



Effet du CO₂ sur la bioaccumulation du mercure chez les seiches et impact sur leur physiologie et leur comportement

Thomas Lacoue-Labarthe
CR CNRS – UMR 7266 LIENSs, La Rochelle



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



Séminaire scientifique de restitution
du programme Acidification des océans

Les co-auteurs de cette présentation



Antoine Minet
Thèse 2018 – 2022



Bioaccumulation et effets du mercure chez la seiche dans le contexte de l'acidification des océans



Sophie Gentès
Post-doc 2019 - 2020

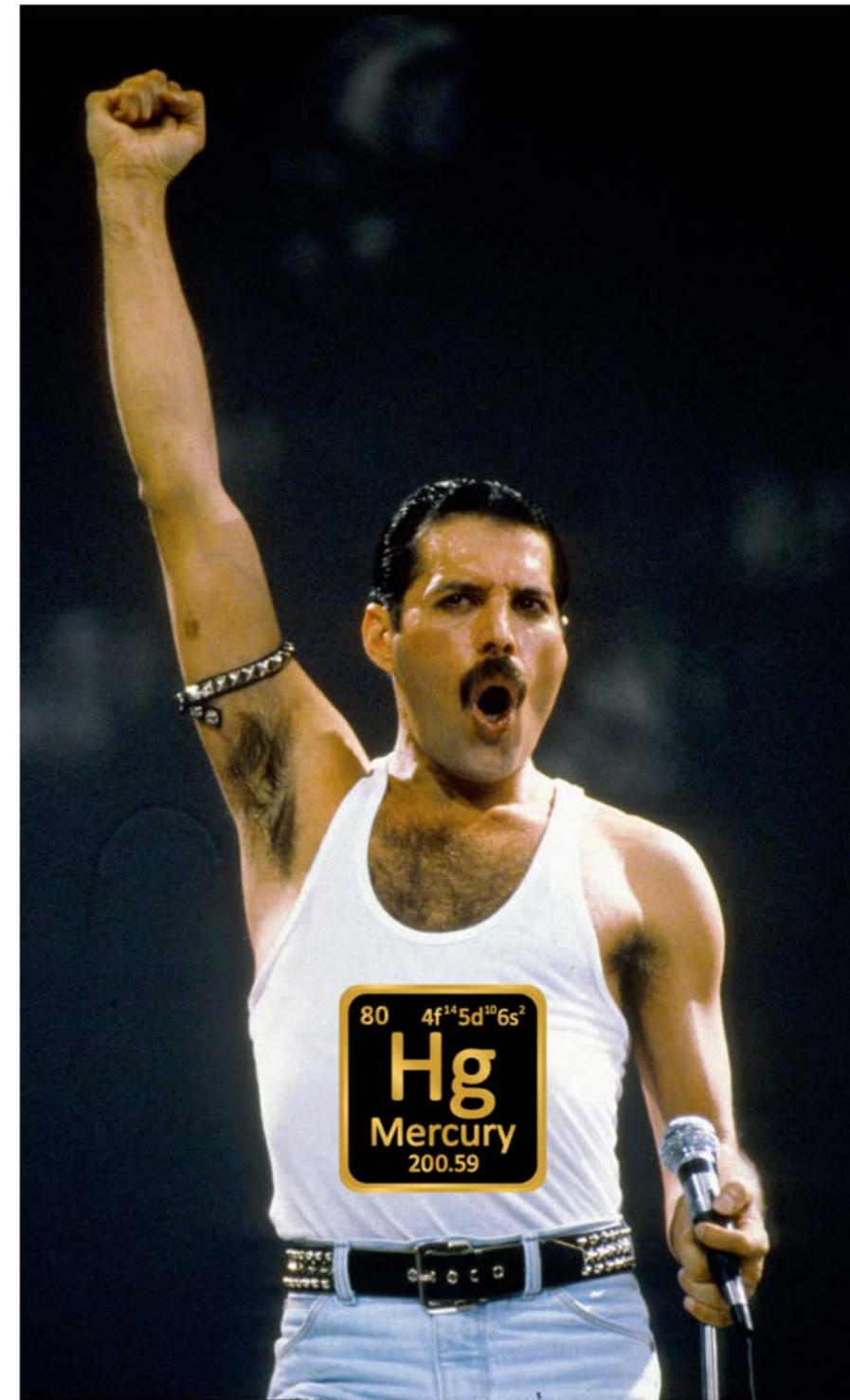
La contamination des juvéniles de seiche *Sepia officinalis* en milieu littoral par le mercure: bioaccumulation, organotropisme et détoxication



Contexte

Mercury:

- Sources naturelles et anthropiques
- Bioaccumulation et Bioamplification
- Neurotoxique
- Organique (MeHg) et inorganique (iHg)



Contexte

Mercury:

- Sources naturelles et anthropiques
- Bioaccumulation et Bioamplification
- Neurotoxique
- Organique (MeHg) et inorganique (iHg)

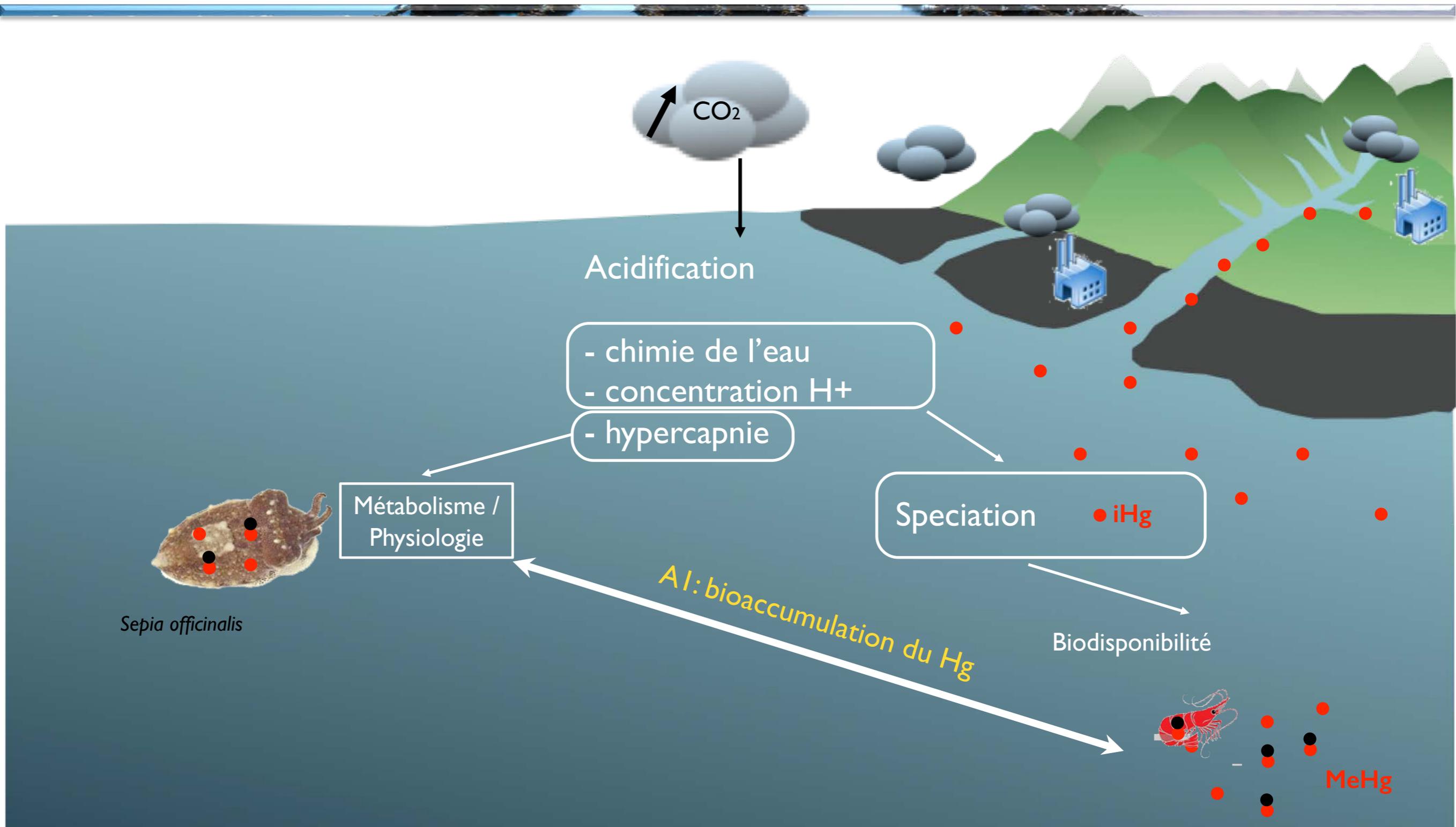
Acidification des océans (AO):

- Baisse du pH du au CO_2
- Impact sur la physiologie
- Neurotoxique

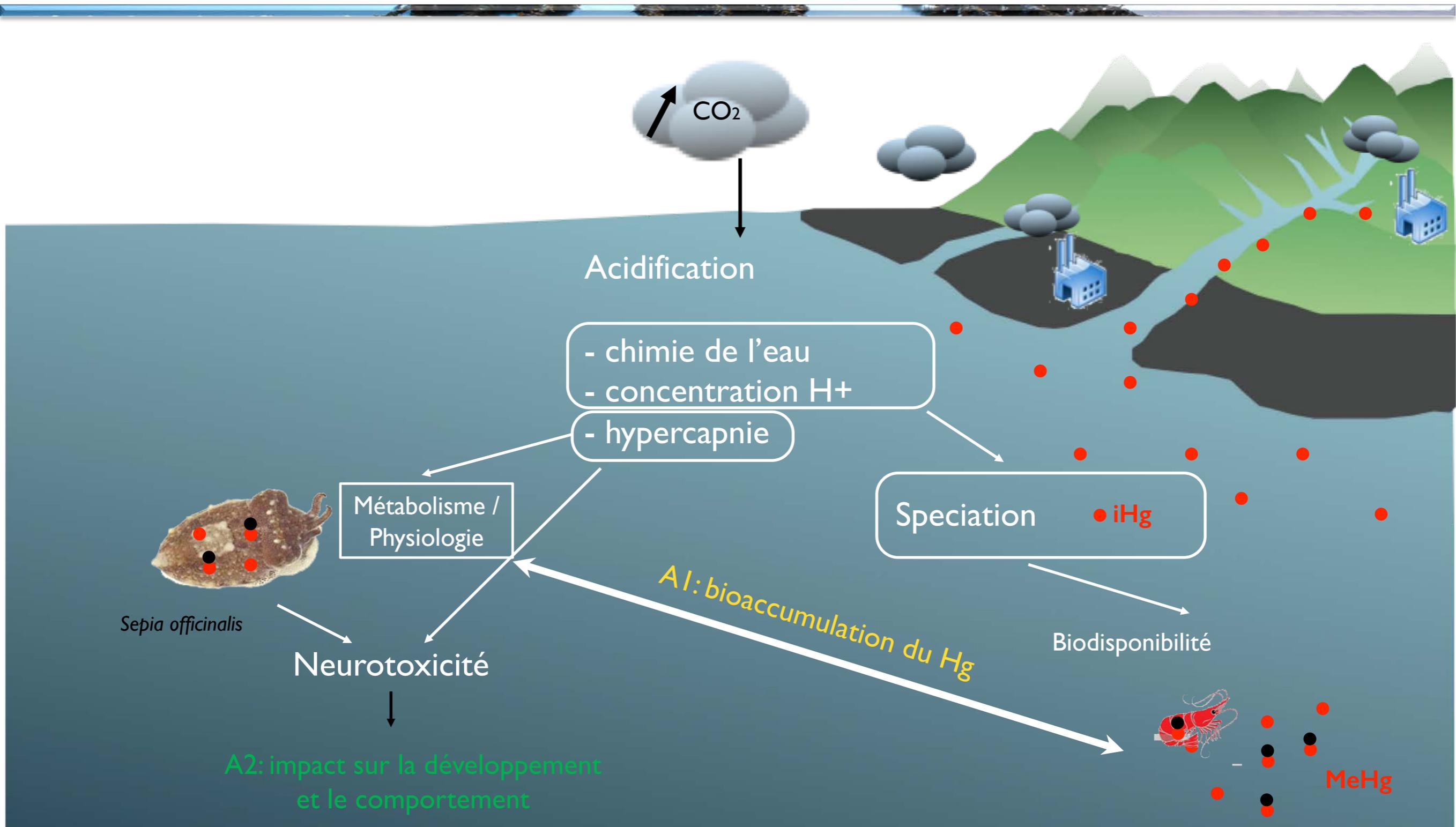


Copyright Mke Luckovich.

Contexte

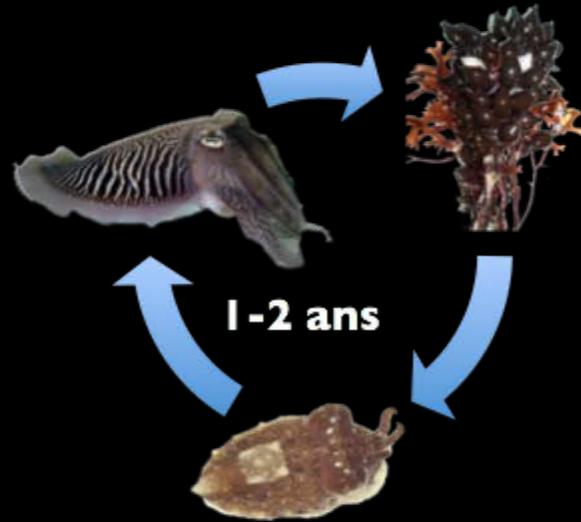


Contexte

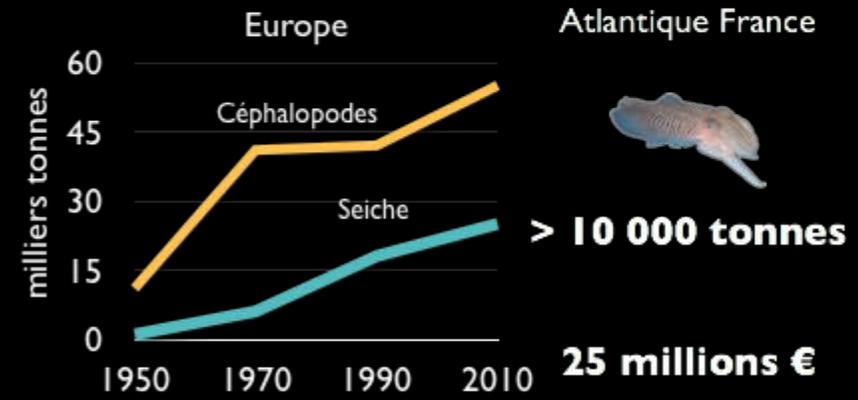


Contexte

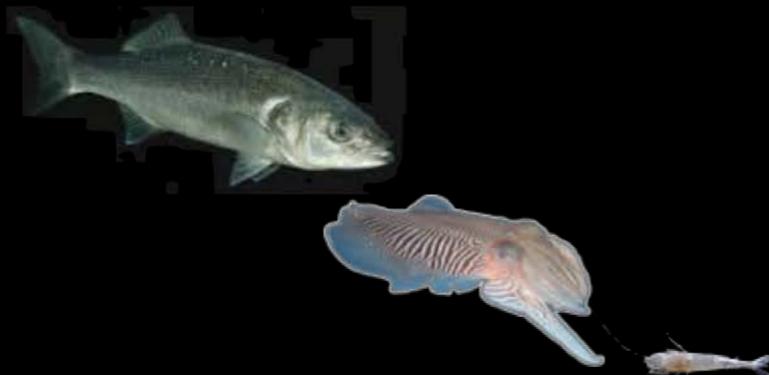
physiologique



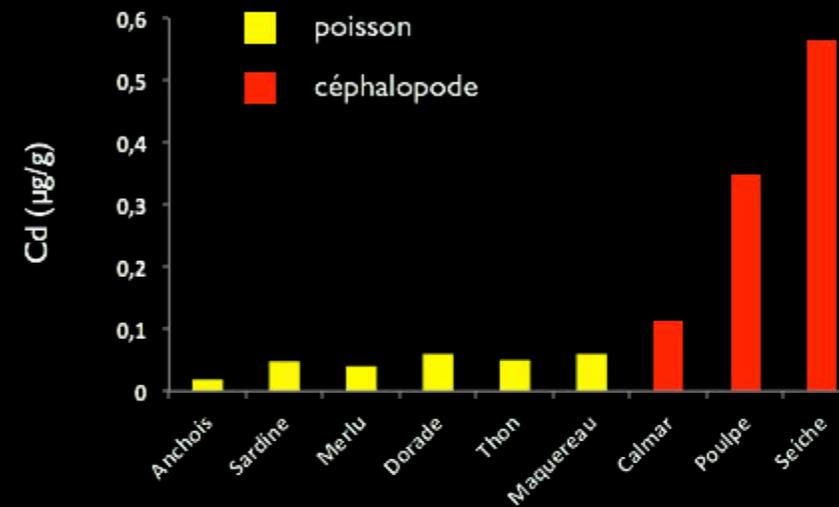
économique



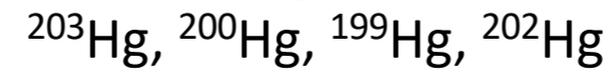
écologique



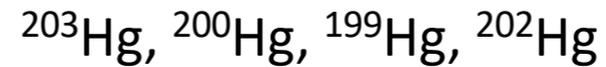
écotoxicologique



Une approche expérimentale utilisant les isotopes stables et radioactifs du Hg comme traceurs:



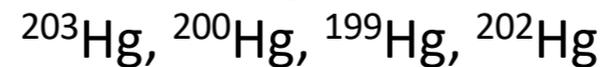
Une approche expérimentale utilisant les isotopes stables et radioactifs du Hg comme traceurs:



Décrire la dynamique de la bioaccumulation sous l'effet de l'acidification, en considérant:

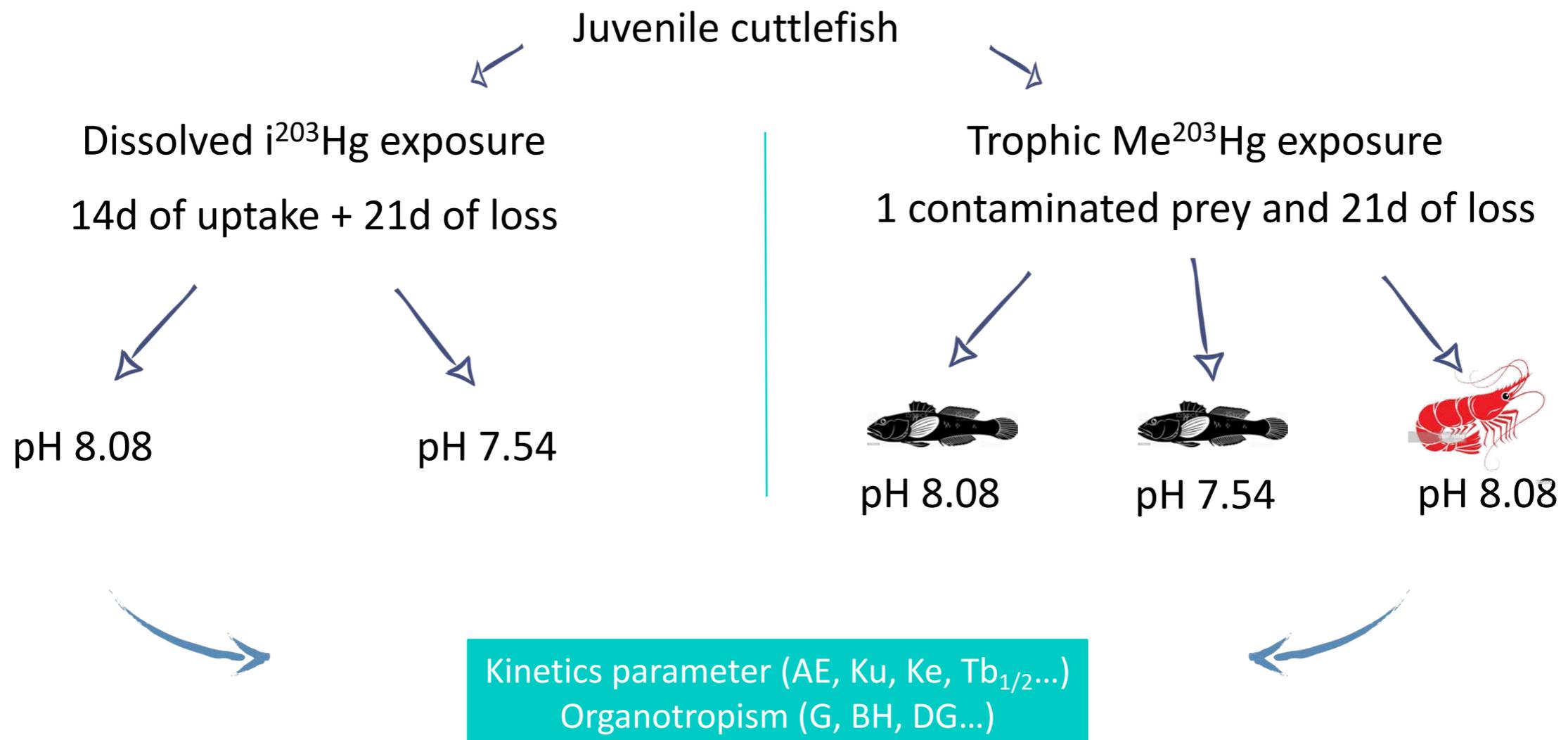
- la voie dissoute (la régulation acide-base modulée par l'AO modifie la TK d'accumulation du iHg ?)
- la voie trophique (l'OA modifie la physiologie digestive et l'assimilation du iHg et MeHg ?)

Une approche expérimentale utilisant les isotopes stables et radioactifs du Hg comme traceurs:

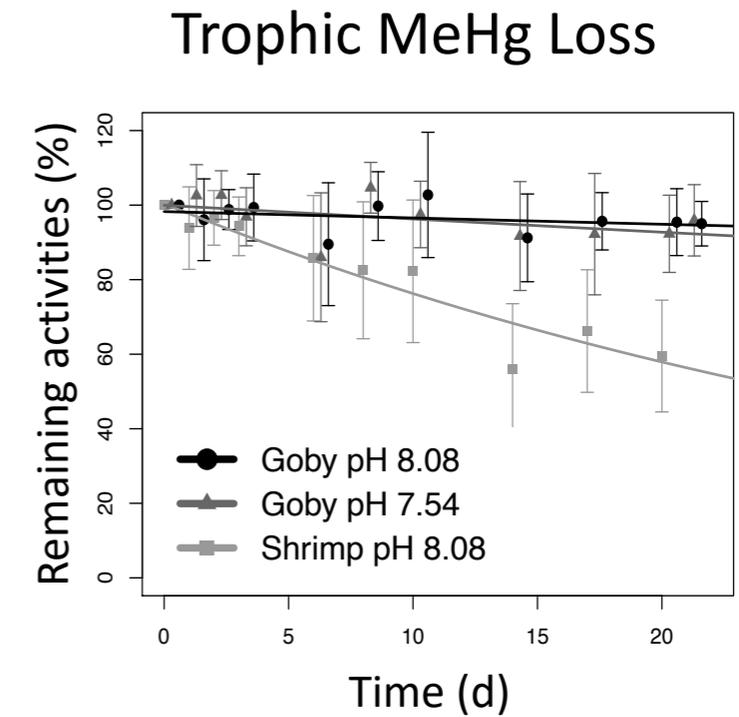
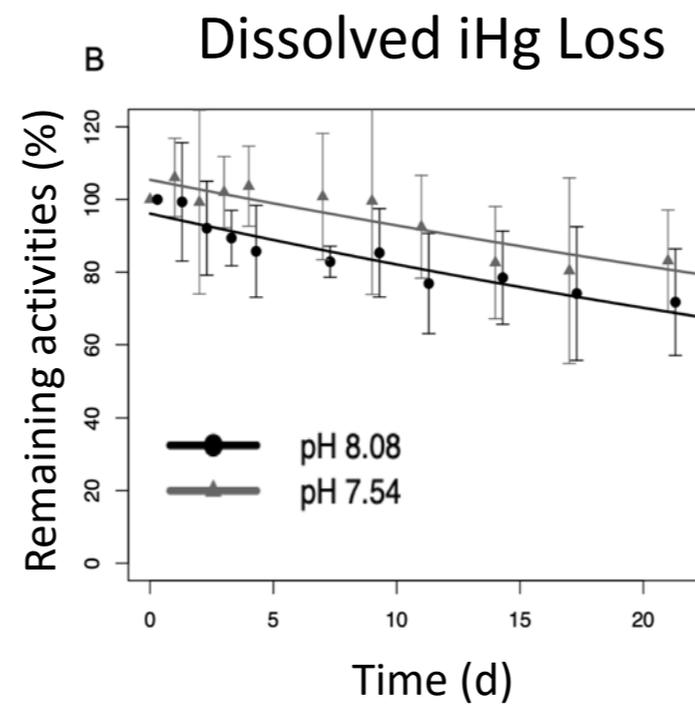
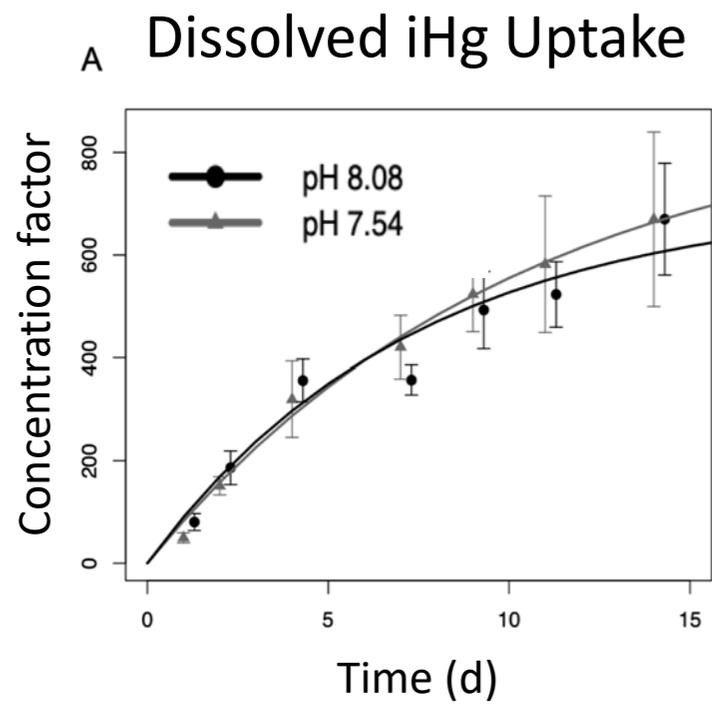


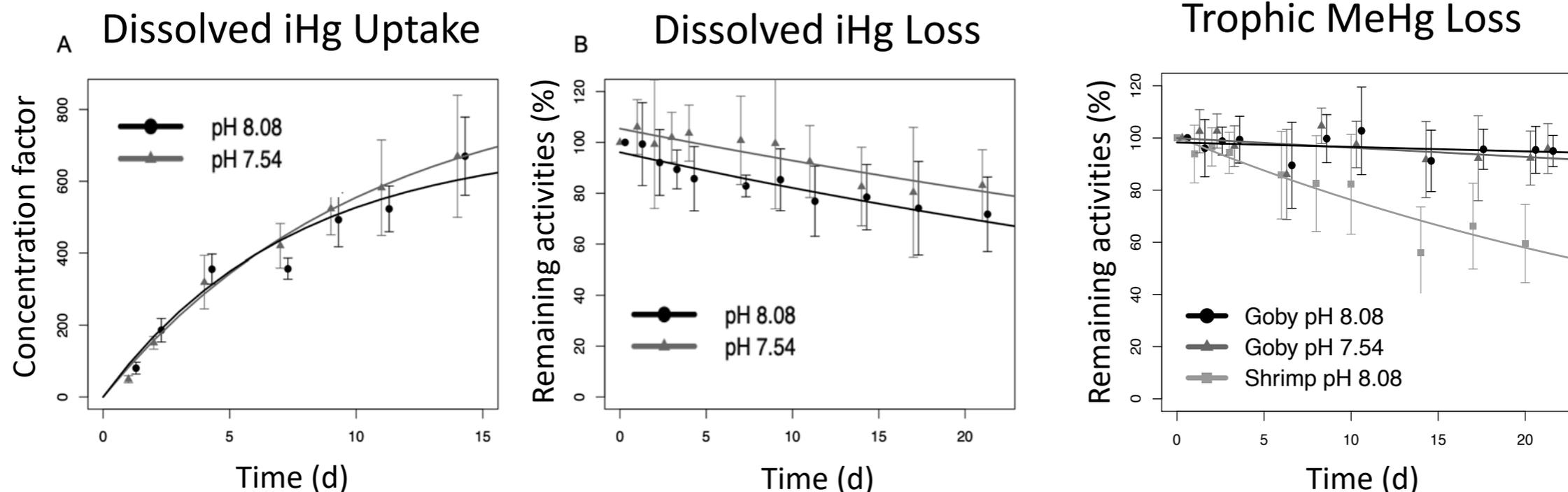
Décrire la dynamique de la bioaccumulation sous l'effet de l'acidification, en considérant:

- la voie dissoute (la régulation acide-base modulée par l'AO modifie la TK d'accumulation du iHg ?)
- la voie trophique (l'OA modifie la physiologie digestive et l'assimilation du iHg et MeHg ?)



Bioaccumulation





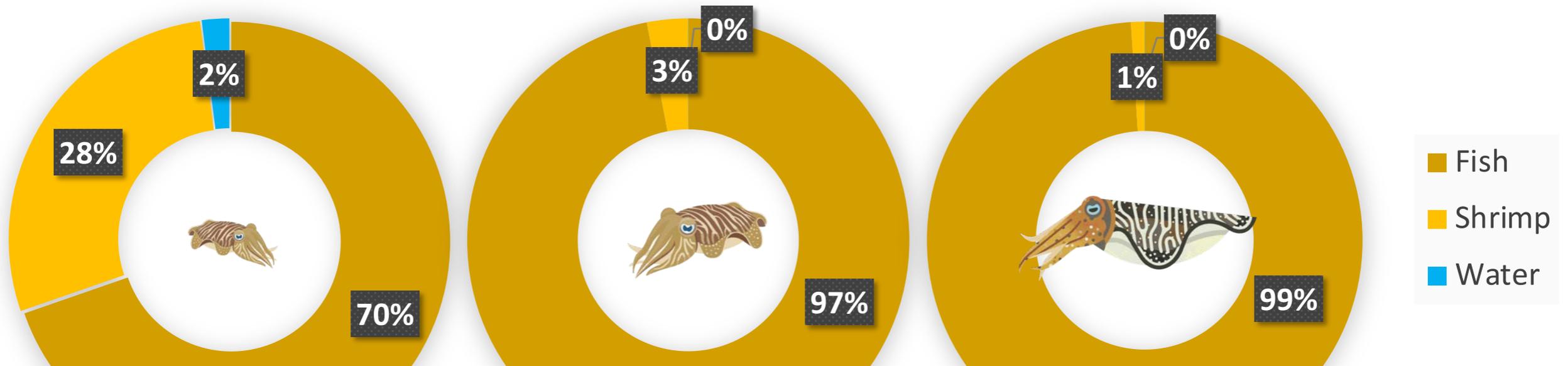
Dissolved $i^{203}\text{Hg}$ exposure	Trophic Me^{203}Hg exposure
AE \approx 100%	
No effect of the pH on the kinetics parameter	
$Tb_{1/2} = 44 \pm 12\text{d}$	$Tb_{1/2} = 25 \pm 14\text{d}$ shrimp (iHg/MeHg) $Tb_{1/2} = \infty$ goby (MeHg)
From contact tissues (gills, skin) to the digestive gland and eliminated partly through the gills	From the digestive gland to muscular tissues and indefinitely stored

Bioaccumulation

Young juvenile
95% shrimp + 5% fish

Juvenile
55% shrimp + 45% fish

Adult
20% shrimp + 80% fish



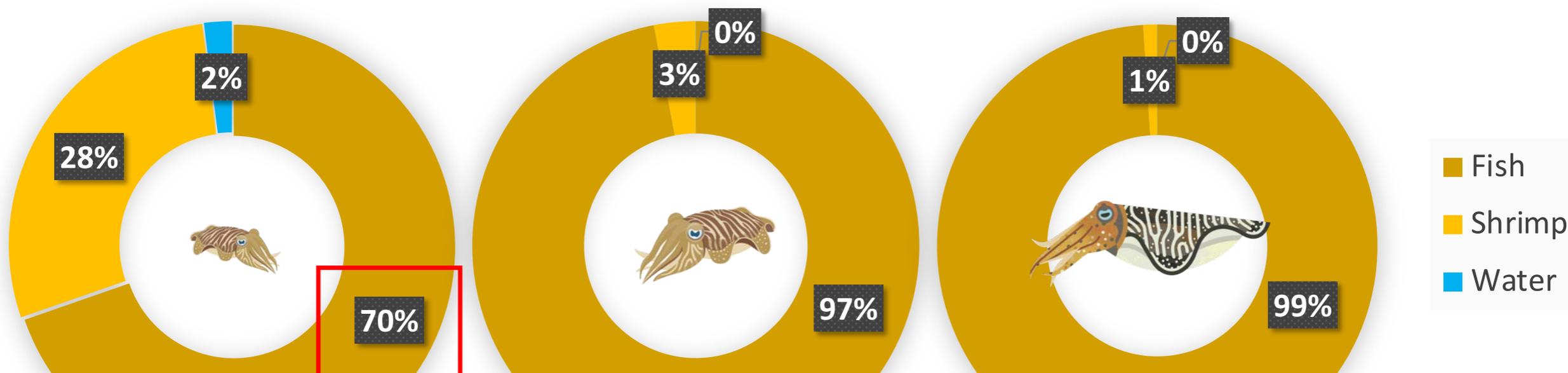
Even with 95% of shrimp and 5% of fish, fish contribute the most → MeHg
Food is the main pathway of contamination

Bioaccumulation

Young juvenile
95% shrimp + 5% fish

Juvenile
55% shrimp + 45% fish

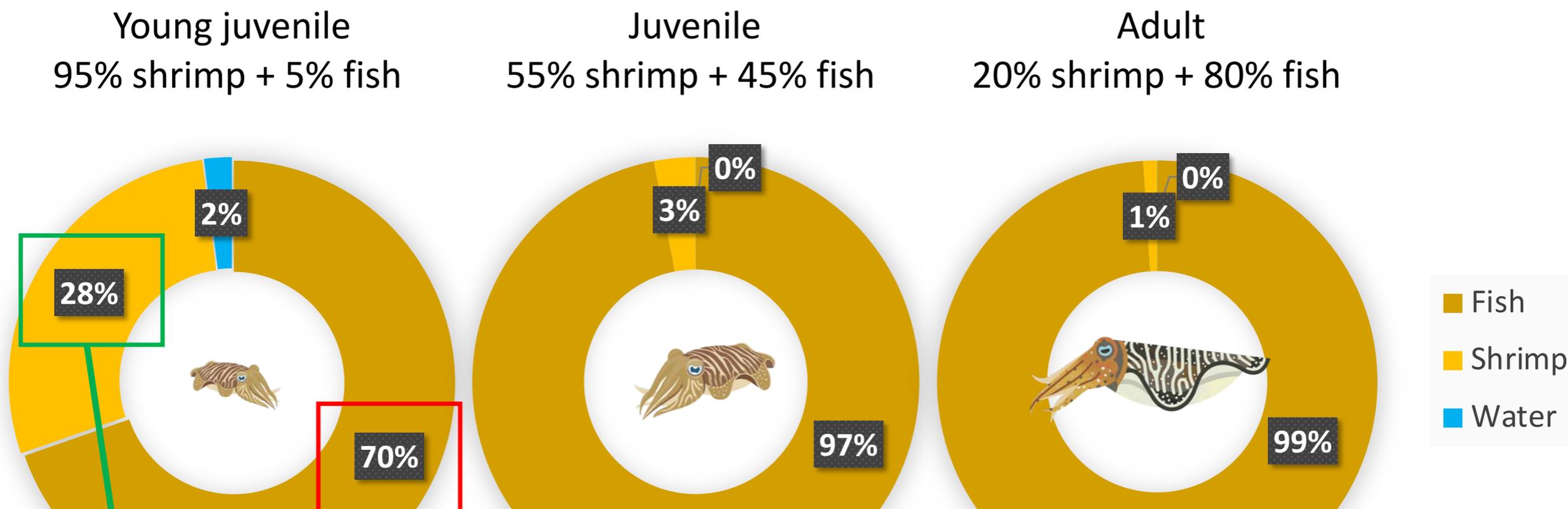
Adult
20% shrimp + 80% fish



Even with 95% of shrimp and 5% of fish, fish contribute the most → MeHg
Food is the main pathway of contamination

L'accumulation du MeHg par voie trophique n'est pas impactée
par l'AO (gobie)

Bioaccumulation



Even with 95% of shrimp and 5% of fish, fish contribute the most → MeHg
Food is the main pathway of contamination

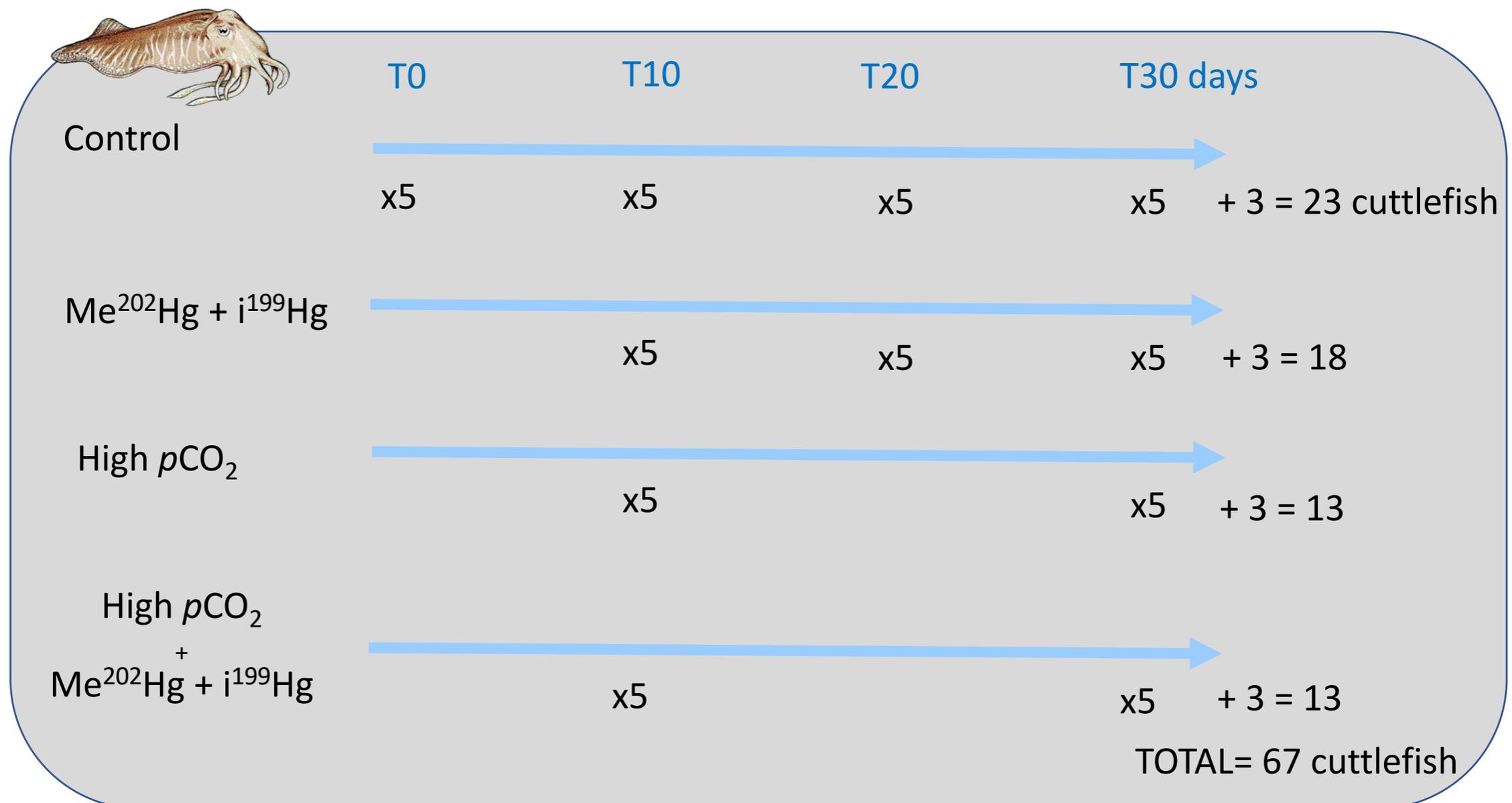
L'accumulation du MeHg par voie trophique n'est pas impactée par l'AO (gobie)

Quid de l'iHg dans les crevettes ?

Question de la méthylation *in vivo* et de l'impact de l'OA sur le microbiome

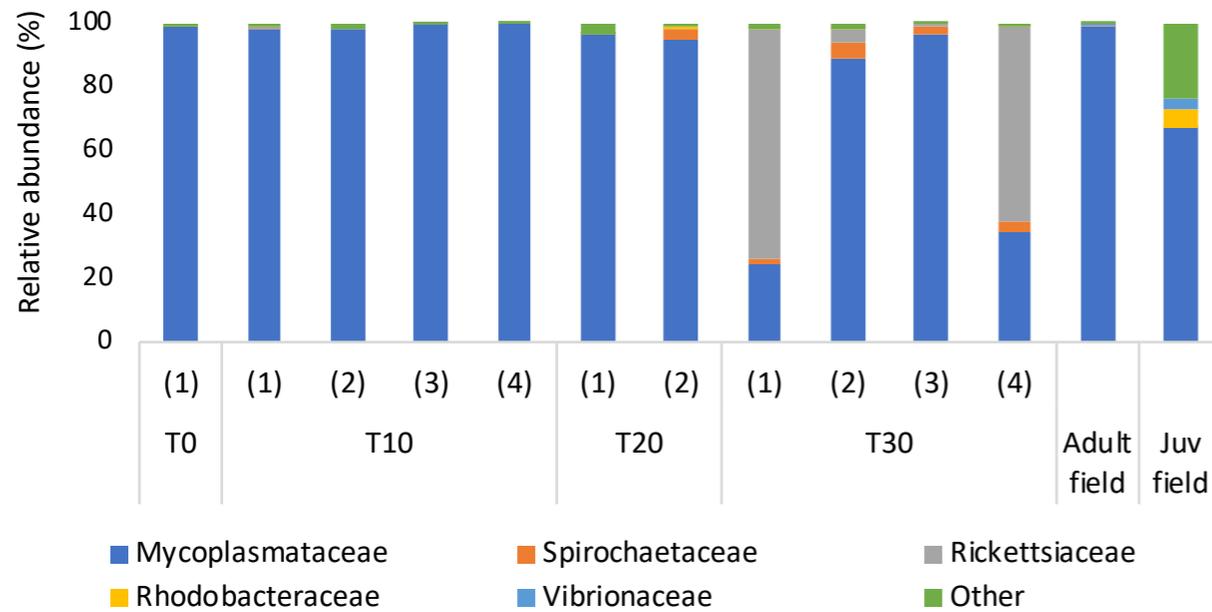
Bioaccumulation

Food: Live shrimps, contaminated by injection with a solution of Hg isotopic tracers



ANALYSES: traceurs isotopiques stables + diversité microbienne (16S) + *Hgc* genes (cloning)

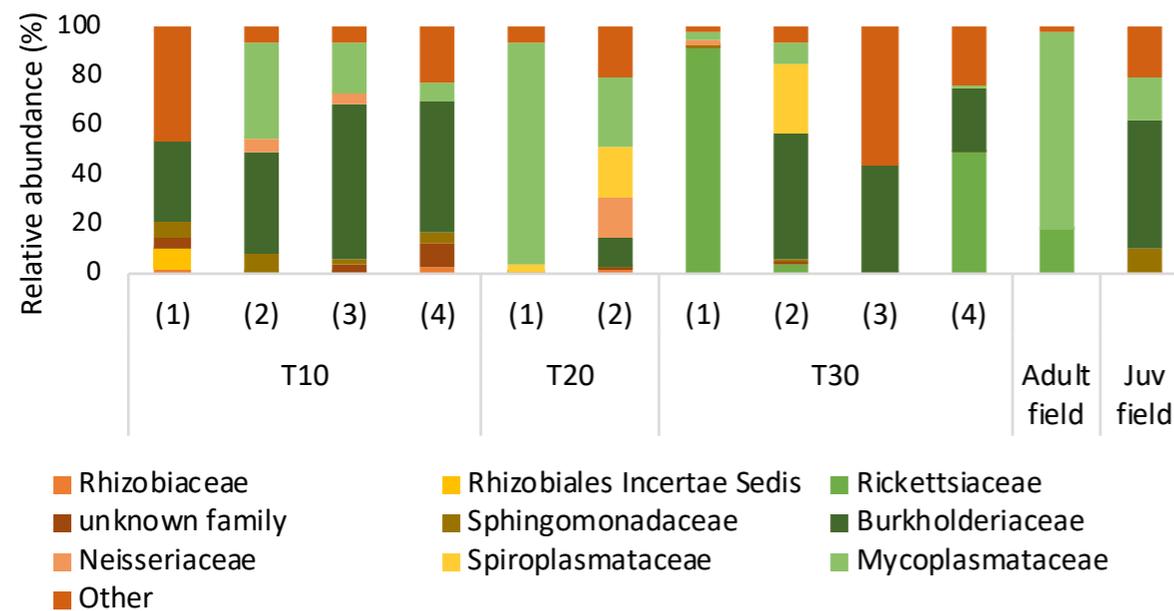
Microbiome de l'intestin



Un microbiome simple

Pas d'effet du pH

Microbiome de la glande digestive



Un microbiome un peu plus diversifié

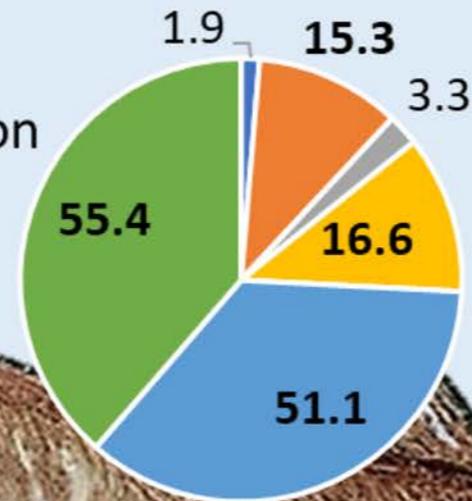
Pas d'effet du pH

Pas de famille de bactérie méthylante

Bioaccumulation

After 30 days of trophic exposure:

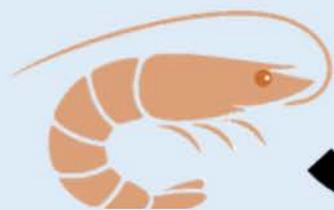
Me²⁰²Hg:
100% Bioaccumulation
0% Excretion



Très faible méthylation *in vivo* mais de la déméthylation

Effet du pH très faible sur la distribution (cerveau)

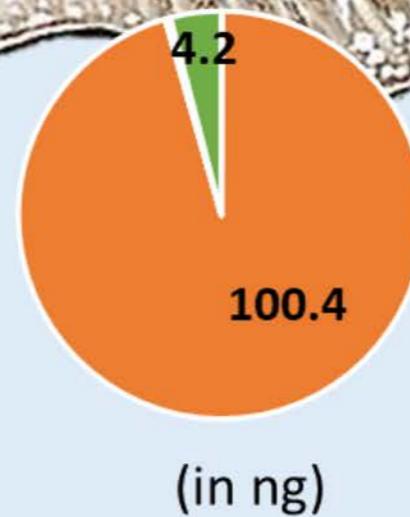
Pas d'effet tangible sur le microbiote



Me²⁰²Hg: 7.4 ng

i¹⁹⁹Hg: 8.7 ng

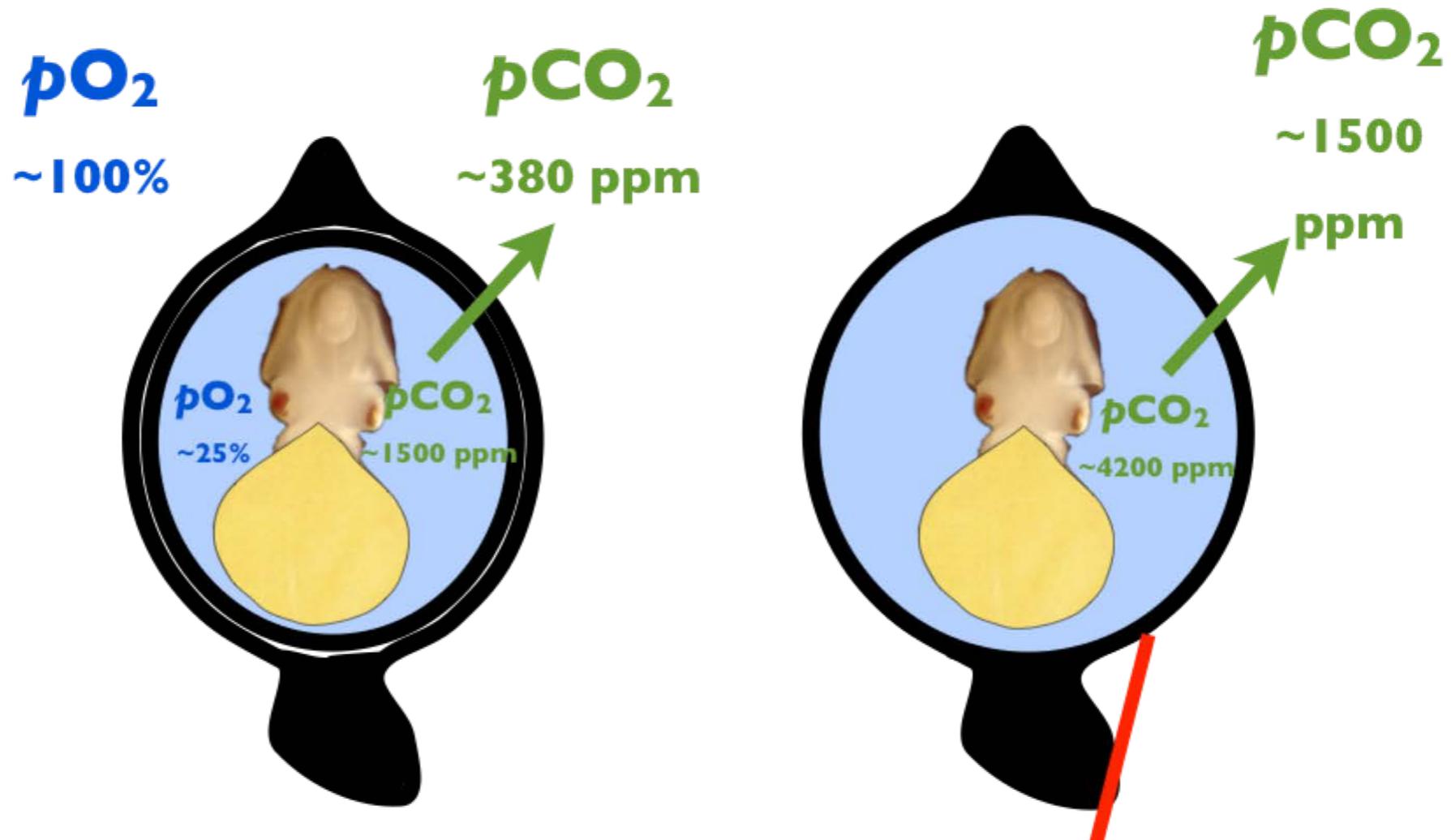
i¹⁹⁹Hg:
57% Bioaccumulation
43% Excretion



- Brain
- Digestive G.
- Gills
- Intestine
- Mantle
- Rest

Rappel

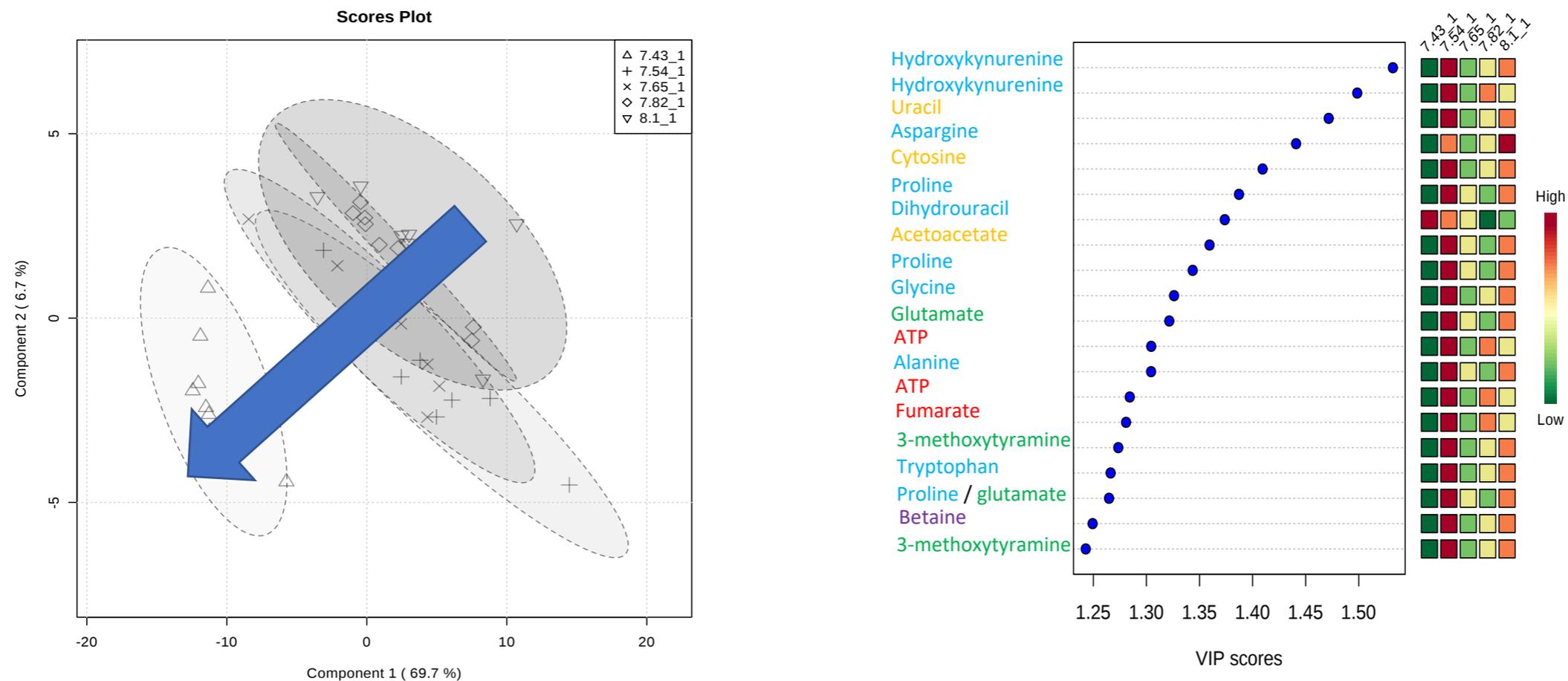
A la fin du développement, échantillonnage du PVF:



Dorey et al., 2013. Mar Biol

Les effets de l'acidification

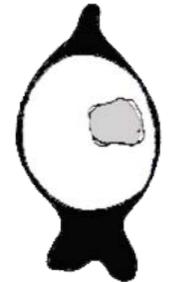
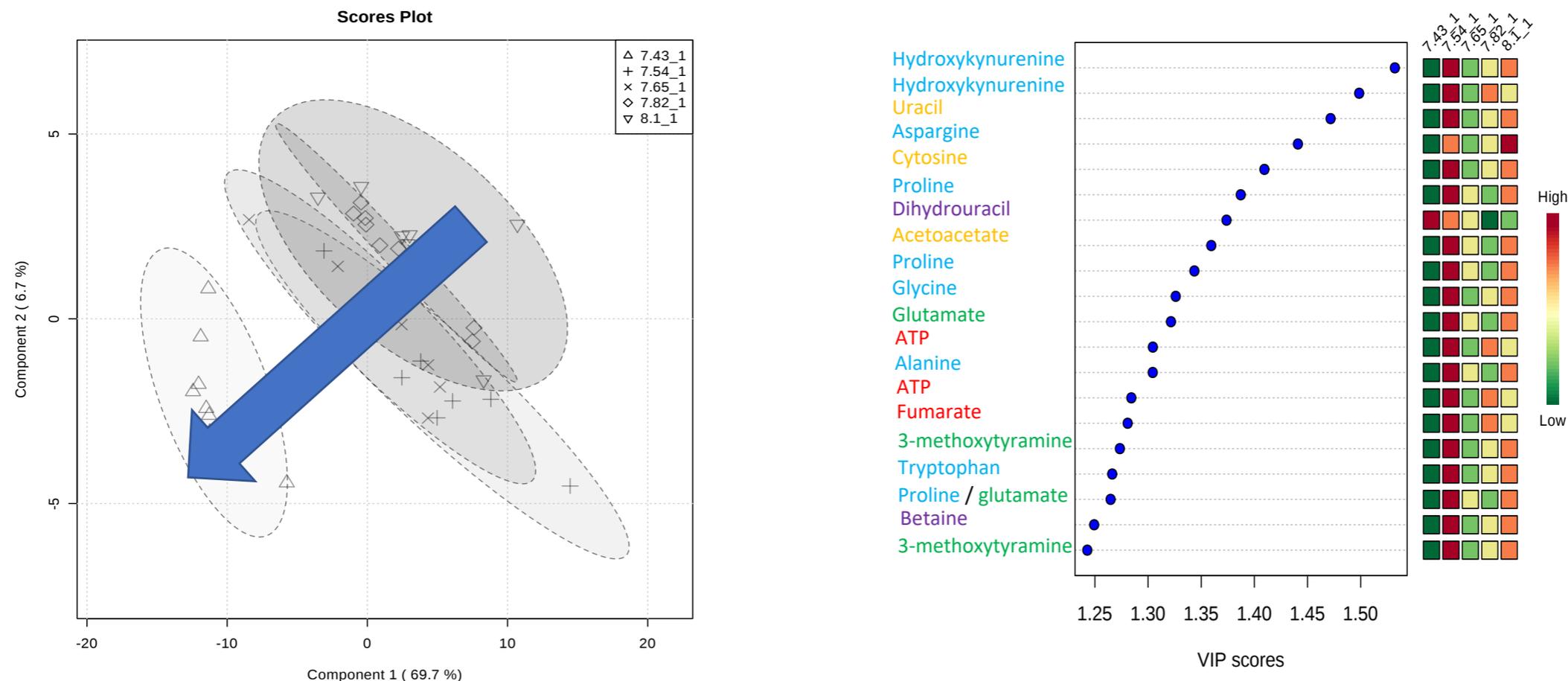
Analyse du développement et du métabolome en fin de développement, à l'éclosion, et à 10 jours
Sur un gradient de concentrations : pH = 8.10, 7.82, 7.65, 7.54, 7.43



➤ Embryons: vers une forte dépression métabolique à pH faible

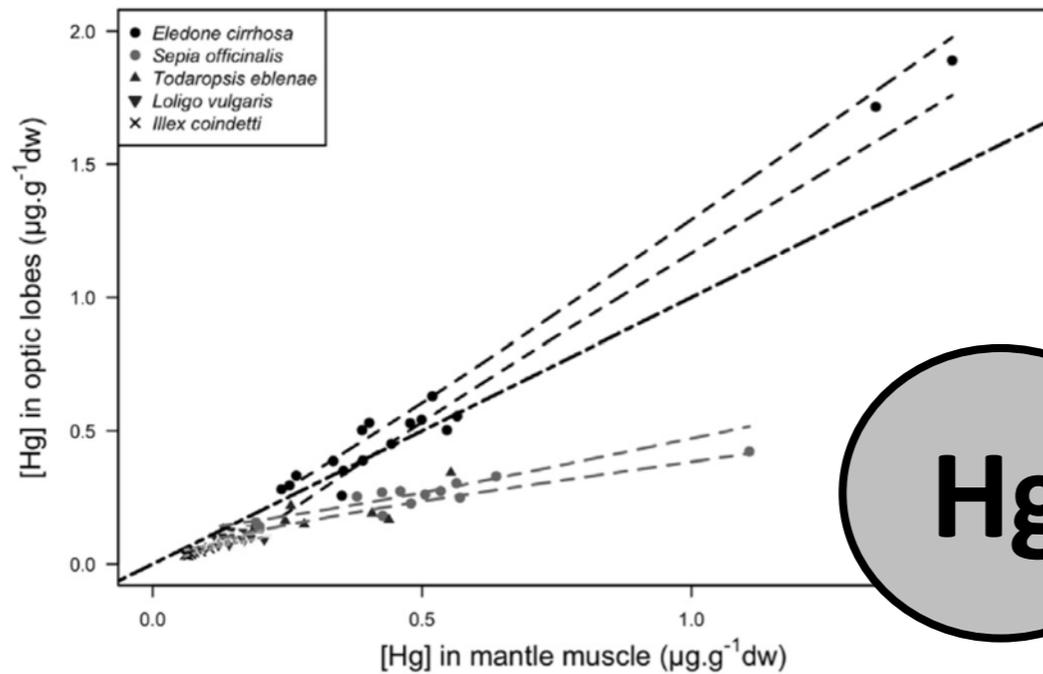
Les effets de l'acidification

Analyse du développement et du métabolome en fin de développement, à l'éclosion, et à 10 jours
Sur un gradient de concentrations : pH = 8.10, 7.82, 7.65, 7.54, 7.43

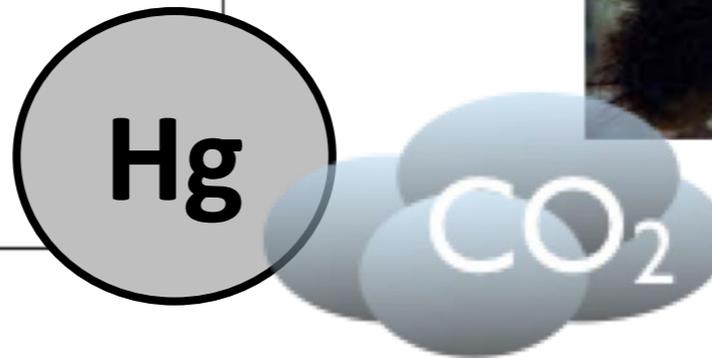


- Embryons: vers une forte dépression métabolique à pH faible
- A l'éclosion: recouvrement des réponses métabolomiques à différents pH: stress de l'éclosion > stress AO
- Juvéniles (10j): réponse non monotonique au gradient de pH

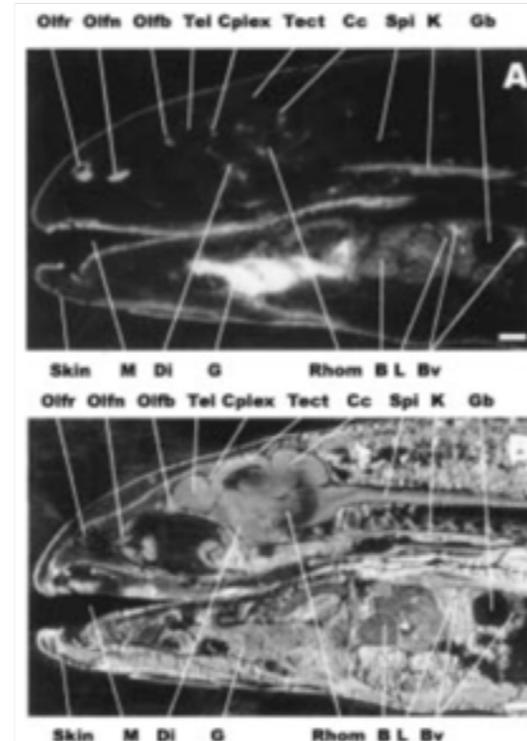
Les effets sur le comportement



Comportement



Neurotoxicité



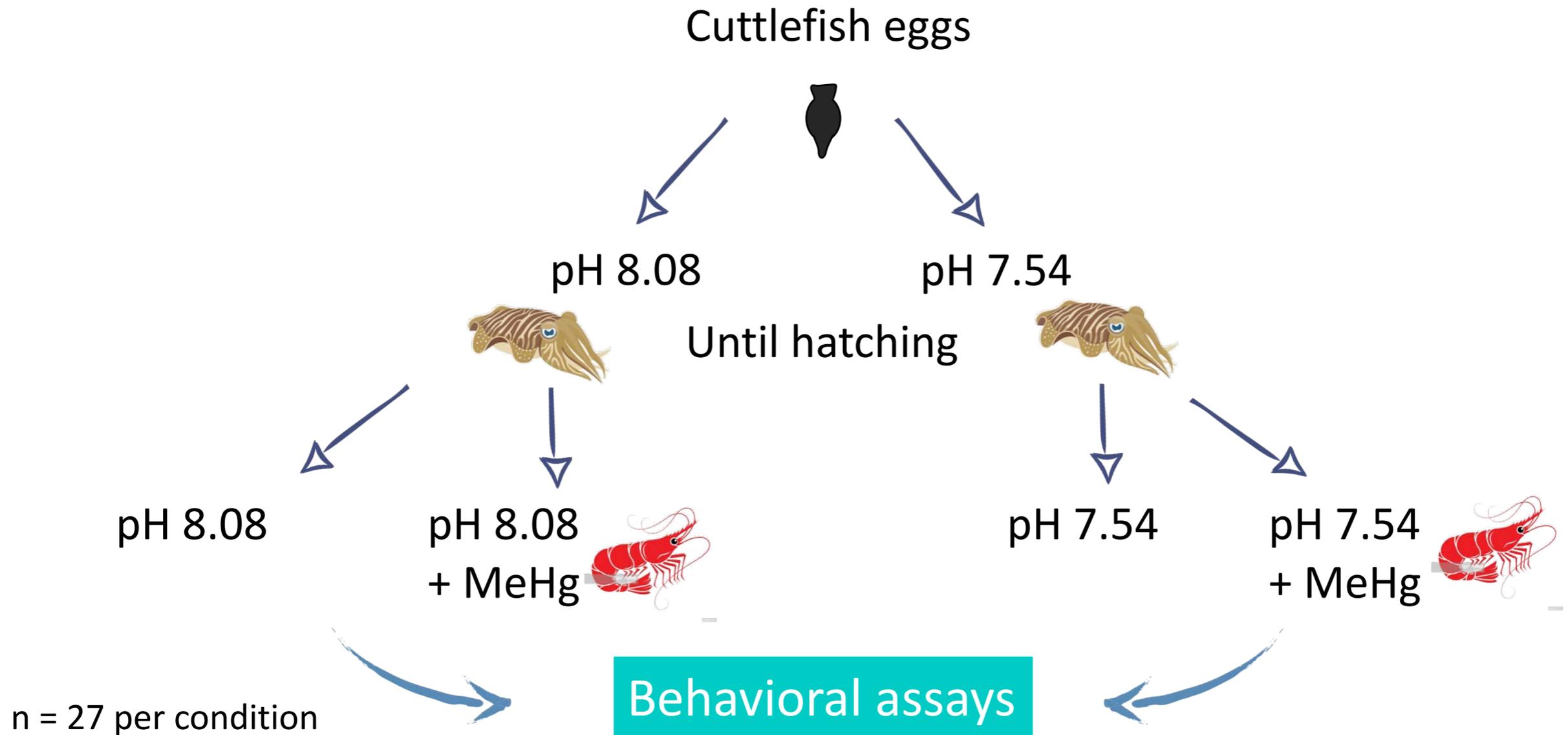
Des impacts sur les système sensoriels :

- Olfaction
- Ouïe
- Acuité visuelle

Conséquences sur les fonctions cognitives :

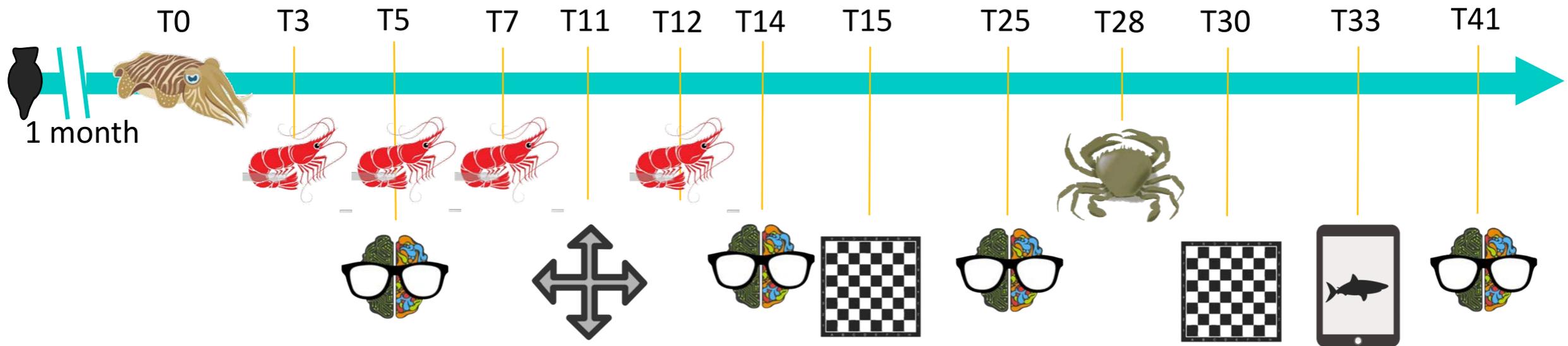
- Latéralisation
- Activité
- Audace
- Apprentissage

Les effets sur le comportement



En 2020 et en 2021

Les effets sur le comportement



-  Predation (Shrimp and Crabs)
-  Movement
-  Camouflage (U and D)
-  Lateralization
-  Looming

Tfinal:
Taille et Poids
[Hg] dans le manteau
Tête pour ISH sur le mRNA GAD
(2020 et 2021)
Tête pour RNAseq

➤ Predation:

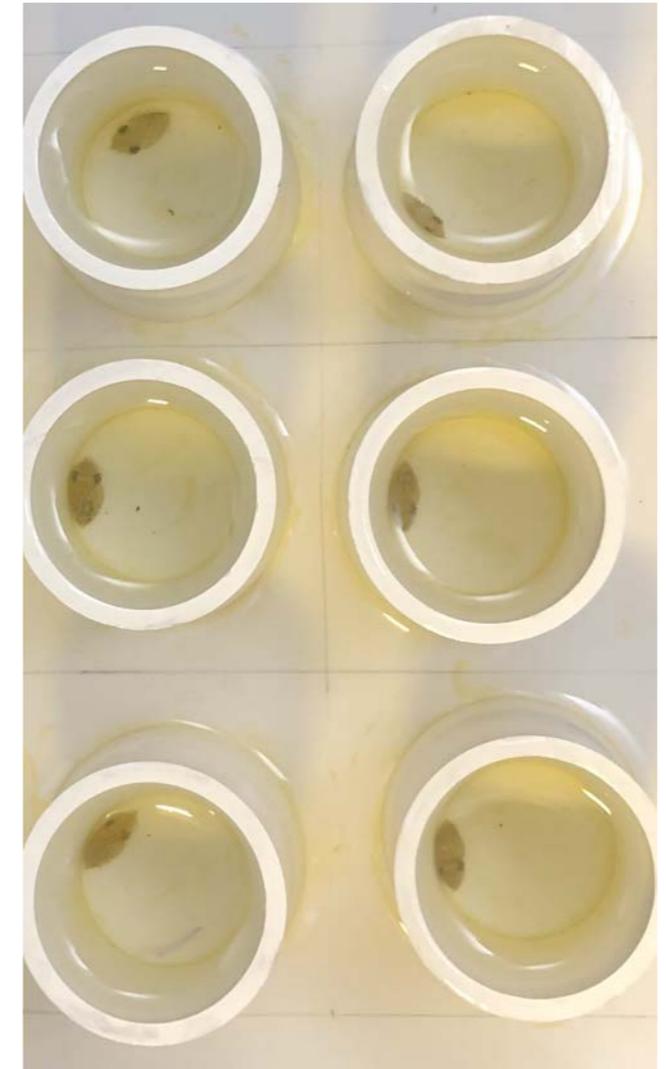
- Time before detection
- Time before attempt
- Number of attempt
- Time before catch
- Angle of attack
- Method



Pas d'effet

➤ Latéralisation:

- Indice de latéralisation (LI): coté préférentiel
-1 gauche / +1 droite
- Indice de latéralisation absolu (ALI): intensité de la latéralisation (0 faible - 1 forte)

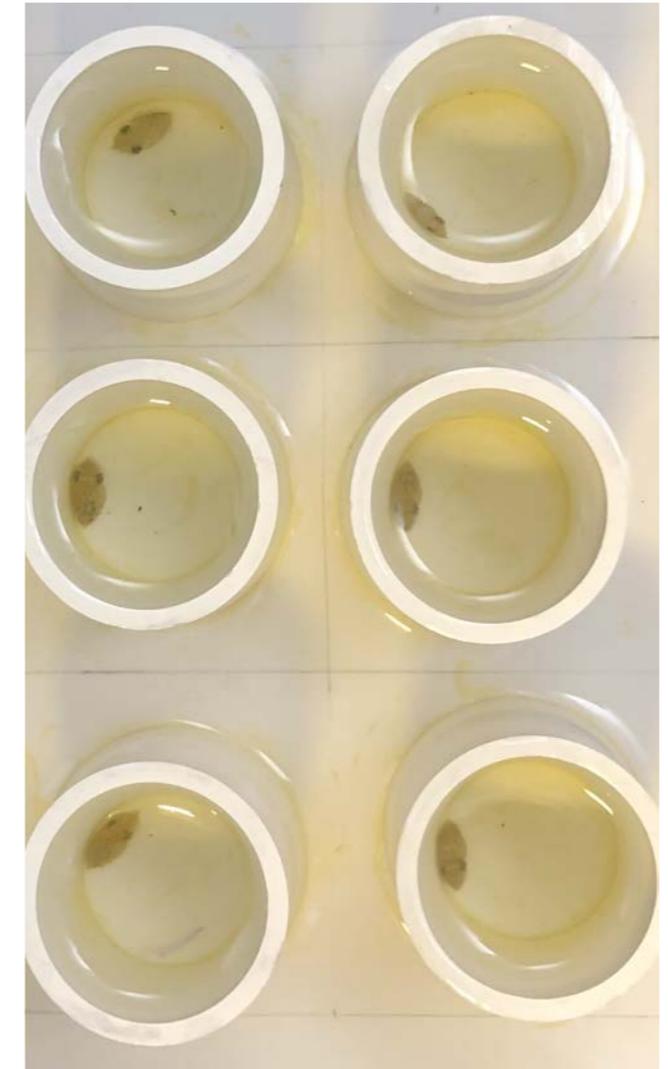
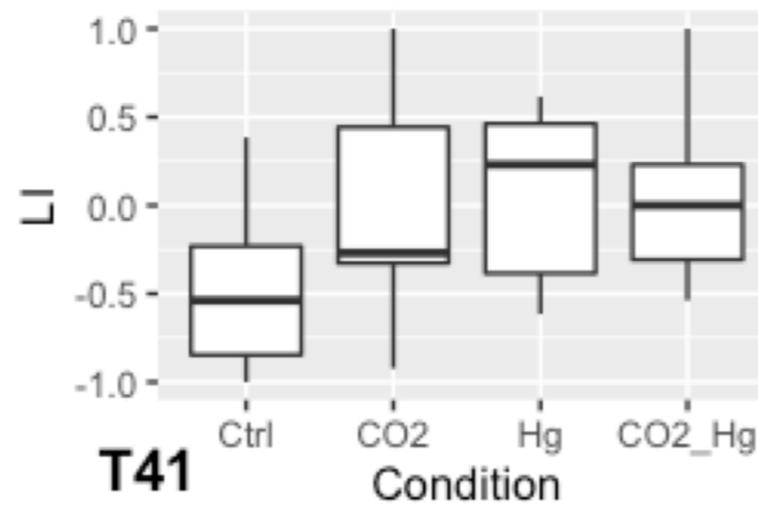
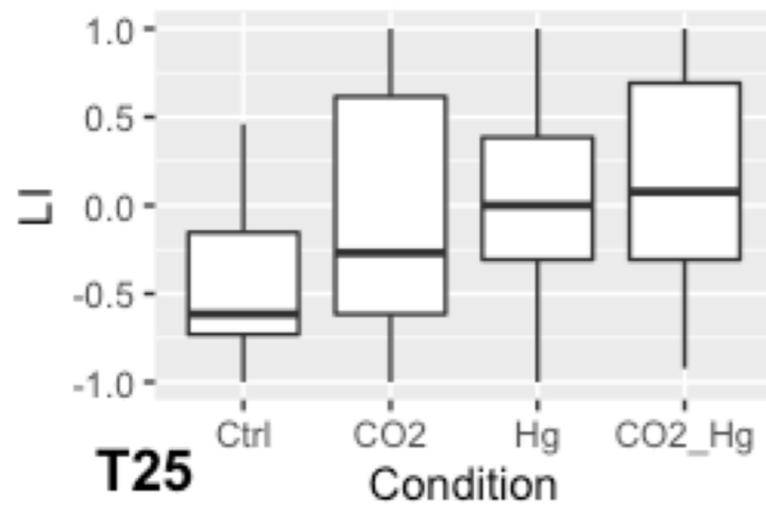
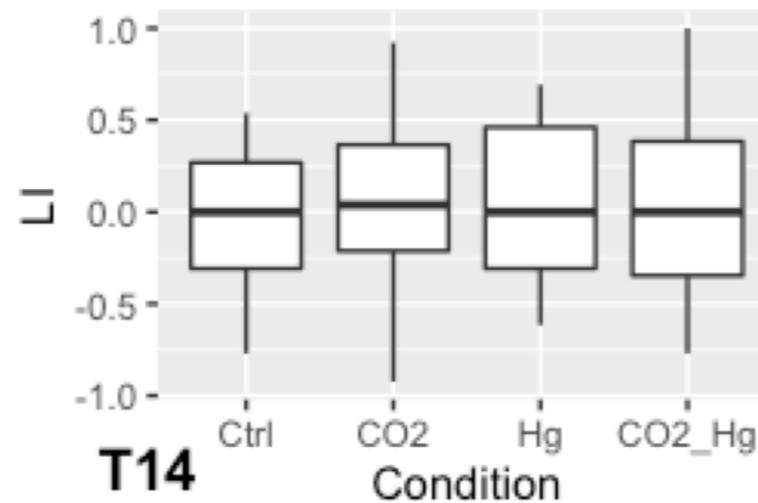
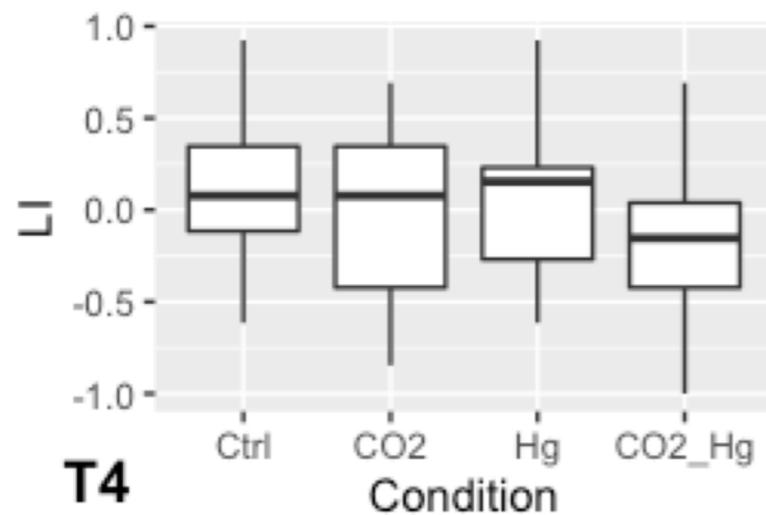


Schnell *et al.*, 2016

Les effets sur le comportement

➤ Latéralisation:

- Indice de latéralisation (LI): coté préférentiel
-1 gauche / +1 droite
- Indice de latéralisation absolu (ALI): intensité de la latéralisation (0 faible - 1 forte)

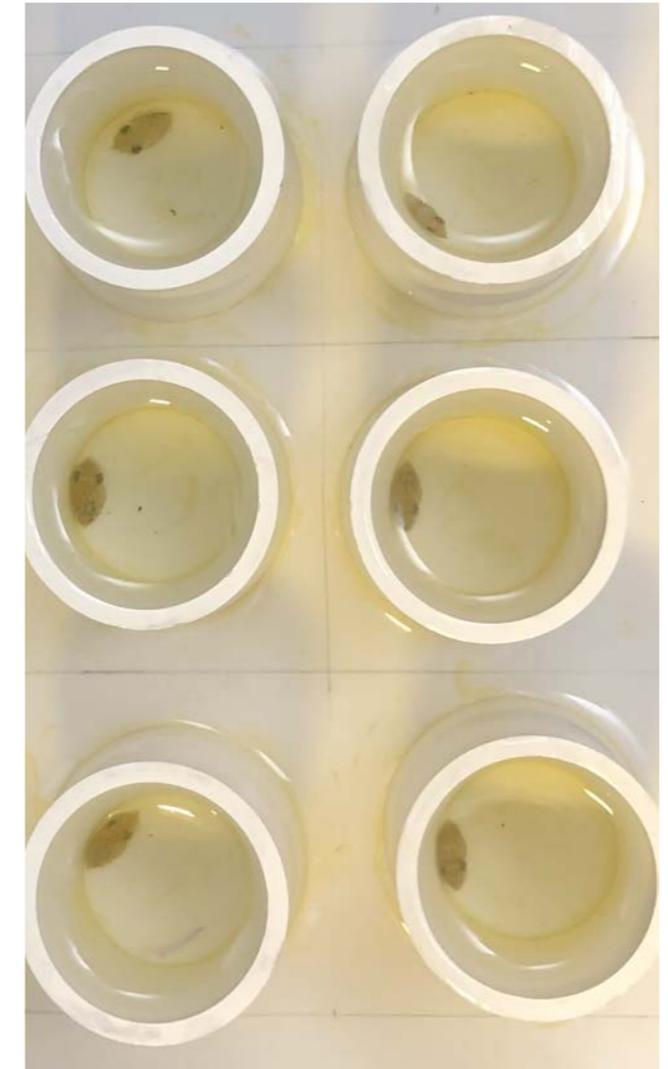
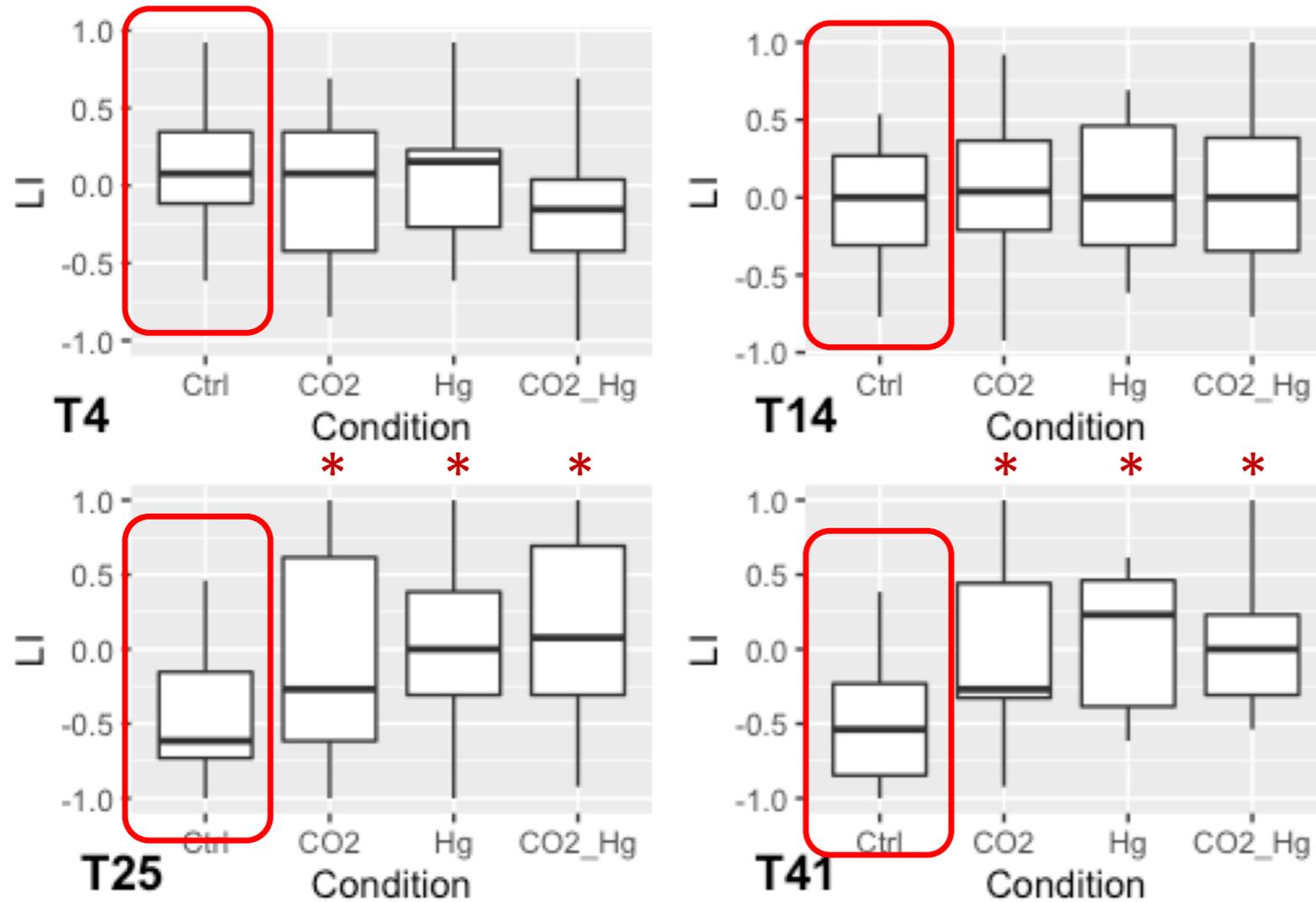


Schnell *et al.*, 2016

Les effets sur le comportement

➤ Latéralisation:

- Indice de latéralisation (LI): coté préférentiel
-1 gauche / +1 droite
- Indice de latéralisation absolu (ALI): intensité de la latéralisation (0 faible - 1 forte)



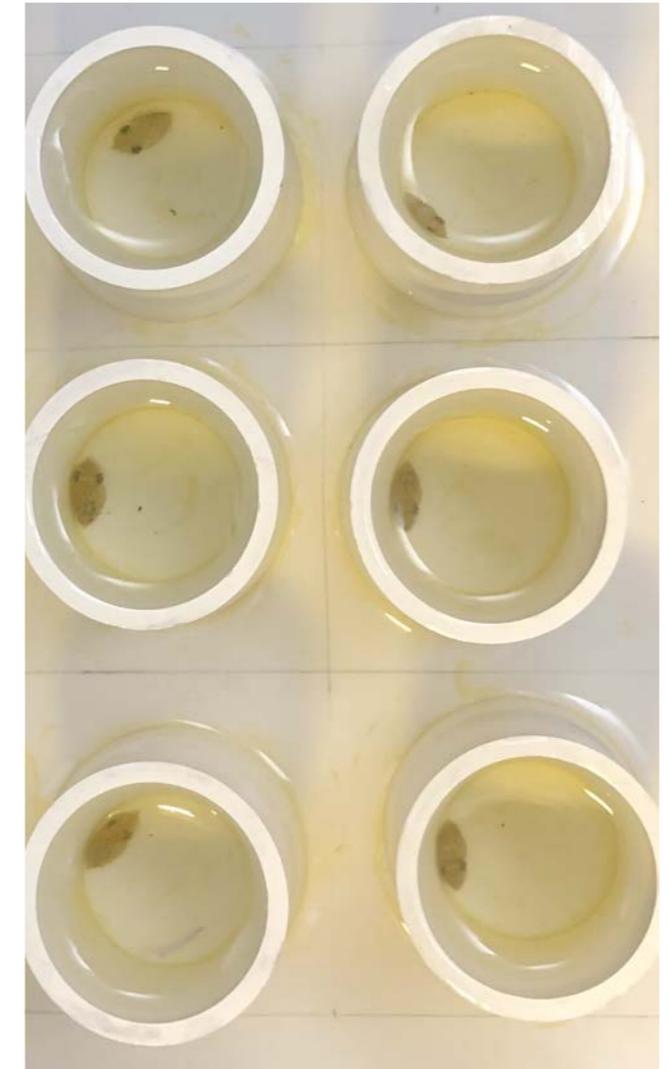
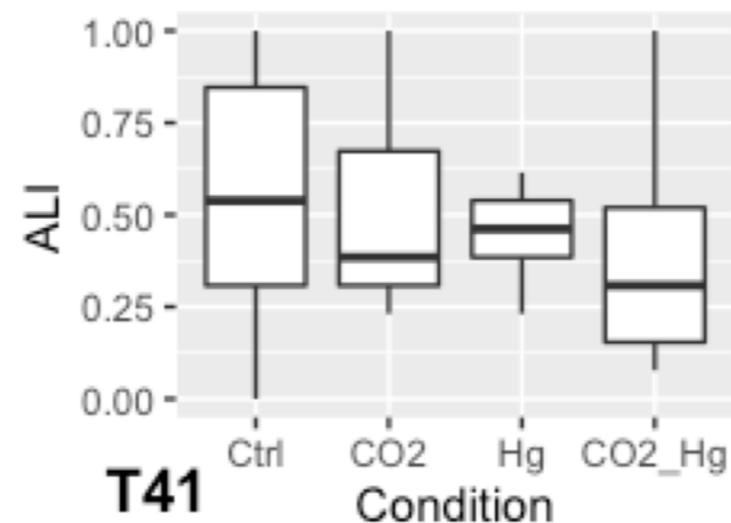
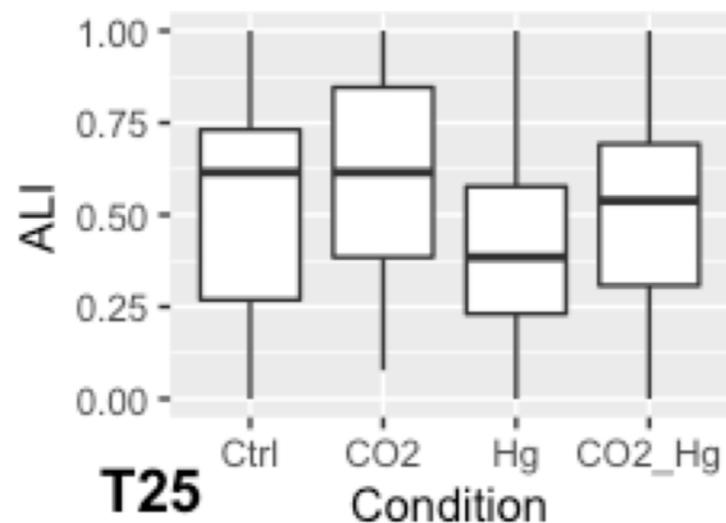
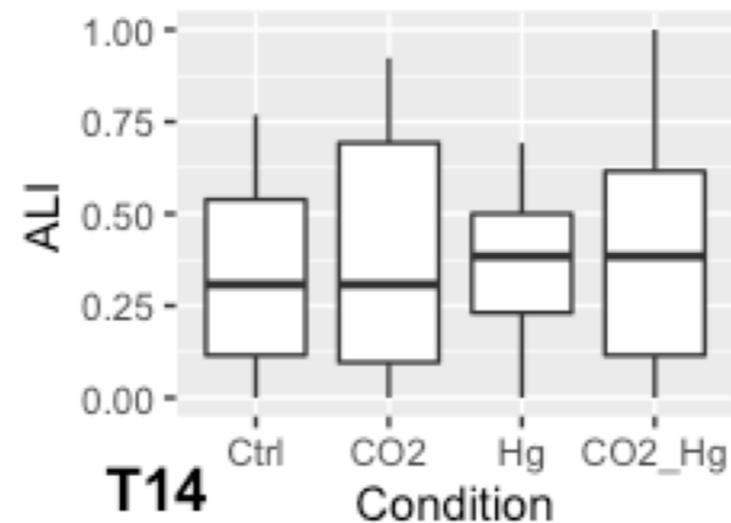
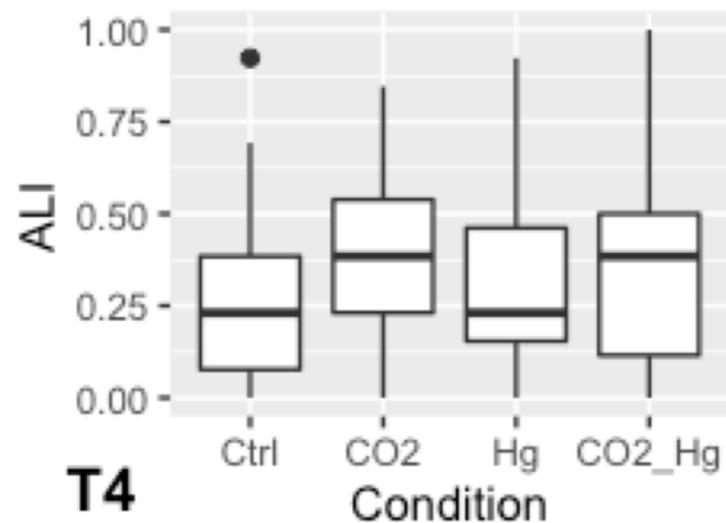
Schnell *et al.*, 2016

Individus non latéralisés en conditions contaminées ?

Les effets sur le comportement

➤ Latéralisation:

- Indice de latéralisation (LI): coté préférentiel
-1 gauche / +1 droite
- Indice de latéralisation absolu (ALI): intensité de la latéralisation (0 faible - 1 forte)



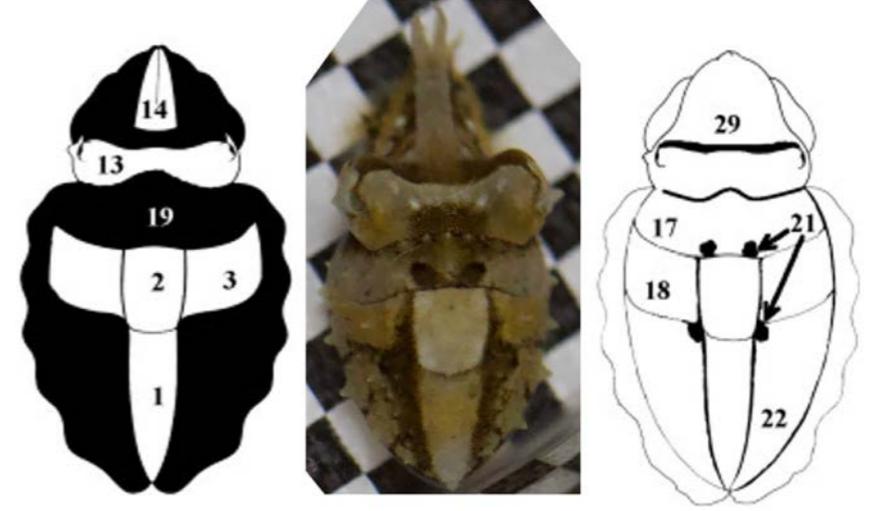
Schnell *et al.*, 2016

Individus toujours latéralisés mais avec une plus forte proportion d'inversement latéralisés

Les effets sur le comportement

➤ Camouflage:

- Uniform (grey balance)
- Disruptive (scoring /33)
- Papilla (scoring /3)



Barbosa *et al.*, 2008

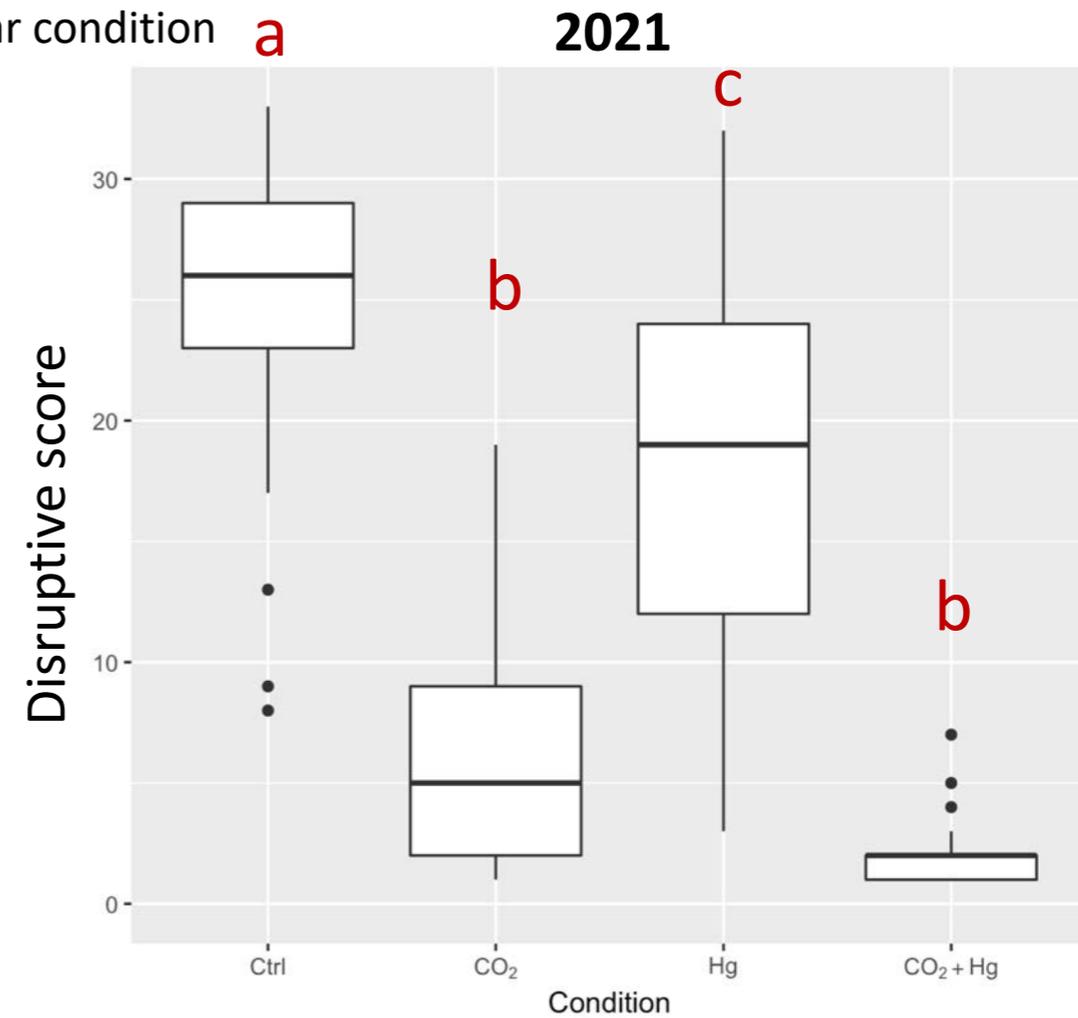
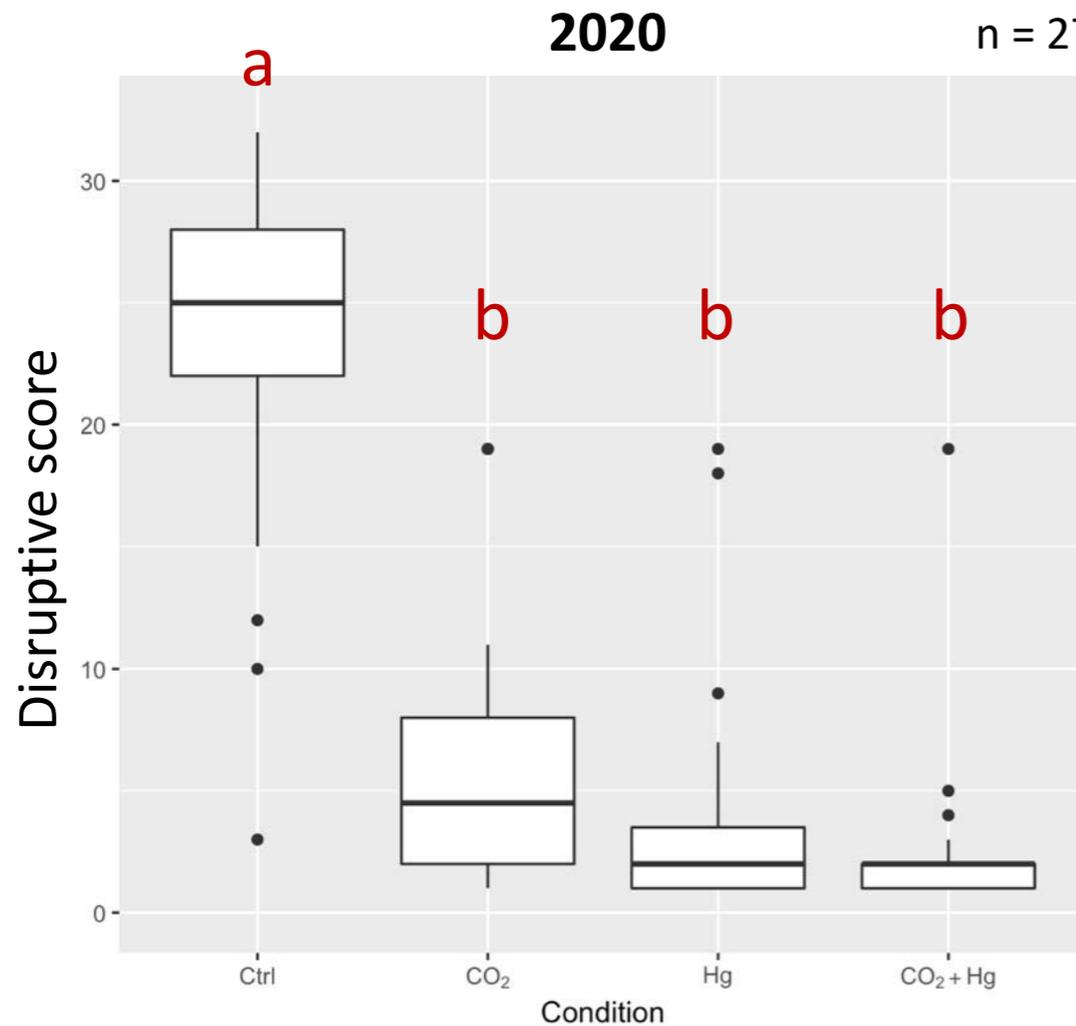
Les effets sur le comportement

➤ Camouflage:

- Uniform (grey balance)
- Disruptive (scoring /33)
- Papilla (scoring /3)



n = 27 par condition

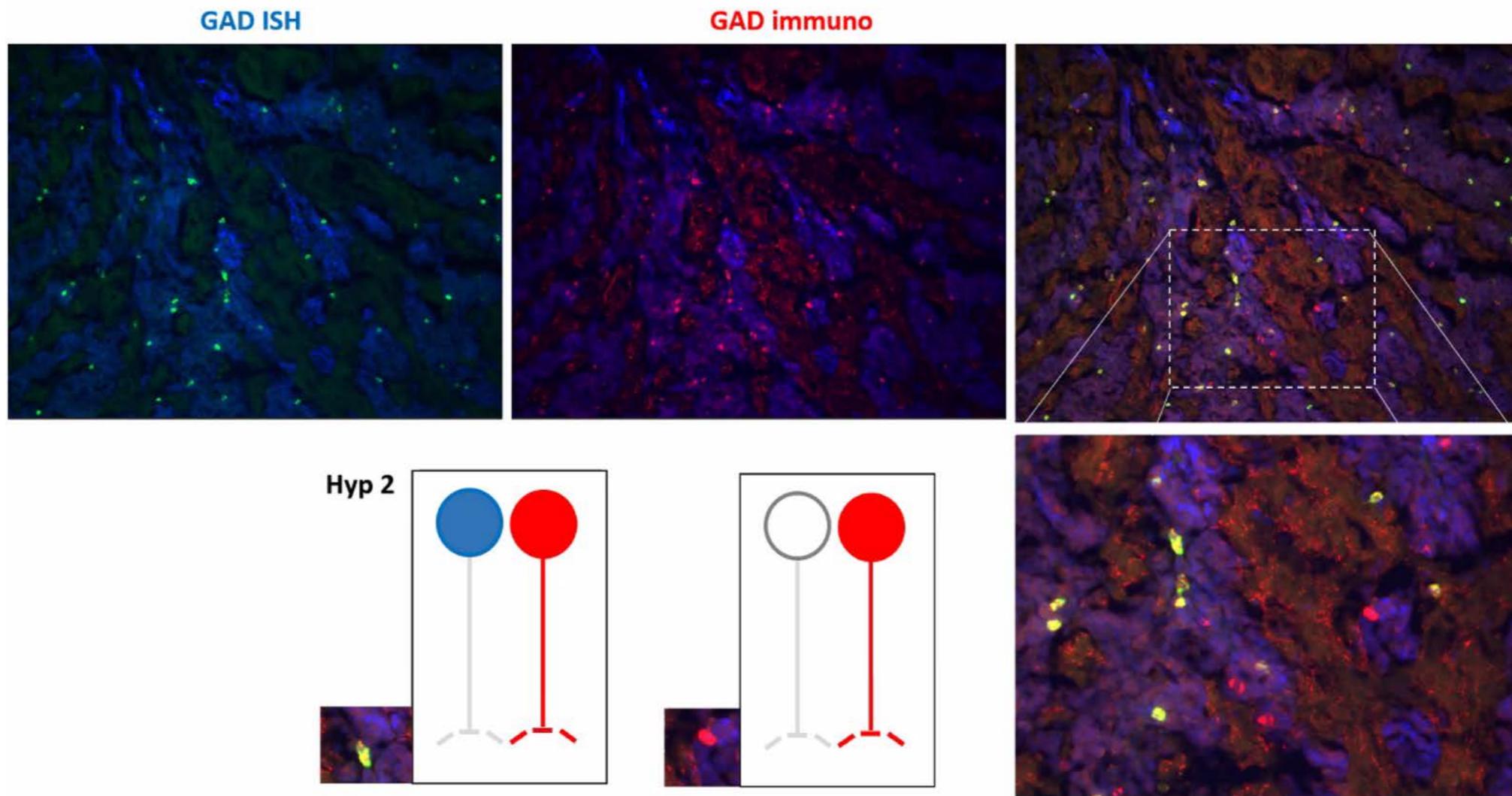


Hypothesis:

Hg and elevated $p\text{CO}_2$ decrease anxiety by disturbing GABA-A receptor

Etape 1: identifier et cartographier le système GABA chez la seiche

Travaux de Sébastien Baratte et Aude Andouche

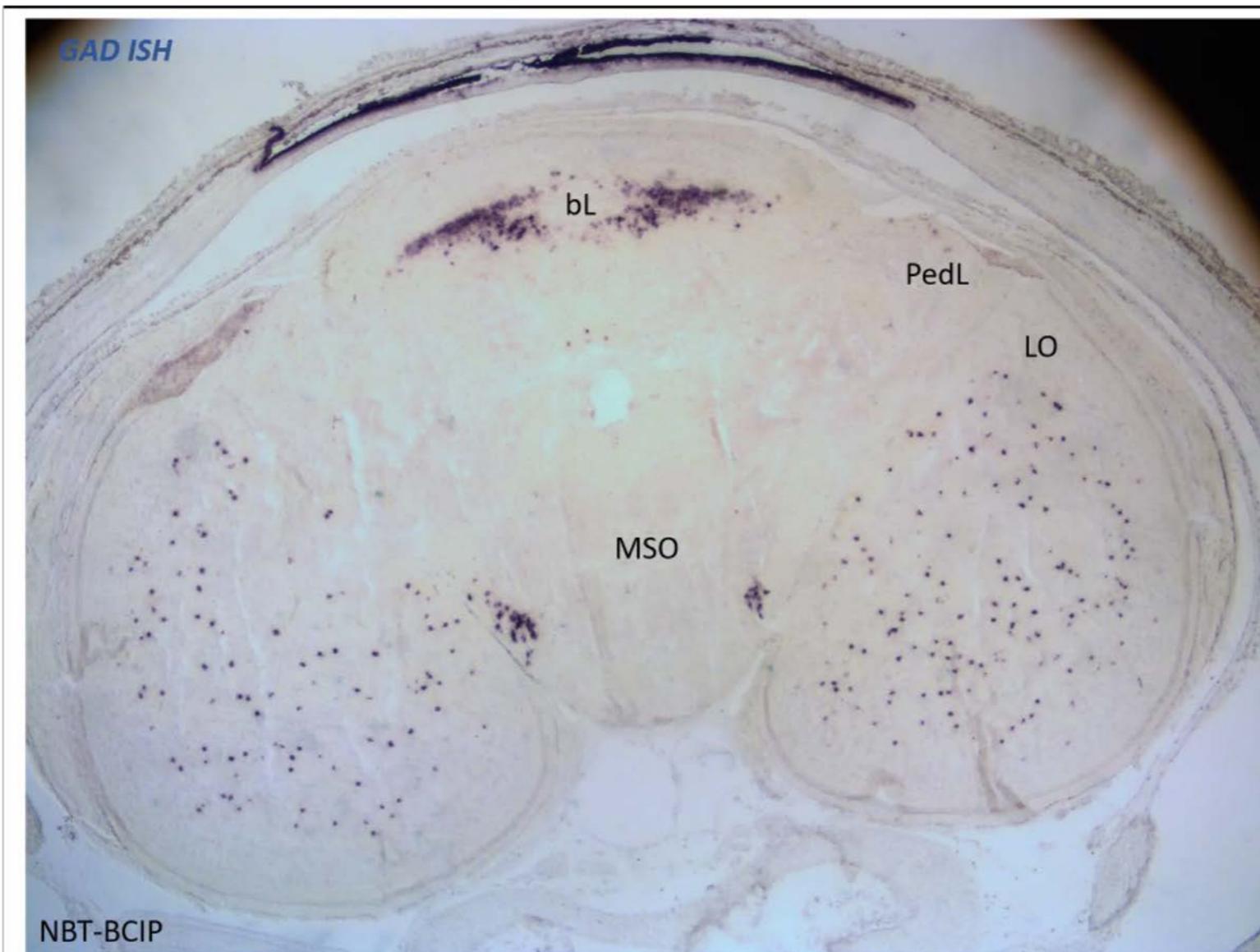


Les effets sur le comportement

Hypothesis:

Hg and elevated $p\text{CO}_2$ decrease anxiety by disturbing GABA-A receptor

Etape 2: quantifier les effets du Hg et CO_2 sur le système GABA: quantification en ISH sur lobe optique



Les effets sur le comportement



Pour aller plus loin:

- Extraction du mRNA et RNA seq en cours cette automne sur les têtes 2021: investiguer d'autres modes de neurotoxicité : AChE, ...?
- Défaut de camouflage: ne veut ou ne peut pas? Vérification de l'acuité visuelle par l'étude de la réponse optomotrice (analyse de données en cours)
- Inversion de la latéralisation: quelle conséquence en terme de réponse au prédateur: test looming

Valorisation Scientifique

Articles

Minet, A., Manceau, A., Valada-Mennuni, A., Brault-Favrou, M., Churlaud, C., Fort, J., Nguyen, T., Spitz, J., Bustamante, P., Lacoue-Labarthe, T., 2021. Mercury in the tissues of five cephalopods species: First data on the nervous system. *Sci Total Environ* 759, 143907.

Minet, A., Metian, M., Taylor, A., Gentès S., Azemard, S., Oberhänsli, F., Swarzenski, P., Bustamante, P., Lacoue-Labarthe, T. Bioaccumulation of inorganic and organic mercury in the cuttlefish *Sepia officinalis*: influence of ocean acidification and food type. *Env Pollut*.

Gentès S, Minet A, Metian M, Guyoneaud R, Gassie C, Oberhänsli F, Taylor A, Amouroux D, Bustamante P, Lacoue-Labarthe T. Tracing in vivo mercury methylation and demethylation processes in cuttlefish (*Sepia officinalis*) using mercury stable isotopes under elevated pCO₂. *En finalisation pour Env Sci & Tech*.

Minet A, Melvin S, Taylor A, Bustamante P, Metian M, Lacoue-Labarthe T. (1)H NMR-based metabolome in hatching embryo and juveniles of cuttlefish, *Sepia officinalis* exposed to elevated pCO₂. *En preparation pour Scientific Reports*

Minet A, Lacoue-Labarthe T, Fernandez-Declerck M, Andouche A, Baratte S, Bustamante P, Pante E, Jozet-Alves C. Ocean acidification and mercury alter anti-predator behavior of cuttlefish juveniles. *A venir*.

Communications orales

Minet A, Taylor A, Oberhänsli F, Gentès S, Bustamante P, Metian M, Lacoue-Labarthe T. Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la bioaccumulation du mercure chez la seiche. GDR Ecotoxicologie Aquatique, Novembre 2019, Bordeaux.

Minet A, Jozet-Alves C, Gentès S, Fernandez-Declerck M, Taylor A, Oberhänsli F, Azemard S, Swarzenski P, Métian M, Bustamante P, Lacoue-Labarthe T (2021) Bioaccumulation et effet du mercure chez la seiche dans le contexte de l'acidification des océans. Colloque ECOBIM, 31 mai-3 juin (en distanciel).

Activités de sensibilisation

Article pour le port-folio de l'exposition Océan & Climat qui ouvrira en novembre 2019 à La Rochelle (en partenariat avec l'Aquarium et le Museum d'Histoire Naturelle).

Présentation Grand Public sur l'acidification des océans dans le cadre du Festival Ecran Vert de La Rochelle (<https://www.festivalecranvert.fr>), novembre 2019 (par T Lacoue-Labarthe)

Présentation Grand Public sur l'acidification dans le cadre de la Fête de la Science, octobre 2020. L'acidification des océans « ça gaz un peu trop pour le grand bleu ! » (par A Minet)

Colloque des doctorants de 2^{ème} et 3^{ème} année de La Rochelle octobre 2021 : Présentation orale et poster « Bioaccumulation et effet du mercure chez la seiche dans le contexte de l'acidification des océans. » (par A Minet)
Prix du jury poster.

Antoine MINET
Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs), UMR 7266 CNRS - La Rochelle Université, 2 rue Olympique de Gougues, 17000 La Rochelle, France

BIOACCUMULATION ET EFFET DU MERCURE CHEZ LA SEICHE DANS LE CONTEXTE DE L'ACIDIFICATION DES OCÉANS

CONTEXTE
Conférence: Nous avons retrouvé des concentrations élevées de mercure (Hg), neurotoxique, chez de nombreuses espèces. En plus de cela, l'acidification des océans (CO₂) affecte la physiologie et le comportement des organismes marins. Cependant, il n'y a aucune donnée sur l'effet du Hg et du CO₂ chez les céphalopodes, bien que possédant de grandes capacités cognitives. Testons ça!

M&M
Collecte des oeufs Port des Minimes; Retour au labo

Conditions d'exposition
27 seiches par condition:
- Contrôle (Ctrl)
- Acidifiée (CO₂)
- Mercure (Hg)
- Acidifiée + mercure (CO₂+Hg)

Laissons les grandir et faisons quelques tests comportementaux:
- Prédation crevette ↔ Déplacement
- Prédation crabe ↔ Latéralisation visuelle par vigilance
- Camouflage
- Looming

RESULTATS
Prédation crevette à J3-5: Ctrl (Délicieux), CO₂ (Délitieux), Hg (Délitieux), CO₂+Hg (Délitieux).
Déplacement à J11: Ctrl (Je bouge), CO₂ (Pareil), Hg (Moi aussi), CO₂+Hg (De même).
Latéralisation visuelle à J25: Ctrl (Hé oui), CO₂ (Hé non), Hg (Hé non), CO₂+Hg (Hé non).
Prédation crabe à J28: Ctrl (Miam), CO₂ (Échec), Hg (Échec), CO₂+Hg (Échec).
Camouflage à J30: Ctrl (Echec), CO₂ (Echec), Hg (Echec), CO₂+Hg (Echec).
Looming à J33: Ctrl (Arrêtez de me faire peur), CO₂ (Arrêtez de me faire peur), Hg (Arrêtez de me faire peur), CO₂+Hg (Arrêtez de me faire peur).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES
Pour résumé, on n'a aucun effet du Hg et du CO₂ sur la croissance, la prédation et le déplacement. Par contre les seiches exposées ne se camouffent plus, et leur latéralisation est inversée!
Quelques analyses de ces cerveaux vont être nécessaires pour en savoir plus.
Et on repart pour de nouvelles expériences afin de vérifier l'acuité visuelle des seiches, leur latéralisation...

Activités de sensibilisation

Communication « Bioaccumulation et effets du mercure (Hg) chez la seiche dans le contexte de l'acidification des océans », Antoine Minet, MT180 (<https://www.youtube.com/watch?v=VJqbZyWr19k>), 2^{ème} prix du jury, La Rochelle Université.

Interview pour le podcast « une antisèche sur la seiche » par La Green Wave (<https://podcasts.apple.com/fr/podcast/antoine-minet-biologiste-marin-une-antisèche-sur-la-seiche/id1553140061?i=1000526098336>) par A Minet.



Intervention à un documentaire « Quand les calamars et les seiches se font un sang d'encre » (Elephant Doc) – diffusion prochaine sur France 5.

Réalisation d'un court métrage « de l'encre à la plume : le récit du mercure » pour le festival du film « pas trop » scientifique par Antoine Minet & Fanny Cusset, diffusion samedi 9 octobre.

Activités de sensibilisation

Élaboration d'une valise pédagogique sur l'acidification des océans « A Mer Acide ».



zone coupé



Séminaire scientifique de restitution
du programme Acidification des océans

Activités de sensibilisation

Élaboration d'une valise pédagogique sur l'acidification des océans « A Mer Acide ».

Les parcours

Le livret d'activités propose diverses **activités pédagogiques** afin de comprendre le **principe d'acidification des océans, ses conséquences sur l'environnement et le lien entre acidification des océans et activités humaines**. Ce livret est complété par un livret Ressource qui est à destination des médiateurs scientifiques et enseignants. Ce dernier est une synthèse de l'état des connaissances sur l'acidification des océans qui sont des clés pour expliciter les activités pédagogiques. Les activités proposées dans cette malle sont organisées en trois **parcours pédagogiques** divisés en différentes activités.

Parcours 1 « Acidifi'quoi ? »

- Activité 1 :** L'acidité sous toutes ses couleurs
- Activité 2 :** Un océan, des océans, un habitat, des habitants ?
- Activité 3 :** Qu'est-ce qui modifie l'acidification de l'océan ?
- Activité 4 :** WorldCafé qui s'acidifie
- Activité 5 :** Ça gaze trop fort dans l'océan
- Activité 6 :** Les êtres vivants et la respiration
- Activité 7 :** Les végétaux et la photosynthèse
- Activité 8 :** La décomposition de la matière organique

Parcours 2 « Les conséquences de l'acidification des océans »

- Activité 1 :** L'acidité sur les coquillages
- Activité 2 :** Fabriquer ta coquille
- Activité 3 :** Poisson-clown téléphone maison
- Activité 4 :** Il était une fois le banc de poissons

Parcours 3 « Atténuation et Adaptation »

- Activité 1 :** Jengalmentaire
- Activité 2 :** Débat mouvant
- Activité 3 :** Passeur de paroles
- Activité 4 :** Yapluka

Chaque activité décrite à l'intérieur des parcours est présentée de la même façon :

- Une introduction sur le sujet et une ou plusieurs questions auxquelles l'activité va tenter de répondre
- Les objectifs à atteindre
- Le matériel nécessaire, ainsi que les cartes, les posters et les annexes associés
- Le protocole pour réaliser l'activité est souvent composé de différentes étapes
- Les explications, donnant les résultats et les interprétations des différentes étapes de l'activité ainsi que le référencement au livret Ressource
- Une partie « Pour en savoir plus », permettant d'obtenir davantage d'informations et éventuellement, une ouverture sur le sujet traité.

Pour finir deux annexes composent ce livret pour créer de l'eau de mer artificielle et un révélateur d'acidité naturelle, l'eau de chou rouge.

Ils ont été conçus pour être animés les uns après les autres dans une suite logique d'ateliers qui seront présentés dans chaque parcours. En d'autres termes, chaque parcours a pour prérequis le ou les précédents, sauf pour le premier parcours. Si vous n'avez pas la possibilité de réaliser l'ensemble des activités, nous vous conseillons donc de commencer par une activité du parcours 1 puis une activité du parcours 2 et une dans le parcours 3. Ainsi vous aurez parcouru la thématique dans son ensemble.

zone coupé

Parcours 2

DURÉE : 30 à 1h30 minutes
CADRE : extérieur ou grande salle vide

Activité 4

OBJECTIFS

- Appréhender une stratégie comportementale : le banc de poisson
- Comprendre l'importance des modifications de la chimie de l'océan

MATÉRIEL FOURNI

- Cadre de la conférence: Fond de l'océan (Annexe 10)
- Les visuels de la conférence (Annexe 11)
- 4 intitulés d'acte (Annexe 12)
- Texte « L'Union fait la Force » (Annexe 12)

Proposition 1 L'animateur.ice comme seul acteur.ice | 30 minutes

- L'animateur.ice animera le texte « L'Union fait la force » sous la forme d'une conférence théâtralisée. Pour réaliser cette animation, l'animateur.ice fixe le premier décor et dispose l'ensemble des visuels dans l'ordre devant lui.elle
- L'animateur.ice lit l'histoire « L'Union fait la Force ». Au cours du texte les visuels sont à disposer sur le décor. A chaque décor d'acte l'animateur.ice peut indiquer le changement d'acte par la présentation du titre.
- A la fin de l'histoire, l'animateur.ice interroge les élèves sur les mots compliqués et sur ce qu'ils en ont compris (CF : QUESTIONNEMENT)

Proposition 2 Un groupe de comédien.ne | 45 minutes

Pour animer la pièce de théâtre il faut :

- 1 animateur.ice qui lit les questions
- un élève qui lit les réponses du texte / 4 élèves qui lisent les réponses des 4 actes, un acte chacun.
- un élève qui place le décor et qui affiche l'intitulé de chaque acte
- un élève qui dispose les visuels tout au long de l'histoire

QUESTIONNEMENT :

Connaissez-vous d'autres stratégies, d'autres animaux pour se protéger des prédateurs ?

Que pensez-vous qu'il peut arriver pour ces poissons, si l'acidification des océans augmente ? (Raréfaction de l'espèce, trouver un autre habitat que la colonne d'eau, disparition de leur prédateur, adaptation d'un autre sens, ne plus utiliser la vue mais l'odorat par exemple)

Il était une fois le banc de poisson

Le banc de poisson offre une protection à des espèces comme les sardines ou les maquereaux. Formé par plusieurs milliers de poissons, le banc rend l'identification d'un seul individu par les prédateurs quasi impossible et simule une créature intimidante pour les chasseurs de taille moyenne. Et si l'acidité de l'eau augmente ? Que se passera-t-il ?

PROTOCOLE

La mise en place de cette activité est adaptable selon le cadre, l'animateur.ice et le groupe d'élèves.

Au sein de cette malle, 3 formats sont proposés mais les objectifs sont toujours les mêmes, faire discuter au sujet de concepts scientifiques et de l'impact de la modification de paramètres physico-chimique de l'eau tel que le pH sur les êtres vivants

Cette activité est une petite scénette de théâtre avec

- 4 actes représentés par quatre titres différents à disposer devant les élèves.
- Un cadre de la conférence: un décor permettant de s'immerger dans la vie des poissons
- Un texte fait de questions et de réponses
- Des visuels qui permettent de mettre en scène le texte et de bien visualiser les propos. Les visuels sont à fixer sur le décor lorsque ces derniers sont nommés en italique dans le texte

Proposition 3 | 1 heure

- Après la lecture de ce texte, l'animateur.ice propose de réaliser un folioscope ou un flipbook pour illustrer le déplacement d'un banc de poisson.
- Pour réaliser un folioscope, les participant.es ont besoin d'un petit tas de feuilles de papier (fin pour pouvoir le feuilleter rapidement) agrafées ensemble, d'un crayon de papier et d'une gomme. L'élève commence le folioscope en dessinant la première feuille de la pile. Pour continuer sur la deuxième feuille, l'image doit être légèrement différente mais dessinée au même endroit. Par la suite, les participants.es dessinent feuilles après feuilles avec de petits détails qui changent à chaque fois. Proposer de mettre de la couleur, cela améliorera l'animation. Pour visionner l'animation, le tas de feuilles est effeuillé rapidement de la dernière feuille à la première feuille de la pile.

Pour plus d'informations sur comment réaliser un folioscope :
<https://static.ccm2.net/scrub-files/10586799.pdf>
<https://www.youtube.com/watch?v=DzCUTMYycGM>

EXPLICATIONS

Plusieurs études scientifiques montrent que lorsque les poissons vivent dans des eaux acides, ces derniers connaissent des modifications de comportements importantes. Les poissons ont tendance à perdre leur instinct de survie. En effet l'acidification des océans a tendance à impacter les récepteurs sensoriels des espèces mobiles vivants dans les océans ou ces derniers se repèrent principalement grâce à la vue, l'odorat et l'ouïe.



PARCOURS 2 / ACTIVITÉ 4 / DURÉE : 30 MIN À 1 H 30 / CADRE : EXTÉRIEUR OU GRANDE SALLE VIDE

Parcours 2

zone coupé

Les conséquences de l'acidification des océans

Remerciements



Marc Métian, Angus Taylor, Sabine Azemard, François Oberhänsli, Peter Swarzenski



Christelle Jozet-Alves



Sébastien Baratte, Aude Andouche



Steven Melvin



Rémy Guyoneaud, Emmanuel Tessier, Cécile Gassie, David Amouroux



Paco Bustamante, Armelle Combaud, Eric Panté, Marina Fernandez-Declerck, Ambre d'Amour, Daniel Eliahou, Carine Churlaud, Maud Brault-Favrou, Emmanuel Dubillot, Ilona Margoumet-Joyau, Anais Berry,

Antoine & José Lacoue-Labarthe, Fernando Pedraza, le Port de Plaisance de La Rochelle (Pierre Rideau)