

# Modélisation de la dynamique de l'oxygène dissous dans l'estuaire de la Gironde

**Katixa Lajaunie-Salla<sup>1</sup>, Aldo Sottolichio<sup>1</sup>, Gwenaël Abril<sup>1</sup>,  
Xavier Litrico<sup>2</sup>, Bénédicte Thouvenin<sup>3</sup>,  
Karen Wild-Allen<sup>4</sup>, Sabine Schmidt<sup>1</sup>, Guillaume Binet<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Université de Bordeaux, UMR EPOC

<sup>2</sup>LyRE Suez, Bordeaux

<sup>3</sup>Ifremer Centre de Bretagne

<sup>4</sup>CSIRO, Hobart (Australie)



## **Bouchon vaseux (BV)** **(Allen, 1972)**

### **En hiver :**

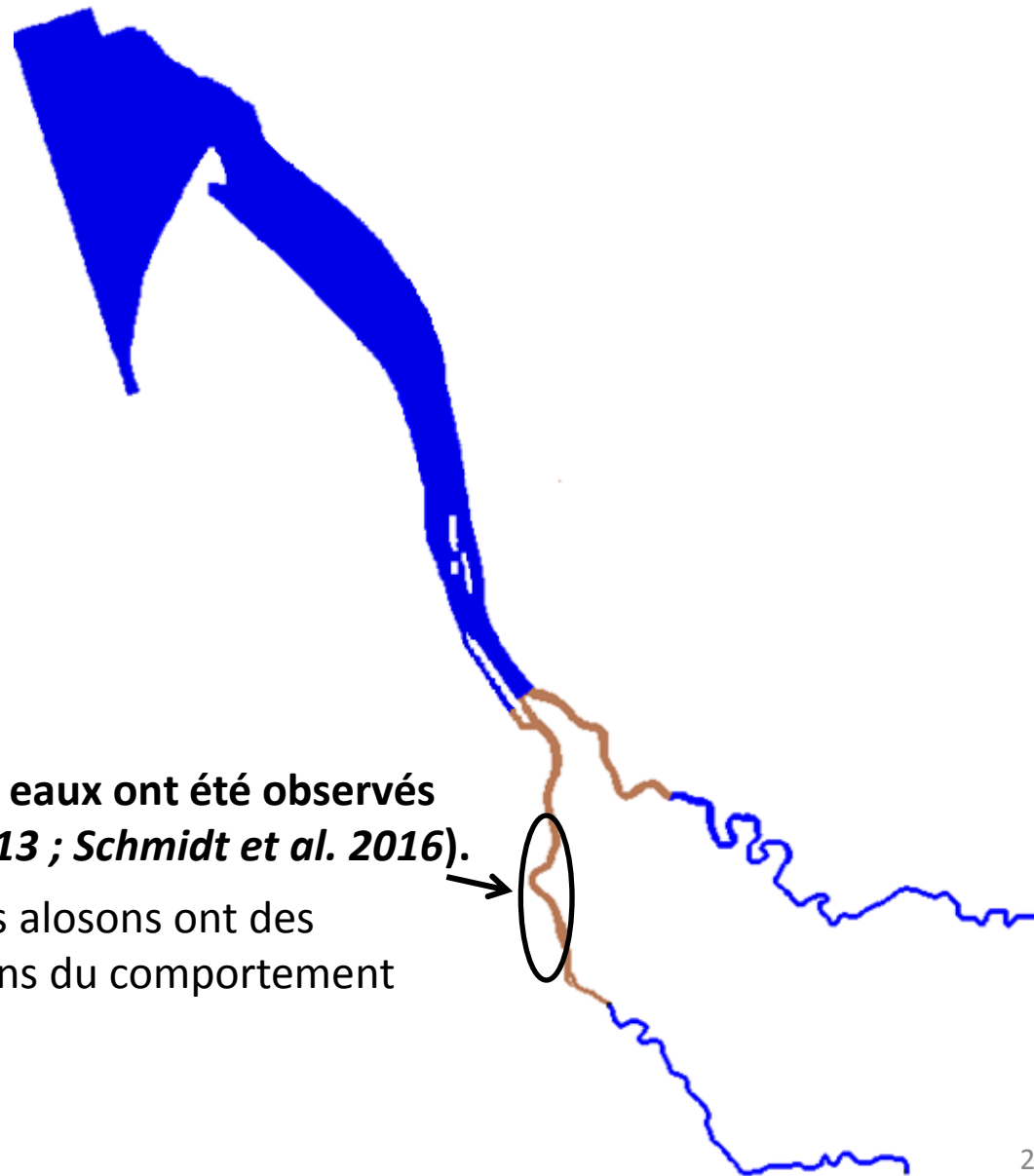
- Fort débit fluvial
- BV au centre de l'estuaire

### **En été :**

- Diminution du débit fluvial
- BV se déplace dans les fleuves
- Turbidité augmente

**Des problèmes de sous oxygénation des eaux ont été observés (Etcheber et al., 2011 ; Lanoux et al., 2013 ; Schmidt et al. 2016).**

En étiage et en conditions d'hypoxies, les alosons ont des difficultés migratoires et des perturbations du comportement (Lanoux et al., 2014).



## **Des épisodes d'hypoxie estivales se produisent sur la Garonne estuarienne en présence du bouchon vaseux**

**Cumul de plusieurs facteurs (Lanoux et al., 2013 ; Schmidt et al., 2016) :**

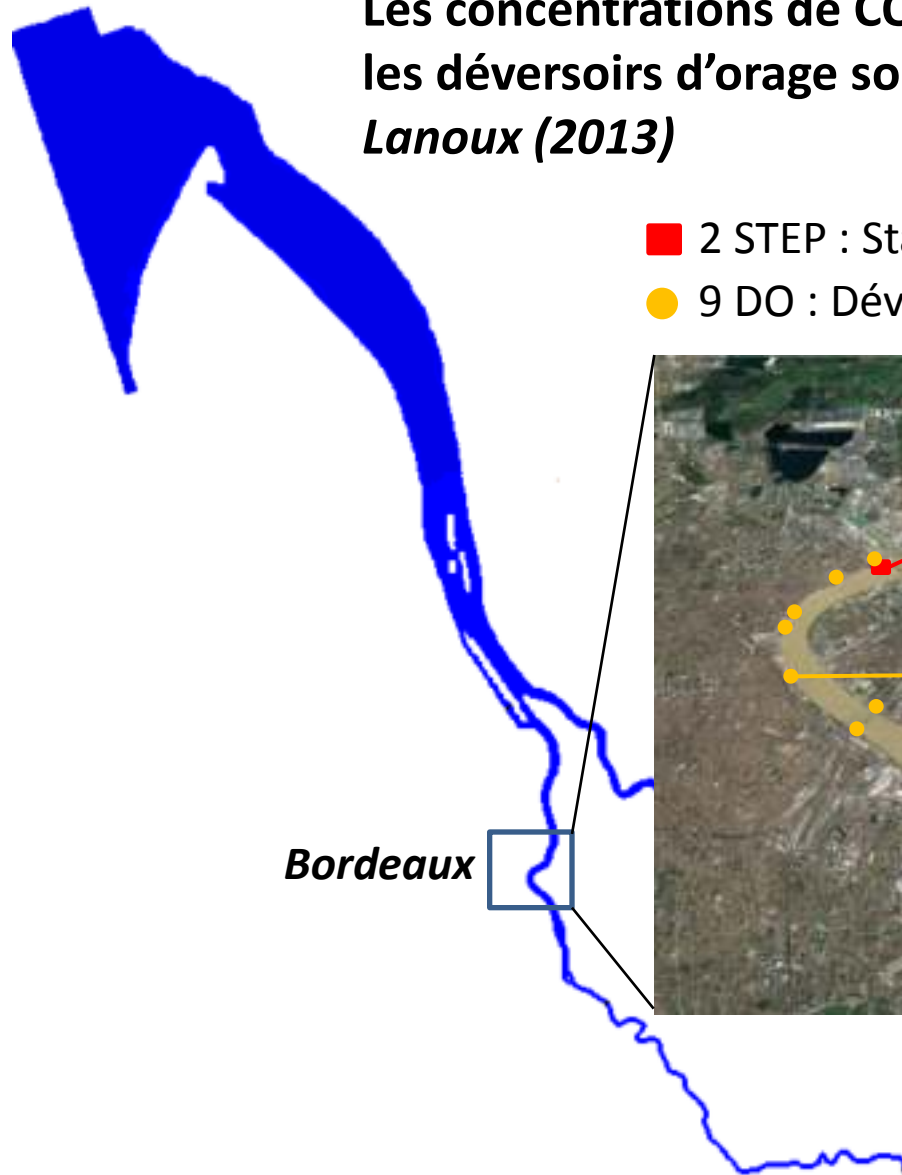
- ✓ **La diminution du débit réduit la dilution des eaux et la dispersion du BV.**
- ✓ **La turbidité de l'eau intensifie la dégradation de la matière organique et limite la photosynthèse.**
- ✓ **La température plus élevée diminue la solubilité de l'OD et accélère les réactions biogéochimiques.**
- ✓ **Les rejets urbains de Bordeaux apportent de la matière organique et de l'ammonium.**

## **Comprendre la dynamique des hypoxies de l'estuaire de la Gironde, en particulier dans la Garonne estuarienne turbide sous l'impact des forçages naturels et anthropiques**

- **Développer un modèle biogéochimique couplé à l'hydrodynamique et au transport sédimentaire.**
- **Évaluer la contribution du bouchon vaseux et des effluents urbains aux épisodes d'hypoxie.**
- **Etudier les tendances d'évolution des hypoxies sous l'effet des changements globaux et sous des actions de gestion.**

# Développement du modèle biogéochimique: les rejets d'eaux usées

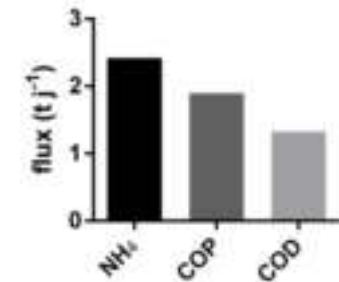
Les concentrations de COP, COD et  $\text{NH}_4^+$  rejetées par les STEPs et les déversoirs d'orage sont issues des données expérimentales *Lanoux (2013)*



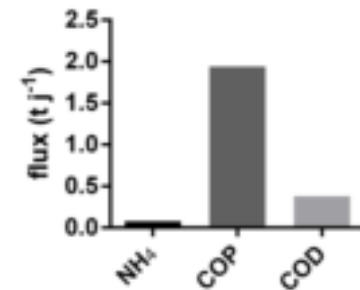
■ 2 STEP : Stations d'épuration

● 9 DO : Déversoirs d'orage

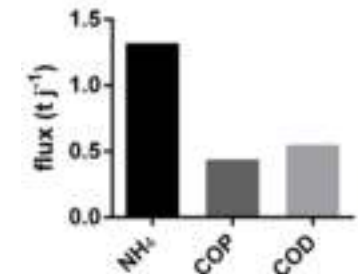
STEP Louis Fargue - LF



Déversoirs d'orage



STEP Clos de Hilde - CH



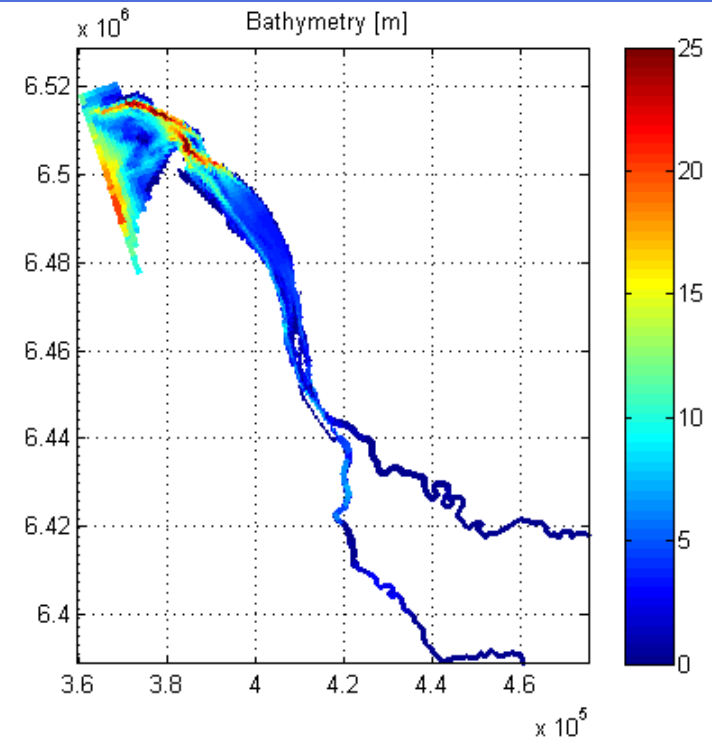
- **11 variables biogéochimiques**

- Carbone organique particulaire (COP): urbain (STEP et DO), litière, phytoplancton; détritique
- Carbone organique dissous (COD): urbain (STEP et DO), fluvial
- Ammonium et nitrates ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$ )
- Oxygène dissous (OD)

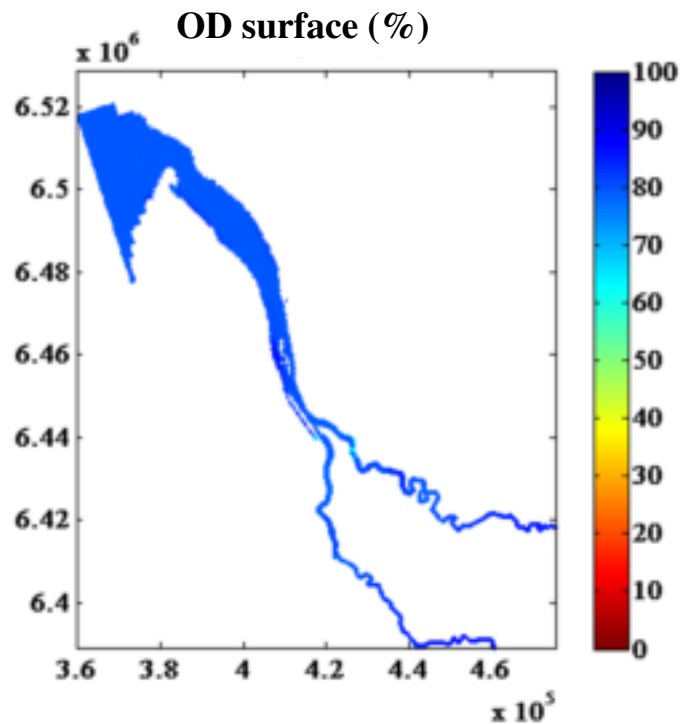
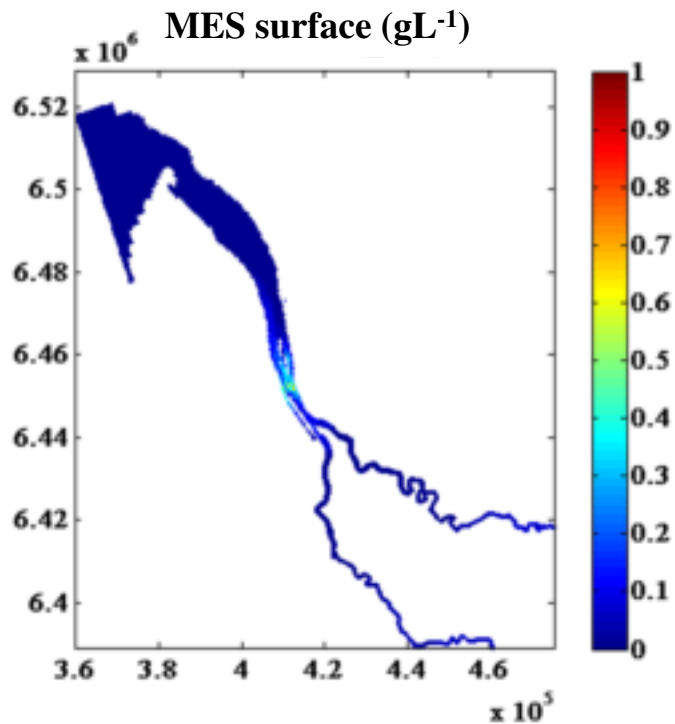
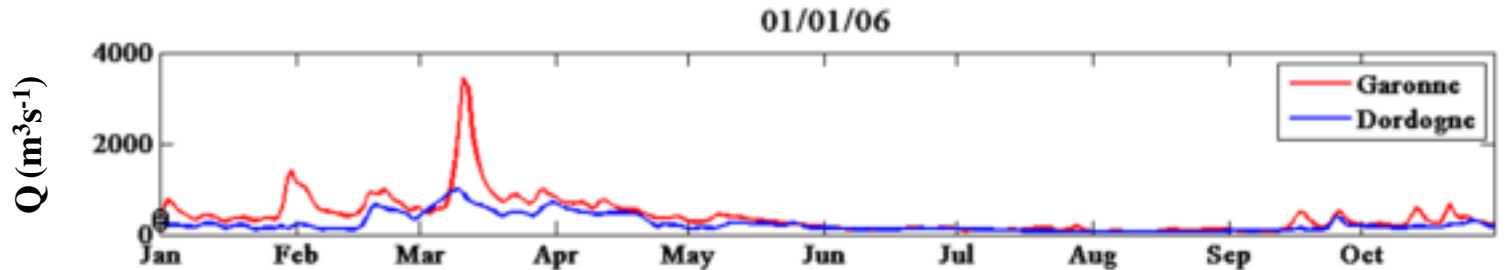
- **7 réactions**

- Photosynthèse → source d'oxygène
- Respiration du COP phytoplancton → consommation d'oxygène
- Mortalité du phytoplancton
- Dégradation du COP et COD → consommation d'oxygène
- Nitrification → consommation d'oxygène
- Aération → gain ou perte d'oxygène

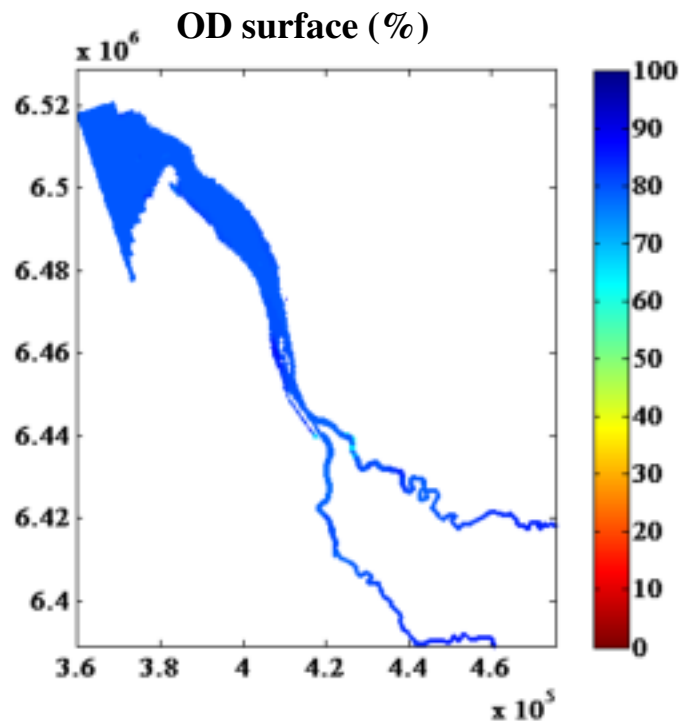
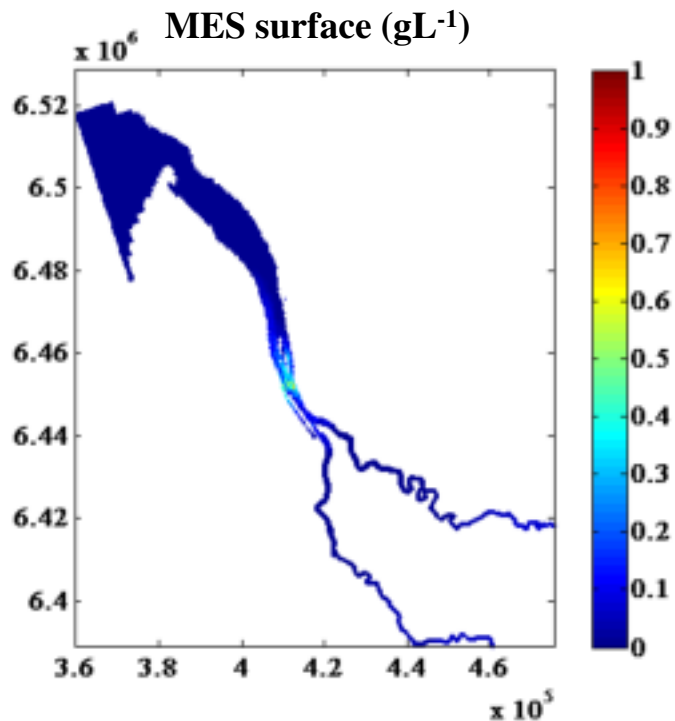
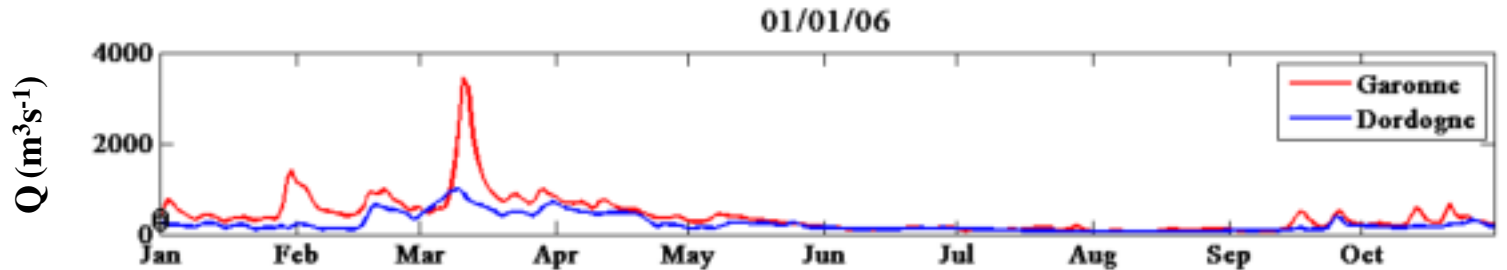
**Les valeurs des paramètres sont issues des mesures expérimentales et in-situ, sans aucune calibration particulière.**



## Dynamique saisonnière des matières en suspension (MES) et de l'oxygène dissous (OD) sur l'ensemble de l'estuaire (Moyennes journalières)

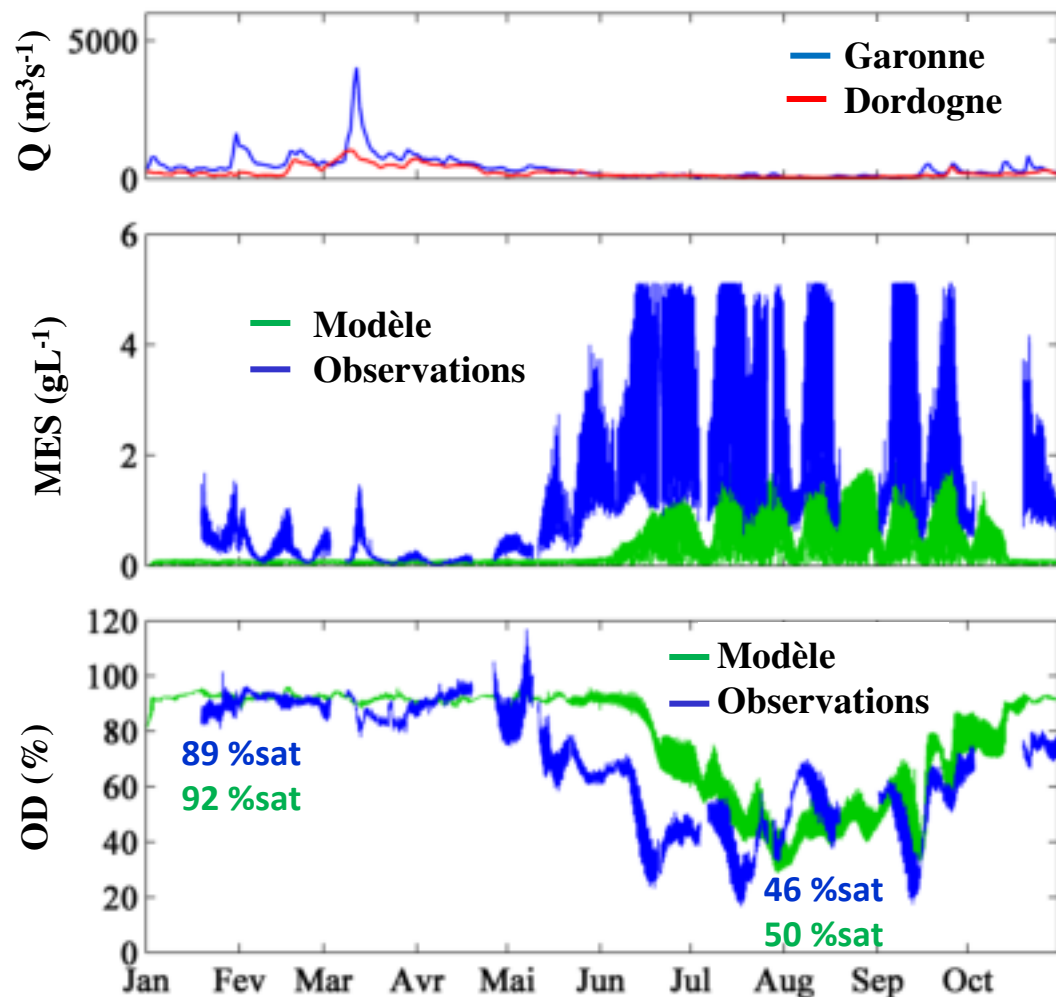


## Dynamique saisonnière des matières en suspension (MES) et de l'oxygène dissous (OD) sur l'ensemble de l'estuaire (Moyennes journalières)





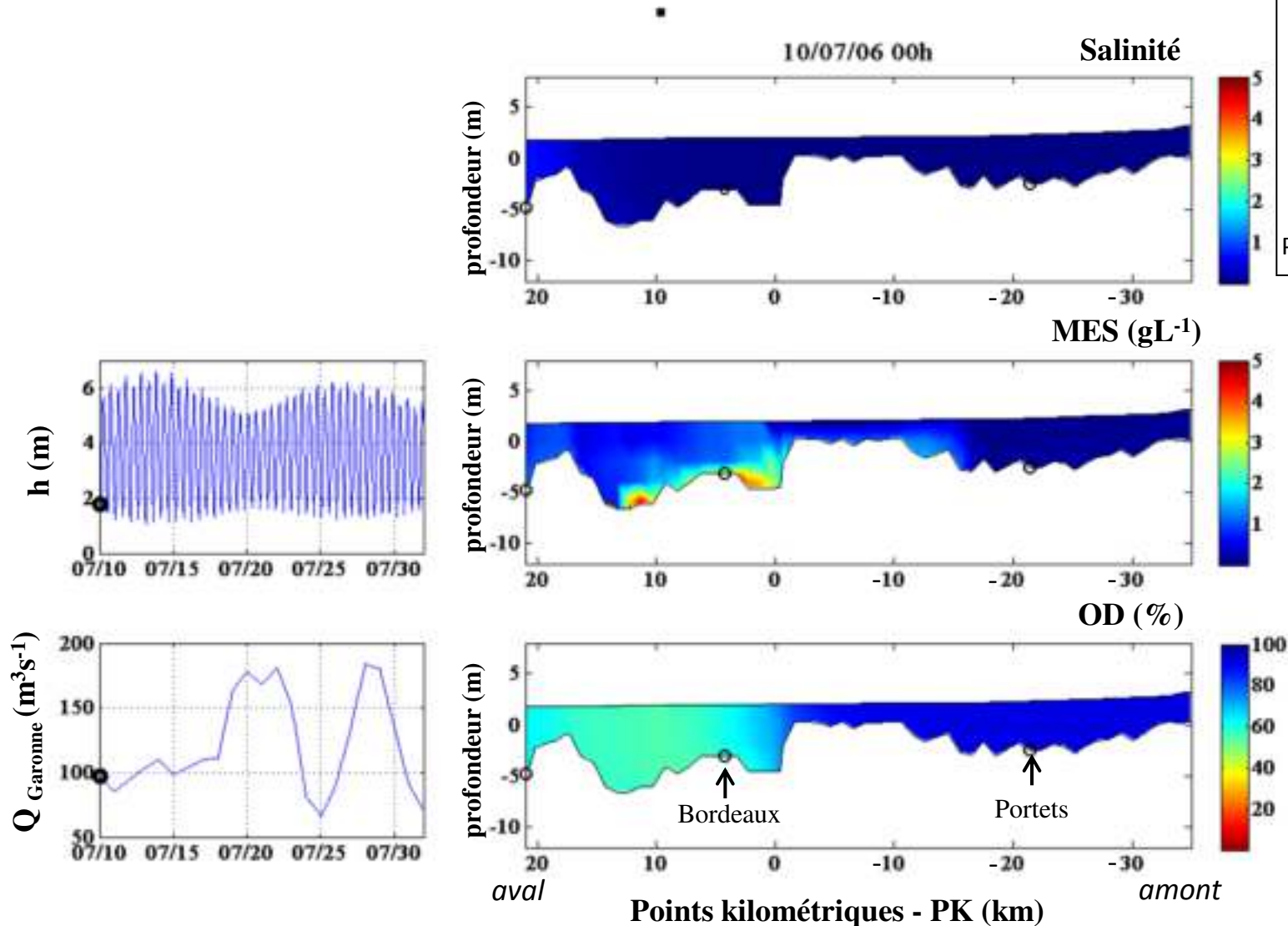
## Dynamique saisonnière des matières en suspension (MES) et de l'oxygène dissous (OD) sur Bordeaux



Le modèle reproduit à Bordeaux :

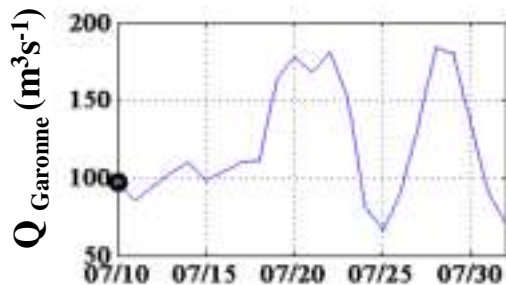
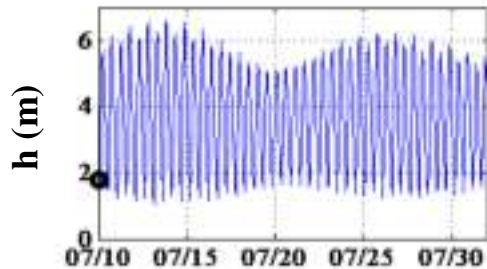
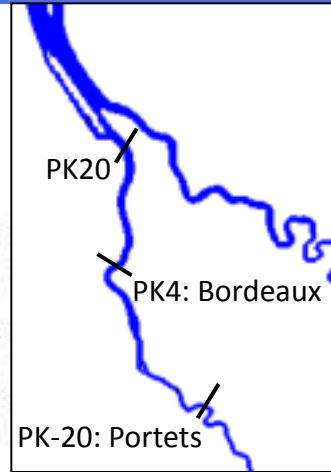
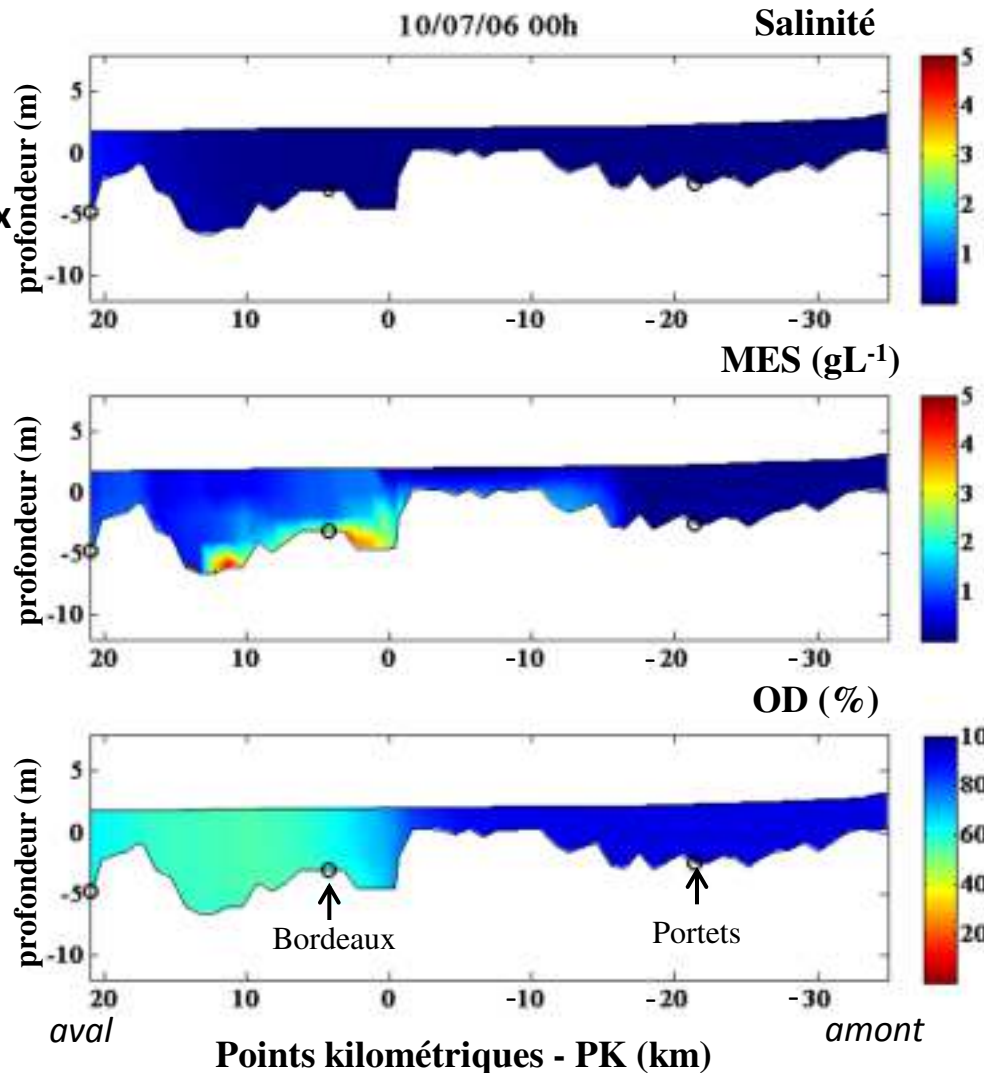
- la remontée du BV en été (avec du retard)
- un BV moins concentré
- la chute de l'OD en été
- les ordres de grandeur du min et max d'OD à partir de mi-juillet
- l'amplitude de variation saisonnière de l'OD

## Dynamique verticale à l'échelle lunaire des matières en suspension (MES) et de l'oxygène dissous (OD) le long de la Garonne estuarienne



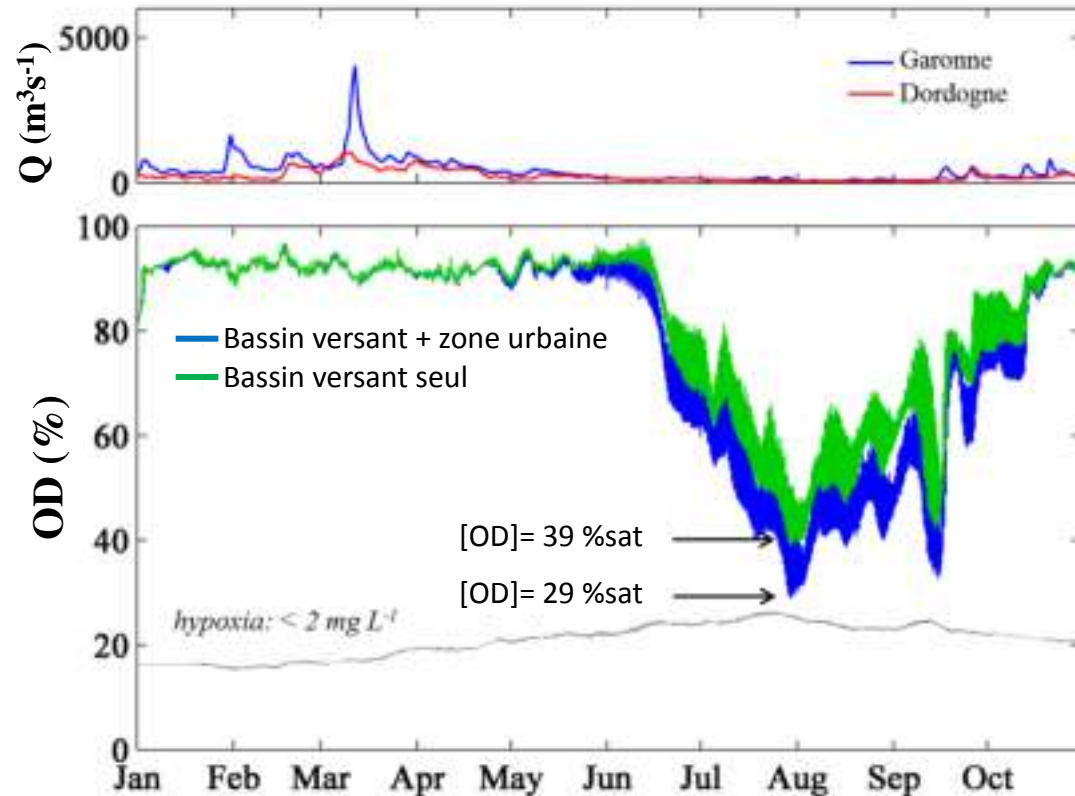
## Dynamique verticale à l'échelle lunaire des matières en suspension (MES) et de l'oxygène dissous (OD) le long de la Garonne estuarienne

- mortes eaux (ME) : minimum d'OD à Bordeaux
- En vives eaux (VE): 2<sup>ème</sup> minimum en amont de Bordeaux

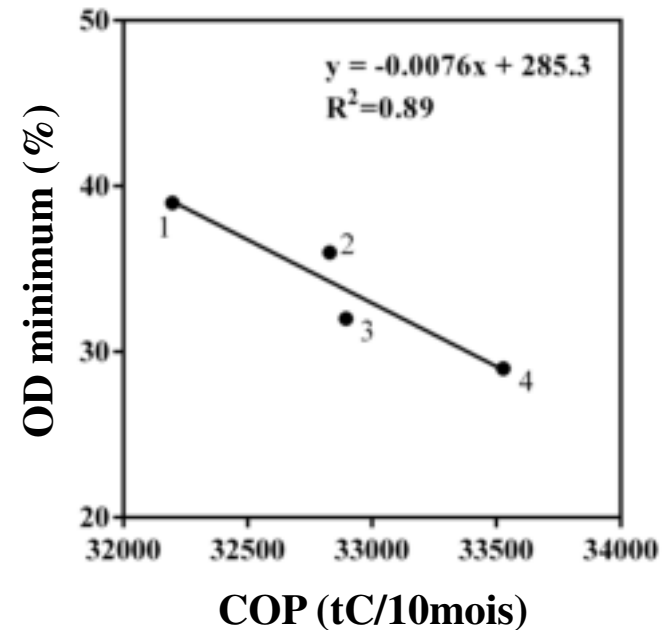


## Impact des rejets urbains sur les variations d'oxygène

## Bordeaux

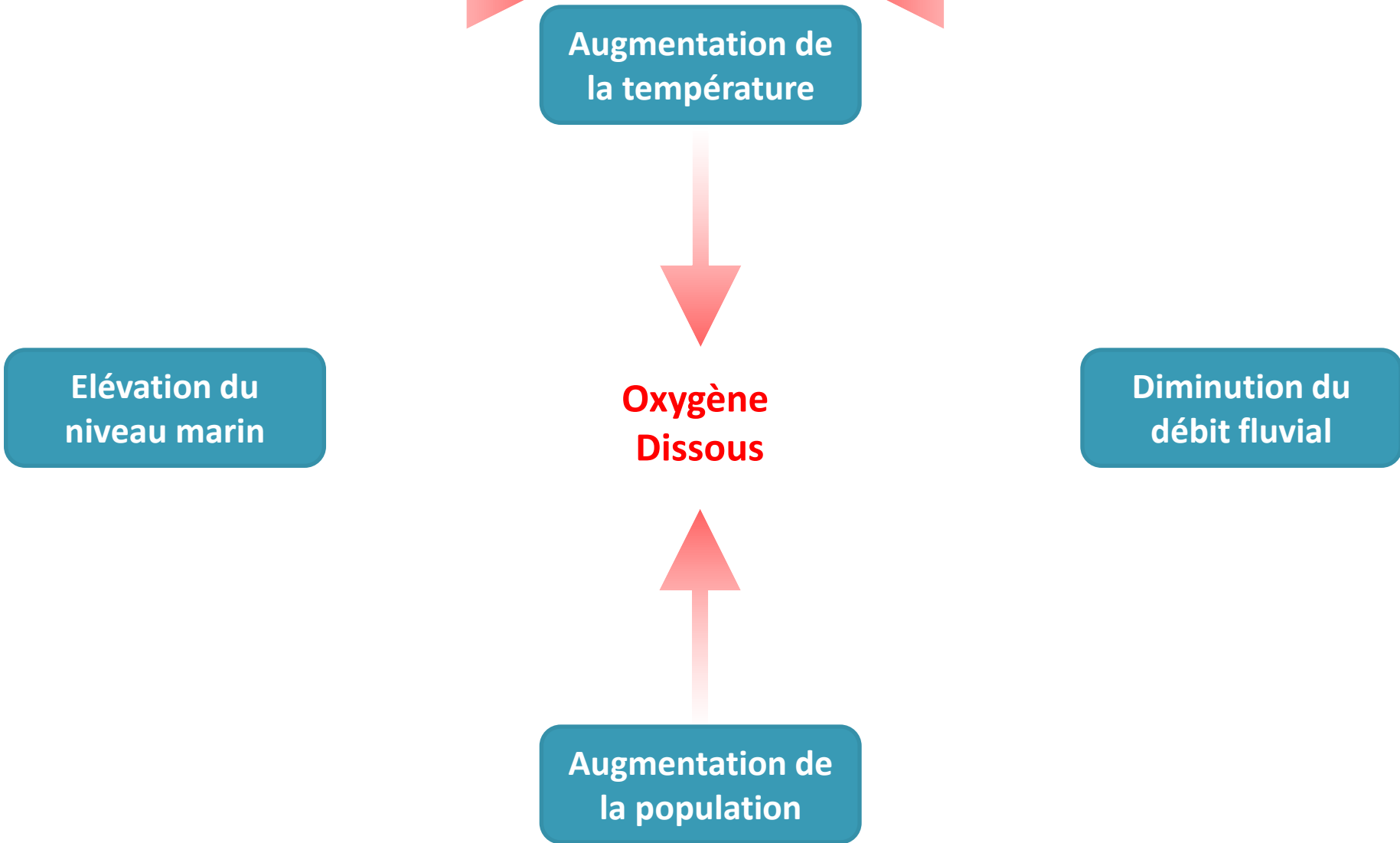
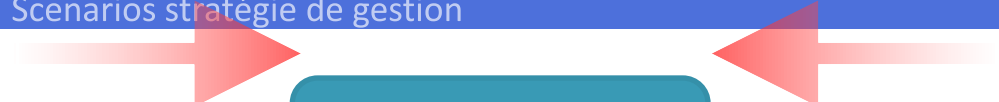


- 1- bassin versant
- 2- bassin versant + déversoirs d'orage
- 3- bassin versant + STEP
- 4- bassin versant + déversoirs d'orage + STEP

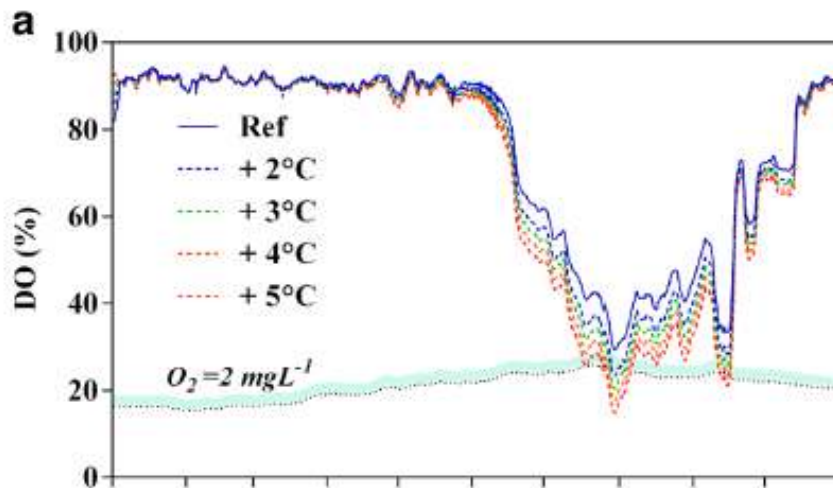


- ➔ **Principal consommateur d'OD : la MO du bassin versant (litière)**
- A Bordeaux présence des rejets urbains : diminue l'OD minimum de 10 %sat**

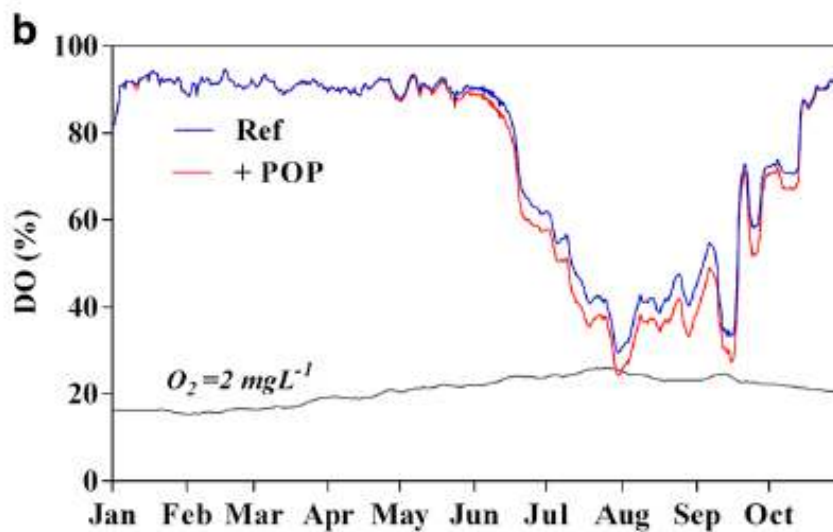
# Effets des changements globaux sur les hypoxies de la Garonne estuarienne



## Saturation en Oxygène Dissous à Bordeaux



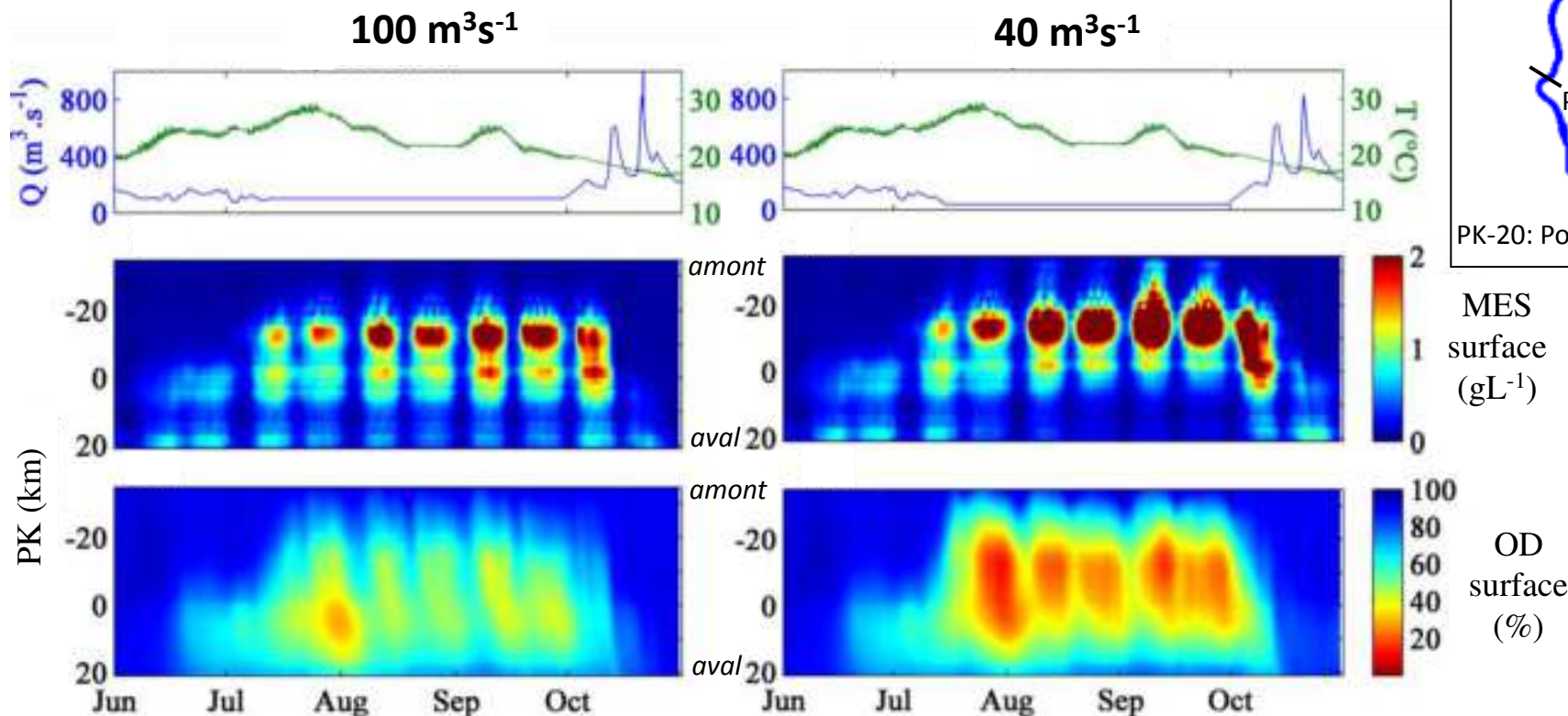
Effet de l'augmentation des températures



Effet de l'augmentation de la population

**Diminution de OD,  
Augmentation des jours d'hypoxie**

## Diminution du débit de la Garonne

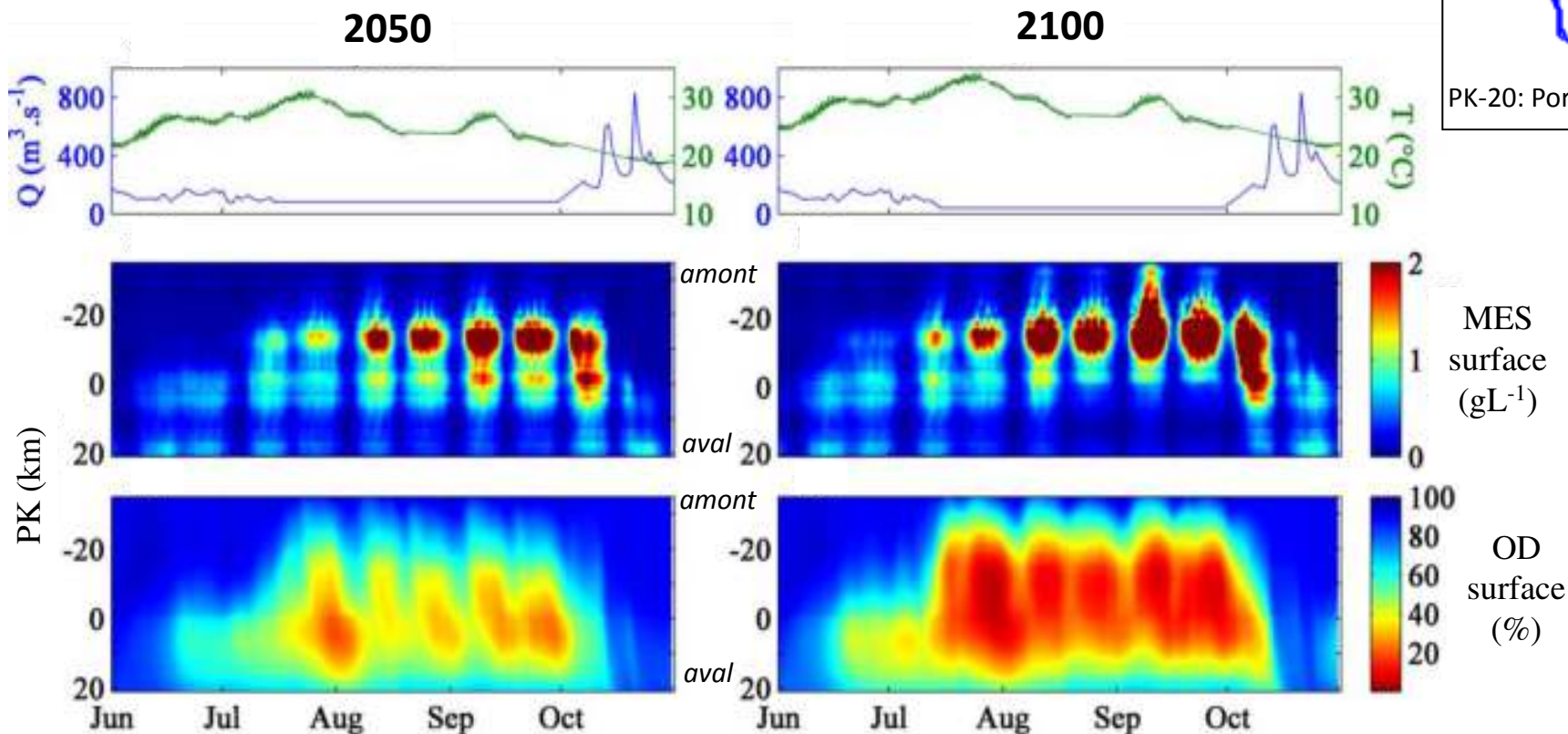
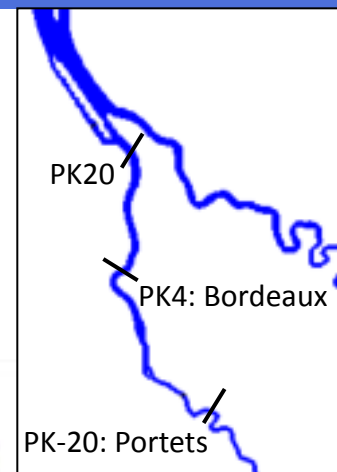


- Réduit la dispersion du BV: déplacé vers l'amont et plus turbide
- Réduit la dilution des eaux
- ➔ extension et intensification de l'hypoxie



$T+ 2^{\circ}\text{C}$  ;  $Q=80\text{m}^3\text{s}^{-1}$  ;  $hz+20\text{cm}$  ;  $\text{POP} + 50\%$  → A l'horizon 2050

$T+ 5^{\circ}\text{C}$  ;  $Q=40\text{m}^3\text{s}^{-1}$  ;  $hz+40\text{cm}$  ;  $\text{POP} + 50\%$  → A l'horizon 2100



→ Développement d'une « zone morte »

**Les eaux de la Garonne estuarienne sont fortement impactées par les variations des forçages liés aux changements globaux.**

- **Bordeaux est sensible aux variations de température, de débit et aux rejets urbains.**
- **Portets est sensible aux variations de température et de débit.**

**L'hypoxie pourrait :**

- **s'intensifier**
- **s'étendre de Bordeaux à l'amont (Portets)**
- **se maintenir tout au long de la période estivale**

**➔ Formation d'une hypoxie estivale permanente de Bordeaux à l'amont de Portets**

## ✓ Hypoxie à Bordeaux pourrait être atténuée en optimisant la gestion des rejets urbains

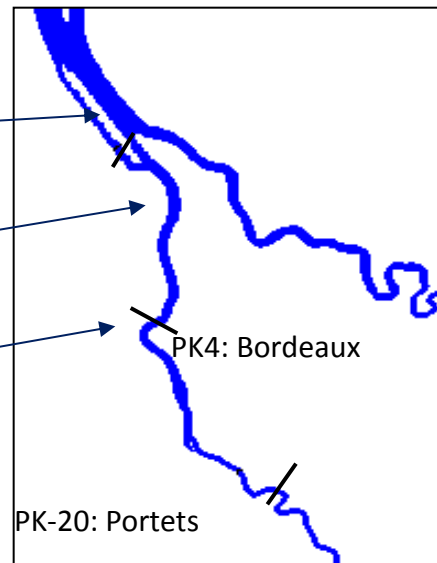
- Réduction des déversements des déversoirs d'orages : impact ponctuel
- Déplacement des rejets urbains en aval : dissipation totale à Bx (persistance à Portets)

### Jours d'hypoxie à Bordeaux

PK25 0 jour

PK15 : 4 jours

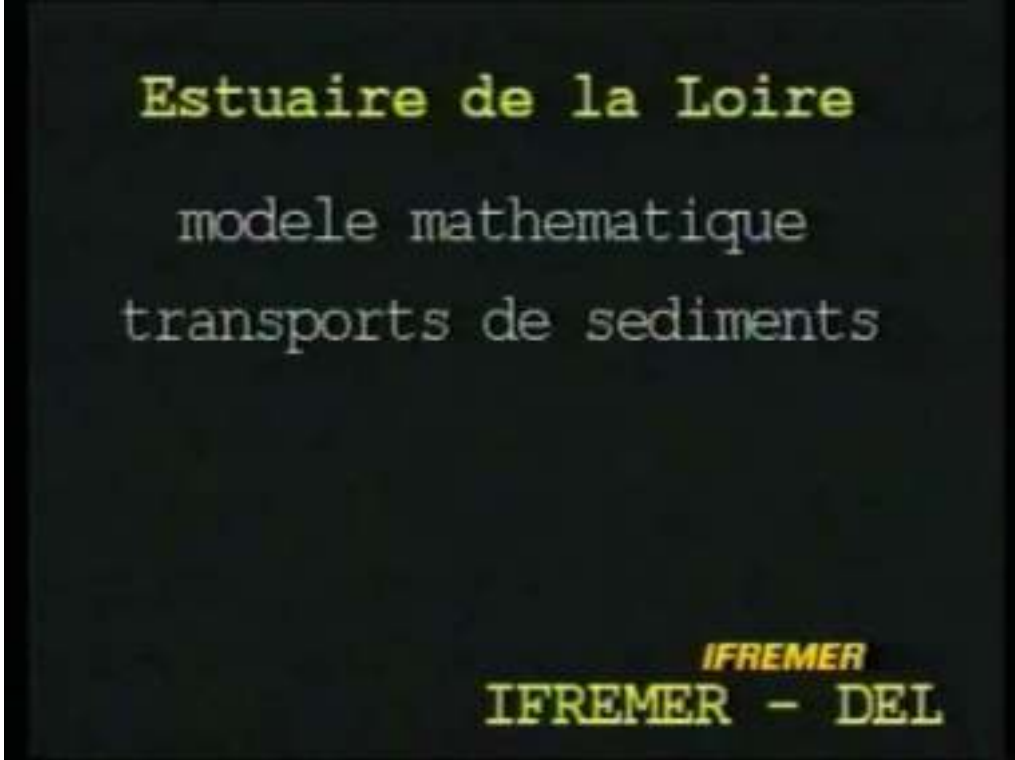
Réf : 14 jours



## Modèle 1D longitudinal

B. Thouvenin, P. Le Hir, A. Romana, 1992

Le Hir et Thouvenin, 1994



Estuaire de la Loire  
modele mathematique  
transports de sediments

IFREMER  
IFREMER - DEL

### Hypoxies en Loire, associée

- à la charge phytoplanctonique
- matière organique stockée dans le bouchon vaseux
- associée à la crème de vase
- s'intensifie au cours de l'été

# Conclusion

- Modèle numériques en estuaire
  - ❑ outils puissants, complémentaires de l'in situ
  - ❑ meilleure résolution spatio-temporelle
  - ❑ possibilité de scénarios
  - ❑ sensibilité aux différents facteurs forçants
  - ❑ très dépendants des données in situ (validation)
  - ❑ Couplage physique-HMS-biogéochimie essentiel



**Merci pour votre  
attention**

