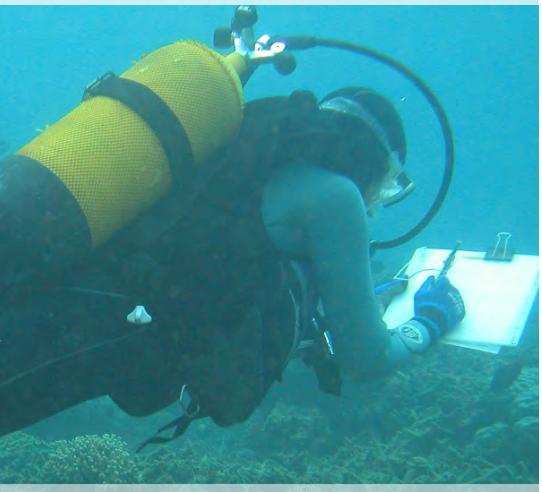


Institut de recherche
pour le développement

Sciences de la mer

Biologie marine

Convention N°32

MAI 2012

Aide à la définition d'aires marines protégées pour les récifs et lagons de Wallis, Futuna et Alofi sur critères habitat et pêche

Serge **ANDREFOUET**

Mélanie **HAMEL**

Agir avec le Sud
Acting with the South

www.nouvelle-caledonie.ird.fr

Centre IRD de Nouméa
BP A5
101 Promenade Roger Laroque
98848 Nouméa cedex
Nouvelle-Calédonie

Tél. : +687 26.10.00
Fax : +687 26.43.26

© IRD Nouméa, 2012.

/Andréfouët, Serge *
Hamel, M.
*** UR227 CoReUs Biocomplexité des écosystèmes coralliens de l'Indo-Pacifique**

Aide à la définition d'aires marines protégées pour les récifs et lagons de Wallis, Futuna et Alofi sur critères habitat et pêche.
Nouméa : IRD, août 2012. 110 p. multigr.
Sciences de la Mer. Biologie Marine. Conventions ; 32

RECIF CORALLIEN ; LAGON ; CARTOGRAPHIE ; TRAITEMENT DES DONNEES ; HABITAT ; PECHE ; GESTION DE L'ENVIRONNEMENT / WALLIS ET FUTUNA ; ALOFI

Imprimé par le service ISC
Centre IRD de Nouméa
Mai 2012

CoReUs

IRD

Institut de recherche pour le développement

SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT
DE WALLIS ET FUTUNA

Rapport final de la convention relative à :

AIDE A LA DEFINITION D'AIRES MARINES PROTEGEES POUR LES RECIFS ET LAGONS DE WALLIS, FUTUNA ET ALOFI SUR CRITERES HABITAT ET PECHE

Serge Andréfouët

Mélanie Hamel

Mai 2012, Nouméa

SOMMAIRE

Contexte 4
Cahier des charges 4
Commanditaire 4
Données disponibles 4
Objectifs de conservation 5
Traitement des données avant analyse 6
PGEM - Rapports officiels 6
PGEM - Système d'Informations Géographiques 6
Cartographie des habitats coralliens 12
Grilles d'analyse 19
Répartition des données d'habitat selon la grille 22
Répartition des données de pêche selon la grille 24
Analyses préliminaires et préparation des scénarios 25
Richesse en habitats des unités potentielles de conservation 25
Surfaces d'habitats non pêchées à conserver 33
Choix des scénarios 47
Conservation des habitats coralliens 47
Conservation des habitats restants après exclusion des zones pêchées 47
Utilisation du logiciel Marxan 47
Résultats et conclusions 52
Influence de l'exclusion des zones de pêche au fusil et au filet 52
Wallis 52
Alofi 56
Futuna 60
Propositions d'AMPs 64
Wallis 64
Alofi 72
Futuna 78

Références 84

Annexe :

Publication sous presse dans *Conservation Letters* :

Hamel, M., Andréfouët, S., Pressey, R.L., Compromises between international habitat conservation guidelines and small-scale fisheries in Pacific island countries. Conservation Letters.

CONTEXTE

CAHIER DES CHARGES

Les objectifs de cette étude sont de proposer des réseaux d'Aires Marines Protégées pour les écosystèmes coralliens des îles de Wallis, Alofi et Futuna. Les solutions présentées doivent tenir compte des habitats coralliens tels que décrits par Andréfouët et al. (2006 et 2009) et des données de pêche du Plan de Gestion des Espaces Maritimes (PGEM) des Initiatives Corail pour le Pacifique (CRISP, 2007).

Les conclusions principales en terme d'incompatibilité des objectifs de conservation vis à vis des activités de pêche sont reprises en annexe, dans une publication acceptée dans la revue *Conservation Letters.*

COMMANDITAIRE

Le commanditaire de l'étude ci-reportée est le Service Territorial de l'Environnement de Wallis et Futuna (Tableau 1).

Tableau 1. Détail des contacts.

Nom	Atoloto Malau	Carole MANRY
Position	Chef de service	Chargée de la gestion des milieux et développement durable
Tel	(681) 72 03 51	(681) 72 05 97
Fax	(681) 72 05 97	(681) 72 03 51
Email	senv@mail.wf	biodiv.env@mail.wf
Adresse	Service Territorial de l'Environnement BP 294 Mata'utu 98600 UVEA Wallis et Futuna Territoire français d'outre-mer	Service Territorial de l'Environnement BP 294 Mata'utu 98600 UVEA Wallis et Futuna Territoire français d'outre-mer

DONNEES DISPONIBLES

Deux jeux de données spatialisées (habitats coralliens et zones de pêche) ont été collectés pour Wallis, Alofi et Futuna (Tableau 2). Les habitats coralliens sont eux-mêmes issus de deux cartographies différentes. Ils ont été cartographiés à deux niveaux de résolution différents pour les trois régions. Les données utilisées dans l'étude à proprement parler sont détaillées dans la section *Traitement des données avant analyse*.

Tableau 2. Données sur les habitats coralliens et la pêche pour Wallis, Alofi et Futuna mises à disposition pour l'étude.

	WALLIS	ALOFI	FUTUNA
HABITATS	Cartographie et typologie des habitats coralliens (géomorphologiques uniquement) créées à partir d'images satellite à haute résolution. Millennium Coral Reef Mapping Project (MCRMP) 2006.		
	Cartographie et typologie détaillée des habitats coralliens (géomorphologiques et benthiques) créées à partir de photos aériennes à très haute résolution.		
PECHE	Rapports officiels du Plan de Gestion des Espaces Maritimes (PGEM) 2007; SIG du PGEM.		

OBJECTIFS DE CONSERVATION

Après discussion et présentation des différentes options, le commanditaire demande une zonation simple de type « Aire protégée / Aire non protégée ». L'objectif de conservation est défini comme tel : une surface d'au moins 20% d'un maximum d'habitats coralliens devra être incluse dans le réseau d'AMP proposé, tout en visant à réduire au mieux les conflits entre les pêcheurs au fusil et au filet, et la mise en place de ces AMPs. 20% correspond au critère utilisé lors de la précédente analyse (Andréfouët et al. 2008).

TRAITEMENT DES DONNEES AVANT ANALYSE

PGEM - RAPPORTS OFFICIELS

Les rapports officiels du PGEM (Tableau 3) ont été téléchargés sur le site Internet des Initiatives Corail pour le Pacifique (CRISP), http://crisponline.net et sont disponibles publiquement sur le lien suivant : http://www.crisponline.net/CRISPProductNew/CRISPProducticm/tabid/312/Default.aspx. La lecture de ces deux rapports a permis dans un premier temps la familiarisation avec le contexte global de l'étude, puis avec les données du SIG du PGEM.

Tableau 3. Détails des rapports officiels du CRISP sur le diagnostic environnemental pour l'établissement d'un Plan de Gestion des Espaces Maritimes (PGEM) pour les îles de Wallis, Futuna et Alofi.

	PGEM de Wallis Diagnostic environnemental	PGEM de Futuna et Alofi Diagnostic environnemental
COUVERTURE		
AUTEURS	Charles Egretaud, Bruno Jouvin, Heifara Fare, Bran Quinquis	Charles Egretaud, Bruno Jouvin, Heifara Fare, Bran Quinquis
DATE	Décembre 2007	Décembre 2007
PAGES	62 p.	49 p.
COMPOSANTE	1A Gestion des aires marines protégées et bassins versants	1A Gestion des aires marines protégées et bassins versants
PROJET	1A2 Appui aux aires marines protégées	1A2 Appui aux aires marines protégées
TELECHARGEMENT	Rapport (Fichier PDF, 5,64 MB)	Rapport (Fichier PDF, 5,64 MB)

PGEM - SYSTEME D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES

Les données du Système d'Informations Géographiques (SIG) du PGEM envoyées par le Service Territorial de l'Environnement de Wallis et Futuna ont été reçues sur CD-ROM 16/03/2011, au format MapInfo (Figure 1). Le SIG contient notamment pour Wallis, des informations détaillées concernant la pêche au filet (en fonction des engins de pêche) et des informations globales concernant la pêche au fusil (Tableau 4). Il contient également pour Alofi et Futuna, des informations détaillées sur la pêche au fusil (en fonction des ressources ciblées) mais pas sur la pêche au filet (Tableau 4). La Figure 2 et la Figure 3 illustrent respectivement la répartition spatiale des zones de pêche au filet et au fusil, et le niveau de fréquentation de ces zones par type de pêche. Les données du SIG du PGEM ont été homogénéisées et adaptées pour l'analyse propre à cette étude (voir l'encadré Méthode).

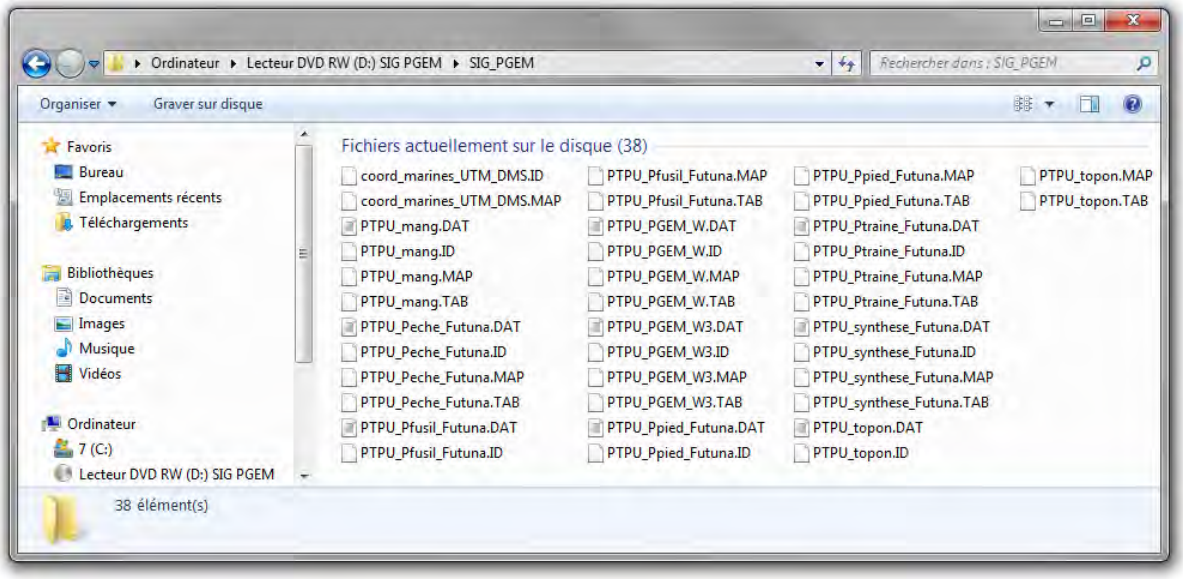


Figure 1. Détail des fichiers bruts au format MapInfo®, du SIG du PGEM pour Wallis, Alofi et Futuna.

Tableau 4. Détail des données PGEM disponibles pour la pêche au fusil et au filet sur Wallis, Alofi et Futuna.

	WALLIS	ALOFI / FUTUNA
FILET	Grand filet Couloir *(pêche à l'épervier exclue)*	x
FUSIL	Toutes espèces confondues	Langouste Poisson perroquet

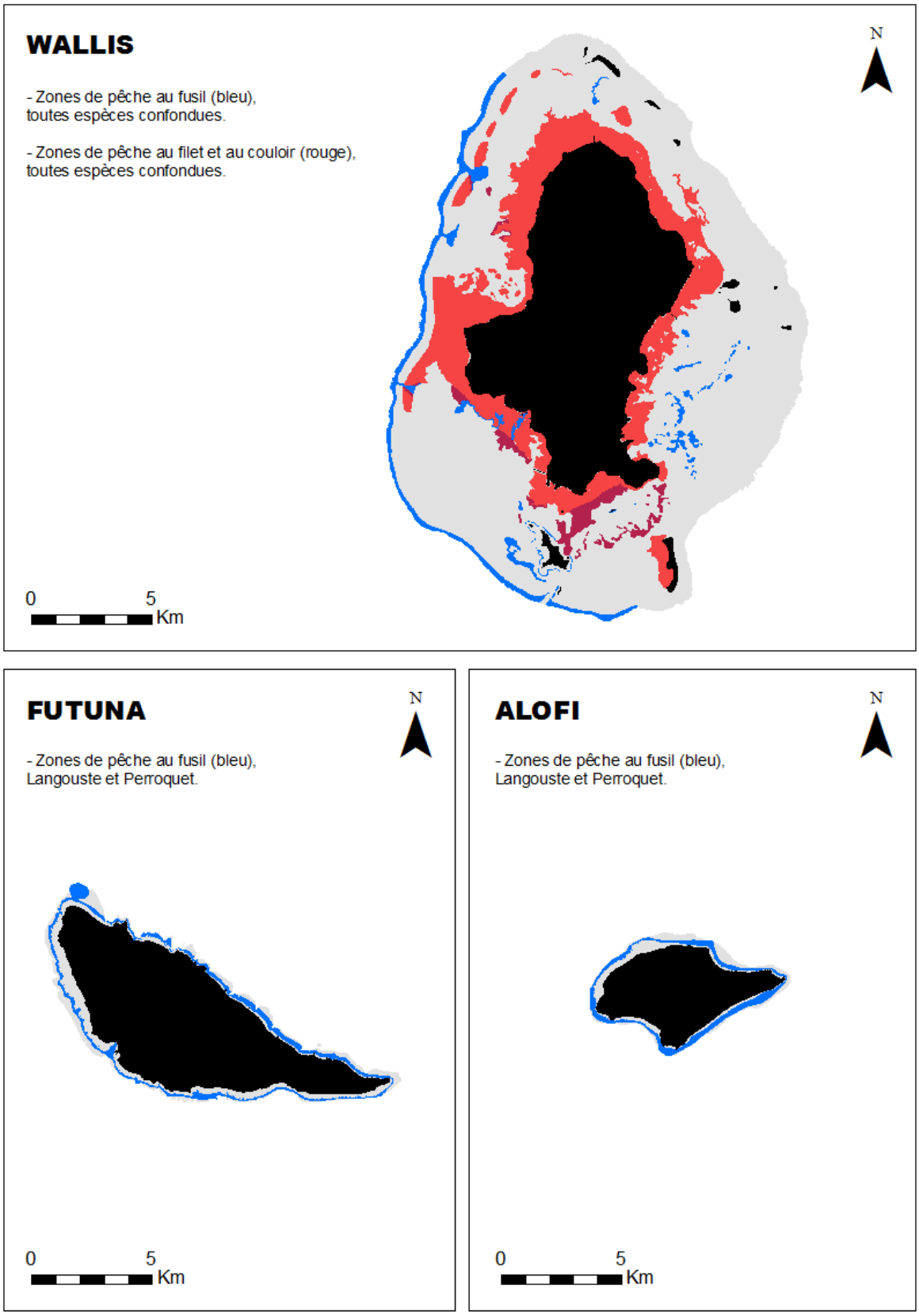


Figure 2. Répartition des zones de pêche au fusil (bleu) et au filet (rouge) pour Wallis, Alofi et Futuna, d'après les données du SIG du PGEM. Fond de carte : couverture des habitats coralliens aux niveaux géomorphologique et benthique.

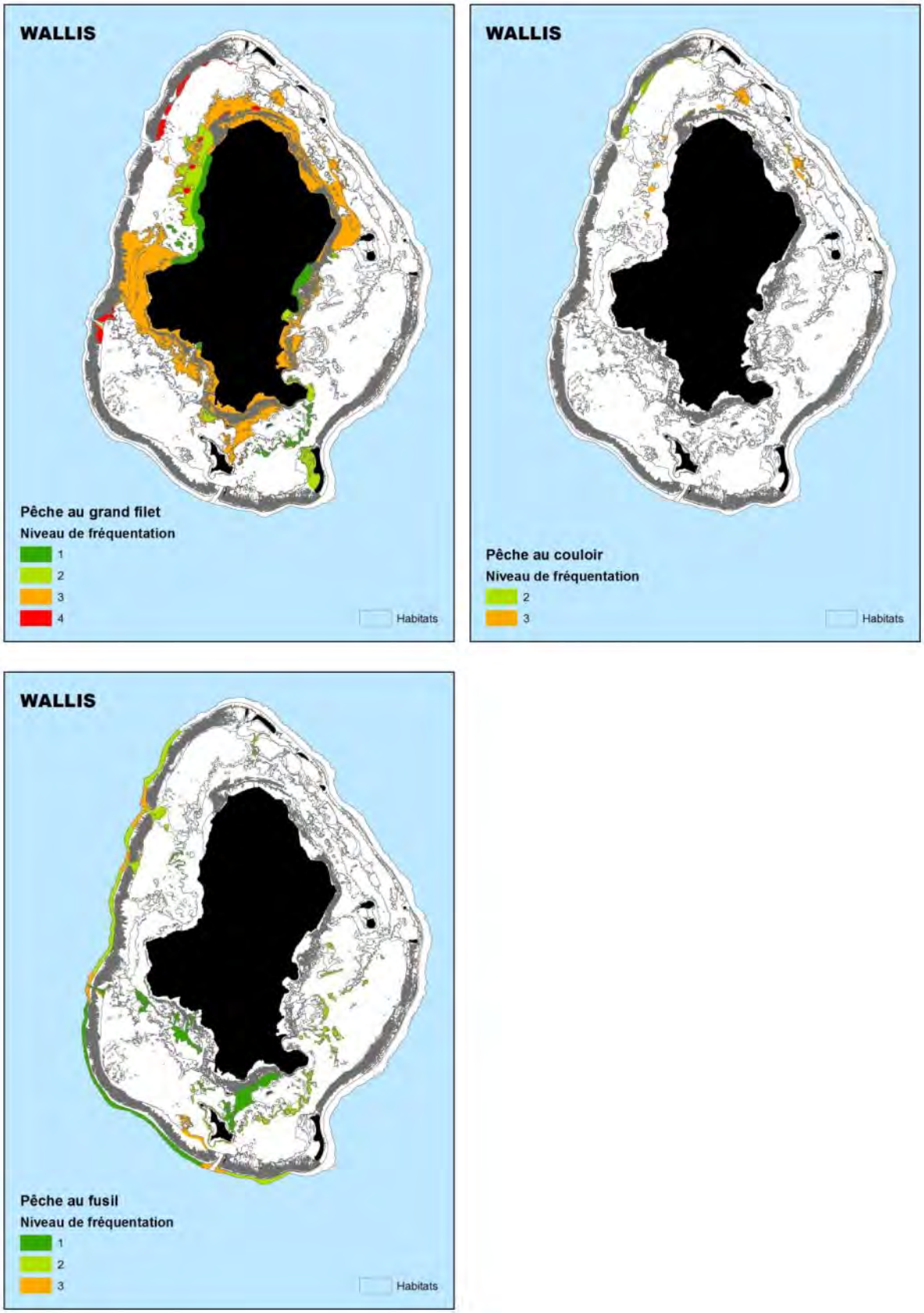


Figure 3. Cartes détaillées du niveau de fréquentation (de 1 à 4, le niveau 4 étant le plus fréquenté) des zones de pêche au filet (grand filet, couloir) et au fusil pour Wallis, Alofi et Futuna, en fonction des habitats coralliens cartographiés à partir des photos aériennes (géomorphologie et benthos).

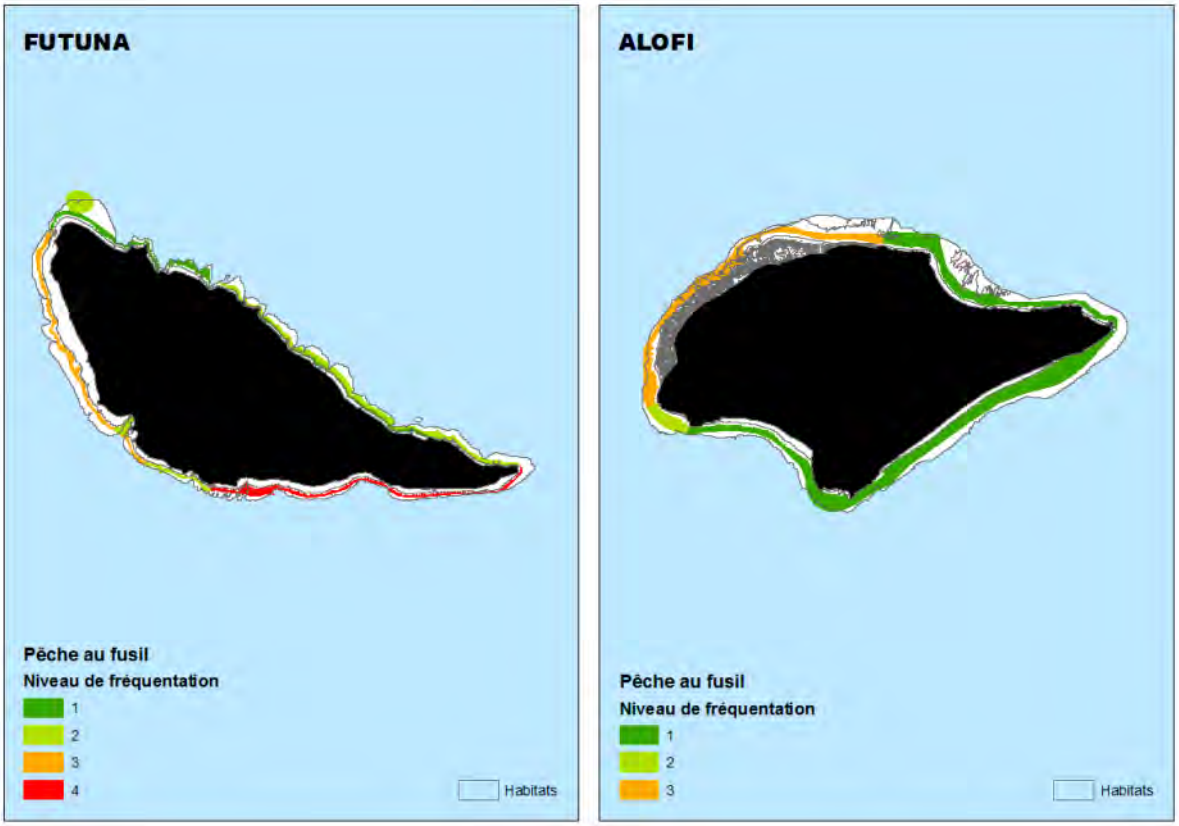


Figure 3 (suite). Cartes détaillées du niveau de fréquentation (de 1 à 4, le niveau 4 étant le plus fréquenté) des zones de pêche au filet (grand filet, couloir) et au fusil pour Wallis, Alofi et Futuna, en fonction des habitats coralliens cartographiés à partir des photos aériennes (géomorphologie et benthos).

METHODE

- Conversion sous MapInfo® (Pitney Bowes Software Inc., PBSI) des données au format ArcGIS ® (Environmental Systems Research Institute Inc., ESRI) pour analyses.
- Sous ArcMap (ArcGIS desktop 9.3.1.), correction des fautes d'orthographe dans les tables d'attributs du SIG.
- Définition d'un système de coordonnées.
  ArcToolbox / Data Management Tools / Generalization / Projections and Transformations / Define Projection / Projected Coordinate Systems / UTM / WGS 1984 zone 1S
- Pour Wallis , Alofi , et Futuna :
  Création de shapefiles séparés par île, contenant les données du PGEM (PGEM_Wallis.shp ; PGEM_Alofi.shp, PGEM_Futuna.shp) à partir de PTPU_Peche_W_region.shp et PTPU_Peche_Futuna_region.shp.
- Pour Wallis :
  Création d'un shapefile contenant uniquement les données de pêche au fusil, filet (grand filet et couloir) (PGEM_Wallis_fusil-filet-couloir.shp) à partir de PTPU_Peche_W_region.shp. Ajout d'un champ « fréquence d'utilisation de la zone pour la pêche au fusil et au filet » dans la table d'attributs.
  FREQ_FUFIL = (GD_FILET + P_FUSIL + P_COULOIR) / 3
- Pour Wallis :
  Création de shapefiles contenant uniquement les données de pêche au fusil, uniquement les données de pêche au grand filet et uniquement les données de pêche au couloir (PGEM_Wallis_fusil.shp, PGEM_Wallis_filet.shp, PGEM_Wallis_couloir.shp) à partir de PGEM_Wallis_fusil-filet-couloir.shp.
- Pour Alofi et Futuna :
  Création de shapefiles contenant uniquement les données de pêche au fusil (PGEM_Alofi_fusil.shp, PGEM_Futuna_fusil.shp) respectivement à partir de PGEM_Alofi.shp et PGEM_Futuna.shp. Ajout d'un champ « fréquence d'utilisation de la zone pour la pêche au fusil » dans la table d'attributs.
  FREQ_FUS = (LANGOUSTE + PEROQUET) / 2

CARTOGRAPHIE DES HABITATS CORALLIENS

Deux cartographies avec deux niveaux de détail différents étaient disponibles pour Wallis, Alofi et Futuna (Tableau 5) : une cartographie des habitats coralliens au niveau géomorphologique uniquement (respectivement Tableau 6, Tableau 7 et Tableau 8), et une cartographie détaillée des habitats au niveau géomorphologique et benthique (respectivement Tableau 9, Tableau 10 et Tableau 11). La Figure 4 et la Figure 5 illustrent respectivement la couverture spatiale des différents habitats pour le niveau de finesse le plus grossier (géomorphologie uniquement, issue du MCRMP), et pour le niveau le plus détaillé (géomorphologie et benthos) de cartographie. Les différentes données cartographiques ont été homogénéisées et adaptées pour l'analyse propre à cette étude (voir l'encadré *Méthode*).

Tableau 5. Détail des cartographies des habitats coralliens disponibles pour Wallis, Alofi et Futuna.

	WALLIS - ALOFI - FUTUNA	
IMAGERIE UTILISEE	Photographies aériennes	Images satellite (Landsat 7 ETM+)
RESOLUTION THEMATIQUE	Détaillée (géomorphologie et benthos)	Grossière (géomorphologie)
RESOLUTION SPATIALE	Très haute (2m)	Haute (30m)
REFERENCE	(Andréfouët & Dirberg 2006)	(Andréfouët et al. 2006)

Tableau 6. Typologie utilisée pour cartographier les habitats coralliens de Wallis, à partir d'images satellite LANDSAT 7 ETM+ (16 habitats).

GRIDCODE	L1_ATTRIB	L2_ATTRIB	L3_ATTRIB	L4_ATTRIB
89	oceanic	Oceanic island	Island lagoon	deep lagoon
90	oceanic	Oceanic island	Barrier land	land on reef
92	oceanic	Oceanic island	Outer Barrier Reef Complex	forereef
94	oceanic	Oceanic island	Outer Barrier Reef Complex	reef flat
102	oceanic	Oceanic island	Outer Barrier Reef Complex	shallow terrace
113	oceanic	Oceanic island	Outer Barrier Reef Complex	pass
148	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	forereef
150	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	reef flat
158	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	shallow terrace
160	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	enclosed lagoon
162	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	channel
163	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	barrier reef pinnacle/patch
212	oceanic	Oceanic island	Intra-lagoon patch-reef complex	forereef
213	oceanic	Oceanic island	Intra-lagoon patch-reef complex	reef flat
291	oceanic	Oceanic island	Lagoon exposed fringing	reef flat
293	oceanic	Oceanic island	Lagoon exposed fringing	enclosed lagoon or basin
301	oceanic	Oceanic island	Fringing of coastal barrier complex	reef flat
1000	main land	main land	Main Land	main land

Tableau 7. Typologie utilisée pour cartographier les habitats coralliens d'Alofi, à partir d'images satellite LANDSAT 7 ETM+ (4 habitats).

GRIDCODE	L1_ATTRIB	L2_ATTRIB	L3_ATTRIB	L4_ATTRIB
273	oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	forereef
274	oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	reef flat
277	oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	shallow terrace
324	oceanic	Oceanic island	Shelf slope	undetermined envelope
1000	main land	main land	Main Land	main land

Tableau 8. Typologie utilisée pour cartographier les habitats coralliens de Futuna, à partir d'images satellite LANDSAT 7 ETM+ (3 habitats).

GRIDCODE	L1_ATTRIB	L2_ATTRIB	L3_ATTRIB	L4_ATTRIB
273	oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	forereef
274	oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	reef flat
324	oceanic	Oceanic island	Shelf slope	undetermined envelope
1000	main land	main land	Main Land	main land

Tableau 9. Typologie utilisée pour cartographier les habitats coralliens de Wallis, à partir de photographies aériennes (55 habitats).

CODE	GEOMORPHO_	GEOMORPHO1	BENTHOS_N1	PROPRIETES
1	Terre emergee	Terre emergee	Terre emergee	Terre emergee (ile et ilots)
2	Lagon profond	Lagon profond	Lagon profond	Lagon profond (hors limite de visibilite sur orthophotographies)
3	Pente externe (Recif barrier	Pente externe	Corail	Pente externe, des plaines sableuses profondes a zone de deferlement des vagues, incluant les differ
4	Recif frangeant	Platier recifal	Substrat dur a corail disperse	Platier recifal construit de frangeant
5	Recif frangeant	Platier recifal	Substrat meuble a corail disperse	Platier recifal de frangeant, sable dominant, a structures construites dispersees
6	Recif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	Herbier tres dense (Syringodium), assez pur au nord, presence significative d'algues brunes a l'Est,
7	Recif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	Herbier et algueraie de densite moyenne
8	Recif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	Herbier et algueraie de densite tres faible sur sable gris a terrigene
9	Recif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	Fonds sableux, herbier et algueraie de densite faible sur sable gris, petites colonies eparses
10	Recif frangeant	Terrasse	Algueraie	Algueraie peu dense sur terrasse de frangeant d?îlots
11	Recif frangeant	Pente	Corail	Escarpement de platier ou de terrasse de frangeant
12	Recif frangeant	Pente	Substrat meuble a corail disperse	Pente sableuse a colonies coralliennes dispersees
13	Recif frangeant	Pente	Substrat meuble	Bassin enclave dans recif frangeant (sable terrigene)
14	Recif frangeant	Pente	Substrat meuble	Bassin enclave dans terrasse de recif frangeant (sable gris)
15	Recif frangeant	Pente	Corail	Escarpement corallien de bassin enclave
16	Recif frangeant	Pente	Substrat meuble	Bassin ouvert et chenaux artificiels
17	Recif barriere cotier	Platier recifal	Substrat dur	Platier du barriere Nord-Est, a epandages de blocs
18	Recif barriere cotier	Platier recifal	Substrat mixte a corail disperse	Platier du barriere Nord-Est, dalle ou zones coralliennes de faible a moyenne densite sur fonds mixt
19	Recif barriere cotier	Platier recifal	Substrat dur a corail disperse	Platier du barriere Ouest, a platier compact ou forte densite de structures coralliennes
20	Recif barriere cotier	Platier recifal	Substrat mixte a corail disperse	Platier du barriere Ouest, a dalle ou zones coralliennes de faible a moyenne densite sur fonds mixte
21	Recif barriere cotier	Platier recifal	Substrat dur a corail disperse	Platier construit de terrasse
22	Recif barriere cotier	Platier recifal	Substrat meuble a corail disperse	Massifs/colonies coralliens disperses de terrasse sur fonds sableux
23	Recif barriere cotier	Terrasse	Algueraie	Substrat meuble, quelques taches d'algueraies, souvent denses au nord-est, plus diffuses a l'ouest
24	Recif barriere cotier	Terrasse	Algueraie	Mats de cyanobacteries sur fonds sableux
25	Recif barriere cotier	Terrasse	Algueraie	Bassin a mats de cyanobacteries et halos autour de massifs coralliens disperses (nord-est uniquement
26	Recif barriere cotier	Terrasse	Algueraie	Bassin avec mat continue de flore non-identifiee (nord-est uniquement)
27	Recif barriere cotier	Terrasse	Substrat meuble	Bassin enclave
28	Recif barriere cotier	Terrasse	Substrat meuble a corail disperse	Accumulation sedimentaire du recif barriere Ouest
29	Recif barriere cotier	Terrasse	Corail	Escarpement corallien de bassin enclave
30	Recif barriere cotier	Pente	Corail	Escarpement corallien de pente interne (ouest uniquement)
31	Recif barriere cotier	Pente	Substrat meuble a corail disperse	Pente sableuse a colonies coralliennes dispersees
32	Recif barriere	Platier recifal	Substrat dur	Platier du barriere Est, a epandages de blocs / bordure corallienne du platier interne
33	Recif barriere	Platier recifal	Substrat mixte a corail disperse	Platier du barriere Est, a dalle ou zones coralliennes de faible a moyenne densite sur fonds mixtes
34	Recif barriere	Platier recifal	Substrat dur a corail disperse	Platier du barriere Ouest, a platier compact ou forte densites de structures coralliennes
35	Recif barriere	Platier recifal	Substrat mixte a corail disperse	Platier du barriere Ouest, a dalle ou zones coralliennes de faible a moyenne densite sur fonds mixte
36	Recif barriere	Platier recifal	Substrat dur a corail disperse	Platier du barriere Sud, a platier compact ou forte densite de structures coralliennes/ bordure cora
37	Recif barriere	Platier recifal	Substrat mixte a corail disperse	Platier du barriere Sud, a dalle ou zones coralliennes de faible a moyenne densite sur fonds mixtes
38	Recif barriere	Platier recifal	Corail	Platier corallien du barriere Sud, côte lagon d?îlot
39	Recif barriere	Platier recifal	Substrat dur a corail disperse	Massifs coralliens isoles sur pente interne
40	Recif barriere	Terrasse	Algueraie	Sable a mats de cyanobacteries
41	Recif barriere	Terrasse	Substrat meuble a corail disperse	Accumulation sedimentaire du recif barriere Est

42	Recif barriere	Terrasse	Substrat meuble a corail disperse	Accumulation sedimentaire du recif barriere Ouest
43	Recif barriere	Terrasse	Substrat meuble a corail disperse	Accumulation sedimentaire du recif barriere Sud

Tableau 9 (suite). Typologie utilisée pour cartographier les habitats coralliens de Wallis, à partir de photographies aériennes (55 habitats).

CODE	GEOMORPHO_	GEOMORPHO1	BENTHOS_N1	PROPRIETES
44	Recif barriere	Terrasse	Substrat meuble	Accumulation sedimentaire a fond mixte cot lagon d ilot du recif barriere Sud
45	Recif barriere	Pente	Corail	Escarpement corallien de pente interne (ouest uniquement)
46	Recif barriere	Pente	Corail	Escarpement corallien de pente interne (sud uniquement)
47	Recif barriere	Pente	Substrat meuble a corail disperse	Pente sableuse a colonies coralliennes dispersees
48	Recif barriere	Passe	Substrat dur	Fond de passe a dalle et travees sablo-detritiques, escarpement de corail sur les flancs des passes
49	Recif barriere	Passe	Substrat dur a corail disperse	Massif corallien de passe
50	Massif corallien lagonaire	Platier recifal	Corail	Fonds durs coralliens. Coraux mous dominants sur certains massifs
51	Massif corallien lagonaire	Platier recifal	Substrat mixte a corail disperse	Fonds mixtes, sableux dominants, a colonies coralliennes diverses
52	Massif corallien lagonaire	Platier recifal	Substrat meuble a corail disperse	Fonds sableux a massifs coralliens disperses, de formes de croissance diverses, mixes avec algueraie
53	Massif corallien lagonaire	Terrasse	Substrat meuble	Fonds sableux
54	Massif corallien lagonaire	Pente	Corail	Escarpement de massifs coralliens intertidaux, et pente construite
55	Massif corallien lagonaire	Pente	Substrat meuble a corail disperse	Pente sableuse a colonies coralliennes dispersees
56	Massif corallien lagonaire	Pente	Substrat dur a corail disperse	Massifs profonds, sans platier recifal sub-affleurants

Tableau 10. Typologie utilisée pour cartographier les habitats coralliens d'Alofi, à partir de photographies aériennes (6 habitats).

CODE	GEOMORPHO_	GEOMORPHO1	BENTHOS_N1	PROPRIETES
1	Terre emergee	Terre emergee		
2	Recif frangeant	Platier recifal	Substrat dur	Platier intertidal a dalle rainuree.
3	Recif frangeant	Pente	Substrat dur a corail disperse	Zone des eperons sillons
4	Recif frangeant	Pente	Substrat meuble	Plaines sableuses et epandages detritiques au dela de la zone des eperons sillons
5	Recif frangeant	Platier recifal	Substrat dur a corail disperse	Platier corallien et zones d?epandages detritiques
6	Recif frangeant	Platier recifal	Corail	Platier compact a forte couverture corallienne, tabulaires vers la crête, et branchus ou massif
7	Recif frangeant	Terrasse	Substrat meuble a corail disperse	Sable dominant a colonie massives dispersees et petites algueraies d'Halimeda

Tableau 11. Typologie utilisée pour cartographier les habitats coralliens de Futuna, à partir de photographies aériennes (3 habitats).

CODE	GEOMORPHO_	GEOMORPHO1	BENTHOS_N1	PROPRIETES
1	Terre emergee	Terre emergee		
2	Recif frangeant	Platier recifal	Substrat dur	Platier intertidal
3	Recif frangeant	Platier recifal	Corail	Platier avec poches de corail branchu
4	Recif frangeant	Pente	Substrat dur a corail disperse	Zone des eperons sillons

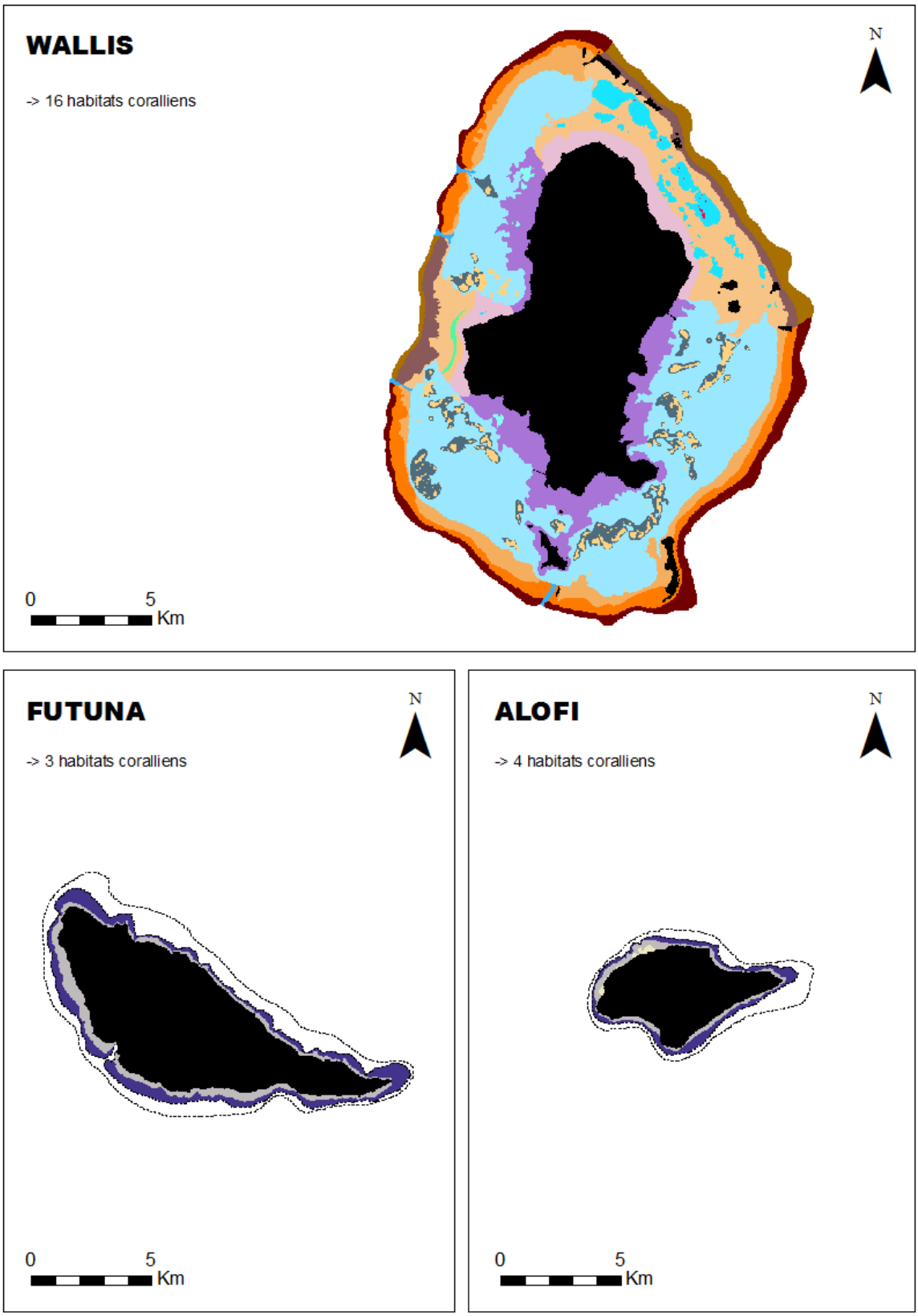


Figure 4. Cartes des habitats coralliens cartographiés au niveau géomorphologique uniquement (cartographies réalisées à partir de l'imagerie satellite LANDSAT 7 ETM+, données issues du Millennium Coral Reef Mapping Project).

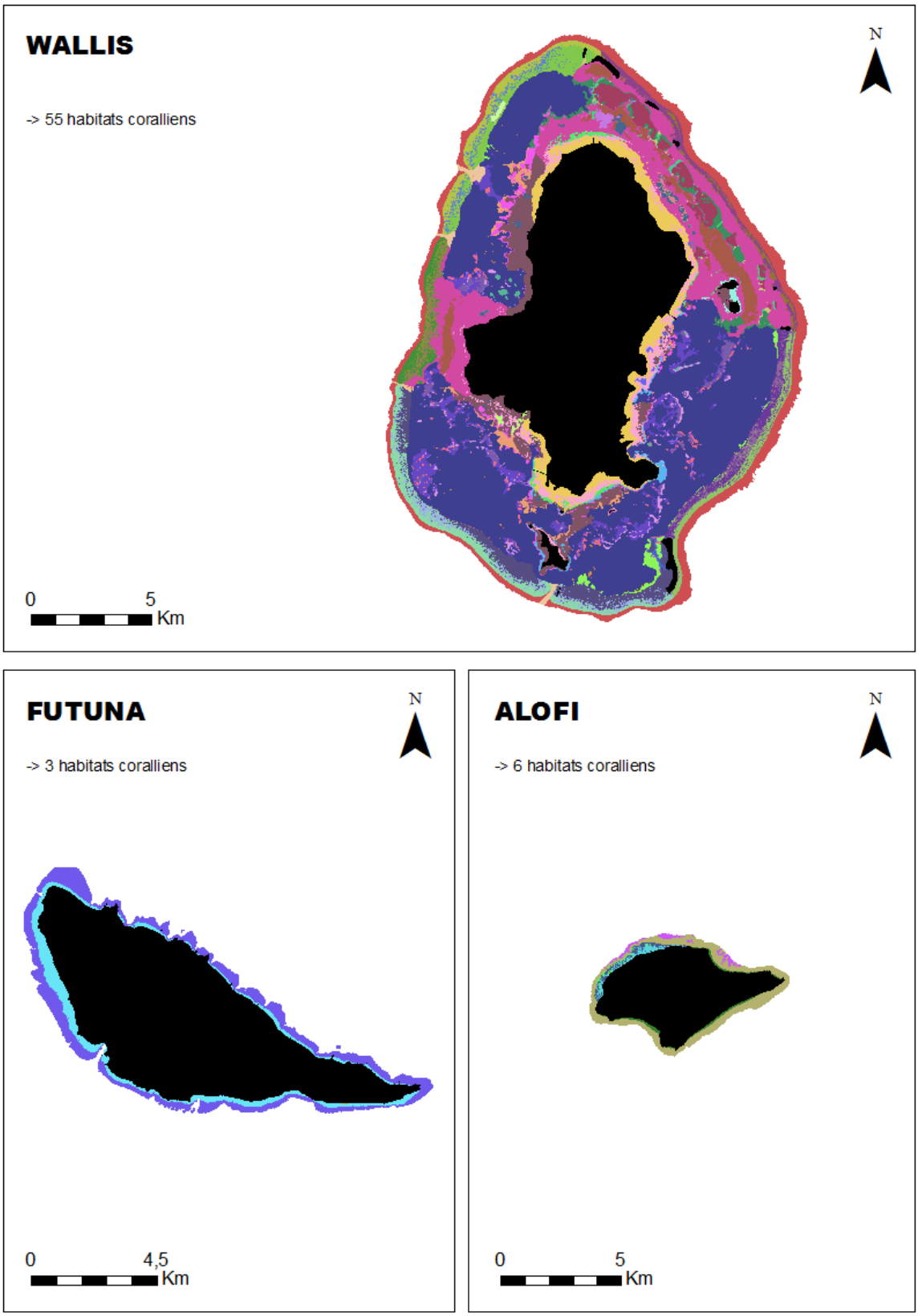


Figure 5. Cartes détaillées des habitats coralliens cartographiés aux niveaux géomorphologique et benthique (cartographies réalisées à partir de photographies aériennes).

METHODE

- Cartographies de Wallis , Alofi et Futuna issues de l'imagerie LANDSAT ; Wallis&Futuna.shp
  Extraction de Wallis, Alofi et Futuna (Wallis_MCRMPextracted.shp, Alofi_MCRMPextracted.shp, Futuna_MCRMPextracted.shp), puis projection en unités linéaires (Wallis_MCRMPextracted_proj.shp, Alofi_MCRMPextracted_proj.shp, Futuna_MCRMPextracted_proj.shp).
  ArcToolbox / Data Management Tools / Generalization / Projections and Transformations / Feature / Project / Projected Coordinate Systems / UTM / WGS 1984 zone 1S.
- Dissolution des données d'habitats coralliens pour alléger le jeu de données (Wallis_MCRMPextracted_proj_dissolve.shp, Alofi_MCRMPextracted_proj_dissolve.shp, Futuna_MCRMPextracted_proj_dissolve.shp). La table d'attributs est alors constituée d'une ligne par habitat différent, à la place d'une ligne par polygone différent.
  ArcToolbox / Data Management Tools / Generalization / Dissolve.
- Cartographies de Wallis , Alofi et Futuna issues de photos aériennes : wallis_habitat.shp, alofi_habitat.shp, map-futuna-4cl-shp.shp
- Dissolution des données d'habitats coralliens pour alléger le jeu de données (wallis_habitat_Dissolve.shp, alofi_habitat_Dissolve.shp, map_futuna_4cl_shp_Dissolve.shp).

GRILLES D'ANALYSE

L'analyse qui consiste à définir des zones de conservation prioritaires ou unités de conservations (UCs) nécessite de déterminer au préalable la taille idéale des unités de conservation. En effet, la taille minimale des AMPs proposées *in fine* dépend directement de la taille des UCs choisie au départ. La résolution des UCs ne doit pas être plus fine que celle des données utilisées pour définir les AMPs (ici cartographie très fine des habitats et données PGEM), mais elle doit également être adéquate pour les gestionnaires (pas trop grossière). En accord avec ces contraintes, les trois régions (Wallis, Alofi et Futuna) ont donc été découpées selon différentes grilles comportant des cellules de quatre tailles différentes (100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km) (voir l'encadré *Méthode*). A titre d'exemple, le Tableau 12 et la Figure 6 montrent respectivement le nombre total de cellules contenu dans chaque grille superposée aux habitats détaillés, et la taille relative des cellules par rapport à chaque région d'intérêt.

Tableau 12. Nombre total de cellules par grille couvrant les cartographies d'habitat les plus détaillées.

	100 x 100m	200 x 200m	500 x 500m	1 x 1km
WALLIS	43 120	10 824	1 764	450
ALOFI	4 368	1 092	187	54
FUTUNA	13 261	3 375	540	135

METHODE

- Pour Wallis, Alofi et Futuna :
  Création de plusieurs grilles d'analyse composées de cellules couvrant la totalité des habitats coralliens cartographiés, de tailles 100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km. La superposition des grilles sur les habitats cartographiés et donc la répartition des UCs sont légèrement différentes selon le niveau de cartographie utilisé (géomorphologique ou détaillé).
  Hawth's Tools / Sampling Tools / Create Vector Grid / Spacing between lines (m).

Tableau 13. Fichiers créés pour représenter les grilles d'analyses pour les deux niveaux de détail des habitats coralliens.

	WALLIS	ALOFI	FUTUNA
100 x 100m	WALLIS_grid_100m.shp WALLIS_MCRMPgrid_100m.shp	ALOFI_grid_100m.shp ALOFI_MCRMPgrid_100m.shp	FUTUNA_grid_100m.shp FUTUNA_MCRMPgrid_100m.shp
200 x 200m	WALLIS_grid_200m.shp WALLIS_MCRMPgrid_200m.shp	ALOFI_grid_200m.shp ALOFI_MCRMPgrid_200m.shp	FUTUNA_grid_200m.shp FUTUNA_MCRMPgrid_200m.shp
500 x 500m	WALLIS_grid_500m.shp WALLIS_MCRMPgrid_500m.shp	ALOFI_grid_500m.shp ALOFI_MCRMPgrid_500m.shp	FUTUNA_grid_500m.shp FUTUNA_MCRMPgrid_500m.shp
1 x 1km	WALLIS_grid_1km.shp WALLIS_MCRMPgrid_1km.shp	ALOFI_grid_1km.shp ALOFI_MCRMPgrid_1km.shp	FUTUNA_grid_1km.shp FUTUNA_MCRMPgrid_1km.shp

- Ajout d'un champ X_CENTR et Y_CENTR pour le calcul des coordonnées du centre de chaque cellule.
  Table des Attributs / Create Field / Calculate Geometry / X-Y coordinate of centroid.

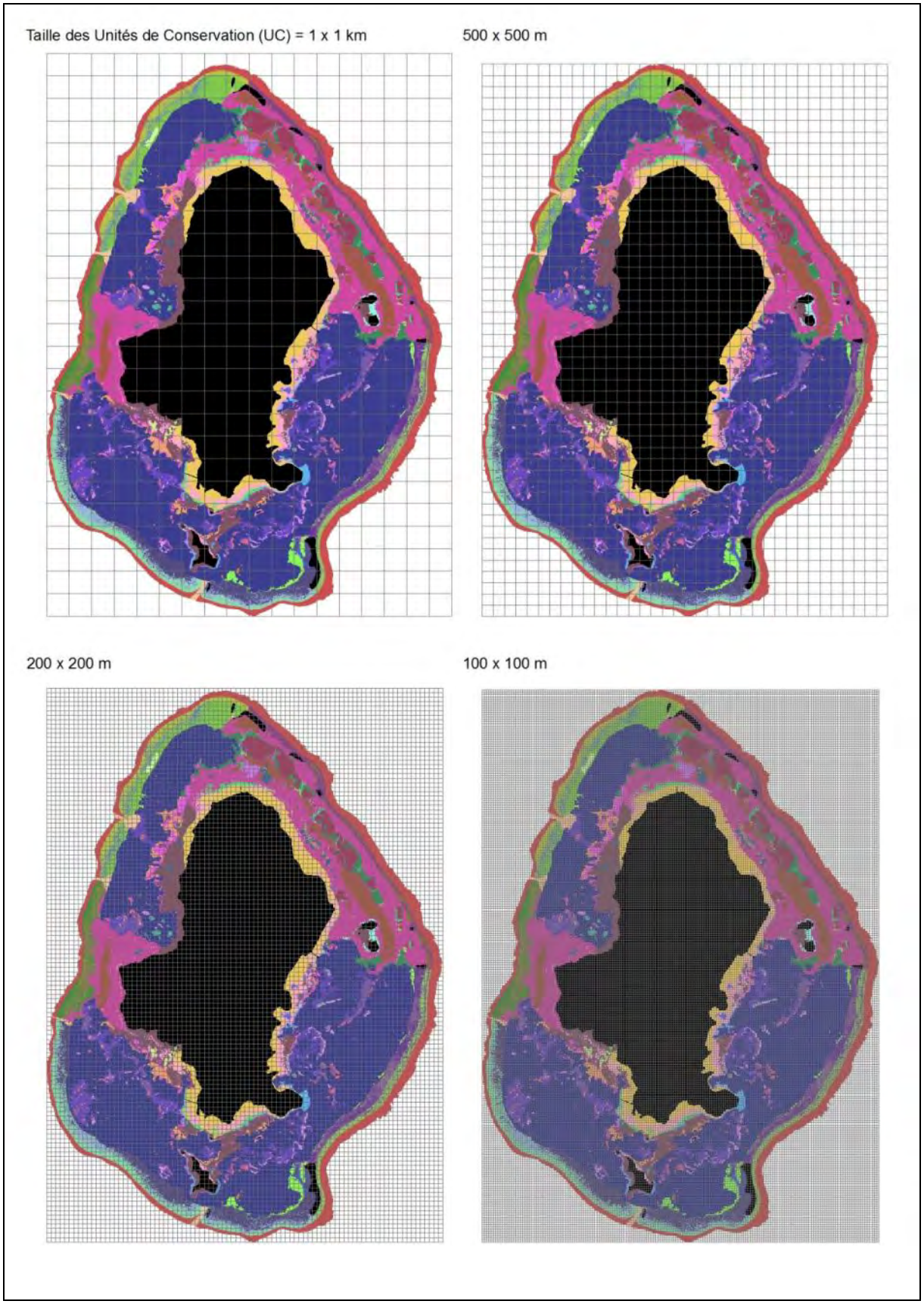


Figure 6. Superposition des grilles d'analyse avec chaque région d'intérêt (Wallis, Alofi et Futuna) cartographiée à partir de photographies aériennes.

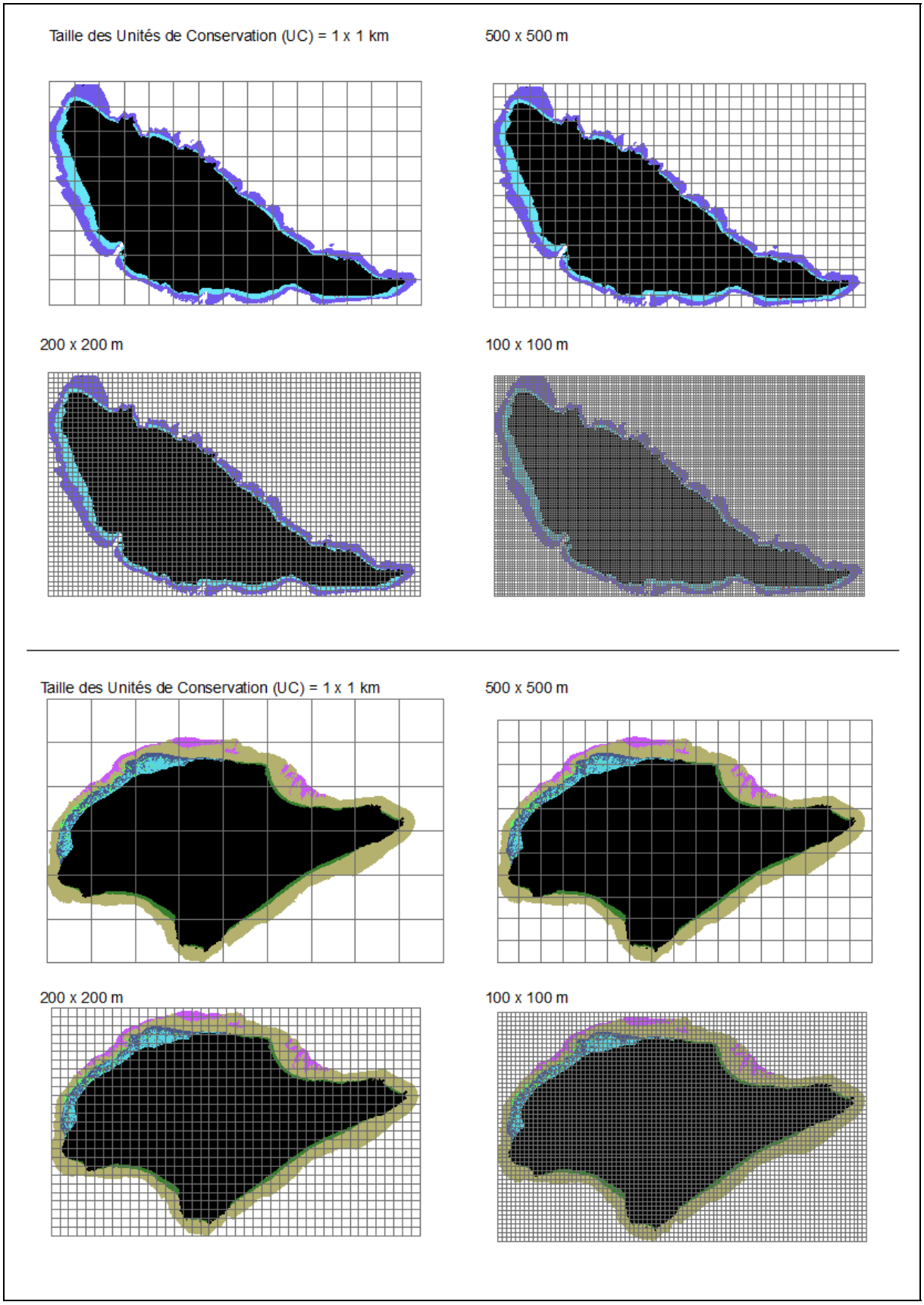


Figure 6 (suite). Superposition des grilles d'analyse avec chaque région d'intérêt (Wallis, Alofi et Futuna) cartographiée à partir de photographies aériennes.

REPARTITION DES DONNEES D'HABITAT SELON LA GRILLE

Pour chaque région d'intérêt, les deux types de cartographies d'habitats ont été superposées avec les différentes grilles correspondantes (Tableau 14) afin d'extraire, pour chaque cellule, les types d'habitats présents et leur surface. Les habitats correspondant aux terres émergées ont été supprimés pour l'analyse pour les deux types de cartographies (voir l'encadré *Méthode*).

Tableau 14. Nombre de cellules par grille comportant des habitats coralliens au niveau détaillé (terres émergées exclues). Ce nombre correspond au nombre d'Unités de Conservations potentielles disponible.

	100 x 100m	200 x 200m	500 x 500m	1 x 1km
WALLIS (55 habitats)	22 294 / 43 120	5 765 / 10 824	1 012 / 1 764	284 / 450
ALOFI (6 habitats)	1 027 / 4 368	317 / 1 092	83 / 187	31 / 54
FUTUNA (3 habitats)	1981 / 13 261	623 / 3 375	150 / 540	53 / 135

METHODE

- Pour Wallis , Alofi et Futuna ,
  pour les deux types de cartographies,
  pour chaque taille de cellule **100 x 100m**, **200 x 200m**, **500 x 500m**, **1 x 1km** :
  Création d'un shapefile correspondant à l'intersection des habitats et de la grille. Cela permet d'obtenir des informations sur les habitats au sein de chaque unité potentielle de conservation (UC).
  Analysis Tools / Overlay / Intersect (ordre : grille, puis habitats).

Tableau 15. Fichiers créés pour représenter la répartition des données d'habitats selon les grilles d'analyse.

		Shapefile créé
WALLIS	100 x 100m	WALLIS_hab_grid100m_Intersect.shp WALLIS_MCRMP_hab_grid100m_Intersect.shp
	200 x 200m	WALLIS _hab _grid200m_Intersect.shp WALLIS_MCRMP_hab_grid200m _Intersect.shp
	500 x 500m	WALLIS _hab _grid500m_Intersect.shp WALLIS_MCRMP_hab_grid500m m_Intersect.shp
	1 x 1km	WALLIS _hab _grid1km_Intersect.shp WALLIS_MCRMP_hab_grid1km _Intersect.shp
ALOFI	100 x 100m	ALOFI_hab_grid100m_Intersect.shp ALOFI _MCRMP_hab_grid100m_Intersect.shp
	200 x 200m	ALOFI _hab _grid200m_Intersect.shp ALOFI _MCRMP_hab_grid200m_Intersect.shp
	500 x 500m	ALOFI _hab _grid500m_Intersect.shp ALOFI _MCRMP_hab_grid500m_Intersect.shp
	1 x 1km	ALOFI _hab _grid1km_Intersect.shp ALOFI _MCRMP_hab_grid1km_Intersect.shp
FUTUNA	100 x 100m	FUTUNA_hab_grid100m_Intersect.shp FUTUNA _MCRMP_hab_grid100m_Intersect.shp
	200 x 200m	FUTUNA_hab _grid200m_Intersect.shp FUTUNA _MCRMP_hab_grid200m_Intersect.shp
	500 x 500m	FUTUNA _hab _grid500m_Intersect.shp FUTUNA _MCRMP_hab_grid500m_Intersect.shp
	1 x 1km	FUTUNA_hab _grid1km_Intersect.shp FUTUNA _MCRMP_hab_grid1km_Intersect.shp

- Suppression des habitats correspondant aux terres émergées (l'habitat « lagon profond » est à conserver au même titre que les autres habitats coralliens).
  Dans un premier temps, sélection des codes des habitats correspondant dans la table des attributs. Data Management Tools / Table / Delete Rows.
- Ajout d'un champ (hab_area) pour le calcul de l'aire de chaque habitat présent au sein de chaque cellule.
  Table des Attributs / Create Field / Calculate Geometry / Area.

REPARTITION DES DONNEES DE PECHE SELON LA GRILLE

Pour chaque région d'intérêt, les zones de pêche (SIG du PGEM) ont été superposées avec les différentes grilles afin d'extraire, pour chaque cellule, les types d'exploitation (pêche au fusil, pêche au filet, pas de pêche au fusil ni au filet) et la surface exploitée si approprié. Les zones correspondant aux terres émergées ont été supprimées pour l'analyse (voir l'encadré *Méthode*).

METHODE

- Pour Wallis , Alofi et Futuna ,
  pour les deux types de cartographies,
  et pour chaque taille de cellule **100 x 100m**, **200 x 200m**, **500 x 500m**, **1 x 1km**:
  Création d'un shapefile correspondant à l'intersection des données de pêche et de la grille. Cela permet d'obtenir des informations sur les zones de pêche au sein de chaque unité potentielle de conservation (UC).
  Analysis Tools / Overlay / Intersect (ordre : grille, puis habitats).

Tableau 16. Fichiers créés pour représenter la répartition des données de pêche selon les grilles d'analyse.

		Shapefile créé
WALLIS	100 x 100m	WALLIS_pecheALL_grid100m_Intersect.shp WALLIS_pecheALL_MCRMPgrid100m_Intersect.shp
	200 x 200m	WALLIS_pecheALL_grid200m_Intersect.shp WALLIS_pecheALL_MCRMPgrid200m_Intersect.shp
	500 x 500m	WALLIS_pecheALL_grid500m_Intersect.shp WALLIS_pecheALL_MCRMPgrid500m_Intersect.shp
	1 x 1km	WALLIS_pecheALL_grid1km_Intersect.shp WALLIS_pecheALL_MCRMPgrid1km_Intersect.shp
ALOFI	100 x 100m	ALOFI_pecheALL_grid100m_Intersect.shp ALOFI_pecheALL_MCRMPgrid100m_Intersect.shp
	200 x 200m	ALOFI_pecheALL_grid200m_Intersect.shp ALOFI_pecheALL_MCRMPgrid200m_Intersect.shp
	500 x 500m	ALOFI_pecheALL_grid500m_Intersect.shp ALOFI_pecheALL_MCRMPgrid500m_Intersect.shp
	1 x 1km	ALOFI_pecheALL_grid1km_Intersect.shp ALOFI_pecheALL_MCRMPgrid1km_Intersect.shp
FUTUNA	100 x 100m	FUTUNA_pecheALL_grid100m_Intersect.shp FUTUNA_pecheALL_MCRMPgrid100m_Intersect.shp
	200 x 200m	FUTUNA_pecheALL_grid200m_Intersect.shp FUTUNA_pecheALL_MCRMPgrid200m_Intersect.shp
	500 x 500m	FUTUNA_pecheALL_grid500m_Intersect.shp FUTUNA_pecheALL_MCRMPgrid500m_Intersect.shp
	1 x 1km	FUTUNA_pecheALL_grid1km_Intersect.shp FUTUNA_pecheALL_MCRMPgrid1km_Intersect.shp

- Suppression des habitats correspondant aux terres émergées (TYPE = « »).
  Dans un premier temps, sélection des codes des habitats correspondant dans la table des attributs. Data Management Tools / Table / Delete Rows.
- Ajout d'un champ (peche_area) pour le calcul de l'aire de chaque zone de pêche présente au sein de chaque cellule.
  Table des Attributs / Create Field / Calculate Geometry / Area

ANALYSES PRELIMINAIRES ET PREPARATION DES SCENARIOS

RICHESSE EN HABITATS DES UNITES POTENTIELLES DE CONSERVATION

Afin d'avoir une vision spatiale de la richesse en habitats coralliens des différentes unités de conservation, et de leur potentiel intérêt pour la conservation des écosystèmes coralliens de Wallis, Futuna et Alofi, les données de répartition des habitats sur les différentes grilles ont été compilées et cartographiées (Figure 7, Figure 9 et Figure 11 pour la richesse des habitats cartographiés à partir de l'imagerie satellite LANDSAT 7 ETM+ ; Figure 8, Figure 10 et Figure 12 pour la richesse des habitats coralliens cartographiés à partir de photographies aériennes) (voir l'encadré *Méthode*).

METHODE

- Ecriture d'un script sous R (Habitats-richness_cells.r) qui produit en sortie (S) une table de richesse des UC en habitats à partir des shapefiles de répartition des habitats par UC en entrée (E) en fonction de la taille des UC et de l'île d'intérêt.

Tableau 17. Fichiers utilisés (Entrée), et créés (Sortie) pour le calcul de la richesse en habitats des Unités de Conservation.

			Tableau créé
WALLIS	100 x 100m	Entrée	WALLIS_hab_grid100m_Intersect.dbf WALLIS_MCRMP_hab_grid100m_Intersect.dbf
		Sortie	WALLIS_hab-richness_cells_100m.dbf WALLIS_MCRMP_hab-richness_cells_100m_Intersect.dbf
	200 x 200m	Entrée	WALLIS_hab_grid200m_Intersect.dbf WALLIS_MCRMP_hab_grid200m_Intersect.dbf
		Sortie	WALLIS_hab-richness_cells_200m.dbf WALLIS_MCRMP_hab-richness_cells_200m_Intersect.dbf
	500 x 500m	Entrée	WALLIS_hab_grid500m_Intersect.dbf WALLIS_MCRMP_hab_grid500m_Intersect.dbf
		Sortie	WALLIS_hab-richness_cells_500m.dbf WALLIS_MCRMP_hab-richness_cells_500m_Intersect.dbf
	1 x 1km	Entrée	WALLIS_hab_grid1km_Intersect.dbf WALLIS_MCRMP_hab_grid1km_Intersect.dbf
		Sortie	WALLIS_hab-richness_cells_1km.dbf WALLIS_MCRMP_hab-richness_cells_1km_Intersect.dbf
ALOFI	100 x 100m	Entrée	ALOFI_hab_grid100m_Intersect.dbf ALOFI _MCRMP_hab_grid100m_Intersect.dbf
		Sortie	ALOFI _hab-richness_cells_100m.dbf ALOFI _MCRMP_hab-richness_cells_100m_Intersect.dbf
	200 x 200m	Entrée	ALOFI _hab_grid200m_Intersect.dbf ALOFI _MCRMP_hab_grid200m_Intersect.dbf
		Sortie	ALOFI _hab-richness_cells_200m.dbf ALOFI _MCRMP_hab-richness_cells_200m_Intersect.dbf
	500 x 500m	Entrée	ALOFI _hab_grid500m_Intersect.dbf ALOFI _MCRMP_hab_grid500m_Intersect.dbf
		Sortie	ALOFI _hab-richness_cells_500m.dbf ALOFI _MCRMP_hab-richness_cells_500m_Intersect.dbf
	1 x 1km	Entrée	ALOFI _hab_grid1km_Intersect.dbf ALOFI _MCRMP_hab_grid1km_Intersect.dbf
		Sortie	ALOFI _hab-richness_cells_1km.dbf ALOFI _MCRMP_hab-richness_cells_1km_Intersect.dbf
FUTUNA	100 x 100m	Entrée	FUTUNA_hab_grid100m_Intersect.dbf FUTUNA_MCRMP_hab_grid100m_Intersect.dbf
		Sortie	FUTUNA_hab-richness_cells_100m.dbf FUTUNA_MCRMP_hab-richness_cells_100m_Intersect.dbf
	200 x 200m	Entrée	FUTUNA_hab_grid200m_Intersect.dbf FUTUNA_MCRMP_hab_grid200m_Intersect.dbf
		Sortie	FUTUNA_hab-richness_cells_200m.dbf FUTUNA_MCRMP_hab-richness_cells_200m_Intersect.dbf
	500 x 500m	Entrée	FUTUNA_hab_grid500m_Intersect.dbf FUTUNA_MCRMP_hab_grid500m_Intersect.dbf
		Sortie	FUTUNA_hab-richness_cells_500m.dbf FUTUNA_MCRMP_hab-richness_cells_500m_Intersect.dbf
	1 x 1km	Entrée	FUTUNA_hab_grid1km_Intersect.dbf FUTUNA_MCRMP_hab_grid1km_Intersect.dbf
		Sortie	FUTUNA_hab-richness_cells_1km.dbf FUTUNA_MCRMP_hab-richness_cells_1km_Intersect.dbf

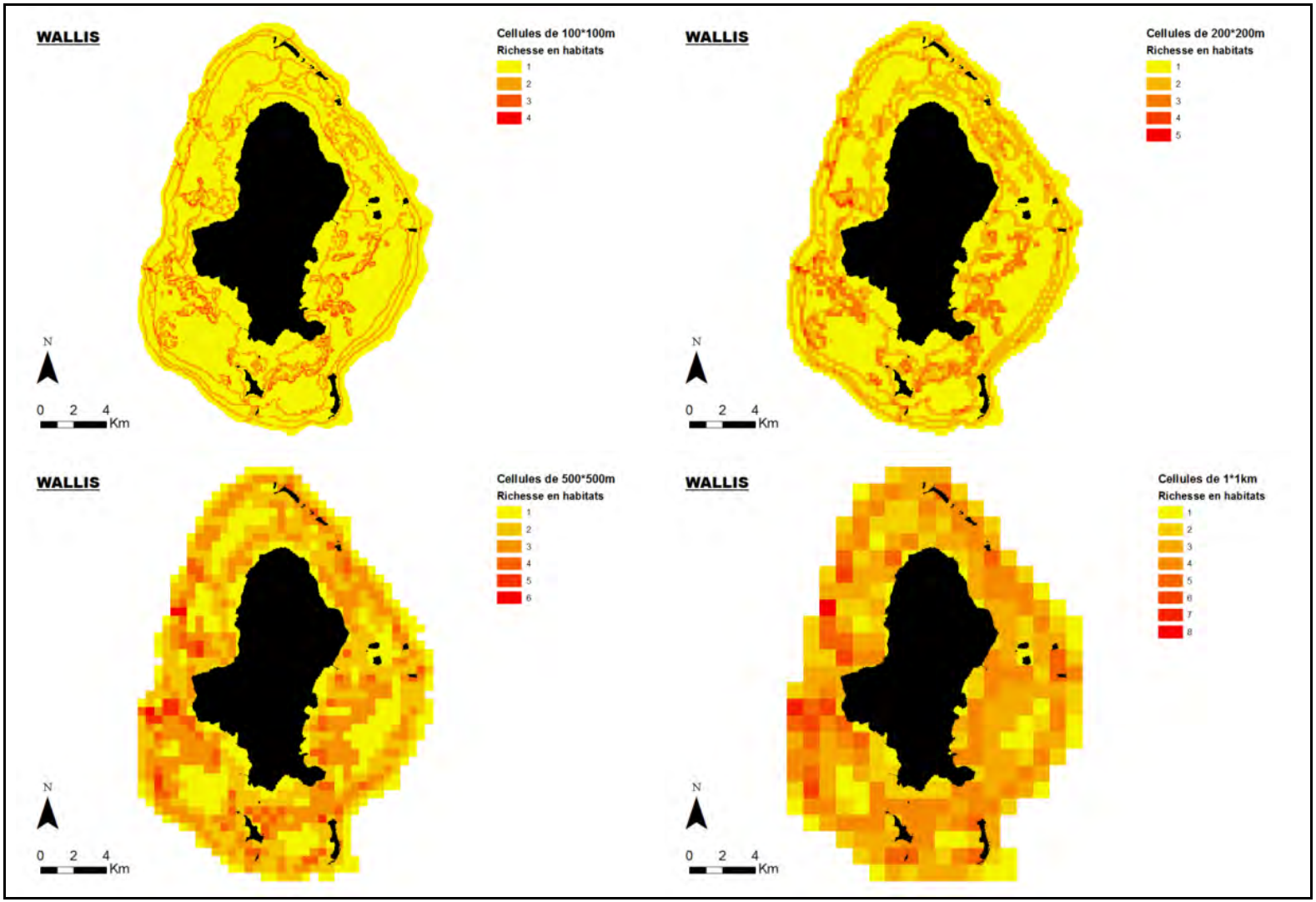


Figure 7. Richesse en habitats coralliens autour de Wallis, pour chaque taille d'Unité de Conservation de 100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km. La cartographie des habitats coralliens utilisée est uniquement basée sur la géomorphologie.

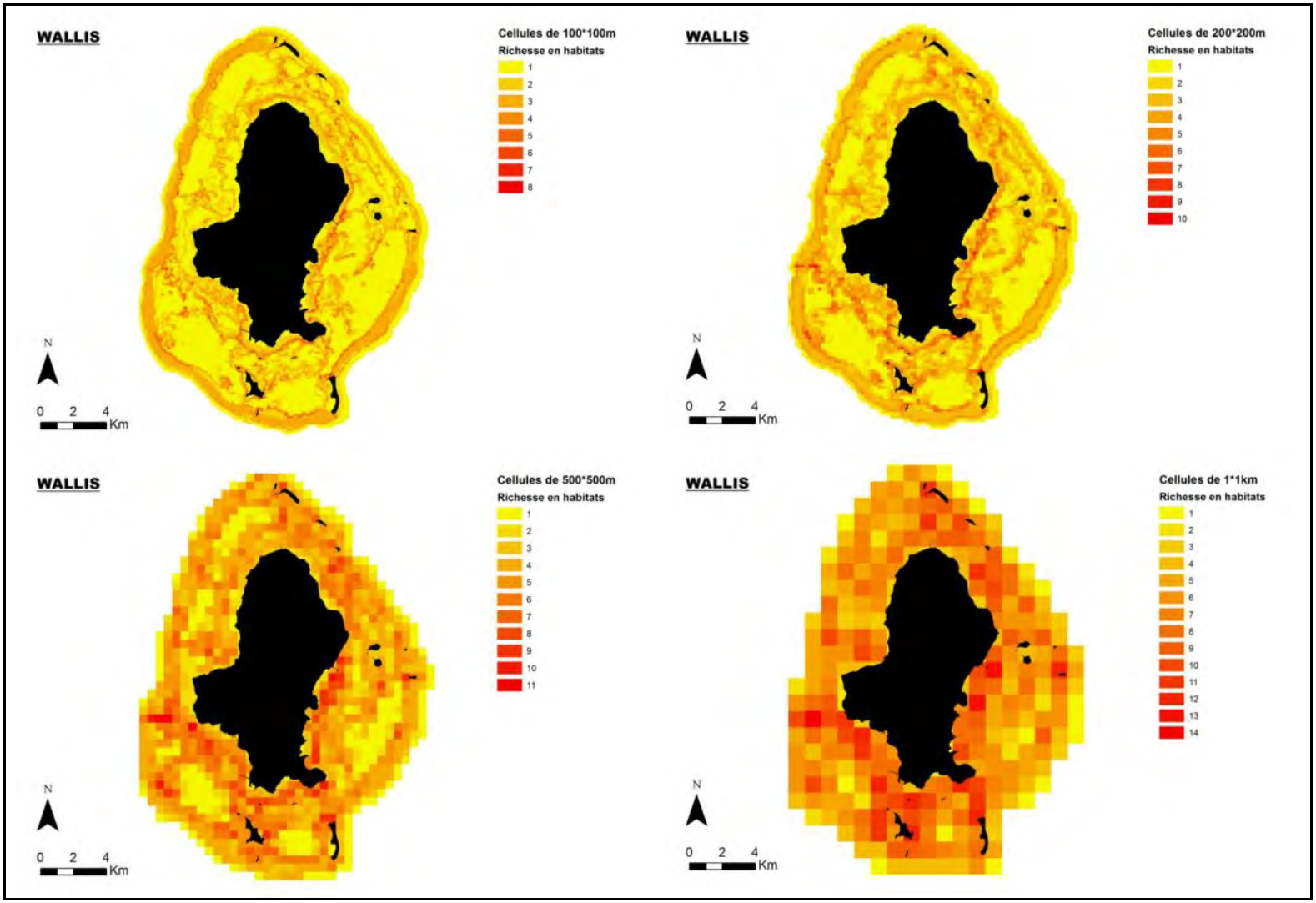


Figure 8. Richesse en habitats coralliens autour de Wallis, pour chaque taille d'Unité de Conservation de 100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km. La cartographie des habitats coralliens utilisée est la plus détaillée possible (géomorphologie et benthos).

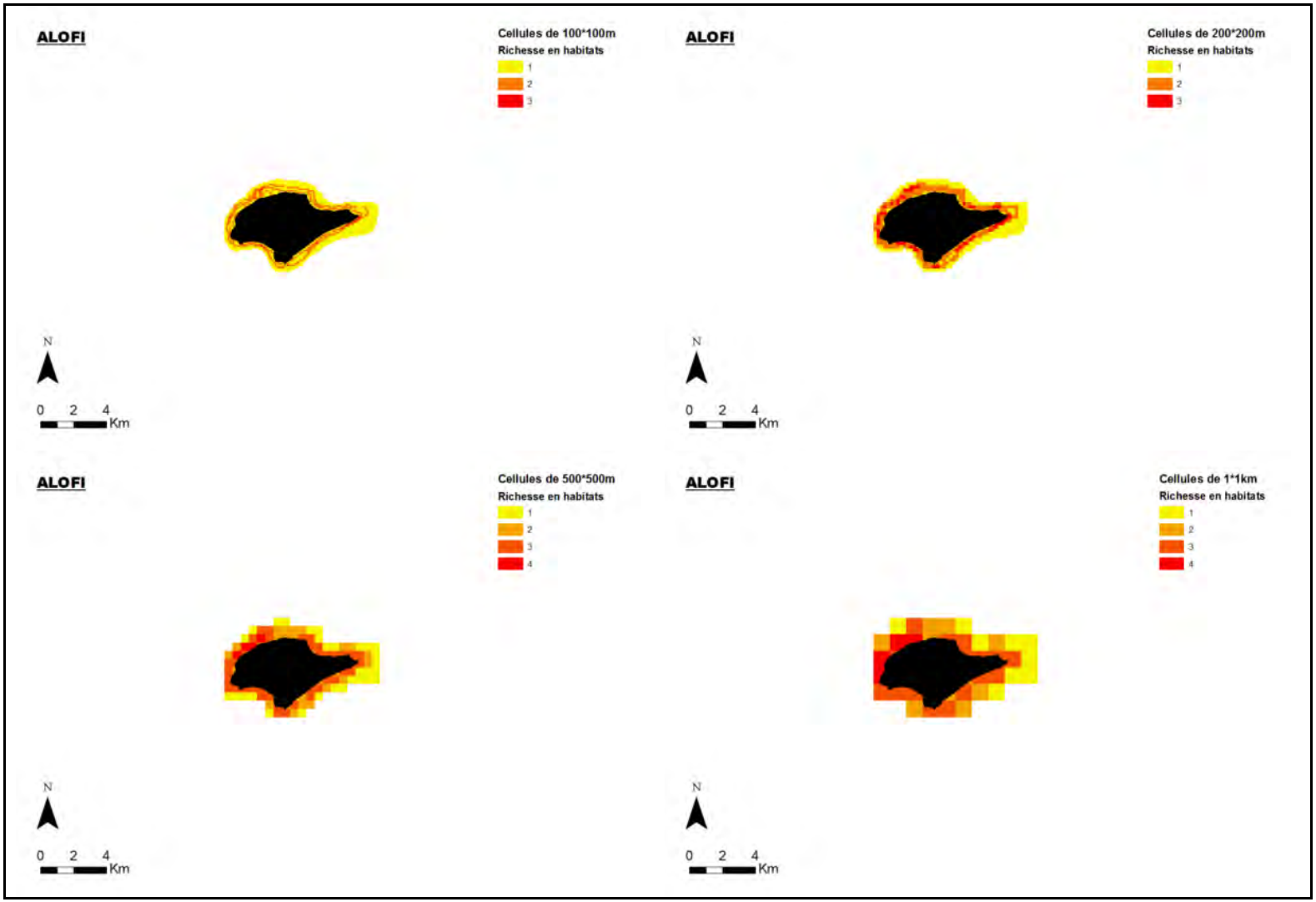


Figure 9. Richesse en habitats coralliens autour de Alofi, pour chaque taille d'Unité de Conservation de 100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km. La cartographie des habitats coralliens utilisée est uniquement basée sur la géomorphologie.

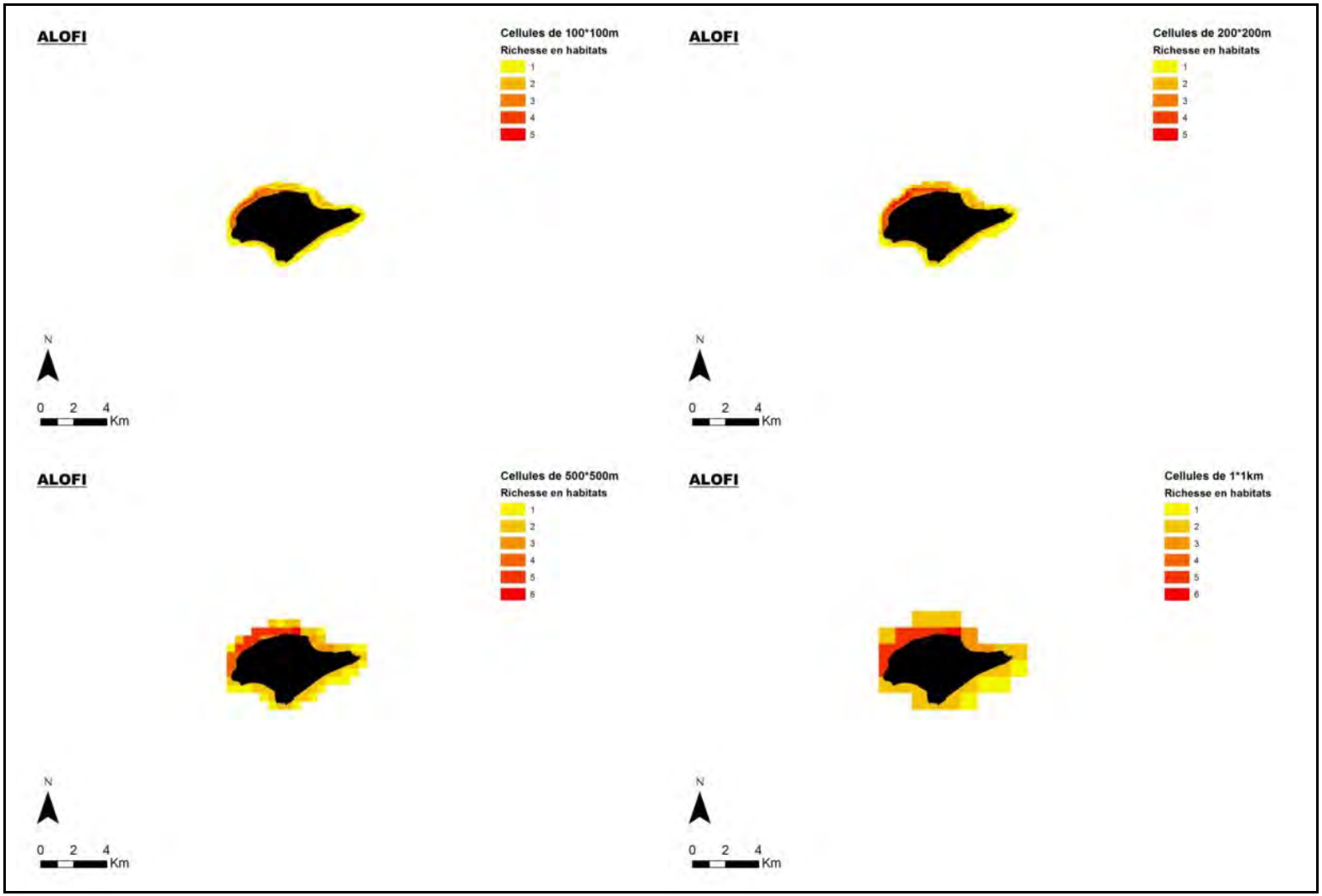


Figure 10. Richesse en habitats coralliens autour de Alofi, pour chaque taille d'Unité de Conservation de 100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km. La cartographie des habitats coralliens utilisée est la plus détaillée possible (géomorphologie et benthos).

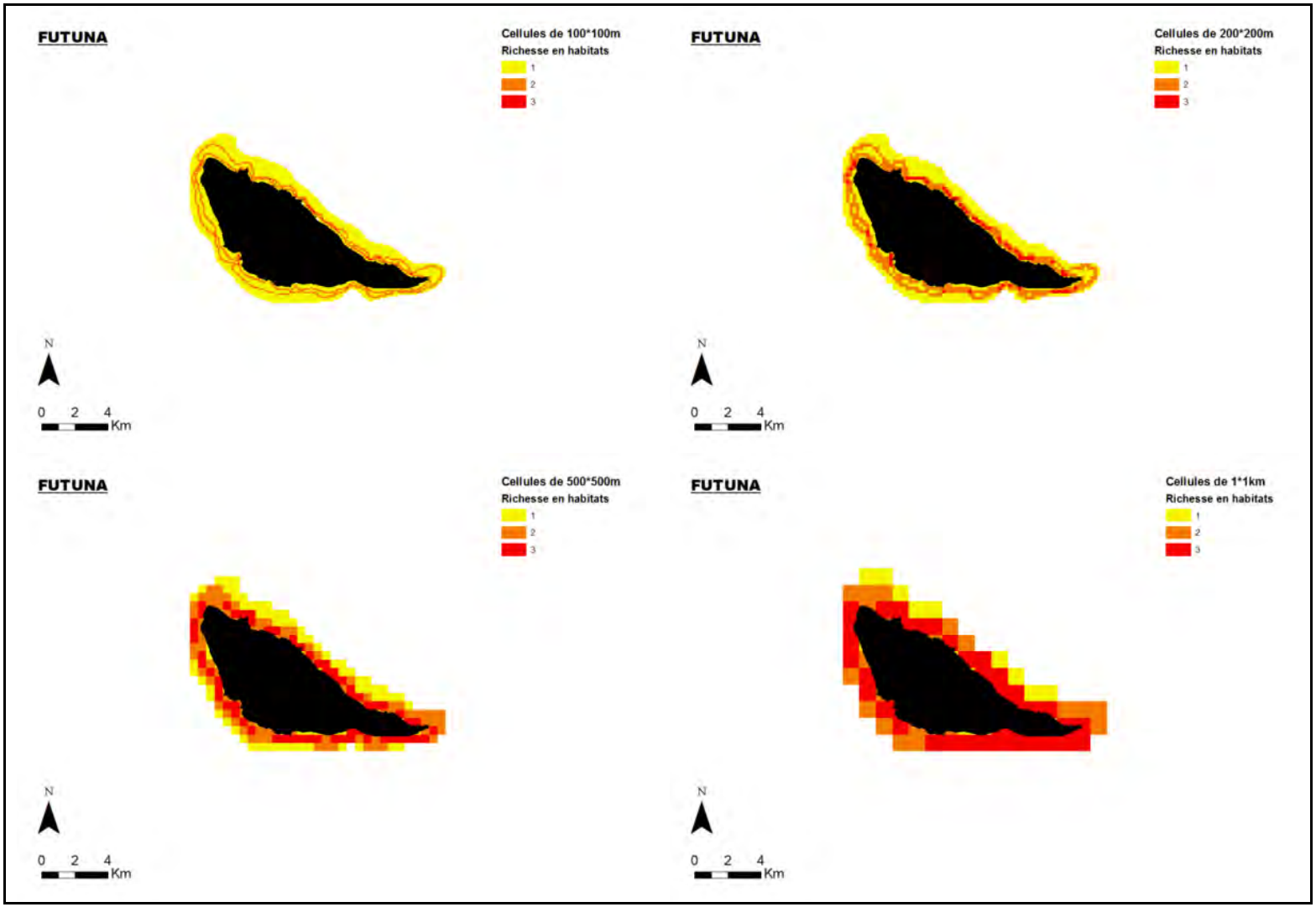


Figure 11. Richesse en habitats coralliens autour de Futuna, pour chaque taille d'Unité de Conservation de 100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km. La cartographie des habitats coralliens utilisée est uniquement basée sur la géomorphologie.

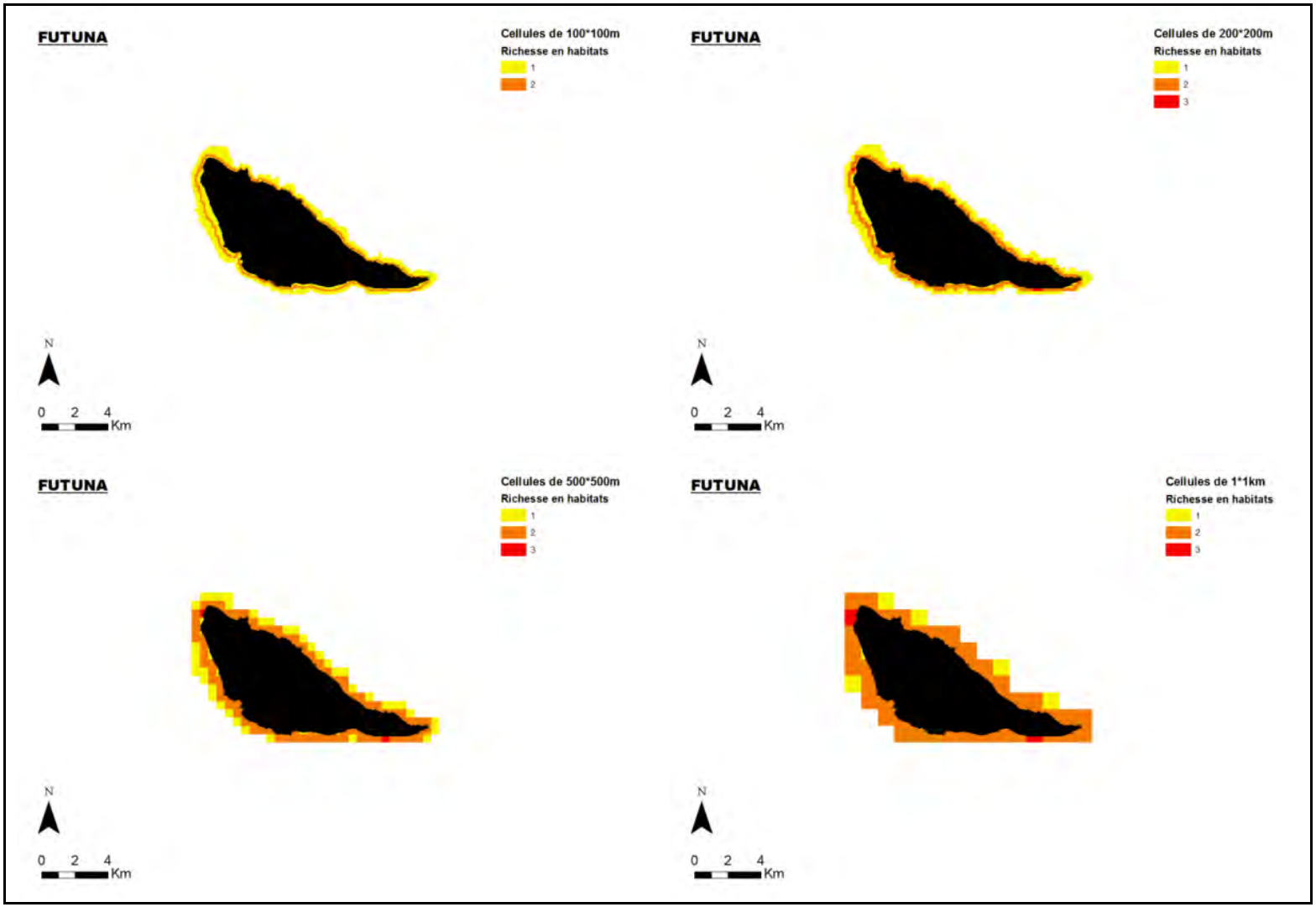


Figure 12. Richesse en habitats coralliens autour de Futuna, pour chaque taille d'Unité de Conservation de 100 x 100m, 200 x 200m, 500 x 500m et 1 x 1km. La cartographie des habitats coralliens utilisée est la plus détaillée possible (géomorphologie et benthos).

SURFACES D'HABITATS NON PECHEES A CONSERVER

En excluant toutes les UC pêchées (au fusil et au filet pour Wallis ; uniquement au fusil pour Alofi et Futuna), la surface totale en habitats disponible pour la définition des AMPs est sensiblement réduite (Tableau 18).

Tableau 18. Surface en habitats (géomorphologie et benthos) RESTANTE pour définir les AMPs (% de la surface TOTALE en habitats), après exclusion des cellules pêchées

	100 x 100m	200 x 200m	500 x 500m
WALLIS	65 %	58 %	44 %
ALOFI	31 %	17 %	7 %
FUTUNA	38 %	21 %	6 %

***RAPPEL** : les scénarios choisis ont pour objectif la représentation de 20% de la surface restante après exclusion des UC pêchées. Si par exemple la surface d'un habitat restante correspond à 50% de sa surface totale, seuls 10% de sa surface totale seront conservés* in fine.

Les figures suivantes (Tableau 19) ont pour but d'illustrer lesquels de ces habitats sont les plus touchés (en rouge et mauve) par l'exclusion a priori de toutes les zones de pêches pour les trois îles, les deux types de cartographies, et pour les trois tailles d'UCs les plus pertinentes (500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m). Les histogrammes montrent, en détail, les surfaces restantes/perdues par habitat après exclusion des UCs pêchées pour les trois îles, les deux types de cartographies et les trois tailles d'UCs les plus pertinentes (500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m).

Tableau 19. Liste des figures représentant l'influence de l'exclusion des zones de pêche au fusil et au filet sur les habitats coralliens à conserver sur Wallis, Alofi et Futuna, selon la grille d'Unités de Conservations utilisée.

	CARTOGRAPHIE	500 x 500m	200 x 200m	100 x 100m	HISTOGRAMMES
WALLIS	**MCRMP**	Figure 13	Figure 15	Figure 17	Figure 19
	Détaillée	Figure 14	Figure 16	Figure 18	Figure 20
ALOFI	**MCRMP**	Figure 21	Figure 23	Figure 25	Figure 27
	Détaillée	Figure 22	Figure 24	Figure 26	Figure 28
FUTUNA	**MCRMP**	Figure 29	Figure 31	Figure 33	Figure 35
	Détaillée	Figure 30	Figure 32	Figure 34	Figure 36

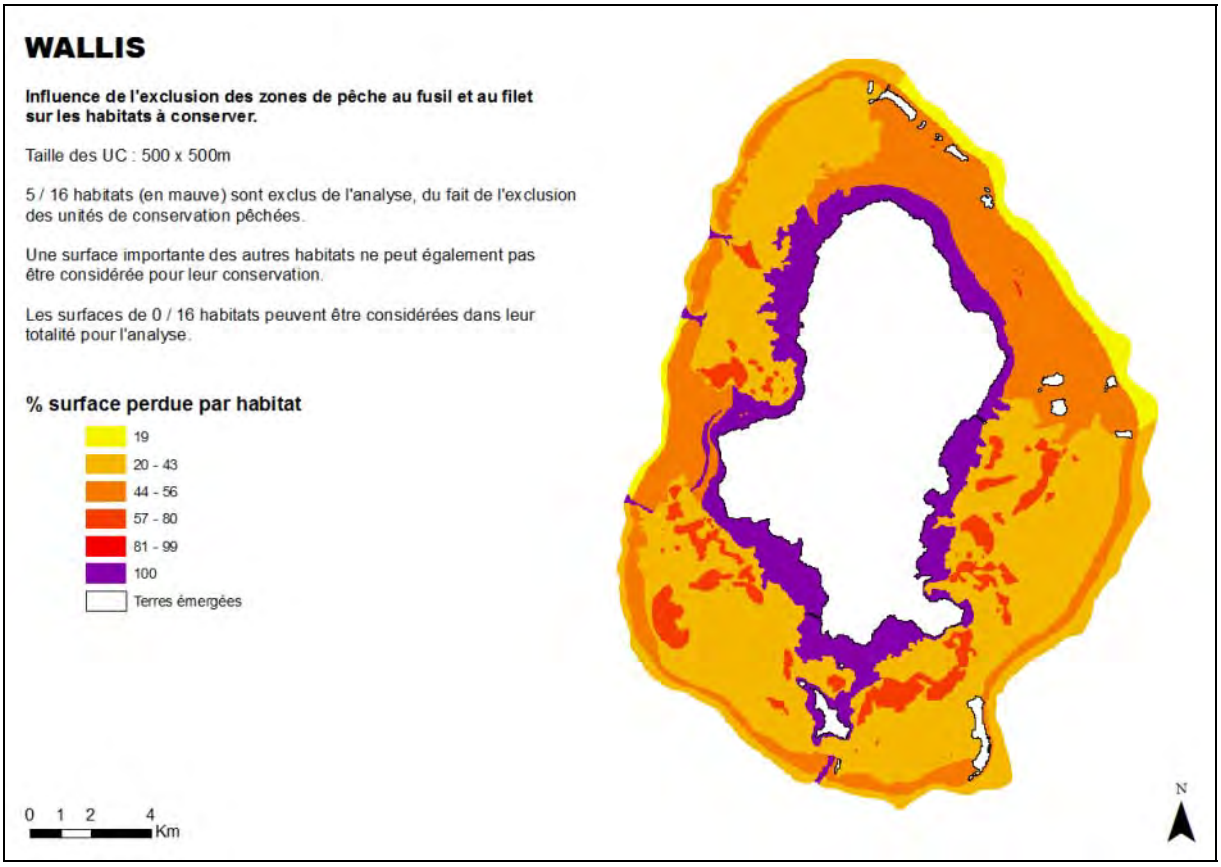


Figure 13. Influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m pêchées au fusil et au filet sur les habitats coralliens de Wallis à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

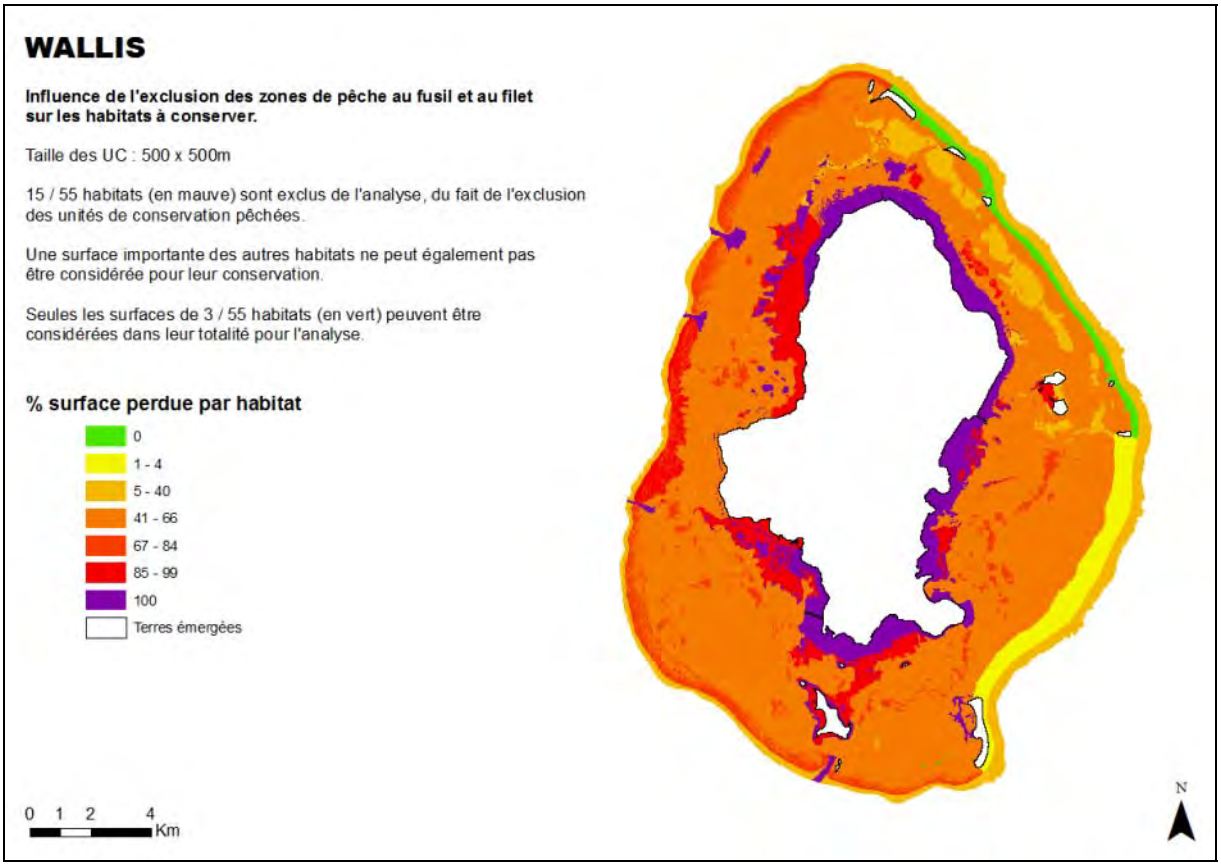


Figure 14. Influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m pêchées au fusil et au filet sur les habitats coralliens de Wallis à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

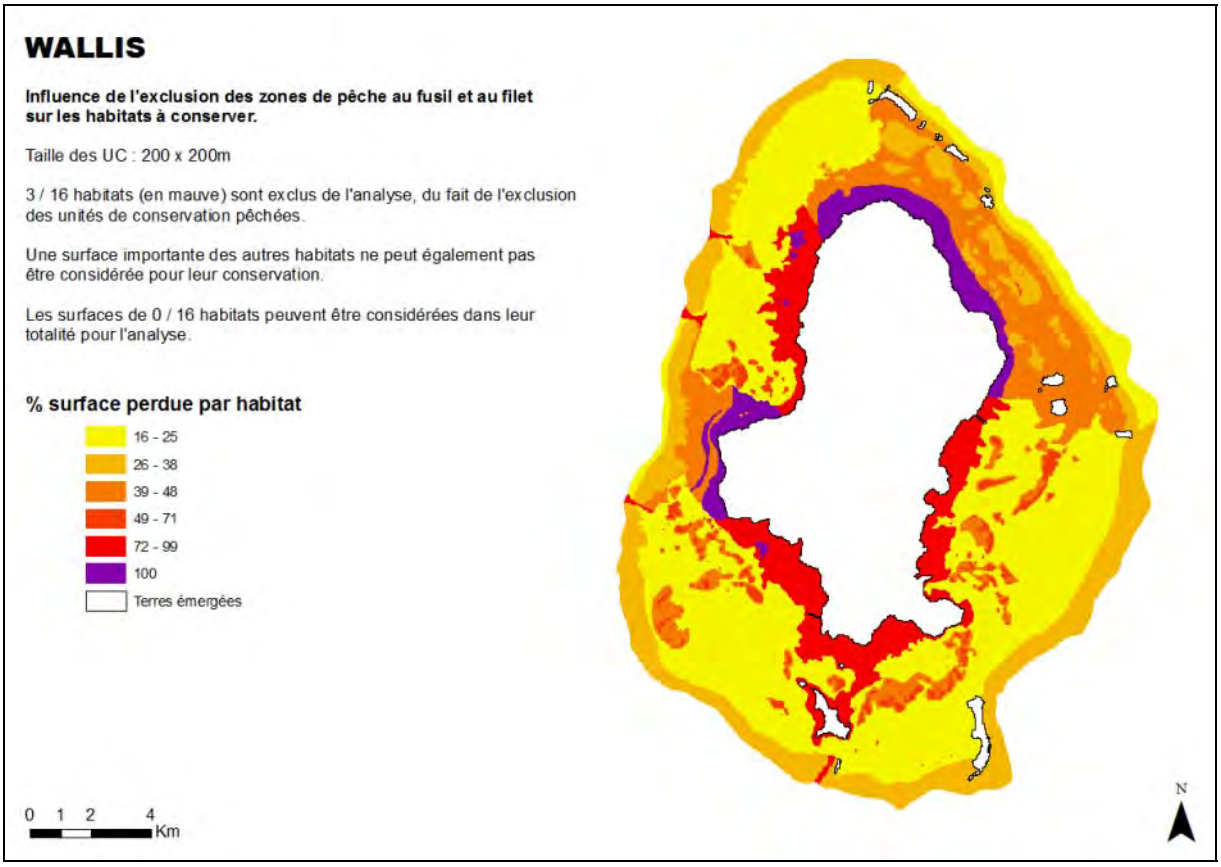


Figure 15. Influence de l'exclusion des UCs de 200 x 200m pêchées au fusil et au filet sur les habitats coralliens de Wallis à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

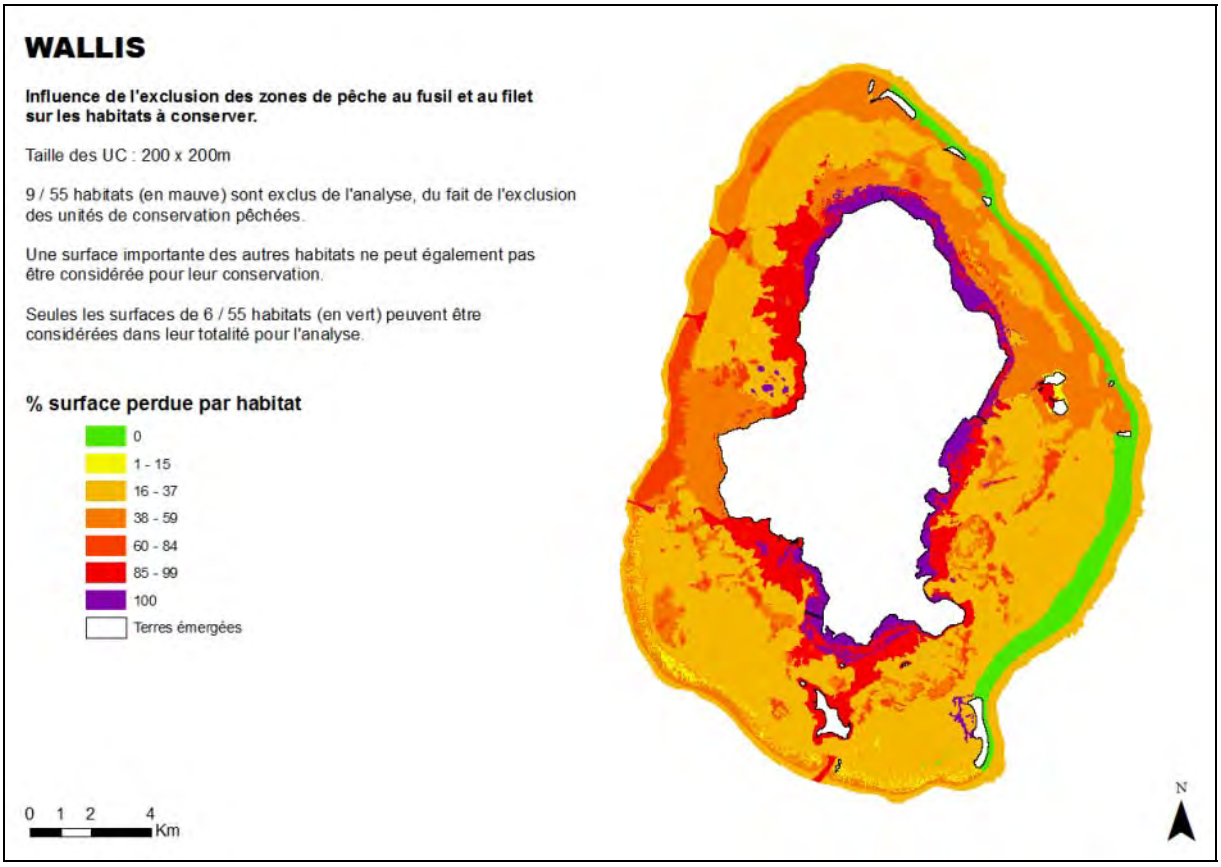


Figure 16. Influence de l'exclusion des UCs de 200 x 200m pêchées au fusil et au filet sur les habitats coralliens de Wallis à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

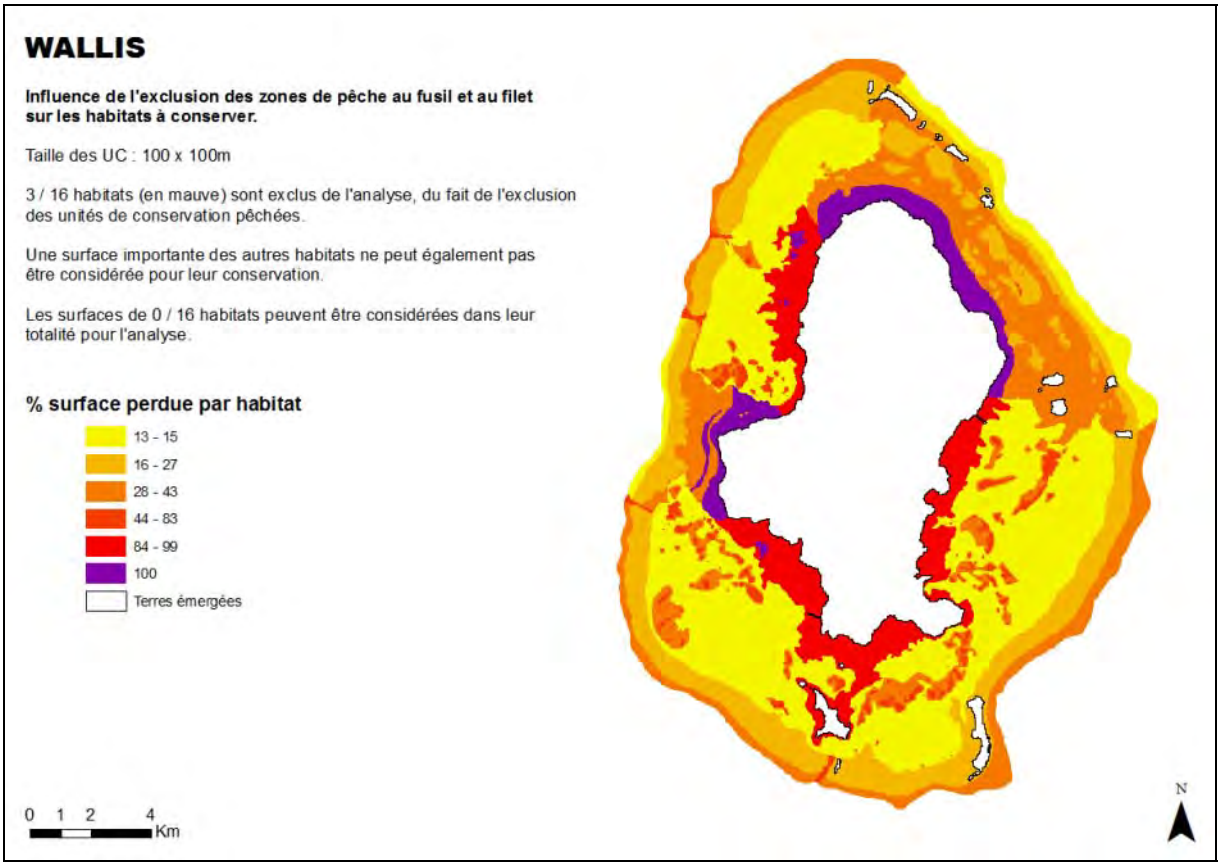


Figure 17. Influence de l'exclusion des UCs de 100 x 100m pêchées au fusil et au filet sur les habitats coralliens de Wallis à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

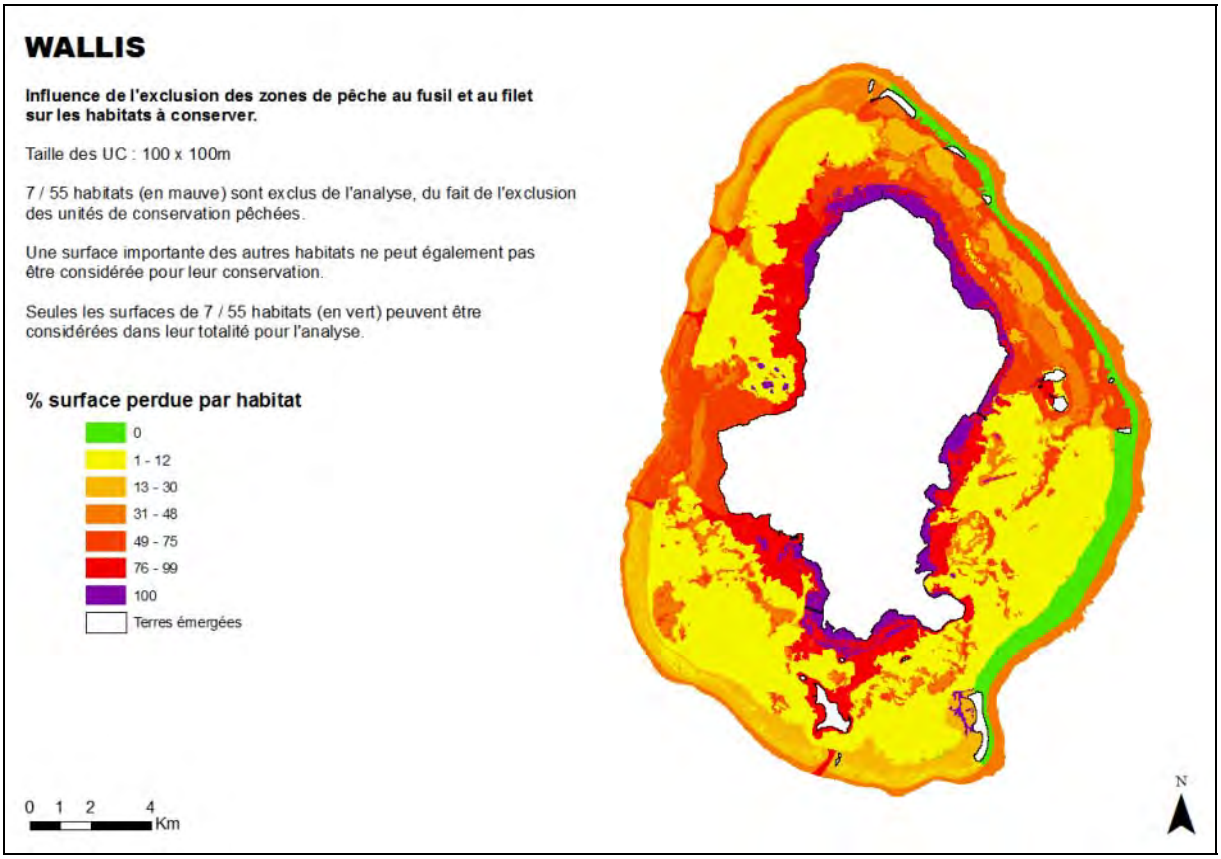


Figure 18. Influence de l'exclusion des UCs de 100 x 100m pêchées au fusil et au filet sur les habitats coralliens de Wallis à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

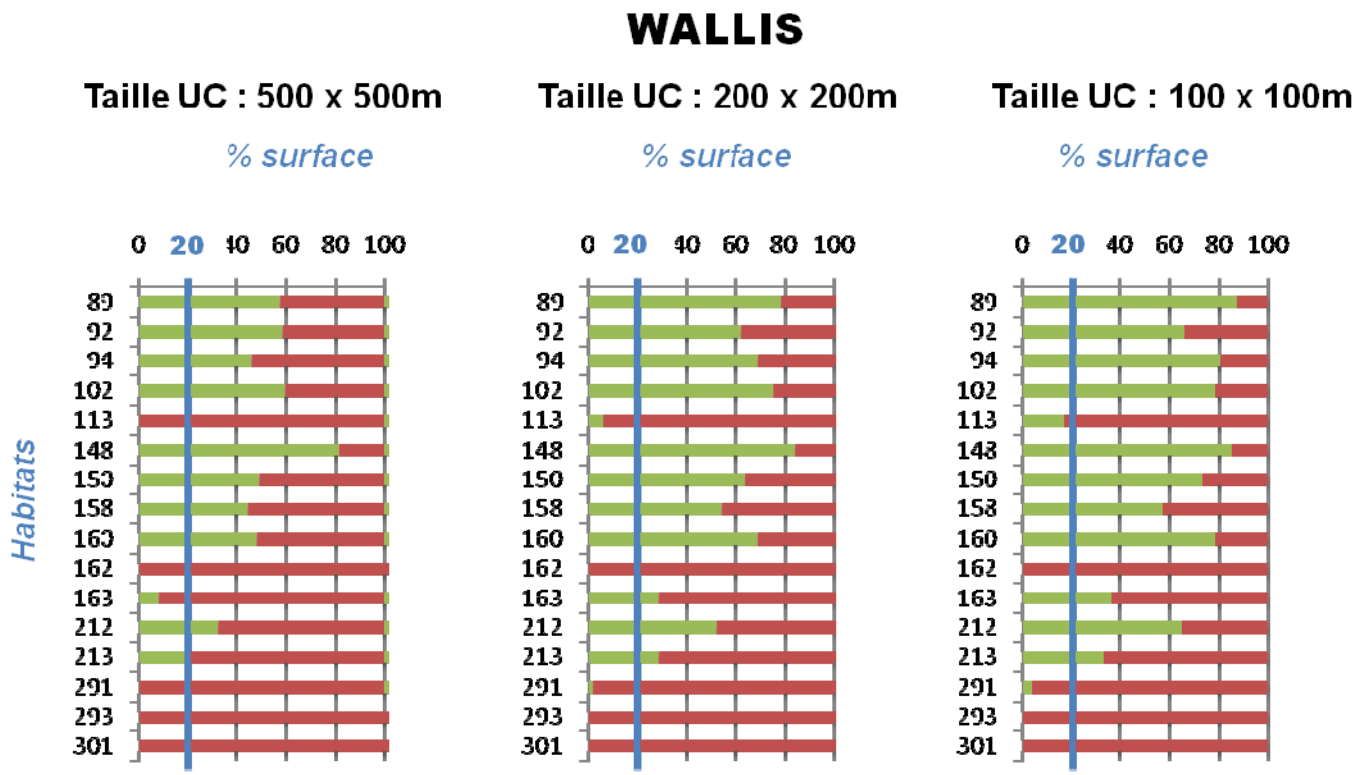


Figure 19. Détail de l'influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m pêchées au fusil et au filet sur la surface restante des habitats coralliens de Wallis (au niveau géomorphologique uniquement) à inclure dans le réseau d'AMPs.

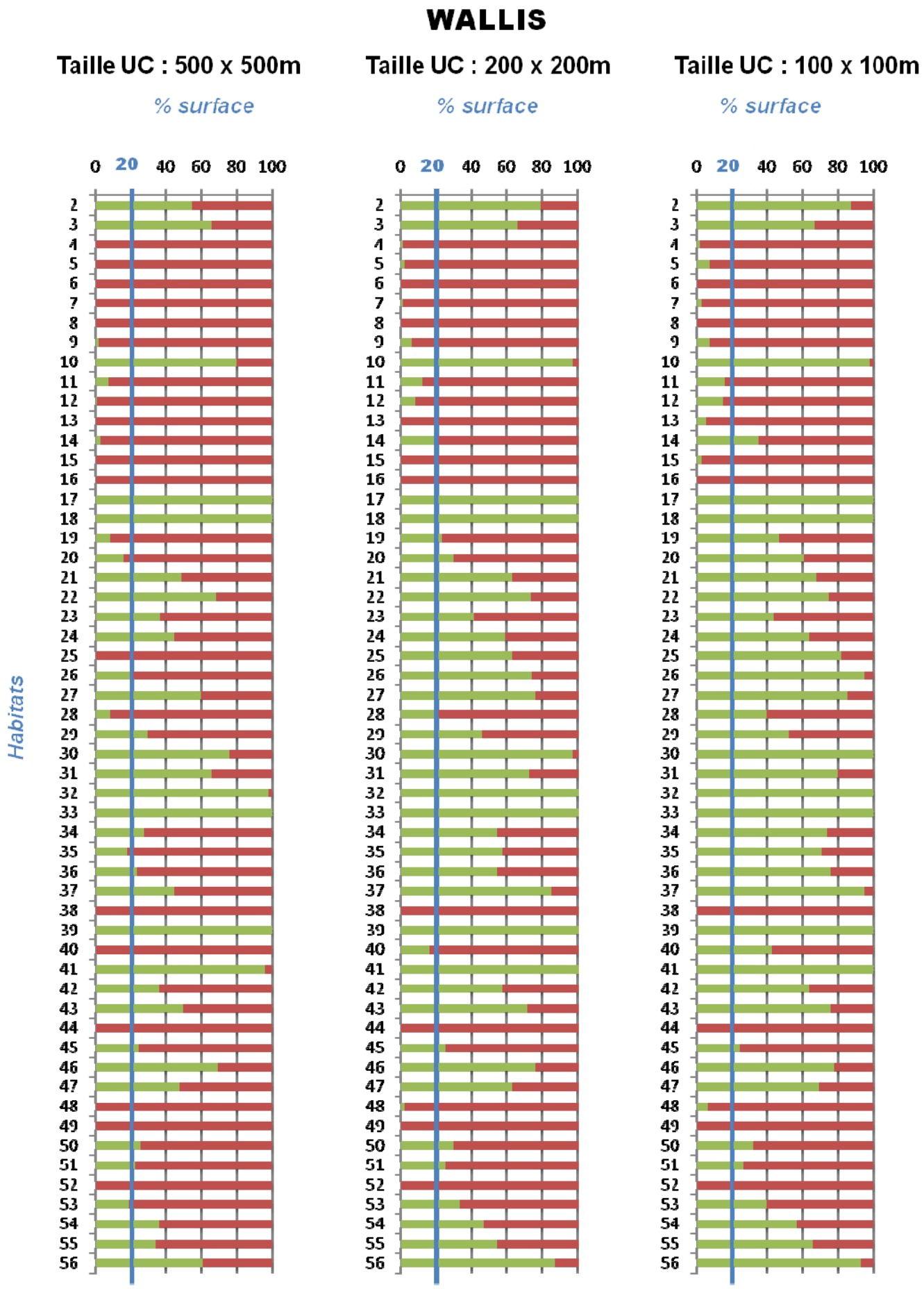


Figure 20. Détail de l'influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m pêchées au fusil et au filet sur la surface restante des habitats coralliens de Wallis (aux niveaux géomorphologique et benthique) à inclure dans le réseau d'AMPs.

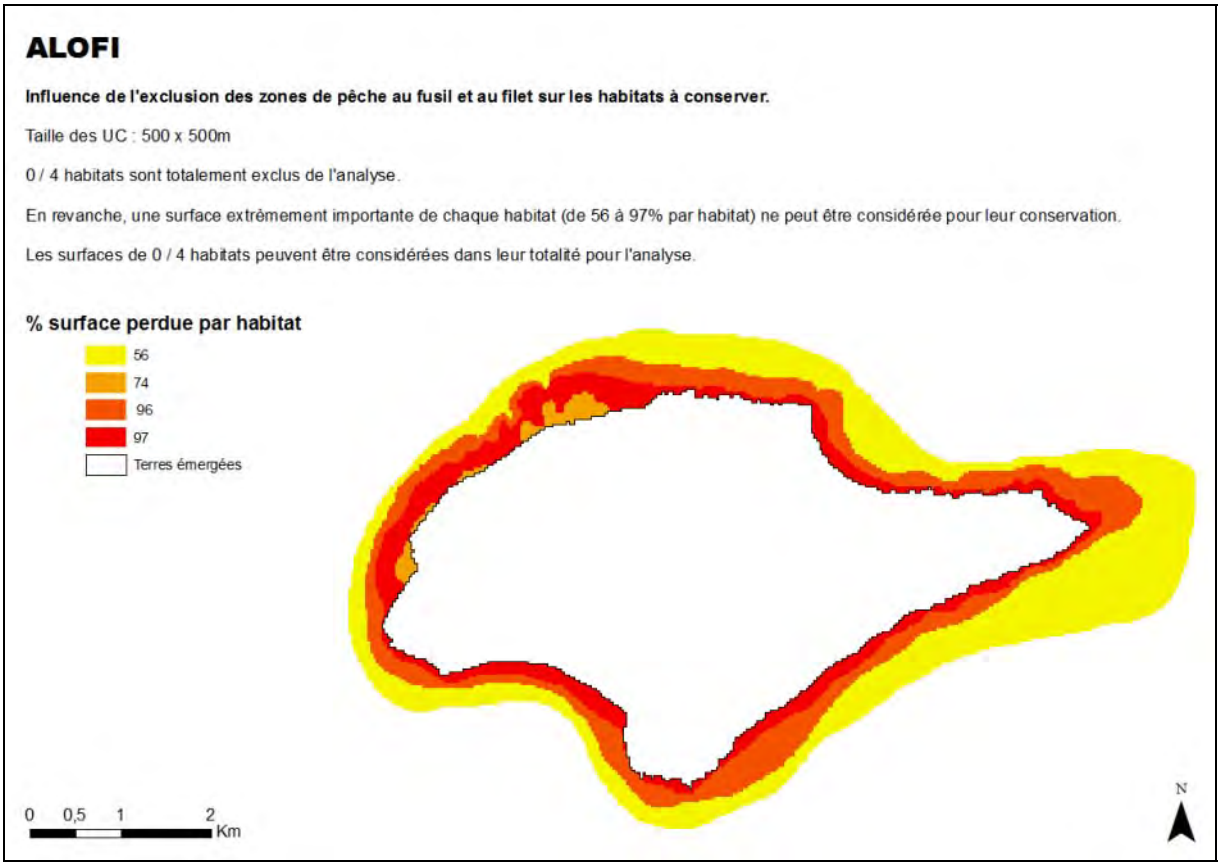


Figure 21. Influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m pêchées au fusil sur les habitats coralliens d'Alofi à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

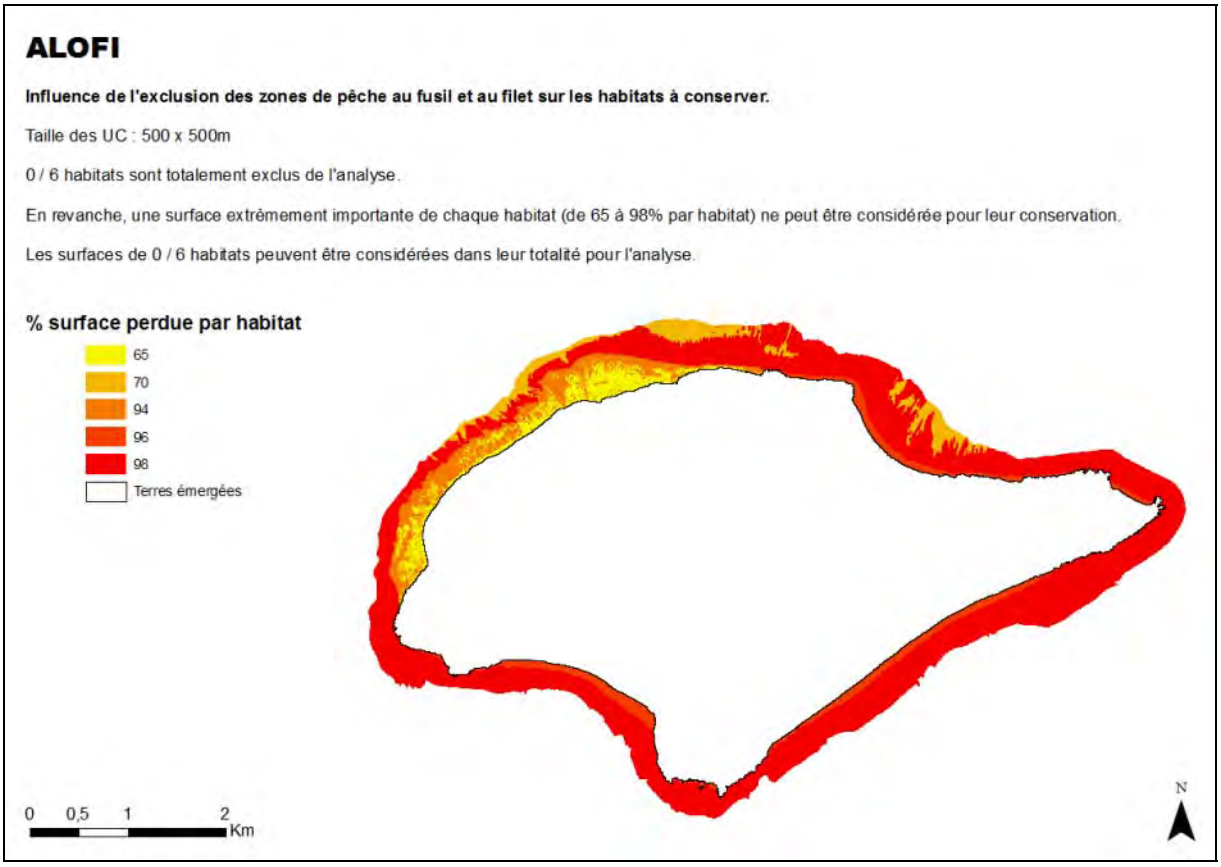


Figure 22. Influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m pêchées au fusil sur les habitats coralliens d'Alofi à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

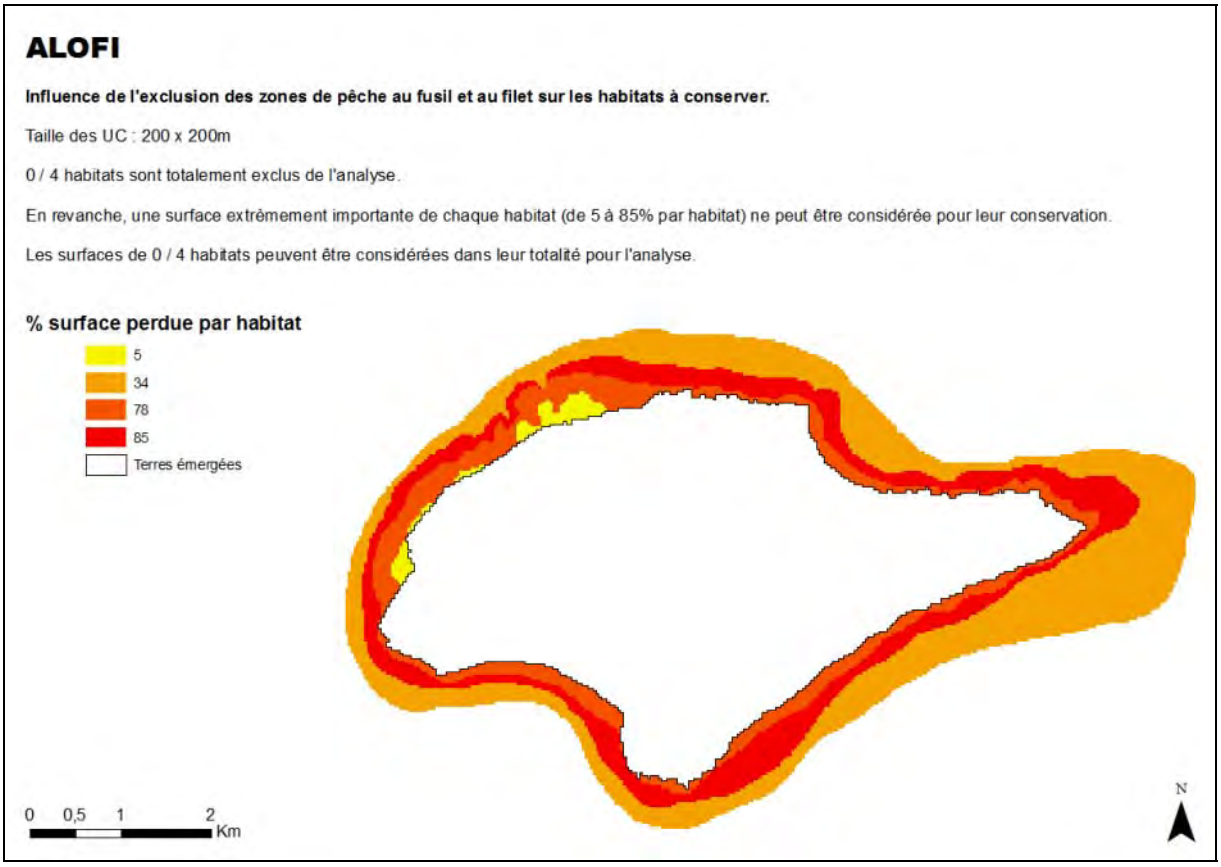


Figure 23. Influence de l'exclusion des UCs de 200 x 200m pêchées au fusil sur les habitats coralliens d'Alofi à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

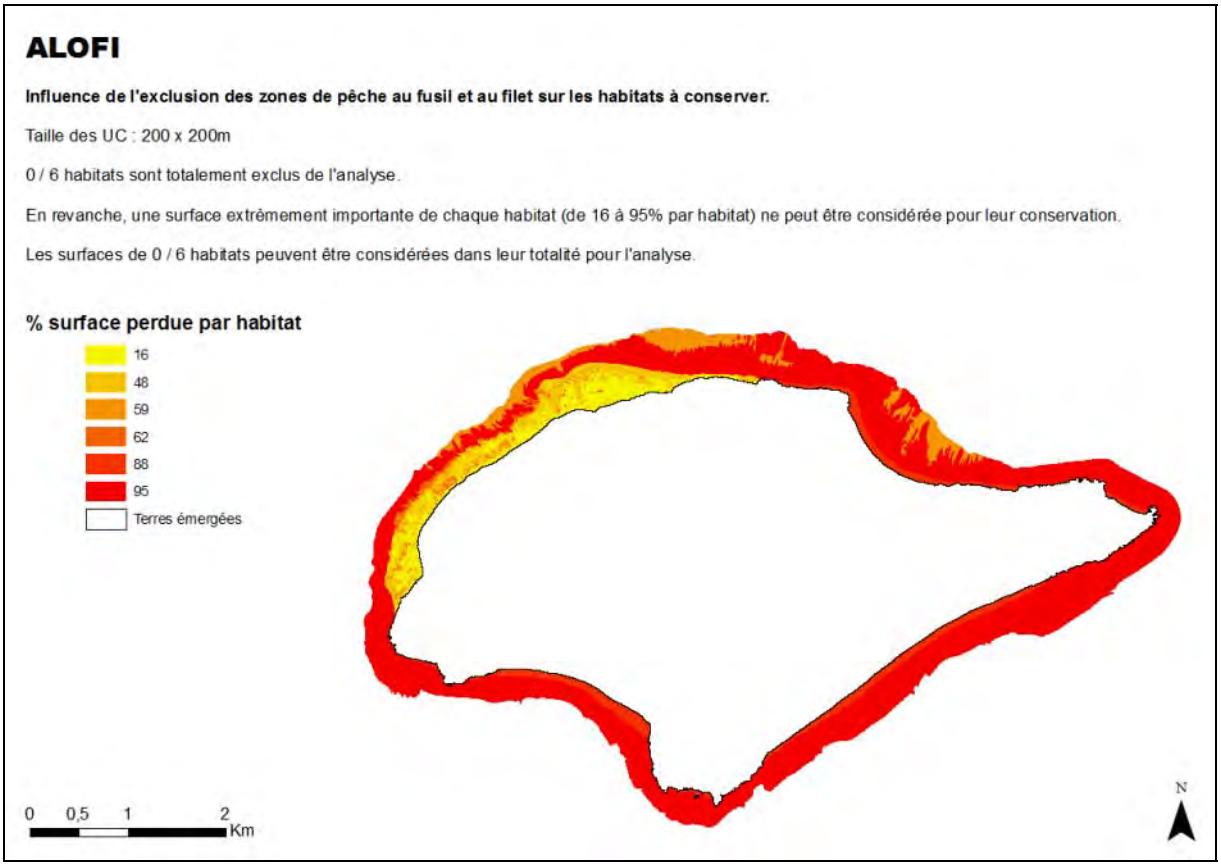


Figure 24. Influence de l'exclusion des UCs de 200 x 200m pêchées au fusil sur les habitats coralliens d'Alofi à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

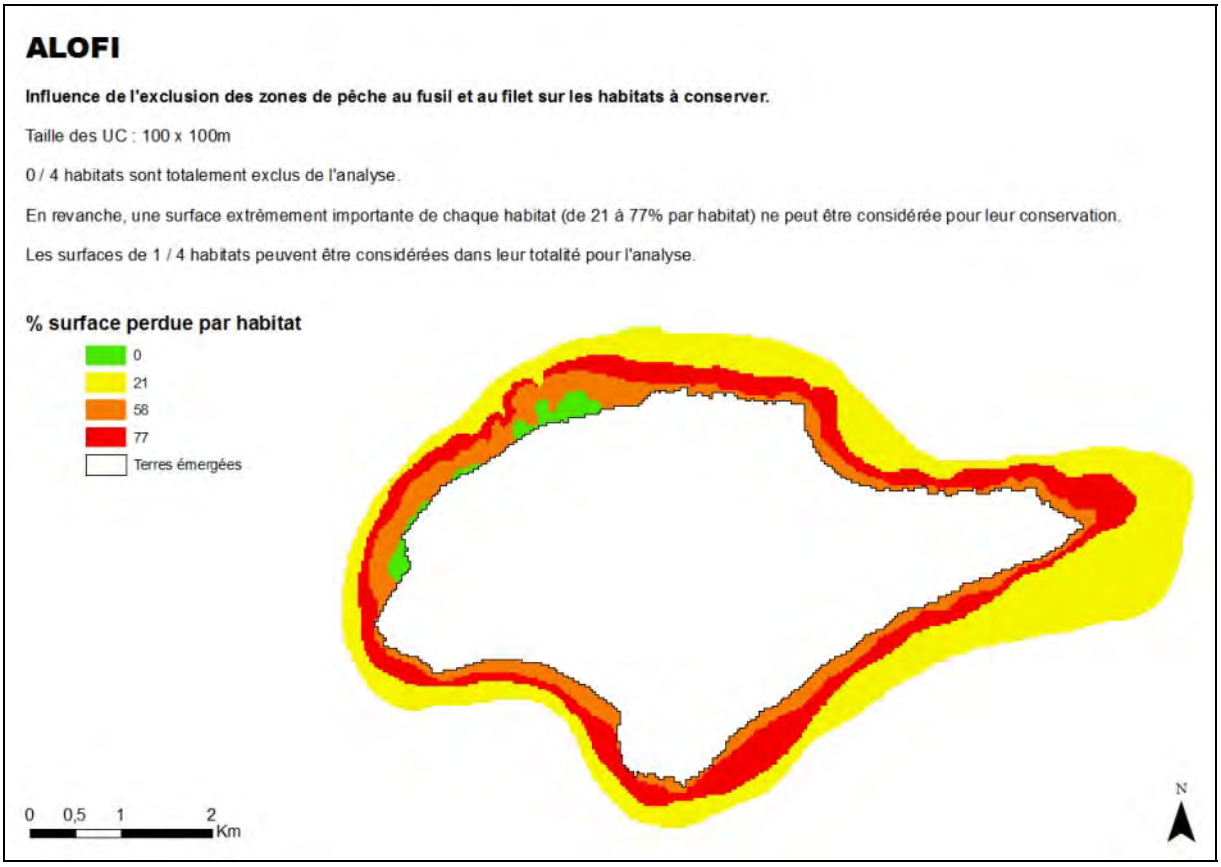


Figure 25. Influence de l'exclusion des UCs de 100 x 100m pêchées au fusil sur les habitats coralliens d'Alofi à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

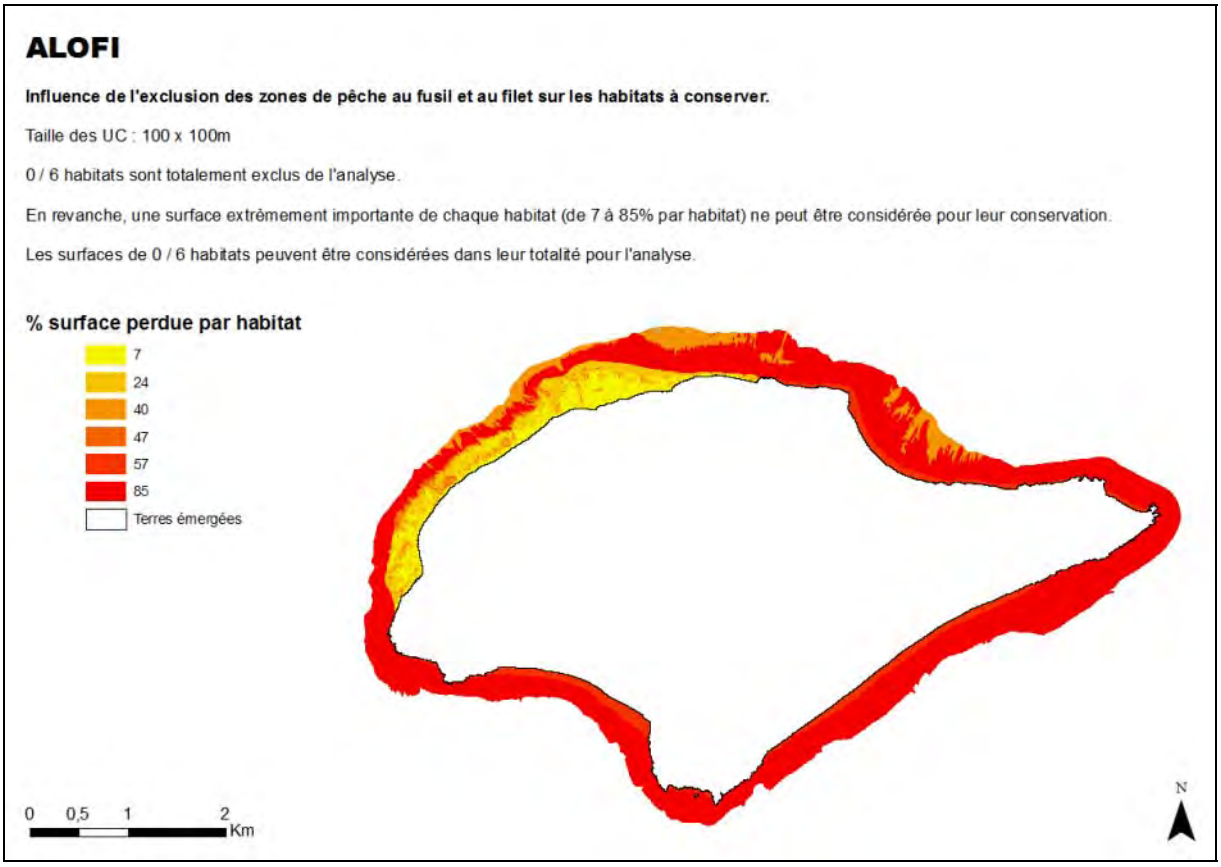


Figure 26. Influence de l'exclusion des UCs de 100 x 100m pêchées au fusil sur les habitats coralliens d'Alofi à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

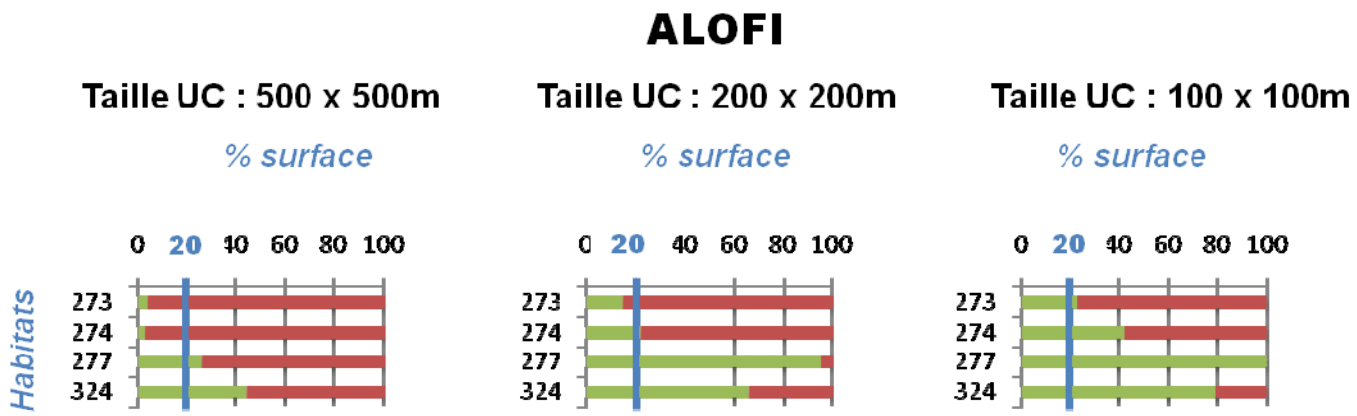


Figure 27. Détail de l'influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m pêchées au fusil sur la surface restante des habitats coralliens d'Alofi (au niveau géomorphologique uniquement) à inclure dans le réseau d'AMPs.

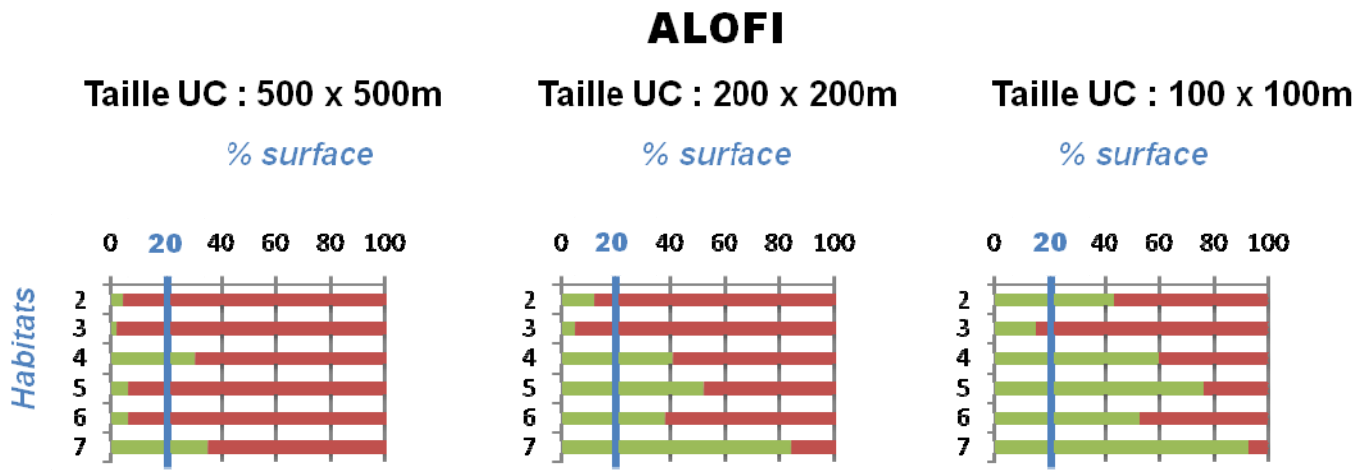


Figure 28. Détail de l'influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m pêchées au fusil sur la surface restante des habitats coralliens d'Alofi (aux niveaux géomorphologique et benthique) à inclure dans le réseau d'AMPs.

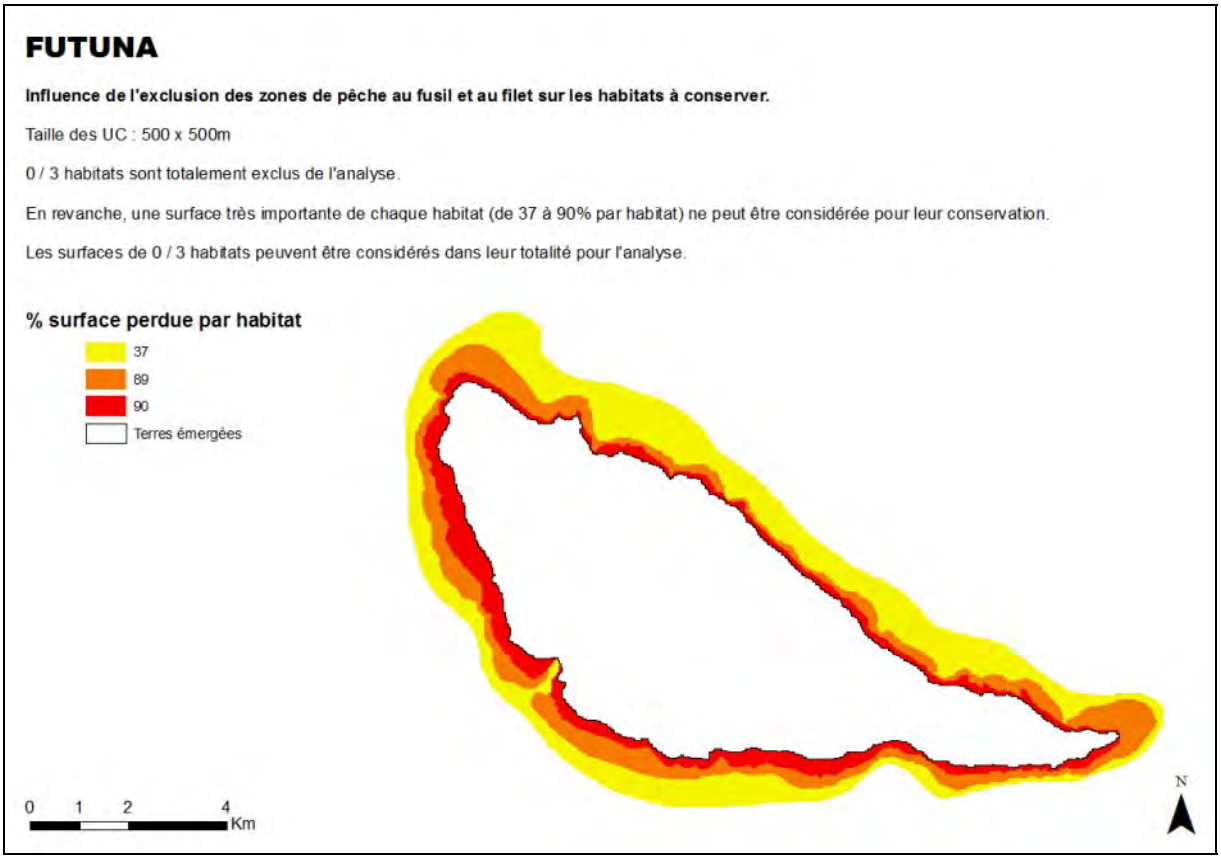


Figure 29. Influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m pêchées au fusil sur les habitats coralliens de Futuna à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

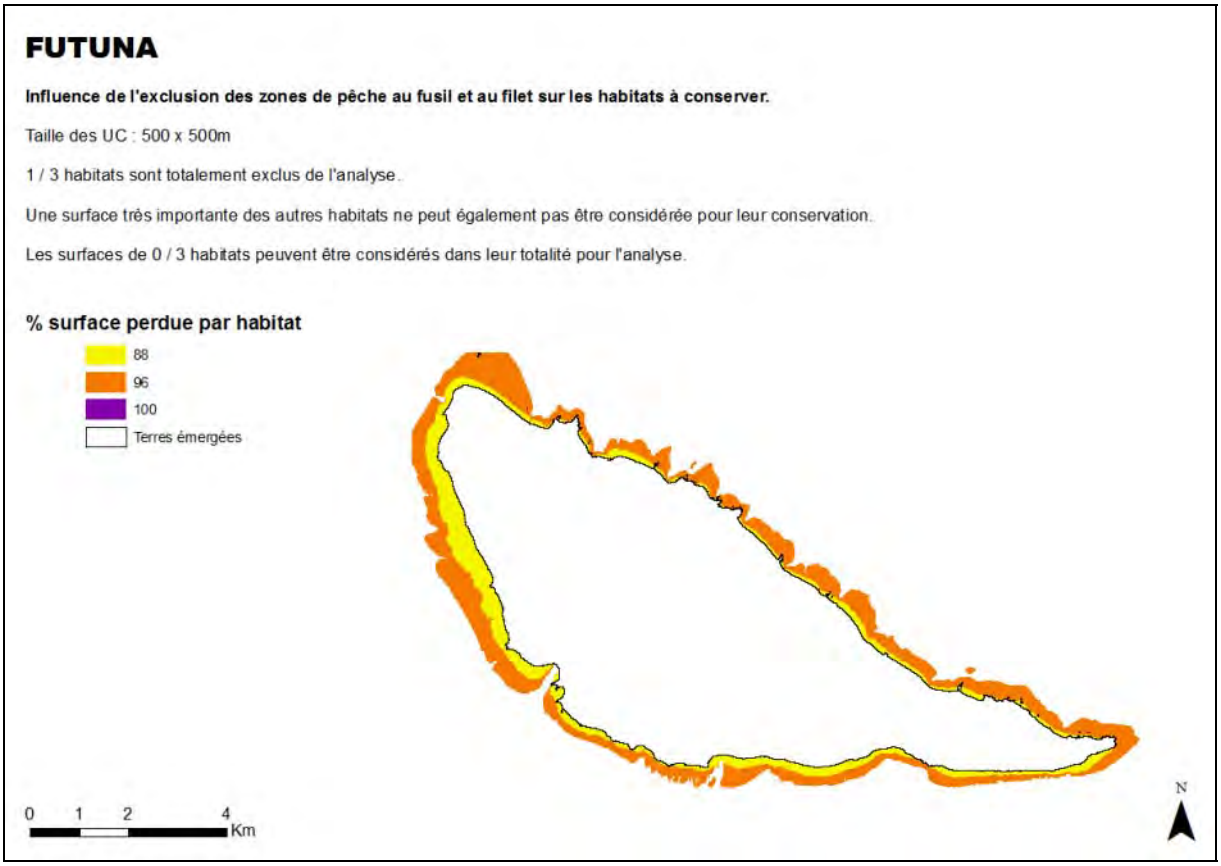


Figure 30. Influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m pêchées au fusil sur les habitats coralliens de Futuna à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

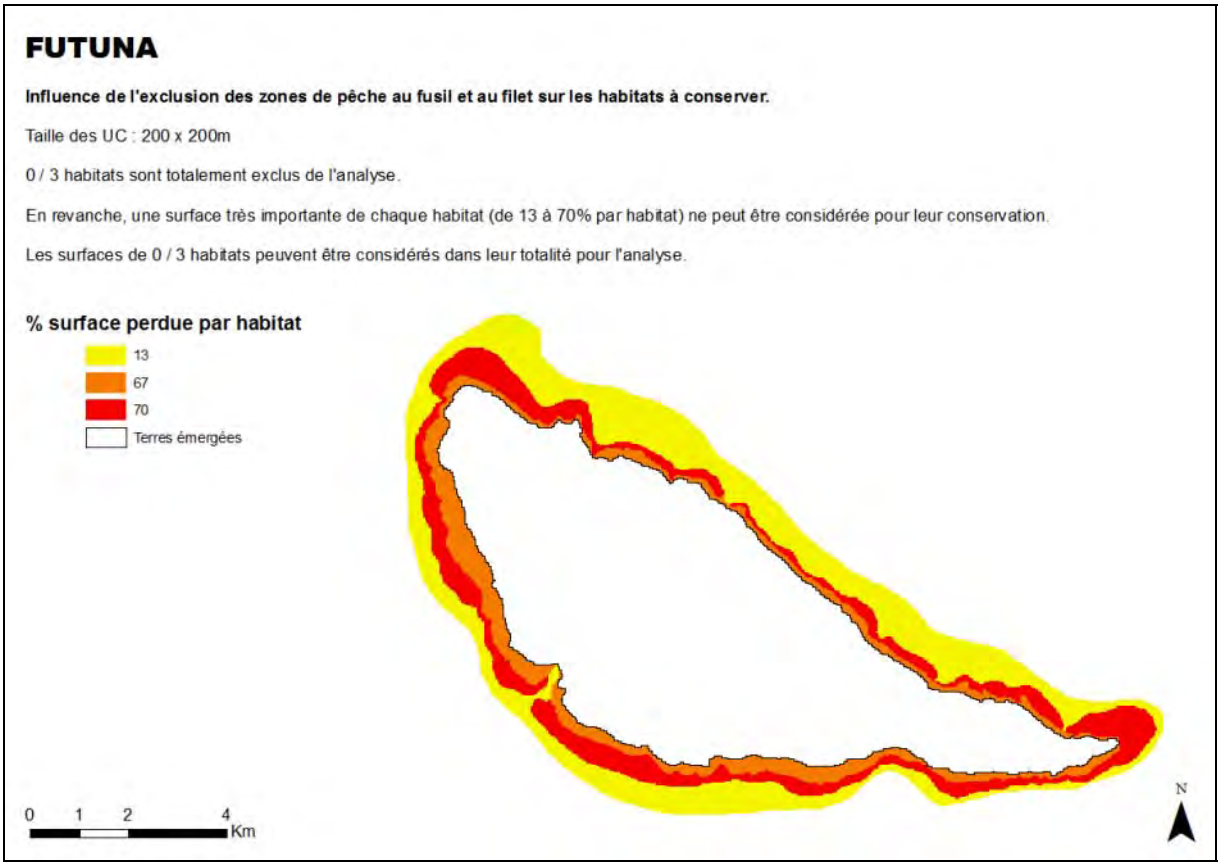


Figure 31. Influence de l'exclusion des UCs de 200 x 200m pêchées au fusil sur les habitats coralliens de Futuna à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

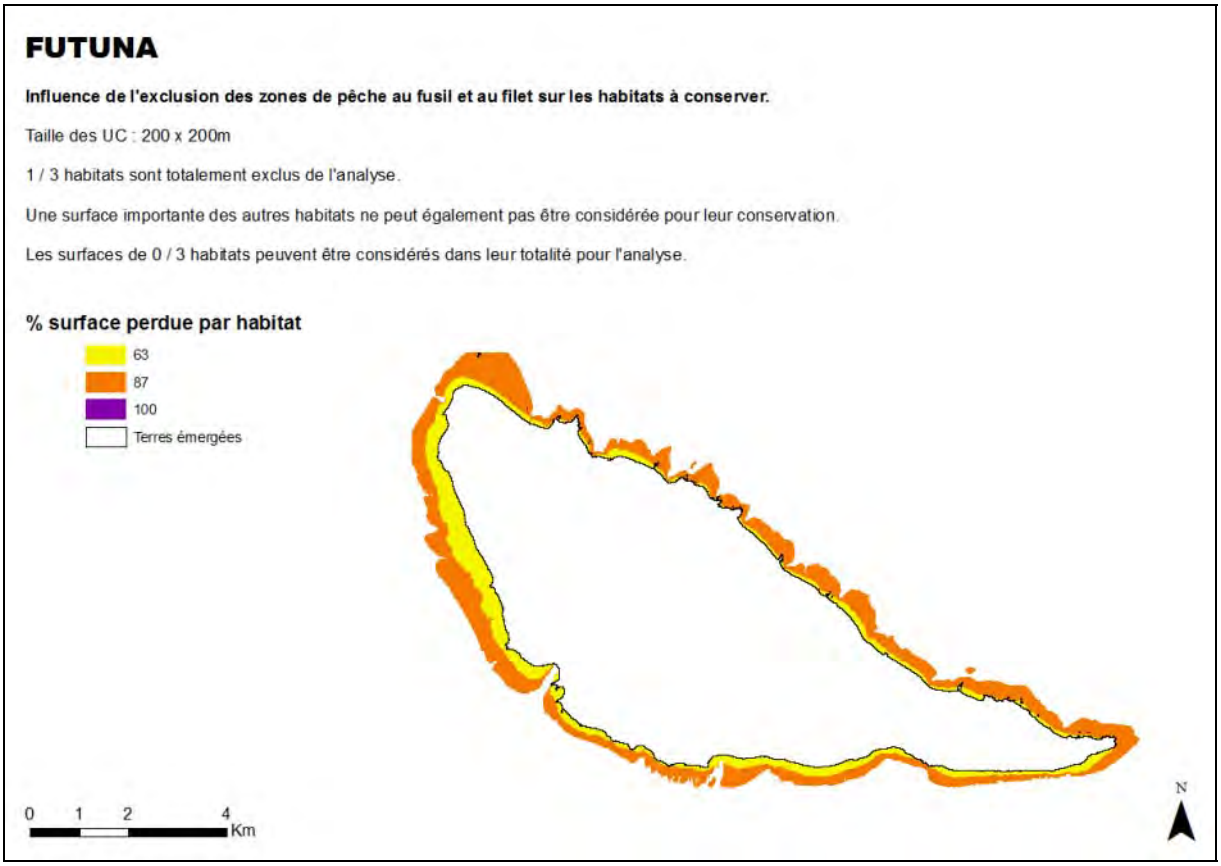


Figure 32. Influence de l'exclusion des UCs de 200 x 200m pêchées au fusil sur les habitats coralliens de Futuna à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

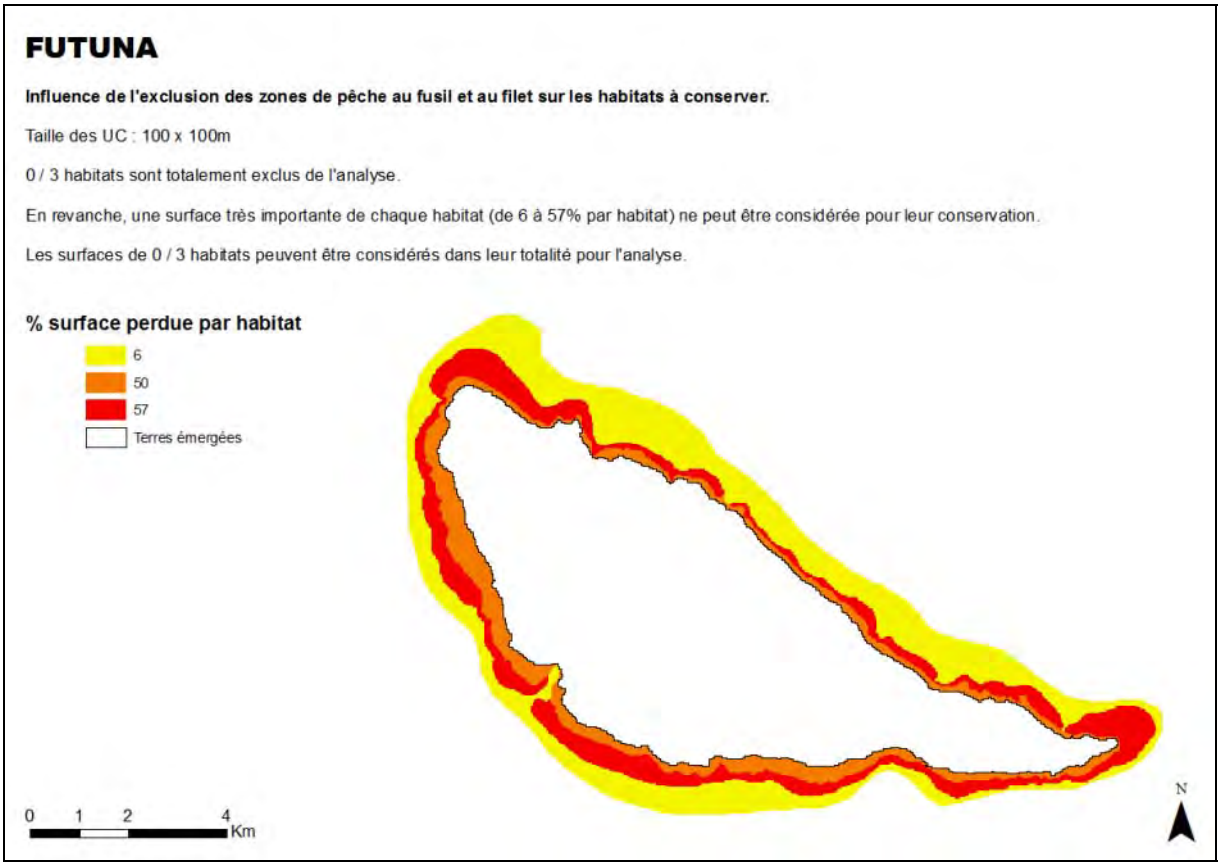


Figure 33. Influence de l'exclusion des UCs de 100 x 100m pêchées au fusil sur les habitats coralliens de Futuna à inclure dans le réseau d'AMPs, au niveau géomorphologique uniquement.

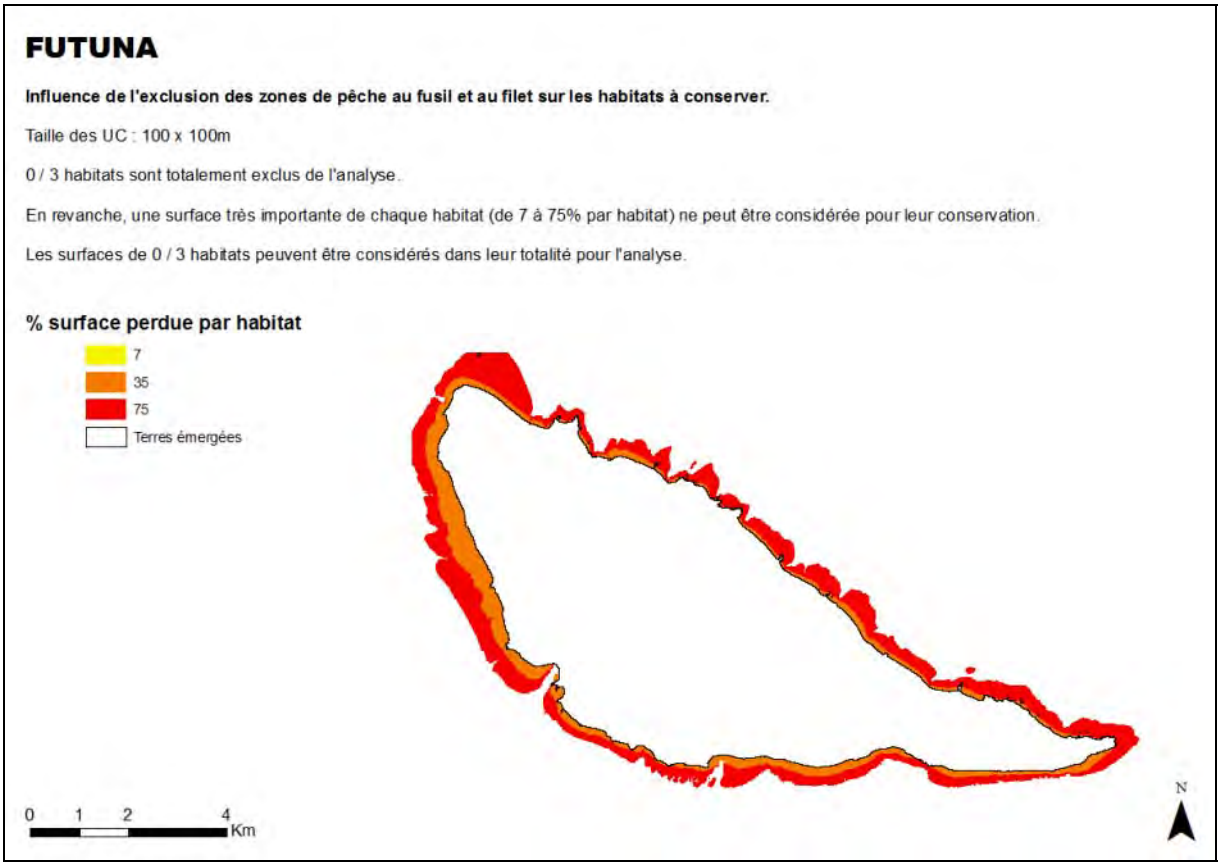


Figure 34. Influence de l'exclusion des UCs de 100 x 100m pêchées au fusil sur les habitats coralliens de Futuna à inclure dans le réseau d'AMPs, aux niveaux géomorphologique et benthique.

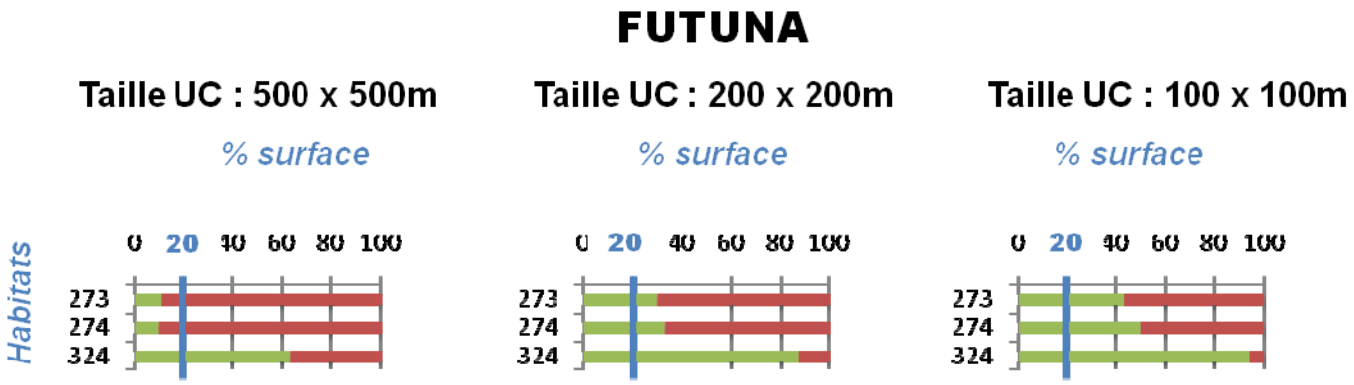


Figure 35. Détail de l'influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m pêchées au fusil sur la surface restante des habitats coralliens de Futuna (au niveau géomorphologique uniquement) à inclure dans le réseau d'AMPs.

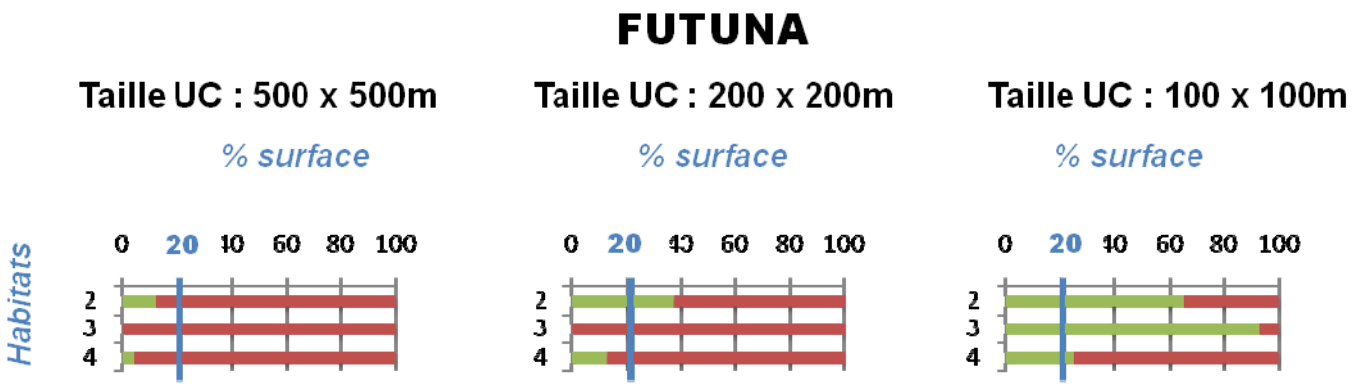


Figure 36. Détail de l'influence de l'exclusion des UCs de 500 x 500m, 200 x 200m et 100 x 100m pêchées au fusil sur la surface restante des habitats coralliens de Futuna (aux niveaux géomorphologique et benthique) à inclure dans le réseau d'AMPs.

CHOIX DES SCENARIOS

Les tailles d'Unités de Conservation (UCs) de 500 x 500m et de 200 x 200m semblaient les plus pertinentes pour cette analyse. Il a donc été convenu que tous les scénarios soient exécutés pour ces tailles d'UCs. Chaque scénario a été exécuté 1000 fois afin d'optimiser les chances d'obtenir les meilleures solutions.

CONSERVATION DES HABITATS CORALLIENS

Le cas le plus simple pour conserver les habitats coralliens de Wallis, Alofi et Futuna, consiste à fixer une surface à atteindre (cible) pour chacun des habitats à conserver, selon la cartographie utilisée. Ici, un minimum de 20% de la surface de chacun des habitats coralliens devra être incluse dans le réseau d'UCs (AMPs). La cible est donc 20% pour tous les habitats présents sur chaque île, selon la cartographie utilisée.

CONSERVATION DES HABITATS RESTANTS APRES EXCLUSION DES ZONES PECHEES

Pour conserver les habitats coralliens de Wallis, Alofi et Futuna en prenant en compte les conflits possibles avec la pêche au filet et la pêche au fusil, un scenario "simple" a été mis en place dans un premier temps, de manière à fournir une base de réflexion pour de futures analyses. L'objectif est d'exclure *a priori* toutes les zones pêchées (au fusil, et au filet pour Wallis), puis de conserver au moins 20% de la surface totale de chaque habitat lorsque cela est possible. Dans le cas où la surface restante d'un habitat après exclusion des zones pêchées au filet et au fusil est inférieure à 20% de la surface totale de cet habitat, c'est la totalité de cet habitat qui doit être incluse au réseau d'UCs (AMPs).

UTILISATION DU LOGICIEL MARXAN

Le logiciel de planification de la conservation (*Conservation Planning* en anglais) utilisé pour produire des propositions de zones de conservation prioritaires est Marxan (Ball et al. 2009; Possingham et al. 2000). Marxan vise à trouver des systèmes de réserves qui répondent aux objectifs de conservation (liés à la protection de la biodiversité, des habitats, etc…), tout en minimisant les coûts (surface des UCs le plus souvent) et en respectant les contraintes spatiales (compacité du réseau). L'utilisation de Marxan nécessite la création de quatre fichiers d'entrée spécifiques, contenant les paramètres à utiliser, les données sur les habitats à conserver, sur les UCs, ainsi que sur la répartition des habitats dans les différentes UCs.

Le fichier 'input.dat' contient les paramètres d'entrée nécessaires à Marxan ; le fichier 'spec.dat' contient les informations sur les éléments à conserver, ici les habitats (noms, valeur visée ou cible, pénalité à appliquer si la cible n'est pas atteinte…); le fichier 'pu.dat' contient les informations sur les Unités de Conservation (numéro d'identifiant, coût, localisation, statut…) ; et le fichier 'puvspr2.dat' contient les informations sur la distribution des éléments à conserver dans chaque UC.

Le format des données incluses dans les fichiers 'spec.dat', 'pu.dat', et 'puvspr2.dat' étant spécifique à Marxan, les données de base ont été adaptées. Pour cela un programme a été développé dans le langage de programmation R (voir l'encadré *Méthode*), de manière à automatiser le formatage des données en fonction de variables relatives à cette étude, spécifiées avant exécution (Tableau 20).

Tableau 20. Variables obligatoires, à spécifier dans le script R avant exécution, pour le formatage spécifique à Marxan des données d'habitats et de pêche par UC.

Variable	Signification de la variable	Valeurs possibles	Explication des valeurs
region	Région d'intérêt (île).	'WALLIS'	Wallis
		'ALOFI'	Alofi
		'FUTUNA'	Futuna
map	Type de cartographie	'MCRMP'	Utilisation des cartographies d'habitats coralliens au niveau géomorphologique uniquement, basées sur l'imagerie satellite LANDSAT 7 ETM+ (Millennium Coral Reef Mapping Project)
		'AERIAL'	Utilisation des cartographies détaillées d'habitats coralliens aux niveaux géomorphologique et benthique, basées sur des photographies aériennes.
cell.size	Taille des Unités de Conservation (UC)	'100m'	**100 x 100m**
		'200m'	**200 x 200m**
		'500m'	**500 x 500m**
		'1km'	**1 x 1km**
scenario	Type de données admises en entrée du scénario.	'hab'	Tous les habitats coralliens sur toute la surface de la zone d'intérêt sont à inclure au réseau d'AMPs.
		'peche'	Tous les habitats coralliens restants après exclusion les zones de pêche au fusil et au filet sur toute la surface de la zone d'intérêt sont à inclure au réseau d'AMPs.
percent	Pourcentage de surface d'habitats à inclure dans le réseau d'AMPs.	0 < percent ≥ 100	Le pourcentage est calculé sur la base des surfaces totales d'habitats.
penalty.factor	Le 'Habitat Penalty Factor' est un facteur qui détermine la taille de la pénalité qui sera ajoutée à la fonction d'objectif si la cible de l'habitat n'est pas atteinte dans le scénario.	penalty.factor > 0	Plus la valeur est haute, plus Marxan tentera d'atteindre la cible pour cet habitat. Si la valeur est trop haute Marxan atteindra la cible pour cet habitat au détriment d'autres contraintes.

METHODE

- Ecriture d'un script R 'MARXAN-input_grid-analysis_hab_WAF' lié à deux scripts annexes. Le script produit à partir des shapefiles de répartition des habitats par UC en entrée, les fichiers d'entrée pour le logiciel MARXAN selon l'île d'intérêt, la taille des UC et le scénario choisi.

  Pour Wallis : le script annexe 'MARXAN-input_grid-analysis_peche_W' est utilisé pour l'extraction des données de pêche.

  Pour Alofi ou Futuna : le script annexe 'MARXAN-input_grid-analysis_peche_AF' est utilisé pour l'extraction des données de pêche.

Tableau 21. Fichiers utilisés (Entrée) et créés (Sortie) pour la création des fichiers de données nécessaires à l'exécution du logiciel Marxan.

			CARTOGRAPHIE DETAILLEE Fichier créé	CARTOGRAPHIE MCRMP Fichier créé
WALLIS	200 x 200m	Entrée	WALLIS_hab_grid200m_Intersect.dbf	WALLIS_MCRMP_hab_grid200m_Intersect.dbf
		Sortie	WALLIS_200m_spec.dat WALLIS_200m_pu.dat WALLIS_200m_puvspr2.dat	WALLIS_MCRMP _200m_spec.dat WALLIS_MCRMP _200m_pu.dat WALLIS_MCRMP _200m_puvspr2.dat
	500 x 500m	Entrée	WALLIS_hab_grid500m_Intersect.dbf	WALLIS_MCRMP _hab_grid500m_Intersect.dbf
		Sortie	WALLIS_500m_spec.dat WALLIS_500m_pu.dat WALLIS_500m_puvspr2.dat	WALLIS_MCRMP _500m_spec.dat WALLIS_MCRMP _500m_pu.dat WALLIS_MCRMP _500m_puvspr2.dat
ALOFI	200 x 200m	Entrée	ALOFI_hab_grid200m_Intersect.dbf	ALOFI_MCRMP _hab_grid200m_Intersect.dbf
		Sortie	ALOFI_200m_spec.dat ALOFI_200m_pu.dat ALOFI_200m_puvspr2.dat	ALOFI_MCRMP _200m_spec.dat ALOFI_MCRMP _200m_pu.dat ALOFI_MCRMP _200m_puvspr2.dat
	500 x 500m	Entrée	ALOFI_hab_grid500m_Intersect.dbf	ALOFI_MCRMP _hab_grid500m_Intersect.dbf
		Sortie	ALOFI_500m_spec.dat ALOFI_500m_pu.dat ALOFI_500m_puvspr2.dat	ALOFI_MCRMP _500m_spec.dat ALOFI_MCRMP _500m_pu.dat ALOFI_MCRMP _500m_puvspr2.dat
	100 x 100m	Entrée	FUTUNA_hab_grid100m_Intersect.dbf	FUTUNA_MCRMP _hab_grid100m_Intersect.dbf
		Sortie	FUTUNA_100m_spec.dat FUTUNA_100m_pu.dat FUTUNA_100m_puvspr2.dat	FUTUNA_MCRMP _100m_spec.dat FUTUNA_MCRMP _100m_pu.dat FUTUNA_MCRMP _100m_puvspr2.dat
FUTUNA	200 x 200m	Entrée	FUTUNA_hab_grid200m_Intersect.dbf	FUTUNA_MCRMP _hab_grid200m_Intersect.dbf
		Sortie	FUTUNA_200m_spec.dat FUTUNA_200m_pu.dat FUTUNA_200m_puvspr2.dat	FUTUNA_MCRMP _200m_spec.dat FUTUNA_MCRMP _200m_pu.dat FUTUNA_MCRMP _200m_puvspr2.dat
	500 x 500m	Entrée	FUTUNA_hab_grid500m_Intersect.dbf	FUTUNA_MCRMP _hab_grid500m_Intersect.dbf
		Sortie	FUTUNA_500m_spec.dat FUTUNA_500m_pu.dat FUTUNA_500m_puvspr2.dat	FUTUNA_MCRMP _500m_spec.dat FUTUNA_MCRMP _500m_pu.dat FUTUNA_MCRMP _500m_puvspr2.dat

Le fichier 'input.dat' peut contenir un grand nombre de variables relatives aux scénarios exécutés par Marxan (Tableau 22) et aux algorithmes de sélection utilisés. Le cas présent étant relativement simple, seuls les paramètres exclusivement requis (cases cochées dans le Tableau 22) et certains autres paramètres nécessaires ont été utilisés (lignes bleutées dans le Tableau 22).

Trois types d'algorithmes peuvent être utilisés par le logiciel Marxan:

- heuristique ou *Heuristic* en anglais
- amélioration itérative ou *Iterative Improvement* en anglais.
- recuit simulé ou *Simulated Annealing* en anglais (Černý 1985; Kirkpatrick et al. 1983)

Marxan peut combiner plusieurs de ces algorithmes pour optimiser les résultats proposés. La méthode utilisée par Marxan pour trouver des solutions est définie par la variable RUMNODE.

- recuit simulé suivit d'une heuristique (RUNMODE = 0)
- recuit simulé suivit d'une amélioration itérative (RUNMODE = 1)
- recuit simulé suivi d'une heuristique, suivi d'une amélioration itérative (RUNMODE = 2)
- heuristique uniquement (RUNMODE = 3)
- amélioration itérative uniquement (RUNMODE = 4)
- heuristique suivie d'une amélioration itérative (RUNMODE = 5)
- Recuit simulé uniquement (RUNMODE = 6)

Lorsque l'amélioration itérative est utilisée pour trouver des solutions, la variable ITIMTYPE définit le type d'amélioration itérative qui sera appliqué.

- amélioration itérative normale (ITIMTYPE = 0)
- amélioration itérative à deux étapes (ITIMTYPE = 1)
- amélioration itérative d'échange (ITIMTYPE = 2)
- amélioration itérative normale suivie d'une amélioration itérative à deux étapes (ITIMTYPE = 3)

Les méthodes utilisées pour aboutir aux les solutions optimales répondant aux critères spécifiés dans les objectifs de conservation doivent être choisies de manière à optimiser la qualité des solutions trouvées et à minimiser le temps de calcul. La base de données utilisée pour cette étude étant relativement petite, la méthode choisie est parmi les plus optimales : recuit simulé, suivi d'une amélioration itérative à deux étapes (Tableau 22). Le recuit simulé recherche efficacement l'espace des solutions, puis l'amélioration itérative s'assure que la solution représente bien la meilleure solution dans l'environnement direct de l'espace de décision (minimum local). Il s'agit de la combinaison la plus utilisée et donnant les meilleures solutions dans la plupart des applications.

Plus de détails sur ces méthodes sont disponibles dans le manuel d'utilisation de Marxan (Game & Grantham 2008).

Tableau 22. Paramètres utilisés par MARXAN, valeurs par défaut et valeurs utilisées pour Wallis, Alofi et Futuna.

	Requis	Nom de la variable	Valeur par défaut	Valeur utilisée	Description
General parameters	☑	VERSION	0.1	0.1	Type of input file
	☐	BLM	0	0	Boundary Length Modifier
	☐	PROP	0	0	Proportion of planning units in initial reserve system
	☐	RANDSEED	-1	-1	Random seed number
	☐	BESTSCORE	0	0	Best score hint
	☑	NUMREPS	1	1 000	The number of repeat runs you wish to do
Annealing Parameters	☐	NUMITNS	0	1 000 000 [1]	Number of iterations for annealing
	☐	STARTTEMP	1	-1 [2]	Starting temperature for annealing
	☐	COOLFAC	0	0 [2]	Cooling factor for annealing
	☐	NUMTEMP	1	10 000 [1]	Number of temperature decreases for annealing
Cost Threshold	☐	COSTTHRESH	0	0	Cost threshold
	☐	THRESHPEN1	0	0	Size of cost threshold penalty
	☐	THRESHPEN2	0	0	Shape of cost threshold penalty
Input Files	☑	INPUTDIR	.../...	input	Name of the folder containing input data files
	☑	SPECNAME	spec.dat	WALLIS_spec.dat	Name of Conservation Feature File
	☑	PUNAME	pu.dat	WALLIS_pu.dat	Name of Planning Unit File
	☑	PUVSPRNAME	puvspr2.dat	WALLIS_puvspr2.dat	Name of Planning Unit versus Conservation Feature File
	☑	BOUNDNAME	bound.dat	WALLIS_bound.dat	Name of Boundary Length File
Save Files	☐	SCENNAME	Temp	output	Scenario name for the saved output files
	☐	SAVERUN	0	0	Save each run? (0 = no)
	☐	SAVEBEST	0	2	Save the best run? (0 = no)
	☐	SAVESUMMARY	0	2	Save summary information? (0 = no)
	☐	SAVESCEN	0	0	Save scenario information? (0 = no)
	☐	SAVETARGMET	0	2	Save targets met information? (0 = no)
	☐	SAVESUMSOLN	0	2	Save summed solution information? (0 = no)
	☐	SAVELOG	0	0	Save log files? (0 = no)
	☐	SAVESNAPSTEPS	0	0	Save snapshots each n steps (0 = no)
	☐	SAVESNAPCHANGES	0	0	Save snapshots after every n changes (0 = no)
	☐	SAVESNAPFREQUENCY	0	0	Frequency of snapshots if they are being used
	☑	OUTPUTDIR	.../...	output	Name of the folder in which to save output files
Program control	☑	RUNMODE	...	1 [3]	The method Marxan uses to find solutions
	☐	MISSLEVEL	1	1	Amount or target below which it is counted as 'missing'
	☐	ITIMPTYPE	1	3 [4]	Iterative improvement type
	☐	HEURTYPE	1	1	Heuristic type
	☐	CLUMPTYPE	0	0	Clumping penalty type
	☑	VERBOSITY	1	2	Amount of output displayed on the program screen

[1] Valeur conseillée dans le manuel

[2] Valeurs attribuées pour le paramétrage automatique de ces variables

[3] Simulated Annealing followed by Iterative improvement

[4] Normal Improvement followed by Two Step Iterative Improvement

RESULTATS ET CONCLUSIONS

INFLUENCE DE L'EXCLUSION DES ZONES DE PECHE AU FUSIL ET AU FILET

WALLIS

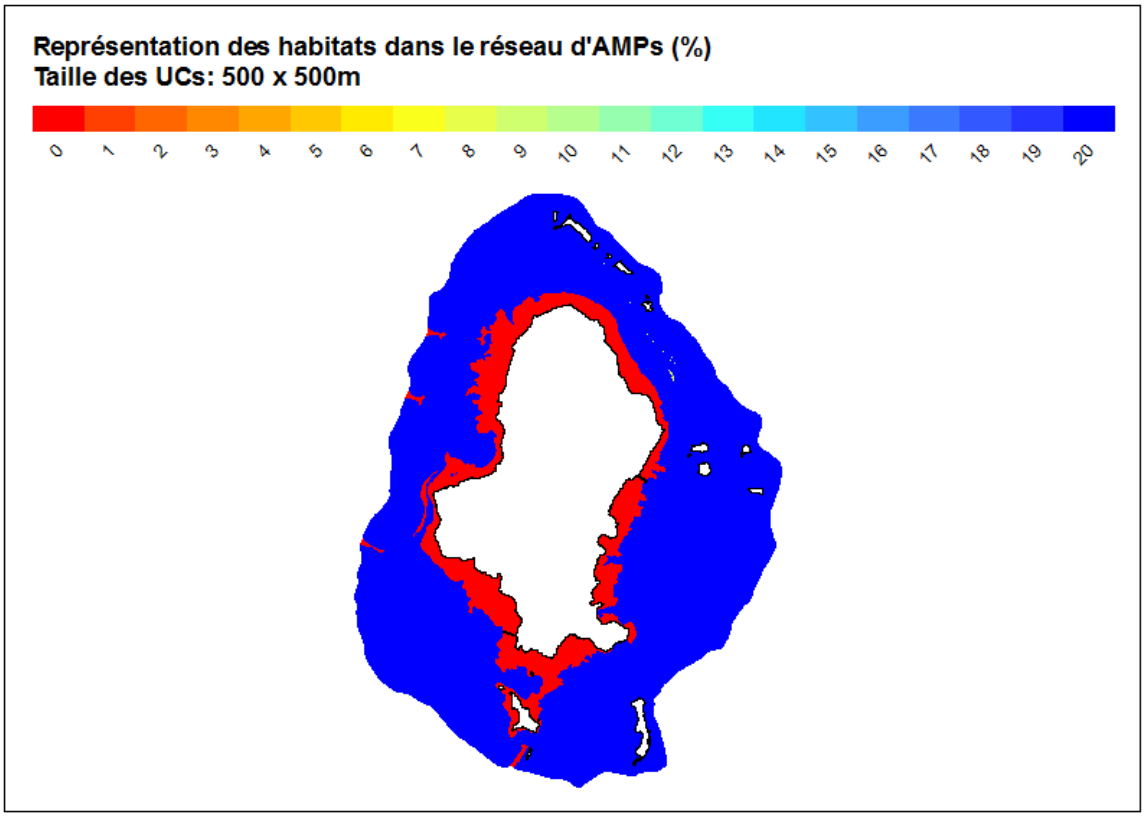
L'exclusion des zones de pêche au fusil et au filet sur Wallis pour la sélection des UCs a un impact notable sur la représentation des habitats coralliens au sein des réseaux d'AMPs proposés, autant au niveau géomorphologique, qu'au niveau des habitats détaillés (respectivement Tableau 23 et Figure 38 ; Tableau 24 et Figure 38). Par exemple, lorsque l'on prend en compte les habitats détaillés, 12/13 types de récifs frangeants, 4/15 types de récifs barrières côtiers, 6/18 types de récifs barrières, et 2/7 types de massifs coralliens lagonaires sont sous-représentés si l'analyse est faite avec des UCs de 500 x 500m. Sur Wallis, les récifs frangeants sont les moins bien représentés (moins de 20% de la surface totale de chaque habitat) lorsque les zones de pêche sont *a priori* exclues de l'analyse car ce sont les habitats les plus facilement accessibles, et les plus fréquentés par les pêcheurs au filet. Les passes et récifs barrières sont également mal représentés du fait de leur haute fréquentation par les pêcheurs au fusil (voir Figure 2).

Tableau 23. Habitats coralliens (géomorphologie uniquement) de Wallis représentés dans le réseau d'AMPs par moins de 20% de leur surface totale.

CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 3)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 4)	% REPRESENTATION (500 x 500m)	% REPRESENTATION (200 x 200m)
113	oceanic	Oceanic island	Outer Barrier Reef Complex	pass	*Non représenté*	6
162	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	channel	*Non représenté*	*Non représenté*
163	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	barrier reef pinnacle/patch	8	20
291	oceanic	Oceanic island	Lagoon exposed fringing	reef flat	*Non représenté*	2
293	oceanic	Oceanic island	Lagoon exposed fringing	enclosed lagoon or basin	*Non représenté*	*Non représenté*
301	oceanic	Oceanic island	Fringing of coastal barrier complex	reef flat	*Non représenté*	*Non représenté*
					6/16	5/16

Tableau 24. Habitats coralliens (géomorphologie et benthos) de Wallis représentés dans le réseau d'AMPs par moins de 20% de leur surface totale.

CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	% REPRESENTATION (500 x 500m)	% REPRESENTATION (200 x 200m)
4	Récif frangeant	Platier Récifal	Substrat dur à corail dispersé	*Non représenté*	1
5	Récif frangeant	Platier Récifal	Substrat meuble à corail dispersé	*Non représenté*	2
6	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	*Non représenté*	*Non représenté*
7	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	*Non représenté*	1
8	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	*Non représenté*	*Non représenté*
9	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	2	6
11	Récif frangeant	Pente	Corail	8	12
12	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble à corail dispersé	1	8
13	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble	*Non représenté*	*Non représenté*
14	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble	3	20
15	Récif frangeant	Pente	Corail	*Non représenté*	*Non représenté*
16	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble	*Non représenté*	*Non représenté*
19	Récif barrière côtier	Platier Récifal	Substrat dur à corail dispersé	9	20
20	Récif barrière côtier	Platier Récifal	Substrat mixte à corail dispersé	16	20
25	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	*Non représenté*	20
28	Récif barrière côtier	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	9	20
35	Récif barrière	Platier Récifal	Substrat mixte à corail dispersé	18	20
38	Récif barrière	Platier Récifal	Corail	*Non représenté*	*Non représenté*
40	Récif barrière	Terrasse	Algueraie	*Non représenté*	16
44	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble	*Non représenté*	*Non représenté*
48	Récif barrière	Passe	Substrat dur	*Non représenté*	2
49	Récif barrière	Passe	Substrat dur à corail dispersé	*Non représenté*	*Non représenté*
52	Massif corallien lagonaire	Platier Récifal	Substrat meuble à corail dispersé	*Non représenté*	*Non représenté*
53	Massif corallien lagonaire	Terrasse	Substrat meuble	19	20
				24/55, dont 15 non représentés	17/55, dont 9 non représentés



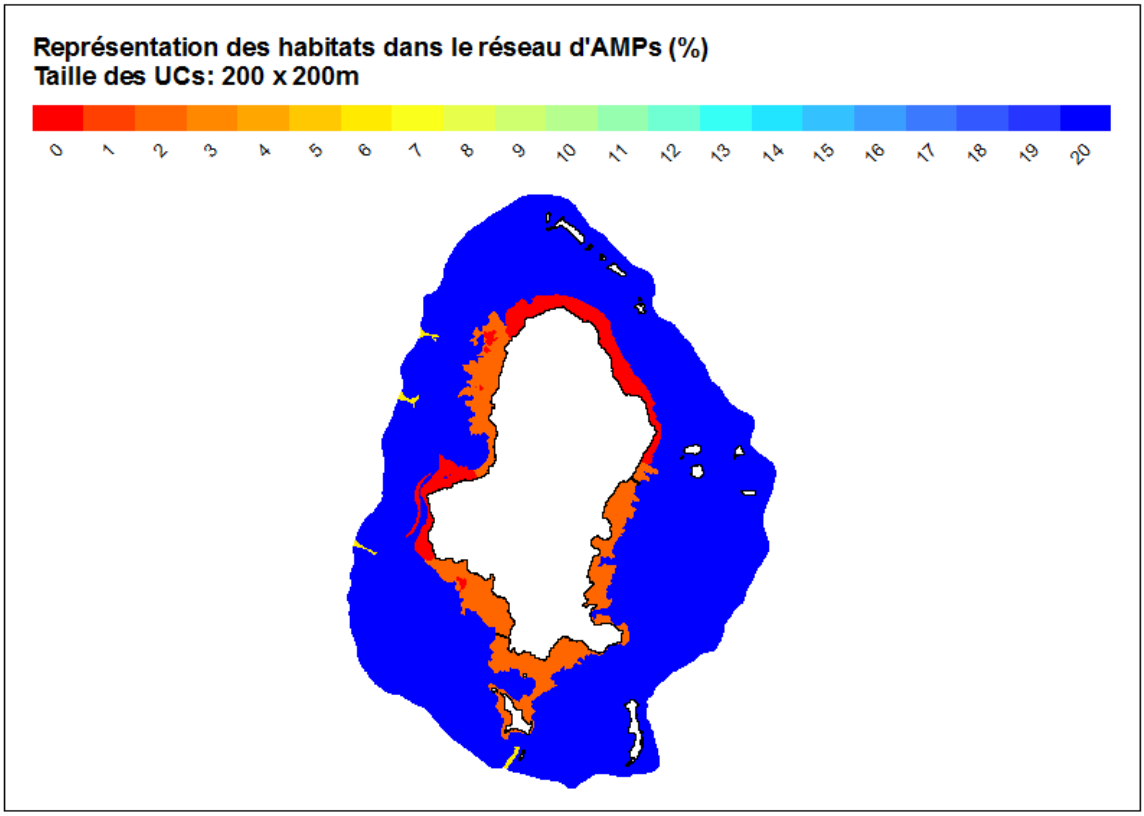
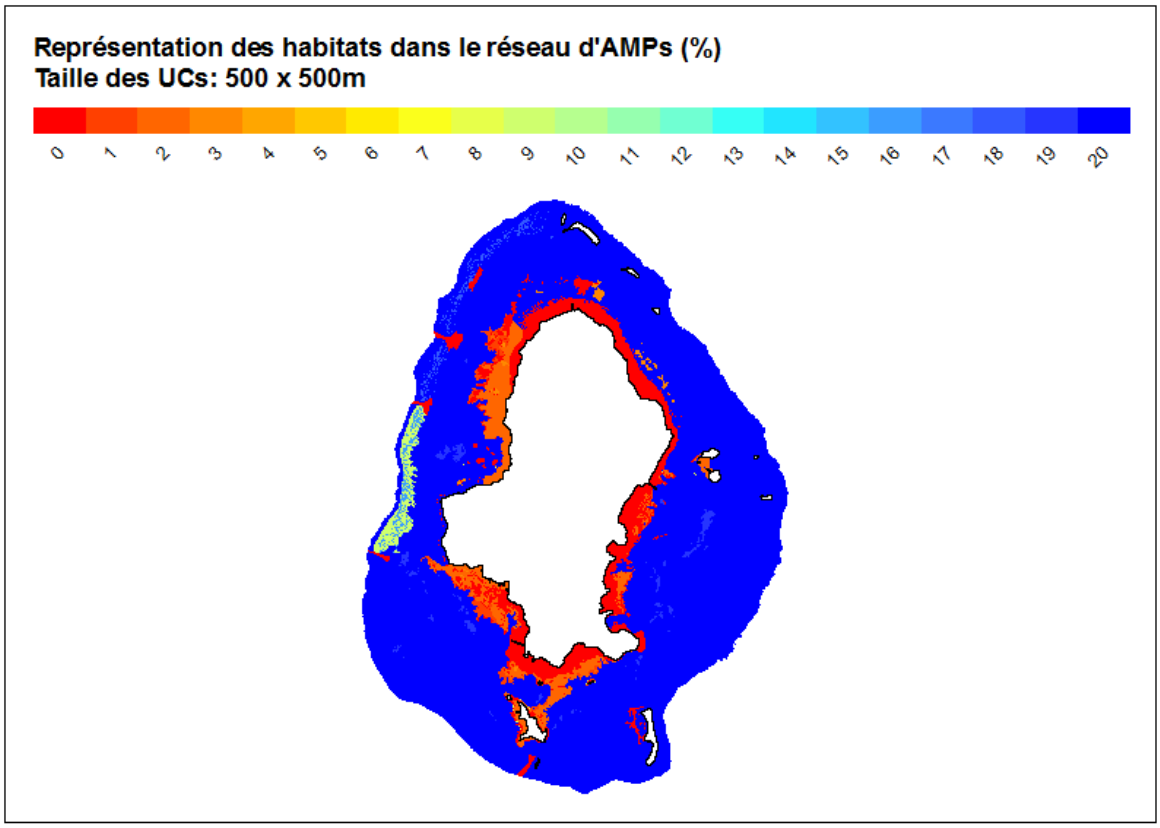


Figure 37. Représentation des habitats coralliens (géomorphologie uniquement) dans le réseau d'Aires Marines Protégées après exclusion des zones de pêche au fusil et au filet pour Wallis.



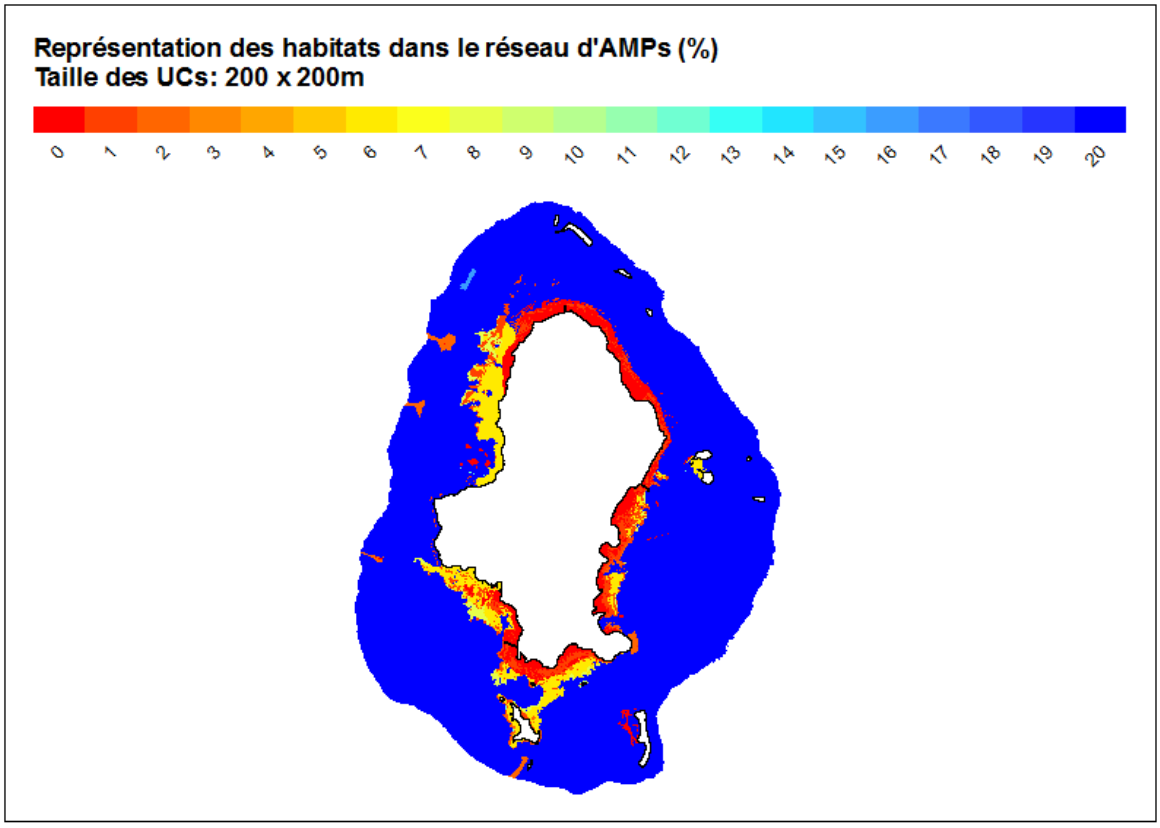


Figure 38. Représentation des habitats coralliens (géomorphologie et benthos) dans le réseau d'Aires Marines Protégées après exclusion des zones de pêche au fusil et au filet pour Wallis.

ALOFI

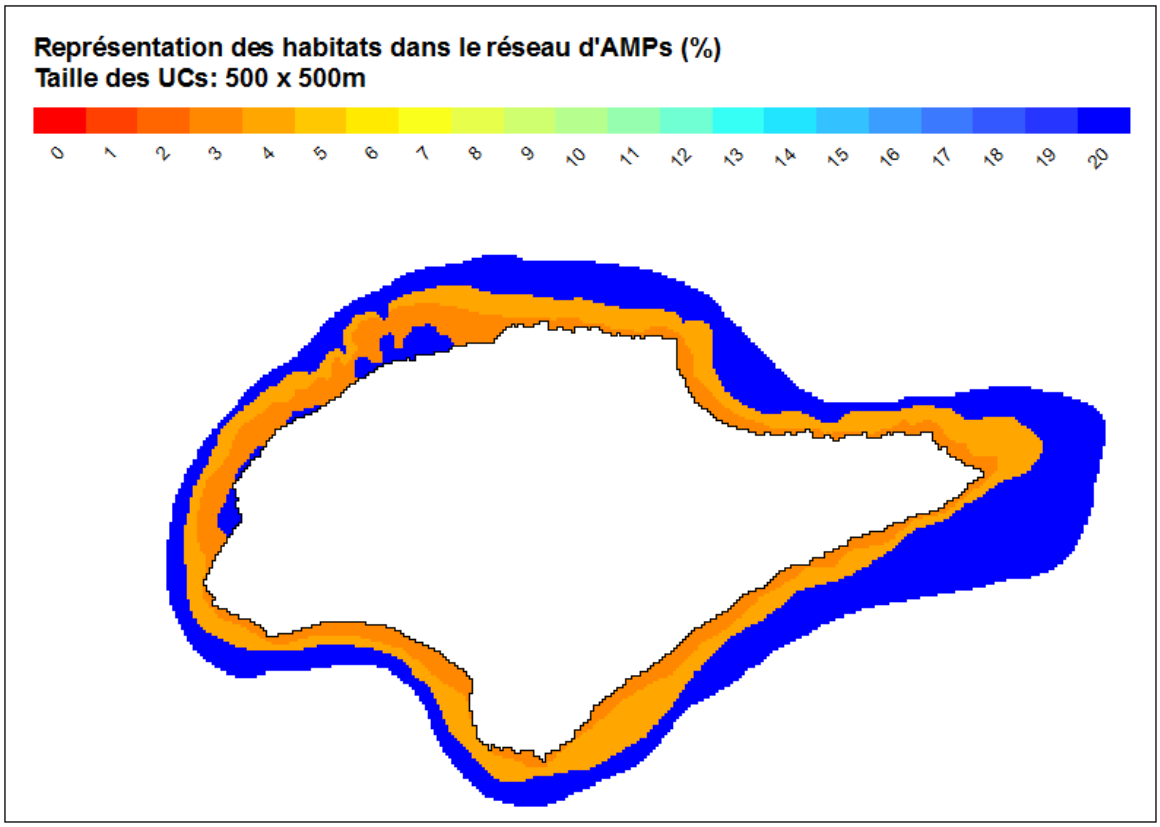
L'exclusion des zones de pêche au fusil et sur Alofi pour la sélection des UCs a également un impact notable sur la représentation des habitats coralliens au sein des réseaux d'AMPs proposés, autant au niveau géomorphologique, qu'au niveau des habitats détaillés (respectivement Tableau 25 et Figure 39 ; Tableau 26 et Figure 40). Par exemple, lorsque l'on considère les habitats détaillés, la totalité des habitats de platier récifal est sous-représentée dans des UCs de 500 x 500m et seuls les habitats à substrat meuble (n=2) sont bien représentés quelque soit la taille des UCs choisie. Cela est essentiellement du au fait que les pêcheurs au fusil fréquentent principalement la pente externe du récif frangeant et chassent uniquement sur les substrats durs coralliens (voir Figure 2).

Tableau 25. Habitats coralliens (géomorphologie uniquement) d'Alofi représentés dans le réseau d'AMPs par moins de 20% de leur surface totale.

CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 3)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 4)	% REPRESENTATION (500 x 500m)	% REPRESENTATION (200 x 200m)
273	oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	forereef	4	15
274	oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	reef flat	3	20
					2/4	1/4

Tableau 26. Habitats coralliens (géomorphologie et benthos) d'Alofi représentés dans le réseau d'AMPs par moins de 20% de leur surface totale.

CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	% REPRESENTATION (500 x 500m)	% REPRESENTATION (200 x 200m)
2	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur	4	12
3	Récif frangeant	Pente	Substrat dur à corail dispersé	2	5
5	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur à corail dispersé	6	20
6	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	6	20
				4 /6	2/6



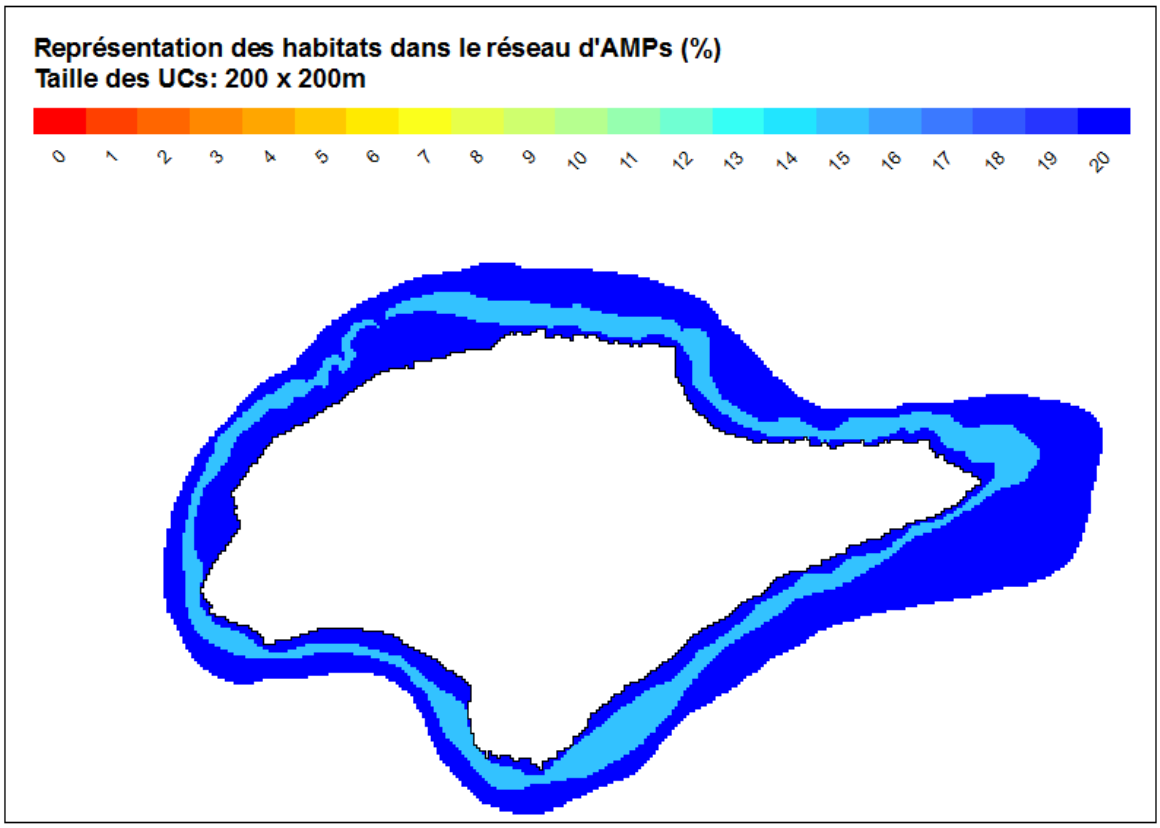
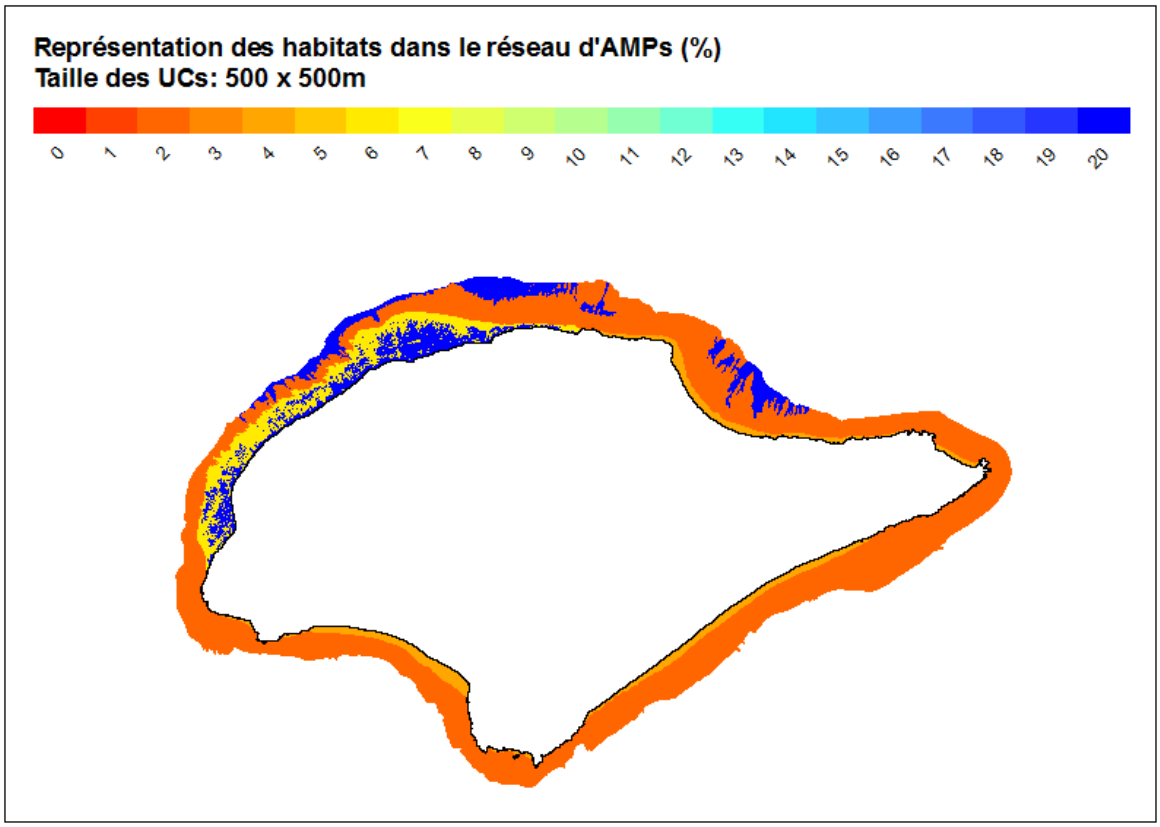


Figure 39. Représentation des habitats coralliens (géomorphologie uniquement) dans le réseau d'Aires Marines Protégées après exclusion des zones de pêche au fusil pour Alofi.



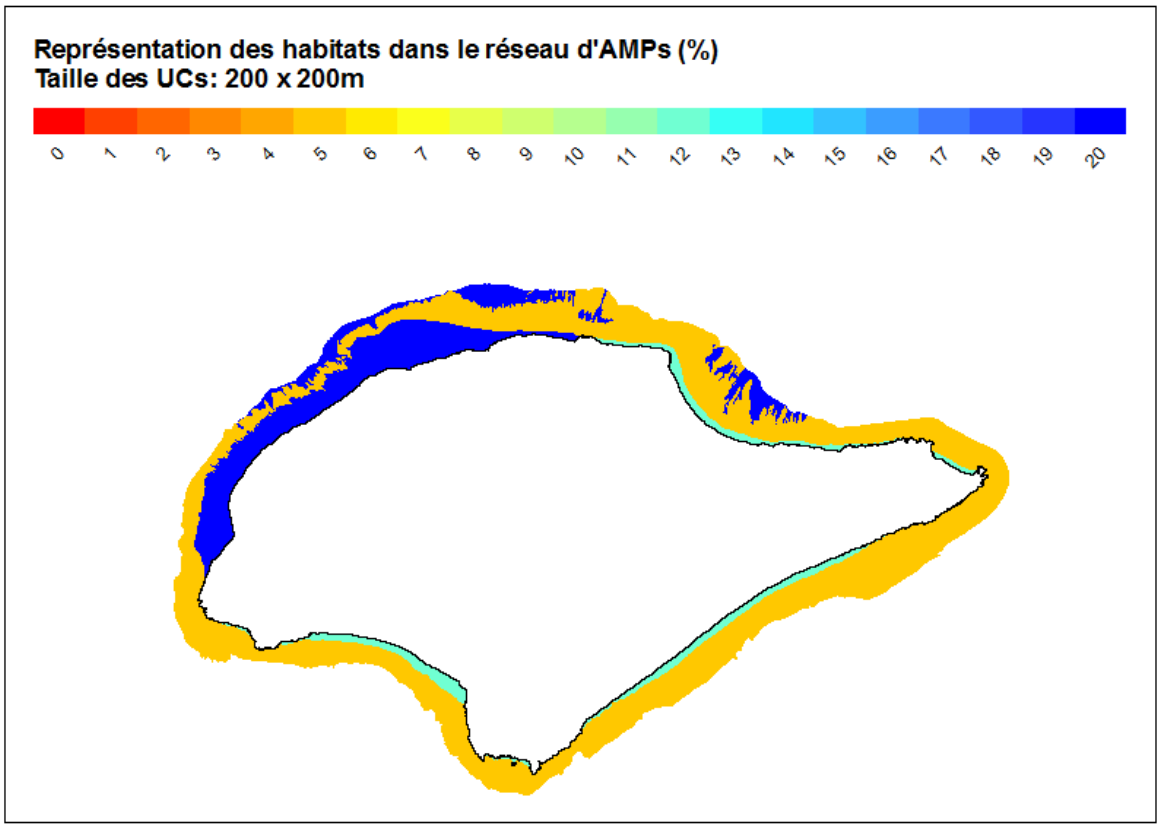


Figure 40. Représentation des habitats coralliens (géomorphologie et benthos) dans le réseau d'Aires Marines Protégées après exclusion des zones de pêche au fusil pour Alofi.

FUTUNA

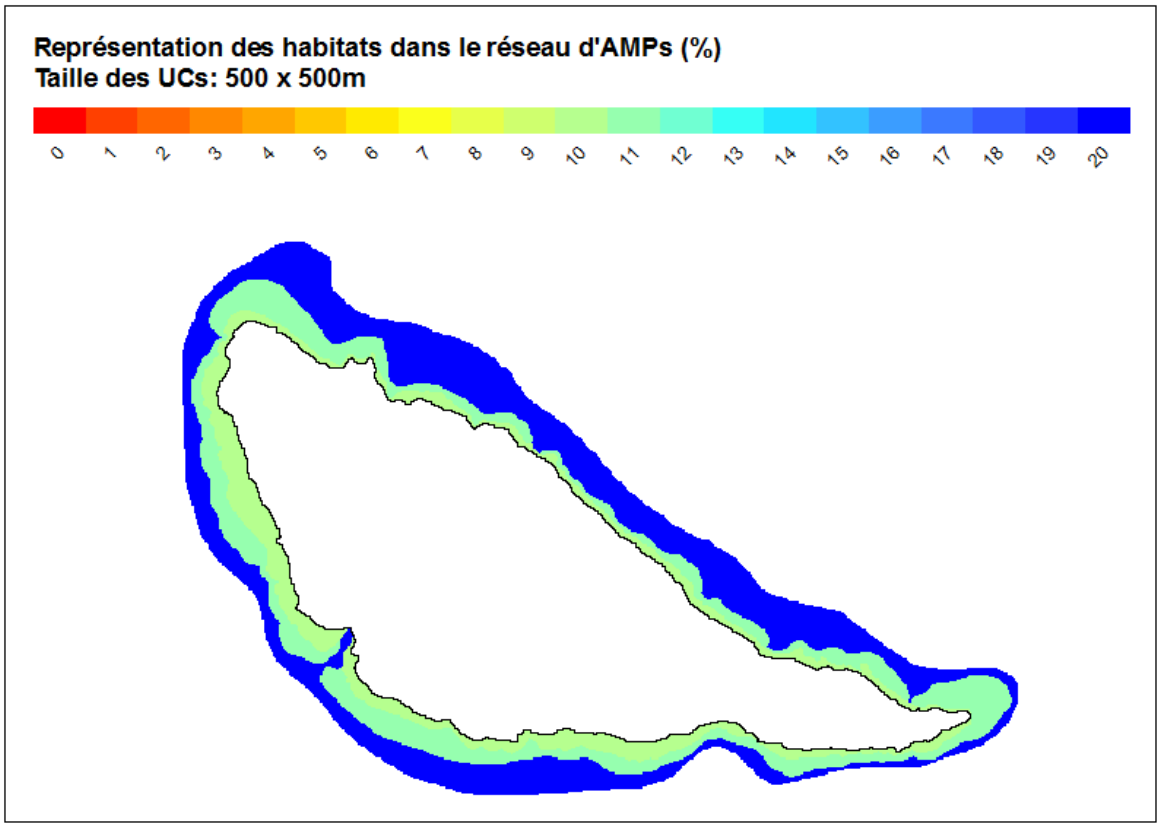
L'exclusion des zones de pêche au fusil pour la sélection des UCs sur Futuna a un impact peu négligeable sur la représentation des habitats coralliens au sein des réseaux d'AMPs proposés, autant au niveau géomorphologique, qu'au niveau des habitats détaillés (respectivement Tableau 27 et Figure 41 ; Tableau 28 et Figure 42). La zone de corail branchu (en rouge) cartographiée au niveau détaillé n'est jamais représentée dans le réseau, quelle que soit la taille d'UCs choisie et l'habitat le mieux représenté correspond au platier récifal. Seule la pente externe est bien représentée dans le réseau au niveau géomorphologique, quelque soit la taille d'UCs choisie. Cela est du au fait que les pêcheurs de Futuna chassent essentiellement sur le front récifal (*forereef*) et le platier (*reef flat*) (voir Figure 2).

Tableau 27. Habitats coralliens (géomorphologie uniquement) de Futuna représentés dans le réseau d'AMPs par moins de 20% de leur surface totale.

CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 3)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 4)	% REPRESENTATION (500 x 500m)	% REPRESENTATION (200 x 200m)
273	OCEANIC	Oceanic island	Ocean exposed fringing	forereef	11	20
274	OCEANIC	Oceanic island	Ocean exposed fringing	reef flat	10	20
					2/3	0/3

Tableau 28. Habitats coralliens (géomorphologie et benthos) de Futuna représentés dans le réseau d'AMPs par moins de 20% de leur surface totale.

CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	% REPRESENTATION (500 x 500m)	% REPRESENTATION (200 x 200m)
2	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur	12	20
3	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	*Non représenté*	*Non représenté*
4	Récif frangeant	Pente	Substrat dur à corail dispersé	4	13
				3 /3	2/3



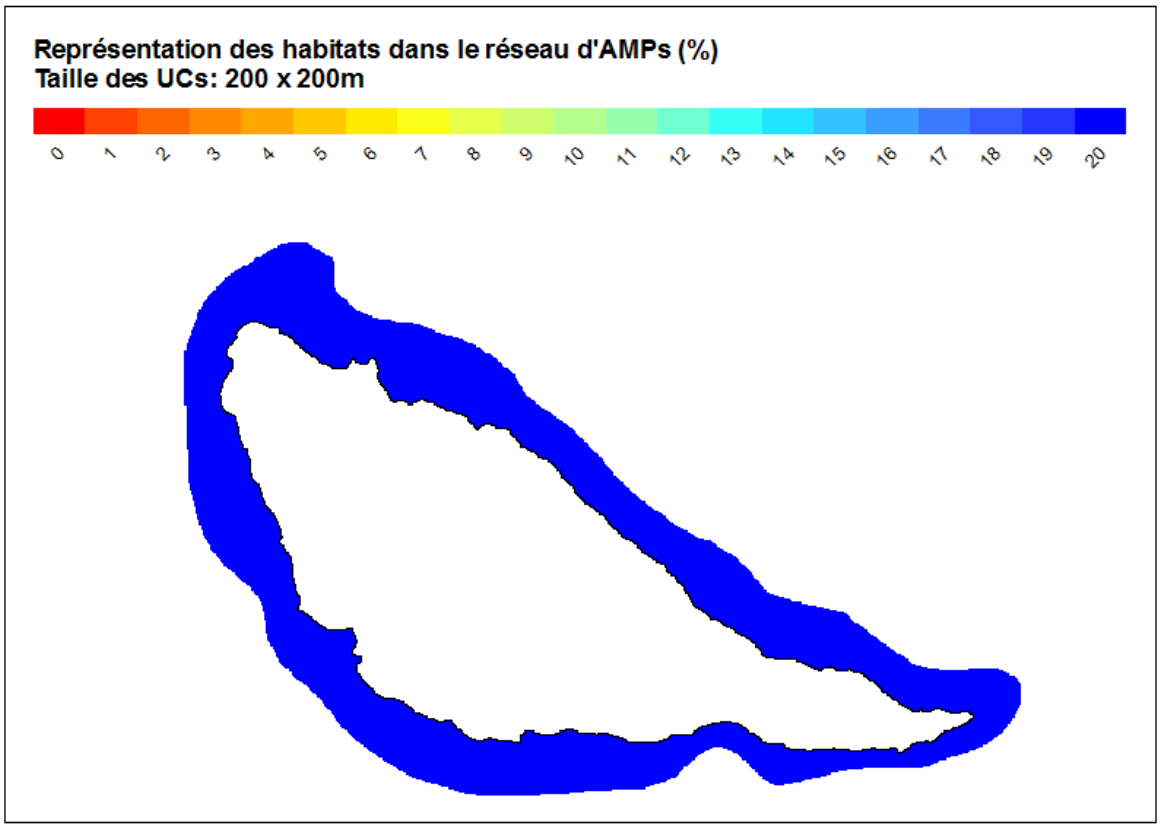
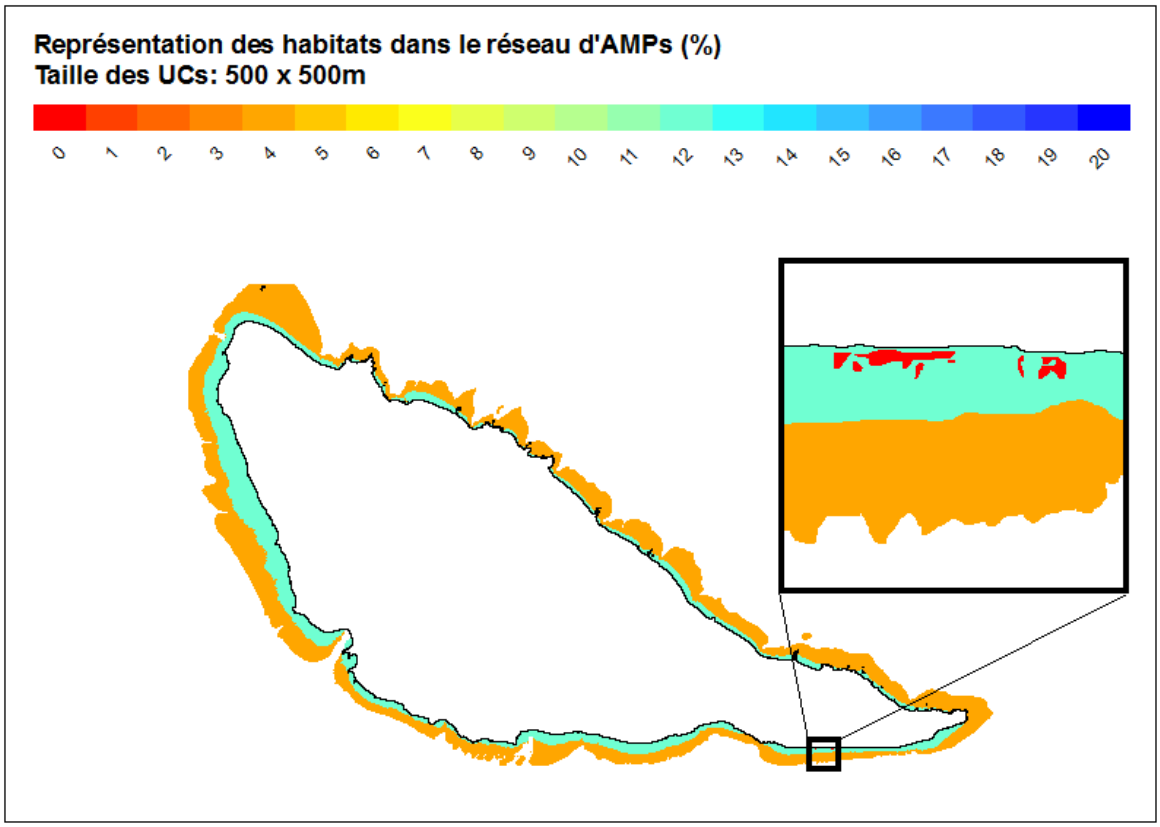


Figure 41. Représentation des habitats coralliens (géomorphologie uniquement) dans le réseau d'Aires Marines Protégées après exclusion des zones de pêche au fusil pour Futuna.



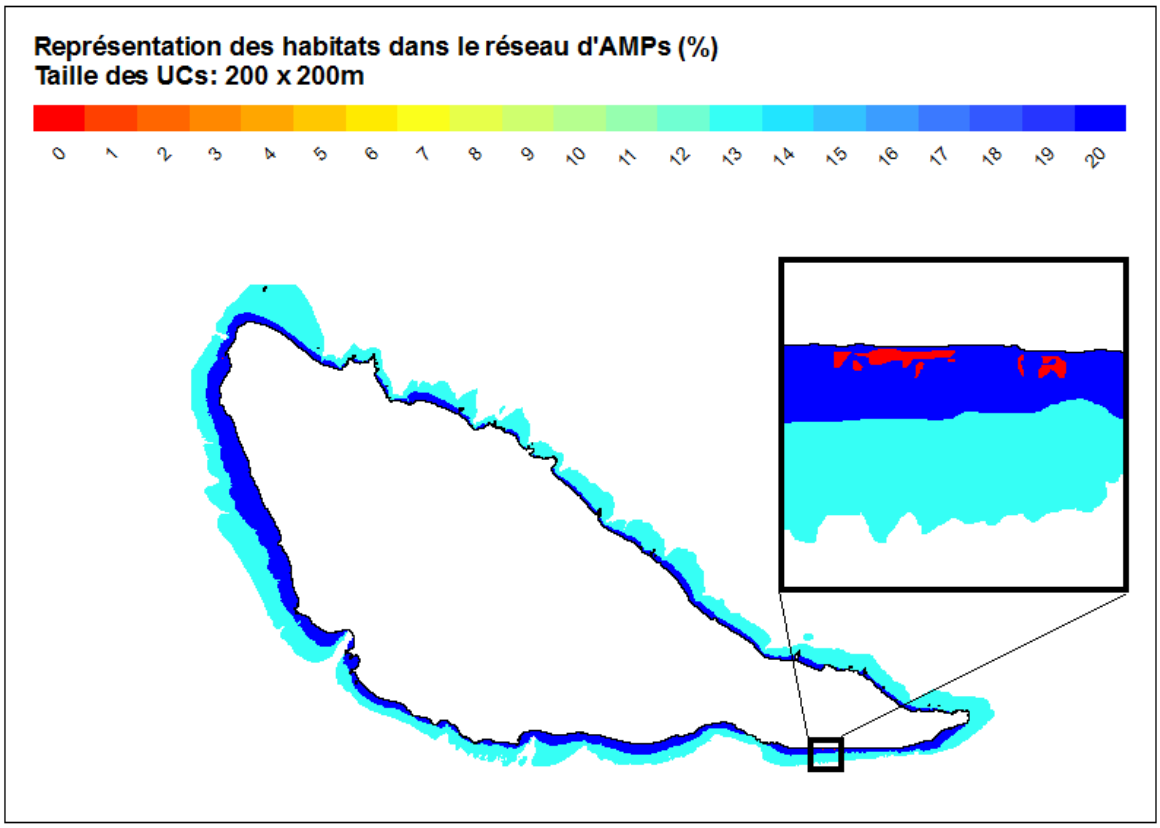


Figure 42. Représentation des habitats coralliens (géomorphologie et benthos) dans le réseau d'Aires Marines Protégées après exclusion des zones de pêche au fusil pour Futuna.

PROPOSITIONS D'AMPS

Les résultats des analyses d'AMPs produits par le logiciel Marxan fournissent une base essentielle pour des discussions préliminaires sur les stratégies de conservation choisies.

Analyser une unique solution (par exemple, un réseau d'AMPs idéal répondant le mieux aux critères spécifiés) produite par un logiciel de planification de la conservation tel que Marxan ne donne aucune indication quant à la possibilité de remplacer telle ou telle UC incluse dans le réseau par une autre. Les mesures d'irremplaçabilité ou de fréquence de sélection des UCs (*irreplaceability* ou *selection frequency* en anglais) sont utilisées pour repérer les UCs les plus 'importantes' ou 'irremplaçables' au sein du jeu de données et pour un objectif spécifique (voir Carwardine et al. 2007 pour une comparaison des deux méthodes).

Dans Marxan, la mesure calculée est la fréquence de sélection des UCs. Pour chaque Uc, la fréquence de sélection correspond au nombre de solutions pour lesquelles l'UC en question est incluse dans le réseau. Autrement dit, pour 1000 répétitions, une UC qui est sélectionnée 700 fois (70% des cas) sera considérée comme 'irremplaçable'. C'est-à-dire que la contribution de cette UC est d'importance primordiale pour remplir l'objectif de conservation. En revanche, une UC sélectionnée 50 fois / 1000 n'aura pas d'importance particulière comparée à une autre UC. Autrement dit, la 'remplacer' par une autre UC n'aura pas ou peu d'impact sur la satisfaction des objectifs de conservation.

Les réseaux d'AMPs proposés dans les trois sections suivantes (Wallis, Alofi et Futuna) correspondent aux meilleures solutions proposées par Marxan pour chaque scénario exécuté. C'est-à-dire que ces solutions remplissent les objectifs de conservation (en atteignant toutes les valeurs visées pour chaque habitat), avec le coût le plus faible en termes de surface protégée.

WALLIS

SCENARIO SUR TOUS LES HABITATS

La sélection d'un réseau d'AMPs sur Wallis visant à **protéger 20% de la surface de chaque habitat** fournit une grande variété de solutions. Sur la Figure 43 et la Figure 44, l'encadré en bas à gauche montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 500 x 500m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sur la Figure 45 et la Figure 46, l'encadré en bas à gauche montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 200 x 200m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sans aucune contrainte spatiale (compacité du réseau) imposée, chaque UC quelle qu'en soit la taille, a globalement la même importance qu'une autre en terme d'habitats. Plusieurs petites zones semblent être néanmoins sélectionnées de manière plus fréquente que les autres. Cela est principalement du au fait que certains types d'habitats ne sont présents que dans ces zones spécifiques. Pour des UCs de 500 x 500m et pour les deux types de cartographies, ces zones sont reportés dans l'encadré en haut à gauche de la Figure 43 et de la Figure 44, et détaillées dans le Tableau 29 et le Tableau 30. Pour des UCs de 200 x 200m et pour les deux types de cartographies, ces zones sont reportés dans l'encadré en haut à gauche de Figure 45 et de la Figure 46, et détaillées dans le Tableau 32 et le Tableau 33.

Pour les zones sélectionnées les plus fréquemment avec des UCs de 500 x 500m (encadrés en haut à gauche de la Figure 43 et la Figure 44) et des UCs de 200 x 200m (encadrés en haut à gauche de la Figure 45 et la Figure 46), on remarque que la présence d'habitats rares (avec une petite surface, concentrés en une zone compacte) oriente la sélection de ces zones en priorité (Tableau 29, Tableau 30, Tableau 32 et Tableau 33). En effet, la sélection d'UCs pour représenter 20% d'un habitat sera moins contrainte si l'habitat en question est réparti sur toute l'île que s'il est compact et de taille réduite. Il est important de noter que cette contrainte spatiale est inhérente au site d'étude et/ou à la cartographie utilisée.

SCENARIO SUR LES HABITATS AVEC EXCLUSION DES ZONES DE PECHE

La sélection d'un réseau d'AMPs sur Wallis visant à **protéger 20% de la surface de chaque habitat en excluant a priori toutes les UCs fréquentées par les pêcheurs au filet et au fusil** fournit en revanche des solutions plus restreintes. Sur la Figure 43 et la Figure 44, l'encadré en bas à droite montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 500 x 500m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sur la Figure 45 et la Figure 46, l'encadré en bas à droite montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 200 x 200m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Même sans aucune contrainte spatiale (compacité du réseau) imposée, l'irremplaçabilité des UCs est très variable. Cela est principalement du au fait que l'objectif de conservation vise à protéger 20% de la surface totale de chaque habitat tandis que la plupart des habitats restants après exclusion des zones de pêche voient leur surface disponible fortement diminuée, dans beaucoup de cas en deçà de 20% de leur surface totale. Les habitats dont la surface restante est proche ou inférieure à 20% de la surface totale orientent donc la sélection des UCs. Ceci s'explique ici par le fait que la sélection de 20% de la surface d'un habitat se fait en réalité sur moins d'UCs que lorsque la totalité de l'habitat en question est disponible. Il en résulte que les mêmes UCs sont souvent sélectionnées d'une exécution à une autre.

Les zones prioritairement sélectionnées avec des UCs de 500 x 500m (encadrés en haut à gauche de la Figure 43 et la Figure 44) et des UCs de 200 x 200m (encadrés en haut à gauche de la Figure 45 et la Figure 46) correspondent donc aux seules UCs disponibles pour les habitats apparaissant comme les plus rares et compacts dans le pool d'UCs restantes après exclusion des UCs pêchées. Ces zones proritaires sont détaillées dans le Tableau 31 pour des UCs de 500 x 500m, et dans le Tableau 34 pour des UCs de 200 x 200m. Il apparait important si ce scénario est choisi, d'attacher une attention particulière aux habitats inclus précisément dans ces UCs.

CONCLUSIONS

La taille des UCs choisie influe sensiblement sur la qualité du réseau d'AMPs obtenu en termes de niveau de protection des habitats. Un réseau d'UCs plus petites permettra de conserver plus d'habitats car la résolution du découpage de la zone est plus fine. En d'autres termes, moins d'habitats (en nombre et en surface) seront exclus de l'analyse du fait de l'exclusion des UCs pêchées. D'un autre côté, un réseau de plusieurs petites AMPs peut paraitre plus difficile à gérer qu'un réseau de moins d'AMPs plus grandes. Ce critère apparait donc important pour garantir l'efficacité du réseau proposé, tant au niveau de la protection des habitats en elle-même qu'au niveau de sa gestion.

La cartographie choisie influe également les résultats et les zones définies comme prioritaires. Viser la protection des habitats géomorphologiques et viser la protection des habitats détaillés n'aura ni la même influence sur le réseau défini *in fine*, ni sur les effets d'un tel réseau sur la biodiversité associée. Il est donc primordial que la cartographie choisie pour la protection des habitats coralliens fasse l'objet d'une réflexion approfondie par les gestionnaires et les experts afin de définir des zones de conservation prioritaires adaptées à des objectifs de conservation pertinents.

De manière générale, quelles que soient les tailles d'UCs choisies ou les cartographies utilisées, les récifs frangeants (incluant tous les herbiers de Wallis) disparaissent ici quasi-totalement du réseau du fait de l'exclusion des zones pêchées. Il semble donc primordial dans les décisions à suivre de revoir les objectifs de conservations de manière à prendre en compte les récifs frangeants et les herbiers. Les herbiers ont un rôle écologique important car ils constituent un habitat essentiel pour un grand nombre d'espèces (abri, nourriture…) et pour le bon fonctionnement du milieu marin (stabilisation des sédiments, qualité de l'eau…). Ce sont également des habitats fragiles, hautement menacés par la pollution et un excès de turbidité.

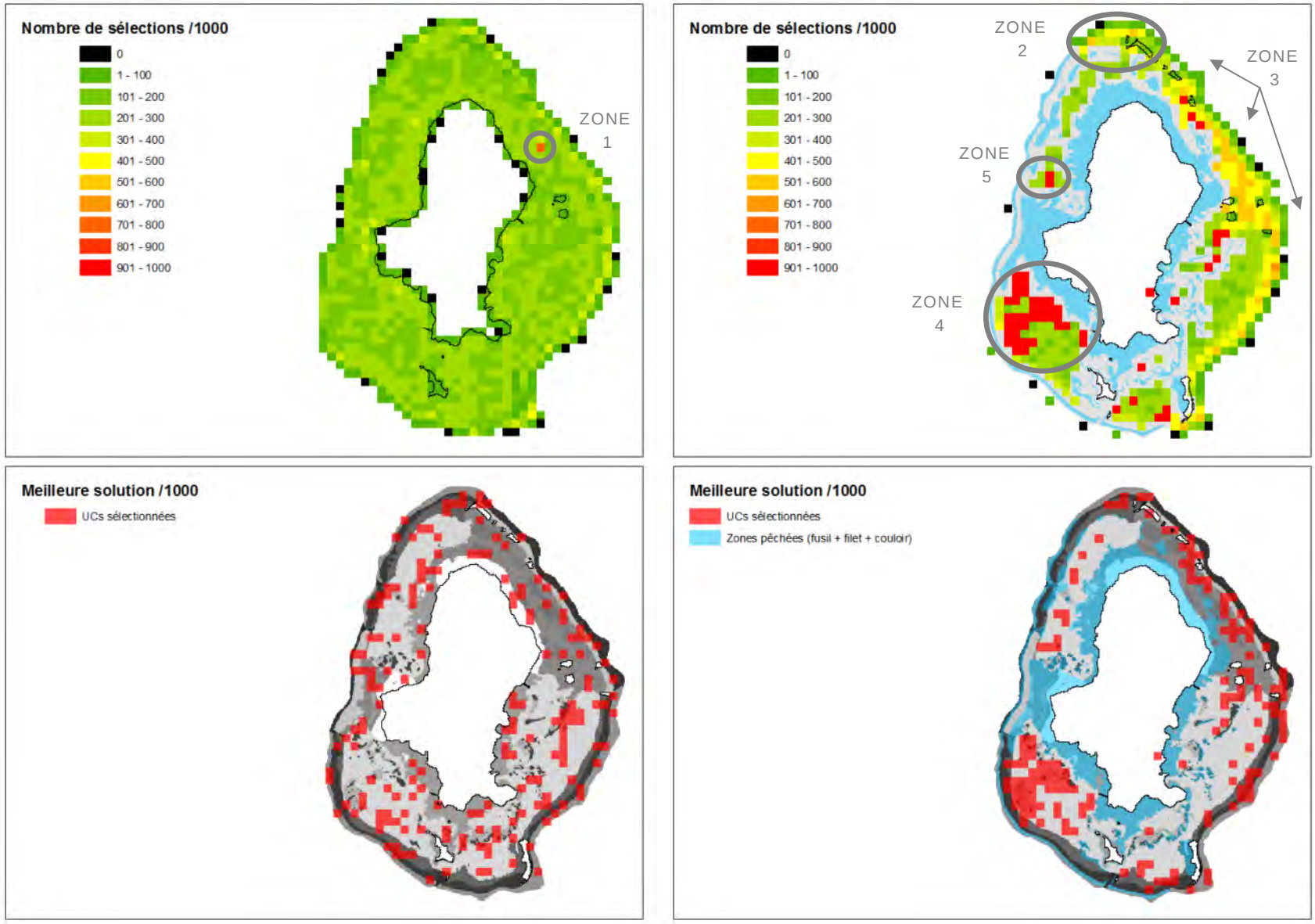


Figure 43. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Wallis, 1000 fois, pour des UCs de 500 x 500m et des habitats coralliens géomorphologiques.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

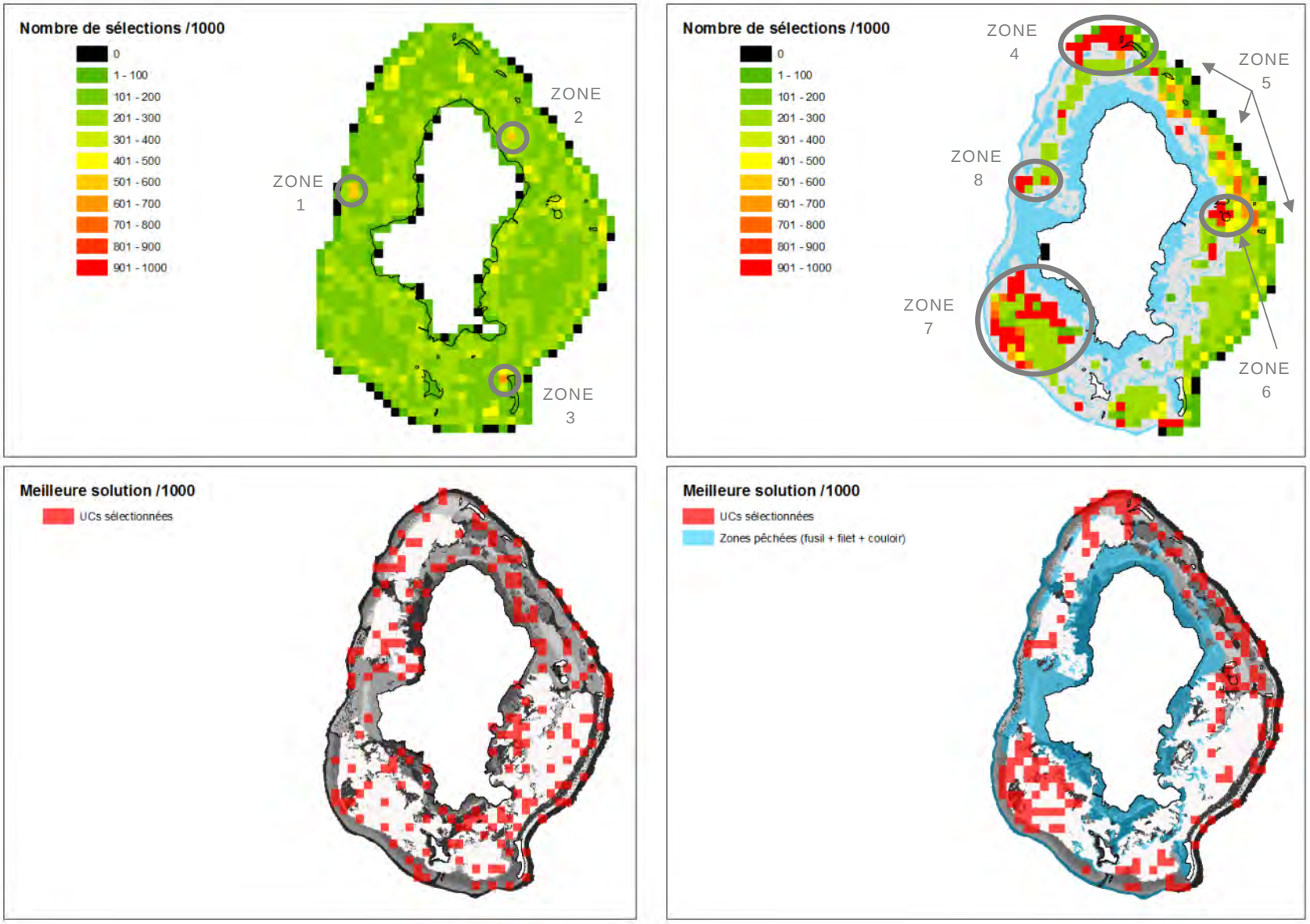


Figure 44. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Wallis, 1000 fois, pour des UCs de 500 x 500m et des habitats coralliens aux niveaux géomorphologique et benthique.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario

Tableau 29. Habitats géomorphologiques 'rares' orientant la sélection des UCs de 500 x 500m pour le scénario visant à conserver 20% de la surface totale de chaque habitats de Wallis.

ZONE 1 – Nord Est, massifs de récif barrière - n° UC : 1334 - habitats présents : 126, 160, 163				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 3)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 4)
163	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	Barrier reef pinnacle/patch

Tableau 30. Habitats géomorphologiques et benthiques 'rares' orientant la sélection des UCs de 500 x 500m pour le scénario visant à conserver 20% de la surface totale de chaque habitats de Wallis.

ZONE 1 – Zone Ouest, platier récifal - n° UC : 224, 225 - habitats présents : 2, 11, 19, 20, 23, 28, 30				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	PROPRIETES
30	Récif barrière côtier	Pente	Corail	Escarpement corallien de pente interne (ouest uniquement)
ZONE 2 – Nord Est, entre récif frangeant et barrière côtier - n° UC : 1162 - habitats présents : 7, 14, 21, 22, 23, 26				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	PROPRIETES
26	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	Bassin avec tapis continu de flore non-identifiée (nord-est uniquement)
ZONE 3 – Pointe Nord de l'île Faïoa - n° UC : 1084 - habitats présents : 2, 38, 43, 44, 46, 47				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	PROPRIETES
38	Récif barrière	Platier récifal	Corail	platier corallien du barrière Sud, côté lagon d'îlot
44	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble	Accumulation sédimentaire à fond mixte, côté lagon d'îlot du récif barrière Sud

Tableau 31. Habitats prioritaires identifiés sur Wallis pour des UCs de 500 x 500m, pour le scénario sur les habitats uniquement, et pour le scénario excluant les zones de pêche au fusil et au filet.

Scenario	Habitats géomorphologiques prioritaires (Figure 43)		Habitats géomorphologiques et benthiques prioritaires (Figure 44)	
20% de tous les habitats	**ZONE 1**	Massifs de récif barrière du Nord Et	**ZONE 1**	Escarpements coralliens de la pente interne de l'Ouest
			ZONE 2	Algueraie non identifiée de récif barrière côtier
			ZONE 3	Platier corallien et accumulation de sédiments de la pointe Nord de l'île Faïoa
20% de tous les habitats hors zones de pêche	**ZONE 2**	Récif barrière et platier récifal du nord	**ZONE 4**	Récif barrière et platier récifal du Nord
	ZONE 3	Récif barrière côtier avec algueraie du Nord Est	**ZONE 5**	Récif barrière côtier avec algueraie du Nord Est
	ZONE 4	Massifs coralliens lagonaires du Sud Ouest	**ZONE 6**	Herbier entre Launiva et Fungalei
	ZONE 5	Massifs coralliens lagonaires de l'Ouest	**ZONE 7**	Massifs coralliens lagonaires du Sud Ouest
			ZONE 8	Récif barrière et platier récifal de l'Ouest

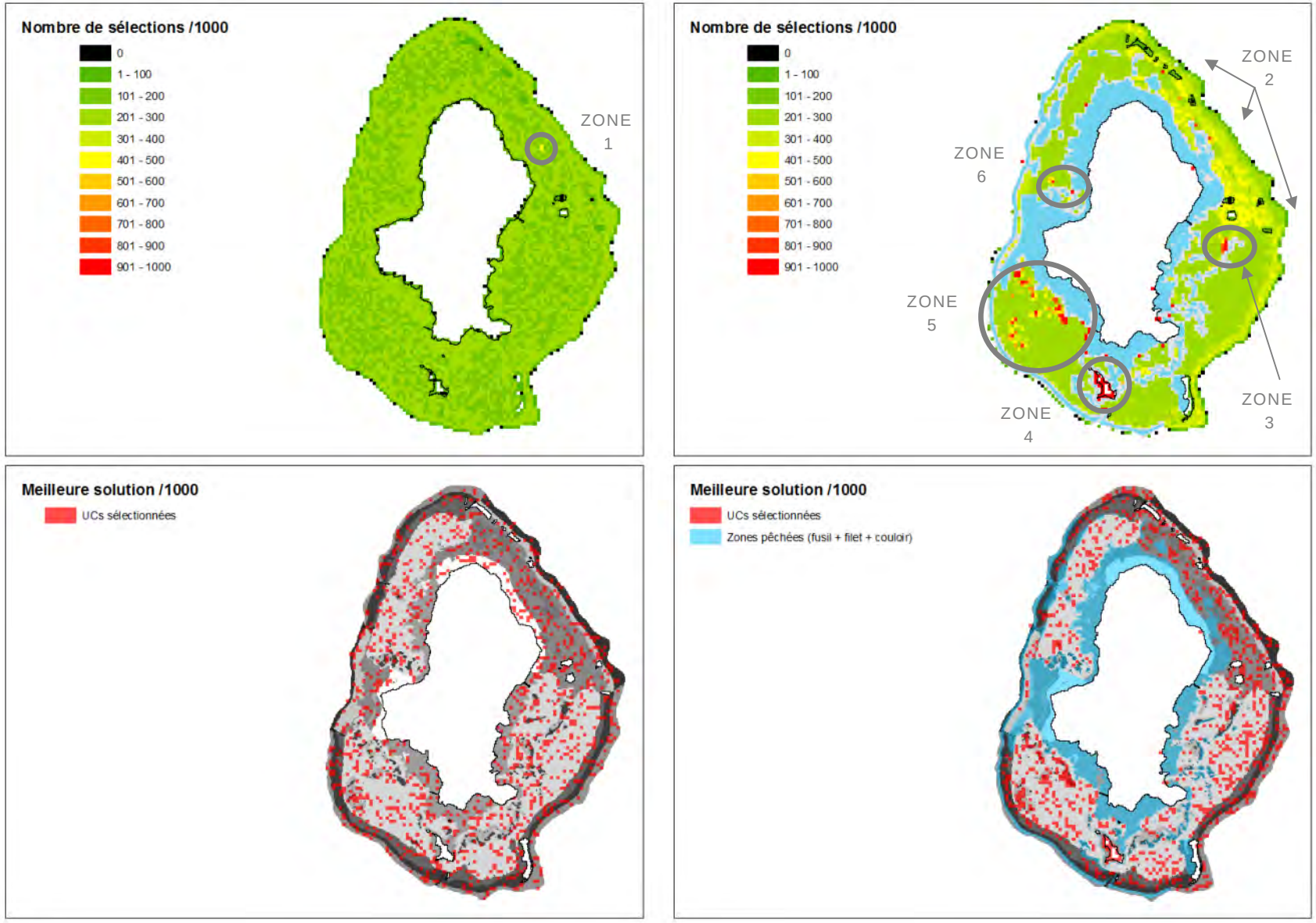


Figure 45. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Wallis, 1000 fois, pour des UCs de 200 x 200m et des habitats coralliens géomorphologiques.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

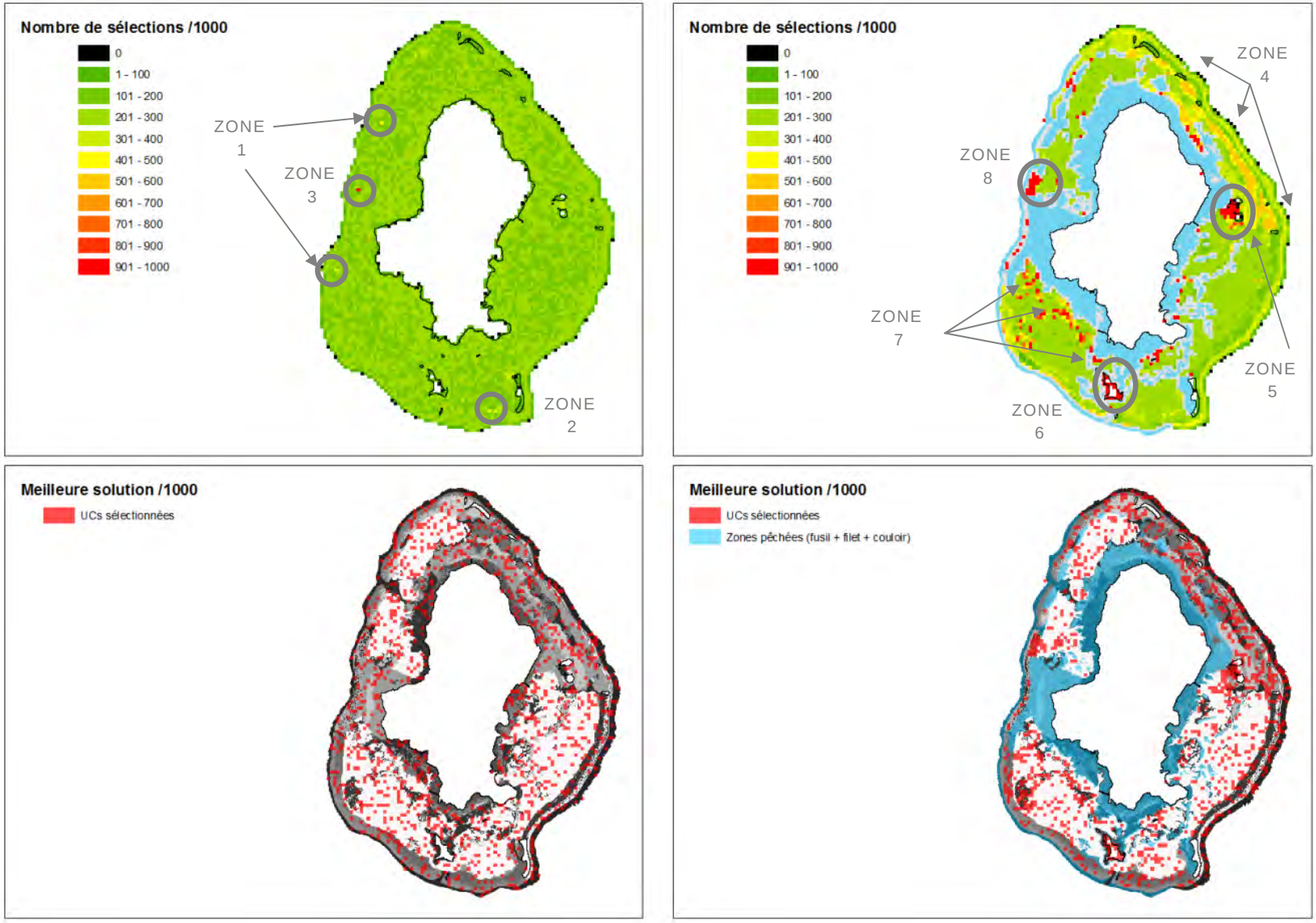


Figure 46. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Wallis, 1000 fois, pour des UCs de 200 x 200m et des habitats coralliens détaillés aux niveaux géomorphologique et benthique. La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite. Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

Tableau 32. Habitats géomorphologiques 'rares' orientant la sélection des UCs de 200 x 200m pour le scénario visant à conserver 20% de la surface totale de chaque habitats de Wallis.

ZONE 1 – Nord Est, massifs de récif barrière - n° UC : 8335, 8336 - habitats présents : 160, 163				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 3)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 4)
163	oceanic	Oceanic island	Coastal Barrier Reef Complex	Barrier reef pinnacle/patch

Tableau 33. Habitats géomorphologiques et benthiques 'rares' orientant la sélection des UCs de 200 x 200m pour le scénario visant à conserver 20% de la surface totale de chaque habitats de Wallis.

ZONE 1 – Passes de l'Est - n° UC : 2306, 540 - habitats présents : 48, 49				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	PROPRIETES
49	Récif barrière	Passe	Substrat dur à corail dispersé	Massif corallien de passe
ZONE 2 – Pente interne, Sud Ouest de l'île Faïoa - n° UC : 6402, 6156 - habitats présents : 2, 36, 37, 39, 43, 47				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	PROPRIETES
39	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur à corail dispersé	Massifs coralliens isoles sur pente interne
ZONE 3 – Zone Ouest, platier récifal - n° UC : 1425 - habitats présents : 2, 11, 19, 20, 23, 28, 30				
CODE	GEOMORPHOLOGIE (niveau 1)	GEOMORPHOLOGIE (niveau 2)	BENTHOS (niveau 1)	PROPRIETES
30	Récif barrière côtier	Pente	Corail	Escarpement corallien de pente interne (ouest uniquement)

Tableau 34. Habitats prioritaires identifiés sur Wallis pour des UCs de 200 x 200m, pour le scénario sur les habitats uniquement, et pour le scénario excluant les zones de pêche au fusil et au filet.

Scenario	Habitats géomorphologiques (Figure 45)		Habitats géomorphologiques et benthiques (Figure 46)	
20% de tous les habitats	**ZONE 1**	Massifs coralliens du récif barrière de l'Est	**ZONE 1**	Passes de l'Est
			ZONE 2	Massifs coralliens de pente interne au Sud Ouest de l'île Faïoa
			ZONE 3	Escarpements coralliens de pente interne de l'Ouest
20% de tous les habitats hors zones de pêche	**ZONE 2**	Récif barrière côtier du Nord Est	**ZONE 4**	Récif barrière côtier avec algueraie du Nord Est
	ZONE 3	Complexe de massifs coralliens lagonaires au sud de Fugalei	**ZONE 5**	Herbier entre Launiva et Fugalei
	ZONE 4	Récif frangeant exposé au lagon de Nukuatea	**ZONE 6**	Herbiers/algueraies de Nukuatea
	ZONE 5	Massifs coralliens lagonaires du Sud Ouest	**ZONE 7**	Massifs coralliens lagonaires du Sud Ouest
	ZONE 6	Complexe de massifs coralliens lagonaires de l'Ouest	**ZONE 8**	Récif barrière et platier récifal de l'Ouest

ALOFI

SCENARIO SUR TOUS LES HABITATS

La sélection d'un réseau d'AMPs sur Alofi visant à **protéger 20% de la surface de chaque habitat** fournit globalement une plus grande variété de solutions lorsque la taille des UCs est relativement petite (200 x 200m). Sur la Figure 47 et la Figure 48, l'encadré en bas à gauche montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 500 x 500m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sur la Figure 49 et la Figure 50, l'encadré en bas à gauche montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 200 x 200m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sans aucune contrainte spatiale (compacité du réseau) imposée, chaque UC a globalement la même importance qu'une autre en termes d'habitats. Cependant pour des UCs de 500 x 500m, plusieurs petites zones semblent être sélectionnées de manière plus fréquente que les autres. Cela est probablement du en grande partie à grand la taille des UCs par rapport à l'échelle spatiale de l'île d'Alofi (10 x 5km), au petit nombre d'habitats répartis majoritairement en anneaux concentriques (quelle que soit la cartographie choisie). Dans ce cas précis, il est plus probable qu'une grande UC contienne une grande surface de plusieurs de ces habitats par rapport à une UC plus petite. Etant donné le nombre réduit d'UCs de 500 x 500m disponibles sur Alofi, et l'objectif de conservation visant un réseau le plus petit possible, Marxan sélectionnera en priorité une UC qui contient la plupart des habitats présents dans une surface relativement importante. A la différence de Wallis, ces UCs ne sont pas contraintes par la rareté ou la compacité d'habitats en particulier.

SCENARIO SUR LES HABITATS AVEC EXCLUSION DES ZONES DE PECHE

La sélection d'un réseau d'AMPs sur Alofi visant à **protéger 20% de la surface de chaque habitat en excluant a priori toutes les UCs fréquentées par les pêcheurs au filet et au fusil** fournit en revanche des solutions extrêmement restreintes. Sur la Figure 47 et la Figure 48, l'encadré en bas à droite montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 500 x 500m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sur la Figure 49 et la Figure 50, l'encadré en bas à droite montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 200 x 200m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Même sans aucune contrainte spatiale (compacité du réseau) imposée, l'irremplaçabilité des UCs est extrêmement variable, avec un très grand nombre d'UCs irremplaçables. Cela est principalement du au fait que l'objectif de conservation vise à protéger 20% de la surface totale de chaque habitat tandis que la plupart des habitats restants après exclusion des zones de pêche voient leur surface disponible fortement diminuée, dans beaucoup de cas bien en deçà de 20% de leur surface totale. Les habitats dont la surface restante est proche ou inférieure à 20% de la surface totale orientent donc la sélection des UCs. Comme pour Wallis, ceci s'explique ici par le fait que la sélection de 20% de la surface d'un habitat se fait en réalité sur moins d'UCs que lorsque la totalité de l'habitat en question est disponible. Il en résulte que les mêmes UCs sont souvent sélectionnées d'une exécution à une autre. Le cas d'Alofi est encore différent de Wallis car l'île est de petite taille, ce qui restreint d'autant plus le nombre d'UCs disponibles pour la conservation.

Les zones prioritairement sélectionnées avec des UCs de 500 x 500m (encadrés en haut à gauche de la Figure 43 et la Figure 44) et des UCs de 200 x 200m (encadrés en haut à gauche de la Figure 45 et la Figure 46) correspondent donc aux seules UCs disponibles pour les habitats apparaissant comme les plus rares et compacts dans le pool d'UCs restantes après exclusion des UCs pêchées. Les UCs de 500 x 500m sélectionnées en priorité pour les habitats géomorphologiques correspondent aux seules UCs contenant une partie du platier, de la terrasse peu profonde ou du front récifal du récif frangeant. Pour la cartographie au niveau détaillé (habitats géomorphologiques et benthiques), toutes les UCs restantes après exclusion des zones pêchées sont sélectionnées à chaque exécution du scénario. Cela est principalement du au fait que le nombre d'habitats est plus important à ce niveau mais que moins de 20% de la surface de la plupart des habitats reste disponible pour protection après exclusion des zones de pêche sur Alofi. Bien que la petite taille des UCs de 200 x 200m augmente la variabilité dans l'irremplaçabilité des UCs, un patron similaire est observé. Quelle que soit la

cartographie utilisée, toute la pente du récif frangeant (front récifal) ainsi que le platier récifal et certaines zones de terrasse sont très peu présents dans le réseau.

CONCLUSIONS

Comme pour Wallis, la taille des UCs choisie influe sensiblement sur la qualité du réseau d'AMPs obtenu en termes de niveau de protection des habitats. En revanche, les habitats coralliens d'Alofi ainsi que les zones de pêche au fusil étant globalement disposés en anneaux concentriques, la cartographie choisie semble peu influencer les résultats et les zones définies comme prioritaires.

Au vu des résultats précédents et du fait de la particularité de l'île en termes géomorphologiques et géographiques, il semble que l'approche choisie ne soit pas adaptée à la conservation des habitats coralliens d'Alofi. La grande majorité des habitats est sous représentée dans le réseau d'AMPs, quelle que soit la taille d'UCs et la cartographie utilisée. Il convient donc de redéfinir de nouveaux objectifs de conservation et de développer une stratégie mieux adaptée à ce cas particulier.

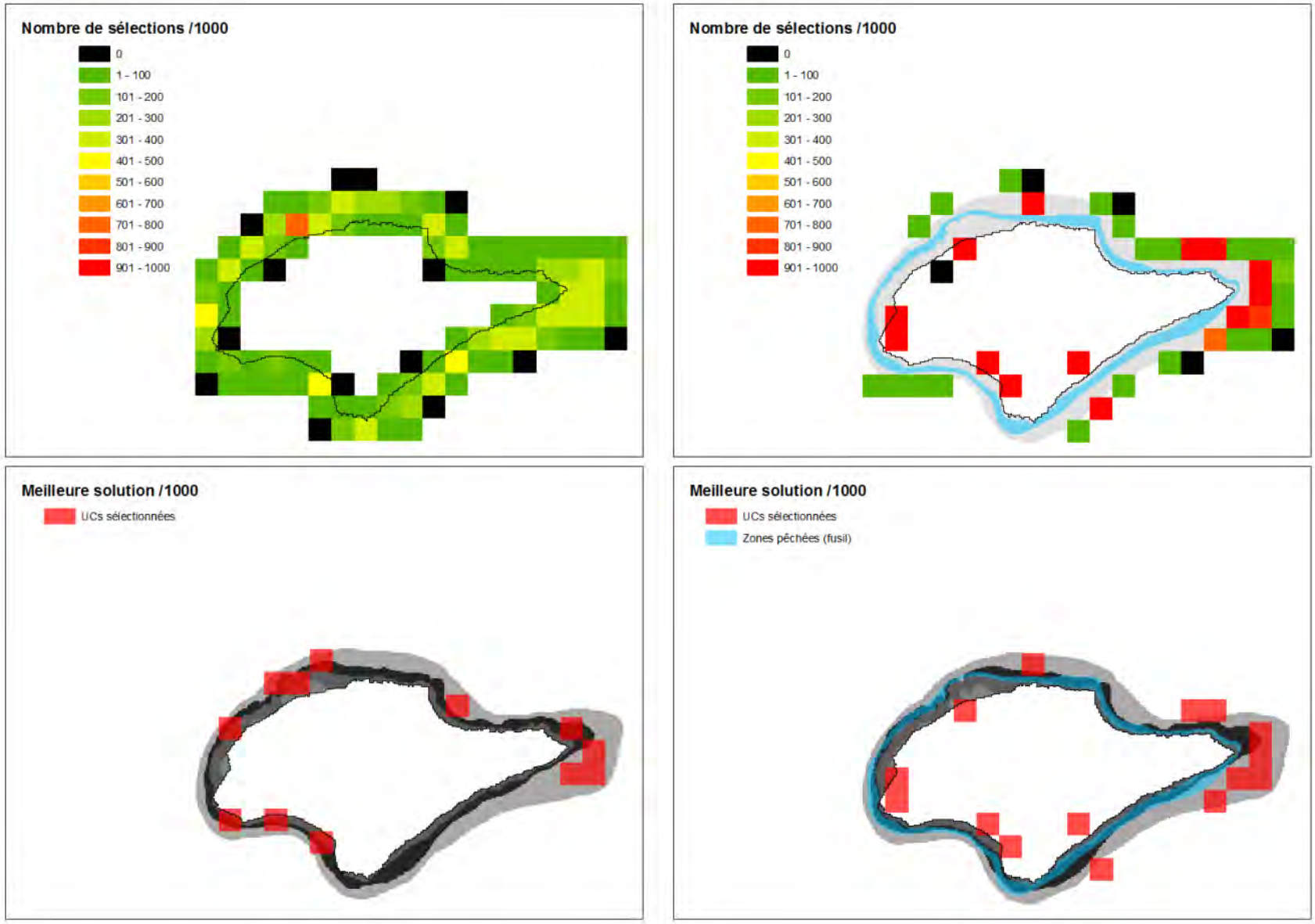


Figure 47. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Alofi, 1000 fois, pour des UCs de 500 x 500m et des habitats coralliens géomorphologiques.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

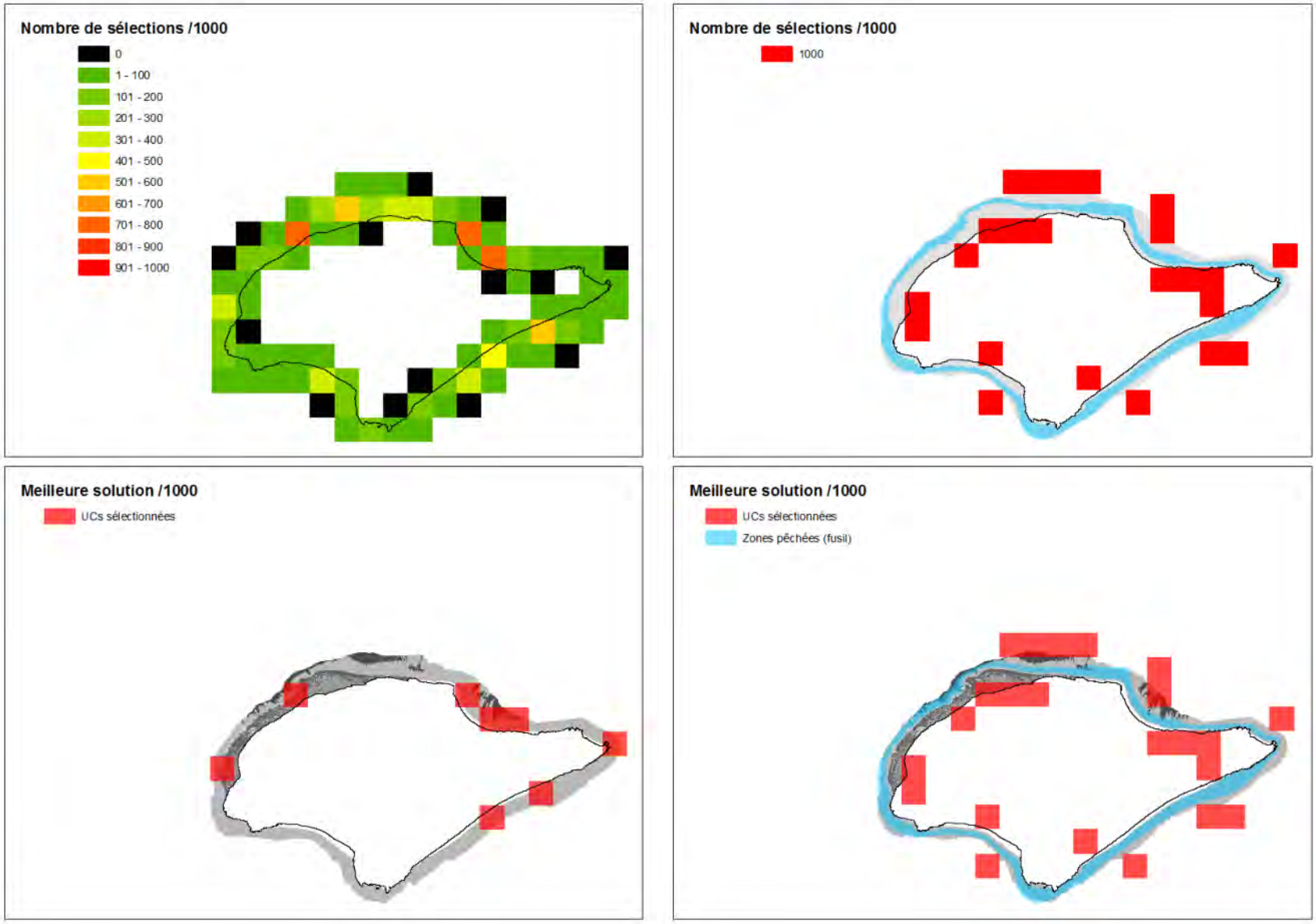


Figure 48. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Alofi, 1000 fois, pour des UCs de 500 x 500m et des habitats coralliens aux niveaux géomorphologique et benthique.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

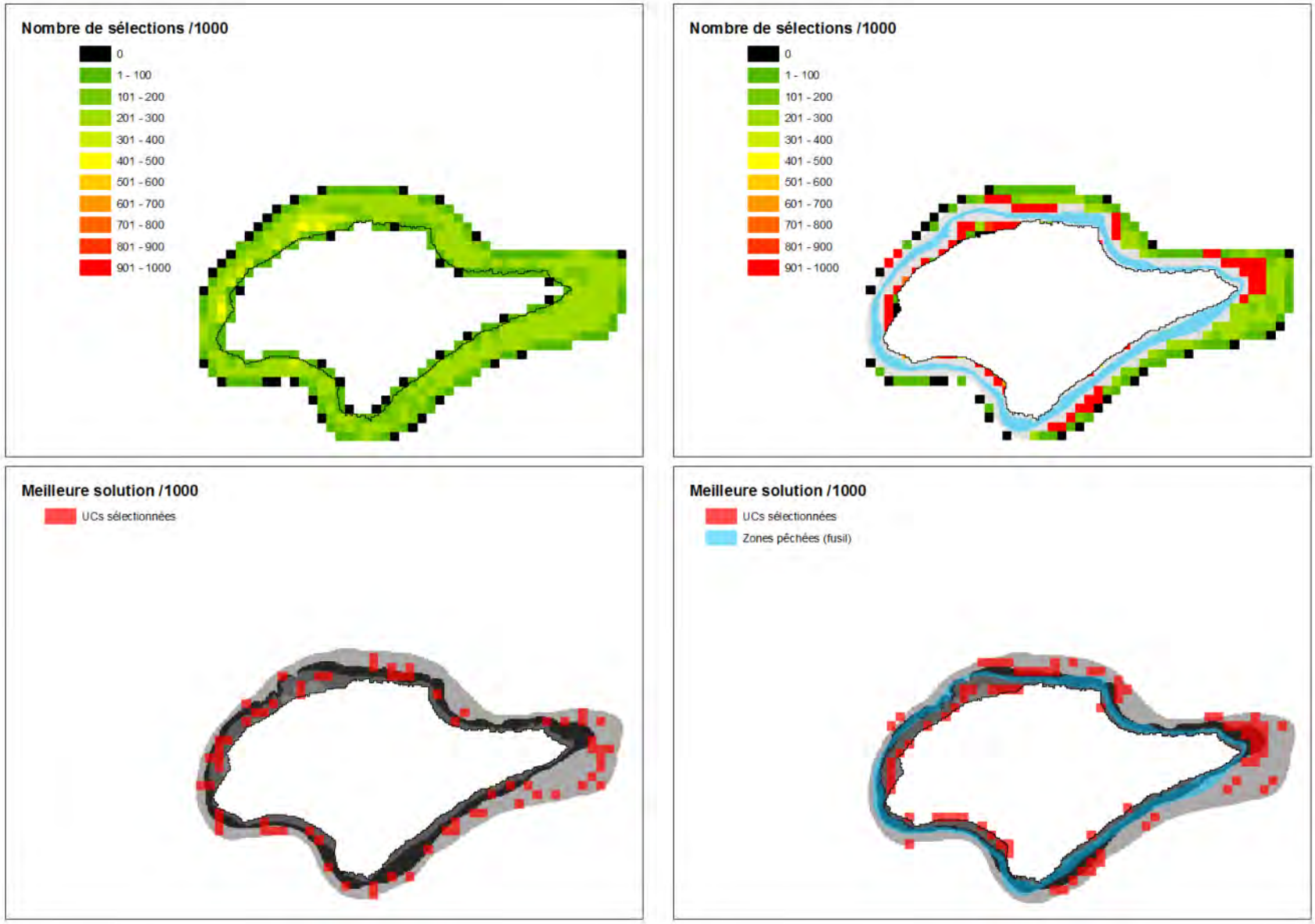


Figure 49. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Alofi, 1000 fois, pour des UCs de 200 x 200m et des habitats coralliens géomorphologiques.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

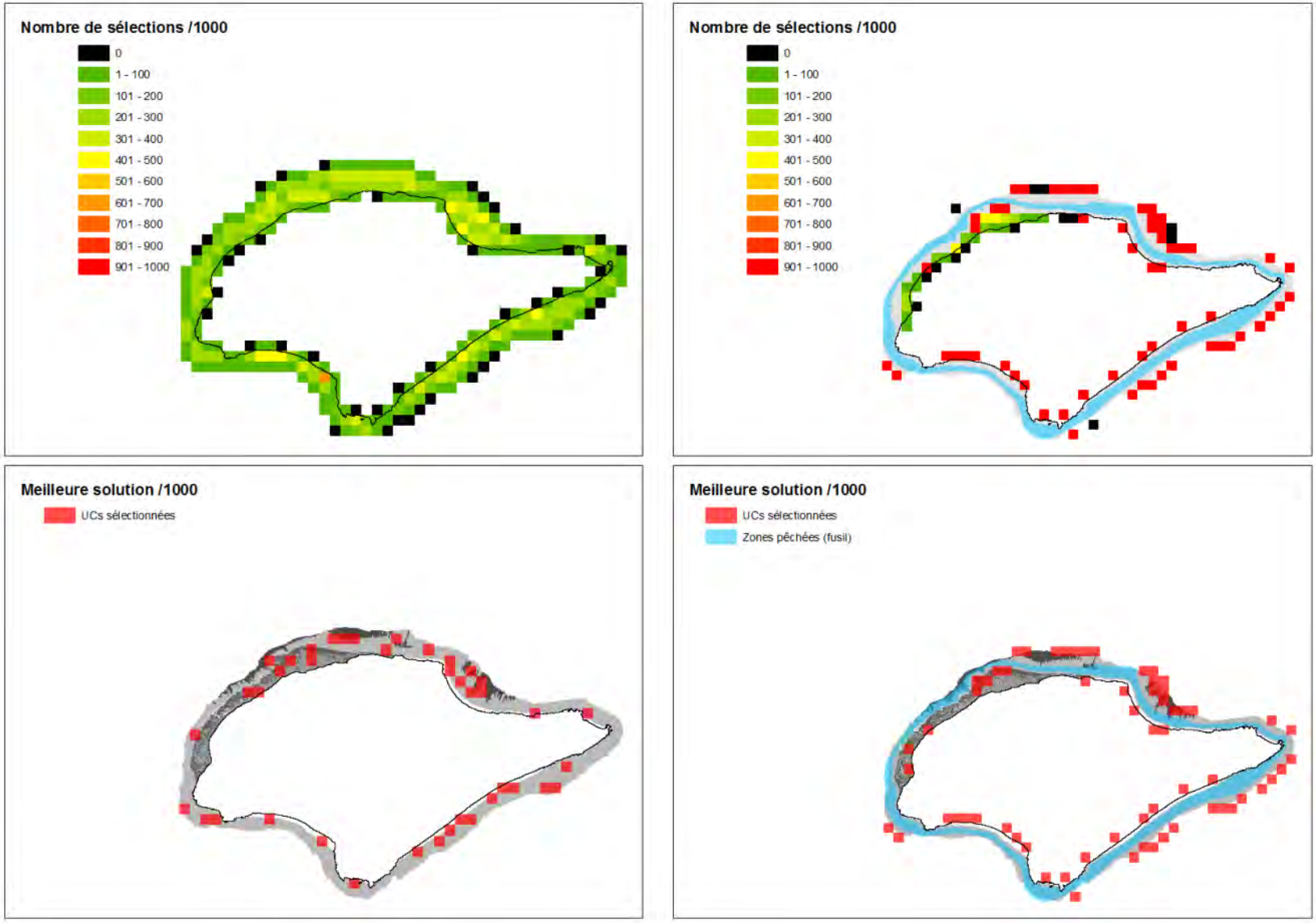


Figure 50. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Alofi, 1000 fois, pour des UCs de 200 x 200m et des habitats coralliens détaillés aux niveaux géomorphologique et benthique. La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite. Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

FUTUNA

SCENARIO SUR TOUS LES HABITATS

La sélection d'un réseau d'AMPs sur Futuna visant à **protéger 20% de la surface de chaque habitat** fournit globalement une plus grande variété de solutions lorsque la taille des UCs est relativement petite (200 x 200m). Sur la Figure 51 et la Figure 52, l'encadré en bas à gauche montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 500 x 500m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sur la Figure 53 et la Figure 54, l'encadré en bas à gauche montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 200 x 200m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sans aucune contrainte spatiale (compacité du réseau) imposée, chaque UC a globalement la même importance qu'une autre en termes d'habitats. Cependant pour des UCs de 500 x 500m, plusieurs petites zones semblent être sélectionnées de manière plus fréquente que les autres. Cela est probablement du en grande partie à grand la taille des UCs par rapport à l'échelle spatiale de l'île de Futuna (15 x 5km), au petit nombre d'habitats répartis majoritairement en anneaux concentriques (quelle que soit la cartographie choisie). Dans ce cas précis, il est plus probable qu'une grande UC contienne une grande surface de plusieurs de ces habitats par rapport à une UC plus petite. Etant donné le nombre réduit d'UCs de 500 x 500m disponibles sur Futuna, et l'objectif de conservation visant un réseau le plus petit possible, Marxan sélectionnera en priorité une UC qui contient la plupart des habitats présents dans une surface relativement importante. A la différence de Wallis et comme pour Alofi, ces UCs ne sont pas contraintes par la rareté ou la compacité d'habitats en particulier.

SCENARIO SUR LES HABITATS AVEC EXCLUSION DES ZONES DE PECHE

La sélection d'un réseau d'AMPs sur Futuna visant à **protéger 20% de la surface de chaque habitat en excluant a priori toutes les UCs fréquentées par les pêcheurs au filet et au fusil** fournit en revanche des solutions extrêmement restreintes. Sur la Figure 51 et la Figure 52, l'encadré en bas à droite montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 500 x 500m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Sur la Figure 53 et la Figure 54, l'encadré en bas à droite montre l'une des meilleures solutions obtenues par Marxan pour des UCs de 200 x 200m avec respectivement la cartographie des habitats géomorphologiques, et la cartographie détaillée (géomorphologie et benthos). Même sans aucune contrainte spatiale (compacité du réseau) imposée, la plupart des UCs sont 'irremplaçables'. Cela est du au fait que l'objectif de conservation vise à protéger 20% de la surface totale de chaque habitat tandis que la plupart des habitats restants après exclusion des zones de pêche voient leur surface disponible très fortement diminuée, dans beaucoup de cas bien en deçà de 20% de leur surface totale. Les habitats dont la surface restante est proche ou inférieure à 20% de la surface totale orientent donc la sélection des UCs. Comme pour Wallis et Alofi, ceci s'explique ici par le fait que la sélection de 20% de la surface d'un habitat se fait en réalité sur moins d'UCs que lorsque la totalité de l'habitat en question est disponible. Il en résulte que les mêmes UCs sont souvent sélectionnées d'une exécution à une autre. Le cas de Futuna est encore différent de Wallis mais similaire à celui d'Alofi car l'île est de petite taille, ce qui restreint d'autant plus le nombre d'UCs disponibles pour la conservation.

Les zones prioritairement sélectionnées avec des UCs de 500 x 500m (encadrés en haut à gauche de la Figure 43 et la Figure 44) et des UCs de 200 x 200m (encadrés en haut à gauche de la Figure 45 et la Figure 46) correspondent donc aux seules UCs disponibles pour les habitats apparaissant comme les plus rares et compacts dans le pool d'UCs restantes après exclusion des UCs pêchées. Pour les deux types de cartographies, toutes les UCs de 500 x 500m restantes après exclusion des zones pêchées et contenant un maximum d'habitats sont sélectionnées à chaque exécution du scénario. Cela est principalement du au fait que moins de 20% de la surface de la plupart des habitats reste disponible pour protection après exclusion des zones de pêche sur Futuna. Marxan sélectionne donc 'toutes' les UCs disponibles. La cartographie détaillée semble contraindre d'autant plus la sélection des UCs. Bien que la petite taille des UCs de 200 x 200m augmente la variabilité dans l'irremplaçabilité des UCs, un patron similaire est observé. Quelle que soit la cartographie utilisée, toute la pente du récif frangeant (front récifal) ainsi que le platier récifal sont très peu présents dans le réseau.

CONCLUSIONS

Comme pour Wallis et Alofi, la taille des UCs choisie influe sensiblement sur la qualité du réseau d'AMPs obtenu en termes de niveau de protection des habitats. En revanche, les habitats coralliens de Futuna ainsi que les zones de pêche au fusil étant globalement disposés en anneaux concentriques, la cartographie choisie semble peu influencer les résultats et les zones définies comme prioritaires.

Au vu des résultats précédents et du fait de la particularité de l'île en termes géomorphologiques et géographiques, il semble que l'approche choisie ne soit pas adaptée à la conservation des habitats coralliens de Futun a, comme pour Alofi. La grande majorité des habitats est sous représentée dans le réseau d'AMPs, quelle que soit la taille d'UCs et la cartographie utilisée. Il convient donc de redéfinir de nouveaux objectifs de conservation et de développer une stratégie mieux adaptée à ce cas particulier.

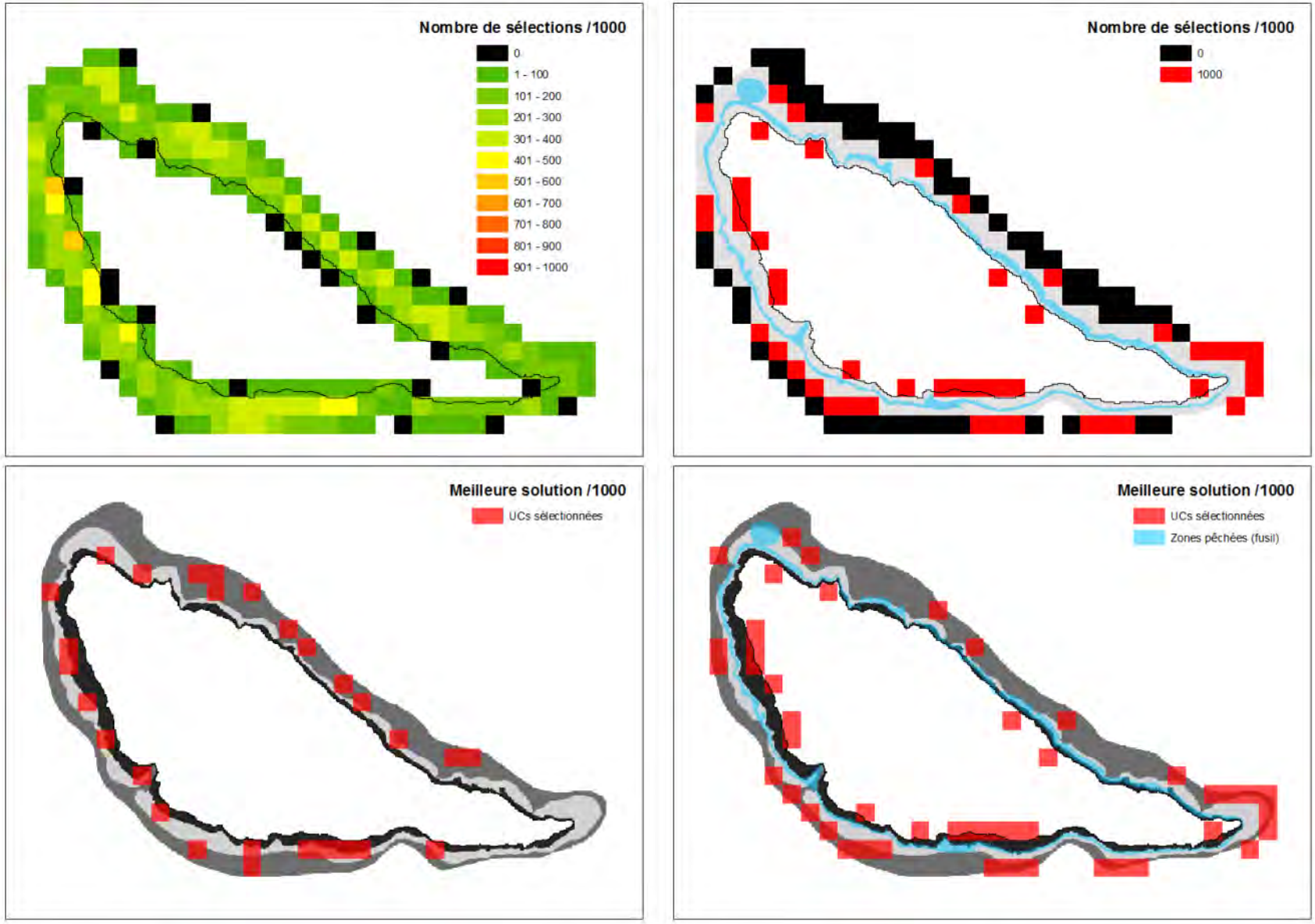


Figure 51. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Futuna, 1000 fois, pour des UCs de 500 x 500m et des habitats coralliens géomorphologiques.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

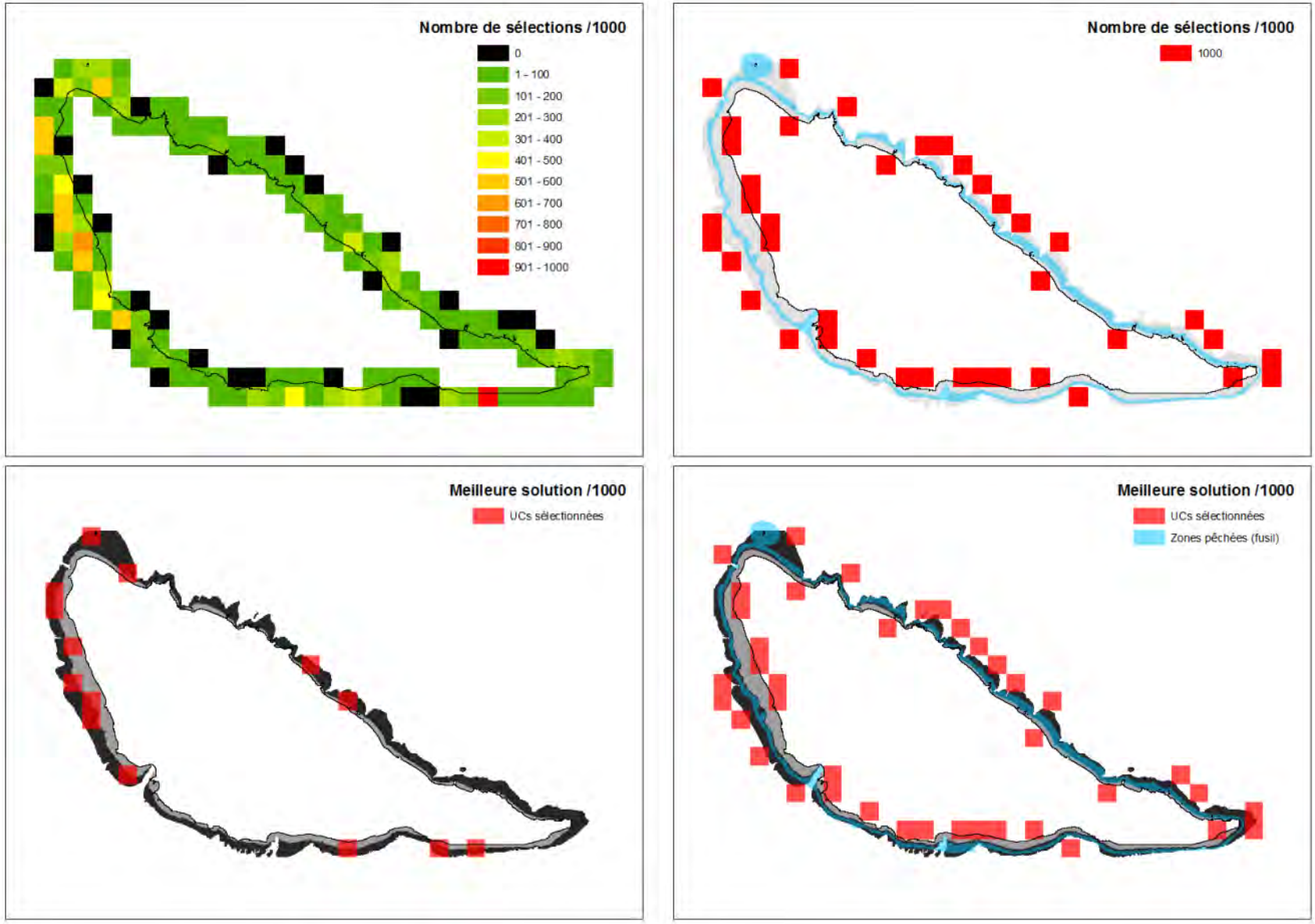


Figure 52. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Futuna, 1000 fois, pour des UCs de 500 x 500m et des habitats coralliens aux niveaux géomorphologique et benthique.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

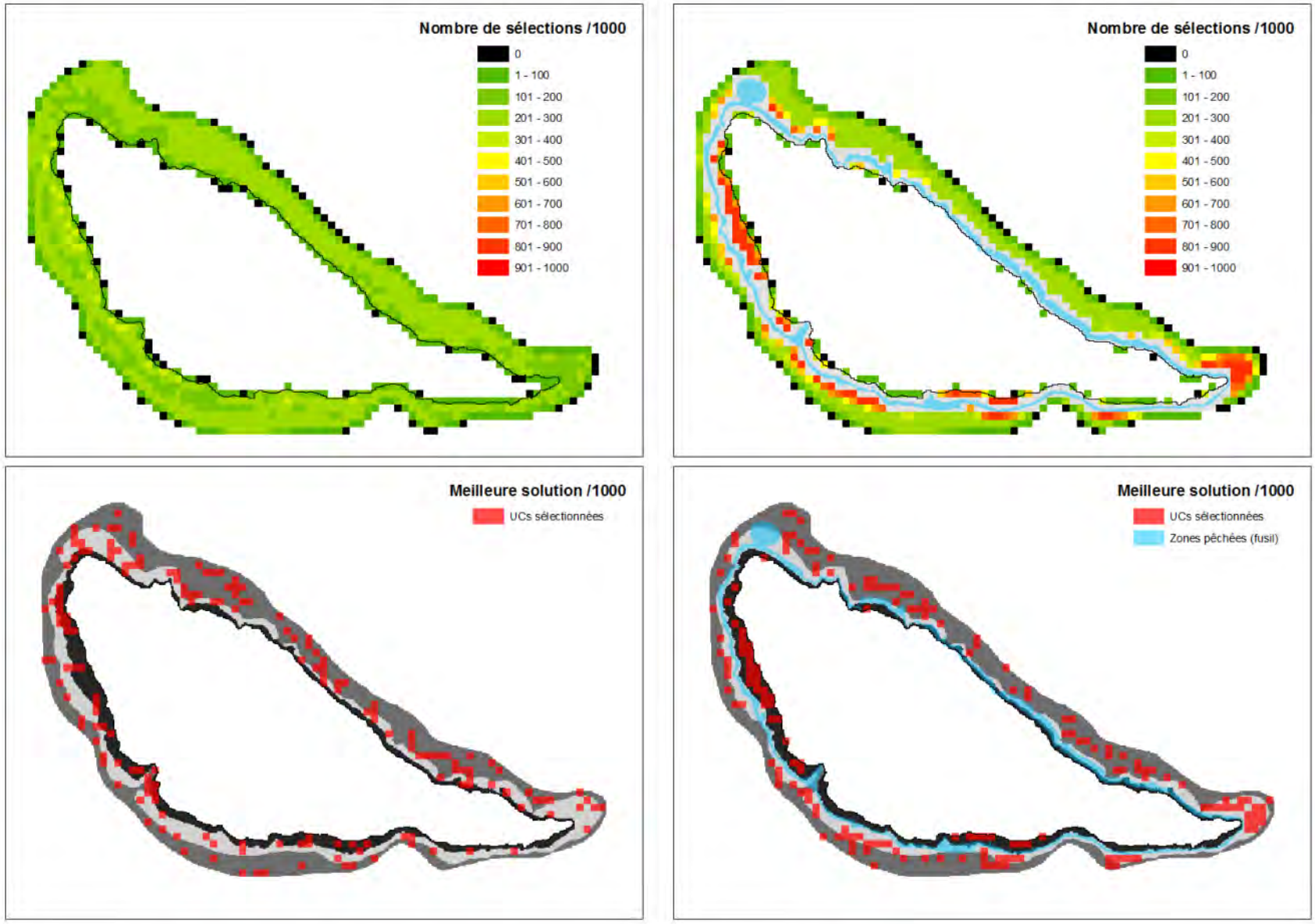


Figure 53. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Futuna, 1000 fois, pour des UCs de 200 x 200m et des habitats coralliens géomorphologiques.
La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite.
Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

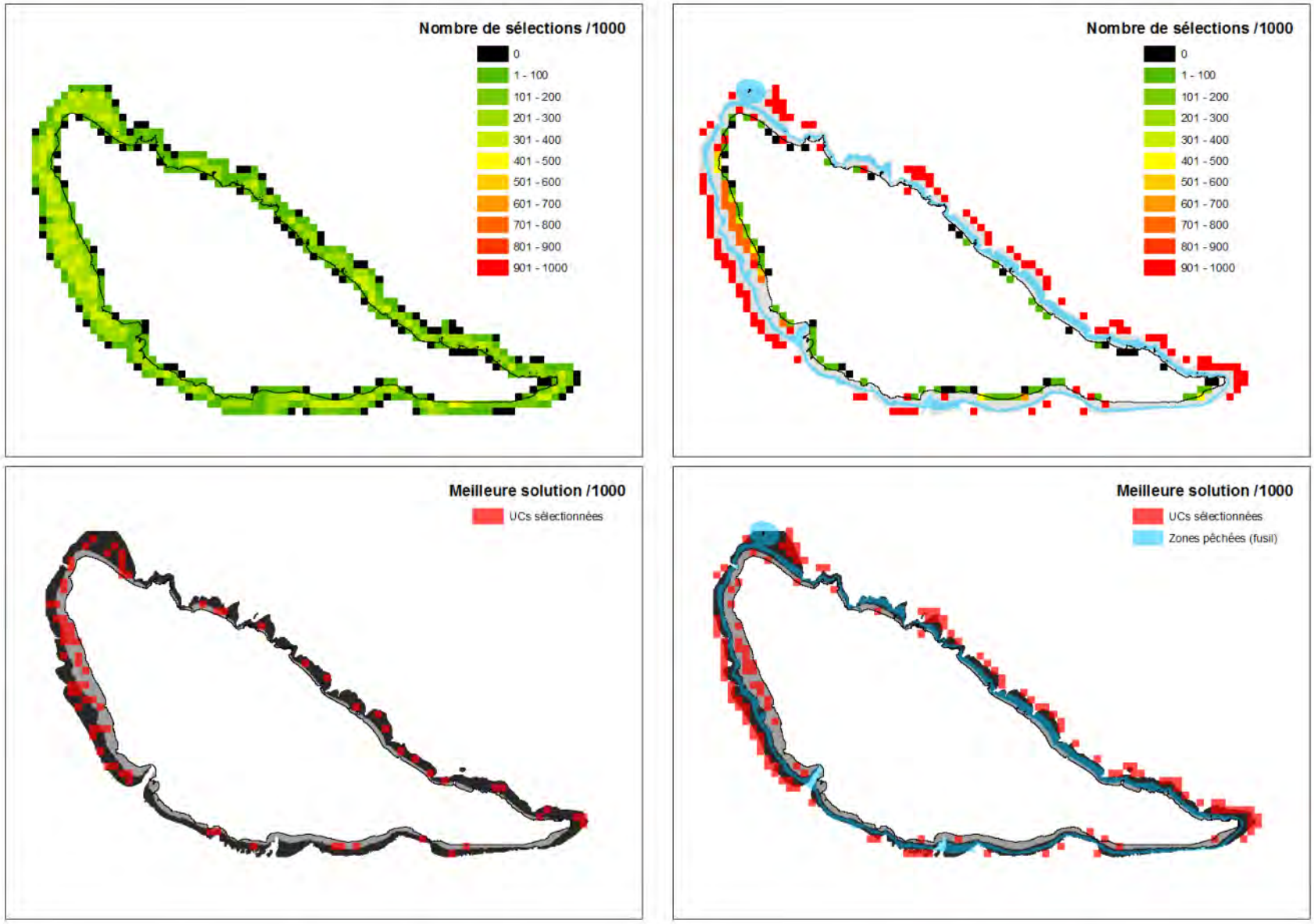


Figure 54. Résultats de l'exécution des deux scénarios pour Futuna, 1000 fois, pour des UCs de 200 x 200m et des habitats coralliens détaillés aux niveaux géomorphologique et benthique. La sélection est basée sur tous habitats coralliens à gauche, et sur les habitats coralliens non fréquentés par les pêcheurs au fusil à droite. Les figures du haut représentent la fréquence de sélection des UCs. Les figures du bas représentent les meilleures solutions proposées par Marxan sur les 1000 exécutions de chaque scénario.

REFERENCES

Andréfouët, S., and G. Dirberg. 2006. Cartographie et inventaire du système récifal de Wallis, Futuna et Alofi par imagerie satellitaire Landsat 7 ETM+ et orthophotographies aériennes à haute résolution spatiale. Conventions Sciences de la Mer, Biologie Marine. Institut de Recherche pour le Développement, Nouméa.

Andréfouët, S., T. McCallum, M. Dalleau, C. Wabnitz, and C. Chauvin. 2008. Définition d'aires marines protégées pour la conservation de la biodiversité du système récifo-lagonaire de Wallis. Conventions Sciences de la Mer, Biologie Marine. Institut de Recherche pour le Développement, Nouméa.

Andréfouët, S., F. E. Muller-Karger, J. A. Robinson, C. J. Kranenburg, D. Torres-Pulliza, S. A. Spraggins, and B. Murch. 2006. Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications: a view from space. Pages 1732-1745. in Y. Suzuki, T. Nakamori, M. Hidaka, H. Kayanne, B. E. Casareto, K. Nadaoka, H. Yamano, M. Tsuchiya, and K. Yamazato, editors. 10th ICRS. Japanese Coral Reef Society, Okinawa, Japan.

Ball, I. R., H. P. Possingham, and M. Watts. 2009. Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritisation in A. Moilanen, K. A. Wilson, and H. P. Possingham, editors. Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools. Oxford University Press, Oxford, UK.

Carwardine, J., W. A. Rochester, K. S. Richardson, K. J. Williams, R. L. Pressey, and H. P. Possingham. 2007. Conservation planning with irreplaceability: does the method matter? Biodiversity and Conservation **16**:245-258.

Černý, V. 1985. Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. Journal of Optimization Theory and Applications **45**:41-51.

Game, E. T., and H. S. Grantham. 2008. Marxan User Manual : For Marxan version 1.8.10. University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, and Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada.

Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi. 1983. Optimization by Simulated Annealing. Science **220**:671-680.

Possingham, H. P., I. R. Ball, and S. Andelman. 2000. Mathematical methods for identifying representative reserve networks. Pages 291-305 in S. Ferson, and M. Burgman, editors. Quantitative methods for conservation biology. Springer-Verlag, New York.

Annexes:

Title: Compromises between international habitat conservation guidelines and small-scale fisheries in Pacific island countries.

Authors
Mélanie A. HAMEL[1, 2*] (melanie.hamel@my.jcu.edu.au)
Serge ANDRÉFOUËT[1] (serge.andrefouet@ird.fr)
Robert L. PRESSEY[2] (bob.pressey@jcu.edu.au)

Affiliations
[1]Institut de Recherche pour le Développement, Centre de Nouméa, B.P. A5, 98848, Nouméa, New-Caledonia.
[2]ARC Centre of Excellence for Coral Reef Studies, James Cook University, Townsville, QLD 4811 Australia.
[*]present address

Running title: Conservation and fisheries in Pacific islands

Keywords: conservation planning, marine protected areas, reef fisheries, habitat maps, Pacific islands, CBD, conservation targets, Millennium Coral Reef Mapping Project

Abstract

Wallis, Alofi and Futuna are three small islands in the central Pacific Ocean, characterized by different reef geomorphologies. Following a request from the local Environment Service, we developed an indicative conservation plan for each island with two objectives: 1) representing 20% of the extent of each coral reef habitat within no-take areas while 2) keeping all subsistence fishing grounds open for extraction. The first objective was more ambitious than the current Convention on Biological Diversity (Aichi) targets. We found that both objectives could not be achieved simultaneously and that large compromises are needed. Due to the small size of these islands, and the dependence of local communities on coral reef resources, the fishery objective significantly limited the extent of most habitats available for conservation. The problem is exacerbated if the conservation plan uses larger conservation units and more complex habitat typologies. Our results indicate that international conservation guidelines should be carefully adapted to small Pacific islands and that incentives to reduce available fishing grounds will probably be needed.

Introduction

As a response to increasing global and local threats to marine and coastal ecosystems, a worldwide system of plans of action with ambitious conservation guidelines has been established by the international community (Butchart et al. 2010; Wabnitz et al. 2010). These guidelines typically target percentage representation of marine and coastal habitats within marine protected areas (MPAs) with various levels of restrictions within the seven IUCN protected area management categories ((IUCN 2008; WCPA forthcoming)).. If reached successfully, these representation objectives are expected to help protect habitats, promote the viability of species, and ensure long-term and sustainable benefits to fisheries, thus sustaining economies and livelihoods.

In 2003, participants in the Cross-cutting Theme on Marine Issues at the Vth IUCN World Parks Congress in Durban, South Africa, called on the international community to include in networks of marine protected areas (MPAs) at least 20-30% of each marine habitat

by 2012 (IUCN World Parks Congress 2005). Since then, targets such as these have been identified for countries or whole regions. Regional action plans, for example in the Coral Triangle (Coral Triangle Initiative 2008), target protection in no-takes areas of at least 20% of habitat associated with coral reefs. Launched in 2006, the Micronesia Challenge aimed at effectively conserving at least 30% of near-shore marine resources by 2020 (The Micronesia Challenge 2006). The USA's national conservation strategy aims at protecting at least 20% of all coral reefs and associated habitats in each major island group and Florida (United States Coral Reef Task Force 2000). In 2009, France planned to protect 10% of the total French Exclusive Economic Zone by 2012, with a mid-term goal of 20-30% in 2020 (Le Grenelle de la Mer 2009). In Choiseul, in Solomon Islands, the local conservation strategy aims to protect 10% of the original extent of each terrestrial and marine ecosystem (Lipsett-Moore et al. 2010).

In 2010, based on the last meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity in Nagoya, Japan, the previous 20-30% global targets were revised and the new objective is to protect "through effectively and equitably managed, ecologically representative and well connected systems of protected areas and other effective area-based conservation measures" 10% of coastal and marine areas by 2020 (UNEP/CBD/COP/10/X/2 2010). Following these revisions, but recognising that percentages larger than 10% are likely needed in the longer term for efficient conservation (Gaines et al. 2010; Rodrigues and Gaston 2001; Svancara et al. 2005), we ask about the achievability of global conservation objectives in regions where people depend heavily on marine habitats and associated resources for day-to-day survival.

Although quantitative conservation objectives are a foundation for systematic conservation planning (Margules and Pressey 2000) and a common tool in policy, many conservation plans based on strict and ambitious targets are either infeasible or ineffective in the short term (Agardy et al. 2003; Mace et al. 2010; Wood 2011), mainly because of limited funds, inadequate biological or socioeconomic data, and insufficient areas available for conservation. The question of the ecological relevance of targets and general conservation guidelines already fires a heated debate in the scientific community (Carwardine et al. 2009) but the difficulty of complying with these recommendations is not yet well addressed. This difficulty is exacerbated in small, developing Pacific Island countries where marine and coastal habitats are heavily exploited for subsistence (Bell et al. 2009; Dalzell et al. 1996; Govan et al. 2009). Indeed, because of their small sizes and the dependence of local communities on coastal resources, these countries might be unable to balance extreme management actions such as the closure of near-shore fisheries and the protection of habitats. Finding areas available for conservation that are not used for resource extraction can be difficult, and, if fishing grounds are to be closed, there is often limited scope for compensating resource users or finding them alternative livelihoods (Govan et al. 2009). Consequently, tensions are likely in Pacific Island countries between resource users and proponents of conservation (Hviding 2006).

In this paper, we demonstrate the conflict between ambitious conservation objectives based on the past upper range of international conservation guidelines and small-scale fisheries objectives for the three Pacific islands of Wallis, Alofi and Futuna, a French overseas territory where coral reef habitats are mainly exploited for subsistence. Specifically, we show the spatial extent of the trade-off between sets of objectives for conservation and fisheries. In this case, we considered the best protection option for marine habitats and associated resources (i.e. the implementation of no-take zones) and the best case scenario for fisheries (i.e. no protection or management measure on current fishing grounds). Different sizes of potential no-take zones and different habitat data were tested to understand their influence on the trade-offs between types of objectives.

Materials and methods

Study sites and context

Wallis (also named *Uvea*), Alofi and Futuna are three Polynesian high islands belonging to the French Territory of Wallis and Futuna Islands, in the central South Pacific (Fig. 1 a, b). Both Wallis and Futuna, the largest islands, are inhabited. Alofi is uninhabited but used daily by Futuna habitants for agriculture, fishing and leisure. The three islands vary in size and in habitat complexity.

Because tourism is not well developed, demand for reef fish is confined to local communities, who exploit the reefs and lagoons for their own subsistence. Almost a third of the population practises artisanal small-scale fishing in Wallis, Alofi and Futuna, mostly with nets and speargun (Egretaud et al. 2007a, b). Most catches are either eaten by the fishers themselves or exchanged or given away, with the remainder sold to buy fuel for fishing boats. The total lagoon fishery production, estimated at 200-300 tonnes per year (Kronen et al. 2008; Ministère de l'Outre-Mer 2011), is lower than the local demand, estimated at 900 tonnes per year (Egretaud et al. 2007b). This suggests that marine conservation actions will be problematic, especially if it involves bans on local extraction of marine resources.

Thus far, there are no MPAs in Wallis, Alofi and Futuna that have been integrated into a territorial management plan (Verducci and Juncker 2007). However, three small informal customary MPAs have been established in Wallis, based on a *ad hoc* decisions between local fishermen, customary authorities, and the Territorial Environment Service (Egretaud et al. 2007b). Wide agreement among both the local communities and authorities to increase the protection of these islands' reefs and manage their resources led the local authorities to launch a territorial Management Plan for Marine Areas (in French, *Plan de Gestion des Espaces Maritimes*). Based on France's national biodiversity strategy (Ministère de l'Écologie du Développement durable des Transports et du Logement 2011) which parallells the 20 Aichi biodiversity targets (REF?), Wallis future territorial management plan aims to move from the existing informal reserves to a new system of efficient MPA network at the territory level.

Objectives for the indicative conservation plan for this study

An indicative conservation plan was set up for the three islands to reflect objectives of the Territorial Environment Service, with two sets of objectives based respectively on international habitat conservation guidelines and local fishery requirements. Wallis managers initially considered the guidelines of the previous CBD Strategic Plan. This 2002-2010 plan targeted a mid- to long-term protection of 20-30% of all habitats (IUCN World Parks Congress 2005). They also first considered a network of no-take areas as the most efficient tool to provide rapid and evident ecological benefits to this islands. Thus, for this study, the conservation objective was to include 20% of the total extent of each habitat within no-take areas. In practice, this is a much more ambitious target than the new CBD's targets (*Aichi target 11 in the CBD decision UNEP/CBD/COP/DEC/X/).* The new CBD guidelines consider a minimum of 10% of habitats areas covered by different levels of protection and permitted activities. Here, the fishery objective was intended to avoid conflicts with local communities highly dependent on reef habitats both culturally and economically. It prevented the main current fishing grounds for nets and spearguns from being identified as no-take areas. The data and analyses below allowed an assessment of the extent to which these potentially conflicting objectives can be reconciled.

Coral reef habitat maps

Two types of habitat maps with two levels of detail were used (see detailed methods in Andréfouët and Dirberg 2006). First, a high-resolution geomorphic habitat map (hereafter the

"geomorphic" map) of the three islands was derived from the Millennium Coral Reef Mapping Project (Andréfouët et al. 2006). Millennium Coral Reef Mapping Project maps were all created from Landsat 7 ETM+ satellite imagery at 30 m spatial resolution. Second, a very high-resolution detailed habitat map (hereafter the "geomorphic + benthic" map), combining geomorphic attributes and benthic data, was derived from digital aerial photographs at 2 m spatial resolution (see (Andréfouët and Dirberg 2006), (Andréfouët et al. 2007), and Dalleau et al. (2010) for more information on these maps). In Wallis, Alofi and Futuna, geomorphic habitats were respectively described in 16, 4 and 3 thematic classes. The combination of data in the geomorphic + benthic maps allowed habitats to be described in 55, 6 and 3 thematic classes, excluding land features. To understand how map type would affect the feasibility of conservation and fishery objectives, all analyses were conducted for both habitat maps.

Fishing grounds data

In 2006, an environmental study was conducted in Wallis, Alofi and Futuna to initiate the *Plan de Gestion des Espaces Maritimes* (Egretaud et al. 2007a, b). Socio-economic and environmental data were collected to map the different uses of the marine environment and to understand the views and expectations of stakeholders in terms of management. The fishery geographic information system includes the boundaries of coral reef fishing grounds, itemized for different fishing gears and techniques (gleaning, line, speargun, net, and informal offshore fishing). For our analysis, we focused on net and speargun fisheries because they were the dominant gears. For Alofi and Futuna, only speargun data were available.

Conservation units

Each island of interest was partitioned into manageable conservation units by superimposing a grid of square cells on all areas containing coral reef habitats on the maps. To understand whether the size of conservation units would affect the feasibility of reconciling conservation and fishery objectives, all analyses were conducted for two different sizes of conservation units (500 x 500 m and 200 x 200 m, hereafter "large" and "small", respectively).

Reef area left available for conservation

The set of possible no-take areas or areas left for conservation considered in these analyses initially excluded all fished units. For each combination of island / habitat map / size of conservation unit, we first measured the proportion of conservation units available for conservation when all fishing areas were left open. Within all conservation units (fished, and unfished), we computed the number of habitats (excluding land features) and their extent, and the occurrence of net or speargun fishing. Then we measured the proportion of habitats that could potentially meet the 20% objective within unfished conservation units. All data were analysed using ESRI® ArcMap™ 10.0 and R (R Development Core Team 2008).

Trade-off between objectives for habitat conservation and small-scale fisheries

Conservation objectives were fully achieved when 100% of habitats could meet the 20% objective. Full achievement of the fishery objective meant that 100% of initial fished units were available for harvest. We measured the actual extent to which conservation objectives must be compromised to fully achieve the fishery objective, and *vice versa*. For this, we created trade-off curves with Marxan (Ball et al. 2009; Possingham et al. 2000), a software system for systematic conservation planning. Fished conservation units were attributed a cost of 1. Non-fished conservation units had zero cost.

We applied Marxan iteratively, starting with the set of unfished conservation units (full achievement of the fishing objective) and progressively increasing the percentage of fished conservation units to be considered as potential reserves (allowing increasing achievement of the habitat conservation objectives). To do this, we defined a series of increasing cost thresholds by the percentages of the total fished conservation units that could be moved to no-take zones: from 0 to 100% in 10% increments. For each of these 11 cost thresholds, 1000 different sets of conservation units were selected to meet the objectives. Across these 1000 repeat runs, we selected the best solution (with the lowest total cost) for each percentage threshold. For each threshold, we recorded the proportion of habitats that would meet their objectives in the best solution.

Results

Avoiding *a priori* any fishing ground in no-take areas had a large impact on the number of conservation units available for conservation, and on the extent of habitats that could be protected. At best, for both sizes of conservation units, about 60% of the potential conservation units would be left available in both Wallis and Futuna, and about 20% in Alofi (Fig. 2). In these sets of available conservation units, a substantial proportion of the total number of habitats could not meet the 20% objective (unrepresented and under-represented habitats in Fig. 3).

Fig. 4 shows the spatial distribution of unrepresented and under-represented habitats. Fig. 5 shows the extent of each habitat left available for conservation (see Table 1 and Table 2 for lists of specific under-represented and unrepresented habitats types and percentage representation in unfished areas). Fringing reefs are of concern over the three islands. All geomorphic fringing reef classes (3/3 for either size of conservation unit) (Table 1) and most geomorphic + benthic fringing reef classes (11/13 for smaller conservation units, 12/13 for larger ones) (Table 2) could not meet their 20% objectives. In Wallis, barrier reef and channel habitats would also be under-protected, especially when considering geomorphic + benthic habitats and larger conservation units (10/26 classes, against 5/26 for smaller units). In addition, none of the seagrass beds (4/4 geomorphic + benthic classes) would be represented in Wallis. Using smaller conservation units in Futuna would allow all three geomorphic + benthic habitats to meet their conservation objectives. Overall, conservation objectives cannot be fully achieved if all fishing grounds are avoided, except for Futuna when geomorphic habitats and smaller conservation units are considered.

The trade-off analyses showed that if local communities harvested 100% of their fishing grounds (full achievement of the fishery objective), only 69% of all Wallis habitats and 75% of Alofi habitats, at best, can meet their conservation objectives (Fig. 6). In contrast, for all habitats to be reach their objectives, at least 20% of fished conservation units must be made available for conservation in Wallis and Alofi. In general, geomorphic habitats could meet their conservation objectives with less impact on fisheries than geomorphic + benthic habitats. The habitat conservation objectives were also achieved with less impact on fisheries when smaller conservation units were used. A combination of geomorphic habitats and smaller conservation units reduced (Wallis, Alofi) or eliminated (Futuna) the trade-off between conservation and fishery objectives. Modifying sizes of conservation units and habitat maps had the greatest impact on the trade-off in Futuna, the simpler island in terms of habitats.

Discussion

Using 20% habitat conservation targets within no-take areas appears incompatible with the socio-economic context of small Pacific island countries such as Wallis, Futuna and Alofi. Managers and conservation planners worldwide are already well aware of the trade-off

needed between conservation and fisheries objectives (see Proceedings of the Fourth World Fisheries Congress: Reconciling Fisheries with Conservation, 2004), and MPA designs now account for local socio-economic constraints (Klein et al. 2008). Here, we quantified the extent of trade-offs needed to reconcile two conflicting strict objectives, in the particular context of small tropical coral reef islands, rich in habitats, limited in extent, and with high levels of use for daily subsistence, and thus with limited scope to favour habitat protection over food security.

To our knowledge, no study has previously assessed the extent of the compromises needed between fisheries and strict habitat conservation in this tropical island context. Our analyses, based on immediately available data sets, provide quantitative and spatially explicit answers to questions about compromises between core objectives for managing marine regions. We found that achievement of both strict conservation and fishery objectives is generally not possible in Wallis, Alofi and Futuna, regardless of the habitat maps and sizes of conservation units considered. However, although the 20% in no-take areas objectives were not all achievable without reducing fishing areas, the achievement of objectives for specific habitats was greatly influenced by the type of habitat maps and the size of the conservation units, so choosing these variables carefully is fundamental to understanding such trade-offs.

Our results show that using more detailed habitats makes the achievement of habitat objectives more difficult. Very detailed habitat maps provide a finer description of physical and biological variation across reef systems, and Dalleau et al. (2010) suggested that finer-resolution coral reef habitats might also be better surrogates of species diversity. However, finer-resolution maps also contain more habitat classes that need to be represented in conservation designs. For any region, more habitat classes mean more complex boundaries between habitats and more occurrences of rare and small patches of habitats. For a given size of conservation unit, more complex maps require larger areas to achieve the same percentage targets as simpler maps, even though the percentage targets require, in principle, identical percentages of study areas. The reason for this increase in required conservation area is the greater mismatch between the boundaries of conservation units and those of more detailed habitat classes, as demonstrated for terrestrial planning by Pressey and Logan (1995).

Decisions about the sizes of conservation units also influence the potential to achieve both habitat conservation and fishery objectives. In general, smaller conservation units allow a more exact habitat representation, for any given spatial and thematic resolution of map, in the sense that fewer objectives are over-achieved (see Mills et al. 2010 for coral reefs; Pressey and Logan 1995; 1998 for land systems). Our findings agree with these studies, showing that smaller conservation units lead to easier compromises. However, the appropriate size of conservation units must be decided taking account of other factors such as data resolution, manageability, and effectiveness of conservation actions in the long-run (Gaines et al. 2010; Mills et al. 2010).

Prioritizing the fishery objective in Wallis, Alofi and Futuna, as requested by the Territorial Environment Service, resulted in a deficit of reef areas available for conservation. The consequences were that several habitat types could not be protected at all, or could only partially achieve their objectives. These results were expected because several types of reef habitats are preferentially used by net and speargun fishermen for their accessibility, exposure, and resource abundance.

An extreme response to avoiding conflicts between conservation and fishery objectives is to abandon heavily fished or overfished areas to further extraction. However, failing to protect such areas from further fishing is likely to preclude their ability to restore or enhance stocks, and ignores the potential benefits of spillover of larvae and adults to supplement other fished areas. Therefore, avoiding conflicts at all costs might not be the best strategy in the long run, even to maximize benefits of fishermen themselves. Although subject

to controversy, there is a now a wide body of work demonstrating the benefits of MPAs for adjacent fisheries (Harrison et al. 2012; Hilborn et al. 2004; Kaiser 2005; Roberts et al. 2001; Russ et al. 2004). To incorporate these perspectives, our indicative conservation designs could be refined by considering past fishing activities, fishing pressure and yields, and the locations of potential MPAs relative to fished areas.

The achievement of strict objectives for both fisheries and conservation as we defined them here for small Pacific islands is clearly not feasible without compromises on both sides. Methods to identify achievable, realistic objectives early in the process of conservation planning are needed urgently for these countries. By achievable, we mean objectives that can actually be reached through effective conservation and management actions, not simply on paper. By realistic, we mean conservation objectives that converge towards the strict application of international objectives while allowing some flexibility to minimize socio-economic impacts on local communities heavily dependent on fishing. On the fisheries side, objectives must allow flexibility to minimize impacts on targeted species, other species, and physical habitats.

Current international guidelines such as the Aichi targets have moderated their options through time to allow some flexibility for complying countries. If no-take areas possibly remain the best protection option for marine habitats and associated resource (REF), they are also the most difficult to implement. Low level of compliance may be expected especially in small countries that heavily depend on marine habitats and associated resources as in the Pacific Islands. There is now a multitude of management arrangements derived from- or other than no-take areas (see for example Agardy et al. 2011; Cinner and Aswani 2007; Gaines et al. 2010; Mills et al. 2011). For instance, IUCN protected area management categories offer a range of options to avoid the drastic trade-offs demonstrated in this paper. They should allow the implementation of efficient protection measures with different levels of restrictions adapted to each objective. Incentives to accept marine conservation measures are also being investigated and include compensatory services such as schools or medical facilities (e.g. Aswani and Weiant 2004) and buyouts or alternative livelihoods (e.g. Jones and Qiu 2011; Niesten and Gjertsen 2010). For islands where most fishing activities provide food for subsistence, incentives might also need to include additional imports of food. Our analyses show that the extent of trade-offs between objectives and the need for such incentives can be demonstrated readily. Appropriate responses to tradeoffs must then be formulated amongst the affected communities, decision makers concerned with fisheries and conservation, and conservation scientists.

Acknowledgements

We thank the *Service Territorial de l'Environnement* of Wallis and Futuna for funding this study and making the territorial management plan for marine areas data available (Egretaud et al. 2007a, b). MAH and RLP acknowledge the support of the Australian Research Council.

References

Agardy T., Bridgewater P., Crosby M.P. *et al.* (2003) Dangerous targets? Unresolved issues and ideological clashes around marine protected areas. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* **13**, 353-367.

Agardy T., di Sciara G.N., Christie P. (2011) Mind the gap Addressing the shortcomings of marine protected areas through large scale marine spatial planning. *Marine Policy* **35**, 226-232.

Andréfouët S., Dirberg G. (2006) Cartographie et inventaire du système récifal de Wallis, Futuna et Alofi par imagerie satellitaire Landsat 7 ETM+ et orthophotographies aériennes à haute résolution spatiale. *Conventions Sciences de la Mer, Biologie Marine.* Institut de Recherche pour le Développement, Nouméa.

Andréfouët S., Muller-Karger F.E., Robinson J.A. *et al.* (2006) Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications: a view from space. pp. 1732-1745. in Y. Suzuki, T. Nakamori *et al.* editors. *10th ICRS.* Japanese Coral Reef Society, Okinawa, Japan.

Andréfouët S., Wabnitz C., Chauvin C. (2007) Aide à la définition d'aires marines protégées pour la conservation de la biodiversité du système récifo-lagonaire de Wallis. 1ere Partie : Compilation et validation des données biologiques et habitats. Rapport Intermédiaire. p. 18pp. *Conventions Sciences de la Mer, Biologie Marine.* Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Nouméa, New Caledonia.

Aswani S., Weiant P. (2004) Scientific evaluation in women's participatory management: Monitoring marine invertebrate refugia in the Solomon Islands. *Human Organization* **63**, 301-319.

Ball I.R., Possingham H.P., Watts M. (2009) Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritisation. in A. Moilanen, K.A. Wilson, H.P. Possingham editors. *Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools.* Oxford University Press, Oxford, UK.

Bell J.D., Kronen M., Vunisea A. *et al.* (2009) Planning the use of fish for food security in the Pacific. *Marine Policy* **33**, 64-76.

Butchart S.H.M., Walpole M., Collen B. *et al.* (2010) Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science* **328**, 1164-1168.

Carwardine J., Klein C.J., Wilson K.A., Pressey R.L., Possingham H.P. (2009) Hitting the target and missing the point: target-based conservation planning in context. *Conservation Letters* **2**, 3-10.

Cinner J.E., Aswani S. (2007) Integrating customary management into marine conservation. *Biological Conservation* **140**, 201-216.

Coral Triangle Initiative. (2008) Regional Plan of Action.

Dalleau M., Andrefouet A., Wabnitz C. *et al.* (2010) Use of habitats as surrogates of biodiversity for efficient coral reef conservation planning in Pacific Ocean islands. *Conservation Biology* **24**, 541-552.

Dalzell P., Adams T.J.H., Polunin N.V.C. (1996) Coastal fisheries in the Pacific islands. *Oceanography and Marine Biology, Vol 34* **34**, 395-531.

Egretaud C., Jouvin B., Fare H., Quinquis B. (2007a) Diagnostic Environnemental de Futuna et Alofi en vue de l'établissement d'un Plan de Gestion des Espaces Maritimes (PGEM). *Composante 1A - Projet 1A2: Appui aux Aires Marines Protégées.* Coral Reef Initiatives for the Pacific (CRISP).

Egretaud C., Jouvin B., Fare H., Quinquis B. (2007b) Diagnostic Environnemental de Wallis en vue de l'établissement d'un Plan de Gestion des Espaces Maritimes (PGEM). *Composante 1A - Projet 1A2: Appui aux Aires Marines Protégées.* Coral Reef Initiatives for the Pacific (CRISP).

Gaines S.D., White C., Carr M.H., Palumbi S.R. (2010) Designing marine reserve networks for both conservation and fisheries management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **107**, 18286-18293.

Govan H., Tawake A., Tabunakawai K. *et al.* (2009) Status and potential of locally-managed marine areas in the South Pacific: meeting nature conservation and sustainable livelihood targets through wide-spread implementation of LMMAs. p. 95 + 95 annexes. SPREP/WWF/WorldFish-Reefbase/CRISP.

Harrison H.B., Williamson D.H., Evans R.D. *et al.* (2012) Larval Export From Marine Reserves and the Recruitment Benefit for Fish and Fisheries. *Current Biology*, in press.

Hilborn R., Stokes K., Maguire J.J. *et al.* (2004) When can marine reserves improve fisheries management? *Ocean & Coastal Management* **47**, 197-205.

Hviding E. (2006) Knowing and managing biodiversity in the Pacific Islands: challenges of environmentalism in Marovo Lagoon. *International Social Science Journal* **58**, 69-+.

IUCN. (2008) Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. in N. Dudley editor., Gland, Switzerland.

IUCN World Parks Congress. (2005) Vth IUCN World Parks Congress recommendations.

Jones P., Qiu W. (2011) Governing Marine Protected Areas - Getting the Balance Right. Technical report. United Nations Environment Programme.

Kaiser M.J. (2005) Are marine protected areas a red herring or fisheries panacea? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **62**, 1194-1199.

Klein C.J., Chan A., Kircher L. *et al.* (2008) Striking a balance between biodiversity conservation and socioeconomic viability in the design of marine protected areas. *Conservation Biology* **22**, 691-700.

Kronen M., Tardy E., Boblin P. *et al.* (2008) Wallis and Futuna country report: profile and results from in-country survey work (August to December 2005 and March 2006). *Pacific Regional Oceanic and Coastal Fisheries Development Programme (PROCFish, coastal component).* Pacific Regional Oceanic and Coastal Fisheries Development Programme (PROCFish/C/CoFish) / Secretariat of the Pacific Community.

Le Grenelle de la Mer. (2009) Le Livre Bleu des engagements du Grenelle de la Mer.

Lipsett-Moore G., Hamilton R., Peterson N. *et al.* (2010) Ridges to Reefs Conservation Plan for Choiseul Province, Solomon Islands. p. 53 pp. *TNC Pacific Islands Countries Report.*

Mace G.M., Cramer W., Díaz S. *et al.* (2010) Biodiversity targets after 2010. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **2**, 3-8.

Margules C.R., Pressey R.L. (2000) Systematic conservation planning. *Nature* **405**, 243-253.

Mills M., Jupiter S.D., Pressey R.L., Ban N.C., Comley J. (2011) Incorporating Effectiveness of Community-Based Management in a National Marine Gap Analysis for Fiji. *Conservation Biology* **25**, 1155-1164.

Mills M., Pressey R.L., Weeks R., Foale S., Ban N.C. (2010) A mismatch of scales: challenges in planning for implementation of marine protected areas in the Coral Triangle. *Conservation Letters* **3**, 291-303.

Ministère de l'Écologie du Développement durable des Transports et du Logement. (2011) Stratégie Nationale pour la Biodiversité 2011-2020. Ministère de l'Écologie du Développement durable des Transports et du Logement; Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.

Ministère de l'Outre-Mer. (2011).

Niesten E., Gjertsen H. (2010) Economic incentives for marine conservation. Science and Knowledge Division, Conservation International, Arlington, Virginia, USA.

Possingham H.P., Ball I.R., Andelman S. (2000) Mathematical methods for identifying representative reserve networks. pp. 291-305 in S. Ferson, M. Burgman editors. *Quantitative methods for conservation biology.* Springer-Verlag, New York.

Pressey R.L., Logan V.S. (1995) Reserve Coverage and Requirements in Relation to Partitioning and Generalization of Land Classes: Analyses for Western New South Wales

Cobertura y requerimientos de reservas en relación con la partición y generalización de las clases de tierras para el oeste de Nueva Gales del Sur. *Conservation Biology* **9**, 1506-1517.

Pressey R.L., Logan V.S. (1998) Size of selection units for future reserves and its influence on actual vs targeted representation of features: a case study in western New South Wales. *Biological Conservation* **85**, 305-319.

R Development Core Team. (2008) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Roberts C.M., Bohnsack J.A., Gell F., Hawkins J.P., Goodridge R. (2001) Effects of marine reserves on adjacent fisheries. *Science* **294**, 1920-1923.

Rodrigues A.S.L., Gaston K.J. (2001) How large do reserve networks need to be? *Ecology Letters* **4**, 602-609.

Russ G.R., Alcala A.C., Maypa A.P., Calumpong H.P., White A.T. (2004) Marine reserve benefits local fisheries. *Ecological Applications* **14**, 597-606.

Svancara L.K., Brannon R., Scott J.M., Groves C.R., Noss R.F., Pressey R.L. (2005) Policy-driven versus evidence-based conservation: A review of political targets and biological needs. *Bioscience* **55**, 989-995.

The Micronesia Challenge. (2006) Declaration of Commitment: 'The Micronesia Challenge'.

UNEP/CBD/COP/10/X/2. (2010) Strategic plan for biodiversity 2011-2020. *Conference of the parties to the Convention on Biological Diversity (Tenth meeting).* Nagoya, Japan, 18–29 October 2010.

United States Coral Reef Task Force. (2000) The National Action Plan To Conserve Coral Reefs. Washington, D.C., March 2, 2000.

Verducci M., Juncker M. (2007) Faisabilité de la mise en place d'un Plan de Gestion des Espaces Maritimes (PGEM) à Alofi, Futuna et Wallis. Rapport de mission. *Composante 1A - Projet 1A2: Appui aux Aires Marines Protégées.* Coral Reef Initiatives for the Pacific (CRISP).

Wabnitz C.C.C., Andréfouët S., Muller-Karger F.E. (2010) Measuring progress toward global marine conservation targets. *Frontiers in Ecology and the Environment* **8**, 124-129.

WCPA. (forthcoming) Guidelines for applying the IUCN Protected Area Management Categories to Marine Protected Areas (supplementary to the 2008 Guidelines). in IUCN editor., Gland.

Wood L. (2011) Global Marine Protection Targets: How S.M.A.R.T are They? *Environ Manage* **47**, 525-535.

X. (2004) Reconciling Fisheries with Conservation: Proceedings of the Fourth World Fisheries Congress. in J. Nielsen, J.J. Dodson, K. Friedland, T.R. Hamon, J. Musick, E. Verspoor editors. *Fourth World Fisheries Congress.* American Fisheries Society, Vancouver, B.C.

Figures legends

Figure 1. Location of Wallis, Alofi and Futuna islands (a, b) and main reef features of Futuna and Alofi (c) and Wallis (d).

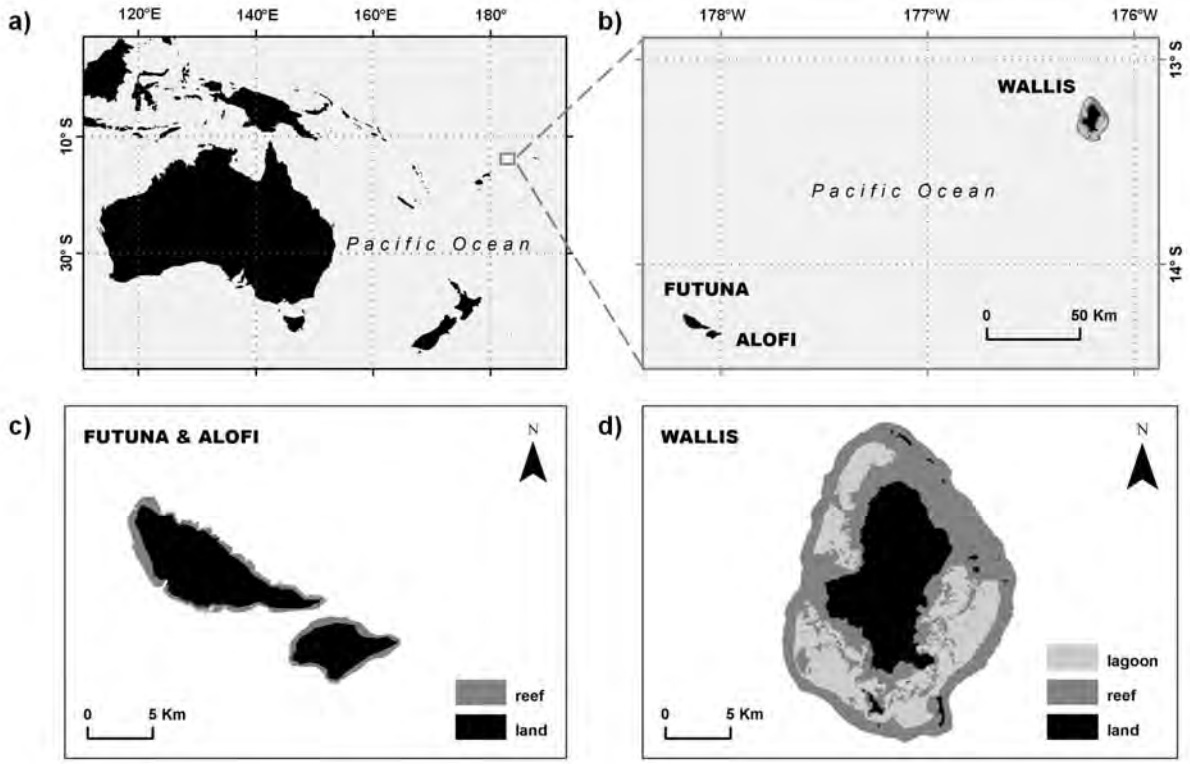
Figure 2. Percentages of large and small conservation units fished (with speargun and net) or available for habitat conservation in Wallis, Alofi and Futuna.

Figure 3. Percentages of habitats that were under-represented or unrepresented in units available for conservation after exclusion of fished units. Under-represented habitats are those for which conservation objectives were only partially achievable (less than 20% of total extent available for conservation). Unrepresented habitats were those that could not be protected at all because their entire extents were fished. Figures are shown for the three islands (Wallis, Alofi and Futuna), two sizes of conservation units (500 x 500 m and 200 x 200 m), and two types of maps (geomorphic in blue, and geomorphic + benthic in red). We considered 16 geomorphic habitats and 55 geomorphic + benthic habitats for Wallis, 4 geomorphic habitats and 6 geomorphic + benthic habitats for Alofi, and 3 geomorphic habitats and 3 geomorphic + benthic habitats for Futuna.

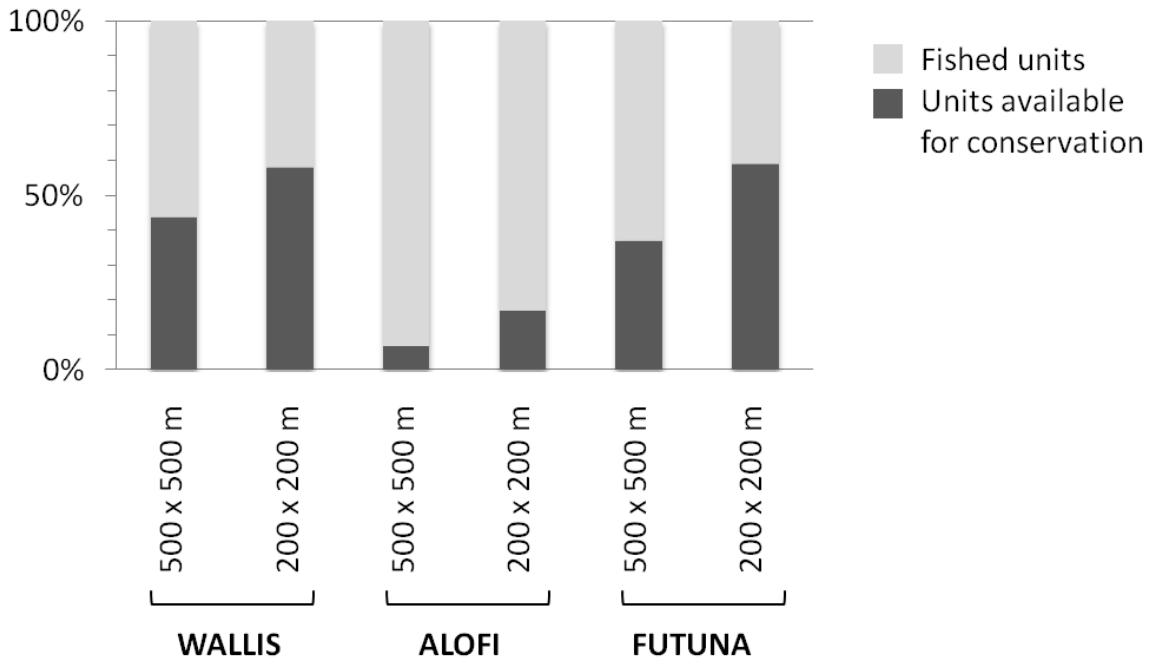
Figure 4. Spatial patterns of under-represented and unrepresented habitat types in units available for conservation after exclusion of fished units, both shown in red. Under-represented and unrepresented habitats were those for which conservation objectives were only partially achievable (more than 80% of total extent unavailable for conservation, so less than 20% available) or not achievable, respectively. Effects of exclusion of fished conservation units are shown for each island, two sizes of conservation units, and two types of maps. The lower panels show the spatial footprint of net and speargun fishing in blue. For Alofi and Futuna Islands, only data on speargun fishing could be obtained.

Figure 5. Effects of exclusion of fished conservation units on the extent of individual coral reef habitats available for conservation, for the three islands, two sizes of conservation units, and two types of maps. Each bar corresponds to one habitat class. Habitat class labels have been omitted for clarity. Habitats for which conservation objectives were achievable are shown in green. The vertical green line indicates the 20% objective for each habitat. Geomorphic and geomorphic + benthic habitats for which conservation objectives were not achievable (less than 20% of total extent available for conservation) are shown respectively in blue and red. Habitats that could not be protected at all are shown with arrows.

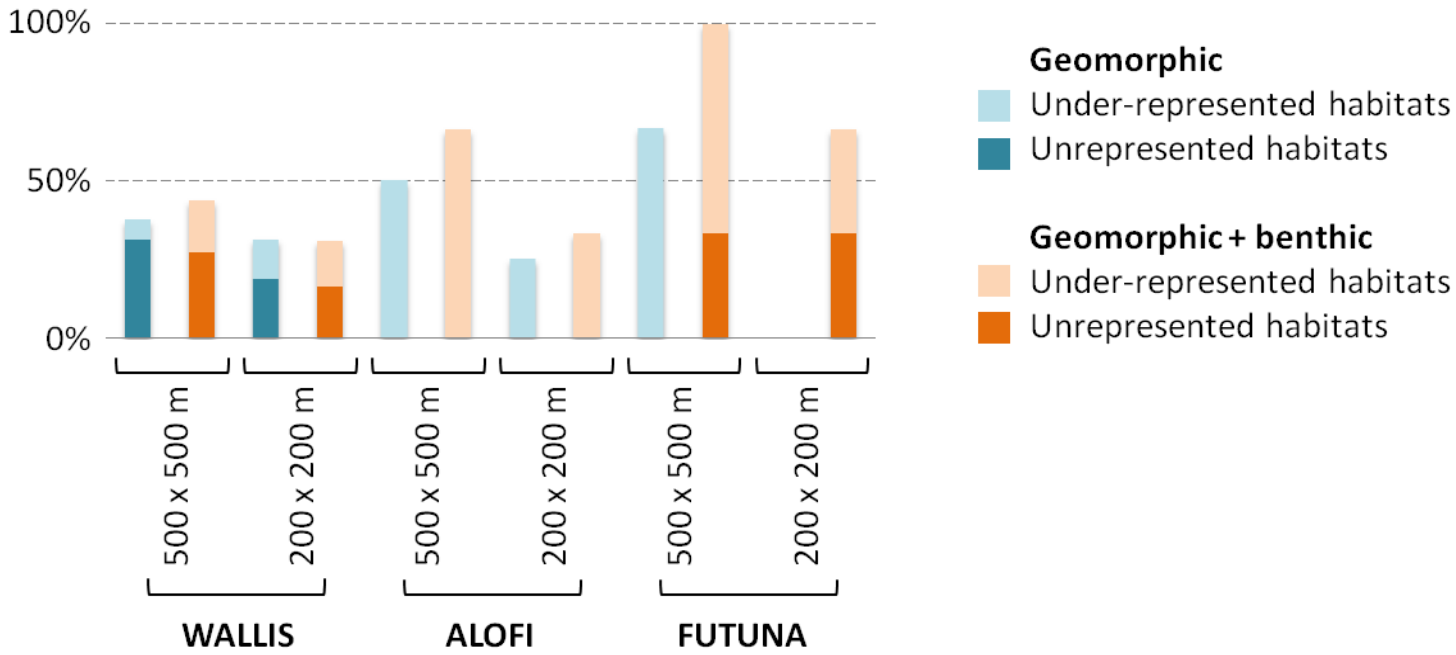
Figure 6. Trade-offs between conservation and fishery objectives in Wallis, Alofi and Futuna, for two types of maps (geomorphic and geomorphic + benthic) and two sizes of conservation units (500 x 500 m and 200 x 200 m). % conservation objective achieved corresponds to the percentage of habitats that met their 20% objectives. % fishery objective achieved corresponds to the percentage of fished conservation units excluded from the sets of conservation units selected as potential no-take areas.


a)
120°E
140°E
160°E
180°
10° S
30° S
Pacific Ocean
b)
178°W
177°W
176°W
13° S
14° S
WALLIS
Pacific Ocean
FUTUNA
ALOFI
0
50 Km
c)
FUTUNA & ALOFI
N
reef
land
0
5 Km
d)
WALLIS
N
lagoon
reef
land
0
5 Km

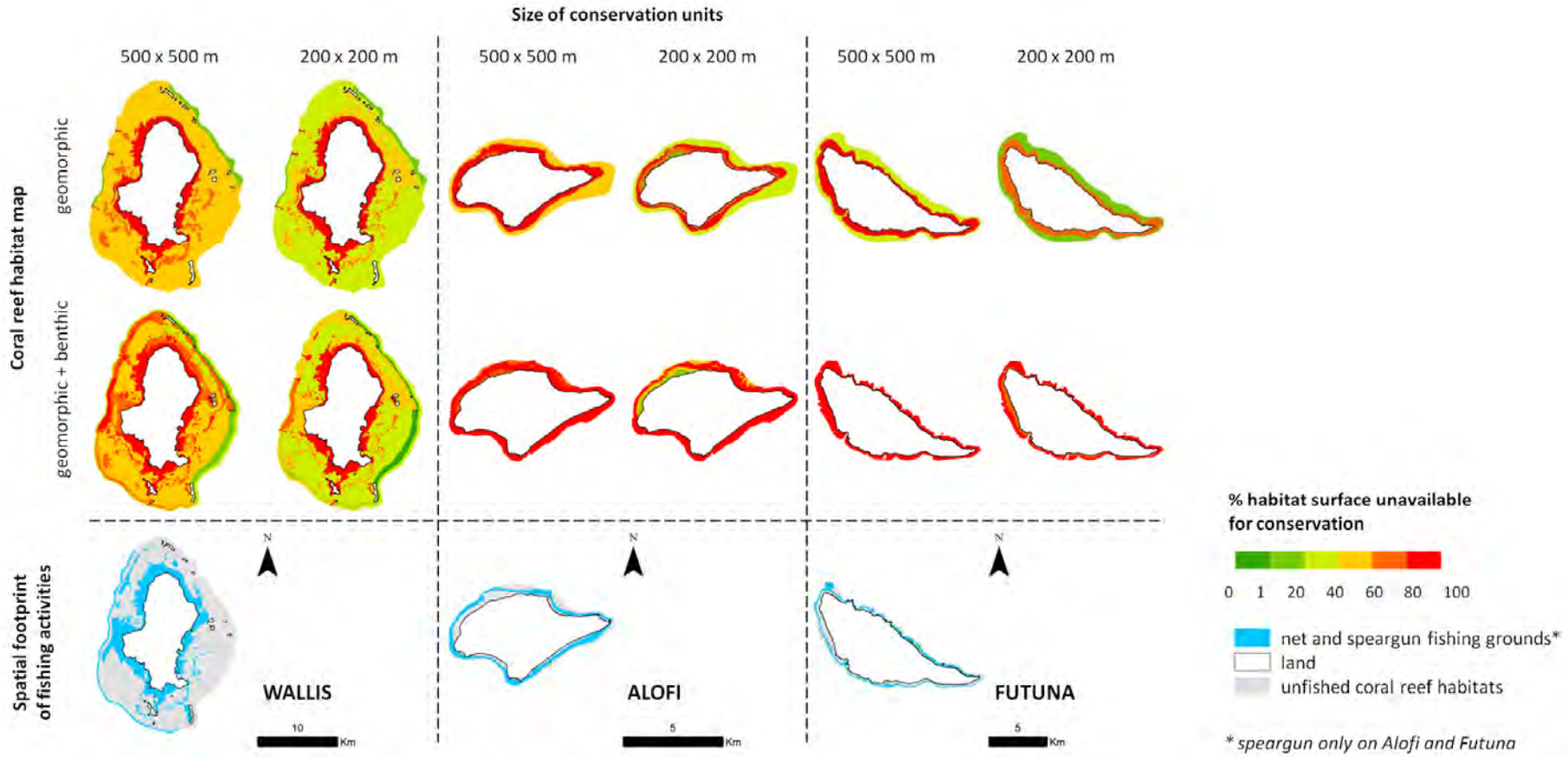
1


100%
50%
0%
Fished units
Units available for conservation
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
WALLIS
ALOFI
FUTUNA

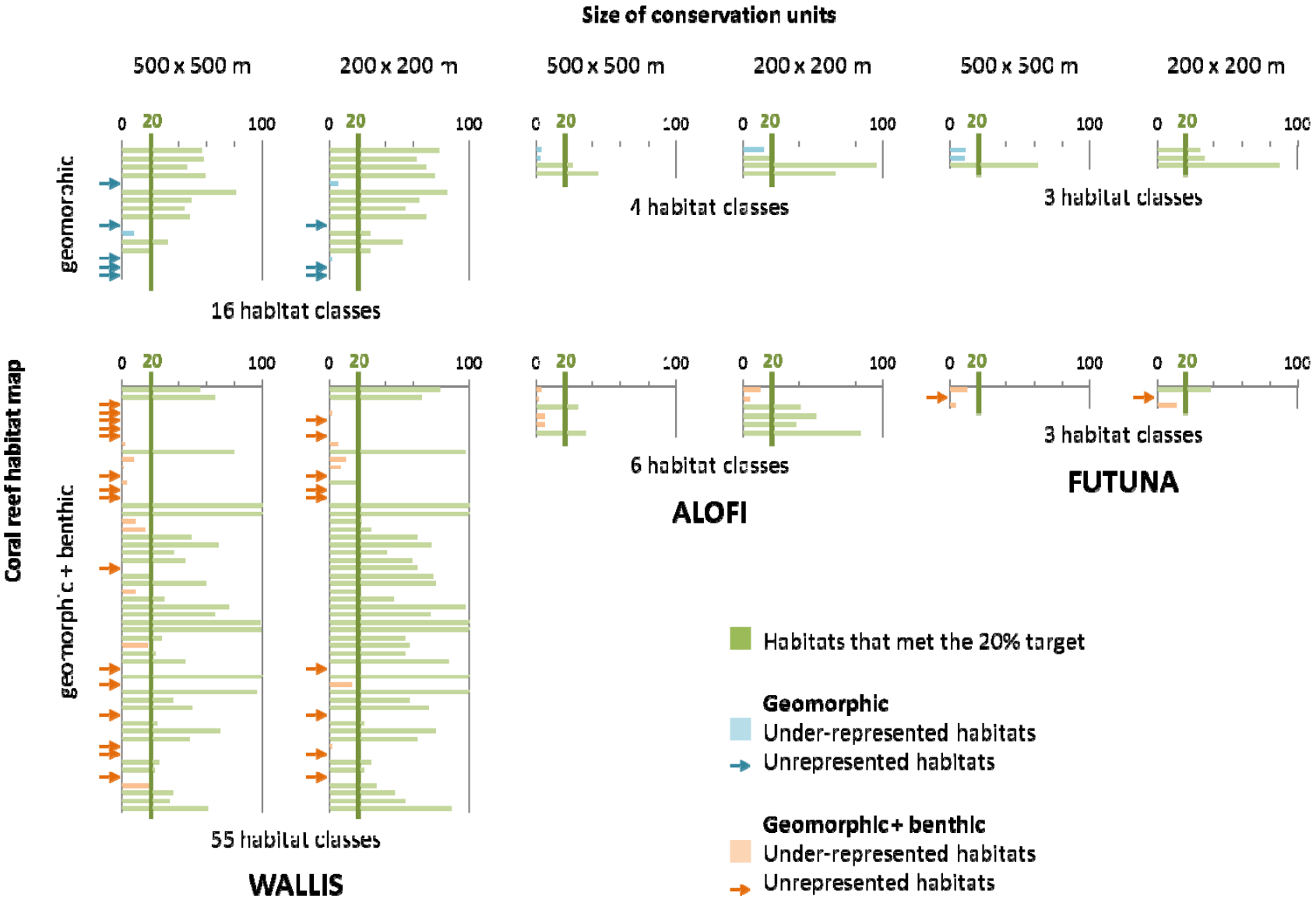
2


100%
50%
0%
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
WALLIS
ALOFI
FUTUNA
Geomorphic
Under-represented habitats
Unrepresented habitats
Geomorphic + benthic
Under-represented habitats
Unrepresented habitats

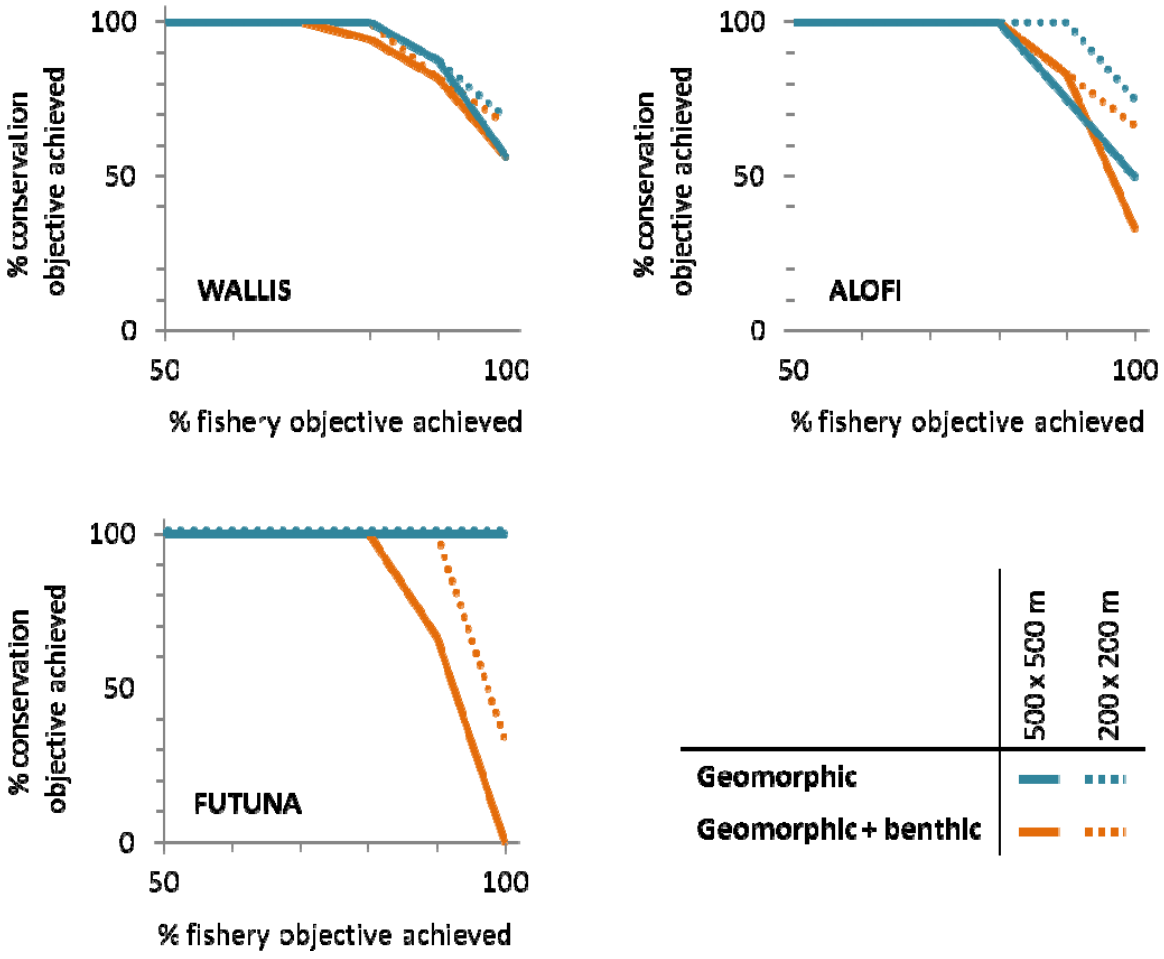
3


Size of conservation units
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
Coral reef habitat map
geomorphic
geomorphic + benthic
Spatial footprint of fishing activities
WALLIS
ALOFI
FUTUNA
10 Km
5 Km
5 Km
% habitat surface unavailable for conservation
0 1 20 40 60 80 100
net and speargun fishing grounds*
land
unfished coral reef habitats
* speargun only on Alofi and Futuna

4


Size of conservation units
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
500 x 500 m
200 x 200 m
Coral reef habitat map
geomorphic
geomorphic + benthic
0
20
100
16 habitat classes
4 habitat classes
3 habitat classes
55 habitat classes
6 habitat classes
3 habitat classes
WALLIS
ALOFI
FUTUNA
Habitats that met the 20% target
Geomorphic
Under-represented habitats
Unrepresented habitats
Geomorphic+ benthic
Under-represented habitats
Unrepresented habitats

5


100
50
0
% conservation objective achieved
WALLIS
50
100
% fishery objective achieved
100
50
0
% conservation objective achieved
ALOFI
50
100
% fishery objective achieved
100
50
0
% conservation objective achieved
FUTUNA
50
100
% fishery objective achieved
500 x 500 m
200 x 200 m
Geomorphic
Geomorphic + benthic

Tables

Table 1. Percentages of total extent of geomorphic habitats (level 4 classification) available for conservation after exclusion of all fished conservation units (500 x 500 m and 200 x 200 m) for Wallis, Alofi and Futuna. Only under-represented and unrepresented habitats are listed. Points indicate habitat types that would not be represented at all in the set of potential reserves. Asterisks indicate habitat types for which the 20% objective could be achieved with the smaller conservation units (200 m x 200 m). Under-represented and unrepresented habitats are mapped in red in **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Table 2. Percentages of total extent of geomorphic + benthic habitats available for conservation after exclusion of all fished conservation units (500 x 500 m and 200 x 200 m) for Wallis, Alofi and Futuna. Only under-represented and unrepresented habitats are listed. Points indicate habitat types that would not be represented at all in the set of potential reserves. Asterisks indicate habitat types for which the 20% objective could be achieved with the smaller conservation units (200 x 200m). Under-represented and unrepresented habitats are mapped in red in **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

	Geomorphology (level 1)	Geomorphology (level 2)	Geomorphology (level 3)	Geomorphology (level 4) *	% surface (500 x 500 m)	% surface (200 x 200 m)
Wallis	Oceanic	Oceanic island	Outer Barrier Reef Complex	Pass	.	6
			Coastal Barrier Reef Complex	Channel	.	.
				Barrier reef pinnacle/patch	8	20*
			Lagoon exposed fringing	Reef flat	.	2
				Enclosed lagoon or basin	.	.
			Fringing of coastal barrier complex	Reef flat	.	.
Alofi	Oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	Forereef	4	15
				Reef flat	3	20*
Futuna	Oceanic	Oceanic island	Ocean exposed fringing	Forereef	11	20*
				Reef flat	10	20*

* Our analyses in this study were for level 4 of the geomorphic classification. Only unrepresented or under-represented habitats are listed here.

	Geomorphology (level 1)	Geomorphology (level 2)	Benthos (level 1)*	% surface (500 x 500 m)	% surface (200 x 200 m)
Wallis	Fringing reef	Reef flat	Hard substrate with dispersed coral	.	1
			Soft substrate with dispersed coral	.	2
		Terrace	Seagrass/algae bed	.	.
			Seagrass/algae bed	.	1
			Seagrass/algae bed	.	.
			Seagrass/algae bed	2	6
		Reef slope	Coral	8	12
			Soft substrate with dispersed coral	1	8
			Soft substrate	.	.
			Soft substrate	3	20*
			Coral	.	.
			Soft substrate	.	.
	Coastal barrier reef	Reef flat	Hard substrate with dispersed coral	9	20*
			Mixed substrate with dispersed coral	16	20*
		Terrace	Algae bed	.	20*
			Soft substrate with dispersed coral	9	20*
	Barrier reef	Reef flat	Mixed substrate with dispersed coral	18	20*
			Coral	.	.
		Terrace	Algae bed	.	16
			Soft substrate	.	.
		Pass	Hard substrate	.	2
			Hard substrate with dispersed coral	.	.
	Lagoon patch reef	Reef flat	Soft substrate with dispersed coral	.	.
		Terrace	Soft substrate	19	20*
Alofi	Fringing reef	Reef flat	Hard substrate	4	12
		Reef slope	Hard substrate with dispersed coral	2	5
		Reef flat	Hard substrate with dispersed coral	6	20*
			Coral	6	20*
Futuna	Fringing reef	Reef flat	Hard substrate	12	20*
			Coral	.	.
		Reef slope	Hard substrate with dispersed coral	4	13

* Our analyses in this study were for a combination of geomorphology level 2 and benthos level 1 of the geomorphic + benthic classification. Only unrepresented or under-represented habitats are listed here.