



# BILAN D'ACTIVITÉ 2022-2023

## UTOPIAN IDENTIFICATION DES ZONES D'ENJEUX DE CONSERVATION DES RÉCIFS DE L'ÎLE DE LA RÉUNION

7 février 2023

Dans le cadre du programme



Avec le soutien financier de



**AVEC LE SOUTIEN FINANCIER DE :**

SOS Corail de la Fondation de la Mer et de l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens

**RÉDACTION :**

Léo BROUDIC (BEST RUN)

Mathieu PINAULT (MAREX – ENTROPIE)

**PARTENAIRES SCIENTIFIQUES :**

Lionel BIGOT (UR – ENTROPIE)

Lucie PENIN (UR – ENTROPIE)

Tévamie RUNGASSAMY (RNMR)

Julien WICKEL (MAREX)

Jean Benoit NICET (MAREX)

Pierre VALADE (OCEA CONSULT)

Margot THIBAULT (BEST RUN – ENTROPIE)

Touria BAJJOUK (IFREMER)

Florence TRENTIN (VieOcéane)

Sylvain PIOCH (UM3 – LAGAM)

**VERSION EN DATE DU :**

02 février 2023

**À CITER SOUS LA FORME :**

PINAULT, M., BROUDIC, L. (2023). UTOPIAN 2022-2023 – Identification des zones d'enjeu de conservation des récifs de la Réunion. 17 p + annexes.

## SOMMAIRE

<b>1 – RÉSUMÉ DES OBJECTIFS DU PROJET</b>	<b>4</b>
<b>2 – PERSONNES PRÉSENTES SUR LE TERRAIN</b>	<b>5</b>
<b>3 – CALENDRIER DES SORTIES SUR LES PLATIERS RÉCIFEAUX</b>	<b>5</b>
<b>4 – MÉTHODES ET PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE</b>	<b>6</b>
<b>5 – RÉSULTATS, DISCUSSIONS</b>	<b>9</b>
5.1 – Structure des peuplements coralliens	13
5.2 – Vitalité de la communauté benthique	13
5.3 – Abondance et diversité des peuplements de poissons	13
5.4 – Abondance des peuplements de macro-invertébrés	13
5.5 – Indicateur I de la DCE	14
5.6 – Effet réserve	14
5.7 – Interactions et corrélations entre variables écologiques	15
<b>6 – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	<b>16</b>
6.1 – Atouts et pistes d'amélioration de la méthode CORRAM	16
6.2 – Informations fournies par les indicateurs poissons et macro-invertébrés	16
6.3 – Perspectives 2023 – 2024	17
<b>7 – BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>18</b>

## 1- RÉSUMÉ DES OBJECTIFS DU PROJET

Suite à la réalisation de la première phase du projet UTOPIAN (2021 – 2022, Broudic et Pinault, 2022), financé par le programme LIFE4BEST (EU, OFB, AFD), l'état écologique des platiers des complexes récifaux de Saint-Pierre, Terre Sainte, Les Colimaçons et Cap Champagne a été évalué avec un effort d'échantillonnage inédit à La Réunion (786 stations sur Saint-Pierre et Terre Sainte). Au cours de ce premier travail, 12 métriques ont été mesurées (annexe 1), puis rassemblées en indicateurs synthétiques, créés par classification ascendante hiérarchique selon les grandes fonctions écologiques auxquelles elles se réfèrent. Trois indicateurs ont ainsi été calculés :

1. Vitalité des peuplements benthiques : moyenne des métriques « Recouvrement par la faune sessile benthique non corallienne », « Recouvrement par les macroalgues », « État de santé des colonies coralliennes vivantes » et « Abondance des coraux juvéniles ».
2. Structure du peuplement corallien : moyenne des métriques « Recouvrement en coraux vivants », « Pourcentage du genre *Acropora* au sein du peuplement corallien », « Complexité structurelle du peuplement corallien » et « Tailles des colonies coralliennes vivantes ».
3. Diversité et maturité du peuplement ichtyologique : moyenne des métriques « Diversité du peuplement ichtyologique », « Abondance et maturité des Scarinae » et « Abondance et maturité d'*Epinephelus merra* ».

En complément, l'indicateur I, développé en 2015 par le groupe de travail "Benthos de substrats durs" (GIP RNMR, PARETO, BIORECIF, Jean Benoit Nicet Consultant, IFREMER, 2016), pour l'évaluation des pentes externes récifales de La Réunion dans le cadre de la DCE, a également été calculé et comparé aux résultats des 3 indicateurs précités.

Ces informations, acquises par stations, ont ensuite été généralisées en tout point des platiers en utilisant des analyses géostatistiques d'interpolation (krigeage ordinaire). L'interpolation des données par krigeage ordinaire a permis une lecture des résultats par ratios surfaciques, c'est-à-dire, en attribuant une fourchette de valeurs d'une métrique ou d'un indicateur donné à une proportion de la surface totale de l'espace récifal étudié. Ce rapprochement entre valeurs quantitatives et surfaces a permis une spatialisation de l'enjeu de conservation et une meilleure appréhension des notions de rareté et de représentativité des résultats fournis. Il a également permis une représentation cartographique intuitive des zones d'intérêt remarquable et des zones dégradées, potentiellement impactées par les pressions naturelles et/ou anthropiques.

Suite au rendu du premier livrable sur les résultats de la première phase d'UTOPIAN, en septembre 2022, l'IFRECOR et la Fondation de la Mer ont souhaité reconduire le projet UTOPIAN sur l'ensemble des platiers et des pentes externes (0 à -12 m) des récifs de La Réunion, *via* le programme SOS Corail. Parallèlement, la Réserve Naturelle Marine de la Réunion a répondu à l'appel à projets ReCorEA (OFB) en proposant le projet CONSTRUI (CONCernation pour une résilience et reconSTRUction des récifs coralliens), dont l'un des objectifs consiste à proposer de nouvelles zones pour un classement en réserve intégrale. C'est dans ce contexte que l'équipe de projet a déposé en septembre 2022 une demande d'entrée en réserve intégrale auprès du Conseil Scientifique de la RNMR. Cette demande d'entrée concernait uniquement l'ensemble épi-récifal des récifs de Saint-Gilles, Saint-Leu et Étang Salé.

Une nouvelle campagne de terrain a ainsi été réalisée en suivant la méthode CORRAM, du 26 août au 03 décembre 2022, dans le but de compléter les données acquises à Saint-Pierre, Terre Sainte, les Colimaçons et Cap Champagne sur l'ensemble des platiers de la Réunion. Ce rapport d'étape fournit une présentation synthétique des principaux résultats acquis au cours de cette campagne. Toutefois, en raison des contraintes d'accès des pentes externes et d'adaptations méthodologiques nécessaires à la poursuite des campagnes sur cet espace récifal (transport et support maritimes), l'échantillonnage de cette partie des récifs de la Réunion est planifié de février à mai 2023. Une nouvelle demande d'entrée en réserve intégrale, côté océanique (0 à -12 m) sera donc émise prochainement.

## 2- PERSONNES PRÉSENTES SUR LE TERRAIN

Léo Broudic (36 sorties)  
Mathieu Pinault (2 sorties)  
Romain Claud (5 sorties)  
Léo Vacquier (3 sorties)  
Romain Journaud (3 sorties)

2 jours de terrain sur le complexe récifal de Grand Fond avec les M1 BEST-ALI bénévoles et formés à la méthode sous la supervision de Léo Broudic :

Joséphine Ferrando Demange  
Anouck Baudouin  
Baptiste Lebon  
Joshua Coste  
Coline Violo  
Corentin Gstalter  
Clément Delamare  
Éva Pierre

## 3- CALENDRIER DES SORTIES SUR LES PLATIERS RÉCIFEAUX

Date de sortie	Nombre de stations évaluées	Date de sortie	Nombre de stations évaluées
26/08/2022	9 stations évaluées	24/10/2022	25 stations évaluées
27/08/2022	12 stations évaluées	26/10/2022	25 stations évaluées
28/08/2022	12 stations évaluées	28/10/2022	36 stations évaluées
30/08/2022	29 stations évaluées	02/11/2022	20 stations évaluées
11/09/2022	9 stations évaluées	03/11/2022	21 stations évaluées
12/09/2022	22 stations évaluées	08/11/2022	30 stations évaluées
22/09/2022	50 stations évaluées	10/11/2022	15 stations évaluées
26/09/2022	20 stations évaluées	11/11/2022	22 stations évaluées
27/09/2022	20 stations évaluées	18/11/2022	19 stations évaluées
28/09/2022	30 stations évaluées	21/11/2022	21 stations évaluées
05/10/2022	27 stations évaluées	24/11/2022	27 stations évaluées
07/10/2022	22 stations évaluées	25/11/2022	50 stations évaluées
11/10/2022	14 stations évaluées	28/11/2022	22 stations évaluées
13/10/2022	27 stations évaluées	01/12/2022	33 stations évaluées
14/10/2022	14 stations évaluées	03/12/2022	65 stations évaluées
20/10/2022	16 stations évaluées	05/12/2022	29 stations évaluées
22/10/2022	34 stations évaluées	10/12/2022	17 stations évaluées
23/10/2022	35 stations évaluées	11/12/2022	12 stations évaluées
<b>TOTAL</b>		<b>36 sorties</b>	<b>891 stations</b>

#### 4- MÉTHODES ET PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

CORRAM (Pinault *et al.*, [in prep](#)) est une méthode d'évaluation rapide mise en œuvre sur des stations réparties de manière aléatoire stratifiée (plusieurs stations aléatoirement réparties au sein de mailles carrées juxtaposées) sur l'ensemble des platiers des récifs frangeants étudiés. Comme lors de l'échantillonnage de Saint-Pierre, la communauté benthique a été suivie au sein de stations circulaires de 5,6 m de rayon (100 m<sup>2</sup>), tandis que les peuplements de poissons ont été suivis le long de cheminements aléatoires de 10 min (≈ 800 m<sup>2</sup>) (Fig. 1).

Suite à la première phase d'échantillonnage d'UTOPIAN (Broudic et Pinault, [2022](#)), quelques ajustements méthodologiques ont été apportés à la méthode originale :

1. La métrique « abondance des macro-invertébrés » a été précisée en (i) le suivi des densités d'oursins herbivores (*Echinometra sp.*, *Echinothrix sp.*, *Stomopneustes sp.*) et (ii) le suivi spécifique des holothuries. Ces deux nouvelles métriques ont pu être estimées pour les échantillonnages précédents à partir des listes d'espèces associées à l'indicateur macro-invertébré global.
2. La métrique « abondance et maturité d'*E. merra* » a été généralisée à tous les prédateurs supérieurs de plus de 20 cm de longueur totale. Ce nouvel indicateur a notamment l'intérêt d'être orienté « groupe fonctionnel » plutôt que « espèce indicatrice », en accord avec les recommandations du groupe de travail « récifs coralliens » DCE-IFRECOR 2016-2019 qui identifie les indicateurs fonctionnels comme « à regarder en priorité par rapport à l'approche basée sur la composition et l'abondance de groupes d'espèces » (Monnier *et al.*, [2021](#))
3. Le plan d'échantillonnage a été optimisé sur la base de l'étude de l'hétérogénéité spatiale des données acquises au cours de la première campagne. Il est apparu que la perte de précision pouvait être considérée comme non significative en passant de 0,2 stations/100 m<sup>2</sup> (5 stations par maille de 50 m de côté) à 0,08 stations/100 m<sup>2</sup> (3 stations par maille de 60 m de côté), ce qui représente un coefficient de réduction de l'effort d'échantillonnage de 2,4.

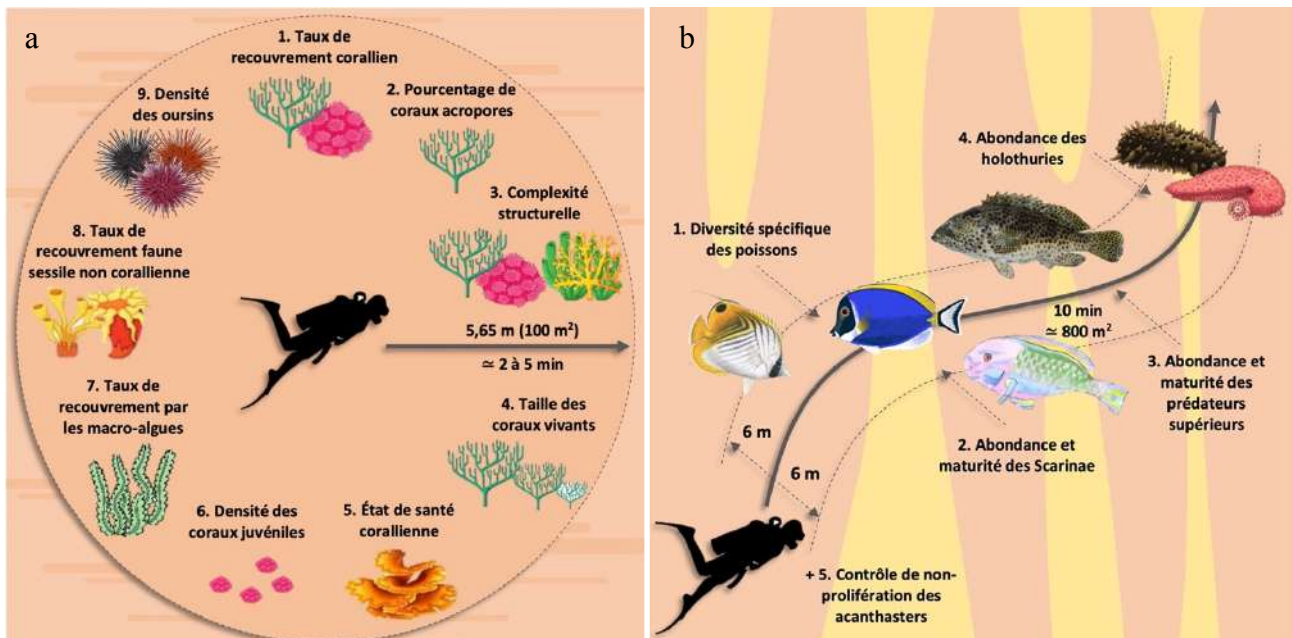


Figure 1. Méthode d'évaluation CORRAM. a : point fixe, à répliquer 3 fois par maille de 60 m de côté (pour un total de 300 m<sup>2</sup>), b : parcours aléatoire, à répliquer 1 fois par maille (environ 800 m<sup>2</sup>).

Concernant les analyses géostatistiques, les krigeages ordinaires ont été réalisés à l'aide du package kriging (Oyana, [2020](#)), sous R software. Les modèles de régression des semi-variogrammes (sphériques ou exponentiels – Fig. 2b) ont été fixés pour chaque complexe récifal afin de limiter l'effet

de pépite et donc de maximiser la précision des variations spatiales des valeurs interpolées. Ces modèles de régression devront autant que possible être conservés lors d'éventuels suivis ultérieurs des complexes récifaux selon la même méthode d'échantillonnage, afin d'éviter les variations des ratios surfaciques dus au changement de modèle statistique.

La précision des cartes d'interpolation des différentes métriques et indicateurs mesurés (prédiction - Fig. 2c) a été contrôlée par la projection concomitante de l'incertitude associée (variance - Fig. 2d). Dans l'exemple de la Saline (Fig. 2), l'incertitude du modèle reste très faible en comparaison des valeurs modélisées et s'applique essentiellement aux bordures du platier, le modèle peut ainsi être considéré comme robuste. Une fois les modèles validés, les cartes d'interpolation ont été retravaillées sous le logiciel Q-GIS, afin d'obtenir les représentations par isolignes et les codes couleur appropriés (Fig. 3).

Grâce à l'autorisation du Conseil Scientifique de la RNMR, les zones de protection intégrale (Niveau 3) de Saint-Gilles, Saint-Leu et Étang Salé ont pu être échantillonnées par les mêmes personnes (L. Broudic et M. Pinault), à la même période et selon la même méthode que les zones de protection inférieure (Niveaux 1 et 2), nous permettant de visualiser la localisation des zones de protection maximale (N3), dans un contexte plus global de distribution des métriques et indicateurs mesurés sur l'ensemble des platiers de l'île.

Cet échantillonnage exhaustif des platiers de La Réunion a également fourni des ratios surfaciques non biaisés des différents états écologiques (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais), présentés en annexe par complexe récifal et par niveau de protection. L'approche par habitat sera traitée ultérieurement, la carte et la typologie des habitats récifaux de La Réunion étant en cours de révision (MNHN, MAREX, 2023).

Les interactions et corrélations entre métriques écologiques mesurées *in situ* ont été explorées *via* une analyse en composantes principales (ACP). Les deux axes du cercle des corrélations ont fourni une projection intuitive des liens d'interdépendance et de feedback existant notamment entre la communauté benthique et les peuplements de poissons et de macro-invertébrés.



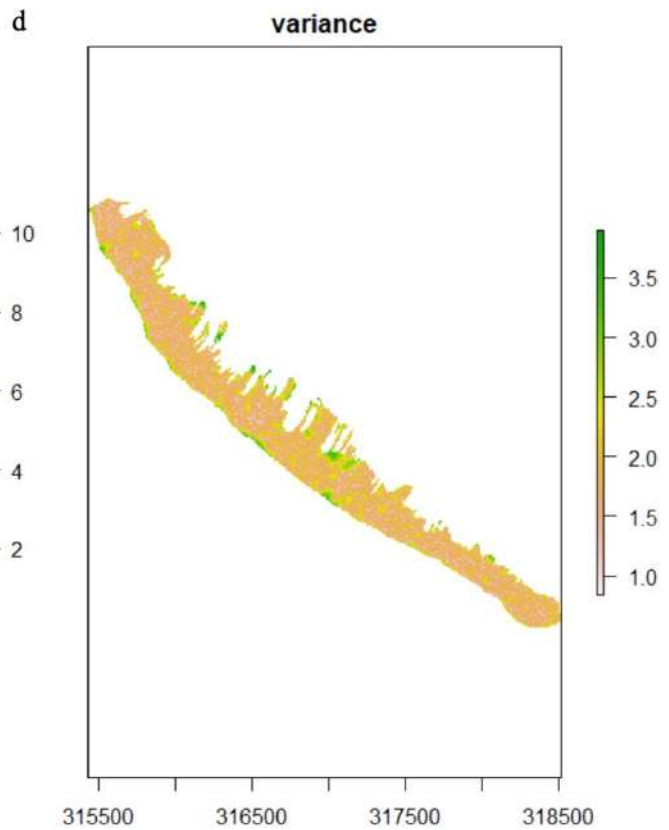
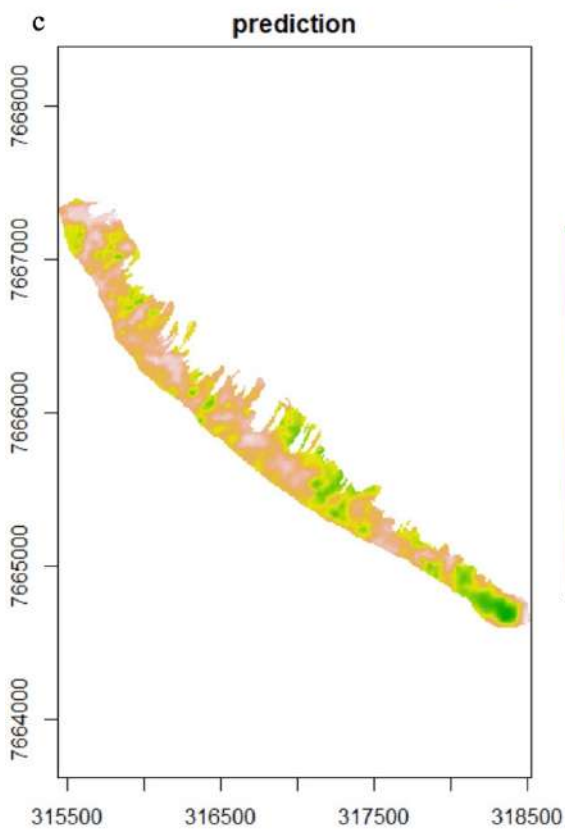
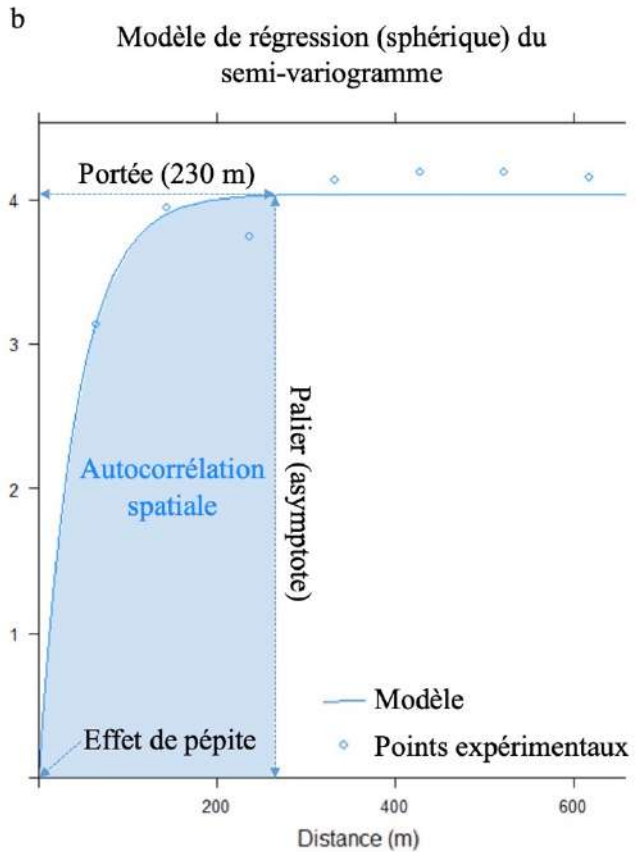
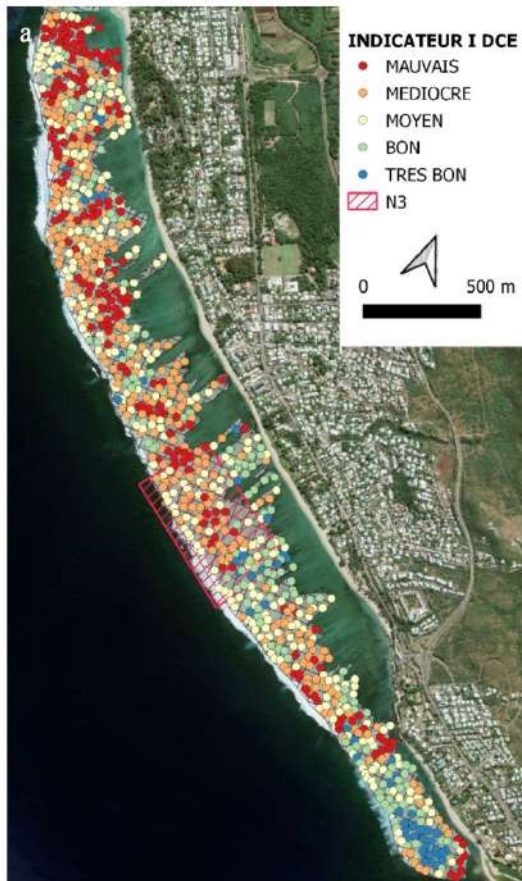


Figure 2. Étapes de réalisation d'un modèle d'interpolation par krigeage ordinaire (La Saline) : a. points expérimentaux et valeurs associées, b. semi-variogramme et ajustement du modèle statistique, c. représentation cartographique du modèle d'interpolation et d. variance du modèle associée.



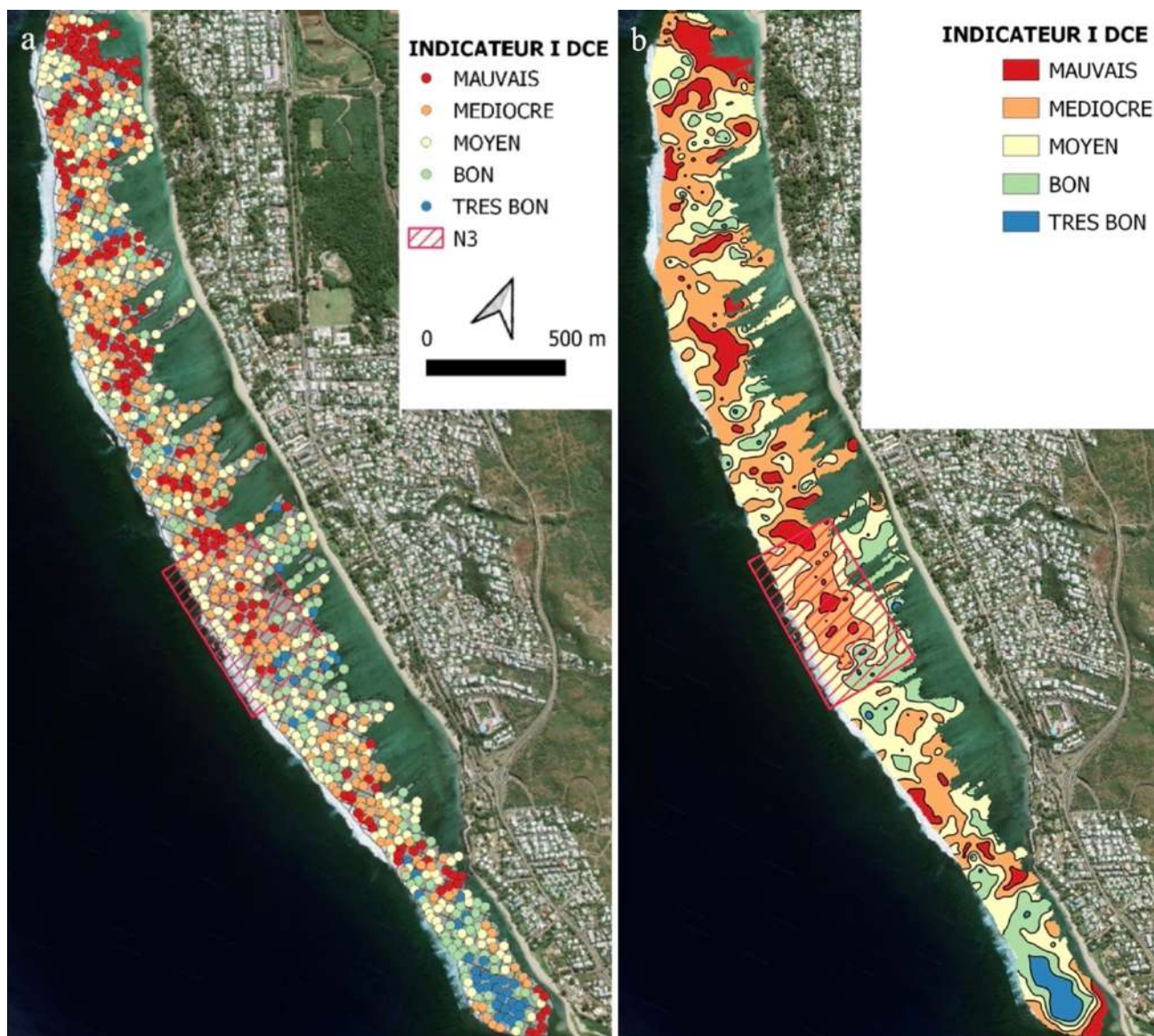


Figure 3. Représentation des valeurs de l'indicateur I DCE par station (a) et modèle d'interpolation par krigeage ordinaire à La Saline, après application des isolignes et du code couleur (b).

## 5- RÉSULTATS, DISCUSSIONS

Par souci de lisibilité et afin d'éviter toute redondance, seuls les résultats acquis à La Saline sont présentés, analysés et discutés dans ce rapport. Les cartes des autres complexes récifaux sont disponibles en annexe et l'ensemble des analyses (habitats compris) sera produit lors de la rédaction de l'Atlas des récifs de La Réunion courant 2023 et 2024.

L'interpolation des données par krigeage permet une lecture intuitive des zones d'enjeu (vitalité, structure des peuplements benthiques, peuplements de poissons, indicateur I, etc.) et une interprétation immédiate des grandes tendances structurant l'écosystème (gradient côte/large, effet habitat, proximité de ravines, etc.). Si ces hypothèses doivent toujours être validées/invalidées par des tests statistiques, l'approche spatiale simplifie le processus itératif d'inférence en apportant une vision exploratoire, favorable à l'élaboration d'un schéma analytique pertinent.

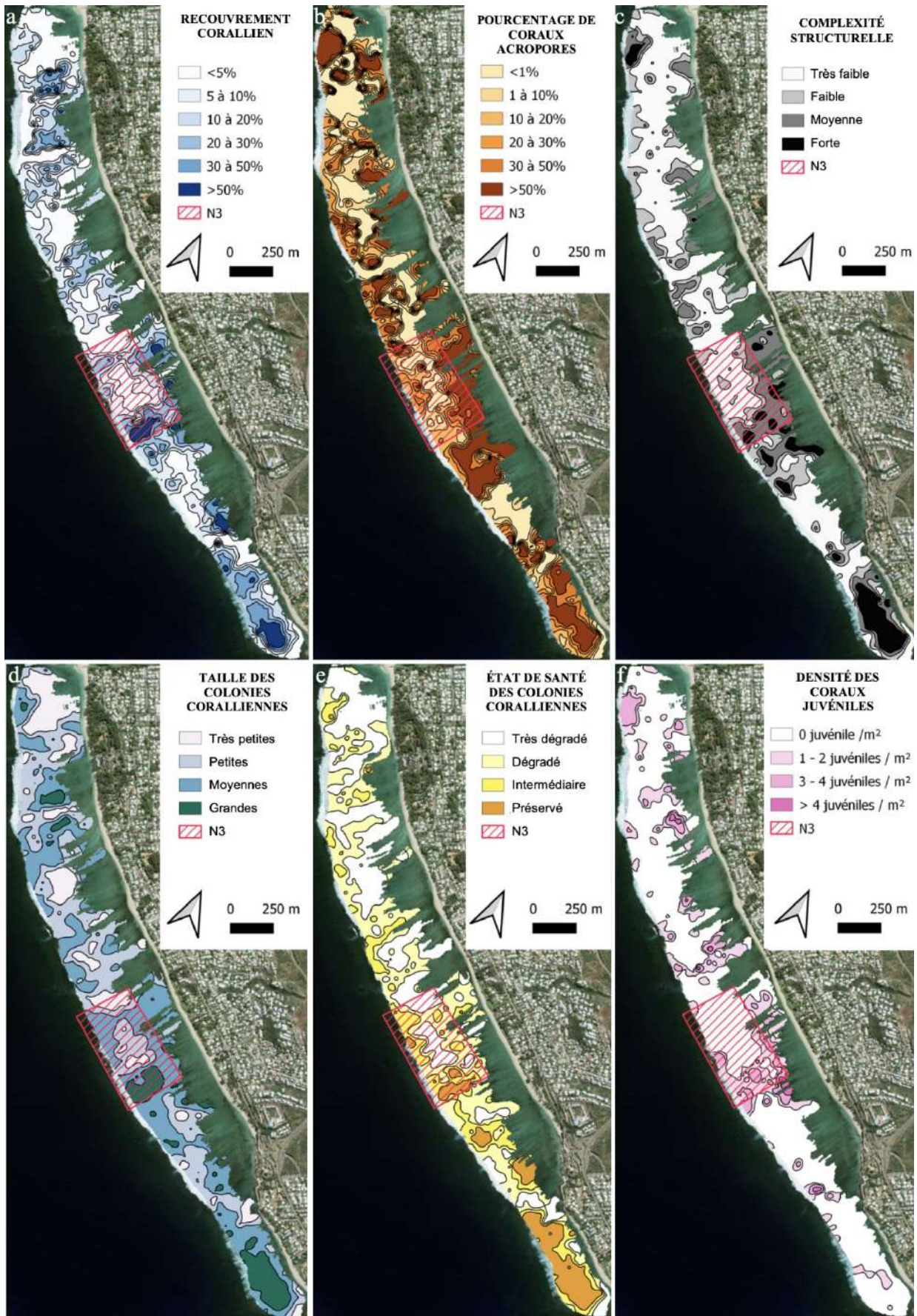


Figure 4. Interpolation des métriques "recouvrement corallien" a, "pourcentage de coraux acropores" b, "complexité" c, "tailles des colonies" d, "état de santé" e et "densité des coraux juvéniles" f.

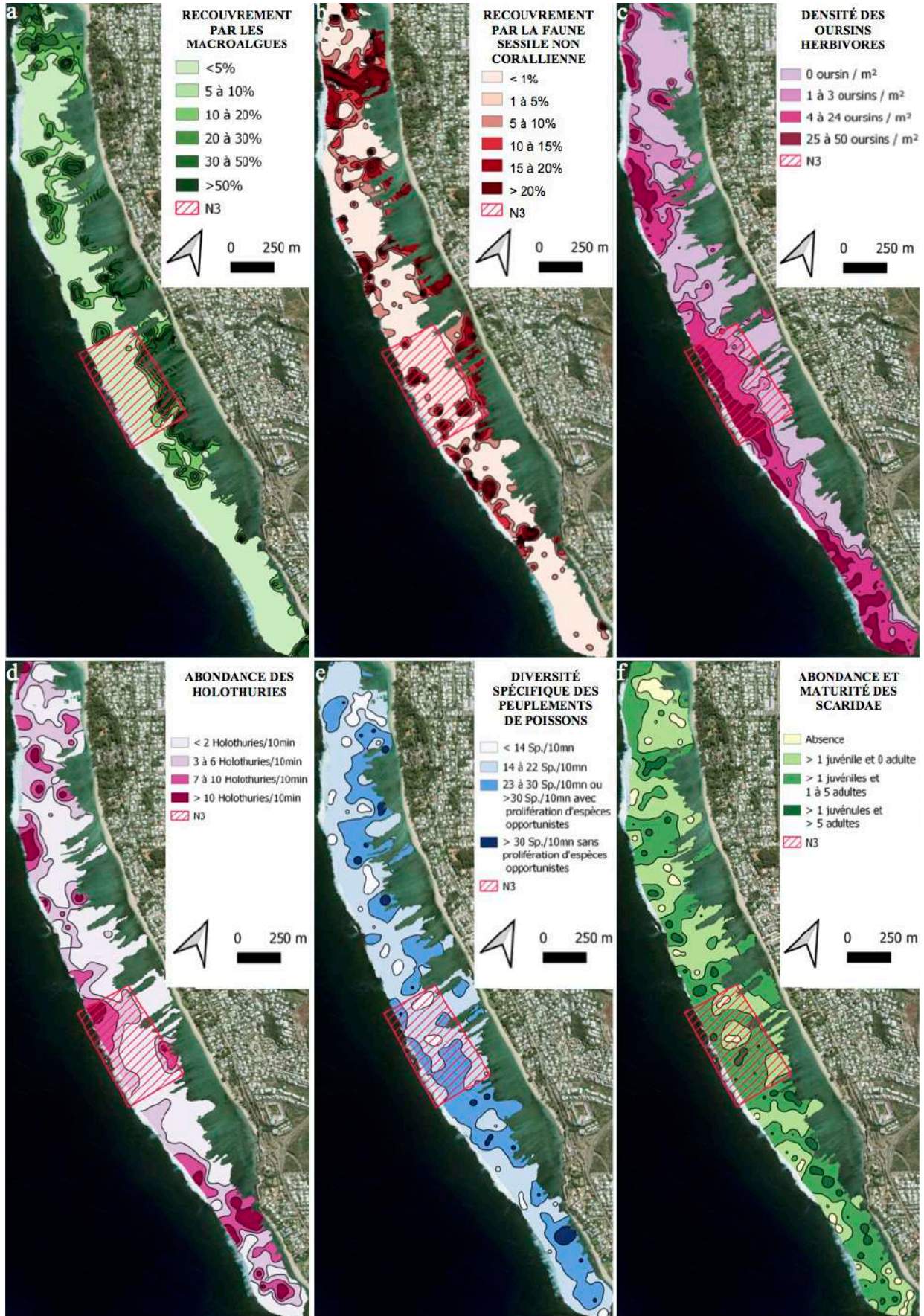


Figure 5. Interpolation des métriques "recouvrement macroalgues" a, "faune sessile non corallienne" b, "oursins" c, "holothuries" d, "diversité de poissons" e et "abondance et maturité des Scaridae" f.



Figure 6. Interpolation de la métrique "abondance des prédateurs > 20 cm".

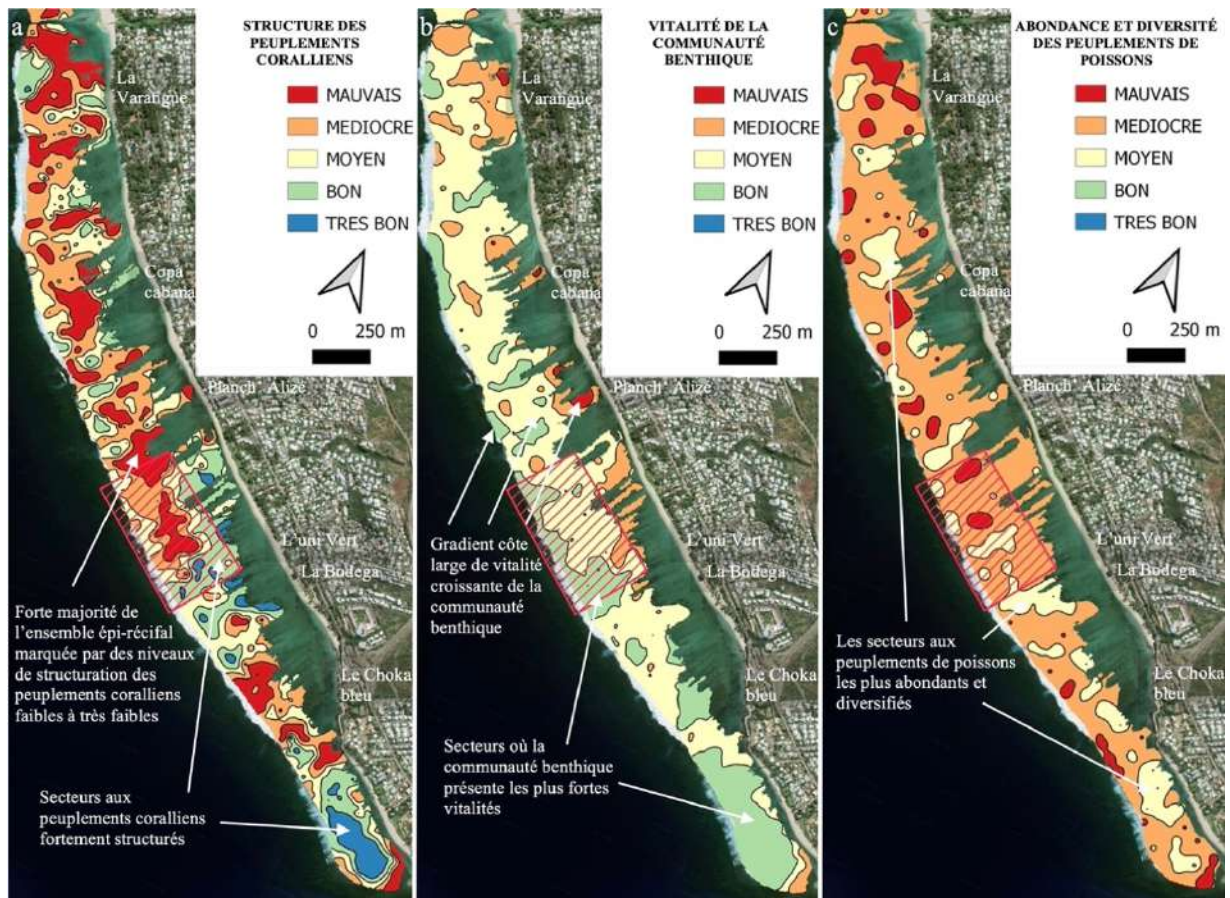


Figure 7. Interpolation des indicateurs synthétiques "structure des peuplements coralliens" a, "vitalité de la communauté benthique" b et "abondance et diversité des peuplements de poissons" c.

### 5.1- Structure des peuplements coralliens

Il apparait que les variables "recouvrement corallien", "pourcentage d'acropores", "complexité structurelle" et "tailles des colonies coralliennes" (Fig. 4a à d), identifient deux petits secteurs de l'ensemble épi-récifal de La Saline où les peuplements coralliens présentent un fort niveau de structuration (3% de l'ensemble épi-récifal), dont une partie est située en réserve intégrale (Fig. 7a). Les peuplements coralliens des platiers externes, situés proche du front récifal (< 20 m), présentent des niveaux de structuration moyens. Hormis sur ces secteurs localisés, les peuplements coralliens sont marqués par des niveaux faibles à très faibles de structuration (28%).

### 5.2- Vitalité de la communauté benthique

Les variables "état de santé des colonies coralliennes", "densité des coraux juvéniles", "recouvrement par les macroalgues" et "recouvrement par la faune sessile non corallienne" (Fig. 4e et f, Fig. 5a et b) montrent globalement un gradient côte large, caractérisé par des vitalités très faibles des communautés benthiques de substrats durs les plus littorales, notamment situées au droit des restaurants La Varangue, Copacabana et Planch'Alizé, sans qu'aucun lien de causalité ne puisse être déduit à ce stade de l'étude (Fig. 7b). Les platiers externes, marqués par un renouvellement des eaux plus rapide (proximité du front récifal), montrent globalement de bonnes vitalités. Le secteur sud de l'ensemble épi-récifal de La Saline, situé au droit et au sud du Choka bleu, montre également des vitalités moyennes à bonnes, sans toutefois atteindre de très bons niveaux.

### 5.3- Abondance et diversité des peuplements de poissons

Les variables "diversité spécifique du peuplement de poissons", "abondance et maturité des Scaridae" et "abondance et maturité des prédateurs supérieurs" (Fig. 5e et f, Fig. 6) montrent globalement un secteur de La Saline largement dépeuplé, avec une quasi-absence de prédateurs et de faibles richesses spécifiques, principalement sur la moitié Nord du secteur d'étude. Les populations de Scaridae sont relativement bien représentées, principalement par les espèces ubiquistes *Chlorurus sordidus*, *Scarus psittacus*, *Scarus scaber* et, dans une moindre mesure, *Calotomus carolinus* et *Chlorurus strongylocephalus*. Comme pour la diversité, les abondances de Scarinae sont sensiblement plus fortes dans la moitié Sud du secteur d'étude.

### 5.4- Abondance des peuplements de macro-invertébrés

Les difficultés rencontrées à ce jour pour l'interprétation de l'information écologique fournie par l'abondance des macro-invertébrés n'a pas permis de créer un indicateur synthétique spécifique à ce groupe d'organismes. Le suivi des peuplements d'oursins herbivores (i.e. *Echinometra sp.*, *Echinothrix sp.*, *Stomopneustes sp.*) montre toutefois une nette tendance à la pullulation de ce groupe fonctionnel d'espèces (*Echinometra sp.* et *Stomopneustes sp.* sur les platiers internes ; *Echinothrix sp.* sur les platiers externes et le front récifal).

Or, s'il est reconnu que l'activité de bioérosion des oursins et des poissons herbivores, associée à la régulation de la croissance algale, favorise la libération d'espaces disponibles pour les larves coralliennes (Subhan et al., 2020), en revanche, contrairement aux poissons herbivores qui raclent la surface corallienne et laissent une zone propre pour l'installation des jeunes coraux, les oursins avec leur dent robuste (Lanterne d'Aristote) affaiblissent la structure globale du récif (Reid et al., 2009).

Selon McClanahan et Kurtis (1991), l'augmentation de la population d'*Echinometra mathaei*, attribuable à l'élimination de leurs prédateurs par les pêcheurs, entraîne l'exclusion compétitive des poissons herbivores et d'autres espèces d'oursins, accentuant le processus de bioérosion, à l'origine d'une diminution de la complexité topographique des récifs.

Cette action agressive sur la structure 3D du récif (rugosité) semble également entraîner un effet destructeur sur les larves de coraux. D'après Sato (1985), dans des conditions de pullulation d'oursins,

les larves coralliennes sont systématiquement détruites sur les substrats lisses et horizontaux. Seules les surfaces rugueuses, verticales et en surplombs permettent une survie larvaire.

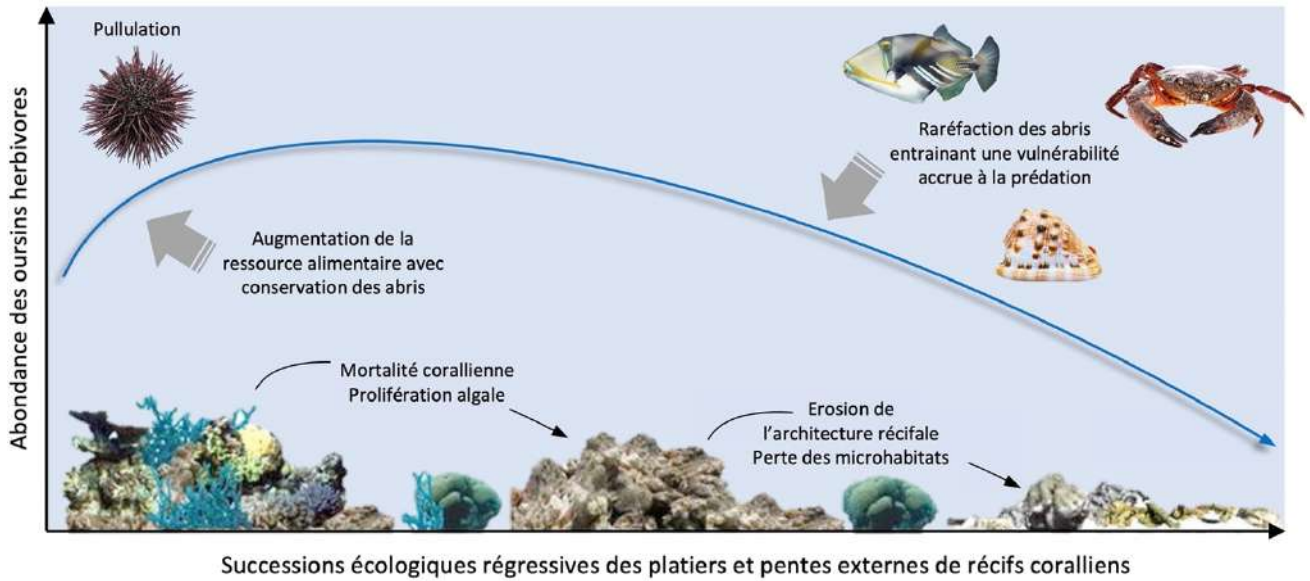


Figure 8. Schéma du processus de pullulation, suivi d'une régulation des populations d'oursins herbivores après érosion totale du substrat rocheux récifal (adapté de Ditzel et al., 2022).

### 5.5- Indicateur I de la DCE

L'indicateur I de la DCE, développé en 2015 par le groupe de travail GIP RNMR, PARETO, BIORECIF, Jean Benoit Nicet Consultant, IFREMER, est également un indicateur synthétique, calculé à partir de plusieurs métriques écologiques normalisées, basées sur des paramètres "améliorants" et "déclassants".

L'originalité de l'indicateur I par rapport aux indicateurs de structure et de vitalité des peuplements benthiques précédemment présentés et utilisés dans cette étude est son caractère intégratif (intégrant des métriques relatives à la structure et à la vitalité simultanément) et son parti pris de pondérer certaines métriques par un coefficient multiplicatif dans le calcul de la note finale. Ainsi, les métriques "recouvrement corallien" et "pourcentage de coraux acropores" sont pondérées respectivement de coefficients 10 et 5, l'ensemble des autres métriques ("recouvrement par les macroalgues", "recouvrement par la faune sessile non corallienne – coraux mous", etc.) ne cumulant au total qu'un coefficient 5. Cet indicateur est donc influencé à 75% par les seules métriques : "recouvrement corallien" et "pourcentage de coraux acropores".

En toute logique, l'indicateur I (Fig. 3b) fournit des résultats très proches de l'indicateur "structure des peuplements coralliens" (Fig. 7a), lui-même issu de la combinaison des métriques : "recouvrement corallien", "pourcentage d'acropores", "complexité structurelle" et "tailles des colonies coralliennes".

### 5.6- Effet réserve

Sur le secteur de La Saline, la zone de protection de niveau 3 se situe à cheval sur une zone riche (tiers Sud-Est de la réserve intégrale), marquée par des peuplements coralliens fortement structurés et présentant des vitalités moyennes à fortes, se poursuivant en dehors de la réserve, au droit de l'Uni'Vert et de la Bodega. Ces valeurs semblent davantage attribuables aux caractéristiques intrinsèques aux habitats récifaux concernés qu'à un effet réserve avéré, notamment en raison d'une vaste partie de la réserve intégrale située sur un platier compact sub-affleurant, très faiblement structuré (émergeant à chaque forte marée basse), et d'une petite partie située sur un platier à alignements, naturellement plus structuré, se poursuivant vers le Sud.

Du point de vue des métriques d'évaluation des peuplements ichthyologiques, seule la métrique "abondance et maturité des Scaridae" semble réagir de manière significative et positive à la présence de la réserve intégrale. Cet effet sera testé sur l'ensemble des secteurs dans le rapport final.

5.7- Interactions et corrélations entre variables écologiques

L'analyse du cercle des corrélations de l'ACP, réalisée sur l'ensemble des métriques mesurées *in situ* à La Saline, montre, sur le premier axe (27,01%), un rapprochement des variables structurales ("recouvrement corallien", "pourcentage d'acropores", "complexité structurale" et "tailles des colonies coralliennes"), de l'état de santé, de la densité des coraux juvéniles et des trois métriques relatives à l'évaluation des peuplements de poissons ("diversité spécifique du peuplement de poissons", "abondance et maturité des Scaridae" et "abondance et maturité des prédateurs supérieurs").

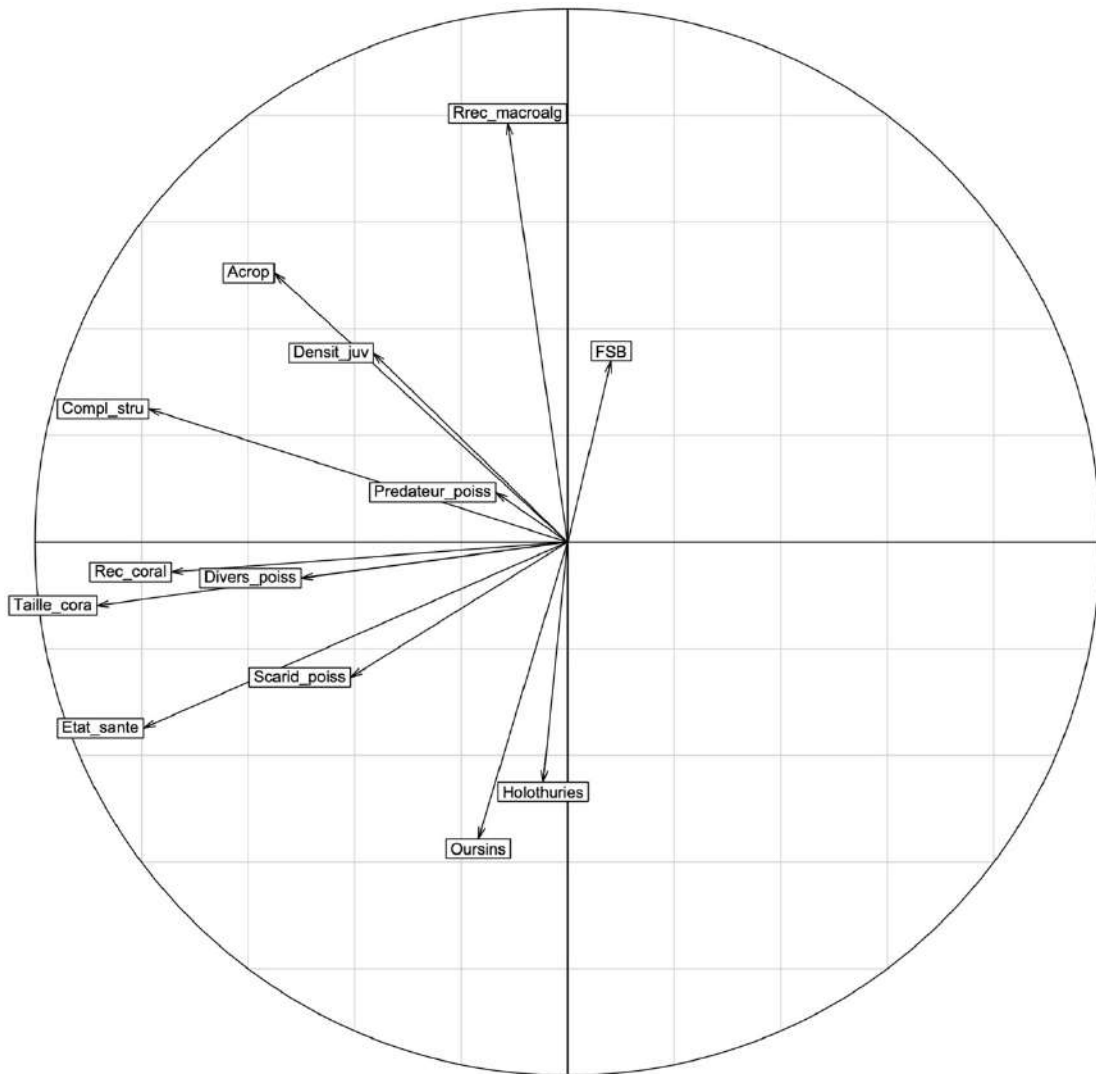


Figure 9. Cercle des corrélations de l'ACP entre métriques écologiques mesurées *in situ* à La Saline. Axe 1 = 27,01%, Axe 2 = 14,65%.

Le second axe (14,65%) sépare, en bas, les fortes abondances d'oursins, d'holothuries et de Scaridae, associées à un bon état de santé des peuplements coralliens, et, en haut, les forts recouvrements par les macroalgues et la faune sessile non corallienne (FSB), associés à une proportion plus élevée de coraux acropores, ainsi qu'à des densités de coraux juvéniles plus importantes.

Le premier axe montre ainsi une convergence des caractéristiques structurelles de l'habitat avec l'abondance et la diversité des peuplements de poissons, ainsi qu'un bon état de santé des peuplements benthiques, notamment en lien avec l'abondance des Scaridae.

Le second axe révèle en parallèle une action très structurante des peuplements d'échinodermes, principalement des oursins, mais également des poissons Scaridae, sur les recouvrements en macroalgues et en faune sessile non corallienne. Toutefois, l'étude des corrélations entre variables (annexe) révèle que, si les holothuries n'ont aucun lien statistique avec l'abondance des juvéniles de coraux et que les Scaridae semblent même favoriser leur implantation (lien significatif positif), en revanche, les oursins sont significativement associés à une réduction du potentiel de colonisation des substrats durs par les peuplements coralliens.

Il se pourrait ainsi que, dans un contexte de dérégulation démographique (potentiellement liée à une prolifération algale, associée à une disparition des prédateurs naturels : chasse, pêche et destruction d'habitat), les populations d'oursins prolifèrent et s'acclimatent, en modifiant leur morphologie et leur métabolisme pour optimiser leur compétitivité entre individus (Mcclanahan et Kurtis, 1991). Ils deviennent alors de puissants bioérodeurs des récifs et arasent la roche calcaire pour la transformer en une dalle lisse et homogène. Ce phénomène est particulièrement observé sur le platier externe et le front récifal, où les surfaces de récif sont par endroit entièrement lisses, à l'exception des colonies coralliennes adultes déjà en place, souvent situées sur des contreforts rocheux élimés et fragilisés.

## **6- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

### **6.1- Atouts et pistes d'amélioration de la méthode CORRAM**

Au terme d'une seconde année du programme UTOPIAN, l'aire d'étude a pu être étendue à la totalité de l'ensemble épi-récifal des complexes de la Réunion. Ce gain d'efficacité a pu être fourni grâce à une optimisation du plan d'échantillonnage et à une réduction du temps de suivi des organismes mobiles, *via* une réorganisation de la métrique "macro-invertébrée".

Les méthodes d'interpolation spatiale (krigeage ordinaire) ont confirmé leur adaptation à la spatialisation des enjeux marins, avec un lissage de l'hétérogénéité observée à fine échelle, tout en conservant la robustesse et la lisibilité des sorties graphiques, avec un rendu par ratios surfaciques, permettant un suivi de surfaces concernées par un enjeu de conservation donné (p.ex. zones possédant un recouvrement corallien > 50%).

L'approche par habitat restera à renforcer (actualisation de la carte des habitats et de la typologie en cours MNHN / MAREX), ainsi que les passerelles et complémentarités avec les outils de télédétection (projet BioEos) et de modélisation hydrodynamique (projet MOUVE) en vue d'une extension de la méthode à des récifs plus vastes que ceux de La Réunion.

Les dépressions d'arrière récifs seront en outre échantillonnées par la méthode SEARAM (Seagrass bed Rapid Assessment Method), transposition de la méthode CORRAM sur les substrats meubles, afin de compléter la cartographie récifale et de fournir une vision de la continuité écologique entre bassins versants et indicateurs de structure et de vitalité des peuplements.

### **6.2- Informations fournies par les indicateurs poissons et macro-invertébrés**

Si les champs d'application potentiels des indicateurs de vitalité et de structure des peuplements benthiques ont déjà été développés dans le précédent rapport (Broudic et Pinault, 2022), en revanche, les indicateurs d'évaluation de la faune mobile associée aux récifs (poisson et macro-invertébrés) n'avaient pas abouti à des résultats concluants lors de l'échantillonnage du complexe de Saint-Pierre Terre Sainte.

Suite au raffinement de l'indicateur "macro-invertébrés" en suivis spécifiques des peuplements d'oursins et d'holothuries, la présente étude tend à identifier des liens entre ces groupes fonctionnels et les



mécanismes de régulation de l'écosystème récifal. Ainsi, si les oursins sont connus pour leur rôle de brouteurs actifs du recouvrement algal, notamment dans les Caraïbes (*Diadema antillarum*), mais également dans l'indo-pacifique (*Echinometra mathei*, *Echinothrix spp.*), ils sont également étudiés pour leur fort pouvoir bioérodeur.

Dans un contexte de dérégulation démographique marqué (pullulation jusqu'à > 50 individus/m<sup>2</sup> pour *E. mathei*), le potentiel régulateur du recouvrement algal par les oursins est associé à un arasement généralisé des platiers externes et à une destruction des juvéniles de coraux, entraînant une inhibition des mécanismes de résilience écologique. Ces mécanismes de dérégulation démographiques sont souvent associés à une prolifération des ressources alimentaires (algues) et à la disparition de groupes fonctionnels régulateurs (prédateurs top-down) (McClanahan et Kurtis, 1991).

Concernant les peuplements de poissons, la métrique "abondance des prédateurs > 20 cm" a fourni des résultats extrêmement faibles sur tout le complexe de La Saline, sans lien apparent avec le statut de protection de la RNMR. Ce groupe fonctionnel, composé principalement de Serranidae et de Carangidae pourrait être davantage associé à des habitats caractéristiques (platier à alignements, bourrelet récifal, chenal de houle) qu'à des zones de protection renforcée, la zone sanctuaire de La Saline étant aux 2/3 située sur un platier compact sub-affleurant, marqué par la rareté et la pauvreté de ses peuplements de poissons. La métrique "diversité spécifique du peuplement de poissons" était également très liée à la structure des peuplements coralliens, et donc probablement à l'habitat, sans lien avec le statut de protection. Les secteurs les plus préservés (bon état de santé) étaient également marqués par une plus grande diversité.

En revanche, la métrique "abondance et maturité des Scaridae" semble réagir positivement au statut de réserve intégrale (niveau 3), avec des populations globalement plus abondantes, composées d'une plus forte proportion d'individus adultes. Ce résultat peut être extrapolé aux populations d'herbivores (p. ex. Acanthuridae, Siganidae), dont les individus observés en réserve étaient globalement et visiblement de plus grande taille. En outre, les abondances et les tailles des Scaridae, observés sur le récif de Saint-Pierre (Broudic et Pinault, 2022), étaient nettement plus faibles que sur l'ensemble du récif de de La Saline, montrant que les zones de protection de niveau 2 constituent également des zones de protection et de reconstitution des stocks de Scaridae. Ce constat est en faveur d'un effet positif de la mise en réserve sur le mécanisme de régulation des peuplements algaux, favorable à un meilleur état de santé et à une meilleure résilience écologique (Hughes et al., 2007 ; Jackson et al. 2014).

### 6.3- Perspectives 2023-2024

Le programme LIFE4BEST s'est terminé fin août 2022. Le programme SOS Corail s'étend jusqu'à fin 2023. Le présent rapport fournit donc un travail intermédiaire de bilan à mi-parcours du second programme de financement du projet UTOPIAN. Les objectifs pour les mois à venir sont notamment :

- Produire un modèle courantologique des masses d'eaux côtières pour comprendre les mécanismes de dilution, diffusion des apports par ruissellement et par infiltration (une demande de financement à la DEAL par l'association BEST-RUN, en partenariat avec ACTIMAR et MAREX a été validée fin 2022). Avec ces informations, il sera possible d'explorer plus en profondeur les liens de causalité entre l'état de conservation et les pressions environnementales (naturelles et anthropiques) ;
- Poursuivre l'échantillonnage des récifs de La Réunion vers le large, côté pente externe, entre 0 et 12 m de profondeur, appuyés d'un support surface adaptée à la plongée sous-marine en apnée. Cet échantillonnage est planifié à partir de février 2023 et devrait se poursuivre jusqu'en mai de la même année. Une demande spécifique d'entrée en réserve intégrale, côté pente externe, par une équipe réduite et formée aux techniques d'échantillonnage CORRAM (Léo Broudic, Mathieu Pinault et Romain Claud) sera livrée au CS de la RNMR dans les plus brefs délais ;

- Compléter la couverture spatiale des formations récifales par l'échantillonnage des substrats meubles de dépressions d'arrière récifs selon la méthode SEARAM (Pinault et al., [in prep](#)). Ce complément d'information fournira des éléments de compréhension des mécanismes de continuité écologique entre les bassins versants et les formations récifales, jusqu'aux pentes externes.
- Élaborer un outil d'aide à la décision (atlas cartographique et liens de causalité explorés) à destination des pouvoirs publics pour une meilleure prise en compte de l'enjeu de conservation des récifs coralliens dans la planification territoriale, à travers un projet de thèse doctorale (L. Broudic) financé par le programme 2023-2026 du thème MERCI-Cor de l'IFRECOR.

## **7- BIBLIOGRAPHIE**

- BROUDIC, L., PINAULT, M. (2022). UTOPIAN – Identification des zones d'enjeu prioritaires de conservation au sein des platiers récifaux de la Réunion. 26 p + annexes
- DITZEL, P., KÖNIG, S., MUSEMBI, P., PETERS, M. K. (2022). Correlation between coral reef condition and the diversity and abundance of fishes and sea urchins on an East African coral reef. In *Oceans* (Vol. 3, No. 1, pp. 1-14). MDPI.
- GIP RNMR, PARETO, BIORECIF, JEAN BENOIT NICET CONSULTANT, IFREMER, (2015) DCE substrats durs – Suivi du benthos de substrats durs en milieu marin – Rapport de synthèse- Janvier 2016. 60 pages + annexes.
- HUGHES, T. P., RODRIGUES, M. J., BELLWOOD, D. R., CECCARELLI, D., HOEGH-GULDBERG, O., MCCOOK, L., ..., WILLIS, B. (2007). Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current biology*, 17(4), 360-365.
- JACKSON, J., M. DONOVAN, K. CRAMER AND V. LAM. 2014. Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970–2012. Global Coral Reef Monitoring Network.
- MCCLANAHAN, T.R., KURTIS, J.D. (1991). Population regulation of the rock-boring sea urchin *Echinometra mathaei* (de Blainville). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 147(1), 121-146.
- MONNIER, O., COFFRE-VIEILLARD S., BISSERY, C. (2021). Évaluer l'état écologique des récifs coralliens. Réflexions à la croisée des politiques publiques de protection. Synthèse des séminaires du groupe de travail « récifs coralliens » DCE-IFRECOR 2016-2019. 140 p.
- OYANA, T.J. (2020). *Spatial Analysis with R: Statistics, Visualization, and Computational Methods*. CRC press.
- PINAULT, M., BROUDIC, L., NICET, J.B., WICKEL, J., PIOCH, S. (2021). CORRAM: a new Rapid Assessment Method for Coral Reefs. 10 p.
- REID C, MARSHALL J, LOGAN D, KLEINE D. (2009). *Coral Reefs and Climate Change: The Guide for Education and Awareness* (Australia: The University of Queensland) p 256
- SATO, M. (1985). Mortality and growth of juvenile coral *Pocillopora damicornis* (Linnaeus). *Coral Reefs*, 4(1), 27-33.
- SUBHAN, B., HUDHAYANI, N.N., ERVINIA, A., SANTOSO, P., ARAFAT, D., KHAIRUDI, D., ..., MADDUPPA, H. (2020). Coral recruitment on concrete blocks at Gosong Pramuka, Kepulauan Seribu, Jakarta. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 404, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.

ANNEXE 1 : MÉTRIQUES CORRAM MESURÉES IN SITU (PINAULT ET AL., 2021)

FONCTIONS ÉCOLOGIQUES ÉVALUÉES PAR L'INDICATEUR	MÉTHODE D'ESTIMATION SEMI-QUANTITATIVE (PROTOCOLE)	MÉTRIQUES ET SCORES ASSOCIÉS	PRESSIONS AUX EFFETS DÉLÉTERES AVÉRÉS SUR L'INDICATEUR
<b>RÉCIFS CORALLIENS - RC (PEUPLLEMENTS BENTHIQUES DE SUBSTRATS DURS)</b>			
<p><b>RC-1. Recouvrement corallien (Scléactiniaires)</b></p> <p>Les polypes coralliens synthétisent leur squelette calcaire sous forme de calices qui s'accumulent les uns sur les autres pour former, renforcer et faire croître le récif. Ils en sont les organismes fondateurs<sup>2,3</sup>. Le suivi d'un récif corallien se base donc en premier lieu sur le pourcentage de recouvrement des substrats durs par les colonies coralliennes vivantes. Plus un habitat aura un recouvrement corallien élevé, plus il aura une activité bio-constructrice importante<sup>4,5,6,7</sup>.</p>	<p>Quel pourcentage des substrats durs est recouvert par les peuplements coralliens vivants ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. &lt; 5%                      1. 5 à 20%                      2. 21 à 50%                      3. &gt; 50%</p>	<p><b>Origine anthropique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pratiques de pêches destructrices<sup>66,67,68,69,70</sup></li> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Aménagement du territoire<sup>71,74,75,77,78</sup></li> <li>• Sur-fréquentation touristique<sup>75,80,81,82,83,84</sup></li> </ul> <p><b>Origine naturelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Invasion d'<i>Acanthaster</i><sup>84,95,96</sup></li> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>97,98,99</sup></li> <li>100,101,102</li> </ul>
<p><b>RC-2. Pourcentage du recouvrement corallien représenté par les coraux acropores</b></p> <p>Dans des conditions abiotiques favorables, les genres <i>Acropora</i> et <i>Isopora</i> (Acroporinae) ont une croissance rapide, jusqu'à devenir des genres dominants du peuplement corallien<sup>8,9</sup>. Dans l'Indopacifique, un fort recouvrement par ces genres reflète un stade de successions écologiques élevé (stade théorique du climax)<sup>10</sup>. Du fait de leur faible tolérance aux variations des conditions abiotiques (notamment à la hausse des températures de l'eau), leur faible proportion témoigne généralement de l'action chronique et/ou aigue de pressions d'origine naturelle et/ou anthropique<sup>1,1,2</sup>.</p>	<p>Quel pourcentage du recouvrement par les coraux vivants est représenté par les genres <i>Acropora</i> et <i>Isopora</i> ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. 0%                      1. 1 à 20%                      2. 21 à 50%                      3. &gt; 50%</p>	<p><b>Pratiques de pêches destructrices</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pratiques de pêches destructrices</li> <li>• Pollutions des milieux</li> <li>• Aménagement du territoire</li> <li>• Sur-fréquentation touristique</li> </ul> <p><b>Invasion d'<i>Acanthaster</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents</li> </ul>
<p><b>RC-3. Vitalité et taux de mortalité corallienne</b></p> <p>L'exposition d'une colonie corallienne vivante à un stress ou à un pathogène, peut être à l'origine de réponses physiologiques multiples, de gravité croissante, allant d'une réduction de fertilité et de croissance, à une dépigmentation (fluorescence blanchissement) ou à l'apparition de nécroses tissulaires<sup>25,26</sup>. Cet état de santé général peut ainsi être révélé par des caractères extérieurs, visibles et reconnaissables. La présence de colonies mortes, stade ultime des réponses physiologiques, témoigne d'une perturbation générale des caractéristiques abiotiques du milieu<sup>61,64,27</sup>.</p>	<p>Quel est l'état de santé général des colonies coralliennes (nécroses, débris, mortalité) et quelle est la prévalence des maladies au sein du peuplement ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. Les colonies coralliennes présentent de nombreuses nécroses et des symptômes de maladies. Certaines peuvent être blanchies. De nombreuses colonies sont déjà mortes, avec accumulation de débris.</p> <p>1. Les colonies coralliennes présentent de fréquentes nécroses et des symptômes de maladies, mais peu de colonies sont mortes et les débris sont peu abondants.</p> <p>2. Les colonies coralliennes présentent de rares nécroses et/ou symptômes de maladies et très peu de colonies mortes (c.à.d. &lt; 5) et de débris sont observés.</p> <p>3. Aucune colonie n'est morte, nécrosée, blanchie, cassée ou infectée. Les peuplements coralliens présentent une vitalité maximale.</p>	<p><b>Pratiques de pêches destructrices</b><sup>66,67,68,69,70</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pratiques de pêches destructrices</li> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Aménagement du territoire<sup>71,74,75,77,78</sup></li> </ul> <p><b>Invasion d'<i>Acanthaster</i></b><sup>84,95,96</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>97,98,99</sup></li> <li>100,101,102</li> </ul>
<p><b>RC-4. Complexité structurelle des peuplements coralliens</b></p> <p>Les coraux peuvent adopter, au cours de leur croissance, des organisations spatiales variées. Des formes diversifiées fournissent une complexité élevée, permettant à de nombreuses espèces associées de s'y installer<sup>19,20,21</sup>. Il existe un lien entre architecture corallienne et structure écologique de l'écosystème. Les récifs coralliens peuvent ainsi être classés selon une succession de morphotypes de complexité croissante. Ces faciès morphologiques sont des prédicteurs fiables de plusieurs aspects de la valeur de conservation des récifs, notamment de la richesse en espèces coralliennes et de la présence d'espèces coralliennes rares<sup>12,22</sup>.</p>	<p>Quelles sont les formes de croissance (morphotypes) les plus représentées au sein du peuplement corallien ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. Lorsqu'ils sont présents, les peuplements coralliens sont dominés par les formes encroûtantes, massives et submassives, présentant un relief peu prononcé.</p> <p>1. En plus des morphotypes précédents, les peuplements coralliens présentent des formes foliacées, digitées ou en corymbes, offrant des reliefs plus marqués.</p> <p>2. Les morphotypes coralliens sont diversifiés et tendent à se dresser verticalement : apparition des formes columnaires et à branches épaisses.</p> <p>3. Les morphotypes coralliens sont très diversifiés, notamment les formes branches et/ou tabulaires qui dominent le peuplement et fournissent une grande diversité d'habitats.</p>	<p><b>Pratiques de pêches destructrices</b><sup>66,67,68,69,70</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pratiques de pêches destructrices</li> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Aménagements et infrastructures<sup>71,74,75,77,78</sup></li> <li>• Sur-fréquentation des zones récréatives<sup>79,80,81,82,83,84</sup></li> </ul> <p><b>Invasion d'<i>Acanthaster</i></b><sup>84,95,96</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>97,98,99</sup></li> <li>100,101,102</li> </ul>

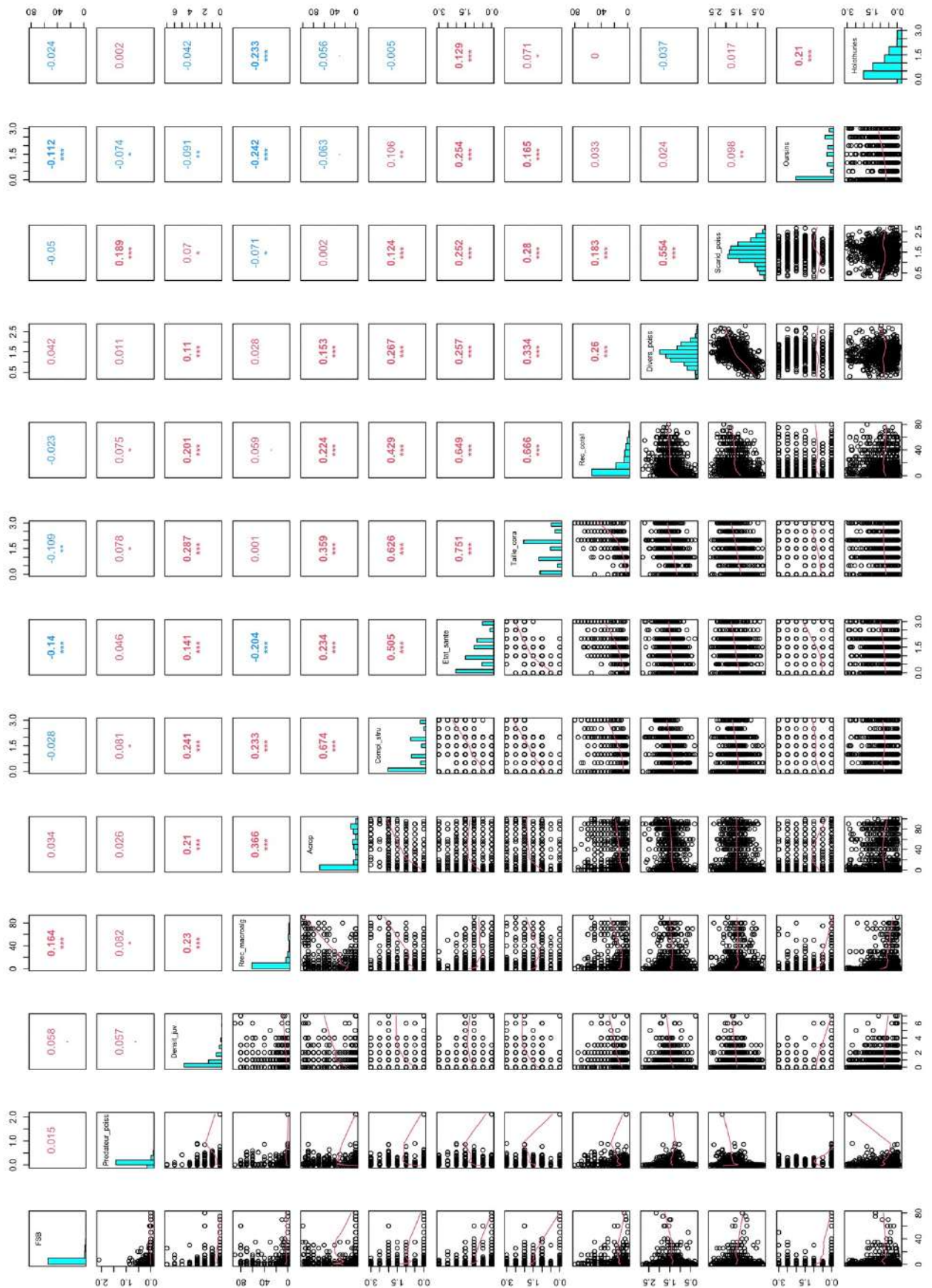
<p><b>RC-5. Taille des coraux vivants</b></p> <p>Bien que les vitesses de croissance soient très variables entre espèces, il est reconnu que plus une colonie corallienne est grande, plus elle est ancienne, résistante et fertile<sup>3,17</sup>. Les classes de taille des colonies vivantes informent donc, en fonction des vitesses de croissance des espèces concernées, sur le temps passé depuis la dernière perturbation majeure de l'écosystème, ayant entraîné une mortalité potentielle ou avérée (colonies mortes) des plus grandes colonies<sup>10,23,24</sup>. Elles informent également sur la capacité des colonies vivantes à survivre à d'éventuelles pressions susceptibles de survenir à l'avenir.</p>	<p>Comment les classes de taille des colonies vivantes sont-elles distribuées au sein du peuplement corallien ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. Lorsqu'elles sont présentes, les colonies vivantes ont des tailles homogènes, avec des diamètres majoritairement inférieurs à 5 cm et très peu de colonies supérieures à 40 cm (&lt;5% des colonies).</p> <p>1. Les colonies coralliennes vivantes ont des tailles homogènes, avec des diamètres majoritairement inférieurs à 10-15 cm et très peu de colonies supérieures à 40 cm (&lt;5% des colonies).</p> <p>2. Les colonies coralliennes vivantes ont des tailles hétérogènes, avec des colonies de petites tailles, de tailles moyennes et de grandes colonies supérieures à 40 cm distribuées équitablement.</p> <p>3. Les colonies coralliennes vivantes ont des tailles hétérogènes, avec des colonies de petites tailles, de tailles moyennes et de grandes colonies supérieures à 100 cm distribuées équitablement.</p>	<p><b>Origine anthropique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Aménagements et infrastructures<sup>71,74,75,77,78</sup></li> <li>• Sur-fréquentation des zones récifales<sup>73,80,81,82,83,84</sup></li> </ul>	<p><b>Origine naturelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>87,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
<p><b>RC-6. Densité de coraux juvéniles</b></p> <p>La densité de coraux juvéniles (1 à 2 cm de diamètre<sup>13</sup>) est un indicateur de la capacité d'installation (colonisation) ou de renouvellement des populations (résilience). Une densité élevée est indicatrice d'une forte dynamique démographique<sup>14,15</sup>. En se fixant sur les substrats durs, non occupés par les colonies coralliennes adultes (régulation densité limitante), les recrues entrent en compétition avec les autres organismes de la communauté benthique (notamment les algues) et peuvent être consommées par les espèces excavatrices. Cet équilibre écologique peut être perturbé par des pressions d'origine naturelle et/ou anthropique, occasionnant des valeurs de densité plus faibles (mortalité accrue)<sup>13,16,17,18</sup>.</p>	<p>Quelle est la densité de coraux juvéniles (1 à 2 cm) observée sur les substrats durs, non occupés par les colonies coralliennes adultes ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. 0 juvénile/m<sup>2</sup></p> <p>1. 1 à 2 juvéniles/m<sup>2</sup></p> <p>2. 3 à 4 juvéniles/m<sup>2</sup></p> <p>3. &gt; 4 juvéniles/m<sup>2</sup></p>	<p><b>Origine anthropique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Aménagement du territoire<sup>71,74,75,77,78</sup></li> </ul>	<p><b>Origine naturelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>87,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
<p><b>RC-7. Recouvrement par la faune sessile non corallienne</b></p> <p>Les espèces de la faune benthique sessile non corallienne (spongiaires, zoanthaires, alcyonnaires, gorgonaires, antipathaires, ascidies, etc.) sont en compétition avec les autres espèces de la communauté benthique<sup>38,29,30</sup>. Toutefois, ces organismes hétérotrophes, se nourrissant des particules organiques en suspension dans l'eau de mer, peuvent supporter des turbidités élevées, au-delà des seuils de tolérance des espèces coralliennes et algales. Leur présence sur les récifs coralliens est donc liée à l'atténuation de l'intensité lumineuse avec la profondeur ou suite à la dégradation chronique de la qualité de l'eau (turbidité, matière organique en suspension)<sup>30,31</sup>.</p>	<p>Quel pourcentage des substrats durs est recouvert par la faune sessile non corallienne ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. &gt; 20%</p> <p>1. 11 à 20%</p> <p>2. 5 à 10%</p> <p>3. &lt; 5%</p>	<p><b>Origine anthropique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Aménagement du territoire<sup>71,74,75,77,78</sup></li> </ul>	<p><b>Origine naturelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>87,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
<p><b>RC-8. Recouvrement par les macroalgues</b></p> <p>Les algues sont des producteurs primaires, s'alimentant de sels nutritifs inorganiques (nitrates, phosphates). Elles colonisent les substrats durs des zones euphotiques et sont en compétition avec les autres espèces de la communauté benthique<sup>32</sup>. Cette compétition peut être déséquilibrée en leur faveur suite à une disparition des herbivores ou à un apport excessif en sels nutritifs<sup>33,34,35</sup>. Elles envahissent alors les substrats durs et peuvent étouffer et empoisonner les colonies coralliennes, réduisant ainsi drastiquement leur vitalité et leur taux de recouvrement<sup>36</sup>. Outre leur rôle avéré de compétitrices des peuplements coralliens, les macroalgues sont également suivies dans le cadre de réseaux de bio-surveillance de la qualité de l'eau (fleshy macroalgal index)<sup>34,36</sup>.</p>	<p>Quel pourcentage des substrats durs est recouvert par les macroalgues charnues ou filamenteuses (&gt; 2 cm de hauteur) ?</p> <p><b>Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m<sup>2</sup></b></p>	<p>0. &gt; 50%</p> <p>1. 21 à 50%</p> <p>2. 5 à 20%</p> <p>3. &lt; 5%</p>	<p><b>Origine anthropique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Aménagement du territoire<sup>71,74,75,77,78</sup></li> </ul>	<p><b>Origine naturelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>87,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>

FAUNE MOBILE - FM (PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES)	
FM-1. Diversité spécifique des peuplements de poissons	Origine naturelle
<p>La diversité spécifique d'un peuplement peut être représentée comme le croisement du nombre d'espèces vivant dans un habitat (richesse spécifique) et de la répartition des individus au sein de ces espèces (équité spécifique)<sup>37</sup>. Il en résulte un indicateur composite, sensible à la fois au nombre d'espèces recensées et à l'équité de distribution de l'effectif total entre les différentes espèces<sup>38,39</sup>. Ainsi, une diminution de la richesse spécifique associée à une prolifération d'espèces opportunistes, entrainera une baisse de la diversité spécifique, caractéristique de successions écologiques régressives<sup>40</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>67,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
<p>Quelle est la diversité spécifique des six familles de poissons les plus communément observées sur les récifs coralliens ?</p> <p>Cf: <i>Tableau des six familles les plus communément observées sur les récifs coralliens selon Allen et Werner (2002)</i><sup>103</sup></p> <p><b>Score estimé au cours d'un cheminement aléatoire de 10 mn (≈ 500 m<sup>2</sup>)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> <li>• Introduction d'espèces potentiellement envahissantes<sup>90,91,92,93</sup></li> </ul>
<p>0. Moins de 5 espèces sont observées. 1. De 5 à 15 espèces sont observées. 2. Plus de 15 espèces sont observées, mais l'effectif total du peuplement est marqué par la prolifération (≥ 20%) des espèces opportunistes : <i>Stegastes spp.</i>, <i>Acanthurus triostegus</i>, <i>A. nigrofasciatus</i> et <i>Ctenochoetus striatus</i>. 3. Plus de 15 espèces appartenant aux six familles sont observées et les espèces opportunistes ne présentent aucune prolifération (&lt; 20% du peuplement).</p>	<p><b>Habitats de type pente externe uniquement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0. Aucun prédateur supérieur n'est observé.</li> <li>1. Certaines espèces sont présentes, mais aucun individu supérieur ou égal à 35 cm n'est observé.</li> <li>2. Entre 1 et 10 individus de taille supérieure ou égale à 35 cm sont observés, quel que soit le nombre de petits individus (juvéniles).</li> <li>3. Plus de 10 individus de taille supérieure ou égale à 35 cm sont observés, quel que soit le nombre de petits individus (juvéniles).</li> </ul>
<p>Quelle est l'abondance et la taille des prédateurs supérieurs récifaux ?</p> <p>Cf: <i>Tableau des espèces de prédateurs supérieurs récifaux de La Réunion selon Fricke et al. (2009)</i><sup>105</sup></p> <p><b>Score estimé au cours d'un cheminement aléatoire de 10 mn (≈ 500 m<sup>2</sup>)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> <li>• Introduction d'espèces potentiellement envahissantes<sup>90,91,92,93</sup></li> </ul>
<p><b>FM-2a. Abondance et maturité des prédateurs supérieurs récifaux</b></p> <p>Lors des stades précoces des successions écologiques, les organismes tendent à présenter de petites tailles, à avoir de simples traits d'histoire de vie et de forts taux de reproduction (régulation « bottom-up »). Quand l'écosystème se développe, l'avantage sélectif se déplace vers les plus grands organismes, qui ont de plus grandes capacités de stockage et des histoires de vie plus complexes (régulation "top down")<sup>14,42,43</sup>. En outre, l'exploitation halieutique et son impact très ciblé sur les carnivores apicaux, pourrait avoir une action sur la structure des peuplements, notamment par la disparition du rôle régulateur des prédateurs sur les populations juvéniles et adultes de petite taille<sup>44,45,46,47</sup>.</p>	<p><b>Habitats de type platier uniquement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0. Aucun individu d'<i>E. merra</i> n'est observé.</li> <li>1. Quelques individus sont présents, mais aucun spécimen supérieur ou égal à 17 cm n'est observé.</li> <li>2. Entre 1 et 10 individus de taille supérieure ou égale à 17 cm sont observés, quel que soit le nombre de petits individus (juvéniles).</li> <li>3. Plus de 10 individus de taille supérieure ou égale à 17 cm sont observés, quel que soit le nombre de petits individus (juvéniles).</li> </ul>
<p><b>FM-2b. Abondance et maturité d'<i>Epinephelus merra</i></b></p> <p><i>Epinephelus merra</i> est une petite espèce de mérou (&lt; 35 cm), se nourrissant de crustacés et de poissons, très commune dans les lagons peu profonds et les récifs semi-protégés de l'Indopacifique. Les juvéniles affectionnent particulièrement les enchevêtrements de coraux branchus du genre <i>Acropora</i>. Elle est mature à partir de 17 cm et une augmentation de la piscivorie est observée avec l'âge. Elle représente un maillon supérieur de la chaîne alimentaire des habitats de platier et de dépression post-récifale. Elle fait l'objet d'une pêche traditionnelle intensive et sa population est suivie dans le cadre du réseau de surveillance POPMER à La Réunion<sup>48,49</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> <li>• Introduction d'espèces potentiellement envahissantes<sup>90,91,92,93</sup></li> </ul>
<p>Quelle est l'abondance et la taille des individus d'<i>Epinephelus merra</i> ?</p> <p><b>Score estimé au cours d'un cheminement aléatoire de 10 mn (≈ 500 m<sup>2</sup>)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> <li>• Introduction d'espèces potentiellement envahissantes<sup>90,91,92,93</sup></li> </ul>
<p>0. Aucun poisson perroquet n'est observé. 1. Les poissons perroquets sont présents, mais aucun individu de taille supérieure ou égale à 25 cm n'est observé. 2. Entre 1 et 10 individus de taille supérieure ou égale à 25 cm sont observés, quel que soit le nombre de petits individus (juvéniles). 3. Plus de 10 individus de taille supérieure ou égale à 25 cm sont observés, quel que soit le nombre de petits individus (juvéniles).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>67,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
<p>Quelle est l'abondance et la taille des poissons perroquets (Scaridae) ?</p> <p><b>Score estimé au cours d'un cheminement aléatoire de 10 mn (≈ 500 m<sup>2</sup>)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> <li>• Introduction d'espèces potentiellement envahissantes<sup>90,91,92,93</sup></li> </ul>
<p><b>FM-3. Abondance et maturité des poissons perroquets</b></p> <p>Les organismes herbivores, comprenant une gamme d'espèces de poissons et d'invertébrés, jouent un rôle important dans la régulation de l'équilibre compétitif entre algues et coraux. Ils contribuent à empêcher les macroalgues d'envahir les coraux et de provoquer leur étouffement<sup>50</sup>. Parmi ces herbivores, les poissons perroquets (famille des Scaridae) s'alimentent en radant (scrapers) ou en arrachant (excavateurs) une partie du substrat enlaidi, libérant ainsi un espace favorable à l'installation des recrues coralliennes<sup>51,52</sup>. Ces espèces sont ainsi reconnues pour leur rôle important dans les processus de résilience écologique<sup>53,54</sup>. Elles sont toutefois fortement ciblées par la pêche traditionnelle<sup>50</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>67,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>

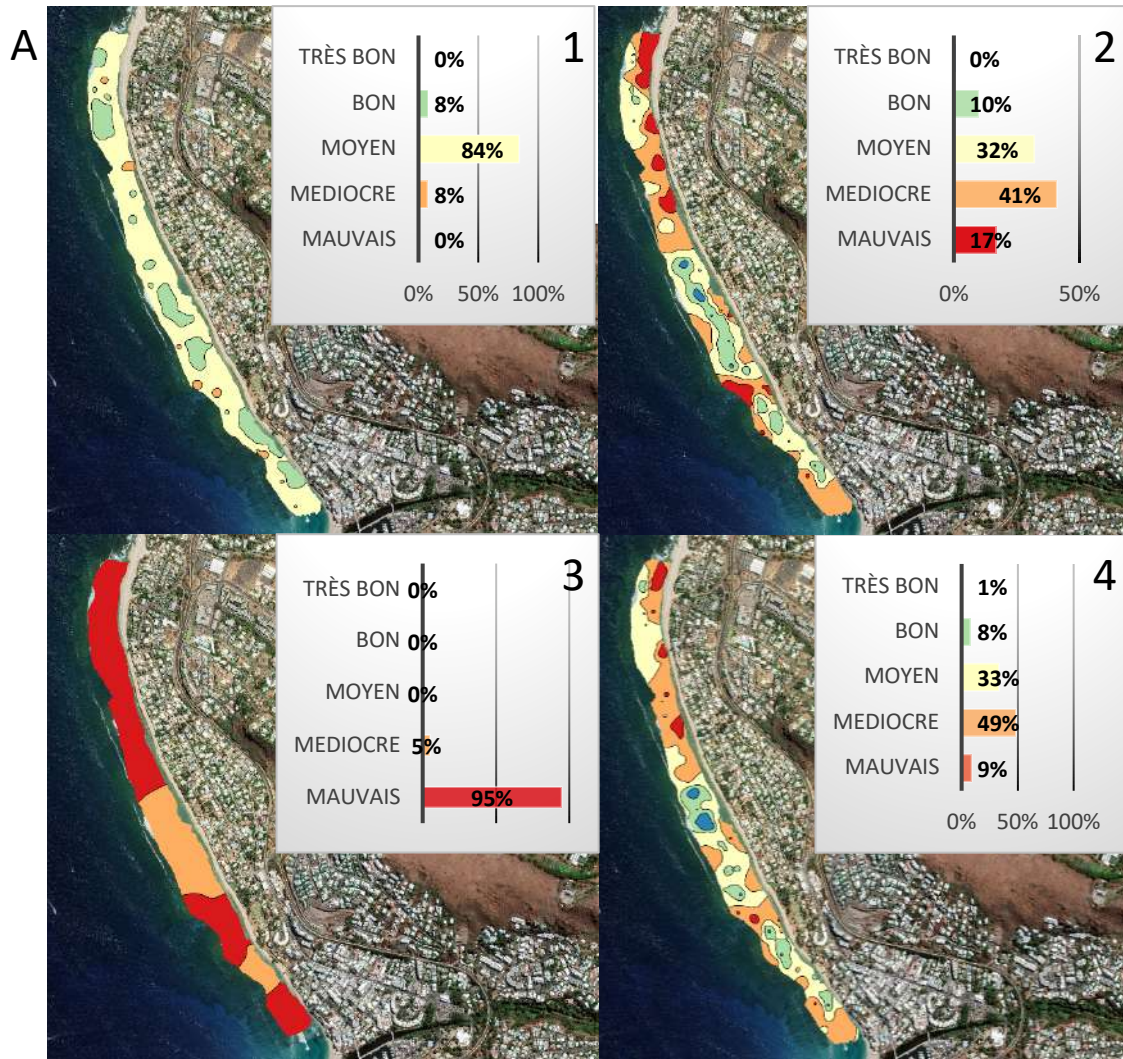
FAUNE MOBILE - FM (PEUPELEMENTS DE MACRO-INVERTÉBRÉS)				
FM-4. Densité des oursins herbivores (indicateur d'alerte uniquement sur substrats durs)	Quelle est la densité cumulée des espèces d'oursins appartenant aux genres <i>Echinometra</i> , <i>Diadema</i> , <i>Stomopneustes</i> et <i>Echinothrix</i> sur substrats durs ?	0. > 40 ind/100 m <sup>2</sup> 1.5. < 10 ind/100 m <sup>2</sup> 3. 10 à 40 ind/100 m <sup>2</sup>	Origine anthropique	Origine naturelle
Les oursins, appartenant aux genres <i>Echinometra</i> , <i>Diadema</i> , <i>Stomopneustes</i> et <i>Echinothrix</i> , sont des herbivores stricts de la communauté benthique qui participent à la régulation de la croissance du feuillage algal <sup>65</sup> . Leur rôle écologique est primordial dans l'équilibre compétitif entre peuplements algaux et coralliens <sup>66,57,58</sup> . Toutefois, leur prolifération au sein d'un écosystème peut traduire une perturbation des mécanismes de régulation de leurs populations suite à une disparition de leurs prédateurs naturels ou à un développement de nature dystrophique des peuplements algaux (eutrophisation) <sup>59</sup> .	Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m <sup>2</sup>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>87,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
<b>FM-5. Densité des acanthasters (indicateur d'alerte uniquement sur substrats durs)</b>	Quelle est la densité d' <i>Acanthaster planci</i> sur substrats durs ?	0. > 10 ind/100 m <sup>2</sup> 1.5. 1 à 10 ind/100 m <sup>2</sup> 3. < 1 ind/100 m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>87,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
<i>Acanthaster planci</i> est une espèce d'étoile de mer se nourrissant presque exclusivement de corail. Sa capacité de reproduction est très importante, les femelles pouvant produire plusieurs dizaines de millions d'œufs par saison. Les larves, planctoniques, sont particulièrement mobiles et peuvent dériver sur des centaines de kilomètres. Bien qu'elle soit naturellement présente sur les récifs indopacifiques, elle est connue pour être localement une espèce à fort potentiel de pollution, occasionnant alors de graves impacts sur les récifs coralliens <sup>60</sup> . Les nombreux facteurs à l'origine de ces pollutions sont encore mal connus mais pourraient impliquer des perturbations d'origine anthropique, soit en favorisant l'élimination des prédateurs naturels de l'espèce, soit que la pollution, en particulier les phénomènes d'eutrophisation et la sédimentation terrigène, favorise la survie des larves et l'explosion des populations adultes <sup>61,62</sup> .	Score moyen estimé au sein de 5 points fixes de 100 m <sup>2</sup>			
<b>FM-6. Abondance des macro-invertébrés</b>	Quelle est l'abondance des espèces de macro-invertébrés pouvant faire l'objet de prélèvements (pêche, collection, braconnage, aquariophilie, etc.) ? Cf: Tableau des espèces de macro-invertébrés pouvant faire l'objet de prélèvements	0. 0 ind/10 mn 1. 1 à 5 ind/10 mn 2. 6 à 15 ind/10 mn 3. > 15 ind/10 mn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollutions des milieux<sup>66,70,71,72,73,74,75,76</sup></li> <li>• Surpêche<sup>85,86,87,88,89</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements globaux et phénomènes climatiques récurrents<sup>87,98,99,100,101,102</sup></li> </ul>
De nombreuses espèces de mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes), crustacés (langoustes, cigales, crevettes, crabes), et d'échinodermes (oursins, holothuries) font l'objet d'un commerce plus ou moins réglementé et lié à diverses activités humaines (pêche, aquariophilie, collection, etc.) <sup>103,104</sup> . Ces organismes, généralement de taille moyenne à grande, jouent un rôle important dans les processus de résilience écologique en participant au maintien des mécanismes de régulation des récifs coralliens et de recyclage de la matière organique (détritivores, filtreurs, prédateurs d'acanthaster, brouteurs du feuillage algal, etc.) <sup>105</sup> . Leur surexploitation participe à la réduction des capacités de résistance et de résilience de l'écosystème face à la présence de pressions d'origine naturelle ou anthropique <sup>55</sup> .	Score estimé au cours d'un cheminement aléatoire de 10 mn (≈ 500 m <sup>2</sup> )			

**ANNEXE 2 : TABLEAU DES CORRÉLATIONS ENTRE MÉTRIQUES ÉCOLOGIQUES MESURÉES IN SITU À LA SAINE**

Matrice de corrélation de Pearson

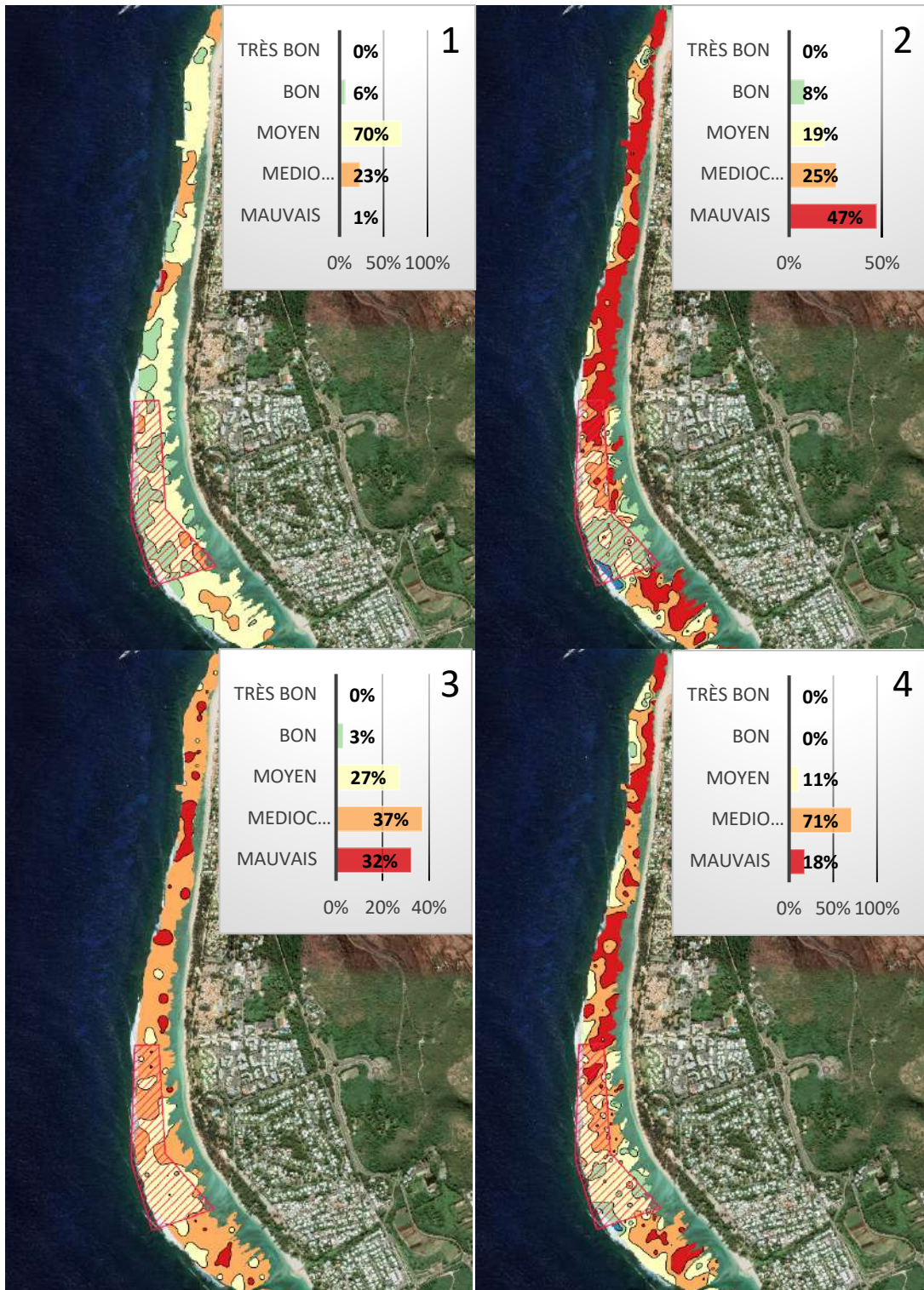


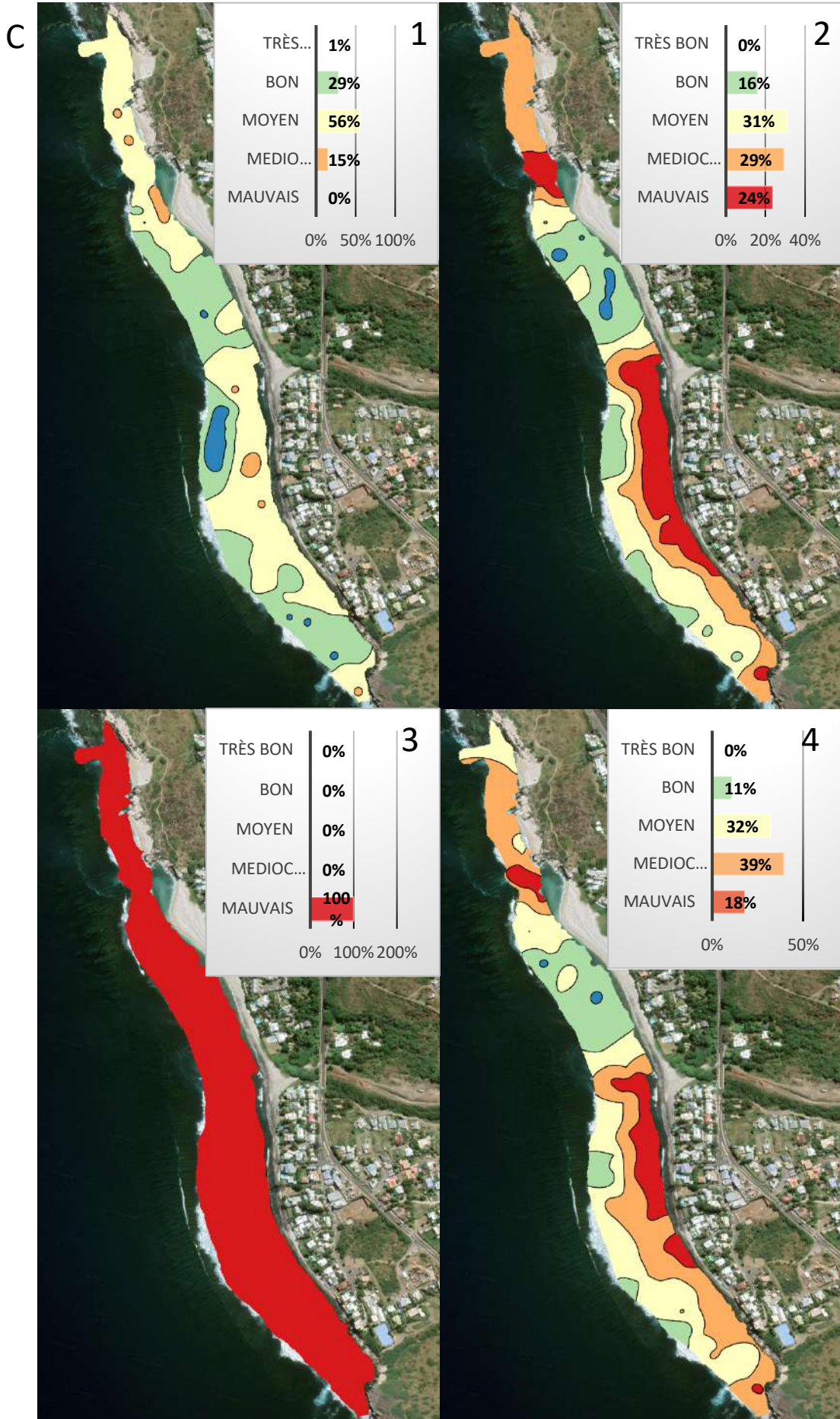
ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIES ET RATIOS SURFACIQUES DES INDICATEURS CORRAM ET DE L'INDICATEUR I DE LA DCE PAR COMPLEXE RÉCIFAL ÉTUDIÉ PAR LE PROJET UTOPIAN 2022. A : Grand Fond, B : l'Ermitage, C : Souris Chaude, D : Saint-Leu, E : Etang-Salé et F : Grand Bois. 1 : Vitalité des peuplements benthiques, 2 : Structure du peuplement corallien, 3 : Diversité et maturité du peuplement ichtyologique et 4 : Indicateur I DCE



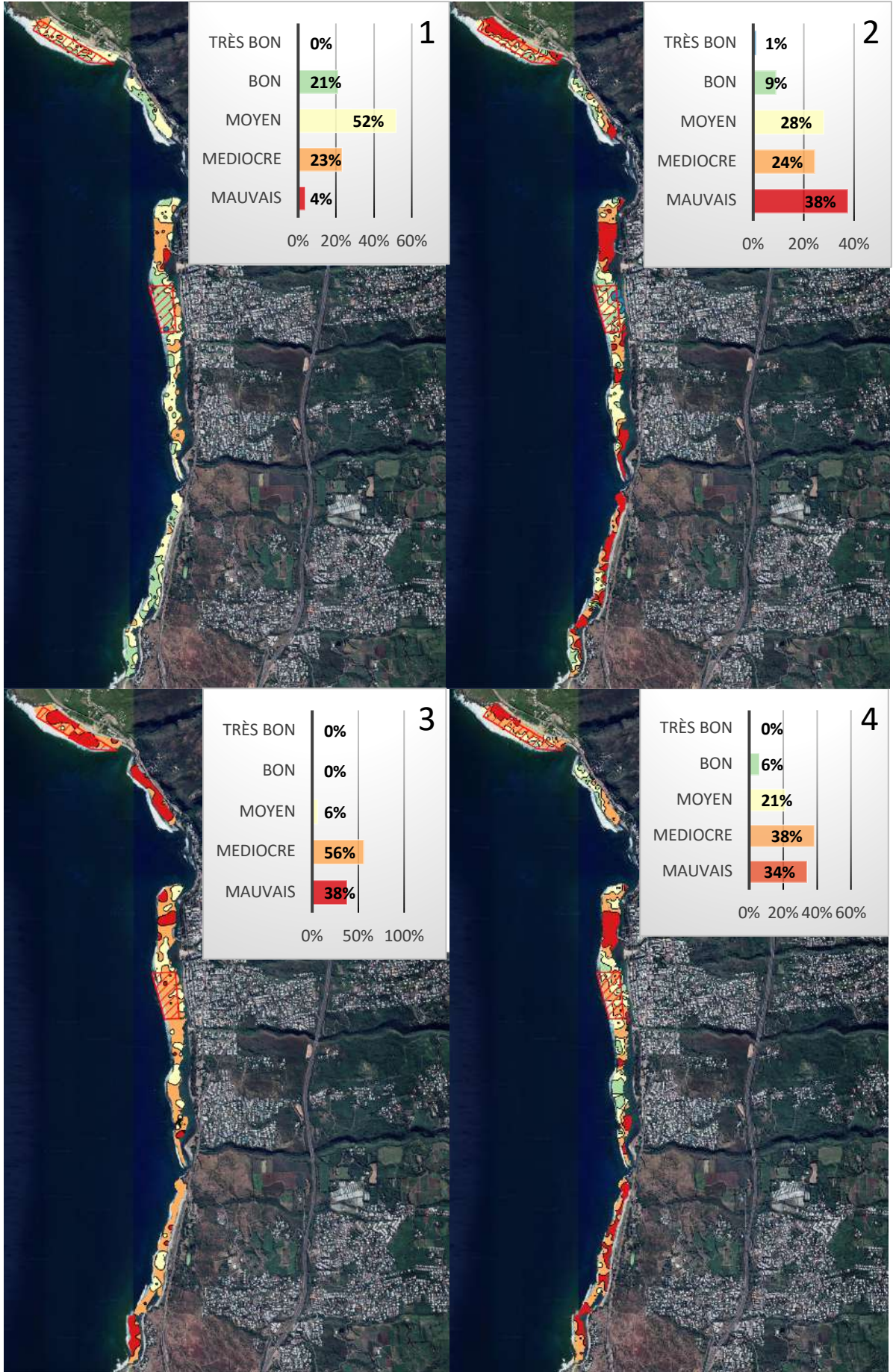


B

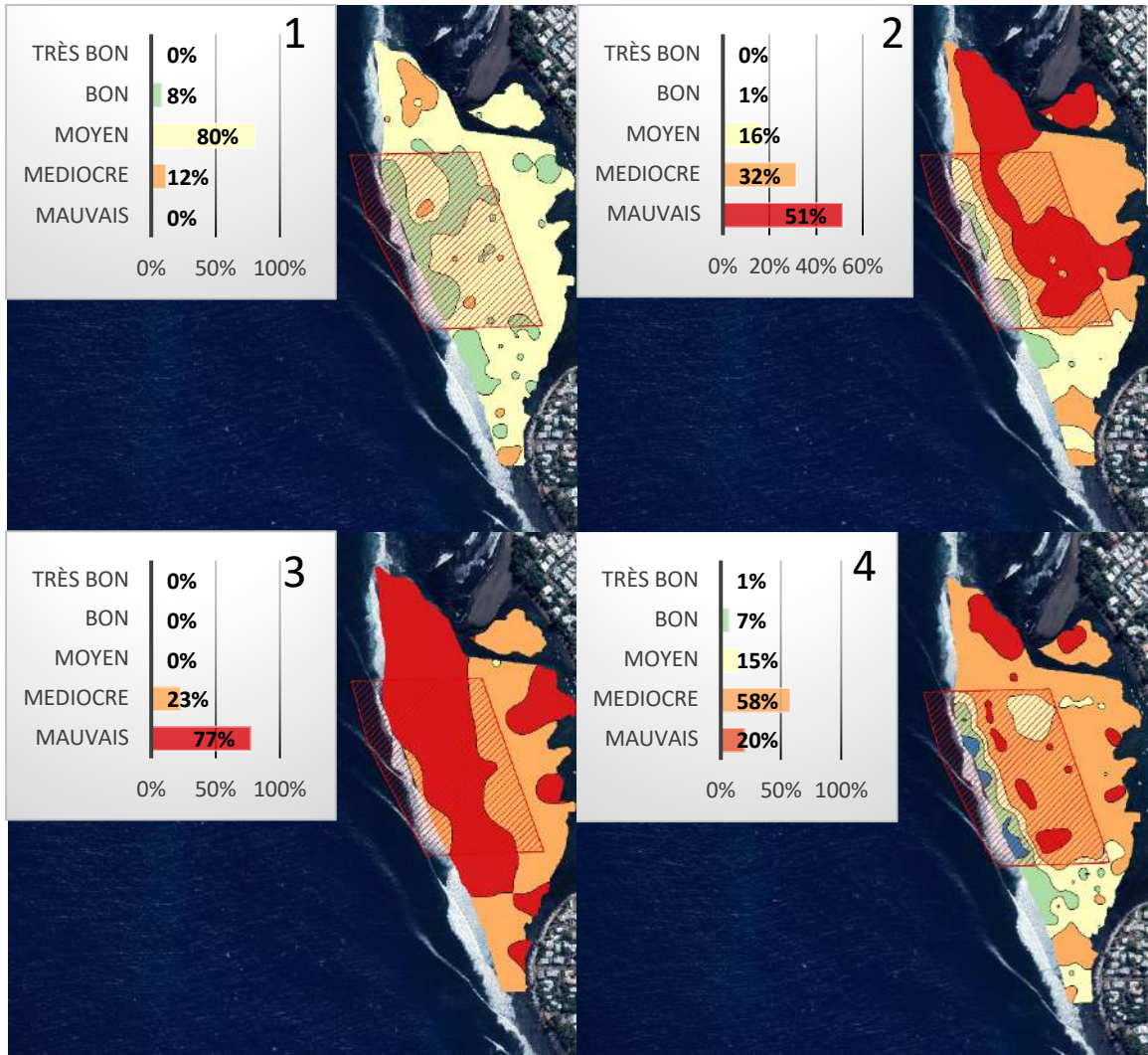




D



E



F

