

# Projet CARBODISS (2018-2021)

*Impacts passés et présents du changement climatique sur la dissolution biogénique des carbonates récifaux à Mayotte : Conséquences pour les récifs*

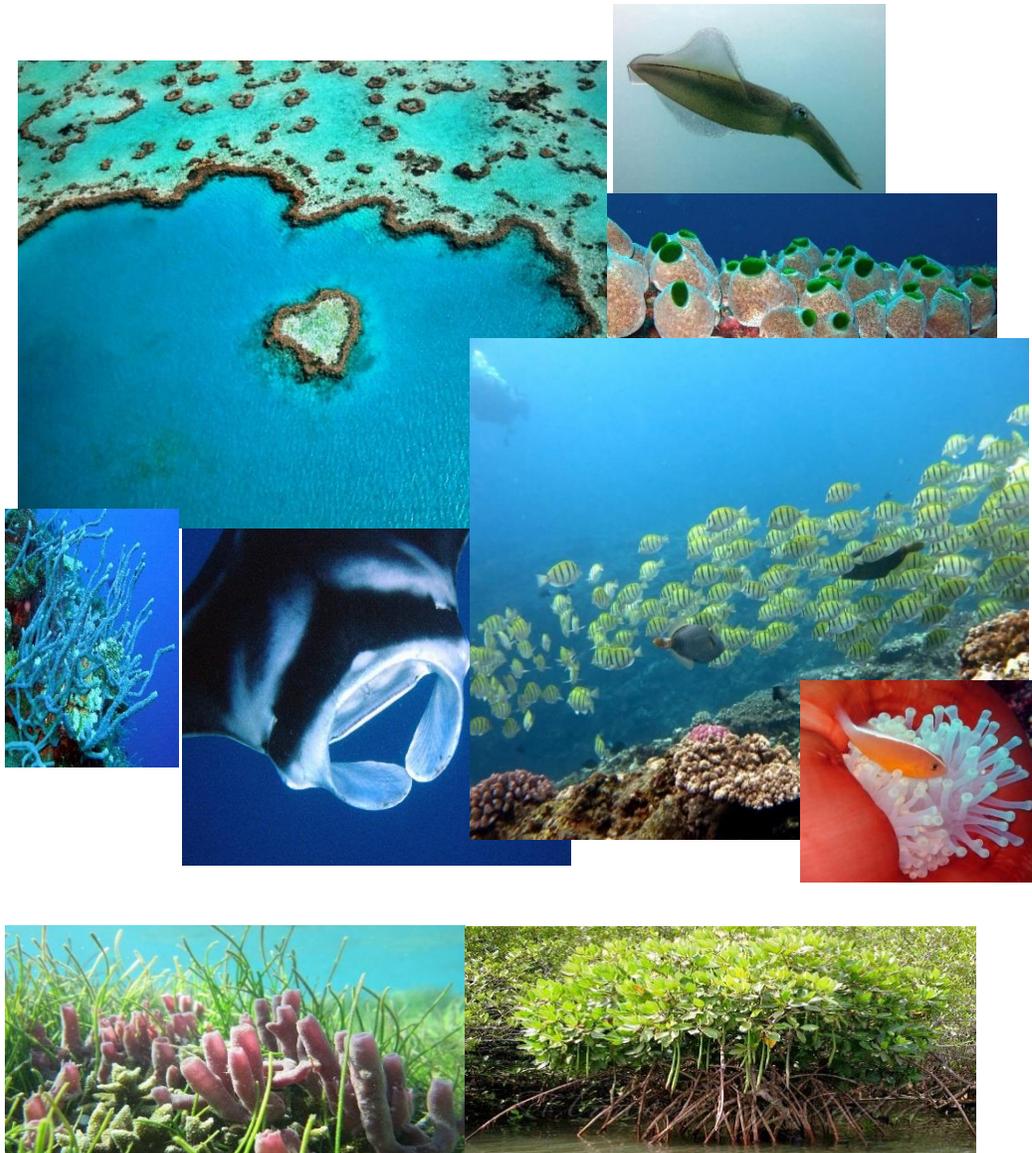
**A. TRIBOLLET**

**Directrice de recherche**



Avec la participation de: P. Cuet (ENTROPIE, U. Réunion), S. Gontharet (LOCEAN, SU), F. Le Cornec (LOCEAN, IRD), L. Bigot (ENTROPIE, U. Réunion), E. Douville (LSCE, CEA), T. Claverie (MARBEC, U. Mayotte), D. Alaguarda (PhD, LOCEAN), A. Abangan (Master 2) et al.

## Récifs coralliens



### Oasis de vie!

- < 0,1% surface des océans
- Hauts lieux de diversité  
**25% biodiversité marine**
- **Barrières naturelles**  
(contre cyclones, érosion...)
- **~1/15 population mondiale**  
dépend de ces systèmes
- **>170 Md \$US/ an**
- **Cycle du Carbone**
- Sources de biomolécules

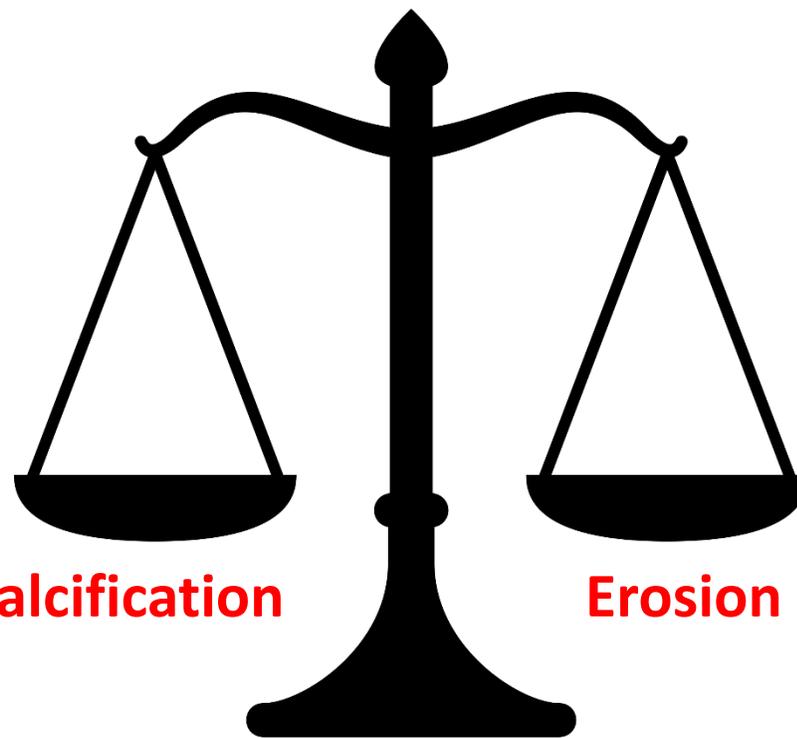
# Le maintien de ces écosystèmes

Balance entre 2 forces principales

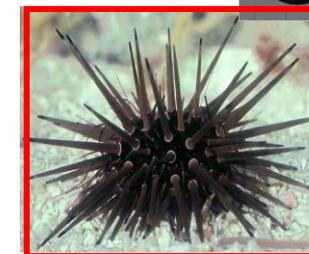
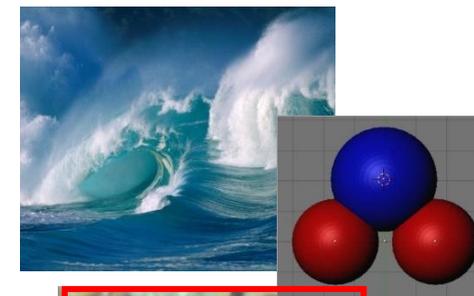
Croissance coraux



**Calcification**

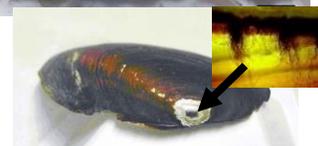
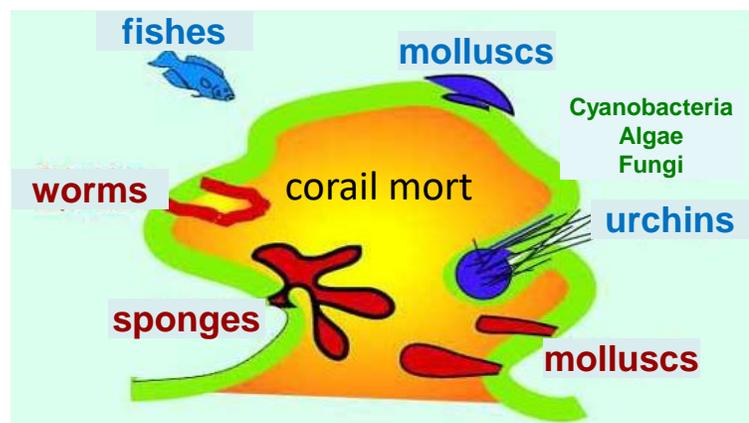


**Erosion**

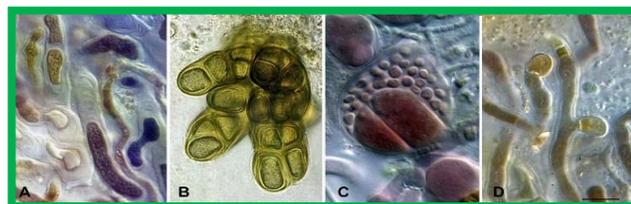


**Bioérosion**

## Les agents de la bioérosion



$\text{CaCO}_3$



Rôles :

Production sédiments / plages

Structuration 3D des récifs

Photosynthèse / chaîne alimentaire

Cycle du  $\text{CaCO}_3$  et des nutriments

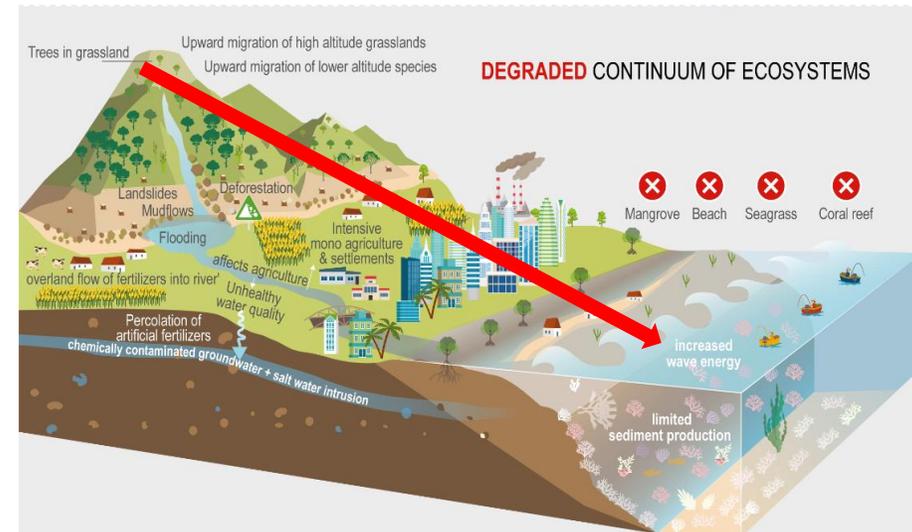
Possible ectosymbiontes dans les coraux vivants....

# Les menaces et projections



**Changement climatique**

*IPCC 6th Ass. Report (fig. 15.4)*



**Activités humaines locales**

# Les menaces et projections

## Rapport SROCC 2019

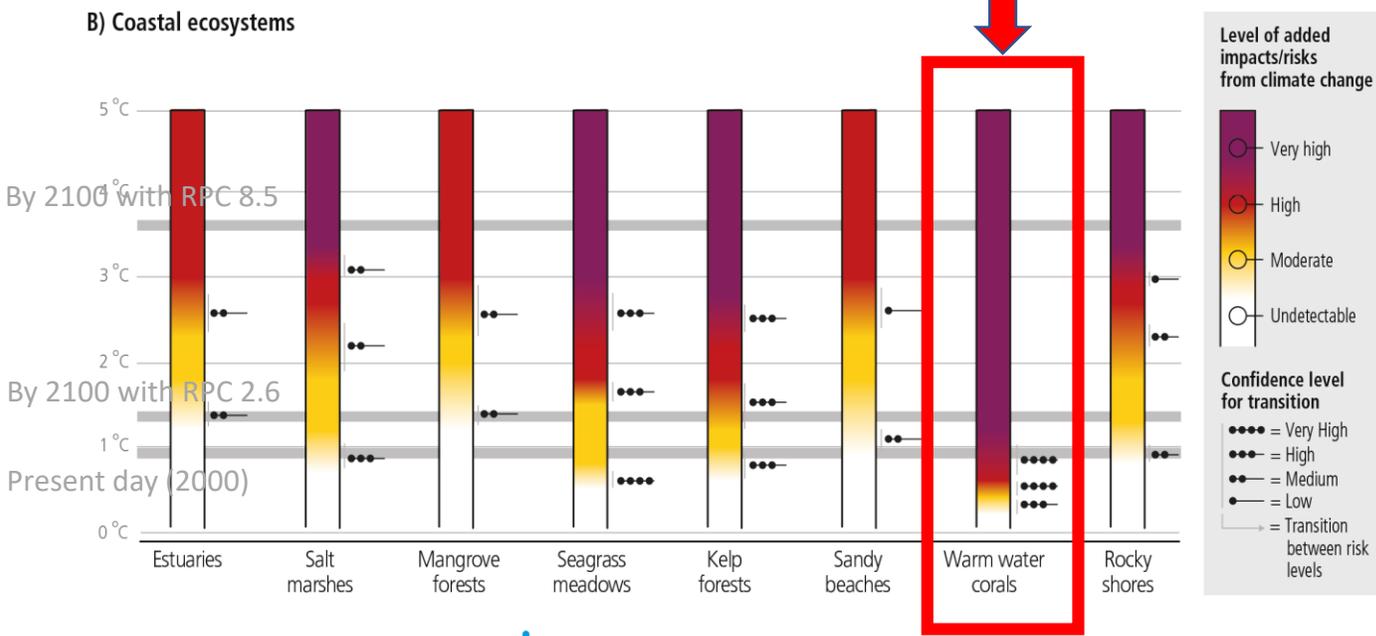
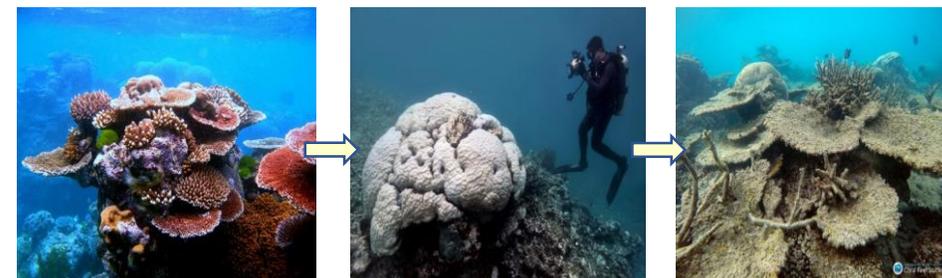
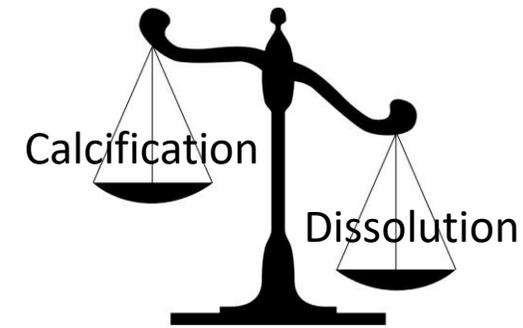


Fig. 5.16 SROCC 2019 (modified)

Blanchissement, maladies, mortalité...



Augmentation dissolution sédiments, bioérosion...



Schönberg et al (2017), Eyre et al. (2018), Tribollet et al. (2019)

### Mais incertitudes sur cycle CaCO<sub>3</sub> :

- Capacités adaptation coraux (rôles ectosymbiontes), résilience récifale... ?
- Effets à long terme des changements sur bioérodeurs, possibles boucles de rétroactions (microbioérosion/dissolution)...

# Effets des principaux forçages à long terme sur la microflore perforante ?

**Microbioérosion: principal processus de dissolution récifale** (Tribollet & Golubic 2005, Schönberg et al. 2017, Tribollet et al. 2019)

A  $\text{pH}_{\text{amb}}$  : 20% de la production  $\text{CaCO}_3$  récifale mondiale.  $\text{a}^{-1}$  est dissoute,  $\rightarrow$  d'ici 2100: 40% à 70%

	Métabolisme	Microbioérosion
<b>Eutrophisation</b>	?	(+) (Carreiro-Silva et al. 2005; Chazottes et al. 2017)
<b>Hypersédimentation</b>	?	(-) (Tribollet & Golubic 2005)
<b>pCO<sub>2</sub> élevée</b>	0 (Tribollet et al. 2006)	(+) (Tribollet et al. 2009, 2019 Reyes et al. 2013)
<b>Intensité lumineuse</b>	(+) (Galindo et al. 2022; Tribollet et al. 2022)	(+) (Tribollet et al. 2022)
<b>T°C ↗</b>	?	(+) (Reyes et al. 2013, 2014)
<b>Facteurs biotiques</b> (brouleurs, macroalgues)	?	(±) (Chazottes et al. 1995; Tribollet & Golubic 2005, Grange et al. 2015)

*In situ*

*In situ*

*Ex situ*

*Ex situ*

*Ex situ*

*In situ*

À court  
terme  
(mois/an)

Effets OA, T°C

*in situ* et à long terme??

## Mayotte, jeune Dpt français dans l'Océan Indien Ouest (2011) :

- en plein **développement** (problèmes d'urbanisation, déforestation, sur-pêche...)
- dans une **zone océanique sous-étudiée** (Canal du Mozambique)
- un **hot spot de biodiversité** marine
- **besoin d'une meilleure gestion du patrimoine marin**



## Objectifs principaux

### 1. *Evolution de l'environnement au cours des dernières décennies (SST, SSS, acidification, métaux traces...) ?*

- Données historiques (ERSST, Météo France, ...), données reconstruites à partir de carottes coralliennes et caractérisation de 3 sites d'étude sélectionnés dans le lagon entre 2018 et 2021

### 2. *Effets de l'acidification couplée à d'autres facteurs (in situ) sur la microbioérosion à l'échelle annuelle et décennale?*

- Expérience *in situ* de quelques mois/années sur 3 sites à Mayotte dont un acidifié naturellement
- Etude de carottes collectées dans 2 genres coralliens (*Diploastrea* sp. et *Porites* sp.) pour le long terme

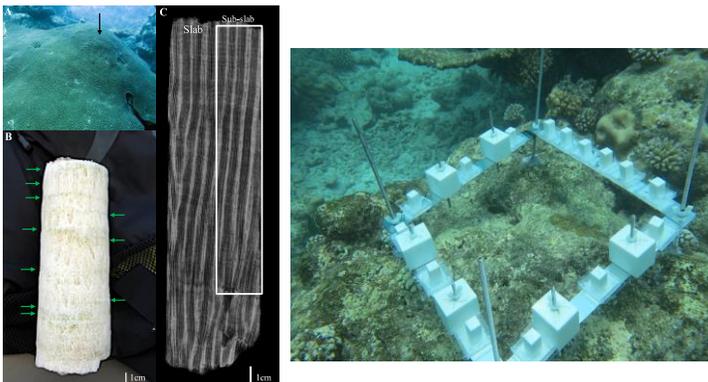
### 3. *Quels sont les interactions microflore perforantes/brouleurs sur 12 mois en fonction du site étudié ?*

- Suivi des brouleurs via des caméras sous-marines au niveau des expériences menées *in situ* (3 sites)



## Sites d'étude :

- **Pente externe près de la passe M'stamboro** (15 m prof.) :  
→ 2 carottes coralliennes (*Diploastrea/Porites*) ss influence océan
- **3 sites contrastés pour l'étude de la variabilité de la microbioérosion** (5 m prof):
  - Barrière interne de la Surprise (nord)
  - Récif frangeant de l'île Blanche, à proximité du Port de commerce Longoni
  - Récif du Cratère de Pamandzi, naturellement acidifié (Petite Terre)
- **Sites supplémentaires : étude impact dvlpt Mayotte sur lagon** (métaux traces)
  - Récif lagonaire Prévoyante (signal du lagon)
  - Récif frangeant plage de Longoni (pollution portuaire)
  - Pente externe et récif du Cratère (Petite Terre)
  - Récif préservé N'Gouja (Sud Kani-Kéli)



## Analyses réalisées (échantillons eau, carottes coralliennes, blocs coraux morts):

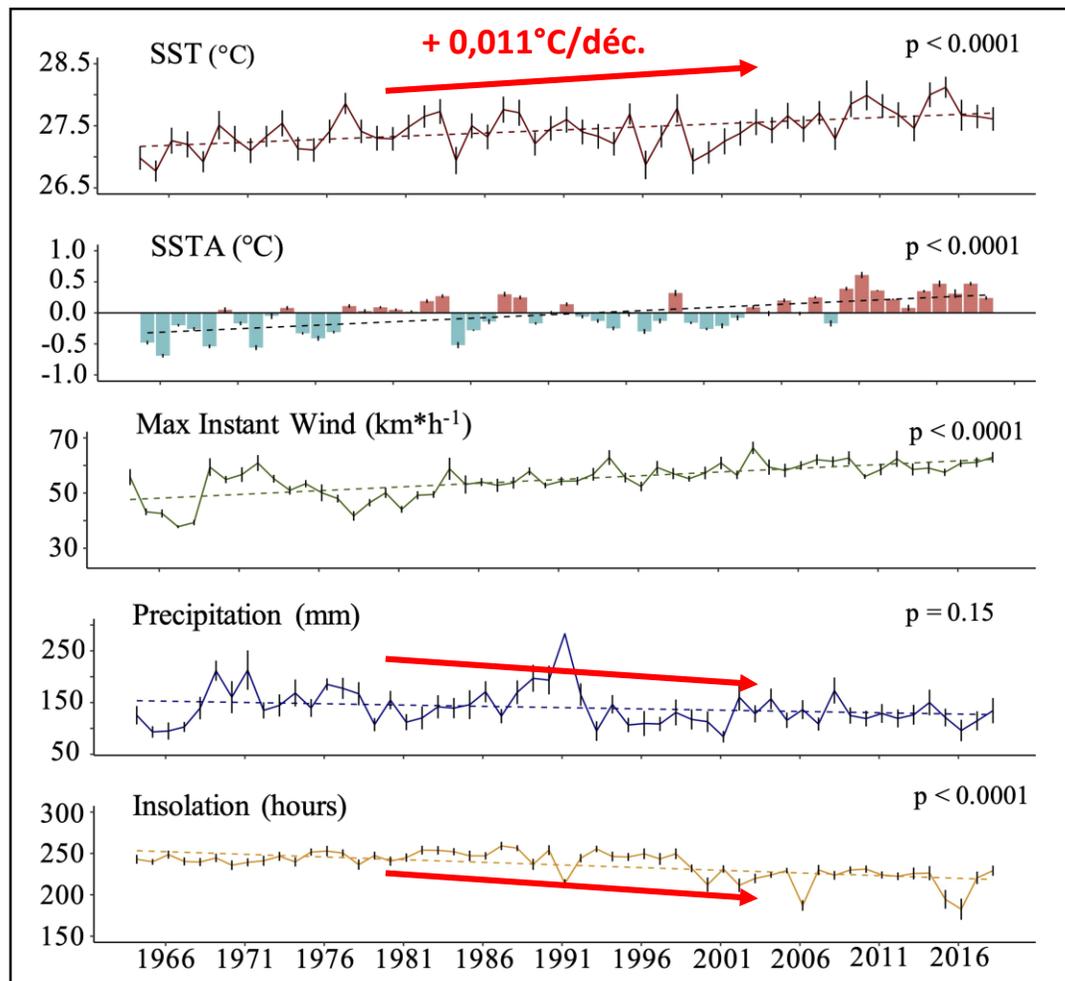
- Analyses de proxys géochimiques et isotopes (notamment du Bore/pH)
- Analyses chimiques (pH/AT, sels nutritifs, chl a) couplées à une CTD (SST, SSS)
- Analyses microbiologiques couplées à des analyses lipidiques (géochimie orga.)
- Analyses d'images (vidéos, et dvlpt méthode basée sur l'IA)

## QUELQUES RESULTATS



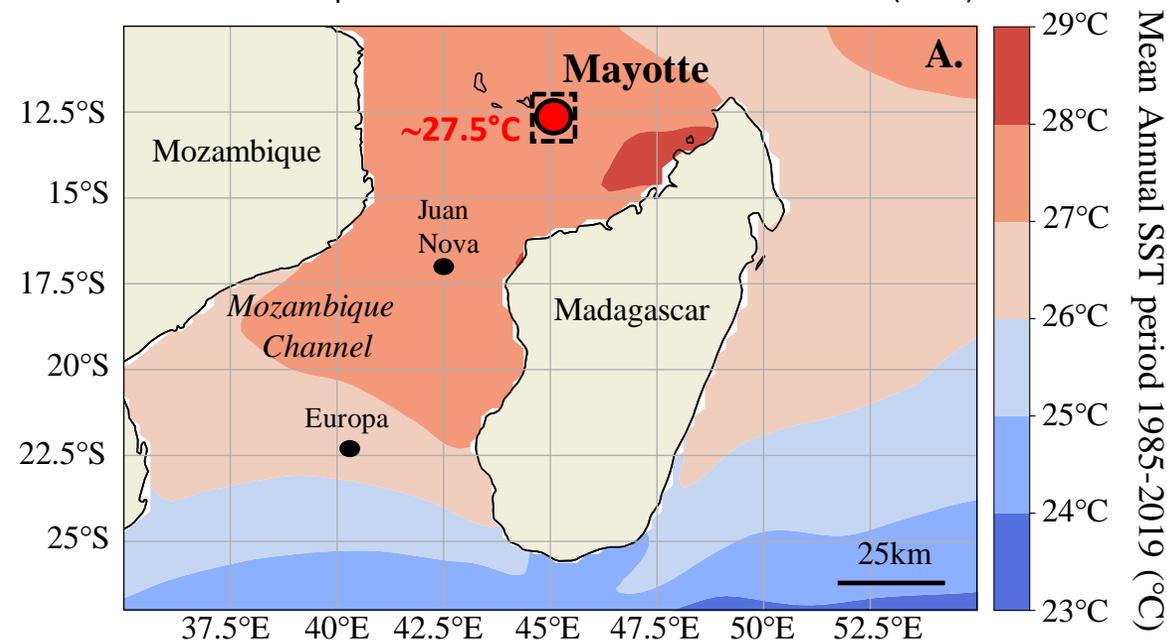
# Variabilité de l'environnement

Evolution de l'environnement à **Mayotte** au cours des 5 dernières décennies (data ERSST, Argo, météo Fr)



Température moyenne (période 1985-2019) dans le **Canal du Mozambique**

Carte obtenue à partir du modèle FFNN-LSCE de Chau et al. (2024)

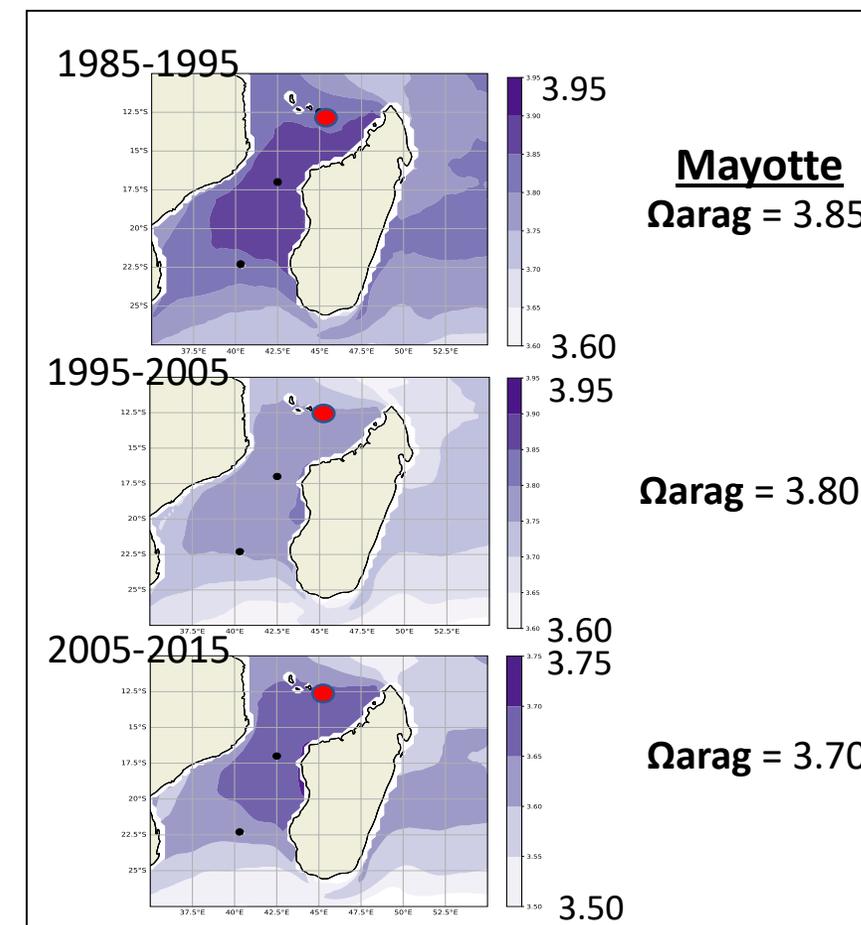
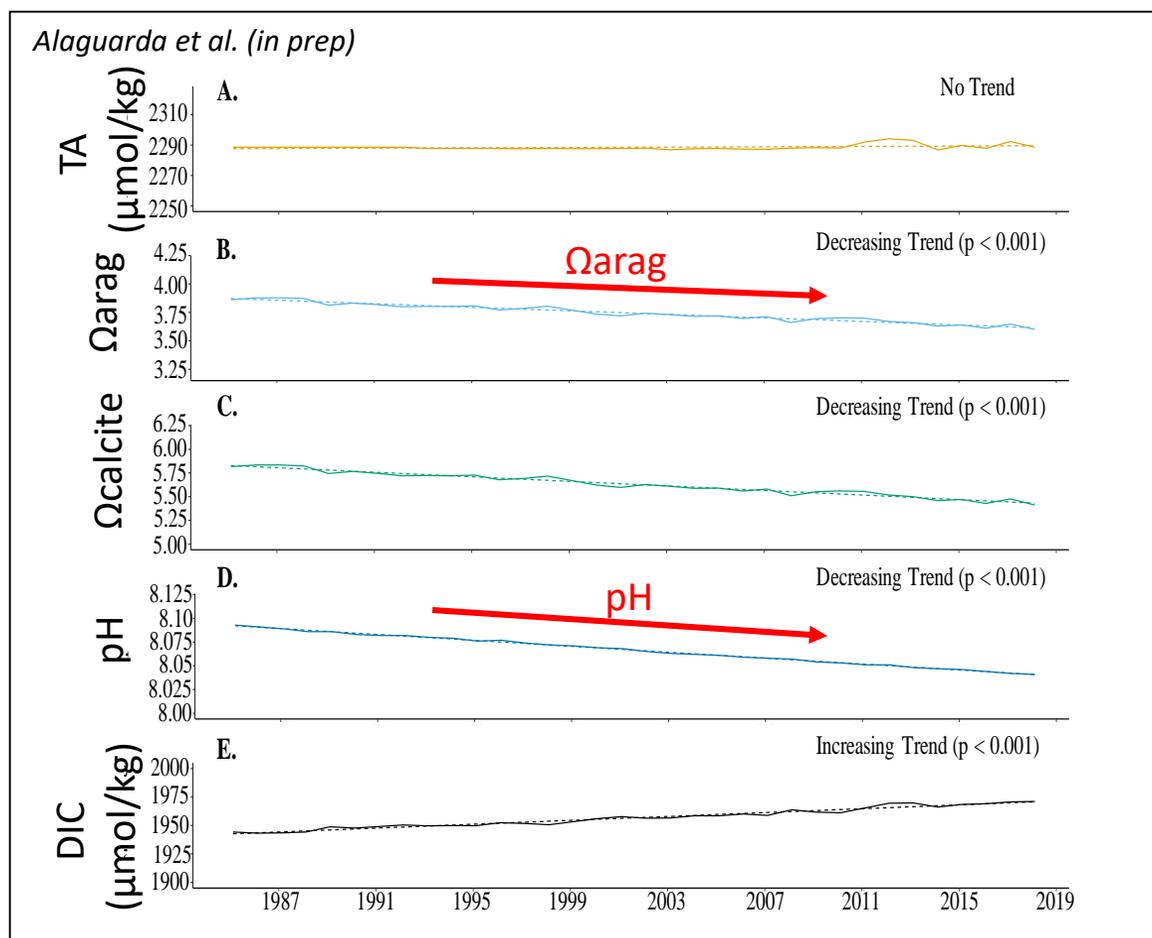


→ Réchauffement eaux Mayotte, MHW, baisse précipitations

## Variabilité de l'environnement

Système des carbonates (avec modèle FFNN-LSCE de *Chau et al. 2024*)  
à **Mayotte** (près Passe M'tsamboro)

Reconstruction (modèle) de l'état saturation  
dans le **Canal Mozambique**



→ Diminution du pH de **-0.016/déc.**, similaire celle mesurée en surface par *Lo Monaco et al. (2021)* dans Canal (-0.017/déc.)

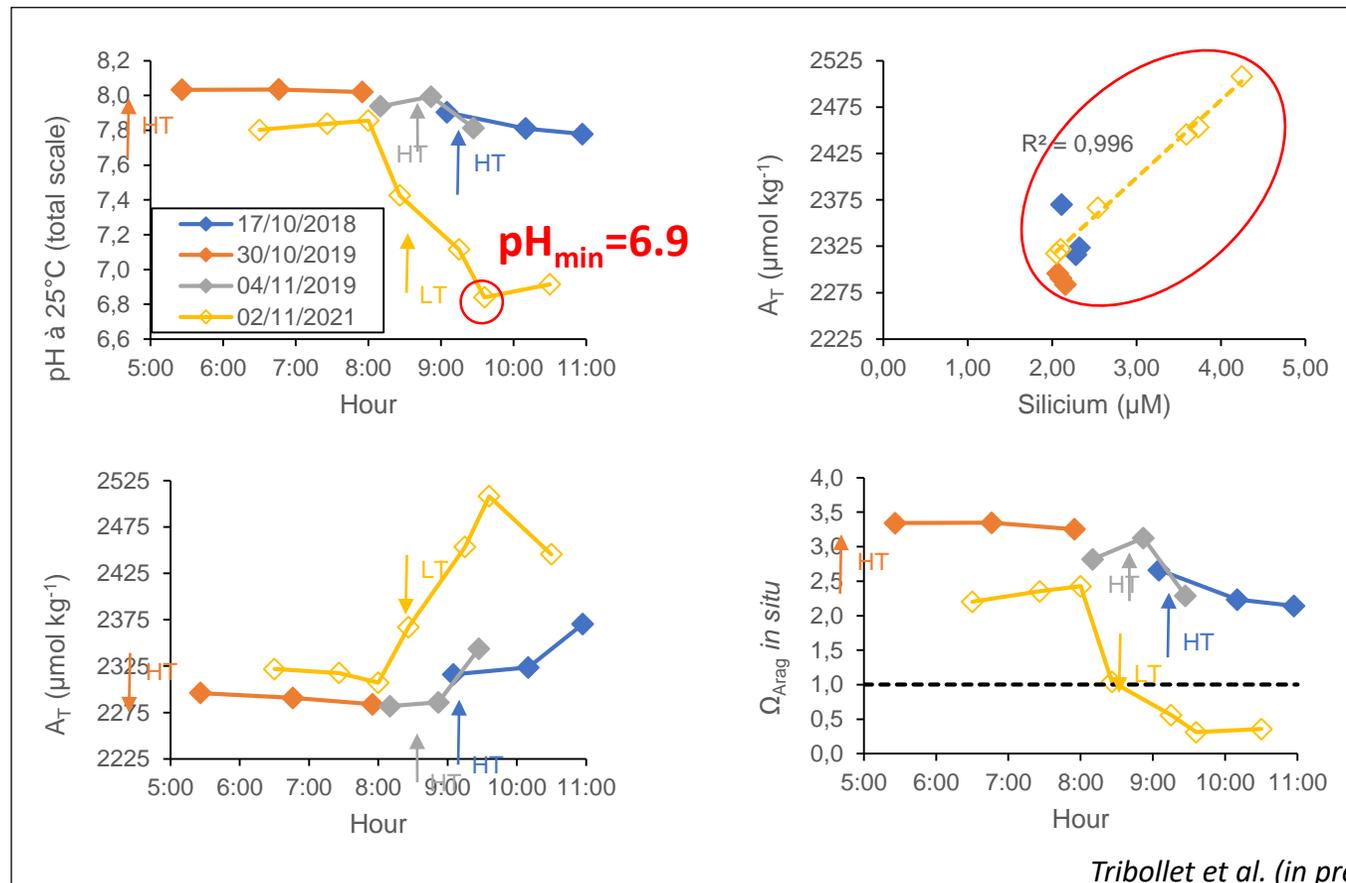
→ Effets à long terme des paramètres du système des carbonates sur la calcification récifale (*Kleypas et al. 1999; Langdon & Atkinson 2005...*)



# Variabilité de l'environnement à l'échelle locale

3 sites d'étude contrastés :  
 Surprise, Ile Blanche, Cratère

Site CRATERE (Pamandzi, Mayotte) ~ 5m prof.



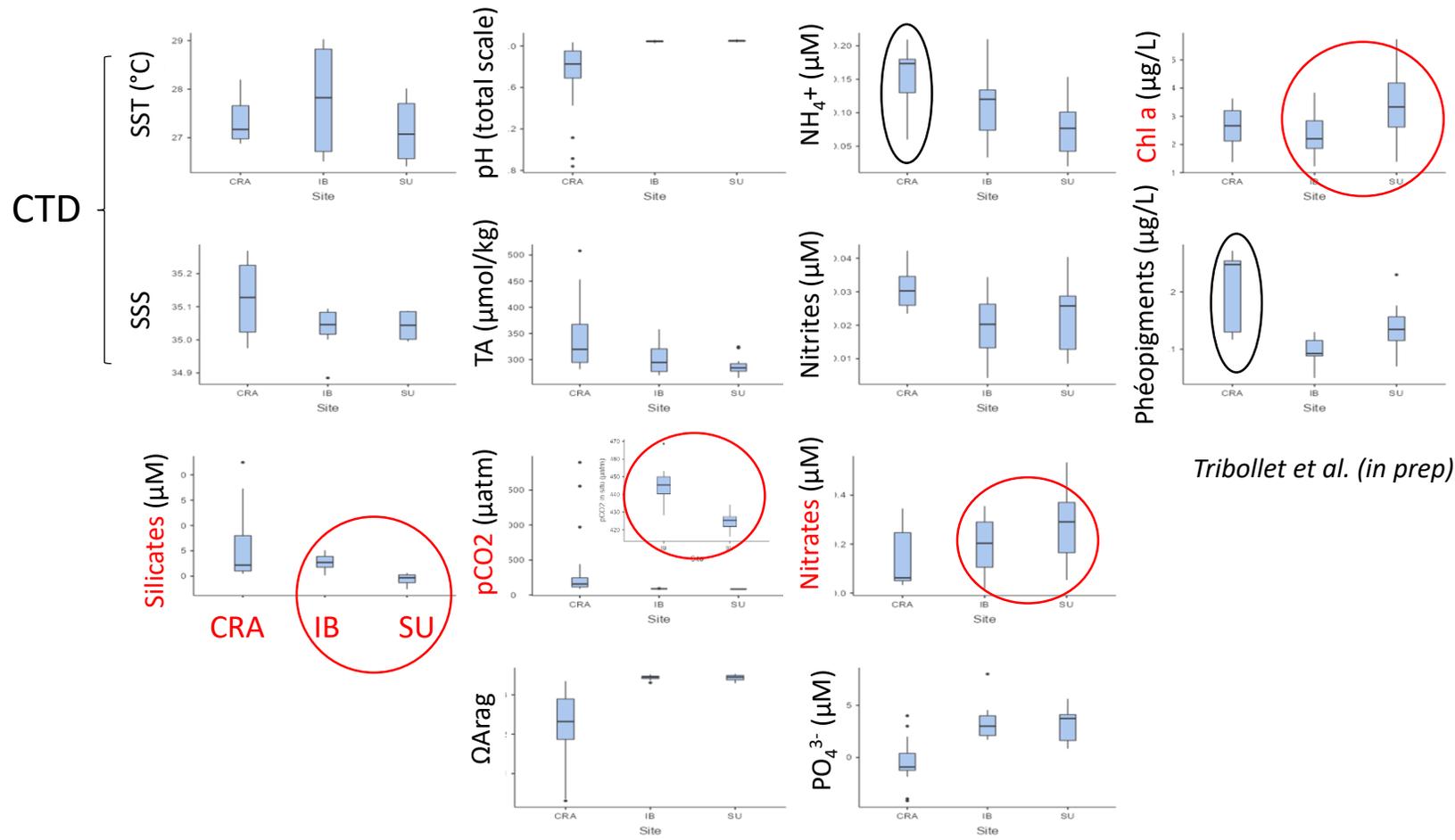
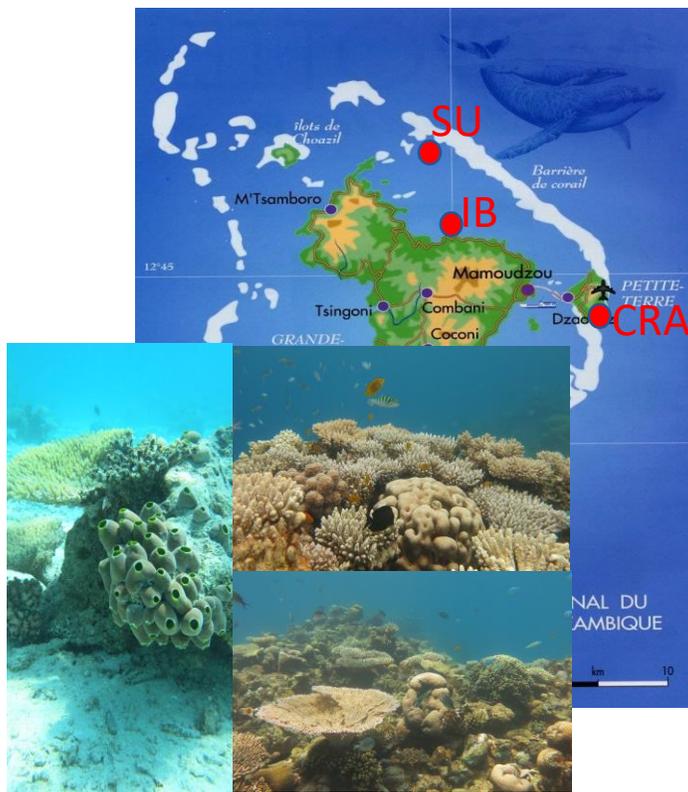
Tribollet et al. (in prep)

→ pH varie de 8.1 à 6.9 en fonction de la marée du fait d'apports eau saumâtre (corr. TA/Si) enrichie en CO<sub>2</sub> (activité volcanique)

# Variabilité de l'environnement à l'échelle locale

Labo chimie  
ENTROPIE & CTD

3 sites d'étude contrastés :  
Surprise, Ile Blanche, Cratère



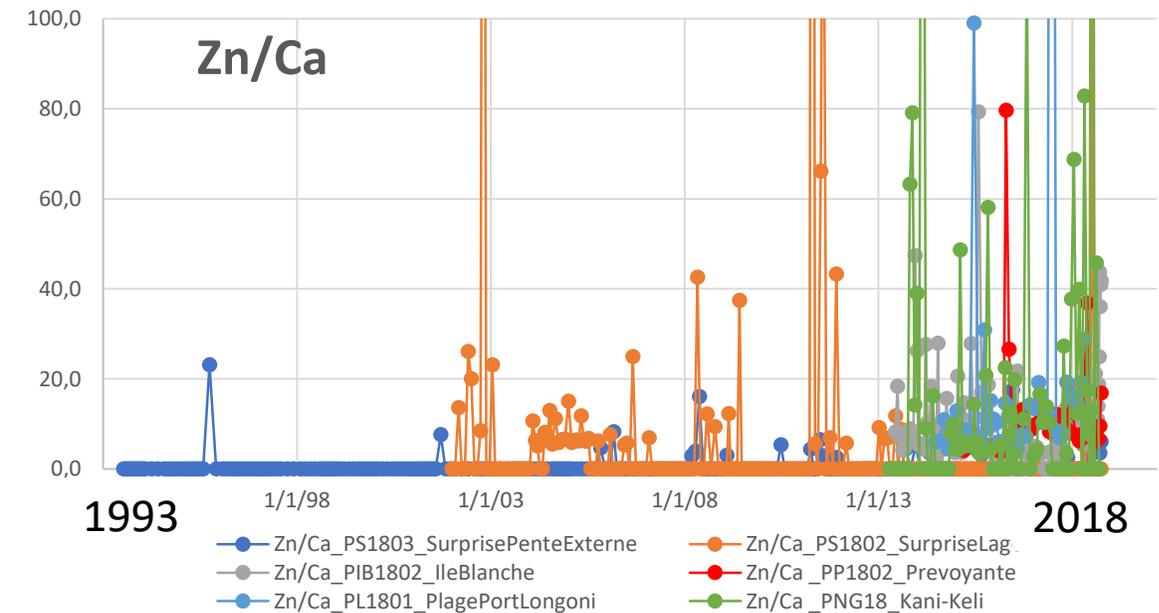
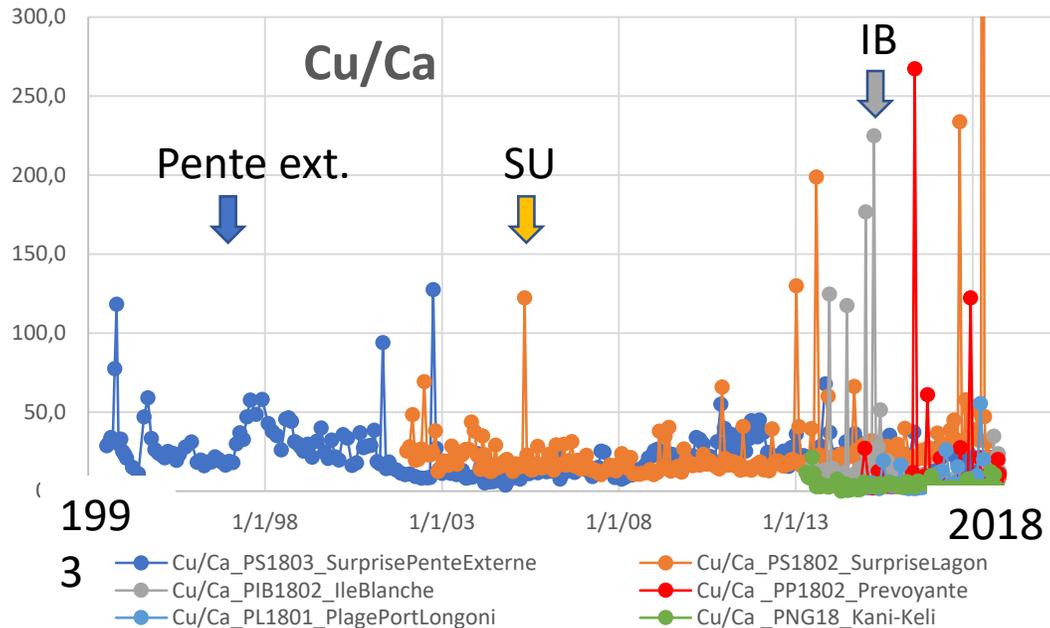
Tribollet et al. (in prep)

- **Récif Ile Blanche (frangeant)**: Influence d'eau douce : [Si] IB > SU, et pCO<sub>2</sub> IB > SU (p < 0.001)
- **Surprise (barrière)**: Chl a et Nitrites > IB (p < 0.001) → influence océanique (filtreurs abondants, ...)
- **Cratère (sans stats)**: Acidifié, [NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] et [Phéopigments] > SU et IB → reminéralisation de MO

} 3 sites  
≠

# Variabilité des métaux traces dans divers récifs

Exemples de résultats à partir de l'analyse géochimique de carottes de *Porites* sp.  
Période d'étude : 1993-2018 (~ 30 ans)



→ Certains sites sont plus impactés par les apports métalliques (récifs frangeants /lagonaires) et différemment selon élément  
→ Effets à long terme des métaux traces combinés à l'acidification et au réchauffement → calcification coraux/bioérosion

(Fabricius 2005; Cherchi et al. 2012; Biscéré et al. 2015, 2017)

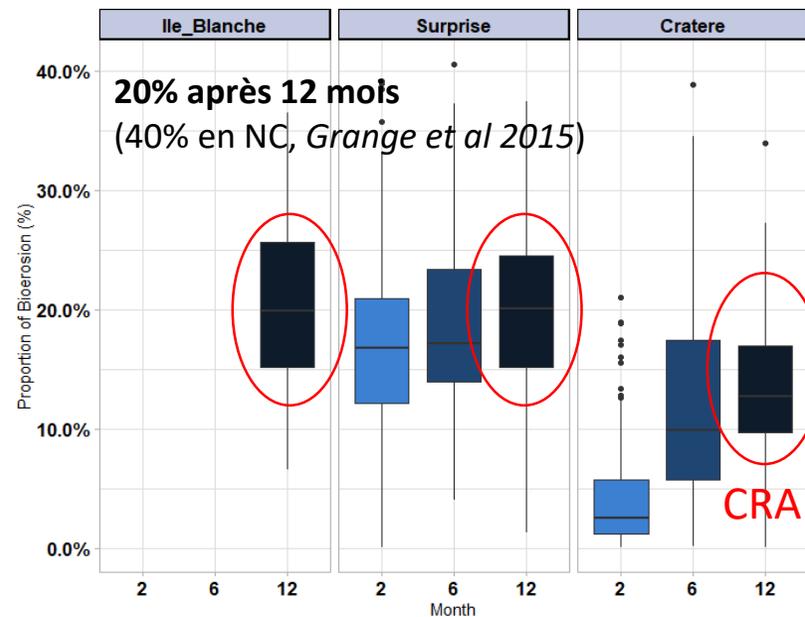
# Effets de l'acidification *in situ* sur la microflore perforante à court terme

3 sites d'étude contrastés :  
SU, IB, CRA

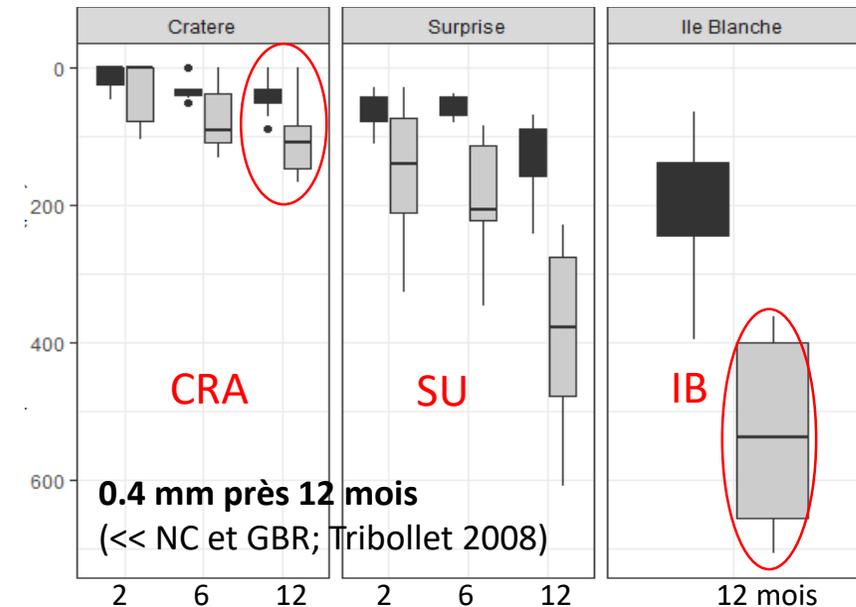
- Exp. : blocs corail mort (*Porites*) ; 2, 6 et 12 mois à la colonisation (SU,CRA), 12 (IB)
- Variables : comp. communautés, prof. pénétration,  $S_{\text{bioérodée}}$ , et taux dissolution
- Dvlpt méthode d'analyse images MEB: Machine learning (M2, A. Abangan)



## Surface de bloc colonisée (%)



## Profondeur de pénétration ( $\mu\text{m}$ )



Tribollet et al. (in prep)

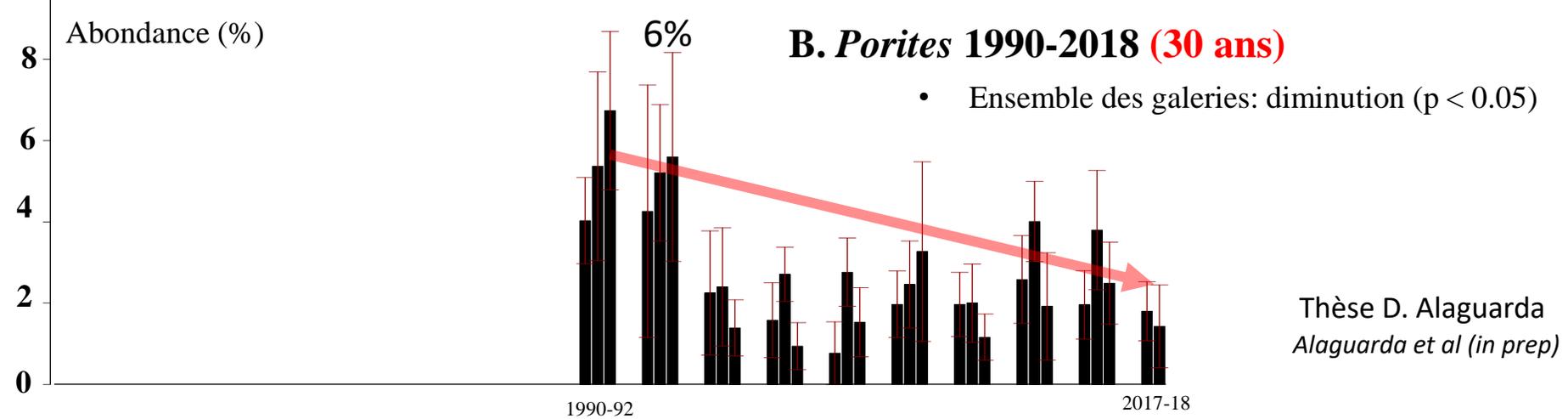
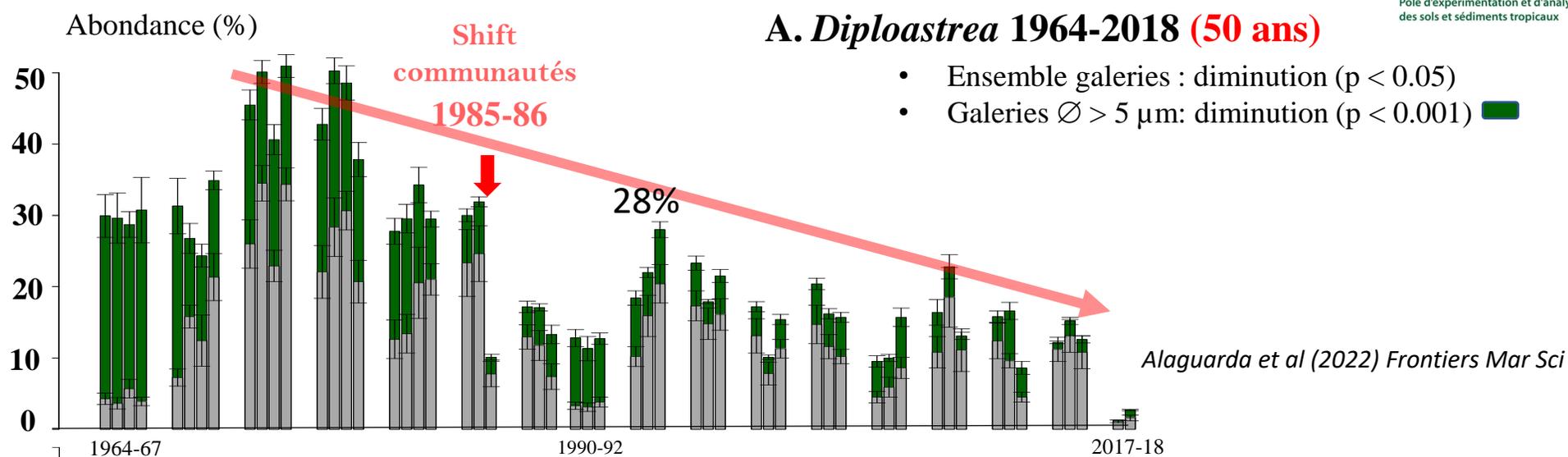
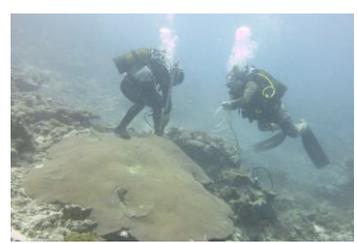
→ Communautés différentes /site, successions comm. et augmentation de la prof. pénétration avec le temps

→ **Effet négatif de l'acidification *in situ* sur tx microbioérosion** (dissolution chimique) **quand extrême ( $\Omega < 1$ , pH = 7 qq h/j)**

# Effets du changement global sur la microflore perforante à long terme



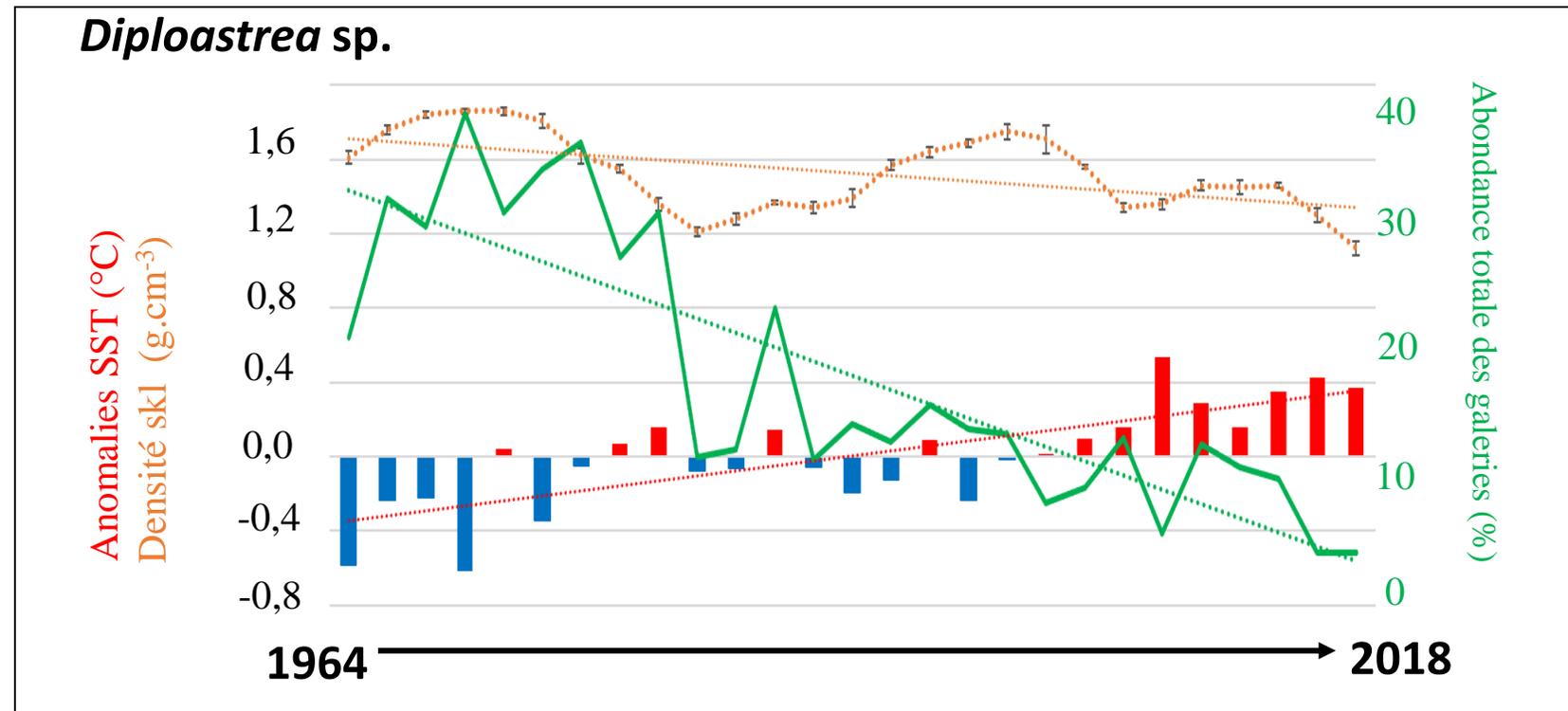
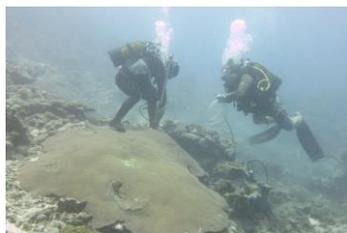
**Pente externe  
M'tsamboro**  
(15m prof. ; océan)



**→ Perte de >90% abondance microflore perforante (*Diplo*) et >60% (*Porites*) en +30 ans avec shift communauté (85-86).**

# Effets du changement global sur la microflore perforante à long terme

Pente externe  
M'tsambaro  
(15m prof. ; océan)



Alaguarda et al (2022) *Frontiers Mar Sci*

- Perte 90% de l'abondance concomitante avec baisse densité du skl *Diploastrea sp.*
- Influence (-) SSTA, vitesse du vent, précipitations dans *Diploastrea sp.* (50 ans)
- Influence (-) de SST et pH<sub>interne</sub> corail sur microflores dans *Porites sp.* (30 ans)
- Diploastrea sp.* régule plus son pH<sub>interne</sub> / *Porites sp.* (investissement énergie ≠)

# CONCLUSIONS



## A Retenir !



- **Accélération de l'acidification dans Canal Mozambique depuis 20 dernières années**
- **Acidification reconstruite (via modèle) des eaux de Mayotte conforme aux observations**
- Certains sites à Mayotte combinent acidification, apports nutritifs et polluants métalliques
- **Effet (-) à court terme de l'acidification (*in situ*) sur tx de microbioérosion quand extrême**
- **Effet (-) changement global (SST, précipitations, pH) sur microflore dans coraux vivants**
- **Effets du changement global variables sur coraux selon le genre considéré (densité, pH<sub>int.</sub>)**



- **Conséquences des shifts de communautés  $\mu$ perforantes sur la résilience des coraux massifs ?**
- **La diminution de l'abondance de la  $\mu$ flore perforante est-elle observée ailleurs qu'à Mayotte ?**
- **Quelle est la variabilité du SST, pH, métaux traces à l'échelle du Canal du Mozambique à long terme et ses effets sur les récifs français (comparaisons Mayotte / Iles Eparses dites 'pristine') ?**

# CARBODISS

Financement initial de ~ 35K € sur 2 ans

+

Subventions du PNMM ~ 30K € sur 2 ans  
 + crédits IRD-LOCEAN ~ 30K € sur 4 ans  
 + bourse Master 2 de la FRB  
 + bourse MRT Thèse (SU, ED129) 3 ans

~ 100K€  
 + 120K€  
**2018-2021**



Chantier Récifs Océan Indien Ouest (LOCEAN)



## Compréhension socio-écosystèmes et NBS pour restauration/mitigation



Projet interdiscip. **FUTURE MAORE REEFS (1,6M€)** → Mayotte <https://futuremaorereefs.org/>  
 2021-2029



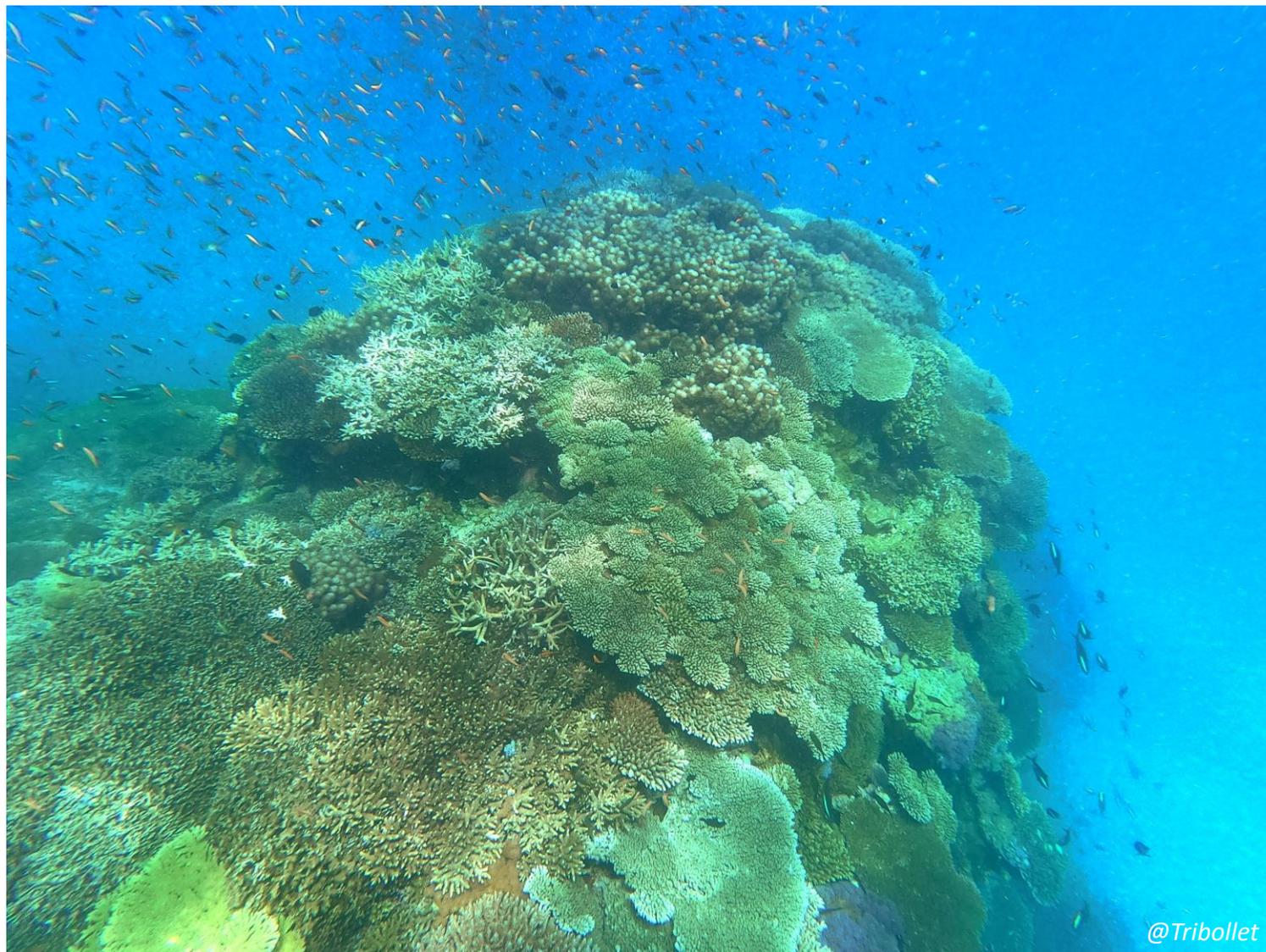
Projet interdiscip. **OA-ME (Japan/USA/Fr, 1M€)** → La Réunion, Mayotte, Madagascar  
 2020-2026



Projet pluridiscip. **COR-RESILIENCE (Fr/It/UK/Germany, 600K€)** → Indo-Pacifique  
 2024-2028 <https://coral-resilience.ipsl.fr/>



Projet pluridiscip. **SO-NATUR-EL (à venir)** → La Réunion



**MERCI DE VOTRE  
ATTENTION**