

Master 1 Géomatique de Montpellier

UE Projet Tuteuré (TV24GQ)



Inventorier et caractériser les passes récifales du Pacifique Sud : contribution au projet SOCPacific2R

Par LAFONT Nathan et MARTIN Samuel

Université Montpellier Paul Valéry

Février 2025 – Mai 2025

RÉSUMÉ

Dans le cadre de notre formation en Master 1 Géomatique, nous avons eu l'occasion de réaliser un projet tuteuré d'une durée de 4 mois au sein de l'UMR-SENS (IRD, CIRAD, UPVM) sur le site Saint-Charles à l'Université Paul Valéry Montpellier.

Notre mission était de recenser les passes récifales présentes sur les îles de Grande-Terre et l'archipel des îles Loyauté (Nouvelle-Calédonie), celles de Viti Levu, Vanua Levu, Ovalau et Moturiki (Fidji) et finalement, de Tahiti et Moorea (Polynésie française). Puis, il s'agissait de définir un ensemble de critères et méthodes permettant d'enrichir le corpus d'indicateurs les caractérisant. Ce travail de recensement impliquait la photo-interprétation des passes, l'élaboration d'indices et le choix de critères pour caractériser ces formations récifales. Nous avons ensuite eu à rendre ce corpus de données intelligible et accessible au grand public par le biais d'une interface web-cartographique ouvrant l'échange entre les acteurs et les usagers des passes récifales et les membres du projet.

Ce projet nous a permis de mettre à profit et de renforcer nos compétences en photo-interprétation, calcul d'indicateurs et, plus globalement, en Systèmes d'Information pour la Géographie. Nous avons également pu enrichir nos connaissances en développement web avec l'utilisation de nouveaux outils comme OpenLayer 3. Enfin, ce projet nous a appris à recevoir, comprendre, traduire et mener à bien une commande ; nous avons ainsi pu apprendre et développer nos compétences de gestion de projet.

SUMMARY

Through our Geomatics Master Degree program, we had the opportunity to complete a 4-month supervised project within the UMR-SENS (IRD, CIRAD, UPVM) at the Saint-Charles site of the Paul Valéry University of Montpellier.

Our mission was to identify and inventory reef passages present on the islands of Grande-Terre and Les Îles Loyauté archipelago (New Caledonia), those of Viti Levu, Vanua Levu, Ovalau, and Moturiki (Fiji), and finally, Tahiti and Moorea (French Polynesia). The next step was to define a set of criteria and methods to enrich the corpus of indicators characterizing them. This inventory work involved remote sensing the passes, developing indices, and selecting criteria to characterize these reef formations. We then had to make this database intelligible and accessible to the general public through a dynamic webmap interface that facilitate communication between reef passage stakeholders and users and project members.

This project allowed us to leverage and strengthen our skills in remote sensing, indicator calculation, and, more generally, Geographic Information Systems. We were also able to expand our web development knowledge by using new tools like OpenLayer 3. Finally, this project taught us how to receive, understand, translate, and successfully complete a project order; we were thus able to learn and develop our project management skills.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	5
Introduction.....	6
I. Contexte.....	8
1. Contexte scientifique et Commanditaires.....	8
2. Mission	9
II. Méthodologie d'identification des passes récifales.	11
1. Données de départ	11
2. Méthodologie de saisie et photo-interprétation.....	15
III. Indicateurs et morphologie descriptive : enrichissement de la table attributaire des passes récifales.....	19
1. Variables d'environnement et typologie	19
2. Informations morphologiques.....	23
IV. Une application web-cartographique pour une mise en dialogue avec les acteurs des passes récifales.....	29
1. Rendre la donnée accessible et consultable	29
2. Développement d'une carte web via OpenLayers 3	30
3. Développer une interface web pour intégrer la carte dynamique	38
V. Conclusion et perspectives.....	41
Bibliographie et Webographie.....	44

TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Organigramme du programme SOCPacific2R. Source : socpacific.link	8
Figure 2 - Capture de la base de données initiale. Source : https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.942568 , Alexandra Nozik et al.	11
Figure 3 - Comparatif entre l'imagerie Google (à gauche) et ESRI (à droite) - Source : Production personnelle à partir de captures d'écran ESRI et Google	12
Figure 4 - Comparatif entre l'imagerie Google (à gauche) et ESRI (à droite) - Source : Production personnelle à partir de captures d'écran ESRI et Google.	13
Figure 5 - Recifs à l'est de Viti Levu (Image ESRI) - Source : production personnelle à partir de capture d'écran d'images ESRI.	13
Figure 6 - Illustration de la superposition des informations OSM avec l'imagerie Google. Source : Image GoogleSat et entités OpenStreetMap.	14
Figure 7 - Comparatif entre l'imagerie Google et la couche OSM standard. Source : Image GoogleSat. et OSM Standard.	15
Figure 8 - Ile de Malolo à l'Ouest de Fidji, Production personnelle Source : Image GoogleSat. 16	
Figure 9 - Passe récifale à l'Est de Viti Levu. Source : Image GoogleSat.	17
Figure 10bis - Passe Havae au Sud de Tahiti, Image Esti Satellite	17
Figure 11 - Passe au Nord-Ouest de	17
Figure 12 - Passe de Matauvau au Sud-Ouest de Moorea. Source : image ESRI.....	18
Figure 13 - Passes récifale respectivement ; au Sud de Viti Levu, au Sud de Malolo, Sud de Grande-Terre. Source : Image Google Satellite	19
Figure 14 - Schéma explicatif des types de passes. Source : « A typology for reef passes » (A. Breckwoldt et al., 2022)	20
Figure 15 - Passes récifales au Sud de Viti Levu. Source : Image Google Satellite.	21
Figure 16 - Passe récifale à l'Est d'Ovalau face au village de Levuka. Source : image Google Satellite.	22
Figure 17 - Passe récifale à l'EST de Tahiti. Source : Image Google Satellite.....	22
Figure 18 - Schématisation d'une ligne pour coupe topographique. Source : production personnelle.....	25

Figure 19 - Resultat en sortie de l'algorithme "Profiles from lines" de SAGA. Source : production personnelle.....	26
Figure 20 - Exemples d'un cas correct (à gauche) et incorrect (à droite) sortie du script. Source : production personnelle.	27

REMERCIEMENTS

Remerciements à Jean-François GIRRES (enseignant-chercheur à l'Université de Montpellier Paul-Valéry, rattaché à l'UMR Espace-Dev) pour nous avoir aiguillé dans notre gestion de projet.

Remerciements à Élodie FACHE (chargée de recherche à l'IRD au sein de l'UMR SENS et co-coordinatrice du projet SOCPacific2R) pour sa présence et pour avoir partagé avec nous ses connaissances des passes récifales du Pacifique Sud.

Remerciements à Auréa POTTIER (ingénieure d'étude à l'IRD au sein de l'UMR-SENS et membre de l'équipe du projet SOCPacific2R) pour avoir été présente à chacune de nos réunions et pour avoir partagé avec nous ses idées.

Remerciements à Annette BRECKWOLDT (Chercheuse interdisciplinaire en sciences marine au sein du ZMT et co-coordinatrice du projet SOCPacific2R), Stéphanie CARRIÈRE (directrice de recherche à l'IRD et membre de l'équipe du projet SOCPacific2R) et Catherine SABINOT (chargée de recherche à l'IRD au sein de l'UMR Espace-Dev et membre de l'équipe du projet SOCPacific2R) pour leur remarques et suggestions qui nous ont permis d'affiner nos travaux de recensement et l'interface web-cartographique.

Enfin, remerciements à nouveau à Élodie FACHE, Auréa POTTIER, Stéphanie CARRIÈRE et Catherine SABINOT pour nous avoir offert l'opportunité de travailler sur ce projet enrichissant et formateur.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la formation de Master Géomatique des Université de Montpellier et Montpellier Paul Valéry et de AgroParisTech, nous avons eu à réaliser un projet tuteuré dans le but d'élargir et approfondir nos connaissances et compétences de géomaticiens. Le sujet de ce projet nous a été proposé parmi un corpus de 10 sujets variés et a retenu notre attention pour son aspect transdisciplinaire, le milieu étudié et les compétences requises. De plus, ce sujet de projet tuteuré permettait de suivre la chaîne complète de l'information géographique (5 A) à savoir : l'Acquisition de la donnée, son Archivage, l'Analyse de celle-ci, son Affichage (diffusion), et finalement l'Abstraction que nous n'avons finalement abordé qu'en théorie. C'est donc naturellement que nous avons sélectionné le sujet « SOCPacific2R, analyse des passes récifales à Fidji, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française » (cf. Annexe 1 : feuille descriptive du sujet).

Le projet SOCPacific2R vise à mieux comprendre les espaces complexes que sont les passes récifales, à cerner les enjeux qui gravitent autour et à établir un dialogue participatif et transdisciplinaire entre les acteurs concernés pour mieux valoriser et conserver ces milieux. En effet, dans le contexte du Pacifique Sud, les passes récifales constituent des espaces maritimes à enjeux forts et multiples. Elles jouent un rôle écologique essentiel, en facilitant notamment l'accès aux lagons pour certaines espèces de poissons pélagiques ou encore aux plages de ponte pour les tortues marines. Par ailleurs, ces passages peuvent revêtir une dimension sociale, culturelle ou spirituelle, pouvant influencer ou expliquer, par exemple, la localisation de villages ou installations humaines le long des littoraux. D'un point de vue économique, les passes récifales représentent également des points d'accès stratégiques à la haute mer, notamment pour les activités de pêche ou de transport maritime. Ces fonctions ne sont pas exclusives les unes des autres : une même passe peut cumuler plusieurs usages et valeurs pour les communautés locales. Dès lors, l'élaboration d'une typologie des passes récifales ne vise pas uniquement une classification descriptive, mais doit permettre une meilleure compréhension de la diversité de leurs usages, valeurs et rôles socio-écologiques. Cela pourrait ainsi contribuer à la mise en œuvre de dispositifs de gestion et de conservation plus sensibles aux spécificités locales, en conciliant préservation écologique et reconnaissance des pratiques et besoins des acteurs concernés.

C'est donc dans ce cadre, et avec l'appui d'Élodie FACHE, Auréa POTTIER et Stéphanie CARRIÈRE (chercheuses à l'IRD au sein de l'UMR SENS), Jean-François GIRRES (chercheur à l'IRD au sein de l'UMR Espace-Dev) et Annette BRECKWOLDT (chercheuse au ZMT) que nous nous sommes vus attribuer la mission d'inventorier et caractériser les passes récifales de Fidji, Nouvelle-Calédonie et Polynésie française.

Afin de répondre aux objectifs du projet, nous avons, dans un premier temps, procédé à l'inventaire des passes récifales de certaines îles de Fidji, de Nouvelle-Calédonie et de la

Polynésie française en mobilisant des outils de systèmes d'information géographique (SIG) tel que le logiciel QGIS (v. 3.28). Dans un second temps, nous avons cherché à enrichir la description de ces passes à l'aide d'indicateurs complémentaires visant à améliorer la compréhension de leurs fonctions et de leurs usages. Enfin, les données ainsi produites ont été intégrées au sein d'une interface web cartographique, conçue à l'aide d'une architecture simple en HTML, CSS et JavaScript. Cette plateforme interactive permet de rendre accessibles, de manière structurée et lisible, les informations spécifiques à chaque passe récifale. Elle doit également être pensée pour être évolutive et accueillir, à terme, d'avantages de données du projet SOCPacific2R ainsi que des liens vers d'autres produits de la recherche (articles, storymaps, atlas, etc).

I. CONTEXTE

1. CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET COMMANDITAIRES

SOCPacific2R est un projet basé sur une coopération entre 3 équipes (cf. figure 1) venant respectivement de l'Université Pacifique Sud (USP) à Fidji, du Leibniz Centre for Tropical Marine Research (ZMT) en Allemagne et de l'Institut de Recherche pour le Développement en France (IRD). En outre, il bénéficie du soutien ponctuel d'étudiants ou d'autres personnes externes et d'un groupe consultatif.

SOCPacific2R a débuté en septembre 2024. Il a émergé du projet de recherche interdisciplinaire 'A Sea of Connections: Contextualizing Fisheries in the South Pacific Region' (SOCPacific) et s'inscrit dans la continuité de ce dernier. Le projet est cofinancé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-23-FRAL-0002-01) et son homologue allemand (Deutsche Forschungsgemeinschaft ou DFG - Projektnummer 529664738) pendant 36 mois. SOCPacific2R devrait prendre fin en septembre 2027.



Figure 1 - Organigramme du programme SOCPacific2R. Source : socpacific.link

Le projet s'articule autour de trois grands axes, à savoir « réaliser une étude transdisciplinaire des passes récifales en tant qu'assemblage complexe », « documenter et

analyser les dispositifs de gestion appliqués à ces passes » et enfin « établir un dialogue participatif science-société-politique » autour de ces espaces.

C'est pour répondre principalement aux premier et troisième objectifs qu'Élodie FACHE (chargée de recherche à l'IRD au sein de l'UMR SENS et co-coordinatrice du projet SOCPacific2R), Auréa POTTIER (ingénieure d'étude à l'IRD au sein de l'UMR-SENS et membre de l'équipe du projet SOCPacific2R), Stéphanie CARRIÈRE (directrice de recherche à l'IRD et membre de l'équipe du projet SOCPacific2R) et Catherine SABINOT (chargée de recherche à l'IRD au sein de l'UMR Espace-Dev et membre de l'équipe du projet SOCPacific2R), membres de l'équipe de SOCPacific2R, nous ont proposé un sujet de projet tuteuré visant à affiner le travail de typologie des passes récifales initié '*A typology for reef passages*' (A. Breckwoldt et al., 2022), à les recenser et à les cartographier dans une interface web-cartographique.

2. MISSION

Dans le cadre du précédent projet SOCPacific (2018-2022), antérieurement à notre implication, une première typologie a été établie par Annette Breckwoldt (ZMT) et al. dans un article paru en 2022, *A Typology of Reef Passages*. En complément de cet article, une base de données initiale regroupant les premières passes récifales recensées par Alexandra Nozik (ZMT) et al. a été publiée sur la plateforme de partage de données géographiques PANGAEA.

En se basant sur ces premières parutions relatives au projet SOCPacific2R, la requête initiale était de réétudier la typologie des passes récifales et de poursuivre le recensement de ces espaces dans 3 zones géographiques prioritaires : la Nouvelle-Calédonie (Grande-Terre et les îles Loyauté) ; Fidji (notamment les îles de Viti Levu, Vanua Levu, Ovalau et Moturiki) ; et, finalement, Polynésie française en objectif secondaire (un focus sur Tahiti et Moorea). En plus de cela, si le temps le permettait, une interface web-cartographique dynamique présentant ces passes et leurs caractéristiques était à élaborer.

Au fil des premières réunions, recherches et lectures, certaines orientations ont été ajustées. L'abondance de données précises, complètes et uniques (vis-à-vis des autres archipels étudiés) sur Tahiti et Moorea a conduit à rehausser son statut au même niveau que les deux autres zones d'étude dans la hiérarchie des priorités. Par ailleurs, la révision complète de la typologie initiale, nécessitant des expertises spécifiques en écologie et en anthropologie, a été écartée au profit d'un approfondissement empirique basé sur des indicateurs plus objectifs. De plus, un tel enrichissement facilitera, à l'avenir, l'élaboration d'une typologie plus complète. Dans le même temps, l'interface cartographique, initialement objectif facultatif, est devenue un livrable central de la mission. Celle-ci offre aux acteurs concernés par les passes l'opportunité de prendre directement connaissance des informations issues du projet mais surtout d'échanger avec les membres de l'équipe de SOCPacific2R sur leur propre expérience et connaissance de ces milieux.

Ainsi, la commande peut se résumer en 3 objectifs :

- Objectif 1 : **Recenser** les passes récifales dans les trois zones géographiques cibles ;
- Objectif 2 : **Caractériser** ces passes par l'ajout d'indices descriptifs et d'attributs géographiques pertinents ;
- Objectif 3 : **Diffuser** ces informations via une plateforme web interactive facilitant la consultation et la participation des acteurs locaux.

Ainsi, pour répondre à ces objectifs, nous avons produit deux livrables principaux. Le premier est une base de données sous forme de corpus de couches vectorielles, éditables, regroupant les passes récifales des trois archipels ainsi que les nouveaux indices aidant à leur caractérisation. L'interface web-cartographique dynamique constitue le second livrable.

II. METHODOLOGIE D'IDENTIFICATION DES PASSES RECIFALES.

1. DONNÉES DE DÉPART

Pour préparer l'identification de passes récifales, une base de données déjà réalisée dans le cadre du projet SOCPacific2R par A. Nozik et al. publiée en accès libre sur *Pangaea* était disponible (<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.942568>). Cette base de données couvre la Nouvelle-Calédonie et certaines îles de Fidji. Elle nous a servi de modèle pour élaborer notre propre base. À partir de ces travaux, nous avons commencé à réfléchir à des pistes d'améliorations sur la méthodologie d'identification des passes.

Ces données ont été collectées pour accompagner l'article de recherche 'A Typology for Reef Passages' par A. Breckwoldt et al. Cet article, visant à décrire une typologie pour les passes récifales, contient une méthodologie expliquant comment les valeurs des champs des caractéristiques des passes sont calculées ou déterminées, ainsi que des métadonnées essentielles à la contextualisation des passes.

Event	Longitude	Latitude	ID	Location	Type	Dist shore [n w [m]	
SOCP-001	178.3286799	-16.8309160		1 Yadua (FJ)	Lagoon	291.9874203	35
SOCP-001	178.3312221	-16.8139322		2 Yadua (FJ)	Lagoon	451.6836649	50
SOCP-001	178.3066847	-16.8010912		3 Yadua (FJ)	Coastal	86.01195408	20
SOCP-001	178.2966518	-16.7999893		4 Yadua (FJ)	Coastal	53.92149316	20
SOCP-001	178.3045724	-16.8319193		5 Yadua (FJ)	Coastal	264.9250986	5
SOCP-002	-179.320684	-17.7718135		6 Cicia (FJ)	Lagoon	266.8868385	10
SOCP-002	-179.341022	-17.7273481		7 Cicia (FJ)	Lagoon	344.1833417	23
SOCP-002	-179.290387	-17.7219689		8 Cicia (FJ)	Lagoon	439.2812177	95
SOCP-003	179.3675453	-18.0729674		9 Gau (FJ)	Lagoon	446.4152958	130
SOCP-003	179.3551498	-18.0414235		10 Gau (FJ)	Lagoon	421.4076234	200
SOCP-003	179.3548819	-18.0274179		11 Gau (FJ)	Lagoon	316.9235610	50

Figure 2 - Capture de la base de données initiale. Source : <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.942568>, Alexandra Nozik et al.

Les attributs choisis pour la base de données permettent de localiser les passes sur une carte (*Longitude* et *Latitude*), nous renseigne sur l'archipel où est située la passe (*Location*), donnent des caractéristiques physiques des passes telles que la largeur et la distance à la côte (*Dist shore [m]*, *w [m]*). Ces données physiques des passes permettent de déterminer son *Type* (coastal passage, lagoon passage, open water passages). La méthodologie permettant de déterminer le type d'une passe à partir de ses caractéristiques physiques est décrite dans l'article « *A Typology for Reef Passages* ». Certaines de ces données ont été obtenues par photo-

interprétation, et peuvent être sujet à débat du fait de l'imprécision ou de la pauvreté des données de base utilisées pour ces interprétations.

La compréhension de la méthode employée par l'article a été déterminante pour que nous puissions proposer une identification plus fine des passes récifales. Elle nous a servi de matériel de base pour amorcer notre propre méthodologie d'identification. En effet, nous avons gardé la plupart des champs déjà présents dans l'article même si la méthode de calcul de certains d'entre eux a évolué. Les champs ajoutés lors de notre projet ont été le fruit de réflexions et d'échanges avec les commanditaires. Ces nouveaux champs seront décrits et expliqués plus loin dans le mémoire.

En reprenant la méthodologie de saisie antérieurement établie à ce projet tuteuré, la saisie des passes par photo-interprétation nécessite des images satellites des passes des archipels étudiés. Nous avons utilisé l'imagerie Google Satellite, les données Google ont l'avantage d'être régulièrement mises à jour et d'être généralement de bonne qualité. Cette imagerie est, en outre, facilement intégrable à QGIS par un flux, ce qui rend la photo-interprétation d'autant plus efficace.

L'imagerie Google reste cependant limitée, et ce surtout dans les territoires isolés du monde, en effet certaines tuiles ne couvrent pas correctement les récifs. Dans ces cas-là, la *World Imagery* fourni par ESRI est préférée. Ces images ESRI comportent, elles aussi, des manquements et nous avons donc veillé à nous appuyer sur chacune de ces deux sources pour assurer la qualité de notre inventaire. Les images Google Satellite ont été préférées dans la plupart des cas bien que l'imagerie ESRI s'est avérée nécessaire à de nombreuses reprises. (voir figures 3 et 4)



Figure 3 - Comparatif entre l'imagerie Google (à gauche) et ESRI (à droite) - Source : Production personnelle à partir de captures d'écran ESRI et Google

Passe récifale au Sud-Est de Suva, Fiji : 3 tuiles d'image satellites différentes se touchent à cet endroit, les couleurs et les ombres ne sont pas les mêmes. L'identification peut en être impactée, en effet avec une image la profondeur de l'eau est perceptible par la nuance de couleur de l'eau entre deux milieux. Ces changements de couleurs peuvent provoquer des biais visuels pour l'interprétation des passes.



Figure 4 - Comparatif entre l'imagerie Google (à gauche) et ESRI (à droite) - Source : Production personnelle à partir de captures d'écran ESRI et Google.

Le choix des images satellites est essentiel pour la qualité de l'identification des passes. Toutes les passes n'ont pas été répertoriées avec le même jeu d'image satellite, la résolution et la propreté des tuiles n'est pas la même pour toutes les zones d'étude, nous avons donc dû choisir entre l'imagerie satellite de Google et celle d'ESRI. Cependant la cohérence des relevés dépend aussi de l'uniformisation de la couche d'imagerie utilisée, en effet les couleurs des couches et leur résolution peuvent faire ressortir des biais dans le repérage des passes. (voir figure 5)

Récifs à L'Est de Viti Levu : l'image fournie par ESRI ne permet pas d'identifier où se situe la passe récifale, il semble que la capture de l'image satellite ait été réalisée lors du passage d'un nuage.



Figure 5 - Recifs à l'est de Viti Levu (Image ESRI)

- Source : production personnelle à partir de capture d'écran d'images ESRI.

Les données d'imageries sont un premier matériel géographique pour l'identification des passes et permettent de localiser les passes sur l'archipel. À partir de cette localisation (île et pays) et de sa distance à la côte (Dist shore [m]), on peut également avoir une estimation de son type. Cependant, il manque aux images satellites des informations sur le contexte des passes récifales. Les toponymes et les éléments topologiques de l'environnement proche apportent un contexte spatial à la passe. Dans le cadre de notre projet, ces données sont extraites de la base de données libre OpenStreetMap (OSM).

Les données OSM sont en accès libre (sous réserve de les citer) et offrent un large choix de données topologiques. Dans le cadre du projet, le trait de côtes, les lieux habités et les cours d'eau sont extraits de la base de données OSM pour calculer davantage d'indicateurs permettant de qualifier l'environnement d'une passe et éventuellement comprendre son rôle ou son origine.

Capture d'écran QGIS du Nord-Est de l'île de Moturiki. Les toponymes de lieux habités et les cours d'eaux issus de la base de données OSM nous renseignent sur le contexte des passes récifales.



Figure 6 - Illustration de la superposition des informations OSM avec l'imagerie Google. Source : Image GoogleSat et entités OpenStreetMap.

Pour les toponymes, les informations contenues dans OSM sont satisfaisantes pour les îles et villages. Cependant, elles restent limitées et très incomplètes pour les noms des récifs et

encore plus pauvres en ce qui concerne les passes. En effet, à Fidji aucun nom de passe n'est recensé sur OSM et les récifs, pouvant servir en dernier recours à l'identification de passes, ne sont que partiellement recensés. Cette pauvreté de l'information rend l'utilisation d'OpenStreetMap trop peu fiable pour l'identification des passes (voir figure 7). Quant aux autres territoires étudiés (Polynésie française et Nouvelle-Calédonie), certaines passes sont répertoriées et nommées mais ne correspondent pas toujours à la définition de passe donnée par l'article de A. Breckwoldt (2022). Les récifs de Polynésie Française et de Nouvelle-Calédonie font cependant l'objet d'un inventaire plus complet que ceux de Fidji et peuvent parfois servir à dénouer des situations d'identification complexes.



Figure 7 - Comparatif entre l'imagerie Google et la couche OSM standard. Source : Image GoogleSat. et OSM Standard.

OSM couvre le monde entier, il faut néanmoins prendre en compte que c'est une base de données participative alimentée par les utilisateurs eux-mêmes, tous les territoires du monde ne sont pas renseignés de la même façon ou avec la même rigueur. Certains pays ne disposent pas d'une communauté organisée, la quantité et la qualité des données s'en trouvent fortement affectées. Les territoires isolés (notamment les îlots quasi déserts) ont des données d'une qualité très hétérogène. OSM a cependant l'avantage d'être accessible et gratuit. De plus, il s'intègre dans la plupart des logiciels SIG et extensions comme *QuickOSM* développée par Etienne Trimaille permettent de sélectionner et d'extraire des données d'une zone spécifique.

2. METHODOLOGIE DE SAISIE ET PHOTO-INTERPRETATION

Définir un élément géographique implique de faire des choix, parfois arbitraires. Pour nommer un phénomène ou un composant du paysage, il est nécessaire de s'appuyer sur des critères précis permettant d'aboutir à une définition partagée. Prenons l'exemple de la forêt : selon *GéoConfluence*, il s'agit d'une « formation végétale constituée d'arbres plantés ou spontanés, aux cimes jointives ou peu espacées, dominant souvent un sous-bois arbustif ou herbacé. » (*Géoconfluence*, Glossaire : Forêt, Septembre 2024). À cette définition s'ajoutent des critères quantitatifs, comme une surface minimale de 4 hectares, qui permettent de distinguer la

forêt d'autres formations boisées. D'autres spécifications peuvent encore affiner cette notion. Cependant, fixer une définition trop stricte peut conduire à exclure certains territoires, qui, bien que proches de cette réalité, ne remplissent pas l'ensemble des critères retenus.

Les passes récifales ne disposent pas encore d'une définition consensuelle, GéoConfluence donne la définition d'une passe dans l'entrée du glossaire décrivant ce qu'est un lagon : « Le lagon peut être relié à la haute mer par une ou plusieurs passes, ou passes récifales, qui sont autant d'ouvertures au sein de la barrière corallienne. » (GéoConfluence, Glossaire: lagon, passe, Janvier 2023). Cette définition n'est pas tout à fait complète : en effet, une passe n'est pas toujours connectée à la haute mer, il existe des récifs entourés eux-mêmes d'un autre récif. Ici on observe que l'île est entourée d'une première barrière de corail puis par une autre en bas à gauche. (Voir figure 8)



Figure 8 - Ile de Malolo à l'Ouest de Fidji, Production personnelle Source : Image GoogleSat.

La notion de haute mer est aussi imprécise pour définir les passes. La haute mer est : « la partie de la mer située en dehors des zones de souveraineté et des ZEE des États côtiers. » selon GéoConfluence (GéoConfluence, Glossaire: Haute mer, eaux internationales, Janvier 2023). Ces ZEE correspondent à des portions de mers situées, parfois, à plusieurs centaines de kilomètres des terres côtières. Les récifs coralliens ne sont pas aussi éloignés des côtes que ne l'est la haute mer.

Il existe aussi ce qu'on pourrait appeler des systèmes de passes, c'est-à-dire un enchaînement de morceaux de récifs qui forment une passe, un peu comme le delta d'un fleuve qui se jette en se séparant en plusieurs cours d'eau (voir figure 9). Ce morcellement rajoute encore de la complexité à la définition d'une passe récifale.

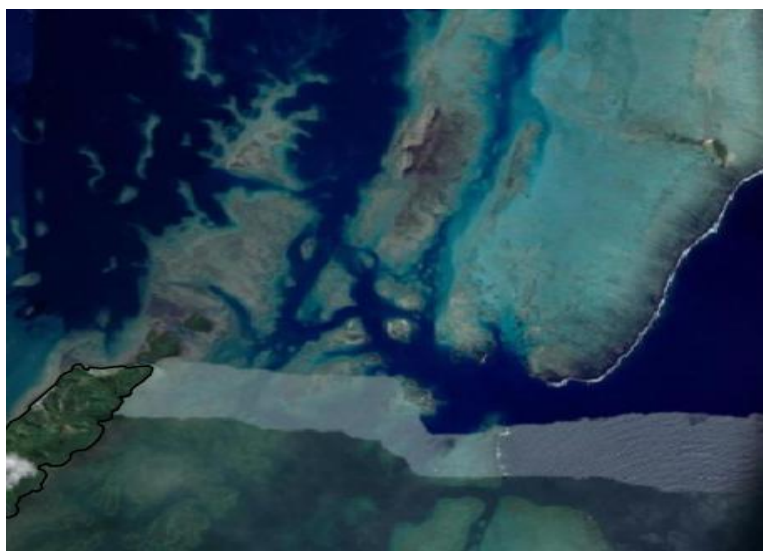


Figure 9 - Passe récifale à l'Est de Viti Levu. Source : Image GoogleSat.

Dans notre projet, nous avons repris la définition d'une passe récifale émise par Annette Breckwoldt et al. comme étant une discontinuité dans le récif dont les pièces de récif encadrantes ne sont pas moins que la largeur de la passe (2022). Un détroit entre deux îles ne peut pas être considéré comme étant une passe, un chenal entre un élément de récif et de terre n'est pas non plus une passe récifale. (Voir 10 et 10bis)

Passe non-récifale



Figure 11 - Passe au Nord-Ouest de Fidji sur l'île de Yawalo.

Source : Image ESRI Satellite

Passe récifale



Figure 10bis - Passe Havae au Sud de Tahiti, Image ESRI Satellite

Une fois la passe identifiée par interprétation visuelle d'une image satellite, on peut saisir la passe dans QGIS sur une couche vectorielle de points. La saisie d'une passe renseigne sur la localisation de la passe, il a été décidé que celle-ci se situe à l'endroit où le chenal créé par

l'ouverture dans le récif est le plus étroit puisque c'est également le point où est mesurée la largeur minimum de la passe. (Voir figure 12)

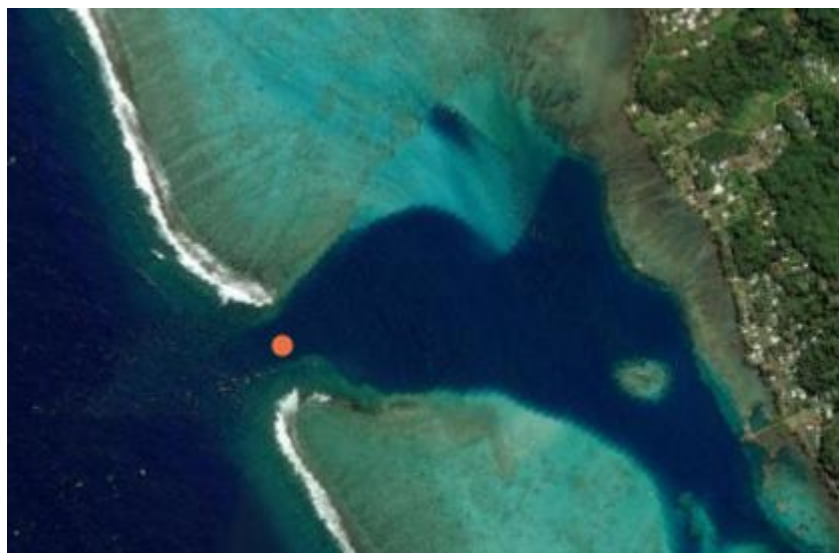


Figure 12 - Passe de Matauvau au Sud-Ouest de Moorea. Source : image ESRI.

Cette méthodologie d'identification repose sur plusieurs techniques qui dépendent des ressources existantes et accessibles. Elle s'est construite à partir des contraintes propres aux données disponibles, tout en s'appuyant sur une réflexion continue autour de la définition d'une passe récifale. La difficulté de l'identification tient à la diversité des territoires étudiés et à la variété de formes que peut prendre une passe. Chaque passe possède des caractéristiques spécifiques ; ce projet vise ainsi à proposer une table attributaire qui en rende compte de la manière la plus fidèle et structurée possible.

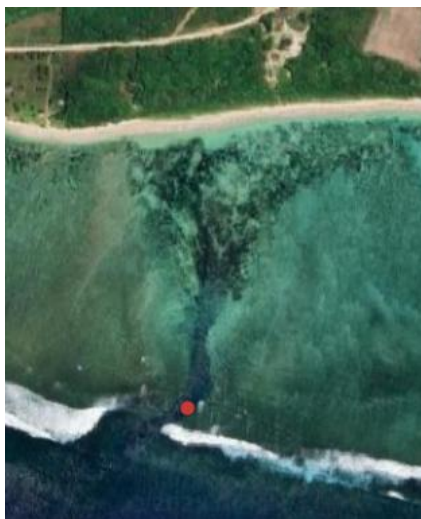
III. INDICATEURS ET MORPHOLOGIE DESCRIPTIVE : ENRICHISSEMENT DE LA TABLE ATTRIBUTAIRE DES PASSES RECIFALES.

Une fois les passes saisies et localisées, il faut renseigner les informations de la table attributaire. Ces attributs définissent les caractéristiques des passes ; elles incluent des variables environnementales qui donnent du contexte à la passe. Cette table attributaire intègre également des informations morphologiques, des métriques propres à chacune des passes.

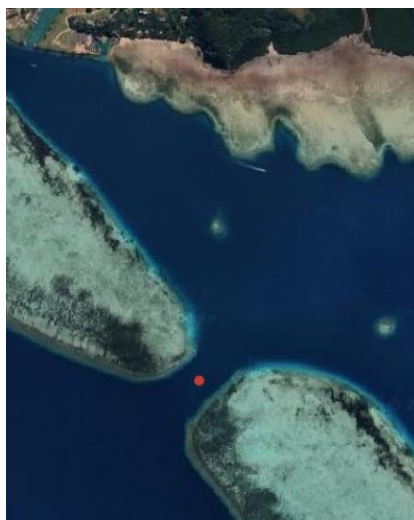
1. VARIABLES D'ENVIRONNEMENT ET TYPOLOGIE

Une passe récifale est caractérisée par son type : coastal (côtière), lagoon (lagunaire) ou open water (hauturière). Ces types sont hérités des travaux réalisés et publiés dans l'article *A typology for reef passes* (A. Breckwoldt et al., 2022). Ils ont été conservés dans ce projet car ils permettent de classifier le plus grand nombre de passes.

Passes de type Coastal:



Passes de type Lagoon :



Passes de type Open Water



Figure 13 - Passes récifales respectivement ; au Sud de Viti Levu (Fidji), au Sud de Malolo (Fidji), au Sud de Grande-Terre (Nouvelle-Calédonie). Source : Image Google Satellite

Ces types de passes sont déterminés par le contexte des éléments autour, c'est-à-dire où se situe la côte par rapport au récif.

- Dans le cas des passes de type 'Coastal', le récif touche le trait de côte (voir figure 14), l'eau entre le récif et la côte est peu profonde et les passes sont généralement peu larges.

- Une passe de type 'Lagoon' est caractérisée par le fait que le récif autour crée un lagon semi fermé, les passes sont alors les entrées de ce lagon. L'eau est généralement moyennement profonde et les passes sont d'une largeur petite (une dizaine de mètres) à moyenne (environ 800 mètres). (voir figure 14)
- Le type de passes 'Open Water' n'a pas de forme particulière, il est avant tout caractérisé par son éloignement de la côte. La distance séparant la passe du trait de côte est assez élevée (plusieurs centaines de mètres) avec des eaux profondes. La largeur des passes peut dépasser les milles mètres. (voir figure 14)

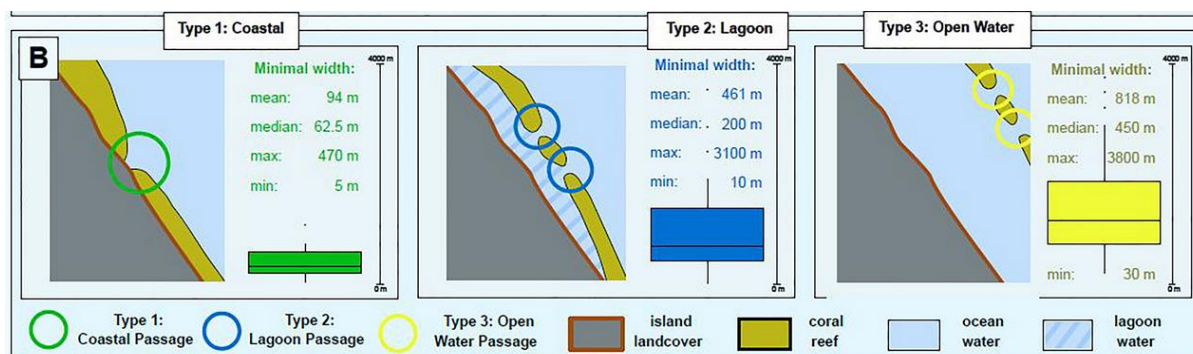


Figure 14 - Schéma explicatif des types de passes. Source : « A typology for reef passes » (A. Breckwoldt et al., 2022)

Cette typologie de passes récifales n'est pas parfaite ni absolue. Il existe certaines passes qui ne correspondent pas à ces caractéristiques morphologiques. C'est là que réside la principale difficulté à classer les passes. Malgré tout, cette proposition de type est assez pertinente pour faire une règle générale. L'ambiguïté est généralement due au côté arbitraire des limites de distance : il n'existe pas vraiment de valeur seuil à partir de laquelle une passe est assez éloignée de la côte pour être considérée comme étant du type 'Open Water'. Mettre en place des valeurs seuils peut régler une partie du problème de doutes, mais ne laisse pas de place aux cas particuliers.

Un doute fréquent existe entre le type Coastal et le type Lagoon (voir figure 15). Ici, le type de la passe à gauche de l'image est ambigu. Le récif avance par endroits jusqu'à la côte, mais il forme également une petite étendue d'eau moyennement profonde qui semble être un lagon. C'est un cas typique d'ambiguïté de type de passe.

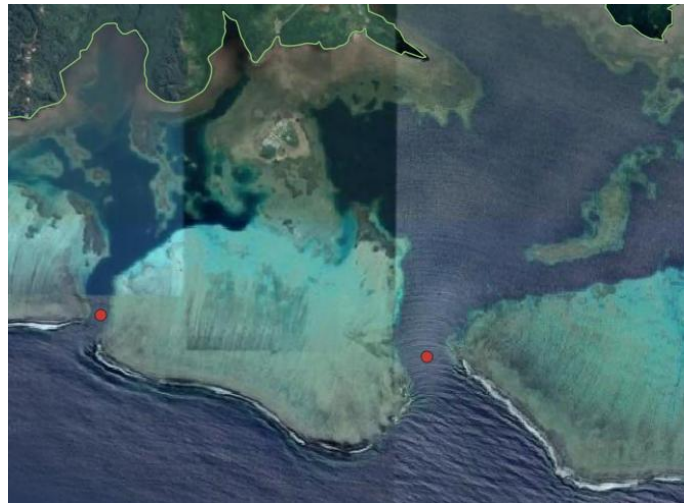


Figure 15 - Passes récifales au Sud de Viti Levu. Source : Image Google Satellite.

Pour cette raison, il a été décidé d'ajouter un champ 'AMBIGUOUS' et un champ 'AMB_REASON' à la table attributaire des passes récifales. Ce champ est booléen (vrai ou faux) et précise, pour chacune des passes, si celui qui saisit la passe pense qu'il existe une ambiguïté quant au type de la passe. Il s'agit ensuite de préciser en quoi le type de passe n'est pas évident à définir dans le champ 'RAISON'. Cette démarche s'inscrit dans le contexte participatif et exploratoire du projet SOCPacific2R. En effet, il est question de permettre à des utilisateurs extérieurs au projet de saisir eux-mêmes dans la base de données des informations relatives aux passes récifales. Un champ qui permet d'exposer ses doutes sur une information permet une potentielle correction par ses pairs. Chaque utilisateur dispose de biais qui lui sont propres. Accumuler des informations de différents utilisateurs multipliera les points de vue sur la nature des passes récifales et enrichira la méthode. De plus, un champ AUTHOR a également été ajouté pour retrouver qui a saisi la passe et permettre un suivi et un dialogue efficace avec les contributeurs.

Une passe peut parfois être nommée ; il existe un nombre limité de passes ayant un nom officiel et/ou cartographié. Les ressources cartographiques contenant des noms de passes récifales n'existent pas dans tous les territoires. Les noms de passes sont souvent liés à leur proximité avec un village ou une ville – passe de Papeete en face de la ville de Papeete –, mais certaines passes ne sont pas nommées. On ajoute l'attribut 'NAME' à la table attributaire.

Il a également été retenu pour chacune des passes des toponymes relatifs à leur localisation : le nom de l'île et le nom du pays où la passe est localisée. Ces noms sont issus des données administratives des pays concernés. On retient le nom du pays dans l'attribut 'ARCHIPELAGO' et le nom de l'île concernée dans l'attribut 'LOCATION' (ex : Viti Levu (FJ)).

Il a paru aussi pertinent d'ajouter un attribut de proximité des passes avec des lieux habités ou des rivières. En effet, la présence d'une passe est souvent corrélée avec la présence d'un village. La passe est une ouverture pour les bateaux sur la haute mer propice à la pêche ou au transport de personnes et de marchandises. Les passes jouent un rôle social et ont un impact direct sur

les lieux de vie des territoires du Pacifique. Cet attribut indique la présence d'un village proche de la passe. Pour déterminer si un village est proche de la passe, il n'y a pas de limite de distance ; l'analyse se fait par interprétation d'images satellite (voir figure 16).

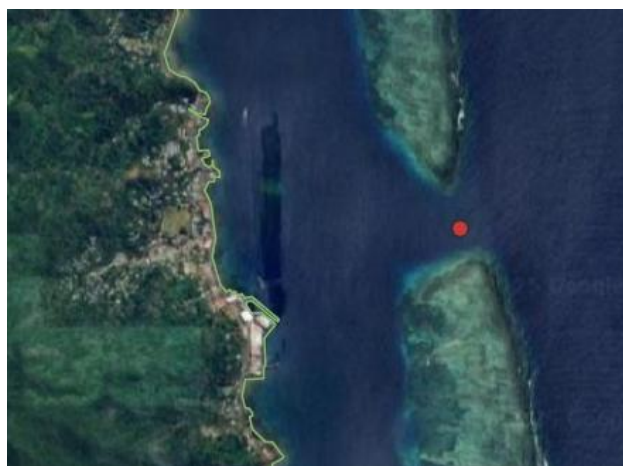


Figure 16 - Passe récifale à l'Est d'Ovalau face à la ville de Levuka. Source : image Google Satellite.

Les passes récifales qui sont situées à l'embouchure d'un cours d'eau se déversant dans la mer ont également un attribut qui précise la présence d'une rivière se déversant à proximité. Les passes récifales de type 'coastal' sont souvent creusées à l'embouchure des fleuves. Il n'y a pas de réel consensus qui explique la formation des passes à ces endroits. Il est tout de même pertinent de préciser dans la base de données si une passe est proche d'une embouchure dans une étude ultérieure sur la formation des passes récifales (voir figure 17).



Figure 17 - Passe récifale à l'EST de Tahiti. Source : Image Google Satellite.

Les variables d'environnement et de typologie donnent du contexte à la passe, elles nous renseignent sur les variables qui localisent les passes, mais également sur l'environnement dans lequel elles sont situées. La toponymie des passes reste tributaires sources de données ; elle est assez inégale concernant le nom des passes. Ces attributs nous renseignent également sur l'ambiguïté que l'on peut rencontrer à l'identification des passes. Pour compléter la table attributaire, il reste à intégrer les informations relatives à la morphologie des passes, c'est-à-dire les mesures spécifiques à chacune d'elles.

2. INFORMATIONS MORPHOLOGIQUES

Parmi les différentes caractéristiques susceptibles de contribuer à une meilleure compréhension du rôle des passes récifales, les indicateurs morphologiques, permettant de comprendre la forme tridimensionnelle de ces espaces, occupent une place essentielle. Dans la première base de données d'Alexandra Nozik et de ses collègues, la largeur figurait déjà parmi les indicateurs caractéristiques d'une passe : « *We found the actual widths of a reef passage to be one important feature that requires more future research* » (A. Breckwoldt et al., 2022). Nous avons choisi de le reprendre dans notre propre démarche, étant donnée sa pertinence manifeste pour appréhender le rôle fonctionnel d'une passe — qu'il s'agisse de la circulation d'eau, du passage d'espèces marines, ou de l'accessibilité pour la navigation.

Afin d'enrichir cette approche, nous avons également intégré à la table attributaire des entités de Polynésie française une représentation graphique de la coupe topographique de la passe, à l'endroit du point de signalement défini par le figuré ponctuel. Cette coupe transversale — ou transect — offre une lecture plus fine de la morphologie sous-marine et peut contribuer, en complément de la largeur, à une caractérisation plus précise des dynamiques physiques, économiques et écologiques propres à chaque passe.

LARGEUR DE LA PASSE

Dans l'article « *A Typology for Reef Passages* » (A. Breckwoldt et al.), la méthodologie utilisée par Alexandra Nozik et al. pour mesurer la largeur des passes est évoquée, mais n'est pas clairement explicitée. Il est indiqué que la largeur est mesurée au point le plus étroit de la passe, par photo-interprétation (Google Satellite et Esri World Imagery), à l'aide de l'outil de mesure de la bibliothèque QGIS (version 3.28). Cette méthodologie présente plusieurs failles :

- Définir le bord des bancs récifaux encadrant la passe peut parfois s'avérer complexe, par exemple lorsque les deux bords reposent sur deux dalles différentes, ou lorsque la réflexion du soleil empêche de distinguer précisément la fin d'un banc récifal.
- Pour identifier le point le plus étroit de la passe, il est nécessaire de définir son « entrée » et sa « sortie », autrement dit, de comprendre où elle commence et où elle se termine. Or, ces limites sont souvent difficiles à établir et impliquent une évaluation, parfois subjective, de la zone où mesurer l'écartement entre les deux bancs récifaux..

- Enfin, la définition du point de mesure repose sur la photo-interprétation. Et bien que l'on puisse multiplier les essais pour réduire la marge d'erreur, la mesure reste approximative, notamment pour les passes les plus larges (dans l'article d'A. Breckwoldt et al., une corrélation entre la distance à la côte et la largeur de la passe a été établie).

Malgré ces limites méthodologiques, et bien que des alternatives comme la triangulation aient été envisagées, nous avons choisi de reprendre cette méthode pour mesurer les passes recensées au cours de nos travaux. En effet, elle s'est révélée efficace, peu chronophage (un atout essentiel dans le cadre d'un projet tuteuré), et a permis d'obtenir des résultats satisfaisants. Ainsi, la mesure de la largeur des passes a été réalisée au fur et à mesure de leur saisie.

COUPE TRANSVERSALE / TRANSECT.

L'excavation d'un modèle numérique de terrain (MNT) bathymétrique sur les îles de Tahiti et Moorea, réalisée lors de la phase de recherche de données, a permis d'ouvrir la voie à un nouvel indicateur morphologique susceptible de renforcer la caractérisation de la forme des passes. Un MNT traduit le relief de la zone qu'il couvre ; il permet d'introduire la variable z , l'altitude (ou la profondeur, en contexte bathymétrique), dans l'étude des passes récifales.

Dans une démarche exploratoire, nous avons établi une première méthodologie visant à définir la coupe transversale d'une passe, en maximisant son automatisation. Finalement, trois interventions manuelles restent nécessaires dans cette méthodologie. Celle-ci se décline en trois étapes, détaillées ci-après :

- **Étape 1** : Générer manuellement une couche de lignes, avec une ligne par passe.
- **Étape 2** : Calculer, grâce à l'outil *Profiles from Lines* de la bibliothèque SAGA de QGIS (v. 3.28), une couche de points vectorisant la valeur altitudinale.
- **Étape 3** : Produire, à l'aide d'un script, un ensemble de graphiques représentant le profil bathymétrique de chacune des passes.

Représentation linéaire des passes récifales

Chaque passe est signalée ponctuellement, il faut, pour chacune d'entre elle, traduire ce figuré en ligne. Une traduction qui soulève plusieurs interrogations : où placer cette ligne sur la passe ? Où commence et où termine cette ligne ? Peut-on utiliser des lignes brisées ou courbes ou uniquement des segments de droite ?

Dans le cadre de ce premier essai, il a été décidé de centrer la ligne sur le point ponctuel indiquant la position de la passe. Bien que ce point ne corresponde pas nécessairement à une position géométrique rigoureusement définie au sein de la passe, cette disposition présente l'avantage de clarifier la lecture des couches pour d'éventuels utilisateurs ou collaborateurs appelés à reprendre ou compléter le travail.

La question de la longueur de la ligne s'avère également centrale. L'adoption d'une longueur standardisée permettrait une certaine rigueur méthodologique et faciliterait la reproductibilité du processus. Toutefois, afin de refléter la réalité géomorphologique, la ligne ne doit pas uniquement couvrir l'ouverture de la passe (valeur x), mais également s'étendre légèrement au-delà de celle-ci, afin de représenter visuellement l'altitude du récif qui l'encadre (voir figure 18).

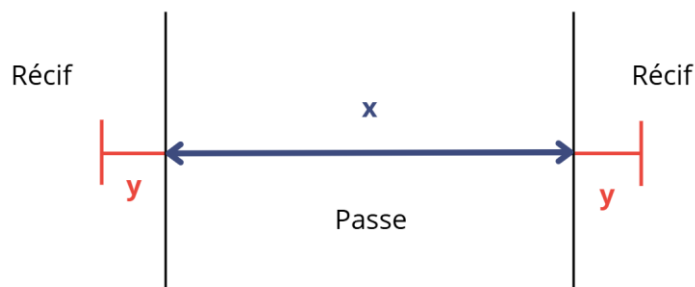


Figure 18 - Schématisation d'une ligne pour coupe topographique. Source : production personnelle.

Conformément à la définition proposée par Breckwoldt et al. (2022), selon laquelle une passe récifale constitue une ouverture dans une barrière récifale dont la largeur n'excède pas celle des structures récifales adjacentes, nous avons opté pour une approche proportionnelle à 10% de la largeur de la passe. Les segments dépassant de part et d'autre de la passe (valeur y) sont ainsi définis en fonction de sa largeur (x), selon la relation suivante :

$$y = \frac{10}{100}x$$

La longueur totale de la ligne devient donc $x + 2y$, assurant une représentation plus fidèle du contexte récifal immédiat. Si cette méthode nécessite un calcul supplémentaire par rapport à une approche utilisant une valeur métrique constante (par exemple $y = 50m$), elle présente l'avantage d'une meilleure adaptabilité aux dimensions variables des passes et d'une cohérence visuelle accrue au sein de l'ensemble des représentations.

Toutefois, quel que soit le choix de la méthode de standardisation, les cas particuliers sont nombreux et appellent, comme pour la mesure de la largeur, à la subjectivité du photo-interprète. Il peut parfois s'avérer pertinent d'aller chercher plus loin que ce qu'impose la stricte formule expliquée plus haut pour mieux apprécier la forme de la passe et des récifs qui la bordent.

Extraction des valeurs raster à partir d'une couche de lignes

L'outil « *Profiles from Lines* » de la bibliothèque SAGA de QGIS (v. 3.28) prend en entrée un MNT ainsi qu'une couche de lignes ou polygones. Il calcule, le long de chaque ligne, une suite

de points espacés à distance égale les uns des autres (voir figure 19), à partir du point de départ de la ligne (défini lors de sa création dans l'outil SIG).



Figure 19 - Resultat en sortie de l'algorithme "Profiles from lines" de SAGA. Source : production personnelle.

À chaque point est assignée la valeur d'altitude correspondant à celle du pixel du MNT avec lequel il est superposé. Un inconvénient de cet outil est qu'il ne reporte pas, pour chaque ligne, l'identifiant correspondant (qui aurait pu être le même que celui de la passe concernée), ce qui aurait simplifié les jointures et les traitements a posteriori¹. À la place, « *Profiles from Lines* » traite les lignes selon leur ordre de création dans la couche, et leur assigne, dans cet ordre, des identifiants numériques allant de 0 à n. On peut alors établir plus facilement des correspondances entre les identifiants des tables attributaires des lignes et des points.

De fait, il est préférable de travailler sur des zones restreintes, et de traiter les passes zone par zone. Un autre inconvénient de cet outil est qu'il ne permet pas de définir manuellement le pas souhaité entre chaque point le long des lignes. L'algorithme détermine automatiquement une distance qui, bien que légèrement variable d'une ligne à l'autre, est basée sur la résolution du MNT utilisé en entrée. Cela suscite un autre problème : la coupe topographique des passes les plus étroites (dont la largeur est du même ordre de grandeur que la résolution du MNT) seront très mal représentées (voir figures 20).

¹ « *Profiles from lines* » produit une table attributaire assignant à chaque point un identifiant propre et un identifiant faisant référence à la ligne utilisée pour l'interpolation. (voir annexe 3)

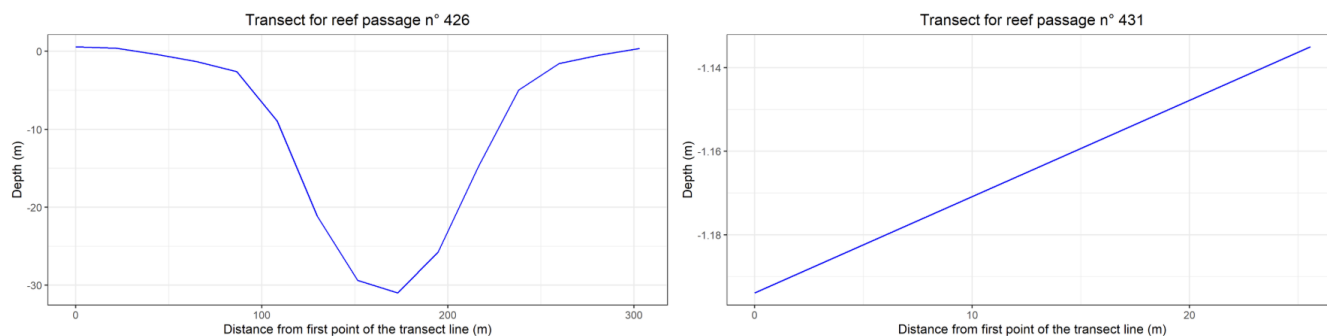


Figure 20 - Exemples d'un cas correct (à gauche) et incorrect (à droite) sortie du script. Source : production personnelle.

Il est alors possible d'opérer une sélection manuelle des coupes viables et de supprimer celles qui ne le sont pas.

Une fois cette couche de points extraite et les identifiants ajustés, il est possible de générer des graphiques représentant le transect (comme visible en figure 20) des passes étudiées.

Édition de graphiques via un script

Afin d'homogénéiser les traitements pour chaque zone dont les transects sont calculés, et pour gagner en efficacité, le traitement des couches de points en vue de l'édition des graphiques a été automatisé. À l'origine, c'était en langage Python (v. 3) que nous envisagions de rédiger ce script ; finalement, nous avons opté pour le langage R (version 4.2.2), plus lisible et mieux adapté à l'édition de graphiques.

Le script est simple : il prend en entrée un fichier .CSV correspondant à la couche de points calculée à l'étape précédente. Il isole ensuite chaque groupe de points en fonction de l'identifiant de la ligne sur laquelle ils ont été générés. À ce stade, l'identifiant de la ligne devrait correspondre à celui de la passe, à condition qu'il ait été correctement mis à jour lors de l'étape précédente (ce qui est essentiel pour la suite). Pour chacun de ces groupes de points, le script édite un graphique, qu'il enregistre ensuite dans un répertoire (à adapter si nécessaire), sous le nom « *[ID de la passe]_transect.png* ». Ces fichiers image peuvent ensuite être appelés directement dans le code de la webmap ou de la page web, afin d'être affichés dans un panneau d'information, par exemple.

En reprenant la méthode de mesure de la largeur évoquée dans l'article d'Annette Breckwoldt et al., et en élaborant une méthode de calcul de coupes topographiques des passes, nous avons pu approfondir la caractérisation de la forme des passes récifales. Pour établir les coupes topographiques sur les îles de Moorea et Tahiti, nous avons utilisé les MNT topo-bathymétrique côtier de la base de données du SHOM² d'une résolution d'environ 20m. Cette

² SHOM – Bathymétrie : <https://diffusion.shom.fr/donnees/bathymetrie.html>

forme peut aider à mieux appréhender les usages, les fonctions, les impacts, et peut-être même l'origine de certaines de ces ouvertures dans les récifs.

Cependant, la méthode de mesure de la largeur des passes, comme celle de l'élaboration de leur profil topographique, peut être améliorée du point de vue de la précision scientifique. Se pose alors la question suivante : faut-il consacrer davantage d'efforts et de ressources à l'optimisation de ces indicateurs morphologiques, ou ces efforts seraient-ils plus utiles s'ils étaient dirigés vers d'autres aspects du projet, tels que l'intégration des savoirs locaux ou la participation des usagers ?

IV. UNE APPLICATION WEB-CARTOGRAPHIQUE POUR UNE MISE EN DIALOGUE AVEC LES ACTEURS DES PASSES RECIFALES.

Dans la commande originelle, la réalisation d'une interface cartographique figurait parmi les objectifs secondaires de la mission. Cependant, étant un puissant outil de médiation et de partage, facilement diffusable et surtout accessible, sa priorité a assez rapidement été repensée. Dans la commande finale, l'interface web-cartographique doit permettre de diffuser de manière intelligible et accessible au grand public la base de données des passes récifales précédemment élaborée tout en offrant la possibilité aux utilisateurs de faire un retour à l'équipe du projet SOCPacific2R concernant leur propre perception, usage ou connaissance vis à vis d'une ou plusieurs passes.

1. RENDRE LA DONNEE ACCESSIBLE ET CONSULTABLE

Dès la commande originelle, l'option d'une interface web cartographique s'est imposée comme le canal privilégié pour la diffusion des données issues de l'inventaire des passes récifales. Bien qu'aucune concertation formelle n'ait eu lieu concernant ce choix, il apparaît ici pertinent de l'explicitier, tant du point de vue fonctionnel que méthodologique.

L'objectif initial de l'outil n'est pas uniquement de centraliser l'information, mais aussi de faciliter la mise en place d'un dialogue participatif entre les différentes parties prenantes concernées par les passes récifales du Pacifique Sud. Cet espace géographique se caractérise par une grande hétérogénéité, tant spatiale (voir figure 21) que socioculturelle : dispersion insulaire, diversité linguistique, multiplicité des pratiques locales en lien avec le récif. Face à cette complexité, le défi est donc de concevoir un outil de médiation capable de passer outre les distances, les barrières techniques ou linguistiques, et les différences de rapport au territoire.



Figure 21 - Etendue de la zone d'étude. Source : Google maps.

En cela, une interface web-cartographique se distingue d'un support plus statique comme un atlas cartographique. Elle offre une accessibilité immédiate, potentiellement multilingue ou

automatiquement traductible (traduction automatique de navigateur), à partir de divers terminaux. Par-dessus tout, elle permet une mise à jour continue des contenus au fil de l'avancement du projet. Mais ce qui la démarque le plus de l'atlas, c'est sa faculté à disposer de fonctionnalités participatives (commentaires, retours d'expérience, annotations), essentielles dans une perspective de co-construction des savoirs et de dialogue territorial. À l'inverse, un atlas imprimé, bien que rigoureux et pédagogique, resterait un outil descendant, peu adapté à la réciprocité des échanges attendus dans ce projet. Ce dernier point, couplé à la possibilité de mettre continuellement et facilement à jour la carte et les informations des passes, donne toute sa pertinence à l'aspect participatif de ce projet.

Ainsi, le choix d'une interface cartographique dynamique répond, non seulement à un impératif technique de diffusion spatialement et socio-culturellement élargie, mais surtout à une exigence méthodologique : créer un espace commun d'interaction et d'information entre scientifiques, gestionnaires et communautés locales autour des enjeux liés aux passes récifales.

Afin de rendre la page web accessible en ligne tout en respectant les contraintes de gratuité et de transparence propres à une démarche open data, nous avons opté pour la plateforme GitHub dans le but de tirer parti de son service d'hébergement intégré : GitHub Pages. Cette solution présente plusieurs avantages, dont la possibilité de déployer gratuitement une page web, tout en offrant un environnement de travail collaboratif. Le dépôt GitHub utilisé a ainsi servi à la fois de support de diffusion du site (via GitHub Pages), mais également de référentiel de travail pour le développement du code, la gestion des ressources cartographiques et bibliographiques et l'enrichissement de la base de données. Ce choix s'est révélé particulièrement pertinent dans le cadre de ce projet multi-acteurs, facilitant les modifications simultanées et la traçabilité des contributions.

Additionnellement, le répertoire GitHub de la page web regroupe l'ensemble de nos productions, cela en fait un espace de dépôt et de restitution idéal pour nos travaux dans le cadre de ce projet tuteuré. Il peut également servir, à terme, à servir d'espace pour les prochains contributeurs de ce projet.

Cependant, héberger un projet sur GitHub présente plusieurs limites : l'entièreté du code et des données doit être accessible à tous et l'espace de stockage est limité. Dans ce cadre, GitHub et son outil GitHub Pages présente une excellente solution pour un hébergement, à court terme, d'un prototype mais une solution alternative est à réfléchir pour la pérennité du projet.

2. DEVELOPPEMENT D'UNE CARTE WEB VIA OPENLAYERS 3

Il existe plusieurs manières de produire une webmap ou interface web-cartographique. La plus simple est d'utiliser les outils mis à disposition par QGIS (v. 3.28) tel que l'extension **qgis2web** qui permet de générer automatiquement une carte interactive en utilisant les APIs **Leaflet** ou **Openlayers** directement à partir d'un projet courant. La carte web ainsi générée contient les fonctionnalités de base mais reste très sommaire et est difficilement éditable (code

complexe et peu documenté). Cette première solution, bien qu'efficace, ne permet pas l'élaboration d'un rendu suffisamment satisfaisant et a rapidement été écartée. De surcroît, sur une carte interactive générée automatiquement, la projection scinde la zone d'étude en deux au niveau des Fidji. Nous retrouvons donc Fidji-Est et la Polynésie française à l'Ouest de la carte tandis que Fidji-Ouest et la Nouvelle-Calédonie sont à l'Est de la carte, rendant toute approche, qu'elle soit globale (entièreté de la zone d'étude) ou centrée sur les Fidji, complètement impossible ou laborieuse. Ayant chacun acquis des compétences complémentaires en développement web via nos formations antérieures, nous avons décidé de développer l'interface web-cartographique et donc la carte web nous-même. Ainsi, la carte a été développée en utilisant l'API **OpenLayers 3** qui permet la programmation, via le langage JavaScript, de cartes web interactives et facilement intégrables à une page web. Ainsi, il était plus aisé de répondre aux besoins explicites des commanditaires dont voici une liste exhaustive :

- Disposer de tous les nouveaux et anciens indicateurs propres à chaque passe dans une fenêtre contextuelle.
- Bien que les passes récifales aient été interprétées par photo-interprétation, il est nécessaire d'avoir un fond de carte topographique pour faciliter la localisation d'une passe ou d'autres éléments. Cela se traduit par le besoin d'avoir donc plusieurs fonds de cartes et un sélecteur de couche (*Layer Switcher*).
- Disposer d'un sélecteur permettant de naviguer d'un archipel à l'autre : les passes récifales s'étudient généralement à grande échelle alors que la zone d'étude s'étend sur une petite échelle.
- L'affichage des sources des données ne doit pas être négligé.
- Pouvoir afficher des images ou ajouter des liens aux descriptions des passes.

En gardant ces requêtes en tête, nous avons ainsi pu commencer à éditer la carte interactive.

CHOIX DES FONDS DE CARTE

Les fonds de carte sont des données lourdes mais précises. Pour les ajouter à la webmap avec OpenLayers 3, on peut utiliser un flux : cela permet d'ajouter les fonds de carte directement depuis un hébergeur sans avoir à les télécharger pour les intégrer au dossier du projet.

Les passes récifales sont des ruptures dans les barrières récifales, or, ces dernières sont visibles sur les orthophotos satellites, c'est d'ailleurs manuellement et en utilisant ce type de fond de carte que les passes ont été inventoriées lors de la première mission de recensement (Breckwoldt et. al, 2022) et la nôtre. De fait, il est impératif d'avoir à disposition, dans le sélecteur

de couche, un fond de carte ortho-photographique. C'est la *World Imagery*³ d'ESRI qui a retenu notre attention. Bien que moins précise que l'imagerie satellite de Google, elle est moins lourde à charger ce qui peut constituer un atout majeur lors de l'utilisation de l'interface web-cartographique sur des terminaux mobiles, sur le terrain.

L'inconvénient d'une simple imagerie satellite est le manque de repères et surtout de toponymes. Les toponymes sont essentiels pour se repérer sur une carte et surtout peuvent être très utiles aux utilisateurs de l'interface pour enrichir leurs retours. Pour pallier ce manque, nous avons choisi d'ajouter la couche *OSM Standard*⁴. Plusieurs des indicateurs calculés font intervenir des couches vectorielles d'éléments tels que les villages ou les rivières, qui ont été extrait d'OSM. Ainsi, ce fond de carte nous a semblé être le plus pertinent. Bien que rapide à charger, dans le cas où cela pourrait être nécessaire, nous avons également pris la décision d'ajouter une alternative au fond *OSM Standard*. Notre choix s'est porté sur *CartoDB Voyager*⁵ : un fond de carte simple et épuré ne faisant apparaître que les toponymes et éléments les plus significatifs (voir figure 22).



Figure 22 - Comparatif des différents fond de carte sélectionnés. Source : production personnelle.

Finalement, grâce au sélecteur de couche, l'utilisateur a la possibilité d'utiliser le fond de carte qui lui est le plus utile dans sa situation. Les couches de fond de carte intégrées à l'interface, l'étape suivante consistait à implémenter les couches vectorielles contenant les données spatiales issues de notre travail de recensement.

³ source : https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/{z}/{y}/{x}

⁴ OSM Standard bénéficie d'une commande spécialisée sous OpenLayers : **ol.source.OSM** qui permet d'ajouter directement un fond OSM.

⁵ source : <https://a-c.basemaps.cartocdn.com/rastertiles/voyager/{z}/{x}/{y}.png>

IMPLÉMENTATION DES COUCHES DES PASSES RÉCIFALES.

Avec un fond de carte, il était déjà plus simple d'implémenter les couches de points issues du recensement des passes récifales puisque nous pouvions visuellement les situer dans l'espace et ainsi nous assurer du respect et de la validité des projections. Cette superposition visuelle constituait un premier filtre qualitatif pour valider le bon fonctionnement des projections géographiques. Pour plus de sécurité quant à la projection, l'utilisation de la console du navigateur a constitué un puissant outil de débogage. Il permettait, entre autres, de contrôler les coordonnées retournées lors du chargement des entités ou lors d'un déplacement sur la carte et d'identifier d'éventuelles erreurs de projection dans les couches.

Initialement nous pensions restituer un travail semblable à l'ouvrage d'Alexandra Nozik et de ses collègues concernant la forme de la base de données, mais, nous orientant sur un corpus composé d'une couche par archipel, c'est au travers de trois couches de données que nous avons finalement implémentées les passes récifales. L'utilité de cette démarche est d'isoler facilement une couche concernant un archipel en particulier avec un coût algorithmique relativement faible. Par exemple, dans le cas des transects, il est intéressant de pouvoir isoler la Polynésie française, seul archipel bénéficiant de relevés bathymétriques suffisamment précis pour établir des coupes des passes récifales.

Pour ce qui est du format des données, nous avons écarté, parmi les formats compatibles avec le web, le KML ou le EsriJSON pour finalement utiliser le GeoJSON qui est l'un des formats les plus légers mais aussi les plus simples d'utilisation. Il s'est avéré particulièrement adapté à la structure relativement simple de nos données ; à savoir des points avec une charge attributaire. En plus de cela, il permet une intégration simple et fiable sans nécessité de conversion préalable ou traitements supplémentaires dans le code en dehors du style. L'ajout des couches s'est fait en définissant une source vectorielle grâce au module **ol.source.Vector** référençant les fichiers GeoJSON. Elles sont ensuite ajoutées dynamiquement à la couche en utilisant le module **ol.layer.Vector**.

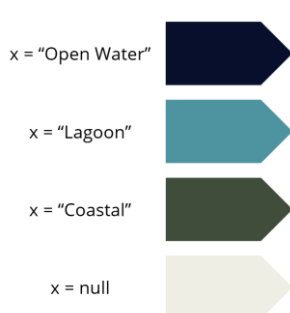


Figure 23 - Code couleur des types de passes.
Source : production personnelle.

Afin d'améliorer la lisibilité de ces couches, nous avons décidé de les catégoriser en fonction de la typologie déjà en place, c'est-à-dire une catégorisation Open Water/Lagoon/Coastal/Undefined. La catégorisation se fait en deux temps : d'abord une fonction JavaScript qui permet d'isoler une couleur en fonction du paramètre entré (l'attribut « Type » de la passe) (voir figure 23). Une fois la couleur isolée, on définit le figuré grâce à l'objet **ol.style.Style** de la bibliothèque OpenLayers. Comme évoqué plus tôt, dans le cadre de ce projet, nous avons choisi de poursuivre avec une représentation sous forme de figuré ponctuel. Afin de démarquer les couleurs des figurés du fond *World Imagery*, on ajoute un contour gris pâle épais autour des points. Dans le même temps, il convient de redéfinir

un style, identique en tout point au précédent, à l'exception du contour qui sera plus épais d'une couleur jaune canari. Ce style permettra de mettre en évidence la passe sélectionnée par l'utilisateur et dont les attributs seront affichés dans les panneaux d'information.

Une fois les couches de fond définies, les couches vectorielles implémentées et leur style appliqué, on peut initialiser la carte avec une fonction **Gp.map.load** qui utilise l'API Géoportail. C'est via cette fonction que sont implémentés le chercheur d'adresse, le sélecteur de couche et le point de vue initial de la carte. C'est également ici qu'est appelée la fonction conventionnellement nommée *after_init_map* qui permet de rendre la carte plus dynamique et interactive en ajoutant, par exemple, des réponses au clic souris ou au survol souris après son initialisation.

DEFINITION DES PROPRIETES DU PANNEAU D'AFFICHAGE

Ainsi, les panneaux d'affichage sont définis dans la fonction *after_init_map*. Une fonction vérifie si l'évènement « clic » se produit sur l'une des couches vectorielles des passes récifales et, si c'est le cas, répond en appliquant le style « sélectionné » à l'entité cliquée. De plus, la même fonction extrait les informations propres à la passe cliquée pour les intégrer dans les panneaux d'information, élément de la page HTML jusque-là dissimulés, et change les paramètres du CSS des panneaux pour les rendre visibles.

Malgré la popularité des fenêtres *pop-up*, nous avons pris la décision d'un panneau d'affichage pour sa simplicité d'usage mais surtout, pour sa fiabilité. En effet, les fenêtres *pop-up* sont des bulles d'information qui ont deux problèmes majeurs :

- Elles se déplacent avec la carte et peuvent parfois, venir couvrir d'autres éléments de la page. À l'inverse, un panneau est fixe et ne peut rien cacher en dehors de la carte.
- Les fenêtres *pop-up* sont également complexes à gérer puisqu'elles pointent l'entité sélectionnée. Or, il est fréquent que des comportements comme des déplacements de la carte, brisent le lien entre la *pop-up* et l'entité pouvant entraîner des incohérences ou des erreurs de lecture. Ici aussi, l'utilisation d'un panneau d'information fixe combiné à un style de sélection empêche toute erreur de lecture.

Finalement, le panneau fixe est plus adapté à l'affichage de contenu dense comme ce sera le cas ici, avec une liste attributaire et une description pouvant être conséquentes.

Dans le cadre de ce projet, il est également demandé à ce qu'on puisse intégrer des images et des graphiques (comme les transects), propres à chaque passe. Deux méthodes étaient envisageables pour intégrer ces éléments, volumineux en terme d'espace visuel :

- Continuer avec un seul panneau qui présenterait un *scroller* permettant de faire défiler le contenu.
- Définir un deuxième panneau sur la droite de la carte cette fois-ci, destiné uniquement à accueillir les images.

La première option présente l'avantage de ne pas plus dissimuler la carte derrière de nouvelles fenêtres mais, en contrepartie, ne permet pas d'avoir l'ensemble des informations directement affichées. La seconde option, quant à elle, évite ce problème mais sacrifie plus d'espace sur la carte. Finalement, nous avons opté pour un compromis entre ces deux méthodes : un panneau comportant toutes la quasi-totalité des informations propres à la passe apparaît sur la gauche de la carte, avec un *scroller*, tandis qu'un second panneau destiné à accueillir des photos apparaît en bas à droite (voir figure 25). Et, pour pallier le problème d'espace visuel, un bouton faisant passer la carte en plein écran a été ajouté.

NAVIGATEUR DE GÉOSIGNET

Comme cela a déjà été évoqué, la zone étudiée est spatialement très vaste. Ainsi, afin de naviguer facilement entre les différents territoires, un sélecteur de vue, ou navigateur, a été ajouté. Il s'agit d'un menu déroulant présentant les trois différents territoires (Fidji, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française) chacun associé à un géosignet défini par un niveau de zoom et un centre (en WGS 84). À la demande des commanditaires, et pour pouvoir considérer la vasteté de la zone d'étude, la vue initiale prend en considération les trois archipels (voir figure 24), cependant, cette vue ne bénéficie pas d'un géosignet. De ce fait, une fois un déplacement fait sur la carte, seul un rafraîchissement de la page permet de retrouver la vue initiale.

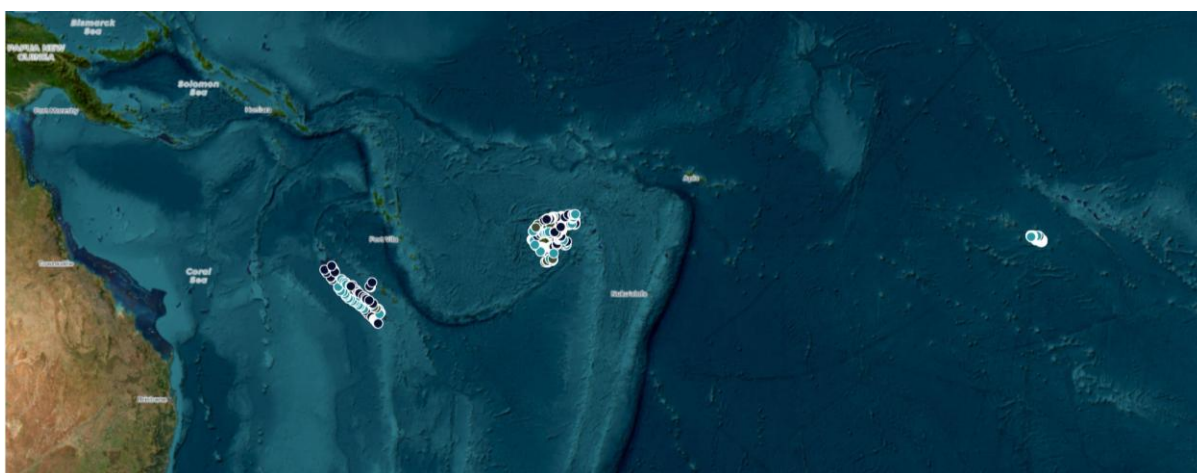


Figure 24 - Vue initiale de la webmap. Source : production personnelle.

Finalement, voici un visuel de la carte web dynamique avec tous les éléments décrits plus haut telle que visualisable sur un terminal de bureautique.

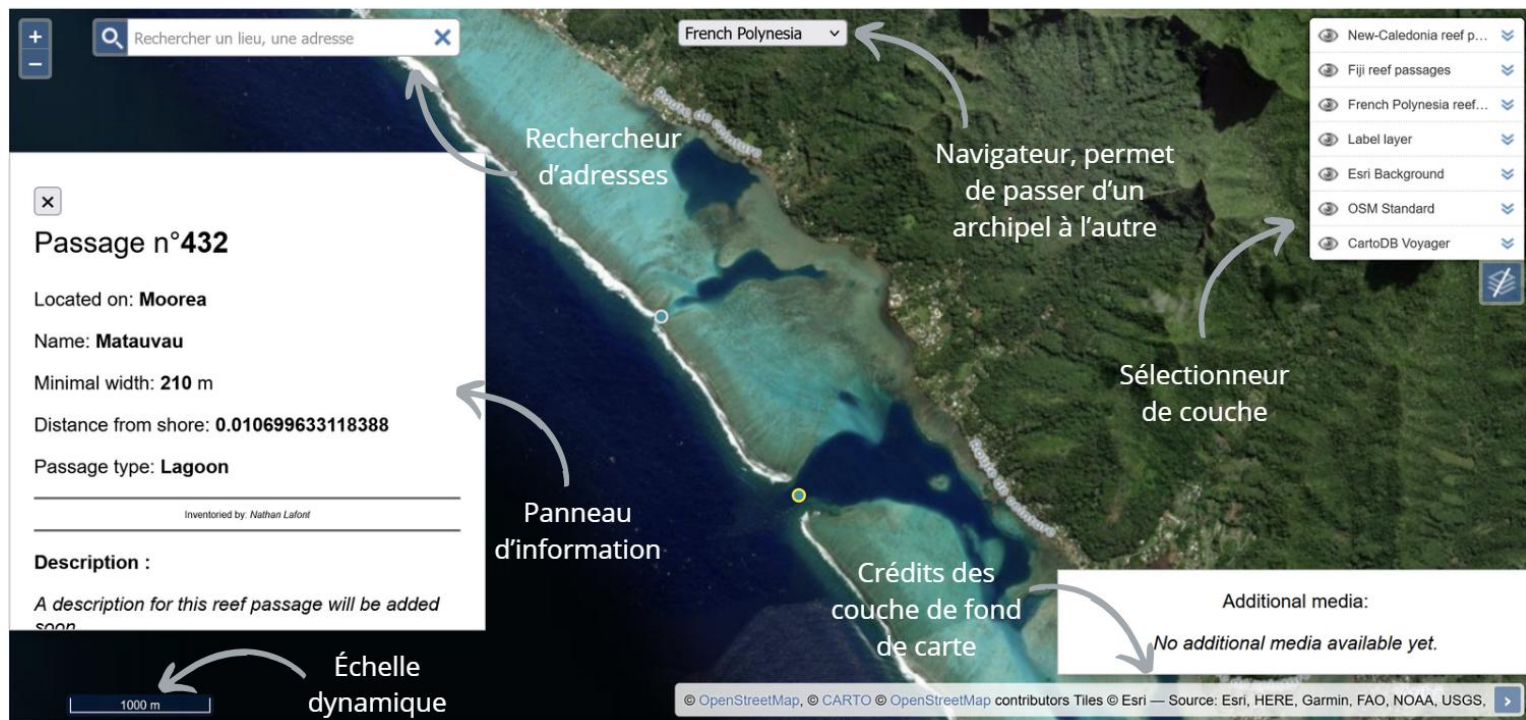


Figure 25 - Illustration de la webmap sur terminal de bureautique. Source : production personnelle.

PARAMÈTRES DES TERMINAUX MOBILES

Comme évoqué plus tôt, nous avons fait le choix de rendre l'interface web-cartographique compatible avec les terminaux mobiles (tablette, téléphones portables) afin de la rendre plus facilement utilisable sur le terrain. Cela implique quelques paramètres pour l'interface web :

- Il faut définir une taille de point plus grande pour les terminaux mobiles et surtout les smartphones pour rendre les opérations « au clic » plus consistantes. Avec les mêmes paramètres de taille que pour les terminaux de bureautique, les points représentant les passes récifales sont trop petits pour être cliqués au doigt.
- Le passage en plein écran est une commande complexe sur les terminaux mobiles. Plutôt que de passer la carte en plein écran, celle-ci est ouverte indépendamment dans un nouvel onglet du navigateur ce qui est suffisant pour bénéficier au mieux de l'outil.

Pour répondre à ces problématiques, une page HTML propre aux terminaux mobiles est créée. Elle ne contient que la carte et est balisée spécifiquement par une division d'identifiant *mobile-map*. Ainsi, dans le programme JavaScript, on peut définir dynamiquement la taille du point : on récupère l'identifiant de la balise dans laquelle se trouve la carte et, si celui-ci correspond à *mobile-map*, la variable définissant la taille du point prend une valeur plus élevée. A l'avenir,

cette méthode peut servir à implémenter d'autres paramètres qui devraient varier en fonction du type de terminal.

Ci-dessous, une image de la carte web dynamique inscrite dans la page web et dans un onglet seul sur terminal mobile.

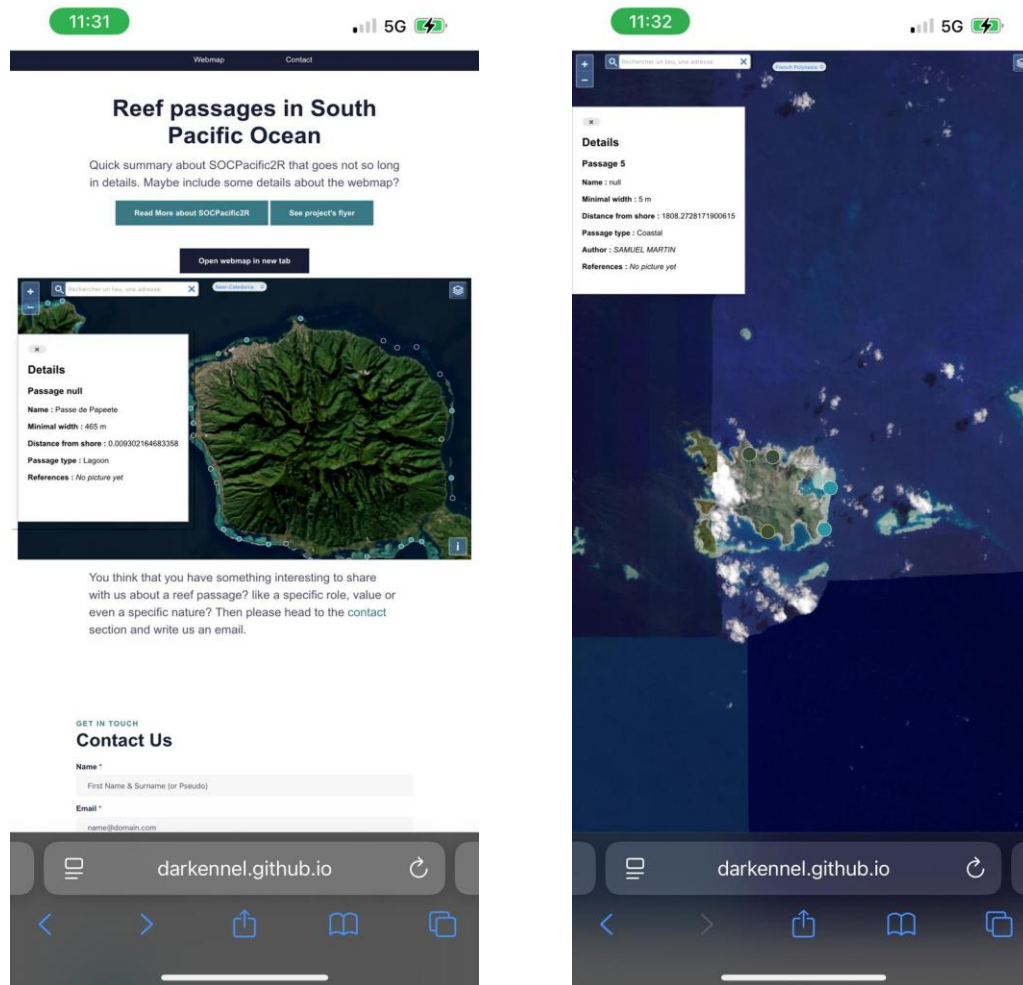


Figure 26 et 26 bis - Vues de la webmap sur un terminal mobile (au sein de la page à gauche et dans un onglet seule à droite). Source : production personnelle

Une fois la carte web entièrement implémentée, elle est intégrée dans une page HTML présentant le projet SOCPacific2R, le but de l'interface web-cartographique, les droits y étant relatif ainsi qu'un espace permettant aux utilisateurs de faire un retour ou de contribuer par message.

3. DEVELOPPER UNE INTERFACE WEB POUR INTEGRER LA CARTE DYNAMIQUE

Dès les premières phases de conception de l'interface cartographique, sont apparues comme essentielles les créations d'une webmap et d'un module permettant la contribution des utilisateurs de cette interface. Il fallait que la carte web dynamique ne constitue pas un outil isolé, mais qu'elle s'intègre dans une interface plus large, pensée comme un espace de diffusion et de participation. L'objectif est double : d'une part, proposer une visualisation interactive mais aussi accessible et intelligible par tous, des passes récifales recensées ; d'autre part, permettre aux utilisateurs – notamment les communautés locales, acteurs, chercheurs ou gestionnaires – de formuler des retours pour apporter des compléments d'information ou faire part de leur expérience de terrain.

Cependant, la forme de cette interface web restait libre. La création d'une page web dédiée répondait donc au besoin fonctionnel d'héberger la carte et ses métadonnées, mais aussi à l'ambition de favoriser un dialogue ouvert et évolutif autour de ces milieux récifaux. Cette interface devait ainsi conjuguer ergonomie, clarté de l'information et possibilités d'interaction.

La carte dynamique déjà développée, seule une interface permettant de l'intégrer restait alors à conceptualiser et créer. Cette dernière devait respecter plusieurs contraintes, à la fois pour répondre aux besoins fonctionnels de la commande (fournir un moyen aux utilisateurs de commenter et de contribuer à la base de données des passes récifales), mais aussi pour satisfaire à des exigences de style, de droit et d'ergonomie. Bien que le but ne soit pas d'intégrer cette nouvelle interface web cartographique au site web *socpacific.link*, il est tout de même essentiel que celle-ci reprenne les codes graphiques du projet, les crédits, les partenaires ainsi que la politique de confidentialité, éventuellement réajustés.

FORMULAIRE DE RETOUR

Pour répondre au besoin de doter l'interface d'un outil permettant la participation des acteurs et usagers des passes récifales, trois idées sont revenues au cours des réunions :

- Mettre en place un forum de discussion sous forme de fils de discussions ;
- Permettre aux utilisateurs de contribuer directement à la base de données, à la manière d'OpenStreetMap ;
- Créer une section dans laquelle un utilisateur pourrait écrire un message, envoyé à une adresse mail dédiée à cet usage.

Bien que les deux premières solutions semblent être les plus efficaces et agréables, tant du côté des utilisateurs que de celui des administrateurs, leur implémentation n'aurait pas été

envisageable dans le temps imparti par le projet tuteuré. De fait, afin de fournir une interface répondant pleinement aux besoins exprimés dans la commande, nous avons opté pour la troisième option.

Cette méthode permet une modération simple et efficace, dans la mesure où seuls les administrateurs de l'interface et de la base de données auront la possibilité de décider si les suggestions émises par les utilisateurs sont suffisamment rigoureuses ou pertinentes pour être implémentées. Ainsi, la question du contrôle de la participation des usagers – une problématique de première importance – a pu être résolue de manière satisfaisante.

La première ébauche de l'interface (voir figure figure 27) proposait de rendre la carte web-dynamique centrale dans la structuration du site, et de construire le reste du contenu autour. Les autres éléments, comme la description du projet ou la section de retour, seraient alors disponibles sur des pages secondaires liées à la page principale.

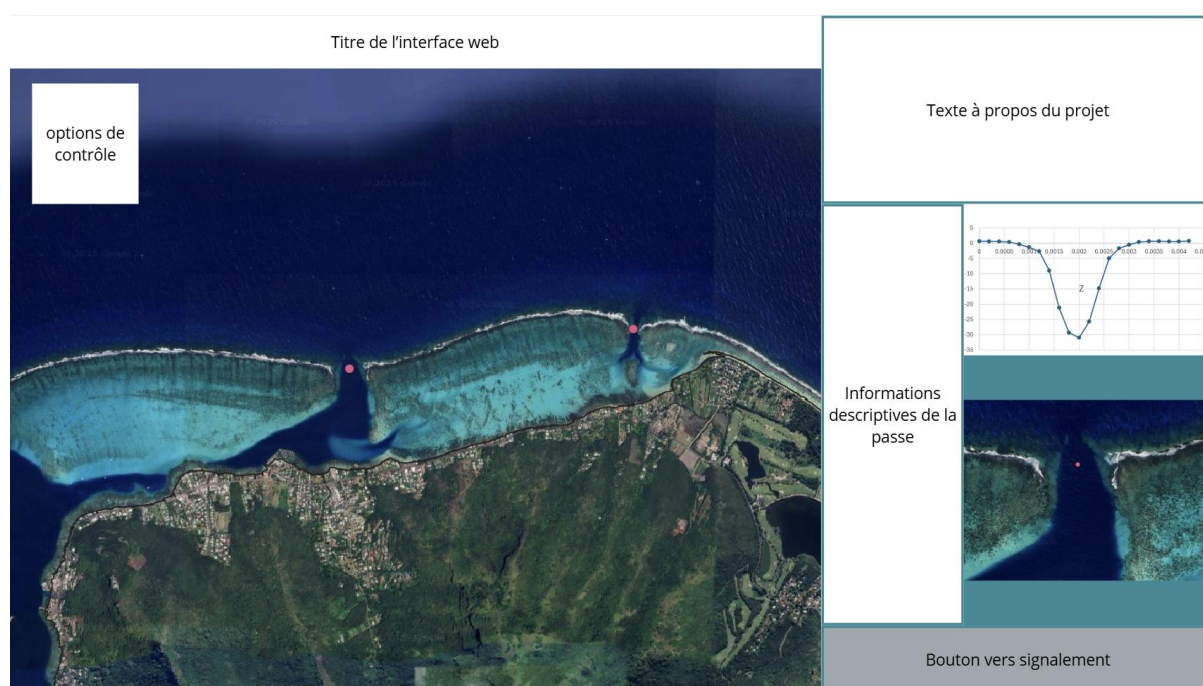


Figure 27 - Premier Schéma de l'architecture de l'interface web-cartographique. Source : production personnelle.

Cette première maquette risquait de ne pas suffisamment valoriser la possibilité, pour l'utilisateur, de contribuer, et mettait beaucoup en avant la carte qui, certes, est un outil de médiation important, mais n'est pas l'objectif principal de l'interface. Avec une telle organisation, les utilisateurs auraient pu considérer le site comme un outil d'information sur les passes récifales et non comme un espace visant à susciter le dialogue.

De fait, nous avons remanié la maquette et utilisé l'architecture de la page web pour mettre en avant la volonté du projet SOCPacific2R d'établir un dialogue avec les usagers et acteurs concernés. Pour cela, nous avons pris la décision de conserver tous les éléments sur une même

page, segmentée en deux sections : une première section présentant la webmap et les objectifs de ce projet, et une seconde section contenant un espace de retour.

La première partie, apparaissant en tête de page lors du chargement, offre la possibilité d'exposer les objectifs du projet avant même que l'utilisateur ne commence sa navigation. Afin que celui-ci garde toujours à l'esprit l'existence de ces deux espaces, un menu flottant a été ajouté, permettant de revenir facilement au début de l'une ou l'autre section.

Dans cette version, l'espace attribué à la carte web dynamique est plus restreint, ce qui peut rendre sa consultation légèrement moins confortable. Toutefois, la fonction de plein écran, décrite plus tôt, offre une solution satisfaisante à cette limite. Ces réflexions nous ont conduits à une seconde maquette qui fut celle que nous avons retenue (voir Annexe 3).

PERSPECTIVES

Établir un dialogue entre les usagers et acteurs des passes récifales et les membres du projet par retour de mail est une méthode simple et efficace qui convient à un prototype tel que celui que nous proposons. Toutefois, l'option retenue pour répondre à ce besoin présente un inconvénient majeur : bien qu'elle permette la mise en place d'un dialogue, il existe un risque que celui-ci ne soit pas suffisamment dynamique, ce qui pourrait décourager certaines formes de participation.

Les deux autres méthodes évoquées précédemment présentent davantage d'atouts, notamment en matière de dynamisation des échanges. La possibilité de contribuer directement aux données et métadonnées (avec un service de modération) rendrait la participation plus interactive, voire plus ludique, et donc potentiellement moins décourageante. Par ailleurs, la mise en place d'un forum sous forme de fil de discussion permettrait un dialogue bien plus vivant et, surtout, favoriserait une communication horizontale, en offrant aux acteurs et usagers des passes la possibilité d'échanger directement entre eux.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

Le projet que nous avons mené sous la tutelle de Jean-François GIRRES, Élodie FACHE, Auréa POTTIER, Stéphanie CARRIÈRE et Annette BRECKWOLDT s'inscrit à la croisée des enjeux environnementaux, territoriaux et participatifs liés à la gestion des passes récifales dans le Pacifique Sud. À travers une approche centrée sur la géomatique et le développement d'outils numériques, notre mission a consisté à poursuivre un travail d'inventaire et de caractérisation des passes récifales dans trois archipels (Nouvelle-Calédonie, Fidji, Polynésie française), puis à intégrer ces résultats dans une interface web cartographique conçue pour faciliter la consultation et la participation des acteurs concernés par ces milieux.

UNE APPROCHE METHODOLOGIQUE PROGRESSIVE ET FONCTIONNELLE

Notre démarche s'est construite progressivement autour de deux livrables principaux : une base de données sous la forme d'un corpus de couches vectorielles décrivant et caractérisant les passes recensées et une interface web rendant l'ensemble accessible et intelligible et permettant une mise en dialogue entre le projet et les acteurs et usagers des passes récifales.

Plusieurs indicateurs ont été repris des travaux d'Annette Breckwoldt et al. (2022) bien que leur méthode de calcul soit parfois décrite de manière sommaire. Nous avons tout de même repris plusieurs des méthodes décrites dans cet article, tout en soulignant les limites inhérentes à celles-ci et en soumettant, quand cela est possible, des pistes d'amélioration. Pour le calcul de la largeur, il peut y avoir une difficulté à définir les bords récifaux sur certaines images, des imprécisions dues à l'échelle ou à la réflectance, et le caractère subjectif de l'identification du point de mesure. Pour le type de passe, il est parfois complexe de définir la limite entre passe lagunaire (Lagoon) et passe hauturière (Open Water) ou entre passe lagunaire et côtière (Coastal). Ces ambiguïtés entre les types de passe peuvent être l'opportunité d'engager un dialogue entre les différents contributeurs du projet afin de multiplier les points de vue et limiter les biais personnels. Cette discussion entre acteurs est tout à fait valorisante dans un projet de recherche exploratoire sur les passes récifales.

Dans un second temps, nous avons conçu une méthodologie exploratoire permettant de générer des transects topographiques des passes, à partir de modèles numériques de terrain bathymétriques du SHOM disponibles sur les zones de Tahiti et Moorea. Grâce à l'outil « *Profiles from Lines* » de la bibliothèque SAGA de QGIS, combiné à un script en langage R, nous avons pu produire de manière semi-automatique un ensemble de profils en coupe exploitables, sous forme de graphiques. Cette approche, efficace pour visualiser la structure sous-marine des passes et enrichir leur lecture morphologique, présente des limites proches de celles de la méthode de mesure de largeur des passes : où faire la coupe topographique ? Comment identifier

le sens de la coupe ? etc. En plus de cela, cette méthode nécessite un MNT bathymétrique relativement précis, une donnée difficile à obtenir.

LIMITES TECHNIQUES ET CHOIX ASSUMES

Dans le cadre restreint du projet tuteuré, nous avons dû opérer des choix méthodologiques pragmatiques, parfois au détriment de la précision scientifique. La mesure de largeur reste approximative, notamment pour les passes très larges ou mal couvertes par les données satellites, et la coupe topographique est tributaire de la résolution du MNT et du pas imposé par l'outil de SAGA, non paramétrable manuellement.

De plus, l'outil « *Profiles from Lines* » ne conserve pas l'identifiant des lignes sources, ce qui nécessite une organisation rigoureuse des traitements, en travaillant par zones restreintes pour pallier l'absence de fonction de jointure directe entre les entités source et les points générés. Ces limites techniques n'ont cependant pas entravé la réalisation du prototype, mais peuvent constituer des pistes d'amélioration importantes pour de prochaines itérations de cette méthodologie.

Sur le plan de la diffusion des résultats, nous avons fait le choix d'une interface web simple mais fonctionnelle, articulée autour de deux sections : une présentation du projet accompagnée d'une carte dynamique, et une section de contact permettant à l'utilisateur de soumettre un retour. Ce canal participatif, bien que minimaliste, répondait à la commande initiale. Nous avons considéré que les solutions plus ambitieuses (forum ou base de données contributive de type OpenStreetMap) dépassaient les capacités de réalisation dans le cadre imparti.

PERSPECTIVES D'AMELIORATION ET DE PROLONGEMENT

Plusieurs perspectives s'ouvrent à l'issue de ce travail, tant du point de vue technique que scientifique et participatif.

D'un point de vue technique, la standardisation et l'automatisation des méthodes de mesure pourraient être poursuivies. L'utilisation de bibliothèques spécialisées en traitement raster ou en analyse spatiale 3D pourrait aussi enrichir les analyses. La difficulté à choisir un point standardisé où mesurer largeur et coupe topographique pourrait être écartée par un outil intégré à la webmap permettant d'extraire la largeur et le profil de manière systématique à partir d'une mesure donnée par l'utilisateur sur une zone couverte par un MNT (à la manière des outils de mesure du GéoPortail).

Sur le plan de la caractérisation, croiser les indicateurs morphologiques avec des données d'usages ou de dynamiques écologiques (courants, fréquentation, espèces migratoires, etc.) permettrait d'approcher une typologie plus opérationnelle des passes récifales. De même, l'intégration de facteurs anthropiques, culturels ou spirituels constitue une dimension encore largement absente du modèle actuel. L'inclusion des savoirs locaux, par la conduite d'enquêtes

de terrain ou la mise en place de canaux de remontée d'information structurés, pourrait profondément enrichir la base de données.

Enfin, l'interface web pourrait évoluer vers un véritable outil de co-construction, où les usagers pourraient visualiser, commenter et enrichir les données à différentes échelles à l'image d'OpenStreetMap. Une telle plateforme, à condition d'être bien modérée et structurée, favoriserait une appropriation collective des passes récifales, tout en facilitant la transmission entre chercheurs, gestionnaires et communautés locales.

En conclusion, ce travail a permis de poursuivre sur les fondations d'un outil d'inventaire et de caractérisation vers un outil de diffusion des connaissances sur les passes récifales, à la fois fonctionnel, reproductible et ouvert aux contributions futures. Les choix méthodologiques adoptés, s'ils comportent certaines limites, ont été motivés par un souci d'efficacité, de simplicité d'usage et de cohérence avec les objectifs du projet SOCPacific2R. Ce mémoire propose ainsi une première réponse à un besoin croissant : celui de mieux comprendre, documenter et partager la diversité des passes récifales du Pacifique Sud, dans une perspective à la fois scientifique et collaborative.

BIBLIOGRAPHIE

Breckwoldt, A., Dombal, Y., Sabinot, C., David, G., Riera, L., Ferse, S., & Fache, E. (2022). A social-ecological engagement with reef passages in New Caledonia : Connectors between coastal and oceanic spaces and species. *Ambio*, 51(12), 2401-2413. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01762-8>

Breckwoldt, A., Nozik, A., Moosdorf, N., Bierwirth, J., Fache, E., Ferse, S., Ford, A., Mangubhai, S., Pelletier, D., & Piovano, S. (2022). A Typology for Reef Passages. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.786125>

Nozik, A., Breckwoldt, A., Becker, R., Fache, E., & Piovano, S. (2022). *Typology approach from visual interpretation of satellite imagery for reef passages around 9 South Pacific islands* [Jeu de données]. PANGAEA. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.942568>

WEBOGRAPHIE

DATA.SHOM.FR - Map visualization. (s.d.). Consulté 12 février 2025, à l'adresse <https://data.shom.fr/#001=eyJljbMTQ5MDY2NjMuMDM4NDM5NDMsLTQzNjY4OC42NDYzNjA4NzkzXSwieil6OCwicil6MCwibCI6W3sidHlwZSI6IklOVEVStkFMX0xBWUVSliwiaWRlbnRpZmllcil6IkZEQ19HRUJDT19QWVItUE5HXzM4NTdfV01UUylslm9wYWNPdHkiOjE5InZpc2liaWxpdHkiOnRydWV9XX0=>

le 16/10/2024, P. (2024, octobre). *Haute mer, eaux internationales* (ISSN : 2492-7775) [Terme]. Géoconfluences; École normale supérieure de Lyon. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/haute-mer>

le 19/09/2024, P. (2024, septembre). *Forêt* (ISSN : 2492-7775) [Terme]. Géoconfluences; École normale supérieure de Lyon. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/foret>

le 22/02/2023, P. (2023, février). *Lagon, passe* (ISSN : 2492-7775) [Terme]. Géoconfluences; École normale supérieure de Lyon. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/lagon>

L'évolution du littoral de Nouvelle-Calédonie. (2022, avril 10). ArcGIS StoryMaps. <https://storymaps.arcgis.com/stories/78179489ed5741a09d970a65a9a6c170>

SOCPacific – *Valuing Reef Passages in the South Pacific Region*. (2025, avril 23). <https://socpacific.link/>

SOCPacific2R. (s.d.). UMR-SENS. Consulté 19 mai 2025, à l'adresse <https://www.umsens.fr/fr/web/guest/-/socpacif-3>

Valuing Reef Passages in the South Pacific Region. (2018, septembre 28). Valuing Reef Passages in the South Pacific Region. <https://socpacific.net/>

Annexes :

Annexe 1 : Fiche de commande du projet tuteuré.



Atelier Projet Tuteuré – SOC Pacific 2R

Master 1 Mention Géomatique Montpellier – UE « Atelier projet tuteuré »

Février - Mai 2025

Intitulé

« Analyse des passes récifales à Fidji, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française »

Commanditaire

Elodie Fache (IRD, SENS) et Auréa Pottier (IRD, SENS)
En lien avec l'équipe du projet SOCPacific2R

Encadrement pédagogique

Elodie Fache (IRD), Auréa Pottier (IRD), Jean-François Girres (UPVM)
En lien avec l'équipe du projet SOCPacific2R

Objectif principal

Ce projet tuteuré vise principalement à identifier toutes les passes récifales à Fidji, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française par photo-interprétation et à créer une base de données permettant de les caractériser et d'affiner ainsi une typologie existante.

Contexte

Ce projet tuteuré s'inscrit dans le cadre du projet « A Sea of Connections: Valuing Reef Passages in the South Pacific Region » (SOCPacific2R, 2024-2027). Basé sur un partenariat entre l'IRD, le Leibniz Centre for Tropical Marine Research (ZMT) et l'University of the South Pacific (USP), ce projet interdisciplinaire vise à :

1. réaliser une étude transdisciplinaire des passes récifales en tant qu'assemblages complexes et dynamiques d'entités vivantes et non vivantes qui interagissent les unes avec les autres ;
2. documenter les dispositifs de gestion et de conservation appliqués à ces passes récifales et analyser comment différents groupes d'acteurs sociaux les perçoivent et évaluent ;
3. établir un dialogue participatif science-société-politique nourri par les études socio-écologiques, les socio-cosmologies et les souverainetés Océaniques, ainsi que par les normes de gouvernance relatives à la gestion et à la conservation des passes récifales.

A travers ces objectifs scientifiques interconnectés et les activités associées de renforcement des capacités, SOCPacific2R s'inscrit dans, et nourrit, la Décennie pour les sciences océaniques au service du développement durable (2021-2030). Ce projet facilitera l'intégration des passes récifales dans les futures politiques et pratiques marines/océaniques. Ses travaux empiriques se focaliseront principalement à Fidji et en Nouvelle-Calédonie, avec une extension envisagée en Polynésie française, où les passes récifales peuvent être qualifiées d'« ecological and cultural keystone places ».

Ce projet SOCPacific2R a émergé d'un précédent projet, basé sur le même partenariat et focalisé lui aussi sur le Pacifique Sud : « A Sea of Connections: Contextualizing Fisheries in the South Pacific Region » (SOCPacific, 2018-2022). Ce projet a exploré le vaste réseau de connexions socioculturelles, politiques et géopolitiques au sein duquel les pratiques de pêche et de gestion des pêcheries se déploient dans le Pacifique Sud. Au fil de la réalisation de ce projet, nous avons identifié une lacune des recherches relatives à l'Océanie, nécessitant une attention urgente : à ce jour, peu de travaux ont produit et diffusé des connaissances sur l'importance socio-écologique à

Atelier Projet Tuteuré – SOC Pacifique 2R

multiples facettes des passes récifales (ouvertures et canaux dans les récifs barrières et frangeants), qui devraient pourtant être au cœur des activités de conservation de la biodiversité. Des interprétations visuelles d'images satellites basées sur le SIG nous ont permis d'identifier 113 passes récifales dans un échantillon de neuf îles du Pacifique Sud et de décrire trois types de passes récifales (coastal, lagoon, open ocean). Étape importante vers le développement d'une compréhension commune des valeurs et rôles de ces lieux, cette typologie est maintenant à affiner en utilisant un ensemble de paramètres et de critères supplémentaires. Ceci nécessite dans un premier temps de poursuivre le travail d'interprétations visuelles d'images satellites pour identifier l'ensemble des passes récifales à Fidji, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française.

Description et objectifs du projet tuteuré

Le projet tuteuré vise à poursuivre, dans le cadre du projet SOCPacific2R, le travail initié dans la publication suivante :

Breckwoldt, Annette, Alexandra Nozik, Nils Moosdorf, Jan Bierwirth, Elodie Fache, Sebastian Ferse, Amanda Ford, Sangeeta Mangubhai, Dominique Pelletier et Susanna Piovano. 2022. A typology for reef passages. *Frontiers in Marine Science* 9: 786125, <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.786125>. Dans un premier temps, à partir de Google Earth, il s'agira d'identifier et de localiser toutes les passes récifales à Fidji, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française. Dans un second temps, il s'agira de créer une base de données, dans laquelle chaque passe identifiée et localisée sera associée à son type (coastal, lagoon, open ocean – voir typologie ci-dessus) et à un ensemble de caractéristiques physiques : distance du rivage, longueur, profondeur, présence/absence d'une rivière ou d'un village, etc. Dans un troisième temps, il s'agira de proposer à partir de cette base de données des analyses statistiques (ou autres) relatives aux passes récifales dans ces trois territoires océaniques.

Si intérêt et temps pour cela, il serait également intéressant d'inclure dans la base de données, pour certaines passes récifales, des données socio-écologiques non-publiées, fournies par les membres du projet SOCPacific2R, avec l'objectif d'identifier comment compléter cette base de données à partir de données de terrain. Par ailleurs, il serait également intéressant d'intégrer cette base de données dans une interface cartographique en ligne comme Google My Maps ou Leaflet. Cette base de données pourrait ensuite être alimentée et complétée par des membres du projet. A partir de tout le travail réalisé, une discussion de la typologie existante/publiée et des pistes pour l'affiner serait la bienvenue.

Planning prévisionnel

- État de l'art et recherche bibliographique
- Identification des passes récifales à Fidji, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française à partir de Google Satellite
- Création d'une base de données recensant, pour chaque passe identifiée, un ensemble de caractéristiques physiques
- Réalisation d'analyses statistiques (ou autres) à partir de cette base de données
- (- Inclusion dans la base de données, pour certaines passes récifales, de données socio-écologiques non-publiées, avec l'objectif d'identifier comment compléter cette base de données à partir de données de terrain)
- (Intégrer la base de données dans une interface cartographique en ligne comme Google My Maps, Leaflet, Lizmap ou autre application)
- (- Discussion visant à affiner la typologie existante)
- Rédaction du mémoire

Annexe 2 : Table attributaire de la couche de points automatiquement générée par l'outil « Profiles from lines » de la bibliothèque SAGA avec pour entrée le MNT bathymétrique.

	LINE_ID	ID	DIST	DIST_SURF	X	Y	Z
1	426	1	0.00000	0.00000	202581.5	8065613	0.58083332
2	426	2	21.63206	21.63280	202603.1	8065614	0.40138900
3	426	3	43.26412	43.27837	202624.7	8065615	-0.36305532
4	426	4	64.89618	64.93114	202646.3	8065616	-1.30999982
5	426	5	86.52824	86.60223	202668.0	8065617	-2.60999990
6	426	6	108.16030	109.14274	202689.6	8065618	-8.94472218
7	426	7	129.79236	133.97232	202711.2	8065620	-21.13333321
8	426	8	151.42441	157.12695	202732.8	8065621	-29.39111137
9	426	9	173.05647	178.81686	202754.4	8065622	-30.97416687
10	426	10	194.68853	201.07852	202776.0	8065623	-25.71722412
11	426	11	216.32059	225.30594	202797.6	8065624	-14.80750179
12	426	12	237.95265	249.07650	202819.2	8065625	-4.95388985
13	426	13	259.58471	270.97581	202840.8	8065627	-1.54305565
14	426	14	281.21677	292.63402	202862.4	8065628	-0.47916669
15	426	15	302.84883	314.28343	202884.0	8065629	0.38750008
16	425	16	0.00000	0.00000	204674.8	8065938	-0.96361148
17	425	17	21.91622	23.58286	204696.4	8065934	-9.67166805
18	425	18	43.83245	46.11628	204718.0	8065931	-14.90944385

Identifiant de la ligne

Distance au début de la ligne

Valeur de profondeur issue du MNT

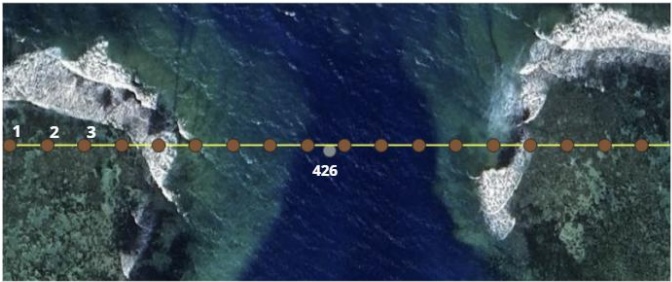


Illustration de la sortie de l'algorithme "Profiles from lines" de la bibliothèque SAGA. Ici, line ID a été traité manuellement, à postériori, pour correspondre à l'identifiant de la passe.

L'outil attribut une valeur d'identifiant automatiquement de 0 à n par ordre d'ancienneté de création des lignes.

Source : Production personnelle à partir de capture de l'outil QGIS et de l'interface RStudio.

Annexe 3 : Schématisation de l'interface cartographique finale.

