
Résultats détaillés :

**Étude de l'évolution de la position du trait de
côte sur les plages publiques de Tautira (Tahiti)
et de Tahiamanu (Moorea)**

Module 1 Fiche 4

Valentin PILLET & Virginie Duvat

UMR LIENSs 7266, La Rochelle Université-CNRS



1. Zones d'étude

1.1. La plage de Tautira à Tahiti et la plage de Tahiamanu à Moorea

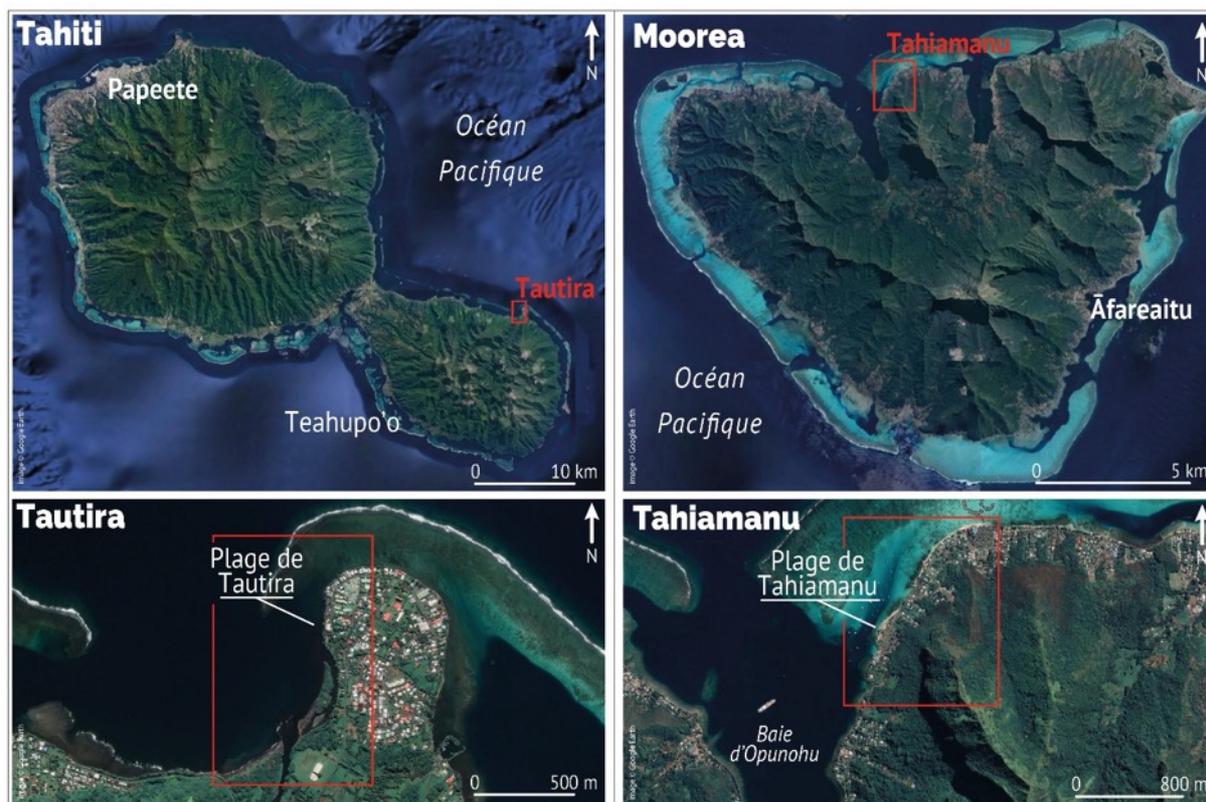


Figure 1 – Situation des plages étudiées. La plage de Tautira se situe dans l'est de l'île de Tahiti, sur la presqu'île de Taiarapu (Tahiti Iti). À Moorea, la plage de Tahiamanu est située dans la partie est de la baie d'Opunohu (nord de l'île).

2. Matériel et méthode

2.1. Caractéristiques des photographies aériennes anciennes et des images satellites utilisées dans cette étude

Sur les îles isolées, les photographies aériennes anciennes constituent l'unique source de données historiques. Pour cette raison, les données relatives aux indicateurs de la position du trait de côte ont été extraites par photo-interprétation assistée par ordinateur. Les caractéristiques des images utilisées sont présentées dans le Tableau 1. Leur étendue spatio-temporelle est illustrée dans la Figure 1.

L'effort de détection de la position du trait de côte conduit sur les plages de Tautira (Tahiti) et de Tahiamanu (Moorea) repose sur une combinaison d'images aériennes anciennes et d'images satellites récentes. Les périodes d'études couvrent 62 années d'évolutions à Tautira (1955-2017) et 42 années à Tahiamanu (1977-2019) (Figure 1).

	Zone	Date de prise de vue	Type d'images	Échelle	Taille du pixel (m)	Échelle d'exploitation optimale ¹
Polynésie française Archipel de la Société	Tahiti Plage de Tautira	01/01/1955	Aériennes N/B	1/45000	1,34	1/2680
		24/05/1977	Aériennes N/B	1/15000	0,49	1/980
		01/03/1984	Aériennes N/B	1/15000	0,52	1/1040
		25/08/1990	Aériennes couleurs	1/10000	0,32	1/640
		30/06/2001	Aériennes couleurs	1/15000	0,45	1/900
		2011	WorldView-2	/	0,50	1/1000
		2017	WorldView-3	/	0,30	1/600
	Moorea Plage de Tahiamanu	25/05/1977	Aériennes N/B	1/15000	0,50	1/1000
		26/07/2019	Pléiades	/	0,50	1/1000

Tableau 1 – Caractéristiques des photographies aériennes anciennes et des images satellites utilisées. Ces images constituent la donnée source à partir de laquelle les indicateurs de la position du trait de côte ont été extraits.

¹ Échelle d'exploitation optimale calculée selon la méthode empirique de Tobler (1987)
Projet INSeaPTION - INtegrating SEA-level Projections in climate services for coastal adaptation.

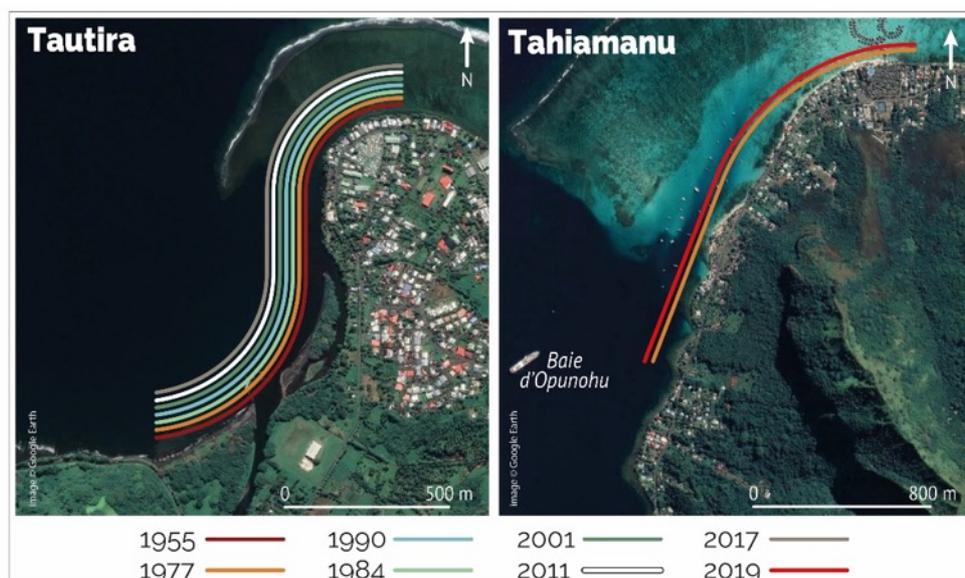


Figure 2 – Emprise spatio-temporelle des photographies aériennes anciennes et des images satellites Pléiades utilisées pour les plages de Tautira (Tahiti) et de Tahiamanu (Moorea)

2.2. Géoréférencement des images aériennes anciennes

Sur la plage de Tautira, les images aériennes anciennes ont été livrées non géoréférencées. Ici, l'image satellite WordView-3 de 2017 a servi de référentiel spatial. Les images anciennes ont été calées à partir de points de repère durables dans le temps puis projetées dans le système RGPF UTM zone 6S (EPSG 3297). Sur la plage de Tahiamanu, les images anciennes (1977) ont été livrées géoréférencées, mais le décalage important avec l'image Pléiades de juillet 2019 (près de 4 m par endroits) nous a contraint à les recalculer. Sur les deux sites d'étude, la précision du géoréférencement de l'ensemble des images anciennes a été évaluée en calculant le décalage moyen entre les images anciennes et le référentiel spatial (les images satellites les plus récentes pour chaque plage). Ces valeurs sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 2).

Zone d'étude	Année	Décalage (m)	Écart type (m)
Tautira – Tahiti	1955	0,62	0,32
	1977	0,82	0,45
	1984	0,41	0,09
	1990	0,69	0,48
	2001	0,46	0,26
	2011	0,25	0,09
	2017	Référentiel	/
	Moyenne globale	0,54	0,28
Tahiamanu - Moorea	1977	0,69	0,55
	2019	Référentiel	/
	Moyenne globale	0,69	0,28

Tableau 2 – Précision du géoréférencement des photographies aériennes anciennes pour chaque année.

2.3. Interprétation et numérisation des indicateurs de la position du trait de côte

Cette étude repose sur deux indicateurs de la position du trait de côte.

- **La ligne de stabilité** marque la limite entre la zone stabilisée et la partie supérieure de la zone active du système sédimentaire. Elle correspond à la limite de végétation sur les côtes naturelles et à la base des ouvrages de défense et des aménagements (bâti, infrastructures) sur les côtes artificialisées.
- **Le pied de plage** correspond au jet de rive sur la plage de Tautira. Ce dernier marque la limite atteinte par l'eau projetée sur la plage par la vague venant de déferler. Sur la plage de Tahiamanu, le pied de plage marque la limite entre la zone active (remaniée quotidiennement par les agents marins et atmosphériques) qu'est la plage et le platier récifal.

Les données relatives aux indicateurs ont été extraites par photo-interprétation assistée par ordinateur (PIAO) à partir des PVA géoréférencées et des images satellites. Le processus d'interprétation et de numérisation du trait de côte a été conduit par un opérateur unique sous le logiciel ArcGIS 10.5. Le fait que le trait de côte soit numérisé par un seul opérateur améliore la cohérence d'interprétation et entre les différentes séries d'images. Afin de garantir une cohérence globale de précision des données extraites des PVA et des images satellites, la numérisation des indicateurs a été exécutée à une échelle constante de 1/1000^{ème}. Pour chaque indicateur et pour chaque date, un fichier vecteur polygones a été créé dans une géodatabase fichiers. Toutes les entités générées sont projetées en RGPF UTM Zone 6S (EPSG 3297).

Plus de détails sur le protocole de numérisation des indicateurs de trait de côte sont disponibles dans les publications suivantes :

- Duvat, V.K.E., Pillet, V., 2017. Shoreline changes in reef islands of the Central Pacific: Takapoto Atoll, Northern Tuamotu, French Polynesia. *Geomorphology* 282, 96-118.
- Duvat, V.K.E., Salvat, B., Salmon, C., 2017. Drivers of shoreline change in atoll reef islands of the Tuamotu Archipelago, French Polynesia. *Glob. Planet. Change* 158, 134-154.

2.4. Évolution de la position des indicateurs du trait de côte

Les calculs d'évolution de la position des indicateurs du trait de côte ont été réalisés avec l'extension Digital Shoreline Analysis System 5.0 (DSAS). DSAS est un des principaux outils qui permet de détecter les évolutions en plans (x, y) de la position des indicateurs de trait de côte (Himmelstoss *et al.* 2018). Une ligne de base (*baseline*) parallèle à la côte est numérisée manuellement par un opérateur. À partir de cette *baseline*, DSAS génère automatiquement des transects perpendiculaires qui intersectent les traits de côtes. Dans cette étude, un transect est généré tous les dix mètres.

Les statistiques suivantes ont été générées :

- Le **Net Shoreline Movement (NSM)**, qui correspond à la distance séparant le trait de côte le plus ancien du plus récent sur une période d'étude donnée ;
- Le **End Point Rate (EPR)**, qui correspond à la distance parcourue par le trait de côte en un point donnée exprimée en m/an. Il est obtenu en divisant le NSM par le nombre d'années d'une période d'étude donnée.

2.5. Incertitude

Un certain nombre de difficultés et de limites relatives à l'exercice de photo-interprétation assistée par ordinateur contraignent la précision des données (qualités et caractéristiques des images, spécificités du milieu, aspects techniques).

Suivant l'approche d'évaluation de la marge d'erreur déployée dans les études précédentes (Ford 2012 ; Yates *et al.* 2013 ; Duvat and Pillet 2017 ; Kench *et al.* 2018), nous considérerons ici trois sources d'erreurs :

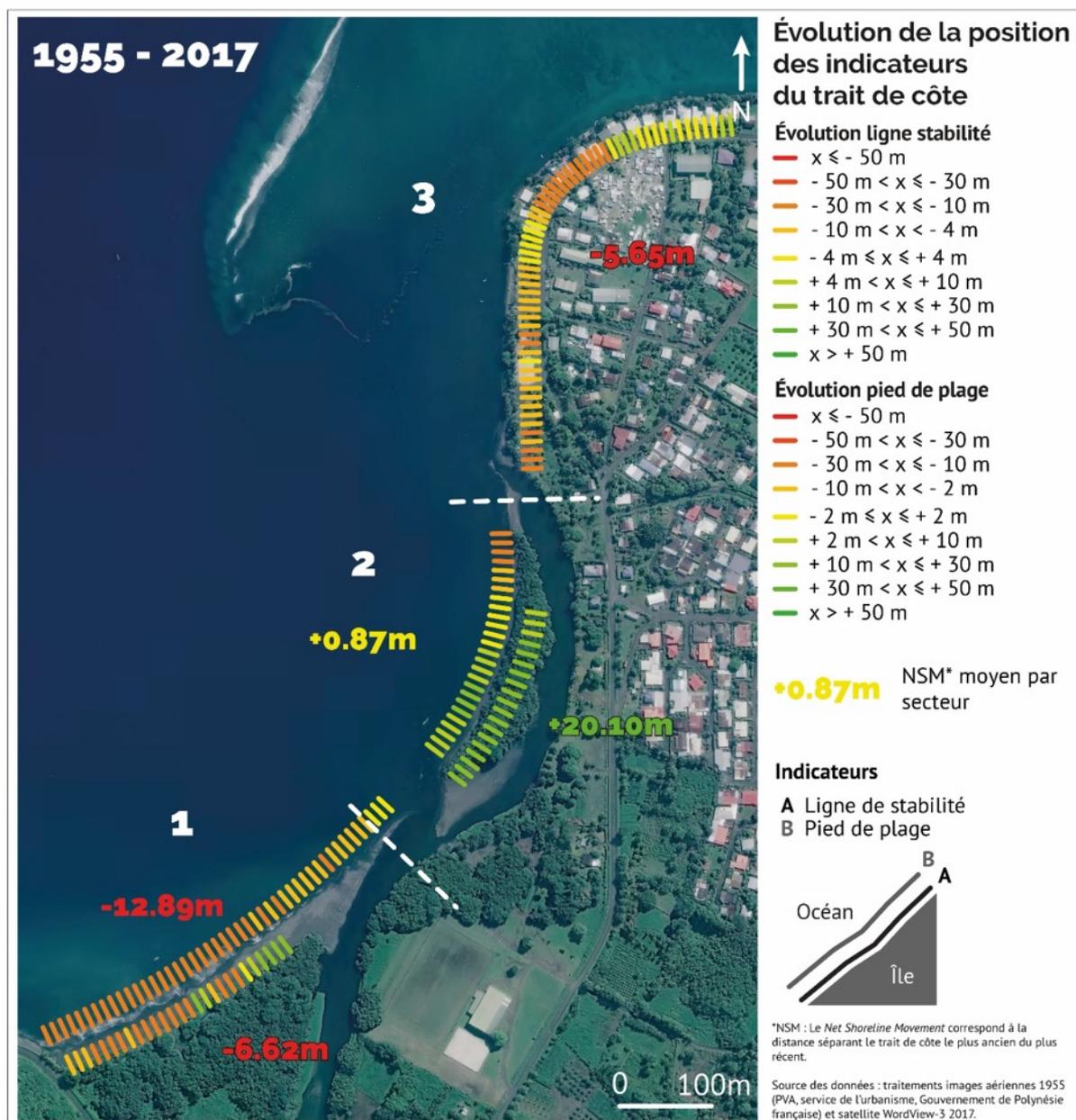
- L'erreur de rectification (E_r)
- L'erreur liée à la résolution des images (E_p)
- L'erreur d'interprétation de la position du trait de côte (E_n).

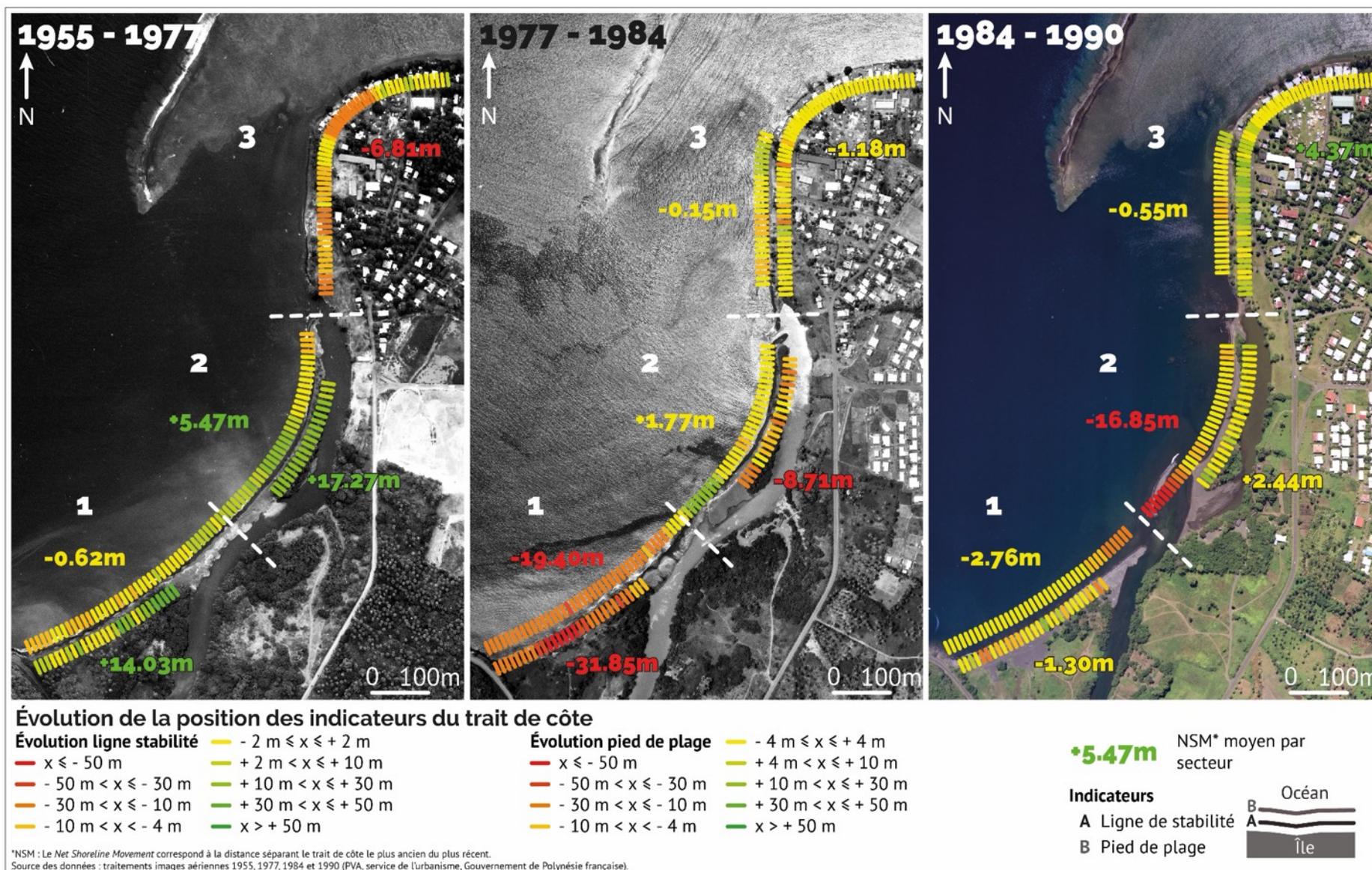
$$Eg = \sqrt{Er^2 + Ep^2 + En^2}$$

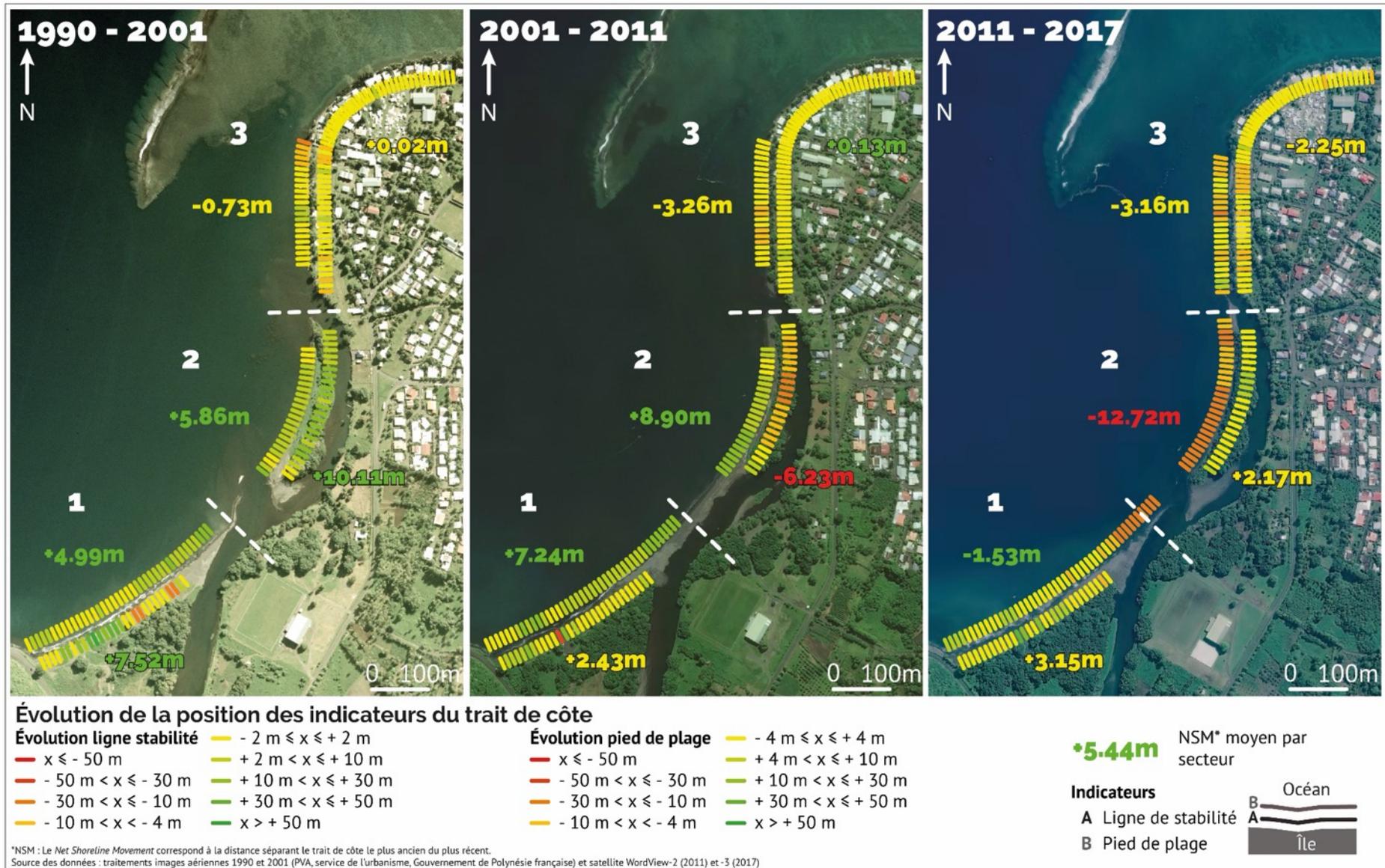
Zone d'étude	Période	E_r (m)	E_p (m)	E_n (m)		Eg (m)		Erreur retenue (m)	
				LS	PP	LS	PP	LS	PP
Tautira - Tahiti	1955-2017 et sous-périodes	0,54	0,56	3	3.77	3.10	3.84	4	4
Tahiamanu - Moorea	1977-2019	0,69	0,56	2	1.73	3.12	1.94	4	4

3. Résultats

3.1. Évolution des indicateurs de trait de côte - Tautira







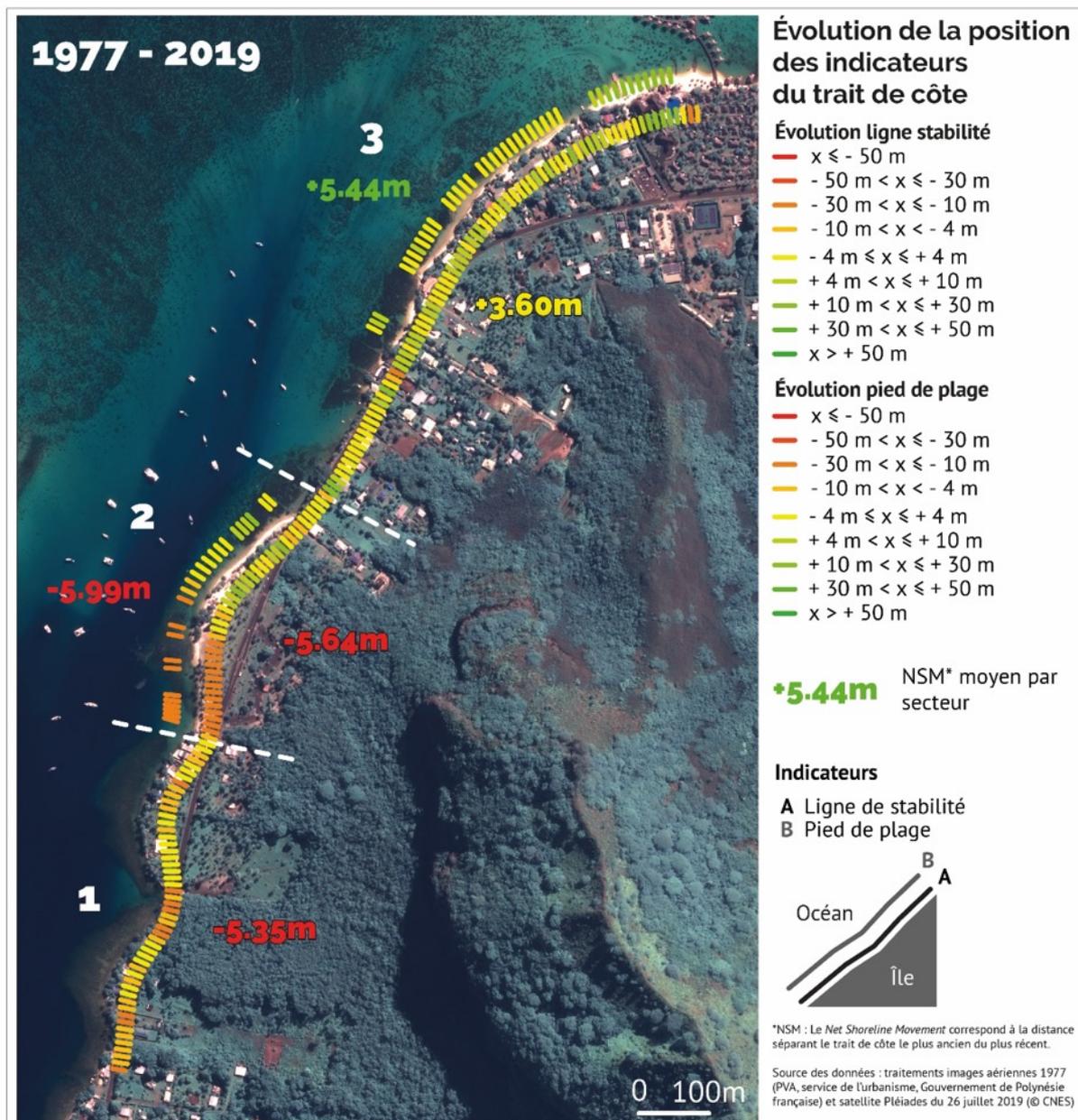
Période	Tautira	Nombre de transects	NSM moyen (m)	EPR (m/an)	NSM min. (m)	NSM max. (m)	Transects en progradation		Transects stables		Transects en recul	
	Secteur						Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
1955-2017	1	27	-6.62	-0.11	-27.63	19.33	7	25.93	1	3.70	19	70.37
	2	19	20.10	0.32	7.23	28.81	19	100	0	0.00	0	0.00
	3	61	-5.65	-0.09	-18.16	8.25	6	9.83	17	27.87	38	62.30
1955-1977	1	28	14.03	0.62	0.67	46.80	17	60.71	11	39.29	0	0.00
	2	20	17.27	0.77	7.76	24.58	20	100	0	0.00	0	0.00
	3	61	-6.81	-0.30	-18.43	5.10	4	6.56	18	29.51	39	63.93
1977-1984	1	30	-31.85	-4.70	-71.14	-8.10	0	0.00	0	0.00	30	100
	2	22	-8.71	-1.29	-19.71	-2.31	0	0.00	4	18.18	18	81.82
	3	62	-1.18	-0.17	-10.46	5.16	2	3.22	54	87.10	6	9.68
1984-1990	1	29	-1.30	-0.20	-17.03	24.81	3	10.34	16	55.18	10	34.48
	2	24	2.44	0.38	-0.82	10.33	4	16.67	20	83.33	0	0.00
	3	62	4.37	0.67	-0.68	22.32	26	41.94	36	58.06	0	0.00
1990-2001	1	29	7.52	0.69	-15.30	54.12	12	41.38	13	44.83	4	13.79
	2	25	10.11	0.93	-3.22	22.15	23	92.00	2	8.00	0	0.00
	3	62	0.02	0.00	-7.88	4.89	3	4.84	53	85.48	6	9.68
2001-2011	1	30	2.43	0.26	-33.35	17.83	9	30.00	20	66.67	1	3.33
	2	25	-6.23	-0.66	-11.09	5.60	2	8.00	5	20.00	18	72.00
	3	62	0.13	0.01	-4.41	5.75	2	3.23	59	95.16	1	1.61
2011-2017	1	30	3.15	0.53	-4.85	34.38	6	20.00	23	76.67	1	3.33
	2	24	2.17	0.36	-1.10	7.31	5	20.83	19	79.17	0	0.00
	3	62	-2.25	-0.37	-9.69	4.24	1	1.61	49	79.04	12	19.35

Tableau 3 – Évolution de la position de la ligne de stabilité à Tautira sur les périodes successives entre 1955 et 2017.

Période	Tautira	Nombre de transects	NSM moyen (m)	EPR (m/an)	NSM min. (m)	NSM max. (m)	Transects en progradation		Transects stables		Transects en recul	
	Secteur						Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
1955-2017	1	42	-12.89	-0.21	-19.73	-5.25	0	0.00	0	0.00	42	100
	2	30	0.87	0.01	-17.21	13.44	13	43.33	9	30.00	8	26.67
	3	Absence de plage au sud / disparition de la plage au nord										
1955-1977	1	42	-0.62	-0.03	-7.73	7.72	8	19.05	22	52.38	12	28.57
	2	37	5.47	0.24	-9.97	14.14	22	59.46	11	29.73	4	10.81
	3	Absence de plage au sud / disparition de la plage au nord										
1977-1984	1	42	-19.40	-2.86	-30.45	0.78	0	0.00	3	7.14	39	92.86
	2	35	1.77	0.26	-4.95	15.22	9	25.71	24	68.58	2	5.71
	3	28	-0.15	-0.02	-6.87	6.49	6	21.43	15	53.57	7	25.00
1984-1990	1	39	-2.76	-0.43	-19.40	3.60	0	0.00	29	74.36	10	25.64
	2	34	-16.85	-2.60	-72.45	3.58	0	0.00	18	52.94	16	47.06
	3	26	-0.55	-0.08	-5.57	6.93	3	11.54	19	73.08	4	15.38
1990-2001	1	39	4.99	0.45	-2.34	12.76	22	56.41	17	43.59	0	0.00
	2	24	5.86	0.54	-2.67	11.81	19	79.17	5	20.83	0	0.00
	3	23	-0.73	-0.07	-12.86	5.31	3	13.04	15	65.22	5	21.74
2001-2011	1	41	7.24	0.76	-2.70	16.72	32	78.05	9	21.95	0	0.00
	2	24	8.90	0.93	3.10	14.94	21	87.50	3	12.50	0	0.00
	3	23	-3.26	-0.34	-7.12	0.24	0	0.00	18	78.26	5	21.74
2011-2017	1	42	-1.53	-0.26	-16.78	8.57	7	16.67	25	59.52	10	23.81
	2	32	-12.72	-2.12	-19.79	-6.98	0	0.00	0	0.00	32	100
	3	25	-3.16	-0.53	-10.33	5.48	2	8.00	11	44.00	12	48.00

Tableau 4 – Évolution de la position du pied de plage à Tautira sur les périodes successives entre 1955 et 2017

3.2. Évolution des indicateurs de trait de côte - Tahiamanu



Indicateur	Tautira	Nombre de transects	NSM moyen (m)	EPR (m/an)	NSM min. (m)	NSM max. (m)	Transects en progradation		Transects stables		Transects en recul	
	Secteur						Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
Ligne de stabilité	1	52	-5.35	-0.12	-13.59	3.40	0	0	22	42.31	30	57.69
	2	41	-5.64	-0.13	-23.35	11.73	9	21.95	13	31.71	19	46.34
	3	82	3.60	-0.08	-11.90	20.60	33	40.24	44	53.66	5	6.10
Pied de plage	1	Pas de données										
	2	25	-5.99	-0.14	-21.61	11.12	4	16.00	8	32.00	13	52.00
	3	40	5.44	0.13	-2.59	23.69	14	35.00	26	65.00	0	0.00

Tableau 5 – Évolution de la position de la ligne de stabilité et du pied de plage à Tahiamanu entre 1977 et 2019