent des pressions réversibles ou non au cours du temps. La répartition des espèces ou des habitats est un processus dynamique. La mobilité de la biodiversité dans le cadre de cette étude n'a pas été prise en compte.

Les données dépendent de la **pression d'inventaire ou de la pression d'études**. Les atlas de la biodiversité s'intéressent plus souvent au milieu terrestre qu'au milieu marin. Ce retard peut s'expliquer de différentes manières : difficulté d'exploration de l'espace marin, complexité des approches des écosystèmes marins à mettre en œuvre et coûts de réalisation, dispersion et hétérogénéité des sources, etc. L'estimation de l'état des connaissances pour un groupe peut être faite par le biais de plusieurs méthodes analytiques. Elle comporte notamment le nombre de relevés effectués sur une surface donnée, etc. En effet, le territoire de la métropole ne constitue pas une unité de surface et d'échantillonnage homogène. Notamment, la diversité d'une zone à l'autre pourra être fluctuante en termes de qualité et de quantité pour les raisons suivantes :

- position bio-géographique de la zone ;
- diversité des composantes abiotiques de la zone (topographie, profondeur, courants, etc.) ;
- occupation du territoire et activités humaines ;
- Etc.

Sur une telle échelle, la pression d'inventaire est naturellement hétérogène entre les zones et les habitats. Certaines zones font l'objet d'une prospection plus intense que d'autres. La pression d'inventaire est également hétérogène au sein même d'un groupe taxonomique car dépendante de nombreux paramètres : programme d'études, localisation des chercheurs, localités attractives, facilités d'accès, financement ayant permis l'acquisition des données etc. Peu d'inventaires ou suivis sont réalisés sur le long terme.

3.4.1.3. Choix méthodologiques

La biodiversité est ici appréhendée uniquement par sa composante « regroupement taxonomique » et sa composante « biocénose ». L'approche privilégiée notamment du fait de la disponibilité des données et du temps imparti de l'étude, cible uniquement les 5 regroupements taxonomiques et les 5 biocénoses majeures comme entités de base. Cependant, la biodiversité ne se résume pas à des grands groupes taxonomiques ou à la diversité des habitats.

Le niveau taxonomique des données correspond majoritairement au phylum. Les données collectées peuvent être importantes pour un groupe taxonomique mais pauvre du point de vue du nombre d'espèces, du nombre de classes ou familles échantillonnées. De plus, par ce choix de catégorisation par phylum, aucune distinction ne peut être faite entre les espèces indigènes et espèces exotiques. Ce critère permettrait notamment d'étudier l'évolution au cours du temps et le changement climatique. Certains groupes taxonomiques ont été sous-estimés (trop peu de références de données ont été collectées). Cette sous-estimation est dépendante de nombreux facteurs : temps de collecte des données, personnes-ressources non sollicitées ou n'ayant pas répondu à nos sollicitations, etc.

L'intérêt de raisonner par biocénose réside dans le fait que l'on détermine si certains types ont été mieux inventoriés que d'autres. Toutefois la question de correspondance entre les typologies se pose d'où la nécessité de disposer de toutes les données existantes. Les données anciennes n'utilisent pas toujours la typologie actuelle.

Enfin, certains jeux de données existants n'ont pas pu être intégrés dans les délais impartis à ce travail. Les sources de données de cette étude sont ainsi le reflet des sources qui ont pu être mobilisées à la fois par les personnes-ressources consultées et les données examinées en bibliothèques et archives.

Pour chaque source de connaissance, les sites d'études ou les zones d'études ont été cartographiés. Lorsqu'il s'agit de site(s) d'études dont les coordonnées GPS précises sont connues (latitude et longitude converties en degré décimaux), une zone tampon de 100 m a été prise en compte autour des sites précis. Certaines sources de données possèdent peu d'indications sur la localisation, notamment les données anciennes (pas de coordonnées GPS, pas de cartographie précise des stations ou zone d'échantillonnage). Dans ce cas de figure, les zones d'études ont été placées approximativement avec les informations connues (profondeur, habitat, nom des sites d'études, etc.), lorsque c'était réalisable. Ces zones d'études peuvent être très élargies et prendre en compte plusieurs habitats permettant néanmoins de localiser la source à l'échelle de la métropole.

Ces données ne permettent pas d'avoir une vision exhaustive de la répartition des regroupements taxonomiques. Les représentations cartographiques indiquent la densité des zones d'études des sources de données collectées. L'effort d'échantillonnage ne reflète pas la richesse de la biodiversité marine de la métropole mais indique le nombre de données dans chaque maille. Une surévaluation de certaines zones peut également être envisagée par l'effort d'échantillonnage plus important. L'affichage cartographique de toutes les zones d'études permet d'appréhender globalement la répartition à l'échelle de la métropole cependant des lacunes de connaissances peuvent exister pour de nombreux groupes.

3.4.2. Perspectives et proposition d'actions à réaliser pour améliorer les connaissances de la biodiversité

Pour prendre en compte les biais et les améliorations des connaissances, l'état des lieux présenté ici pourra avoir pour vocation d'être mis à jour pour intégrer les nouvelles données sur l'état de la biodiversité du territoire. Le travail présenté ici pourrait ouvrir la voie à des travaux plus approfondis pour mieux connaître la biodiversité marine du territoire. Des volets complémentaires pourraient être suggérés.

Action 1 : compléter les données acquises

Dans le temps imparti de la collecte des données, des spécialistes de certains regroupements taxonomiques n'ont pas pu être rencontrés. Or, il faudrait avoir au moins un spécialiste par groupe taxonomique afin de tendre vers un travail plus exhaustif pour chaque groupe. Un volet complémentaire pourrait permettre de se focaliser sur les groupes taxonomiques sous-estimés ou les moins étudiés dans le cadre de cette étude notamment pour le plancton, les procaryotes, les oiseaux marins, etc.

De plus, d'autres personnes-ressources pourraient être sollicitées. En effet, l'ensemble des acteurs du territoire travaillant sur ces habitats ou ces regroupements taxonomiques n'ont pu être sollicités. D'autres organismes tels que des bureaux d'études, des associations de protection de l'environnement, des entreprises, etc. pourraient compléter les données acquises dans le cadre de cette étude. Des recherches complémentaires dans d'autres bibliothèques présentes sur le territoire de la métropole ou en dehors pourraient permettre de compléter les données notamment les données anciennes (e.g. bibliothèque de Saint-Charles, archives du Muséum d'histoire naturelle de la Ville de Marseille, Musée Océanographique de Monaco, etc.). Des bases de données ou des programmes de science participative pourraient être également intégrés.

Pour certains groupes taxonomiques, de nombreuses études existent mais correspondent à des études monospécifiques. On peut prendre l'exemple de *Posidonia oceanica* qui est étudié dans de nombreux suivis ou réseau d'observation. L'ajout de ses études monospécifiques permettrait de compléter certains groupes taxonomiques et d'augmenter le nombre de sources collectées pour certaines espèces.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités à lister les 5 biocénoses les plus représentatives des sources de connaissance mais d'autres habitats ont pu être échantillonnés en plus des 5 indiqués mais également que 5 groupes taxonomiques les plus représentatifs. Un volet complémentaire permettrait d'être davantage précis sur l'intégralité des habitats échantillonnés et sur l'intégralité des regroupements taxonomiques présents dans chaque source bibliographique.

Action 2 : poursuivre la méthodologie de l'atlas de la biodiversité (listes d'espèces et inventaires complémentaires)

Dans le cadre d'un atlas de la biodiversité communale (ABC), une liste d'espèces exhaustive est créée à l'issue de l'état des lieux des connaissances. Le premier volet d'un atlas a pour but de faire un recensement précis et géoréférencé à l'échelle de l'espèce. Un volet complémentaire à notre recensement des sources de références pourrait permettre de réaliser cette liste exhaustive d'espèces. Cette liste exhaustive d'espèces doit utiliser un référentiel taxonomique national tel que TAXREF afin de lister et organiser les noms scientifiques des êtres vivants. Ce travail est largement réalisable et a déjà été réalisé par quelques spécialistes de groupes taxonomiques (e.g. les éponges ; Grenier *et al.*, 2018). Les travaux entamés par les chercheurs de la Station Marine d'Endoume, consistant à inventorier les espèces benthiques, de tout groupe taxonomique, échantillonnés lors des travaux de l'école de Marion à la fin du XIXe siècle, et par Pérès et Picard après la deuxième guerre mondiale (Pérès et Picard, 1964), représente un point de démarrage qui ne

serait pas très coûteux de compléter. Avec l'aide de spécialistes, il suffirait d'ajouter à ces listes d'espèces, comprenant déjà 1 675 espèces réparties dans les principales biocénoses décrites à l'époque, par une analyse de la connaissance qui été ajoutée depuis cette époque, à travers la description de nombreuses espèces nouvelles. L'ensemble des descriptions réalisées par les chercheurs marseillais sera bientôt disponible dans une publication soumise (Boury-Esnault *et al.* soumis), ce qui finalement permettra de se concentrer sur les quelques espèces benthiques qui auraient été décrites par des chercheurs non marseillais. Enfin, ces travaux déjà entamés pour le benthos pourraient donc être transposés au compartiment pélagique pour apporter une référence complète sur la biodiversité marine dans la région marseillaise, intégrant ainsi l'ensemble des connaissances acquises du XIXe siècle à nos jours.

Dans le cadre d'un ABC, le deuxième volet consisterait à acquérir de nouvelles connaissances. En effet, en fonction des lacunes de connaissances établies, la définition de protocoles pertinents pour compléter les données peuvent s'avérer nécessaires lorsque les données disponibles sont trop fragmentaires pour identifier les intérêts présents sur les zones étudiées. En particulier, l'exploration de certains écosystèmes peu accessibles, notamment les grottes en milieu côtier, et les écosystèmes profonds, ce qui pourrait permettre de découvrir de nouvelles espèces. Mais sur la base des inventaires complets mentionnées ci-dessous, le plus important serait certainement de créer de nouveaux référentiels, ciblant les écosystèmes les plus importants, et utilisant les méthodes les plus modernes d'étude de la biodiversité marine.

Comme vu précédemment, les connaissances actuelles sur la biodiversité marine de la métropole sont essentiellement le résultat de nombreuses études historiques accomplies par des scientifiques naturalistes. Vers la fin du XIX^e siècle, Marseille devient l'un des points chauds d'acquisition de connaissances naturalistes, avec la création de sa station marine, et la naissance de son école naturaliste dirigée par A. F. Marion (à partir de 1881). Les naturalistes de cette époque ont véritablement posé les fondements de la connaissance que nous avons aujourd'hui de la composition de nombreux écosystèmes dans des zones géographiques. Ils ont servi la production d'autres références majeures dans les années 1960, comme le manuel de bionomie benthique de J. M. Pérès et J. Picard (1964). Alors qu'entre 1960 et 1980, de nombreux spécialistes en taxonomie opèrent dans la région marseillaise, cette spécialité commence à être délaissée dans la décennie suivante pour finir dans les années 1990 par ne plus être soutenue par les enseignements dispensés dans les universités. Cette érosion de la connaissance s'est même accélérée alors que les réglementations nationales et internationales requéraient des cartographies de plus en plus précises, des indicateurs biologiques répondant aux différentes perturbations environnementales et des stratégies de conservation des espaces marins. Par ailleurs, depuis les années 1970-80, aucune grande campagne d'exploration des écosystèmes marins n'a été conduite dans la région marseillaise, malgré l'avènement de nouvelles techniques d'investigation de la biodiversité dans toutes ces composantes, depuis la molécule jusqu'aux paysages, qui pourraient considérablement faire progresser notre connaissance du fonctionnement des écosystèmes, de leur capacité d'adaptation ou des services fournies aux sociétés humaines.

En conséquence, la mise en place de travaux qui viseraient à retourner sur les traces de certains naturalistes marseillais permettrait de promouvoir la nécessité de maintenir ou de développer à nouveau une expertise naturaliste qui est en voie de disparition, mais également d'améliorer considérablement notre connaissance de la biodiversité et des écosystèmes marins méditerranéens par l'emploi des techniques les plus modernes. Le plus important dans cette optique serait bien évidemment de pouvoir dresser un véritable changement de biodiversité en relation avec le changement du régime de pressions environnementales, ce qui permettra de soutenir avec robustesse d'éventuelles prédictions à l'horizon 2050 ou 2010.

Avec ce type de travaux, on pourrait également aisément revoir les cartes de distribution d'espèces indicatrices ou emblématiques pour la région marseillaise. En effet la distribution des espèces est un processus dynamique qui n'a de valeur qu'à un instant donné, particulièrement dans un régime croissant de perturbations environnementales. Elles sont modelées par les activités humaines qui ne cessent de varier, et ainsi, prendre leur état actuel, basé sur analyse bibliographique intégrant 150 ans de connaissances, pour

construire des stratégies de conservation, serait une grave erreur. Les stratégies actuelles doivent être basées sur la distribution la plus actuelle de la biodiversité, ce qui bien évidemment doit inclure la dimension génétique, qui ne cesse d'être impactée par les événements environnementaux extrêmes (e.g. mortalités massives, prolifération d'EEE).

Compte tenu des observations les plus récentes, ces nouveaux référentiels devraient idéalement être acquis dans tous les compartiments benthiques et pélagiques. Ceci étant, un compromis pourrait être de cibler un panel d'écosystèmes soumis à un régime extrêmement changeant de pressions (e.g. les biocénoses de l'infralittoral ou le coralligène) et dans des écosystèmes où l'on peut faire l'hypothèse que les pressions depuis 150 ans sont relativement faibles (e.g. les grottes et certains écosystèmes profonds).

Action 3 : cartographie des pressions

Le choix a été fait dans le cadre de cette étude d'identifier les lacunes et enjeux de biodiversité sur des critères biologiques. Néanmoins, les zones identifiées ne sont pas toutes confrontées aux mêmes niveaux de pressions (e.g. artificialisation, présence d'espèces invasives, etc.) et aux mêmes conditions environnementales (e.g. courant, vent, etc.). Certains territoires concentrent des enjeux forts à court terme nécessitent une action plus urgente. De plus, ces pressions ne concernent pas tous les écosystèmes de manière univoque. La prise en compte de la répartition hétérogène de ces pressions sur le territoire pourrait permettre de compléter les cartographies présentées ici et, à l'avenir, de prioriser les enjeux de conservation en différenciant ces facteurs de risque. Cette approche plus spécialisée faciliterait la confrontation des enjeux avec les menaces spécifiques qui pèsent sur eux pour identifier les zonages prioritaires par grands types d'habitats et en fonction des types d'outils de protection adaptés. Des cartographies basées sur des variables environnementales et des variables de pressions anthropiques pourraient permettre de comprendre les interactions entre le milieu et ses variables. Les réunions organisées dans le cadre de cette étude avec différents organismes en charge de la gestion de l'environnement marin dans la métropole a permis d'identifier des initiatives qui visaient ce type d'objectifs. Ainsi, nous avons clairement identifié des synergies à mettre en place entre l'Atlas de la biodiversité marine et ses suites de la métropole et ces différentes initiatives.

3.4.3. Outils permettant de bancariser, mettre à jour et exploiter les données de biodiversité marine mais aussi de les rendre accessibles

Des outils pourraient être mis en place pour montrer en temps réel ce qu'est l'état de la connaissance de la biodiversité marine sur le territoire métropolitain.

Proposition 1 : outil cartographique en libre accès

Un outil cartographique en ligne en libre accès sur Internet pourrait être développé (Figure 35). L'outil devra être facile d'accès et intuitif afin de pouvoir l'utiliser sans avoir des connaissances en cartographie ou en base de données. Cet outil permettrait de visualiser la densité d'études collectées dans le cadre de ce projet afin que les collectivités, les partenaires du territoire et les citoyens, aient accès aux références des sources bibliographiques produites sur le territoire et dans le cadre de cet atlas de la biodiversité marine. Cet outil permettrait de visualiser toutes les études relatives à la biodiversité sur une zone donnée au sein de la métropole Aix-Marseille-Provence. Il aiderait ainsi les acteurs du territoire en leur fournissant les éléments de connaissance existants sur leur zone.

Un exemple d'outil interactif est présenté via le lien suivant : <https://urlz.fr/k6Ch>. Il a été réalisé à l'aide de l'outil Dashboard sur ArcGIS® Online. Il contient une petite partie des données collectées dans le cadre de cette étude. Il permet de visualiser le type d'outil qui pourrait être créé dans le cadre de ce projet.

Il permettra de visualiser rapidement et de façon intuitive, le nombre d'études, les groupes taxonomiques étudiés ainsi que les références des études. Cet outil cartographique est dynamique et s'actualise en fonction de l'emprise de la carte. Il serait donc possible de zoomer sur une zone, ou bien de cliquer sur un point précis pour avoir le nombre d'études réalisées, la proportion des taxons étudiés, les références des travaux et la localisation des documents.

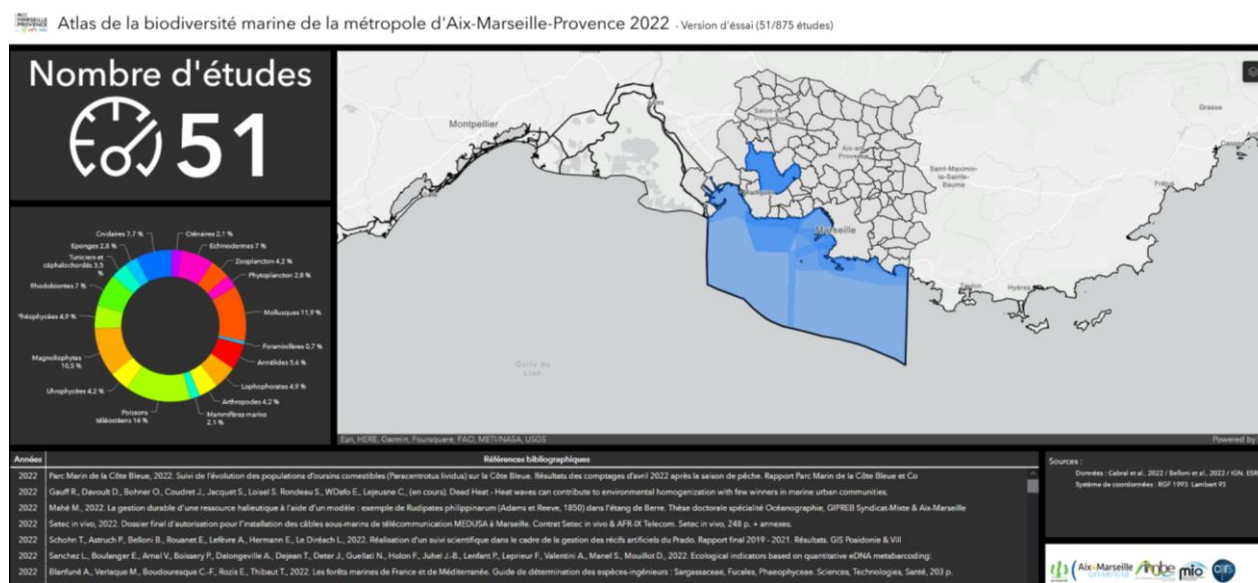


Figure 35: Impression d'écran de l'outil Dashboard d'ArcGIS contenant une partie des sources collectées dans le cadre de l'atlas métropolitain de la biodiversité marine.

Proposition 2 : outil cartographique en libre accès contenant les ressources bibliographiques accessibles

L'outil cité précédemment pourrait être complété avec des liens hypertextes afin de conduire directement sur l'article pour chaque référence bibliographique. De nombreuses études ne sont pas accessibles directement sur Internet en libre accès. C'est le cas notamment des données anciennes qui ne sont majoritairement pas numérisées. On peut prendre l'exemple des publications scientifiques *Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume* (1949-1969), bien qu'un projet de numérisation de ces références ait été envisagé par l'Université d'Aix-Marseille. Il serait important que chaque rapport technique ayant fait l'objet d'une commande publique puisse aussi être accessible dans ce type de base de données.

Proposition 3 : plateforme cartographique en libre accès avec téléversions de document

Une plateforme cartographique à plus grande échelle (e.g. échelle de la métropole) pourrait être développée afin d'avoir un équivalent aux plateformes en milieu terrestre. En milieu terrestre, on peut prendre l'exemple de la plateforme Silene Nature qui permet à tous les acteurs d'avoir accès à l'information naturaliste des espèces terrestres de Provence-Alpes-Côte d'Azur.

La plateforme pour la biodiversité marine aurait pour vocation de centraliser à la fois les sources de connaissance des différents acteurs du territoire ainsi que la répartition des espèces et des habitats naturels marins du territoire.

Cet outil pourrait contenir à la fois un contenu cartographique géoréférencé mais aussi la possibilité d'extraire des données (références des sources de données) ainsi que les liens vers les sources de données lorsqu'elles sont accessibles et libres de droits. Afin que cette étude s'inscrive dans la continuité des travaux existants, la terminologie utilisée devrait être commun à la fois pour les groupes taxonomiques (e.g. TAXREF) et les habitats (e.g. La Rivière et al., 2022). Un format standardisé de bancarisation des données devrait être mis en place afin de structurer les données collectées.

Afin que la plateforme reste active dans le temps, il est suggéré de trouver une interface afin de pouvoir téléverser des documents directement sur la plateforme ou de transmettre de nouveau document à l'entité gérant l'outil. Selon le contexte d'acquisition des données, une donnée transmise pourrait être publique ou privée. Afin de garantir la qualité de la donnée, une validation des données devrait être réalisée par des administrateurs de l'outil. Il pourrait s'agir d'experts scientifiques validant les données. Un comité de suivi pourrait être organisé à l'issue de la création de la plateforme afin d'avoir un retour d'expérience sur l'utilisation de l'outil et l'améliorer en continu.

L'outil aura pour objectif de faciliter la mise en œuvre de programmes qui dressent des états des lieux et ciblent les lacunes à combler en matière d'inventaires sur le territoire ou un groupe taxonomique. Les données mises à disposition reflèteront de l'état d'avancement des connaissances ou la disponibilité des inventaires mais ne pourront pas être considérées comme exhaustives. C'est un outil en faveur de la connaissance et de la préservation des milieux naturels pour favoriser une synergie entre les acteurs pour la production, la gestion, le traitement, la valorisation et la diffusion des données sur la biodiversité.

IV. Conclusion

La biodiversité marine constitue un patrimoine inestimable et intrinsèque pour l'humanité et doit être connu et valorisé pour être mieux préservé sur le territoire de la métropole. Le littoral de la métropole Aix-Marseille-Provence représente 255 km en comprenant celui de l'étang de Berre. La métropole Aix-Marseille-Provence souhaite s'engager davantage dans la prise en compte de la biodiversité marine sur son territoire dans le cadre de sa politique de valorisation du patrimoine naturel. Pour cette raison, la métropole a engagé la mise en œuvre d'un atlas métropolitain de la biodiversité marine. La présente étude vise à contribuer à la synthèse des sources de connaissance de la biodiversité marine (2022).

La première étape a consisté à identifier les sources de connaissance disponibles des habitats naturels, de la faune et de la flore du territoire de la métropole par différents moyens (personnes-ressources, bibliothèques, archives, Internet). Dans un second temps, les sources de données collectées bancarisées et agrégées, ont permis de cartographier la densité d'études pour les habitats et pour les regroupements taxonomiques à l'échelle de la métropole (2022). Enfin, ces résultats ont permis d'identifier les lacunes de connaissances et les zones à enjeux majeurs du territoire en termes de conservation des espèces et des habitats naturels.

Les résultats de l'atlas métropolitain de la biodiversité marine comprennent un rapport et un atlas cartographique (Belloni *et al.*, 2022). Un corpus bibliographique de 880 sources de données a été collecté dans le cadre de cette étude comprenant des données anciennes et des données contemporaines (de 1872 à 2022). Ce socle de références a été assemblé pour produire des cartographies de densité de sources de connaissance en fonction des habitats et des regroupements taxonomiques sur le territoire métropolitain. Une première interprétation des cartes produites souligne que le territoire de la métropole est très étudié sur le littoral. A l'opposé, les zones au large semblent être moins étudiées. Cette approche descriptive permet d'observer les patrons de sources de connaissance de biodiversité globale. Cependant, des disparités sont présentes entre les habitats et les regroupements taxonomiques choisis dans le cadre de cette étude.

Les données collectées proviennent de sources différentes de travaux réalisés à des périodes variables et en utilisant des protocoles différents. De ces divergences résulte un état de la connaissance qui n'est pas homogène à l'échelle de la métropole. Cependant, on peut dire que le territoire de la métropole a été globalement très étudié sur l'intégralité de son étendue. Aucune zone ne semble avoir aucune source de données cependant ces résultats sont à analyser en fonction des habitats et des regroupements taxonomiques.

Les résultats obtenus sont issus d'un processus d'analyse dépendant à la fois des données, des outils disponibles et des choix méthodologiques effectués. La synthèse des sources de connaissance produites mériterait d'être renforcée en intégrant des données complémentaires ou des actions afin d'améliorer les connaissances de la biodiversité.

Loin d'être exhaustif ce recensement des sources bibliographiques de connaissance à l'échelle du territoire de la métropole gagnerait à être complété et enrichi pour les compartiments taxonomiques qui ont été identifiés : les microorganismes, le plancton (phytoplancton et zooplancton), les cétacés et pour les taxons étudiés aux périodes les plus anciennes (antérieures à la seconde guerre mondiale).

Références bibliographiques du rapport

- Andromède Océanologie, 2014. La Méditerranée dévoile ses dessous – Cartographie continue des habitats marins. Partenariat Agence de l'Eau RMC – Andromède, Marseille : pages non numérotées.
- Astruch P., Belloni B., Rouanet E., Schohn T., Harmelin-Vivien M., Harmelin J.G., Boudouresque C.F., 2022. Dominance of *Scorpaena maderensis* among scorpaenids of littoral rocky reefs in Corsica (NW Mediterranean): further evidence of Mediterranean Sea warming. *Journal of Fish Biology* : 1-4.
- Ballesteros E., 2006. Mediterranean coralligenous assemblages: A synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology*, 44 : 123-195.
- Bianchi C.N., Corsini-Foka M., Morri C., Zenetos A., 2014. Thirty years after: dramatic change in the coastal marine ecosystems of Kos Island (Greece), 1981-2013. *Mediterranean Marine Science*, 15 (3) : 482-497.
- Blanc J.J., Jeudy De Grissac A., 1978. Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à posidonies du littoral de la Provence. Centre national pour l'exploration des océans (CNEXO), Paris : i-vii + 1-185 + 42 pl. h.t.
- Blanfuné A., Boudouresque C.F., Thibaut T., Verlaque M., 2016. The sea level rise and the collapse of a Mediterranean ecosystem, the *Lithophyllum byssoides* algal rim. In: *The Mediterranean region under climate change. A scientific update*. Thiébaud S., Moatti J.P. (eds.), AllEnvi, IRD éditions publisher, Marseille : 285-289.
- Blanfuné A., Verlaque M., Boudouresque C.F., Rozis E., Thibaut T., 2022. Les forêts marines de France et de Méditerranée. Guide de détermination des espèces-ingénieurs. Sargassaceae, Fucales, Phaeophyceae. Presses Universitaires de Provence, Aix-en Provence : 1-207.
- Belloni B., Cabral M., Lazennec A., Le Diréach L., 2022. Atlas métropolitain de la biodiversité marine Aix-Marseille-Provence. Synthèse des sources de connaissance (2022). Volume 2 : Atlas cartographique. Convention annuelle d'objectifs Métropole Aix-Marseille-Provence & GIS Posidonie. GIS Posidonie edit., Marseille, Fr., 104 p.
- Bonhomme P., Bonhomme D., Boudouresque C.F., Cadiou G., Charbonnel E., Ruitton S., 2010. Monitoring of the lower limit of *Posidonia oceanica* meadows at Port-Cros Island, Provence, Mediterranean Sea. *Scientific reports of the Port-Cros national park*, 24 : 87-103.
- Boudouresque C.F., Bertrand M.C., Bouladier E., Foret P., Meinesz A., Pergent G., Vitiello P., 1990. Le réseau de surveillance des herbiers de posidonies mis en place en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (France). *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée*, 32 (1) : 11.
- Boudouresque C.F., Charbonnel E., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Cadiou G., Bertrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Rico-Raimondino V., 2000. A monitoring network based on the seagrass *Posidonia oceanica* in the north-western Mediterranean Sea. *Biologia Marina Mediterranea*, 7 (2) : 328-331.
- Boudouresque C.F., Verlaque M., 2005. Nature conservation, Marine Protected Areas, sustainable development and the flow of invasive species to the Mediterranean Sea. *Scientific reports of the Port-Cros national park*, 21 : 29-54.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Le Diréach L., Ruitton S., 2007. Monitoring methods for *Posidonia oceanica* seagrass meadows in Provence and the French Riviera. *Scientific reports of the Port-Cros national park*, 22 : 17-38.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M., 2009. Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*, 52 (5) : 395-418.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2012. *Protection and conservation of Posidonia oceanica meadows*. RAMOGE and RAC/SPA publ., Tunis : 1-202.
- Boudouresque C.F., Bianchi C.N., 2013. Une idée neuve : la protection des espèces marines. In : *GIS Posidonie : plus de 30 ans au service de la protection et de la gestion du milieu marin*. Le Diréach L., Boudouresque C.-F. (édits.), GIS Posidonie publ., Fr., Marseille : 85-91.

- Boudouresque C.F., 2014a. Vive la pêche artisanale ! *Progressistes*, 5 : 46-47.
- Boudouresque C.F., 2014b. Insights into the diversity of the biodiversity concept. *Scientific reports of the Port-Cros national park*, 28 : 65-86.
- Boudouresque C.F., Blanfuné A., Fernandez C., Lejeusne C., Pérez T., Ruitton S., Thibault D., Thibaut T., Verlaque M., 2017. Marine Biodiversity - Warming vs. biological invasions and overfishing in the Mediterranean Sea: Take care, 'One train can hide another'. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 2 (4) : 1-13.
- Boudouresque C.F., Astruch P., Goujard A., Rouanet E., Bonhomme D., Bonhomme P., 2019. The withdrawal of the lower limit of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow in the Bay of Hyères (NW Mediterranean): a combination of natural and human-induced recent and ancient phenomena? In: *Proceedings of the 6th Mediterranean symposium on marine vegetation*, Antalya, Turkey, 14-15 January 2019, LANGAR H., OUERGI A. édits., RAC/SPA publ., Tunis : 35-40.
- Boudouresque C.F., Blanfuné A., Pergent G., Thibaut T., 2021. Restoration of seagrass meadows in the Mediterranean Sea: a critical review of effectiveness and ethical issues. *Water*, 13 (1034) : 1-35.
- Cadiou G., Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Bonhomme P., Bernard G., Cottalorda J.M., Garcia F., Kruczek R., Bertrand M.C., Foret P., Bricout P., Marro C., 2004. *Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur : résultats du suivi 2003*. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-146.
- Charbonnel E., Bernard G., Gravez V., Bonhomme P., Francour P., Boudouresque C.F., 1997. *Surveillance de l'herbier à Posidonia oceanica du golfe de Giens (Var-France). Rapport du troisième suivi*. Syndicat intercommunal Hyères-Carqueiranne pour l'assainissement de la baie de Giens et GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-97
- Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Cadiou G., Bonhomme P., Cottalorda J.M., Patrone J., Kruczek R., Bertrand M.C., Foret P., Bricout P., Marro C., Le Diréach L., 2003. *Le Réseau de surveillance Posidonies de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur : Résultats du suivi 2002*. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-176.
- Faivre S., Bakran-Petricioli T., Horvatinčić N., Sironič A., 2013. Distinct phases of relative sea level changes in the central Adriatic during the last 1500 years – influence of climatic variations? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369 : 163-174.
- Francour P., Boudouresque C.F., Harmelin J.G., Harmelin-Vivien M.L., Quignard J.P., 1994. Are the Mediterranean waters becoming warmer ? Information from biological indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 28 (9) : 523-526.
- Garrabou J., Perez T., Sartoretto S., Harmelin J.G., 2001. Mass mortality event in red coral *Corallium rubrum* populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 217 : 263-272.
- Garrabou J., Coma R., Bensoussan N., Bally M., Chevaldonné P., Cigliano M., Diaz D., Harmelin J.G., Gambi M.C., Kersting D.K., Ledoux J.B., Lejeusne C., Linares C., Marschal C., Pérez T., Ribes M., Romano J.C., Serrano E., Teixido N., Torrents O., Zabala M., Zuberer F., Cerrano C., 2009. Mass mortality in northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15 : 1090-1103.
- Garrabou J., Gómez-Gras D., Medrano A., Cerrano C., Ponti M., Schlegel R., Bensoussan N., Turicchia E., Sini M., Gerovasileiou V., Teixido N., Mirasole A., Tamburello L., Cebrian E., Rilov G., Ledoux J.B., Ben Souissi J., Khamassi F., Ghanem R., Benabdi M., Grimes S., Ocaña O., Bazairi H., Hereu B., Linares C., Kersting D.K., La Rovira G., Ortega J., Casals D., Pagès-Escolà M., Margarit N., Capdevila P., Verdura J., Ramos A., Izquizado A., Barbera C., Rubio-Portillo E., Anton I., López-Sendino P., Díaz D., Vázquez-Luis M., Duarte C., Marbà N., Aspillaga E., Espinosa F., Grech D., Guala I., Azziro E., Farina S., Gambi M.C., Chimienti G., Montefalcone M., Azzola A., Mantas T.P., Frascchetti S., Ceccherelli G., Kipson S., Bakran-Petricioli T., Petricioli D., Jimenez C., Katsanevakis S., Kizilkaya I.T., Kizilkaya Z., Sartoretto S., Rouanet É., Ruitton S., Comeau S., Gattuso J.P., Harmelin J.G., 2022. Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*, 28 (19) : 5708-5725.
- Grenier M., Ruiz C., Fourt M., Santonja M., Dubois M., Klautau M., Vacelet J., Boury-Esnault N., Pérez T., 2018. Sponge inventory of the French Mediterranean waters, with an emphasis on cave-dwelling species. *Zootaxa*, 4466 (1) : 205-228.
- Gravez V., Nieri M., Boudouresque C.F., 1992. *Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille). Rapport de synthèse 1986-1992*. Direction Générale des Services techniques de la Ville de Marseille et GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-80.

- Harmelin J.-G., True M.-A., 1964. Délimitation cartographique de l'extension actuelle des herbiers de *Posidonia oceanica* (Delile) dans le Golfe de Marseille. *Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume*, 34 (50) : 157-160.
- Harmelin J.-G. 1990. Ichthyofaune des fonds rocheux de Méditerranée : structure du peuplement du coralligène de l'île de Port-Cros (Parc National). *Mesogée*, 50 : 23-30.
- Hong J.-S., 1980. Etude faunistique d'un fond de concrétionnement de type coralligène soumis à un gradient de pollution en Méditerranée Nord-occidentale (Golfe de Fos). *Thèse de 3ème cycle spécialité Océanologie, Université Aix-Marseille II*, 1-6 + 1-137 + 1-108.
- Hong J.-S., 1983. Impact of the pollution on the benthic community environmental impact of the pollution on the benthic coralligenous community in the Gulf of Fos, northwestern Mediterranean. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16 (3) : 273-290.
- Jedy De Grissac A., Meinesz A., Boudouresque C.F., Astier J.M., Bourcier M., Lefèvre J.R., 1985. *Localisation de l'herbier de posidonie sur le littoral P.A.C.A. Bouches du Rhône*. GIS Posidonie publ., Hyères, Fr. : 1-22.
- Klein J., Ruitton S., Verlaque M., Boudouresque C.F., 2005 Species introductions, diversity and disturbances in marine macrophyte assemblages of the northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 290 : 79-88.
- Laborel J., 1961. Le concretionnement algal "coralligène" et son importance géomorphologique en Méditerranée. *Recueil Travaux Station Marine d'Endoume*, 23 : 37-60.
- La Rivière M., Michez N., Delavenne J., Andres S., Fréjefond C., Janson A. L Abadie A., Amouroux J.-M., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Derolez V., Fernez T., Fourt M., Frisoni G.-F., Grillas P., Harmelin J.-G., Jordana E., Kleszczewski M., Labrune C., Mouronval J.-B., Ouisse V., PALOMBA L., Pasqualini V., Pelaprat C., Pérez T., Pergent G., Pergent-Martini C., Sartoretto S., Thibaut T., Vacelet J., Verlaque M., 2021. Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), Paris, 664 p.
- Lecointre et Le Guyader, 2006. Classification phylogénétique du vivant. Broché, 559 p.
- Lejeusne C., Chevaldonné P., Pergent-Martini C., Boudouresque C. F., Pérez T., 2010. Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology and Evolution*, 25 (4) : 250-260.
- Lerliche A., Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Denis J., 2004. A one-century suite of seagrass bed maps: can we trust ancient maps? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59 : 353-362.
- Marion A.F., 1883. Esquisse d'une topographie zoologique du Golfe de Marseille. *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle (Zoologie) de Marseille*, 1 : 1-108 + 1 carte h.t.
- Meinesz A., 1977. - Balisage de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* en rade de Villefranche-sur-mer (Alpes-Maritimes, France). *Rapports des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 24 (6) : 143-144.
- Meinesz A., 2021. *Protéger la biodiversité marine*. Odile Jacob publ., Paris : 1-331.
- Pères J. M., Picard J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume*, 31 (47) : 1-137.
- Pérez T., Garrabou J., Sartoretto S., Harmelin J.-G., Francour P., Vacelet J., 2000. Mortalité massive d'invertébrés marins : un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. *Comptes Rendus l'Académie des Sciences - Série III – Science de la Vie*, 323 : 853-865.
- Pérez T., Harmelin J.-G., Vacelet J., Sartoretto S., 2002. Evaluation de la qualité du littoral par les peuplements de substrats durs : Spongiaires, Gorgonaires et Bryozoaires comme bioindicateurs. *Programme LITEAU, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable*, 78 p. + annexes.
- Pergent G., Pergent C., 1988. *Localisation et état de l'herbier de posidonies sur le littoral PACA : Bouches du Rhône*. DRAE PACA et GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-53.

- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Verlaque M., 2012. *Mediterranean seagrass meadows: resilience and contribution to climate change mitigation. A short summary*. IUCN publ., Gland, Málaga : 1-40.
- Personnic S., Boudouresque C.-F., Astruch P., Ballesteros E., Blouet S., Bellan-Santini D., Bonhomme P., Thibault-Botha D., Feuteun E., Harmelin-Vivien M., Pergent G., Pergent-Martini C., Pastor J., Poggiale J.-C., Renaud F., Thibaut T., Ruitton S., 2014. An Ecosystem-Based Approach to Assess the Status of a Mediterranean Ecosystem, the *Posidonia oceanica* Seagrass Meadow. *PLOS ONE*, 9 (6) : e98994.
- Pruvot G., 1897. Essai sur les fonds et la faune de la Manche occidentale (côtes de Bretagne) comparés à ceux du golfe du Lion. *Archives de Zoologie expérimentale et générale*, 3 : 510-684.
- Ruitton S., Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Bonhomme P., Bernard G., Patrone J., Kruczek R., Cottalorda J.M., Bertrand M.C., Foret P., Bricout P., Ragazzi M., Cadiou G., Thibaut T., 2001. *Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Seconde partie : résultats du suivi 2000*. Région PACA, Agence de l'Eau, DDE, GIS Posidonie publ., Fr. : 1-129.
- Ruitton S., Blanfuné A., Boudouresque C.F., Guillemain D., Michotey V., Roblet S., Thibault D., Thibaut T., Verlaque M., 2021. Rapid spread of the invasive brown alga *Rugulopteryx okamurae* in a National Park in Provence (France, Mediterranean Sea). *Water*, 13 (16 – 2306) : 1-11.
- Sartoretto S., 1996. Vitesses de croissance et de bioérosion des concrétionnements coralligènes de Méditerranée nord-occidentale : relation avec les variations holocènes du niveau marin. *Thèse doctorale spécialité Ecologie marine, Université Aix-Marseille II*.
- Thibaut T., Blanfuné A., Boudouresque C.F., Verlaque M., 2015. Decline and local extinction of Fucales in the French Riviera: the harbinger of future extinctions? *Mediterranean marine Science*, 16 (1) : 206-224.
- Thibaut T., Blanfuné A., Verlaque M., Boudouresque C.F., Ruitton S., 2016. The *Sargassum* conundrum: highly rare, threatened or locally extinct in the NW Mediterranean and still lacking protection. *Hydrobiologia*, 781 : 25-42.
- Thibaut T., Blanfuné A., Boudouresque C.F., Holon F., Agel N., Descamps P., Deter J., Pavy T., Delaruelle G., Verlaque M., 2022. Distribution of the seagrass *Halophila stipulacea*: a big jump to the northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Botany*, 176 (103465) : 1-4.
- Verlaque M., Durand C., Huisman J.M., Boudouresque C.F., Le Parco Y., 2003. On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *European Journal of Phycology*, 38 : 325-339.
- Pérès J. M., Picard J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume, 31 (47) : 1-137.

« Les Atlas de la biodiversité communale ». Office Français pour la biodiversité. <https://www.ofb.gouv.fr/les-atlas-de-la-biodiversite-communale> (Consulté le 20 septembre 2022).

« Atlas de la biodiversité : un patrimoine exceptionnel à protéger ». Métropole Aix-Marseille-Provence. <https://ampmetropole.fr/atlas-de-la-biodiversite/> (Consulté le 20 septembre 2022).

« Généralités sur l'étang de Berre. Description générale de la lagune l'étang de Berre : géographie, écologie, pressions ». GIPREB. <https://etangdeberre.org/comprendre/generalites-sur-letang-de-berre/> (Consulté le 07 novembre 2022).

« Les zostères dans l'Etang de Berre : suivi et état des lieux de ces herbiers emblématiques ». GIPREB. <https://etangdeberre.org/comprendre/etat-ecologique-de-letang-de-berre/les-zosteres-dans-letang-de-berre/> (Consulté le 27 octobre 2022).

« Taux d'artificialisation du trait de côte par masses d'eau de la Directive Européenne Cadre Eau. » MEDAM. <http://www.medam.org/index.php/fr/> (Consulté le 12 décembre 2022).

AGAM, 2017. Aix-Marseille-Provence, un capital nature et littoral à partager. Atlas de l'Environnement 2017. Tome 1. Etude environnement. AGAM, 54 p. <https://www.agam.org/wp-content/uploads/Atlas%20environnement%202017%20tome%201.pdf> (Consulté le 20 septembre 2022).

Ville de Marseille, 2020. La stratégie locale partenariale en faveur de la biodiversité terrestre et marine de Marseille. Diagnostic : les enjeux en matière de biodiversité sur le territoire marseillais. Ville de Marseille et Comité français de l'UICN.

Liste des tableaux

Tableau I : Liste des scientifiques contactés, laboratoires et spécialités.	30
Tableau II : Liste des personnes-ressources et structures de gestion du milieu marin contactées.	31
Tableau III : Liste des personnes-ressources appartenant à des associations de protection ou d'étude de l'environnement marin contactées.	32
Tableau IV : Liste des personnes-ressources appartenant à des services de l'Etat contactées.	32
Tableau V : Liste des personnes-ressources et des collectivités contactées.	32
Tableau VI : Liste des personnes-ressources d'autres structures contactées.	33
Tableau VII : Tableau des couches SIG utilisées et de la source des données.	46
Tableau VIII : Surface des biocénoses marines par habitat.	64

Liste des figures

Figure 1 : Schéma simplifié de la structure emboîtée de la biodiversité.	15
Figure 2 : Schéma simplifié de mise en place d'un atlas de la biodiversité communale.	16
Figure 3 : Atlas de la biodiversité terrestre de la métropole Aix-Marseille-Provence.	18
Figure 4 : Schéma simplifié des étapes de construction de l'atlas métropolitain de la biodiversité marine Aix-Marseille-Provence.	19
Figure 5 : Cartographie de la zone d'étude comprenant les masses d'eau côtières et les masses d'eau de transition.	20
Figure 6 : Cartographie de la zone d'étude comprenant le Parc national des Calanques et le Parc Marin de la Côte Bleue.	21
Figure 7 : Cartographie de la zone d'étude comprenant les zones Natura 2000.	22
Figure 8 : Cartographie de la zone d'étude comprenant les zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) marine de type I et II et continentale de type II.	24
Figure 9 : Cartographie de la zone d'étude d'atlas métropolitain de la biodiversité marine Aix-Marseille-Provence.	25
Figure 10 : Photographie de la première de couverture du premier fascicule du Recueil des Travaux de la station marine d'Endoume datant de 1949 (à gauche) et un des placards de la bibliothèque de la station marine d'Endoume contenant de nombreux ouvrages anciens (à droite).	27
Figure 11 : Schéma des étages biocénotiques en mer Méditerranée.	38
Figure 12 : Cartographie des biocénoses marines de la zone d'étude.	39
Figure 13 : Cartographie des biocénoses marines du golfe de Fos.	40
Figure 14 : Cartographie des biocénoses marines de la Côte Bleue.	41
Figure 15 : Cartographie des biocénoses marines de la rade de Marseille.	42
Figure 16 : Cartographie des biocénoses marines des Calanques de Marseille à La Ciotat.	43
Figure 17 : Répartition en pourcentage de la localisation des sources de données.	47
Figure 18 : Evolution temporelle du nombre de sources de données collectées.	49
Figure 19 : Répartition des sources collectées par type de publication.	50
Figure 20 : Répartition temporelle du nombre de sources collectées par décennies et par types de sources de données.	51
Figure 21 : Répartition des sources collectées en fonction du type de données.	52
Figure 22 : Répartition temporelle du nombre de sources collectées par décennies et par type de données.	53
Figure 23 : Pourcentage des sources de données collectées par étage marins ou par type d'habitat.	54
Figure 24 : Pourcentage des sources des données par grands groupes d'organismes.	55
Figure 25 : Pourcentage des sources de données par groupe taxonomique pour la flore.	55
Figure 26 : Pourcentage des sources de données par groupe taxonomique pour la faune.	56
Figure 27 : Pourcentage des sources de données par groupe taxonomique pour le plancton et les micro-organismes.	57
Figure 28 : Cartographie de la face nord de l'île du Frioul extraite du site Medtrix.	83
Figure 29 : Le Réseau de surveillance Posidonie (RSP) de la Région Sud.	84

<i>Figure 30 : Le système de surveillance de la baie du Prado, à Marseille ; carrés permanents, transects permanents et balisages.</i>	<i>85</i>
<i>Figure 31 : Mortalité massive ayant touchée le peuplement de gorgones rouges de 10 à 30 m de profondeur sur le site de l'impérial de Terre.</i>	<i>88</i>
<i>Figure 32 : Le poisson perroquet Sparisoma cretense est arrivé à Port-Cros (Provence orientale).</i>	<i>90</i>
<i>Figure 33 : L'algue verte Microdictyon umbilicatum trouvée pour la première fois à Marseille, à 28 m de profondeur en décembre 2022.</i>	<i>91</i>
<i>Figure 34 : L'invasion de Rugulopteryx okamurae (algue brune, straménopiles), originaire du Japon, dans le massif des Calanques (Marseille).</i>	<i>91</i>
<i>Figure 35: Impression d'écran de l'outil Dashboard d'ArcGIS contenant une partie des sources collectées dans le cadre de l'atlas métropolitain de la biodiversité marine.</i>	<i>100</i>

Liste des annexes

<i>Annexe A : Liste des champs de la grille de métadonnées avec description et format du champ.</i>	<i>110</i>
--	------------

Annexes

Annexe A : Liste des champs de la grille de métadonnées avec description et format du champ.

		Nom du champ	Description du champ	Format
CADRE	Références des sources de données	Code unique	<p>Le code unique permet d'identifier le jeu de données.</p> <p>Nomenclature : Il ne doit pas contenir d'accent, de point, de caractères spéciaux (e.g. !, ?, etc.), d'espace ou de majuscule. Les espaces sont remplacés par "_" (tiret du 8). Le "-" (tiret du 6) peut être utilisé pour les noms composés des auteurs. <u>Document publié</u> => annee_premier_auteur_nom_revue_contexte Ex. : 2018_bellan-santini_mnhn_znieff_1_ile_verte <u>Document non publié</u> => annee_personne_ressource_organisme_contexte Ex. : 2019_ruitton_mio_ebqi_herbier_moyades</p>	Code unique
		Type de source	<p>Le format de restitution correspond au format du jeu de données fourni, à choisir dans une liste contrôlée.</p> <p>Liste contrôlée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Publication scientifique • Rapport scientifique • Thèse • Données brutes de terrain • Ouvrage • Autre 	Liste contrôlée
		Nom premier auteur	<p>Nom (première lettre en majuscule uniquement) et première lettre du prénom (en majuscule suivi d'un point) de l'auteur principal pour les documents publiés.</p> <p>Nomenclature : Nom P. Ex. : Ruitton S.</p>	Texte libre
		Année de parution	L'année de parution du document publié.	Texte libre
		Référence bibliographique	<p>La référence bibliographique permet d'identifier un document publié ou une partie de ce document afin d'y faire référence.</p> <p>Nomenclature : Nom P. des auteurs, date. Titre de l'article. Nom de la revue (sans abréviation), numéro du volume : première page-dernière page. Ex. : Bellan G., Bourcier M., Salen-Picard C., Arnoux A., Casserley S., 1999. Benthic ecosystem changes associated with wastewater treatment at Marseille: implications for the protection and restoration of the Mediterranean coastal shelf ecosystems. <i>Water Environmental Ressources</i>, 71 (4) : 484-493.</p>	Texte libre
		Titre du jeu de données	Le titre du jeu de données permet d'informer sur le contenu du jeu de données. Il est nécessaire notamment si les données sont non exploitées / non publiées (e.g. données de terrain, etc.).	Texte libre

		Autres (lien url, doi, etc.)	Ce champ permet de renseigner des liens url vers des documents ou vers des informations complémentaires au jeu de données. Le DOI (Digital Object Identifier) peut être indiqué pour les articles scientifiques. Il permet d'identifier un objet électronique publié.	Texte libre
		Localisation des données	<p>La localisation des données permet de situer le jeu de données afin de le retrouver. Le jeu de données peut être fourni par une personne ressource, être collecté sur Internet, en bibliothèque, à la plateforme macrophytes, etc. La liste est ouverte afin d'ajouter le plus de précision notamment lorsque le document est disponible uniquement dans la bibliothèque d'un chercheur.</p> <p>Liste ouverte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personne-ressource • Internet • Archive GIS Posidonie • Archive DDTM • Bibliothèque de la station marine d'Endoume • Plateforme macrophytes • Autre bibliothèque (à préciser) 	Liste ouverte
		Nom du document collecté	Le document collecté sera nommé comme le code unique permettant de faire le lien entre la fiche d'acquisition des métadonnées et le document collecté (jeu de données).	Texte libre
		Mots-clés	Indiquer les mots-clés quand ils sont indiqués (présent souvent après le résumé).	Texte libre
QUI	Personne-ressource	Nom de la personne-ressource	<p>Nom (première lettre en majuscule uniquement) et première lettre du prénom (en majuscule suivi d'un point) de la personne-ressource.</p> <p>Nomenclature : Nom P. Ex : Ruitton S.</p>	Texte libre
		Organisme/structure de la personne-ressource	Nom de l'organisme (structure actuelle) de la personne-ressource.	Texte libre
		e-mail de la personne-ressource	L'adresse e-mail de la personne-ressource.	Texte libre
QUAND	Date des données	Année de début/lancement des données	L'année de début de la collecte des données (observation, recueil de données sur le terrain par observation directe ou par observation indirecte, etc.).	Texte libre
		Mois de début/lancement des données	Le mois de début de la collecte des données.	Texte libre
		Année de fin des données	L'année de fin de la collecte des données.	Texte libre
		Mois de fin des données	Le mois de fin de la collecte des données.	Texte libre
		Fréquence	<p>La fréquence permet d'avoir une notion sur l'intervalle d'acquisition des données, à choisir dans une liste contrôlée.</p> <p>Liste contrôlée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponctuelle • Hebdomadaire • Mensuelle • Saisonnière • Annuelle 	Liste contrôlée

			<ul style="list-style-type: none"> • Biannuelle • Pluriannuelle • Inconnue 	
OU	Localisation des données	Niveau de précision	<p>Le niveau de précision permet de savoir si l'étude a été réalisée sur un site, sur plusieurs sites ou sur une ou plusieurs zones d'étude.</p> <p>Liste contrôlée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un site d'étude • Plusieurs sites d'études • Zone(s) d'études 	Liste contrôlée
		Nom du site d'étude	Le nom du site d'étude correspond au nom donné dans le cadre du jeu de données.	Texte libre
		Latitude (en DD)	Lorsqu'il y a un seul site d'étude, indiquer la latitude en degrés décimale (avec une virgule). Ex. : 43,2	Texte libre
		Longitude (en DD)	Lorsqu'il y a un seul site d'étude, indiquer la longitude en degrés décimale (avec une virgule). Ex. : 5,4	Texte libre
		Profondeur (en m)	Indiquer la profondeur en mètres (possibilité de mettre une virgule pour les décimales). Ex. : 50 ; 50,5	Texte libre
		Profondeur minimale (en m)		Texte libre
		Profondeur maximale (en m)		Texte libre
QUOI	Habitats	Nom de l'habitat 1	<p>L'habitat permet d'avoir une connaissance du milieu où les données ont été collectées, à choisir dans une liste contrôlée.</p> <p>Liste contrôlée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Banquette de posidonie et laisse de mer • Roche supralittorale • Fonds meubles médiolittoraux • Roche médiolittorale • Roche infralittorale • Fonds meubles infralittoraux • Galets infralittoraux • Fonds meubles ciralittoraux • Herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> • Matte morte de <i>Posidonia oceanica</i> • Herbiers à <i>Cymodocea nodosa</i> • Herbiers à <i>Zostera noltei</i> • Herbiers à <i>Zostera marina</i> • Coralligène • Grottes sous-marines submergées ou semi-submergées • Roche du large • Vases bathyales • Roches bathyales • Lagune 	Liste contrôlée

		<ul style="list-style-type: none"> • Structures artificielles • Colonne d'eau 		
		Nom de l'habitat 2	Liste contrôlée	
		Nom de l'habitat 3	Liste contrôlée	
		Nom de l'habitat 3	Liste contrôlée	
		Nom de l'habitat 4	Liste contrôlée	
	Nom de l'habitat 5	Liste contrôlée		
	Groupes taxonomiques	Type de données d'espèces	<p>Le type de données indique si l'étude a été réalisée sur une seule espèce ou sur plusieurs espèces.</p> <p>Liste contrôlée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inventaire exhaustif • Inventaire partiel • Etude monospécifique • Etude plurispécifique • Cartographie / écosystème • Génétique / intraspécifique • Approche écosystémique 	Liste contrôlée
		Nom de l'espèce	Indiquer le nom scientifique de l'espèce seulement si l'étude est réalisée sur une espèce.	Texte libre
		Groupe taxonomique 1	<p>Indiquer le groupe taxonomique, à choisir dans une liste contrôlée, pour les différentes espèces de l'étude. Possibilité de mettre de 1 à 5 groupes taxonomiques en fonction de l'étude, du groupe taxonomique le plus étudié ou représentatif au moins étudié.</p> <p>Liste contrôlée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Magnoliophytes • Ulvophycées • Rhéophycées • Rhodobiontes • Procaryotes (bactéries et cyanobactéries) • Foraminifères • Phytoplancton • Zooplancton • Tuniciers et Céphalochordés (Ascidies) • Eponges • Cnidaires • Cténaïres • Echinodermes • Mollusques • Annélides / autres vers • Lophophorates (Bryozoaires, Brachiopodes, Phoronidiens) • Arthropodes (Crustacés) • Poissons téléostéens • Chondrichtyens 	Liste contrôlée

		<ul style="list-style-type: none"> • Mammifères marins • Oiseaux marins et divers 	
	Groupe taxonomique 2		Liste contrôlée
	Groupe taxonomique 3		Liste contrôlée
	Groupe taxonomique 4		Liste contrôlée
	Groupe taxonomique 5		Liste contrôlée
	Commentaire(s)/précision(s)	Indiquer tout commentaire pertinent sur le jeu de données.	Texte libre

