European Research Area for Climate Services ERA4CS - Transnational Collaborative Research Projects 2016
Topic A - Researching and Advancing Climate Services Development by Advanced co-development with users

INSeaPTION

INtegrating Sea-level Projections in climate services for coastal adaptaTION

Quel risque de déstabilisation des côtes et des îles basses dans le futur ?

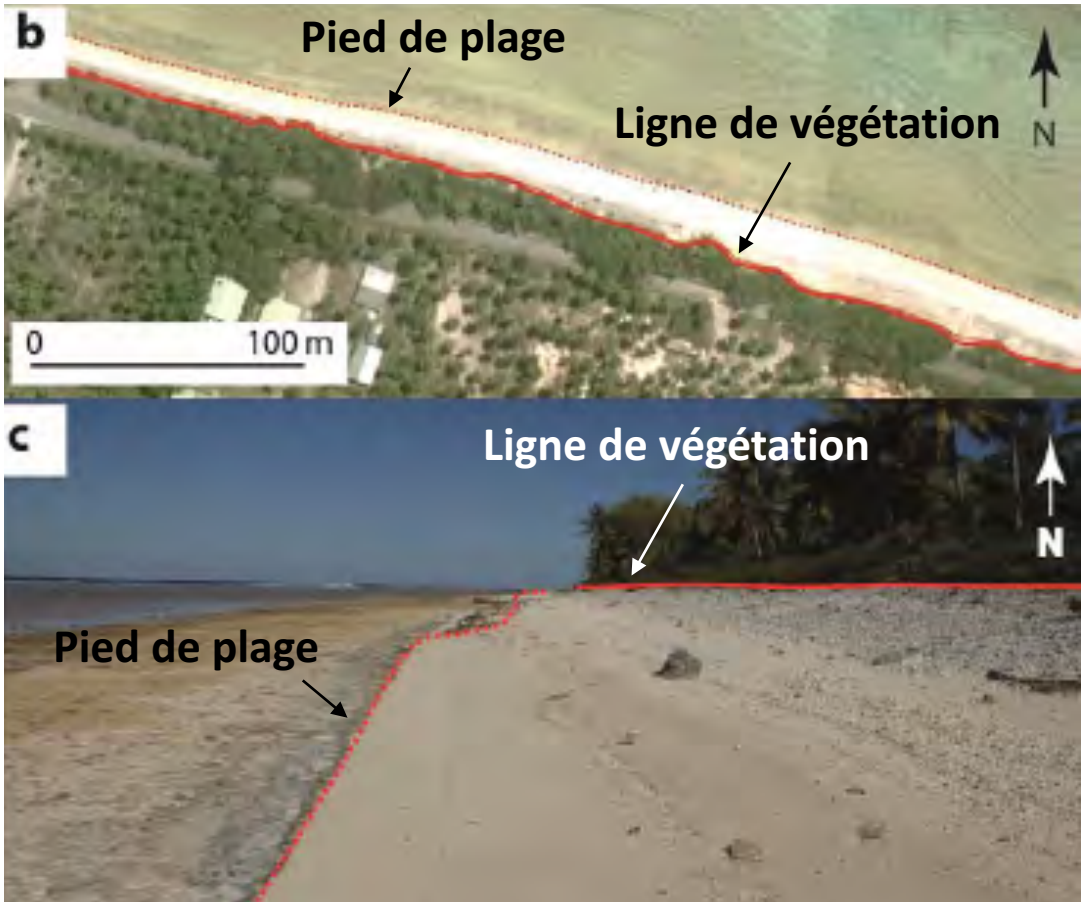
Atelier Papeete, 22-23 mars 2017

Virginie Duvat, UMR LIENSs 7266, Université de la Rochelle-CNRS

INSeaPTION

-> Échelle de temps pluri-décennale à centennale

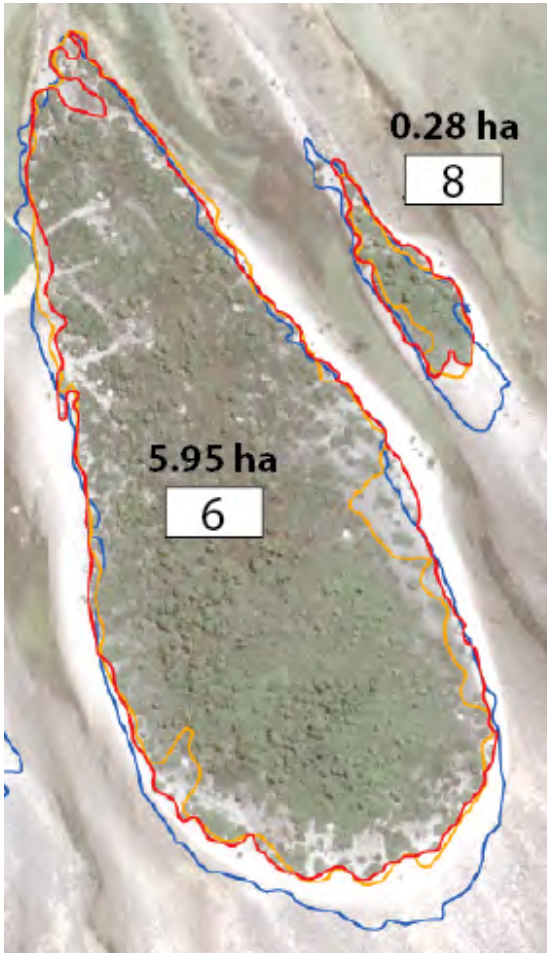
1. Indicateurs de trait de côte



-> Déstabilisation = recul vers l'intérieur des terres

INSeaPTION

2. Evolution de surface émergée



Ligne de végétation en 1969

Ligne de végétation en 1998

Ligne de végétation en 2013

-> Déstabilisation = contraction -> disparition

Déstabilisation des côtes par le changement climatique ?

- Élévation du niveau de la mer + renforcement de l'énergie des vagues à la côte -> érosion côtière
- Réchauffement et acidification des eaux océaniques -> écosystème récifal -> côtes

-> Enjeu : mesurer si ce phénomène de déstabilisation s'observe déjà, et là où il s'observe, déterminer s'il est attribuable au changement climatique

1. Dans les îles hautes :

Quelle déstabilisation des côtes à ce jour ?

Quels facteurs de contrôle ?

Données disponibles sur la Polynésie française

Pas d'étude de l'évolution de la position du trait de côte à l'échelle pluri-décennale

- **Degré d'artificialisation des côtes** (depuis le début des années 1990) : **26 à 50% de linéaire côtier artificiel, selon les îles + en hausse**

CATÉGORIE ÎLES	FALAISE	ROCHER	PLAGE DE SABLE BLANC/ NOIR	VASE/HERBE	VÉGÉTATION HAUTE	CONGLO-MÉRAT	ANTHROPISÉE	CHEMIN DE DRAGUE
BORA-BORA	-	3 %	17 % / —	14 %	19 %	-	37 %	10 %
HUAHINE	<1 %	4 %	13 % / —	16 %	35 %	<1 %	26 %	5 %
RAIATEA	-	2 %	6 % / —	6 %	33 %	-	51 %	2 %
TAHAA	-	3 %	4 % / —	9 %	32 %	-	47 %	5 %
MAUPITI	-	6 %	10 % / —	18 %	19 %	-	41 %	6 %
MOOREA	-	1 %	33 % / —	5 %	21 %	7 %	33 %	-

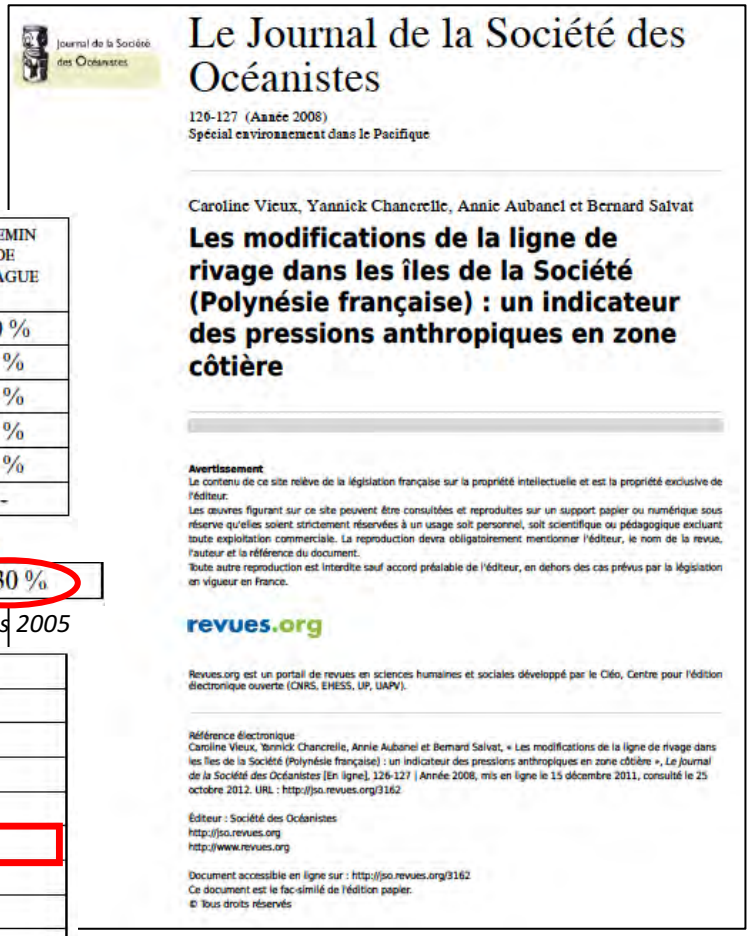
TABLEAU 2. – Nature de la ligne de rivages des îles Sous-le-Vent et de Moorea (Aubanel, 1993, Marquet, 1994)

TAHITI	14 %	8 %	5 %	3 %	-	30 %

Données 2005

Catégorie	% du rivage en 1993	% du rivage en 2001
Rocher	1	1
Plage de sable blanc	33	18
Vase/herbe	5	7
Végétation haute	20	15
Anthropisation	33	47
Plage de sable noir	1	-
Plage bordée de remblai	-	4
Beach-rock	7	7

TABLEAU 4. – Évolution de la ligne de rivages de rivage à Moorea (Polti, 2001)



Journal de la Société des Océanistes

Le Journal de la Société des Océanistes

126-127 (Année 2008)
Spécial environnement dans le Pacifique

Caroline Vieux, Yannick Chancerelle, Annie Aubanel et Bernard Salvat

Les modifications de la ligne de rivage dans les îles de la Société (Polynésie française) : un indicateur des pressions anthropiques en zone côtière

Avertissement
Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.
Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.
Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique
Caroline Vieux, Yannick Chancrelle, Annie Aubanel et Bernard Salvat, « Les modifications de la ligne de rivage dans les îles de la Société (Polynésie française) : un indicateur des pressions anthropiques en zone côtière », *Le Journal de la Société des Océanistes* [En ligne], 126-127 | Année 2008, mis en ligne le 15 décembre 2011, consulté le 25 octobre 2012. URL : http://jso.revues.org/3162

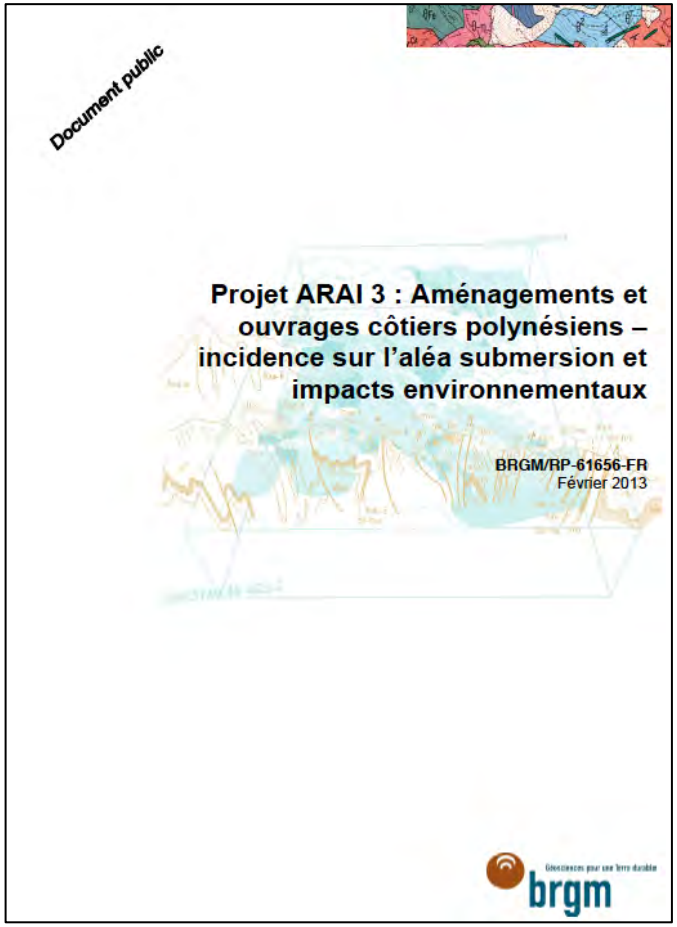
Éditeur : Société des Océanistes
http://jso.revues.org
http://www.revues.org

Document accessible en ligne sur : http://jso.revues.org/3162
Ce document est le fac-similé de l'édition papier.
© Tous droits réservés

Données disponibles sur la Polynésie française

- **Types d'aménagements et d'ouvrages de défense et d'ingénierie côtiers, et impacts sur la stabilité des côtes et l'écosystème récifal**

  (+ le risque submersion) - BRGM, 2013



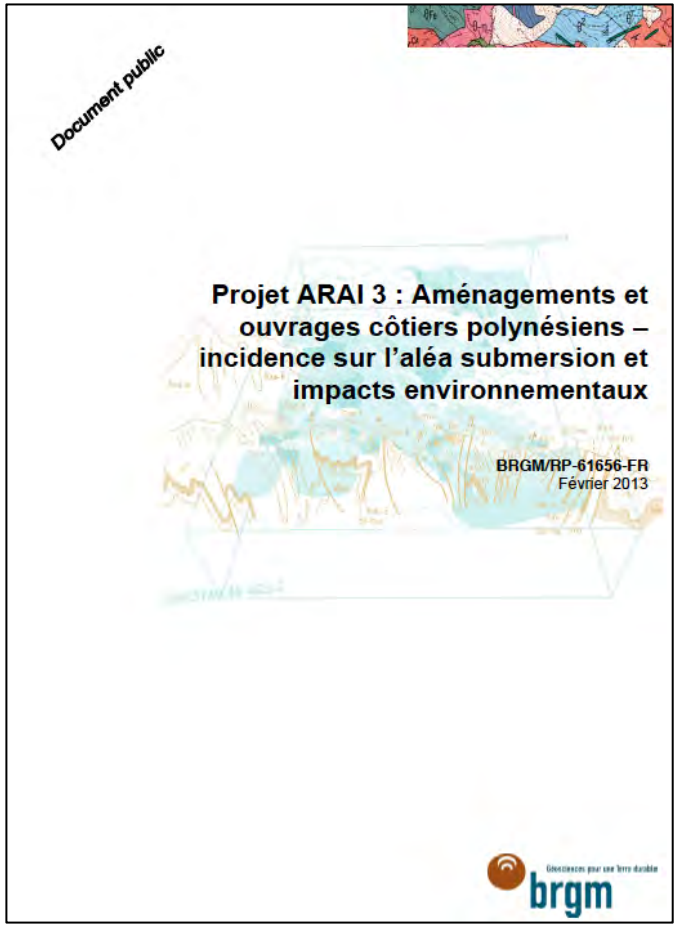
Localisation	Type		Localisation sur le profil cross-shore			Effets								
			Petits fonds et bas de plage	Plage et haut de plage	Arrière plage	Objectif initial	Effet sur l'aléa submersion marine	Effets indirect (volontaire ou non)	Coût initial	Surveillance & Maintenance nécessaires	Incidence sur Ecosystème/environnement	Incidence économique / touristique	Remarques
Polynésie française	Ouvrages /	Digues portuaires	✓								Forte	Forte	
		Epis	✓	✓		Réduction de l'érosion	Faible	Report de l'érosion sur les segments adjacents	Elevé (collectif ou privé)	Importante pour assurer l'efficacité	Peu négative	Peu négative (dégradation aspect littoral)	Faible contribution théorique de stabilisation de l'aléa submersion par conservation du profil de plage
		Routes (sur remblai)	✓	✓	✓	Accessibilité terrestre et mise hors eau	Contient les événements fréquents de faible intensité	Augmentation de la durée de la submersion en arrière si franchissement	Elevé (collectif)	Surveillance et maintenance importante dans les zones les plus exposées	Très négatif	Très positive (accès facilité échanges éco., touristes...)	Contribue à donner un faux sentiment de sécurité en arrière
		Slip et cale d'accès	✓	✓		Accessibilité au lagon	Augmentation ponctuelle de l'aléa		Relativement faible si collectif, élevé si privé	Faible	Faible (locale)	Positive (accès pêcheurs, plaisanciers, touristes...)	
	Aménagements	Chenalisation	✓			Navigabilité lagon	Augmentation locale de l'aléa	Incidence sur l'érosion des plages et recul TC	Elevé	Nulle à faible	Très Négatif (destruction partielle du récif)	Positive (accès pêcheurs, plaisanciers, touristes...)	L'augmentation de l'aléa dépend de l'ampleur de la chenalisation et de sa direction et de son alignement sur une passe
		Mur enrochement avec remblai	✓			Gain de terre	Réduction des événements fréquents de faible intensité	Erosion et sappe	Elevé (individuel)	Importante	Très Négatif	Négative car effet cumulatif (dégradation aspect littoral)	Installation d'enjeux dans des zones exposées à l'aléa
		Mur enrochement avec remblai		✓		Gain de terre et réduction de l'érosion locale	Faible réduction de l'aléa mais forte augmentation de l'exposition des enjeux	Fixation du TC mais érosion de plage, interuption des échanges cross-shore	Elevé (individuel)	Importante	Négatif	Négative car effet cumulatif (dégradation aspect littoral)	Installation d'enjeux dans des zones exposées à l'aléa
		Mur béton avec remblai	✓			Gain de terre	Faible réduction de l'aléa mais forte augmentation de l'exposition des enjeux	Modification des échanges cross-shore entre le lagon et les zones de plage	Elevé (individuel)	Importante, exposition directe à l'action des vagues	Forte dégradation pour le lagon et le récif frangeant	Négative car effet cumulatif (dégradation aspect littoral)	Forte exposition des enjeux surtout lors des événements extrêmes
		Mur béton avec remblai		✓		Gain de terre	Réduction des événements fréquents de faible intensité	Modification des échanges cross-shore entre le lagon et les zones de plage, augmentation de l'érosion des plages		Importante (fréquente altération des structure par dégradation, action des vagues et affouillement)	Forte dégradation des plages	Négative car dégradation des plages et dégradation aspect littoral	
		Mur enrochement avec remblai			✓	Amélioration du terrain, mise hors d'eau pour les inondations fluviales ou marines	Surélévation des enjeux diminue la vulnérabilité	Restreint la surface alloué à l'épanchement des crues, augmentation des hauteurs d'eau		Fonction du nombre et de la hauteur de l'inclination / submersion	Modification du paysage et des écosystème des zones humides	Faible	
		Enrochement sans remblai		✓									
		Mur béton sans remblai		✓									
		Mur béton sans remblai			✓								
Ailleurs	Ouvrages	Digues et levées de protection	✓	✓		Protection contre la submersion ou mise en valeur de terre	Protection correcte si dimensionnement adapté	Impression de sécurité favorisant l'installation d'enjeux en arrière et l'exposition à l'aléa	Très élevé (collectif) de l'ordre de 1M€/km (2010)	Extrêmement importante	Modification parfois très importante des écosystème et des paysages	Coût important	Risque de brèchification, de surverse si aléa mal évalué ou si l'événement est supérieur à l'événement de référence, si entretien insuffisant
		Murets anti submersion		✓	✓	Diminuer la pénétration de la submersion dans les zones basses	Modéré	Ecoulement des eaux de de surfaces	Relativement modéré (collectif / individuel)	Importante	Modéré à moyenne (aspect paysagé)	Faible	Exemple Bassin d'Arcachon post Xynthia. Classique historique après un événement d'inondation rehausser l'existant jusqu'à la prochaine...
		Portails étanches et batardeaux			✓	Permettre la fermeture des passage d'accès à la mer	Modéré		Modéré (petits ouvrages)	Importante car conditionne le gain de sécurité	Faible (installation dans des zones généralement très [illegible])	Faible	Système permettant d'améliorer la résilience locale à la submersion pour des secteurs déjà partiellement protégés

Tableau 3 : Tableau synthétique sur les différents types d'ouvrages ayant un rôle vis-à-vis de la submersion marine

Données disponibles sur la Polynésie française

- **Types d'aménagements et d'ouvrages de défense et d'ingénierie côtiers, et impacts sur la stabilité des côtes et l'écosystème récifal**

  (+ le risque submersion) - BRGM, 2013



Ex 1 – Impacts des épis

-> report de l'érosion sur les segments adjacents

-> impact faible sur l'écosystème récifal

Ex 2 – Impacts des murs en béton avec remblai

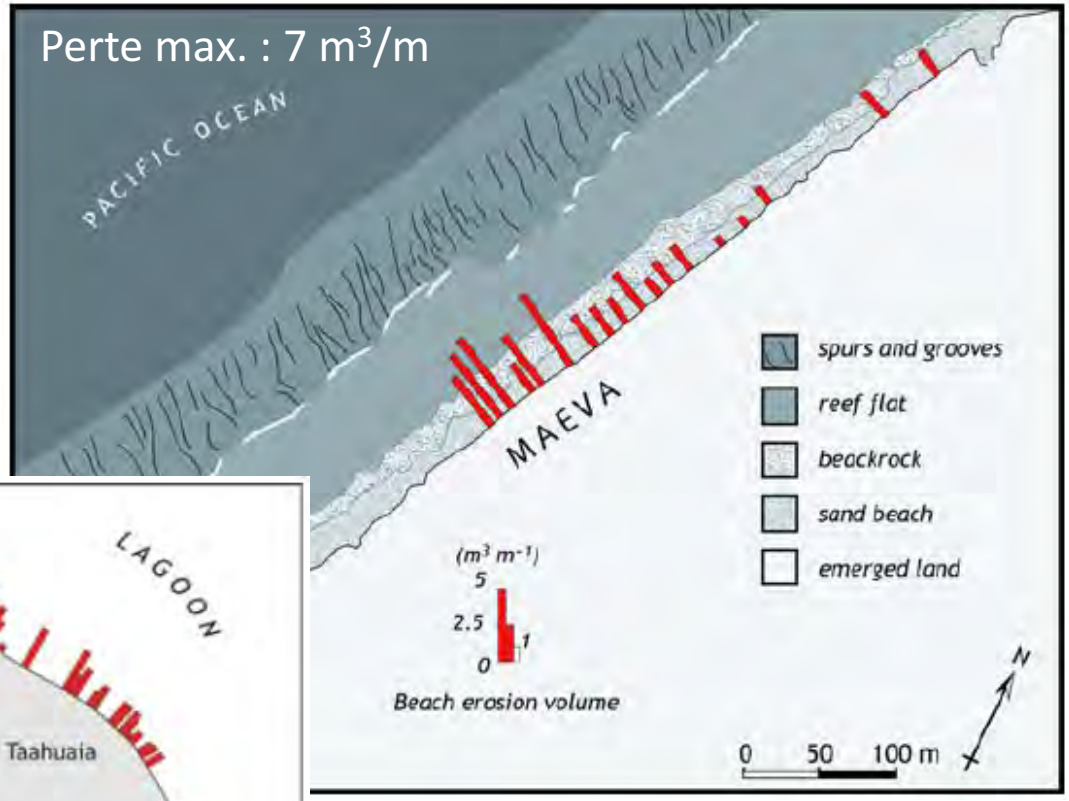
-> perturbation des échanges sédimentaires lagon/plage

-> forte dégradation de l'écosystème récifal

Impacts des cyclones dans les îles hautes

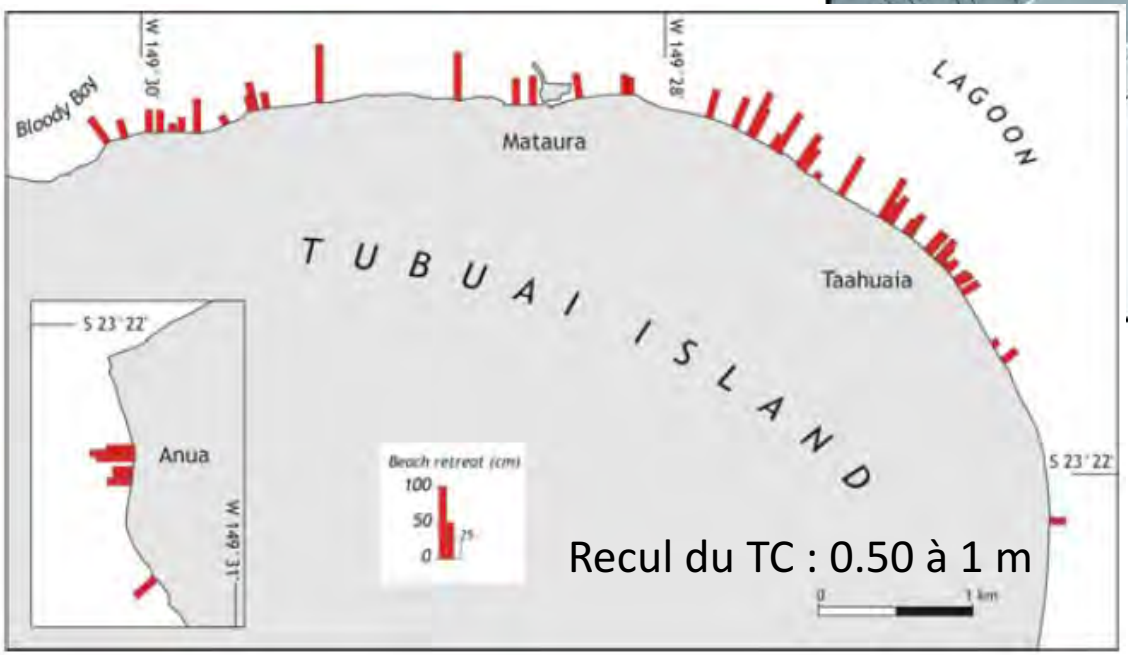
- **Impacts du cyclone Oli sur les plages des Iles de la Société et des Iles Australes**

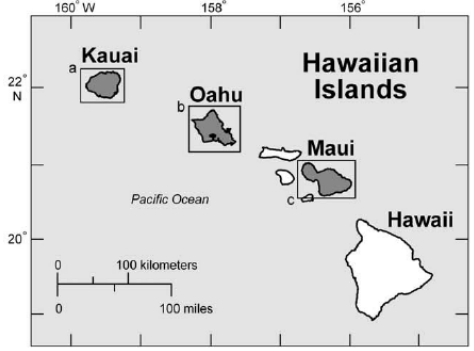
Nord de Fare, Huahine



Etienne, 2012

Côte nord de Tubuai

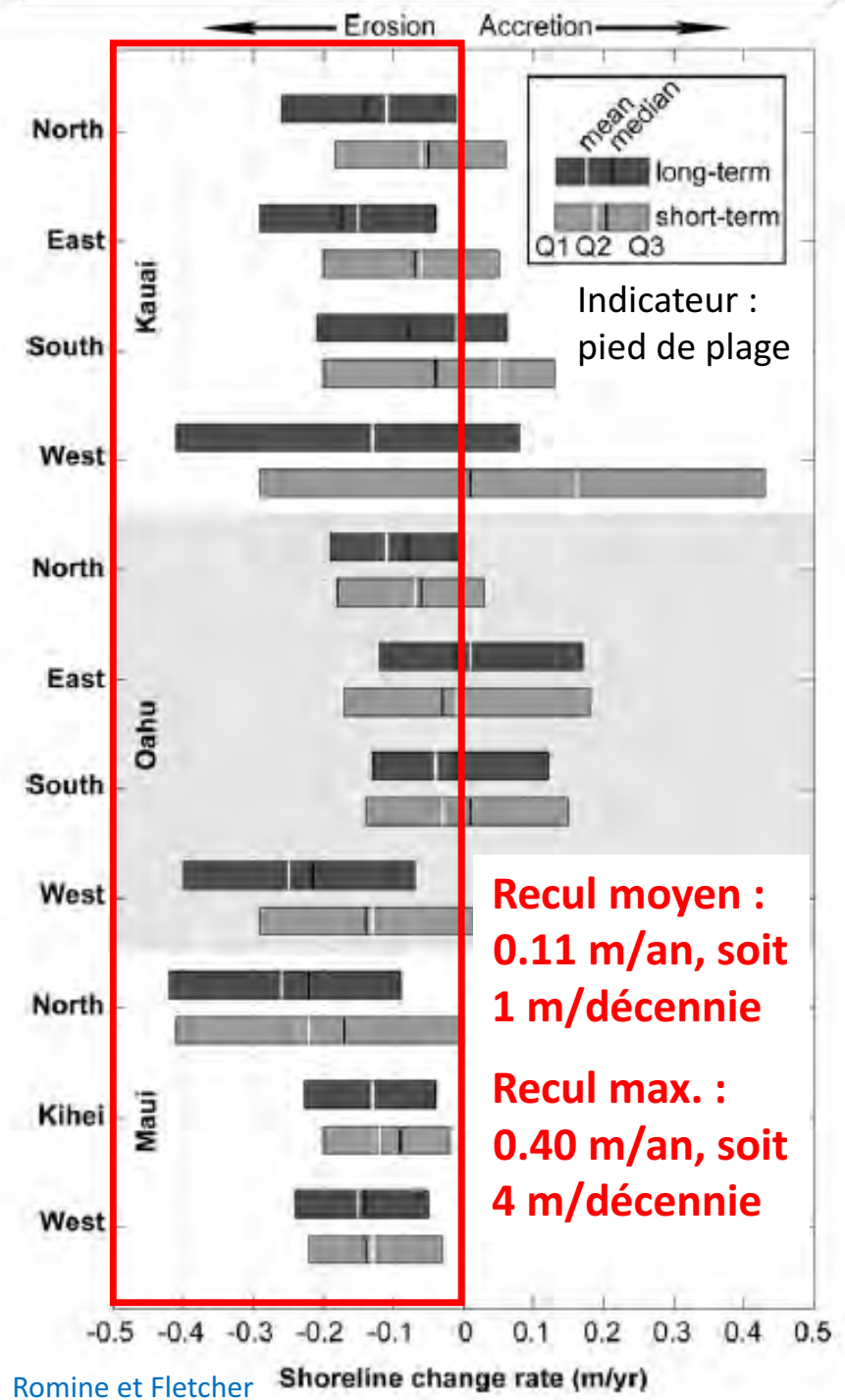




Ex. d'Hawaii
Données d'évolution sur 70 à 100 ans

-> **70% des plages en érosion** (aval-dérive d'ouvrages transversaux, extraction de sédiments)
c/ 28% en accrétion (amont-dérive d'ouvrages)
-> **9% des plages ont disparu** (en pied d'ouvrage de défense ou de construction) + forte contraction
-> Taux de recul élevés = facteurs anthropiques

Waikiki, Oahu Sud



Romine et Fletcher

Conclusion :

- Déstabilisation observée dans certains territoires, plus ou moins élevée (Hawaii > Réunion)

- Contribution des événements climatiques extrêmes (cyclones) et des facteurs anthropiques

- Difficulté à mettre en évidence le rôle du changement climatique

- Iles peu aménagées connaissent une forte érosion (Colombie) -> signal CC ?

Restrepo et al., 2012

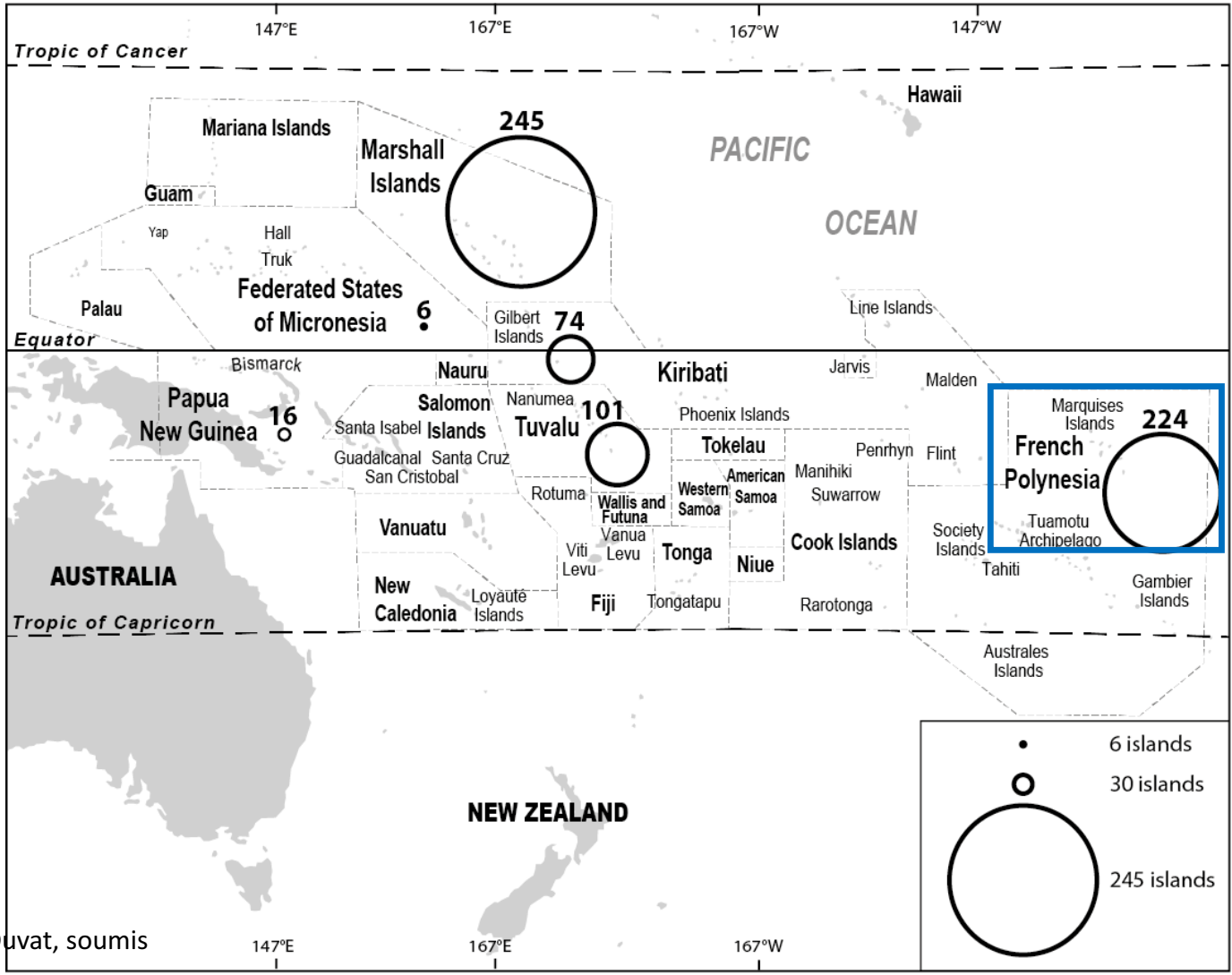
2. Situation des îles basses :
Quel bilan à ce jour ?
Quels facteurs de contrôle ?

Base de données mondiale

Echantillon mondial :
31 atolls / 709 îles
(données sur les 30-40 à 100 dernières années)

OP : 30 atolls/533 îles
OI (Maldives) : 1 atoll/ 176 îles

Données sur la Polynésie française :
- 9 atolls/224 îles (soit 32% du total)



Duvat, soumis

Duvat, submitted

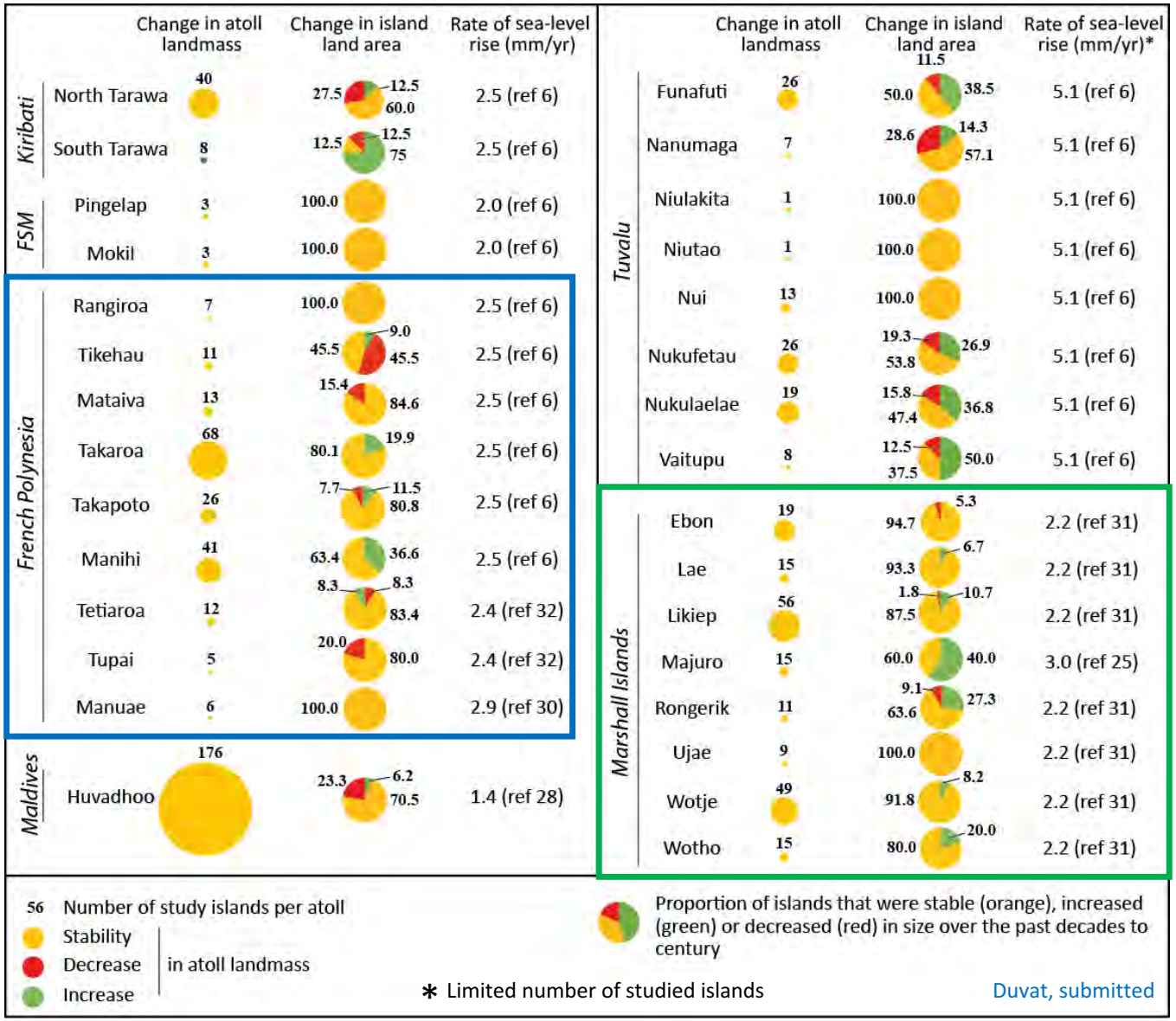
Le Cozannet et al., 2013 ; Yates et al., 2013 ; Duvat et Pillet, 2017 ; Duvat et al., 2017

Évolution de la surface émergée des atolls et des îles

- Aucun atoll n'a connu de perte de surface émergée

- Forte variabilité du comportement des îles à l'échelle des sous-régions océaniques

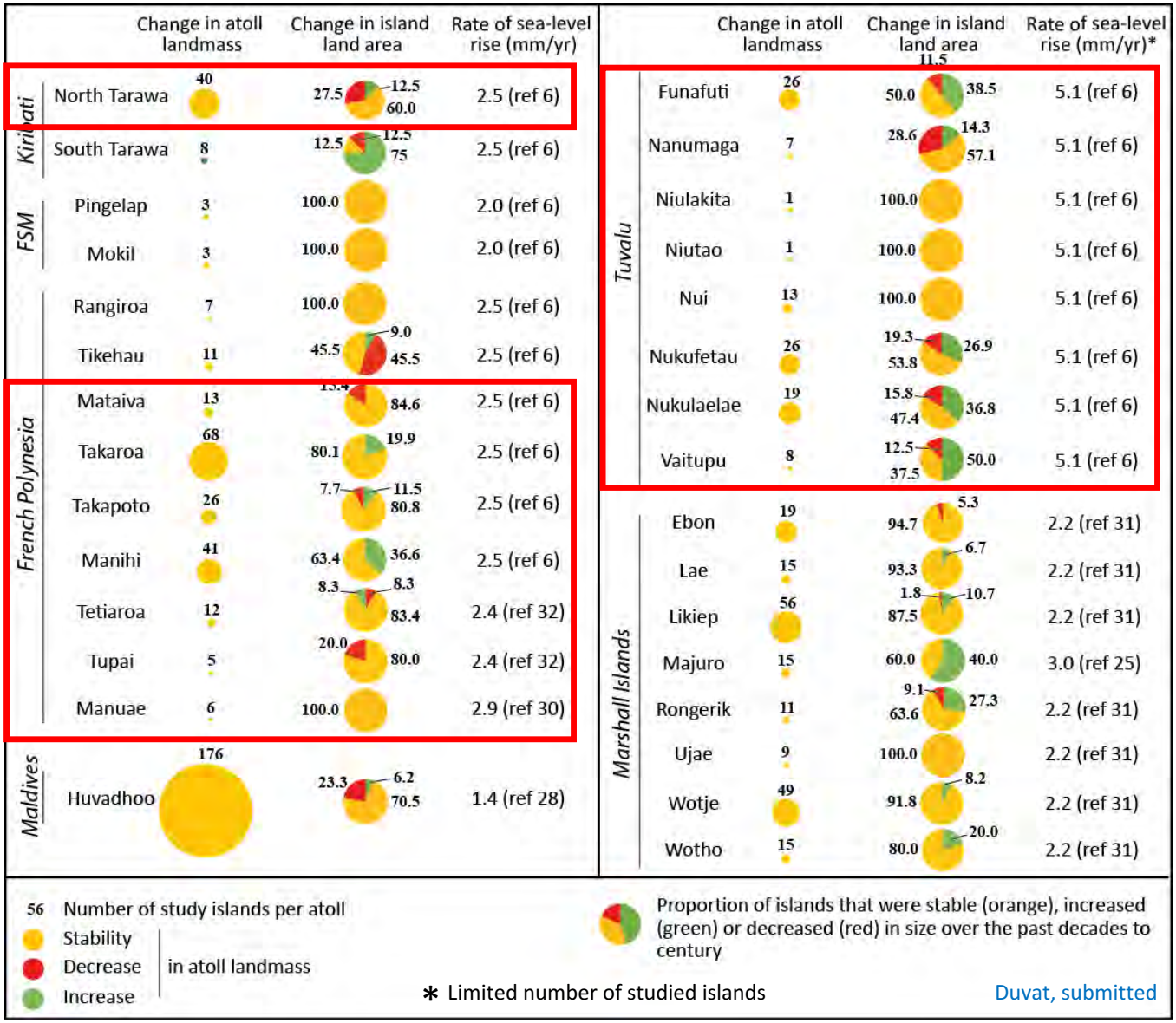
-> ex. des Marshall



Évolution de la surface émergée des atolls et des îles

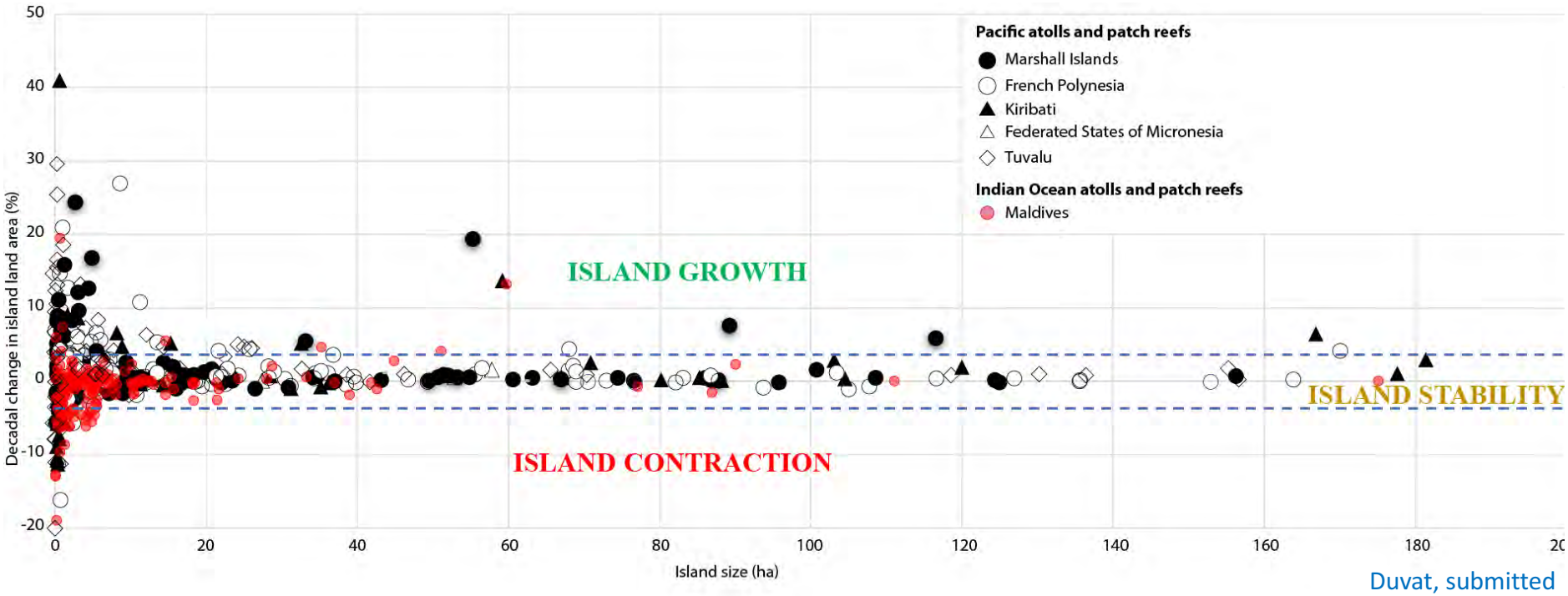
- **Pas de corrélation entre l'évolution de la surface des îles et le taux d'élévation du niveau de la mer**

Ex : Kiribati ou PF (+2.5 mm/an) / Tuvalu (+5.1 mm/an)



Le Cozannet et al., 2013 ; Yates et al., 2013 ; Duvat et Pillet, 2017 ; Duvat et al., 2017

Taux d'évolution des îles selon leur taille

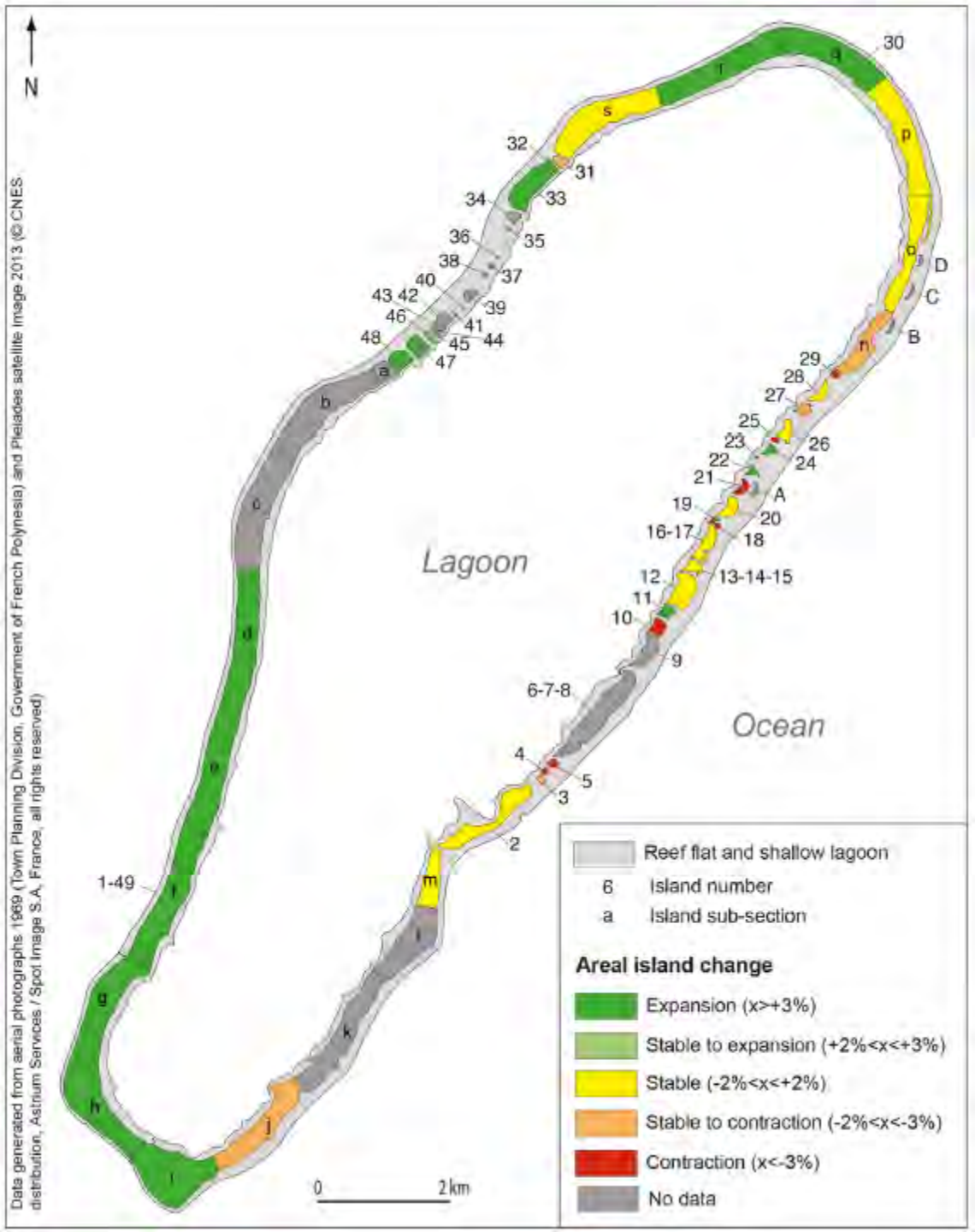


Duvat, submitted

NB : 20 îles exclues, 17 islands > 200 ha + 3 îles présentant des valeurs extrêmes comprises entre +125.5% and –23.2%

- **Grandes îles stables** / petites îles instables (perte ou gain important de surface)
- Aucune île de plus de **10 ha** (234 îles/709) n'a connu de réduction de surface

Forte variabilité du comportement des îles à l'échelle d'un atoll :
ex. de Takaroa



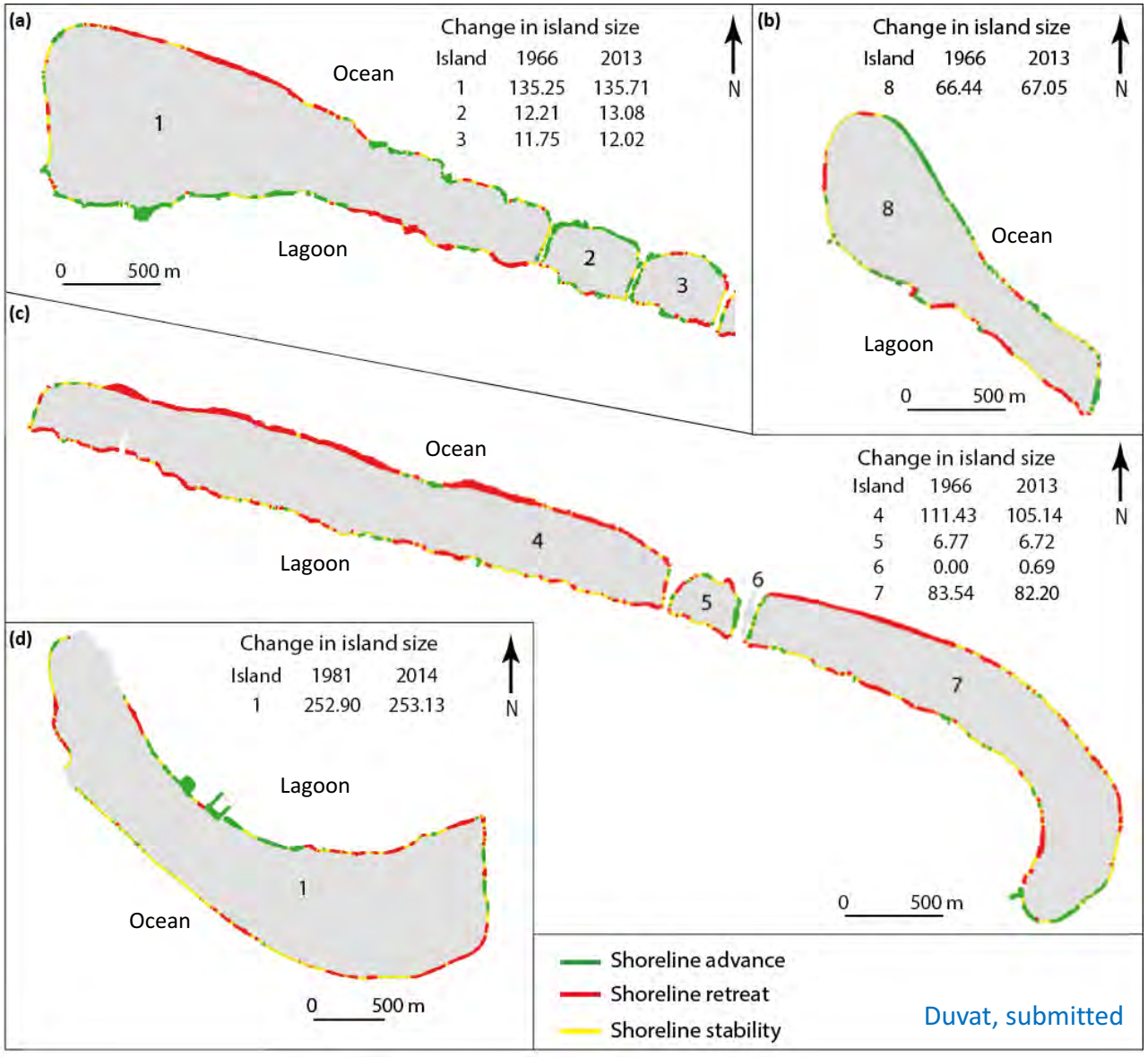
Duvat, Salvat, Salmon, 2017

Variabilité de l'évolution de la position du trait de côte

Forte variabilité de l'évolution de la position du trait de côte :

- D'une façade à l'autre (océan/lagon)

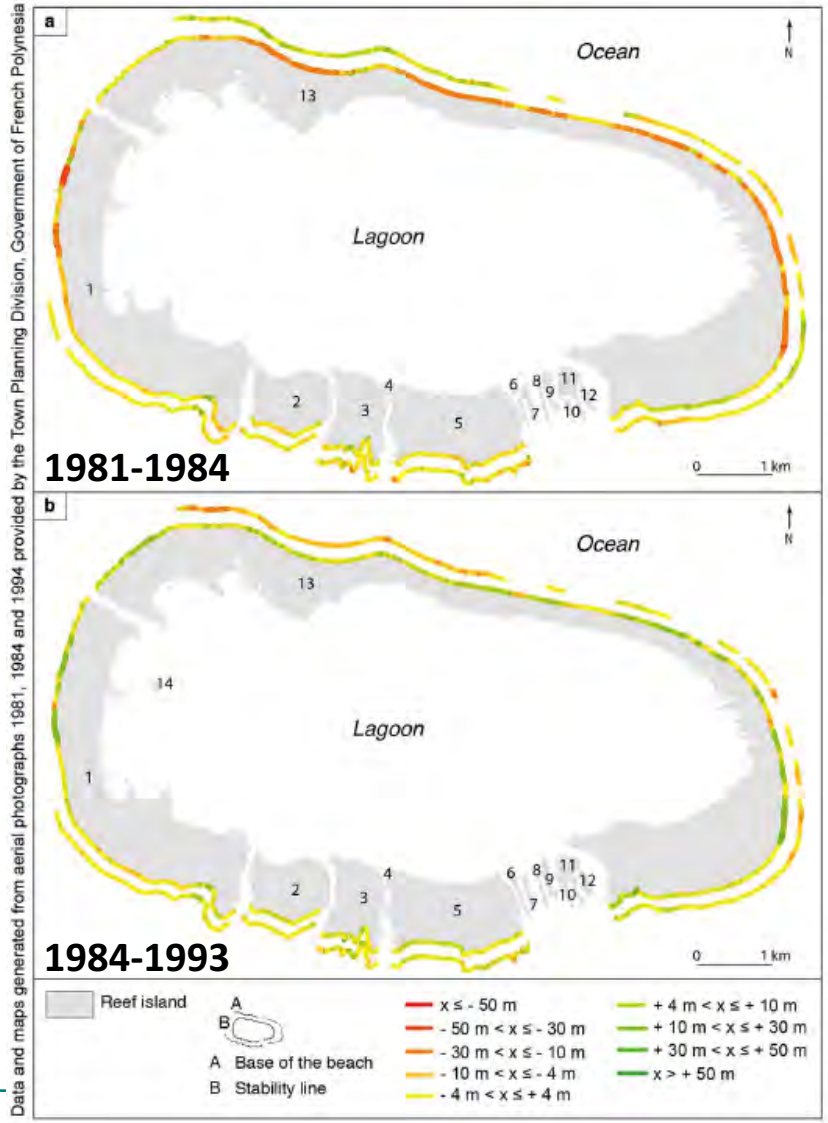
- D'une section de côte à une autre sur une même façade et sur une même île



Facteurs de contrôle locaux : climatiques

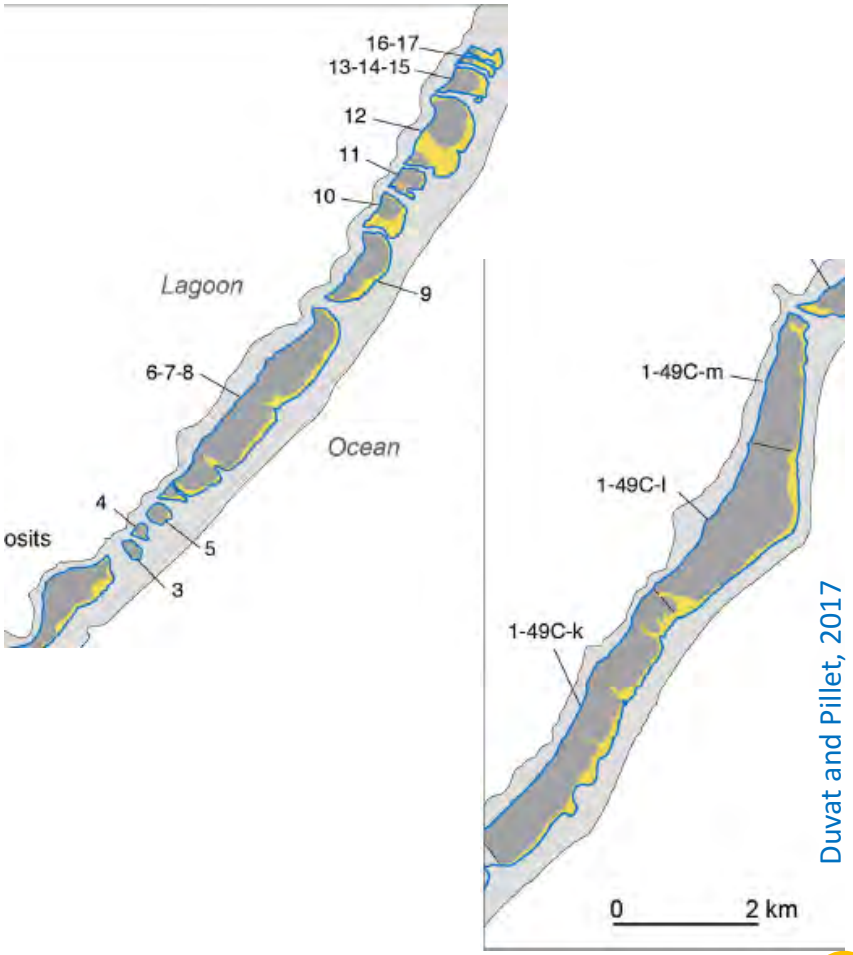
Dépressions et cyclones tropicaux

Mataiva (Reva/Veena, 1983)



Duvat, Salvat, Salmon, 2017

Takapoto (Orama, 1983)

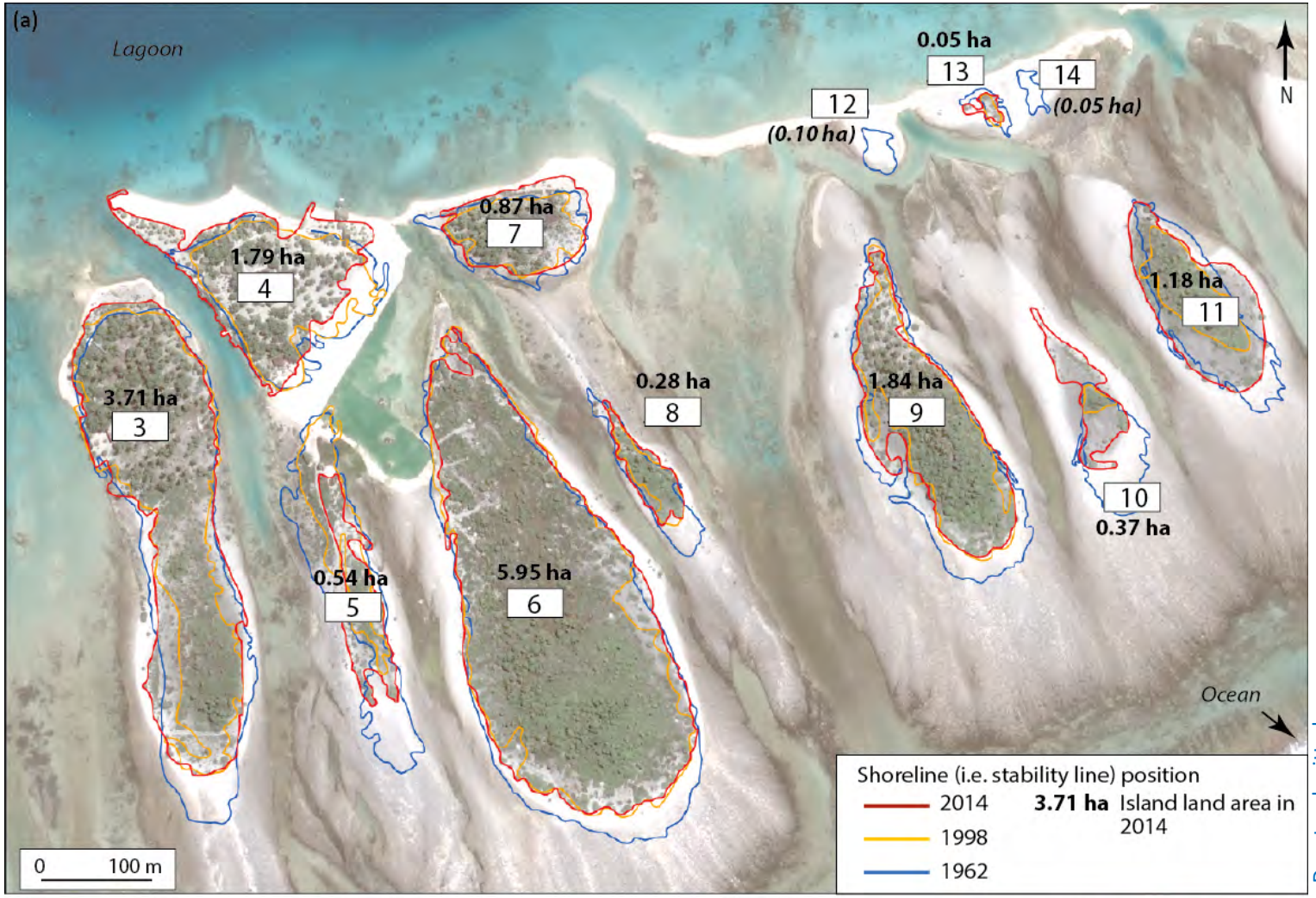


Duvat and Pillet, 2017

Facteurs de contrôle locaux : climatiques

Houles d'origine distante (boréales ou australes, selon les atolls)

Houle australe des 19-21 juillet 1996, sud de Tikehau

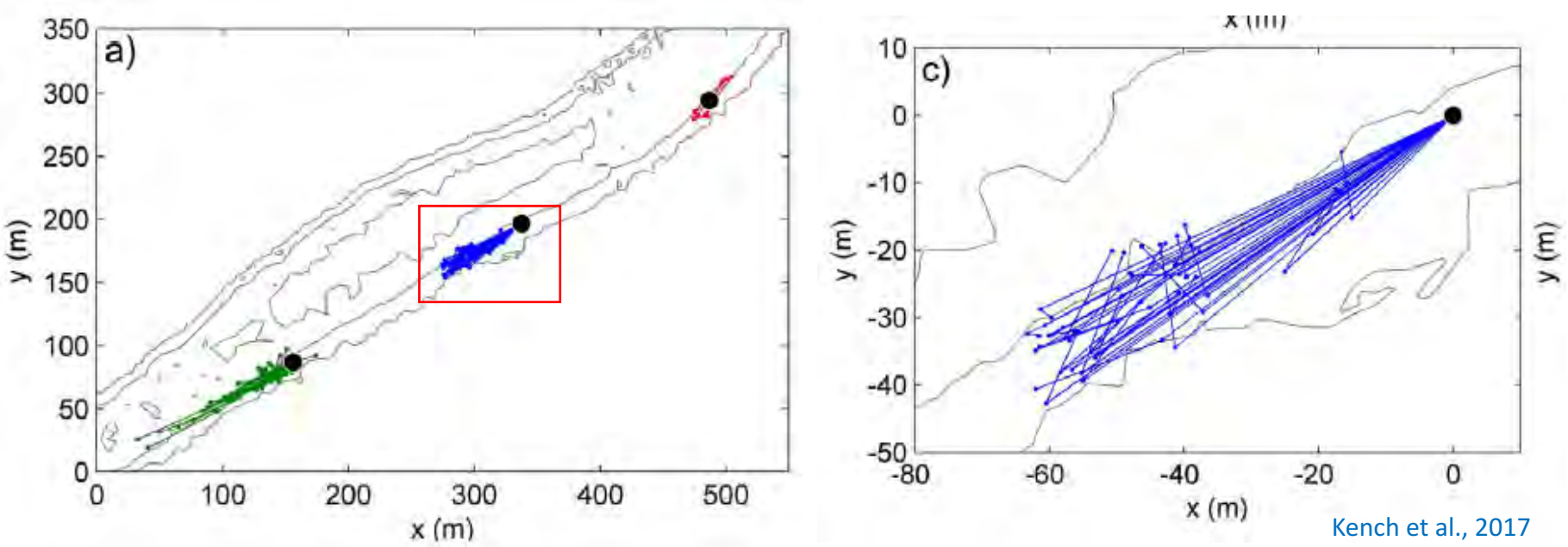


Duvat, submitted

Facteurs de contrôle locaux : climatiques

Houles saisonnières d'alizé

Transport sédimentaire transversal + longitudinal contribuant à la résilience post-cyclone, à la régularisation du trait de côte, à l'accrétion/érosion, selon les cas



Kench et al., 2017

Evaluation sur 6 mois (juillet 2013-mars 2014) du transport de galets coralliens (70) sur l'île de Fatato, Funafuti, Tuvalu

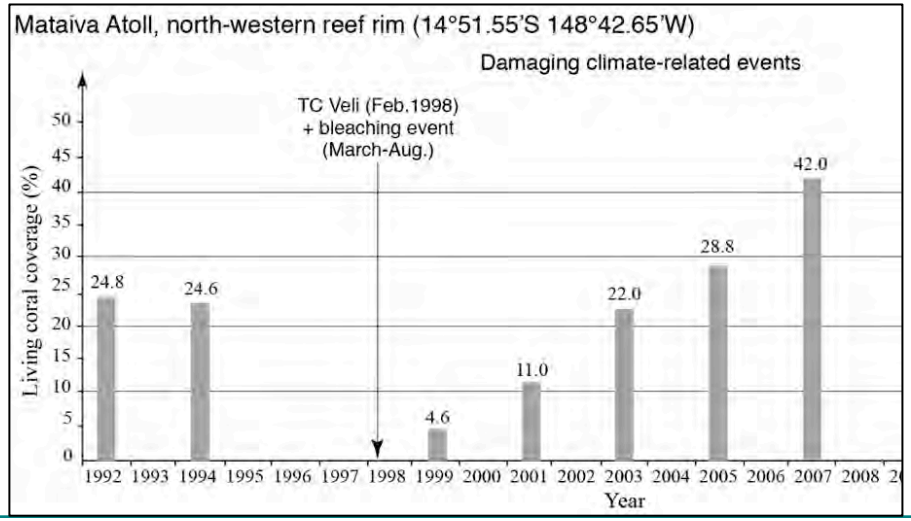
- Transport sédimentaire longitudinal dans une direction NE/SW (80 m)
+ Remontée sur le haut de plage et dépôt (0.7-1 m)

Facteurs de contrôle locaux : écologiques

Écosystème récifal (+ herbiers marins, mangroves)

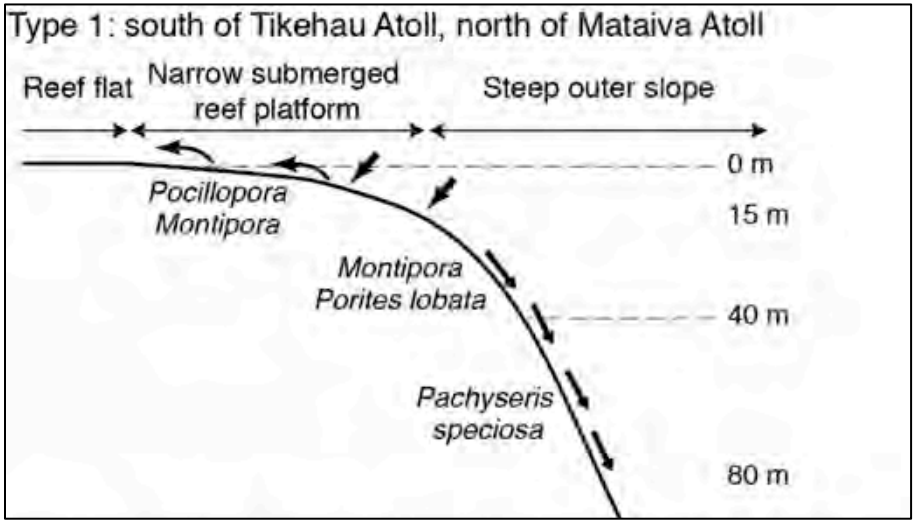
- Amortit les vagues de tempête : réduit leur hauteur de 70% (Narayan et al., 2016) et l'énergie qu'elles libèrent jusqu'à 97% (Ferrario et al., 2014)

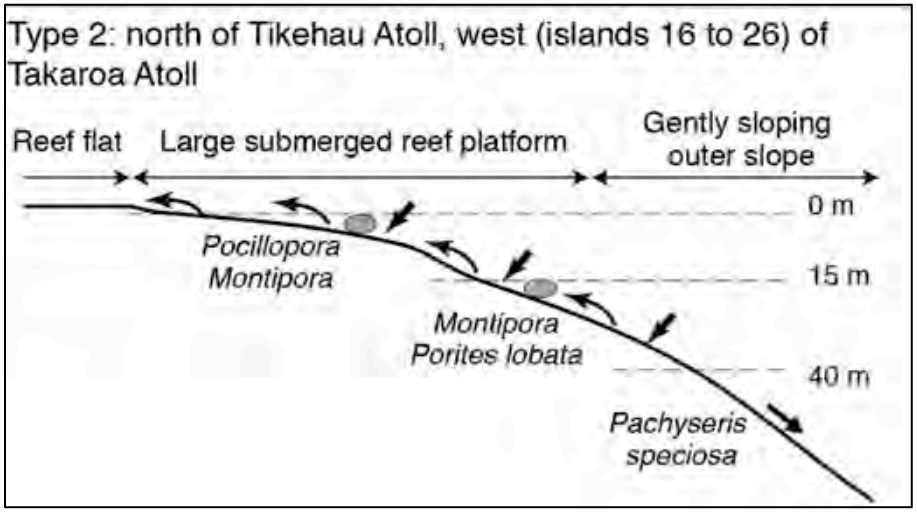
- Fournit des sédiments (0.1 à 0.2 m^3/m de côte/an, si bon état de santé

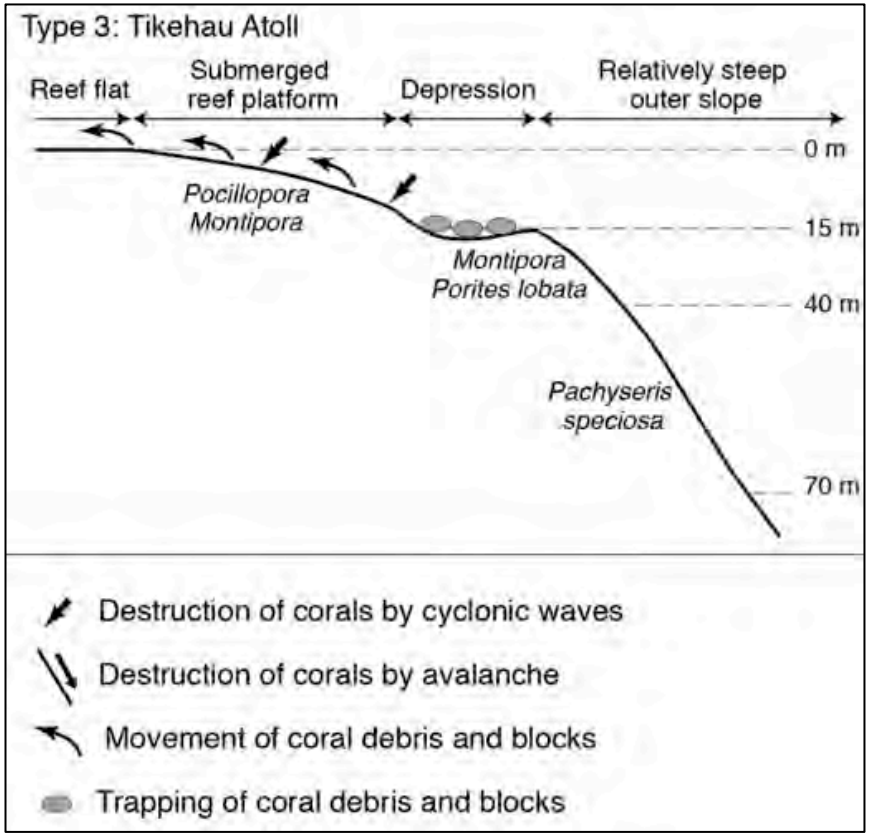


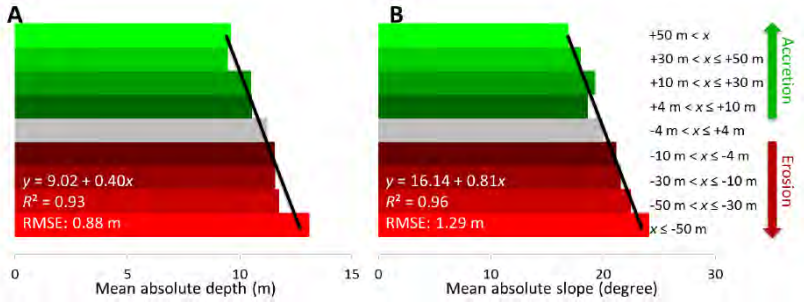
Duvat, Salvat, Salmon, 2017

Facteurs de contrôle locaux : écologiques









Modified from Laboute 1985, Harmelin-Vivien 1985, and Harmelin-Vivien and Laboute 1986

-> Rôle du profil des pentes externes (jusqu'à 75% de perte en cas de pentes verticales)

Collin et al., 2018

Facteurs de contrôle locaux : anthropiques

Six types de perturbations anthropiques sont susceptibles de **déstabiliser les côtes** et **d'accroître les risques côtiers** :

1. Modifications morphologiques des espaces côtiers et marins associés
2. Dragage/remblayage
3. Extraction de sédiments dans la zone marine et côtière
4. Implantation d'ouvrages d'ingénierie longitudinaux et transversaux
5. Défrichement de la végétation indigène côtière
6. Dégradation de l'écosystème récifal (pollution…)

Facteurs de contrôle locaux : anthropiques

Extraction de sédiments : zone intertidale (platier océanique, hoa, lagon) et côte (plage, dune)

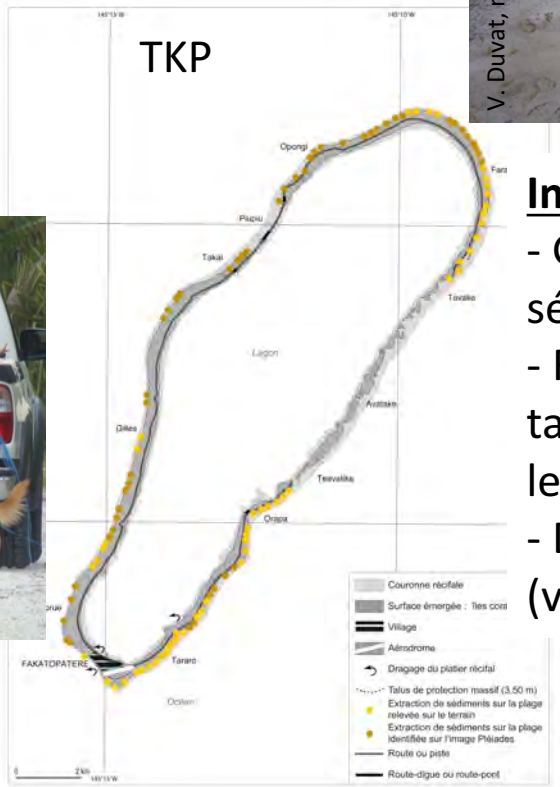
- **Iles habitées/aménagées**

Généralisé sur la côte lagonaire
Aléatoire, en fonction de la localisation des aménagements (habitat, hôtel, ferme…)

- **Iles inhabitées**

Pratiqué sur les îles reliées par des ponts (TKP)
Localisé mais continu sur les îles connectées d'atolls ruraux (ex. : dunes du SE à Mataiva)

V. Duvat, mai 2015
SE, Mataiva



V. Duvat, fév. 2014

Ohotu, Rangiroa

Impacts :

- Grève le budget sédimentaire
- Réduit l'effet « zone tampon »,donc aggrave le risque de submersion
- Dégrade l'écosystème (végét., hoa, lagon…)

Exemple de la zone d’extraction communale, Fakarava
V. Pillet, mars 2018

Facteurs de contrôle locaux : anthropiques

Dragage/remblayage du platier récifal/hoa/zone lagonaire peu profonde

- **Iles habitées/aménagées**

  Généralisé sur la côte lagonaire

  Ponctuel sur la côte océanique (port, aéroport) : ex TKP

  Curage des hoa

  Inter-île pour construction de certaines pistes d'atterrissage

- **Iles inhabitées, mais connectées ou accueillant de grands aménagements**

  Hoa (routes-digues)

  Aéroport/port

  Perliculture : dragage-remblayage

V. Duvat, août 2013

Impacts :

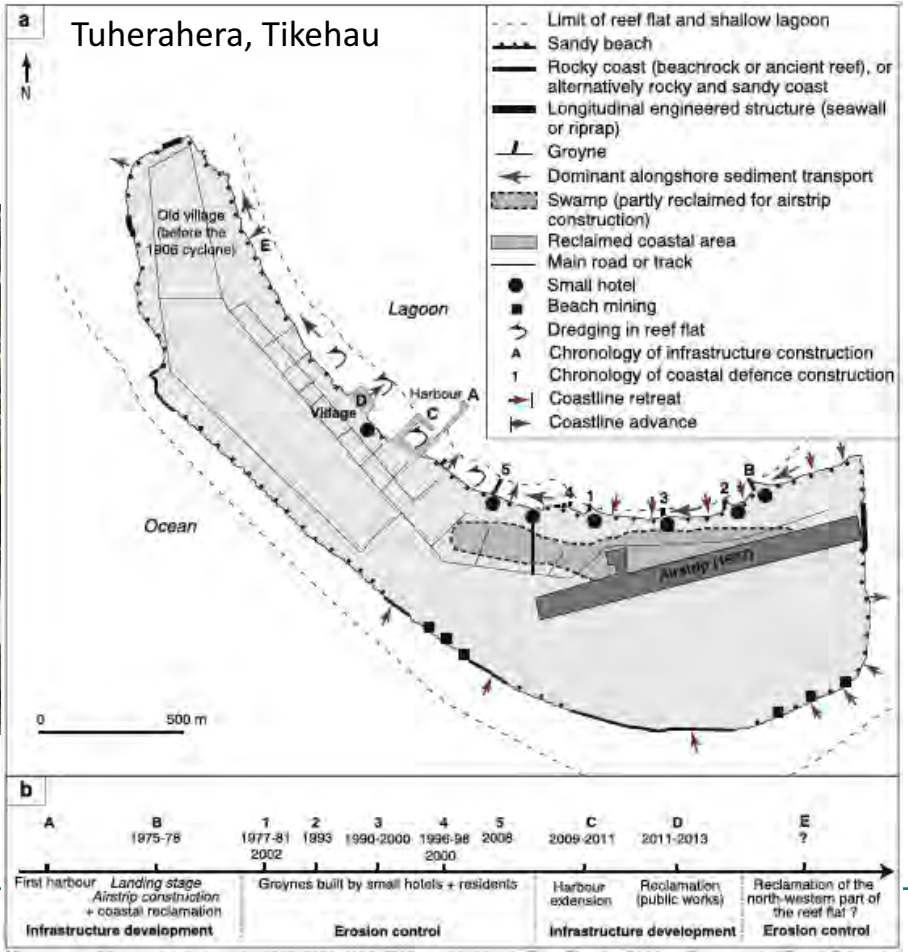
- Modification du trait de côte (position, nature)
- Accumulation/érosion « forcée » (modification des processus de transport/dépôt)
- Dégradation de l'écosystème

Facteurs de contrôle locaux : anthropiques

Édification d'ouvrages de défense ou d'ingénierie/remblais

- **Iles habitées/aménagées/perlicoles : augmentation des risques de dommages et des risques côtiers**

- Artificialisation et rigidification du trait de côte engendrant potentiellement :
(a) Pour les ouvrages longitudinaux : disparition des plages ;
(b) Pour les ouvrages transversaux : une déstabilisation du trait de côte
(c) + Impacts de l'extraction associée



À l'échelle de 111 îles des Tuamotu (Rangi, Tik, Mat, TKR)

64 (57.6%) sont perturbées par les activités humaines, dont 52 sont des îles rurales (agricoles et peu peuplées) ou des îles inhabitées (mais exploitées – ex. : extraction), dont :

- **29 sont fortement modifiées** (densément peuplées, avec un trait de côte modifié et une connexion par des routes-digues ; dédiées à la perliculture ; accueillent de grandes infrastructures – port, aéroport) -> **déstabilisées ou à capacité d'engraissement réduite à nulle (obstacles au transport et dépôt de sédiments)**

- **35 montrent des perturbations localisées** (villages, activités économiques de type perliculture isolée ou tourisme, extraction localisée de sédiments)

Facteurs de contrôle régionaux et globaux

- Climatiques : ENSO (inversion de flux sédimentaires pouvant engendrer un recul du TC ou une modification des plages - ex. : Kiribati (Rankey, 2011)

- Elévation du niveau de la mer + modification du régime/de la direction des vagues et des flux énergétiques induits à la côte + dégradation de l'écosystème récifal qui engendrera à terme une baisse d'alimentation des côtes en sédiments => **déstabilisation des côtes et des îles à (long) terme**

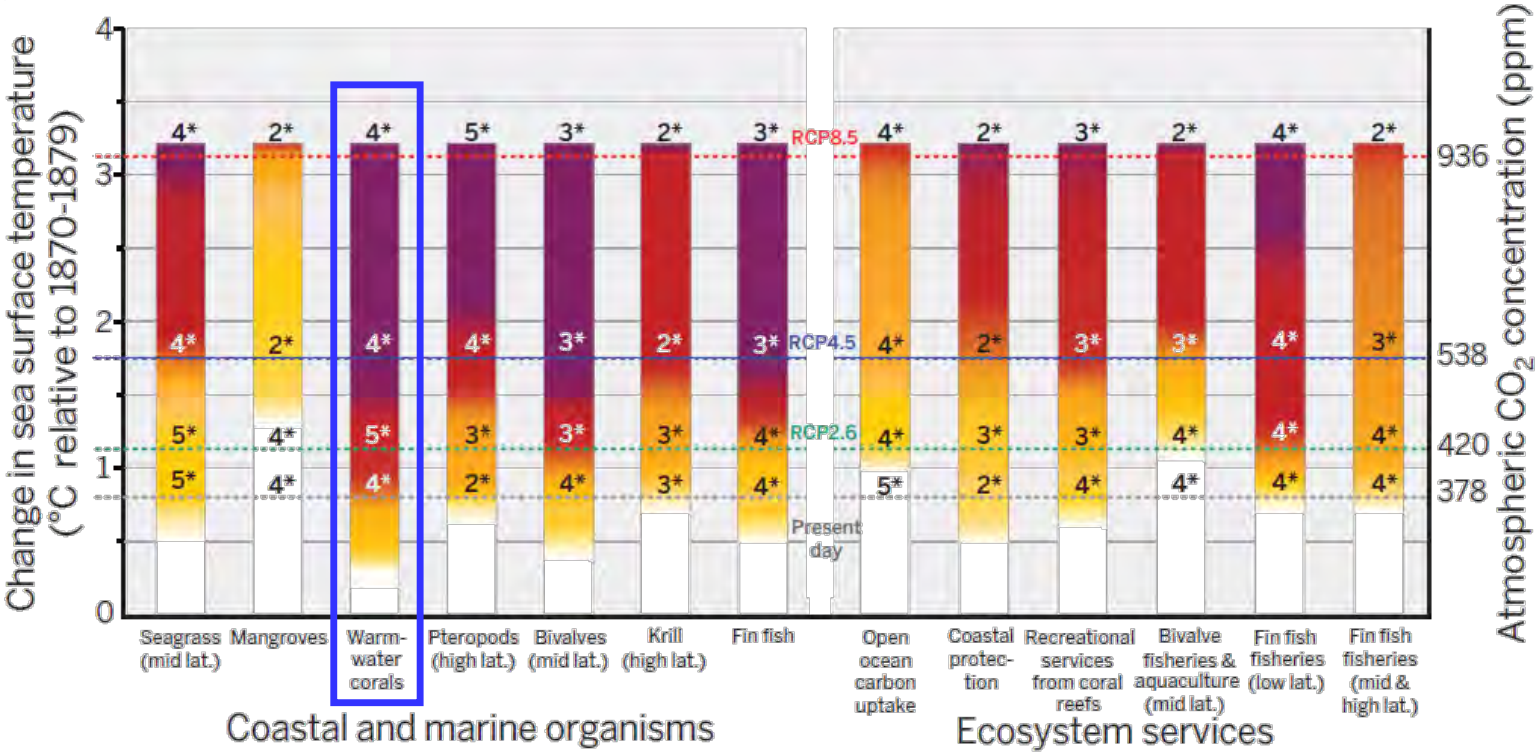
- Échéances difficiles à prévoir :

Iles hautes : érosion va s'accélérer, notamment sur les côtes qui sont déjà déstabilisées

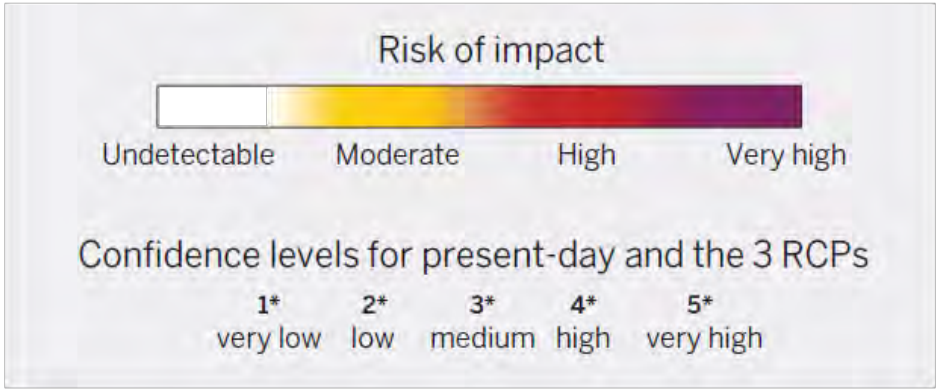
Iles basses : -> aggravation prévisible de la situation des îlots en érosion (ex. : îlots du lagon de Nouvelle Calédonie) – Garcin et al., 2016;

-> pour les îles stables : va dépendre de la vitesse des changements futurs (qui dépend elle-même des efforts de mitigation qui seront faits) -> **pas de déstabilisation généralisée attendue pour les prochaines décennies**

Facteurs de contrôle régionaux et globaux



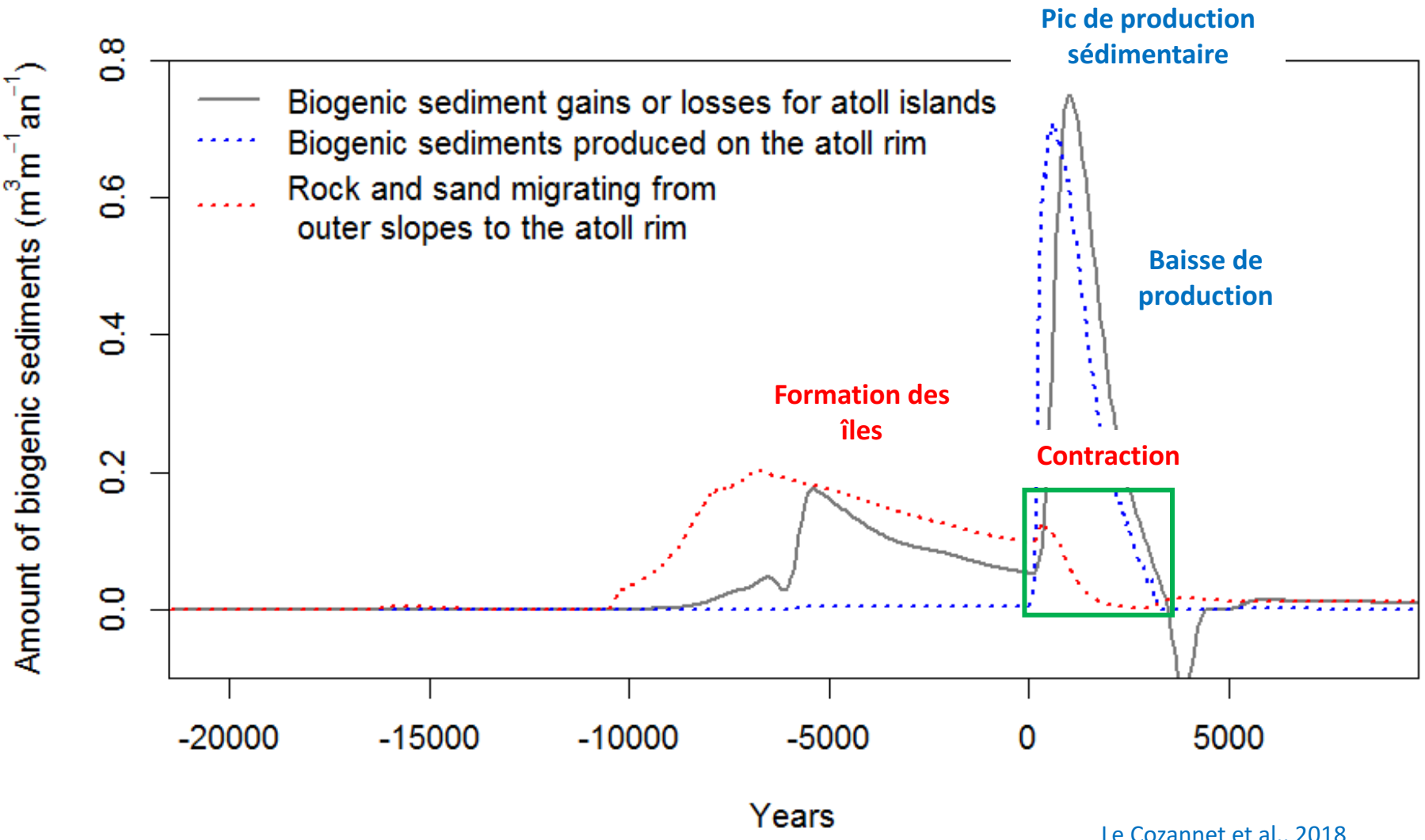
Réchauffement des eaux océaniques
-> écosystème corallien
-> côtes



Gattuso et al., 2015

Facteurs de contrôle régionaux et globaux

Modèle d'évolution des atolls appliqué à Mururoa



Le Cozannet et al., 2018

Conclusion :

- Réduire les pressions anthropiques déstabilisatrices

- Réfléchir à des stratégies d'aménagement/de réaménagement adaptées

- Enjeu de prévention et de sécurisation des populations, des biens et des activités

MAURUURU

virginie.duvat@univ-lr.fr