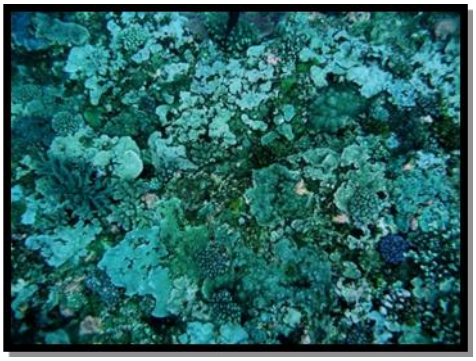


Mémoire de fin d'étude

Etude d'identification des zones de conservation marines prioritaires dans le cadre de la mise en place d'une Réserve Naturelle Nationale dans les îles Eparses : cas de l'île d'Europa

St-Pierre, La Réunion, (974)

Mars-Septembre 2012

« Tout est neuf comme au premier jour du monde »
Le Clézio

Remerciements

Ce stage n'aurait pas eu lieu sans Pascale Joannot, déléguée à l'outre-mer au Muséum national d'histoire naturelle et pilote de ce travail pour l'Initiative française pour les récifs coralliens (IFRECOR) [1] et Guillaume Dirberg, chargé de mission au service du patrimoine naturel du Muséum national d'histoire naturelle. Je les remercie de m'avoir accordé leur confiance et d'avoir cru en mes motivations alors que je ne connaissais que très peu les milieux coralliens et de m'avoir donné la chance d'effectuer mon année de césure et mon stage à La Réunion. Ce fut un réel plaisir de travailler avec eux et j'espère que ce n'est qu'un début.

Je tiens à remercier Julien Ringelstein, chef du service conservation du patrimoine naturel marin et îles Eparses à la Direction de la conservation du patrimoine naturel (DCPN) des Terres Australes et Antarctiques Françaises (Taaf) qui m'a accueilli et consacré beaucoup de temps tout au long de cette période. Il a su répondre à toutes mes interrogations et m'a intégré au sein de la DCPN. Je l'en remercie sincèrement.

Je remercie également Jean-Benoît Nicet de PARETO écoconsult, qui m'a accueilli pour la première partie de mon stage et sans lequel la cartographie serait encore un secret pour moi. Merci pour sa bonne humeur quotidienne et pour avoir passer de longues heures à relire mes cartes et la typologie. Merci aussi pour les bons moments passés en dehors du stage.

Un grand merci à Pascale Chabanet (IRD, pilote du programme BIORECIE) et Lionel Bigot (Université de La Réunion, laboratoire Ecomar), pour toutes les séances de validation de la cartographie mais aussi et surtout pour m'avoir transmis les données de BIORECIE.

Ce travail n'aurait pas été possible sans Pascale Mouquet et le programme Spectrhabent-OI (ARVAM, IFRECOR, Actimar, Université de La Réunion, PARETO, CRIOBE, SHOM et IGN) pour les données MSA. Merci également à Jérôme Bourjéa pour les données issues du programme « Tortues marines ». Un grand merci à tous les deux pour le traitement des données LIDAR.

Merci également à toute l'équipe de PARETO écoconsult : Gaëlle, Rémi, Yoanne, Pauline et Mathieu pour leur accueil plus que chaleureux et leur bonne humeur permanente. Je souhaite tout le courage possible à Mathieu pour achever sa thèse.

Je remercie également Sophie Marinesque des Taaf, sans elle et sans Julien le quotidien au Taaf n'aurait pas eu le même goût. Merci d'avoir répondu à toutes mes questions et de m'avoir permis d'aller à Europa. Ce fût compliqué mais nous y sommes arrivés grâce à eux. Merci aussi à toute l'équipe de la DCPN : Axel, Sylvain et Cédric Marteau, pour les échanges que nous avons pu avoir. Un remerciement aussi pour le service juridique : Géraldine et Anne-isabelle.

Je remercie Mme Grégoire, Directrice des études à l'ENGEES, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage.

Un grand merci à la DEAL Réunion, qui m'a permis de présenter mon stage devant les partenaires du projet.

---

[1] L'initiative Française pour les Récifs Coralliens mène des projets en faveur de la meilleure gestion des récifs coralliens dans les collectivités d'outre-mer. Certaines sont des actions locales, d'autres transversales intéressent l'ensemble des collectivités récifales. Ces activités se nomment « thème d'intérêt transversal » (TIT). L'un d'eux, le TIT Biodiversité a pour objectif de recenser l'ensemble de la biodiversité récifale de l'outre-mer et la mise en place de la typologie des habitats et ce, dans la perspective d'aider les gestionnaires de récifs coralliens dans leurs activités. L'IFRECOR a confié ce travail au Muséum national d'histoire naturelle. C'est dans ce cadre que j'ai réalisé ce stage.

Un grand merci à Pascal Mouquet et Jérome Bourjea pour m'avoir aidé à traiter les données LITTO3D

Merci à mes « colocs' » de Tansalé les hauts qui m'ont fait vivre des moments incroyables sur l'île de La Réunion : Eléonore, Augustin, Thomas et Anna. Et mes « colocs' » de Sindni : Laurent, Francine, Elodie et Gilles.

Je finis en remerciant r ma famille et mes amis qui m'ont toujours soutenu.

Merci à toutes et à tous

Etude d'identification des zones de conservation marines prioritaires dans le cadre de la mise en place d'une Réserve Naturelle Nationale dans les îles Eparses : cas de l'île d'Europa

Mots clés : Réserve Naturelle Nationale – Europa – Récifs coralliens - Habitats remarquables – Typologie des habitats marins – Cartographie – Conservation - Indicateurs

---

RESUME : L'isolement et la quasi-inexistence d'activités anthropiques sur les Iles Eparses en font des territoires à fort enjeu patrimonial tant à l'échelle nationale qu'internationale (Projet de classement au patrimoine mondial de l'UNESCO). Malgré les programmes scientifiques développés depuis une dizaine d'année, les enjeux de connaissance terrestre et marin restent considérables : inventaires d'espèces exhaustifs, étude de la mangrove primaire, identification des habitats marins, spatialisation de ces habitats, évaluation de l'état de santé du milieu et de son évolution, etc. Cette étude centrée sur Europa, a pour objectif de caractériser les habitats marins et les pressions/menaces afin de disposer d'une meilleure vision de la biodiversité marine et d'apporter des éléments pertinents pour les gestionnaires et pour la création d'une Réserve Naturelle Nationale. L'utilisation des données de vérité terrain combinées à la télédétection et l'indice de similarité de Bray-Curtis nous a permis de caractériser 70 habitats pour une surface récifale de seulement 17 km^2. 21 habitats remarquables ont été identifiés grâce à la méthodologie ZNIEFF, et 43 habitats ont été cartographiés grâce à l'utilisation d'images Quickbird, aux produits LITTO3D et aux données de vérité terrain issues du programme IRD BIORECIE (BIOdiversité RECifale des Iles Eparses). Ceci met ainsi en évidence la forte hétérogénéité des habitats marins de l'île : la zone nord du platier et lagon présentent la diversité d'habitats la plus importante de l'île. L'étude de la résilience révèle une importante capacité des récifs d'Europa à retrouver un état de santé proche d'avant une perturbation. Les pressions naturelles et anthropiques s'exerçant sur les écosystèmes marins ont été identifiées dans la perspective de proposer des mesures de gestion pertinentes. Cette étude propose un outil de gestion construit sur la somme des connaissances scientifiques (typologie des habitats marins, cartographie initiale des habitats, identification des zones d'intérêts scientifiques, etc.), transposable et normalisée (format EUNIS) pour les gestionnaires.

Identification study of areas of marine conservation priority through the establishment of a National Nature Reserve in the Scattered Islands: focus on Europa

Key words : National Nature Reserve – Europa – Coral reef – Specific value habitats – Marine habitat typology – Mapping – Conservation -Indicators

---

Abstract : Scattered islands are areas of strong heritage issues both nationally and internationally (UNESCO world heritage list nomination) due to their remoteness and low anthropogenic activities .Despite ten years of scientific research, lack of knowledge both on land and at sea remains tremendous: exhaustive species inventories, study of the primary mangrove, identification of marine habitats, habitat mapping, study of disturbance indicators etc. Here we focus on Europa and suggest to characterize marine habitats as well as pressures and threats in order to get an overview of the marine biodiversity and to provide relevant data for the creation of a National Nature Reserve. We used remote sensing tools combined with statistical approaches (Similarity index *Bray-Curtis*) to characterized 71 habitats including 21 habitats of specific value for an area of only 17 km^2. Among them 43 habitats were mapped using data of bathymetry (LITTO3D products) and species inventories of "BIORECIE program, thus highlighting the strong heterogeneity of marine habitats within the islands. The northern area of the reef flat and shallow terrace shows the greatest diversity of habitats. Resilience study, as a disturbance indicator, reveals a strong ability of Europa's coral reefs to recover from a disturbance. Naturals and anthropogenic pressures undergone by marine ecosystems were identified to suggest relevant management measures. This study suggest a management tool built on available scientific knowledge (marine habitats typology, mapping areas of scientific interest) transferable and normalized (EUNIS format).

Avec la participation de Jean-Benoît Nicet, Julien Ringelstein et Guillaume Dirberg, et l'appui d'Eléonore Vandel et Pascale Joannot.

Réalisé dans le cadre du Travail de Fin d'Etude (TFE) de l'ENGEES, pour le compte de l'Initiative Française pour les REcifs CORalliens (IFRECOR) et les Terres Australes et Antarctiques Francaises (TAAF).

Rédaction : Mathieu Grellier

Référence bibliographique du document :

Grellier M., Nicet J. B. et Ringelstein J., 2012. Etude d'identification des zones de conservation prioritaires dans le cadre de la mise en place d'une Réserve Naturelle Nationale dans les îles Eparses: cas de l'île d'Europa. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur eau et environnement de l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Muséum National d'Histoire Naturelle, Pareto écoconsult, Terres Australes et Antarctiques Françaises. 90p.

Crédits photographiques : © Jean-Benoît Nicet

SOMMAIRE

Glossaire **8**
Introduction **9**
I) Présentation du site d'étude **11**
A) Site d'étude 11
1) Les îles eparses 11
2) Europa 12
II) Etablissement de la typologie (haut niveau typologique) dans le cadre "EUNIS" **16**
A) La typologie EUNIS existante 16
B) Les typologies existantes en milieu récifal 18
C) Réalisation de la typologie de l'île d'Europa en format EUNIS 22
1) Présentation des bases de données utilisées 22
2) Approche statistique 24
3) Approche Experte pour la détermination des habitats 28
III) Réalisation de la cartographie des habitats marins **30**
A) Etape 1 : Le positionnement des points précartographie 30
B) Etape 2 : La vérité terrain 31
C) Etape 3 : Typologie des habitats « cartographiables » et réalisation de la carte des habitats 31
1) Mise en garde 31
2) Méthode 32
D) RESTITUTION des cartes 36
IV) Identification des habitats remarquables **39**
A) Objectifs 39
B) Les différentes approches de détermination d'un habitat remarquable 40
1) Méthodologie ZNIEFF 40
2) Méthodologie N2000 41
3) Constat 42
C) Méthodologie adoptée 42
D) Résultats 43
V) Indicateurs de Résilience des récifs d'Europa au blanchissement **46**
A) Définitions 46
B) Materiel et méthode 47
1) Méthodologie et données sources 47
2) Approche 47
3) L'échelle à 5 points 48
4) Sélection des sites 49
5) Traitements des données 49
C) Résultats 51
VI) Definition des zones de conservation prioritaires **52**
A) Approche de Andréföuet et al.,(2012) : Atoll de BAA (République des Maldives) 52
B) Approche avec le logiciel MARXAN 53
C) Application au cas d'Europa 54
VII) Options de conservation **55**
A) Valorisation des données existantes 55

B) Mise en place de la biosécurité.....57
C) Mise en place d'indicateurs de suivi 57
D) Compendium 58
E) Renforcement du lien entre les usagers et les gestionnaires du territoire.....58
VIII) Conclusion.....59
IX) References 61
X) Table des figures et tableaux 65
XI) Annexes 67
Annexe 1 : Typologie des habitats 67
Annexe 2 : Superficie des unités géomorphologiques et des couvertures coralliennes.....73
Annexe 3 Agrandissements au 1/10 000 de la cartographie des habitats marins.....75
Annexe 4 : Echelle semi-quantitative allant de 1 à 5 usitée pour l'estimation des 61 indicateurs de résilience.....79

GLOSSAIRE

ARVAM	Agence pour la Recherche et la Valorisation Marine
AER	Analyse Eco-Régionale
AMP	Aire Marine Protégée
BIORECIE	BIOdiversité, ressources et conservation des REcifs Coralliens des Iles Eparses
CIMer	Comité Interministériel de la Mer
CRIOBE	Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement de Polynésie Française
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DCSMM	Directive Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin »
EEE	Espèce Exotique Envahissante
EUNIS	European Nature Information System
GCRMN	Global Coral Reef Monitoring Network
IFRECOR	Initiative Française pour les REcifs Coralliens
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IUCN	International Union for Conservation of Nature
MCRMP	Millenium Coral Reef Mapping Project
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
RPIMa	Régiment Parachutiste d'Infanterie Marine
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
TAAF	Terres Australes et Antarctiques Françaises
TIT	Thème d'Intérêt Transversal
WGS	World Geodesic System
ZEE	Zone Economique Exclusive
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

INTRODUCTION

Émergeant à pic depuis les fonds marins jusqu'à la surface, les îles Éparses sont, depuis la loi 2007-224 du 21 février 2007 portant dispositions statutaires et institutionnelles relatives à l'outre-mer, le cinquième district des Terres australes et antarctiques françaises (Taaf). Les cinq îles qui les constituent se répartissent entre 10 et 25° de latitude Sud, dans le canal du Mozambique (Glorieuses, Juan de Nova, Bassas de India et Europa) et au Nord de la Réunion (Tromelin). Leur domaine maritime morcelé s'étend sur 15° de latitude, se traduisant par une grande variété de conditions océanographiques et probablement par une diversité d'habitats et d'espèces. Tandis que la surface terrestre cumulée des îles ne dépasse pas les 43 km², l'ensemble de leurs eaux sous juridiction française représente un total de 640 400 km² (soit environ 6% des eaux françaises). On comprend ainsi toute l'importance du milieu marin de ces îles. (Site internet TAAF)

En terme de gestion des îles Eparses, les Taaf développent en parallèle deux grandes stratégies complémentaires qui sont la conservation du patrimoine naturel d'une part, à travers la mise en place d'aires protégées, et d'autre part la recherche.

En ce qui concerne la conservation, les Taaf et l'Agence des aires marines protégées ont signé en janvier 2009 une convention cadre relative à la mise en place d'une stratégie de création d'aires marines protégées à partir d'une analyse stratégique régionale des îles Éparses. Cette synthèse des connaissances scientifiques et des différents usages a permis d'identifier deux secteurs géographiques prioritaires : l'archipel des Glorieuses et l'île d'Europa, respectivement situés au nord et au sud du canal du Mozambique.

Suite à ces travaux de préfiguration, les projets de création d'un Parc naturel marin dans l'archipel des Glorieuses et d'une Réserve naturelle nationale de l'île Europa ont été inscrits dans le livre bleu de la Mer, validé en Comité Interministériel de la mer (CIMer) le 8 décembre 2009, et rappelé en juin 2011 par le Premier Ministre.

Le décret de création du Parc Naturel Marin des Glorieuses est paru et le Parc a vu le jour en février 2011, après une démarche de concertation publique, consultation officielle et d'instruction nationale.

La création de nouveaux statuts permettra de renforcer la protection de ces sites terrestres et marins, qui bénéficient actuellement d'une protection de l'environnement fondée sur un arrêté préfectoral de 1975.

En parallèle, et **c'est l'objectif principal de leur plan d'action local Ifrecor 2011-2015**, les Taaf développent la recherche scientifique dans les îles Eparses. La communauté scientifique internationale considère que la situation géographique des îles Eparses et leur état de conservation exceptionnel offrent un support unique pour le développement de la recherche internationale. Les travaux scientifiques développés sur ces îles, au même titre que sur les autres terres gérées par les Taaf, peuvent répondre aux grands enjeux planétaires, tels que les effets des changements globaux, l'évolution de la biodiversité, etc.

Ce stage s'inscrit donc dans une première approche pour aborder la typologie des habitats sous l'angle EUNIS conformément aux objectifs **du TIT IFRECOR « Biodiversité »** mis en œuvre par le MNHN. Les habitats récifaux n'ont en effet pas été décrits dans un cadre normatif européen. La France, avec ses collectivités d'outre-mer, se doit de fournir des travaux de classification cohérents avec les travaux déjà existants en métropole. Si dans l'Océan Atlantique et plus précisément en Angleterre, Irlande et Ecosse, des typologies des habitats marins ont été fournies dans un format homogène (le format EUNIS, *cf*. ci-après), ce travail est tout juste commencé pour l'ultra-marin français depuis l'année 2011 (Grellier, Andréfouët, & Dirberg, 2011) et ne concerne à l'heure actuelle que la géomorphologie. Ce travail s'appuie sur des travaux antérieurs (Battistini et al., 1975, Guillaume et al., 1997).

Pour la période 2011-2015, l'IFRECOR poursuit le TIT biodiversité avec l'objectif d'avoir pour l'ensemble des collectivités d'outre-mer l'inventaire et la distribution des espèces recensées dans les récifs coralliens, ainsi que la mise en place d'une typologie des habitats marins.

Mais qu'est-ce qu'un habitat dans les milieux coralliens ?

Trouver une définition de l'habitat qui convienne à l'ensemble de la communauté scientifique n'est pas chose facile, même si les différents programmes de recensement des habitats marins (TIT Biodiversité, Natura 2000, etc.) utilisent la notion d'« habitat ». Dauvin et al. (2008) évoquent les différentes définitions utilisées par, entre autres : Darwin en 1859, la directive Habitat, ICES group, Kostylev et al., (2001) et Valentine *et al*., (2005). Notre but n'est pas d'énumérer toutes ces définitions, nous pouvons réitérer, en accord avec Dauvin *et al.*, (2008), que ces différences de définitions sont dues aux différents objectifs et application de l'habitat. Nous retenons pour notre étude la définition adoptée pour EUNIS (cf. § II.C.).

La description et la spatialisation des habitats constituent la base de la cartographie des systèmes récifaux, cartographie souvent réalisée grâce à l'outil de télédétection qui permet la spatialisation de l'information. Cet outil, qui s'est particulièrement développé à partir des années quatre-vingt dix, Bour et al., (1990) se définit comme « l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Andréfouët, Maritorena, & Loubersac, 2002). Elle permet donc en théorie de mettre en évidence les grandes unités récifales, ainsi que la répartition des habitats marins à de grandes échelles.

Le premier objectif de ce travail consiste donc à proposer une typologie hiérarchique des habitats répertoriés à l'aide de la vérité terrain, et ce dans un référentiel d'habitats accepté internationalement (EUNIS). Les habitats décrits sont, conformément à la définition du Guide cartographique de l'IFRECOR, la combinaison de paramètres physiques (géomorphologie, substrat et en complément la profondeur) et biologiques (peuplements dominants et couverture corallienne). Ils seront hiérarchisés dans le format EUNIS.

Le deuxième objectif sera de cartographier les habitats à partir des données de vérité terrain et d'images Quickbird (2,4m de résolution). Ce stage permettra de réaliser la carte des habitats d'Europa. Ceci s'inscrit dans le cadre du TIT « Cartographie » porté par la DEAL (avec appui technique de PARETO et l'IRD) et d'améliorer par là même la typologie des habitats cartographiables des récifs français de l'Océan Indien (un des objectifs du TIT « Cartographie »).

Le troisième objectif va être l'identification des habitats remarquables d'Europa. Leur identification s'inscrit directement dans le projet de réserve naturelle nationale proposé par les Taaf. En effet, la présence/absence de ces habitats va nous permettre de définir des zones de conservations prioritaires, où pourront par exemple être implantées des stations de suivis de l'état de santé des récifs coralliens. Ces zones vont donc faire partie intégrante du futur plan de gestion de l'île et être soumises à des mesures de gestion.

Le quatrième objectif est la caractérisation des pressions et menaces présentes sur Europa. La mise en place de mesures de gestion est le résultat de l'identification de ces pressions qui peuvent être anthropiques et naturelles. Le calcul d'indice de résilience au blanchissement nous permettra d'évaluer la capacité des récifs d'Europa à faire face aux perturbations.

Pour finir, le dernier objectif est d'identifier les enjeux de connaissance et les options de conservation pour l'île d'Europa. L'objectif sera de recenser les études, thèses, programmes de recherche faits et/ou en cours, de manière à mettre en valeur les lacunes de connaissance. Des programmes pourront être en conséquence mis en place.

I) PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

A) SITE D'ETUDE

1) LES ILES EPARSES

Créées par la loi du 6 août 1955, les Terres australes et antarctiques françaises (Taaf) possèdent une autonomie administrative et financière. L'ensemble est placé sous l'autorité du Préfet, administrateur supérieur qui relève du ministère des Outre-mer. Les Taaf constituent une collectivité d'Outre-mer très originale en raison de l'absence de population humaine autochtone.

Les îles Éparses sont depuis 2007 le cinquième district des Taaf (Loi n° 2007-224 du 21 février 2007 portant dispositions statutaires et institutionnelles relatives à l'outre-mer.). Auparavant c'est la préfecture de La Réunion qui les gérait. Elles se situent en milieu tropical, au Nord de la Réunion pour Tromelin, et dans le canal du Mozambique pour l'archipel des Glorieuses, Juan de Nova, Bassas da India et Europa (*cf.* figure 1).

île	Superficie terrestre (km²)	Superficie récifale (km²)	Eaux sous juridiction française (km²)	Coordonnées
Tromelin	1	1,4	285.300	15°53' S / 54°31' E
Glorieuses	7	165	48.350	11°35' S / 47°18' E
Banc du Geyser	0	240 env.	cf. Glorieuses	12°21'S / 46°33'E
Juan de Nova	5	193,3	61.050	17°03' S / 42°43' E
Bassas da India	0	86,8	123.700	21°28' S / 39°42' E
Europa	30	47	127.300	22°21' S / 40°21' E
Total	43	733,5	645.700	

Tableau 1 Récapitulatif des caractéristiques géographiques des îles Eparses (Source : Site internet TAAF)

Les îles Éparses s'étendent du Nord au Sud sur 11° de latitude et de 15° d'Ouest en Est pour ce qui est de la partie terrestre. La partie marine (eaux sous juridiction française), s'étend de 15° du Nord au Sud et de 20° d'Ouest en Est (*cf.* Tableau 1).

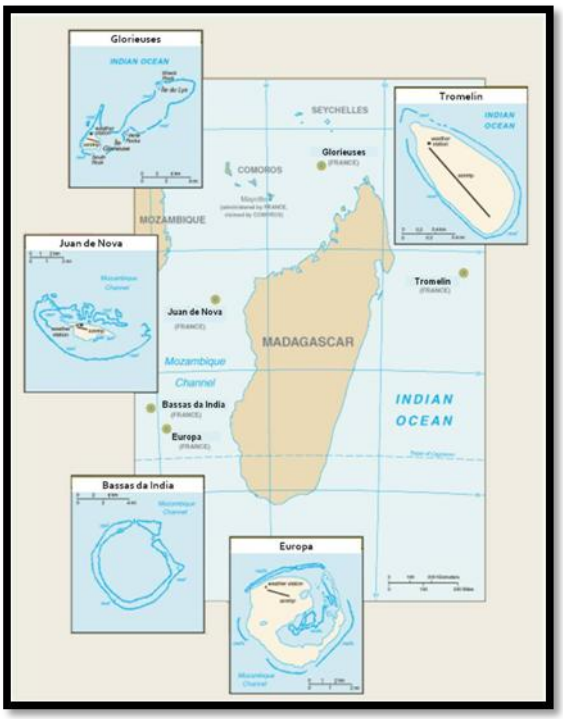


Figure 1 Localisation des îles Eparses dans le canal du Mozambique

2) EUROPA

A) CONTEXTE BIOGEOGRAPHIQUE

Europa est un atoll situé à 550 km des côtes du Mozambique et à moins de 300 km de Madagascar. C'est une terre française de 30 km² possédant une Zone Economique Exclusive de 127 300 km² (Fourmanoir, 1952; Gardes & Salvat, 2008; IUCN, 2008; Perillo, 2008).

B) CONTEXTE ADMINISTRATIF

Appartenance d'Europa à la France

Europa est une dépendance française depuis l'acte du 31 octobre 1897 (en exécution de la loi du 6 aout 1896).

D'un point de vue administratif, Europa fut rattachée au gouvernement de la République Française en 1960 (Oraison, 1981). Tout comme pour Juan de Nova et les Glorieuses, Europa accueille un détachement militaire chargé d'assurer la souveraineté de la France, depuis la crise politique régionale de 1973. Ce détachement est composé d'un groupe de combat de 14 hommes du 2ème RPIMa, relevé tous les 45 jours, et d'un gendarme représentant du Préfet des Taaf, relevé tous les mois (Oraison, 1981 ; Caceres, 2003 ; Quod et al., 2007).

Le classement en réserve naturelle

En 1975, l'arrêté n° 13/DG/IOI du préfet de La Réunion, délégué pour l'action de l'Etat en mer, a classé en réserve naturelle, sous l'autorité du délégué du gouvernement et du directeur de Météo France, les îles Tromelin, Glorieuses, Bassas da India et Europa.

Ce classement en réserve naturelle interdit « toute déprédation de la nature tant terrestre que marine, aussi bien en ce qui concerne la flore que la faune ». Il est important de rappeler que l'appellation de « réserve naturelle » ne correspond pas aux réserves naturelles régies par les articles L. 332-1 et suivants du Code de l'environnement. Il s'agit là d'une simple appellation. Cet arrêté ne rend ainsi pas applicable aux îles concernées le régime juridique prévu pour les réserves naturelles établies conformément au Code.

Il constitue un arrêté préfectoral se rapprochant dans ses effets d'un arrêté préfectoral de protection de biotope. Ces dispositions juridiques ont été par la suite complétées par l'arrêté préfectoral n° 1989 DG/-01 du 4 juillet 1983. Il interdit la destruction ou l'enlèvement des œufs ou des nids, la destruction et la capture des tortues vertes et tortues imbriquées. Est également prohibé leur utilisation, transformation, naturalisation, leur transport ou colportage, leur mise en vente ou leur achat qu'elles soient vivantes, mortes ou à l'état de produit transformé.

L'arrêté préfectoral n° 257 du 15 février 1994 énonce que « toute pêche est interdite à l'intérieur des eaux territoriales des îles Tromelin, Glorieuses, Juan de Nova, Europa et Bassas da India ».

C) CONTEXTE CLIMATIQUE

Climat	**Subaride** (Délépine et al., 1976)
Température	Températures mensuelles moyennes : 18,2 °C à 24,7 °C (Délépine et al., 1977)
Pluviométrie	540,1mm/an (Caceres, 2003)

D) CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

L'île d'Europa est un grand atoll d'origine volcanique de diamètre 6-7 km pour une superficie terrestre avoisinant les 30 km². Cette île, de forme pentagonale, est basse et se caractérise par une ceinture de dunes dont le point culminant se situe à 6-7 mètres de haut. Battistini et al., 1966 et Fourmanoir, 1952 ont les premiers étudiés précisément la morphologie d'Europa. Ils mettent en évidence une zonation géomorphologique de l'île (*cf*. figure 2):

- Un lagon intérieur : véritable lagon comme le définissent Battistini et al., 1975 il constitue une vaste zone d'environ 8 km² très peu profonde (une dizaine de centimètres d'eau tout au plus à marée basse). Il se caractérise par une zone à mangrove de 8 km² où sont présents, notamment dans les bras de mangrove, des goulets en connexion avec l'océan.

- Plaine centrale de boue calcaire : Cette zone très plane est en partie ou entièrement submersible.

- Une ceinture karstifiée dans les calcaires coralliens anciens. Cette ceinture exonde à une dizaine de centimètre de hauteur du niveau des plus hautes eaux. Large de 2 kilomètres dans la partie septentrionale de l'île, cette zone s'étrangle dans le Sud-Ouest, le Sud et le Sud-Est où elle n'a plus que quelques centaines de mètres. Elle est en revanche inexistante dans l'est de l'île.

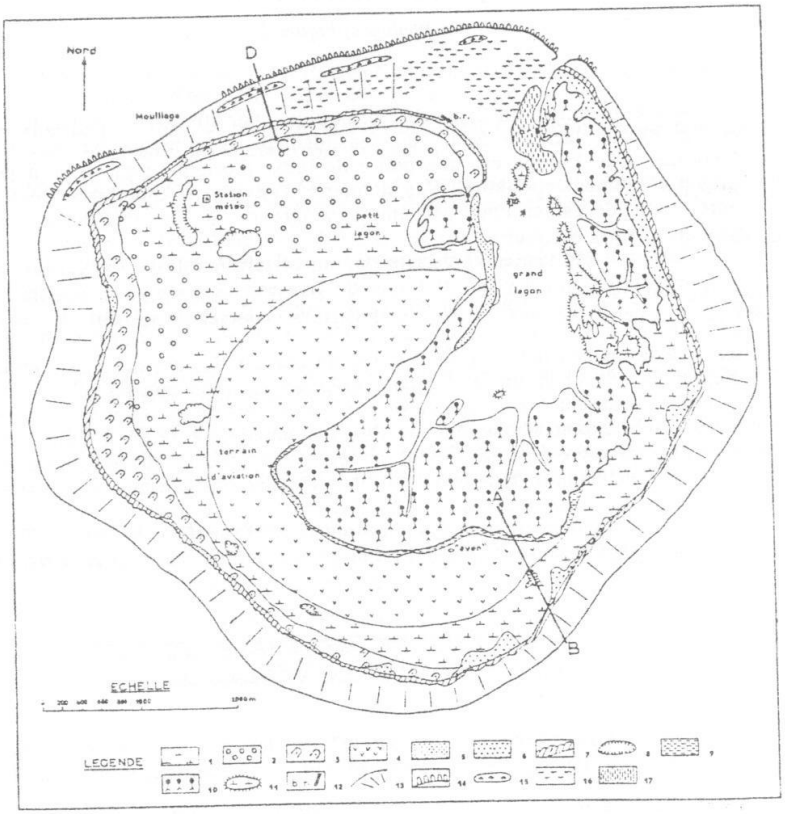
- Une frange dunaire littorale, très bien développée à l'Ouest, portant les plus hauts sommets de l'île (7 mètres au maximum).

- La partie supérieure de l'estran : où les calcaires coralliens anciens affleurent à nouveaux en lapiès littoraux ou récifs fossiles. Ces lapiès ceinturent toute l'île et sont interrompus par des plages de sable.

- La plateforme de basse mer : émergeant seulement à marée basse et qui est quasi exclusivement façonnée dans les mêmes calcaires coralliens anciens. On peut aisément dire qu'elle est la surface supérieure d'une dalle corallienne qui représente des micro-mares à encorbellements

- Une pente externe sous-marine à éperons et sillons plus ou moins développée selon l'exposition à la houle.

Battistini (1966) évoque également l'histoire géologique de l'île. Europa serait un ancien atoll karimbolien (-125 000 ans), exondé d'environ 3 mètres qui comprenait une ceinture de corail vivant et un lagon central plus vaste dont les boues coralliennes (caractéristiques des lagons d'atoll) se sont transformées en un calcaire plus fin.



Carte 4: Croquis géomorphologique général d'Europa. (Référence: Battistini, 1966)

1 : surface karstifiée (*Pemphis acidula* dominant); 2 : calcaire corallien recouvert par un sol gris sableux (*Euphorbia stenoclada* dominante); 3 : dunes (*Casuarina* et *Psiadia altissima*); 4 : plaine intérieure (Oyat et *Arthrocnemum*); 5 : plages de sable et cordons sableux; 6 : levée de tempête à éléments souvent grossiers, débordant par endroits sur le karst; 7 : affleurement du calcaire corallien en bordure de mer (zone à lapiés); 8 : mare à rebords en encorbellement; 9 : zone lapiazée en bordure des mangroves; 10 : forêt de palétuviers; 11 : roches champignons et îlots résiduels calcaires du lagon; 12 : beach-rock; 13 : plateforme de basse mer façonnée dans le corail ancien; 14 : vie corallienne notable sur la bordure externe de la plateforme; 15 : crête détritique de blocs de corail; 16 : taches de corail vivant (surtout *Porites* et, à l'entrée du lagon, jardin d'*Acropora*) sur la plateforme de basse mer; 17 : herbier à Phanérogames.

Figure 2 Carte géomorphologique d'Europa (Battistini, 1966).

E) ENJEUX ECOLOGIQUES : UNE IMPORTANTE BIODIVERSITE ENCORE MECONNUE

L'île d'Europa se caractérise par une biodiversité marine très importante comparativement à sa surface récifale (seulement 17 km² de récifs coralliens). Elle n'en demeure pas moins relativement méconnue en matière de faune et flore marine en raison du peu de missions scientifiques organisées.

La faune et la flore des formations récifales des Iles Eparses ont en effet été peu étudiées. Peu de travaux scientifiques ont été publiés avant 2002 : Bouchon & Faure, 1979 ; Dautzenberg, 1895 ; Derijard, 1966 ; Fourmanoir, 1952 ; Vergonzanne, 1977.

Progressivement les études sur ces îles ont repris, notamment dans le cadre du programme CoSuReCo entre 2002 et 2006 (Connaissance et Suivi des Récifs Coralliens des îles françaises de l'Océan Indien) mené par

l'ARVAM. La diversité des organismes récifaux a été relevée pour différents taxons, mais de manière inégale pour chaque île.

Néanmoins, ce que nous pouvons retenir est qu'Europa se distingue par :

- 17 km² de surface récifale
- La présence des deux écosystèmes associés aux récifs coralliens : mangrove et herbiers de phanérogames.

Ces deux écosystèmes associés ont un rôle capital dans l'alimentation et la protection de bon nombre d'espèces. Parmi elles, les tortues vertes et imbriquées et certaines espèces de requins. Le lagon et sa mangrove n'ont à ce jour pas été impactés par l'homme, en raison de sa présence récente, du faible nombre de résidents et de leurs types d'activités. L'état de conservation de l'île est sans doute proche de son état originel (Quod et al., 2007).

Parmi les dix espèces d'élasmobranches (requins) observées, la moitié est vulnérable ou en danger d'extinction selon la liste rouge de l'UICN (cependant aucune étude de stock n'a été menée). Le rorqual commun est lui aussi en danger d'extinction et présent aux annexes de plusieurs conventions internationales (Source : Site internet IUCN). L'avifaune marine est la plus diversifiée des îles Eparses et la plus riche du Sud-Ouest de l'Océan Indien. Huit espèces d'oiseaux marins appartenant à 5 familles nichent à Europa. Les estimations sont impressionnantes : > 1 million de couples, 8 espèces dont une sous-espèce endémique de paille en queue (Le Corre & Jouventin, 1999) font d'Europa un site d'étude avifaunistique important dans l'Océan Indien occidental. Les frégates ariel *(Fregata ariel)* et les frégates du pacifique *(Fregata minor)* sont les colonies les plus importantes de l'Océan Indien après l'atoll d'Aldabra (Le Corre & Jouventin, 1997), d'où la nécessité des programmes de conservations mis en place..

Les plages sont un des principaux sites de reproduction et de ponte des tortues vertes au monde. Le cheptel reproducteur de tortues vertes (*Chelonia mydas*) est compris entre 8 et 15 000 femelles, ce qui fait de cet atoll le plus important site de ponte de tortues vertes de l'Océan Indien. Les tortues imbriquées juvéniles (*Eretmochelys imbricata*) sont également présentes, notamment dans le lagon, près de la mangrove (Le Gall, Chateau, & Bosc, 1985; Le Gall, Lebeau, & Kopp, 1985).

Les coraux ou scléractiniaires sont estimés à ce jour à 61 espèces (Fourmanoir, 1952; Quod et al., 2003, 2007; Quod & Garnier, 2004). Ce chiffre est susceptible d'évoluer à la hausse suite à la mission BIORECIE de l'IRD.

Un bilan des connaissances en matière de biodiversité est présent Tableaux 2 et 3.

Le plancton	
phytoplancton (nbr de classes)	8
dinoflagellés benthiques	18
diatomées	étude en cours
La flore marine	
algues	7
phanérogames marines	5
La faune marine	
spongiaires	24
coraux	61
hydraires	64
bryozoaires	28
brachiopodes	*
échinodermes	11
annélides	4
mollusques	14
arthropodes (crustacés)	71
tuniciers	15
poissons osseux	205
Total	**527**

Tableau 2 Inventaire de la biodiversité marine d'Europa (Sources : Fourmanoir, 1952 ; Vasseur, 1972 ; Battistini et al, 1976 ; Delépine, Maugé& Padovani, 1976 ; TenHage, 2000 ; Arvam, 2002 ; Arvam, 2003 ; Arvam, 2004 ; Quod & Garnier, 2004 ; Bourjea et al, 2006 ; Quod et al., 2007 ;)

Oiseaux		Tortues	
terrestres	3 espèces	tortues vertes	ponte et immatures
marins	8 espèces	tortues imbriquées	immatures
Elasmobranches		**Cétacés**	
requins	9 espèces		7 espèces
raies	1 espèce		

Tableau 3 : Espèces emblématiques (Source : Glénard et al., unpublished)

Face aux lacunes de connaissance sur la biodiversité d'Europa, et plus largement des Iles Eparses, le programme BIORECIE (IRD) a été mis en place et a pour objectifs :

- Compléter les données acquises sur la biodiversité à travers des inventaires pour combler les lacunes dans certains groupes zoologiques (Mollusques, Crustacés, Echinodermes) et enrichir d'autres groupes (Cnidaires, Poissons). Ces inventaires seront associés à une base d'information géographique, outil essentiel pour l'élaboration d'un plan de gestion et la mise en place d'AMP. Ces données seront également versées sur le site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) par le Muséum national d'histoire naturelle.
- Rechercher des indicateurs de perturbation (pêche, blanchissement corallien). Ces indicateurs sont précieux comme outil de gestion pour le suivi du milieu à long terme.

La première mission BIORECIE s'est déroulée en novembre 2011 sur l'île d'Europa. Les listes d'espèces sont actuellement en cours de publication ou de traitement.

II) ETABLISSEMENT DE LA TYPOLOGIE (HAUT NIVEAU TYPOLOGIQUE) DANS LE CADRE "EUNIS"

A) LA TYPOLOGIE EUNIS EXISTANTE

1) LE CONTEXTE EUNIS

La classification des habitats EUNIS fait partie du système d'information sur la nature de l'Union Européenne, développé et géré par le CENTRE Thématique EUROPEEN sur la DIVERSITE BIOLOGIQUE (CTE/DB) pour l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE).

Le système EUNIS « habitats » a pour but de recenser et classifier les données collectées par le CTE/DB pour l'AEE et le Réseau Européen d'Observation et d'Information sur l'Environnement. Le référentiel EUNIS doit être utilisé pour les rapports environnementaux et pour faciliter le processus de mise en place des zones Natura 2000.

Depuis la création de l'AEE et du système EUNIS, la classification des habitats européens et la description de « types » d'habitats sont en cours.

2) DEFINITIONS ET ECHELLE

Dans la typologie EUNIS, un habitat est défini comme *« un lieu où des plantes ou des animaux ont l'habitude de vivre, caractérisé principalement par ses particularités physiques (topographie, physionomie végétale ou animale, caractéristiques du sol, climat, qualité de l'eau, etc.) et secondairement par les espèces de plantes et*

d'animaux qui y vivent »[2] (Davies et al., 2004). Certains sont spatialement vastes (vases profondes), d'autres plus localisés (geysers). La plupart des habitats EUNIS sont en fait des « *biotopes* », qui sont des *« zones avec des conditions environnementales particulières suffisamment uniformes pour accueillir un assemblage caractéristique d'organismes* » (Davies et al., 2004).

L'échelle spatiale choisie pour la classification des habitats EUNIS est celle occupée par « *les petits vertébrés, les grands invertébrés et les plantes vasculaires* »[3] Davies *et al.*, (2004).

Tous les habitats, y compris les plus petits, occupent au minimum une surface de l'ordre de 100 m^2.

Pour des surfaces occupées de l'ordre du m^2, on parle de « *micro habitats* ». Pour des échelles plus larges, les habitats sont regroupés en « *complexe d'habitats* » où plusieurs habitats peuvent être interdépendants, comme par exemple dans les estuaires. Un lagon pourra éventuellement être considéré comme un complexe d'habitats.

3) LA CLASSIFICATION HIERARCHIQUE EUNIS DES HABITATS

Les habitats EUNIS sont classés à ce jour dans une typologie hiérarchique commençant au niveau 1 qui correspond aux différents habitats présents : habitats marins, habitats côtiers, *etc*. Il existe 10 classes dans le niveau 1 dans la classification EUNIS (*cf*. Tableau 4) :

Codes des classes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nom de classe	Habitats marins	Habitats côtiers	Eaux de surface continentales	Mires, tourbières et marais	Prairies et terres dominées par des herbacées, mousses ou lichens	Bruyères, maquis et toundra	Forêts et autres terres boisées	Habitats continentaux sans végétations ou à végétations clairsemées	Habitats régulièrement ou récemment cultivées, horticoles ou domestiques	Habitats construits, industriels ou autres habitats artificiels

Tableau 4 Les dix premières classes de Niveau 1 de la classification EUNIS

Les habitats des niveaux 1, 2 et 3 sont différenciés grâce à des sous-critères hiérarchiques, qui ont la particularité d'être spécifiques à chaque niveau (*cf*. Figure 3)

Ces critères correspondent d'abord aux paramètres environnementaux, apparaissant selon un ordre correspondant à la prépondérance de leur influence sur l'organisation des communautés d'espèces, puis aux espèces caractéristiques.

Le **niveau 2** de la hiérarchie différencie **l'étagemen**t : zones supralittorales, médiolittorales, infralittorales, circalittorales et fait appel à la nature du substrat comme critère de classification. Par exemple, A1 représente les rochers littoraux et autres substrats durs, alors qu'A5 représente les sédiments sublittoraux.

2 « a place where plants or animals normally live, characterized primarily by its physical features (topography, plant or animal physiognomy, soil characteristics, climate, water quality etc.) and secondarily by the species of plants and animals that live there »

3 small vertebrates, large invertebrates and vascular plants

Le **niveau 3** introduit comme critère **l'énergie hydrodynamique** pour préciser la typologie des substrats durs, et introduit les types de sédiment dans la typologie des substrats plus meubles. Jusqu'à ce niveau 3, la typologie fait uniquement référence à des attributs physiques et à la notion de zonation littorale.

Ce n'est qu'au **niveau 4** que les distinctions entre habitats sur la base de **composantes de la biocénose** font leur apparition dans les milieux rocheux. En revanche pour le cas des substrats meubles, les distinctions de niveaux 4 se font encore par rapport aux attributs physiques des zones. Par exemple, on trouve au niveau 4 la classe A1.11 pour désigner les communautés de moules *Mytilus edulis* ou de balanes, alors que la classe de niveau 4, A5.44 désigne des sédiments mixtes circalittoraux.

Au **niveau 5**, les distinctions sont fondées sur des **attributs physiques et biologiques des habitats**. Dans les substrats meubles, certaines classes sont surtout définies par l'endofaune et d'autres par l'épifaune, souvent avec la mention de noms d'espèces.

Le **niveau 6**, le plus précis de la typologie EUNIS, décrit souvent des **variations notables de la structure de la biocénose pour des habitats de niveau 5** (DYNECO/AG/07-21/JP-Ifremer, 2008)

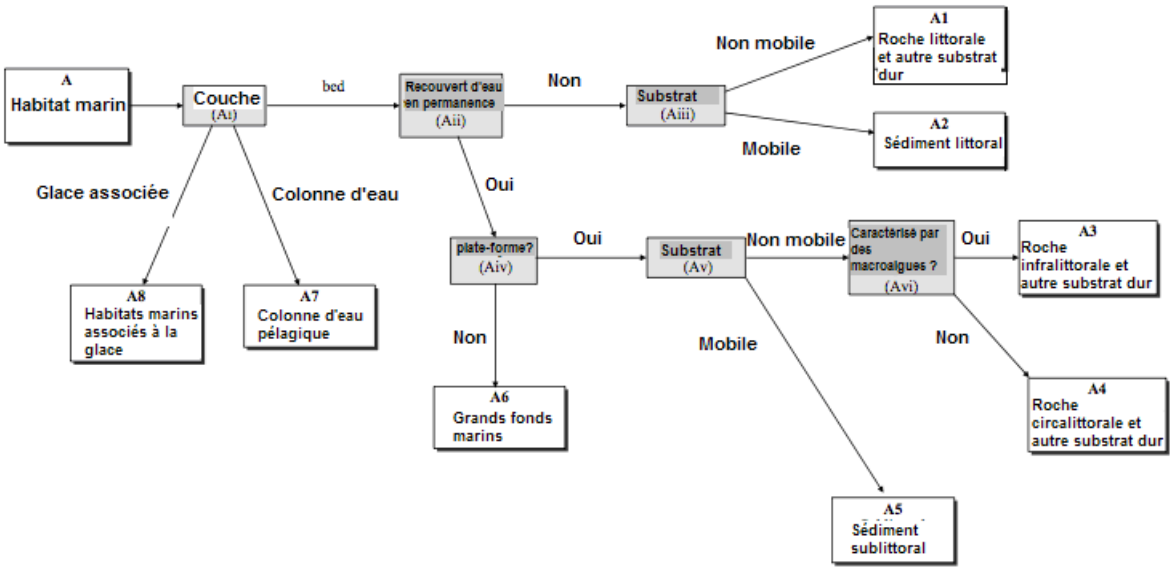


Figure 3 Exemple de décomposition du niveau 2 (classe A1, Roche littorale et autre substrat dur) au niveau 3 selon les critères (énergie, présence/absence d'espèces de plantes opportunistes, de caves) (Davies et al., 2004)

B) LES TYPOLOGIES EXISTANTES EN MILIEU RECIFAL

1) TYPOLOGIE MILLENIUM

Stoddart & Johannes, 1978 ont énoncé les principes de réalisation d'une typologie des habitats marins : les classes doivent être explicites, uniques, non redondantes, éviter d'être des redéfinitions radicales et être facilement comparables entre différentes langues. A l'appui de ces principes, quelques typologies des habitats marins récifaux et des structures géomorphologiques sont apparues. Parmi elles, deux nous intéressent plus particulièrement : la typologie « Millenium » et les Éléments de terminologie récifale Indopacifique (Battistini et al., 1975).

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

Le schéma de classification est de type hiérarchique et comprend plusieurs niveaux Andréfouët et al., (2006) (*cf.* Figure 4) :

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

Figure 4 Principaux nœuds de la typologie Millenium. Les trois premiers niveaux sont représentés sur la figure, un bloc de niveau 4 se greffant au niveau 3 « Récif-barrière externe » du niveau 2 « Île».

- Niveau 5 : Il est obtenu par une combinaison unique des informations des niveaux 1 à 4. La figure 2 illustre la structure générale de la typologie Millénium.

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

2) ELEMENTS DE TERMINOLOGIE RECIFAL (BATTISTINI ET AL., 1975)

Battistini et al., 1975 ont catalogué les structures récifales types présentes dans la région Indo-Pacifique. Divers types de complexes récifaux ont été étudiés en détail sur la côte ouest de Madagascar, l'Archipel des Comores, l'Archipel des Mascareignes, la Grande Barrière d'Australie, les barrières récifales de Nouvelle-Calédonie, les îles et atolls de la Polynésie française, *etc*. Ces structures récifales types sont caractérisées par un niveau de description supérieur à celui de la typologie Millenium. Nous parlerons dans la suite de description géomorphologique de Niveau 6.

Il décrit et définit finement les différentes unités géomorphologiques du récif. Au total 125 éléments morphologiques des récifs coralliens de la zone Indo Pacifique ont été identifiés. A chaque unité identifiée, sont associées des définitions élaborées où sont décrits dans certains cas les communautés présentes dans ce type d'unité.

Les grands types d'édifices coralliens sont d'abord présentés, puis les éléments morphologiques des pentes externes, des platiers récifaux et des lagons. Il en résulte une typologie géomorphologique fine des récifs coralliens. La Figure 6 met en valeur les différents niveaux des unités géomorphologiques décrites entre la typologie Millenium et les travaux de Battistini et al., 1975.

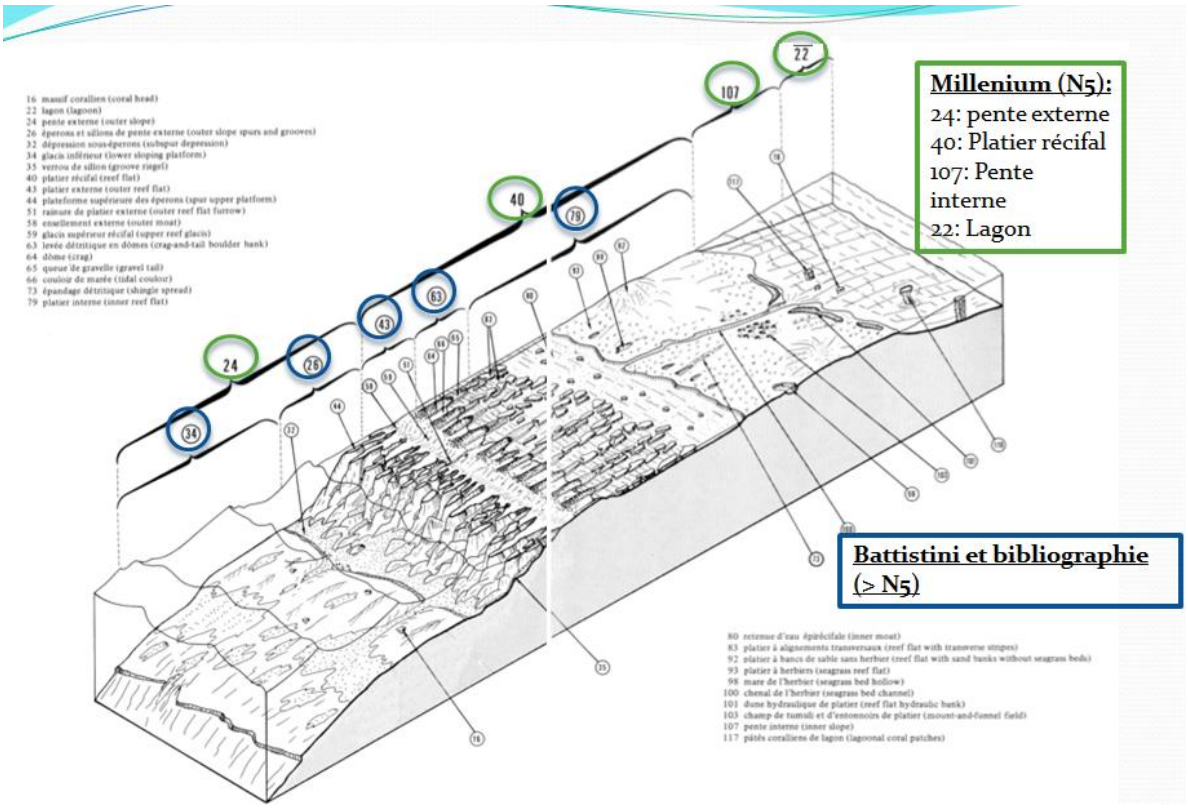


Figure 5 Distinction des unités géomorphologiques de niveau 5 (Millenium Coral Reef Mapping Project) et de niveau 6 Battistini et al., (1975).

La terminologie a ainsi été réalisée grâce à la synthèse de différentes informations (géomorphologie, sédimentologie, peuplements). Par exemple nous pouvons citer « platier de madréporaires branchus ».

3) COMPLEMENTARITE DES TYPOLOGIES

D'une part nous disposons de la typologie Millenium, dont le schéma de classification se fait selon 5 niveaux géomorphologiques, mais ne comprend pas de niveau de description précis des unités géomorphologiques récifales tel que proposé par Battistini et al., 1975. Cependant, cette typologie a la particularité de couvrir une vaste zone comprenant tous les récifs coralliens français (région Pacifique, Antilles ou Océan Indien). D'autre part, nous disposons d'une étude détaillée de la géomorphologie des unités récifales (Battistini et al., 1975), dont les descriptions sont plus précises que le niveau 5 de la typologie Millenium mais centrée sur la région Indo-Pacifique.

Notre objectif est de réaliser une typologie des habitats, c'est-à-dire établir une typologie combinant des paramètres physiques (géomorphologie, substrat et profondeur) et biologiques (peuplement dominant et couverture).

L'approche EUNIS apparait donc comme étant la meilleure alternative pour créer une typologie et hiérarchiser de manière cohérente les habitats.

C) REALISATION DE LA TYPOLOGIE DE L'ILE D'EUROPA EN FORMAT EUNIS

Pour réaliser la typologie et la cartographie des habitats marins, nous disposions de 3 jeux de données présentés ci-après.

1) PRESENTATION DES BASES DE DONNEES UTILISEES

IFREMER/KELONIA :

Réalisée dans le cadre de l'étude des populations de tortues d'Europa par Kélonia[4], cette base de données renseigne (i) le substrat (% débris, % sable-vase (S-V) et % dur), (ii) la couverture biotique (herbiers, coraux et algues), (iii) la couverture absolue des différentes espèces de phanérogames des herbiers (% *Syringodium sp.*, *Thalassia sp.*, *Halophila sp.*, *Halodule sp.*) (*cf.* Tableau 5).

Localisation	S-V	débris	dur	Total %	corail	algue	herbier	Total	Espèces phanerogames				Total
GPS	%	%	%	%	%	%	%	%	Thallasia	Halodule	Halophile	Syringod.	%
128	50	0	50	100	80	10	0	90	0	0	0	0	0
129	60	0	40	100	70	30	0	100	0	0	0	0	0
130	80	0	20	100	0	90	0	90	0	0	0	0	0
131	90	0	10	100	30	60	0	90	0	0	0	0	0
132	90	0	10	100	0	100	0	100	0	0	0	0	0
133	40	0	60	100	10	80	0	90	0	0	0	0	0

Tableau 5 Structure de la base de données IFREMER/KELONIA

C'est au total **233 stations** qui ont été renseignées.

BASE DE DONNEES IFREMER/SPECTHRABENT-OI

Cette base de données a été réalisée dans le cadre d'une étude sur l'île d'Europa, selon la méthode *Medium-Scale Approach* (MSA) (Clua et al.,2006). Cette méthode *in situ* consiste d'abord à décrire la géomorphologie et la topographie du récif, puis à estimer visuellement de manière semi-quantitative le pourcentage de couverture des composantes benthiques contribuant au paysage observé. Différentes informations ont été récoltées, (i) le substrat (% sable-vase, % dur, % débris), (ii) la couverture biotique en corail (% couverture totale, % couverture de 11 genres différents), (iii) la couverture biotique en algues (% couverture totale, % couverture de 5 espèces), (iv) et des commentaires sur les observations (*cf.* Tableau 6).

C'est au total **97 stations** qui ont été échantillonnées

	SUBSTRAT					COUVERTURE BIOTIQUE																		
	meuble		non meuble			Corail												Algues						
WPT	vase	sable	débris	dur	TOTAL	CV	ME	CSM	POC	ACT	ACB	ACD	ACS	re (F,B,e	CL	CMO	Mill	ALG TOT	turf	CA	R	V	B	Commentaires
058		60	40		100	5		95							5			35	80	20				CL=fongia, CS=porites sp.
059		100			100	0												0						Couche de cyano (débris végétaux?) sur le fond
060				100	100	0												0						Pointe rocheuse, Beachrock, dalle
062				100	100	95	40		5	5		30				10	10	5	60	30	10			8m, AR (? Cf. photos) et 2% Aglaophenia
063		5		95	100	90	50	5	5			20				10	15	5	90	10				Spectro, pro algale sur photos
064		10		90	100	50	15		40			15					30	40	70	30				3m, prop algale sur photos
065				100	100	80	25	5	15			15					40	20	70	30				10m, prop algale sur photos
066				100	100	50	5	5	10			70					10	50	60	40				1m, , prop algale sur photos
067				100	100	50	70					30						50	50	50				Dalle dans 30cm d'eau
068				100	100	60	10		20			20					50	40	100					

[4] Kelonia est l'observatoire des tortues marines de La Réunion.

Tableau 6 Structure de la base de données IFREMER/ARVAM/AAMP/TAAF/ACTIMAR

La réalisation de cette typologie s'est faite à l'aide de deux approches : l'approche statistique et l'approche dite « experte ».

BASE DE DONNEES IRD/PARETO

Plusieurs critères ont été renseignés pour la réalisation de cette base de données. **74 stations** de vérité terrain ont été réalisées *in situ*.

La géomorphologie : Dans la mesure du possible, le type géomorphologique est renseigné jusqu'au niveau 5 en cohérence avec le programme Millenium Coral Reef Mapping Project.

Pour les niveaux supérieurs au niveau 5 du Millenium Coral Reef Mapping Project, la méthodologie intègre la terminologie de Battistini *et al*., 1975, dans la mesure du possible.

Le substrat : De même que pour la géomorphologie, sa nature est identifiée et mise en cohérence avec les différentes unités géomorphologiques. Ainsi un tombant (niveau 6) ne peut être sableux.

Les peuplements biologiques : Sont prises en compte les données telles que (i) la composition du peuplement corallien, en terme de structure de peuplements dominants, et des espèces caractéristiques des faciès ; (ii) les communautés associées que sont les herbiers de phanérogames et les algueraies et leur nature mono ou plurispécifique ; (iii) la présence d'Invertébrés tels que les spongiaires, les holothuries, les étoiles de mer …

Le recouvrement corallien : Il est estimé selon différentes classes Dahl, (1981). Il en est de même pour la densité des herbiers et des algueraies.

Le géoréférencement des observations est fait dans le système WGS 84[5].

L'ensemble des données récoltées sont des descripteurs semi-quantitatifs.

Afin de réaliser des fiches habitats, des prises de vues paysagères ont été faites pour rendre compte de la diversité des habitats.

Nous disposons *in fine* de **404 stations** d'échantillonnage en milieu marin sur Europa (*cf*. Figure 6). La base de données dont nous disposons est donc considérable compte tenu de la taille de l'île.

[5]**WGS 84** (*World Geodetic System 1984* : système géodésique mondial, révision de 1984) est le système géodésique associé au GPS ; il s'est rapidement imposé comme une référence pour la cartographie. Il définit une représentation du géoïde terrestre. (National Imagery and Mapping Agency, 1987)

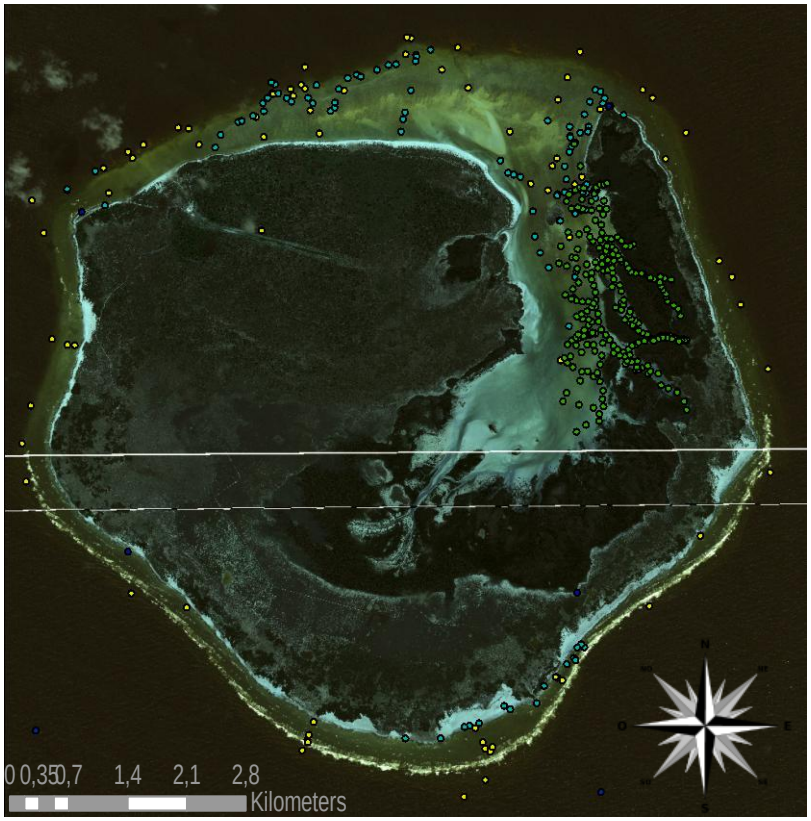


Figure 6 Carte des stations d'échantillonnage (Image Quickbird 2,4m de résolution). Les points verts sont les stations IFREMER/Kelonia, les points bleus sont les stations IFREMER/Spectrhabent et les points jaunes, les stations IRD/PARETO. (Source : Kélonia - Programme TORSOOI, (C) COPYRIGHT 2008 DigitalGlobe, Ine., Longmont CO USA 80503).

2) APPROCHE STATISTIQUE

L'approche statistique consiste en la création d'une classification hiérarchique ascendante des stations de travail. La méthode de classification ascendante hiérarchique est une méthode non supervisée (seul le nombre de classes souhaité est à définir) et donc rapide qui nécessite que les données soit quantitatives ou semi-quantitatives (Clarke & Warwick, 2001 ; Mumby et al., 1997).

Pour cela nous disposons d'un jeu de données (cf. § I.C.1) où pour chaque station nous avons : la couverture corallienne, la couverture algale, la couverture en phanérogames et le pourcentage absolu de chaque espèce de phanérogame et de corail.

Seules les bases de données IFREMER/KELONIA et IFREMER/ARVAM/AAMP/TAAF/ACTIMAR ont été utilisées pour réaliser ces tests car ce sont les seules données semi-quantitatives exploitables pour réaliser des analyses statistiques.

L'analyse hiérarchique ascendante, qui permet de créer une classification hiérarchique ascendante, consiste à rassembler des données, nommées « objets », dans différents groupes suivant leur ressemblance ou dissemblance, selon différents paramètres ou variables, appelés « descripteurs » (Clarke & Warwick, 2001). Ceci permet d'aboutir à un dendrogramme représentant les liens entre les différents objets, ici les stations réalisées.

Ce lien entre les différents objets représente la similarité/dissimilarité entre les stations. Pour la calculer nous utilisons l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis (logiciel Primer®) appliqué à l'ensemble des données stations.

L'indice de Bray-Curtis est un coefficient de distance ou de dissimilarité, c'est-à-dire une fonction dont la valeur maximale apparaît pour 2 objets qui sont complètement différents, et dont la valeur minimale correspond à la distance entre 2 objets identiques pour tous leurs descripteurs.

$$BC_{ij} = \frac{2C_{ij}}{S_i + S_j}$$

C_{ij} : Somme des plus petites valeurs seulement pour les espèces communes entre stations.

S_i et S_j : nombre total d'espèces comptées sur les sites S_i et S_j.

L'indice de Bray-Curtis a été choisi dans ce cas car les distances calculées sont semi-métriques, les descripteurs étant semi-quantitatifs.

La matrice initiale pour les peuplements d'herbiers de phanérogames, ci-dessous, indique l'abondance absolue par espèce. Cette matrice ne concerne que les herbiers ayant une couverture totale supérieure à 10% (*cf.* Tableau 7).

Espèces/Stations	140	141	143	144	145	146	148	150	153	154	213	214	215	230	243	244	164	166	167	170	173	174	181	182	183	184	186	187	188	189	191	197
Thallasia (%)	5	0	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	20
Halodule (%)	0	0	0	0	0	0	0	2,5	1	0	0	0	0	2,5	2	2	0	0	0	0	0	0	3	5	10	0	5	5	7,5	15	1	0
Halophile (%)	0	1	1	5	0	0	10	2,5	1	10	5	5	2	2,5	0	0	5	10	10	15	5	5	12	5	0	5	0	5	7,5	0	5	0
Syringod. (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	205	256	263	265	266	267	268	271	272	273	274	278	279	280	282	288	289	299	304	305	307	311	313	218	219	221	222	224	230	323	329	341
Thallasia (%)	5	5	0	0	0	0	0	0	2	5	0,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Halodule (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,5	2	0	0	20	30	0	0	0
Halophile (%)	0	0	1	15	10	5	20	1	8	0	4,5	5	8	1	5	5	10	1	1	1	5	1	1	0,5	0	2	1	0	0	5	1	2
Syringod. (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 7 Matrice initiale de données d'abondance pour le test statistique « Peuplement herbier de phanérogames ».

Dans un premier temps, grâce à cette matrice, et en appliquant l'indice de Bray-Curtis, une matrice triangulaire de similarité illustrant le pourcentage de similarité entres les stations va être créée (*cf*. Tableau 8).

Similarity

	140	141	143	144	145	146	148	150	153	154	213	214	215	230	243	244	164	166	167	170	173	174
140																						
141	0																					
143	0	100																				
144	66,667	50,117	50,117																			
145	80,149	0	0	50,117																		
146	80,149	0	0	50,117	100																	
148	0	71,987	71,987	62,712	0	0																
150	0	56,901	56,901	45,679	0	0	58,579															
153	0	66,667	66,667	40,075	0	0	52,934	88,596														
154	0	71,987	71,987	62,712	0	0	100	58,579	52,934													
213	0	80,149	80,149	66,667	0	0	91,357	62,712	57,219	91,357												
214	0	80,149	80,149	66,667	0	0	91,357	62,712	57,219	91,357	100											
215	0	91,357	91,357	56,901	0	0	80,149	64,211	62,712	80,149	88,596	88,596										
230	0	56,901	56,901	45,679	0	0	58,579	100	88,596	58,579	62,712	62,712	64,211									
243	0	0	0	0	0	0	0	64,211	62,712	0	0	0	0	64,211								
244	0	0	0	0	0	0	0	64,211	62,712	0	0	0	0	64,211	100							
164	0	80,149	80,149	66,667	0	0	91,357	62,712	57,219	91,357	100	100	88,596	62,712	0	0						
166	0	71,987	71,987	62,712	0	0	100	58,579	52,934	100	91,357	91,357	80,149	58,579	0	0	91,357					
167	0	71,987	71,987	62,712	0	0	100	58,579	52,934	100	91,357	91,357	80,149	58,579	0	0	91,357	100				
170	0	67,386	67,386	60,312	0	0	94,936	56,1	50,403	94,936	86,353	86,353	75,333	56,1	0	0	86,353	94,936	94,936			
173	0	80,149	80,149	66,667	0	0	91,357	62,712	57,219	91,357	100	100	88,596	62,712	0	0	100	91,357	91,357	86,353		
174	0	80,149	80,149	66,667	0	0	91,357	62,712	57,219	91,357	100	100	88,596	62,712	0	0	100	91,357	91,357	86,353	100	
181	0	47,878	47,878	48,487	0	0	71,769	88,363	77,261	71,769	64,005	64,005	54,47	88,363	54,47	54,47	64,005	71,769	71,769	72,346	64,005	64,005
182	0	50,117	50,117	50	0	0	62,712	91,357	80,149	62,712	66,667	66,667	56,901	91,357	56,901	56,901	66,667	62,712	62,712	60,312	66,667	66,667
183	0	0	0	0	0	0	0	58,579	52,934	0	0	0	0	58,579	80,149	80,149	0	0	0	0	0	0
184	0	80,149	80,149	66,667	0	0	91,357	62,712	57,219	91,357	100	100	88,596	62,712	0	0	100	91,357	91,357	86,353	100	100
186	0	0	0	0	0	0	0	62,712	57,219	0	0	0	0	62,712	88,596	88,596	0	0	0	0	0	0
187	0	50,117	50,117	50	0	0	62,712	91,357	80,149	62,712	66,667	66,667	56,901	91,357	56,901	56,901	66,667	62,712	62,712	60,312	66,667	66,667
188	0	46,406	46,406	47,468	0	0	65,05	86,353	75,333	65,05	62,24	62,24	52,866	86,353	52,866	52,866	62,24	65,05	65,05	62,712	62,24	62,24
189	0	0	0	0	0	0	0	56,1	50,403	0	0	0	0	56,1	75,333	75,333	0	0	0	0	0	0
191	52,331	40,737	40,737	84,332	40,737	40,737	52,581	70,277	67,687	52,581	55,333	55,333	46,647	70,277	39,225	39,225	55,333	52,581	52,581	50,883	55,333	55,333
197	82,843	0	0	58,579	64,211	64,211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
205	100	0	0	66,667	80,149	80,149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 8 Matrice de similarité obtenue sous PRIMER

Les analyses SIMPER et ANOSIM (du logiciel Primer®) permettent ensuite de déterminer les taux de similarité et de dissimilarité à l'intérieur d'une classe et entre les différentes classes, ainsi que la détermination des variables discriminantes dans chaque classe.

Un dendrogramme est créé et sur ce dernier nous choisissons un niveau de coupe ou un nombre de classes : ces classes présentent par construction un maximum de dissimilarité et sont donc supposées représenter au mieux les différentes classes homogènes visibles sur le terrain (herbier, sable). Le procédé est simple et rapide.

Le niveau de coupure est choisi de manière à obtenir des classes suffisamment homogènes, en nombre limité (de l'ordre d'une dizaine : nombre optimal de classes d'habitats pouvant être discriminés par IKONOS et QuickBird (Andréfouët et al., 2003) et pertinent thématiquement compte tenu des observations de terrain (*cf.* Figure 7).

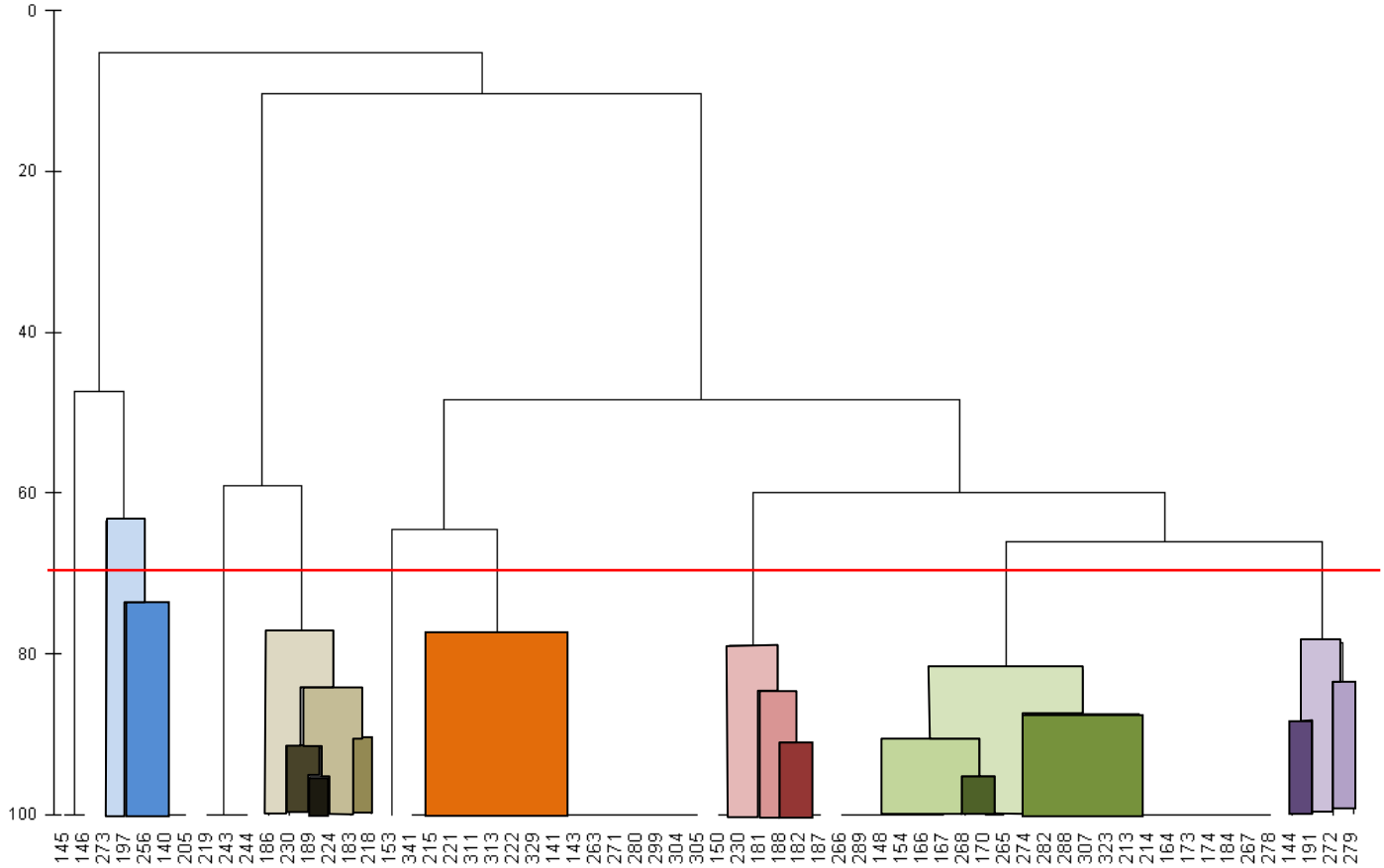


Figure 7 Dendrogramme obtenu après les analyses SIMPER. Chaque jeu de couleurs représente une classe identifiée pour un taux de similarité de 70%.

Le choix du taux de similarité s'est fait de manière empirique. Nous avons testé plusieurs indices : 60%,70% et 80%. Un indice de 60% nous conduirait à obtenir seulement 5 classes d'habitats, qui sont non révélatrices de la diversité observée. Le taux de similarité de 80% nous donne plus de 16 classes d'habitats différents. Or d'après Andréfouët *et al.*, 2003, en travaillant sur des images Quickbird, le nombre de classes optimales pouvant être discriminées est de l'ordre de 10 classes, ainsi le taux de 80% n'est pas retenu. Nous avons donc choisi un taux de similarité de 70%, ce qui nous donne **10 classes d'habitats pour les herbiers de phanérogames**. Le nom des classes est obtenu en comparant les données semi-quantitatives des stations de chaque classe :

- **(1) Herbier monospécifique à *Thalassia sp.* (1% d'abondance absolue)**
- **(2) Herbier plurispécifique à *Thalassia sp.* (5% d'abondance absolue) et *Halodule* sp. (5% d'abondance absolue)**
- **(3) Herbier monospécifique à *Thalassia sp.* (9% d'abondance absolue)**
- **(4) Herbier monospécifique à *Halodule sp.* (2% d'abondance absolue)**
- **(5) Herbier monospécifique à *Halodule sp.* (16 % d'abondance absolue)**
- **(6) Herbier monospécifique à *Halophila sp.* (2% d'abondance absolue)**
- **(7) Herbier plurispécifique à *Halodule sp.* (4,3% d'abondance absolue) et *Halophila sp.* (5,8% d'abondance absolue)**
- **(8) Herbier plurispécifique à *Halodule sp.* (1% d'abondance absolue) et *Halophila sp.* (1% d'abondance absolue)**
- **(9) Herbier plurispécifique à *Halodule sp.* (0,5% d'abondance absolue), *Halophila sp.* (6,5% d'abondance absolue) et *Thalassia* sp. (3%)**
- **(10) Herbier monospécifique à *Halophila sp.* (8% d'abondance absolue)**

Ces résultats illustrent la diversité d'habitats mise en évidence par PRIMER®. Suivant le pourcentage de similarité que nous choisissons, les classes identifiées vont être de plus en plus précises. Pour notre typologie nous retenons uniquement 6 classes d'habitats, qui illustrent à elles seules la diversité des herbiers rencontrés :

- **Herbier monospécifique à *Thalassia* sp.**
- **Herbier monospécifique à *Halophila* sp.**
- **Herbier monospécifique à *Halodule* sp.**
- **Herbier plurispécifique à *Thalassia* sp. et *Halodule* sp.**
- **Herbier plurispécifique à *Halophila* sp. et *Halodule* sp.**
- **Herbier plurispécifique à *Halophila* sp. et *Thalassia* sp.**

Ainsi un taux de similarité de 60 % aurait suffi. La couverture des herbiers ne dépasse en effet jamais 30% et dans la plupart des cas, l'abondance absolue ne dépasse pas 10%. Nous retenons uniquement les assemblages d'espèces.

Par ailleurs, nous ne prenons pas en compte l'endofaune fixée (par manque de données), ce qui nous conduit à obtenir des classes d'herbiers « semi-biocénotiques », et donc pas révélatrices d'un habitat.

Nous pouvons également considérer que les classes obtenues sont davantage les reflets des différents faciès[6] d'un même habitat où sont présents seulement quelques espèces ingénieures[7]. Ainsi il est plus pertinent de

---

[6]On dit d'une biocénose qu'elle présente un faciès particulier lorsque la prédominance locale de certains facteurs écologiques entraîne l'exubérance d'une ou d'un petit nombre d'espèces sans que la composition qualitative de la biocénose soit affectée (Cabane, 2012).

[7]On désigne sous ce terme une espèce qui, par son activité naturelle, change le milieu où elle vit et crée un nouveau milieu qui lui est spécifique. C'est le cas de toutes les espèces qui génèrent leur propre habitat, comme le maërl, les coraux, les hermelles etc. (Cabane, 2012).

retenir les assemblages des différentes espèces d'herbiers, malgré un faible pourcentage de couverture, que d'insérer dans la typologie les 10 classes d'habitats différentes.

Peut-on alors parler réellement d'un herbier ? Ont-ils un rôle ?

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux herbiers de phanérogames et aux peuplements algaux (Battistini, 1966 ; Délépine *et al,* 1976 ; Quod *et al,* 2003 ; Quod & Garnier, 2004 ; Bourjea, 2006). Quatre espèces de phanérogames ont été identifiées : *Halodule uninervis, Halophila ovalis, Thalassia hemprichii, Cymodocea sp.,* ainsi que des peuplements algaux plurispécifiques. Les herbiers observés semblent s'être étendus au fil du temps, selon les observations chronologiques faites dans la bibliographie, néanmoins Battistini, 1966, déclarait qu'il n'y avait d'herbier que dans l'exutoire du lagon alors que Bourjea, 2006, observe que les phanérogames marines recouvrent la majeure partie des fonds sableux et sablo-vaseux de la mangrove.

Toutes les sources bibliographiques s'accordent néanmoins sur le fait que la densité des herbiers est faible.

Lorsque l'on effectue ce type d'analyse avec les données relatives au substrat, ces dernières sont trop discriminantes et faussent la similarité entre stations. Ainsi pour les analyses avec les herbiers de phanérogames et les peuplements coralliens, nous obtenons bien plus de classes d'habitats de « substrat », que « d'espèces ».

Néanmoins, nous intégrons les résultats les plus pertinents pour notre étude et non déterminés avec l'approche « outil ». Nous obtenons 16 classes d'habitats (peuplements d'herbiers, peuplements coralliens etc.).

3) APPROCHE EXPERTE POUR LA DETERMINATION DES HABITATS

Ne disposant pas des données quantitatives permettant une approche statistique, nous avons utilisé l'approche experte pour établir une typologie à partir des données qualitatives et semi-quantitatives récoltées pendant la phase de vérité terrain de Novembre 2011 à Europa.

Dans cette approche l'expert intègre l'ensemble des données et propose des classes d'habitats synthétisant sa connaissance du milieu. Les descripteurs et paramètres relevés sur le terrain permettent de caractériser ces habitats et de les classer. La hiérarchisation de cette classification consiste à créer une clé d'identification, sur la base de ces descripteurs et paramètres, conformément au format EUNIS.

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

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

Le premier critère ayant permis de différencier les stations est la géomorphologie de niveau 4 du MCRMP : pente externe, platier et terrasse peu profonde. Les habitats sont en effet très différents suivant l'unité géomorphologiques sur laquelle on les retrouve. Ces trois types ont été identifiés par Andréfouët, Chagnaud, Cauvin, & Kranenburg, 2008.

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

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

Géomorphologie de niveau 1 : Récif océanique/Récif continental
Géomorphologie de niveau 2 : Atoll océanique/Atoll surélevé/Banc océanique/…
Géomorphologie de niveau 3 : Lagon d'atoll/Couronne d'atoll /…
Etage : Supralittoral/Médiolittoral/Infralittoral
Géomorphologie niveau 4 : Platier/Terrasse peu profonde/Pente externe
Exposition : Forte/Moyenne/Faible
Substrat 1 : Bio-construit/Détritique/Mixte
Géomorphologie niveau 5 : Eperons et sillons, plateforme, Glacis, Dalle du platier etc.
Profondeur (étage infralittoral)
Couverture corallienne : < 5% / 5-10% / 10-30% / 30-60% / > 60%
Genre et/ou espèces dominantes, morphes

Nous obtenons *in fine* une typologie où figurent tous les habitats en format EUNIS. A cette typologie s'ajoute les habitats trouvés avec les analyses statistiques (essentiellement les habitats liés aux herbiers de phanérogames). Nous obtenons **70 habitats** (*cf.* Annexe 1). Des fiches « habitats » ont été créés et sont présentes dans le cahier d'habitat *en annexe du rapport.*

Remarques sur l'identification des habitats

L'identification des habitats dépend de **l'effort d'échantillonnage.** Ainsi une semaine de plus de vérité terrain aurait permis sans doute de déterminer d'autres habitats.

Remarque sur les typologies et leur code.

Il faut garder présent à l'esprit que le travail de typologie n'est pas une fin en soi : ce n'est pas un sujet de recherche à proprement parler, mais c'est un moyen de synthétiser et d'organiser des connaissances, de simplifier une réalité complexe (réduction de la complexité, passage d'un système continu (écosystème complexe et variable, ne présentant que des gradients et continuum) à un système discret), permettant de faciliter son appréhension en créant des entités, permettant de nommer des entités et d'adopter un vocabulaire commun.

Il faut distinguer le travail de typologie (création d'unité), du travail d'organisation de cette typologie (hiérarchisation de ces unités). Ce qui nous intéresse ici avant tout c'est l'identification des types. La hiérarchisation a été pensée pour rendre plus facilement utilisable cette typologie pour nos besoins.

Pour ce qui est de l'attribution d'un code pour chaque habitat, plusieurs approches sont envisageables pour créer le code d'un type d'habitat. Les typologies d'habitat, a fortiori quand elles sont récentes, sont amenées à évoluer, du fait de l'évolution de la connaissance ou du remaniement des types. L'évolution des codes des typologies est un problème récurrent.

L'objectif à terme est d'associer à chaque entité décrite, un code unique (du type CD_Nom du référentiel taxonomique TaxRef[8]) indépendant de la hiérarchie de cette unité dans la typologie. Ce code unique facilite la gestion la traçabilité des modifications et des équivalences entre habitats (de même que la synonymie en taxinomie).

A ce stade, ce code unique n'a pas été attribué. Cela fera l'objet de discussion avec les spécialistes de la gestion informatique des référentiels.

III) REALISATION DE LA CARTOGRAPHIE DES HABITATS MARINS

La démarche méthodologique pour la cartographie des habitats marins est adaptée des recommandations faites par les guides méthodologiques élaborés pour la cartographie des récifs coralliens et notamment le « *guide méthodologique pour l'élaboration des cartes de vulnérabilité des zones côtières de l'océan Indien* » (Dutrieux et al., 2000).

Les étapes de la démarche de cartographie des zones marines peu profondes restent basées sur le schéma suivant :

- **Etape 1 :** Positionnement des stations de vérité terrain à partir d'une photo-interprétation des images disponibles (Image QuickBird)
- **Etape 2 :** Vérité-terrain visant à valider et faire correspondre les différentes signature/texture/forme et les habitats *in situ*
- **Etape 3** : Définition de la typologie des habitats et détourage spatial des habitats.
- **Etape 4 :** Restitution de la carte des habitats et autres (exemple : carte des couvertures coralliennes), construite à partir d'une superposition de plusieurs couches d'informations (géomorphologie, substrat, peuplements, couverture des peuplements et autres : bathymétrie et exposition par exemple). Les cartes sont accompagnées de fiches descriptives décrivant les différentes classes d'habitat et mettant en exergue les habitats « remarquables » (au titre des ZNIEFF notamment).

A) ETAPE 1 : LE POSITIONNEMENT DES POINTS PRECARTOGRAPHIE

L'utilisation des orthophotographies satellites (QUICKBIRD acquis par IRD Réunion) ont permis de positionner des stations de vérité terrain afin d'échantillonner l'ensemble des habitats préidentifiés sur l'image (couleur,

[8] Le référentiel taxonomique TAXREF a pour but de lister les noms scientifiques de l'ensemble des êtres vivants présents en France. Le territoire défini comprend la métropole et les collectivités d'outre-mer : Guyane française, Martinique, Guadeloupe, Saint-Martin, Saint-Barthélemy, Saint-Pierre et Miquelon, Mayotte, Iles Eparses, Réunion, Terres Australes et Antarctiques Françaises, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna, Polynésie Française, Clipperton. TAXREF est un outil qui permet de communiquer, tant au niveau des personnes que des ordinateurs, grâce à l'utilisation de normes communes de références. Il permet notamment aux bases de données de pouvoir être interopérables.

texture et forme) (*cf.* Figure 8). Un total de 74 stations a été échantillonné. Ce travail permet d'avoir une première idée de la diversité et de la représentativité des habitats.

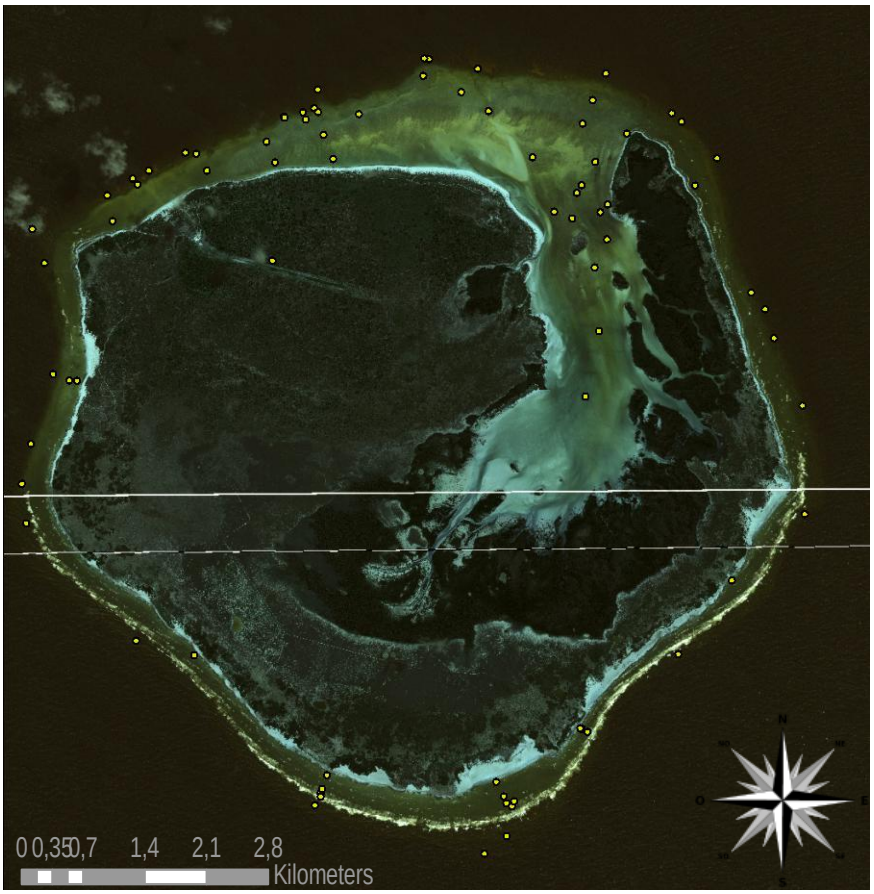


Figure 8 Carte des stations d'échantillonnage (Image Quickbird 2,4m de résolution). Source Kélonia - Programme TORSOOI, (C) COPYRIGHT 2008 DigitalGlobe, Ine., Longmont CO USA 80503.

B) ETAPE 2 : LA VERITE TERRAIN

La vérité terrain a été réalisée sur les 74 stations préalablement positionnées lors de l'étape 1 (*cf* § III.A). Les transects sont positionnés de telle sorte qu'ils rencontrent un maximum d'habitats préalablement identifiés. Cette phase sert à établir une première typologie et permettra par la suite de faciliter l'interprétation thématique de la carte.

C) ETAPE 3 : TYPOLOGIE DES HABITATS « CARTOGRAPHIABLES » ET REALISATION DE LA CARTE DES HABITATS

1) MISE EN GARDE

Il convient de rappeler que les 70 habitats présents dans la typologie ne pourront pas être tous cartographiés. La résolution de la photographie utilisée (QuickBird à 2,4m de résolution) ne permet pas de différencier les 70 habitats, mais seulement ceux visibles sur la photographie. C'est pourquoi on distingue les habitats

cartographiables des habitats réellement présents. On distingue ainsi la typologie des habitats cartographiables de la typologie des habitats présents.

Dans l'approche cartographique, il est impossible de laisser des « blancs » sur la carte. Ainsi, lorsque nous ne savons pas précisément de quel habitat il s'agit, nous attribuons :

- soit la valeur de la classe hiérarchique supérieure (substrat ou géomorphologie des niveaux 4 ou 5),
- soit nous extrapolons les habitats observés des sites visités aux sites non visités, en comparant les signatures optiques (couleurs et textures) sur les images satellites. Les stations de vérité terrain ne couvrent pas en effet l'intégralité du site d'Europa (par manque de temps essentiellement). Par exemple, en raison de leurs similitudes radiométriques à l'image, la classe qualifiée *in situ* d'habitat de « plateforme de pente externe à couverture corallienne 30-60% de *Sinularia sp*. et *Rhytisma sp*. » est fusionnée avec la classe « plateforme de pente externe couverture 30-60% à *Acropora* branchu ». Cette simplification a pour conséquence une perte de précision sur la cartographie. Cette simplification s'est faite avec l'aide de Jean-Benoît Nicet.

2) METHODE

Pour bien comprendre la méthode de construction de la typologie, il est nécessaire d'avoir intégré la définition d'un habitat dans le cadre de la carte des habitats en milieu corallien. L'habitat est défini à parti des 5 compartiments constitutifs de l'habitat suivants :

- La géomorphologie
- L'architecture (relief, rugosité)
- Le substrat et son origine
- Les peuplements
- La couverture de ces peuplements.

Rappelons que c'est la superposition de ces couches à un niveau de détail donné (niveau 1,2, 3, …) qui définira le niveau typologique (niveau de détail) des habitats.

Il convient de cadrer pour chacun de ces compartiments, ou couche d'information, les différentes classes possibles selon le niveau de détail choisi. La superposition de ces couches d'information selon un niveau plus ou moins détaillé donnera alors le niveau typologique de la description des habitats. **La typologie conçue permet de caractériser les habitats en fonction de l'échelle de la carte, de l'image utilisée, de l'effort porté sur la vérité terrain et des résultats de l'interprétation thématique de l'image.**

Dans le cadre de la vérité terrain, la constitution de la typologie des habitats se fera de manière à disposer d'un nombre réaliste et pertinent d'habitats à définir en cohérence avec les objectifs et l'échelle du projet. D'autre part, le nombre d'habitats ainsi définis devra être mis en relation avec le nombre approximatif d'habitats qui pourront être différenciés lors de l'interprétation thématique.

La typologie finale de la carte thématique sera réalisée à partir de la vérité terrain et de l'interprétation thématique. Elle peut ainsi différer de la typologie établie à partir de la vérité terrain pour plusieurs raisons :

- Difficulté de discerner au niveau de l'interprétation thématique deux typologies (pourtant discernées lors de la phase de vérité terrain) ayant une signature spectrale proche

- Difficulté croissante à discerner les différents habitats à mesure que la profondeur augmente (ou turbidité).

A) A PARTIR DES IMAGES QUICKBIRD

Les photographies satellites Quickbird (résolution spatiale 2,4m) utilisées ont été dans un premier temps géoréférencées, puis modifiées pour l'étape de la photo-interprétation. Cette étape consiste à identifier des unités récifales visibles sur la photographie satellite. Ces entités sont détourées sous le logiciel ArcGis ESRI V.10 en veillant à garder la même échelle de détourage (1/2500) pour toutes les unités.

Les informations issues de la vérité terrain ont été utilisées au cours de la phase du détourage. Elles nous sont capitales pour l'interprétation des unités détourées.

Ce détourage s'est fait de manière chronologique : en premier les unités récifales de rang supérieur : terre émergée, mangrove, platier, terrasse peu profonde et pente externe. Ces unités sont celles présentes dans la typologie Millenium (cf. § II.B.1). Nous avons ensuite détouré les unités de rang inférieur telles que platier à microatolls, terrasse peu profonde à épandage détritique etc., conformément à la terminologie de Battistini et al.,1975.

Une fois toutes les unités détourées, il faut désormais renseigner la table attributaire en affectant pour chaque polygone les informations : géomorphologie de niveau 1 à 5 (Millenium CoralReefMapping Project), géomorphologie de niveau 6 (Battistini et al., 1975), peuplement (forme et/ou genre), scléractiniaire et couverture des peuplements dominants.

Toutes ces étapes sont illustrées Figure 9.

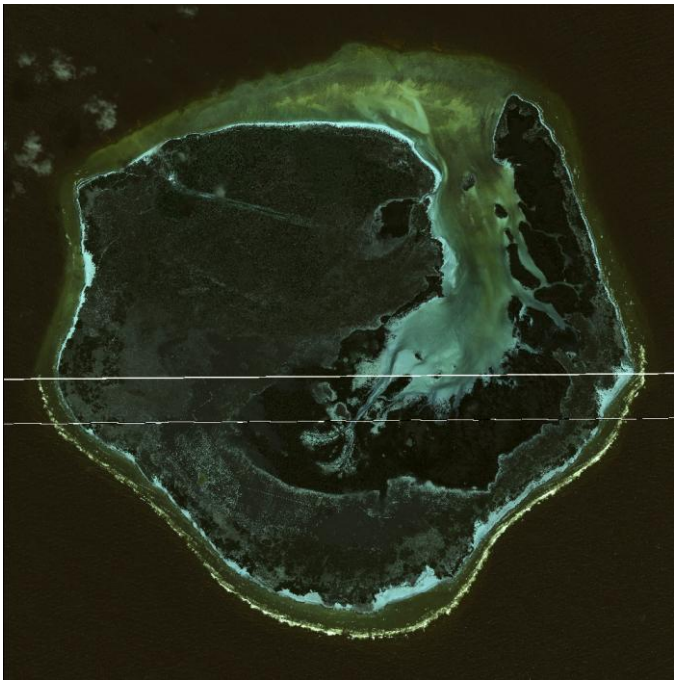
B) A PARTIR DES DONNEES LIDAR

Les photographies satellites ne mettent pas en valeur les unités géomorphologiques de la pente externe car la résolution est trop faible, ce qui est un inconvénient. Pour cartographier au mieux cette unité, nous avons utilisé le produit Litto3D®(IFREMER, Agence des Aires Marines Protégées, ARVAM,TAAF, Actimar). Il correspond à une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme et de la position du sol sur la frange littorale du territoire français (métropole, départements et collectivités d'outre-mer). Les éléments de sursols ne sont pas décrits : bâtiments, etc. (Source : Litto3D – V1.0, Spécifications techniques).

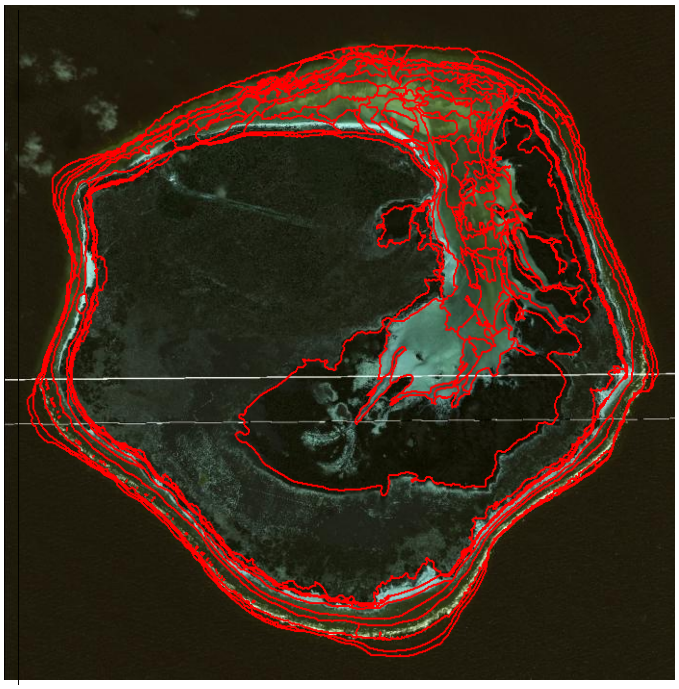
Concernant l'emprise géographique, la base de données Litto3D® s'étend selon les critères suivants : en mer, jusqu'à la courbe bathymétrique continue de profondeur 10 m, et au moins 2 km à partir du Trait de Côte, dans la limite de la zone de responsabilité hydrographique du SHOM.

Une comparaison entre les données LIDAR et l'image Quickbird est faite Figure 10.

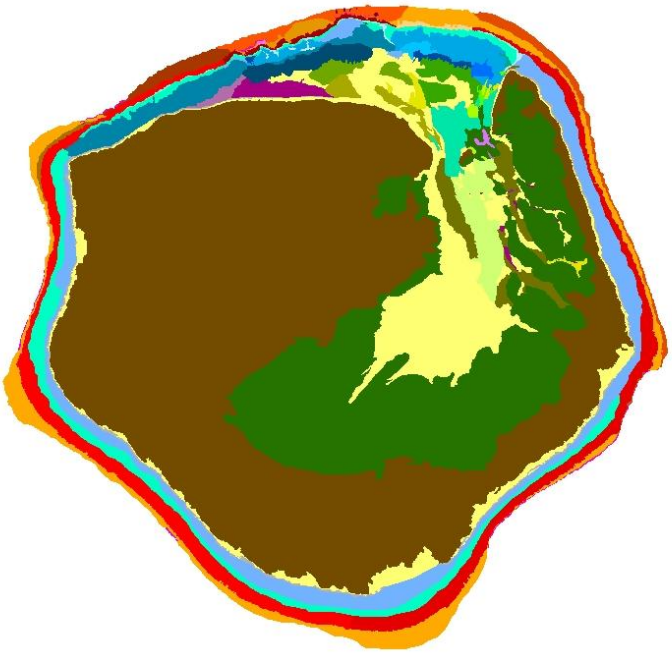
Les données Litto3D nous permettent de cartographier **11 habitats supplémentaires** sur la pente externe, en particulier sur la zone à éperons et sillons, la plateforme, les tombants et les glacis, portant à **43 le nombre total d'habitats cartographiés**.



1. Image Quickbird 2,4m de résolution géoréferencée (le système de projection est UTM 37S). Source Kélonia - Programme TORSOOI, (C) COPYRIGHT 2008 DigitalGlobe, Ine., Longmont CO USA 80503.

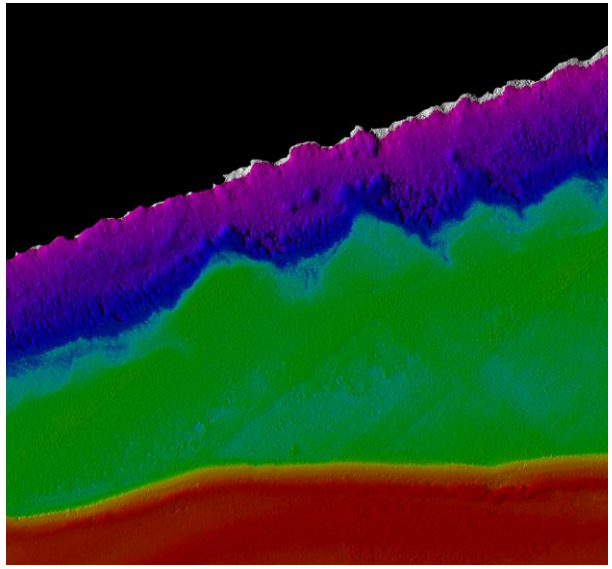


2. Détourage hiérarchique des entités. Source Kélonia - Programme TORSOOI, (C) COPYRIGHT 2008 DigitalGlobe, Ine., Longmont CO USA 80503.



3. Attribution des informations aux entités détourées conformément aux habitats trouvés dans la typologie EUNIS

Figure 9 Etapes pour la cartographie des habitats marins.



A/ Image issue du traitement des données LIDAR : la pente externe est désormais visible (teintes allant du bleu au violet) et les habitats peuvent être identifiés

B/ Image Quickbird 2,4m de résolution. La pente externe n'est pas visible.

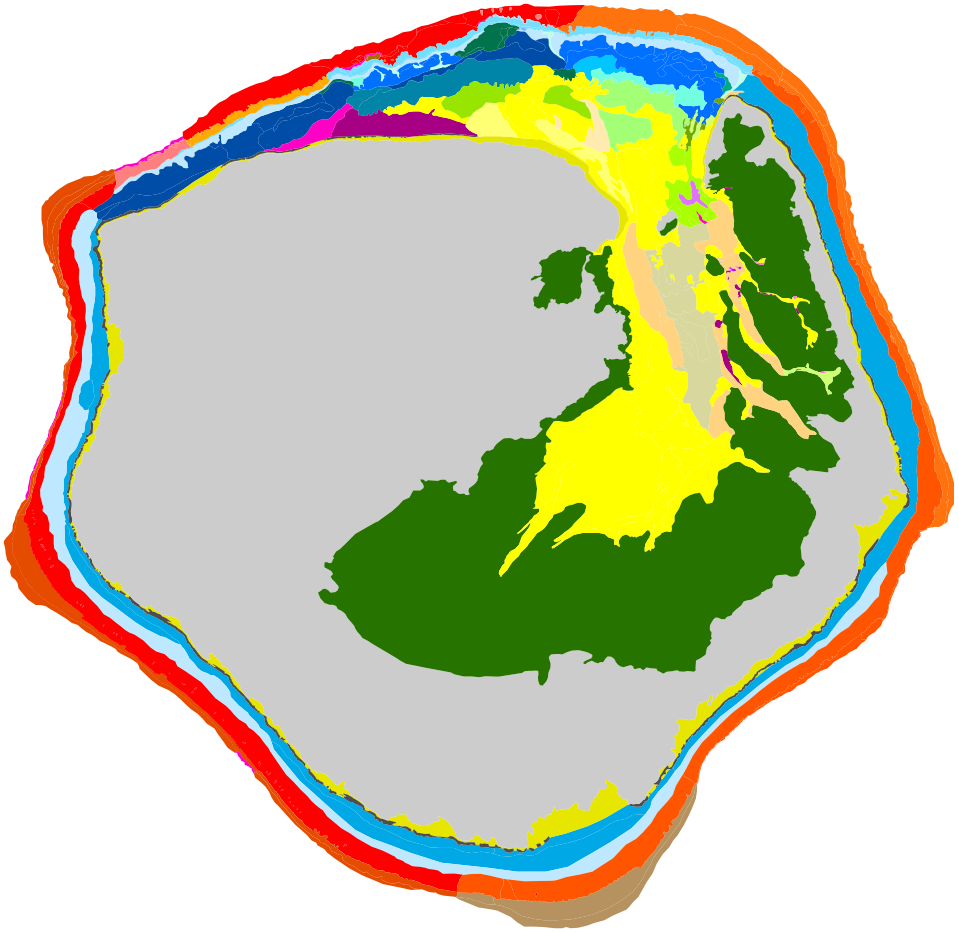
Figure 10 Comparaison des données LIDAR et des images Quickbird (2,4m de résolution)

D) RESTITUTION DES CARTES

Plusieurs cartes ont été générées selon l'information voulue :

- Carte des habitats : combinaison des informations géomorphologiques, couverture corallienne et couverture des espèces et/ou genres (*cf.* Figure 11) ;
- Carte des couvertures coralliennes (*cf*. Figure 12) ;
- Carte géomorphologique : géomorphologie de niveaux 3 et 4.

L'échelle de restitution est 1/38000.
ACD : Acropore digité
ACB : Acropore branchu



Habitats marins d Europa

Pente externe

- Contreforts et vallons à Pocillopora eydouxi, CV 10-30%
- Echine corallienne et pates coralliens à ACD, Millepora sp.,CV 30-60%
- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp. et ACS, CV 30-60%
- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp., Stylophora sp., CV 10-30%
- Eperons et sillons à Millepora sp., Pocillopora sp., ACD, CV 30-60%
- Glacis à travées coralliennes et pâtés coralliens, CV 30-60%
- Plateforme arasée à ACD, Porites sp., Millepora sp., CV 10-60%
- Plateforme arasée à Pocillopora sp., Millepora sp., CM, ACB et Rhytisma sp., CV >60%
- Plateforme à cuvettes et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp., Porites sp., CV >60%
- Plateforme à sillons à ACB, Montipora sp., CV >60%
- Tombant

Platier

- Chenal de vidange
- Dalle arasée à ACD, CV <5%
- Dalle arasée à ACD, Pocillopora sp. Millepora sp., CV 10-30%
- Dalle du platier et zones sableuses à Goniastrea sp., CV<5%
- Dalle du platier à colonies coralliennes denses, CV 30-60%
- Dalle du platier à colonies coralliennes éparses de CM, CV<5%
- Dalle du platier à cuvettes sableuses denses Millepora sp, CV<5%
- Dalle du platier à cuvettes sableuses éparses Goniastrea sp., CV<5%
- Epandage détritique (débris) de platier
- Platier à microatolls de porites sp. et cuvettes sableuses, CV 10-30%
- Platier à microatolls de porites sp. et cuvettes sableuses, CV 30-60%
- Platier à microatolls de porites sp., CV 10-30%

Terrasse peu profonde

- Colonies coralliennes d'ACB ras morts et tâches de fungia, CV 50-100%
- Colonies coralliennes mortes, CV <5%
- Colonies coralliennes, CV 10-30%
- Colonies coralliennes, CV 30-60%
- Colonies coralliennes, CV > 60%
- Dalle arasée à Millepora sp. et porites sp., CV 5-10%
- Dalle de calcaire microkarstifiée
- Epandage détritique (Sable et débris)
- Epandage détritique (débris)
- Epandage sableux
- Epandage sableux et dalle
- Epandage sableux à Halodule sp.
- Microatolls de porites sp. et cuvettes sableuses, CV 10-30%
- Microatolls de porites sp., CV 30-60%
- Microatolls de porites sp., CV <5%
- Microatolls et tâche denses de Fungia sp avec ACB. (CV 30-100%)

Terre émergeé

- Dune hydraulique
- Mangrove
- Plage
- Récif fossile
- Terre émergée

0 0,25 0,5 1 1,5 2 Kilometers

Figure 11: Cartographie des habitats marins d'Europa. Au total 43 habitats ont été cartographiés

IFRECOR – MNHN - PARETO écoconsult- IRD-TAAF	Echelle : 1/38 000 Europa Cartographie des habitats marins (Niveau 6)	*Réalisation Mars-Août 2012* *Système de coordonnées Lon-Lat WGS84*	

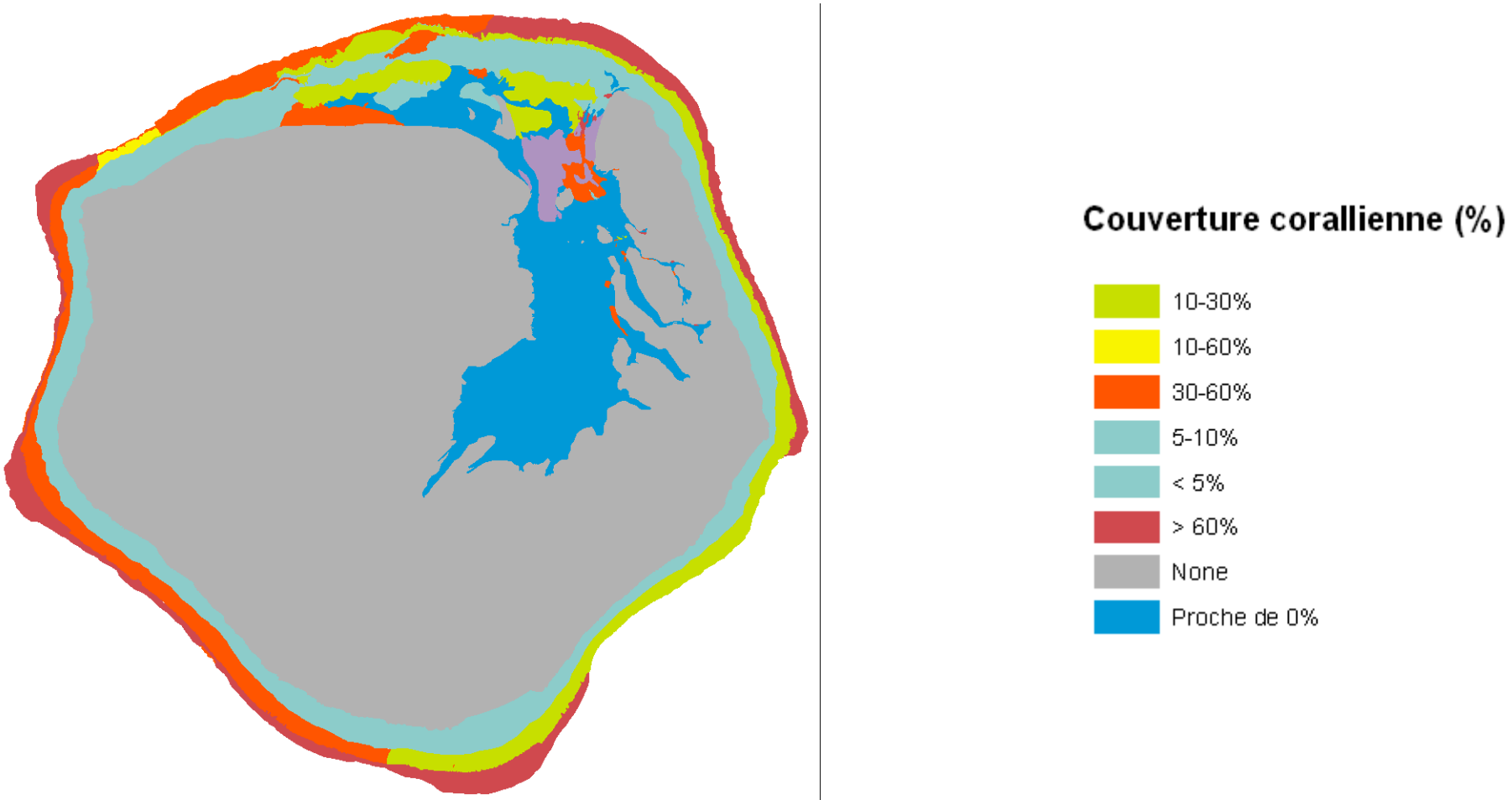


Figure 12 Cartographie des couvertures coralliennes d'Europa.

IFRECOR – MNHN - PARETO écoconsult- IRD-TAAF	Echelle : 1/38000 Europa Cartographie des couvertures corallienne	*Réalisation Mars-Août 2012* *Système de coordonnées Lon-Lat* *WGS84*	

Au total **43 habitats** ont pu être cartographiés grâce au jeu de données : 404 stations d'échantillonnage sur une zone récifale de 17 km².

Les cartes géomorphologiques mettent en évidence les différences de structures entre le Nord, l'Est, l'Ouest et le Sud de l'île. La partie Nord présente un platier beaucoup **plus large et riche en habitats** que les zones Est, Ouest et Sud. Il en est de même pour la pente externe, beaucoup plus développée dans le nord de l'île.

La terrasse peu profonde est clairement dominée par des épandages sableux/détritiques dans sa majeure partie. On note la présence de colonies coralliennes à forte couverture corallienne (30-60%) dans les bras sableux des mangroves.

Les nombreux récifs fossiles entourant l'île sont ici représentés, de même que la dune hydraulique du platier Nord et les plages.

Si l'on s'intéresse aux superficies des différentes unités (*cf.* Annexe 2), nous constatons que :

- La surface récifale totale est de **1670 ha**, terrasse peu profonde incluse. Cependant cette dernière étant essentiellement détritique, elle ne possède que peu de construction récifale. Ainsi la surface récifale « réelle », sans la terrasse, est de 1288 ha.
- Pour la géomorphologie de niveau 4 : Terrasse peu profonde, platier et pente externe représentent respectivement 570 ha, 577 ha et 525 ha, soit respectivement **34%, 34% et 32 %** de la superficie totale des unités géomorphologiques de niveau 4.
- Pour la géomorphologie de niveau 5 : la « terrasse peu profonde à accumulation sédimentaire » et la « dalle du platier » représentent les plus importantes superficies : **23 et 21 %** de la surface récifale totale (terrasse peu profonde incluse). Les unités ayant la plus petite superficie sont les « contreforts et vallons » et le « tombant ».
- Pour la couverture corallienne : la classe de couverture « inférieure à 5% » est majoritaire et représente 530 ha, soit **32%** de la surface récifale. Les classes de couverture fortes, telles que « 30-60% » et « >60% », représentent à elles deux seulement **29%** de la surface récifale. La majorité des couvertures faibles se situent au sein de la terrasse peu profonde et du platier. Les couvertures fortes se retrouvent majoritairement dans la pente externe.

Nous constatons que la diversité des habitats est la plus faible dans la zone Nord du platier et sur la pente externe (13 habitats cartographiables chacune). C'est la terrasse peu profonde qui est la plus riche en habitats cartographiables avec la présence de colonies coralliennes et d'une gamme d'épandage détritique.

Des agrandissements au 1/10 000 de différentes zones de la cartographie des habitats sont présentes en Annexe 3.

IV) IDENTIFICATION DES HABITATS REMARQUABLES

A) OBJECTIFS

Dans le cadre de la future création de la réserve naturelle nationale à Europa, il est essentiel d'identifier les caractéristiques patrimoniales uniques d'Europa ; parmi elles figurent les habitats dits remarquables. Comment peut-on les définir et les caractériser ?

Toute la difficulté de l'exercice réside dans cette interrogation car il n'existe pas une définition unique pour « habitat remarquable ». Certaines méthodes les appellent « déterminants » (ZNIEFF), d'autres les qualifient

« d'intérêt communautaire » (DHFF), mais aucune d'elles ne s'accordent. Il est donc important d'être clair sur cette définition. Dans notre cas, nous entendons par « habitat remarquable », un habitat remplissant des fonctions importantes telles que nurserie, reproduction, alimentation, mais qui possède également des espèces à fort intérêt régional, national et même international avec les listes rouges IUCN.

Leur identification s'inscrit directement dans ce projet. La présence/absence de ces habitats va en effet nous permettre de définir des zones de conservation prioritaires, où pourront par exemple être implantées des stations de suivi de l'état des récifs coralliens. Ces zones font partie intégrante du futur plan de gestion de l'île et seront soumises à des mesures de gestion.

B) LES DIFFERENTES APPROCHES DE DETERMINATION D'UN HABITAT REMARQUABLE

1) METHODOLOGIE ZNIEFF

Une ZNIEFF est un secteur du territoire national pour lequel les experts scientifiques ont identifié des éléments remarquables du patrimoine naturel (Maurin & Richard, 1990 ; Secrétariat de la Flore et de la Flore, 1985). Par extension, une ZNIEFF marine est un secteur des zones maritimes sous juridiction nationale pour lequel les experts scientifiques ont identifié des éléments remarquables du patrimoine naturel (Simian et al., 2008).

L'identification d'une ZNIEFF repose sur la présence d'espèces de faune et flore déterminantes (rare, endémique, menacée, etc.), mais également sur la présence d'habitats dits « déterminants ». Il s'agit d'habitats rares, menacés ou typiques, ou présentant un rôle fonctionnel important pour le maintien de la biodiversité (rôle nourricier, nurserie, refuge, etc.) De plus, la zone peut également se révéler être d'importance pour l'environnement qui l'entoure (ex : les récifs coralliens sont une barrière naturelle aux houles). La zone peut donc être d'intérêt pour les services écosystémiques qu'elle fournit.

Le classement d'une zone en ZNIEFF nécessite d'avoir identifié au moins une espèce ou un habitat déterminant dans la zone. Au moins l'une de ces espèces ou habitat motivant la définition de la ZNIEFF devra avoir été observé récemment (dans les 15 ans avant la date de description de la ZNIEFF, sous réserve de la stabilité du milieu depuis cette date) pour que la ZNIEFF soit valide (Simian et al., 2008).

Les espèces et habitats déterminants sont déterminés selon plusieurs critères :

- Indigénat[9] : Seules des espèces considérées comme appartenant à la faune et la flore locales peuvent être considérées comme déterminantes.
- Le niveau de description : l'espèce déterminante doit être décrite jusqu'à l'espèce.
- Occupation territoriale : Seules seront retenues les espèces présentes et fréquentant régulièrement le site.
- Fréquence d'observation
- Niveau d'anthropisation
- Comparaison avec les listes nationales et internationales de référence : Seuls les statuts En danger (EN) et Vulnérable (VU) permettent de classer une espèce comme déterminante.
- Endémisme[10]

[9] Une espèce indigène dans une région est une espèce présente naturellement à l'intérieur de cette région, en incluant la zone qu'elle peut atteindre et occuper en utilisant ses propres moyens de déplacement (IUCN, 2011).

- Niveau typologique : Un habitat déterminant doit être décrit au moins jusqu'au niveau 5 de la typologie EUNIS.

Ainsi une espèce et/ou habitat satisfaisant à au moins un de ces critères est dit « déterminant ». Une liste des espèces et habitats déterminants a été soumise au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) en 2005 par la DEAL/PARETO avec de nombreux experts associés. Une précédente liste d'espèces et d'habitats a été fournie par Guillaume et al.,1997, pour l'ensemble des départements d'outre-mer.

2) METHODOLOGIE N2000

Définition d'un habitat d'intérêt communautaire (Conseil d'état, 2004)

Selon la Directive Habitat Faune Flore (DHFF), un habitat est dit d'intérêt communautaire lorsqu'il figure à l'Annexe I de la directive. Dans cette annexe, une liste des habitats naturels est disponible. Ces habitats sont :

i) « en danger de disparition dans leur aire de répartition naturelle »

ii) « possédant une aire de répartition naturelle réduite par suite de leur régression ou en raison de leur aire intrinsèquement restreinte »

iii) « constituant des exemples remarquables de caractéristiques propres à l'une ou à plusieurs des sept régions biogéographiques suivantes : alpine, atlantique, boréale, continentale, macaronésienne, méditerranéenne et pannonique » (art. 1)

Définition d'une espèce d'intérêt communautaire

C'est l'ensemble des espèces qui sont :

i) « En danger, excepté celles dont l'aire de répartition naturelle s'étend de manière marginale sur ce territoire et qui ne sont ni en danger ni vulnérables dans l'aire du paléarctique occidental » ;

ii) « Vulnérables, c'est-à-dire dont le passage dans la catégorie des espèces en danger est jugé probable dans un avenir proche en cas de persistance des facteurs qui sont cause de la menace » ;

iii) « Rares, c'est-à-dire dont les populations sont de petite taille et qui, bien qu'elles ne soient pas actuellement en danger ou vulnérables risquent de le devenir. Ces espèces sont localisées dans des aires géographiques restreintes ou éparpillées sur une plus vaste superficie » ;

iv) « Endémiques et requièrent une attention particulière en raison de la spécificité de leur habitat et/ou des incidences potentielles de leur exploitation sur leur état de conservation ».

L'annexe II de la Directive « Habitats, Faune, Flore » concerne les espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont la conservation justifie la désignation de zones spéciales de conservation. ***L'annexe IV*** de la Directive « Habitats, Faune, Flore » liste les espèces animales et végétales présentant un intérêt

[10] Une espèce endémique d'une région a une distribution géographique limitée à cette région (une île, une montagne, une vallée…) et ne se trouve pas ailleurs à l'état naturel (IUCN, 2011) et dans l'état des connaissances.

communautaire et nécessitant une protection stricte. ***L'annexe I*** de la Directive « Oiseaux » regroupe des espèces susceptibles de bénéficier de mesures de protection de leur habitat (Zones de Protection Spéciale).

3) CONSTAT

Si l'on compare la démarche de ces méthodes pour déterminer les habitats et/ou espèces de forte importance, nous constatons qu'elles s'appuient toutes sur un référentiel « habitat » ou « espèce » national. Toutes ces approches établissent en effet une liste des habitats naturels et de forte importance. Ainsi, lorsqu'il est nécessaire de classer une zone en ZNIEFF ou de déterminer une zone à protéger, il suffit simplement de se référer à ces listes pour connaitre les habitats de forte importance de la zone.

Pour les territoires ultra-marins, il n'existe aucun référentiel, ni aucune liste exhaustive d'habitats et/ou d'espèces de forte importance. Ainsi nous n'avons pu appliquer les différentes méthodes pour déterminer les habitats « remarquables » d'Europa.

Les intérêts fonctionnels d'Europa sont à ce jour très difficile à caractériser, à part les herbiers de phanérogames d'intérêt nourricier pour les tortues marines et la terrasse peu profonde comme zone d'accueil de juvéniles de requins.

C) METHODOLOGIE ADOPTEE

Face à ce constat, nous avons opté pour une méthode « empirique » afin de déterminer nos habitats. Nous disposons des listes d'inventaires des poissons (Fricke et al., 2012) et de Scléractiniaires (non publiée) réalisés lors de la campagne BIORECIE à Europa en Novembre 2011. Pour la plupart des espèces nous disposons du numéro de station où elles ont été observées. Ainsi nous pouvons en déduire le nombre d'espèces par station (*cf.* Tableau 9).

Station	Nombre espèce de poisson	Nombre espèce de scléractiniaire
Eu2	83	71
Eu4	41	38
Eu 3	82	58
Eu 7	99	82
B8	79	52
B14	96	65
B5	78	42
B12	86	88
B25 (PL)	27	xx
Eu5 (PL)	36	33
Eu 6		67

Tableau 9 Nombre d'espèces de scléractiniaires et de poissons par station.

Nous avons ensuite inscrit tous les habitats cartographiés dans une matrice. Pour chacun d'eux nous renseignons (*cf.* Tableau 10) :

- Intérêt patrimonial : Diversité de Scléractiniaires et/ou couverture
- Intérêt patrimonial : Diversité de poissons et/ou abondance (ou taille)
- Intérêts fonctionnels : zone de reproduction, nurserie, alimentation, attraction/concentration, lutte contre l'érosion, épuration
- Intérêts complémentaires : paysager, scientifique, écologique, etc.

	Intérêt patrimonial		Intérêt fonctionnel						Intérêt complémentaire			
Habitats benthiques récifaux	Coraux	Poissons	Reproduction	Nurserie	Alimentation	Attraction / Concentration	Lutte contre érosion / Brise lame	Epuration	Paysager	Scientifique	Pédagogique	Géologique
Plage												
Récifs fossiles							×					×
Dune hydraulique							×		×			×
Mangrove		×	×	×	×	×	×	×	×	×		
Pente externe												
Contreforts et vallons à P.eydouxi, CV 10-30%	×	×			?							
Plateforme arasée à ACD, Pocillopora sp., CV>60%	×	×			?	×	×					
Plateforme arasée à ACD, porites sp., Millepora sp., CV 10-60%	×	×			?		×					
Plateforme arasée à ACD, porites sp., Monripora sp., CV >60%	×	×			?	×			×			
Plateforme à cuvettes et sillons à ACD, P.eydouxi et porites sp., CV>60%					?	×						
Plateforme à langue de sable à ACD, Millepora sp., P eydouxi , CV 30-60%	×	×			?	×						
Tombant	×	×			?							
Glacis à échine corallienne et pâtés coralliens , CV 30-60%					?							
Glacis à travées corallienneset pâtés coralliens, CV 30-60%	×	×			?	×						
Eperons et sillons		×			?							
Eperons et sillons à AC et CM, CV 10-30%		×			?							
Eperons et sillons à AC et CM, CV 30-60%	×	×			?							
Plateforme supérieure des éperons à ACD, CV<5%					?		×					

Tableau 10 Matrice de base pour mettre en évidence les habitats déterminants.

Pour l'intérêt patrimonial, seuls les taxons coraux et poissons sont renseignés.

En cumulant l'intégralité de ces données, nous disposons :

- De la diversité spécifique pour le taxon « poisson » pour chaque station
- De la diversité spécifique pour le taxon « scléractiniaire » pour chaque station
- Intérêts fonctionnels par habitat

Nous pouvons donc déterminer les habitats marins remarquables d'Europa.

D) RESULTATS

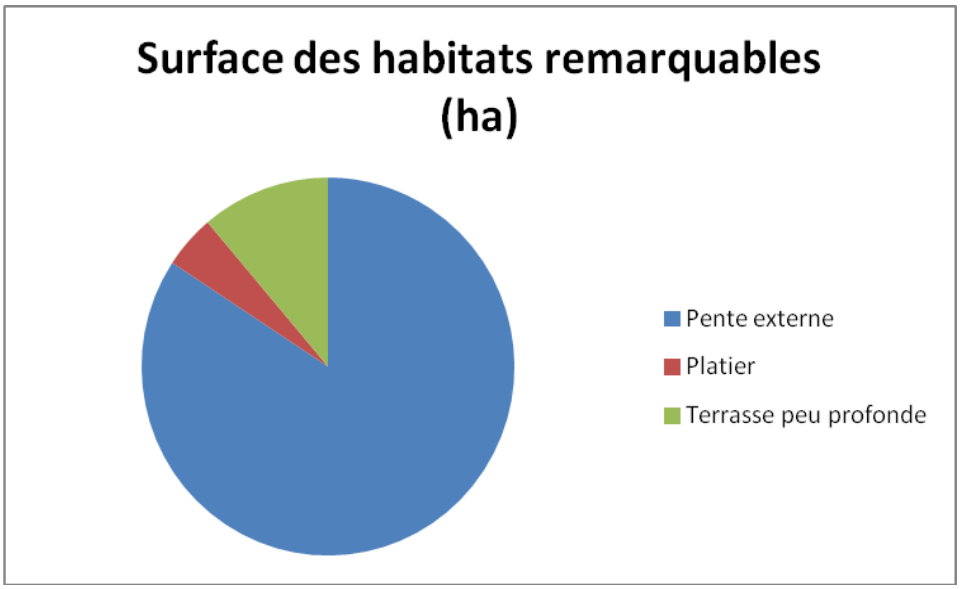
Nous avons mis en évidence **21 habitats remarquables** parmi les 43 cartographiés (*cf.* Figure 14). Ils représentent **1 408 ha**, soit :

- **30,4%** de la surface totale de l'île (*cf*. Figure 13)
- 53,5% de la surface totale des habitats (mangrove comprise)
- 76,7% de la surface totale des habitats (sans la mangrove)

La surface que représentent les habitats remarquables par rapport aux unités géomorphologiques de Niveau 4 est illustrée dans le tableau 11 et dans la figure 13.

Unité géomorphologique de N4	Surface des habitats remarquables (ha)	Surface des habitats (ha)
Pente externe	385,25	524,8
Platier	20,9	576,7
Terrasse peu profonde	51,12	569,03
Terre émergée (Mangrove, plages et récifs fossiles)	937,15	937,15

Tableau 11 Surface des habitats remarquables des unités géomorphologiques de niveau 4.



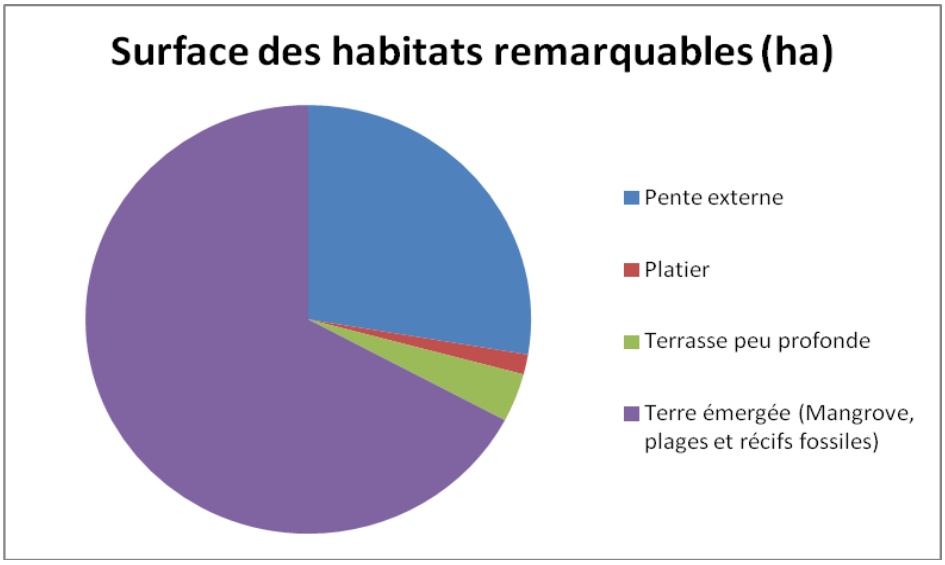


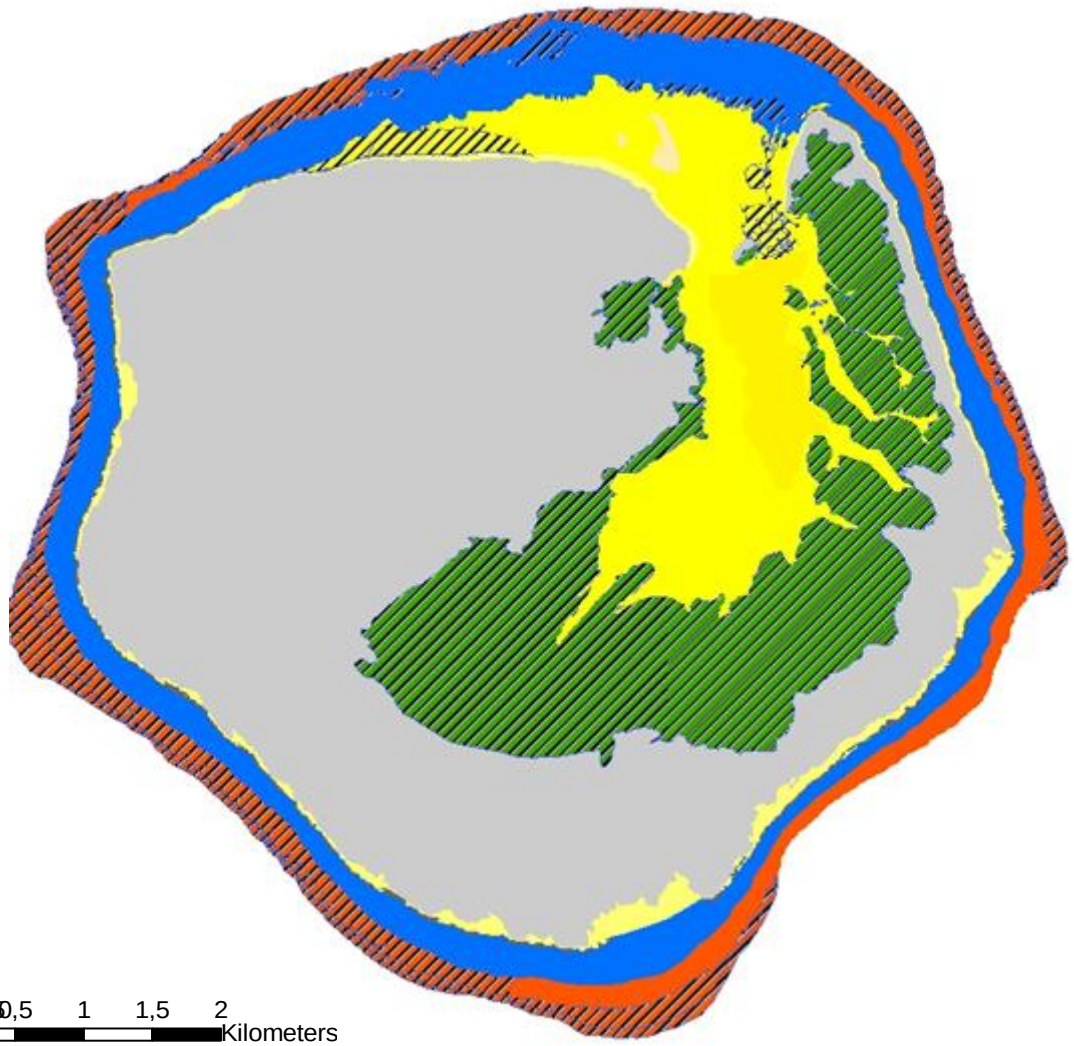
Figure 13 Part des habitats remarquables des unités géomorphologique de Niveau 4

Les pourcentages des habitats remarquables des unités géomorphologiques de niveau 4 par rapport à la surface totale des habitats remarquables sont :

- Pente externe : **27,3%**
- Platier : **1,5%**
- Terrasse peu profonde : **3,6%**
- Mangrove, plages et récifs fossiles : **66,5%**

Ces résultats mettent en évidence l'importance de la pente externe en termes d'habitats remarquables. En effet, **73,4%** des habitats de la pente externe sont remarquables, alors que seulement **3,6%** des habitats du platier et **9%** des habitats de la terrasse peu profonde le sont.

La figure 15 donne un aperçu de quelques habitats remarquables.



Pente externe

- Echine corallienne et pates coralliens à ACD, Millepora sp.,CV 30-60%
- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp. et ACS, CV 30-60%
- Eperons et sillons à Millepora sp., Pocillopora sp., ACD, CV 30-60%
- Glacis à travées coralliennes et pâtés coralliens, CV 30-60%
- Plateforme arasée à Pocillopora sp., Millepora sp., CM, ACB et Rhytisma sp., CV >60%
- Plateforme à cuvettes et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp., Porites sp., CV >60%
- Plateforme à sillons à ACB, Montipora sp., CV >60%
- Tombant

Platier

- Dalle du platier à colonies coralliennes denses, CV 30-60%
- Platier à microatolls de porites sp. et cuvettes sableuses, CV 30-60%
- Platier à microatolls de porites sp., CV 10-30%

Terrasse peu profonde

- Colonies coralliennes d'ACB ras morts et tâches de fungia, CV 50-100%
- Colonies coralliennes mortes, CV <5%
- Colonies coralliennes, CV 10-30%
- Colonies coralliennes, CV 30-60%
- Colonies coralliennes, CV > 60%
- Microatolls de porites sp., CV 30-60%
- Microatolls et tâche denses de Fungia sp avec ACB. (CV 30-100%)

Terre émergeé

- Mangrove
- Plage
- Récif fossile

Figure 14 Cartographie des habitats remarquables.

IFRECOR – MNHN - PARETO écoconsult- IRD- TAAF	Echelle : 1/40 000 Europa Cartographie des habitats remarquables	*Réalisation Mars-Août 2012* *Système de coordonnées Lon-Lat* *WGS84*	

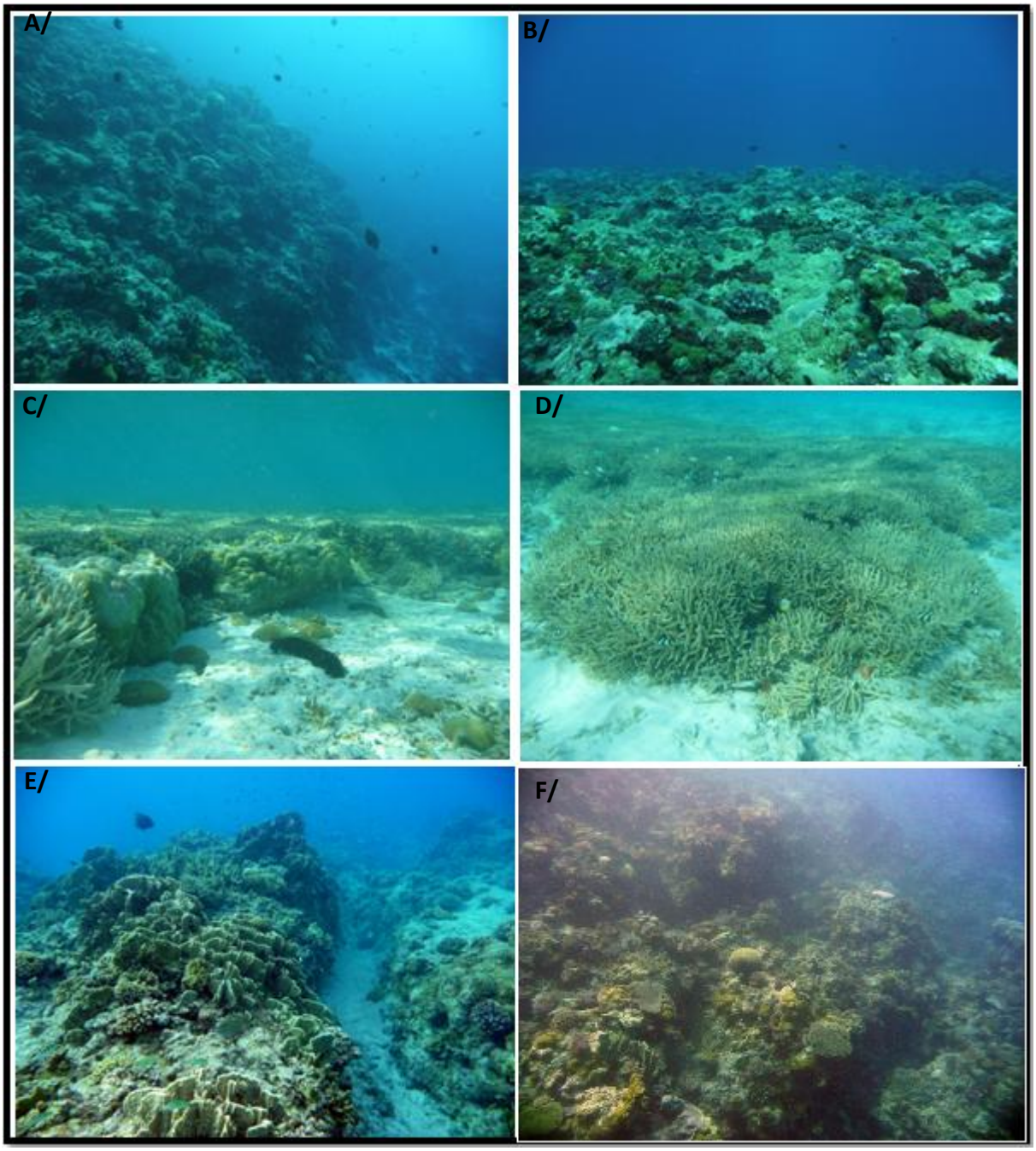


Figure 15.Exemples d'habitats remarquables : A/Tombant, B/Plateforme arasée à *Pocillopora sp., Millepora sp., CM, ACB et Rhytisma sp.*, CV >60%, C/Platier à microatolls et cuvettes sableuses, CV 30-60%, D/Colonies coralliennes, CV 30-60%, E/Eperons et sillons à *Millepora sp., Pocillopora sp. et ACD*, CV 30-60%, F/ Echine corallienne et pâtés coralliens à *ACD et Millepora sp.,* CV 30-60%.

V) INDICATEURS DE RESILIENCE DES RECIFS D'EUROPA AU BLANCHISSEMENT

A) DEFINITIONS

Trop souvent confondues, il est nécessaire de distinguer la résistance de la résilience (Obura & Grimsditch, 2009) :

Résilience : désigne, suite à une mortalité corallienne, la capacité de la communauté récifale à maintenir ou restaurer sa structure et sa fonction, et de rester dans une « phase » équivalente à celle d'avant la mortalité corallienne.[11]

Résistance : désigne, suite à une exposition à des températures élevées et à d'autres facteurs atténuants, la capacité des coraux à résister au blanchissement, et s'ils sont blanchis, leur capacité à survivre.[12]

B) MATERIEL ET METHODE

L'évaluation de la résilience des coraux au blanchissement sur l'île d'Europa a été opérée en suivant le protocole de Obura & Grimsditch, (2009). Cette méthode n'est pas la seule, mais elle a vocation à évaluer aisément et rapidement la résilience. Ce protocole d'évaluation de la résilience a été créé dans le but de constituer un cadre d'évaluation semi-quantitative de toutes les composantes de résilience des récifs à l'égard du changement climatique, grâce à l'estimation d'indicateurs regroupés en « compartiments clés ».

1) METHODOLOGIE ET DONNEES SOURCES

L'objectif est de collecter les données influençant la résistance et la résilience des coraux afin d'estimer le niveau de chaque indicateur (sur une échelle de 1 à 5). Ces indicateurs sont estimés selon deux approches :

- Estimation *in situ* : durant la phase de terrain, les niveaux sont inscris dans la matrice de terrain. Cette matrice est adaptée à chaque site d'application. Une échelle de 5 points (1-faible, 5-fort) est utilisée pour chaque indicateur.
- Références bibliographiques : à partir des connaissances et de la littérature, les paramètres liés à chaque indicateur sont quantifiés, puis convertis selon l'échelle de 5 points.

2) APPROCHE

Les indicateurs sont regroupés en catégories qui reflètent les composantes écologiques importantes mises en évidence par les activités de recherche dans la résilience/résistance :

- Couverture benthique : principalement en coraux durs et mous, types d'algues et substrat rencontrés
- Paramètres environnementaux et physiques favorisant résistance/résilience, en relation avec la température, courants, exposition aux houles, mais également avec la profondeur, visibilité, pente du site
- Indicateurs de résilience/résistance de communauté et population de coraux en lien avec la structure des populations (recrutement, fragmentation, classes de tailles dominantes) et l'état du corail (blanchissement, maladies, etc.)

---

[11] 'Following mortality of corals, the ability of the reef community to maintain or restore structure and function and remain in an equivalent « phase » as before the coral mortality'

[12] 'When exposed to high temperature and other mitigating factors the ability of individual corals to resist bleaching, and if bleached to survive'

- Impacts négatifs et positifs des « organismes associés » aux et sur les coraux: bioérodeurs, corallivores (*Acanthaster planci*[13]), compétiteurs, etc

- Structure des communautés de poissons, plus spécialement des herbivores : abondance et diversité des herbivores, érodeurs, etc. Ces communautés jouent un rôle important dans le contrôle des communautés benthiques

- Facteurs anthropogéniques affectant la résilience/résistance, en lien avec la qualité de l'eau (apport de nutriments dû à l'anthropisation, pollution chimique, etc.), état du substrat (pollution solide, turbidité/sédimentation, dommages physiques) et les populations de poissons (pressions de pêche, pêche destructive)

- Connectivité et parenté génétique, qui affectent la recolonisation (capacité d'ensemencement, dispersion naturelle des larves, etc.).

Ces indicateurs sont, comme dit précédemment, semi-quantitatifs pour certains et quantitatifs pour d'autres (*cf.* Figure 16) :

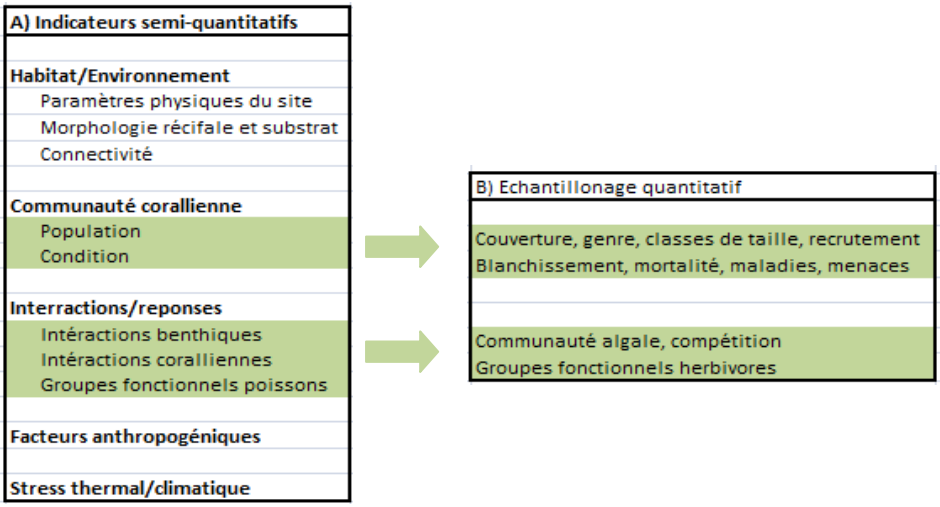


Figure 16 Indicateurs pris en compte dans l'indice de résilience

3) L'ECHELLE A 5 POINTS

Une échelle semi-quantitative allant de 1 à 5 (Obura & Grimsditch, 2009) est utilisée pour l'estimation de tous les indicateurs. Quand un indicateur peut être quantifié directement (visibilité, pente, profondeur, etc.), il est directement noté puis converti à une échelle de 5 points. Cette échelle a été sélectionnée pour faciliter l'estimation du minimum (1), maximum (5), modéré (3) pour chaque indicateur et les niveaux intermédiaires bas (2) et fort (4).

[13] *Acanthaster planci* est une espèce d'étoile de mer se nourrissant exclusivement de corail

Une description détaillée de cette échelle pour chaque indicateur est présente en Annexe 4, échelle qui doit être adaptée à chaque région/site.

4) SELECTION DES SITES

Cette étape est importante car les sites choisis doivent couvrir un large éventail de situations en termes de santé, d'habitats et de zone d'influence potentielle des facteurs pouvant provoquer le blanchissement corallien et le rétablissement de l'état des coraux. L'objectif est d'échantillonner sur deux contours de profondeur, tout en sachant que les impacts les plus importants du blanchissement ont lieu dans les eaux peu profondes (< 8m), avec dans de nombreux endroits une profondeur critique de 10-15m en dessous de laquelle la mortalité est bien moins importante.

En théorie, les sites choisis doivent être à 3-5m et 10-12m en dessous de la marée la plus basse. En pratique, et dans la plupart des récifs, les zones de plus forte couverture corallienne ne se trouvent pas à ces profondeurs exactes, des ajustements doivent donc être opérés.

Le choix du site doit prendre en compte (i) la profondeur, (ii) une diversité d'habitats (lagon, sous le vent, etc.), (iii) la connectivité et les courants, (iv) le régime de gestion en vigueur et (v) la distance aux installations humaines.

A Europa, 5 stations ont été échantillonnées : EU2, EU3, EU4, EU6, EU7.

5) TRAITEMENTS DES DONNEES

Le traitement des données se réalise en 6 niveaux :

- Niveau A1 : réalisation d'une matrice des données brutes. Dans cette matrice, nous avons 63 critères renseignés par station.
- Niveau A2 : Les données n'étant pas toutes identiques (quantitatives ou indice), les données quantitatives sont transformées en indices allant de 1 à 5 conformément aux recommandations d'Obura & Grimsditch, 2009.
- Niveau A3 : la base de données est prête pour les calculs d'indice de résilience.

Les trois dernières étapes sont illustrées ci-dessous.

LEVEL B1) Site summaries (copied from Level A3)

Order	Group	Factor	Variable	dir	type(orig)	EU2	EU3	EU4	EU7	EU6
1	1-Benthic	Coral	Hard Coral	1	quant	5	5	5	5	5
2	1-Benthic	Coral	Soft Coral	1	quant	4	3	2	4	4
3	1-Benthic	Algae	Fleshy Algae-cov	-1	quant	1	2	2	1	1
4	1-Benthic	Algae	Fleshy Algae-canopy	-1	quant	1	3	3	1	1
4	1-Benthic	Algae	Turf Algae	-1	quant	1	1	1	3	1
5	1-Benthic	Algae	CCA	1	quant	2	3	4	4	4
6	1-Benthic	Inverts	Inverts-other	1	quant	1	1	1	1	1
7	1-Benthic	Substrate	Rubble	-1	quant	1	1	1	1	1
8	1-Benthic	Substrate	Consolidation	1	5pt	4	5	5	5	4
9	1-Benthic	Substrate	Top. Compl. - micro	1	5pt	4	3	3	4	4
10	1-Benthic	Substrate	Top. Compl. - macro	1	5pt	3	2	1	4	4
11	1-Benthic	Substrate	Sediment texture	-1	5pt	1	1	1	1	1
12	1-Benthic	Substrate	Sediment layer	-1	5pt	1	1	1	1	1
12,5	1-Water	Water quality	Suspended particulate	-1	5pt	1	1	1	3	1
12,5	1-Water	Water quality	Chlorophyll/productiv	-1	5pt					
13	2-Resistance	Cooling &flushing	Temperature	-1	quant	3	3	3	3	3
14	2-Resistance	Cooling &flushing	Currents	1	5pt	2	2	2	2	2
15	2-Resistance	Cooling &flushing	Wave energy/ exposur	1	5pt	3	4	5	2	2
16	2-Resistance	Cooling &flushing	Deep water (30-50m)	-1	5pt	4	5	5	4	5
17	2-Resistance	Cooling &flushing	Depth of reef base	1	quant	5	5	5	5	5
18	2-Resistance	Shade & screen	Depth	1	quant	3	3	2	1	2
19	2-Resistance	Shade & screen	Visibility (m)	-1	quant	5	5	5	5	5
20	2-Resistance	Shade & screen	Compass direction/ a	1	nomin	4	4	4	4	4
21	2-Resistance	Shade & screen	Slope (degrees)	1	quant	1	5	5	5	5
22	2-Resistance	Shade & screen	Physical shading	1	5pt	3	2	2	3	3
23	2-Resistance	Shade & screen	Canopy corals	1	5pt	3	2	2	3	3
24	2-Resistance	Extremes & Acclimatizatic	Exposed low tide	1	5pt	1	1	1	1	1
25	2-Resistance	Extremes & Acclimatizatic	Ponding/pooling	1	5pt	1	1	1	1	1
26	2-Resistance	Extremes & Acclimatizatic	Temp-var	1	5pt	1	1	1	1	1
27	2-Resistance	Extremes & Acclimatizatic	Survival of past bleacl	1	5pt	3	3	3	3	3
28	3-Coral Conditic	Current	Bleaching	-1	5pt	1	1	1	1	1
29	3-Coral Conditic	Current	Mortality-recent	-1	5pt	1	1	1	1	1
30	3-Coral Conditic	Current	Coral disease	-1	5pt	1	1	1	1	1
31	3-Coral Conditic	Historic	Mortality-old	1	5pt	1	1	1	1	1
32	3-Coral Conditic	Historic	Recovery-old	1	5pt	5	5	5	5	5
33	4-Coral Populat	Coral	Recruitment	1	5pt	1	1	1	1	1
34	4-Coral Populat	Coral	Fragmentation	-1	5pt	3	3	3	3	3
35	4-Coral Populat	Coral	Dominant size class	1	5pt	4	3	3	4	3
36	4-Coral Populat	Coral	Largest corals	1	quant	3	3	3	4	3
37	5-Coral associa	Positive	Obligate feeders	1	5pt	2	2	2	2	2
38	5-Coral associa	Positive	Branching residents	1	5pt	2	2	2	2	2
39	5-Coral associa	Negative	Competitors	-1	5pt	2	2	2	2	2
40	5-Coral associa	Negative	Bioeroders (external)	-1	5pt	2	2	2	2	2
41	5-Coral associa	Negative	Bioeroders (internal)	-1	5pt	2	2	2	2	2
42	5-Coral associa	Negative	Corallivores (negative	-1	5pt	1	1	1	1	1
43	6-Fish groups	Herbivory	Herbivores	1	5pt	4	4	4	4	4
44	6-Fish groups	Herbivory	Excavators	1	5pt	1	1	1	1	1
45	6-Fish groups	Herbivory	Scrapers	1	5pt	2	2	2	3	3
46	6-Fish groups	Herbivory	Grazers/ Browzers	1	5pt	4	5	5	4	1
47	6-Fish groups	Fishing	Piscivores	1	5pt	5	5	5	5	5
48	7-Connectivity	Connectivity	Self-seeding	1	5pt	5	5	5	4	5
49	7-Connectivity	Connectivity	Local seeding (10 km)	1	5pt	1	1	1	1	1
50	7-Connectivity	Connectivity	Distant seeding (100)	1	5pt	1	1	1	1	1
51	7-Connectivity	Connectivity	Currents	1	5pt	2	2	2	2	2
52	7-Connectivity	Connectivity	Dispersal barrier	-1	5pt	1	1	1	1	1
53	8-Anthropogeni	Water	Nutrient input	-1	5pt	1	1	1	1	1
54	8-Anthropogeni	Water	Pollution (chemical)	-1	5pt	1	1	1	1	1
55	8-Anthropogeni	Substrate	Pollution (solid)	-1	5pt	1	1	1	1	1
56	8-Anthropogeni	Substrate	Turbidity/Sedimentatic	-1	5pt	1	1	1	1	1
57	8-Anthropogeni	Substrate	Physical damage	-1	5pt	1	1	1	1	1
58	8-Anthropogeni	Fishing	Fishing pressure	-1	5pt	1	1	1	1	1
59	8-Anthropogeni	Fishing	Destructive fishing	-1	5pt	1	1	1	1	1
60	8-Anthropogeni	Connectivity	Dispersal barrier	-1	5pt	1	1	1	1	1
61	8-Anthropogeni	Management	MPA/biodiv	1	5pt	5	5	5	5	5
62	8-Anthropogeni	Management	Resources	1	5pt	5	5	5	5	5
63	8-Anthropogeni	Management	Environment/ ICZM	1	5pt	5	5	5	5	5
0	9-Coral diversity	Diversity	Genera	1	quant					
0	9-Coral diversity	Diversity	Dominance	1	quant					
0	9-Coral diversity	Diversity	Common	1	quant					

Pour chaque groupe (Coral, Habitat (=benthic), Resistance, Coral associates, Fish groups, Connectivity et Anthropogenic), une moyenne par station des différents facteurs est calculée.
Les indicateurs de résilience agrégés sont ensuite déterminés en calculant pour l'échelle 1-5 la moyenne des moyennes des facteurs.
Exemple pour EU2 :
Groupe Resistance
Facteur Cooling&Flushing
Moyenne (Temperature, courants, énergie hydrodynamique) = 3,0

Level B2) Aggregate Resilience Indicators, by Site

Group	Factor	EU2	EU3	EU4	EU7	EU6
3-Coral Coral	Current	3,7	3,7	3,8	4,0	3,8
	Historic					
1-Habitat	Algae	5,3	4,3	4,3	4,7	5,3
	Substrate	4,4	4,4	4,3	4,8	4,5
	Water	5,0	5,0	5,0	3,0	5,0
2-Resistance	Cooling &flushing	3,0	3,0	3,2	2,8	2,6
	Shade & screen	2,5	2,8	2,7	2,8	3,0
	Extremes & Acclimatization	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
5-Coral associates	Negative	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
	Positive	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
6-Fish groups	Herbivory	2,8	3,0	3,0	3,0	2,3
	Predators	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
7-Connectivity	Connectivity	2,8	2,8	2,8	2,6	2,8
8-Anthropogenic	Negative	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	Management	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Grand Total	(scale 15-75)	52	51	51	50	52
	(scale 1-5)	3,7	3,7	3,7	3,6	3,7

1) Pour chacun des 6 groupes, une moyenne de tous les facteurs présents dans le groupe est calculée.
2) L'indice de résilience global par site est ensuite déterminé en calculant la moyenne des valeurs associées aux 6 groupes.

Level B3) Overall Resilience Indicators, by Site

level 5 - Overall resilience factor groups		EU2	EU3	EU4	EU7	EU6
1-Coral	3	3,67	3,67	3,78	4,00	3,78
2-Habitat	1	4,90	4,57	4,53	4,14	4,94
3-Resistance	2	2,17	2,28	2,29	2,21	2,20
4-Interactions	4	3,50	3,56	3,56	3,56	3,38
5-Connectivity	5	2,80	2,80	2,80	2,60	2,80
6-Anthropogenic	6	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
SRI - Overal Site Resilience Index	Echelle 6-30	**22,04**	**21,88**	**21,96**	**21,51**	**22,10**
	Echelle 1-5	**3,67**	**3,65**	**3,66**	**3,59**	**3,68**

C) RESULTATS

Nous constatons que les indices de résilience des 5 stations sont assez similaires, autour d'une valeur de 3,7. Cette valeur témoigne de la bonne capacité de résilience des récifs coralliens à Europa (sur une échelle de 1 à 5).

En raisonnant à une échelle locale (Europa), nous aurions pu nous attendre à une résilience plus importante, étant donné que la diversité d'habitat est supérieure au Nord de l'île. Ce n'est pas le cas, comme en témoigne la station EU7.

Nous pouvons cependant comparer la part que représentent les différents indicateurs pour chaque station (*cf.* figure 17).

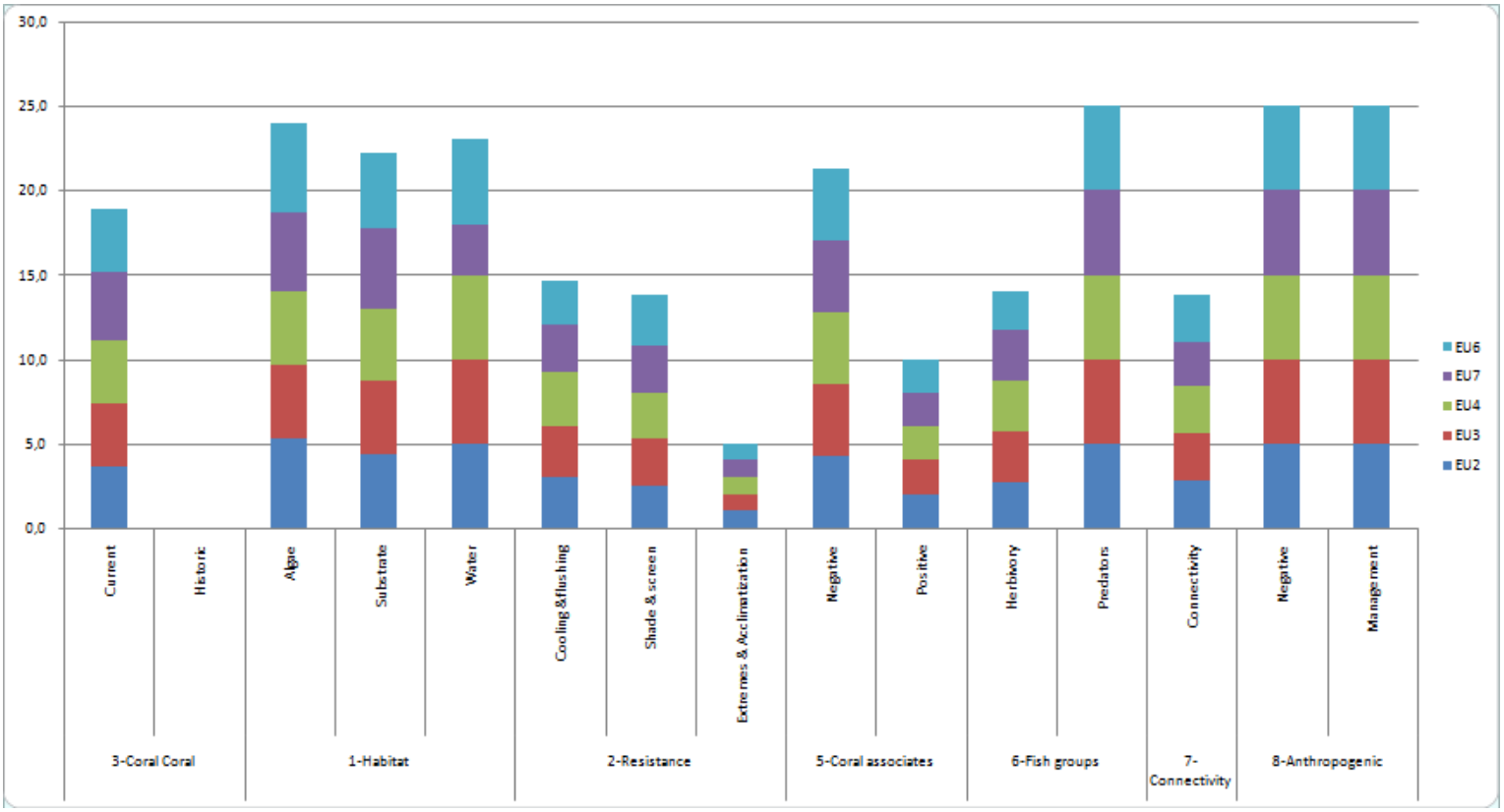


Figure 17 Part des indicateurs de résilience par station échantillonnée.

Globalement pour toutes les stations, la valeur des indicateurs est identique. Même s'il existe des différences nettes entre le Nord et le Sud en termes de nombre d'habitats et d'exposition aux houles, les indices de résiliences sont bons sur toutes les stations. Ceci s'explique par le faible taux d'anthropisation de l'île, sa faible exposition aux facteurs anthropogéniques et son état extrêmement préservé.

L'utilisation d'un index résilience allant de 1 à 5, nous permet d'évaluer facilement la résilience relative des différents récifs. En outre, en examinant les valeurs des facteurs de résilience et des variables sous-jacentes, nous pouvons définir des zones de conservation prioritaires, où la résilience des récifs est faible par exemple. Disposer de tels résultats nous permet également d'avoir un aperçu complet des menaces. Ainsi, un

gestionnaire peut prendre les mesures adaptées. Par exemple, la pêche peut être restreinte à certains groupes de poissons de manière à conserver les espèces herbivores, espèces clés dans le mécanisme de résilience.

Il serait intéressant d'étudier dans des zones plus fortement anthropisées si la diversité des habitats marins permet d'expliquer ou non un indice de résilience élevé. Dans le cas d'Europa, diversité des habitats et indice de résilience ne semblent pas corrélés.

Une comparaison des indices de résilience avec les autres îles Eparses du canal du Mozambique serait pertinente, cela pourrait expliquer les gradients d'espèces observés.

VI) DEFINITION DES ZONES DE CONSERVATION PRIORITAIRES

A) APPROCHE DE ANDREFÖUET ET AL.,2012 : ATOLL DE BAA (REPUBLIQUE DES MALDIVES)

Diverses études ont permis de définir des zones de conservation prioritaires à des échelles différentes. Parmi elles, un travail réalisé sur l'Atoll de Baa aux Maldives par Andréfouët et al., 2011, utilise une approche différente de celle que nous avons suivie pour définir des zones de conservation.

Face à la multiplication des AMP aux Maldives ces dernières années (de 15 en 1999 à 29 en 2009), le gouvernement des Maldives a décidé de se concentrer sur la mise en place raisonnée de telles aires. La plupart des AMP créées le sont davantage en raison de la popularité des sites de plongées que des spécificités réelles du site. Il apparaissait donc nécessaire de revoir la stratégie de leur mise en place. Pour cela Baa a été désigné comme atoll test pour la conduite de ce projet.

Une importante collecte de données s'est alors déroulée en 2010 : coraux (L. Bigot), poissons (P. Chabannet), macrophytes (C. Payri), hydrozoaires (N. Gravier-Bonnet et C. Bourmaud) et cartographie des habitats (S. Andréfouët).

31 sites ont été étudiés, pour chacun d'eux l'objectif était de fournir une liste d'espèces des 5 groupes cités ci-dessus. Sur les 31 sites échantillonnés, seuls 18 ont pu bénéficier des listes de ces 5 groupes.

Les photographies satellites utilisées sont de type Quickbird (2,4m de résolution) et Landsat (30m de résolution). La cartographie des habitats à partir de l'image Landsat fournit 16 classes d'habitat, tandis que celle avec Quickbird en fournit 106. Chaque carte contient les informations suivantes : géomorphologie, communauté benthique et structure.

Pour créer une carte de la biodiversité de l'atoll, les données biologiques et la carte d'habitats ont été combinées. Une liste d'espèces par habitat a été générée.

L'atoll de Baa a ensuite été cadrillé sur une grille de 1 km². Pour chaque cellule nous avons :

- Une liste des habitats présents
- La richesse des habitats
- Une liste d'espèces, issue de la compilation des espèces de l'habitat.

Il est supposé que des habitats similaires dans des zones différentes de l'atoll sont constitués des mêmes assemblages d'espèces, et ont donc la même biodiversité. Une carte de la richesse spécifique a été générée.

Selon le type d'image, le nombre de cellules renseignées avec des espèces n'est pas le même. Pour l'image Landsat, 97% des cellules ont des informations relatives aux espèces. Pour l'image Quickbird (plus précise), seulement 38% des cellules ont ces informations.

De manière à sélectionner les unités de conservation, une représentation de chaque espèce au moins un certain nombre de fois *x* dans le réseau proposé, tout en minimisant le nombre de cellules sélectionnées, a été faite. Pour évaluer la sensibilité des scénarii aux objectifs de représentation, il a été choisi de générer des solutions pour trois seuils de représentation différents. En d'autres termes, si x=1, ils ont cherché au moins une représentation de chacune des espèces dans le réseau. Cette étape a été réalisée pour x=1, 5 et 10.

Le logiciel ConsNet a ensuite été utilisé pour proposer les meilleures solutions pour la planification du réseau d'AMP à partir des cartes de richesse spécifique. L'algorithme a aisément atteint les objectifs de conservation fixés. Plusieurs solutions sont générées suivant que l'on considère d'inclure toutes les espèces enregistrées au moins une fois dans le réseau (x=1), au moins 5 fois (x=5) ou au moins 10 fois (x=10).

B) APPROCHE AVEC LE LOGICIEL MARXAN

L'utilisation d'outils de modélisation est possible pour planifier la mise en place d'AMP tel le logicielMARXAN.

Ce logiciel est un produit développé pendant la thèse d'I. Ball (2000) à l'Université d'Adelaïde. Il est internationalement reconnu et permet (i) d'identifier les zones qui répondent efficacement aux objectifs de toute une gamme de caractéristiques de la biodiversité pour un coût minime, (ii) d'utiliser le principe de la complémentarité pour sélectionner les unités de planification qui complètent le réseau de conservation (le tout est plus que la somme de ses parties), (iii)d' inclure les données des processus écologiques, menaces et conditions, (iv) d'identifier les compromis entre la conservation et les objectifs socio-économiques, et (v) de générer un certain nombre de solutions adaptées (Source : site internet Marxan).

Ce logiciel est utilisé pour promouvoir la création d'AMP et d'aires terrestres protégées dans le monde entier.

Une étude portant sur la façade ouest de Madagascar (Allnutt et al., 2012) compare différentes approches pour proposer la position d'AMP. Parmi ces approches, MARXAN est utilisé.

Pour ce faire, trois types de données ont été collectés :

- **Pression de pêche :** correspondant à une combinaison de données relatives aux captures mondiales de pêche, de données de capture des thons à la senne et de données des pêcheries côtières.
- **Exposition aux stress thermal :** à partir des données de Lagabrielle et al., 2009.
- **Biodiversité :** données de distribution spatiale de 4 caractéristiques de biodiversité : biorégions, récifs coralliens, mangroves et distribution des espèces de poissons.

Une analyse MARXAN a ensuite été menée sur ce jeu de données. Le principe général est d'attribuer le pourcentage de conservation que nous voulons en fonction des différentes caractéristiques d'entrées (biodiversité, pêche et exposition). Ainsi différents scénarii d'AMP sont possibles. Pour Madagascar, Les objectifs quantitatifs pour les sous-régions et les habitats ont été fixés à 30% de chacun.

Ceci signifie qu'au moins 30% de la distribution de chacun des 11 types de sous-régions, de chacun des 28 types géomorphologique de récifs et des mangroves doivent être inclus dans le résultat de l'analyse Marxan.

Les résultats de Marxan peuvent être présentés sous forme cartographique facilitant l'interprétation, mais aussi permettant de les comparer aux résultats obtenus par les experts. Marxan fournit plusieurs types de résultats dont la fréquence de sélection et la meilleure solution sont les plus communément utilisées.

- *La fréquence de sélection* montre combien de fois les unités de planification[14] ont été sélectionnées au cours des itérations menant à l'identification des réseaux des aires prioritaires. Une valeur comprise entre 0 et 1 est assignée à chaque unité de planification.

- *La meilleure solution* correspond au résultat le plus efficient, c'est-a-dire celui ayant le niveau de contrainte le plus faible correspondant ici aux unités où les menaces anthropiques sont les plus faibles.

- Il est également possible d'additionner les fréquences de sélection des unités de planification qui ont les plus grandes valeurs jusqu'à ce qu'on atteigne l'objectif de surface de conservation. Cette analyse a permis d'obtenir une carte de ces sites les plus irremplaçables qui couvrent 30% des sous-régions côtières de WIOMER (Western Indian Ocean EcoRegion).

C) APPLICATION AU CAS D'EUROPA

Dans notre cas, il n'a pas été possible d'utiliser la méthode d'Andréfouët et al., 2012, La taille d'Europa (30 km²) est bien plus faible que Baa (1 126,95 km^2) et la stratégie de conservation n'est pas la même. Nous ne pouvons pas classer uniquement une petite partie d'Europa. De plus, le jeu de données « biodiversité » n'est pas identique. Dans le cas de Baa, le jeu de données est unique au monde. Pour toutes les stations échantillonnées, nous disposons des listes d'espèces de poissons, de macrophytes, de coraux, et de macroinvertébrés, ainsi que de la carte des habitats.

Pour Europa, le jeu de données est tout autre : le choix des stations d'échantillonnage s'est fait indépendamment pour chaque taxon, ainsi pour une station donnée. Nous ne disposons pas de toutes les listes d'espèces, nous ne pouvons donc pas appliquer cette méthode.

Pour finir, la méthode appliquée à Baa ne prend pas en compte l'intégralité des informations, par exemple, sur un estran sableux, la biodiversité semble faible, mais elle peut constituer une zone d'alimentation pour les oiseaux de par la présence de nombreux vers annélides.

Concernant MARXAN, appliquer une telle méthode à Europa serait peu pertinent, en effet MARXAN s'utilise davantage pour des surfaces importantes et ne saurait prédire les « meilleures solutions » d'implantation d'AMP à Europa. De plus l'utilisation de MARXAN est en partie fondée sur les activités socioéconomiques de la zone en question (ce qui n'est pas le cas pour Europa) et l'objectif est de maximiser le nombre d'habitats dans la surface considérée tout en essayant de limiter l'impact d'une mise en réserve sur les activités socioéconomiques.

Cependant, si l'on raisonne à l'échelle des îles Eparses, une approche de ce type pourrait être plus pertinente.

L'objectif dans notre cas est de classer intégralement Europa et pas uniquement certaines zones.

[14] Pour réaliser les analyses avec Marxan, la zone a été divisée en unités de planification de 5 km^2, ce qui correspond à un total d'environ 24 600 unités pour la côte ouest malgache.

VII) OPTIONS DE CONSERVATION

Les options de conservations découlent des différents programmes scientifiques en cours ou terminés. L'objectif pour les gestionnaires est désormais d'exploiter les résultats de ces programmes de manière à mettre en place des actions de conservation.

A) VALORISATION DES DONNEES EXISTANTES

Un programme tel que BIORECIE fournit une importante quantité de données : liste d'espèces par station, abondance, biomasse, habitats marins, résilience, etc. L'objectif est désormais de pouvoir valoriser ces données à l'aide d'un outil de bancarisation, de manière à les synthétiser et à les rendre aisément exploitables par les gestionnaires : ici les TAAF.

Plusieurs outils sont disponibles (COREMO, CardObs, etc.), cependant peu d'entre eux utilisent des référentiels nationaux et correspondent aux attentes des gestionnaires.

CardObs (Carnet d'Observation) nous apparaît comme étant l'outil le plus approprié pour la bancarisation de ces données. Il s'agit d'un outil de saisie en ligne mis en place par le Muséum national d'Histoire naturelle dans le cadre de l'INPN (Inventaire National du Patrimoine Naturel). Il a l'avantage de pouvoir améliorer la qualité des données collectées, de dynamiser la récolte et la saisie des observations, de faciliter et de gérer l'accès aux données (profils utilisateurs avec des droits différents), d'homogénéiser les observations, mais surtout de mettre à disposition des partenaires un outil qu'ils n'ont pas les moyens financiers et humains de construire. Il garantit également une sécurité pour les données bancarisées.

Un des principaux avantages de CardObs est qu'il utilise pour les espèces le référentiel taxonomique national TAXREF. Ce dernier a pour but de lister et d'organiser les noms scientifiques de l'ensemble des organismes vivants recensés en France métropolitaine et outre-mer (Gargominy et al. 2012). Cet outil a été essentiellement mis en place pour les naturalistes et les scientifiques afin qu'ils mutualisent leurs données, car il est interopérables avec différentes bases de données

Dans la pratique, il suffit simplement de créer un fichier "station" contenant le nom de la station, le nom du récolteur, la date, les coordonnées géographiques, et éventuellement la profondeur/altitude, l'exposition, etc. ; et un fichier "relevés" reprenant le même nom de station, et contenant la liste des espèces observées, et le nom du déterminateur le tout dans un format normalisé.

Il suffit ensuite d'importer successivement ces deux fichiers dans CardObs qui générera automatiquement des fiches "station" et "relevés".

Dans le cas des données espèces (relevés), deux scénarii sont possibles :

- Soit l'espèce observée est déjà présente dans le référentiel taxonomique national. La correspondance entre l'espèce importée dans CardObs et TAXREF est automatiquement faite, le cd_nom (identifiant unique de TAXREF) apparaît dans la fiche espèce générée.
- Soit l'espèce n'est pas encore présente dans TAXREF. Elle sera alors ultérieurement vérifiée par un expert en taxonomie puis intégrée dans TAXREF.

Vous pouvez consulter CardObs à cette adresse : http://cardobs.mnhn.fr

Nous avons réalisé un test avec la station EU7 d'Europa (*cf.* figure 18).

A/

Station : localité et évenement de récolte | Relevés : espèces ou spécimens présents sur cette station

n° INPN : 206078 Nom (code personnel)
BIORECIE EU007

Localité Code localité

Geoportail | Google Maps | Coordonnées géographiques Calculer

Système de projection Longitude / Latitude (WGS 84)

latitude ou -22 ° 19 ' 45.9474 "
longitude ou 40 ° 21 ' 54.2874 "

Précision du point (m) 0

Commune * ILE EUROPA
n° INSEE T9001

Département s.l. T9

Région s.l.

Situation / Lieu-dit Europa

Recherche de toponyme (France métropolitaine)
contenant
Restreindre à OK

Habitat Tombant

Altitude / (-)Profondeur -13 m

Exposition N

Remarques

Evénement

Quand

Date (jj/mm/aaaa) début 08/11/2012 00:00:00 ? fin 08/11/2012 00:00:00 ? Année

Qui

Observateur/Récolteur * Chabanet

Organisme IRD

Référence bibliographique (utilisée par défaut pour les relevés)

Variables personnalisées

marée

ligne

nombre d'hameçons observés

prise MA

Photos

Ajouter une photo Choisissez un fichier Aucun fichier choisi

- P1090246.JPG

Coordonnées géographiques

Habitat : tombant

Date de prélèvement

Photo de l'habitat

B/

Station : localité et évenement de récolte | Relevés : espèces ou spécimens présents sur cette station

1 taxon terminal - 1 relevé(s)

Silene nemoralis Waldst. & Kit., 1812 (enregistré comme *Silene crassicaulis*) Dét. douteuse

Modifier l'espèce Silene crassicaulis
Espèces et infra
Tout rang taxonomique et toutes les espèces européennes

Déterminateur P.Durville
Effectif
Remarques

Dépôt du lot
Institution
Collection
Code

Référence bibliographique

Variables personnalisées

n°inpn du relevé : 677808 Sauvegarder

Ajouter une espèce ou un spécimen

Espèces et infra
Tout rang taxonomique et toutes les espèces européennes

Nom Dét. douteuse

Déterminateur Chabanet
Effectif
Remarques
Référence bibliographique
Institution de dépôt du lot
Collection de dépôt du lot
Code de dépôt du lot

Valider la taxonomie / Envoyer

Figure 18 A/ Relevé de la station EU7 ; B/ Relevé espèce sur la station EU7. Ici l'espèce est connue de TAXREF

L'utilisation de CardObs permet également de faire le lien avec l'Inventaire National du Patrimoine Naturel, système d'information sur le patrimoine naturel français terrestre et marin. Toutes les données fournies par les partenaires sont gérées, validées et diffusées par le MNHN. Ce système permet donc la mutualisation des données au niveau national, données qui étaient auparavant éparpillées dans toutes les communes, régions, départements, collectivités.

B) MISE EN PLACE DE LA BIOSECURITE

Dans l'optique de limiter l'introduction d'espèce exotique envahissante (EEE), un protocole de biosécurité a été mis récemment en place. Ces mesures ont été prises dès 2010 et se poursuivent actuellement.

Les écosystèmes des îles Eparses sont, en effet, à ce jour, relativement protégés des invasions biologiques animales et végétales. L'introduction de nouvelles espèces allochtones constitue l'une des menaces les plus importantes qui pèse sur la biodiversité de ces îles. Il est donc important que toutes les personnes qui se rendent sur ces îles soient vigilantes de manière à ne pas être un vecteur d'introduction d'espèces.

Pour ce faire, les chaussures, vêtements, contenants et matériel doivent être nettoyés de la terre et de tous les éléments exogènes qu'ils peuvent contenir : invertébrés, œufs d'invertébrés, graines ou plantes.

Les consignes avant le départ sont de :

- **Nettoyer et aspirer l'ensemble du matériel professionnel** transporté ;
- **Laver tous les vêtements et sacs en machine** avant le départ ;
- Après lavage en machine, il faut procéder à un **nettoyage minutieux des effets personnels** (vêtements, chaussures, sacs à dos, etc.) en insistant bien sur les velcros, les fonds de poche et de sac, les semelles de chaussures, les bas de pantalons, etc. Utiliser un aspirateur pour les poches et les velcros, une brosse pour les semelles, etc.

Toutes ces mesures sont à renouveler lors d'un changement d'île.

C) MISE EN PLACE D'INDICATEURS DE SUIVI

Les campagnes scientifiques telles que BIORECIE doivent permettre aux gestionnaires de ces îles d'évaluer l'état écologique des récifs. Pour ce faire, la mise en place d'indicateurs est nécessaire. De tels indicateurs sont déjà présents en Europe pour la protection des eaux douces et souterraines dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau), et plus récemment avec la DCSMM (Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin).

En effet, la DCSMM vise au bon état écologique du milieu marin d'ici 2020. Pour cela, un état initial est d'abord réalisé de manière à identifier les pressions et impacts, coût de la dégradation du milieu, valeur économique et sociale, etc. Le bon état écologique peu ainsi être défini et les objectifs environnementaux fixés (Source : Site internet Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie). Des indicateurs doivent donc être mis en place.

Nous pourrions également préconiser d'adopter la méthodologie employée pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats naturels marins à l'échelle d'un site Natura 2000. Cette méthodologie, permet en effetl'évaluation de l'état de conservation d'un habitat naturel marin en renseignant des **critères** d'évaluation à l'aide de **descripteurs** (avec des variables qualitatives ou quantitatives à « mesurer »).

Les descripteurs doivent être pertinents, simples et pragmatiques. Ils doivent décrire l'état de conservation d'un habitat naturel (Lepareur, F., 2011).

Les descripteurs utilisés pour évaluer l'état de conservation d'un habitat naturel marin à un temps donné et à l'échelle d'un site Natura 2000 incluent deux paramètres :

- la structure et la fonctionnalité de l'habitat,
- les menaces et pressions portées à l'habitat.

Cette méthodologie, bien qu'appliquée pour les habitats marins métropolitains, est pertinente dans notre cas. Les habitats d'Europa ayant été tous référencés et hiérarchisés, il est désormais possible de mettre en place cette méthode. En outre, des listes d'espèces exhaustives ont été élaborées et bientôt publiées, l'utilisation d'espèces indicatrices du bon état écologique peut également être envisagée.

D) COMPENDIUM

Suite à la campagne BIORECIE, des inventaires exhaustifs d'espèces sont et seront réalisés sur les iles Eparses. L'objectif est ensuite de les organiser en un compendium.

On désigne par compendium un document faisant le point sur la biodiversité marine réellement (actuellement) connue. Dans notre cas, il s'appliquerait aux Iles Eparses et permettrait de compiler les connaissances de ces îles. Il se présente sous la forme de listes d'espèces renseignées du collecteur, lieu de découverte entres autres.

E) RENFORCEMENT DU LIEN ENTRE LES USAGERS ET LES GESTIONNAIRES DU TERRITOIRE

Une mission sur l'île d'Europa a été réalisée les 26 et 27 juillet 2012 en avion militaire. Pendant ces deux journées nous avons pu échanger avec les militaires présents sur place depuis 45 jours. Il s'est avéré la nécessité et la volonté de renforcer les liens entre militaires et agents de la DCPN., les militaires sont en effet sensibles à la conservation de ce sanctuaire de biodiversité et sont également pour la plupart des passionnés du milieu marin. Ils sont demandeur d'acquérir une plus grande connaissance de ce milieu qu'il faut protéger.

Cela passerait par la distribution de plaquettes d'information sur l'observation des nombreuses tortues venant pondre sur les plages de l'île, mais également d'accentuer la communication relative aux missions scientifiques qui se déroulent en parallèle sur l'île. Il serait intéressant que les scientifiques venant en mission, fassent une présentation de leur projet, du protocole qu'ils vont mettre en place et également des premiers résultats de la campagne d'échantillonnage, de baguage des oiseaux par exemple. Il convient de rappeler que les militaires sont les seules personnes vivant sur l'île, il est donc primordial qu'ils soient sensibilisés aux enjeux de protection, cela permettrait ainsi de renforcer l'intérêt des militaires pour la conservation de l'île.

Cependant, ce renforcement des liens entre militaires et agents DCPN est aujourd'hui difficilement réalisable du fait de la faible fréquence de départ des agents sur les îles. Il faudrait que sur chaque rotation du Transall (au minimum une tous les 45 jours pour remplacer les militaires présents), un agent de la DCPN soit présent pour sensibiliser les nouveaux arrivants et pour faire un bilan des actions menées par les militaires qui repartent.

Il est également très important d'inclure les militaires dans les missions scientifiques car ce sont les seuls personnes pouvant assurer un suivi régulier. Pour cela il ne faut pas hésiter à leur transmettre un protocole facilement réalisable. Par exemple, sur Europa, sont présents de nombreux cabris et rats, deux espèces introduites, qui font des ravages sur la flore terrestre. Une campagne de dératisation peut être aisément menée par les militaires.

VIII) CONCLUSION

Cette étude relative à la réalisation d'une typologie des habitats marins récifaux d'Europa en format européen EUNIS avec une approche combinant la typologie Millenium, les éléments de terminologie récifale Indo-Pacifique (Battistini et al., 1975), la méthodologie EUNIS et les données issues de la vérité terrain, a permis de définir les principes et de créer une typologie en théorie utilisable par la communauté scientifique et la communauté des gestionnaires.

L'IFRECOR, à travers le TIT Biodiversité, a pour objectif d'établir pour l'ensemble des collectivités d'outre-mer l'inventaire et la distribution des espèces recensées dans les récifs coralliens ainsi que leurs habitats. Cette typologie s'inscrit pleinement dans cet objectif dans le sens où les approches biocénotique et géomorphologique ont pu être combinées et les habitats caractérisés.

La cartographie des habitats marins a également mis en évidence la richesse en habitats existante sur Europa : parmi les 71 habitats référencés, 43 ont pu être cartographiés pour une surface récifale de seulement 17 km². Parmi tous ces habitats, 21 sont dits remarquables, ce qui atteste de l'importante biodiversité d'Europa. Ce travail fait dans le cadre du TIT Biodiversité de l'IFRECOR s'inscrit également dans celui du TIT Cartographie. La carte des habitats d'Europa permet en outre d'enrichir la typologie des habitats « cartographiables » des récifs français de l'Océan Indien (un des objectifs du TIT cartographie).

Ce travail s'inscrit enfin dans les objectifs fixés par le programme BIORECIE : associer les inventaires réalisés à une base d'information géographique, élément essentiel pour l'élaboration des plans de gestion et la mise en place d'AMP. Cet objectif semble atteint pour Europa. Nous disposons en effet d'un inventaire des habitats marins, incluant les espèces de coraux, ainsi que d'une spatialisation de ces habitats sur une cartographie (les listes des autres taxons sont en cours de publication).

Les données de résilience ont permis de mettre en évidence que cet espace a une bonne réponse à l'heure actuelle aux phénomènes exceptionnels de blanchissement corallien. Ces indicateurs sont précieux permettent de mettre en place un suivi régulier à long terme. Pour Europa, les stations de résilience affichent le même indice de résilience (en moyenne 3,7/5).

L'ensemble de ces données et ce travail nous conduisent donc à appuyer le projet de classement d'Europa en Réserve Naturelle Nationale. L'intérêt écologique de ces îles est reconnu par la communauté scientifique et les gestionnaires, ce qui justifie la création de cette réserve.

A l'image du Groupement Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat (GIEC), la création récente de la plateforme Intergouvernementale pour la Biodiversité et les Services Ecosystémiques (IPBES) vient répondre à un besoin de dialogue entre scientifiques, politiques et acteurs de la société pour relever les défis de la biodiversité.

C'est dans ce cadre qu'Europa pourrait apparaître comme l'île de référence à l'échelle de l'Océan Indien pour en faire un observatoire de la biodiversité.

De plus, le site d'étude que représente Europa, et plus largement les Iles Eparses, est peu commun car dépourvu de toute anthropisation, cas rare à l'échelle mondiale. Ces îles ont une position tout à fait stratégique et essentielle : ce sont des îles tropicales dont les écosystèmes tropicaux sont étudiés de manière durable. Elles sont, en outre, très peu perturbées. Nous pouvons donc étudier un effet réserve à l'échelle globale en comparant ces écosystèmes tropicaux insulaires avec des écosystèmes tropicaux insulaires perturbés, par exemple La Réunion.

Ainsi ce site pourrait représenter un site idéal pour la mise en place d'un observatoire des changements climatiques. Pour cela il est nécessaire de mettre en place des laboratoires de recherche sur les Eparses qui pourraient accueillir des scientifiques à court à moyen terme. Ce projet serait certainement bien accueilli par la communauté scientifique, consciente des enjeux colossaux que représentent ces territoires.

L'objectif dans un futur proche serait de faire d'Europa l'île de référence en ce qui concerne l'observation des changements climatiques et de la biodiversité. Les multiples programmes en cours sur cette île vont générer une quantité de données très importante, qui pourront alimenter la plateforme IPBES de manière à mobiliser les connaissances sur la biodiversité, et donc éclairer les décisions politiques.

L'importance d'Europa à l'échelle mondiale n'est plus à démontrer. Tout comme les lagons de Nouvelle-Calédonie ou l'atoll d'Aldabra, un projet d'inscription des Iles Eparses au Patrimoine Mondial de l'UNESCO a été lancé. Ce dernier a pour objectif le développement d'une évaluation comparative régionale des sites marins potentiels du Patrimoine Mondial dans l'Océan Indien. Les Iles Eparses disposent d'un potentiel important pour satisfaire aux exigences d'une possible inscription au Patrimoine Mondial (Obura et al., 2012).

IX) REFERENCES

Allnutt, T. F., McClanahan, T. R., Andréfouët, S., Baker, M., Lagabrielle, E., McClennen, C., Rakotomanjaka, A. J. M., et al. (2012). Comparison of marine spatial planning methods in madagascar demonstrates value of alternative approaches. *PloS one*, *7*(2),

Andréfouët, S., Chagnaud, N., Cauvin, C., & Kranenburg, C. J. (2008). *Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer, Centre IRD de Nouméa, Décembre 2008* (p. 153).

Andréfouët, S., & Dirberg, G. (2005). *Cartographie et inventaire du système récifal de Wallis, Futuna et Alofi par imagerie staellitaire Landsat 7 ETM+ et orthophotographies aériennes à haute résolution spatiale*.

Andréfouët, S., Kramer, P., Torres-Pulliza, D., Joyce, K. E., Hochberg, E. J., Garza-Pérez, R., Mumby, P. J., et al. (2003). Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Remote Sensing of Environment*, *88*(1-2), 128-143.

Andréfouët, S., Muller-karger, F., Robinson, J. A., Christine, J., Torres-pulliza, D., Spraggins, S. A., & Murch, B. (2006). Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications : a view from space. *Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa, June 2004. Plenary invited paper.* (pp. 1732-1745).

Battistini, R. (1966). La morphologie de l'île d'Europa. Mission scientifique à l'île d'Europa.L.R. Paris,. *Editions du Muséum*, *91*, 7-18.

Battistini, R., Bourrouilh, F., Chevalier, J. P., Coudray, J., Denizot, M., Faure, G., Fisher, J. C., et al. (1975). Éléments de terminologie recifale indopacifique. *Téthys*, *7*(1), 1-111.

Bouchon, C., & Faure, G. (1979). Aperçu sur les peuplements à base de Scléractiniaires du récif de l'île de Tromelin (océan indien). *Cahiers de l'Indo-Pacifique*, *1*(1), 25-37

Bour W., Nosmas P., Joannot P., **1990** – « Établissement d'un indice "Madrépores vivants", ou indice corallien, par télédétection pour la cartographie bionomique récifale ». *"Pix' Iles 90" Nouméa - Tahiti Proc*. 247-253.

Bourjea, J. (2006). *Rapport de mission Europa*.

Cabane, F. (2012). Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral, Version 24, mise à jour avril 2012, p.342

Caceres, S. (2003). *Etude préalable pour le classement en Réserve Naturelle des Iles Eparses*, Mémoire de DESS Science et gestion de l'Environnement Tropical, Univ Réunion.

Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition*.

Clua, E., Legendre, P., Vigliola, L., Magron, F., Kulbicki, M., Sarramegna, S., Labrosse, P., et al. (2006). Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *333*(2), 219-230.

Conseil d'état. (2004). Directive habitat faune flore, 1-57.

DYNECO/AG/07-21/JP-Ifremer, R.-. (2008). *Projet MESH. Guide de cartographie des habitats marins.* (p. 74).

Dahl, A. L. (1981). *Coral reef monitoring handbook. South Pacific Commission Publications Bureau: New Caledonia*.

Dautzenberg, P. (1895). Liste des mollusques marins provenant des Iles Glorieuses. *Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest France*, 99-121.

Dauvin, J.-C., Bellan, G., & Bellan-santini, D. (2008). The need for clear and comparable terminology in benthic ecology . Part I . Ecological concepts. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *18*, 432-445. doi:10.1002/aqc

Davies, C. E., Moss, D., & Hill, M. O. (2004). EUNIS HABITAT CLASSIFICATION REVISED 2004, (October).

Derijard, R. (1966). Note préliminaire sur les Crustacés Stomatopodes et Décapodes récoltés à l'île d'Europa du 6 au 24 avril 1964. *Mém. Mus. Nat. Hist Nat*, *16*, 159-180.

Dutrieux, E., Canovas, S., Denis, J., Hénocque, Y., Quod, J. P., & Bigot, L. (2000). *Guide méthodologique pour l'élaboration de cartes de vulnérabilité des zones côtières de l'océan indien. Réalisé par Créocéan, Ifremer et Arvam pour le compte de l'UNESCO/IOC et le PRE-COI/UE*. *IFREMER et ARVAM*.

Délépine, R., Mauge, L. A., Padovani, A., & Service Météorologique de La Réunion. (1977). *Observations écologiques et climatologiques dans les îles d'Europa, Glorieuses, Tromelin. Biologie marine et exploitation des ressources de l'océan Indien occidental. Saint Denis, La Réunion, ORSTOM.* (pp. 81-112).

Elissalde-videment, L., Horellou, Aumbert, G., & J.., M. (2004). *Guide méthodologique sur la modernisation de l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. Mise à jour 2004. Coll. patrimoines Naturels . Muséum National d'Histoire Naturelle. Paris* (p. 73).

Fourmanoir, P. (1952). Observations sur la faune marine et la pêche a l'île d'Europa. *Mémoires de l'institut scientifique de Mdagascar*, *7*(2), 167-188.

GUILLAUME, M., DOUMENC, D., & BRUGGEMANN, H. (1997). TYPOLOGIE DES ZNIEFF-MER, liste des paramètres et des biocénoses des côtes françaises des départements d'Outre-Mer. *inpn.mnhn.fr*.

Gardes, L., & Salvat, B. (2008). Les récifs coralliens de la France d'outre-mer: rétrospective des évolutions enregristrées par les réseaux de surveillance de l'état de santé des ces écosystèmes diversifiés et fragiles. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, *63*, 13-23.

Gargominy, O., Tercerie, S., Daszkiewicz, P., Régnier, C., Ramage, T., Dupont, P. & Poncet L. 2012. TAXREF v5.0, référentiel taxonomique pour la France : mise en oeuvre et diffusion. Rapport SPN 2012 – 32. 75 pp.

Glénard, Z. Analyse Ecorégionale des Iles Eparses. Unpublished

Grellier M., Andréfouët, S. et Dirberg G., 2011. Typologie des habitats récifaux du Pacifique en format EUNIS (European Nature Information System). Mémoire d'année de césure. Ecole National du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. Institut de la Recherche et du Développement, Nouméa. 87p.

Halpern, B. ., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J. F., et al. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, *319*, 948-952.

Hawkes, L., Broderick, A., Godfrey, M., & Godley, B. (2009). Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*, *7*(May), 137-154.

IUCN. (2008). *Iles Eparses*. *Biodiversité et conservation en outre-mer* (pp. 107-116).

Kostylev, V., Todd, B., Fader, G., Courtney, R., Cameron, G., & Pickrill, R. (2001). Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series*, *219*, 121-137. doi:10.3354/meps219121

Lagabrielle, E., Maina, J., Massé, L., Séré, M., & Watson, R. (2009). *Mapping anthropogenic drivers of change for biodiversity conservation planning in the Western Indian Ocean. Report prepared for: Marine Protected Area Network of the Indian Ocean Commission countries, Indian Ocean Commission Project implemented by WWF Mad* (p. 53).

Le Corre, M., & Jouventin, P. (1997). Ecological significance and conservation priorities of Europa Island (westerne Indian Ocean), with special reference to seabirds. *Terre et Vie (Revue d'écologie)*, *52*, 205-220.

Le Corre, M., & Jouventin, P. (1999). Geographical variation in the White-tailed Tropicbird Phaeton lepturus, wit the description of a new subspecies endemic to Europa Island, southern Mozambique Channel. *Ibis*, *141*, 233-239.

Le Gall, J. Y., Chateau, D., & Bosc, P. (1985). Ecologie générale. Rythme de reproduction interannuel des Tortues vertes Chelonia mydas sur les sites de ponte Tromelin et Europa (Océan indien). Présenté par Laubier. *L.C.R Académie des Sciences*, *3*(5), 195-200.

Le Gall, J. Y., Lebeau, A., & Kopp, J. (1985). Evaluation de la production de tortues vertes Chelonia mydas nouveau-nés sur les sites de ponte Europa et tromelin (Océan Indien). *Océanogr. trop.*, *20*(2), 117-133.

Les vertébrés terrestres introduits en outre-mer et leurs impacts. Guide illustré des principales espèces envahissantes. Comité français de l'IUCN, ONCFS. France. 100 pages

Lepareur F., 2011. Evaluation de l'état de conservation des habitats naturels marins à l'échelle d'un site Natura 2000 – Guide méthodologique - Version 1. Février 2011. Rapport SPN 2011 / 3, MNHN, Paris, 55 pages.

Mapping, A. N. I. and. (1987). *Department of Defense World Geodetic System 1984: its definition and relationships with local geodetic systems* (pp. 1-175).

Maurin, H., & Richard, D. (1990). Les ZNIEFF, un virage à négocier, vers un réseau d'espaces naturels à gérer. *Actes du colloque du 27 mars 1990, Coll. Patrimoines Naturels 64 vol.1-série Patrimoine écologique, Secrétariat de la Faune et de la Flore du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris,* (p. 160).

Mouquet, P., Quod, J. P., Evano, H., & Bollard, S. (2010). *Spectrhabent-OI: Cartographie des habitats benthiques littoraux et subtidaux des îles françaises de l'océan Indien à partir des données hyperspectrales.* (p. 98).

Obura, D., & Grimsditch, G. (2009). *Resilience Assessment of corals reefs - Assessment protocol for coral reefs, focusing on coral bleaching and thermal stress. IUCN working group on Climate Change and Coral Reefs. IUCN, Gland, Switzerland.* (p. 70).

Obura, D.O., Chruch, J.E. and Gabrié, C. (2012). *Assessing Marine World Heritage from an Ecosystem Perspective: The Western Indian Ocean.* Worl Heritage Centre, United Nations Educations, Science and Cultural Organization (UNESCO). 124pp.

Oraison, A. (1981). A propos du différend Franco-Malgache sur les Iles Eparses dans le Canal du Mozambique. *Revue Générale du Droit International Public (R.G.D.I.P.)*, 465-513.

Perillo, T. (2008). Les îles éparses. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, *63*, 115-117.

Quod, J. P., Barrere, A., Chabanet, P., Durville, P., Nicet, J. B., & Garnier, R. (2007). La situation des récifs coralliens des îles éparses françaises de l'océan indien. *Terre Vie*, *62*, 3-16.

Quod, J. P., Bigot, L., Severin, T., Andréfouët, S., Russo, C., Wendling, B., Chabanet, P., et al. (2003). *Connaissance et Suivi des Récifs Coralliens des îles françaises de l ' Océan Indien - Plan d'action Iles Eparses (2002-2006) Rapport intermédiaire de la Phase une (2002-2003)* (pp. 1-77).

Quod, J. P., & Garnier, R. (2004). A preliminary assessment of the coral reefs of Europa (Mozambique channel). *Reef encounter N° 32*, 23-25.

Secrétariat de la Flore et de la Flore. (1985). L'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF): dossier technique. *Secrétariat de la Faune et de la Flore du Muséum National d'Histoire Naturelle, Direction de la Protection de la Nature du ministère de l'Environnement, Paris,*, 39.

Simian, G., Auxiètre, J.-P., Doré, A., Horellou, A., Noël, P., Trouvilliez, J., & Vaudin, A.-C. (2008). *Guide méthodologique pour l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique en milieu marin. SPN-DPMA-MNHN* (p. 108).

Spalding, M., Kainuma, M., & Collins, L. (2010). *World atlas of mangroves. earths scan, London, UK* (p. 319).

Stoddart, D. R., & Johannes, R. E. (1978). Coral reefs: research methods. *Monographs on Oceanographic Methodology*, *5*, 1-572.

Valentine, P. C., Todd, B. J., & Kostylev, V. E. (2005). Classification of Marine Sublittoral Habitats , with Application to the Northeastern North America Region. *American Fisheries Society Symposium 41* (pp. 183-200).

Vergonzanne, G. (1977). *Etude sur les mollusques et les échinodermes récifaux des îles Glorieuses. Thèse Océanographie Biologie, Université de Bretagne Occidentale*.

Wilkinson, C. (2008). *Status of Coral Reefs of the World: 2008. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research centre, Townsville, Australia* (p. 296).

Sites internet

MARXAN, INFORMING CONSERVATION DECISIONS GLOBALLY. **About Marxan**. [en ligne], 2008 http://www.uq.edu.au/marxan/index.html?page=77645&p=1.1.3.1

TERRES AUSTRALES ET ANTARCTIQUES FRANCAISES. **Statut juridique des TAAF.** [en ligne], 2012 <http://www.taaf.fr/Statut-juridique-des-TAAF >

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE. **Directive cadre stratégie milieu marin.** [en ligne]., 2012. < http://www.developpement-durable.gouv.fr/objectifs,28128.html>

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION FOR NATURE. **The IUCN Red List of Threatened Species.** [en ligne], 2012. < www.iucnredlist.org >

X) TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 Localisation des îles Eparses dans le canal du Mozambique..... 11

Figure 2 Carte géomorphologique d'Europa (Battistini, 1966). 14

Figure 3 Exemple de décomposition du niveau 2 (classe A1, Roche littorale et autre substrat dur) au niveau 3 selon les critères (énergie, présence/absence d'espèces de plantes opportunistes, de caves) (Davies et al., 2004) 18

Figure 4 Principaux nœuds de la typologie Millenium. Les trois premiers niveaux sont représentés sur la figure, un bloc de niveau 4 se greffant au niveau 3 « Récif-barrière externe » du niveau 2 « Île». 19

Figure 5 Distinction des unités géomorphologiques de niveau 5 (Millenium Coral Reef Mapping Project) et de niveau 6 Battistini et al., (1975). 21

Figure 6 Carte des stations d'échantillonnage (Image Quickbird 2,4m de résolution). Les points verts sont les stations IFREMER/Kelonia, les points bleus sont les stations IFREMER/Spectrhabent et les points jaunes, les stations IRD/PARETO..... 24

Figure 7 Dendrogramme obtenu après les analyses SIMPER. Chaque jeu de couleurs représente une classe identifiée pour un taux de similarité de 70%. 26

Figure 8 Carte des stations d'échantillonnage (Image Quickbird 2,4m de résolution). 31

Figure 9 Etapes pour la cartographie des habitats marins. 34

Figure 10 Comparaison des données LIDAR et des images Quickbird (2,4m de résolution) 35

Figure 11: Cartographie des habitats marins d'Europa. Au total 43 habitats ont été cartographiés 37

Figure 12 Cartographie des couvertures coralliennes d'Europa. 38

Figure 13 Part des habitats remarquables des unités géomorphologique de Niveau 4 44

Figure 14 Cartographie des habitats remarquables. 45

Figure 15.Exemples d'habitats remarquables : A/Tombant, B/Plateforme arasée à *Pocillopora sp., Millepora sp., CM, ACB et Rhytisma sp*., CV >60%, C/Platier à microatolls et cuvettes sableuses, CV 30-60%, D/Colonies coralliennes, CV 30-60%, E/Eperons et sillons à *Millepora sp., Pocillopora sp. et ACD*, CV 30-60%, F/ Echine corallienne et pâtés coralliens à *ACD et Millepora sp.,* CV 30-60%..... 46

Figure 16 Indicateurs pris en compte dans l'indice de résilience 48

Figure 17 Part des indicateurs de résilience par station échantillonnée. 51

Figure 18 A/ Relevé de la station EU7 ; B/ Relevé espèce sur la station EU7. Ici l'espèce est connue de TAXREF 56

Tableau 1 Récapitulatif des caractéristiques géographiques des îles Eparses (Source : Site internet TAAF) 11

Tableau 2 Inventaire de la biodiversité marine d'Europa (Sources : Fourmanoir, 1952 ; Vasseur, 1972 ; Battistini et al, 1976 ; Delépine, Maugé& Padovani, 1976 ; TenHage, 2000 ; Arvam, 2002 ; Arvam, 2003 ; Arvam, 2004 ; Quod & Garnier, 2004 ; Bourjea et al, 2006 ; Quod et al., 2007 ;) 15

Tableau 3 : Espèces emblématiques (Source : Analyse écorégionale non publiée)..... 16

Tableau 4 Les dix premières classes de Niveau 1 de la classification EUNIS 17

Tableau 5 Structure de la base de données IFREMER/KELONIA 22

Tableau 6 Structure de la base de données IFREMER/ARVAM/AAMP/TAAF/ACTIMAR..... 23

Tableau 7 Matrice initiale de données d'abondance pour le test statistique « Peuplement herbier de phanérogames ». 25

Tableau 8 Matrice de similarité obtenue sous PRIMER 26

Tableau 9 Nombre d'espèces de scléractiniaires et de poissons par station..... 42

Tableau 10 Matrice de base pour mettre en évidence les habitats déterminants. 43

Tableau 11 Surface des habitats remarquables des unités géomorphologiques de niveau 4. 43

XI) ANNEXES

ANNEXE 1 : TYPOLOGIE DES HABITATS

Récif océanique
Atoll océanique
Couronne d'atoll

Etage médiolittoral

Platier

Exposition faible

Substrat dur

Platier à microatolls

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 30-60%

1) ***Porites lutea, Stylophora pistillata ; Millepora sp.***

Platier à microatolls à cuvettes sableuses

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 10-30%

2) ***Porites lutea, P.profundus, Goniastrea aspera***

Couverture corallienne 30-60%

3) ***Porites lutea***

Dalle du platier avec zone sableuses

Profondeur 0-5m

Couverture 10-30%

4) ***Acropora digité, Porites lutea***

Dalle du platier à colonies coralliennes éparses

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

5) ***Acropora sp., Goniastrea sp., Porites sp,, Stylophora sp., Favites sp.***

Dalle du platier à colonies coralliennes denses

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 30-60%

6)NA

Dalle du platier à cuvettes sableuses denses et blocs

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

7) ***Millepora sp., , Goniastrea sp. 1, Porites lutea, Pocillopora damicornis, Hydnophora microcos, Favites halicorna, Cyphastrea calchycidicum,*** **Algue rouge dressée, Algues calcaires encroutantes**

Dalle du platier à cuvettes sableuses dispersées et blocs

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

8) Platygyra sp., ***Acropora digité, Pocillopora damicornis; Porites lutea, Stylophora pistillata, Favites halicorna,*** **Goniastrea sp., Algue rouge dressée, Algues calcaires encroutantes**

Dalle du Platier arasée

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

9) Acropora digité

Couverture corallienne 10-30%

10) *Acropora digité, Millepora sp., Stylophora pistillata, Pocillopora verrucosa, P.damicornis*

Platier compact

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

11) Acropora digité ; *Porites lobata ; Stylophora pistillata, Pocillopora eydouxi ;* Algues calcaires encroutantes

Plateforme supérieur des éperons

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

12) Acropora digité et Algues calcaires encroutantes

Rainures de platier externe (=platier rainuré)

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 30-60%

13) *Acropora digité, Millepora* sp., *Stylophora pistillata, Pocillopora eydouxi*

Chenal de vidange

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne : NA

14) NA

Substrat meuble bio détritique

Epandage de débris

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne : NA

15) turf et algues calcaires encroutantes

Exposition forte

Substrat dur

Plateforme supérieur des éperons

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

16) Acropora digité et Algues calcaires encroutantes

Platier à microatolls à cuvettes sableuses

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 10-30%

17) *Porites lutea, P.profundus, Goniastrea aspera.*

Platier arasée

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 10-30%

18) *Acropora digité, Millepora sp., Stylophora pistillata, Pocillopora verrucosa, P.damicornis*

Dalle du platier à cuvettes sableuses denses et blocs

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

19) *Millepora sp., Goniastrea sp. 1, Porites lutea, Pocillopora damicornis, Hydnophora microcos, Favites halicorna, Cyphastrea calchycidicum,* Algue rouge dressée

Dalle du platier à cuvettes sableuses dispersées et blocs coralliens

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

20) Algues calcaires encroutantes, *Platygyra sp.,Acropora digité, Pocillopora damicornis; Porites lutea, Stylophora pistillata, Favites halicorna, Goniastrea sp.,* Algue rouge dressée

Récif océanique

Atoll océanique

Couronne d'atoll

Etage infralittoral

Terrasse peu profonde

Exposition faible

Substrat dur

Dalle de calcaire microkarstifiée

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

21) Hydraire, Algue brune

Dalle de calcaire microkarstifiée et Méga blocs

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

22)*Porites cylindrica*, Turf, Hydraire

Dalle recouverte d'une fine couche de sable

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

23) *Cyphastrea leptastrea; Porites lobata, P.lutea, P.cylindrica; Millepora exesa,* Algue rouge dressée

Dalle à blocs

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

24)*Millepora sp.*

Dalle arasée

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

25) *Goniastrea sp.; Porites lutea ;* Algues calcaires encroutantes, Algue rouge dressée;

Couverture corallienne 5-10%

26)*Porites lutea*

Colonies coralliennes

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 30-60%

27) *Porites lobata, P.cylindrica ; Pocillopora damicornis ; Pavona frondifera, P. decussata*

28) Acropora branchu (B)

Couverture corallienne> 60%

29) Acropora branchu (A)

Substrat meublebiodétritique

Epandage de sable et débris

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

30) NA

Epandage sableux

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

31) NA

Epandage de débris coralliens

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

32) Algues calcaires encroutantes

Microatolls

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 10-30%

33) *Porites lutea*

Couverture corallienne 30-60%

34) Porites lobata, P.lutea

35) Porites lutea, P.cylindrica

36) *Porites sp., Fungiasp.,Acropora branchu*

Microatolls et cuvette sableuses

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 10-30%

37)Porites *sp.*

Colonies coralliennes mortes

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne inférieure à 5%

38) *Porites cylindrica, P.lutea*

Herbiers de phanérogames

Profondeur 0-5m

Eparse

39) Herbier monospécifique à *Thalassia sp.*
40) Herbier monospécifique à *Halophila sp*
41) Herbier monospécifique à *Halodule sp.*
42) Herbier plurispécifique à *Thalassia sp.* et *Halodule sp.*
43) Herbier plurispécifique à *Halophila sp.* et *Halodule sp.*
44) Herbier plurispécifique à *Halophila sp.* et *Thalassia sp*

Algueraies

Profondeur 0-5m

Dense

45) Algues brunes dressées (30%)
46) Algueraies mixtes à Algues calcaires encroutantes (50%),
47) Algueraies mixtes à Algues brunes dressées (90%) et Turf (10%)

Substrat mixte : biodétritiqueet dur

Epandage sableux et bio-construit

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 10-30%

48) NA

Epandage détritique et dalle (40% Débris et 60% bio construit)

Couverture corallienne80-100%

49)*Fungia sp*

Pente externe

Exposition forte

Substrat dur

Eperons et sillons sableux

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 0-10%

50) *Acropora digité; Millepora sp.; Montipora sp.; Pocillopora verrucosa, P.eydouxi; Stylophora pistillata*

Couverture corallienne 10-30%

51) *Montipora sp.; Echinopora sp.; Millepora sp.; Acropora digité; Pocillopora eydouxi, Stylophora pistillata sp.*

Couverture corallienne 30-60%

52) *Acropora digité; Pocillopora eydouxi; Millepora sp.,Montipora sp., Echinopora sp.*

Plateforme arasée

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 5-10%

53) *Acropora sp., Millepora sp., Porites lobata, P.lutea et P. profundus*

Couverture corallienne 10-60%

54) *Montipora sp., Acropora hemprichii, Pocillopora eydouxi, Porites lutea*

Profondeur 5-10m

Couverture corallienne supérieure à 60%

55) Acropora digité; Pocillopora eydouxi ; Platygyra daedalea ; Echinopora sp. ; Millepora sp. ; Porites lutea.

Exposition moyenne

Substrat dur

Eperons et sillons sableux

Profondeur 5-10m

Couverture corallienne 30-60%

56) *Millepora sp.; Acropora* digité*; Pocillopora eydouxi; Porites lobata, P.lutea*

Contreforts et vallons

Profondeur 5-10m

Couverture corallienne 10-30%

57)*Pocillopora eydouxi*

Plateforme rainurée avec du sable et desmacrodébris dans rainures

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 30-60%

58)Acropora digité, *Stylophora sp.*

Plateforme à rugosité/habitabilité moyenne

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne 10-30%

59) Pocillopora :*P.eydouxi*, Porites : *P.lobata*, Stylophora sp., Millepora sp., Acropora digité.

Plateforme à forte rugosité/habitabilité et langue de sable

Profondeur 5-10m

Couverture corallienne 30-60%

60) *Acropora digité ;Millepora sp.; Pocillopora eydouxi ; Porites lobata ; P.lutea ; Stylophora sp*

Plateforme à cuvettes sableuses et sillons

Profondeur supérieure à 10m

Couverture corallienne c supérieure à 60%

61)Echinopora sp. ; Rhytisma sp. (5%) ; Montiporasp.;Acropora hemprichii ; Porites lobata, P.rus, P.lutea, P.profundus ; Pocillopora eydouxi, Platygyra daedala.

Contreforts et vallons

Profondeur 5-10m

Couverture corallienne 10-30%

62)*Pocillopora eydouxi*

Exposition faible

Substrat construit

Tombant vertical (hauteur supérieur à 5m)

Profondeur 0-5m

Couverture corallienne30-60%

63) *Millepora sp., Pocillopora verrucosa, P.eydouxi*

Tombant à travées détritiques et/ou sableuses (supérieur à 5m)

Profondeur 5-10m

Couverture corallienne 30-70%

64) *Millepora sp.,Platygyra sp., Porites lobata, P.profundus, P.rus, Pocillopora eydouxi, P.damicornis, Acropora spp*.

Profondeur 10-15m

Couverture corallienne 30-60%

65) *Sinularia sp., Rhytisma sp.*

Tombant à travées détritiques et/ou sableuses(hauteur inférieure à 5m)

Profondeur 10-15m

Couverture corallienne 30-60%

66) *Porites lobata, P.lutea, Pocillopora eydouxi*

Echine corallienne de Glacis (Dur 40%, S/Débris 60%)

Profondeur 10-15m

Couverture corallienne 30-60%

67) *Acropora* digité, *Millepora sp., Astreopora sp.*

Substrat biodétritique

Glacis sableux à pâtés coralliens coalescents

Profondeur 10-15m

Couverture corallienne supérieure à 60%

68) *Acropora* digite, *Acropora* branchu.*; Dendronephtyasp.; Astreoporasp.; Porites rus, P.profundus*

Profondeur supérieure à 15m

Couverture corallienne 30-60%

69)*Acropora* digité, *Astreopora sp.*

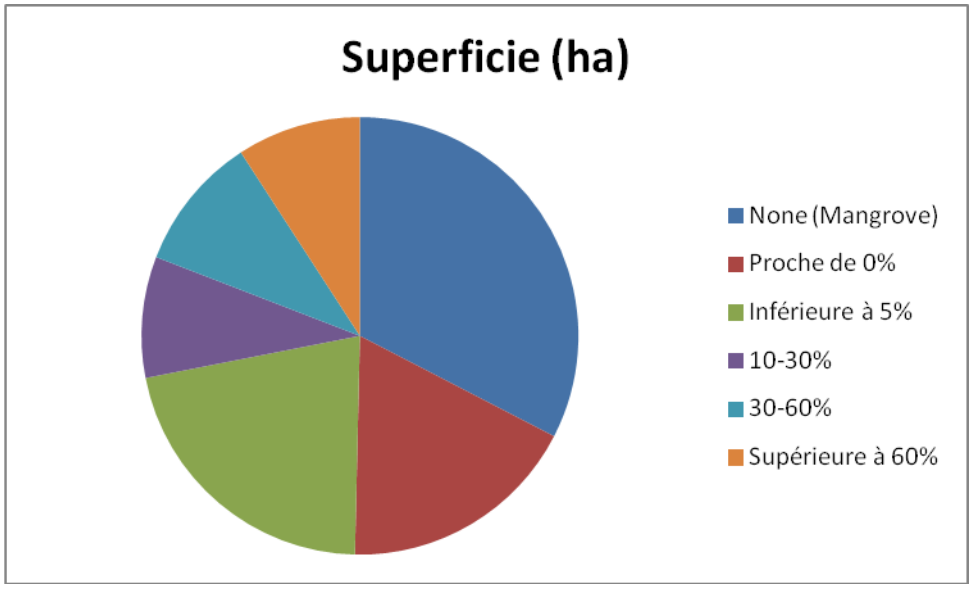
Glacis sableux à travées coralliennes

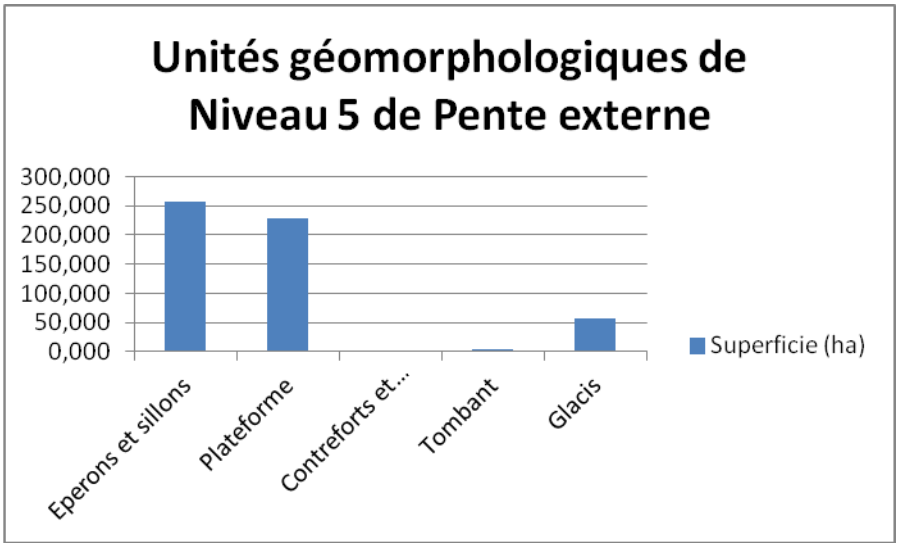
Profondeur supérieure à 15m

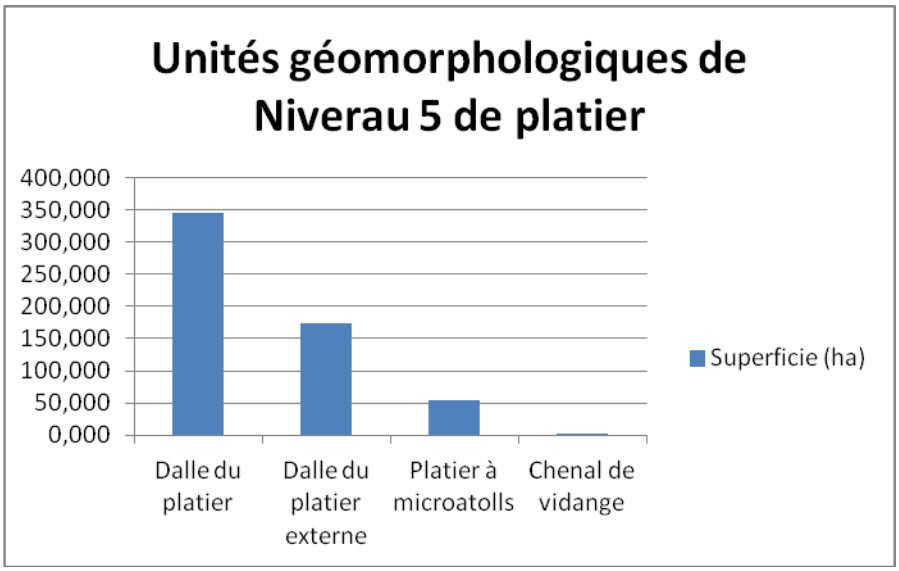
Couverture corallienne 30-60%

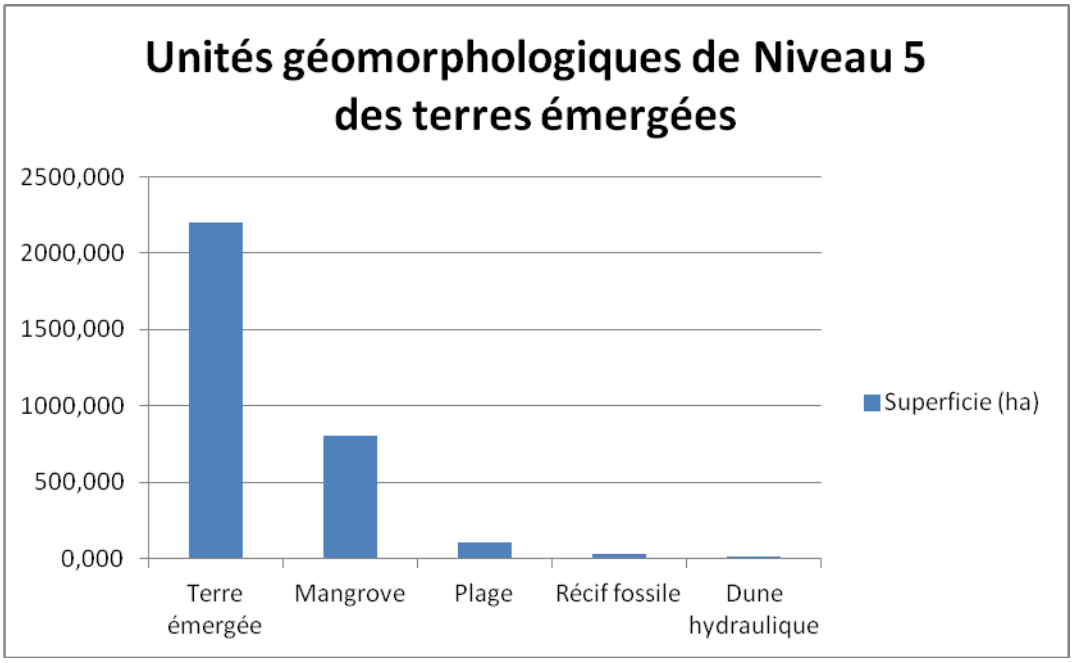
70) *Acropora* digité, *Millepora sp., Astreopora sp., Pocillopora damicornis, P.eydouxi, Porites lobata, P.lutea*

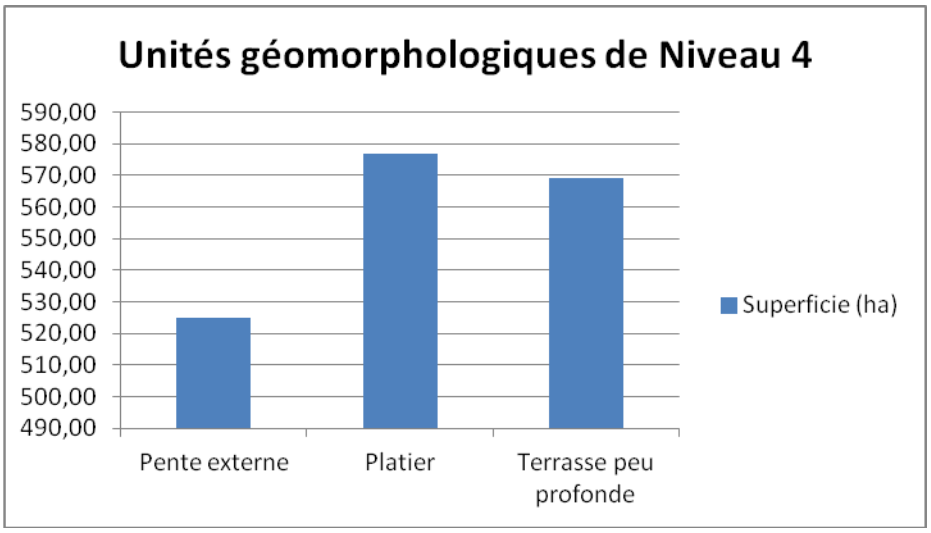
ANNEXE 2 : SUPERFICIE DES UNITES GEOMORPHOLOGIQUES ET DES COUVERTURES CORALLIENNES

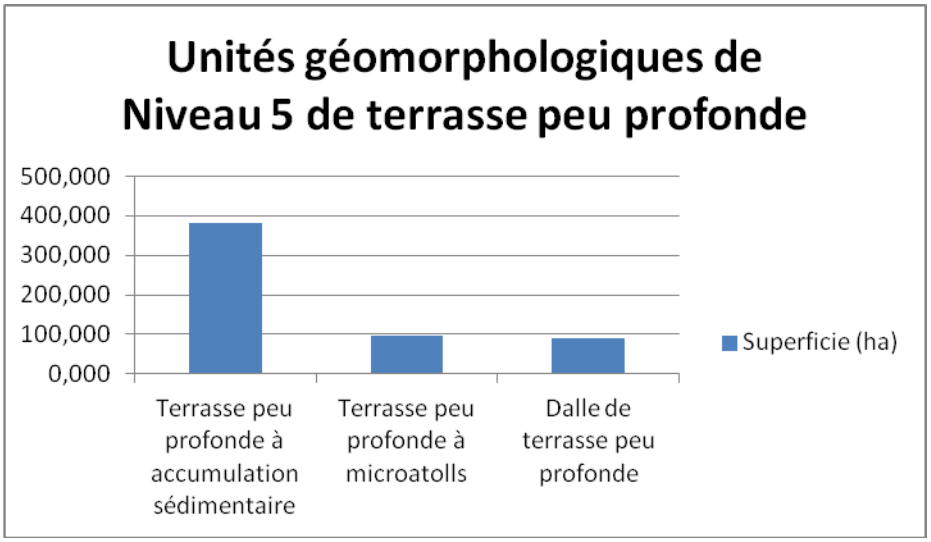




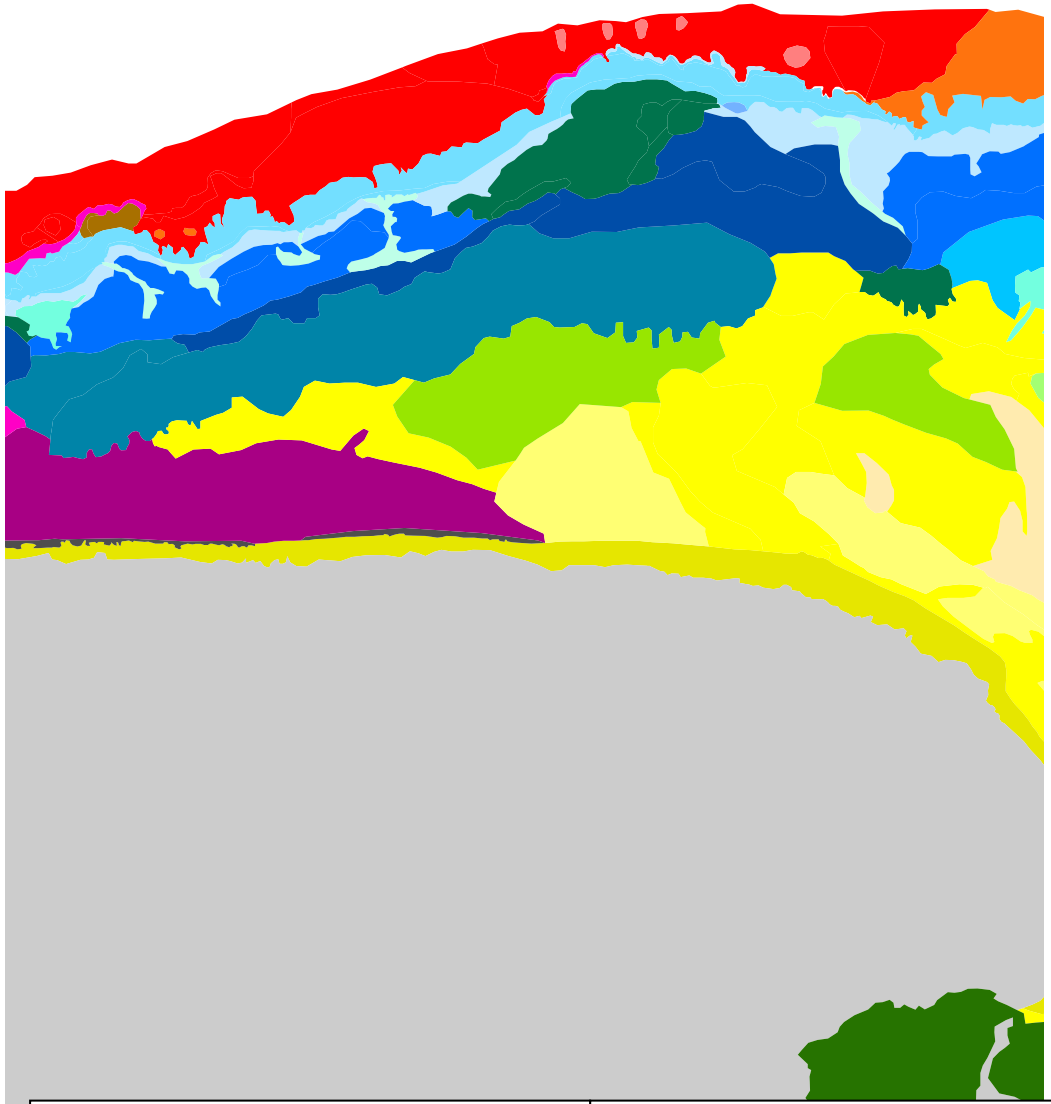



Unités géomorphologiques de Niveau 5 des terres émergées
2500,000
2000,000
1500,000
1000,000
500,000
0,000
Terre émergée
Mangrove
Plage
Récif fossile
Dune hydraulique
Superficie (ha)


Unités géomorphologiques de Niveau 4
590,00
580,00
570,00
560,00
550,00
540,00
530,00
520,00
510,00
500,00
490,00
Pente externe
Platier
Terrasse peu profonde
Superficie (ha)


Unités géomorphologiques de Niveau 5 de terrasse peu profonde
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
0,000
Terrasse peu profonde à accumulation sédimentaire
Terrasse peu profonde à microatolls
Dalle de terrasse peu profonde
Superficie (ha)

ANNEXE 3 AGRANDISSEMENTS AU 1/10 000 DE LA CARTOGRAPHIE DES HABITATS MARINS



Pente externe

- Contreforts et vallons à Pocillopora eydouxi, CV 10-30%
- Echine corallienne et pates coralliens à ACD, Millepora sp.,CV 30-60%
- Glacis à travées coralliennes et pâtés coralliens, CV 30-60%
- Tombant

Platier

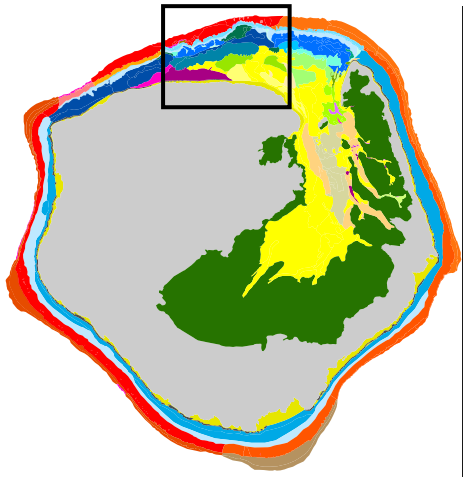
- Chenal de vidange
- Dalle arasée à ACD, CV <5%
- Dalle arasée à ACD, Pocillopora sp. Millepora sp., CV 10-30%
- Dalle du platier à colonies coralliennes denses, CV 30-60%
- Dalle du platier à colonies coralliennes éparses de CM, CV<5%
- Dalle du platier à cuvettes sableuses denses Millepora sp, CV<5%
- Dalle du platier à cuvettes sableuses éparses Goniastrea sp., CV<5%
- Platier à microatolls de porites sp. et cuvettes sableuses, CV 10-30%
- Platier à microatolls de porites sp. et cuvettes sableuses, CV 30-60%

Terrasse peu profonde

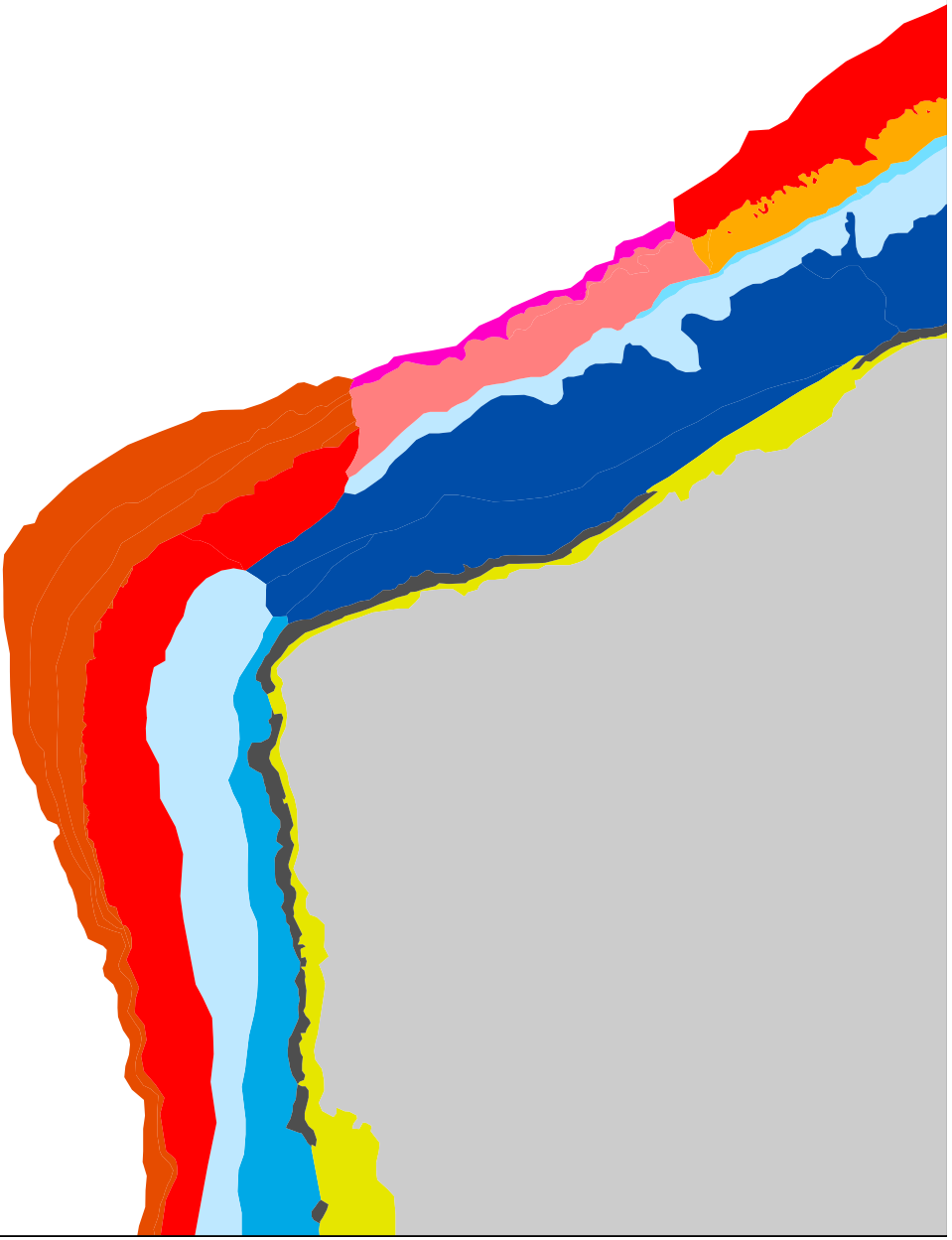
- Colonies coralliennes, CV 30-60%
- Epandage détritique (débris)
- Epandage sableux
- Microatolls de porites sp., CV <5%

Terre émergeé

- Dune hydraulique
- Terre émergée
- Plage



IFRECOR – MNHN - PARETO écoconsult- IRD- TAAF	Echelle : 1/10 000 Europa Agrandissement (Niveau 6)	*Réalisation Mars-Août 2012* *Système de coordonnées Lon-Lat* *WGS84*	



Pente externe

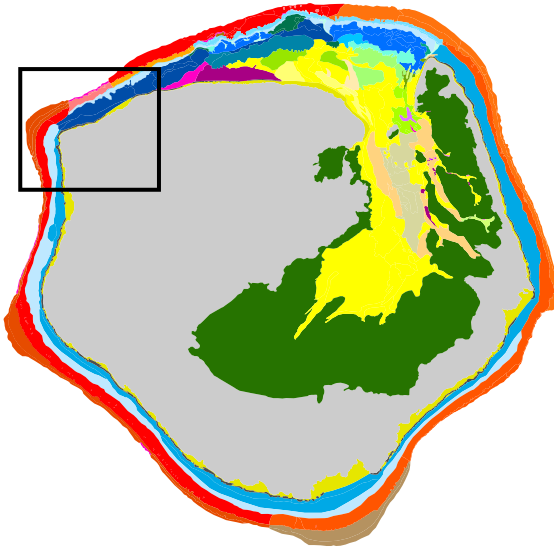
- Plateforme arasée à Pocillopora sp., Millepora sp., CM, ACB et Rhytisma sp., CV >60%
- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp. et ACS, CV 30-60%
- Eperons et sillons à Millepora sp., Pocillopora sp., ACD, CV 30-60%
- Glacis à travées coralliennes et pâtés coralliens, CV 30-60%
- Tombant

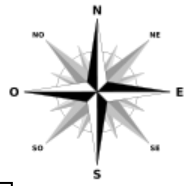
Platier

- Dalle du platier à cuvettes sableuses éparses Goniastrea sp., CV<5%
- Dalle du platier à cuvettes sableuses denses Millepora sp, CV<5%
- Dalle arasée à ACD, CV <5%

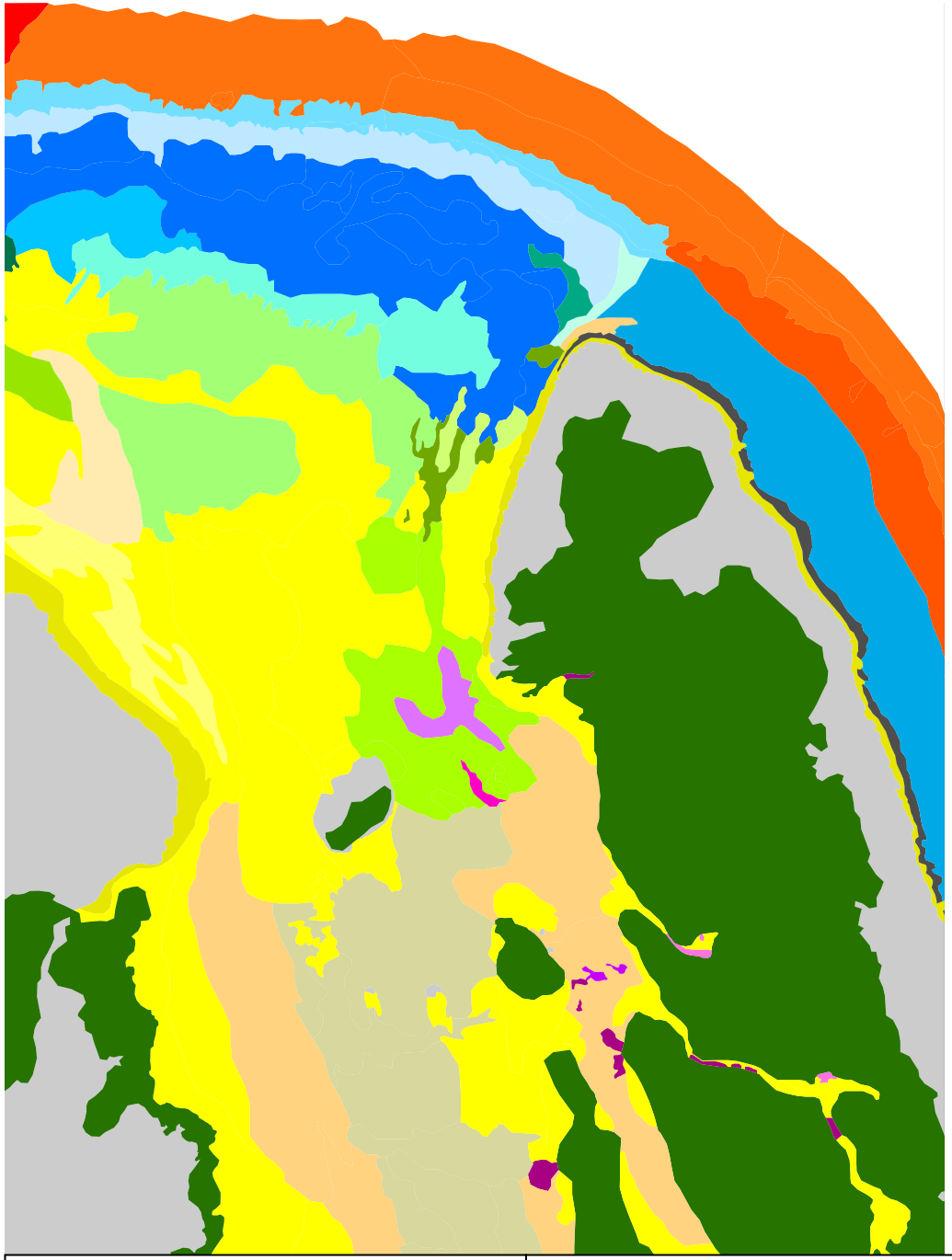
Terre émergeé

- Récif fossile
- Plage





IFRECOR – MNHN - PARETO écoconsult- IRD- TAAF	Echelle : 1/10 000 Cartographie des habitats marins (Niveau 6)	*Réalisation Mars-Août 2012* *Système de coordonnées Lon-Lat* *WGS84*	



Pente externe

- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp. et ACS, CV 30-60%
- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp., Stylophora sp., CV 10-30%

Platier

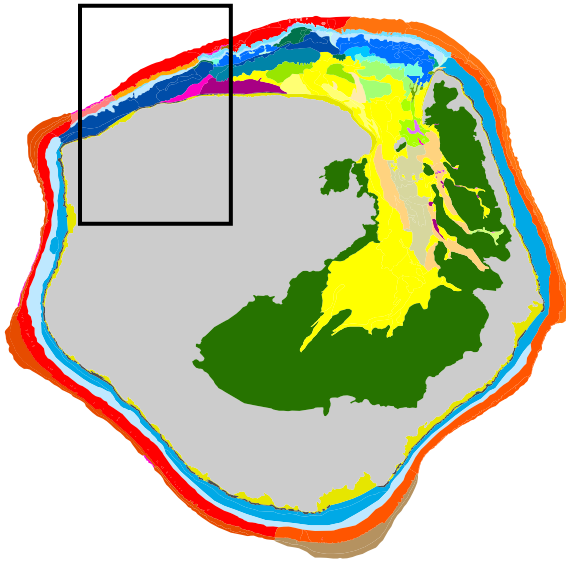
- Dalle du platier à colonies coralliennes denses, CV 30-60%
- Epandage détritique (débris) de platier
- Dalle arasée à ACD, CV <5%
- Dalle arasée à ACD, Pocillopora sp. Millepora sp., CV 10-30%
- Dalle du platier et zones sableuses à Goniastrea sp., CV<5%
- Dalle du platier à colonies coralliennes éparses de CM, CV<5%

Terre émergeé

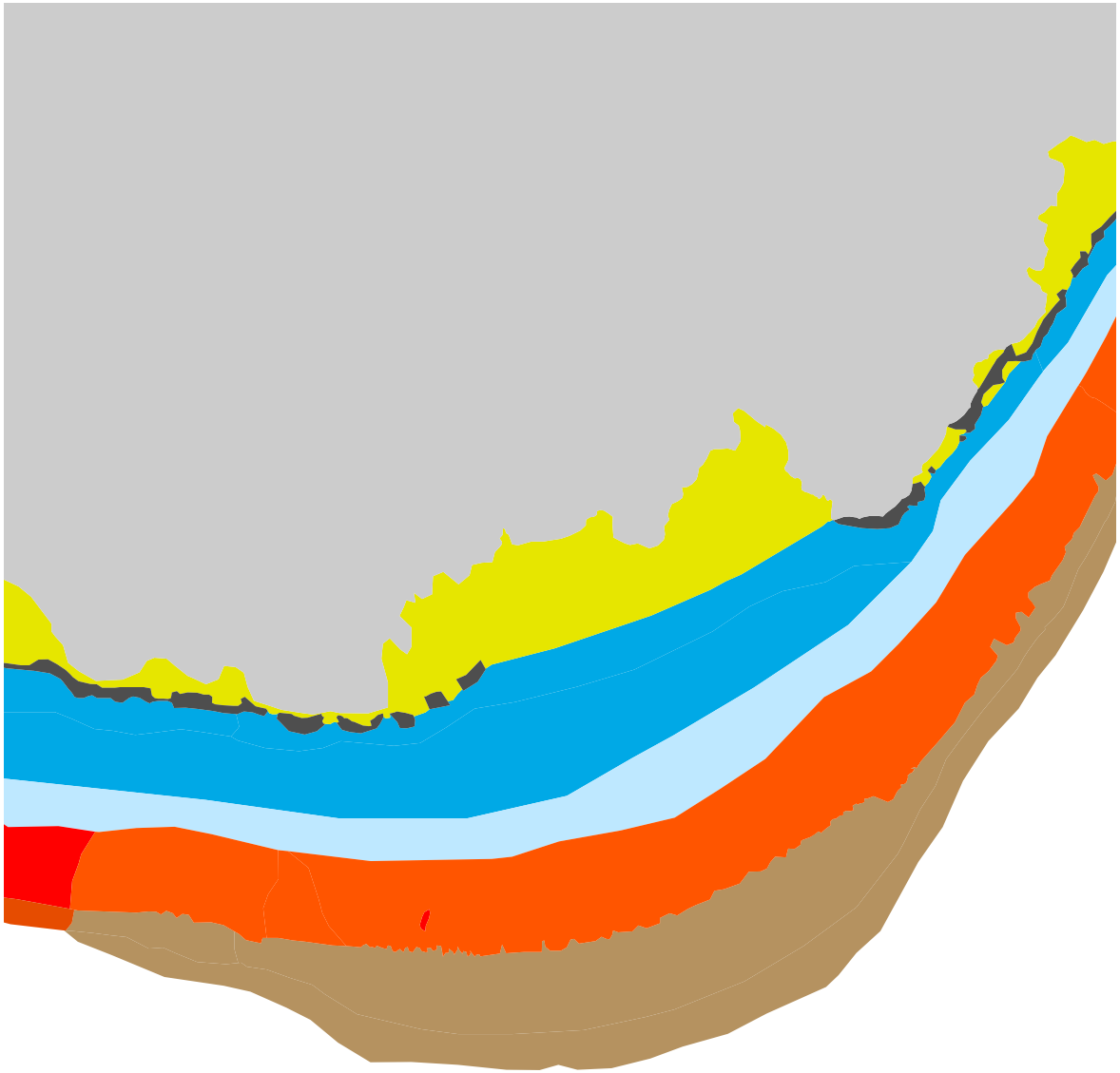
- Dune hydraulique
- Mangrove
- Plage
- Récif fossile
- Terre émergée

Terrasse peu profonde

- Colonies coralliennes d'ACB ras morts et tâches de fungia, CV 50-100%
- Colonies coralliennes, CV 10-30%
- Colonies coralliennes, CV 30-60%
- Colonies coralliennes, CV > 60%
- Dalle arasée à Millepora sp. et porites sp., CV 5-10%
- Dalle de calcaire microkarstifiée
- Epandage détritique (Sable et débris)
- Epandage détritique (débris)
- Epandage sableux
- Epandage sableux et dalle
- Epandage sableux à Halodule sp.
- Microatolls de porites sp. et cuvettes sableuses, CV 10-30%
- Microatolls de porites sp., CV 30-60%
- Microatolls de porites sp., CV <5%
- Microatolls et tâche denses de Fungia sp avec ACB. (CV 30-100%)



IFRECOR – MNHN - PARETO écoconsult- IRD- TAAF	Echelle : 1/10 000 Cartographie des habitats marins Agrandissement (Niveau 6)	*Réalisation Mars-Août 2012* *Système de coordonnées Lon-Lat* *WGS84*	



Platier

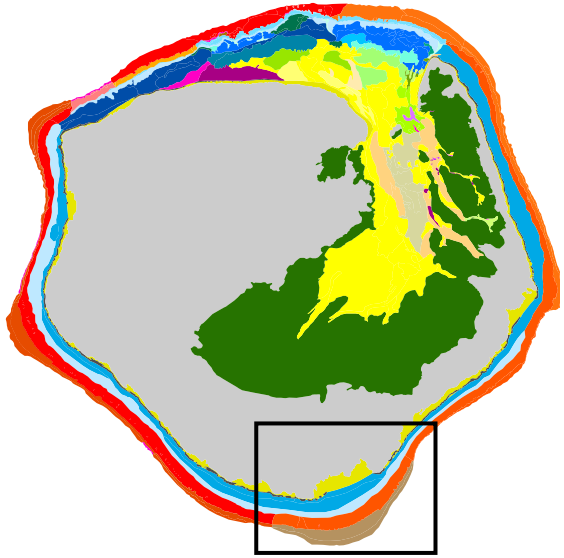
- Dalle du platier à cuvettes sableuses denses Millepora sp, CV<5%
- Dalle arasée à ACD, CV <5%

Pente externe

- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp. et ACS, CV 30-60%
- Eperons et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp., Stylophora sp., CV 10-30%
- Plateforme à sillons à ACB, Montipora sp., CV >60%
- Plateforme à cuvettes et sillons à ACD, Pocillopora sp., Millepora sp., Porites sp., CV >60%

Terre émergeé

- Plage
- Récif fossile
- Terre émergée



IFRECOR – MNHN - PARETO écoconsult- IRD- TAAF	Echelle : 1/10 000 Cartographie des habitats marins Agrandissement (Niveau 6)	*Réalisation Mars-Août 2012* *Système de coordonnées Lon-Lat WGS84*	

ANNEXE 4 : ECHELLE SEMI-QUANTITATIVE ALLANT DE 1 A 5 USITEE POUR L'ESTIMATION DES 61 INDICATEURS DE RESILIENCE

IUCN-CCCR Resilience Assessment of Coral Reefs

Resistance/Resilience indicators reference table. For use in Section 3.6

Editors: David Obura & Gabriel Grimsditch — Table based on initial work and consultations with Paul Marshall, Naneng Setiasih

	Factor	Variable		Quantity	Resilience Index: Very low 1	Low 2	Moderate 3	High 4	Very high 5	Notes	Direct
1. Benthic	Coral	Hard Coral	1	% cover	Estimate % cover in the reef area at a gross level (e.g. 10% levels, or 1/3, 1/2, etc). Then convert based on minimum, maximum and distribution of values recorded at site						+
		Soft Coral	2								+
	Algae	Fleshy Algae	3								-
		Turf Algae	4								-
		CCA	5								+
	Substrate	Rubber/ substrate stability	6								-
2. Physical	Substrate & Morphology	Top. Compl. - micro	7	Complexity on recruitment scale - mm to 10 cm spaces	Smooth surfaces	Rough textured surface, to 1 cm texture. Pavement w some topo.	Moderate micro-scale structure/crevices	Diverse 3D spaces between corals/ boulders/etc, to 10 cm	Deep intricate branching/interlocking framework, to 10 cm		+
		Top. Compl. - macro	8	Complexity on large body scale - to 3-5 m spaces	Flat	Corals/ relief, 1-10 cm texture	Corals/crevices about 0.5-1 m relief, separated by > 5 m	Corals/relief 1-2 m, some development of structure - bommies, etc 3-6 m apart	Major spur/ groove/ heads > 2 m relief; pillars/ caves and major structures a diver can pass through/between		+

IUCN-CCCR Resilience Assessment of Coral Reefs

Resistance/Resilience indicators reference table. For use in Section 3.6

Editors: David Obura & Gabriel Grimsditch — Table based on initial work and consultations with Paul Marshall, Naneng Setiasih

	Factor	Variable		Quantity	Resilience Index: Very low 1	Low 2	Moderate 3	High 4	Very high 5	Notes	Direct
2. Physical (continued)	Substrate & Morphology (cont.)	Sediment texture	9	Texture and nature of sediment, from fine terrestrial to coarse carbonate	None	Coarse grains/ carbonate	Coarse to fine sand	Fine sand, mixed origin	Fine silt/high organic or terrestrial content.	High sediment influence causes stress in corals	-
		Sediment layer	10	Depth of sediments on rocky substrates	None	Very fine/interspersed	Few millimetres in patches < 20% cover	Embedded in algal filaments, thin	Several millimetres, embedded in algal filaments, invading coral edges.	High sediment influence causes stress in corals	-
	Cooling & flushing	Temperature (C)	11	Temperature reading during dive	Temperature reading during dive, convert based on minimum, maximum and distribution of values recorded at site					High temperature is bad, causes stress	-
		Currents	12	Local exposure of site to moving water	None/very low	Low/general background conditions, nothing	Linear reef edges and structures exposed to general water flow up	Reef edges/points and more complex features in flow conditions	Tidal channels, pinnacles/ patches in high flow areas, major	Convert to numerical through tests	+
		Wave energy/ exposure	13	Wave energy and exposure to wave-generating weather	Zero - all non-wave zone sites, fully sheltered	Indirect/dissipated exposure to wind/ swell (e.g. behind primary barrier)	Evidence for wave influence, but not extreme, presence of some fine-bra corals. not direct face onto wind/swell, but locally rough	Angled face on to wind/swell	Maximum local - clear evidence of robust wave zone structures, direct face on primary wind/swell direction	List out all reef zones and which of the categories they would fall into	+
		Deep water (30-50m)	14	Proximity to 30-50 m on reef front, km	Distance in m or km, obtained from local knowledge or charts where possible						-

IUCN-CCCR Resilience Assessment of Coral Reefs

Resistance/Resilience indicators reference table. For use in Section 3.6

Editors: David Obura & Gabriel Grimsditch — Table based on initial work and consultations with Paul Marshall, Naneng Setiasih

	Factor	Variable		Quantity	Resilience Index: Very low 1	Low 2	Moderate 3	High 4	Very high 5	Notes	Direct
		Depth of reef base	15	Depth of reef base if present	Estimate or measured depth						+
2. Physical (continued)	Shade & screen	Depth	16	Average depth in meters	Average depth of study site						+
		Visibility (m)	17	Estimate visibility in meters	Assign based on local area distribution of values from minimum to maximum					High visibility is bas as less absorption of light	-
		Compass direction/ aspect	18	Facing direction to sun at summer noon	Strongly towards		Neutral		Strongly away		+
		Slope (degrees)	19	Slope angle, estimate in degrees	Assign based on local area distribution of values from minimum to maximum					Convert to numerical based on distribution	+
		Physical shading	20	Subjective shading by topographical features	None	Some shading from vertical/thin structures e.g. columns	Moderately developed columnar forms and/or some vertical faces on bommies	Large vertical faces in multiple directions/ complex faces causing variable shading	Overhangs/above-water shading		+
		Canopy corals	21	Degree of multi-storey canopy in coral community	None	Minor - shading by some erect corals	Moderate coral community at multiple levels	Over-branching of canopy corals	Extensive over-branching of canopy corals		+

IUCN-CCCR Resilience Assessment of Coral Reefs

Resistance/Resilience indicators reference table. For use in Section 3.6

Editors: David Obura & Gabriel Grimsditch — Table based on initial work and consultations with Paul Marshall, Naneng Setiasih

	Factor	Variable		Quantity	Resilience Index: Very low 1	Low 2	Moderate 3	High 4	Very high 5	Notes	Direct
2. Physical (continued)	Extremes & Acclimatization	Temperature variability	22	In situ, degrees variation in temperature, interpret with local knowledge	Temperature variability at site depth during dive, convert based on minimum, maximum and distribution of values					Variability promotes acclimatization over time, but perhaps only up to a point	+
		Exposed low tide	23	Aerial exposure of corals during spring low tides - effect of shallows	None	One or two isolate heads	Yes, small portion/area of community	Yes,	Yes, significant portion of community	Variability promotes acclimatization over time, but perhaps only up to a point	+
		Ponding/ pooling	24	Degree of isolation/ ponding of shallow water during low tide, exposure to water that has heated at low tide - effect of enclosure/transport	None. Open reef front with unrestricted water motion.	Very infrequent. Large bay/semi-enclosed systems with somewhat limited circulation.	Occasional occurrence, during spring low tides. Small bays with limited circulation. Locations vulnerable to overflow of ponded waters (e.g. reef edges off large shallow banks.	Intricate/reticulate reef systems impeding circulation	Frequent occurrence during all low tides, complete isolation of small bodies of water for some hours.		+
		Survival of past bleaching events	25	Evidence of corals having survived recent bleaching events, particularly with respect to differential survival	None, mortality near complete				High, near-total survival of past bleaching events	Survival indicates acclimatization	+
	Current	Bleaching	26	Amount of	None	Minor	Low level	Moderate to	Greater than	Verify with coral	-

IUCN-CCCR Resilience Assessment of Coral Reefs

Resistance/Resilience indicators reference table. For use in Section 3.6

Editors: David Obura & Gabriel Grimsditch — Table based on initial work and consultations with Paul Marshall, Naneng Setiasih

	Factor	Variable		Quantity	Resilience Index: Very low 1	Low 2	Moderate 3	High 4	Very high 5	Notes	Direct
				current bleaching		background/ normal bleaching	bleaching and paling at up to 20% of population	high levels of bleaching up to 40% of population, or to 80% paling	50% bleaching	condition measurements	
		Mortality-recent	27	Amount of current mortality from any cause	None	Minor background/ normal bleaching, < 10 %	Moderate levels of mortality, < 25%	High levels of mortality, about 50%	Very high levels of mortality, > 75%	Verify with coral condition measurements	-
		Coral disease	28	Disease prevalence at site	None	< 5 incidence at site; 1 per 25*1 m transect	10-15 diseased corals seen; 2-4 per 25*1 m transect	> 30 corals seen with disease, or > 10% population, > 20 per 25*1 m transect	Predominance of disease with large proportions of colony area affected	By observation	-
	Historic	Mortality-old	29	Amount of old mortality visible	None	<10%, may not be evident if good recovery	Old mortality evident at < 20-40 %	Old mortality around 50-70%	High old mortality at >75%	By observation, combining with historical data if possible	-
	Historic	Recovery-old	30	Degree of recovery from old mortality	No recovery at all, full extent of mortality is visible	Some recovery, adding back 10(25)% of pre-existing community	30(50)% recovery	50-75(75)% recovery. Old mortality visible by dead skeletons, partial mortality, new growth, etc.	Near-full recovery, old mortality only visible by inference from new corals/cover	By observation, combining with historical data if possible	+
4. Coral Population	Population Biology	Recruitment	31	Amount of sexual recruitment	None	Low - < 1 per m2	Moderate 2-4 per m2	High, 5-10 per m2	Very high > 15 per m2	Amount of sexual recruitment	+
4. Coral Population	Population Biology	Fragmenta-tion	32	Amount of asexual recruitment/ reproduction	None	Low - < 1 per m2	Moderate 2-4 per m2	High, 5-10 per m2	Very high > 15 per m2	Amount of asexual recruitment/ reproduction	+
4. Coral Population	Population Biology	Dominant size class	33	Overall size class structure of site	All corals small, < 20 cm	Mostly small/medium corals, no large ones, few moderate-large ones.	Mid-size classes abundant, but very few large ones. Over-dominance of few sizes	Many large corals, or intermediate-large	Full range of size classes, with many in mid-sizes and diverse large corals.	Overall size class structure of site	+
4. Coral Population	Population Biology	Largest corals (3)	34	Size in meters, and ID of corals	The average of the largest three corals, converted into size classes used in the coral size class distribution section, and labelled into 1-5 (5= > 3.2m, 4= 1.6-3.2 m, etc)						+
5. Coral Associates	Positive	Obligate feeders	35	Abundance and diversity of obligate coral feeders	None	Few, < 5 seen at site	6-20	25-50	> 50	Do by species/ group	+
5. Coral Associates	Positive	Branching residents	36	Abundance and diversity of fish/ crustaceans residents in corals	None	A few seen	Some individuals/ some corals commonly seen	Large number of hosts and residents apparent	Large numbers/ highly prominent feature of community	Focus on *Acropora* and *Pocillopora* colonies	+
Associates	Negative	Competitors	37	Abundance/ prevalence of competitive interactions between corals and others	None	Low - potential competitors present but interactions not prominent	Competitors present and interactions commonly seen, only slightly detrimental to corals	Clear competition for space, with evidence of negative impacts on corals.	Competitors abundant, clear negative impacts on corals from competitors.	Abundance/ prevalence of competitive interactions between corals and others	-

		Bioeroders (external)	38	Abundance/prevalence of bioeroders - scrapers (urchins, other nonfish)	none	Bioeroders present but low numbers and interactions not prominent	Bioeroders common and interactions/ impacts seen, only slightly detrimental to corals/benthos . ≈ 1 m^{-2}	Clear bioerosion happening, moderate negative impacts on corals/benthos . ≈ 5 m^{-2}	Bioeroders abundant, clear negative impacts on corals/benthos . > 10 m^{-2}	Abundance/prevalence of bioeroders - scrapers (urchins, other nonfish)	-
		Bioeroders (internal)	39	Abundance/prevalence of bioeroders	none	Bioeroders present but low numbers and interactions not prominent	Bioeroders common and interactions/ impacts seen, only slightly detrimental to corals/benthos .	Clear bioerosion happening, moderate negative impacts on corals/benthos .	Bioeroders abundant, clear negative impacts on corals/benthos .	Abundance/prevalence of bioeroders	-
		Corallivores (negative)	40	Abundance/prevalence of corallivores	none	Corallivores present but low numbers and interactions not prominent. No or v minor predation seen.	Corallivores common and interactions/ impacts seen, only slightly detrimental to corals (up to 5 dead corals?).	Clear predation happening, moderate negative impacts on corals (10-30 dead corals.	Corallivores abundant, clear negative impacts on corals (50+ dead corals)	Abundance/prevalence of corallivores	-
6. Fish groups	**Herbivores**	**Herbivores**	41	Visual assessment of abundance/diversity of herbivores	Very few species/very low numbers/high algal cover. No eroders/ scrapers	Lack of eroders/ scrapers, reasonable schools of small herbivores. Algal turf/ fleshy algae abundant	Diversity of/within guilds moderate/ depleted, algal turf abundance	High diversity/ abundance of fish herbivores, algal cover moderate, v low CCA	High diversity/ abundance of fish herbivores, v. thin algal cover/high CCA	Visual assessment of abundance/diversity of herbivores	+
		Excavators	42	Eroding grazers - Bolbometopon, others, gouging bottom	None	1-3	5-10	20	30+	However high excavator populations cause extensive damage!!	+
		Scrapers	43	Smaller parrotfish, scraping bottom	0-2	5-10	20-30	40-80	100+		+
		Grazers/ Browzers	44	Some parrotfish, surgeonfish - cropping algae	0-2	5-10	20-30	40-80	100+		+
	Top predators	**Piscivores**	45	Top predators, particularly of fish	None	3-10 individuals, mostly small to medium sizes	Medium size individuals, moderate schools or presence in ones/twos.	2-3 large individuals, large numbers of medium sizes	Large individuals, > 10 seen, large schools		+
7. Connectivity	**Dispersal**	**Self-seeding**	46	Connectivity at local scale of 1 km reefs	Very low. Reef sizes on scale of 10s meters, separated by > 1 km of poor habitat.	Reef patches on 100s m scale, separated by larger distances of poor habitat	Patchwork of coral communities on 100s m scale with smaller inter-reef distances.	Continuous coral communities in liner reef system of several km	Continuous coral communities over 2D area of several kilometres	How to build in diversity/ complexity/ health of reef communities	+
		Local seeding (10 km)	47	Connectivity at between-reef scale of about 10 km	Very low, nearest reef structures > 10 km distances	Reef structures on 1 km scale, but widely separate up to 10 km	Local patchwork of reefs on 1-5 km scale with similar distances between.	Continuous coral communities in linear system to 20-50 km	Continuous coral communities over 2D area of several tens kilometres	How to build in diversity/complexity/ health of reef communities	+
		Distant seeding (100 km)	48	Connectivity at regional scale > 100 km	Very low, nearest reef system > 100 km away	Isolated reef areas, some 20-80 km apart.	Patchwork of local reefs systems dispersed over area 100s of km in extent. Separated by poor habitat on 10-20 on scale	Large reef systems over 100-200 km extent occupy 50-80% of space	Extensive reef province 100s of km in extent in multiple directions.	How to build in diversity/complexity/ health of reef communities	+
	Transport	**Currents**	49	Current flow orientation and dynamics relative to coastline/reefs	Low. Current directions near-perpendicular to reef systems; very low flow.		Moderate, currents medium speed/ variability, moderately oriented with reef systems.	Currents strongly oriented with reef systems, linear/bi-directional flow	Complex eddies and circulating currents	Current flow orientation and dynamics relative to coastline/reefs	+

		Dispersal barrier	50	Presence and scale of dispersal barriers	None				Very high, > 200 km open water and/or poor environmental. Quality	Presence and scale of dispersal barriers	+
8. Anthropogenic	**Water**	**Nutrient input**	51	Extent of anthropogenic addition of nutrients on site	None	Some evidence of greater algal growth and/or epiphytes, but no impact on coral communities	Visible impact, some indicators present, but no phase shift	Increasing levels of mortality/ enhancement of algae/ microbial communities and silt.	Very high, clear evidence of eutrophica-tion, incipient phase shift, disease, coral mortality, algal/microbial/ silt enrichment	Extent of anthropogenic addition of nutrients on site	-
		Pollution (chemical)	52	Extent of anthropogenic pollutants on site	None		Some evidence, and some evidence of impact to corals/reef		Very high/visible	May be done/replaced by distance proxy	-
	Substrate	**Pollution (solid)**	53	None	Occasional pieces of solid waste/trash, no clear impact on coral community	Some trash, clear smothering/impact on corals abut low level of mortality		Abundant trash/solid waste wrapped in corals, algae, etc. Clear mortality as a result.		None	-
		Turbidity/ Sedimentation	54	None	Some influence on sedimentation likely, but minor effect above natural levels.	Natural high sediment regime, somewhat increased by anthropogenic activities.	Sediment regime strongly altered/worsened by anthropogenic activities.	Near-total. Almost all high-turbidity/sediment due to anthropogenic sources.		None	-
		Physical damage	55	None	Some physical damage, no impact on overall mortality of corals.	Some physical damage clear with some impact on mortality but at low levels compared to natural	Physical damage clearly important part of overall mortality, but only minor decline in coral cover.	Very high, clear evidence of disturbance and high mortality.		None	-
8. Anthropogenic (continued)	**Fishing**	**Fishing pressure**	56	None	Low pressure, carnivores target species, but low impact in water.	Moderate pressure, but sustainable catch. Good fish populations in water, few large individuals	Populations depleted, no large individuals U/W or in catch, catch mainly of small-medium individuals.	Very high depletion of fish carnivores/ piscivores. Above-MSY catches/small sizes	Verify with fish monitoring data	None	-
		Destructive fishing	57	None	Some use, but at too-low levels to show any clear impacts	Frequent use of destructive gear, some evidence of coral mortality/damage to substrate, but low compared to natural level.	Frequent use of destructive gear and clear evidence of moderate mortality of corals/damage to substrate.	High-very extensive use of destructive gears, with clear impact on coral mortality and substrate	Verify with fish monitoring data	None	-
	Connectivity	**Dispersal barrier**	58	None	Low	Moderate	High	Very high influence, e.g. through construction, water quality alterations, etc.		None	-
9. Management	**Management**	**Biodiversity**	59	Degree of management with biodiversity objectives	None	Some action/presence, low level of intervention, some raised awareness	Moderately effective, interventions limit disturbance but impacts visible	Effective, reasonable levels of compliance, high awareness, no risk of species/genetic loss	Very high, fully effective, no loss of species/ genetic diversity		+

		Resources	60	Degree of management with resource use limitation/ control objectives	None	Some action/presence, low level of intervention, some raised awareness	Moderately effective, interventions limit disturbance but impacts visible	Effective, reasonable levels of compliance, high awareness, resource populations moderately impacted	Very high, fully effective, full control of resource extraction protecting stock integrity and population dynamics		+
		Environmental Quality	61	Degree of management with environmental quality objectives, e.g. pollution, ICZM	None	Some action/presence, low level of intervention, some raised awareness	Moderately effective, interventions limit disturbance but impacts visible	Effective, reasonable levels of compliance, high awareness, environmental quality only slightly compromised	Very high, fully effective control of pollution and other disturbances to water and substrate quality		+

Mémoire de fin d'étude

Diplômes : Ingénieur de l'ENGEES et Master Eau

Spécialité Gestion des Littoraux et des Mers

Auteur : Mathieu Grellier

Année 2012

Etude d'identification des zones de conservation marines prioritaires dans le cadre de la mise en place d'une Réserve Naturelle Nationale dans les îles Eparses : cas de l'île d'Europa.

Nombre de pages : **texte : 52** **Annexe : 18**

Nombre de références bibliographiques : 57

Structure d'accueil : Muséum national d'histoire naturelle ayant, par convention, conclu un accueil à PARETO écoconsult (Mi-mars - Mi-mai)/ Saint-Denis/La Réunion (974) et aux Terres Australes et Antarctiques Françaises (Mi-mai – Fin du stage)/ Saint-Pierre/La Réunion (974)
Maître de stage :: MNHN : Pascale Joannot ; PARETO :Jean-Benoît Nicet ; TAAF : Julien Ringelstein

L'isolement et la quasi-inexistence d'activités anthropiques sur les Iles Eparses en font des territoires à fort enjeux patrimonial tant à l'échelle nationale qu'internationale. Malgré les programmes scientifiques développés depuis une dizaine d'année, les besoins de connaissance restent considérables. Cette étude centrée sur Europa, vise à caractériser les habitats marins et les pressions/menaces. Pour cela l'utilisation de techniques telles que la télédétection ou les analyses statistiques, ont permis de dresser un inventaire exhaustif des habitats marins d'Europa en format européen EUNIS. Nous disposons d'une vision globale de la biodiversité marine et la création d'une Réserve Naturelle Nationale s'y justifie pleinement.

Mots clés : Réserve Naturelle Nationale – Europa – Récifs coralliens - Habitats remarquables – Typologie des habitats marins – Cartographie – Conservation -Résilience