



CARTE DE LA GEOMORPHOLOGIE MARINE DE BASSAS DA INDIA (0-30m)

Octobre 2024

Maître d'Ouvrage :

Terres Australes et Antarctiques Françaises

Contact : clement.lelabousse@taaf.fr

Prestataire :

MAREX

697 Chemin Surprise, 97436 Saint-Leu.

Tél : 06 92 62 74 21.

Contact : jbenoit.nicet@gmail.com

Rédaction rapport :

MAREX : J.B. Nicet,

Traitement d'image et bathymétrie :

MAREX : J.B. Nicet

ESPACE-DEV : Pascal Mouquet

Date : 04/10/2024

A citer sous la forme :

NICET J.B., MOUQUET P., 2023. Carte de la géomorphologie marine peu profondes (0-30m) de Bassas da India. Rapport MAREX/Espace-Dev pour le compte des TAAF, 26 pages.

SOMMAIRE

1	Contexte et objectifs.....	5
1.1	Contexte	6
1.2	Objectifs.....	6
2	Méthodes mises en œuvre.....	8
2.1	Les images satellites/aériennes et données bathymétriques utilisées.....	9
2.2	Méthode de classification	9
2.3	Construction de la typologie	10
3	Typologie, carte de la géomorphologie et éléments clefs	15
3.1	Éléments clefs de Bassas da India	16
3.2	Bilan des cartes de géomorphologie sur l'ensemble des îles Eparses	23
4	Références.....	25

Figures

<i>Figure 1 : Situation des différentes îles Eparses (en rouge Bassas da India).....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2 : Image multispectrale Pléiades (résolution 2m) 2020 de Bassas da India en haut et Image panchromatique Pléiades (résolution 0.5m) en bas.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 3 : Image « Pansharpened » (combinaison des images multispectral et panchromatique) Pléiades (résolution 0.5m) 2020 de Bassas da India.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 4 : Image hyperspectrale (résolution 2m) 2009 de Bassas da India en haut et image hyperspectrale (résolution 2m) 2009 avec traitement de la colonne d'eau.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 5 : Données brutes bathymétriques Lidar (résolution 1m) 2009 à Bassas da India en haut et représentation 3D de la bathymétrie calculée à partir des données bathymétriques Lidar en bas</i>	<i>14</i>
<i>Figure 6 : Carte de la géomorphologie de niveau 3 de l'atoll de Bassas da India.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 7 : Carte de la géomorphologie de niveau 5 de l'atoll de Bassas da India.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 8 : Zoom de la carte de la géomorphologie de niveau 5 de l'atoll de Bassas da India.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 9 : Carte du substrat du banc récifal de l'atoll de Bassas da India</i>	<i>21</i>
<i>Figure 10 : Carte de l'intérêt écologique des classes géomorphologiques de l'atoll de Bassas da India</i>	<i>22</i>

Tableaux

<i>Tableau 1 : Superficie des classes géomorphologiques de niveau 3 de l'atoll de Bassas da India.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 2 : Superficie des classes géomorphologiques de niveau 5 de l'atoll de Bassas da India.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 3 : Superficie des différents types de substrat de l'atoll de Bassas da India</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 4 : Superficie des classes géomorphologiques de Juan de Nova selon leur intérêt écologique potentiel</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 5 : Comparaison de la superficie des classes géomorphologiques de niveau 5 sur les 5 îles Eparses</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 6 : Superficie des classes géomorphologiques de niveau 3 sur les îles Eparses</i>	<i>24</i>



1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 Contexte

En 2012 la carte des habitats marins d'Europa a été réalisée (Grellier et *al.*, 2012), suivie en 2016 de la carte des îles Glorieuses (Nicet et *al.*, 2016) et en 2023 de la carte de la géomorphologie de Juan de Nova et Tromelin (Nicet et *al.*, 2023). Les TAAF ont confié à MAREX la réalisation de la carte de la géomorphologie marine de Bassas da India dans le cadre du projet "Récifs Isolés 2".

- Bancarisation et transmission des données au format SIG vecteur/shapefiles (cartes).

1.2 Objectifs

L'objectif principal de l'étude est la réalisation d'une carte de la géomorphologie marine peu profonde (0/-30m) de Bassas da India.

Les objectifs spécifiques de l'étude sont :

- La réalisation de la carte de la géomorphologie marine et du substrat ;
- Rédaction du présent rapport reprenant les principaux résultats de la carte (chiffres clefs tels que le nombre d'habitats, leur superficie, description des habitats...) ;
- Synthèse sur l'ensemble des îles Eparses ;

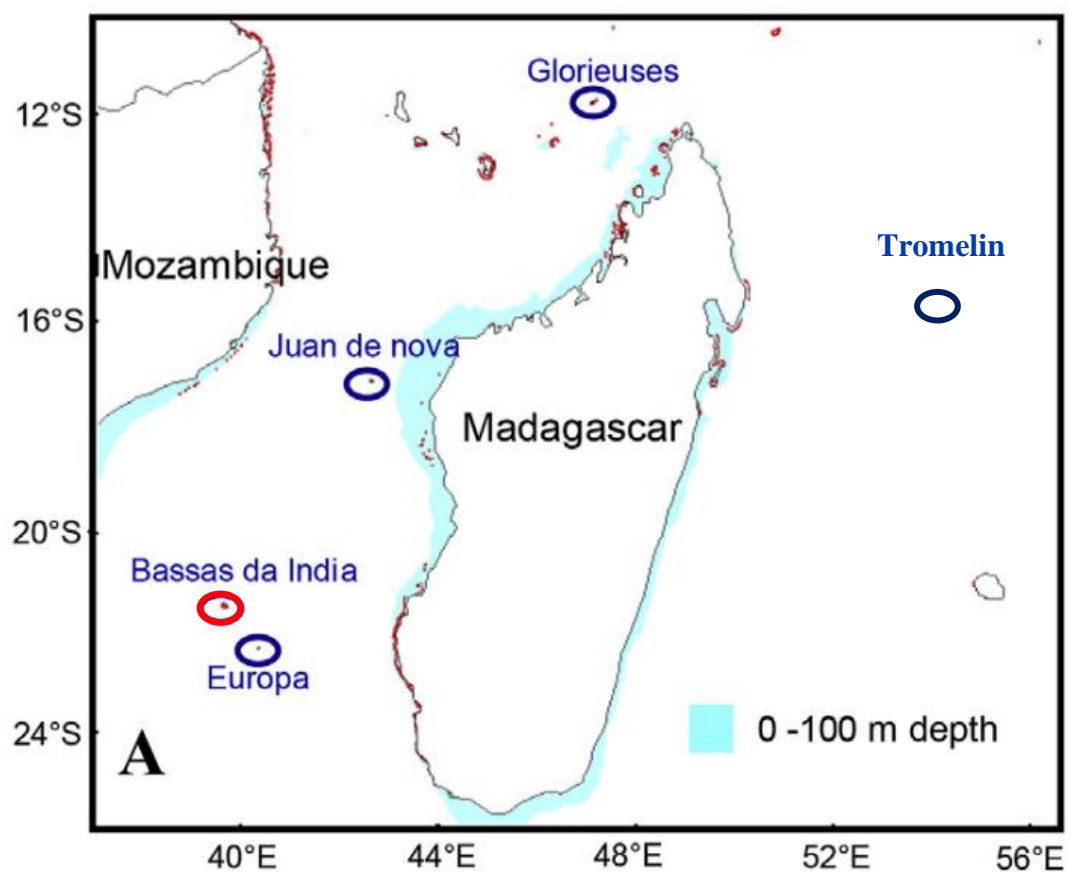


Figure 1 : Situation des différentes îles Eparses (en rouge Bassas da India)



2 METHODES MISES EN ŒUVRE

L'impossibilité de faire une vérité terrain et l'absence de donnée de vérité terrain ne permettent pas de réaliser une carte des habitats au niveau détaillé en intégrant les peuplements benthiques sessiles (notamment les coraux).

Ainsi, la description s'arrêtera à la géomorphologie détaillée (Battistini et *al.*, 1976) et au substrat à un niveau faible (substrat meuble ou substrat dur).

La réalisation d'une carte de la géomorphologie marine en milieu récifal et en milieu tropical côtier se réalise selon la méthode suivante : détournage spatial des classes géomorphologiques par interprétation visuelle, classifications supervisées à partir des images aériennes et satellites disponibles et/ou calcul d'indice bathymétrique et interprétation de la bathymétrie 3D. La typologie finale sera construite de manière à ce que la carte ait une qualité ("justesse") optimale.

2.1 Les images satellites/aériennes et données bathymétriques utilisées

Trois jeux de données ont été utilisés :

- Les images satellites Pléiades (XS:2m ; P:0.5) obtenues par l'intermédiaire d'Espace-Dev et du dispositif Dinamis de DataTerra, et acquises en 2016 et 2020 au travers du programme IoT porté par l'Ifremer (Figure 2 et Figure 3) ;
- Les données aériennes hyperspectrales (résolution 2m) avec et sans traitement

de la colonne d'eau acquises en 2009 dans le cadre du programme Litto3D Océan Indien (AAMP/DEAL/TAAF), et traitées pour IoT (Figure 4) ;

- Les données bathymétriques Lidar (résolution spatiale xy : 1m et résolution verticale z : 0.1m) acquises en 2009 pour le projet Litto3D (IGN/SHOM) et traitées en représentation 3D pour le projet IoT (Figure 5).

2.2 Méthode de classification

Pour digitaliser la carte des habitats trois méthodes ont été utilisées :

- La classification supervisée ;
- Le détournage à partir des polygones des isobathes (notamment pour les massifs coralliens de lagon) ;
- Le détournage visuel (i) à partir des signatures spectrales, des formes et de la texture des images satellites/aériennes disponibles, et (iii) de l'interprétation de la bathymétrie 3D.

2.4 Construction de la typologie

La classification géomorphologique suit les niveaux 1 à 4 utilisés lors du "Coral Reef Millenium project".

Ainsi, le schéma de classification global établi pour l'ensemble des récifs coralliens de la planète est de type hiérarchique et comprend plusieurs niveaux. Au sommet de l'arbre hiérarchique figure la dichotomie entre récifs continentaux et océaniques (Niveau 1).

Ces grands types de récifs se scindent ensuite en grands complexes récifaux dits de Niveau 2 : atolls, bancs, atolls surélevés, îles, massifs coralliens, récifs barrières, récifs frangeants et structures marginales, qui se décomposent eux-mêmes en blocs dits de Niveau 3, en fonction de leurs géomorphologie, positions et structures (p. ex., récif-barrière externe, récif-barrière interne, récif-barrière multiple, récif-barrière imbriqué, récif-barrière frangeant, récif-barrière côtier), mais aussi de leurs expositions (p. ex., récif frangeant lagunaire, récif frangeant de mer intérieure, récif frangeant océanique). Les éléments de Niveau 3 sont eux-mêmes constitués de combinaisons diverses d'unités géomorphologiques élémentaires, dites de Niveau 4. Ces unités géomorphologiques récifales de Niveau 4 représentent les atomes qui vont constituer par agrégation l'ensemble des complexes récifaux de niveaux supérieurs N3, N2, N1). Une information sur la profondeur fait parfois explicitement partie de la définition de l'unité de Niveau 4 (e.g, platier intertidal, platier infratidal, ou platier ennoyé profond).

Les unités géomorphologiques de Niveaux 2, 3 et 4 utilisées pour la cartographie mondiale ont été identifiées après examen de plus de 1000 images couvrant l'intégralité des récifs coralliens de la planète. Cette compilation et cette typologie basées sur l'intégralité des structures mondiales respectent le principe d'exhaustivité et permettent de reconnaître chaque structure aisément et systématiquement à l'image (Andréfouët et al. 2006).

Enfin le niveau 5 est la combinaison des niveau 1 à 4 auxquels sont ajoutées les classes géomorphologiques détaillées de Battistini et al., 1976.

Ce schéma de classification hiérarchique global permet de comparer objectivement entre elles les structures récifales de chaque région.

Enfin un intérêt écologique est attribué à dire d'expert pour chaque classe géomorphologique. Cet intérêt est défini en fonction de la complexité paysagère des classes géomorphologies, de leur fort potentiel de recouvrement en peuplement corallien et de leur biodiversité potentielle. Sachant que les peuplements ne sont pas décrits cet intérêt écologique reste grossier et qualitatif.

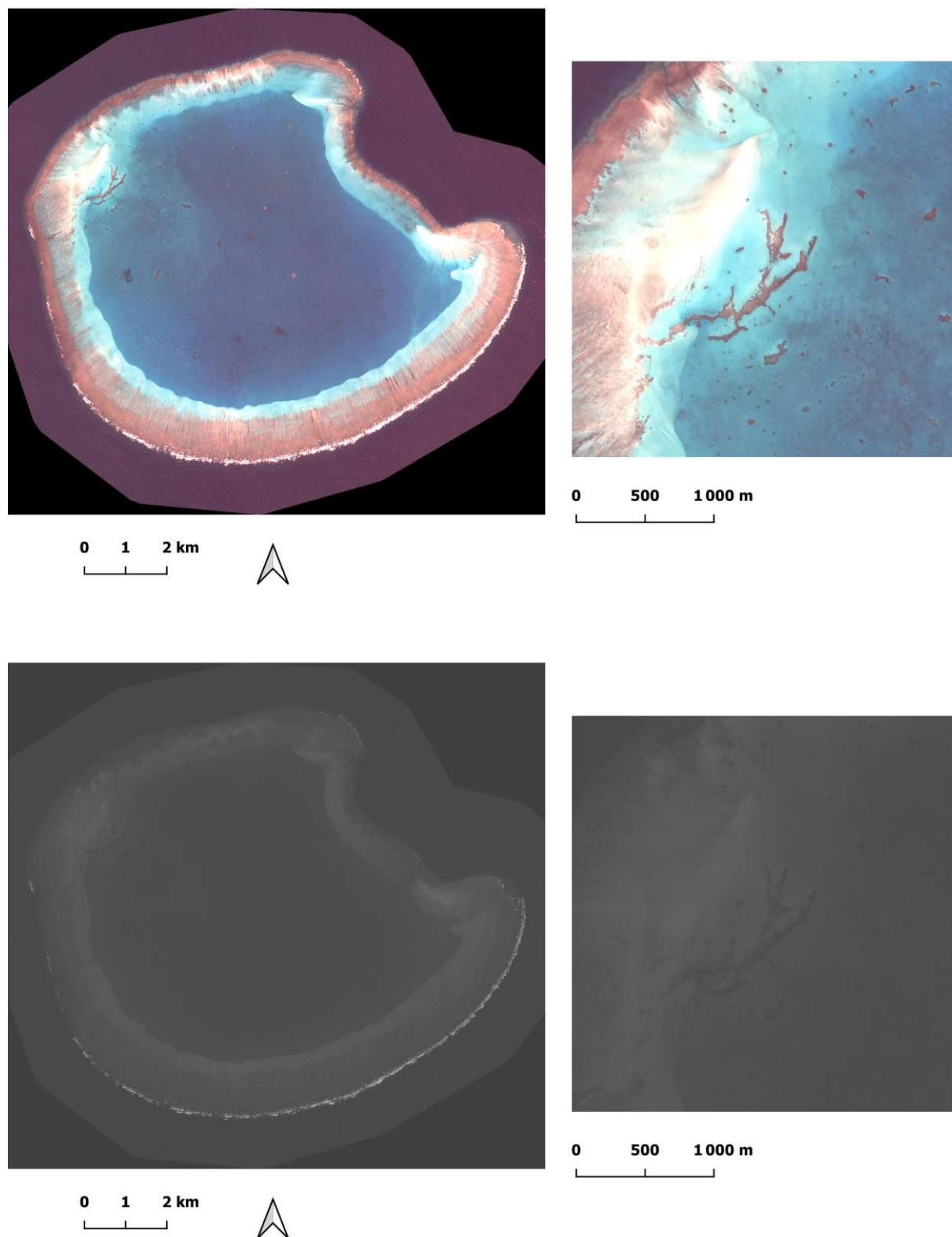
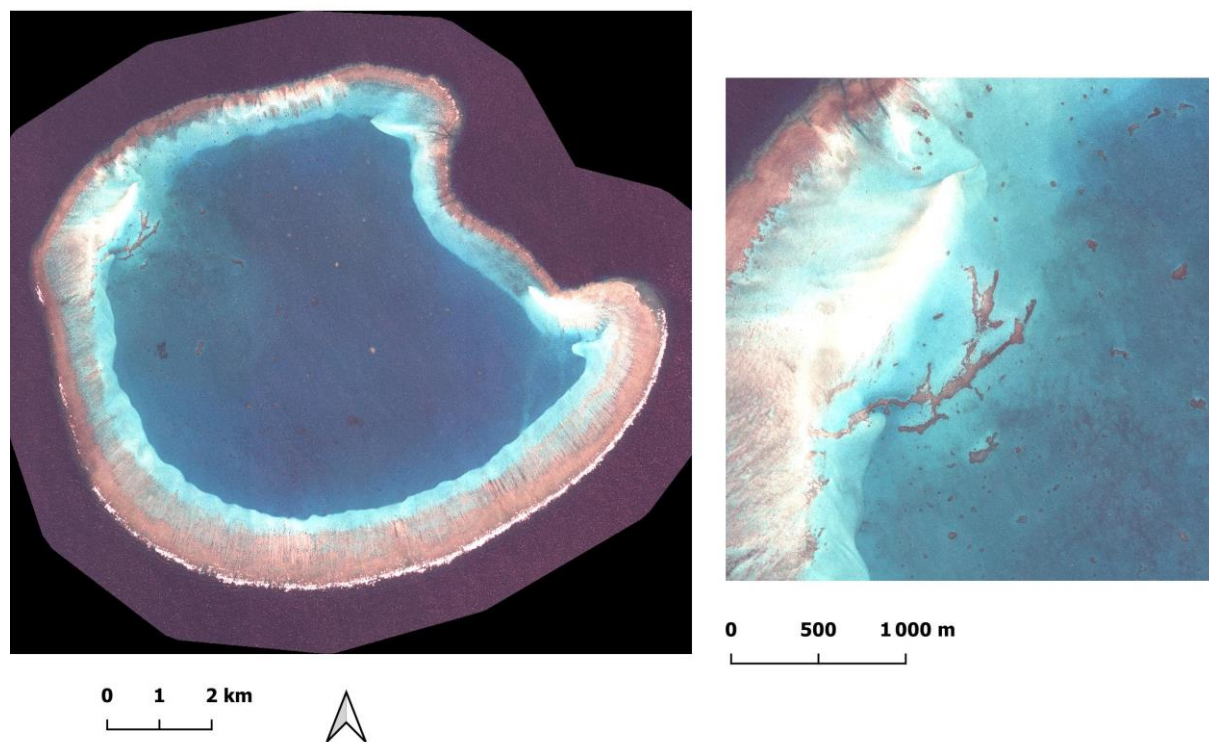


Figure 2 : Image multispectrale Pléiades (résolution 2m) 2020 de Bassas da India en haut et Image panchromatique Pléiades (résolution 0.5m) en bas



*Figure 3 : Image « Pansharpened » (combinaison des images multispectral et panchromatique)
Pléiades (résolution 0.5m) 2020 de Bassas da India*

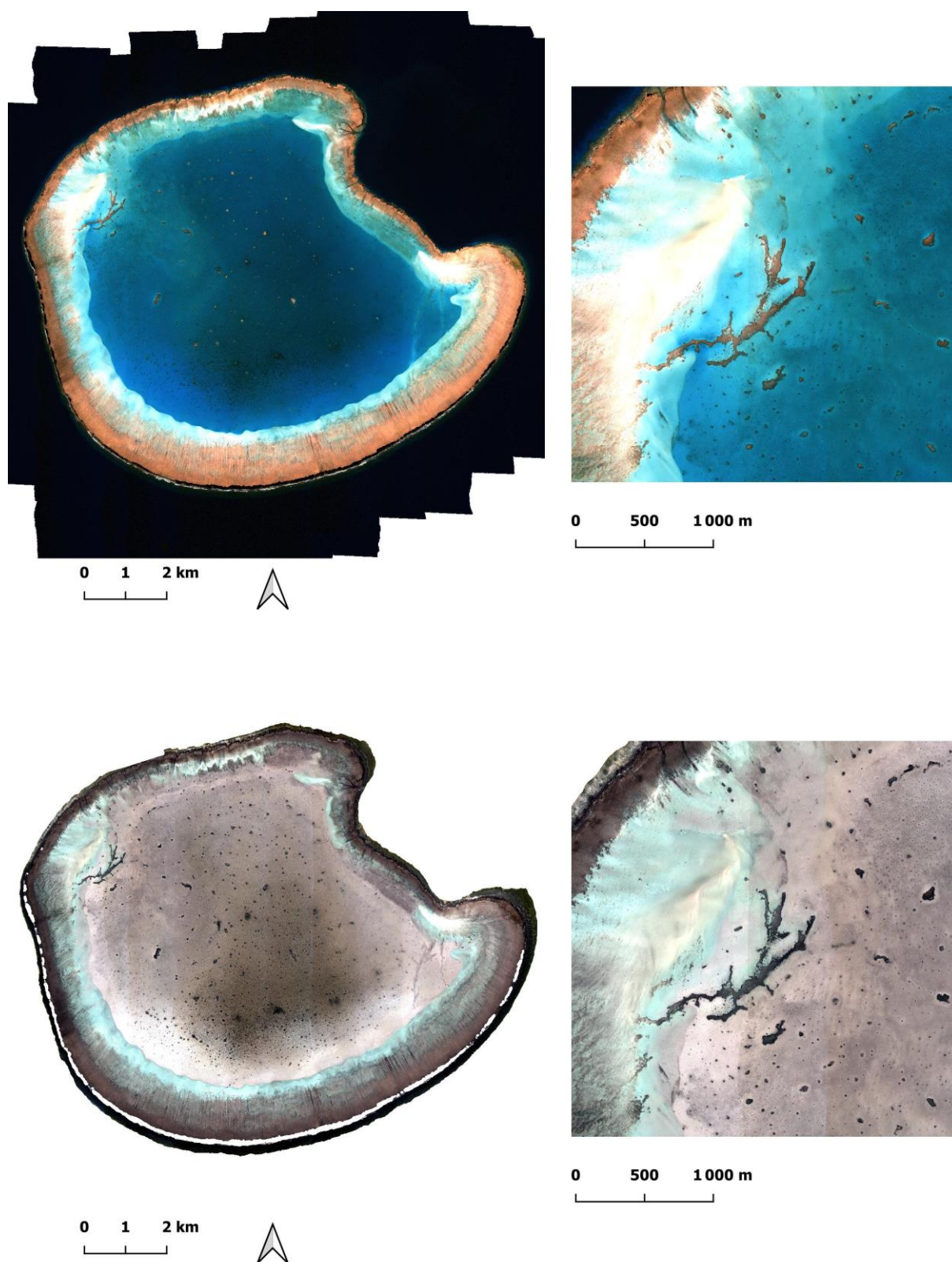


Figure 4 : Image hyperspectrale (résolution 2m) 2009 de Bassas da India en haut et image hyperspectrale (résolution 2m) 2009 avec traitement de la colonne d'eau

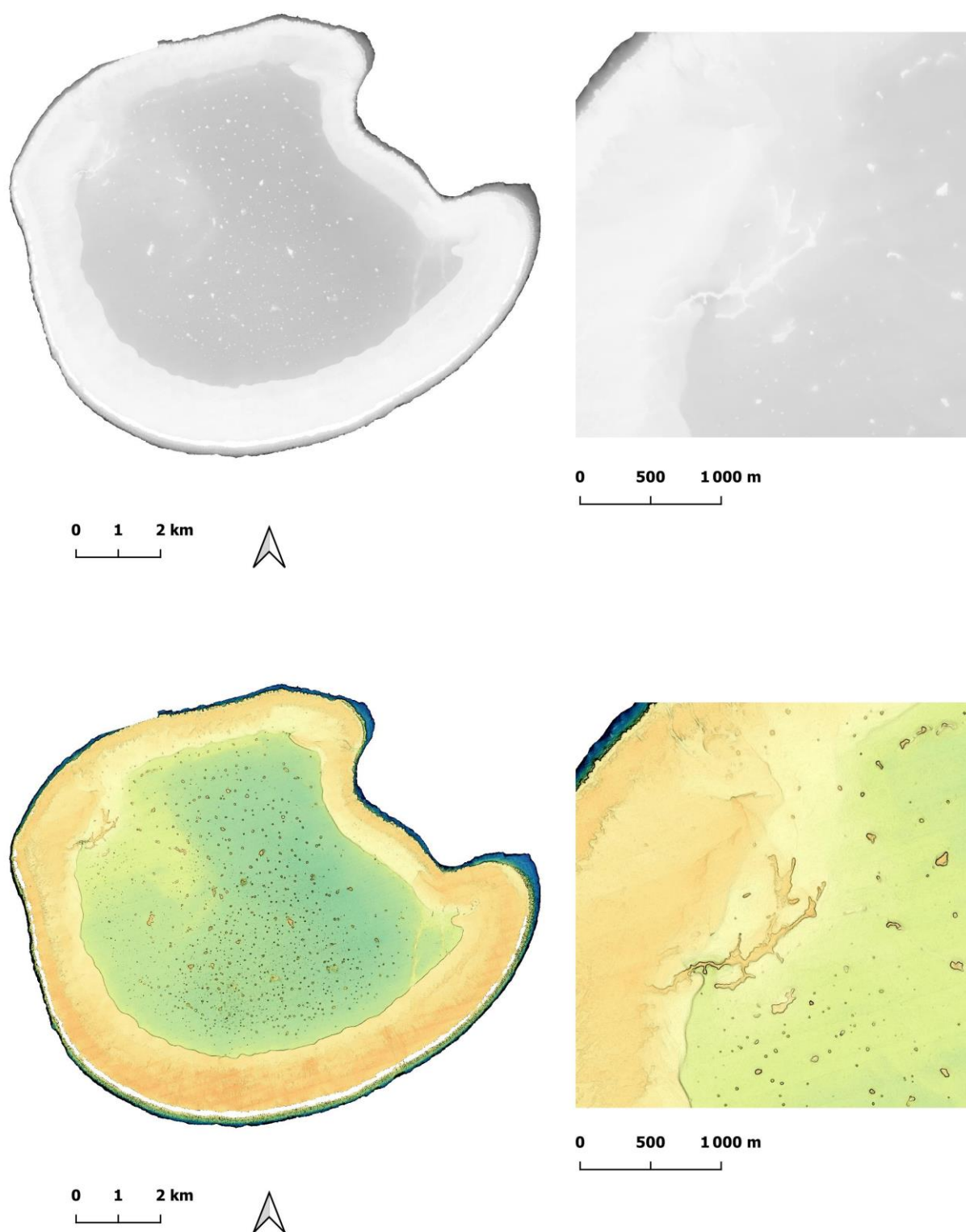


Figure 5 : Données brutes bathymétriques Lidar (résolution 1m) 2009 à Bassas da India en haut et représentation 3D de la bathymétrie calculée à partir des données bathymétriques Lidar en bas



3

TYPOLOGIE, CARTE DE LA GEOMORPHOLOGIE ET ELEMENTS CLEFS

3.1 Éléments clefs de Bassas da India

Au final, 8 816 ha ont été cartographiés.

La carte de la géomorphologie permet de mettre en avant les points clefs suivants (Figure 6 à Figure 10 et Tableau 1 à Tableau 4) :

- 14 classes géomorphologiques de niveau typologique détaillé (niveau 5) sont recensées ;
- L'atoll de Bassas da India présente des superficies voisines entre son lagon (47% de la superficie de l'atoll) et sa couronne d'atoll (53%) ;
- La couronne d'atoll est composée en grande partie par sa pente interne à épandage détritique (57% de la couronne d'atoll) ;
- L'ensemble du lagon est peu profond (<10m) est parsemé de nombreux massifs coralliens (1 142) qui représentent 1% de la superficie totale de l'atoll. ;
- La pente externe de la couronne d'atoll est la géomorphologie la plus favorable au développement corallien. Elle représente 606 ha soit 7% de l'atoll ;
- Le substrat meuble (sable et débris) est largement majoritaire (63% + 24% meuble et dur) notamment dans le lagon et sur la pente interne de la couronne d'atoll ;
- La superficie des entités bioconstruites représente 63% de l'atoll.
- Enfin, seulement 13% de la superficie de l'atoll, soit 1 112 ha, présente un

intérêt écologique élevé. Ce faible pourcentage s'explique par la domination du substrat meuble (intérêt écologique faible) et du platier.

Les couches vecteurs SIG/shapefiles sont fournies aux TAAF (selon la norme INSPIRE) avec les métadonnées selon la norme 19115. Les différents styles associés sont également transmis au format QGIS3.

Enfin, l'ensemble des couches vecteur SIG/geopackages et les métadonnées sont bancarisées dans le portail Sextant océan Indien.

Tableau 1 : Superficie des classes géomorphologiques de niveau 3 de l'atoll de Bassas da India

Géomorphologie niveau 3	Superficie (en ha)	Part (en %)
Couronne d'atoll	4645	53
Lagon d'atoll	4172	47
TOTAL	8816	100

Tableau 2 : Superficie des classes géomorphologiques de niveau 5 de l'atoll de Bassas da India

Géomorphologie niveau 5	Superficie (en ha)	Part (en %)
Lagon peu profond sableux	4150	47
Platier à dalle et épandage détritique de couronne	1409	16
Pente interne sableuse de couronne d'atoll	1021	12
Pente interne à dalle et épandage détritique de couronne d'atoll	689	8
Pente externe à contreforts et vallons de couronne d'atoll	606	7
Petits pâtés et/ou colonies coralliennes de lagon peu profond	350	4
Pente interne à épandage détritique de couronne d'atoll	236	3
Massif corallien de lagon peu profond	117	1
Platier discontinue de couronne d'atoll à dalle et épandage détritique	78	1
Dune hydraulique sableuse de pente interne de couronne d'atoll	72	1
Pente interne sableuse accore de couronne d'atoll	28	0,3
Massif/pâté corallien de pente interne de couronne d'atoll	26	0,3
Dune de lagon à épandage détritique et potentiels pâtés coralliens	21	0,2
Passe/fausse passe à épandage détritique de couronne d'atoll	12	0,1

Tableau 3 : Superficie des différents types de substrat de l'atoll de Bassas da India

Substrat	Superficie (en ha)	Part (en %)
Dur	1099	12
Mixte	2119	24
Meuble	5598	63

Tableau 4 : Superficie des classes géomorphologiques de Juan de Nova selon leur intérêt écologique potentiel

Intérêt écologique potentiel	Superficie en ha	Part (en %)
Faible à moyen	17 731	90
Moyen à élevé	1 938	10

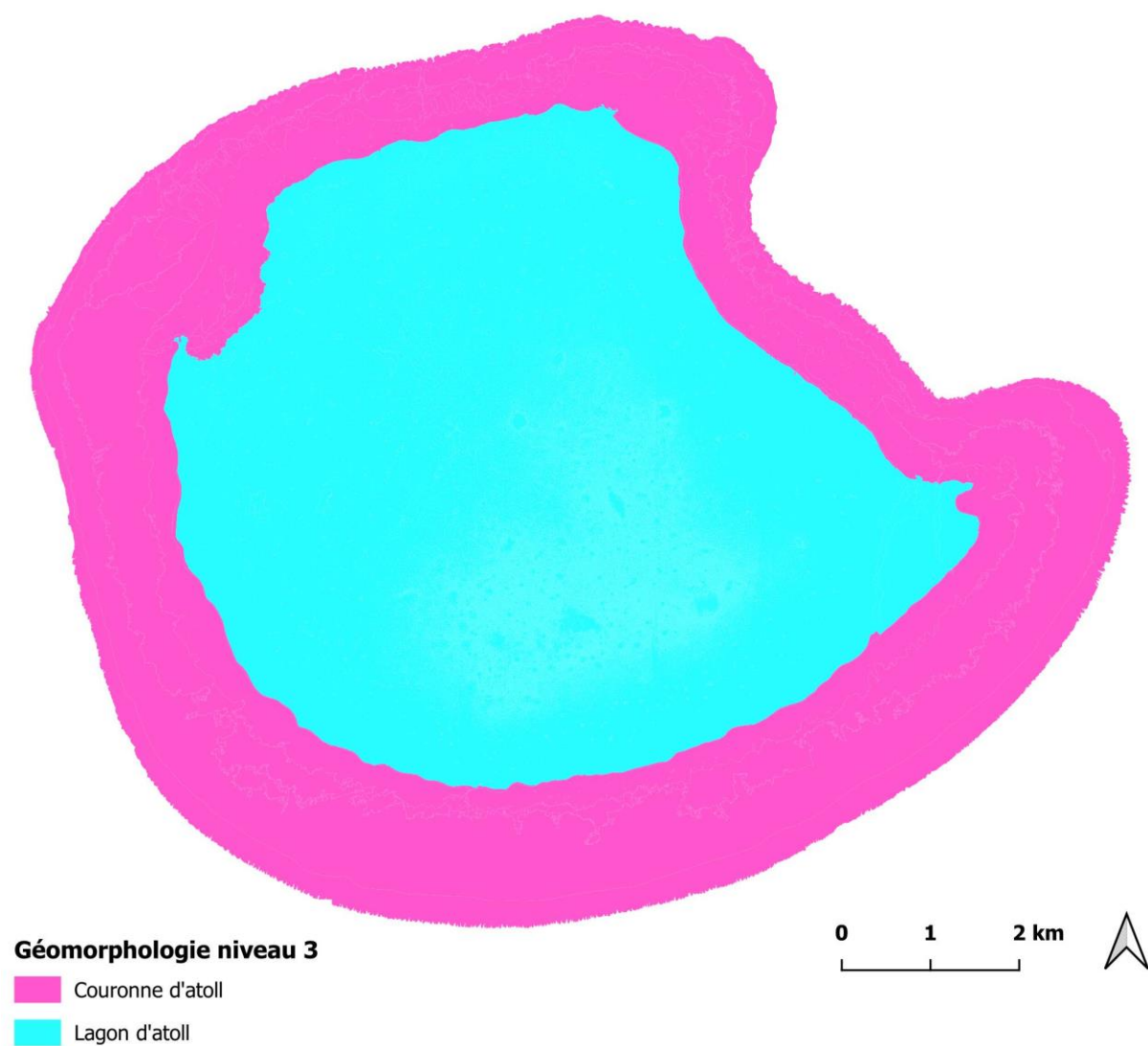
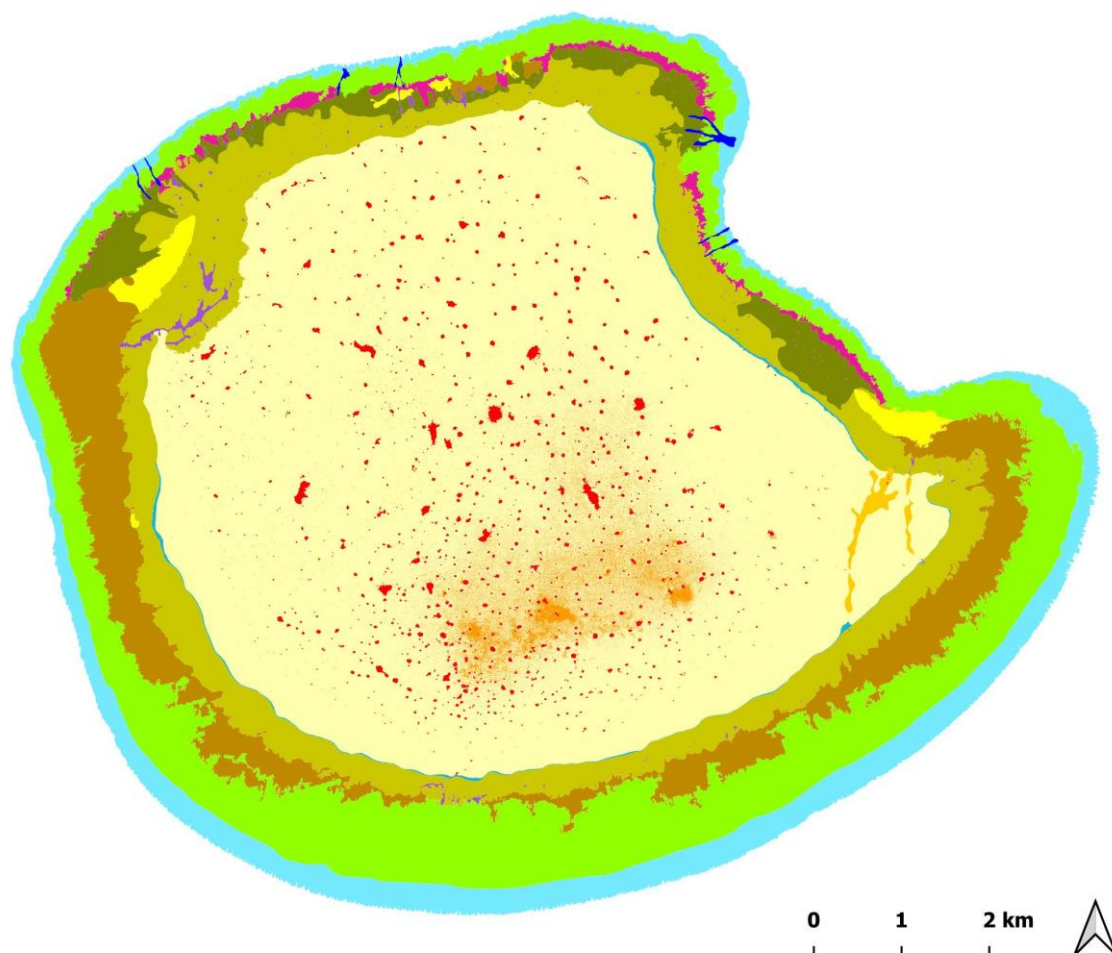


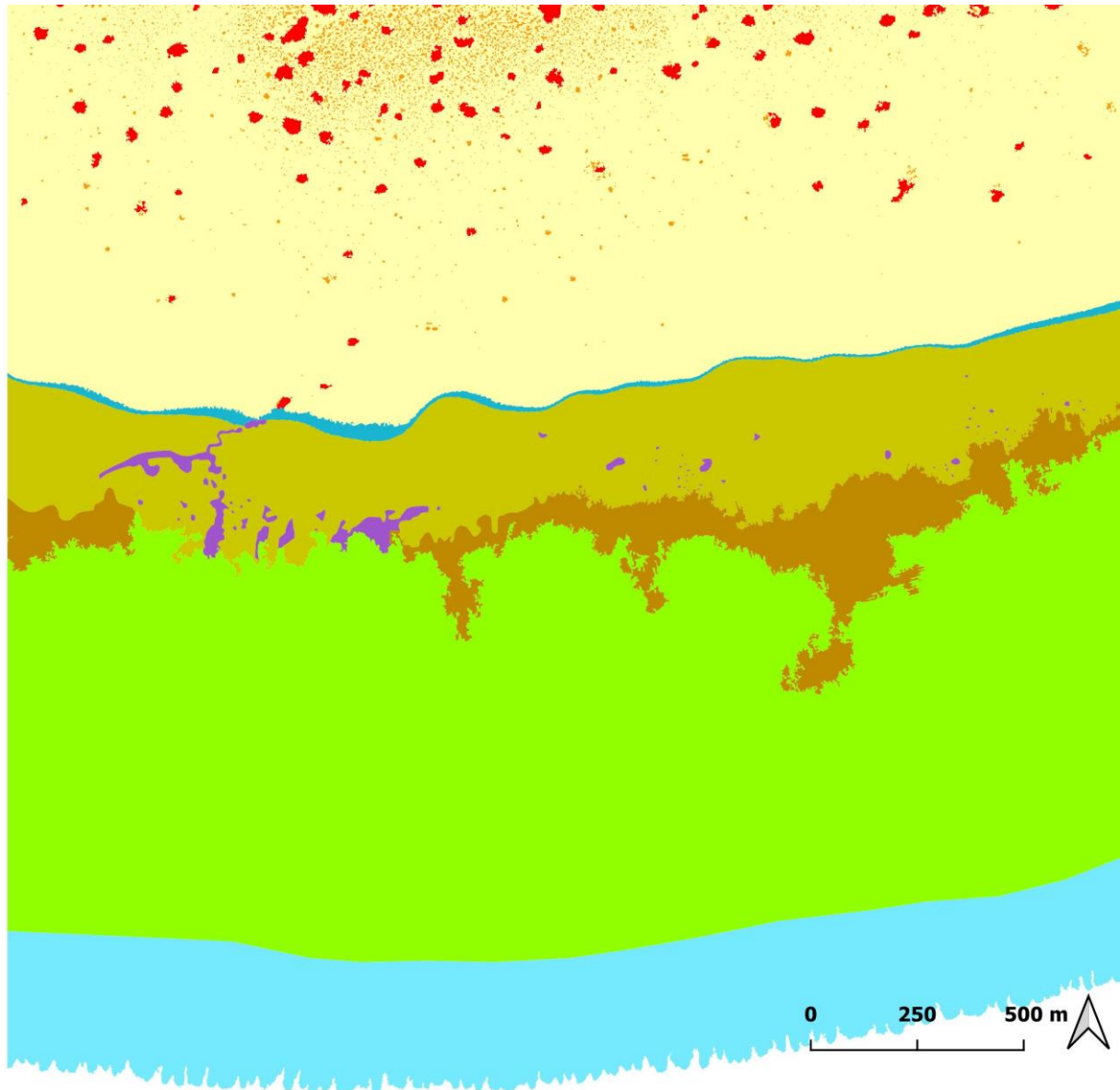
Figure 6 : Carte de la géomorphologie de niveau 3 de l'atoll de Bassas da India



Géomorphologie niveau 5

- Lagon peu profond sableux
- Dune de lagon à épandage détritique et potentiels pâtés coralliens
- Massif corallien de lagon peu profond
- Petits pâtés et/ou colonies coralliennes de lagon peu profond
- Dune hydraulique sableuse de pente interne de couronne d'atoll
- Pente interne sableuse accore de couronne d'atoll
- Pente interne sableuse de couronne d'atoll
- Pente interne à épandage détritique de couronne d'atoll
- Pente interne à dalle et épandage détritique de couronne d'atoll
- Massif/pâté corallien de pente interne de couronne d'atoll
- Passe/fausse passe à épandage détritique de couronne d'atoll
- Platier à dalle et épandage détritique de couronne
- Platier discontinue de couronne d'atoll à dalle et épandage détritique
- Pente externe à contreforts et vallons de couronne d'atoll

Figure 7 : Carte de la géomorphologie de niveau 5 de l'atoll de Bassas da India



Géomorphologie niveau 5

- Lagon peu profond sableux
- Massif corallien de lagon peu profond
- Petits pâtés et/ou colonies coralliennes de lagon peu profond
- Pente interne sableuse accore de couronne d'atoll
- Pente interne sableuse de couronne d'atoll
- Pente interne à dalle et épandage détritique de couronne d'atoll
- Massif/pâté corallien de pente interne de couronne d'atoll
- Platier à dalle et épandage détritique de couronne
- Pente externe à contreforts et vallons de couronne d'atoll

Figure 8 : Zoom de la carte de la géomorphologie de niveau 5 de l'atoll de Bassas da India

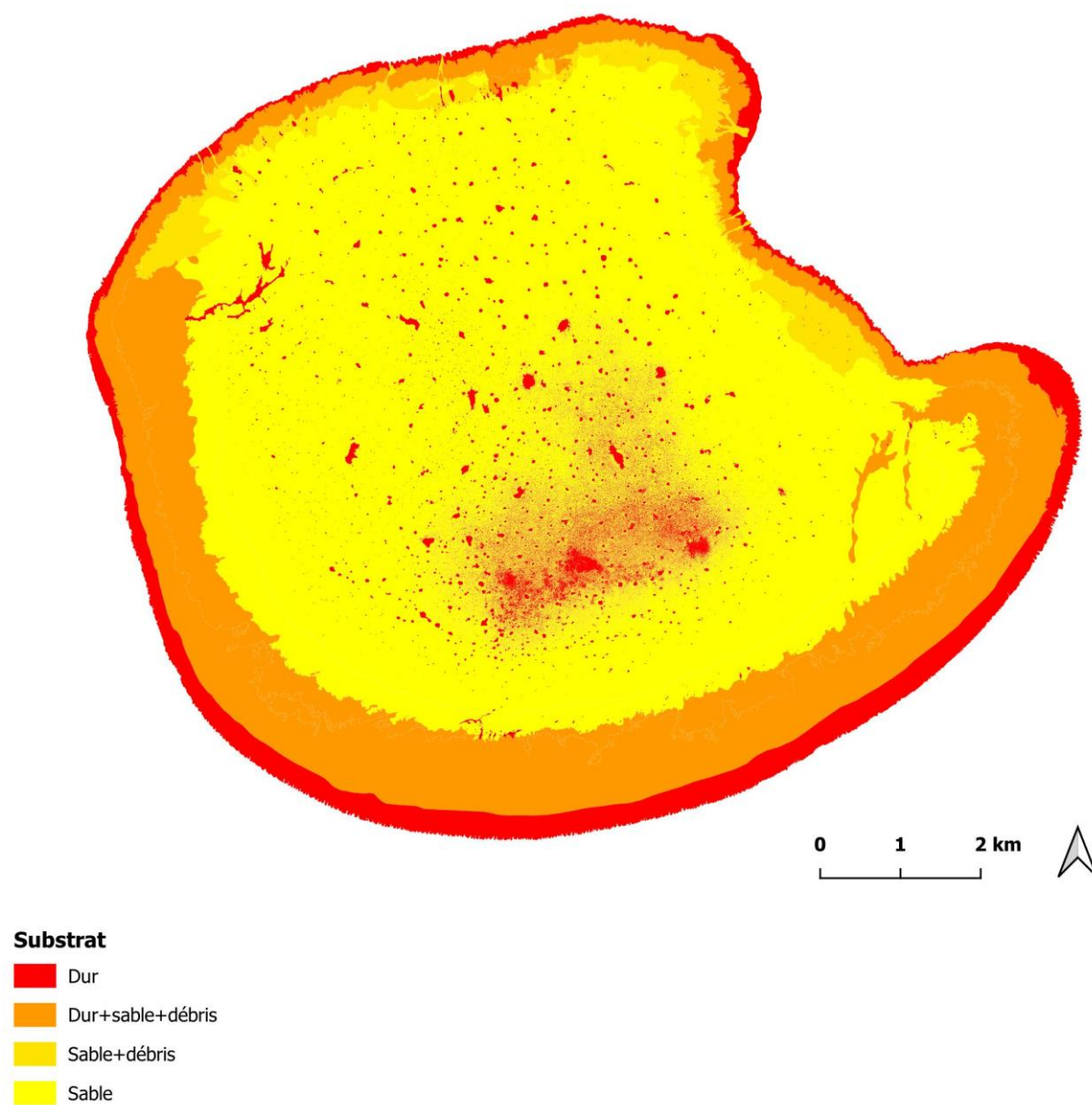


Figure 9 : Carte du substrat du banc récifal de l'atoll de Bassas da India

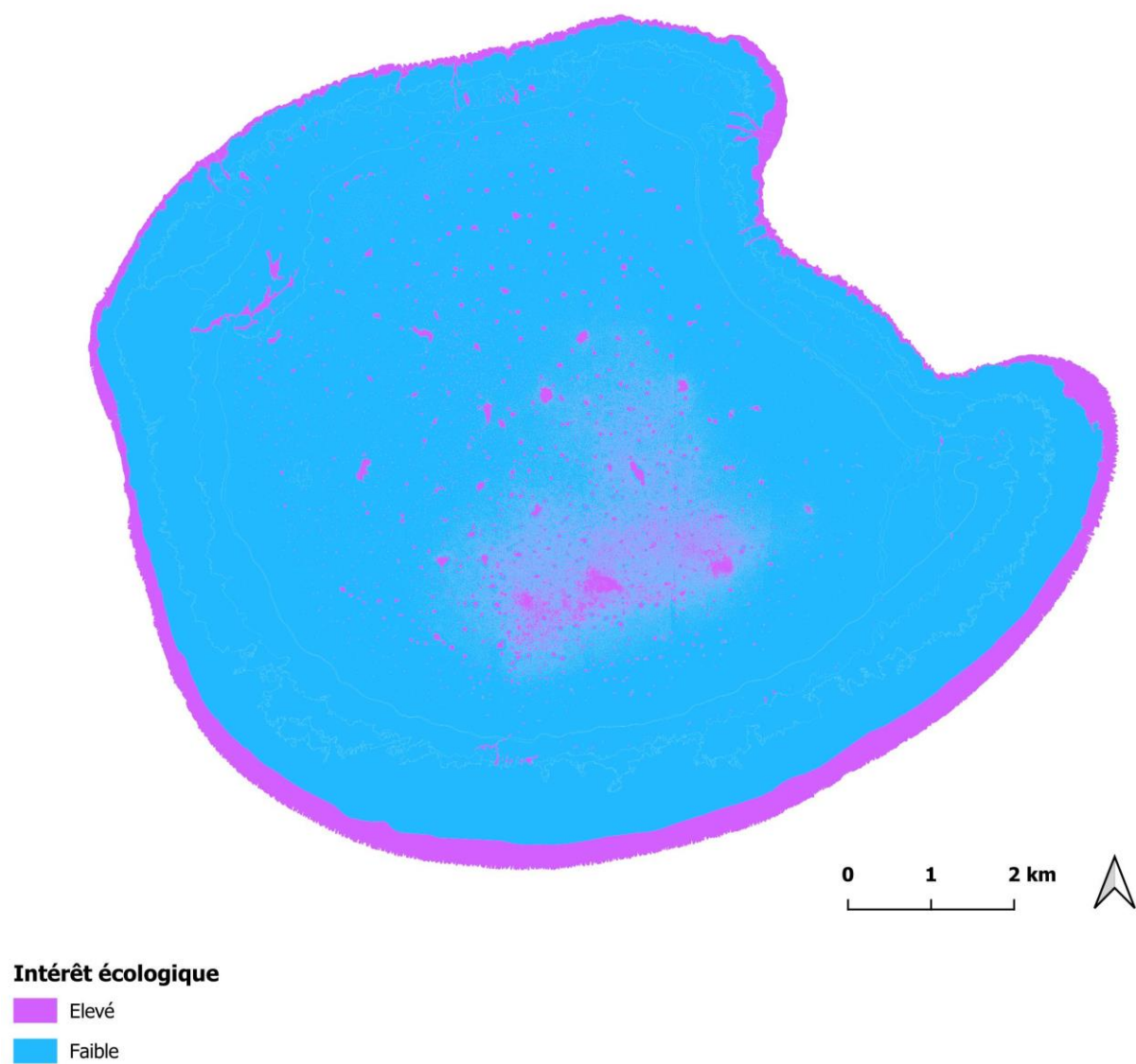


Figure 10 : Carte de l'intérêt écologique des classes géomorphologiques de l'atoll de Bassas da India

3.2 Bilan des cartes de géomorphologie sur l'ensemble des îles Eparses

L'ensemble des 5 îles Eparses est aujourd'hui cartographié

Ces cartes de la géomorphologie permettent de mettre en avant les points clefs suivants (Tableau 5 et Tableau 6) :

- Au total, la superficie des îles Eparses (hors terre émergée et banc ennoyé de Tromelin) est de 489 km² ;
- Le substrat meuble domine largement (87%) ainsi que les classes non bioconstruites (65%, banc récifal et banc d'atoll notamment) ;
- La superficie des habitats d'intérêt écologique représente 17 % de la superficie totale des îles Eparses¹ ;
- Enfin ce sont les lagons de banc récifal et les bancs récifaux qui dominent largement (380 km², 78% de la superficie total des îles Eparses).

¹ En l'absence de la description des peuplements cette estimation est qualitative

Tableau 5 : Comparaison de la superficie des classes géomorphologiques de niveau 5 sur les 5îles Eparses

Iles	Superficie (en ha, sans terre émergée)	Nombre de classe géomorphologique de niveau 5	Superficie (en ha) du substrat dur (et part en %)	Superficie (en ha) des classes bioconstruites (et part en %)	Superficie (en ha) des habitats d'intérêt écologique (et part en %)
Iles Glorieuses	18 327	30	1 699 (15%)	4 678 (26%)	4 280 (23%)
Juan de Nova	19 670	21	1 952 (10%)	5 515 (27%)	1 938 (10%)
Bassas da India	8 816	14	1 099 (12%)	5 519 (63%)	1 112 (13%)
Europa	1 699	14	1 207 (71%)	1 214 (71%)	695 (41%)
Tromelin	407	11	353 (87%)	396 (97%)	295 (73%)
TOTAL	48 919		6 310 (13%)	17 322 (35%)	8 323 (17%)

Remarque : le banc ennoyé de Tromelin n'est pas compris dans l'analyse

Tableau 6 : Superficie des classes géomorphologiques de niveau 3 sur les îles Eparses

Iles Eparses	Banc récifal (superficie en ha et part en %)	Banc récifal ennoyé (superficie en ha et part en %)	Lagon de banc (superficie en ha et part en %)	Couronne d'atoll (superficie en ha et part en %)	Lagon (superficie en ha et part en %)
Iles Glorieuses	4 639 (51%)	0	13688 (48%)	0	0
Juan de Nova	4 511 (49%)	397 (100%)	14762 (52%)	0	0
Bassas da India	0	0	0	4 645 (73%)	4 172 (100%)
Europa	0	0	0	1 699 (27%)	0
Tromelin	407	0	0	0	0
TOTAL	9 557	397	28 450	6 344	4 172

Remarque : le banc ennoyé de Tromelin n'est pas compris dans l'analyse



4 REFERENCES

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).

Andréfouët S., Chagnaud N., Chauvin C., Kranenburg CJ., Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer, Centre IRD de Nouméa, Décembre 2008, 153 pages.

Battistini R. et alii, 1975. Eléments de terminologie récifale indopacifique. Tétliys. 7 (1) : 1-11, fig 1-77.

Grellier, M., Nicet J-B., Ringelstein J., 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. Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, IFRECOR, Terres Australes et Antarctiques Françaises, St-Pierre, Pareto écoconsult, St-Denis, 90pp.

Nicet J.B., M.Porcher. G. Pennober, P. Mouquet, N. Alloncle, Y. Denis, G.Dirberg, C. Gabrie, G. Malfait, A. Nicolas, B. Pribat, J.Ringelstein, J.P. Quod, S. Andrefouet (2015). Aide pour la commande et la réalisation de cartes d'habitats normalisées en milieu récifal sur les territoires français. Guide de mise en œuvre à l'attention des gestionnaires. Pour le compte de l'IFRECOR.

Nicet J.B. & Chabanet P., 2016. Carte des habitats des îles Glorieuses. Cartes MAREX/IRD pour le compte des TAAF.

Nicet J.B. & Mouquet P., 2023. Carte de la géomorphologie marine peu profondes (0/-30m) de Juan de Nova et Tromelin. Rapport MAREX/Espace-Dev pour le compte des TAAF, 34 pages.