

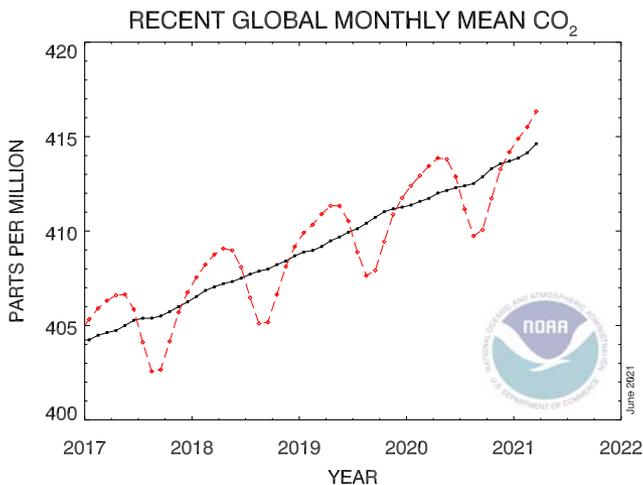
ECOSYSTEM

Impact écosystémique : Les cyanobactéries, séquestreurs de CO₂ et producteurs des « keystone » molécules qui structurent des écosystèmes

Suzanne C. Mills
Maître de conférences, EPHE-PSL

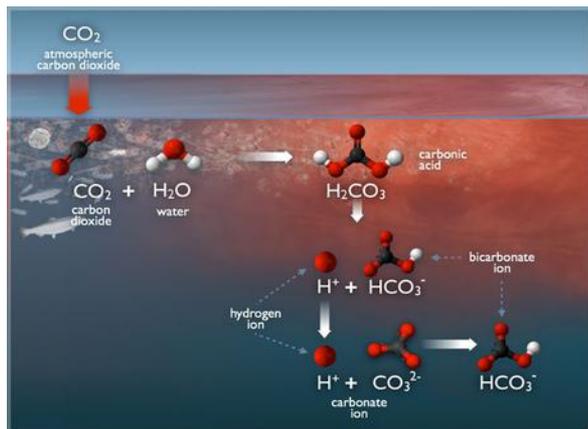
Isabelle Bonnard (MCU, UPVD)
Bernard Banaigs (CR, INSERM)





- Niveau de CO₂ le plus élevé depuis 800 000 ans
- Augmentation des températures de ~0,8°C depuis 1880

Impact du changement climatique sur l'océan



Ocean Carbonate Chemistry System (WHOI)

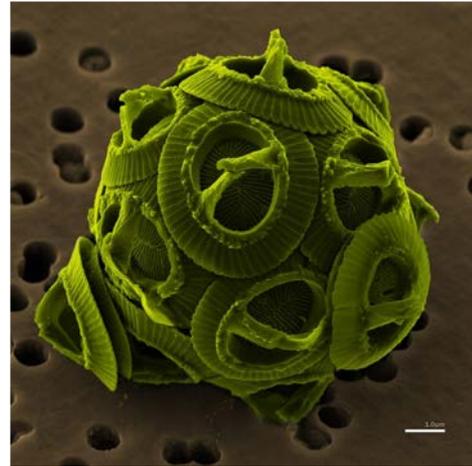
- Absorption de la chaleur → Réchauffement
- Absorption de CO₂ → Augmentation de H⁺
→ Acidification : augmentation de l'acidité de l'eau de mer de 30%



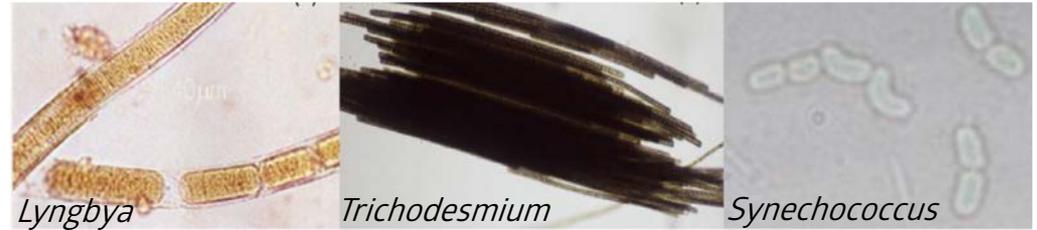


- Les coraux, les coccolithophores et les mollusques diminuent leur taux de calcification de 22 à 39% (Kroeker et al., 2013)
- L'abondance des coraux diminue de 47% (Kroeker et al., 2013)

→ Déclin des organismes calcifiants



- Prolifération et expansion des algues (O'Neil, 2011)



- Augmentation de la biomasse et de la fréquence des efflorescences de cyanobactéries (Ullah et al., 2018)



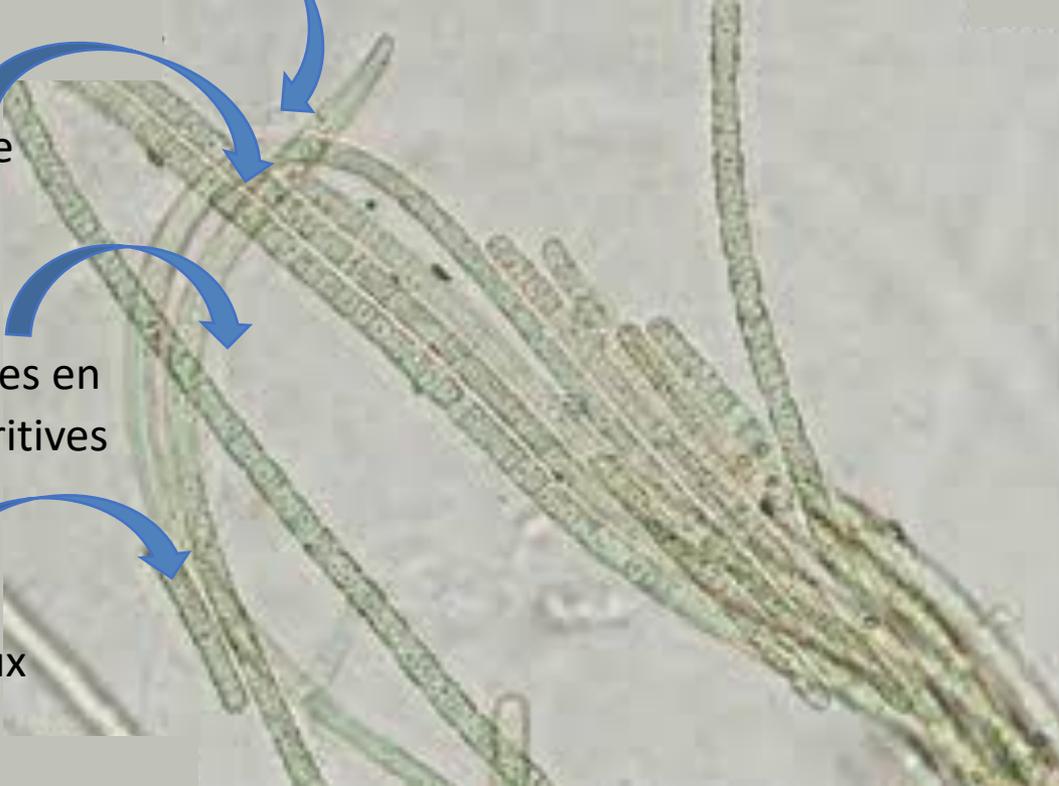
➔ Transition d'une dominance corallienne à une dominance algale (de Bakker et al., 2017)

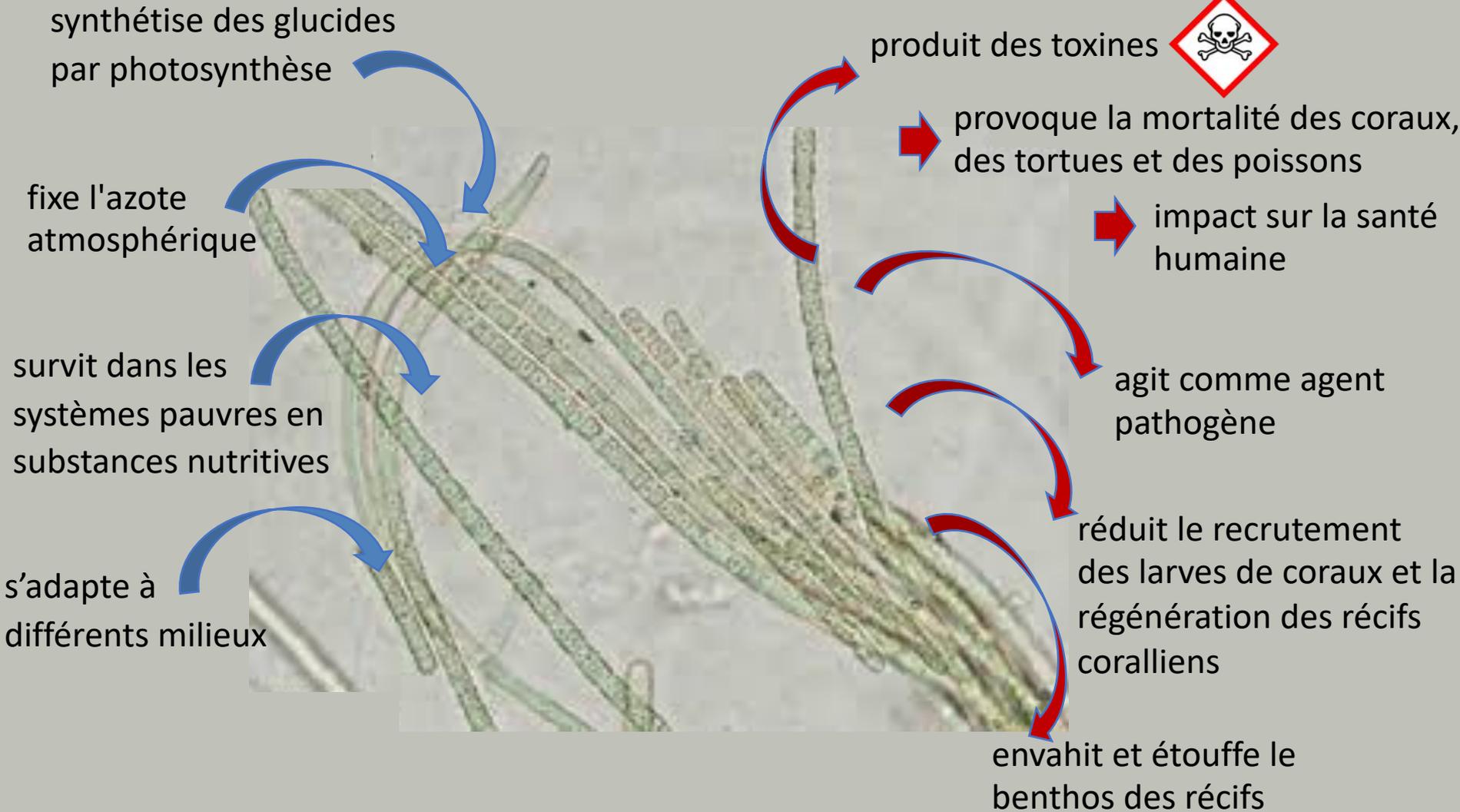
synthétise des glucides
par photosynthèse

fixe l'azote
atmosphérique

survit dans les
systèmes pauvres en
substances nutritives

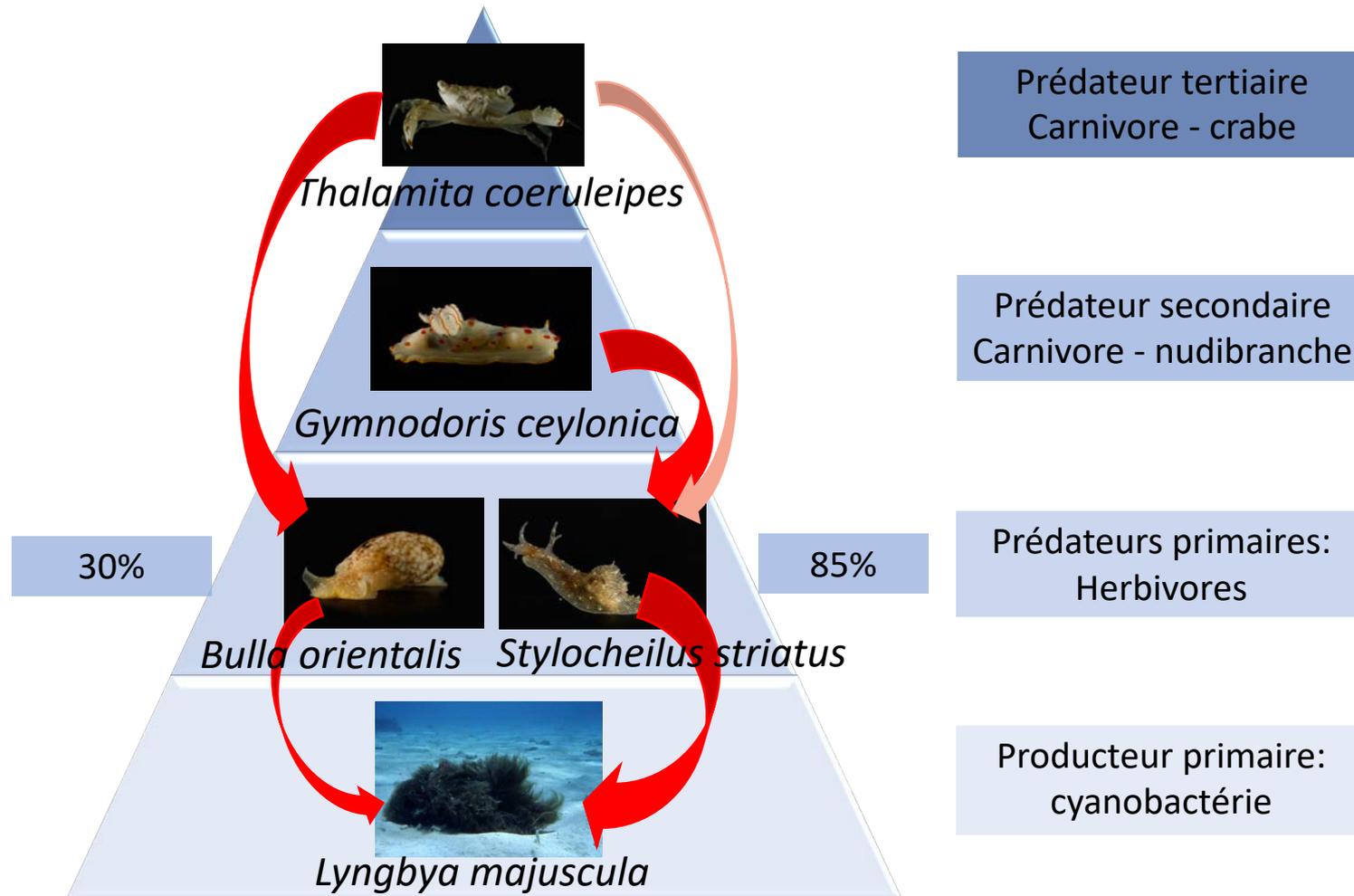
s'adapte à
différents milieux





1. Quel est l'impact du changement climatique sur une cascade trophique, basée sur la cyanobactérie *Lyngbya majuscula* ?
2. Quel est l'impact du changement climatique sur l'interaction corail - cyanobactérie?
3. Quel est le potentiel d'acclimatation développemental chez un herbivore

Cascade trophique



1. Quel est l'impact du changement climatique sur une cascade trophique, basée sur la cyanobactérie *Lyngbya majuscula* ?
2. Quel est l'impact du changement climatique sur l'interaction corail - cyanobactérie?
3. Quel est le potentiel d'acclimatation développemental chez un herbivore

1. Quel est l'impact de l'acidification des océans (OA), de la hausse de température (T) et des deux stress combinés (OAT) sur :

- a) le comportement de tous les partenaires de la chaîne trophique et sur les interactions entre espèces?
- b) les métabolites impliqués dans la chaîne trophique?

Conditions	Temp (°C)	pH
Contrôle (C)	28	8.1
Température (T)	31	8.1
Acidification (OA)	28	7.8
Acidification et température (OAT)	31	7.8

Acclimatation développemental
individuellement

10 jours

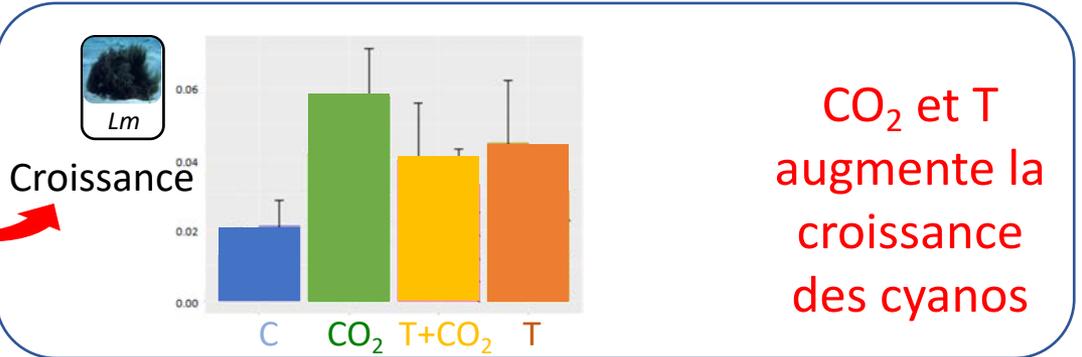
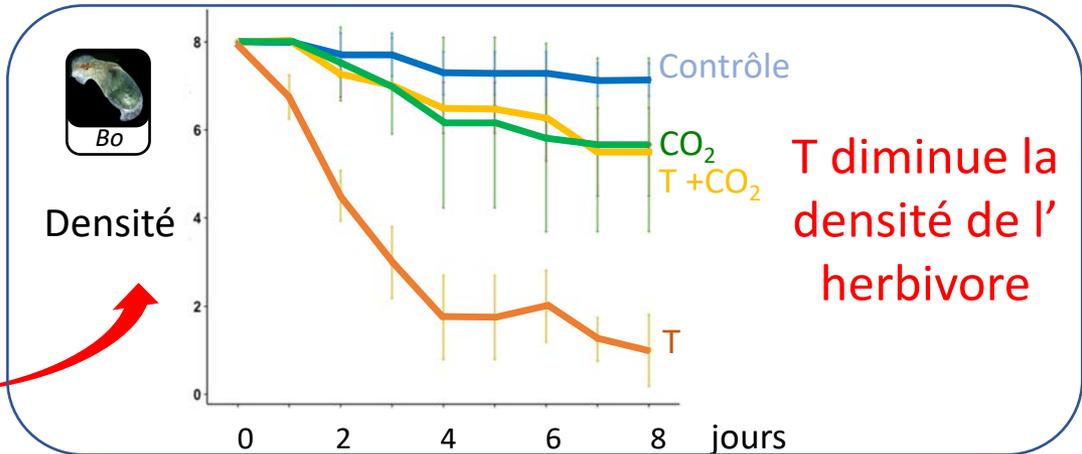
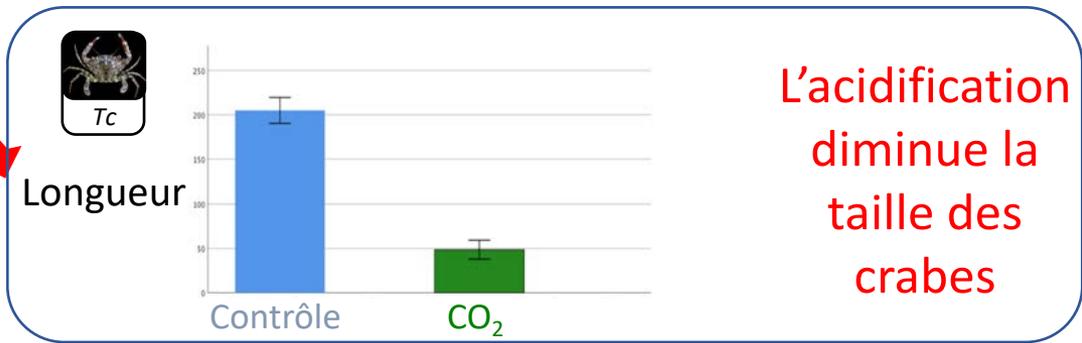
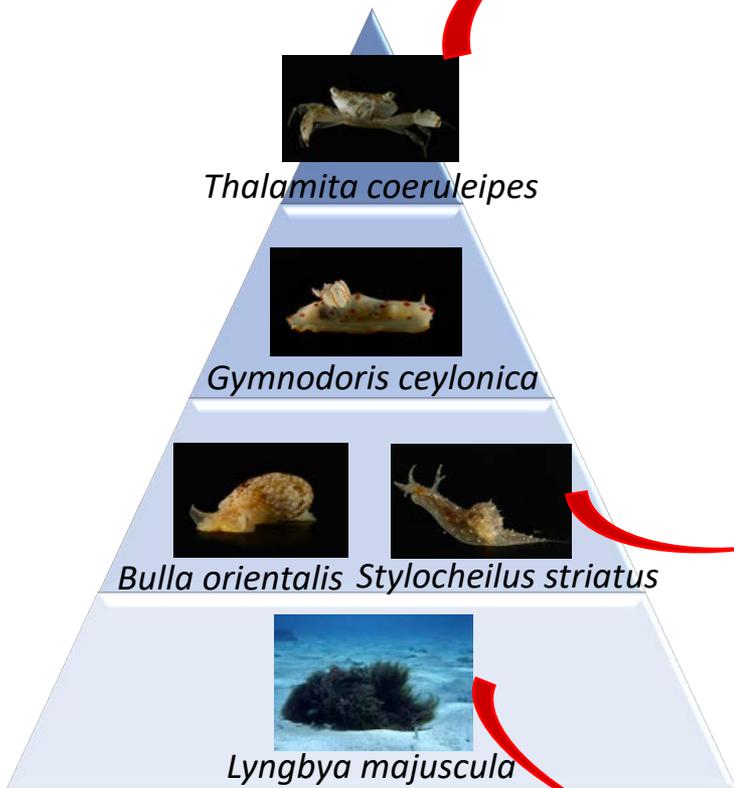


Mis en interaction
Durée de l'expérience

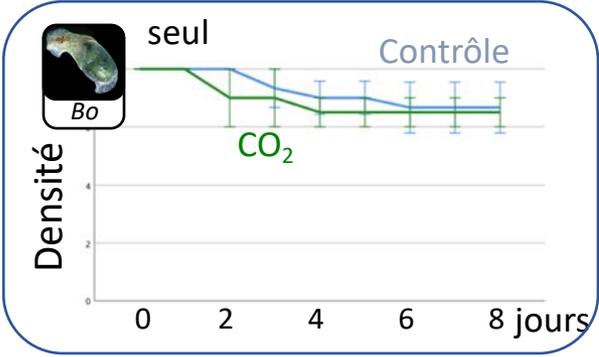
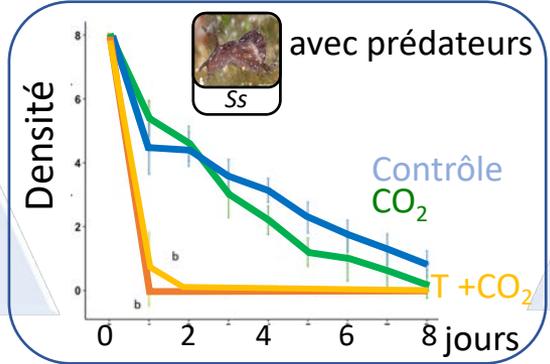
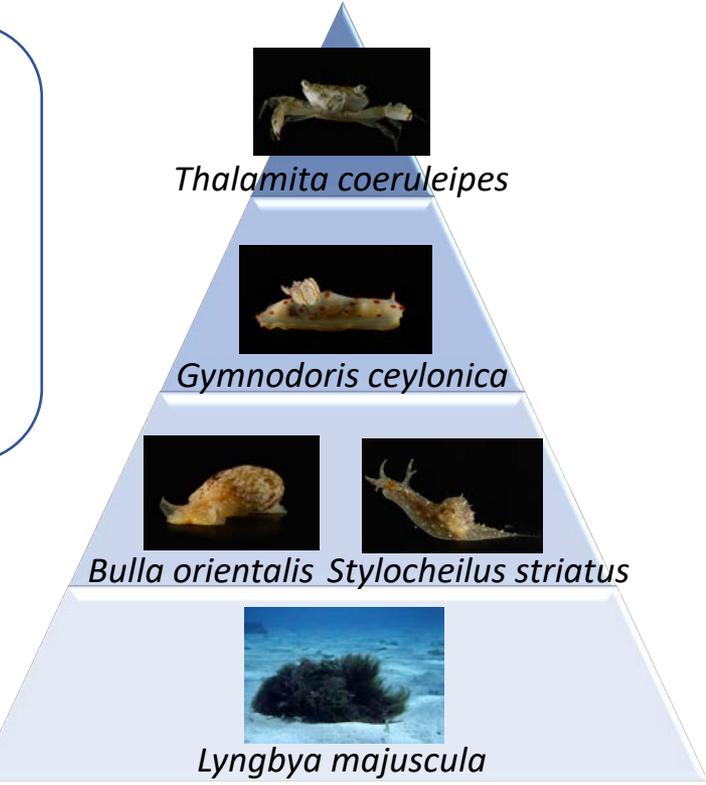
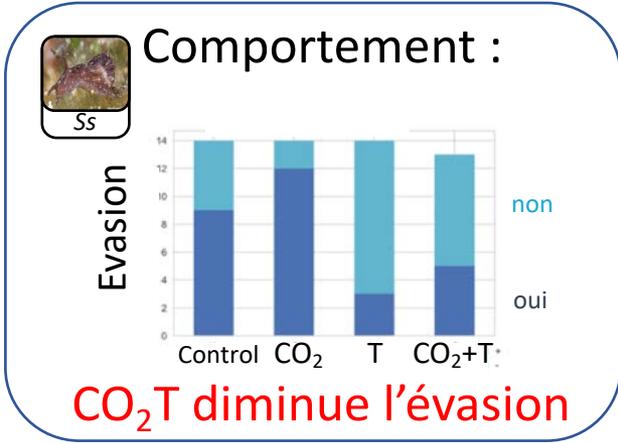
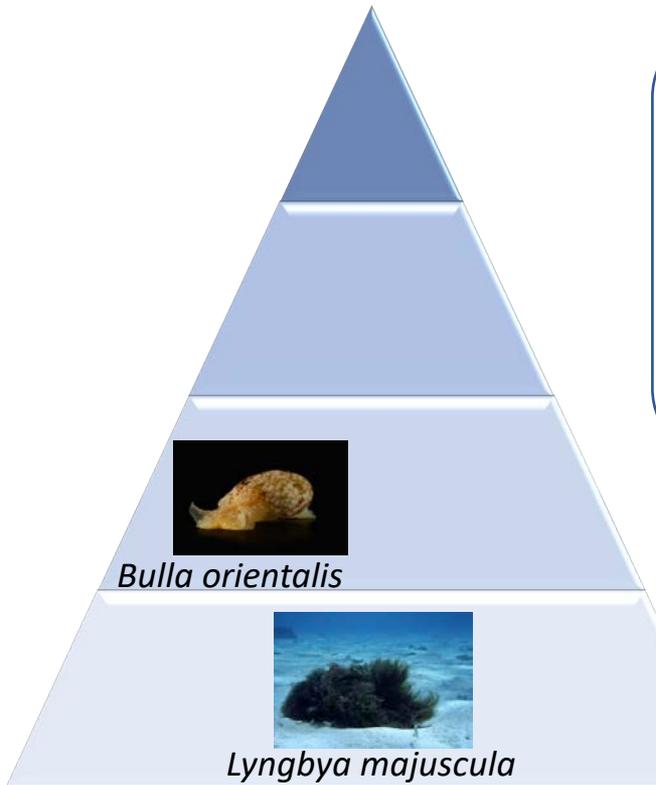
9 jours

1	 <i>Lyngbya majuscula</i>				
2	 <i>L. majuscula</i>	 <i>Stylocheilus striatus</i>	 <i>Bulla orientalis</i>		
3	 <i>L. majuscula</i>	 <i>S. striatus</i>	 <i>B. orientalis</i>	 <i>Gymnodoris ceylonica</i>	
4	 <i>L. majuscula</i>	 <i>S. striatus</i>	 <i>B. orientalis</i>	 <i>G. ceylonica</i>	 <i>Thalassidroma coeruleipes</i>
	50g	x8	x8	x4	x1

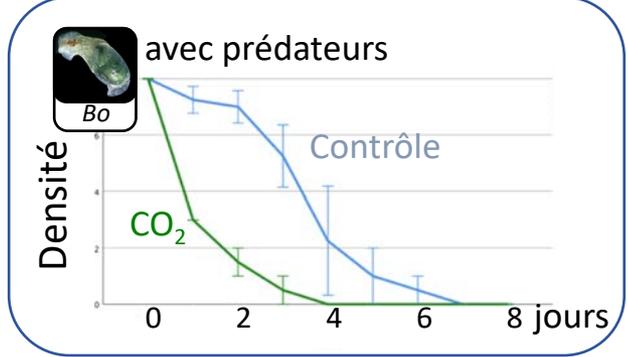
1.a) Survie et croissance des espèces



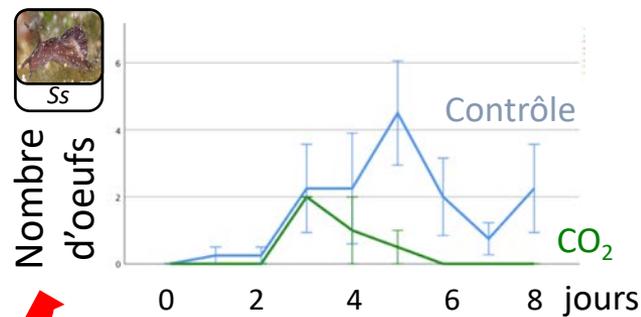
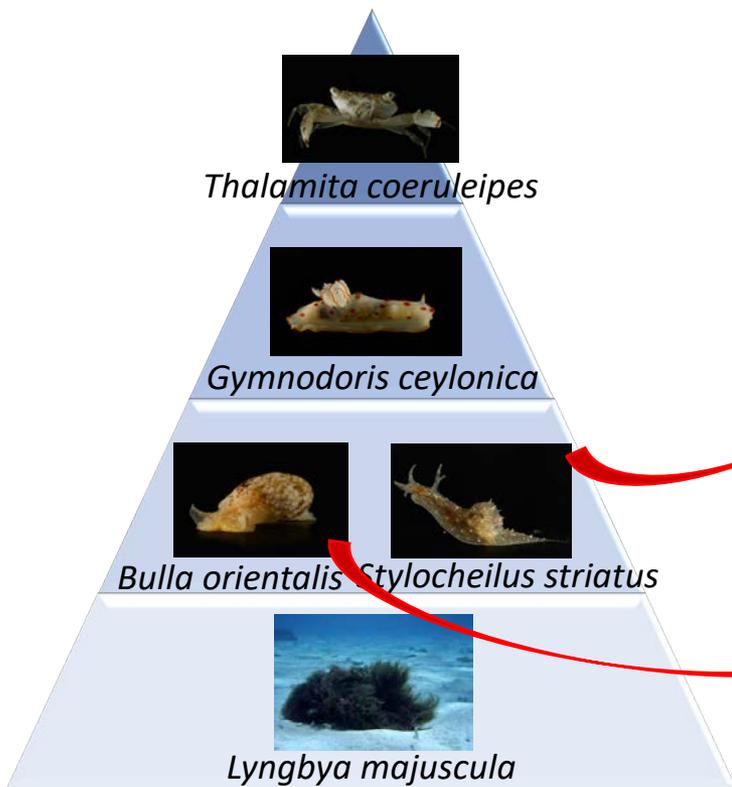
1.a) Interactions entre espèces



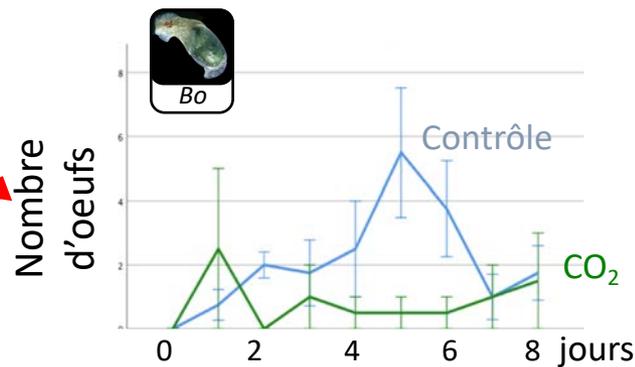
L'acidification augmente la mortalité des herbivores par prédation



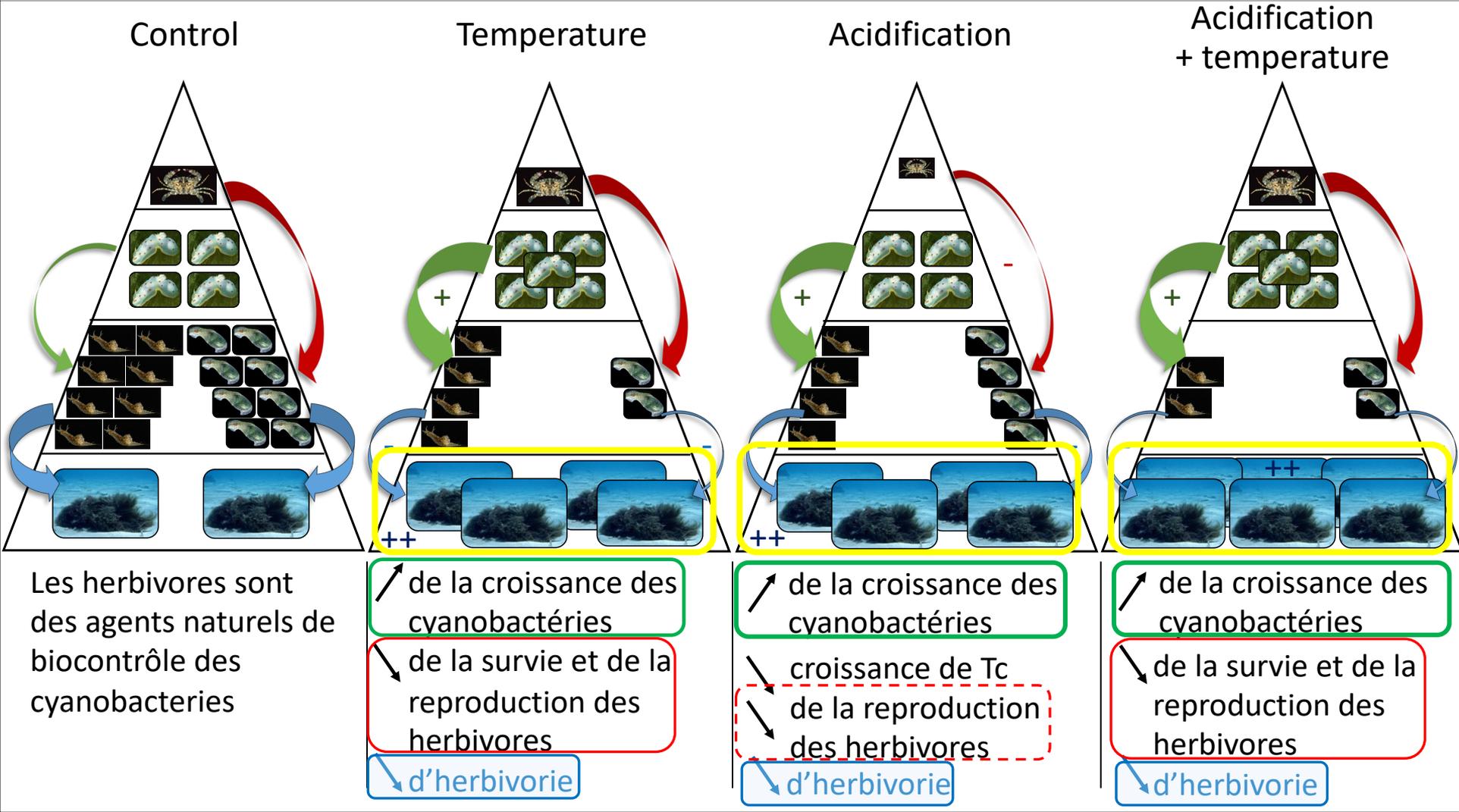
1.a) Reproduction des espèces



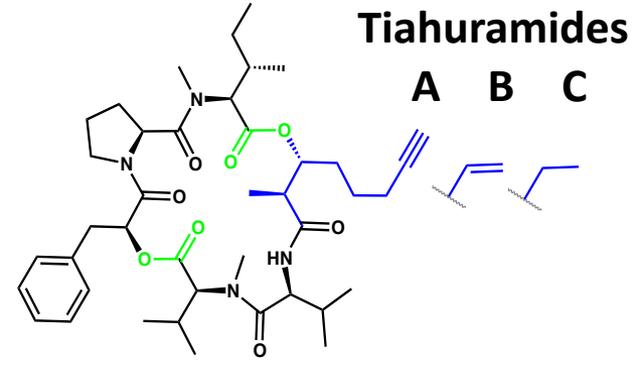
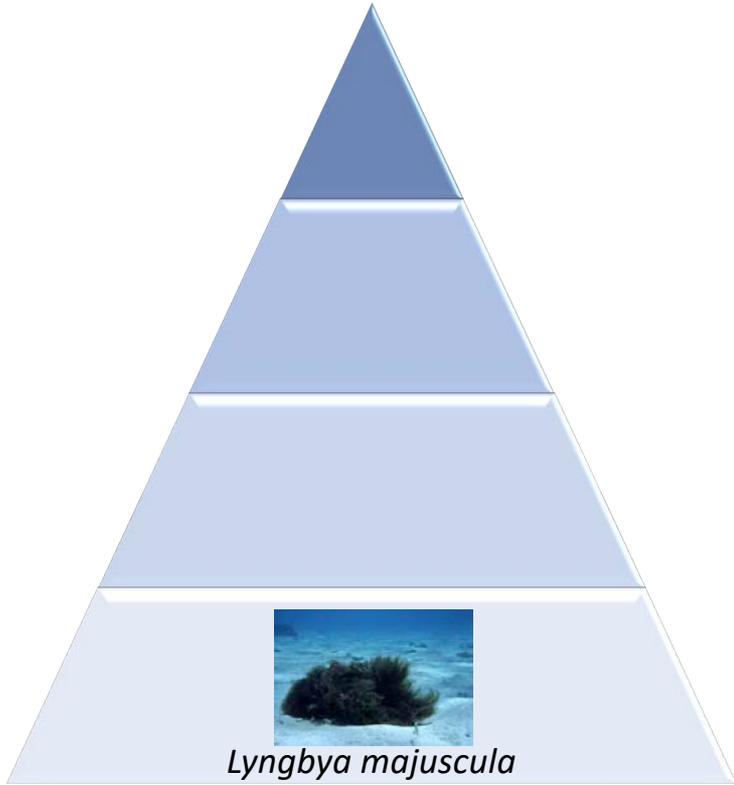
Œufs blancs et morts



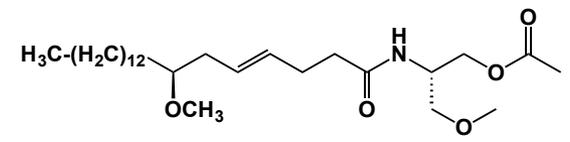
L'acidification diminue la production des œufs par des herbivores



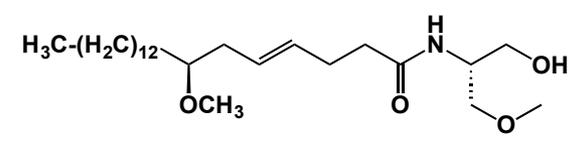
1. b) La cyanobactérie : *Lyngbya majuscula*



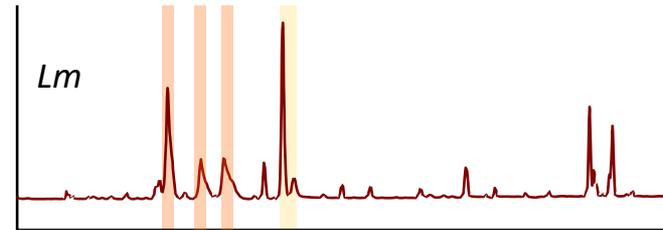
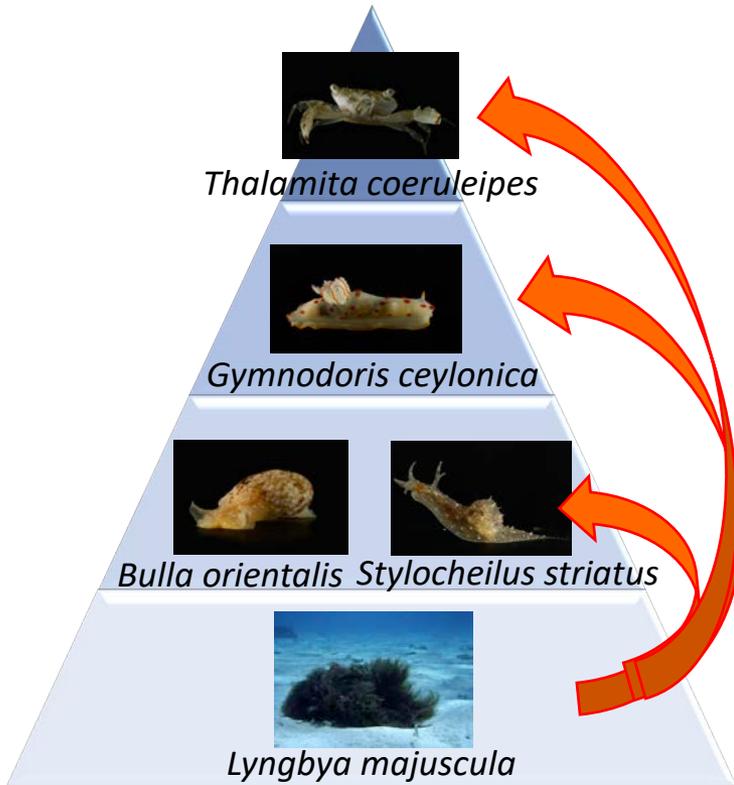
Serinol-derived malyngamide 4a



Serinol-derived malyngamide 4b



Empreintes chimiques des différents organismes

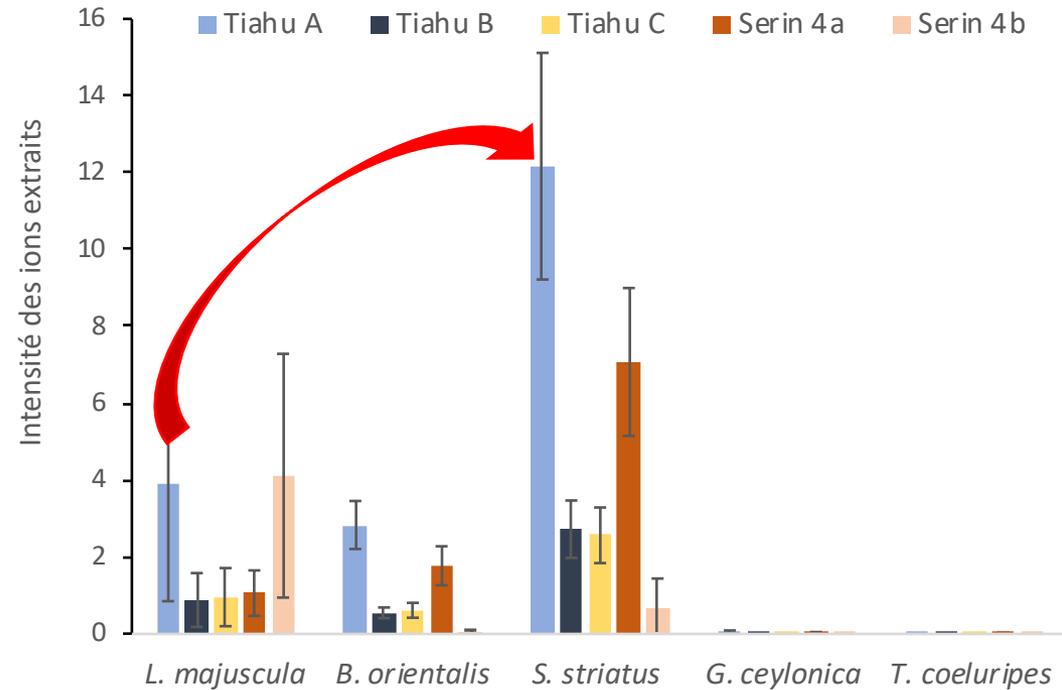
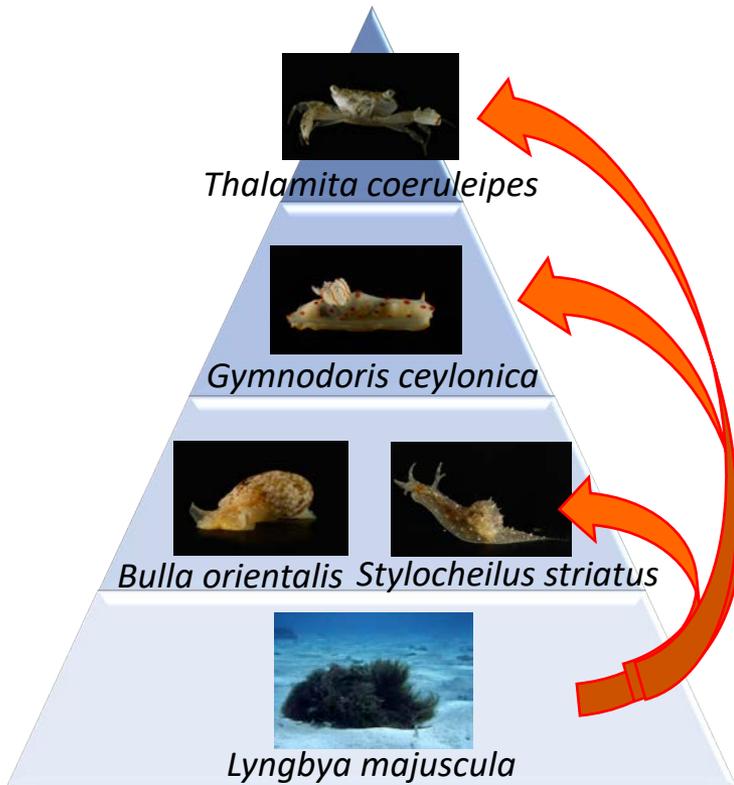


Tiahuramides Malyngamides

Chromatogrammes LC-HRMS des extraits organiques

1.b) Transmission des métabolites

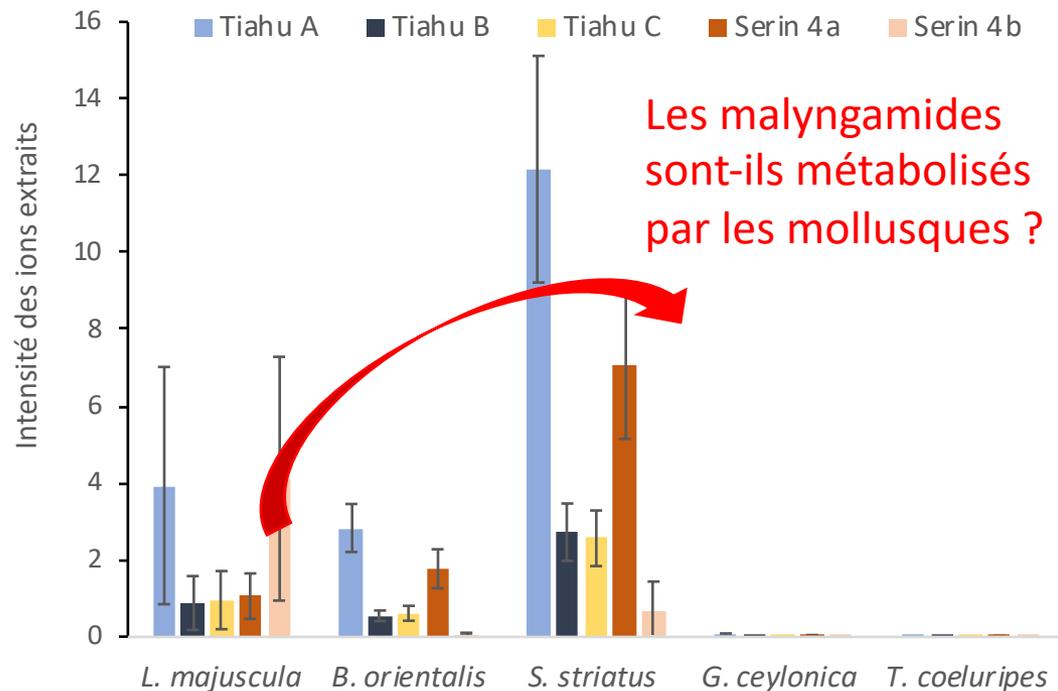
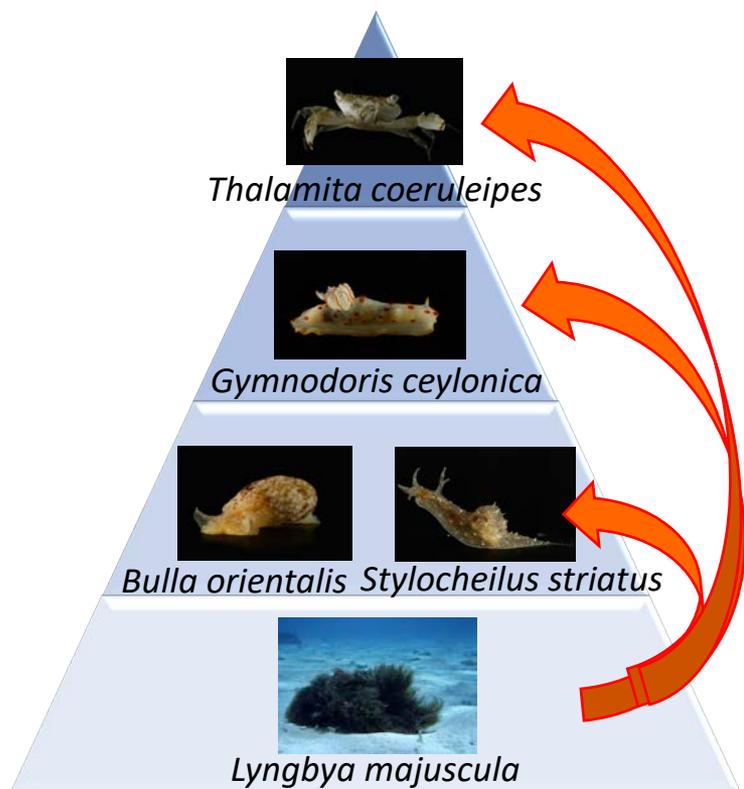
Expression des métabolites dans les différents organismes



Les tiahuramides et les malyngamides sont séquestrés et bioaccumulés

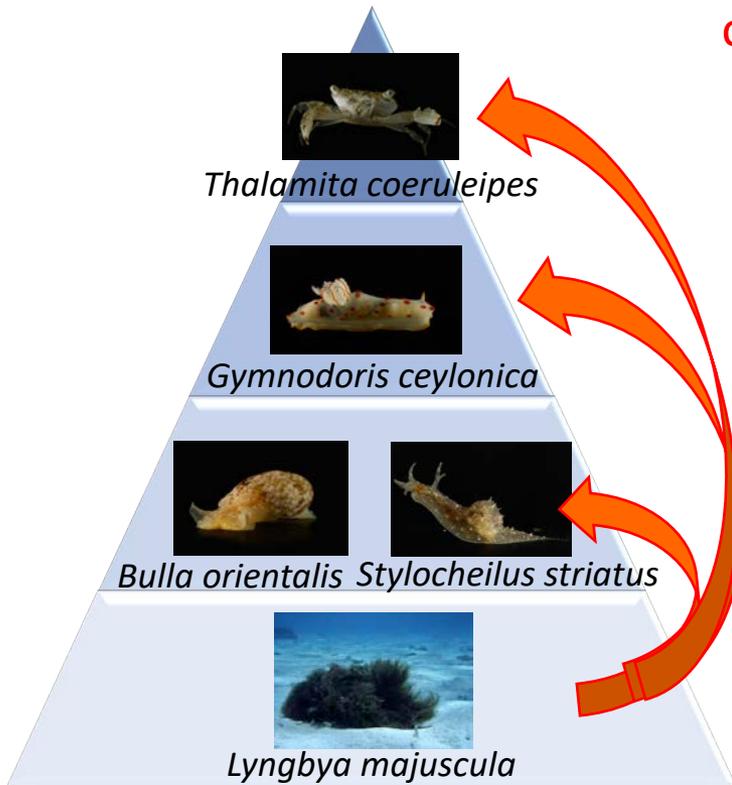
1.b) Transmission des métabolites

Expression des métabolites dans les différents organismes



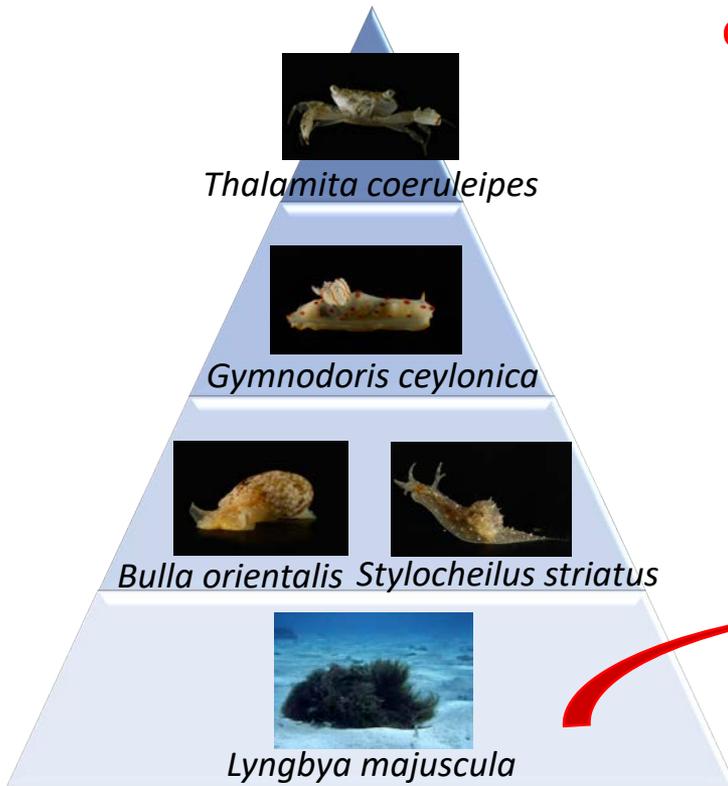
Les tiahuramides et les malyngamides sont séquestrés et bioaccumulés

La séquestration des métabolites cibles n'est pas affectée par les conditions de stress

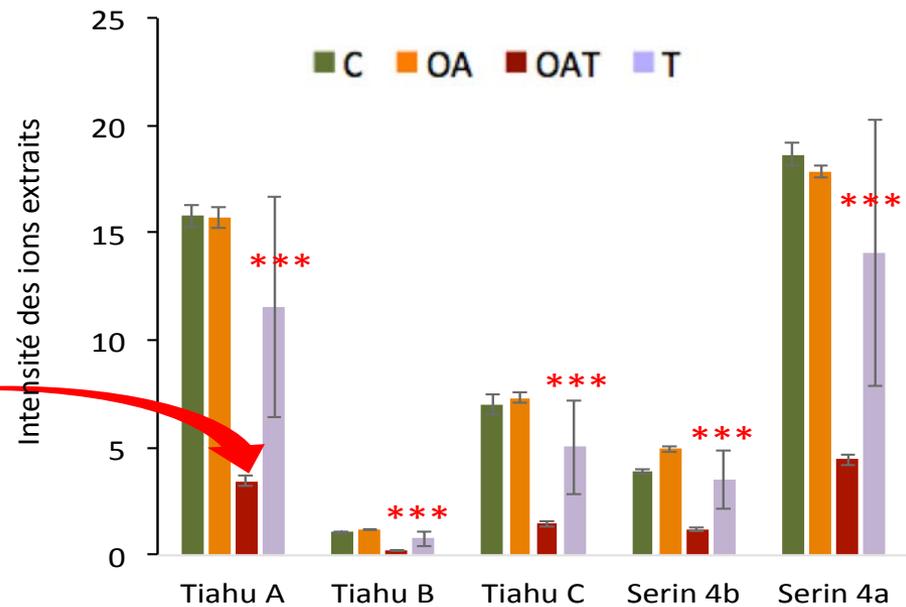


1.b) Transmission des métabolites

La séquestration des métabolites cibles n'est pas affectée par les conditions de stress

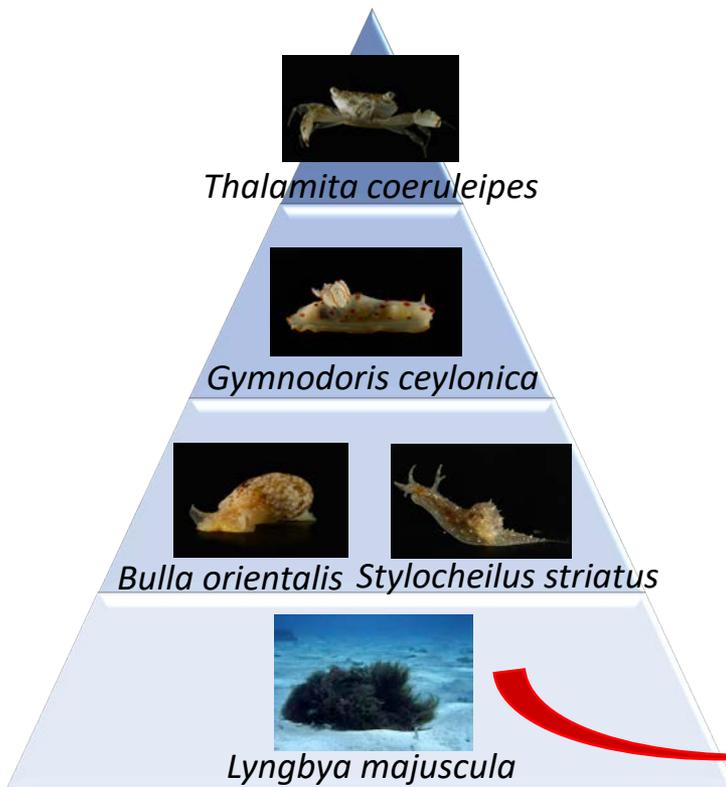


Expression des métabolites cibles de *Lyngbya majuscula*

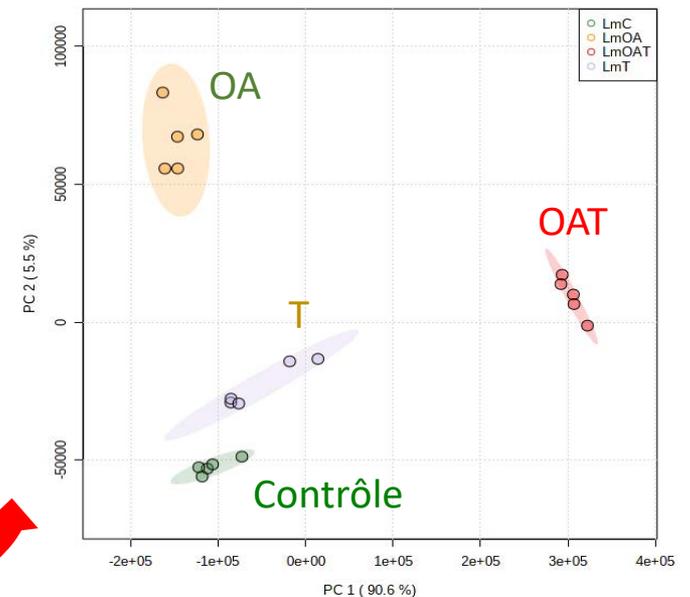


Les tiahuramides et les malyngamides sont sous-exprimés par les cyanobactéries lors de stress combinés

1. b) Empreintes chimiques des espèces



Répartition spontanée des empreintes chimiques sur une carte factorielle

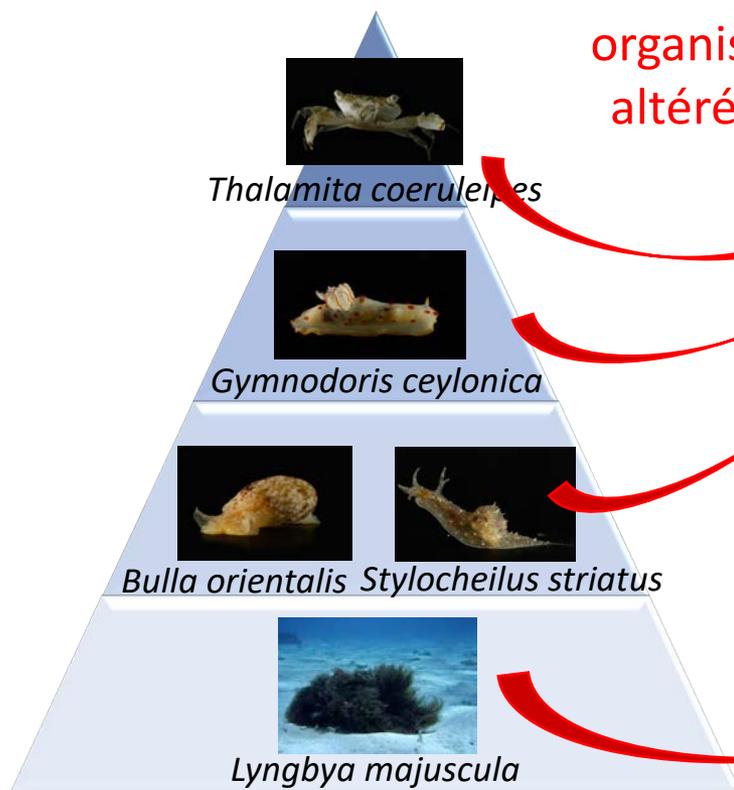


ACP des empreintes enregistrées en LC-HRMS (Thermoscientific Qex plus, ESI+)

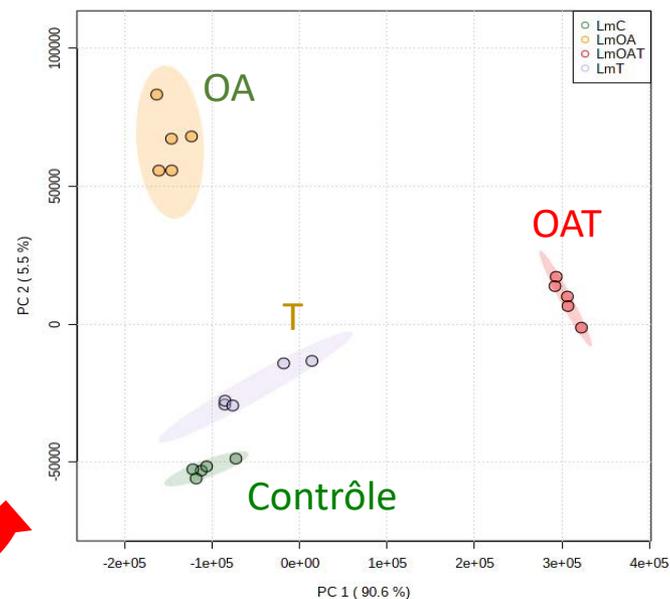
Les stress affectent la composition chimique de la cyanobactérie

1. b) Empreintes chimiques des espèces

Les empreintes chimiques des mollusques et autres organismes ne sont pas altérées par les stress



Répartition spontanée des empreintes chimiques sur une carte factorielle



ACP des empreintes enregistrées en LC-HRMS (Thermoscientific Qex plus, ESI+)

Les stress affectent la composition chimique de la cyanobactérie

1. Quel est l'impact du changement climatique sur une cascade trophique, basée sur la cyanobactérie *Lyngbya majuscula* ?
2. Quel est l'impact du changement climatique sur l'interaction corail - cyanobactérie?
3. Quel est le potentiel d'acclimatation développemental chez un herbivore



Impact de l'acidification des océans (OA), de la hausse de température (T) et des deux stress combinés (OAT) sur :

- sur l'interaction corail (*Acropora pulchra*) - cyanobactérie
- sur les métabolites du corail et de la cyanobactérie



contrôle
corail



contrôle
cyano



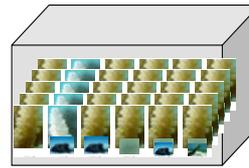
corail +
cyano



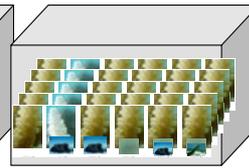
corail +
phytagel



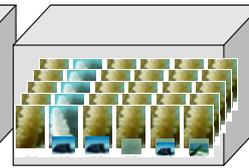
contrôle



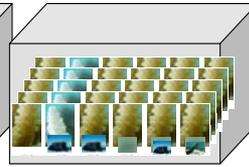
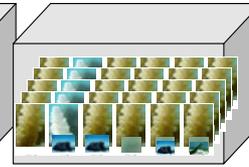
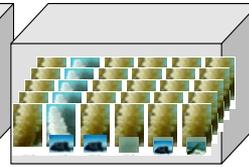
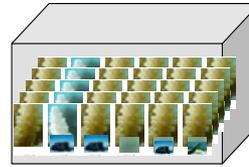
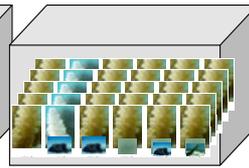
T



CO₂



CO₂ + T



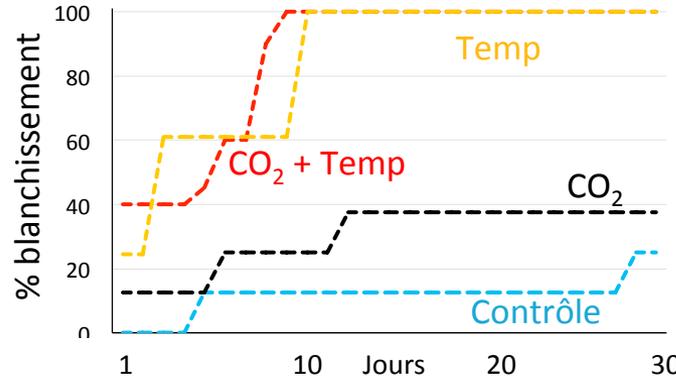
- a) **Taux de survie des coraux** : % de coraux vivants, blanchis, morts, présentant des maladies
- b) **Croissance du corail et de la cyanobactérie** : augmentation du poids humide au début et à la fin du projet
- c) **Empreintes chimiques**



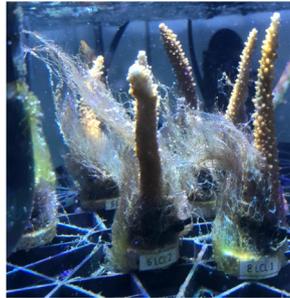
Survie et croissance des espèces



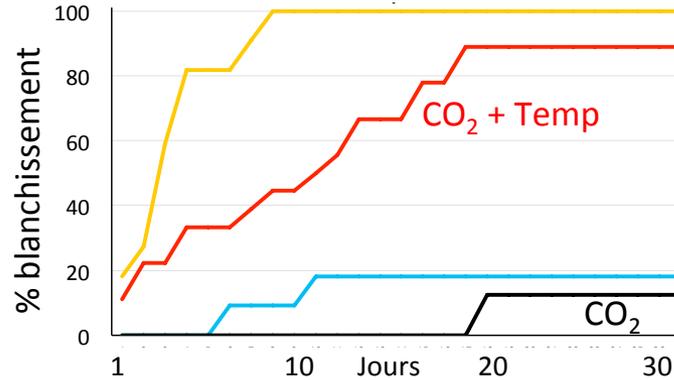
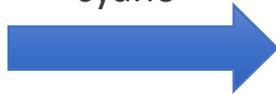
Corail
toute
seule



La température est le facteur le plus important pour la survie du corail



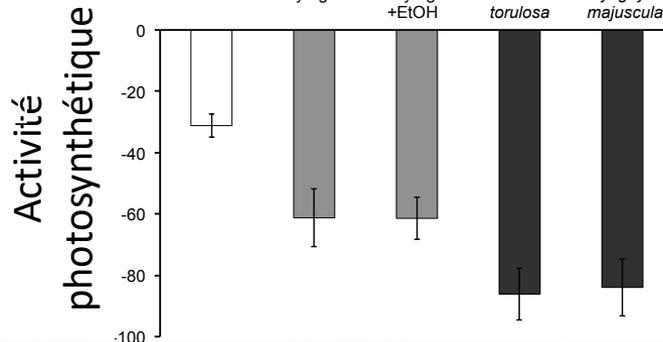
Corail +
cyano



La présence de la cyanobactérie:
- augment l'impact de la température
- diminue l'impact de l'acidification

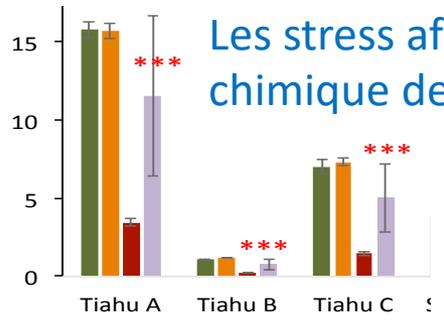


Corail +
phytagel

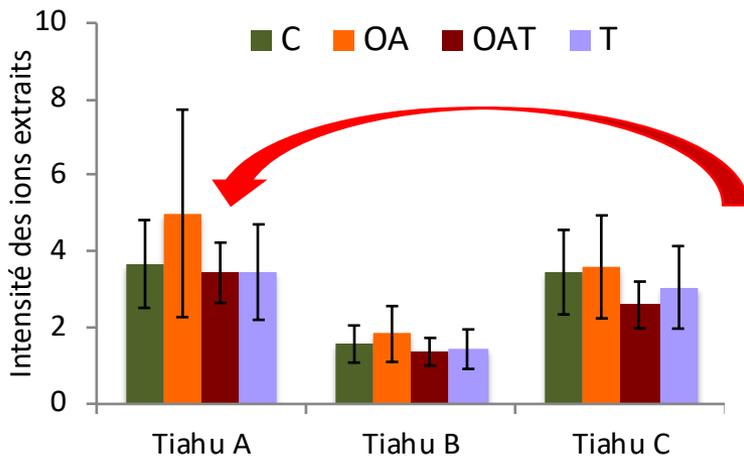


La présence des extraits bruts des cyanobactéries dans le phytigel sont responsables pour le blanchissement

Les stress affectent la composition chimique de la cyanobactérie

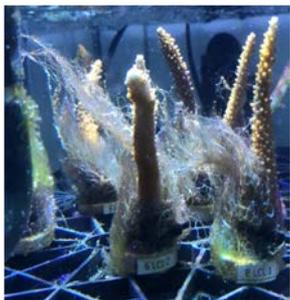


Expression des tiahuramides de *L. majuscula*



Le corail vivant atténue l'impact des stress

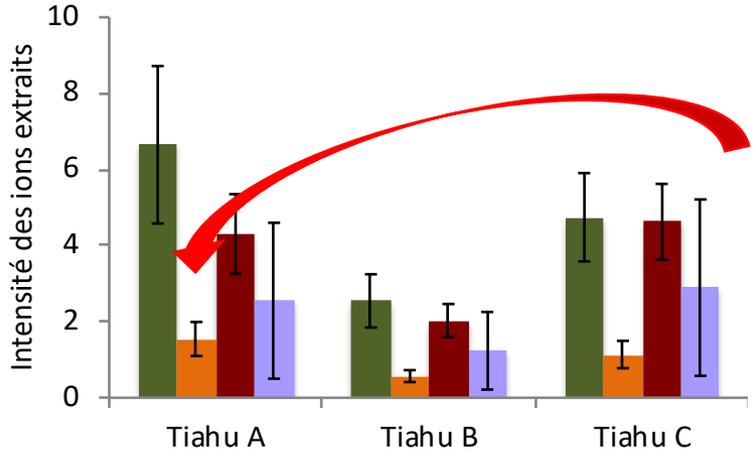
Effet tampon du corail sur les tiahuramides



Corail + cyano



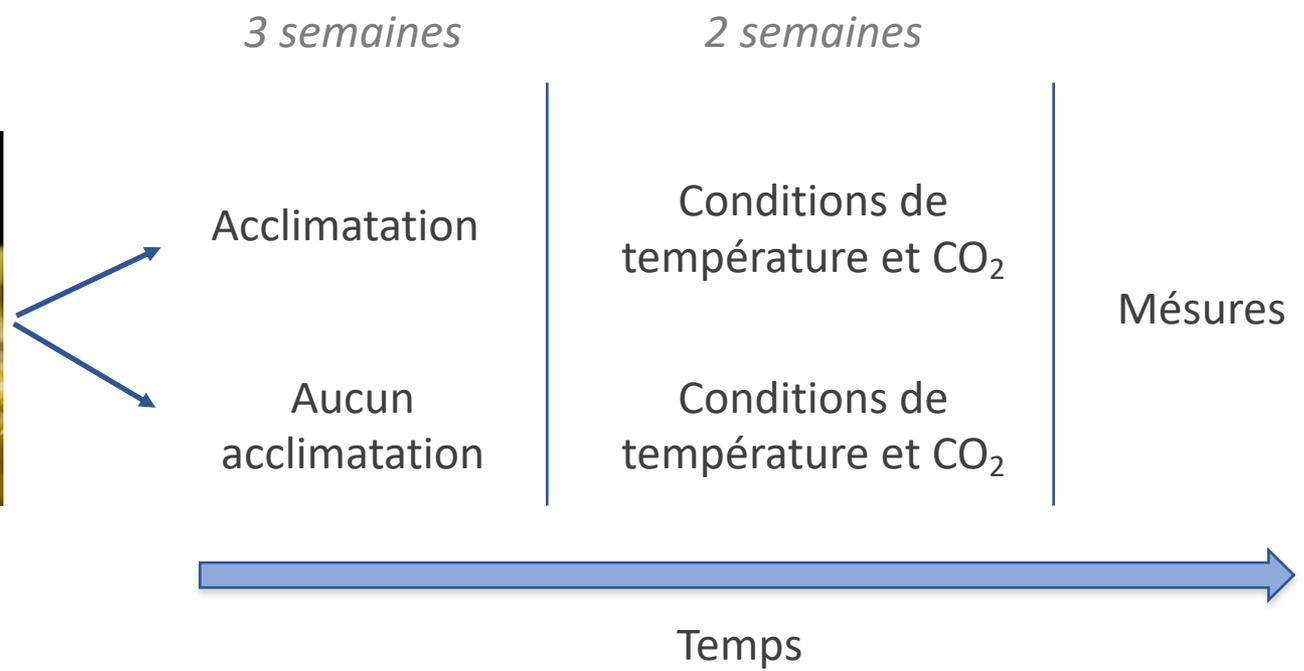
Corail mort + cyano



Les tiahuramides sont sous-exprimées avec les stress



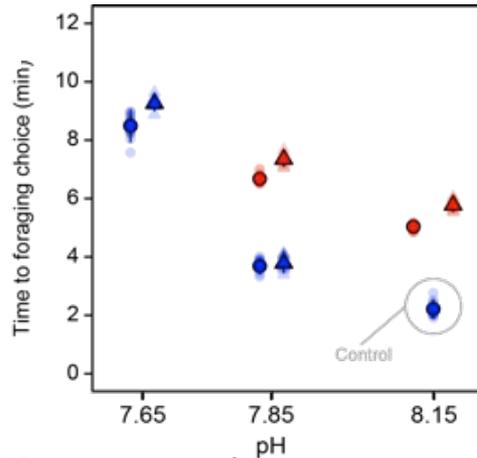
1. Quel est l'impact du changement climatique sur une cascade trophique, basée sur la cyanobactérie *Lyngbya majuscula* ?
2. Quel est l'impact du changement climatique sur l'interaction corail - cyanobactérie?
3. Quel est le potentiel d'acclimatation développemental chez un herbivore



La comportement :

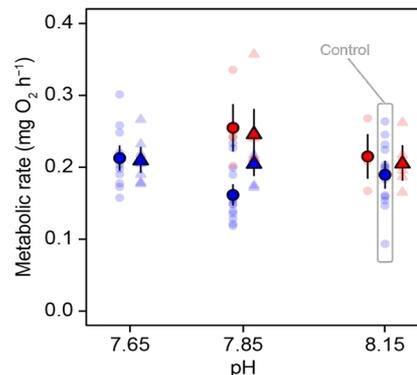
▲ et ▲ = aucun

● et ● = Acclimatation développementale



- *CO₂ et température augmentent le temps pour trouver la nourriture, induisent des choix incorrects et diminuent le vitesse de locomotion.*
- *Acclimatation développementale pour certains comportements.*

La respirométrie :



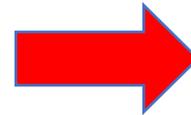
- *La métabolisme des individus s'acclimate aux CO₂ et à la température pendant leur développement.*
- *Aucune acclimatation quand les stress sont combinés.*

- L'acidification et la température **affectent le comportement, la survie et la reproduction des herbivores** → problème de régulation des blooms de cyanobactéries. La présence de l'acclimatation développementale dans l'atténuation de certains de ces impacts est prometteuse.
- Le température augmente la croissance des cyanobactéries. Les deux facteurs de stress ont fortement modifié la composition chimique des cyanobactéries. Les cyanobactéries ont une étonnante **plasticité chimique et une capacité d'adaptation** aux changements environnementaux.
- L'interaction corail-cyanobactérie est **négative** pour le corail
→ aggravée par l'augmentation de la température
- l'interaction corail-cyanobactérie est **positive** pour la cyanobactérie
→ renforcée en présence de corail vivant

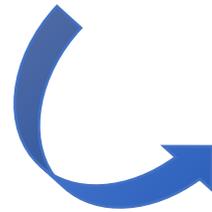
**Cyanobactérie : grande gagnante
du changement climatique**

Les mesures de protection des récifs coralliens portent principalement sur les aires marines protégées et notamment sur l'encadrement de l'activité de pêche

Réflexion sur les risques de prolifération des producteurs primaires



Nuisibles pour la population locale



Protéger les herbivores impliqués dans la régulation naturelle



**SCIENTIFIC
REPORTS**

natureresearch

***TOP 100 in Ecology in 2020**

Near-future ocean warming and acidification alter foraging behaviour, locomotion, and metabolic rate in a keystone marine mollusc

Rael Horwitz^{1,2,12*}, Tommy Norin^{3,11,12}, Sue-Ann Watson⁴, Jennifer C. A. Pistevo^{1,2}, Ricardo Beldade^{1,5}, Simon Hacquart¹, Jean-Pierre Gattuso^{6,7}, Riccardo Rodolfo-Metalpa^{2,8}, Jeremie Vidal-Dupiol^{2,9,10}, Shaun S. Killen³ & Suzanne C. Mills^{1,2}

Mar Biol (2017) 164:107
DOI 10.1007/s00227-017-3133-x

ORIGINAL PAPER

High $p\text{CO}_2$ and elevated temperature reduce survival and alter development in early life stages of the tropical sea hare *Stylocheilus striatus*

Eric J. Armstrong^{1,2} · Trevor R. Allen¹ · Maeva Beltrand^{3,4} · Vaimiti Dubousquet^{3,4,5} · Jonathon H. Stillman^{1,2} · Suzanne C. Mills^{3,4}

The embryonic life history of the tropical sea hare *Stylocheilus striatus* (Gastropoda: Opisthobranchia) under ambient and elevated ocean temperatures

Rael Horwitz^{1,2}, Matthew D. Jackson³ and Suzanne C. Mills^{1,2}

In prep....

- 10 communications orales/posters de conférences internationales
- Conférences au grand public :
- Article médiatique et interview :



Les deux scientifiques, Marie Derrien et Linda Salvaneschi, entourées de leurs directrices de recherche, Suzanne Mills et Jennie Pistero avec Cécile Berthe, chargée de communication du Criobe.



Un des effets néfastes pour les récifs coralliens : le développement de cyanobactérie, une algue qui empêche les larves de s'installer dans leurs colonies.



- Projets éducatifs :
 - Fête de la Science à l'Université de Perpignan Via Domitia
 - Journée de Portes Ouvertes au Lycées de Moorea.
 - Matinée avec les collégiens de Paopao :



- Articles médiatiques sur Twitter, qui cite @FRBiodiv

Isabelle Bonnard (MCU, UPVD)
 Bernard Banaigs (CR, INSERM)
 Louis Bornancin (PhD, UPVD)
 Séléna Ferreres (MSc, UPVD)



Shaun Killen & Tommy Norin (Univ. of Glasgow)
 Sue-Ann Watson (James Cook University)



Rael Horwitz (Post-Doc, EPHE)
 Eric Armstrong (PhD, UC Berkley)
 Simon Hacquart (Lab Tech, EPHE)



Jennie Pistevos (Post-Doc, EPHE)
 Linda Salvaneschi (MSc)
 Marie Derrien (MSc)
 Thomas Cortier (MSc)
 Lisa Macera (MSc)
 Anne Albers (BSc)

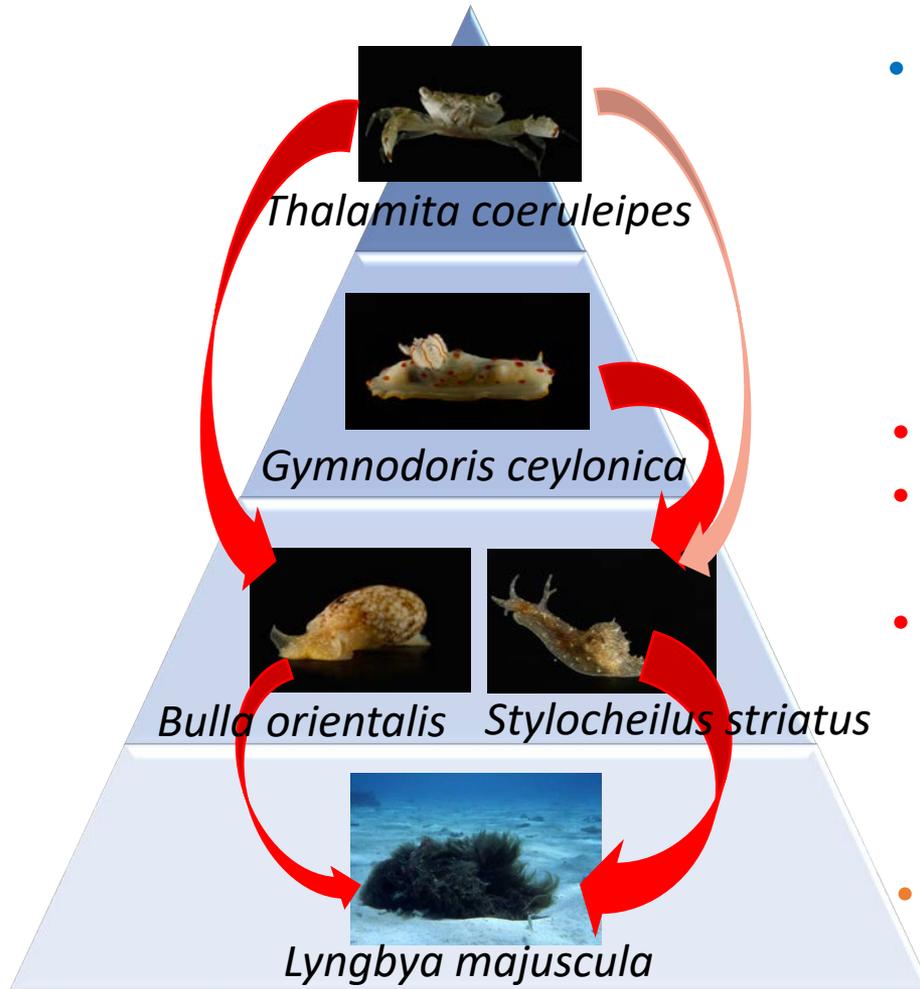


Séminaire scientifique de restitution
du programme Acidification des océans



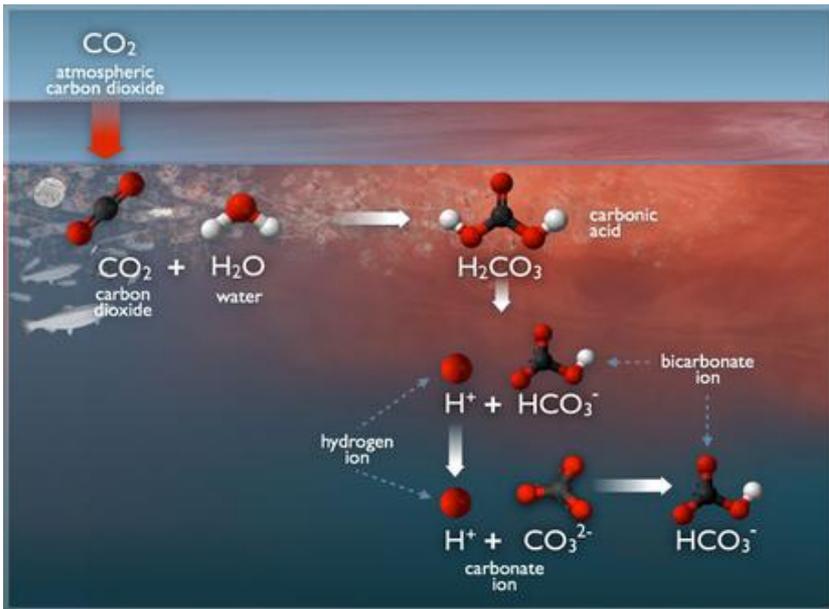
Séminaire scientifique de restitution
du programme Acidification des océans





- L'acidification diminue la taille des crabes
- T diminue la densité de l'herbivore
- L'acidification diminue la production des œufs
- L'acidification augmente la mortalité des herbivores par prédation
- T augmente la croissance des cyanos

Impact du changement climatique sur l'océan



Ocean Carbonate Chemistry System (WHOI)

- Absorption de la chaleur → Réchauffement
- Absorption de CO_2 → Augmentation de H^+ → Acidification : augmentation de l'acidité de l'eau de mer de 30%

La chimie de l'océan change 100 fois plus vite aujourd'hui qu'au cours des 650 000 dernières années

2019

2100

T° 28°C

T° ↗ 1,2 à 3,2°C

$[\text{CO}_2]$ 409 ppm

$[\text{CO}_2]$ ↗ 421 à 936 ppm

pH 8,1

pH ↘ 0,14 à 0,4 U

Impact du changement climatique sur les organismes

