

SCIENCES DE LA MER

BIOLOGIE MARINE

N° 10

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

> Serge ANDRÉFOUËT Guillaume DIRBERG



CONVENTIONS

SCIENCES DE LA MER

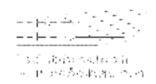
BIOLOGIE MARINE

N° 10

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

Serge ANDRÉFOUËT Guillaume DIRBERG

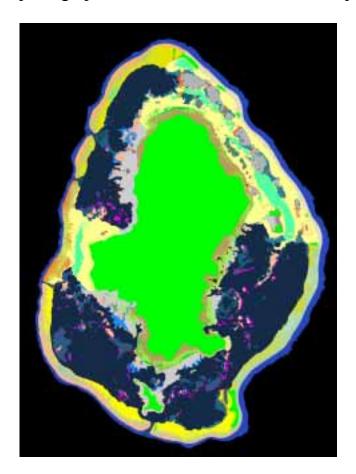


© IRD, Nouméa, 2006 /Andréfouët, S. /Dirberg, G. Cartographie et inventaire du système récifal de Wallis, Futuna et Alofi par imagerie satellitaire Landsat 7 ETM+ et orthophotographies aériennes à haute résolution spatiale Nouméa: IRD. Février 2006. 55 p. Conventions: Sci. Mer; Biol. Mar.; 10 CARTOGRAPHIE; INVENTAIRE; RECIF; IMAGE SATELLITE; BENTHOS; / WALLIS; FUTUNA; ALOFI

Service de l'Environnement de Wallis et Futuna



Cartographie et inventaire du système récifal de Wallis, Futuna et Alofi par imagerie satellitaire Landsat 7 ETM+ et orthophotographies aériennes à haute résolution spatiale



Serge Andréfouët Guillaume Dirberg

Institut de Recherche pour le Développement Centre de Nouméa Unité de Recherche 128 Coréus

Novembre 2005

Cette étude a été financée par le Service de L'Environnement de Wallis et Futuna, lettre de commande Ref 18/Env04 à l'Institut de Recherche Pour le Développement.

Responsable scientifique : Serge Andréfouët, Chargé de Recherche, UR 128

Ce rapport doit être cité comme suit :

S. Andréfouët, G. Dirberg, 2005, *Cartographie et inventaire du système récifal de Wallis, Futuna et Alofi par imagerie satellitaire Landsat 7 ETM*+ *et orthophotographies aériennes à haute résolution spatiale,* IRD, Centre de Nouméa et Service de L'Environnement de Wallis et Futuna, *53 pages*.

Sommaire

Introduction	4
Etapes et principes d'une cartographie d'habitats récifo-lagonaires par télédétection _	5
Définition d'un habitat et objectif de la cartographie	5
Usage général de la télédétection pour la cartographie d'habitats	
Couplage terrain-télédétection	
Etablir une typologie d'habitats	
Cartographier les habitats de la typologie	
Typologie et inventaire exhaustif des habitats observés à l'image et in situ	
Typologie et inventaire géomorphologique des trois îles Typologie « Millennium » Typologie et inventaire « Millennium » de Wallis Typologie et inventaire « Millennium » de Futuna et Alofi Typologie détaillée des pentes externes de Futuna et Alofi	${11}^{10}$
Typologie benthique des trois îles Remarque Wallis Futuna et Alofi	17 17
Typologie benthique cartographiée et inventaire des habitats des trois îles	35
Remarques Généralisation thématique Utilisation des orthophotographies Frontières nettes et gradients Secteurs d'exposition et géomorphologie	35 35 36
Typologie benthique finale de Wallis et inventaire	
Typologie benthique finale de Futuna et inventaire	
Typologie benthique finale d'Alofi et inventaire	
Remarques et perspectives	 48
Aires marines protégées de Wallis	— 48
Surfaces coralliennes de Wallis	— 49
Surfaces herbiers/algueraies de Wallis	— 50
Utilisation des produits cartographiques et SIG	
Remerciements	
Bibliographie	51

Introduction

L'étude commandée par le Service de l'Environnement (SE) de Wallis et Futuna avait pour but d'établir une cartographie haute résolution et un inventaire des habitats récifo-lagonaires peu profonds (tranche bathymétrique 0-10 m) rencontrés sur Wallis, Futuna et Alofi.

Les données de base sont constituées d'images de télédétection Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) à 30 mètres de résolution spatiale fournie par l'IRD et le Millennium Coral Reef Mapping Project de l'University of South Florida (http://imars.marine.usf.edu/corals/index.html) (Andréfouët et al. sous presse) et de photographies aériennes orthorectifiées scannées à 2.0 m de résolution spatiale, acquises par l'Institut Géographique National (IGN) et mises à notre disposition par le SE.

En accord avec les objectifs de l'étude, une mission de vérité terrain de 10 jours a été effectuée en Juillet 2005 afin de recueillir les informations nécessaires à la cartographie. La logistique sur place (embarcations, véhicules, appareil photographique numérique avec caisson) et les moyens navigants sur les trois îles étaient fournis par le SE. Le travail sur Wallis s'est déroulé du 5 au 8 juillet, puis du 13 au 18 juillet. Le travail sur Futuna s'est déroulé du 9 au 12 juillet, y compris un jour d'acquisition de données sur l'île voisine d'Alofi.

Ce rapport présente cinq chapitres:

- 1. cette introduction,
- 2. les étapes et principes nécessaires à l'établissement d'une cartographie d'habitats par télédétection,
- 3. le travail effectué sur le terrain pour chaque île et la typologie des habitats recensés *in situ* en juillet 2005, ainsi que la typologie retenue pour la cartographie finale,
- 4. un inventaire quantitatif des habitats cartographiés et les cartes correspondantes,
- 5. une série de commentaires et remarques.

Les fichiers cartographiques numériques au format « Shapefiles » compatibles avec les systèmes d'information géographiques courants (ArcView, Mapinfo) sont fournis séparément au commanditaire.

Etapes et principes d'une cartographie d'habitats récifo-lagonaires par télédétection

Définition d'un habitat et objectif de la cartographie

En principe, pour une application donnée, la description d'un habitat est lié à un habitant, qui peut être lui-même un élément constructeur (ex : les coraux) ou structurant (ex : la canopée fournie par les macrophytes) de l'habitat. En écologie corallienne, l'habitat est souvent implicitement « pensé » pour les espèces ressources principales, à savoir les poissons et quelques invertébrés. L'échelle spatiale de description de l'habitat varie donc de quelques mètres à quelques kilomètres. Le niveau de description de l'habitat que l'on choisira dans cette étude est assez générique. Nous ne cherchons pas une niche particulière à un habitant précis (une espèce précise d'holothurie ou de poisson par exemple), mais un niveau de description générique utile au plus grand nombre. Ici, ce sont donc en fait les paysages sousmarins (*reefscape*) peu profonds que nous cherchons à cartographier.

Dans ces conditions, un habitat est une unité de description d'un récif qui doit être hiérarchiquement décrite (Fig. 1) si l'on veut pouvoir le comparer d'un site à l'autre. Elle comprend un niveau géomorphologique, puis un niveau benthique et architectural, puis éventuellement un niveau taxonomique de description des principales espèces structurantes. Idéalement, la définition de l'habitat le long de la hiérarchie demande à la fois une description physique et biologique du milieu. Nous faisons l'hypothèse que les variables géomorphologiques, benthiques, architecturales, et les communautés présentes que l'on peut observer et quantifier sur le terrain pendant le temps d'une plongée, reflètent indirectement les conditions à long terme d'ordre climatique, hydro-énergétique, et les flux à l'interface terre-mer qu'il serait beaucoup plus long et compliqué de mesurer et décrire.

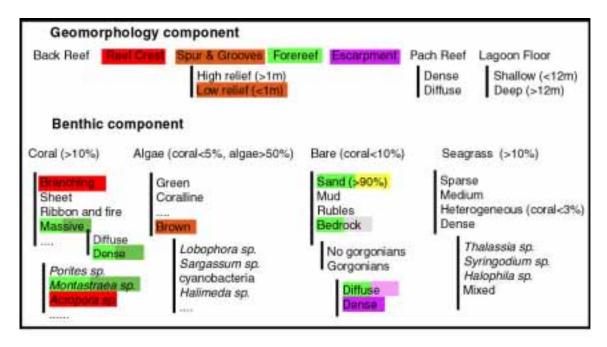


Figure 1 : Définition hiérarchique d'un habitat (d'après Andréfouët et al. 2003). Par exemple, pour le site représenté ici qui ne contient que 4 unités géomorphologiques, les coraux *Acropora* sp. , de forme branchue, ne sont rencontrés que sur la crête récifale (rouge). La pente externe (vert) contient comme habitats une zone corallienne dense à *Montastraea* massifs, du sable et du rocher couvert de gorgones éparses.

L'information de base servant à décrire l'habitat *in situ* figure sur une feuille de relevés de terrain (Fig. 2) qui décrit les constituants benthiques et architecturaux principaux. Ces observations notées *in situ* en plongée ou en apnée et géoréférencées à la précision d'une dizaine de mètres sont ensuite complétées *ex situ* par l'information géomorphologique et taxonomique quand cela est possible. La feuille de relevés « Habitat » (Annexe 1) que nous utilisons résulte de l'évolution en plusieurs étapes de la feuille de description utilisée pour les comptages sous-marins de poissons de l'IRD, modifiée ensuite par la CPS, et enfin modifiée pour un meilleur lien avec l'imagerie (Cros 2005). Le remplissage de la fiche « Habitat » est réalisé en considérant une échelle qui est proche de la résolution spatiale de l'imagerie utilisée. Pour Wallis, nous avons donc considéré des habitats couvrant ~10 x 10 mètres, ce qui est intermédiaire entre la résolution des images Landsat (30 mètres) et celle des images QuickBird que nous pensions initialement utiliser (mais remplacées ensuite par les orthophotos IGN à 2 mètres).

Usage général de la télédétection pour la cartographie d'habitats

Les images de télédétection et les photographies aériennes couleurs ont depuis longtemps été utilisées pour la cartographie des biocénoses et biotopes récifo-lagonaires, avec plus ou moins de succès suivant le type d'images. Depuis la disponibilité en 2001 d'images multispectrales à très haute résolution de type IKONOS et QuickBird à 4 et 2.4 mètres de résolution, il a été possible de comparer systématiquement leurs performances sur plusieurs sites (Mumby and Edwards 2001, Andréfouët et al. 2003, Capolsini et al. 2003, Torres-Pulliza et al. soumis) et de définir les tendances sur les précisions obtenues et la hiérarchie entre capteurs. On connaît donc, pour des méthodologies classiques, l'ordre de grandeur de la précision des cartes obtenues. Celle-ci est fonction de la complexité (nombre d'habitats voulus) et du type d'image utilisé (Figure 2).

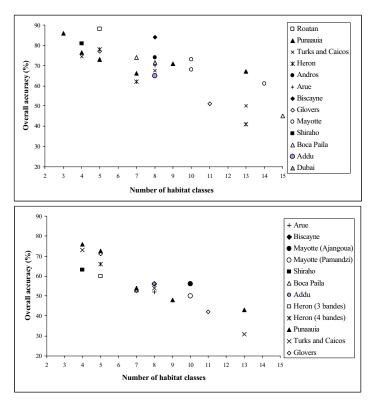


Figure 2 : Tendance des précisions cartographiques obtenues sur divers sites mondiaux avec des images IKONOS (haut) et Landsat (bas) (d'après Andréfouët et al. 2003). Par exemple, 70% de précision peuvent être obtenus avec IKONOS pour une complexité de 8 habitats (géomorphologie, architecture et couverture).

Si un contrôle *a posteriori* supplémentaire ne peut être réalisé, il est important de connaître ces ordres de grandeur généraux, qui peuvent être considérés comme valides sur n'importe quel site correctement traité. En effet, le temps imparti ne permet pas toujours d'obtenir pour un site particulier un nombre suffisant de points de contrôle permettant de quantifier précisément l'erreur pour l'ensemble des classes à cartographier (le cas de cette étude). On considère généralement que 50 points de contrôle indépendants par classe sont nécessaires pour quantifier les indices de précision classiques utilisés en télédétection (*overall accuracy*, *user accuracy, producer accuracy, kappa, tau*) (Congalton et Green 1999, Foody 2002).

Il convient toutefois de rappeler que les produits et précisions (Fig. 2) obtenus dans les publications scientifiques sont, en ce qui nous concerne, des produits de « recherche » ou l'on évalue soit une méthode, soit un capteur. La précision donnée par la figure 3 est donc sousestimée pour les produits que nous présentons plus loin. Pour des projets de type « développement » auxquels nous avons participé récemment (Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Polynésie), le produit obtenu est bien meilleur car nous appliquons des principes différents destinés à obtenir le meilleur produit pour le gestionnaire, et non pas une évaluation de méthodes ou capteurs pour les scientifiques. Par exemple, nous avons la possibilité de corriger manuellement certaines erreurs, de pré-segmenter l'image, d'utiliser des algorithmes différents suivant les zones ou la profondeur, ou de réitérer plusieurs fois le même traitement. Ces pratiques empiriques font appel à l'expertise et l'expérience du cartographe et sont donc difficiles à faire figurer dans une publication (car non systématiquement reproductibles ailleurs), mais elles sont tout à fait acceptables, et recommandées, pour obtenir le meilleur produit cartographique dans un but « développement ». Enfin, la précision obtenue est fonction du degré de finesse dans la description de l'habitat. Si l'habitat n'est décrit que sur des critères géomorphologiques, la précision sera très élevée (supérieure à 95%) que ce soit avec des images IKONOS ou du Landsat. La précision décroît pour des habitats décrits finement, selon des critères de couverture et/ou d'architecture (Fig. 2).

Couplage terrain-télédétection

L'imagerie est utilisée à deux moments. En fin de parcours, elle permet de spatialiser l'information de terrain, et donc d'obtenir une carte. Toutefois, le premier usage est d'optimiser le choix des stations qui vont servir à établir la typologie d'habitats. Le choix de ces stations est fonction de plusieurs critères :

- 1/ l'ensemble des structures géomorphologiques à fonds durs (platiers des barrières et frangeants, crêtes, massifs coralliens, etc.) et meubles (fonds lagonaires peu profonds, herbiers, etc.) doit être visité et ce tout autour de l'île afin d'avoir un échantillonnage spatialement exhaustif. La pente externe de Wallis n'a pas été considérée pour cette étude.
- 2/ En fonction des résultats obtenus au jour le jour, l'échantillonnage est adaptée en conséquence. Par exemple, les types d'habitats sur les platiers récifaux de barrière à l'est de Wallis nous apparaissant assez homogènes le premier jour, le nombre de stations sur cette zone a été diminué en faveur des massifs coralliens du sud plus hétérogènes.
- 3/ Au sein de chaque strate géomorphologique, l'ensemble des habitats présents doit être visité (principe d'exhaustivité), entraînant le relevé d'observations suivant les densités de structures coralliennes, le type de couverture, et/ou suivant la profondeur. L'hypothèse utilisée est que les différentes couleurs et textures visibles à l'image sont révélatrices des différents habitats présents. Dans la mesure du possible, l'ensemble des variations visibles à l'image est donc pris en compte. Il n'y a toutefois pas d'assurance à ce stade que l'intégralité des variations sera cartographiée, mais c'est

cependant l'hypothèse qui guide cette démarche. Pour les trois îles, le choix des stations était réalisé à partir de l'image Landsat 7 ETM+, les photographies aériennes n'ayant été disponibles qu'à la fin de la mission de juillet 2005.

Le travail de terrain a donc plusieurs buts :

- 1/ Collecter des informations biologiques et structurelles sur les types d'habitats présent sur les sites sélectionnés à l'image, et quantifier la plus grande diversité de configurations possibles telle que nous pouvons l'interpréter à l'image.
- 2/ Outre la documentation des habitats présents, le site étudié est localisé à l'image afin de définir une parcelle d'apprentissage (« *Region of Interest* ») qui sera potentiellement utilisée lors de l'étape de cartographie.

Etablir une typologie d'habitats

Deux techniques, une statistique et une empirique, peuvent être utilisées pour définir les types d'habitats présents sur un site.

La première technique, statistique, que nous appliquons généralement (Andréfouët et al. 2003, Capolsini et al. 2003) consiste à recueillir d'abord l'ensemble des informations de terrain avec les feuilles de relevés d'habitats par exemple, puis à classer les stations par classification hiérarchique ascendante. Cette première étape définit des classes de stations en fonction de leurs similarités en couverture, architecture, etc. Ensuite une étape d'ajustement empirique permet de retravailler cette typologie statistique (généralement par regroupement de classes mais parfois au contraire par éclatement) pour définir les classes les plus à même d'être cartographiées avec précision. Ce qui intervient alors est soit l'expertise du cartographe, soit une suite d'essais de cartographie jusqu'à obtention du meilleur résultat.

La deuxième technique est un raccourci de la précédente puisqu'elle omet l'étape statistique et ne fais appel qu'à l'expertise. Dans ce cas, la typologie est bâtie en temps réel après chaque retour de terrain. Les nouvelles classes observées sont rajoutées à la typologie. On peut toutefois décider de décrire d'abord l'ensemble des habitats présents, puis de simplifier dans un deuxième temps pour la cartographie, ou de directement simplifier. Par exemple, les relevés « habitat » peuvent donner une zone corallienne de 30% de couverture en corail branchu sur fond sableux et une zone corallienne à 30% de corail massif sur fond sableux. Ces deux types d'habitats peuvent être décrits dans la typologie pour être exhaustif, ou peuvent être directement fusionnés pour la cartographie en une classe « corail » car il ne sera pas possible de discriminer avec précision sur l'image les zones de coraux branchus et de coraux massifs. Seule une connaissance experte permet de le dire *a priori*.

Ici, nous avons choisi de fournir dans un premier temps une typologie exhaustive, puis de la simplifier pour la cartographie. Il s'agit également de l'approche adoptée pour une partie des sites que nous devons cartographier en Nouvelle-Calédonie pour le programme ZONECO.

Cartographier les habitats de la typologie

Une fois la typologie d'habitats à cartographier définie, l'objectif est de générer la distribution spatiale de chaque classe en utilisant l'image comme facteur de généralisation. Les techniques les plus simples utilisent la couleur (radiométrie) des pixels comme facteur. A chaque habitat figurant dans la typologie et visité sur le terrain est affectée via sa *Region of Interest* associée une signature radiométrique statistique (moyenne, écart-type, covariance dans l'espace des couleurs). Ensuite chaque pixel de l'image est assigné à la classe d'habitat dont il est radiométriquement le plus proche. La différence entre algorithmes provient de la manière dont chaque habitat est statistiquement paramétré et du mode de calcul des distances dans l'espace radiométrique.

Ce type de traitement, appelé classification supervisée, ne fonctionne parfaitement que si les signatures des classes sont mutuellement exclusives, ce qui est rarement le cas et qui génère donc des erreurs. Le processus de classification peut, et doit, être complété par :

- des corrections *a posteriori* (*a posteriori contextual editing*) qui permettent de corriger des erreurs flagrantes.
- des segmentations *a priori* (*a priori contextual editing*) qui permettent de définir des polygones homogènes où le risque de confusion de classes est limité. Par exemple, on ne trouve pas d'herbiers sur le récif barrière et donc le récif barrière sera classifié sans prendre en compte les signatures d'herbiers pour éviter *a priori* des conflits.

La cartographie finale est donc le résultat :

- d'une pré-segmentation, généralement en zones géomorphologiques,
- d'une classification supervisée de chacun des segments géomorphologiques,
- d'une correction *a posteriori* des erreurs flagrantes dans chaque segment.

Typologie et inventaire exhaustif des habitats observés à l'image et in situ

Typologie et inventaire géomorphologique des trois îles

Typologie « Millennium »

Les classes géomorphologiques de base présentes sur les trois îles sont celles fournies par le Millennium Mapping Project dont le but est de cartographier la géomorphologie de chacun des récifs de la planète à partir de données Landsat 7 (Andréfouët et al. sous presse). Tous les produits « Millennium » sont interprétés sans aucun travail terrain. L'intérêt d'utiliser ici cette typologie est qu'elle permet de comparer sur une base homogène thématiquement riche l'ensemble des sites mondiaux. Dans un contexte français, elle permet par exemple de mettre en perspective les particularités (ou absence de particularités) de Wallis, Futuna et Alofi par rapport aux systèmes de Nouvelle-Calédonie (Andréfouët et Torres-Pulliza 2004) ou de Polynésie française (Andréfouët et Chauvin 2005).

Géomorphologie Niveau 2	Géomorphologie Niveau 3	Géomorphologie Niveau 4
Ile Océanique		
WALLIS	Récif barrière côtier	Pente externe
		Platier récifal
		Pinnacle
		Terrasse
		Bassin enclavé
		Chenal
	Frangeant de récif barrière côtier	Platier
	Récif barrière	Pente externe
		Platier récifal
		Passe
		Terrasse
	Récif frangeant (exposition lagonaire)	Bassin enclavé
		Platier récifal
	Massifs coralliens (exposition lagonaire)	Platier récifal
		Pente / front récifal
	Lagon profond	
	Terre émergée de récif barrière	
	Terre émergée (volcanique)	
FUTUNA	Récif frangeant (exposition océanique)	Pente externe
		Platier récifal
	Terre émergée (volcanique)	
	Enveloppe	
ALOFI	Récif frangeant (exposition océanique)	Pente externe
		Platier récifal
		Terrasse lagonaire
	Terre émergée (volcanique)	
	Enveloppe	

Tableau 1 : Décomposition hiérarchique géomorphologique « Millennium » des systèmes récifaux de Wallis, Futuna et Alofi. Les trois systèmes sont des îles océaniques (Niveau 2), présentant différents complexes dits de Niveau 3, qui eux-mêmes incluent différentes unités géomorphologiques de Niveau 4. La composition des Niveaux 3 et 4 fournit le niveau de précision thématique maximal, dit de Niveau 5 (cf. figure 3 ci-après).

Typologie et inventaire « Millennium » de Wallis

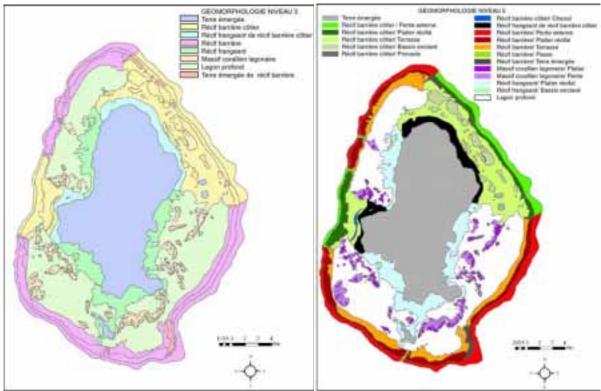
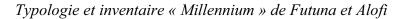


Figure 3 : Cartographie géomorphologique de Wallis aux Niveaux 3 et 5.

Superficie des classes de niveau	
géomorphologique N5	Km ²
Lagon profond	80.12
Récif barrière / Terre émergée	1.96
Récif barrière / Pente externe	14.22
Récif barrière / Platier récifal	15.04
Récif barrière / Terrasse	14.88
Récif barrière / Passe	0.65
Récif barrière côtier/ Pente externe	7.83
Récif barrière côtier/ Platier récifal	7.68
Récif barrière côtier/ Terrasse	26.07
Récif barrière côtier/ Lagon enclave	6.01
Récif barrière côtier/ Chenal	0.39
Récif barrière côtier/ Pinacle	0.06
Massif corallien lagonaire/ Pente	8.98
Massif corallien lagonaire/ Platier récifal	5.26
Récif frangeant/ Platier récifal	22.57
Récif frangeant/ Lagon enclave	0.46
Récif frangeant de récif barrière côtier	9.20
Terre émergée	77.09
Total	298.45

Tableau 2 : Inventaire géomorphologique « Millennium » de Wallis



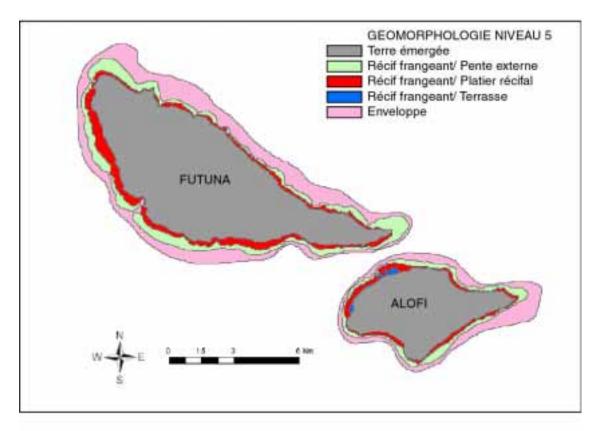


Figure 4 : Cartographie de Futuna et Alofi au Niveau 5 géomorphologique.

	Superficie des classes de niveau géomorphologique N5	km ²
FUTUNA		
	Récif frangeant (exposition océanique)/Pente externe	9.86
	Récif frangeant (exposition océanique)/ Platier récifal	6.94
	Terre émergée (volcanique)	45.99
	Enveloppe	17.32
	Total	80.12
ALOFI		
	Récif frangeant (exposition océanique)/Pente externe	3.64
	Récif frangeant (exposition océanique)/ Platier récifal	2.66
	Récif frangeant (exposition océanique)/ Terrasse	0.30
	Terre émergée (volcanique)	17.48
	Enveloppe	6.95
	Total	31.02

Tableau 3 : Inventaire géomorphologique « Millennium » de Futuna et Alofi

Typologie détaillée des pentes externes de Futuna et Alofi

En complément de la typologie « Millennium » qui est compatible avec la résolution des images Landsat 7 ETM+, il nous a paru intéressant de compléter la description de Futuna et Alofi, pauvre géomorphologiquement d'après le Tableau 3 ci-dessus, par une typologie plus fine de la pente externe en fonction des structures en éperons sillons visibles sur les orthophotographies. En effet, à des échelles de temps diverses, la forme et la structure de la pente externe, et le type de terminaison du platier récifal au niveau de la crête sont sans doute explicables par les épisodes tectoniques qui frappent régulièrement les îles de Futuna et Alofi, en plus du régime des houles et des variations régionales du niveau marin. La caractérisation fine des pentes externes pourrait sans doute intéresser les géophysiciens travaillant sur la zone.

Si on prend en compte la présence ou absence d'éperons, le nombre de niveaux d'éperons, leurs formes et développements, nous pouvons définir de manière empirique 10 types de pentes externes sur Futuna et 5 sur Alofi. Cette typologie n'est qu'indicative et demanderait à être confirmée par une analyse morphométrique quantitative plus poussée. On remarque toutefois qu'elle est liée à l'exposition des côtes.

Dix types de pente externe sont définis sur Futuna:

- F-ES-1 : 1 niveau d'éperons se prolongeant très loin par des fonds durs à peu de relief
- F-ES-2 : sans éperons sillons, platier et massifs coralliens isolés se terminant en escarpement. Caractéristique des zones protégées du chenal entre Futuna et Alofi.
- F-ES-3 : sans éperons sillons, mais nombreuses failles parfois large de plusieurs dizaines de mètres, platier se terminant en escarpement.
- F-ES-4 : 1 niveau d'éperons très larges et courts, en lobes, se prolongeant par des plaines sableuses avec de grands blocs ou contreforts individualisés.
- F-ES-5 : 1 niveau d'éperons, avec sillons étroits et longs courant le long d'une terrasse en pente douce
- F-ES-6 : 2 niveaux d'éperons, le premier constitué d'éperons courts, le deuxième de contreforts et vallons étroits individualisés avec blocs dans les vallons, avant une plaine sableuse
- F-ES-7 : 2 niveaux d'éperons, le premier constitué d'éperons bien marqués, le deuxième d'éperons étroits également bien marqués, à sillons étroits, avant une terrasse de fonds dur à faible relief.
- F-ES-8 : 2 niveaux d'éperons, le premier constitué d'éperons bien marqués, le deuxième d'un glacis continu à éperons larges bien marqués, à sillons étroits, se prolongeant jusqu'à une plaine sableuse.
- F-ES-9 : 2 niveaux d'éperons, le premier constitué d'éperons bien marqués, le deuxième d'un glacis entrecoupé de piscine ou larges sillons sableux, avec éperons larges bien marqués à sillons étroits.
- F-ES-10 : 1 niveau d'éperons très étroits et denses, sans platier récifal

Cinq types de pente externe sont définis sur Alofi:

- A-ES-1 : 3 niveaux, le dernier niveau présentant des glacis bien individualisées sur sable, le premier niveau présentant des sillons étroits.
- A-ES-2 : 1 niveau avec structures individualisées sur sable.
- A-ES-3 : 2 niveaux, le deuxième niveau est un continuum de fond dur avec sillons peu nombreux.
- A-ES-4 : 1 niveau, avec sillons longs et étroits.
- A-ES-5 : sans éperons sillons, platier se terminant en escarpement. Caractéristique des zones protégées du chenal entre Futuna et Alofi.



Figure 5 : Types de pentes externes de Futuna (F-ES-1 à F-ES-5).



Figure 6 : Types de pentes externes de Futuna (F-ES-6 à F-ES-10).

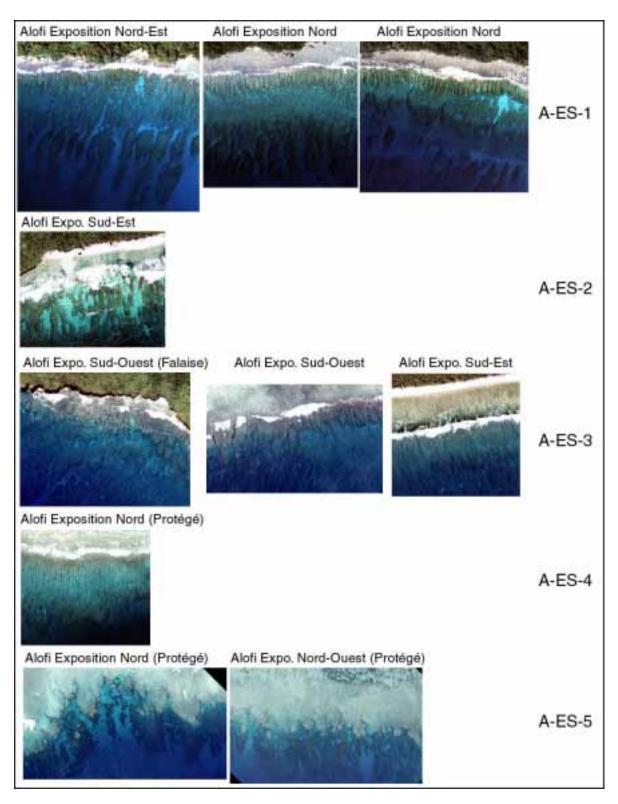


Figure 7 : Types de pentes externes de Alofi (A-ES-1 à A-ES-5).

Typologie benthique des trois îles

Remarque

Les descriptions fournies ici sont dépendantes de la vérité terrain effectuée en juillet 2005. Les images utilisées sont antérieures au travail de terrain. Toutefois, les structures repérables sur le terrain correspondaient à celles visibles sur l'image et nous n'avons pas observé de décalages flagrants (par exemple : augmentation de couverture algale, diminution des herbiers, etc.) entre les observations *in situ* et l'information suggérée par l'image.

Wallis

Les sept jours de terrain ont permis de visiter 144 sites qui ont été regroupés en 61 habitats différents suivant leur localisation (géomorphologie de niveau 2 et 5) et suivant leurs caractéristiques benthiques en couverture/architecture. Ces 61 habitats n'incluent pas les sites purement sableux. Ces habitats sont définis dans le Tableau 5. Ce Tableau mentionne d'abord les classes géomorphologiques « Millennium » auxquelles plusieurs classes ont été rajoutées compte-tenu de la haute résolution des orthophotographies (ex : terrasse de frangeant). La dernière colonne (Benthos N2) fournit le descriptif bref de chaque habitat en fonction de ses caractéristiques architecturales ou benthiques les plus discriminantes. La colonne Benthos N1 fournit une catégorie plus grossière (« Corail », «Herbier », etc.) pour chaque habitat. Ceci permet d'obtenir une typologie benthique simple, en 8 classes, à un niveau hiérarchique intermédiaire entre les classes géomorphologiques et les 61 habitats inventoriés.

La dernière ligne du Tableau 5 résume la diversité de Wallis suivant la hiérarchie d'habitats. Nous dénombrons dans ce tableau 5 classes géomorphologiques de Niveau 3 (« récif barrière », «récif frangeant », etc.) et 5 unités géomorphologiques de Niveau 4 (« platier récifal », « terrasse », etc.). La combinaison des deux donne 12 classes géomorphologiques de Niveau 5. Par ailleurs, sont présentes 8 classes d'habitat benthiques (« corail », « herbier », etc.) dont la combinaison avec les 12 classes géomorphologiques donne 28 possibilités. Enfin le dernier niveau correspond à la fin de l'arbre avec 61 habitats, tous critères exploités.

La diversité des habitats de Wallis peut donc se décomposer en un arbre hiérarchique de 4 niveaux à 5, 12, 28 et 61 éléments respectivement.

La plupart de ces habitats sont illustrés dans les figures 8 à 14. Certains habitats n'ont pu être photographiés pour des raisons diverses (turbidité, piles déficientes, photo floue,...). D'autres sont illustrés plusieurs fois pour montrer les variations possibles pour un même habitat.

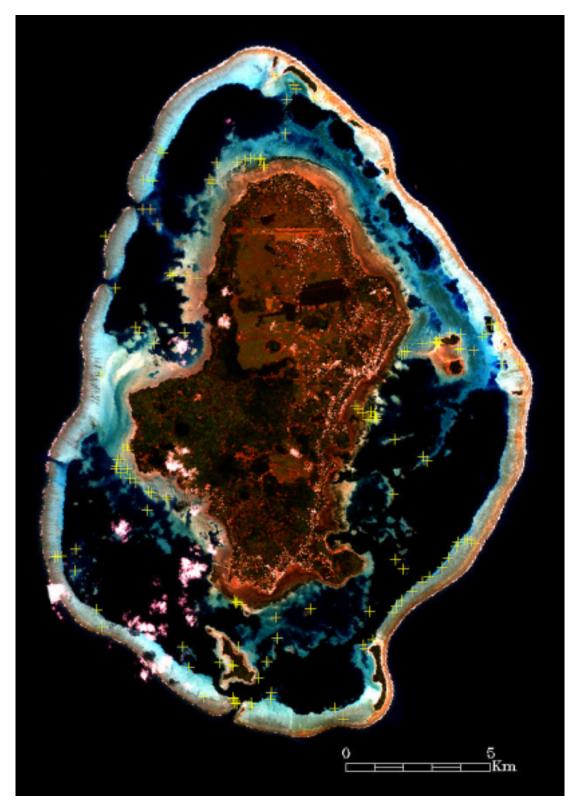


Figure 8 :Localisation des 144 sites visités sur Wallis

Tableau 4 : Description des habitats de Wallis

Label	Geomorpho N3	Geomorpho N5+	Benthos N1	Benthos N2
H1	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	Assemblage hétérogène de pâtés coralliens massifs sur fonds sableux (taille
				métrique), présence de colonies tabulaires (<100cm), digitées, branchues
				compactes, sub-massives. Présence d'éponges. topographie : 100 cm,
			:	
H2	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	Platter à micro-atolls dispersés sur fonds sableux de 2-3 m de diamètre, topographie : 30-50 cm, complexité 2
H3	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	Colonies vivantes d'Acropora branchues en tapis (50-80%), turf à la base,
				Halimeda opuntia en tapis, Dictyota sp.
H4	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	Petits blocs (<40cm) continus en voie de cimentation à colonies de <i>Porites</i>
				sp. de 5-15 cm sur blocs (20%). Topographie: 30cm, complexité: 1
H5	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur à	Plancher dur à coralline, éponges bien présentes, colonies massives (15-70
			corail dispersé	cm de diamètre) et petites colonies branchues compactes (<20cm) éparses.
				Topographie:80cm, complexité:2/3
9H	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur à	Fonds détritique sur dalle, devenant rocheux vers le bord du platier. Corail
			corail dispersé	vivant: <5%, parfois micro-atolls à Porites. Présence de corail mou,
				éponges. Algues vertes : Valonia fastigiata, parfois en mats détachées sur le
				fond
H7	Récif frangeant	Platier récifal	Algueraie	Algueraies d'Halimeda spp. (50%) avec blocs dispersés et quelques colonies
				de <i>Forties</i> (5 cm) sur biocs
H8	Récif frangeant	Pente	Corail	Escarpement du platier récifal, petit tombant vertical corallien (25% vivant) à
				colonies massives dominantes + présence autres formes (tabulaires).
				Eponges, coraux mous présents (<5%), colonies mortes en place 5-10%. Le
				reste du substrat est un complexe turf/coralline/Halimeda. Topographie: 3m,
				complexite 3
Н	Récif frangeant	Pente	Corail	Escarpement de cuvette enclavée dans platier récifal. Petit tombant corallien
				(40% vivant) à colonies colonnaires et branchues compactes. Topographie : 2m complexité?
H10	Récif frangeant	Pente	Corail	Pente à <i>Porites cylindrica</i> métriques (50-70%) vivant. Topographie : 6m,
				complexité 3
H111	Récif frangeant	Terrasse	Substrat dur	Epandages de petits blocs (<15cm) et rodholithes en nodules et branchues
H12	Récif frangeant	Terrasse	Substrat meuble à	Champ de <i>Porites cylindrica</i> digitées jaunes, colonies de petite taille (15 cm),
			coran disperse	sable/debits a 80%, 5-10% de corail vivant au totat. Fresence de <i>Dictyola</i> sp., Halimeda spp.
H13	Récif frangeant	Terrasse	Substrat meuble	Fonds sableux gris/blanc a 95%, à tâches d'Halimeda opuntia, tapis d'algues
				rouges (Acantophora sp. ?). Petites colonies coralliennes éparses
H14	Récif frangeant	Terrasse	Algueraie	<u>Halimeda</u> spp. diffus sur fond sable blanc/gris, cyano présentes, quelques micro-atolls dispersés. Topographie: 15 cm, complexité: 1
				, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,

H15	Récif frangeant	Terrasse	Algueraie	Grandes colonnes de cystoseires de 2 m de haut, accrochées à des blocs morts
	00.14	E		sur tonds sableux
H16	Récif frangeant	Terrasse	Herbier	Halophila sp. diffus sur sable gris
H17	Récif frangeant	Terrasse	Herbier	Halodule pinifolia dense, associée avec cyanobactéries et éponges
H18	Récif frangeant	Terrasse	Herbier	Plage intertidale a Halodule pinifolia très diffus
H19	Récif frangeant	Terrasse	Herbier	Herbier à Syringodium dense, mixte avec Cystoseira et Halimeda parfois très
				denses $>50\%$
H20	Récif frangeant de	Terrasse	Herbier	Herbier Syringodium dense avec présence d'Halimeda macroloba et
	Récif barrière côtier			caulerpes spp, Halophila ovalis
H21	Récif barrière côtier	Platier récifal	Substrat dur	Platier à structures mortes formant des petites chandelles, corail vivant <5%
				avec présence de formes colonnaires vivantes et tapis de branchus.
CCII	Dáoifhamigna agtion	Dlotion rácifol	Curbotent due	Opographic . Social, compressive . 1 - 2
771	necii baiilele couei	rianei ieciiai	Suosuat uut	Champ de blocs (20-00%) d'avant-crete sur substrat eroue à coranne ou de dalle. Présence de colonies vivantes. Topographie : 40cm, complexité 1.
H23	Récif barrière côtier	Platier récifal	Substrat dur à	Eperons internes de platier corail branchu compact 5-10%, sur platier érodé
			corail dispersé	dominé par turf (60%) puis coralline (40%). Topographie: 40cm, complexité 2
H24	Récif barrière côtier	Terrasse	Substrat meuble à	Pente sableuse à colonies massives <i>Porites</i> sp. (10% vivant), 3-4 m de
			corail dispersé	diamètre.
H25	Récif barrière côtier	Terrasse	Substrat meuble à	Fonds sableux à colonies massives <i>Porites</i> sp. (2-3 m) dispersées, 40-60%
			corail dispersé	vivantes
H26	Récif barrière côtier	Terrasse	Substrat meuble à	Sable sur dalle dominant, herbier très diffus a Halophila et Syringodium.
			corail dispersé	Présence d'éponges, colonies de <i>Porites</i> massifs épars et colonies <i>Acropora</i> , tâches d' <i>Halimeda opuntia</i> en tapis encroûtées d'ascidies
H27	Récif barrière côtier	Terrasse	Substrat meuble	Fonds sableux à tapis dense de cyanobactéries
H28	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	Dalle recouverte de sable gris à algueraie d'algues vertes dominantes
				(caulerpes spp., Halimeda macroloba) ou à algues rouges, corallines
				Hydrolithon sp. en nodules, et Neogoniolithon (?) en buissons. Présence Halophila très clairsemée et petits coraux
H29	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie/Herbier	Sable gris, présence Halophila et Halimeda macroloba, H. opuntia. Petits
				Syringodium
H30	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	Algueraies denses à Halimeda ancrées sur des structures mortes, associées à
				Caulerpes et petites colonies coralliennes massives ou digitées (P.
				<i>cylindrica</i>). Presence importante d'algue verte <i>Boodlea</i> sp. lors de la mission. Topographie : 30cm, complexité : 1
H31	Récif barrière côtier	Bassin enclavé	Corail	Petit tombant vertical de bord de bassin enclavé, corail à 40%, toutes formes
			-	présentes, dominé par formes massives, faisant place à une pente sableuse

0011	15.70	DI	: ! .	ensuite, au dessous de 4-5m. Topographie 5m, complexite 5-4.
H32	Recit barriere	Platier recital	Corail	Substrat de dalle et roche domine par <i>Porties cytindrica</i>
H33	Récif barrière	Platier récifal	Corail	Substrat de dalle et roche dominé par <i>Millepora</i> sp.
H34	Récif barrière	Platier récifal	Corail	Substrat de dalle et roche dominé par colonies massives Porites sp. <20cm
H35	Récif barrière	Platier récifal	Corail	Substrat de dalle et roche dominé par Heliopora sp. (corail bleu)
H36	Récif barrière	Platier récifal	Corail	Micro-atolls coalescents, 5-15% vivant, turf
H37	Récif barrière	Platier récifal	Corail	Dominé par corail non identifié (Pavona sp. ??) à 15-20%, associé avec
				micro-atolls de <i>Porites</i> sp.
H38	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur	Plancher compact à coralline (90%), présence de colonies vivantes, éponges,
				débris et petits blocs (10%). Topographie: 20cm, complexité 1-2
H39	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur	Champ détritique homogène. Topographie : 10cm, complexité 1
H40	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur	Platier fragmenté avec sable (50-50), présence de corail vivant ; alternance de zones de dalle et d'étendue détritiques. Topographie 30cm assez plane
H41	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur à	Epis de fin de platier (30% sableux, 70% de fonds dur). Sur fonds dur : corail
			corail mou	mou dominant (40%), corail vivant de formes diverses à 10%, substrat comnact à coralline/furf (50%). Tonographie: 60cm complexité 2
CVH	Récifharrière	Diatier récifel	Substrat dur à	Distinct compact and (<80%) colonies vivantes à 15% (encroftantes netites
7411	NCOII ORIIIOIO	i idioi icciidi	corail dispersé	colonies de formes diverses < 15cm anomantation relative des débris even
			coran disperse	COLOURS DE LOURISS ALVEISS AL SANTIN AUBINEMIENTE LE LA LA TANTAL L'AL L'AL L'AL L'AL L'AL L'AL L'AL L
				Hydrolthon en nodules, eponges bien presentes sur Ionds dur. Lopographie:
() kk				Sucm, complexite 2
H43	Récit barrière	Platier recital	Substrat dur a	Platier compact, allees de sable, debris et rodholithes (H. reinboldii, H.
			corail dispersé	onkodes). Dominance de petites colonies de Porites sp. (20cm). Total corail
				vivant 5-10%. Topographie: 40cm, complexité 2/3
H44	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur à	Zone sable-dalle avec blocs morts, caractérisé par dominance en corail
			corail dispersé	colonnaire (10-20%), topographie: 50cm, complexité 1-2
H45	Récif barrière	Platier récifal	Substrat meuble	Sable et débris sur fonds de dalle (70%), blocs érodés (30%), 15% de corail
			et platier	vivant sur blocs, topographie: 50cm, complexité 2
УГП	Dáoithomian	T.,,,,	Substrat mamble à	Solds & Doutes dismonda and moderning
11+0	Necil Dalliele	10114350	corail dispersé	Saute at othes disperses sub-meniques
H47	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble à	Blocs morts 1-2 m de diamètre dispersés couverts de Millepora sp. (50%)
			corail dispersé	
H48	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble	Sable corallien avec présence de cyanobactéries en tapis diffus
H49	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble	Sable corallien sur dalle, débris dispersés
H50	Récif barrière	Passe	Corail	Tombant dominé par colonies massives et digitées (P. cylindrica)
H51	Récif barrière	Passe	Substrat dur	Bord de passe : platier et tombant vertical dominé par coralline et turf,

				présence de petites colonies de formes diverses
H52	Récif barrière	Passe	Substrat dur à corail dispersé	Dalle à turf (fond de passe), travées sableuses. Présence de colonies éparses (massives et branchues)
H53	Massif corallien lagonaire	Platier récifal	Substrat dur à corail dispersé	Substrat corallien ancien érodé à coralline et plancher détritique. Petites colonies massives, branchues et digitées (15-30%). Topographie : 30cm, complexité : 1
H54	Massif corallien lagonaire	Platier récifal	Substrat dur à corail dispersé	Platier hétérogène mi-sableux à dalle apparente, mi fond-dur corallien érodé (plancher à coralline dominante et turf, présence de cyano), corail vivant <5-10%, formes diverses mais dominées par colonies tabulaires et branchues compactes (25-30cm)
H55	Massif corallien lagonaire	Platier récifal	Substrat dur à corail mou	Platier à cuvette de débris et rhodolithes dominé par corail mou à +de 50%, présence de corail dur de formes diverses
H56	Massif corallien lagonaire	Platier récifal	Corail	Corail vivant dominant (30-80%), colonies diverses, dominées par colonies branchues compactes et tabulaires. Topographie 40 cm, complexité 2
H57	Massif corallien lagonaire	Pente	Corail	Tombant à colonies massives et digitées vivantes (60-80%). Topographie 2-4m, complexité 3
H58	Massif corallien lagonaire	Pente	Corail	Bourrelet de branchus vivants (50-80%)
H59	Massif corallien lagonaire	Pente	Substrat dur à corail dispersé	Fonds durs en pente douce sous l'influence de la passe, à topographie forte (2-3 m), 75% substrat à turf et coralline et 25% corail vivant mixte : massif (50%) sub-massif (10), branchu compact (10) et tabulaire (30). Colonies massives de <i>Porites</i> (2 m) sur fond sablo-dallo-détritiques
09Н	Massif corallien lagonaire	Pente	Substrat meuble à corail dispersé	Corail vivant (5-10%) Porites massif sur fonds sableux, 50cm-2m de diamètre, présence d'éponges
H61	Massif corallien lagonaire	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	Corail vivant (5-10%) branchu sur fond sableux
DIVERSITE	w	5/12	8/28	61

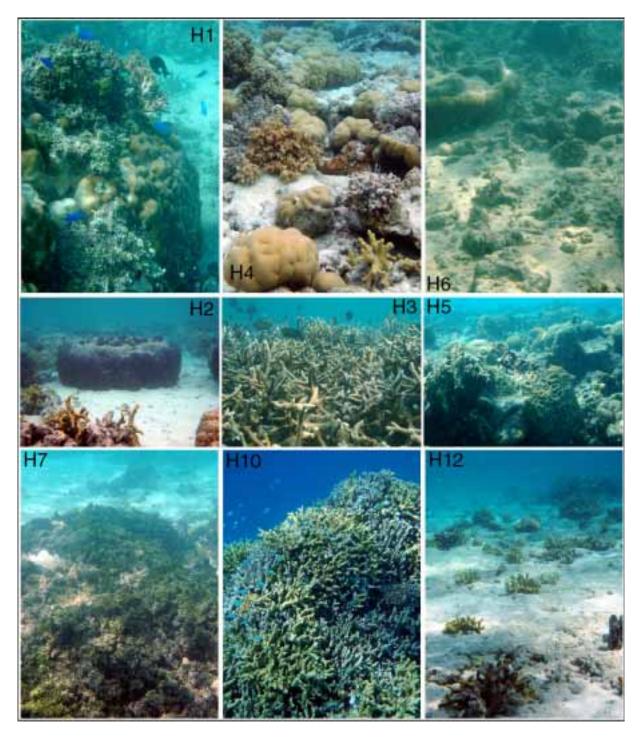


Figure 8 : Planche photographique illustrant les habitats de Wallis de H1 à H12



Figure 9 : Planche photographique illustrant les habitats de Wallis de H14 à H20 $\,$



Figure 10 : Planche photographique illustrant les habitats de Wallis de H21 à H30



Figure 11 : Planche photographique illustrant les habitats de Wallis de H31 à H38



Figure 12 : Planche photographique illustrant les habitats de Wallis de H39 à H44

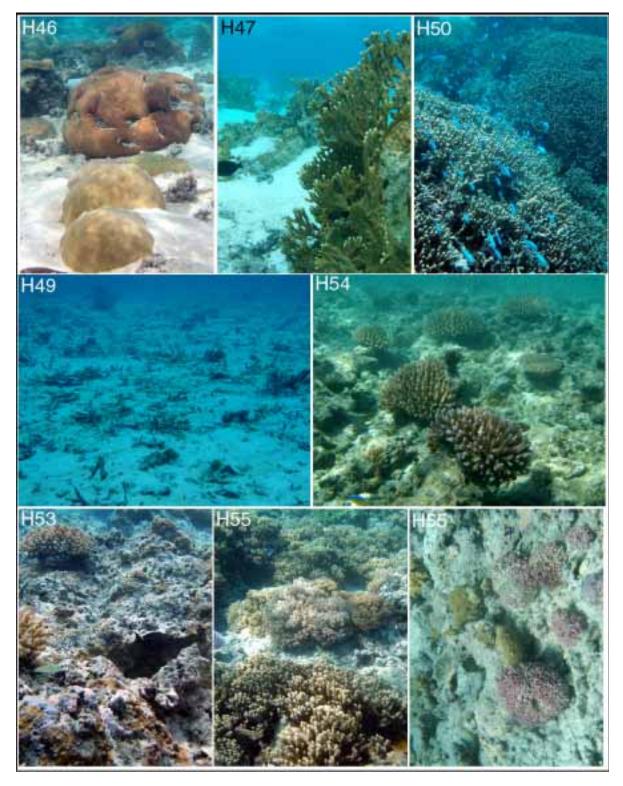


Figure 13 : Planche photographique illustrant les habitats de Wallis de H46 à H55

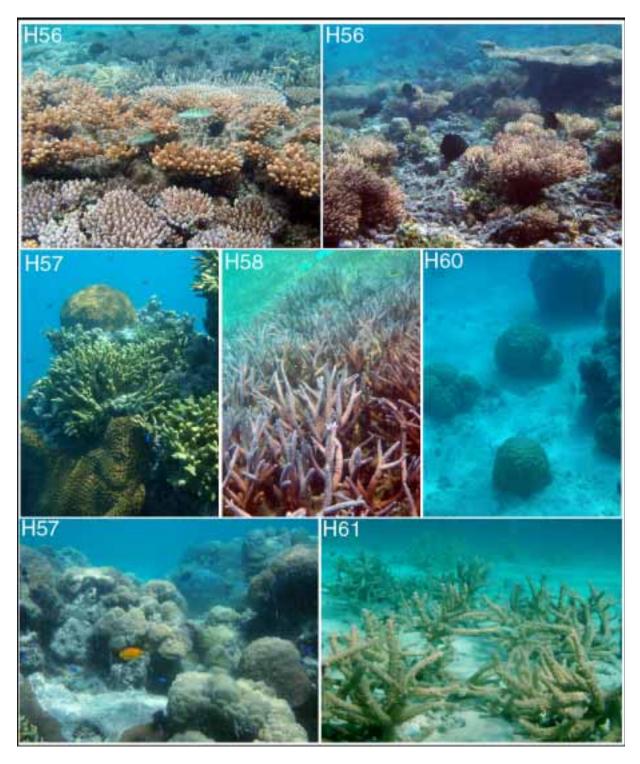


Figure 14 : Planche photographique illustrant les habitats de Wallis de H56 à H61

Futuna et Alofi

Les quatre jours de terrain ont permis de repérer 73 sites qui ont été regroupés en 14 habitats différents suivant leur localisation (géomorphologie de niveau 5) et suivant leurs caractéristiques benthiques en couverture/architecture. Ces 14 habitats n'incluent pas les sites purement sableux. Ces habitats sont définis dans le Tableau 6. Les sites du nord-est de Futuna ont été visités depuis le rivage. Les points GPS indiquent donc le rivage ou le platier, mais la pente externe a également fais l'objet d'observations, en passant sur la crête compte tenu des conditions assez calmes lors du séjour.



Figure 15 : Localisation des 73 sites visités sur Futuna et Alofi

La diversité des habitats de Futuna et Alofi peut donc se décomposer en un arbre hiérarchique de 4 niveaux à 1, 3, 8 et 14 éléments respectivement. Par ailleurs, seul Alofi présente des terrasses de récif frangeant avec des habitats particuliers (H13 et H14 dans tableau 5) qui n'ont pas été rencontrés sur Futuna. Alofi est donc plus riche en habitat que Futuna.

Tableau 5 : Description des habitats de Futuna et Alofi

Label	Geomorpho N3	Geomorpho N5+	Benthos N1	Benthos N2
H1	Récif frangeant	Pente	Substrat dur	Substrat à coralline, sans corail sauf quelques colonies encroûtantes éparses. Présence de tapis de caulerpes vers la crête. Présente parfois des accumulations de blocs
H2	Récif frangeant	Pente	Substrat dur	Substrat à coralline, avec colonies branchues (incl. <i>Millepora</i>), massives ou tabulaires présentes
H7	Récif frangeant	Pente	Substrat dur	Epandage détritique, ou accumulation de rochers dans sillons ou en bas de faille
Н3	Récif frangeant	Pente	Substrat dur à corail dispersé	Substrat à coralline avec nombreuses colonies de formes diverses couvrant 10-50% de la surface
H4	Récif frangeant	Pente	Corail	Substrat à coralline avec nombreuses colonies tabulaires couvrant 10-50% de la surface
HS	Récif frangeant	Pente	Corail	Colonies massives ou foliacées souvent dans faille ou sur les flancs des éperons sillons
9Н	Récif frangeant	Pente	Corail	Pente interne à fort relief, avec massifs coralliens (25-60%) à formes diverses, <i>Millepora</i> , et piscines/pente sableuses
H8	Récif frangeant	Pente	Corail	Pente interne et escarpement à fort relief, forte couverture corallienne, formes très diversifiées (25-60%)
6Н	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur à corail dispersé	Platier corallien érodé et fragmenté avec corail vivant et présence de Millepora
H10	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur	Platier intertidal quasiment sans relief à feutrage algal, tâches d'ascidies
H11	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	Platier subtidal à coralline, colonies tabulaires de 30 cm de diamètre entre 5 et 60% suivant la distance à la crête
H12	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	Piscine de corail branchu compact dense (50-80%) dans platier intertidal. Topographie : 20cm, complexité : 1
H13	Récif frangeant	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	Colonies branchues <i>Acropora</i> spp. 15-40% vivant, turf à la base. Fonds sableux sur dalle
H14	Récif frangeant	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	Colonies massives <i>Porites</i> spp. de 0.5-1m de diamètre dispersées sur fonds sableux. Topographie : 30-100 cm, complexité 2
DIVERSITE	1	1/3	4/7	14

L'ensemble de ces habitats est illustré dans les figures 15 à 17.



Figure 15 : Planche photographique illustrant les habitats de Futuna et Alofi de H1 à H3

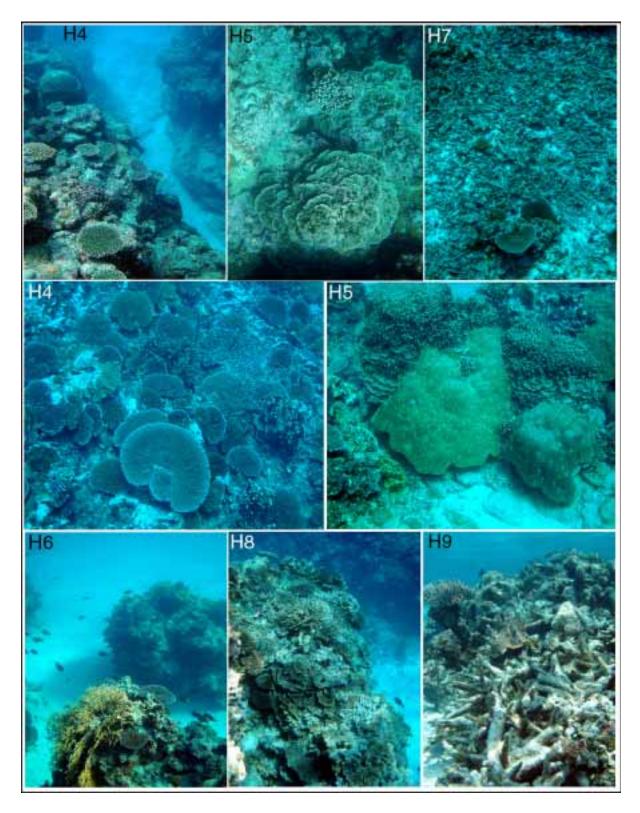


Figure 16 : Planche photographique illustrant les habitats de Futuna et Alofi de H4 à H9

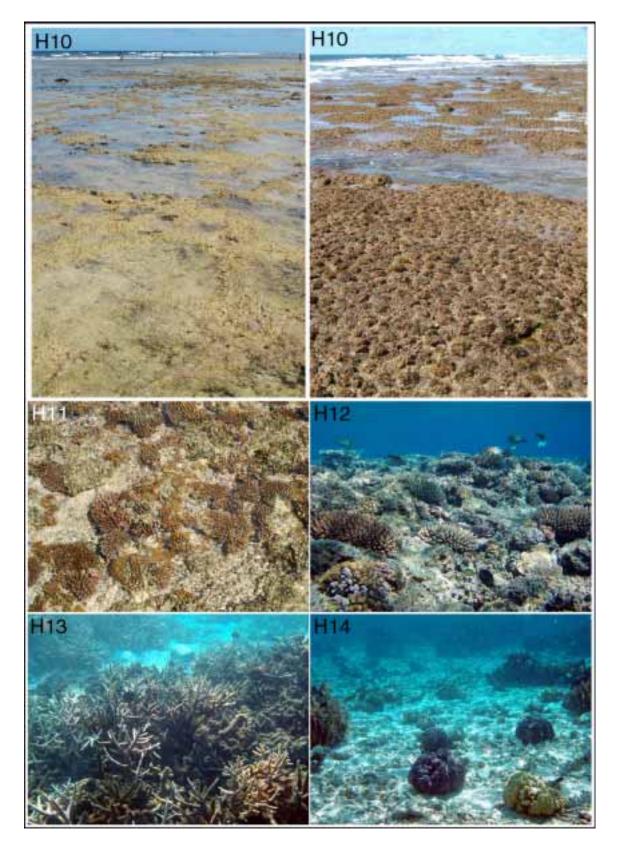


Figure 17 : Planche photographique illustrant les habitats de Futuna et Alofi de H10 à H14

Typologie benthique cartographiée et inventaire des habitats des trois îles

Remarques

Généralisation thématique

La cartographie finale réalisée est bâtie sur l'ensemble des informations disponibles présentées précédemment, à savoir géomorphologie à partir de Landsat et inventaires des habitats observés *in situ*. Quoique déjà très riches, ces deux sources d'informations sont néanmoins incomplètes pour deux raisons :

- La géomorphologie est interprétée en fonction d'images Landsat à 30 mètres de résolution, or la cartographie finale est réalisée à partir d'orthophotographies à 2 m de résolution. En conséquence, la plus haute résolution permet de rajouter des classes géomorphologiques intéressantes à celles définies dans les Tableaux 2 et 3, notamment les escarpement et tombants étroits coralliens qui marquent les fins de platiers, massifs coralliens, bassins enclavés ou terrasses. Ce sont des zones de front importantes qu'il convient de cartographier dans la mesure du possible, si elles sont détectables (i.e. non verticales).
- Certains habitats benthiques de Wallis n'ont pas pu être visités sur le terrain pour toutes les strates géomorphologiques et n'apparaissent donc pas forcément dans le tableau 4 pour une strate géomorphologique donnée (ex : zones d'épandages de blocs de récif barrière), alors que la même classe benthique peut apparaître pour une autre strate (ex : pour les récifs barrières côtiers, H22). L'examen des orthophotos montre des épandages de blocs le long des récifs barrières Est et cette classe est donc cartographiée, en indiquant de se reporter à la classe H22 pour la description benthique. En théorie, il est ainsi possible de compléter et d'enrichir encore plus la typologie en croisant les deux sources d'informations disponibles, suivant ce que les orthophotographies révèlent. Pour Wallis, par exemple, nous pouvons finalement atteindre ~80 habitats en considérant l'ensemble des combinaisons possibles. Toutefois, en pratique, pour la cartographie, nous rencontrons des limitations expliquées à la remarque suivante.

Utilisation des orthophotographies

L'utilisation de l'information radiométrique des orthophotos IGN de Wallis, Futuna et Alofi ne permet pas d'individualiser avec précision tous les habitats benthiques car nous ne disposons que de trois bandes spectrales qui ont en outre des zones de chevauchement importantes le long du spectre.

Pour maintenir une bonne précision de la cartographie, nous devons passer par une étape de simplification des classes benthiques (Figure 2), simplification qui est réalisée de manière *ad hoc* pour chaque combinaison de strates géomorphologiques et de types d'habitats. Par exemple, il n'est pas possible de séparer avec précision les différentes algueraies présentes sur les terrasses de récif barrière côtier et de frangeant (H28, H29, H30, H17, H19, H20). Celles-ci sont donc regroupées en une ou plusieurs nouvelles classes génériques. Il en est de même pour les différents habitats de platiers ou d'herbiers.

Ce regroupement thématique va de pair avec l'augmentation de la taille des surfaces élémentaires cartographiables (*Minimum Mapping Unit*), et implique donc parfois de redéfinir et renommer l'habitat, en le rendant généralement moins spécifique. Par exemple, les habitats de

frangeant précédemment classés en Benthos N1 comme « *Corail* » (H1, H2, H3, H4) et n'existant que sur des petites surfaces, doivent être regroupés pour les besoins de la cartographie avec les classes H5 et H6, qui s'intitulent « *Substrat dur à corail dispersé* ». La résultante est une classe « *Substrat dur à corail dispersé* » et non « *Corail* ». La classe « *Corail* » disparaît donc des platiers récifaux des frangeants. Elle reste toutefois présente sur les escarpements et tombants. De même, les habitats « Herbiers » disparaissent, et se fondent dans les habitats mixtes « Herbiers/Algueraies ».

Par ailleurs, la couverture complète de chaque île résulte d'une mosaïque de différentes orthophotos prises dans des conditions différentes. Malgré l'excellent travail de mosaïquage de l'IGN, des différences radiométriques pour un même habitat subsistent entre différentes parties de la mosaïque. Ceci implique que la cartographie a été optimisée localement, avant d'être regroupée sur l'ensemble de la mosaïque. Ainsi, le récif barrière a été classifié en prenant en compte 7 segments d'images différents; ceci peut parfois poser des problèmes d'ajustement spatial qui obligent à simplifier encore plus la cartographie.

Frontières nettes et gradients

Par nature, certaines classes d'habitats benthiques ont des frontières bien marquées (tâches d'herbiers denses, massifs coralliens, etc.), alors que d'autres montrent des transitions progressives d'un habitat à l'autre. Ceci engendre deux types de représentations : polygones et points. Dans la mesure du possible, les classes sont représentées de la manière la plus compacte possible (polygone), ce qui permet de générer des fichiers vecteurs de taille raisonnable et d'emploi facile dans des logiciels de type SIG. Ces classes compactes se cartographient en général le plus efficacement par photo-interprétation et numérisation manuelle. En revanche, toutes les zones à gradients comme les herbiers/algueraies ou les platiers récifaux des récifs barrières ne se prêtent pas à ce type de rendu si nous voulons pouvoir montrer le passage graduel d'une classe à l'autre. Il faut alors fournir un rendu en gardant le grain fourni par les pixels (points). Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des techniques de classification automatique, supervisée ou non, l'interprétation manuelle étant impossible. C'est ce qui a été appliqué pour les zones à gradients des frangeants et barrières. Toutefois, il reste nécessaire de simplifier drastiquement ce rendu par points en le transformant en polygones (étapes de généralisation spatiale) pour être utilisable dans les SIG. Dans certains cas, des zones à gradients ont été « forcées » par des limites nettes quand leur interprétation fine n'était pas possible pour l'ensemble de la mosaïque, notamment en raison des différences radiométriques d'une zone à l'autre, ou pour accentuer le caractère remarquable d'une zone (ex : platier récifal de récif barrière Est).

Secteurs d'exposition et géomorphologie

Nous avons conservé une séparation entre les différents récifs barrières, et dans une moindre mesure entre les différents herbiers, en fonction de leur exposition. Ceci est justifié par la différence des structures. Par exemple le récif barrière de l'est est caractérisé par des fonds dominés par des épandages de blocs constituant des régions à limites nettes et croisées, alors qu'à l'ouest et au sud le récif barrière présente un gradient de structures dures avec des épandages de blocs entre ces structures. De même, les récifs Sud et Est présentent un platier interne net, alors que celui ci est absent du flanc Nord-Ouest. De plus certains habitats de platiers récifaux (e.g. H33, H34, H35) n'ont été observés que sur les platiers Est, de même que H37 et

H44 qui n'ont été observés qu'au sud. Enfin, le récif barrière Sud-Est, avec son îlot Faioa, présente des structures uniques par rapport au restant du récif barrière. Tout ceci justifie de conserver des séparations entre structures géomorphologiques similaires.

Typologie benthique finale de Wallis et inventaire

La cartographie de Wallis comprend 56 classes d'habitats (Tableau 6), dont 3 classes importantes en superficie : les terres émergées, le lagon profond et la pente externe. Ces deux dernières ne peuvent être détaillées faute de relevés *in situ* suffisants. Pour la pente externe, on se reportera toutefois aux descriptions bionomiques fournies dans Payri et al. 2002 pour plus de détails.

Les parties frangeantes incluent les zones purement frangeantes et celles en continuité avec les terrasses des récifs barrières côtiers. Elles sont cartographiées en 13 classes qui comprennent des zones sédimentaires, des herbiers, des algueraies, des bassins enclavés, des platiers récifaux et des escarpements.

Les récifs barrières côtiers (RBC) sont cartographiés en 15 classes, incluant la partie externe du barrière (platier et accumulation sédimentaire), les terrasses à algueraies, les bassins enclavés, les algueraies autour des îlots Luaniva et Fugalei. Le RBC Ouest est assez différent du RBC Nord-Est. Il est structurellement plus simple, sans bassins enclavés ni platiers intermédiaires, et les platiers récifaux externes du récif barrière sont très différents. On peut également se référer aux transects « Ahoa » et « Vailala » décrits par Collectif (1982) pour plus de détails comparatifs.

Les récifs barrières sont cartographiés en 18 classes, ce qui incluent les platiers et accumulations sédimentaires des récifs Sud, Est et Ouest, ainsi que les 4 passes de Wallis.

Enfin, les massifs coralliens lagonaires sont cartographiés en 7 classes.

Le Tableau 6 ci-après résume l'ensemble de ces 56 classes et leur superficie en km². Il propose de se référer aux photographies des figures 8 à 14 pour illustration, ce qui fournit également un lien sur les classes d'habitats du Tableau 4. Toutefois, il n'y a pas une relation hiérarchique simple entre les classes du Tableau 4 et celles du Tableau 6 pour les raisons expliquées au chapitre « Remarques » ci-dessus. De plus, il est important de réaliser que certains habitats illustrés sont parfois remarquables mais peu étendus voire rare dans les habitats cartographiés (ex: l'habitat H15 de la classe 5). Il faut interpréter les informations du Tableau 4 comme un inventaire de la diversité d'habitats. C'est la description des propriétés des classes figurant dans la dernière colonne du Tableau 6 qui doit dominer la représentation que l'on peut se faire des classes.

L'ensemble de Wallis est présenté Figure 18. Des exemples en pleine résolution de cartographies sont proposés en Figures 19, 20, 21 et 22 pour respectivement des secteurs orientés ouest, nord, est et sud.

Tableau 6 : Description et inventaire des habitats cartographiés sur Wallis

Code	Surface (km²)	Geomorpho N3	Geomorpho N5+	Benthos N1	Exemples in situ sur Figs 8-14	Propriétés
1	77.90	Terre émergée	Terre émergée	Terre émergée		Terre émergée (île et îlots)
2	77.89	Lagon profond	Lagon profond	Lagon profond		Lagon profond (hors limite de visibilité sur orthophotographies)
3	17.09	Pente externe (Récif barrière)	Pente externe	Corail		Pente externe, des plaines sableuses profondes à zone de déferlement des vagues, incluant les différents étages d'éperons sillons
4	2.42	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur à corail dispersé	H3, H4, H5, H6, H11, H41, H55	Platier récifal construit de frangeant
S	1.14	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat meuble à corail dispersé	H1, H2, H12, H15, H40, H61	Platier récifal de frangeant, sable dominant, à structures construites dispersées
9	0.88	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	H19, H20	Herbier très dense (<i>Syringodium</i>), assez pur au nord, présence significative d'algues brunes à l'Est, et d' <i>Halimeda</i> spp. au sud
7	4.45	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	H7, H14, H17, H28, H29	Herbier et algueraie de densité moyenne
8	8.76	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	H16, H18	Herbier et algueraie de densité très faible sur sable gris à terrigène
6	10.27	Récif frangeant	Terrasse	Herbier/algueraie	H7, H13, H14, H16, H18	Fonds sableux, herbier et algueraie de densité faible sur sable gris, petites colonies éparses
10	0.33	Récif frangeant	Terrasse	Algueraie	0£H	Algueraie peu dense sur terrasse de frangeant d'îlots
11	90.0	Récif frangeant	Pente	Corail	H10, H31, H50, H57, H57, H58	Escarpement de platier ou de terrasse de frangeant
12	1.93	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble à corail dispersé	H25, H60, H61	Pente sableuse à colonies coralliennes dispersées
13	0.16	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble		Bassin enclavé dans récif frangeant (sable terrigène)
14	0.81	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble		Bassin enclavé dans terrasse de récif frangeant (sable gris)
15	0.10	Récif frangeant	Pente	Corail	H10, H31, H57, H58	Escarpement corallien de bassin enclavé
16	0.28	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble	-	Bassin ouvert et chenaux artificiels
17	2.46	Récif barrière côtier	Platier récifal	Substrat dur	H22, H39	Platier du barrière Nord-Est, à épandages de blocs
18	96'0	Récif barrière côtier	Platier récifal	Substrat mixte à corail dispersé	H38, H40, H45	Platier du barrière Nord-Est, dalle ou zones coralliennes de faible à moyenne densité sur fonds
01	1 65	District Committee	Distinguishing	C Armet A	2711 1711 711	mixtes Plotice 4: Louising Organ & aletica general forth
19	0.1	Kecil barriere cotier	Platier recital	Substrat dur a	Н3, Н21, Н43,	Platier du barriere Uuest, a platier compact ou forte

				,	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	
,				corail disperse	H26	densite de structures coralliennes
20	1.08	Récif barrière côtier	Platier récifal	Substrat mixte à	H38, H40, H45	Platier du barrière Ouest, à dalle ou zones coralliennes
				corail disperse		de faible a moyenne densite sur tonds mixtes
21	0.53	Récif barrière côtier	Platier récifal	Substrat dur à	H5, H21, H23,	Platier construit de terrasse
				corail dispersé	H45, H57	
22	0.32	Récif barrière côtier	Platier récifal	Substrat meuble à	H25, H46, H60,	Massifs/colonies coralliens dispersés de terrasse sur
				corail dispersé	H61	fonds sableux
23	22.65	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	H7, H14 (tâches)	Substrat meuble, quelques tâches d'algueraies, souvent
						denses au nord-est, plus diffuses à l'ouest
74	5.64	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	H27	Mats de cyanobactéries sur fonds sableux
25	0.36	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	1	Bassin à mats de cyanobactéries et halos autour de
						massifs coralliens dispersés (nord-est uniquement)
97	0.22	Récif barrière côtier	Terrasse	Algueraie	1	Bassin avec mat continue de flore non-identifiée (nord-
						est uniquement)
27	3.94	Récif barrière côtier	Terrasse	Substrat meuble	1	Bassin enclavé
87	96'0	Récif barrière côtier	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	Sable + H49	Accumulation sédimentaire du récif barrière Ouest
29	0.10	Récif barrière côtier	Terrasse	Corail	H3, H10, H31, H57, H58	Escarpement corallien de bassin enclavé
30	0.0012	Récif barrière côtier	Pente	Corail	H1, H57	Escarpement corallien de pente interne (ouest
						uniquement)
31	3.00	Récif barrière côtier	Pente	Substrat meuble à corail dispersé	H25, H60, H61	Pente sableuse à colonies coralliennes dispersées
32	2.80	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur	H22, H39, H40 /	Platier du barrière Est, à épandages de blocs / bordure
					H1, H57	corallienne du platier interne
33	2.01	Récif barrière	Platier récifal	Substrat mixte à	H32, H33, H34,	Platier du barrière Est, à dalle ou zones coralliennes de
				corail dispersé	H35, H40, H45	faible à moyenne densité sur fonds mixtes
34	2.90	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur à	H3, H23, H38,	Platier du barrière Ouest, à platier compact ou forte
				corail disperse	H43	densités de structures coralliennes
35	1.24	Récif barrière	Platier récifal	Substrat mixte à	H40, H41, H42,	Platier du barrière Ouest, à dalle ou zones coralliennes
				corail dispersé	H46, H47	de faible à moyenne densité sur fonds mixtes
36	4.53	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur à	Н3, Н36, Н38,	Platier du barrière Sud, à platier compact ou forte
				corail dispersé	H43 / H1, H31,	densité de structures coralliennes/ bordure corallienne
					H2/	de platier interne
37	2.16	Récif barrière	Platier récifal	Substrat mixte à corail dispersé	H40, H44, H46	Platier du barrière Sud, à dalle ou zones coralliennes de faible à moyenne densité sur fonds mixtes
38	0.05	Récif barrière	Platier récifal	Corail	H50, H53, H55, H56, H57	Platier corallien du barrière Sud, côté lagon d'îlot
39	0.02	Récif barrière	Platier récifal	Substrat dur à	-	Massifs coralliens isolés sur pente interne

				corail dispersé		
40	0.19	Récif barrière	Terrasse	Algueraie	H27	Sable à mats de cyanobactéries
41	2.42	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	Sable + H47, H49	Accumulation sédimentaire du récif barrière Est
42	3.62	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	Sable + H49	Accumulation sédimentaire du récif barrière Ouest
43	6.22	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	Sable +H46, H49	Accumulation sédimentaire du récif barrière Sud
44	0.26	Récif barrière	Terrasse	Substrat meuble	Sable + H13, H49, H27	Accumulation sédimentaire à fond mixte côté lagon d'îlot du récif barrière Sud
45	0.01	Récif barrière	Pente	Corail	H31, H50, H57	Escarpement corallien de pente interne (ouest uniquement)
46	90.0	Récif barrière	Pente	Corail	H10, H31, H50, H57	Escarpement corallien de pente interne (sud uniquement)
47	1.23	Récif barrière	Pente	Substrat meuble à corail dispersé	Н25, Н60, Н61	Pente sableuse à colonies coralliennes dispersées
48	96.0	Récif barrière	Passe	Substrat dur	H31	Fond de passe à dalle et travées sablo-détritiques, escarpement de corail sur les flancs des passes
49	0.01	Récif barrière	Passe	Substrat dur à corail dispersé		Massif corallien de passe
90	1.13	Massif corallien lagonaire	Platier récifal	Corail	H3, H55, H56, H58	Fonds durs coralliens. Coraux mous dominants sur certains massifs
51	1.39	Massif corallien lagonaire	Platier récifal	Substrat mixte à corail dispersé	H32, H54, H55	Fonds mixtes, sableux dominants, à colonies coralliennes diverses
52	0.29	Massif corallien lagonaire	Platier récifal	Substrat meuble à corail dispersé	H7 , H12, H14, H49, H61	Fonds sableux à massifs coralliens dispersés, de formes de croissance diverses, mixés avec algueraie diffuse
53	1.86	Massif corallien lagonaire	Terrasse	Substrat meuble	Sable + H12, H49, H61	Fonds sableux
54	0.39	Massif corallien lagonaire	Pente	Corail	H31, H50, H57, H58	Escarpement de massifs coralliens intertidaux, et pente construite
55	7.65	Massif corallien lagonaire	Pente	Substrat meuble à corail dispersé	Н25, Н60, Н61	Pente sableuse à colonies coralliennes dispersées
99	0.19	Massif corallien lagonaire	Pente	Substrat dur à corail dispersé	1	Massifs profonds, sans platier récifal sub-affleurants

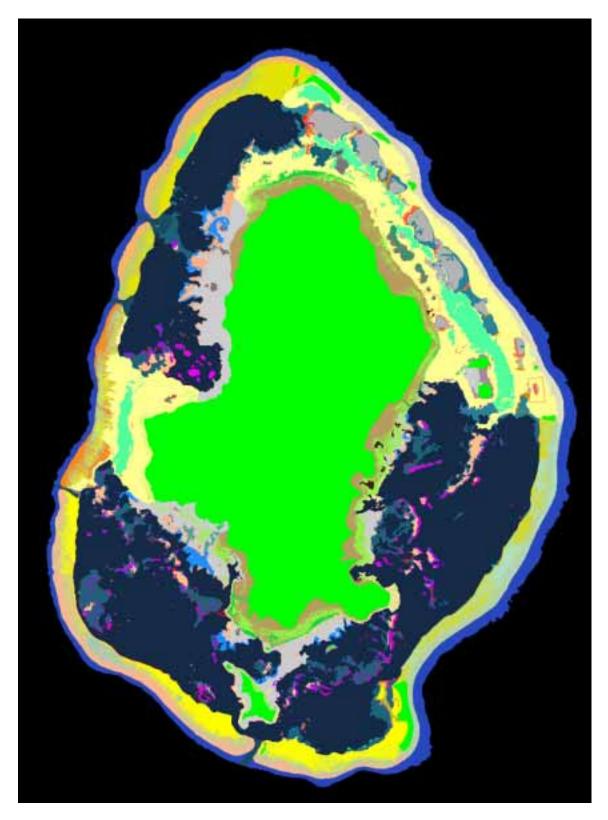


Figure 18 : Cartographie des habitats récifo-lagonaires de Wallis en 56 classes. Les deux polygones à l'est montrent l'emprise des deux Aires Marines Protégées existantes.

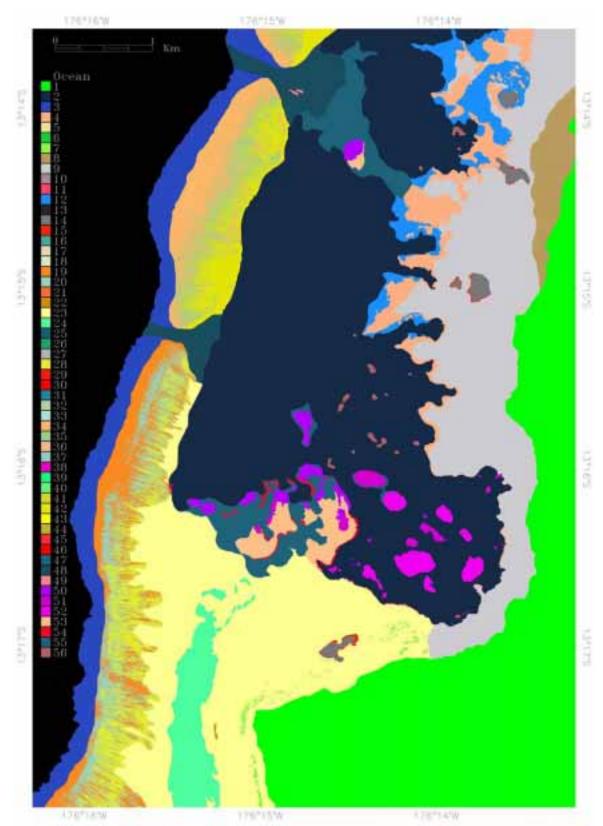


Figure 19 : Cartographie des habitats récifo-lagonaires du secteur Ouest de Wallis. Description des classes Tab. 6.

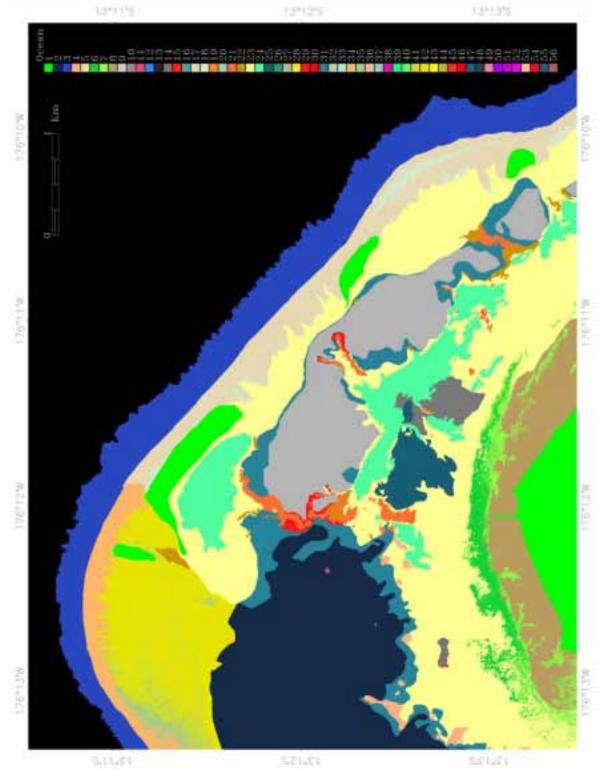


Figure 20 : Cartographie des habitats récifo-lagonaires du secteur Nord de Wallis. Description des classes Tableau 6.



Figure 21 : Cartographie des habitats récifo-lagonaires du secteur Est de Wallis. Description des classes Tableau 6.

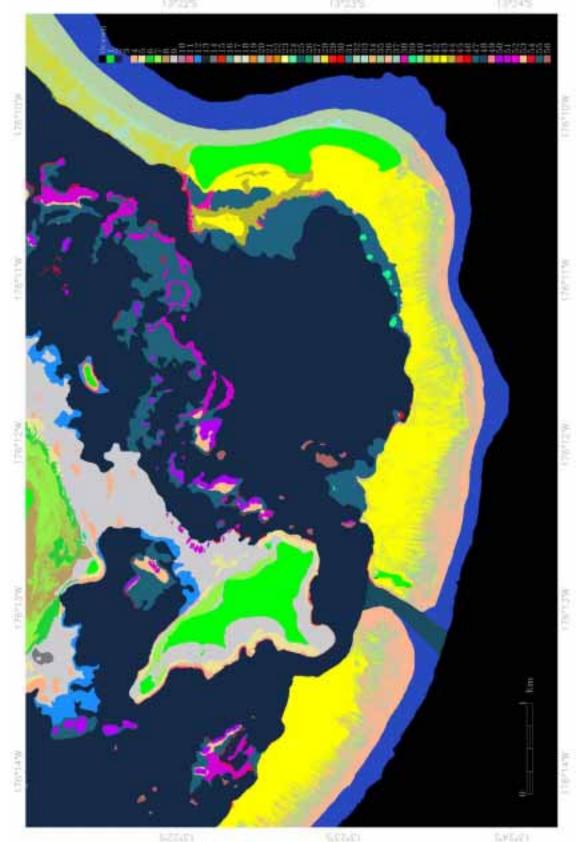


Figure 22 : Cartographie des habitats récifo-lagonaires du secteur Sud de Wallis. Description des classes Tableau 6.

Typologie benthique finale de Futuna et inventaire

Le nombre des habitats que l'on peut cartographier sur Futuna est très limité du fait de la pauvreté en habitats inhérente à Futuna, et du fait de la qualité inégale des orthophotographies qui couvrent les pentes externes. Certains segments sont quasiment opaques, ce qui ne permet pas de cartographier exhaustivement et avec la même précision les différents types d'éperons sillons et *a fortiori* les habitats des pentes externes. Sur les platiers, hormis quelques poches d'*Acropora* sur les platiers du sud-est, c'est l'uniformité qui règne. La limite entre platier et pente externe étant souvent cachée sous les vagues déferlantes, une limite passant généralement au milieu des vagues a été favorisée. Le Tableau 7 ci-après résume l'ensemble des classes cartographiées sur Futuna et leur superficie en km². Ce tableau liste également dans quelle classe cartographiée se trouvent les habitats du Tableau 5. La carte de Futuna réalisée d'après les orthophotos est présentée Figure 23.

Code	Surface	Geomorpho	Geomorpho	Benthos N1	Benthos N2	Propriétés
	(km ²)	N3	N5+			
1	46.12	Terre émergée	Terre émergée			
2	4.82	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur	H10	Platier intertidal
3	0.005	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	H11	Platier avec poches de corail branchu
4	9.78	Récif frangeant	Pente	Substrat dur à corail dispersé	H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8	Zone des éperons sillons

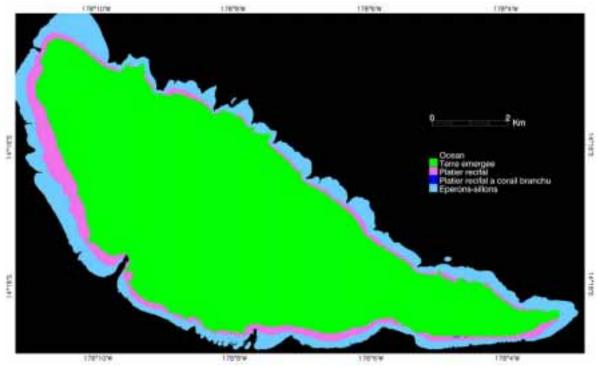


Figure 23 : Cartographie des habitats récifo-lagonaires de Futuna.

Pour Futuna, le passage de Landsat aux orthophotos n'améliore donc pas la richesse thématique accessible (cf. Fig. 4). Il permet toutefois de mieux définir certaines limites et donc de quantifier les surfaces géomorphologiques plus précisément. Toutefois, les orthophotos ne s'étendant pas au large, la pente externe est parfois tronquée, notamment dans la partie Nord où les fonds durs s'étendent très loin. L'étendue de la plaine sableuse à l'est de l'île ne peut pas non plus être quantifiée précisément.

Typologie benthique finale d'Alofi et inventaire

Alofi est un peu plus riche en habitats que Futuna en raison de la présence d'une terrasse lagonaire de frangeant sur son flanc Nord-Ouest, avec 6 classes d'habitats récifo-lagonaires cartographiées. Tout comme pour Futuna, les différents types d'éperons sillons ne peuvent être segmentés de manière exhaustive en raison de la qualité hétérogène des orthophotographies, celles du flanc Est étant marquées par un fort effet de surface qui rend impossible l'interprétation des structures.

Le Tableau 8 ci-après résume l'ensemble des classes cartographiées sur Alofi et leurs superficies en km². Le tableau liste également dans quelle classe cartographiée se trouvent les habitats du Tableau 5. La carte d'Alofi est présentée Figure 24.

Tableau 8 : Description et inventaire des habitats d'Alofi

Code	Surface (km²)	Geomorpho N3	Geomorpho N5+	Benthos N1	Benthos N2	Propriétés
1	17.70	Terre émergée	Terre émergée			
2	0.63	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur	H10	Platier intertidal à dalle rainurée.
3	5.21	Récif frangeant	Pente	Substrat dur à corail dispersé	H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8	Zone des éperons sillons
4	0.55	Récif frangeant	Pente	Substrat meuble		Plaines sableuses et épandages détritiques au delà de la zone des éperons sillons
5	0.57	Récif frangeant	Platier récifal	Substrat dur à corail dispersé	Н9	Platier corallien et zones d'épandages détritiques
6	0.13	Récif frangeant	Platier récifal	Corail	H11, H12	Platier compact à forte couverture corallienne, tabulaires vers la crête, et branchus ou massifs dans les zones protégées
7	0.49	Récif frangeant	Terrasse	Substrat meuble à corail dispersé	H13, H14	Sable dominant à colonie massives dispersées et petites algueraies d' <i>Halimeda</i>

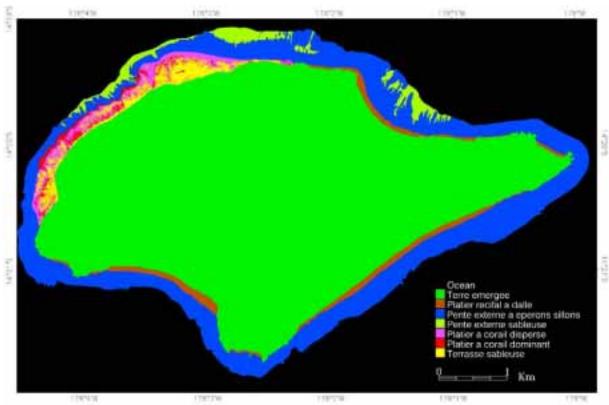


Figure 24 : Cartographie des habitats récifo-lagonaires de Alofi

Remarques et perspectives

Aires marines protégées de Wallis

Il existe deux Aires Marines Protégées (AMP) définies sur le lagon de Wallis, sises Trou de la Tortue et Lano (Fig. 25), respectivement de 40 et 25 hectares. L'examen des classes situées dans l'emprise de chaque AMP révèle qu'elles ne capturent que peu de zones intéressantes. Les classes contenues dans l'AMP de Lano sont les classes 7, 8, 14, 23 et 26. Les classes contenues dans l'AMP du Trou de la Tortue sont les classes 21, 22, 23, 27 et 29 (Tableau 6). Lano ne contient donc aucun herbier dense significatif ni aucune zone corallienne. On n'y trouve que des algueraies sur des fonds meubles, et probablement quelques pâtés dispersés de petite taille. Le Trou de la Tortue inclue un platier étroit de terrasse (habitat 21) et un escarpement corallien bien vivant (habitat 29), mais le site est largement dominée par les zones sableuses (habitat 23, Fig. 25).

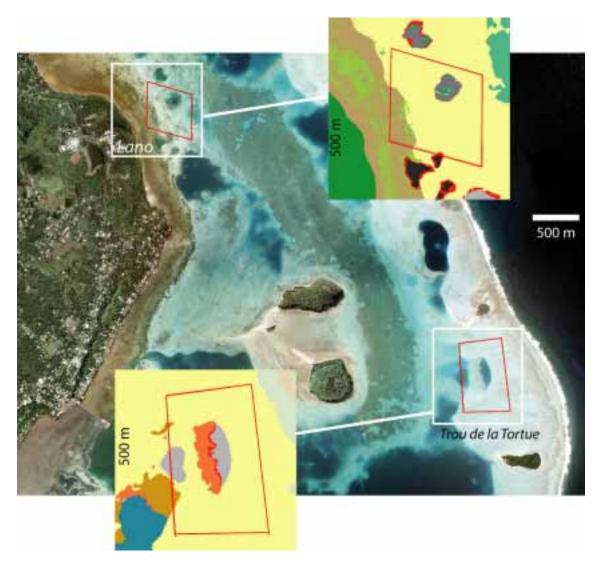


Figure 25: Localisation et cartographie de la zone des deux AMP de Wallis (polygones rouges)

Compte tenu de la richesse des habitats présents sur Wallis, de leur distribution spatiale et des inventaires bionomiques conduits ces dernières années, il est désormais possible d'optimiser la définition et le choix des AMP de Wallis sur des critères objectifs. Si nous ne nous basons que sur la diversité des habitats et notamment sur la diversité des fonds coralliens et des herbiers présentés dans ce rapport, le secteur le plus intéressant est indéniablement celui au sud (Fig. 22).

Surfaces coralliennes de Wallis

Les surfaces de chaque classe du tableau 6 permettent de calculer l'étendue des zones coralliennes du système récifo-lagonaire de Wallis. Si nous effectuons la somme des classes intitulées « Corail » au niveau Benthos N1 (cases rouges), nous obtenons un total de 18.99 km², dont 17.09 viennent de la pente externe. Le lagon ne contient que 1.90 km² de surfaces vraiment coralliennes (avec un recouvrement significatif en corail vivant) sur un total récifo-lagonaire hors pente externe de 196.94 km², soit 1% de la surface. Si nous tenons compte des classes « Substrat

dur à corail dispersé » on obtient 12.24 km² supplémentaires de zones coralliennes situées essentiellement sur les platiers du récif barrière.

Surfaces herbiers/algueraies de Wallis

Les surfaces de chaque classe du tableau 6 permettent de calculer l'étendue des surfaces d'herbiers/algueraies du système récifo-lagonaire de Wallis. Si nous effectuons la somme des classes intitulées « Algueraie» ou « Herbier/Algueraie » au niveau Benthos N1 (cases vertes), nous obtenons un total de 53.75 km². Toutefois, si nous négligeons les algueraies/herbiers très diffus du frangeant (classes 8 et 9) et les zones sableuses du récif barrière côtier où n'apparaissent que des algueraies et des cyanobactéries (23, 24, 25, 40), les zones d'herbiers, mixés avec des algues, couvrent effectivement 5.88 km².

Utilisation des produits cartographiques et SIG

La définition éventuelle d'AMP nouvelles sur Wallis, ou du moins d'un plan de zonage, n'est qu'une application parmi d'autres. A partir des fichiers numériques correspondant aux produits présentés ici, il est possible également:

- d'optimiser les stratégies d'échantillonnage des futures missions d'inventaires ou d'études écologiques,
- de mettre en perspective les échantillonnages déjà réalisées, notamment de voir si des zones ont été sous-échantillonnées et mériteraient un complément d'investigation,
- de définir un plan de suivi complet du lagon, non pas basée sur quelques stations mais sur un nombre suffisant de stations permettant de décrire l'évolution des habitats les plus intéressants de cet inventaire.

Par ailleurs, il serait également souhaitable de vérifier ou compléter notre cartographie par des relevés ponctuels complémentaires effectués par les agents du Service de l'Environnement et reportés sur la carte numérique dans un SIG ou un logiciel de cartographie. Il serait intéressant de mieux cerner les transitions d'herbiers, par exemple, notamment dans le sud.

Remerciements

Nous sommes extrêmement reconnaissants à M. Paino Vanai, responsable du Service de l'Environnement, pour nous avoir permis de découvrir Wallis, Futuna et Alofi par le biais de cette étude, et pour l'accueil et la logistique efficace fournie sur les trois îles. Tous nos remerciements vont également à M. Sosefau Malau, du Service de l'Environnement, qui nous a guidé et éclairé de ses connaissances sur le lagon de Wallis pendant chaque sortie, ainsi qu'au reste du personnel du Service de l'Environnement sur Wallis et Futuna pour leur accueil et leur aide.

Bibliographie

- Andréfouët, S., and H. Guzman, Coral reef distribution, status and geomorphology-biodiversity relationship in Kuna Yala (San Blas) archipelago, Caribbean Panama., *Coral Reefs*, *24*, 31-42, 2005.
- Andréfouët, S., C. Chauvin, S. Spraggins, D. Torres-Pulliza, and C. Kranenburg, Atlas des récifs coralliens de Polynésie française, pp. 38 pages + 86 planches, IRD/SPE, Nouméa,, 2005.
- Andréfouët, S., and D. Torres-Pulliza, Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, pp. 50, IFRECOR, IRD, Nouvelle-Calédonie, Nouméa, 2004.
- Andréfouët, S., et 14 auteurs, Multi-sites evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments, *Remote Sensing of Environment*, 88, 128-143, 2003.
- Andréfouët, S., C. Payri, E.J. Hochberg, C. Hu, M.J. Atkinson, and F. Muller-Karger, Use of in situ and airborne reflectance for scaling-up spectral discrimination of coral reef macroalgae from species to communities, *Marine Ecology Progress Series*, 283, 161-177, 2004.
- Andréfouët, S., and B. Riegl, Remote sensing: a key-tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes, *Coral Reefs*, 23 (1), 1-4, 2004.
- Andréfouët, S., M. Zubia, and C. Payri, Mapping and biomass estimation of the invasive brown algae *Turbinaria* ornata (Turner) J. Agardh and *Sargassum mangarevense* (Grunow) Setchell on heterogeneous Tahitian coral reefs using 4-meter resolution IKONOS satellite data, *Coral Reefs*, 23 (1), 26-38, 2004.
- Andréfouët, S., F.E. Muller-Karger, J.A. Robinson, C.J. Kranenburg, D. Torres-Pulliza, S.A. Spraggins, and B. Murch, sous presse. Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications: a view from space, Proceedings 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa, June 28-July 2 2004.
- Capolsini, P., S. Andréfouët, C. Rion, and C. Payri, A comparison of Landsat ETM+, SPOT HRV, Ikonos, ASTER and airborne MASTER data for coral reef habitat mapping in South Pacific islands, *Canadian J. Remote Sensing*, 29 (2), 187-200, 2003.
- Collectif, Etude de l'environnement lagonaire et récifal des îles Wallis et Futuna (Polynésie occidentale). 1982, Rapport d'Etudes EPHE RL9. 100 pages.
- Cros, A. 2005. Preliminary in situ and remote sensing assessment of habitat diversity and coral cover along Abore Reef (New-Caledonia). Rapport de stage IRD/Nouméa, Juillet 2005.
- Congalton, R., and K. Green, Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices, 137 pp., Lewis Publishers, New-York, 1999.
- Foody, G.M., Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment*, 80, 185-201, 2002
- Mumby, P.J., and A.J. Edwards, Mapping marine environments with IKONOS imagery: enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy, *Remote Sensing Environment*, 82, 248-257, 2002.
- Payri, C.E., M. Pichon, F. Benzoni, A.D.R. N'yeurt, H. Verbruggen, S. Andréfouët, Contribution à l'étude de la biodiversité dans les récifs coralliens de Wallis: scléractiniaires et macrophytes. Rapport Atelier Marin Wallis 2002. 54 pages.

ANNEXE

Fiche de relevés « Habitat » utilisée pour décrire semi-quantitativement la couverture benthique et l'architecture des habitats récifo-lagonaires.

