

# Séminaire

du GIP Seine-Aval

08 avril 2021



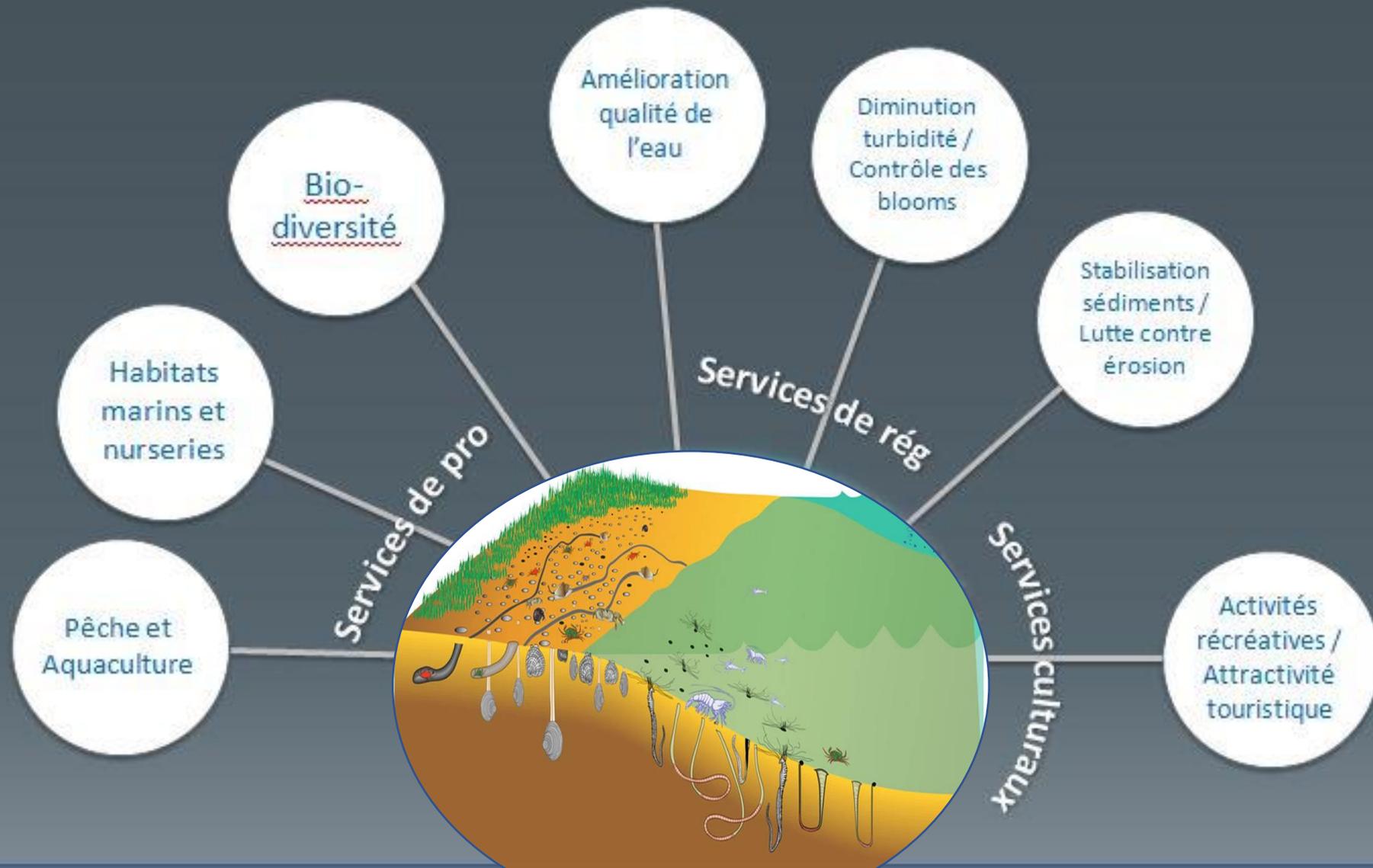
## *Facteurs déterminants du fonctionnement écologique d'une vasière intertidale et dynamique d'évolution d'espèces sentinelles de la macrofaune de la fosse Nord de l'estuaire*

*Francis Orvain, Arnaud Huguet et Sami Souissi*

*Les financeurs du GIP Seine-Aval sont :*



# Vasières intertidales et Services écosystémiques



## Fonctionnement des écosystèmes de l'embouchure de l'estuaire de la Seine à travers une étude interdisciplinaire ciblant le zooplancton et le macro-zoobenthos

*Sami Souissi (coordinateur), Sofiène Tlili, Maiwen Le Coz, Thomas Combes, Mohamed Mouloud, Hanane Perrein-Ettajani, Gwendoline Duong, François Gevaert, Lionel Denis, Catherine Mouneyrac*

1



2

mms  
mer molécules santé



3



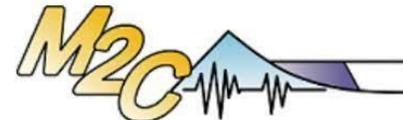
Sur le volet Zooplancton



# Contributions PHARE-SEE

**Productivité microphytobenthique des HABITATS intertidaux en lien avec la dynamique sédimentaire, biogéochimique et les ingénieurs d'écosystème de la faune benthique : implication pour des enjeux de modélisation et de REhabilitation des vasières de la SEine Estuarienne**

*Co-auteurs: Francis Orvain, Arnaud Huguet, Jérôme Morelle, Bénédicte Thouvenin, Edith Parlanti, Olivier Maire, Benoit Lebreton, Annet Laverman, Céline Roose-Amsaleg, Julien Deloffre, Nicolas Lecoq, Valérie Mesnage, Christiane Rakotomalala, Raphael Savelli, Anaïs Richard, Florent Grasso, Luuk van den Heijden, Katell Guizien*



# Facteurs clefs du fonctionnement



Expérimentations *in situ*

+

Expérimentations *ex situ*



Modèle de fonctionnement

*Compréhension du rôle fonctionnel des bioturbateurs sur le fonctionnement de la vasière*

⇒ **Couplage fort expérimentation/modélisation**

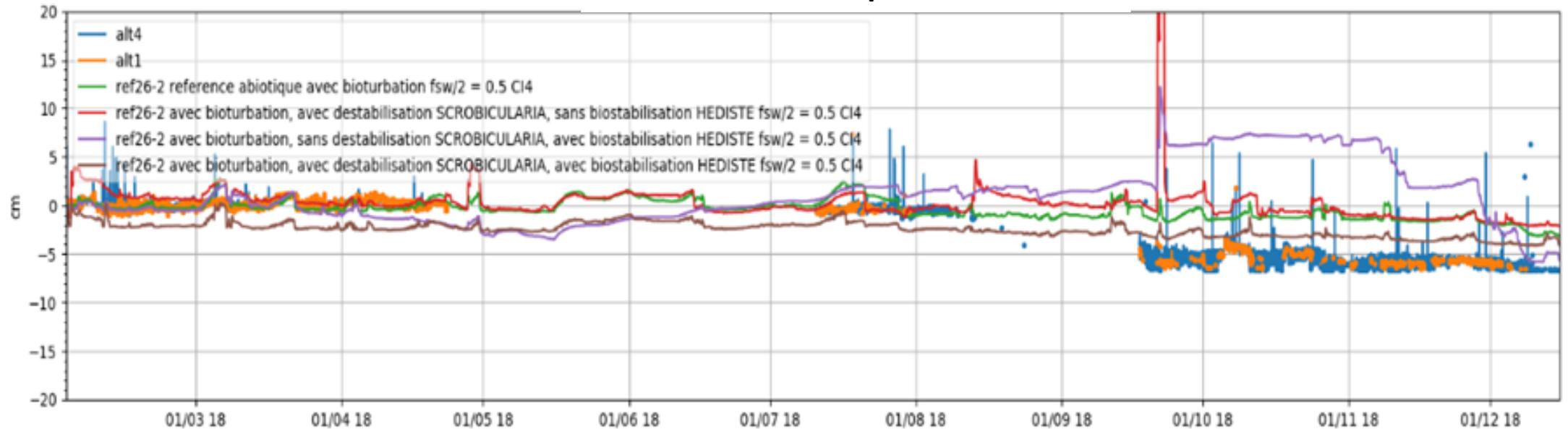


# Modélisation évolution altimétrique



Comparaison mesures ALTUS/modèle

## Variation altimétrique site 2



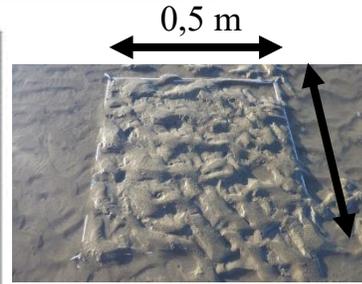
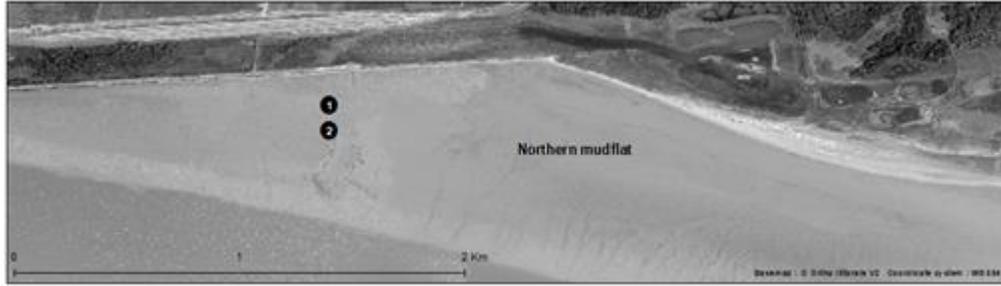
✓ Nette augmentation de l'érosion en été en lien avec :

(i) Effet **déstabilisateur des scrobiculaires** et conjointement (ii) **biostabilisateur *d'H. diversicolor***

⇒ **Nécessité d'intégrer l'effet « biologique » sur l'érodabilité dans le modèle hydro-sédimentaire**



# Paramètres sédimentaires



*Hd : Hediste diversicolor*

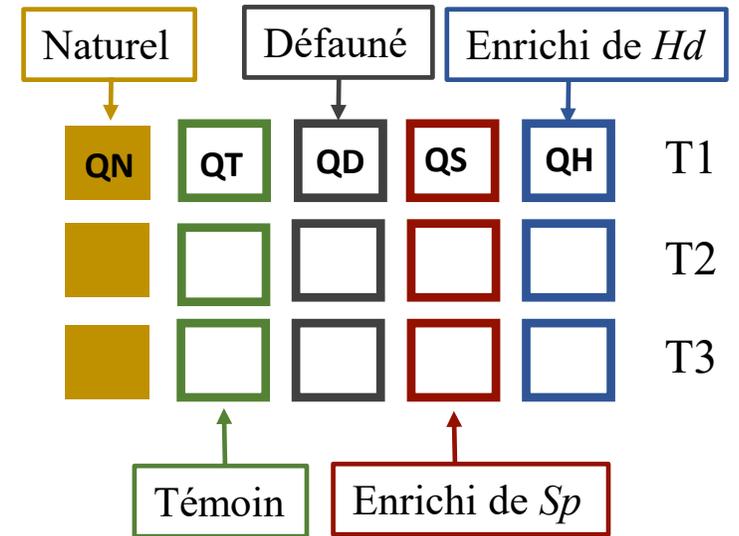
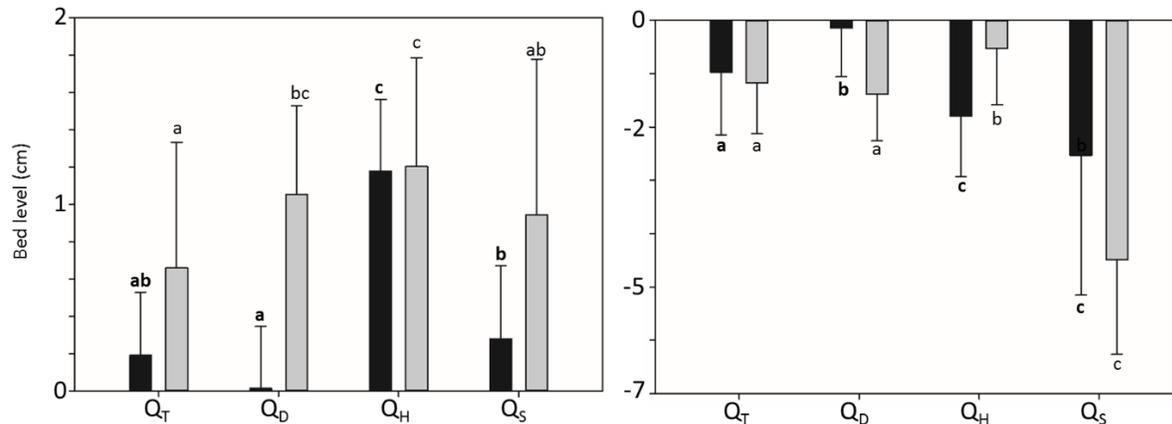
- Deux sites sablo-vaseux

**Site 1 :** (haut d'estran) Hiver  $28,2 \pm 7,8$  % fine – Été  $31,68 \pm 9,06$  % fine

**Site 2 :** (bas d'estran) Hiver :  $14,5 \pm 5,9$  % fine – Été  $28,31 \pm 6,32$  % fine

Février 2018

Octobre 2018

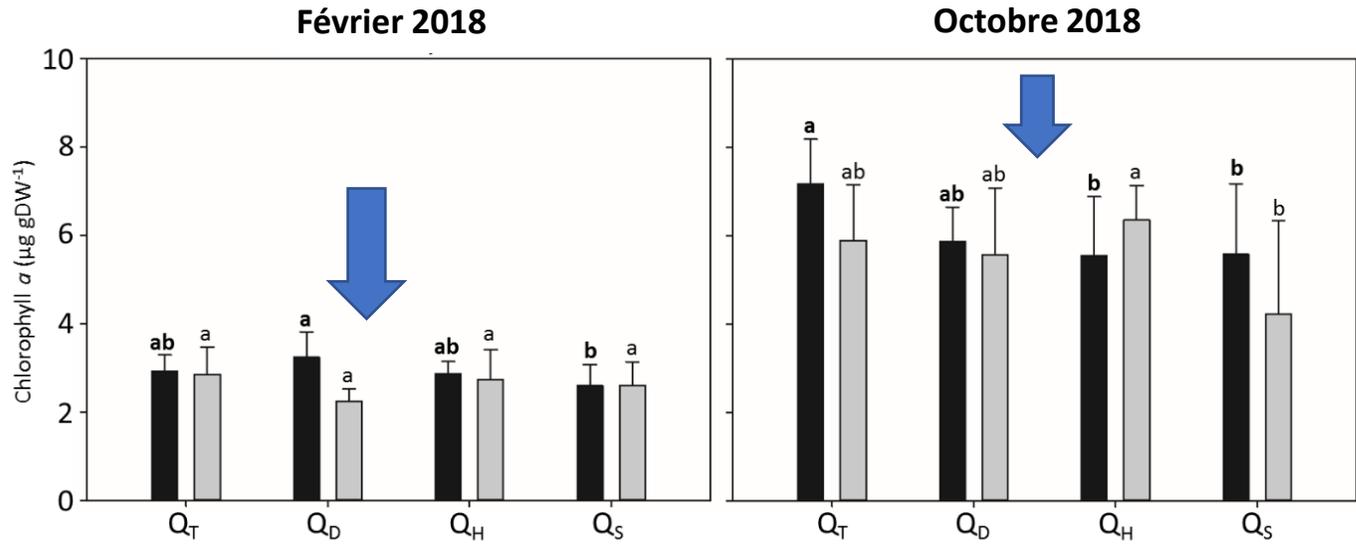


*Sp : Scrobicularia plana*

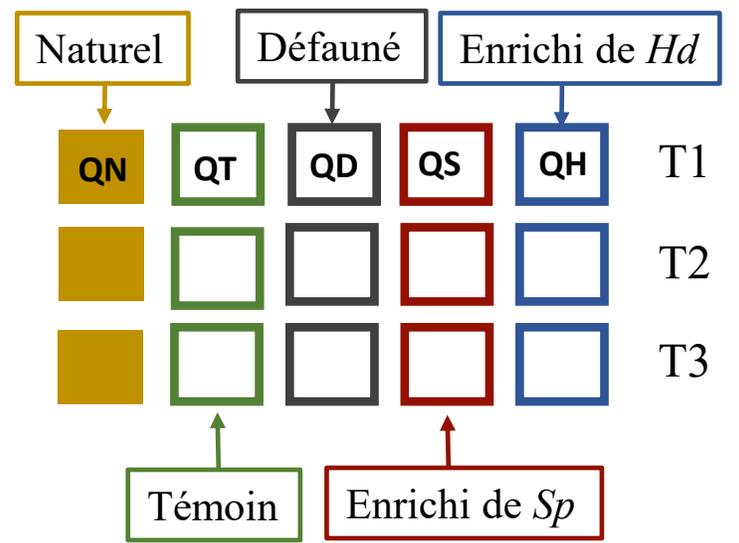
- ✓ Variation saisonnière des paramètres sédimentaires : dépôt de sédiment en hiver, érosion en été
- ✓ Effet des bioturbateurs : *Sp* favorise l'érosion l'été, *Hd* a un effet biostabilisateur (accrétion nette)



# Paramètres microphytobenthiques

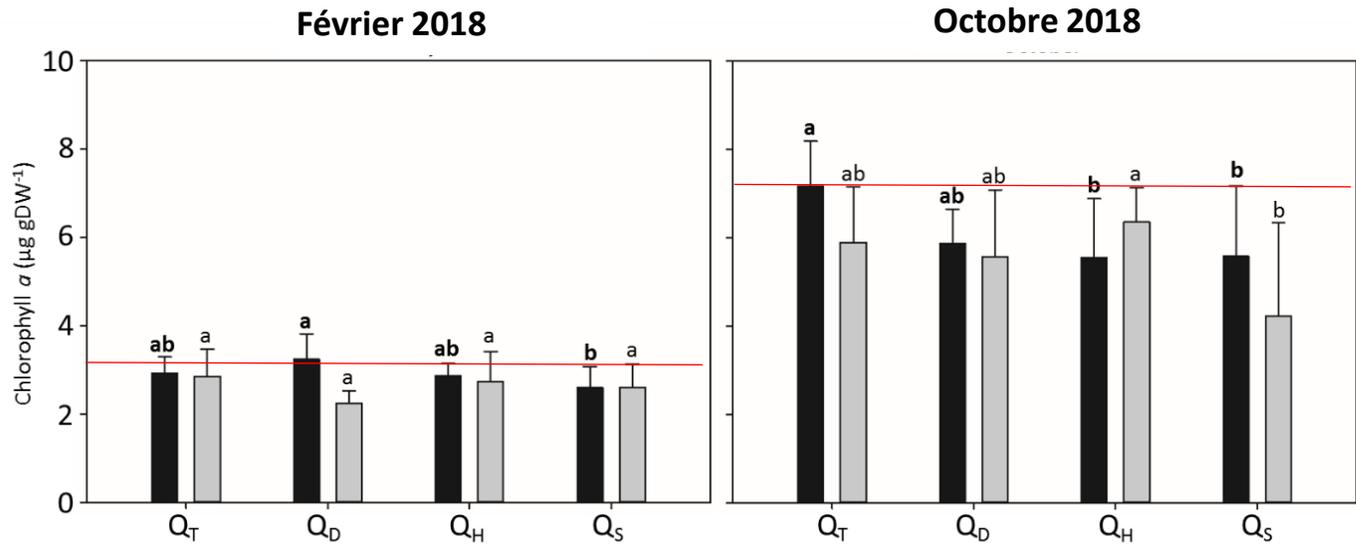


Chlorophylle a

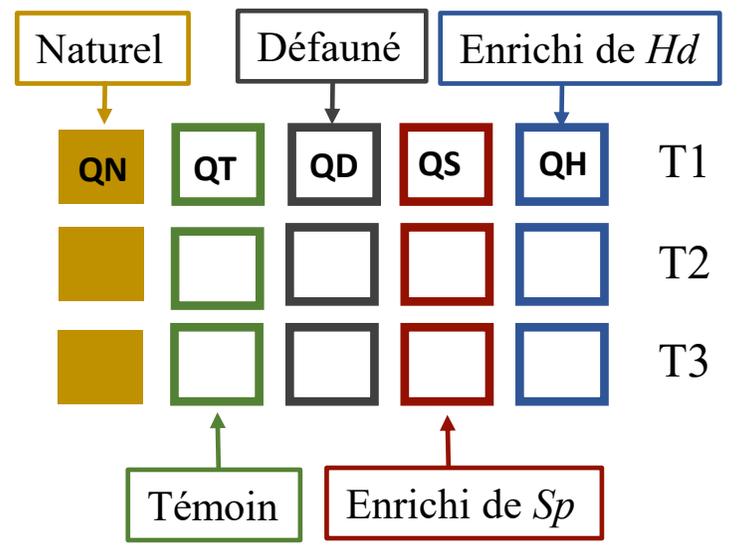


- ✓ **Biomasse MPB** fortement liée à la saison
- ✓ **Conditions hivernales stressantes**, avec sédiments vaseux plus cohésifs et forte limitation de la croissance du MPB
- ✓ **MPB actif** en octobre

# Paramètres microphytobenthiques

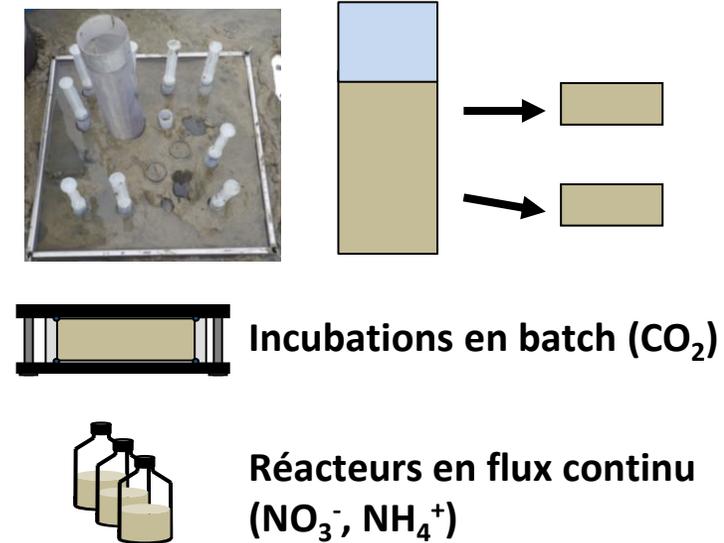
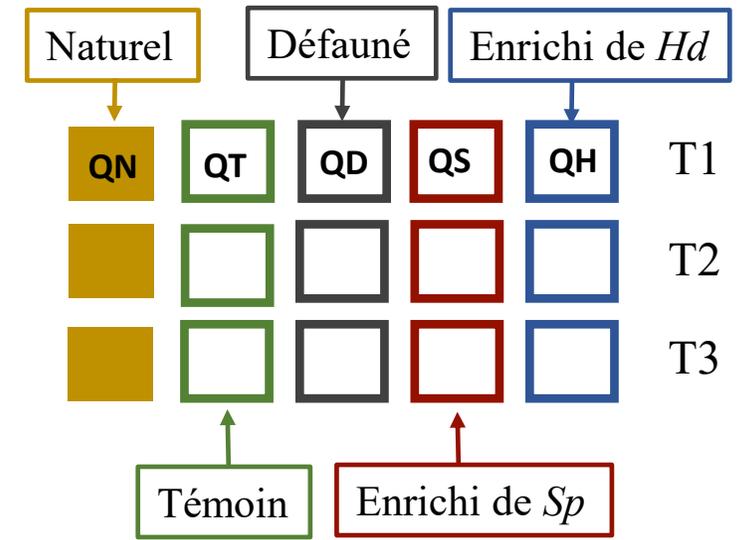
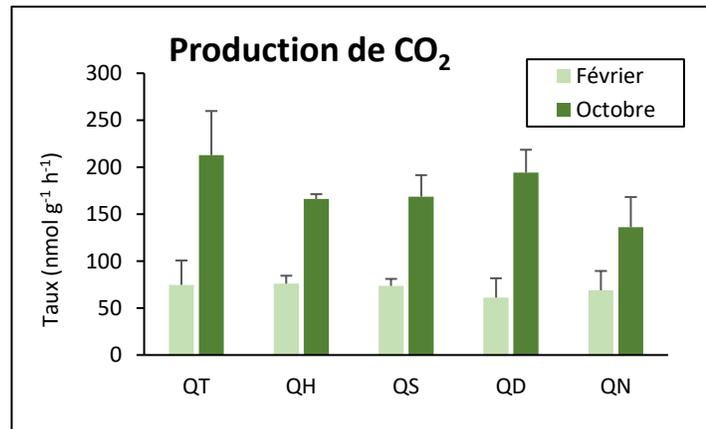
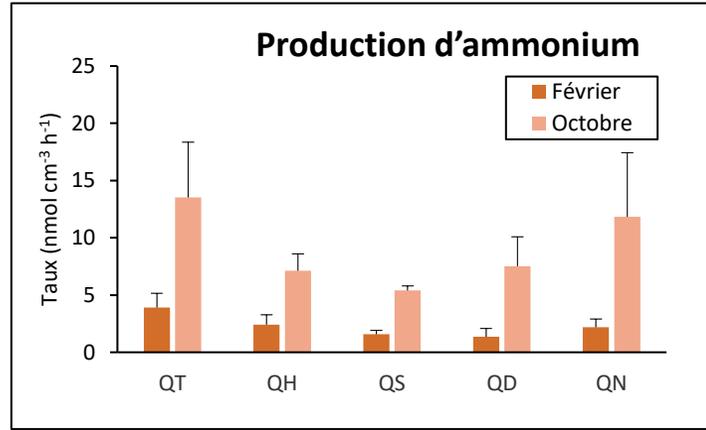
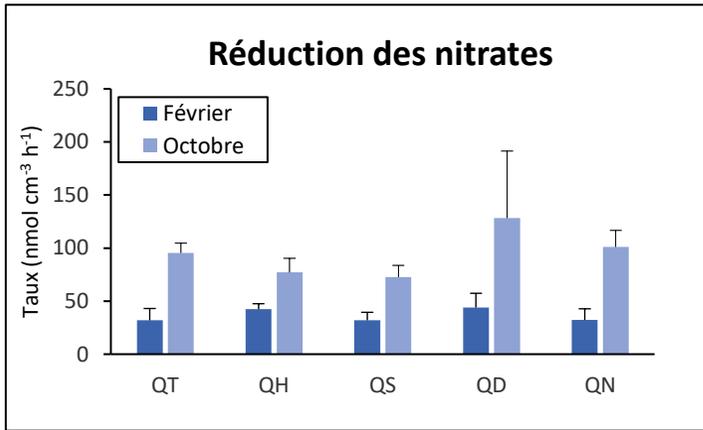


Chlorophylle a



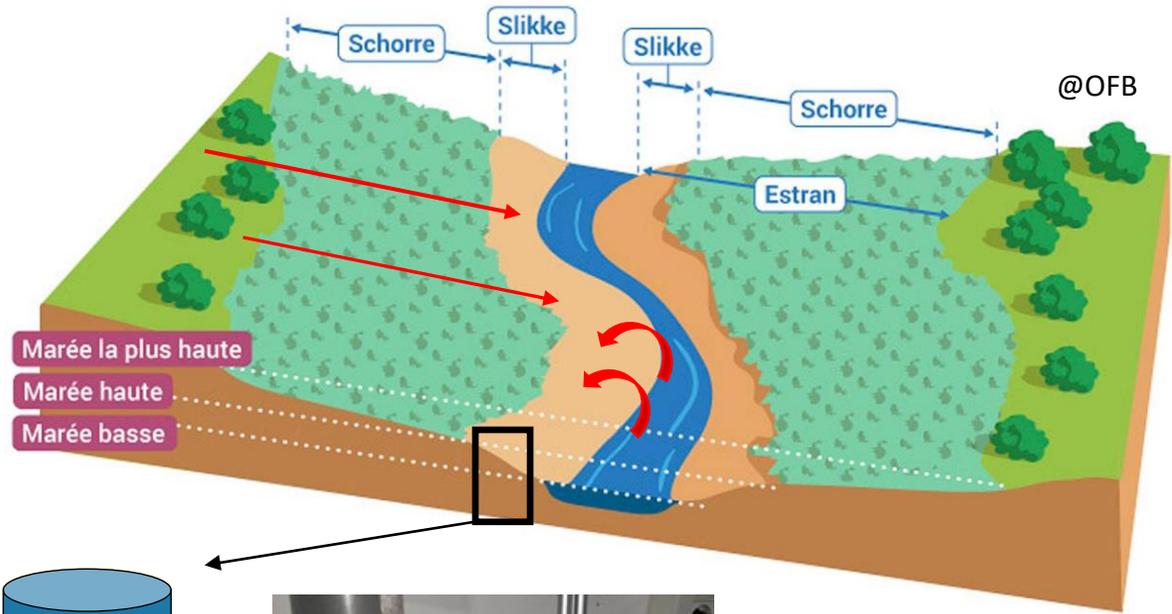
- ✓ **Biomasse MPB** fortement liée à la saison
- ✓ **Conditions hivernales stressantes**, avec sédiments vaseux plus cohésifs et forte limitation de la croissance du MPB
- ✓ **MPB actif** en octobre
- ✓ Biomasse équivalente quel que soit le traitement ⇒ **Rôle de la faune sur les flux**

# Paramètres biogéochimiques

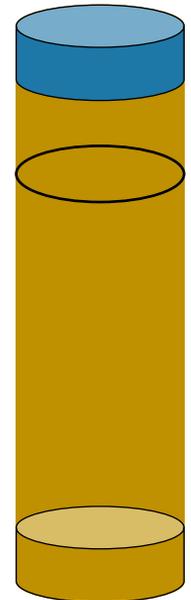


✓ **A marée basse : effet saisonnier prédominant** par rapport à l'effet des bioturbateurs sur la **plupart des paramètres biogéochimiques**

# Paramètres biogéochimiques



Matériel organique (MO) dans la vasière =  
**apports externes**  
+  
**production dans la vasière**



Sédiment

Eau interstitielle

- ✓ **Sédiment** : MO principalement d'origine **terrigène (végétaux terrestres)**, composition globalement stable avec la profondeur, peu influencée par les bioturbateurs
- ✓ **Eau interstitielle** : MO dissoute principalement **produite localement (MPB, phytoplancton...)**. Compartiment **dynamique**, et composition influencée par les bioturbateurs



# Activité des bioturbateurs

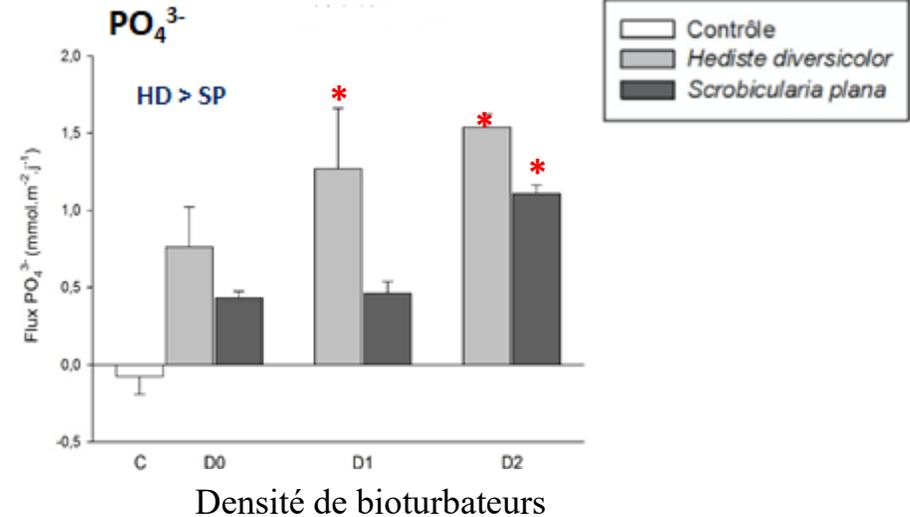
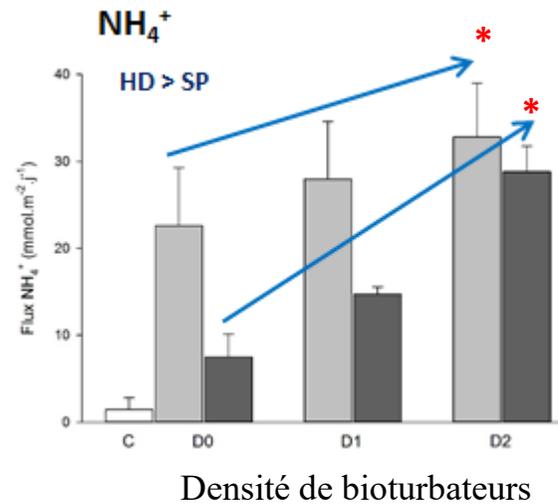
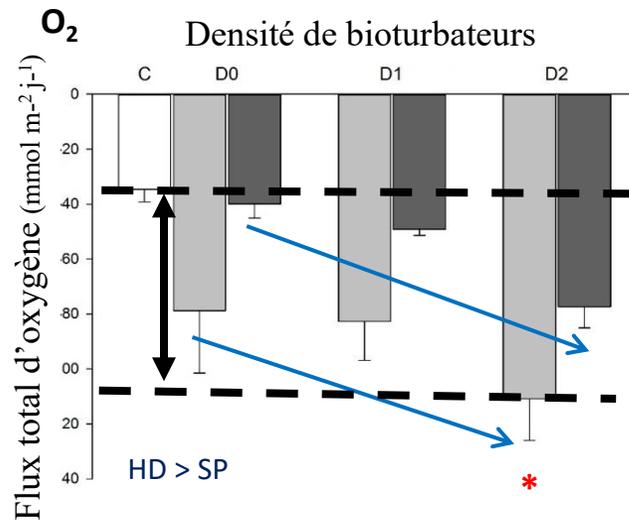
Expériences *ex situ* avec différentes densités de bioturbateurs – 2 saisons

⇒ Quels effets sur les flux biogéochimiques et sur la production microphytobenthique ?

BIOTURBATION

Espèces	Remaniement Sédimentaire	Bioirrigation
<i>Hd</i>	+	+++ Effet densité
<i>Sp</i>	+++ Effet densité	+

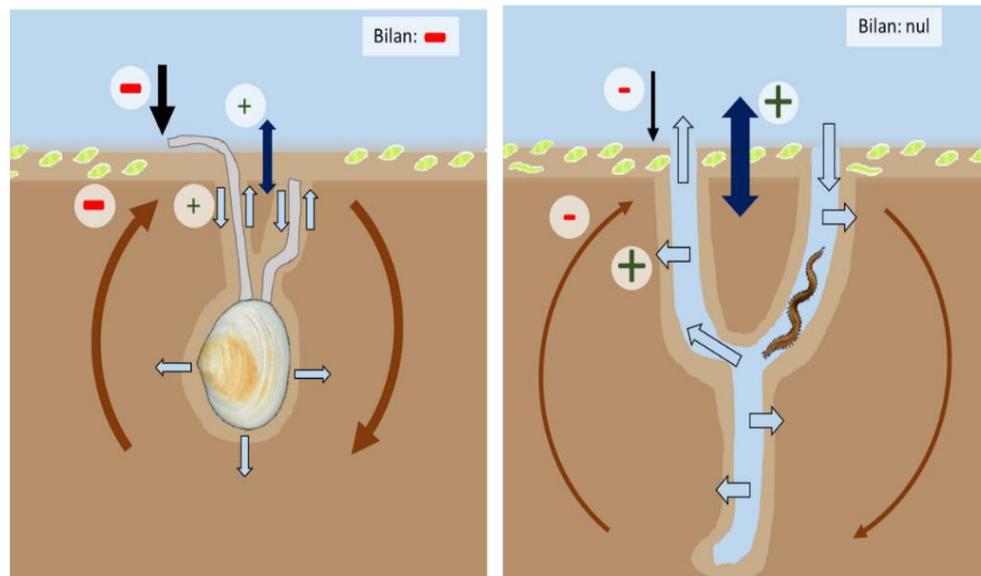
- ✓ Taux de bioturbation et flux biogéochimiques plus élevés en été qu'en hiver
- ✓ Effet bioirrigateur d'*Hd* domine les flux et peut stimuler le recyclage de la MO
- ✓ Remaniement sédimentaire par *Sp*



Ete 2018

# Synthèse – bioturbateurs

- MPB
- Stimulation des flux biogéochimiques
- Broutage
- Remaniement sédimentaire
- Bioirrigation
- Impact négatif sur le MPB
- + Impact positif sur le MPB



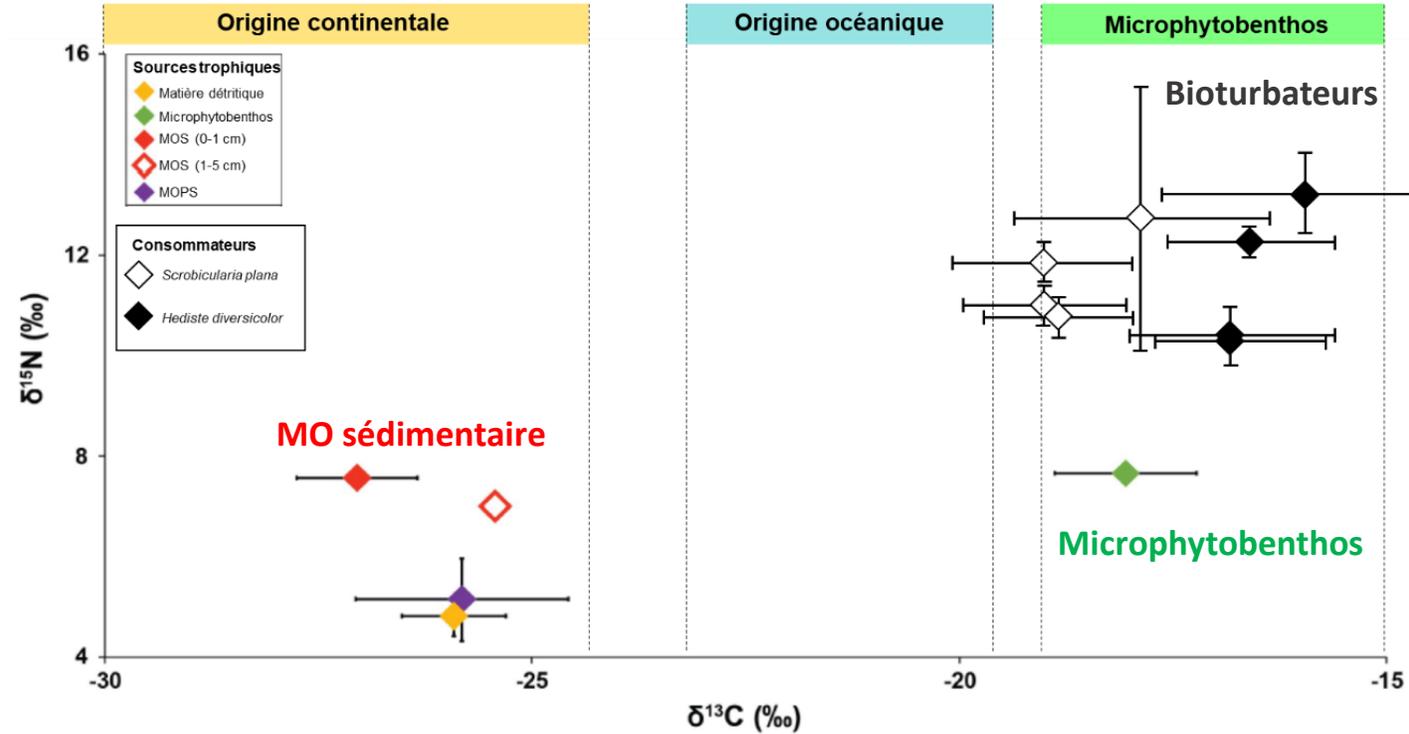
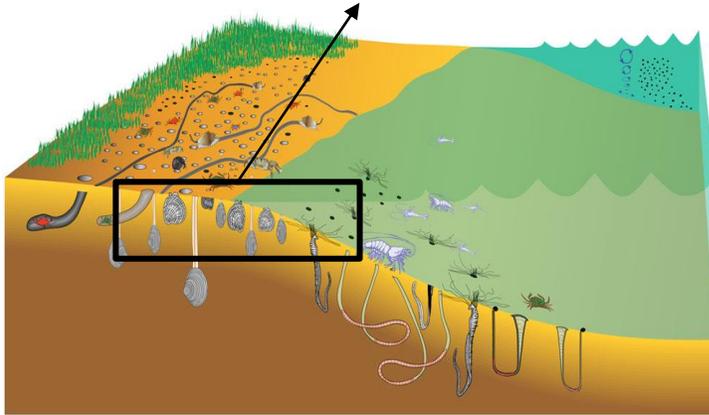
- ✓ *S. plana* favorise l'érosion et a un effet déstabilisateur sur la matrice sédimentaire et le MPB
- ✓ *H. diversicolor* favorise la biostabilisation des sédiments et stimulerait les flux biogéochimiques/la croissance du MPB
- ✓ **Activités de bioturbation/de nutrition de ces ingénieurs d'écosystème = rôle clef sur l'habitat sédimentaire et le MPB**



A : *Scrobicularia plana* B : *Hediste diversicolor*

# Réseau trophique

MO terrigène >> MO produite localement

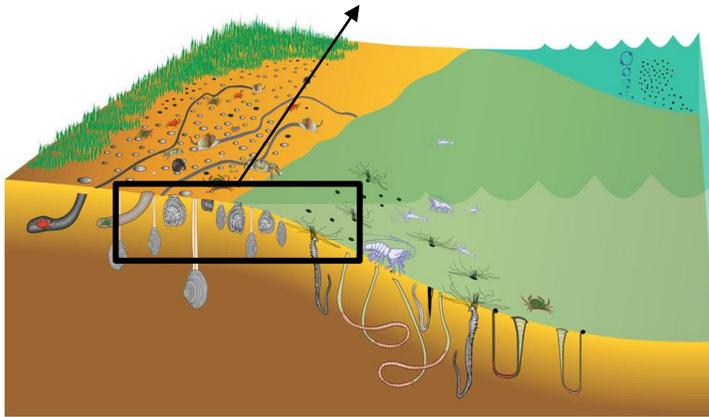


- ✓ Éléments de connaissance sur le positionnement trophique de la **méiofaune** en Seine
- ✓ **Microphytobenthos principale source de nourriture (> 80%)** de la méiofaune et de la macrofaune benthiques
- ✓ **Rôle important de la vasière pour la faune benthique**, via la production locale des ressources trophiques nécessaires

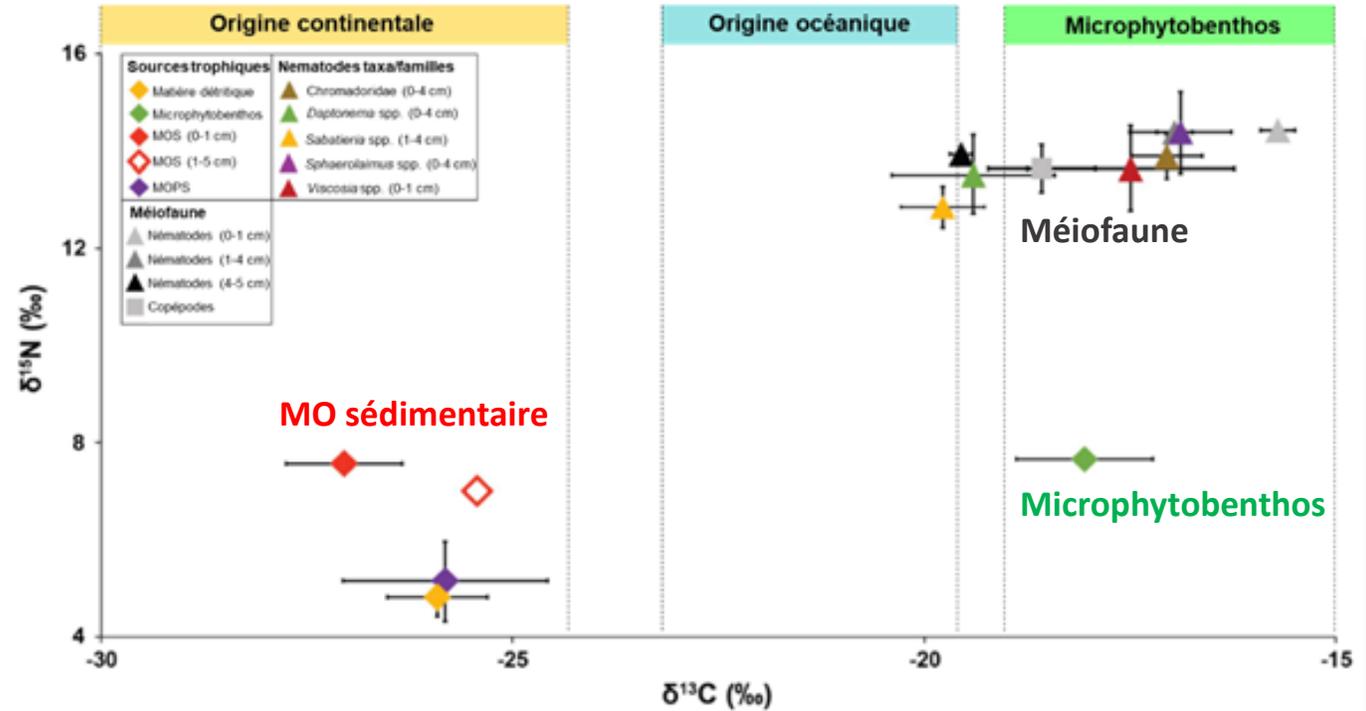


# Réseau trophique

MO terrigène >> MO produite localement



- ✓ Éléments de connaissance sur le positionnement trophique de la **méiofaune** en Seine
- ✓ **Microphytobenthos principale source de nourriture (> 80%)** de la méiofaune et de la macrofaune benthiques
- ✓ **Rôle important de la vasière pour la faune benthique**, via la production locale des ressources trophiques nécessaires



# Rappel des 3 principaux objectifs

- **Compilation et synthèse de données du suivi à long-terme de la macrofaune benthique**
- **Modélisation et cartographie des habitats et des distributions des deux espèces sentinelles *Hediste diversicolor* et *Scrobicularia plana***
- **Suivi spatio-temporel des indicateurs bioécologiques des populations des 2 espèces sentinelles.**

**Volet *in situ*: réalisation d'un suivi de référence en 2018**

**Facteurs abiotiques: granulométrie, salinité, température, pigments photosynthétiques**

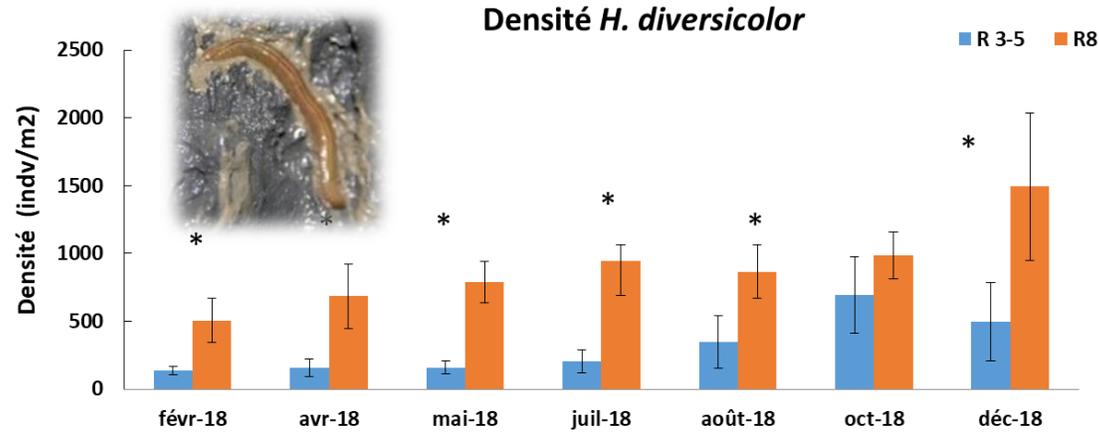
**Echelle de la population: densité, biomasse, structure et dynamique des populations (recrutement et évolution des cohortes).**

**Echelle de l'individu: taille, poids, allométrie, croissance, gamétogenèse, réserves énergétiques (glycogène, lipides)**

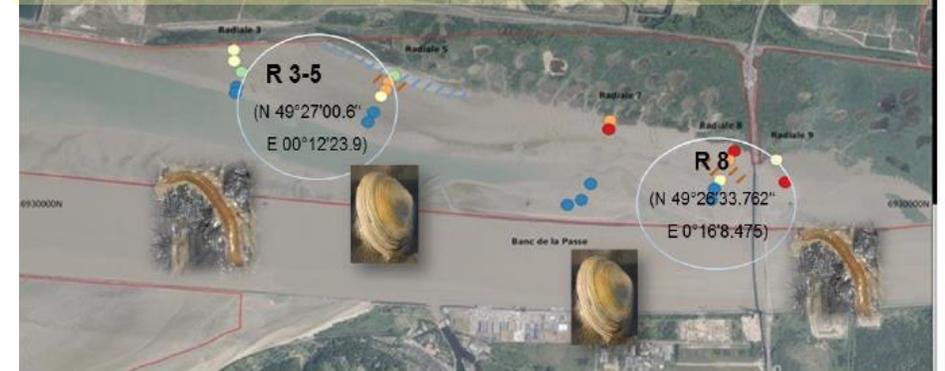
**Approche trophique: signature isotopique (résultats communs Sentinelles-PhareSee)**



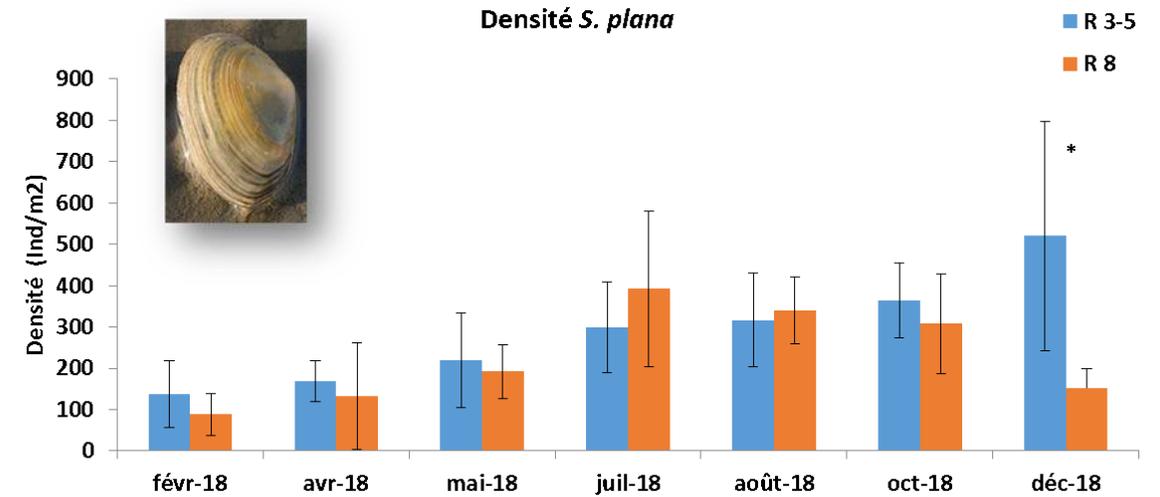
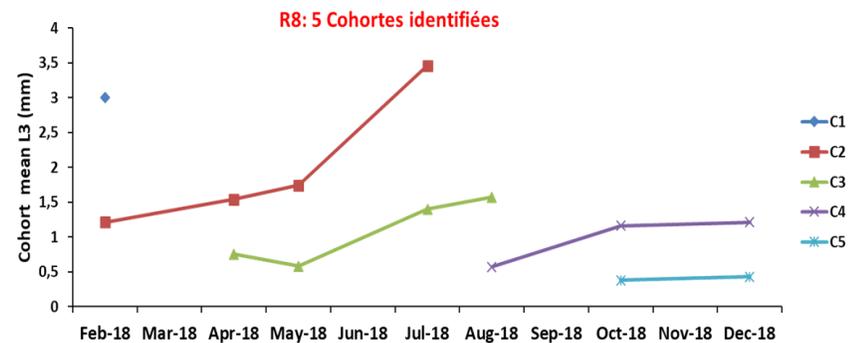
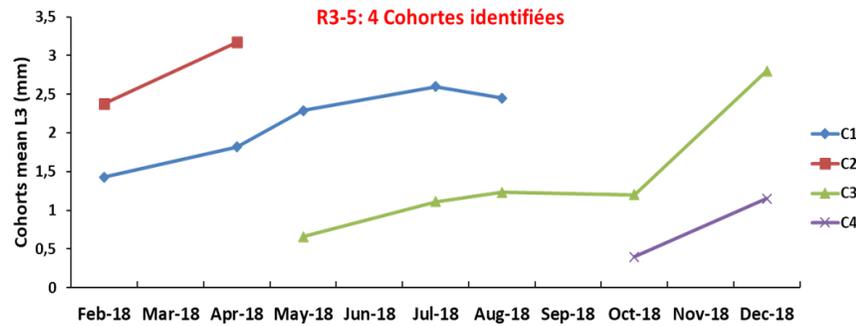
# Suivi des populations des deux espèces sentinelles



## Deux sites d'échantillonnage au cours de 2018



Localisation et coordonnées GPS des sites R8 et R3-5 dans la vasière nord de l'estuaire de la seine (source : CSLN, 2016 ; modifiée)



# Bilan qualitatif du suivi

*in situ*



	R 3-5	R 8
Granulométrie	Sablo-Vaseux	Vaso-sableux
Pigments totaux	+	++
Origine matière primaire	Peu de différences	

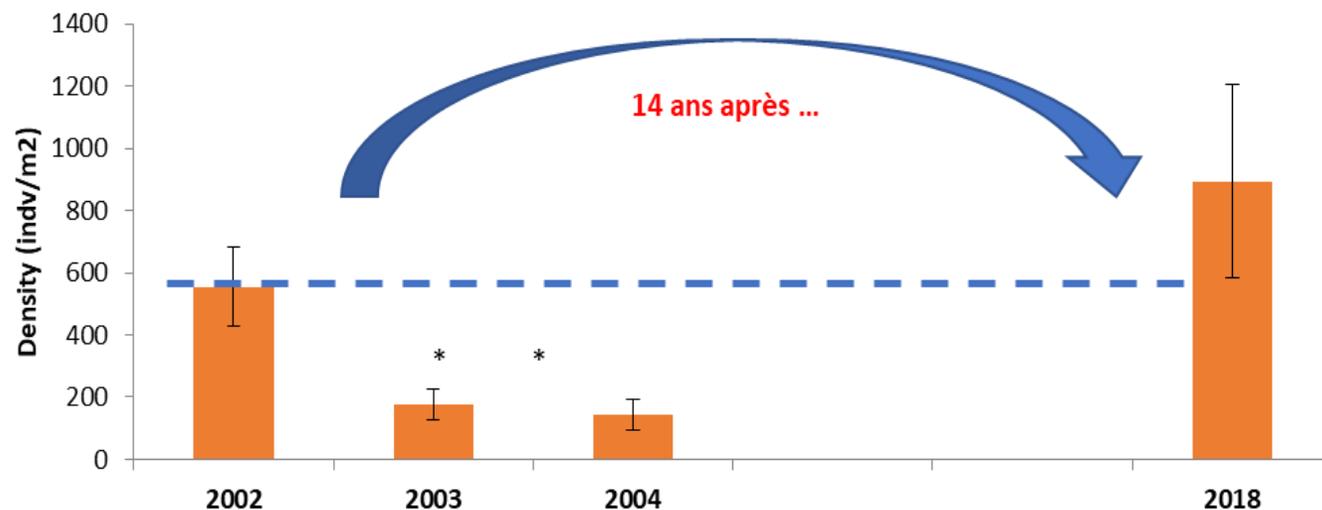
<i>Hediste diveriscolor</i>		
Densité	+	++
Biomasse	Pas de différence	
Lipides	En relation avec le cycle gamétogénique	
Glycogène		
Croissance	++	+
Ponte	1 (Juillet)	2 (juillet et octobre)
Cohortes	4	5

<i>Scorbicularia plana</i>		
Densité	Peu de différences	
Biomasse		
Croissance	++	+
Cohortes	4	3
Lipides	En relation avec les fluctuations du cycle reproductif (IC)	
Glycogène	++	+



# Biosurveillance intégrative de la vasière Nord de l'estuaire de la Seine : comparaison avec des données anciennes

## Densité *H. diversicolor*



Un suivi comparable réalisé en 2004 sur *H. diversicolor* en radiale R8 dans le cadre du projet PNETOX

**14 ans après:**  
Meilleure distribution et dynamique des populations d'*H. diversicolor*  
Meilleurs indicateurs de fitness (croissance et reproduction)

## Conclusion partielle

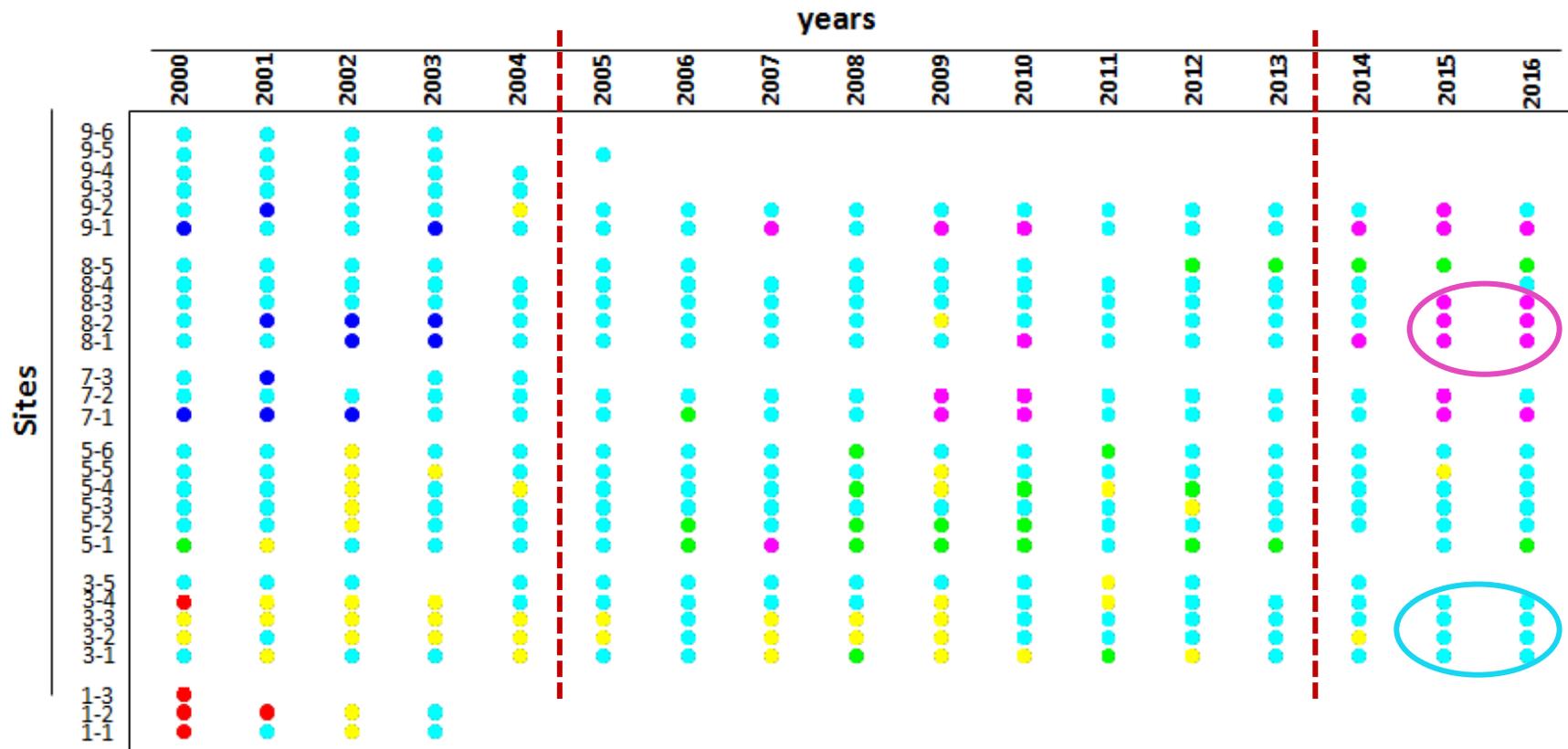
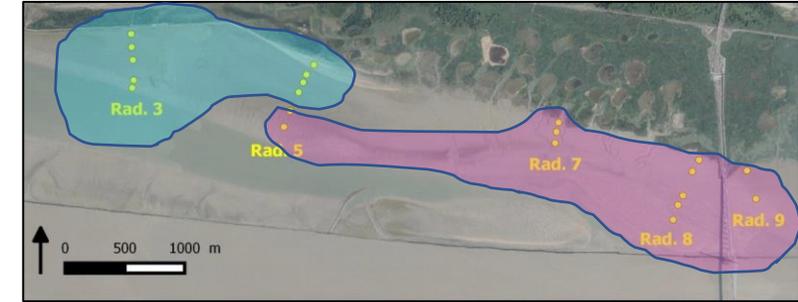
- Premières données de référence sur le suivi simultané de 2 espèces sentinelles dans deux secteurs de la vasière Nord
- Etat de la population d'*H. diversicolor* en nette amélioration par rapport à 2004
- Données utiles pour définir un nouvel état de référence et pour la modélisation
- Certains paramètres biométriques (longueur, poids, indice de condition) sont faciles à obtenir et peuvent enrichir le suivi à long-terme qui se fait uniquement une fois par an (septembre-octobre)



# Variabilité à long-terme des assemblages

## ■ Valorisation du suivi à long-terme de la CSLN (2000-2016)

- Données **d'abondance – biomasse** de 80 taxa
- Données **granulométriques**
- Autres données du GIP Seine-Aval



\* Cartographie des 6 assemblages identifiés statistiquement

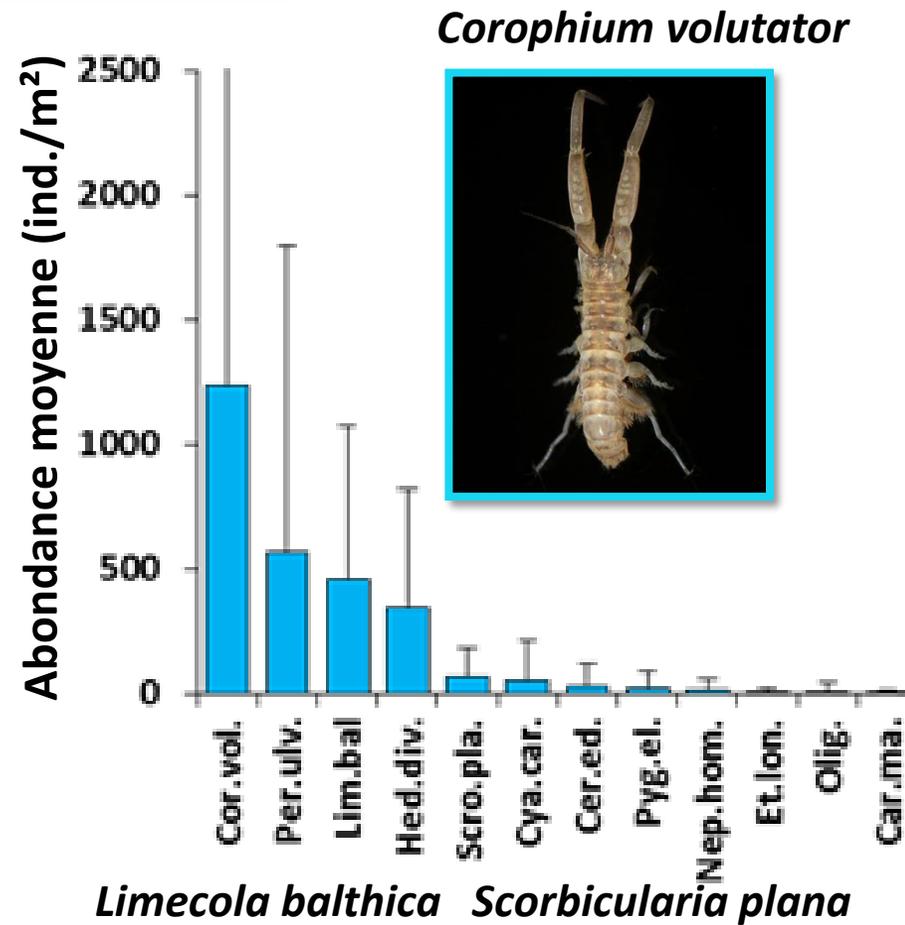
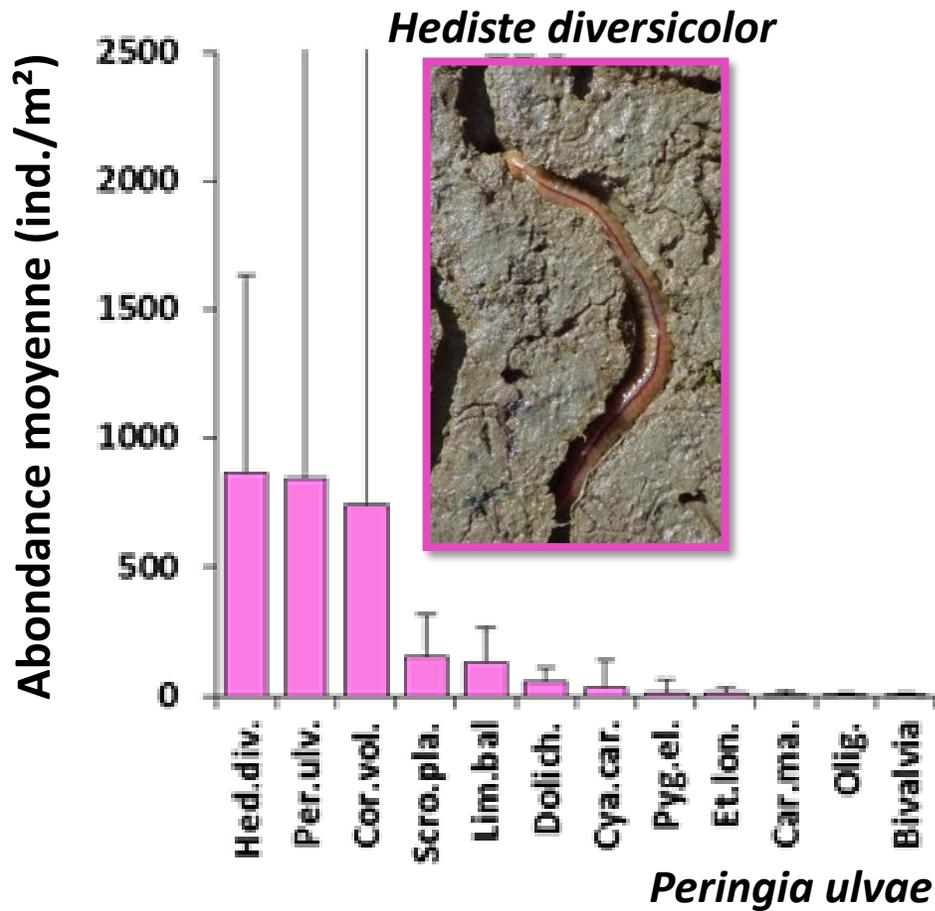
\* 3 périodes différentes (2000-2004; 2005-2013; 2014-2016)

IV

VI

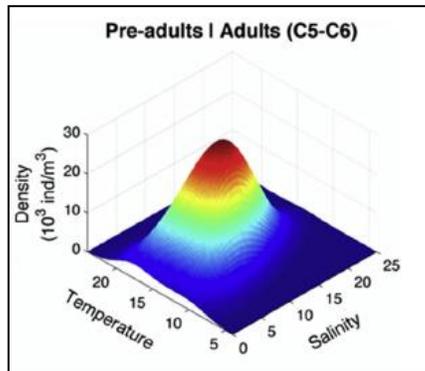


# Principales espèces par assemblage



# Modélisation type SIG-HF

- Données mobilisées pour développer les modèles linéaires multiples
  - **Densité et biomasse des 2 espèces sentinelles (*H. diversicolor* & *S. plana*)**
  - **Moyenne de classes granulométriques & pourcentage de vase**
  - Sorties du modèle MARS-3D **2005-2018** issues du projet ARES (**Salinité, Température, Tension sur le fond, Pourcentage de temps d'immersion par mois**)
  - Télédétection (**indice NDVI** calculé à partir de l'imagerie satellitaire Landsat 7 et 8)



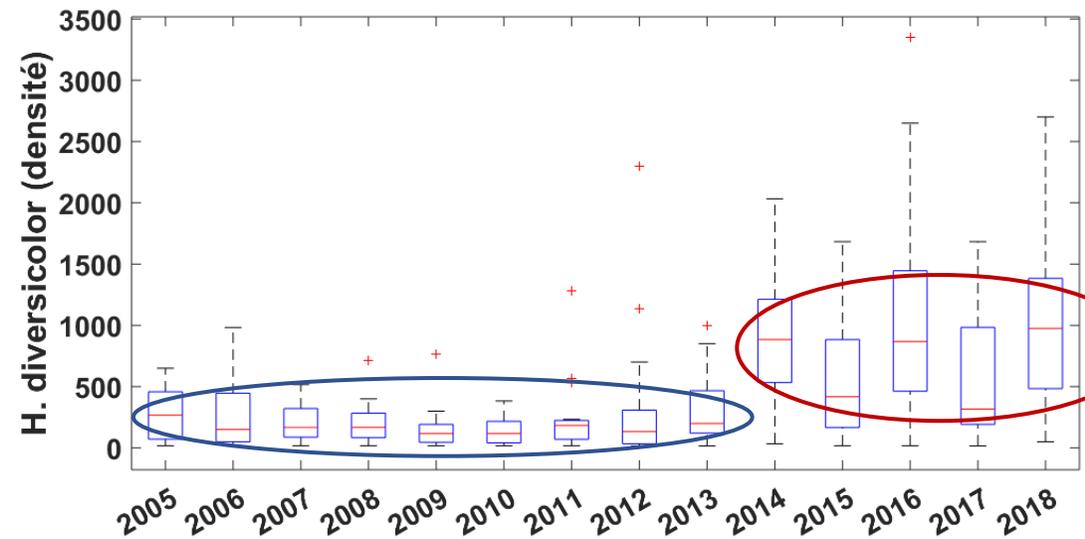
Méthodologie développée dans le cadre du projet **ZOOGLOBAL SA5** + bibliographie



Ontogenetic optimal temperature and salinity envelopes of the copepod *Eurytemora affinis* in the Seine estuary (France)

Gaël Dur<sup>a,b,\*</sup>, Sami Souissi<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Creative Science Unit (Geosciences), Faculty of Science, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529, Japan  
<sup>b</sup> Univ. Lille, CNRS, Univ. Littoral Côte d'Opale, UMR8187, LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, F62930, Wimereux, France

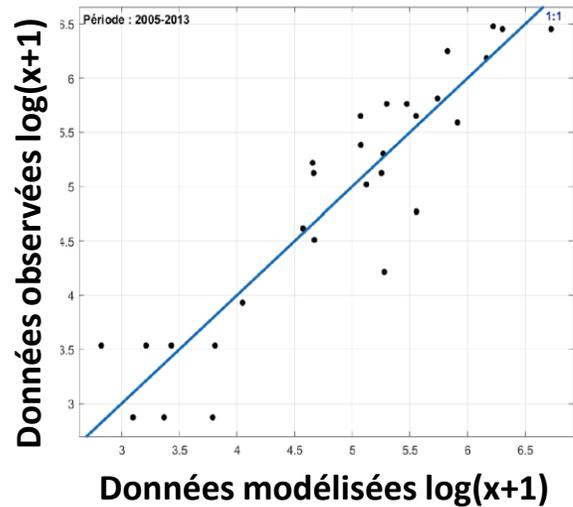


$\text{Log}(Hd+1) = f(\text{Tens.}, \text{Vase}(\%), \text{NDVI}, \text{Tens.} * \text{Vase}(\%), \text{Tens.} * \text{NDVI}) \sim R^2 = 0.854 \rightarrow$  pour la période 2005-2013

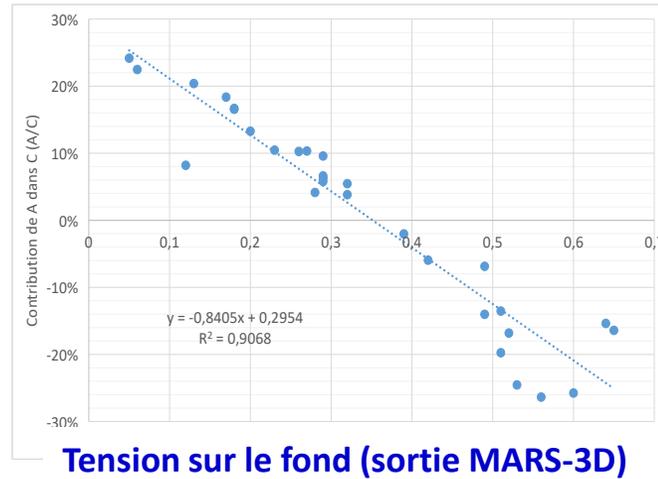


# Validation du modèle et cartographie

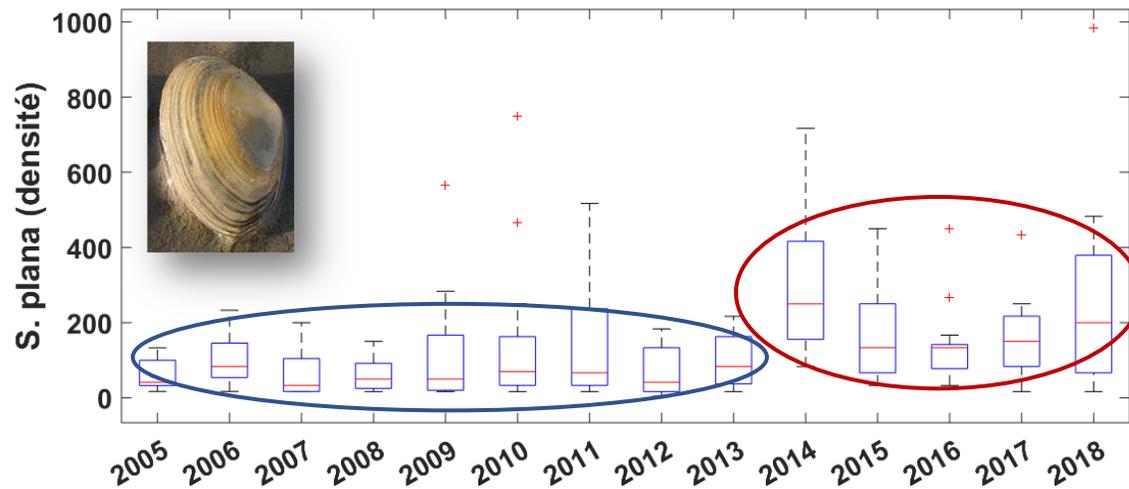
## (1) Validation



## (2) Etablir une relation entre la granulométrie *in situ* & la sortie MARS-3D



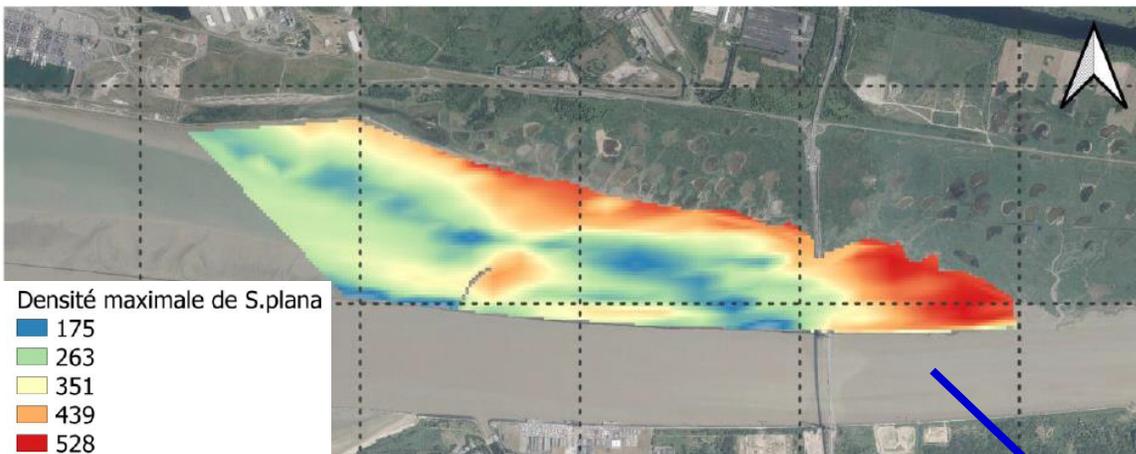
## (3) Cartographie sous SIG – exemple du mois d'octobre 2013



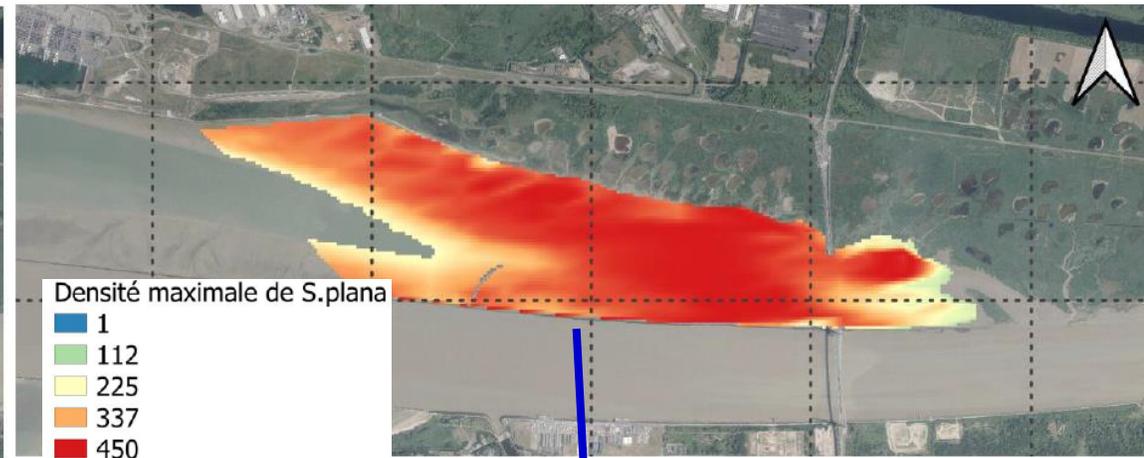
**2 périodes mais une très forte hétérogénéité**  
**Nécessité d'utiliser les réponses biologiques maximales (recours au 95<sup>e</sup> centile (95%) au lieu de la moyenne ou la médiane(50%))**  
**Combinaison de plusieurs facteurs pour aboutir à une carte finale**

# Modélisation des réponses biologiques maximales: exemple des densités de *S. plana* en septembre 2018

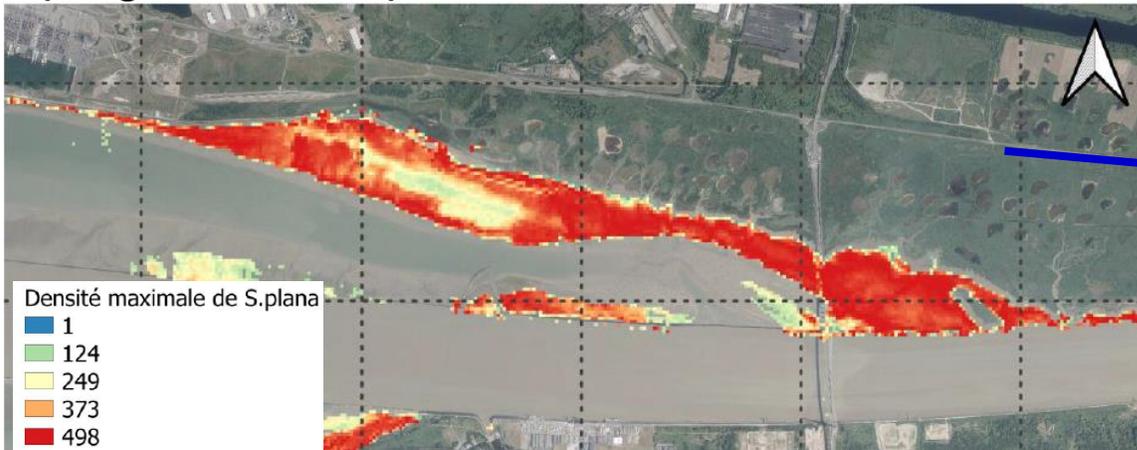
Carte à partir des données de **tensions de courant de fond** de septembre 2018 (MARS-3D)



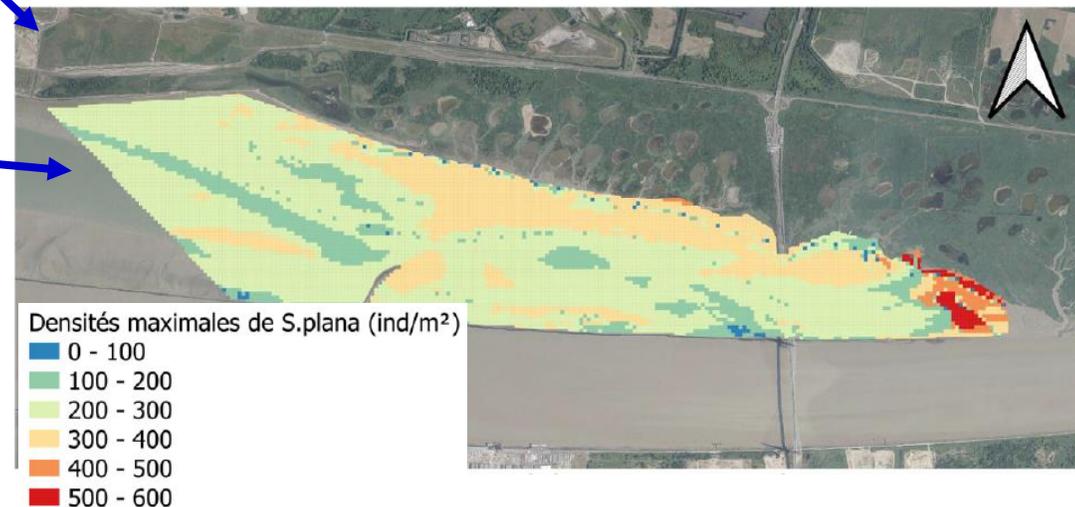
Carte à partir des données de **salinité** de septembre 2018 (MARS-3D)



Carte à partir des données de **NDVI** de septembre 2018 (Imagerie Landsat-8)



Carte des densités maximales espérées de *S. plana* après croisement des contraintes de **NDVI**, de **tensions** et de **salinités**



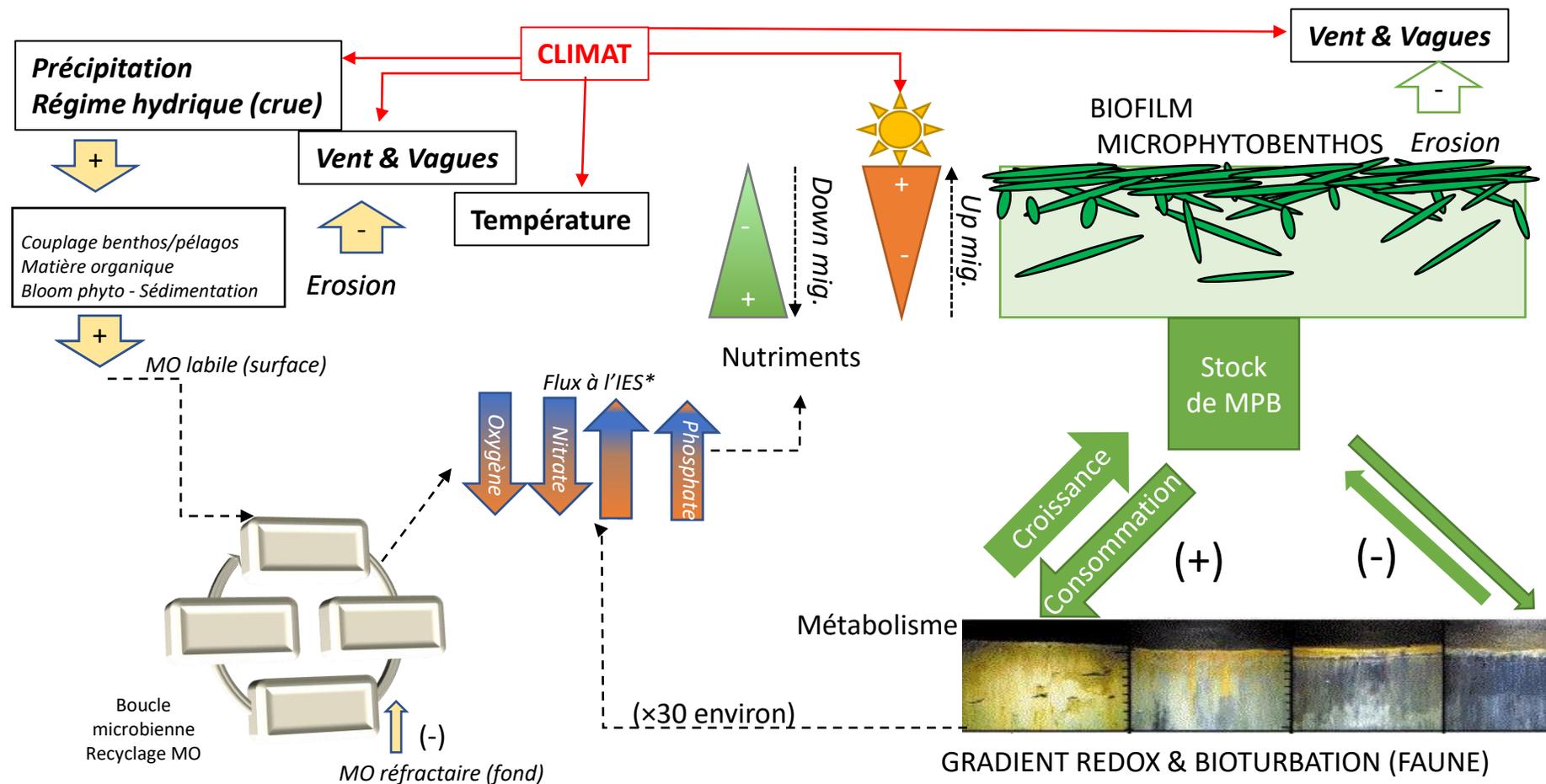
## Conclusion partielle

- Description de la variabilité spatio-temporelle des assemblages entre 2000 et 2016 avec trois périodes distinctes, 2000-2004; 2005-2013 et 2014-2016
  - Le contexte hydro-sédimentaire à différentes échelles est un facteur important pour la structuration des habitats intertidaux et le macro-zoobenthos
  - Un effort de modélisation statistique et de cartographie des habitats des deux espèces sentinelles en utilisant différentes approches (2005-2018)
- 
- Le suivi des facteurs de croissance individuelle (taille, poids, indice de condition) une fois par saison est recommandé pour les deux espèces sentinelles
  - La réussite de la reproduction chez les deux espèces sentinelles (*suivi de la gamétogenèse*) est un très bon indicateur de l'état de santé de leurs habitats et le potentiel de recrutement



# Bilan de fonctionnement des vasières intertidales : Fonctionnement biogéochimique

Schéma résumant les facteurs régulant les flux d'énergie à l'INTERFACE EAU SEDIMENT (IES\*) au sein des vasières intertidales de l'estuaire de la Seine

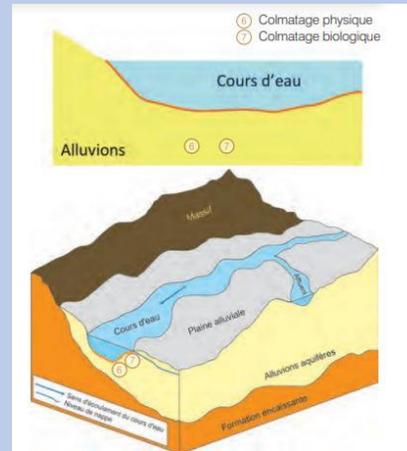


GRADIENT REDOX & BIOTURBATION (FAUNE)  
Rôle régulateur sur les flux de MPB mais pas les stock  
Résilience d'un système auto-organisé (association MPB-Benthos)

# Bilan de fonctionnement des vasières intertidales : fonctionnement sédimentaire

## Processus physiques et climatiques (facteur directs)

PRECIPITATIONS, Régimes hydrauliques et turbidité du bouchon vaseux



Sédimentation

Erosion

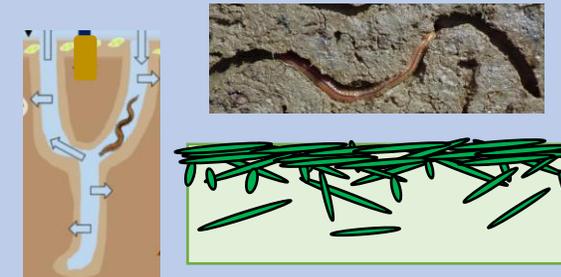
VENTS & VAGUES  
COURANT marins et Débits fluviaux



(+)

## Processus biologiques (facteurs indirects)

Biostabilisation (ÉTÉ comme HIVER) par effets synergiques HEDISTE DIVERSICOLOR et biofilms de DIATOMEES

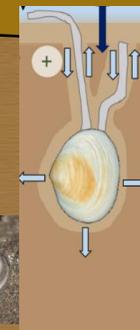


(-)

(+)

(-)

Déstabilisation par le bivalve SCROBICULARIA PLANA Et destruction des biofilms biostabilisateur

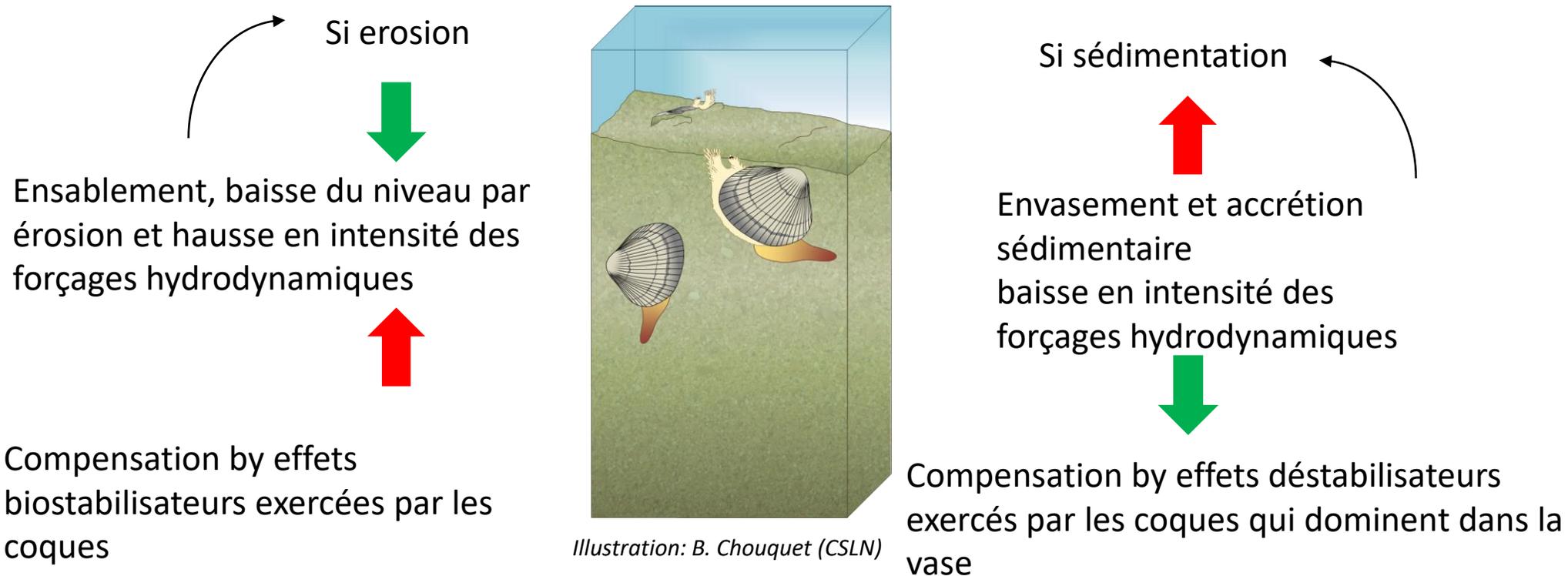


Dépendance aux facteurs climatiques :

- VENTS (et vague – intensité / orientation)
- PRECIPITATIONS et TURBIDITE (apports par les bassins versants)

# Bilan de fonctionnement des vasières intertidales : Réponse des communautés aux forçages physiques

Couplage physique – biologie et jeux de retroaction à long-terme  
Quand le sédiment change, l'activité de bioturbation change aussi, et par ses activités diverses, les coques peuvent avoir un impact sur le sédiment pour qu'il reste optimal pour leurs propres performances



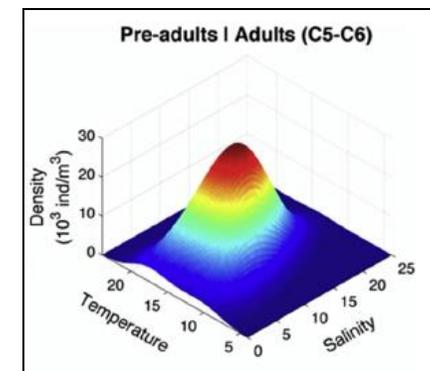
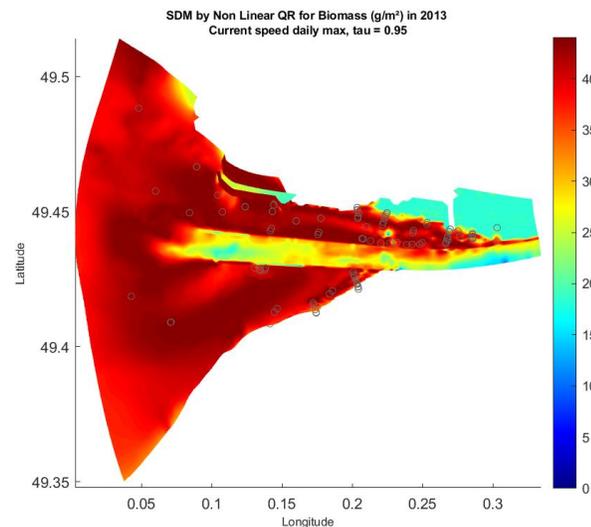
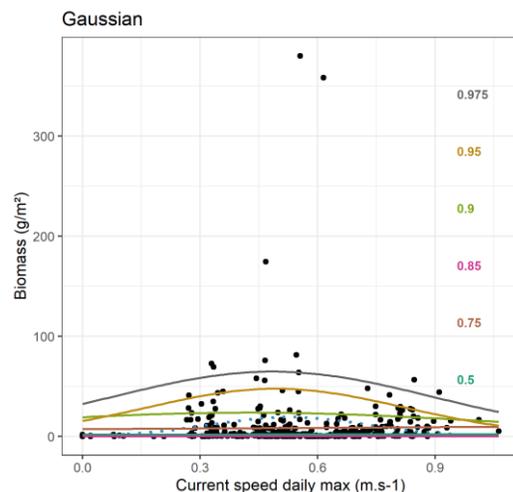
**Les coques seraient donc particulièrement résilientes à n'importe quel changement morphosédimentaire**

# Bilan de fonctionnement des vasières intertidales : Réponse des communautés aux forçages physiques

Suivi à long terme (30 ans – base de données MABES)

Etudes des BIOMASSES et DENSITES des espèces principales de la faune benthique (projet ARES : couplage avec sorties des modèles physiques MARSD)

## *Biomasse de COQUES (30 ans)*



**Projet ARES (Sami SOUISSI,  
\* Maïwenn LECOZ, Thomas  
COMBES, Florent GRASSO)  
\* Thèse Amélie LEHUEN ,  
projet MELTING POTES**

RELATION PHYSIQUE - BIOLOGIE: Recherche du FACTEUR CRITIQUE : ici, le courant maximal par jour (recherche de fonction ajustée (par méthodes statistiques complexes : régression quartile à 95%))

OBJECTIFS : Projection dans scénarios futurs (RCP 2-8.5) avec impacts de la physique et réponse des communautés  
Intégration des effets de rétrocontrôle

METHODOLOGIE APPROCHE Habitat par l'application des modèles MARS3D. La modélisation du couplage physique biologie et le raffinement des processus dans le détail (PHARESEE) permettra de mieux prédire l'évolution à long terme du sédiment et des communautés (macrofaune et microphytobenthos) en intégrant les processus biogéochimiques

*Merci de votre attention*



Plus d'informations sur le GIP Seine-Aval :



[seine-aval.fr](http://seine-aval.fr)



[indicateurs.seine-aval.fr](http://indicateurs.seine-aval.fr)



[@gipseineaval](https://www.facebook.com/gipseineaval)



[gipseineaval](https://www.linkedin.com/company/gipseineaval)