

**Virginie DUVAT**  
Professeur de Géographie  
UMR LIENSSs 7266  
Université de la Rochelle-CNRS

**Étudier les impacts des cyclones pour mieux  
appréhender les trajectoires de vulnérabilité et  
d'adaptation des îles tropicales au changement  
climatique**

# éco-morpho-socio-système

Philipsburg, Saint-Martin  
(après le passage d'Irma)



# 1. POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE

---

-> Approche « Working Group II » du GIEC : impacts, vulnérabilité, adaptation

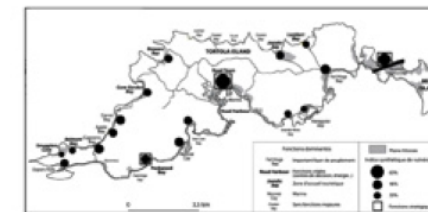
## VULNÉRABILITÉ...

Degré auquel un système côtier risque d'être affecté négativement par les impacts des cyclones dans le contexte du CC.

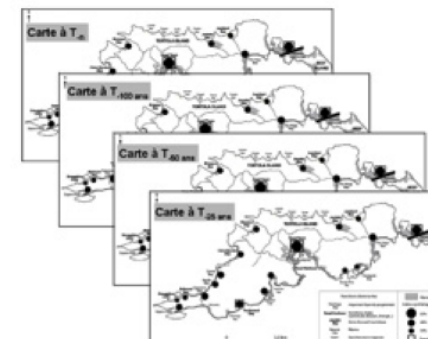
La vulnérabilité dépend de trois facteurs :

- Exposition
  - Sensibilité (caractéristiques intrinsèques, physiques et humaines)
  - Capacité d'adaptation
- La V est évolutive

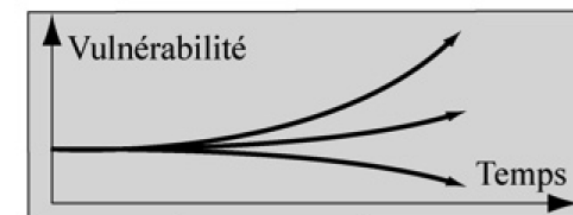
● Évaluer la V. actuelle ( $T_0$ )



● Évaluer la V. passée ( $T-n$ )



● Reconstituer les Trajectoires de V.



Magnan, Duvat et Garnier, 2012

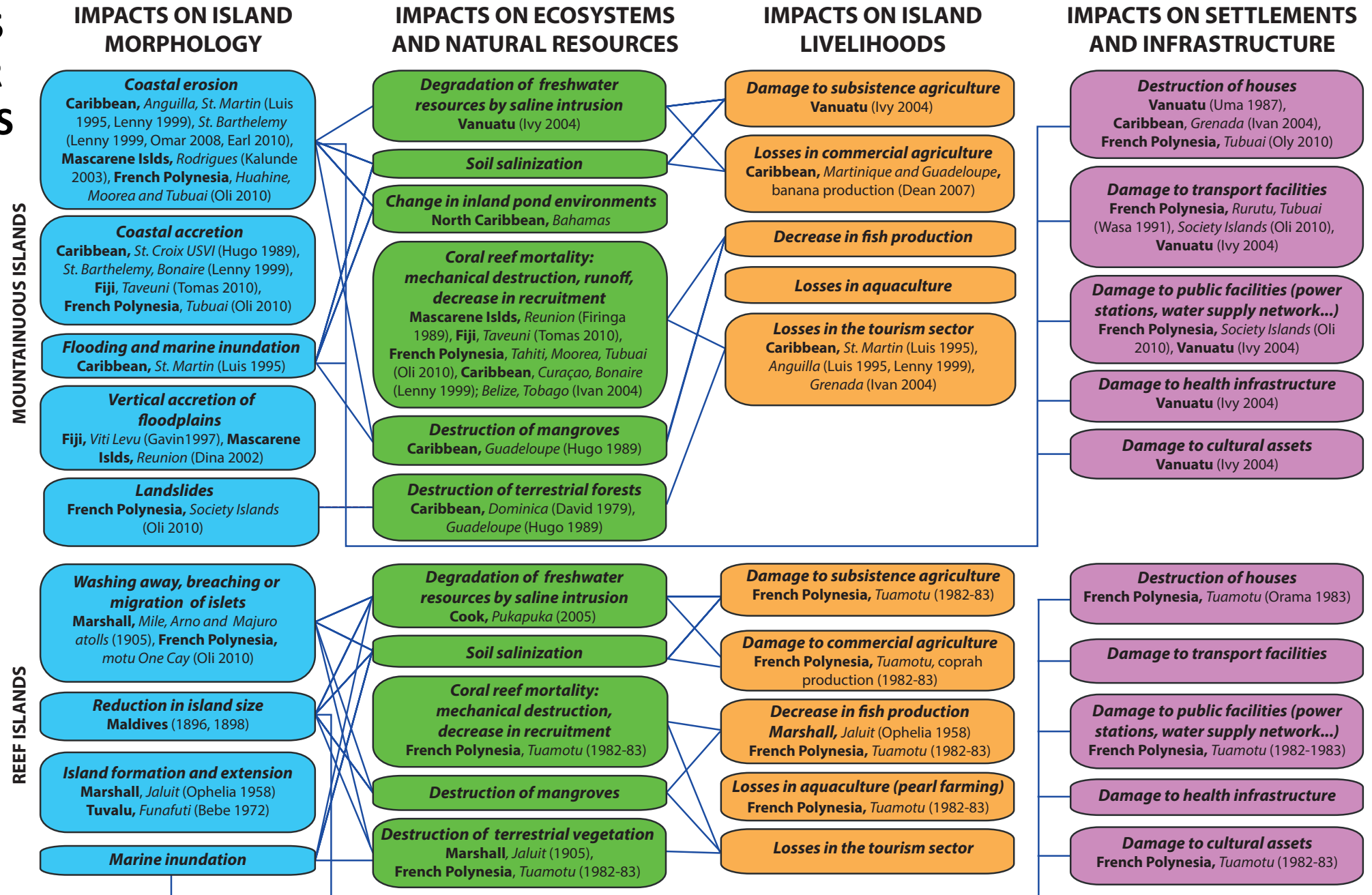
## TRÈS FORTE EXPOSITION (bien qu'inégale d'un archipel à l'autre) :

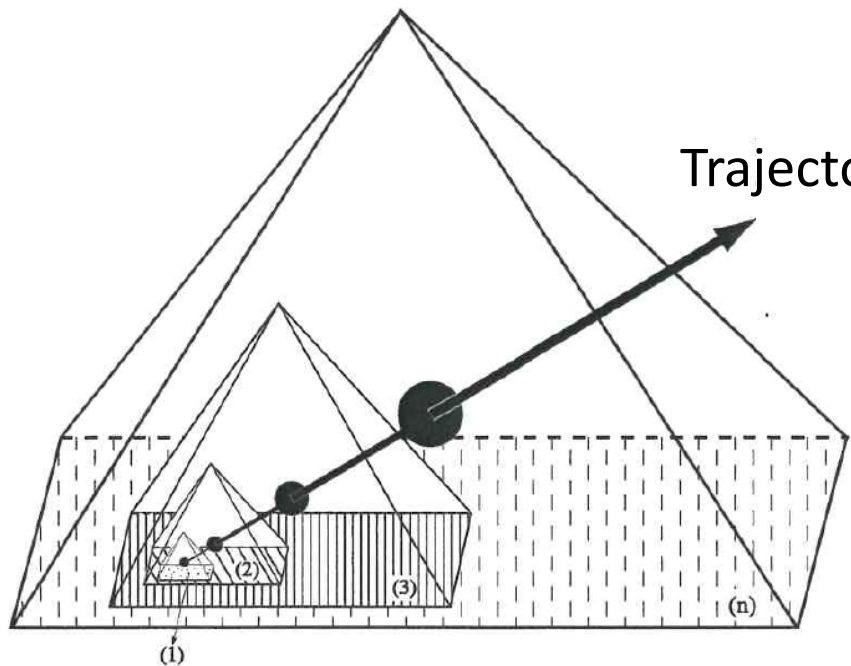
- 3<sup>ème</sup> rang après Asie et Amérique du Nord en termes de **population exposée** aux cyclones (Peduzzi et al., 2011)
- Un événement cyclonique peut affecter le territoire sur toute sa surface : **risque de « destruction totale »** -> **pertes élevés/PNB et ressources disponibles** (Pelling and Uitto 2001; Mechler 2004; Ferdinand et al. 2012)

## FORTE SENSIBILITÉ des éco-morpho-socio-systèmes insulaires tropicaux :

- **Tient aux caractéristiques physiques** (sensibilité forte et croissante des écosystèmes récif et mangrove, par ex.) **et humaines** (modalités d'aménagement du territoire -> concentration des activités dans la zone côtière + activités économiques très dépendantes du climat, donc climato-sensibles, peu diversifiées : agriculture, tourisme, perliculture) des îles tropicales (Méheux and Parker 2006; Angelucci and Conforti 2010; Strobl 2012; ONERC, 2012) **de ces systèmes**

# CHAÎNE D'IMPACTS DES CYCLONES SUR LES ÎLES TROPICALES

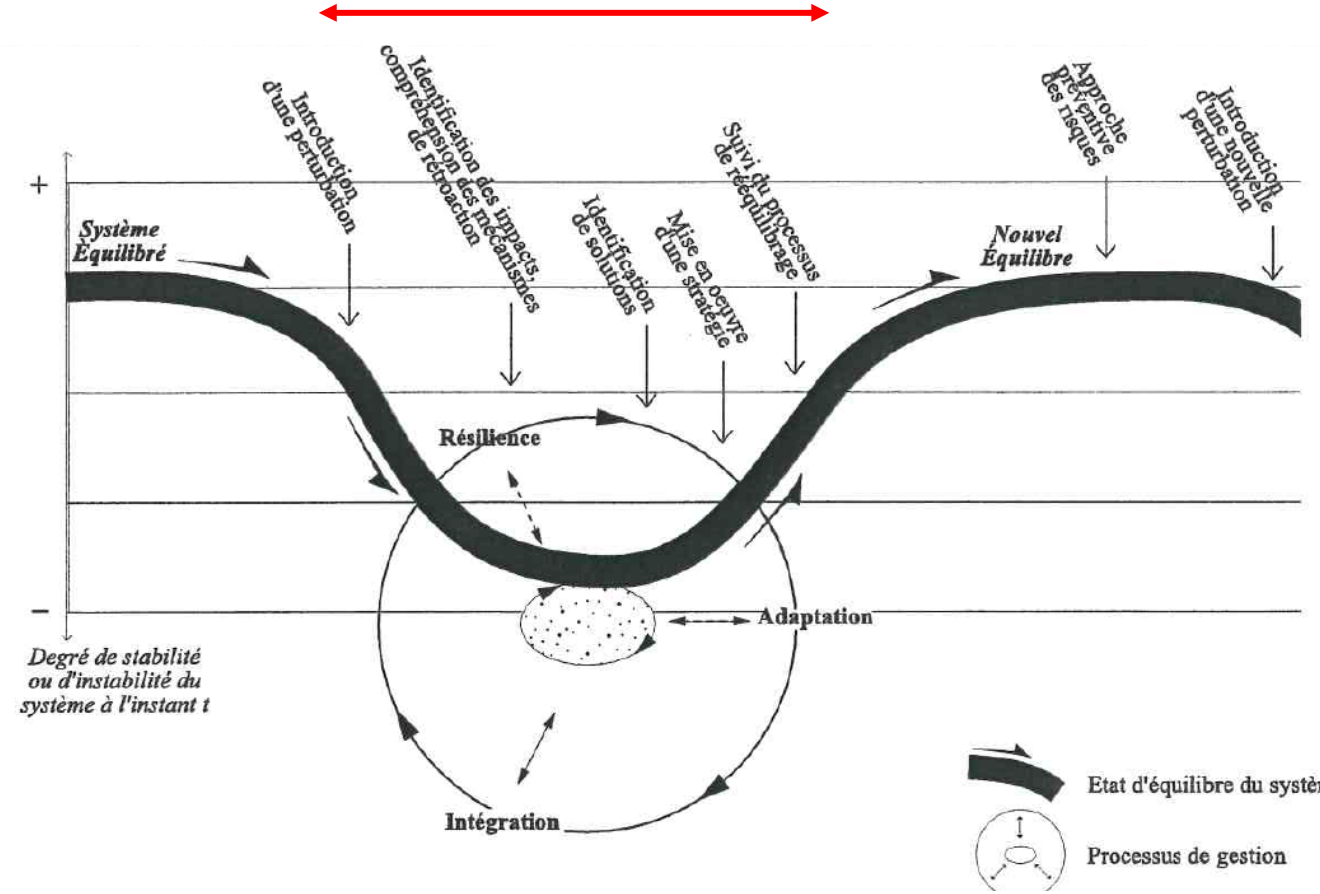




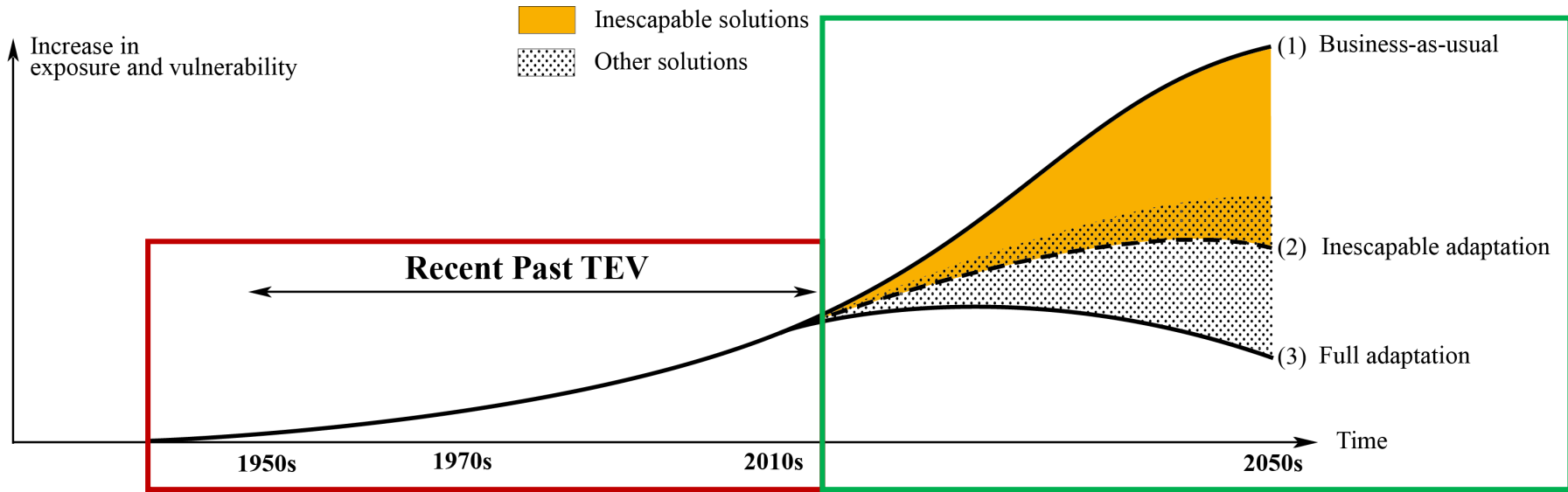
Trajectoire d'évolution

Représentation d'un système côtier

**Perturbation  
= cyclone**

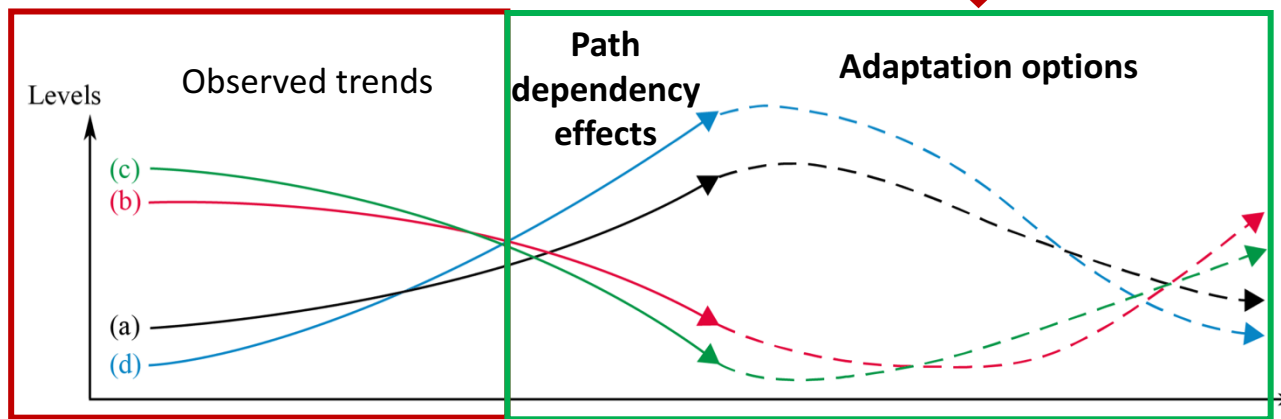


Magnan et Duvat, 2005



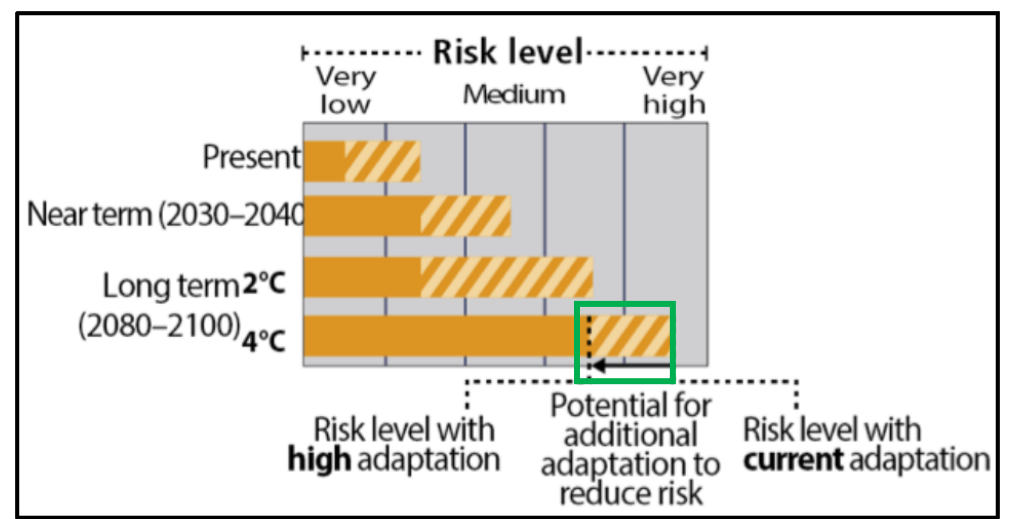
Magnan et Duvat, submitted

**Adaptation pathways**



- (a) Number of human assets within the 100-m wide coastal strip
- (b) Change in shoreline position
- (c) Change in the area of terrestrial natural coastal buffers (e.g. vegetated beach-dune systems)
- (d) Change in the spatial extent of coastal defences (seawalls, etc.)

**ADAPTATION : réduire les impacts futurs en agissant sur différentes composantes du système**





## 2. QUELLE VULNÉRABILITÉ DES ÉCO-MORPHO-SOCIO-SYSTÈMES CÔTIERS AUX CYCLONES ET QUELS ENSEIGNEMENTS ?

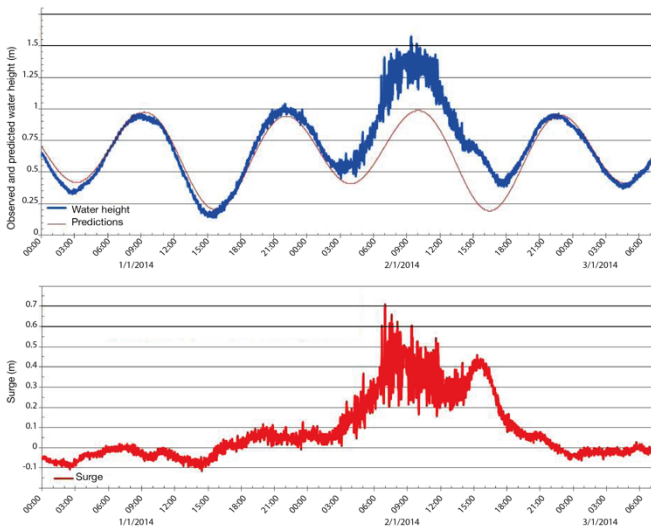
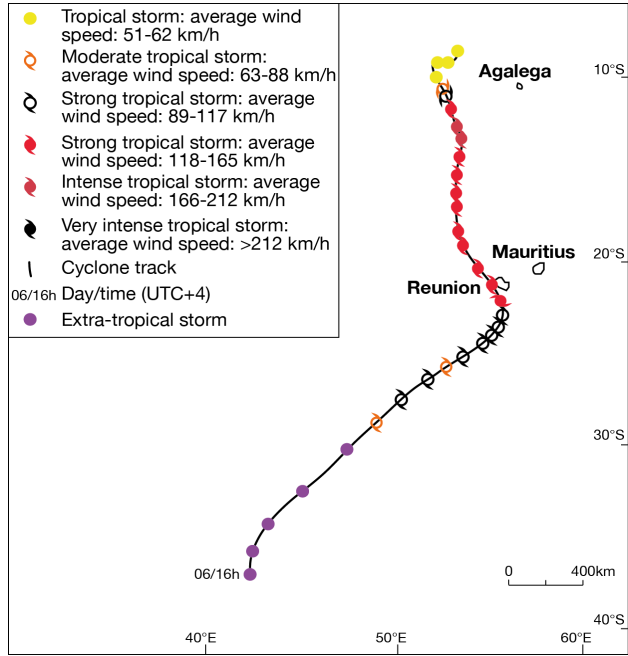
---

Sensibilité aux impacts des cyclones + capacité de réajustement post-cyclone/d'adaptation au changement climatique -> **Dans quelle mesure sont-ils menacés ?**

Quelles **répercussions** sur les territoires et sociétés insulaires ?

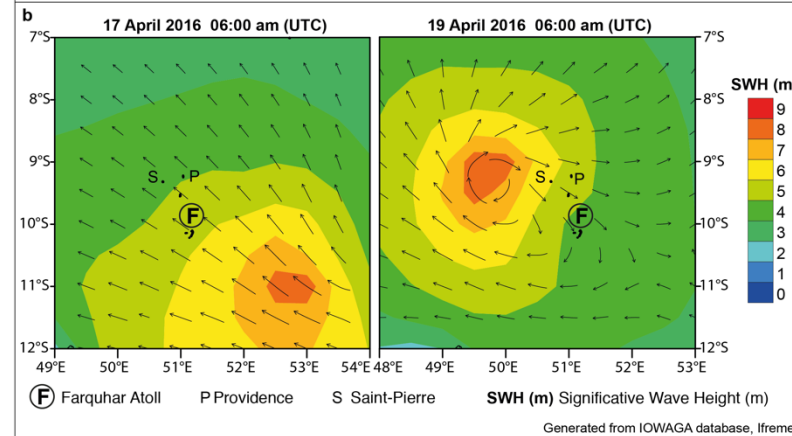
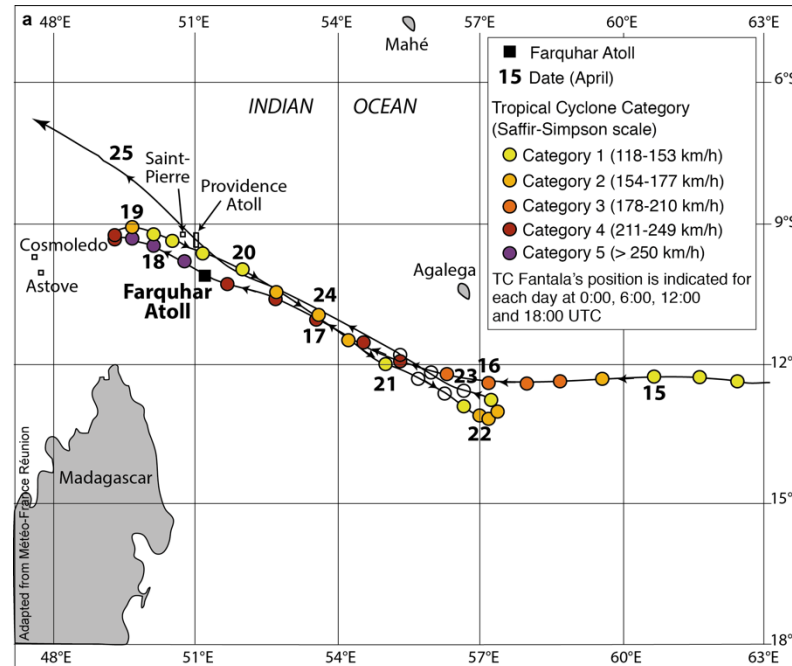
Quels enseignements pour promouvoir des **stratégies d'adaptation adéquates**, en particulier **basées sur la nature** ?

## CAT3 - BEJISA, RÉUNION, 12/2014-01/2015



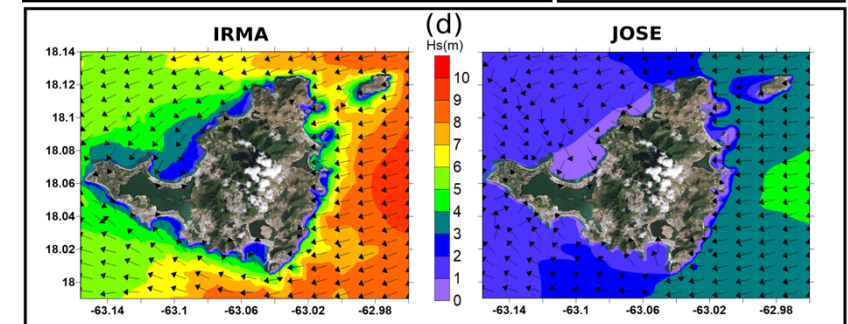
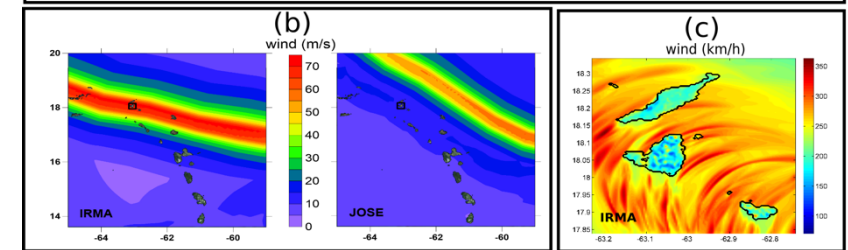
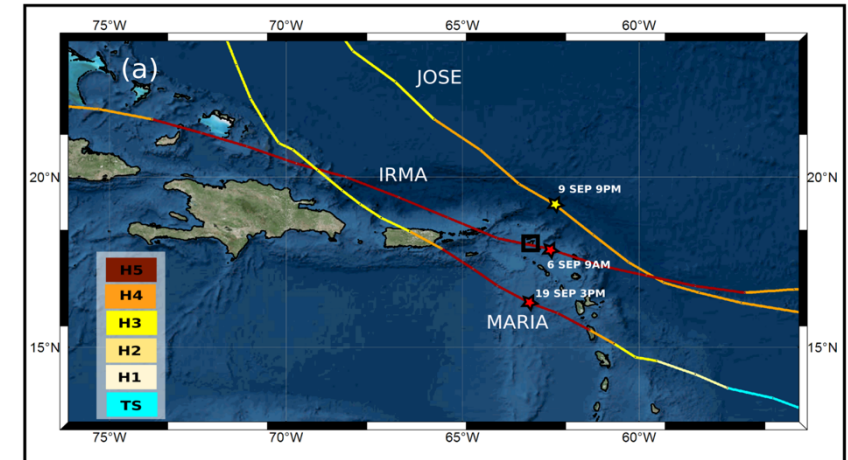
Duvat et al., 2016

## CAT5-FANTALA, FARQUHAR (SEY), 04/2016



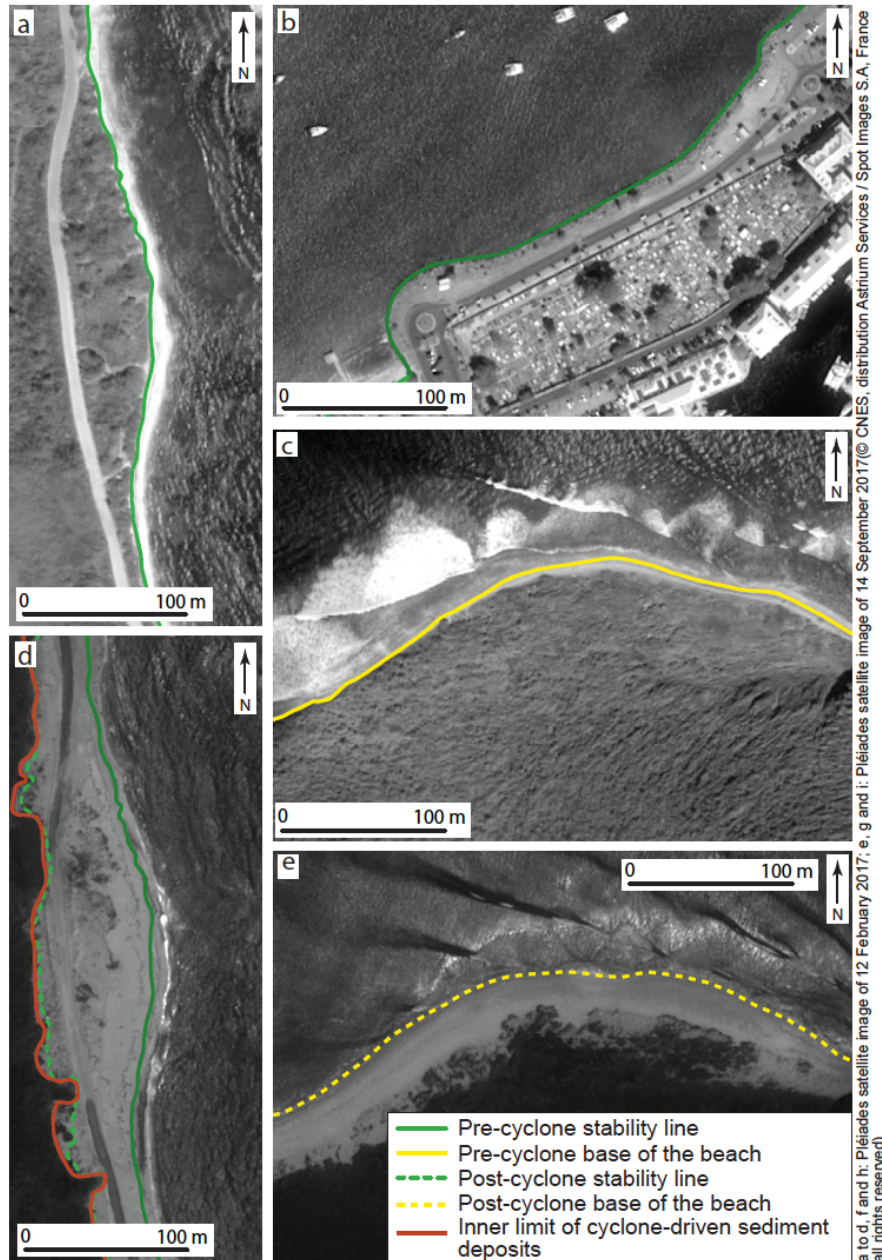
Duvat et al., 2017

## CAT5+4-IRMA + JOSÉ, SAINT-MARTIN, 09/2017

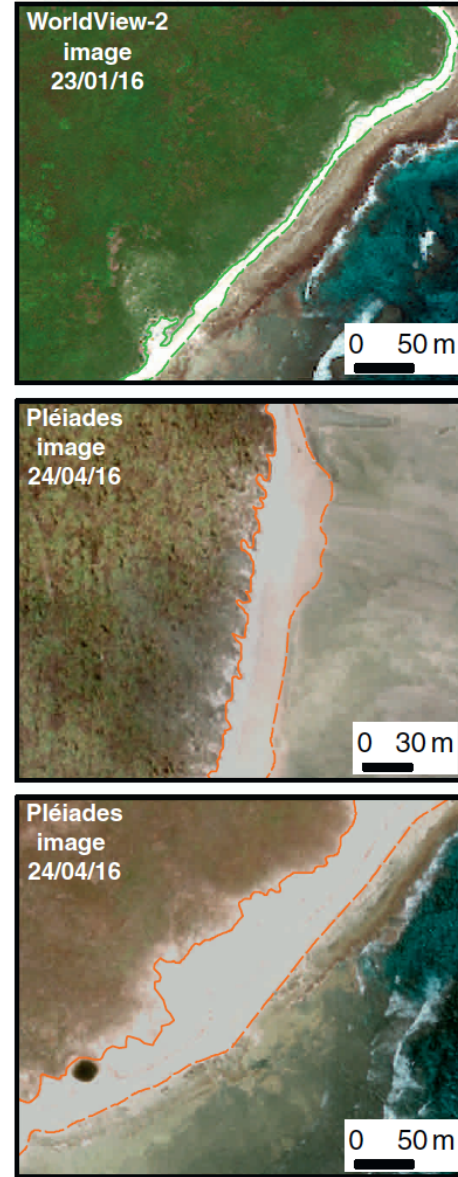


Duvat et al., in prep.

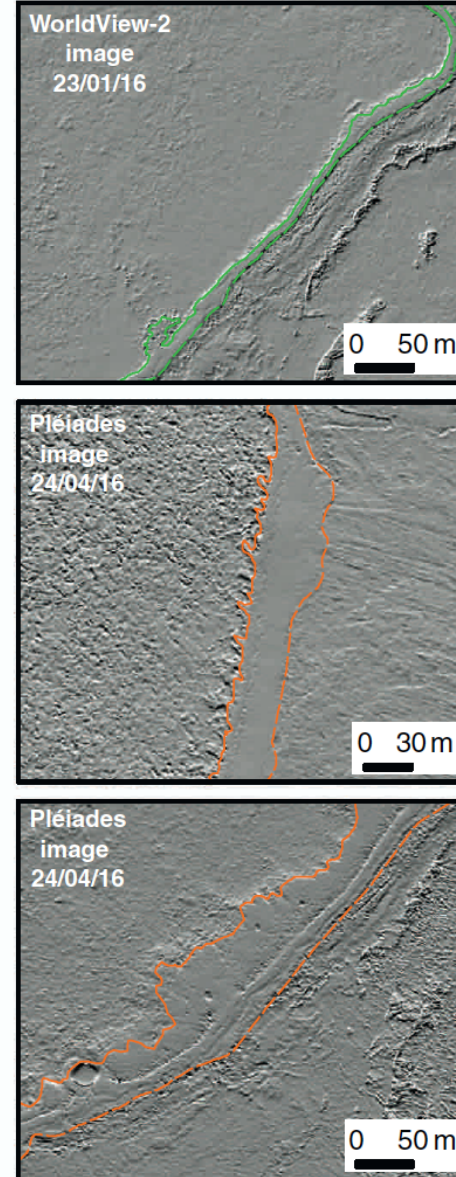
# MÉTHODOLOGIE



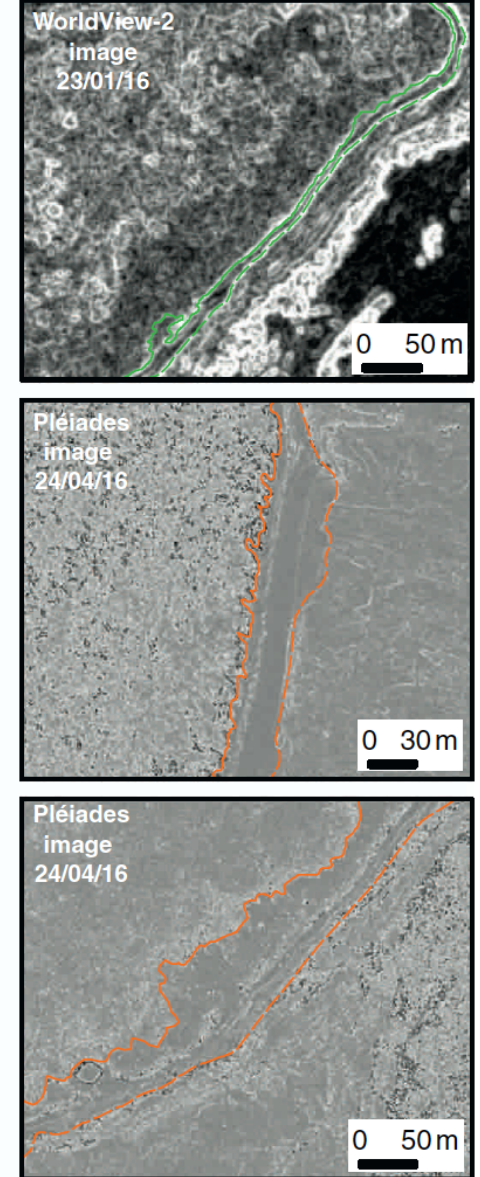
Satellite image



Directional filter



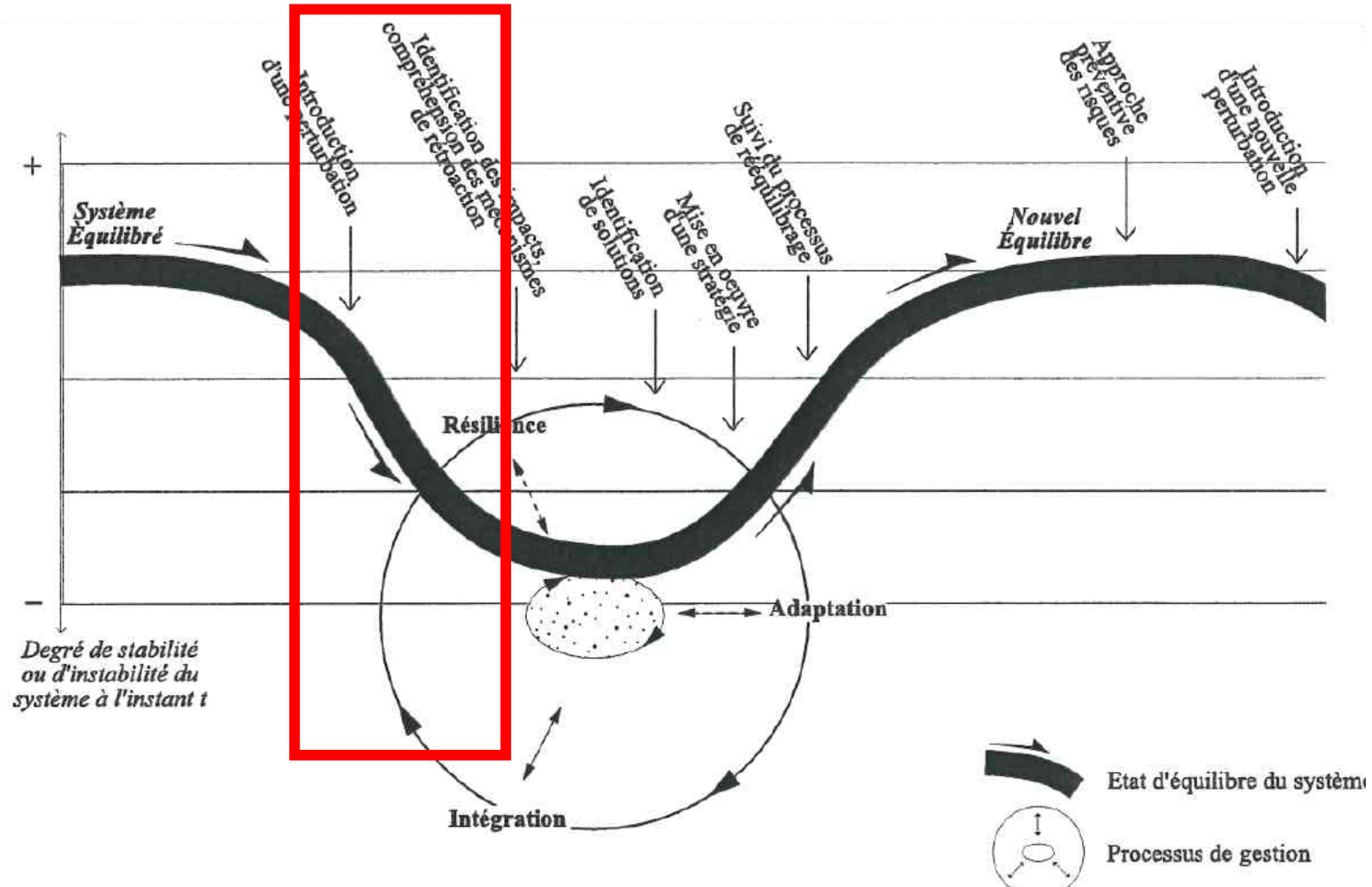
Sobel filter



— January vegetation line  
— April vegetation line

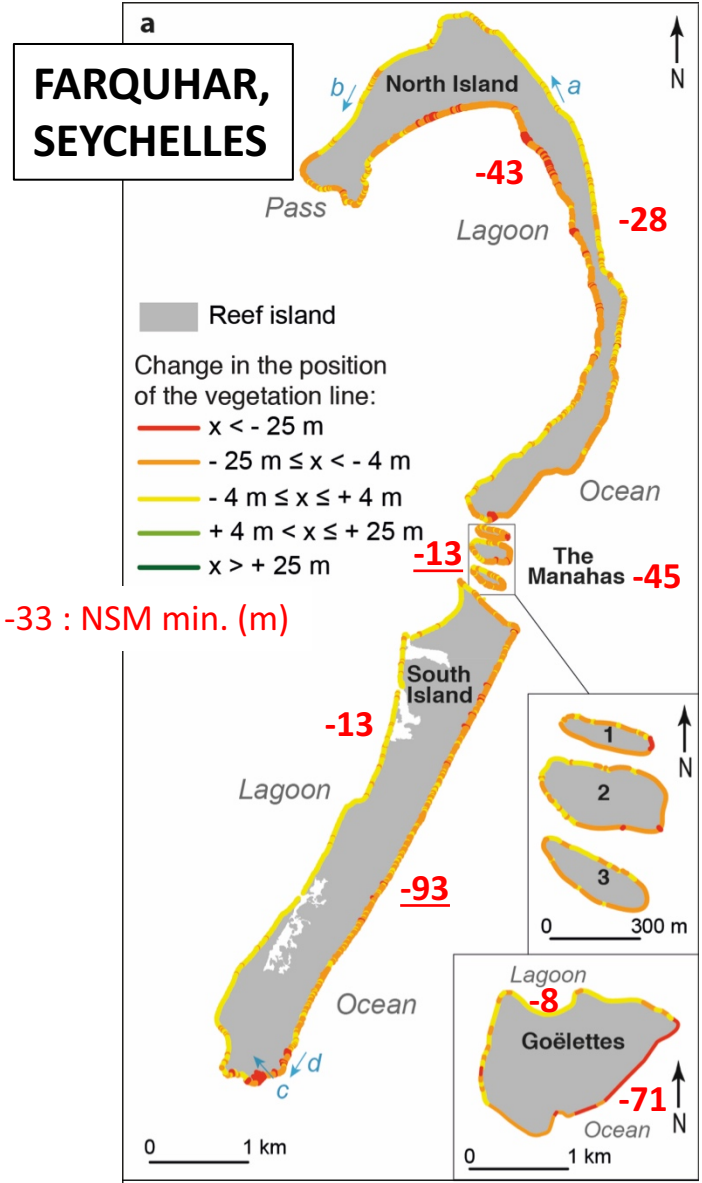
- - - January base of beach  
- - - April base of beach

# Sensibilité géomorphologique des systèmes côtiers aux cyclones

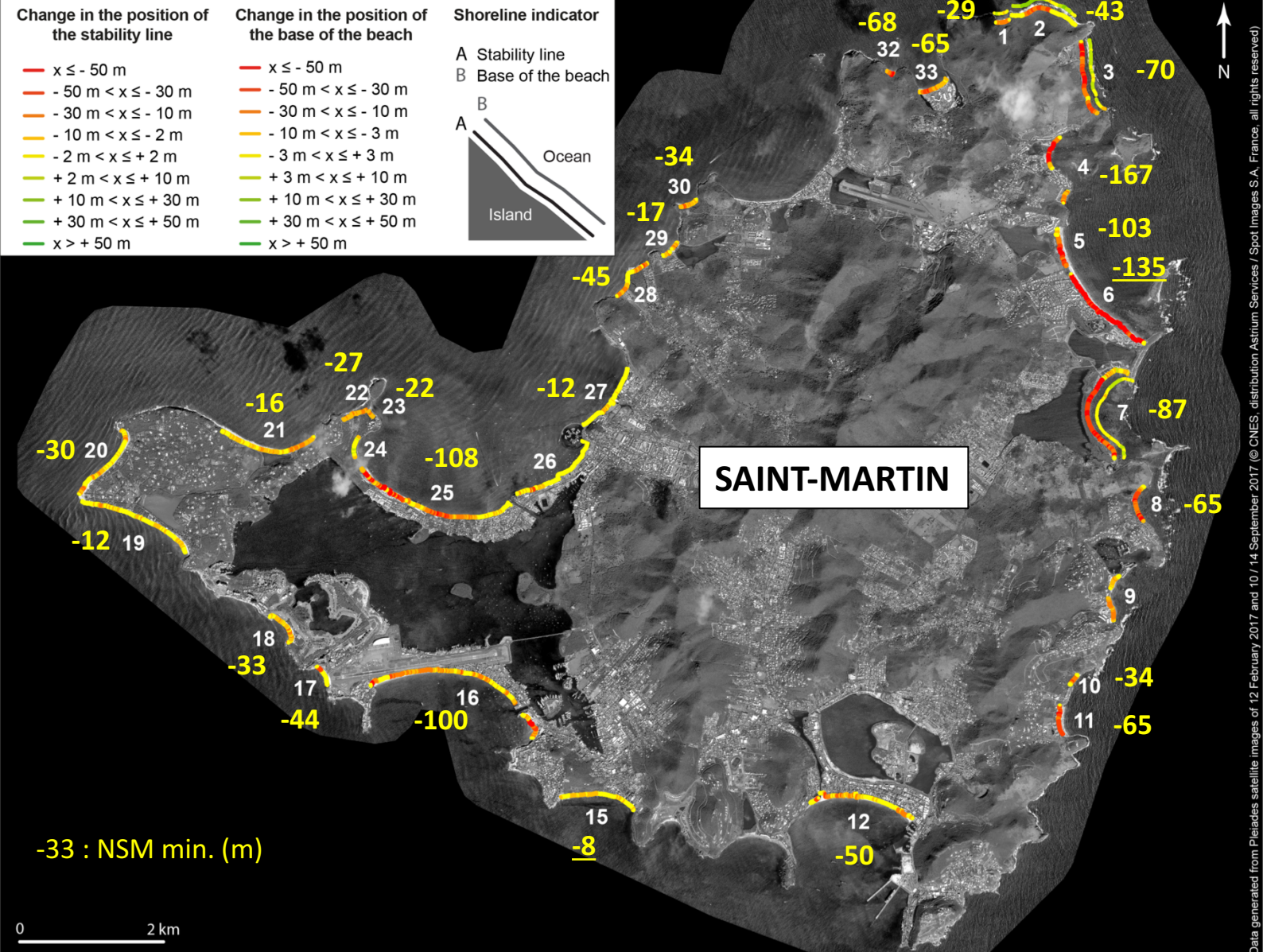


# IMPACTS MORPHOSÉDIMENTAIRES COMPLEXES :

- Recul de la ligne de stabilité : perte de territoire côtier et de biodiversité terrestre, destruction/déstabilisation des constructions et des infrastructures côtières



-33 : NSM min. (m)



-33 : NSM min. (m)

Data generated from Pleiades satellite images of 12 February 2017 and 10 / 14 September 2017 © CNES, distribution Astrium Services / Spot Images S.A. France, all rights reserved)

**AVANT**



**Jusqu'à 135 m de recul en zone défrichée-revégétalisée et aménagée**

**APRES**



**BAIE ORIENTALE**

**AVANT**



**Absence de recul :  
résistance des cordons d'enrochement**

**APRES**



**MARIGOT**

## FARQUHAR



## SAINT-MARTIN



## RÉUNION



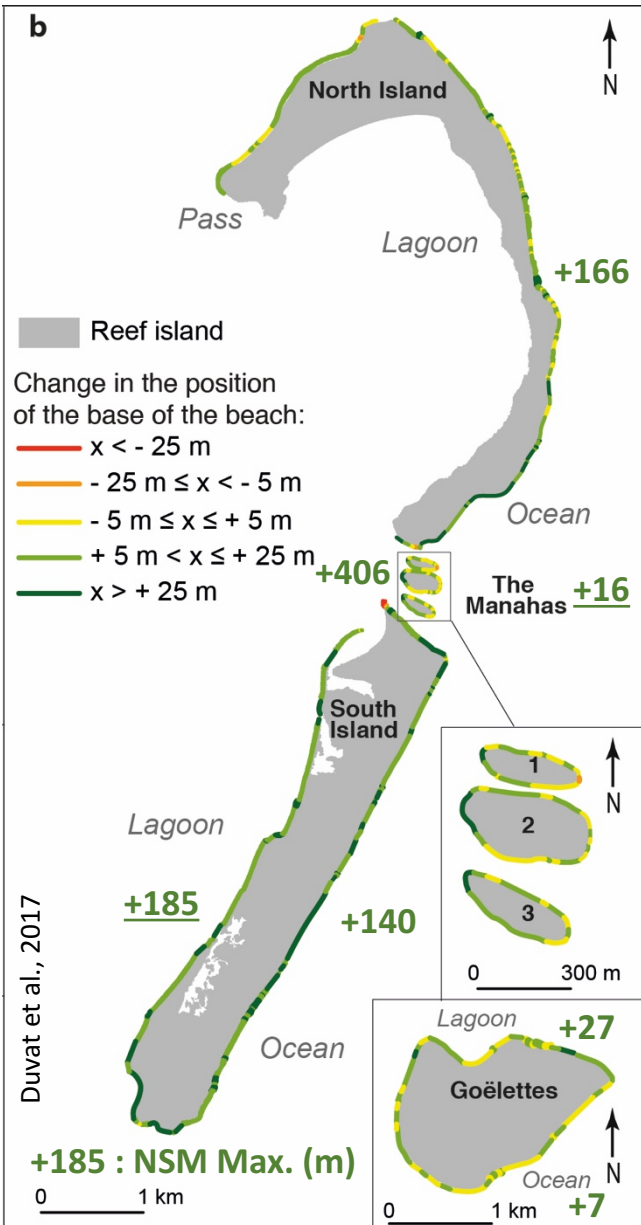
### 2 constats majeurs :

- Forte ablation verticale (plusieurs m) au devant des constructions en dur
- Forte pénétration des vagues dans les zones défrichées-replantées

-> **Réponses différenciées des systèmes naturels et modifiés**

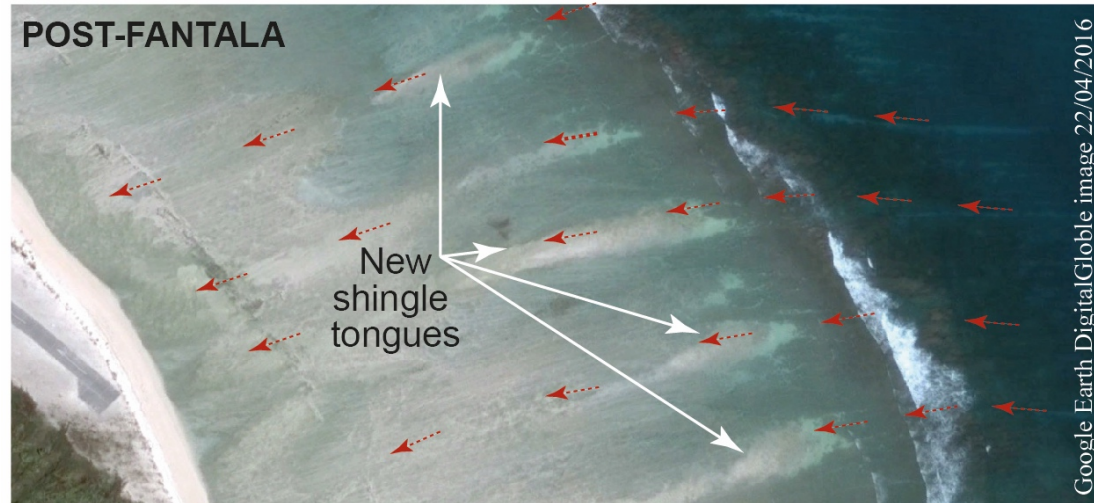


- **Apports sédimentaires : avancée du pied de plage, engraissement des plages et formation de nouvelles plages -> gain de territoire côtier** et de biodiversité terrestre future par colonisation végétale + **exhaussement des systèmes côtiers (+0.60 à +2m)** qui **réduit leur sensibilité à la submersion** graduelle et événementielle

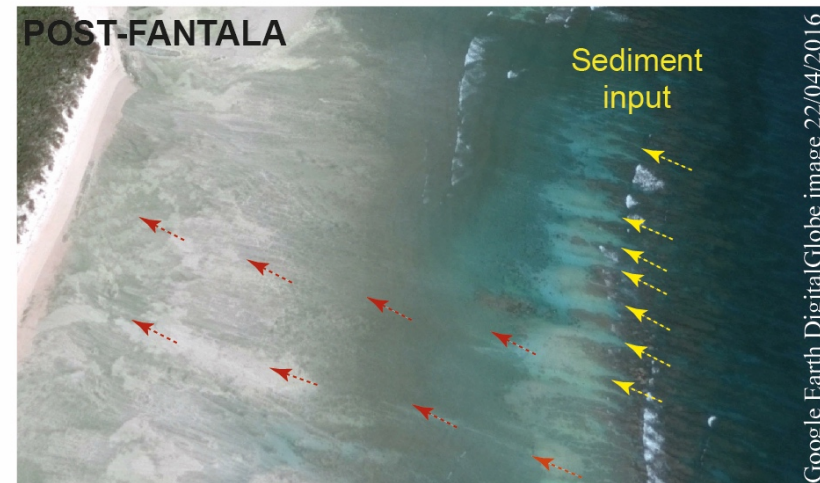
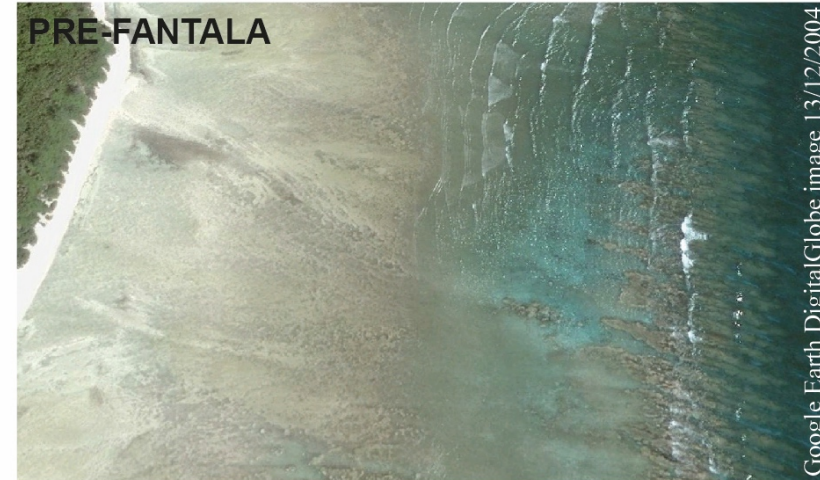


# Injection massive de sédiments en provenance des pentes externes de l'atoll

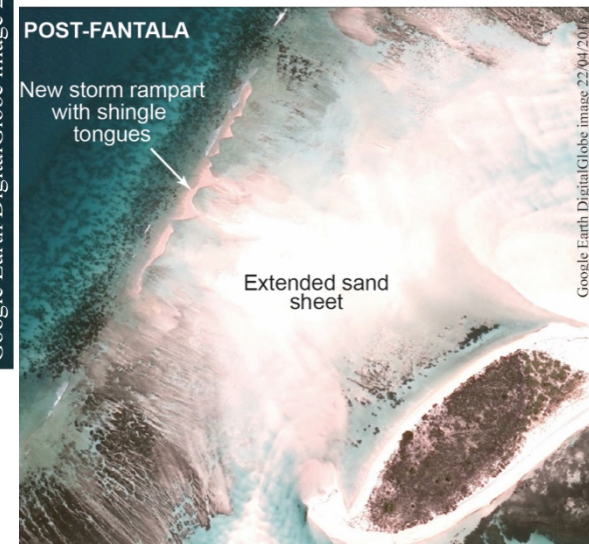
a NORTH ISLAND (south airstrip)





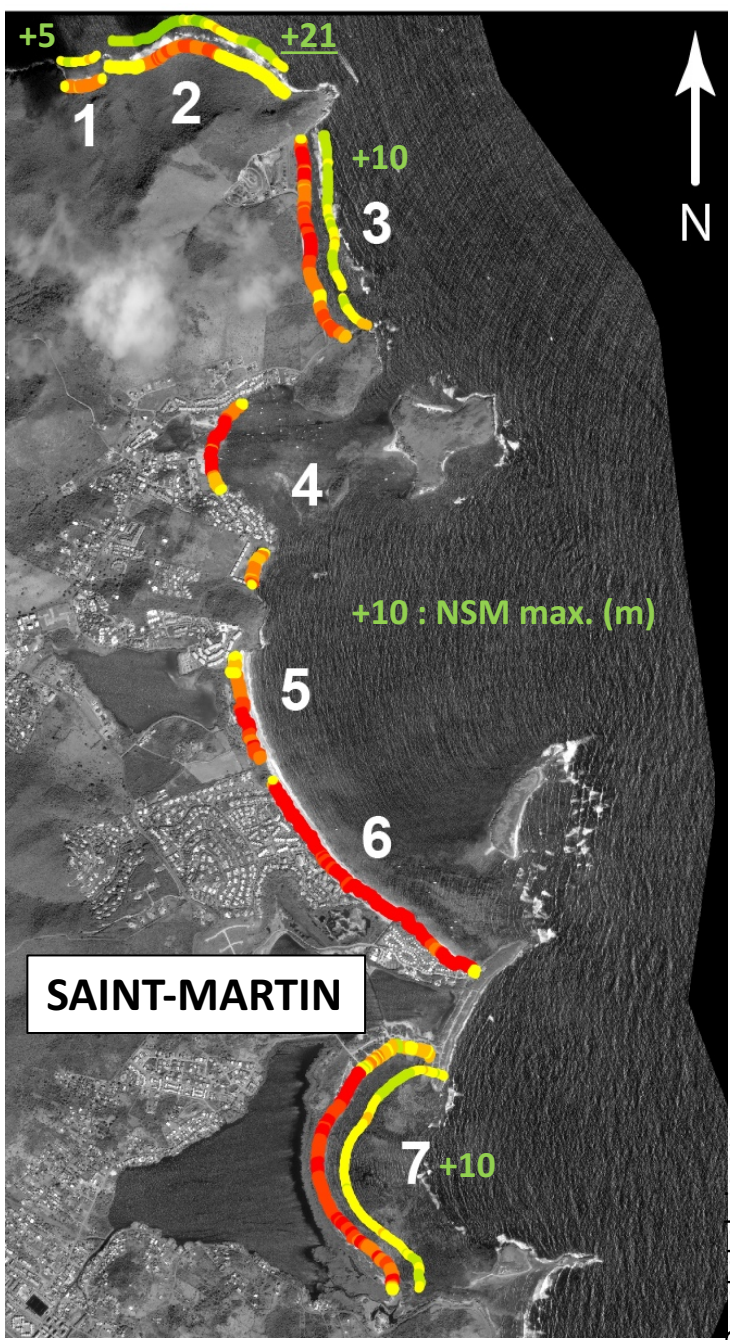
b NORTH ISLAND (central ocean coast)



d BANCS DE SABLE



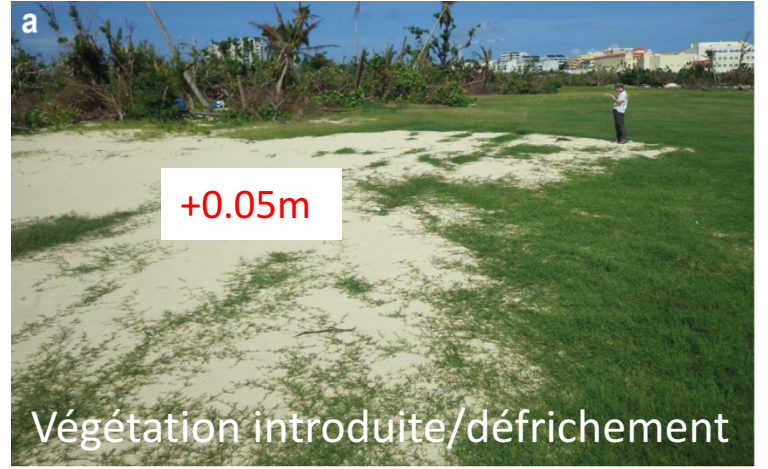
-  Sediment path
-  Sediment input from the groove-spur reservoir

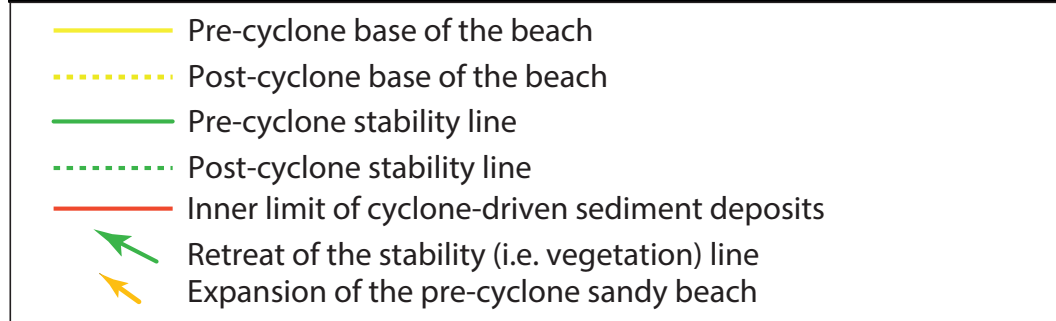
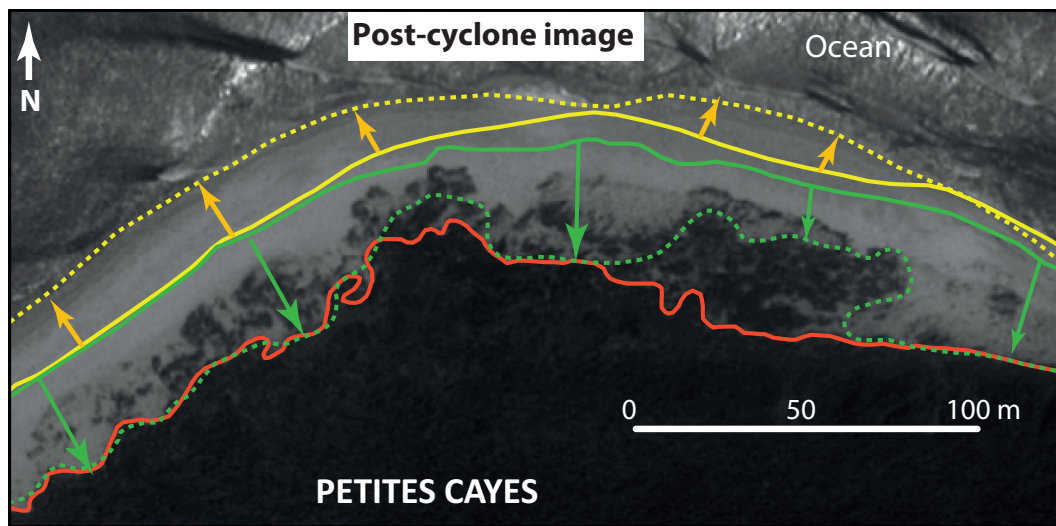
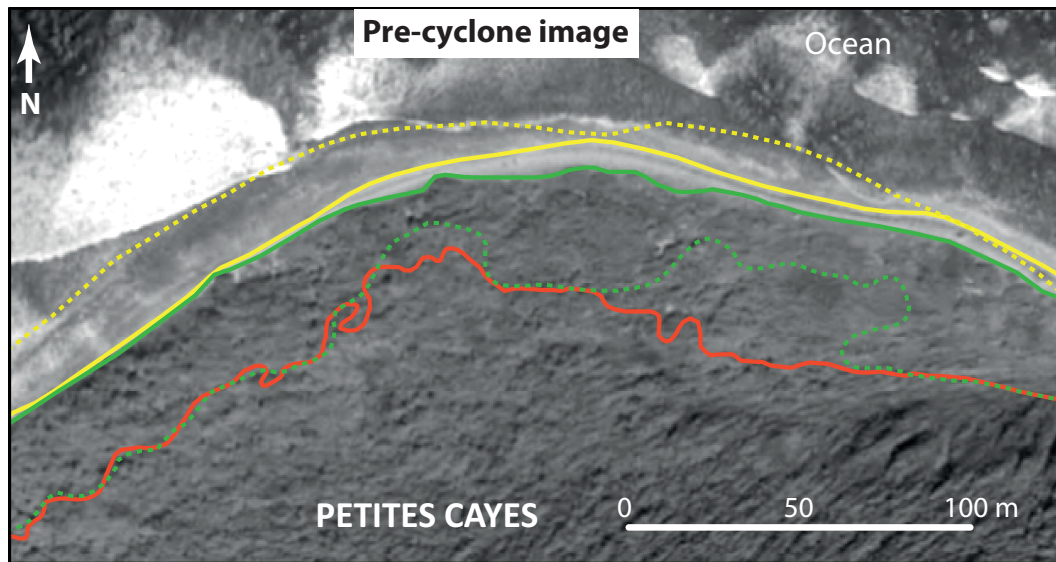


## Formation d'une nouvelle plage

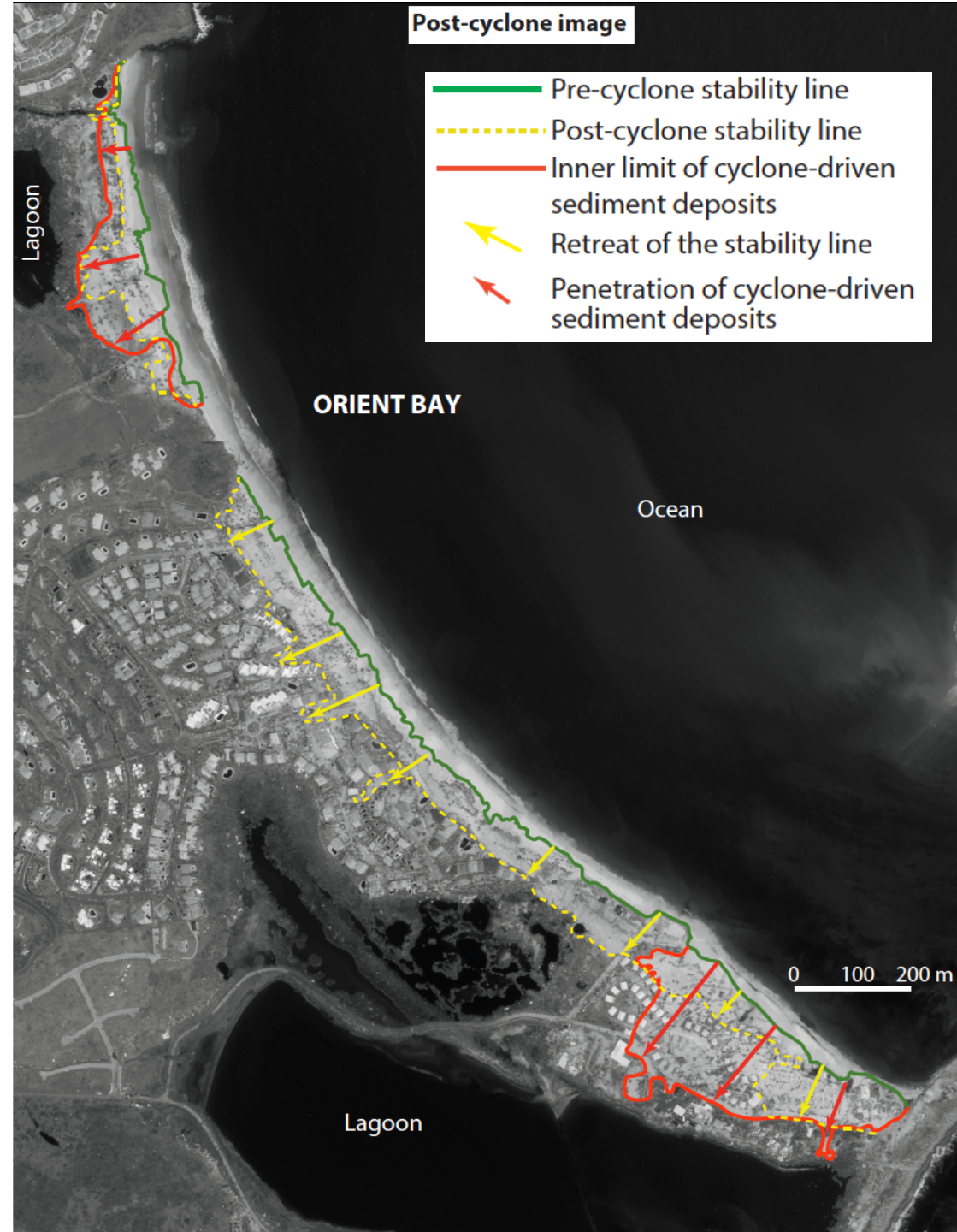


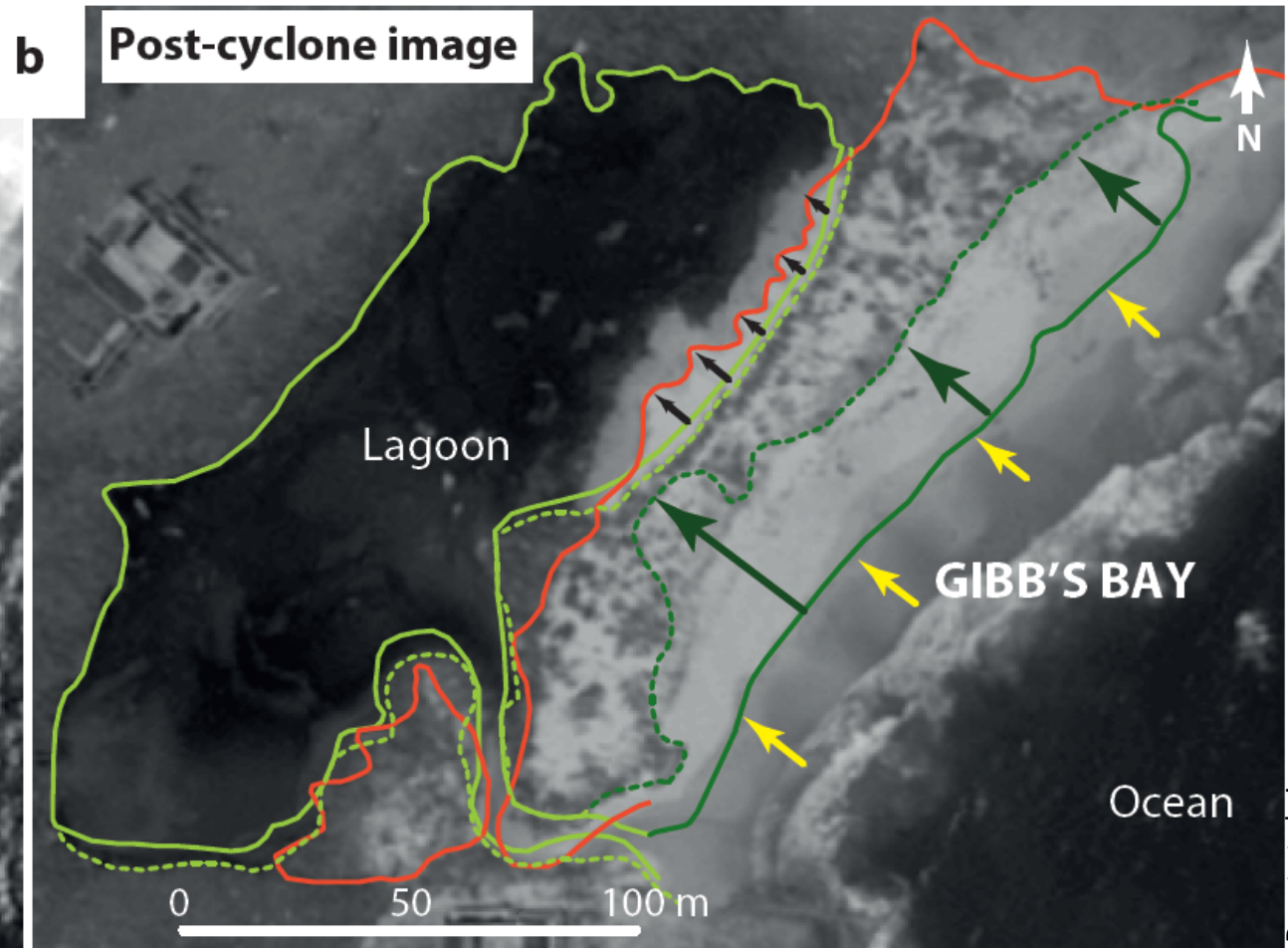
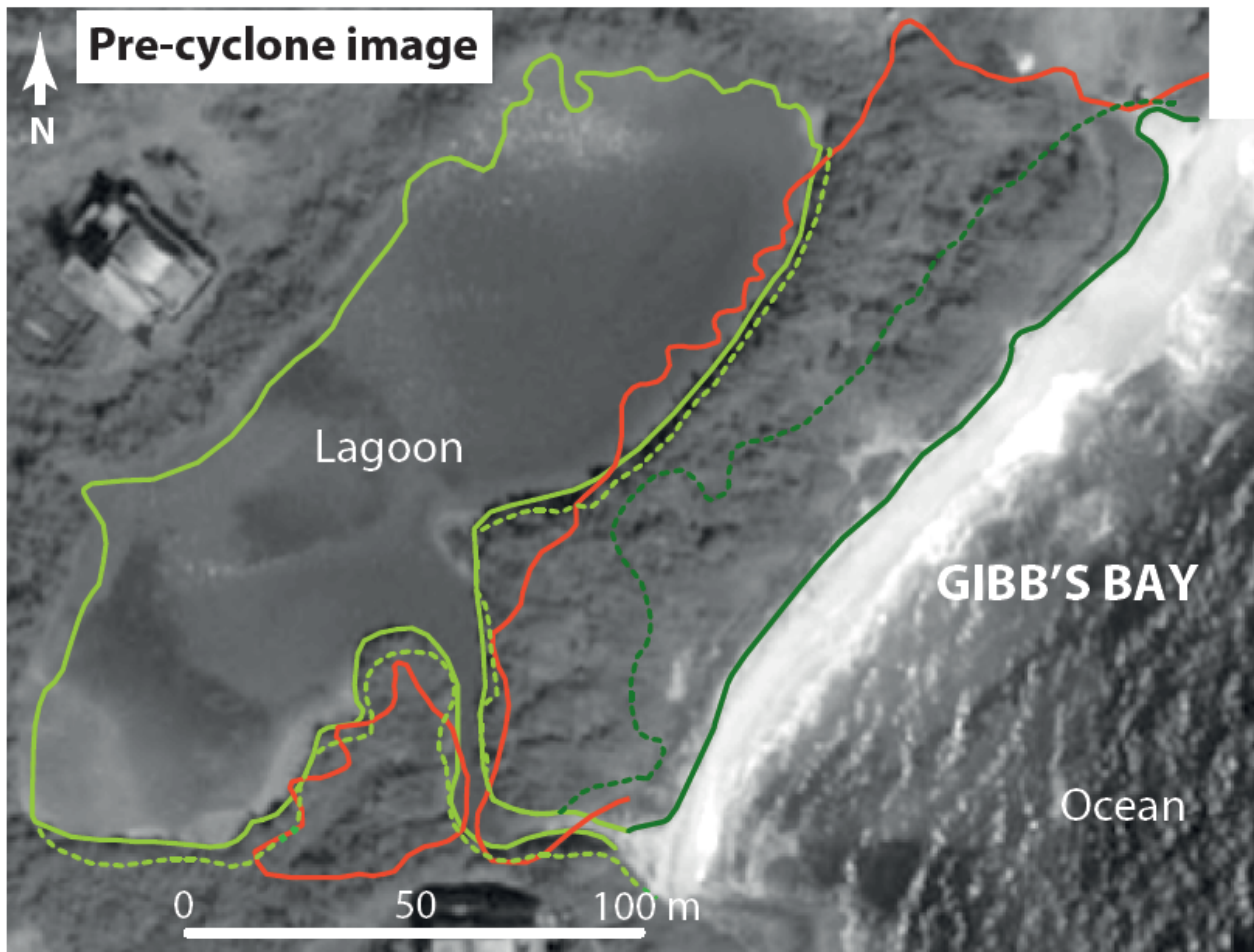
-> Cyclones constructeurs





Pléiades satellite images of 12 February 2017 and 14 September 2017 (© CNES, distribution Astrium Services / Spot Images S.A., France, all rights reserved)





- Pre-cyclone base of the beach
- - - Post-cyclone base of the beach
- Pre-cyclone stability line
- - - Post-cyclone stability line
- Pre-cyclone lagoon side vegetation line
- - - Post-cyclone lagoon side vegetation line

- Inner limit of cyclone-driven sediment deposits
- Retreat of the stability (i.e. vegetation) line
- Lagoonward advance of the barrier beach (sand lobes)
- Contraction of the pre-cyclone sandy beach
- ↔ Channel opening through the barrier beach

## Conclusion :

- Forte sensibilité géomorphologique -> **érosion**, mais aussi accrétion
- Migration de certaines formes (cordons sableux, îles basses...)
- > Exhaussement des systèmes côtiers : des impacts également positifs...



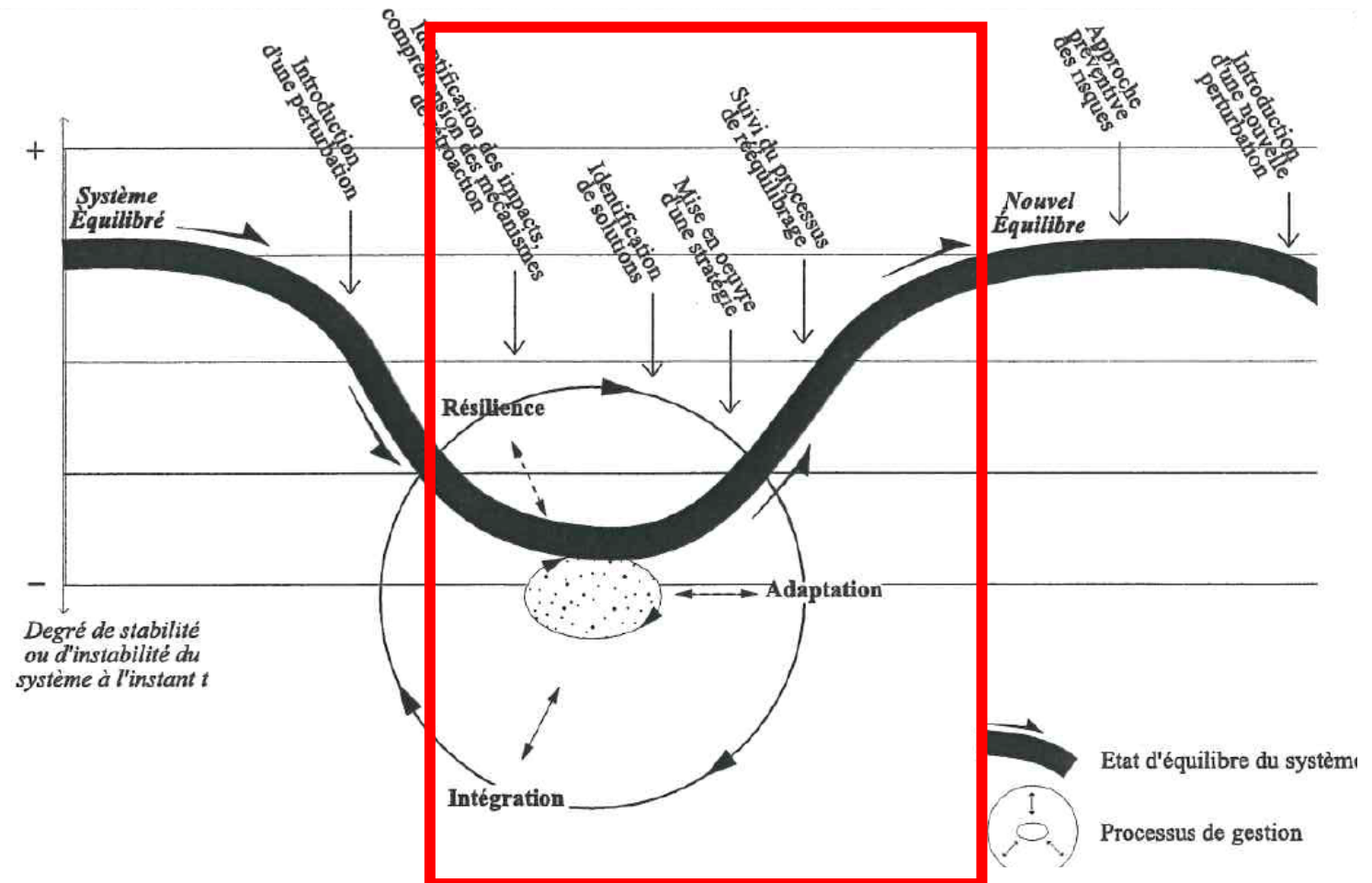
A la condition :

- (1) qu'il existe une zone naturelle non aménagée pour l'accumulation de sédiments
- (2) que l'homme n'évacue pas ces dépôts sédimentaires « encombrants »



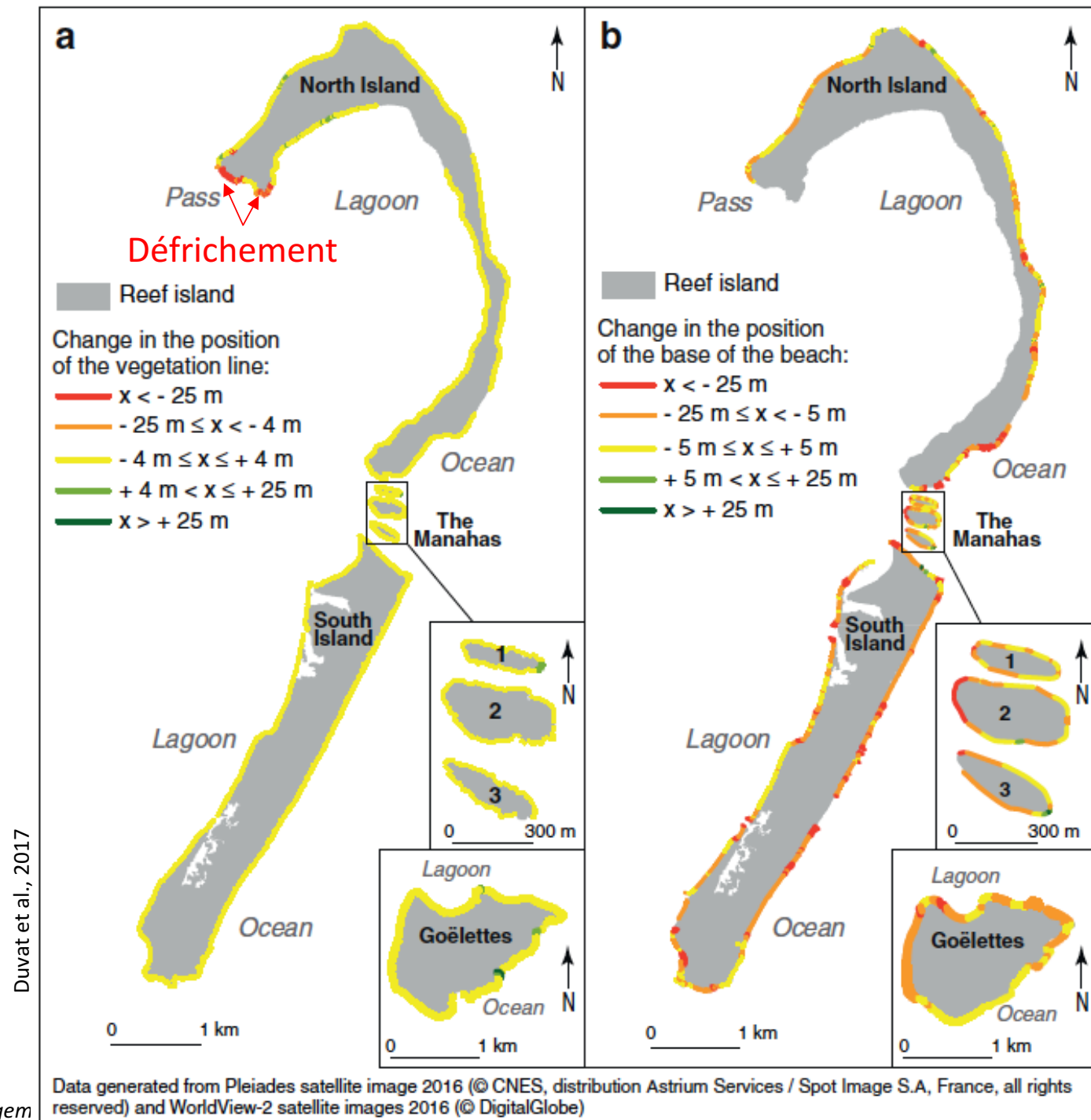
# Capacité de réajustement post-cyclone : résilience éco-morphologique

- Là où il y a eu recul du trait de côte, y a t-il résilience (réajustement) post-cyclone ?
- Si oui, combien de temps pour retrouver la position du trait de côte pré-cyclone ?



# FANTALA + 3,5 mois (6/08/2016)

- Pas de retour à la position initiale de la ligne de végétation, mais re-densification de la végétation
- Réajustement du pied de plage (recul avec remontée de sédiments sur la plage)

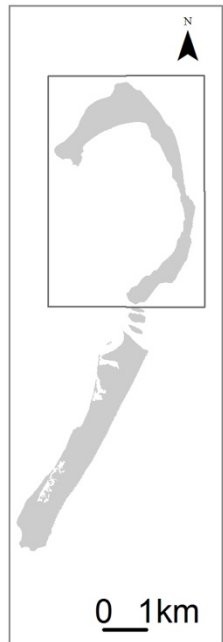




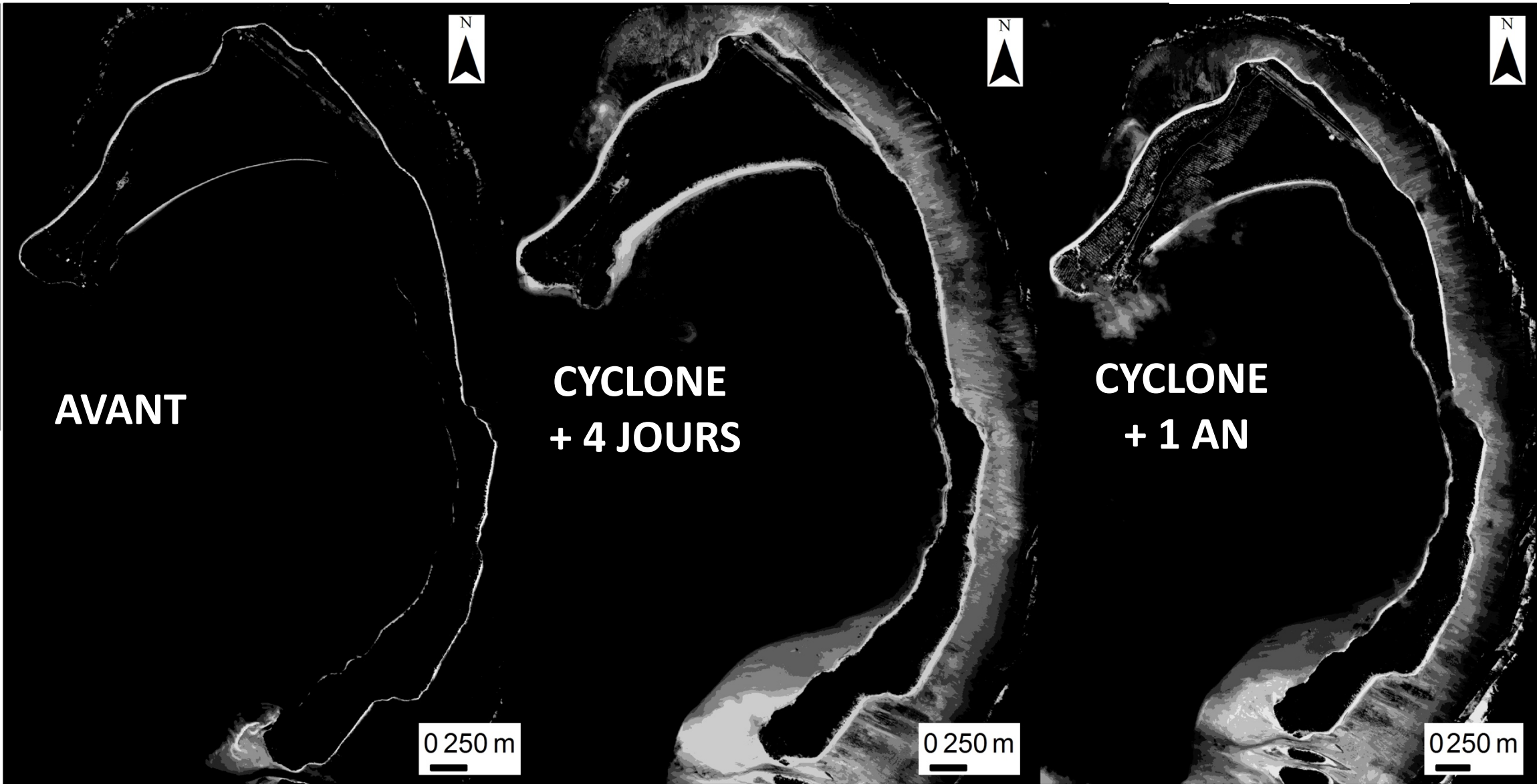
FEBRUARY 2016

APRIL 2016

AUGUST 2017

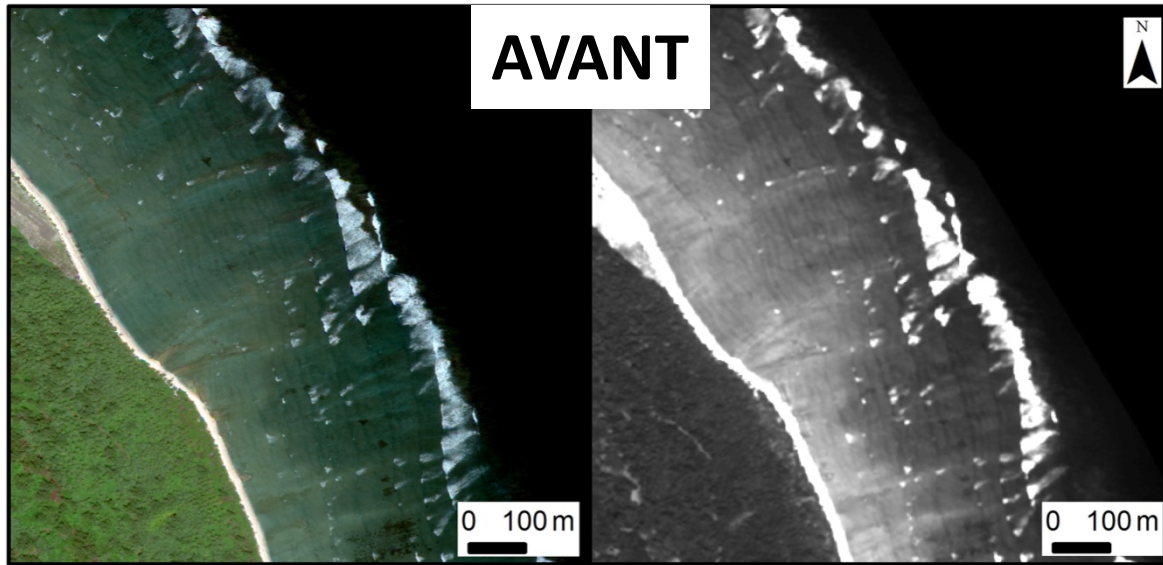


Volto et Duvat, in prep.

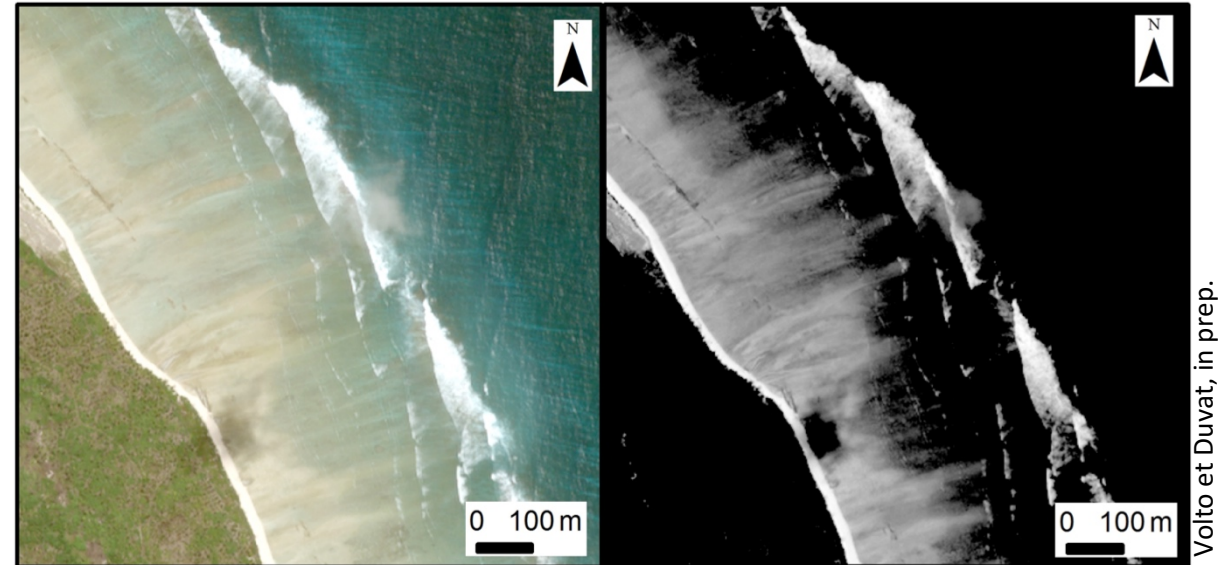


Data generated from Pléiades satellite Images 2016 and 2017 (CNES, distribution Astrium Services / Spot Image SA, France, all rights reserved) and WorldView-2 satellite Images 2016 (DigitalGlobe)

FEBRUARY 2016



APRIL 2017



Volto et Duvat, in prep.

APRIL 2016

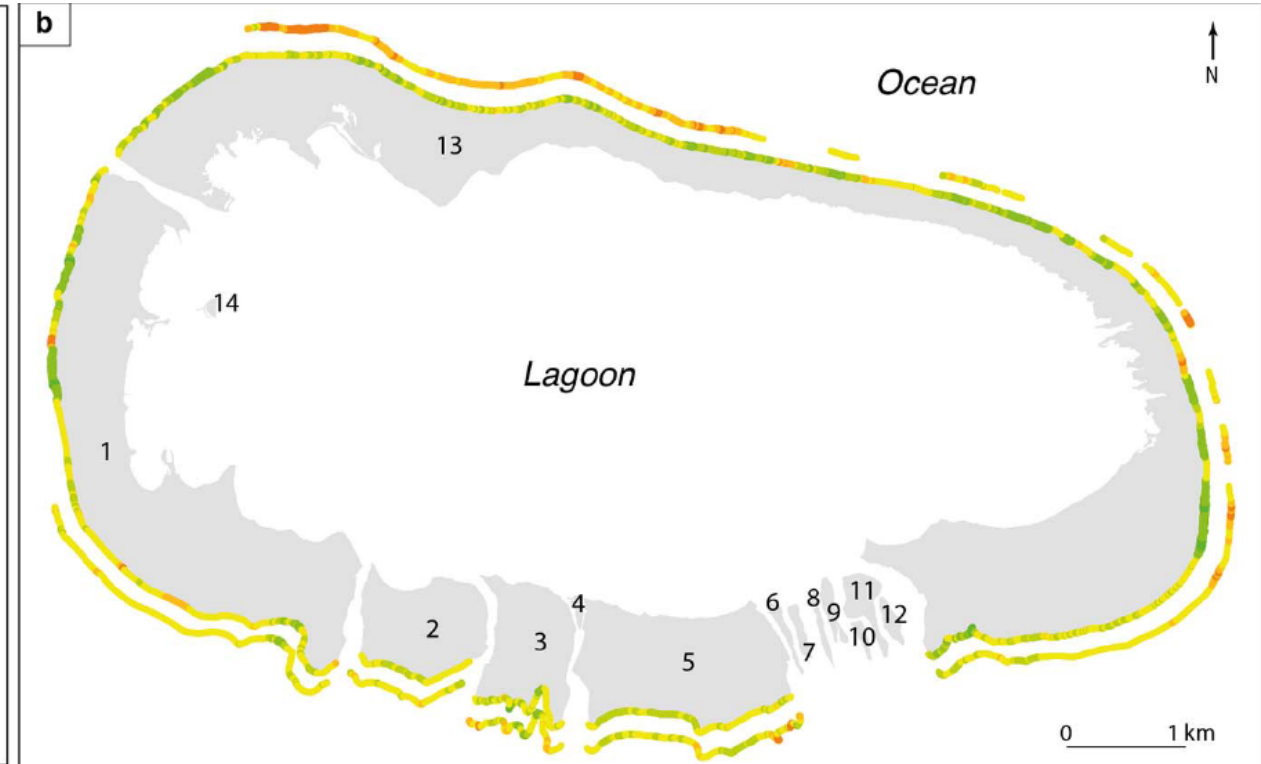
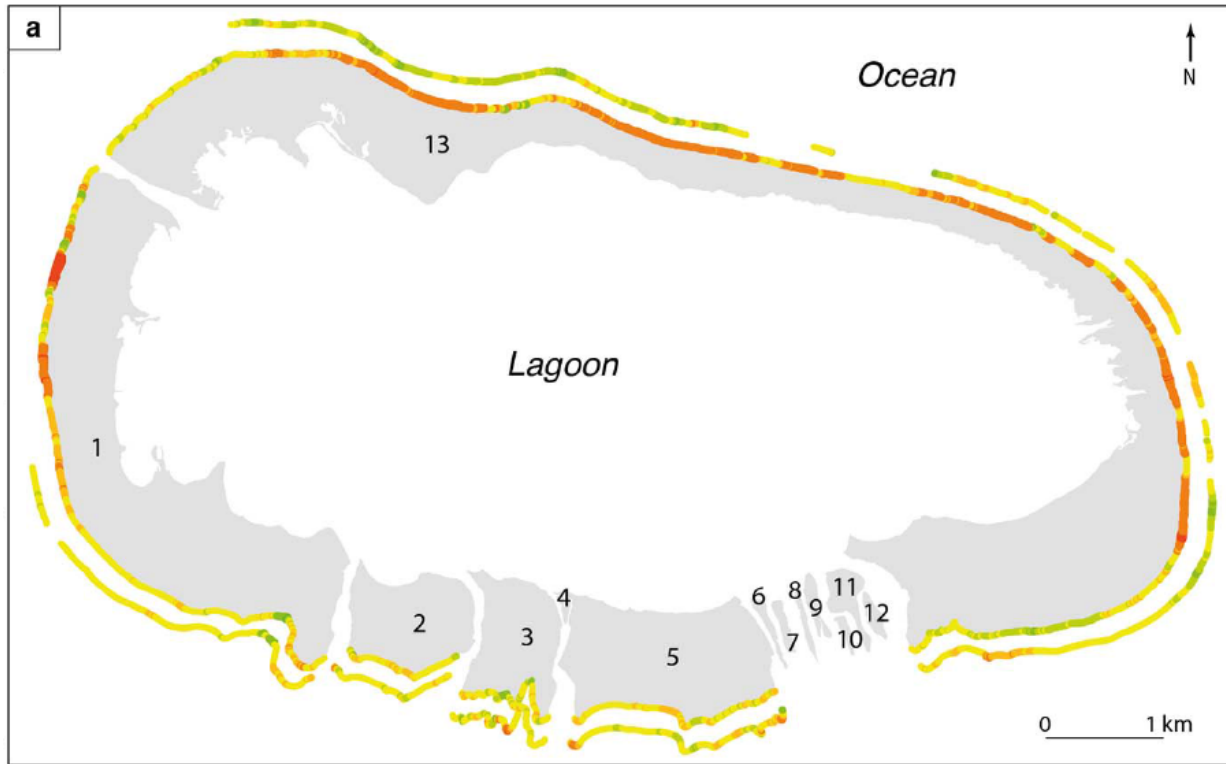


➤ **FANTALA + 1 AN** : poursuite des remontées sédimentaires platier-plage

# ➤ ATOLLS DES TUAMOTU: réajustement total observé au bout de 10 ans

Impact des cyclones Reva (mars 1983) et Veena (avril 1983)

Résilience à + 10 ans (1994)

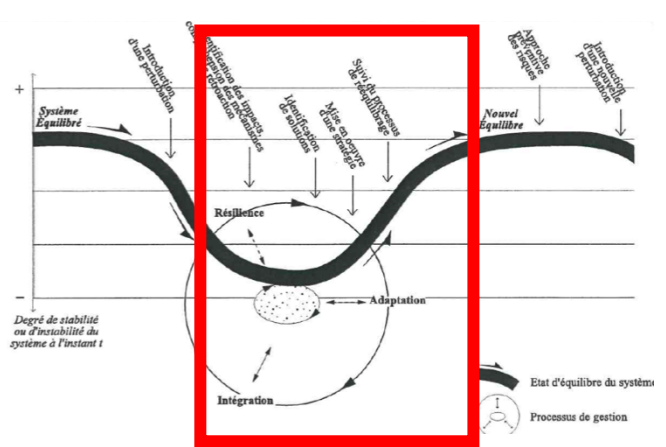


Duvat et al., 2017

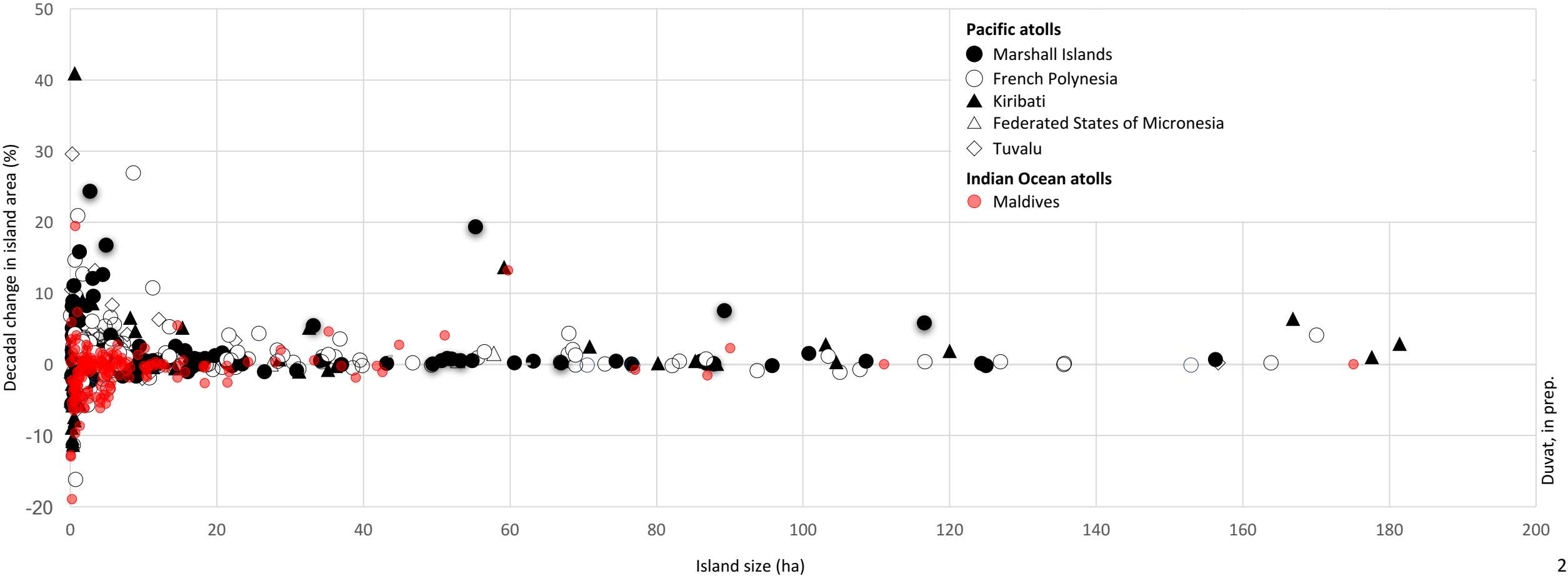
➤ Rodrigues (Kalunde, mars 2003) : 2-3 mois

➤ Très variable, en fonction de nombreux facteurs (hydrodynamisme, sédiments disponibles...)

➤ Encore moins d'études des modalités-temporalités de réajustement que d'études d'impacts



# Résilience des îles basses des atolls à ce stade (1950-60-Actuel)



# Implications pour les sociétés et l'adaptation

Si les systèmes côtiers sont **sensibles** (*sujets à des modifications*) aux impacts des cyclones, **ces impacts sont complexes et ne se résument pas à de l'érosion**

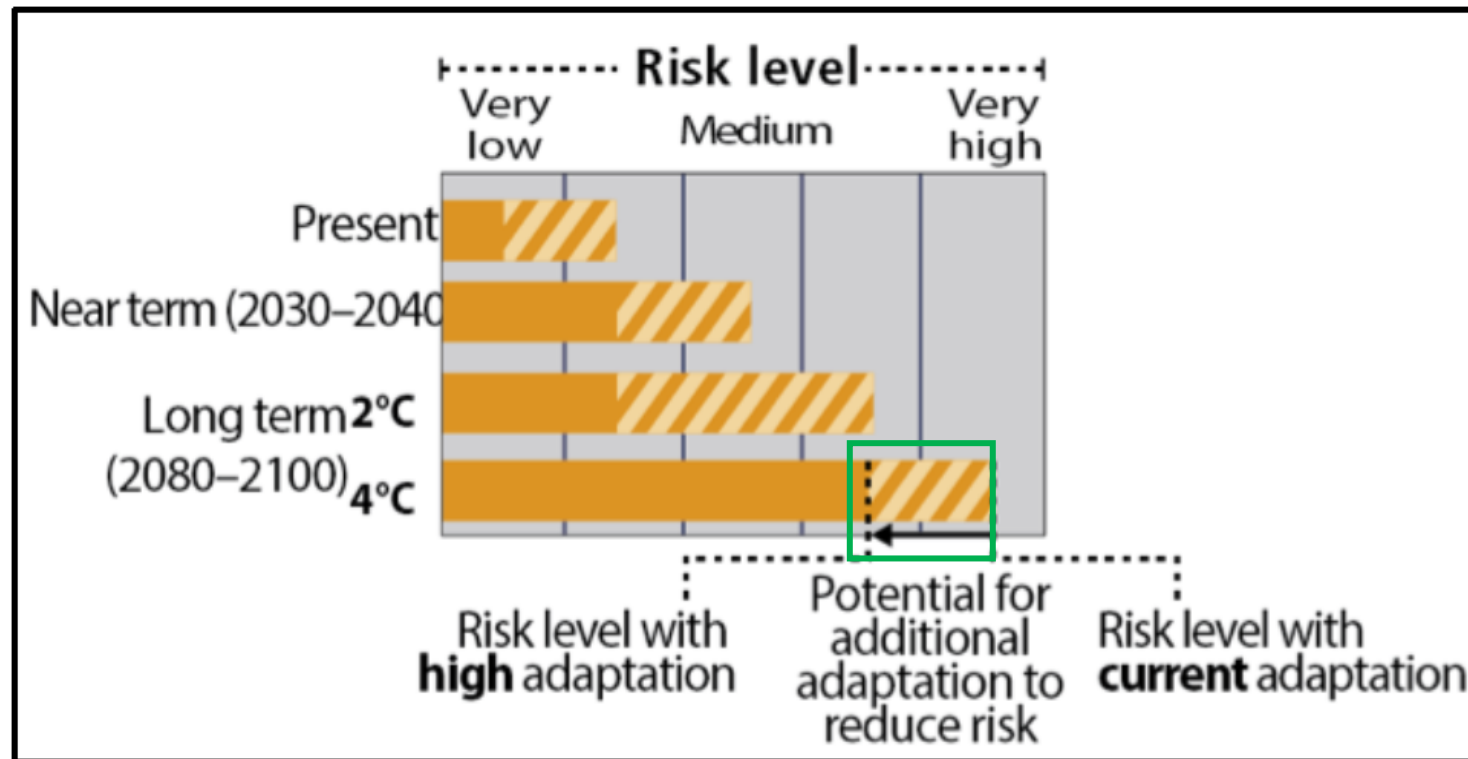
-> **Cyclones = agents constructeurs** qui produisent et transfèrent des sédiments vers les côtes sous certaines conditions :

- Sédiments disponibles (récifaux frais, inertes hérités)
- Zone d'accumulation sédimentaire libre de toute construction : conditions optimales = végétation indigène dense « buffer » + capture de sédiments

- **Facteurs de contrôle majeurs de l'évolution** (*changement de caractéristiques*), **du développement** (*formation de nouvelles plages/îles*), **et de l'ajustement spatial** (*migration*) **et altitudinal** (*exhaussement*) **des systèmes côtiers**  
-> **impacts positifs**
- Certains systèmes côtiers possèdent, au-delà de leur capacité d'absorption des impacts des cyclones, une **capacité de réajustement post-événement**, **qui s'inscrit dans des temporalités variables (2 mois à 10 ans)**
- Il est impératif de connaître la **sensibilité** et la **capacité d'adaptation** des systèmes côtiers, très variable d'une île à l'autre, pour promouvoir des solutions d'adaptation adéquates, i.e. contextualisées (ANR OURAGANS)

## Pertinence des solutions d'adaptation basées sur la nature :

- (1) Contrôler l'urbanisation littorale future
- (2) Relocaliser les constructions existantes exposées inhibitrices de la résilience et de l'adaptation des systèmes côtiers
- (3) Restaurer/protéger l'éco-morpho-syst. (système plage/récif ou île/récif)



IPCC, AR5