



Implication des sédiments dans la dégradation des écosystèmes aquatiques côtiers

Zoom sur la désoxygénation, eutrophisation et contamination chimique en zone méditerranéenne

Sylvain Rigaud

Membres du jury:

Christophe Rabouille, Directeur de Recherche, UMR 8212 LSCE / Rapporteur
Wolfgang Ludwig, Professeur des Universités, UMR 5110 CEFREM / Rapporteur
Jorg Schäfer, Professeur des Universités, UMR 5805 EPOC / Rapporteur
Thomas Stieglitz, Directeur de Recherche, UM 7330 CEREGE / Examineur
Olivier Radakovitch, Directeur de Recherche, IRSN / Examineur/Garant
Isabelle Techer, Professeure des Universités, UPR CHROME / Invitée

1. Curriculum Vitae

2. Projets de recherche actuels

2.1. Oxygène

2.2. Réponse flux benthiques

2.3. Cycle des plastiques

2.4. Implication des sédiments dans la dégradation des zones côtières

3. Projets de recherche futurs

2024

**Maître de
Conférences**



*Biogéochimie des écosystèmes
aquatiques*

2014

Postdoct. 2

Biogéochimie côtière



2012

Postdoct. 1

Océanogr. chimique



2011

Doctorat

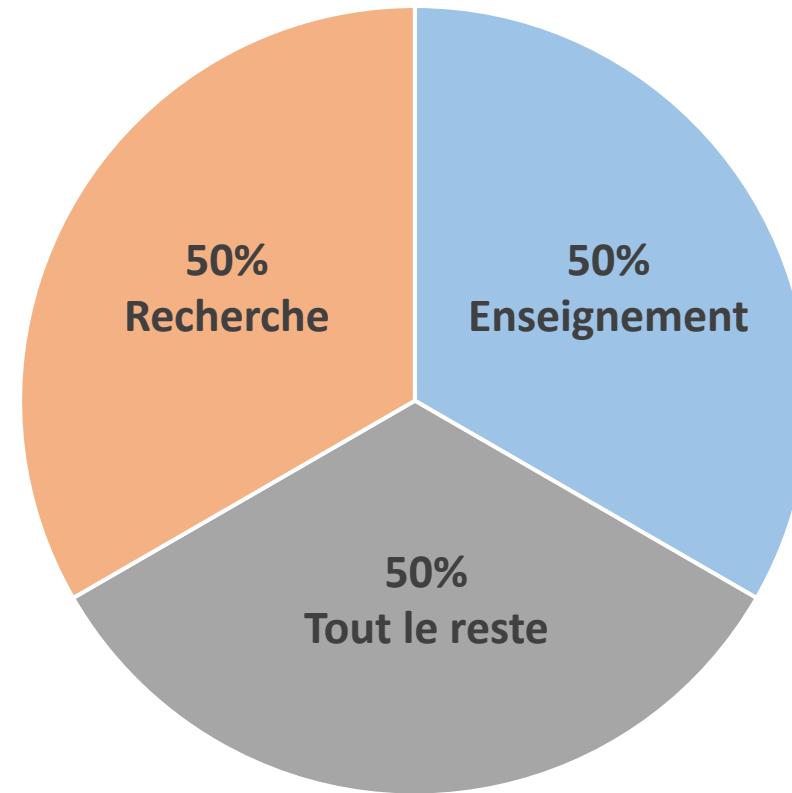
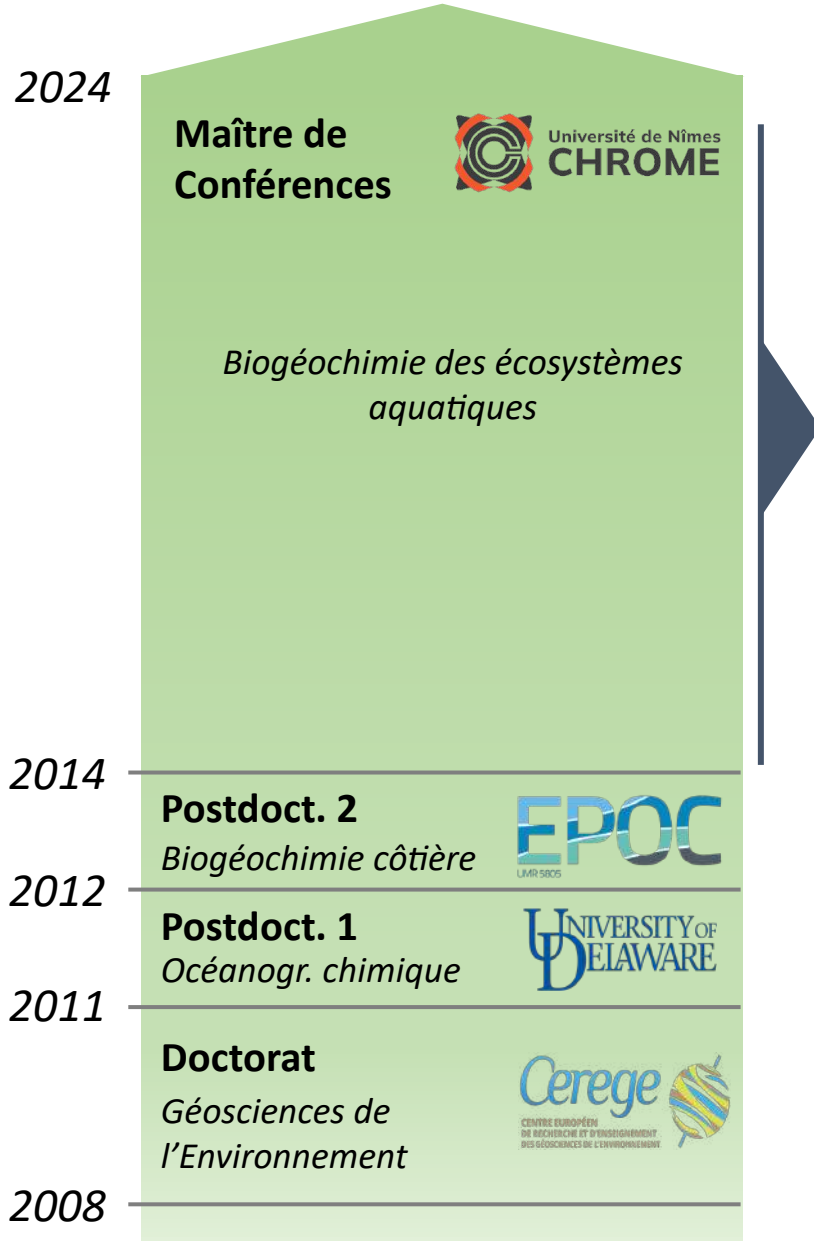
*Géosciences de
l'Environnement*



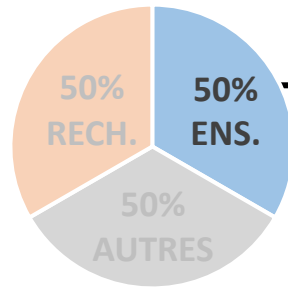
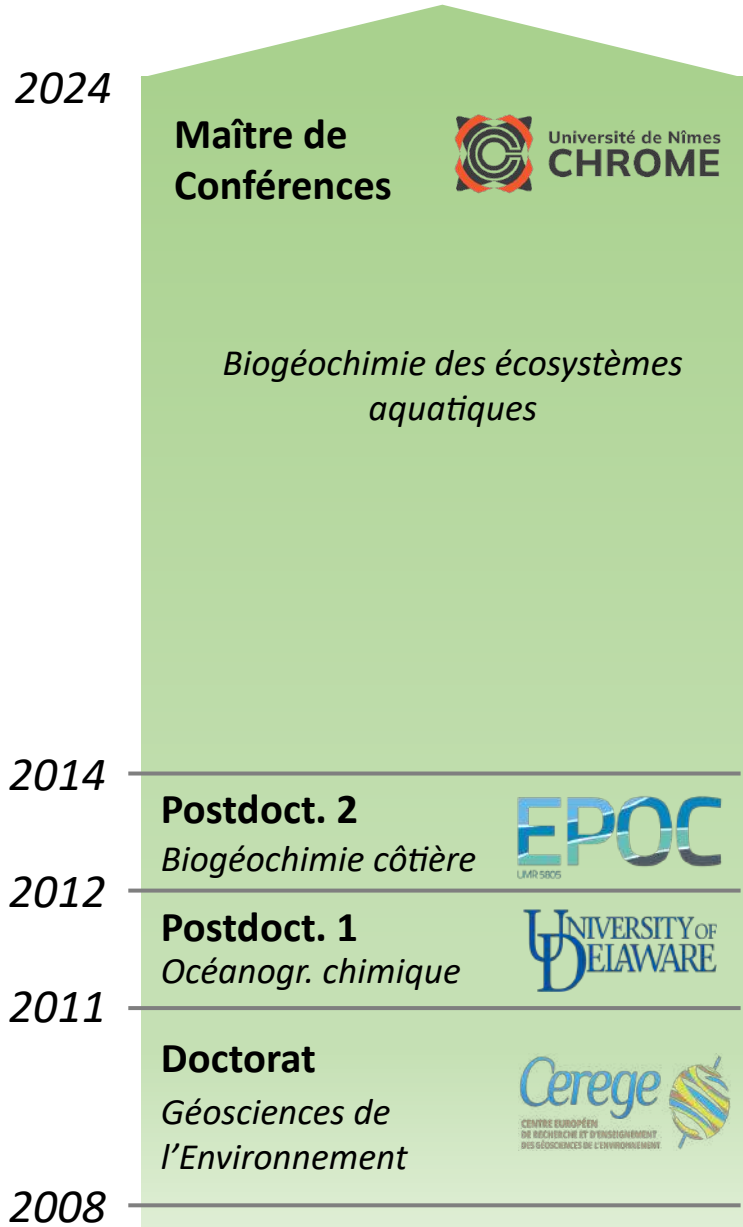
2008

Synthèse des activités au cours des 10 dernières années

Proportion du temps consacré aux grandes activités
(ou la recette du cocktail de l'Enseignant-Chercheur)



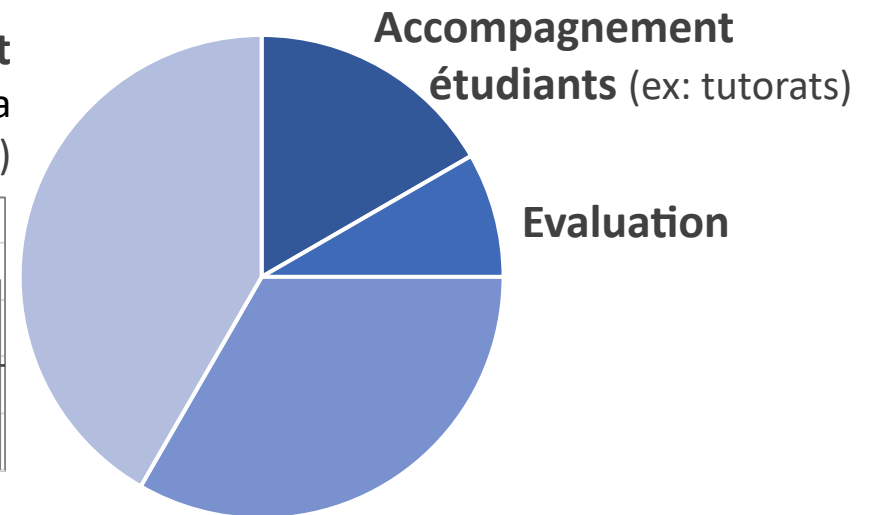
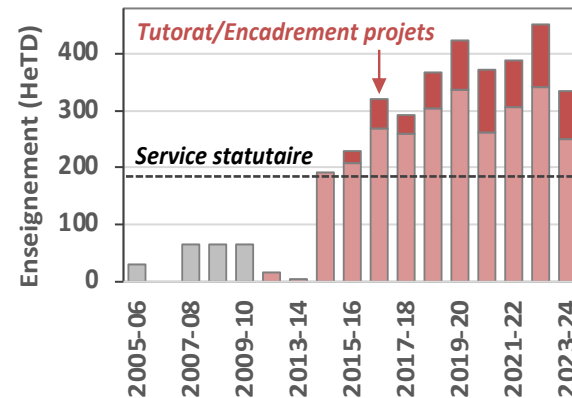
Synthèse des activités au cours des 10 dernières années



Activités d'enseignement

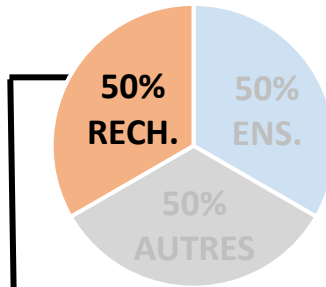
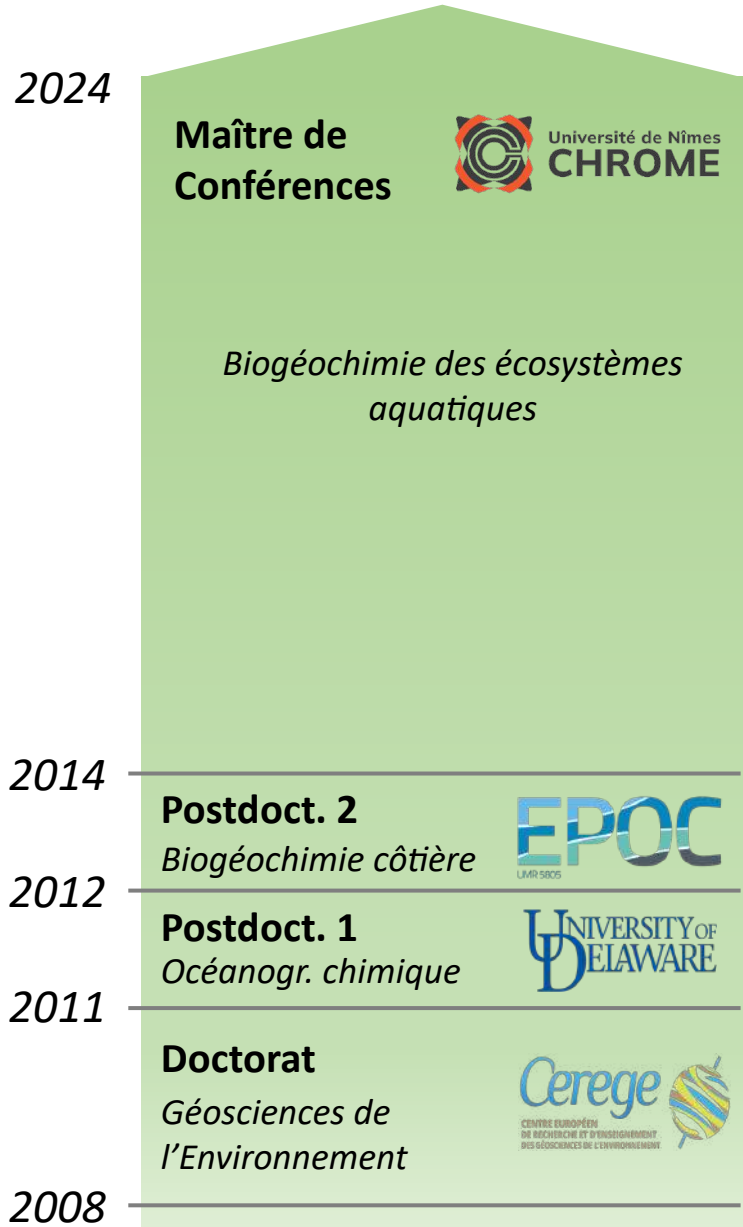
- Membre de l'équipe pédagogique des formations en Sciences de l'Environnement d'Unîmes (6 années de formation / L, LP, M)
- Responsable du parcours "Environnement" de la L3 Sciences de la Vie

Enseignement
 273 ± 50 HETD/a
 (+89 ± 18 h Encadrement/Tutorat)



Gestion formations: Emploi du temps, jurys universitaires, gestion vacataires, sélection candidats, JPO/Salons, ...

Synthèse des activités au cours des 10 dernières années

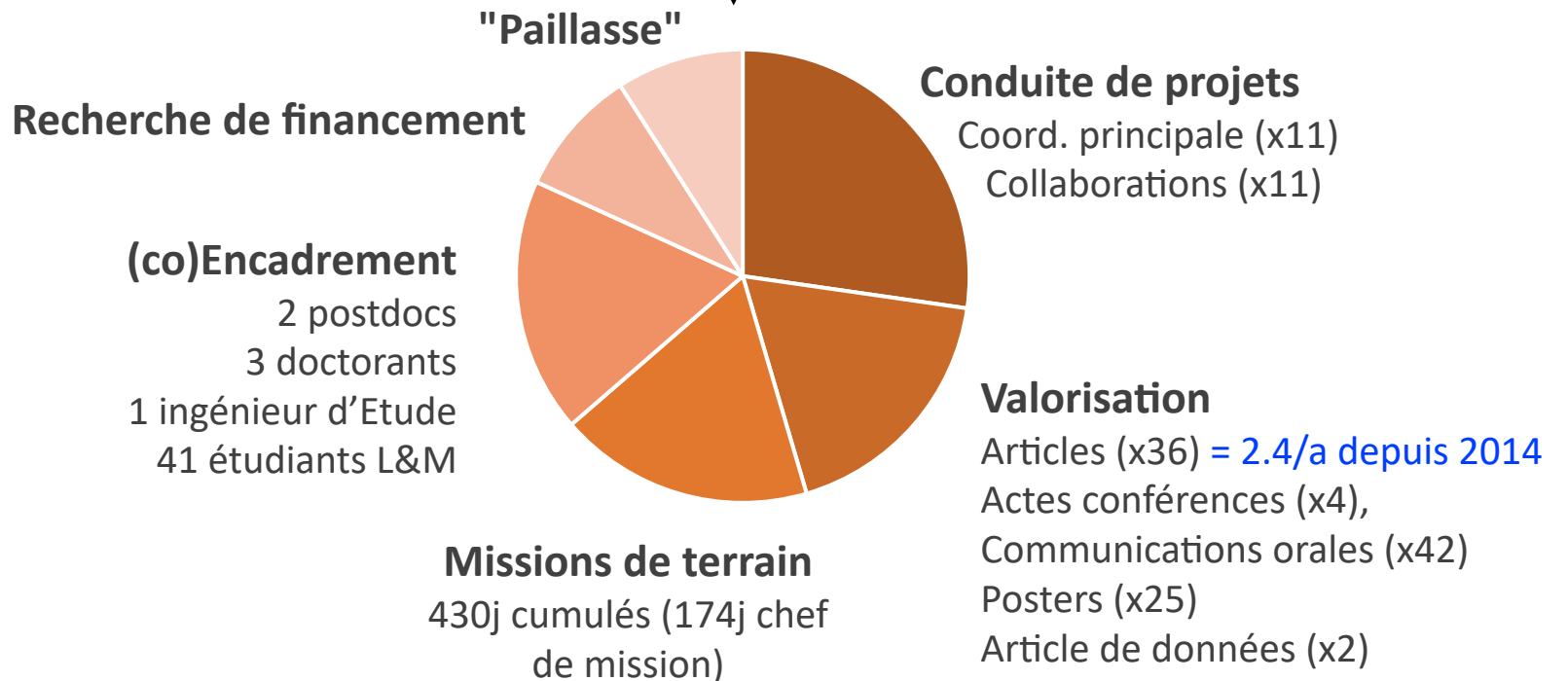


Activités de Recherche

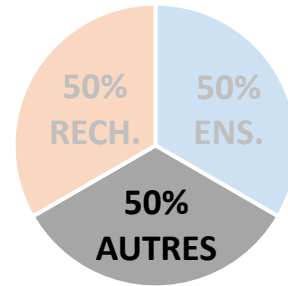
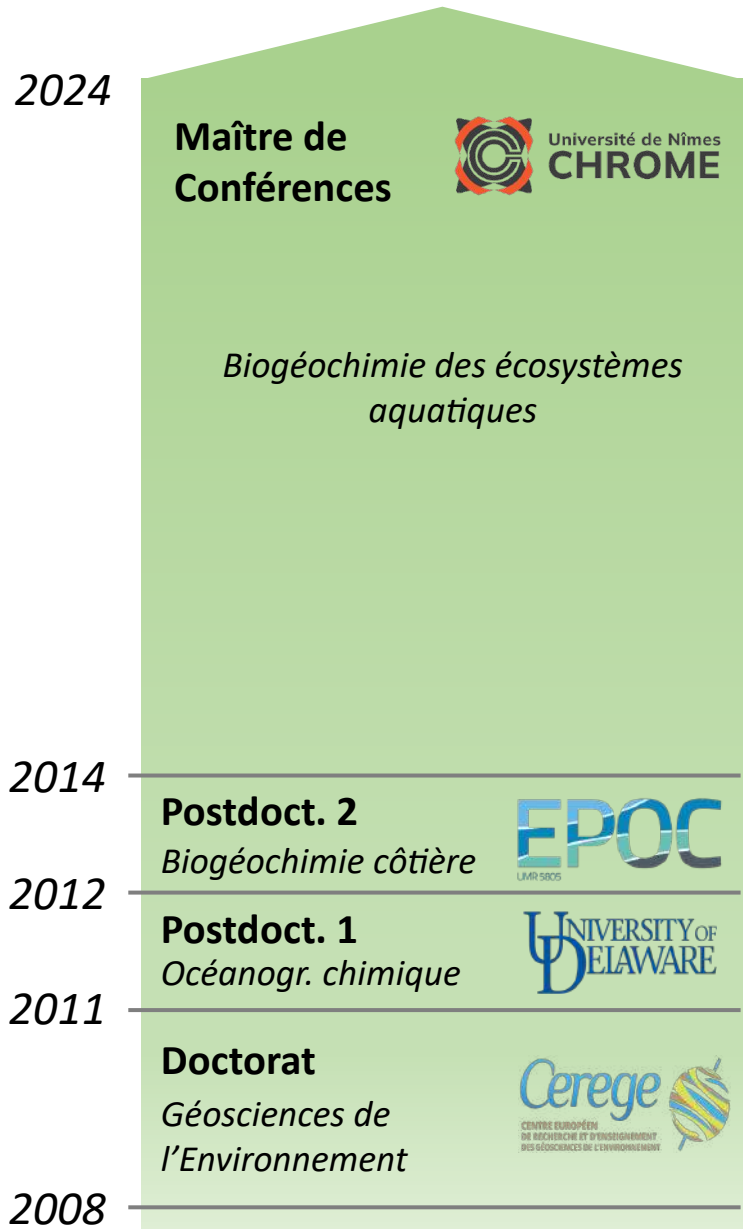
UPR 7352 CHROME: Risques chroniques et émergents

Axe 1: "Contaminants chroniques et émergents"

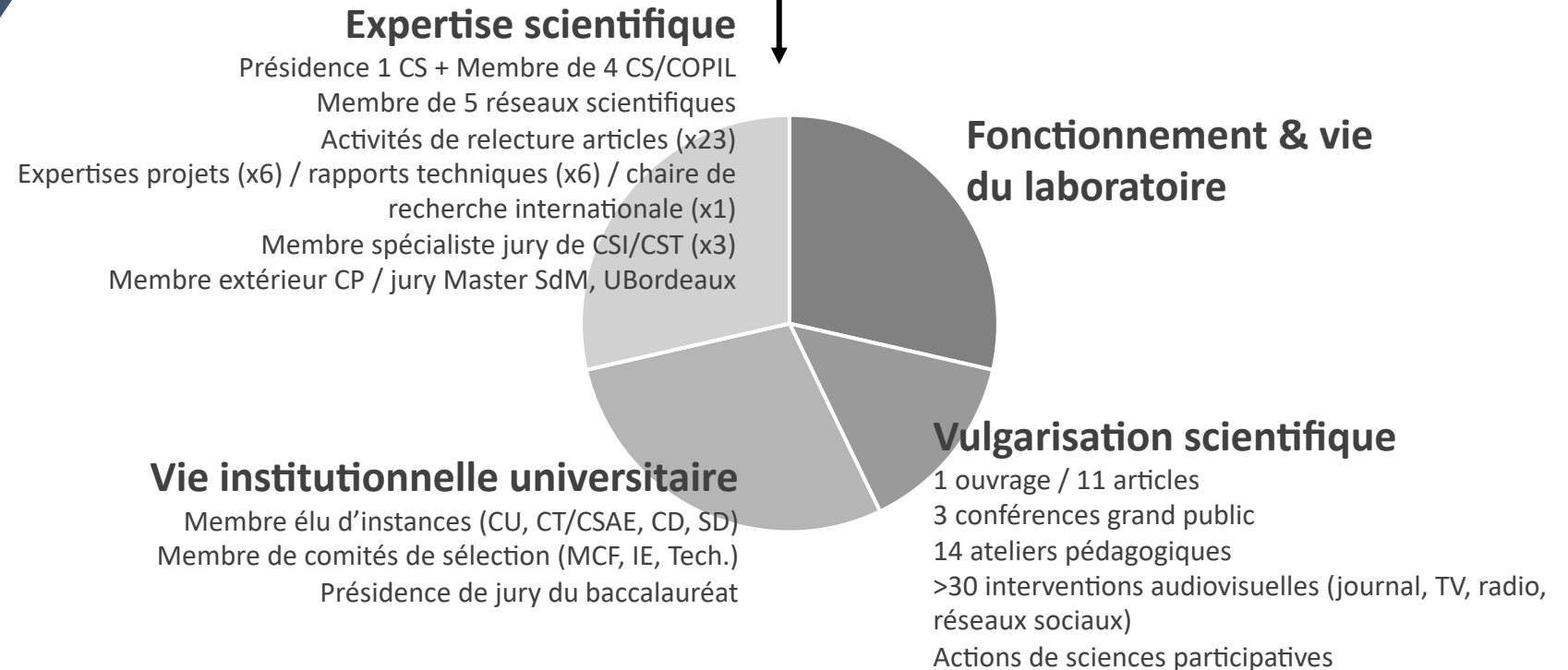
Axe 3: "Changements Environnementaux"



Synthèse des activités au cours des 10 dernières années



Activités « Tout le reste »



1. Curriculum Vitae

2. Projets de recherche actuels

2.1. Oxygène

2.2. Réponse flux benthiques

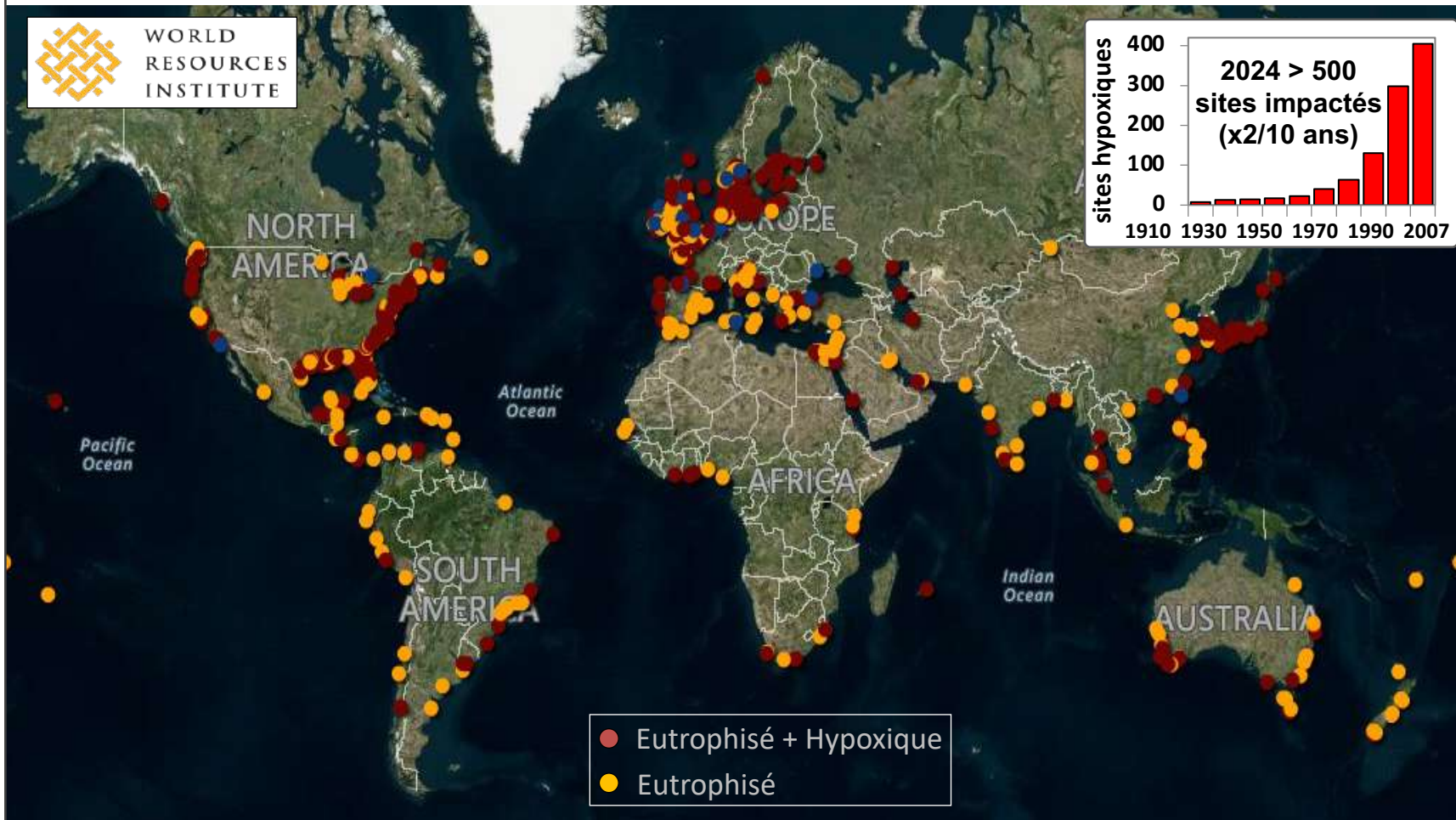
2.3. Cycle des plastiques

2.4. Implication des sédiments dans la dégradation des zones côtières

3. Projets de recherche futurs

Zones côtières = zones aux enjeux socio-économiques et écologiques majeurs / services écosystémiques
MAIS pour la plupart dégradées par des phénomènes d'eutrophisation / désoxygénation / pollution chimique

Zones côtières dégradées par l'eutrophisation & l'hypoxie

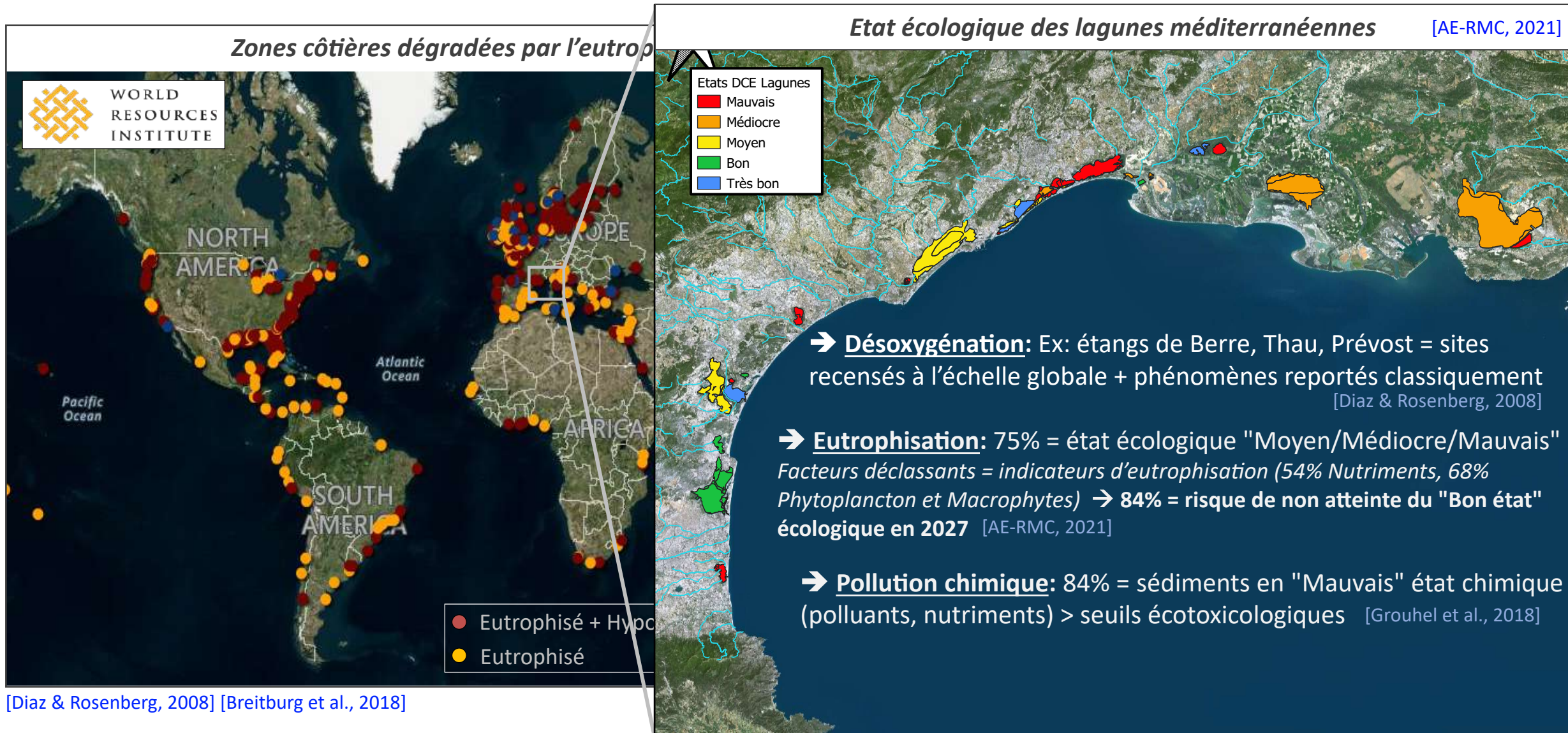


[Diaz & Rosenberg, 2008] [Breitburg et al., 2018]

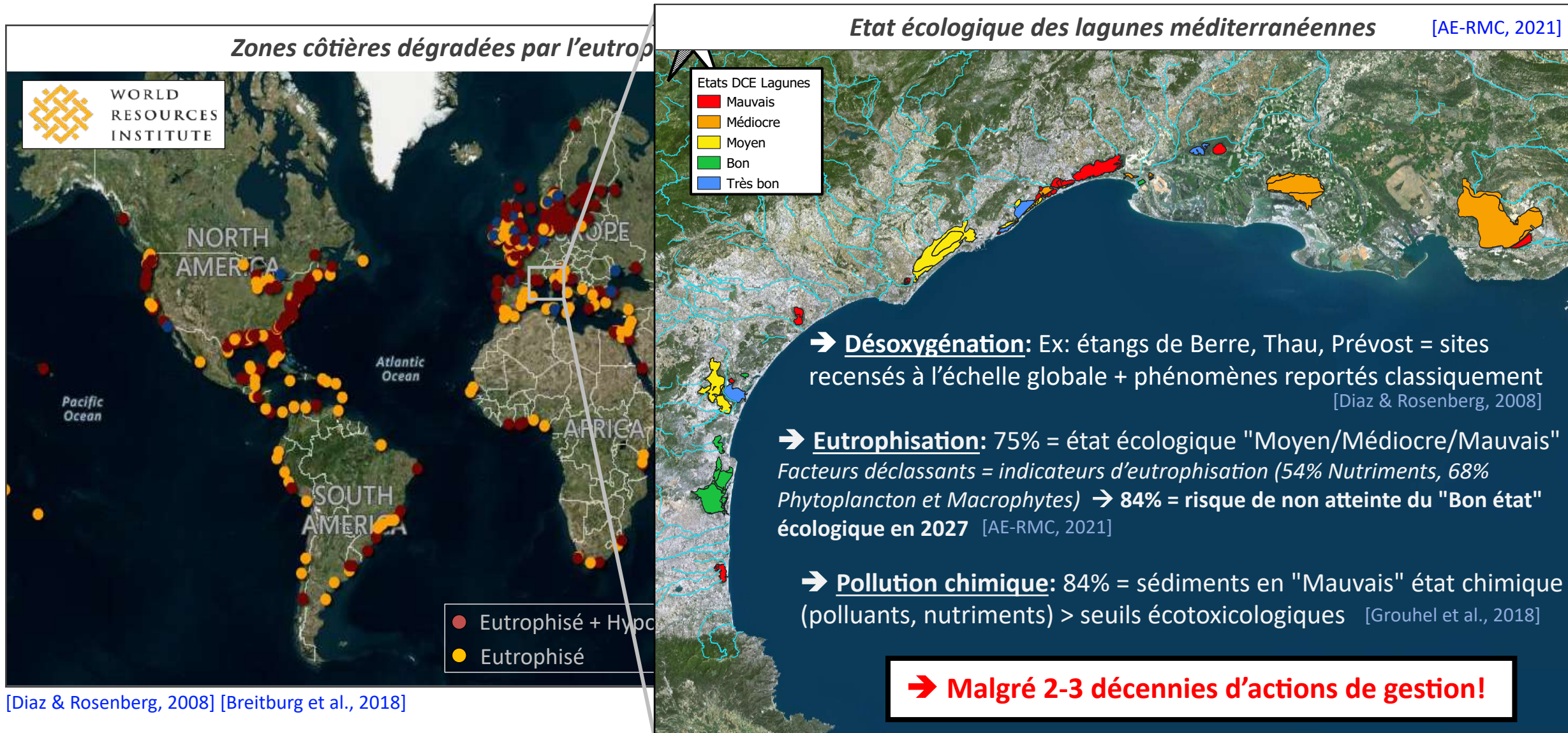


- > Écosystèmes dégradés
- > Exploitations contraintes/impossibles
- > Risques sanitaire & écotoxicologique

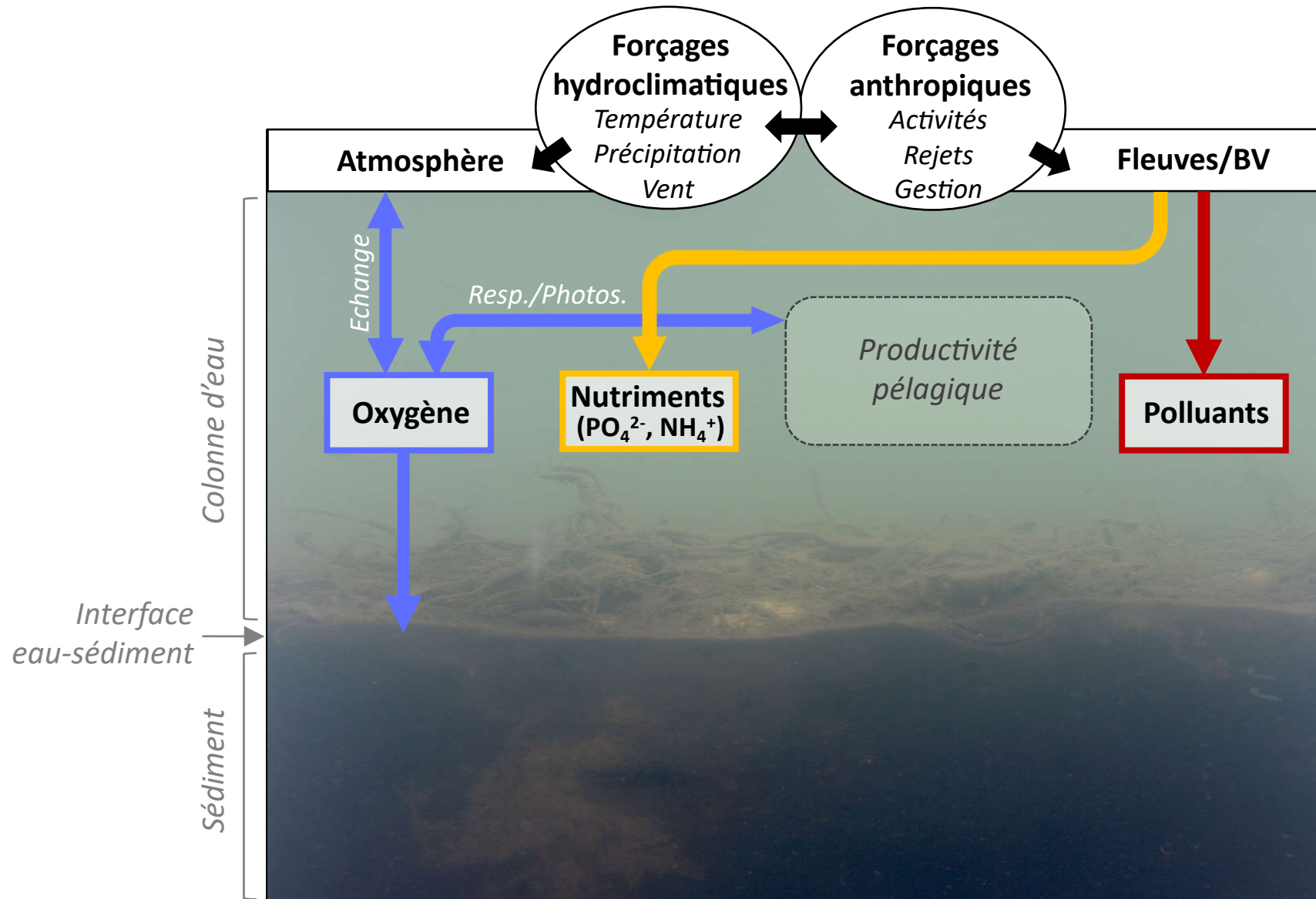
Zones côtières = zones aux enjeux socio-économiques et écologiques majeurs / services écosystémiques
MAIS pour la plupart dégradées par des phénomènes d'eutrophisation / désoxygénation / pollution chimique



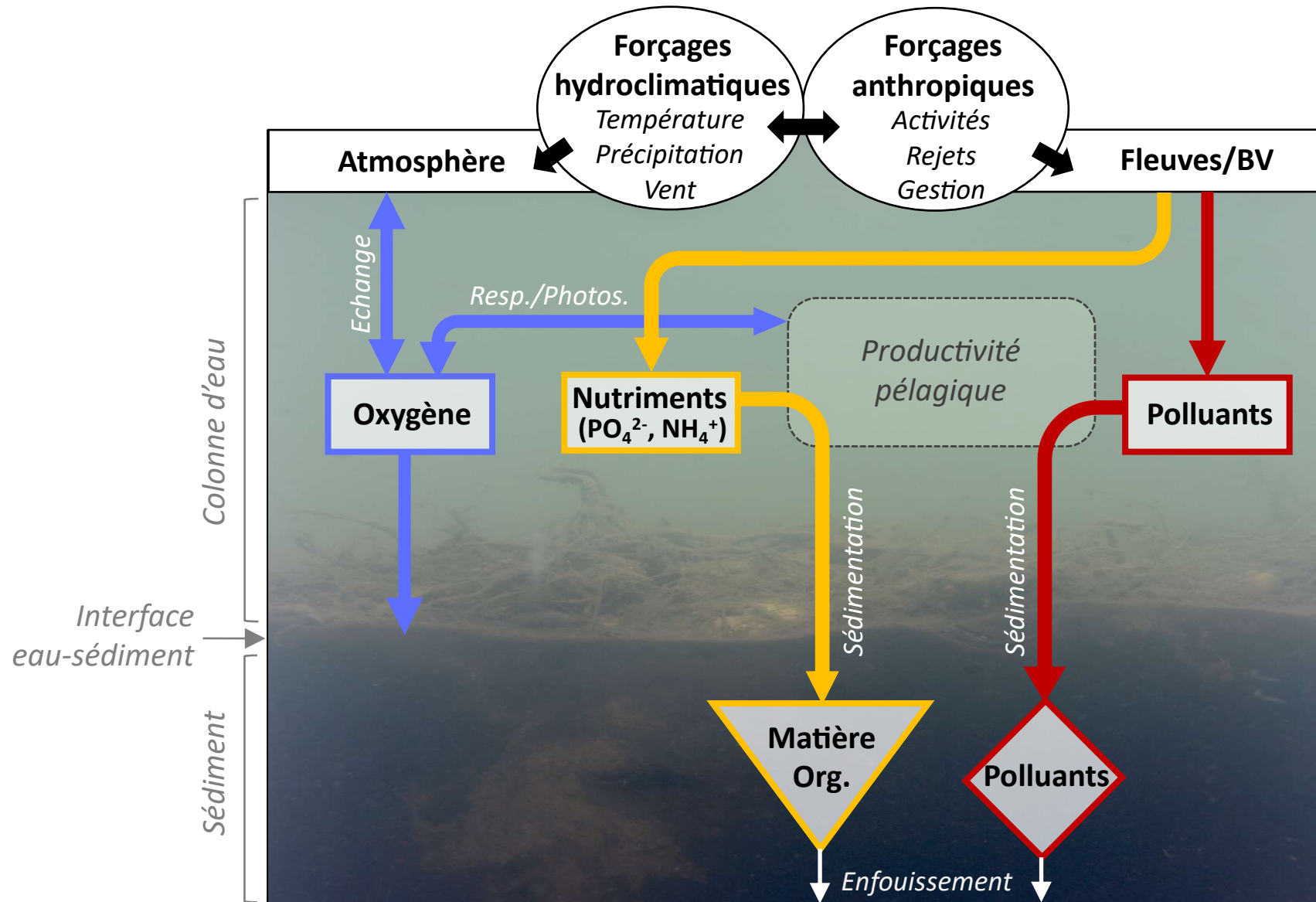
Zones côtières = zones aux enjeux socio-économiques et écologiques majeurs / services écosystémiques
MAIS pour la plupart dégradées par des phénomènes d'eutrophisation / désoxygénation / pollution chimique



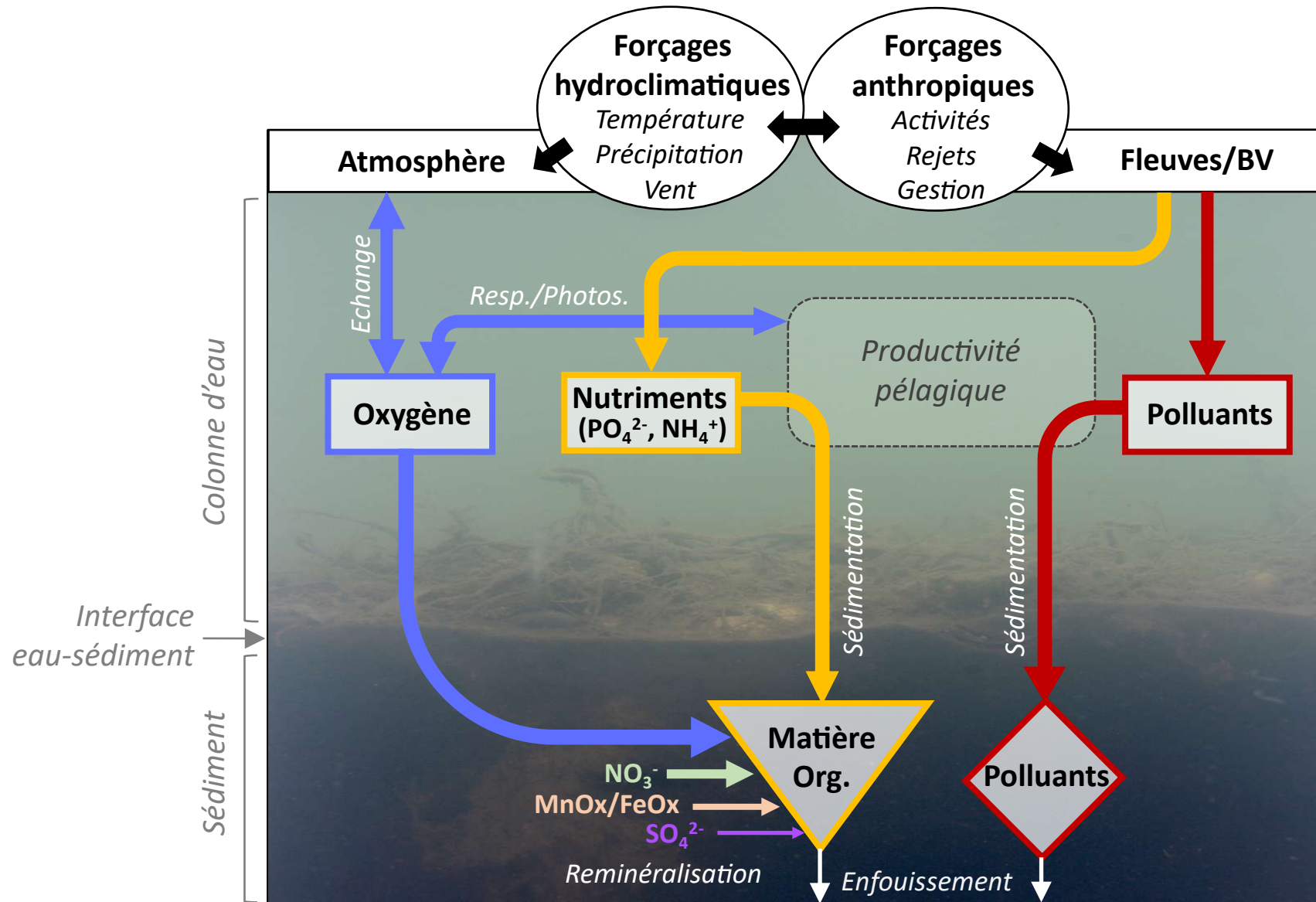
Cycles (simplifiés) de l'oxygène, nutriments et polluants à l'interface eau-sédiment dans les zones côtières



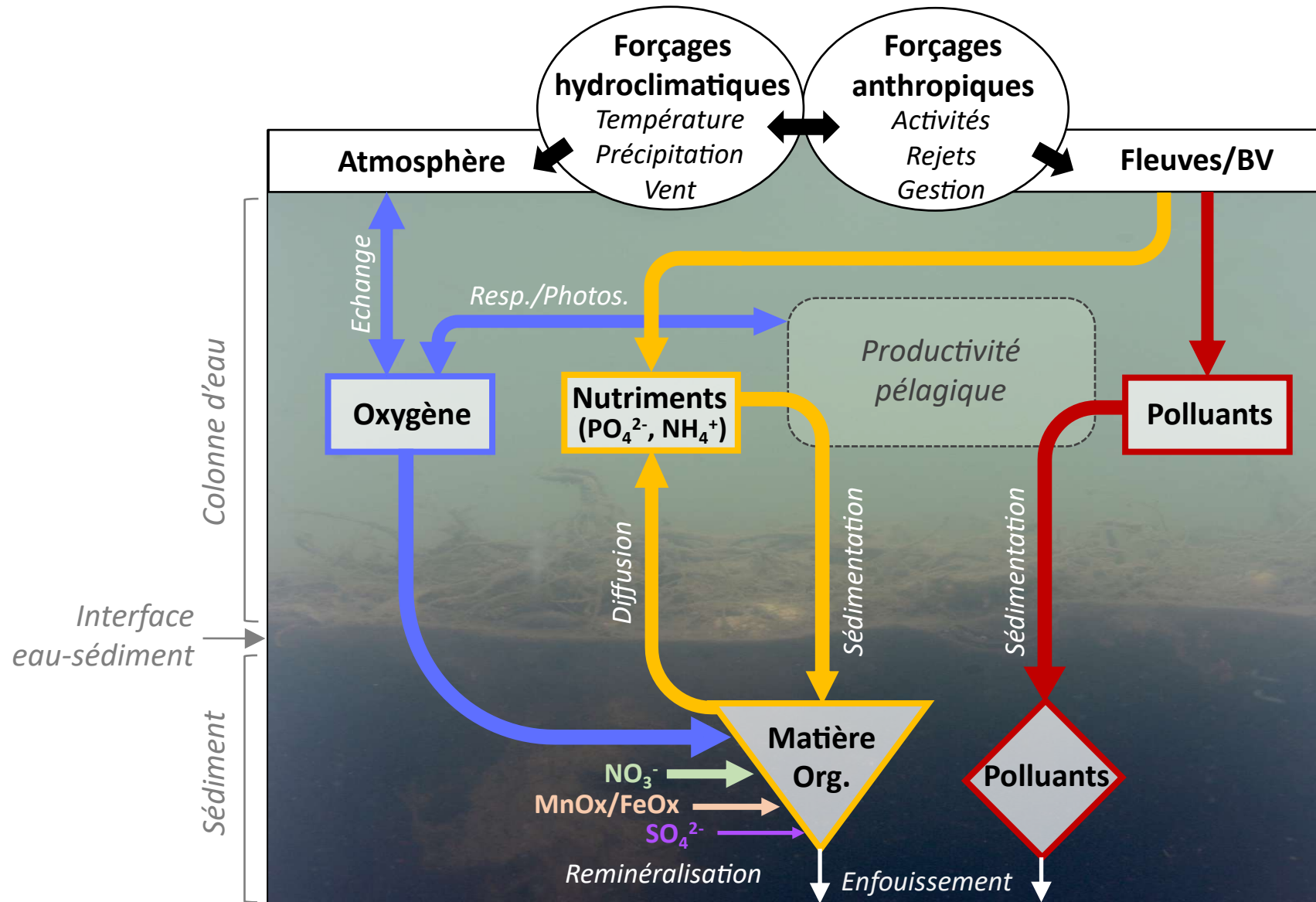
Cycles (simplifiés) de l'oxygène, nutriments et polluants à l'interface eau-sédiment dans les zones côtières



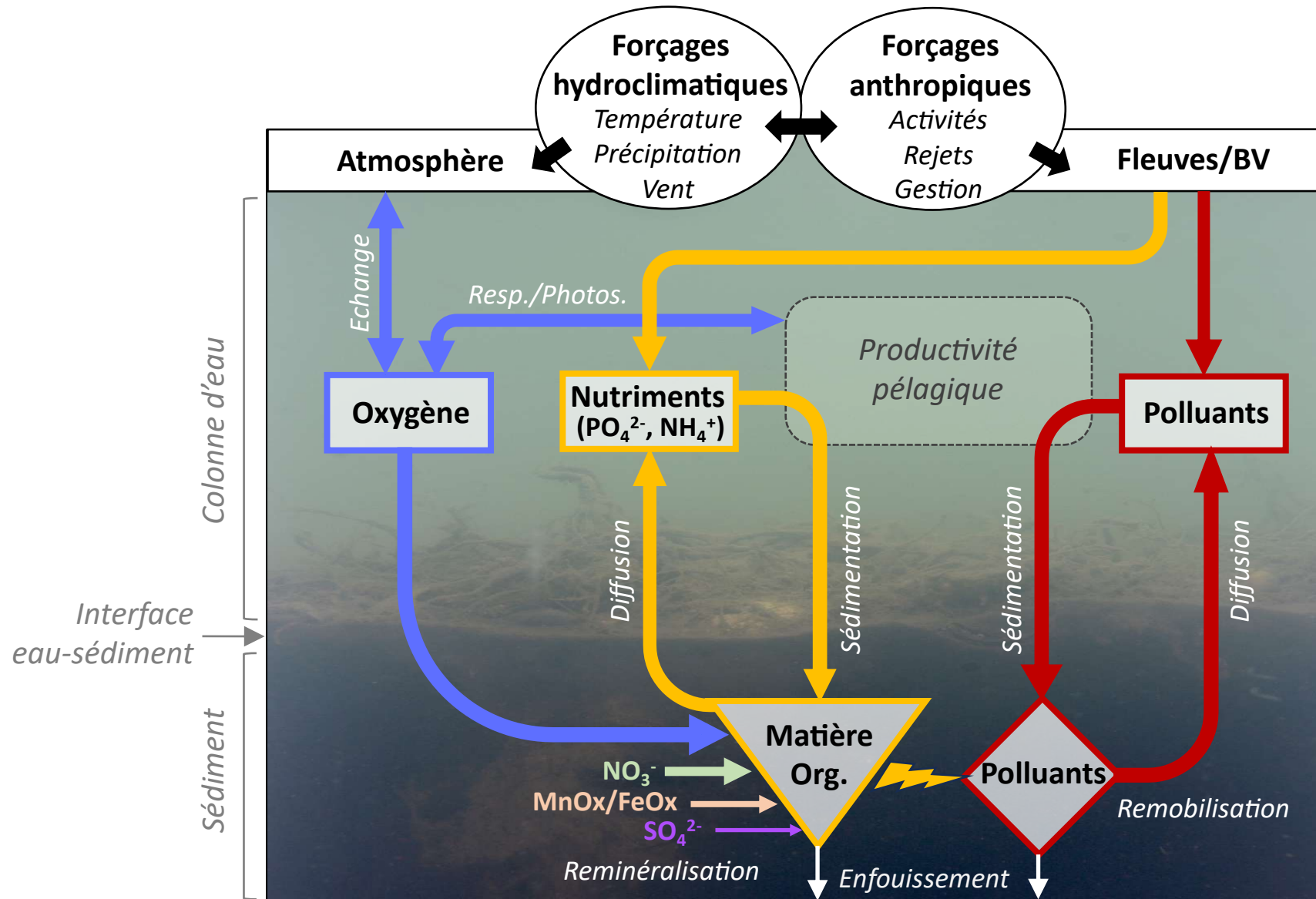
Cycles (simplifiés) de l'oxygène, nutriments et polluants à l'interface eau-sédiment dans les zones côtières



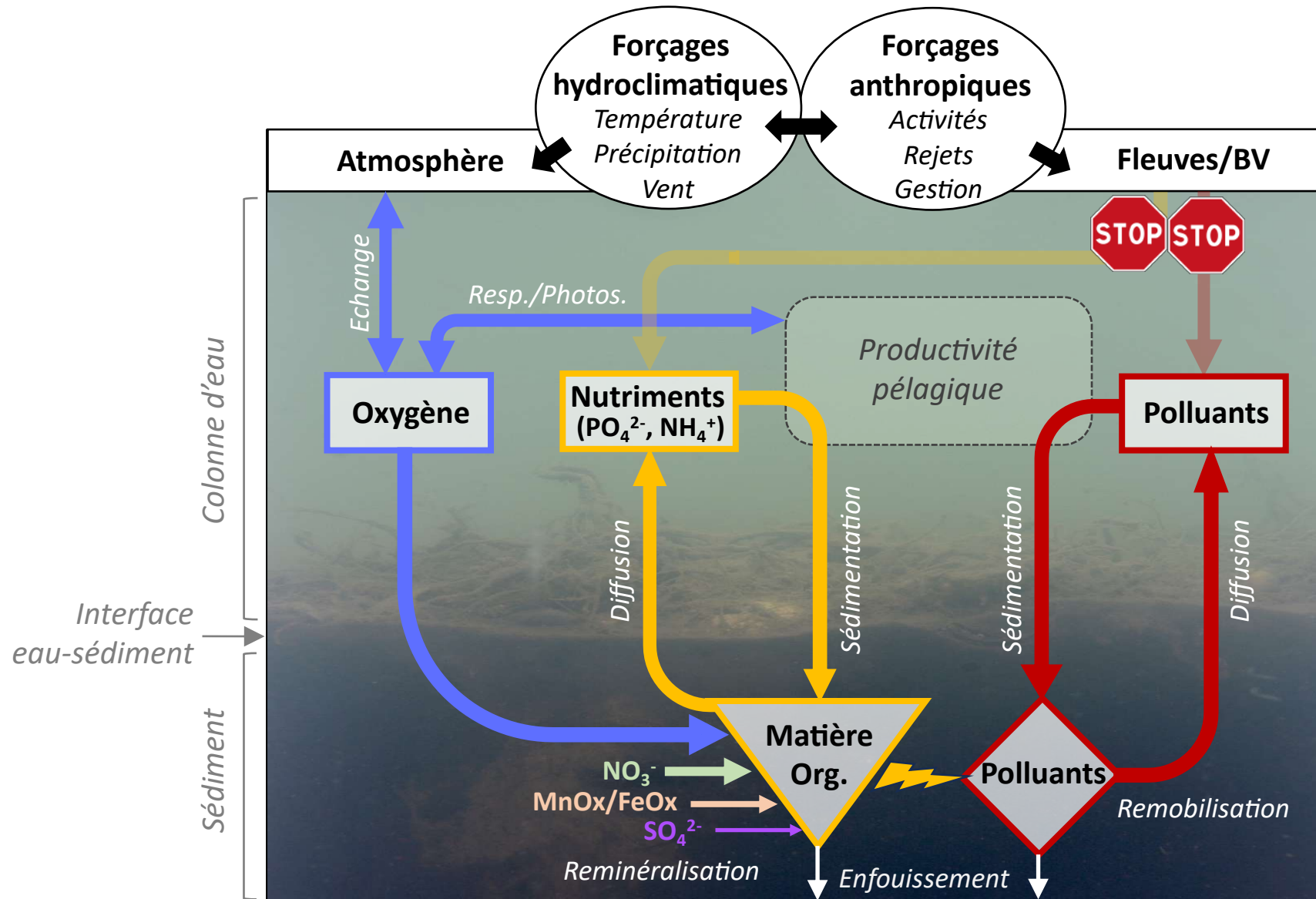
Cycles (simplifiés) de l'oxygène, nutriments et polluants à l'interface eau-sédiment dans les zones côtières



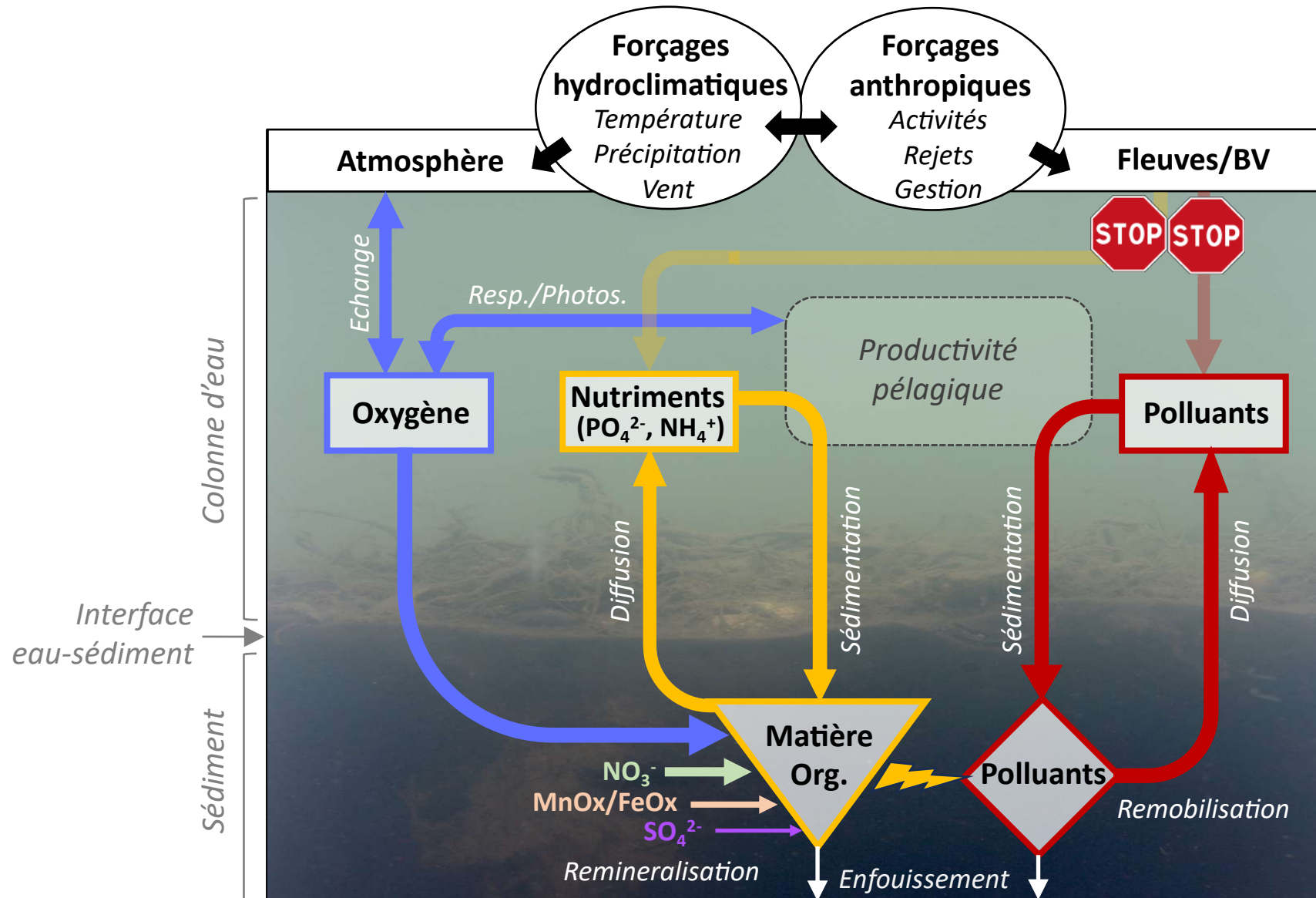
Cycles (simplifiés) de l'oxygène, nutriments et polluants à l'interface eau-sédiment dans les zones côtières



Cycles (simplifiés) de l'oxygène, nutriments et polluants à l'interface eau-sédiment dans les zones côtières



Cycles (simplifiés) de l'oxygène, nutriments et polluants à l'interface eau-sédiment dans les zones côtières



Sédiment:

→ **Risque de désoxygénation**

→ **Risque d'eutrophisation**

→ **Risque de pollution chimique**

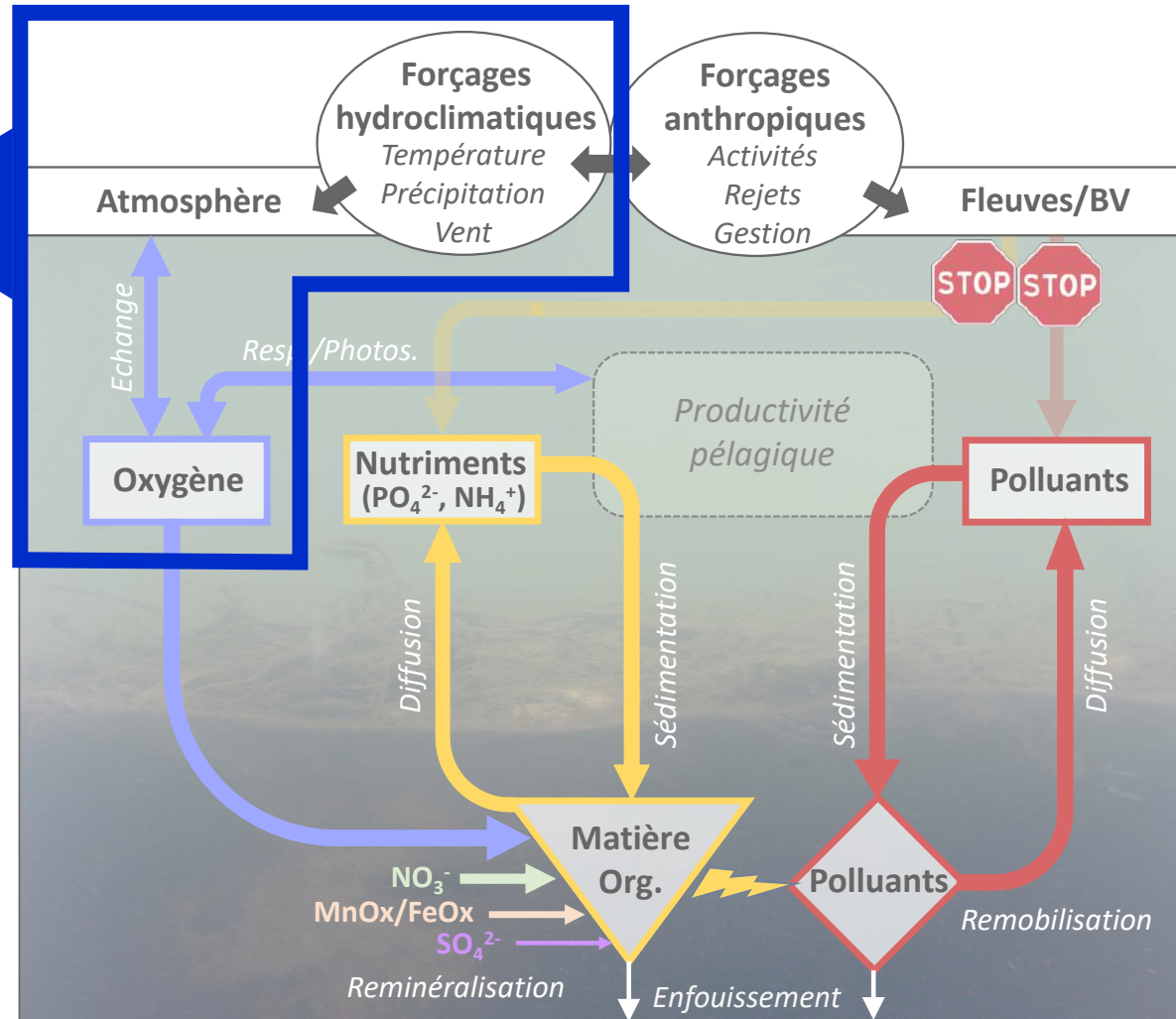
▼
Dégradation de la qualité des écosystèmes côtiers!

→ **Est-ce significatif?**
→ **Quelles solutions?**

Objectifs de mes activités de recherche actuelles

Dynamique actuelle et future de l'oxygène (et désoxygénation) en zones côtières méditerranéennes

1



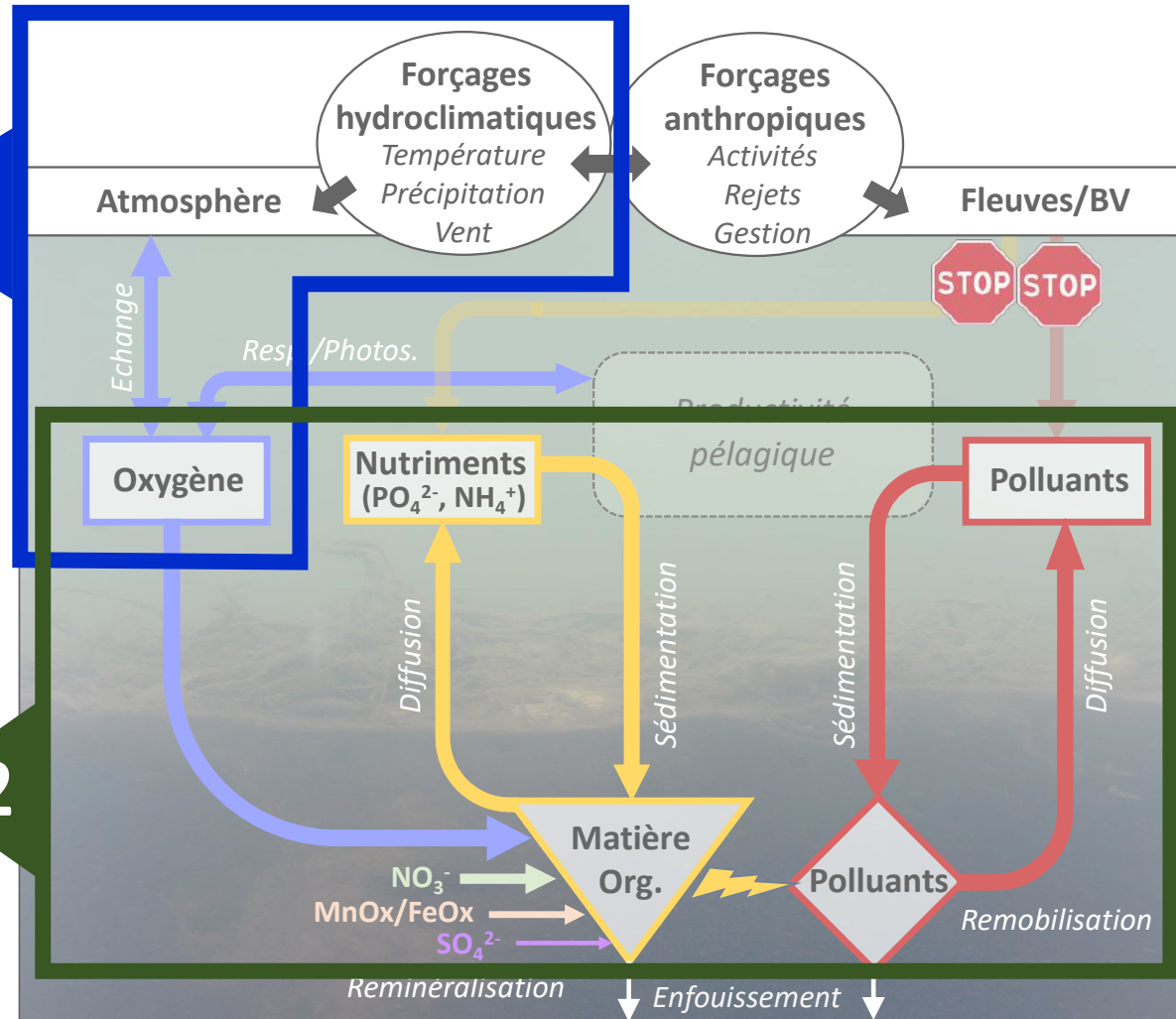
Objectifs de mes activités de recherche actuelles

Dynamique actuelle et future de l'oxygène (et désoxygénation) en zones côtières méditerranéennes

1

Impacts de la désoxygénation sur la biogéochimie benthique et les flux en **oxygène, nutriments et contaminants chimiques** à l'interface eau-sédiment

2



Objectifs de mes activités de recherche actuelles

Dynamique actuelle et future de l'oxygène (et désoxygénation) en zones côtières méditerranéennes

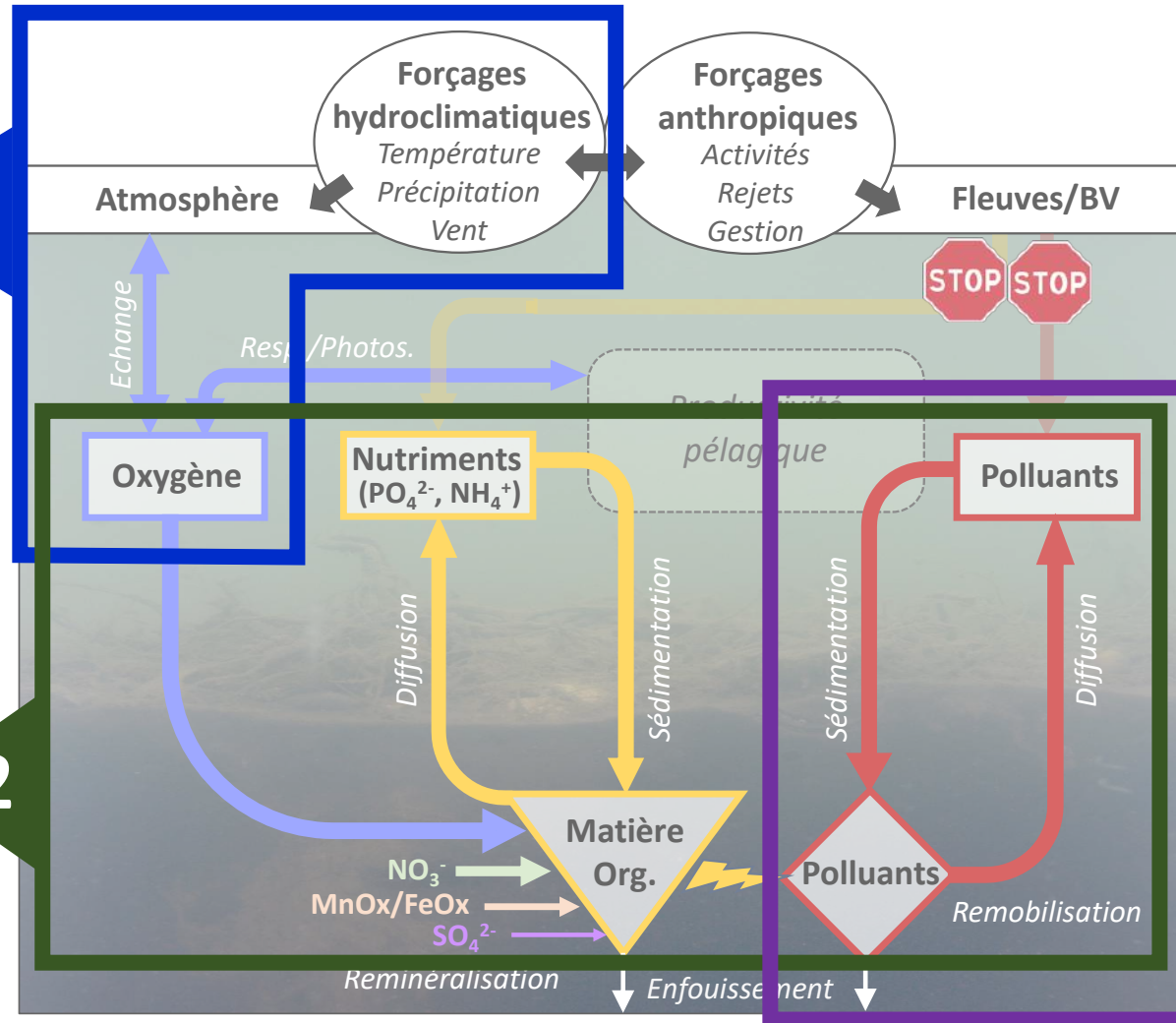
1

Impacts de la désoxygénation sur la biogéochimie benthique et les flux en **oxygène, nutriments et contaminants chimiques** à l'interface eau-sédiment

2

Pollution en **microplastiques et additifs chimiques**

3



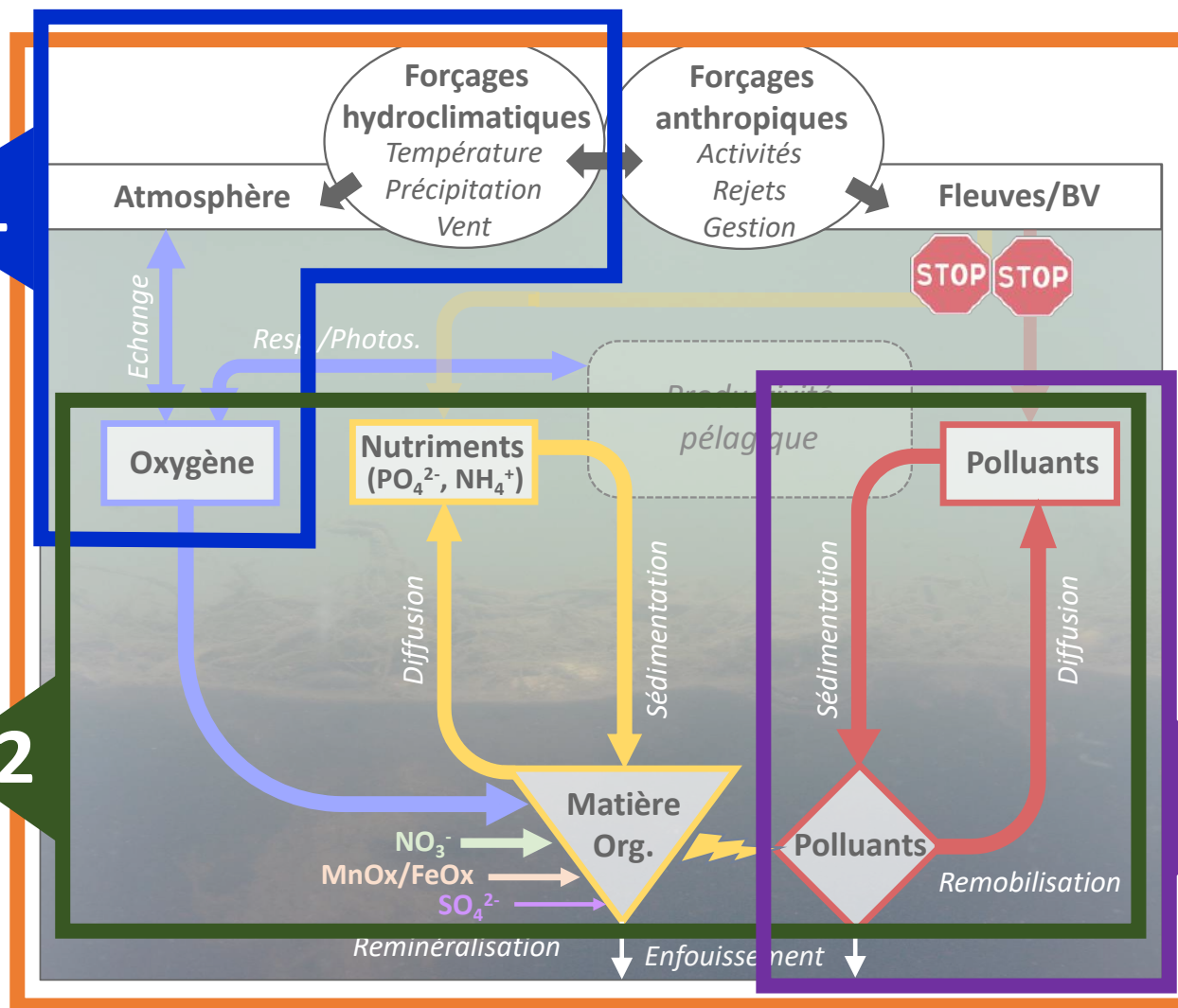
Objectifs de mes activités de recherche actuelles

Dynamique actuelle et future de l'oxygène (et désoxygénation) en zones côtières méditerranéennes

1

Impacts de la désoxygénation sur la biogéochimie benthique et les flux en **oxygène, nutriments et contaminants chimiques** à l'interface eau-sédiment

2

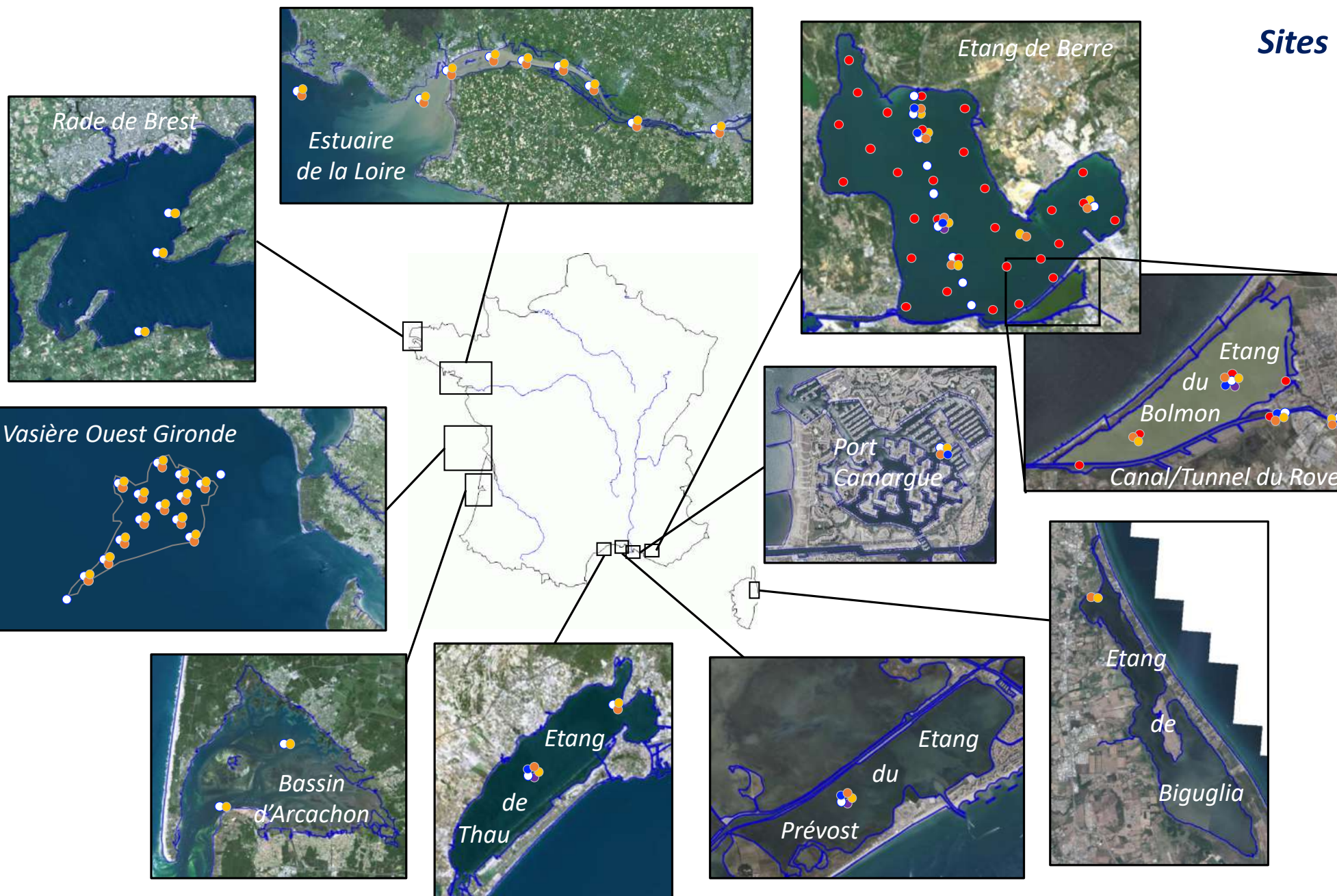


4

Implication des sédiments sur la dégradation des lagunes méditerranéennes + pistes de gestion

3

Pollution en **microplastiques et additifs chimiques**



Sites d'études et nature des études menées

Désoxygénation colonne d'eau

- Stations benthiques HR
- Profils verticaux

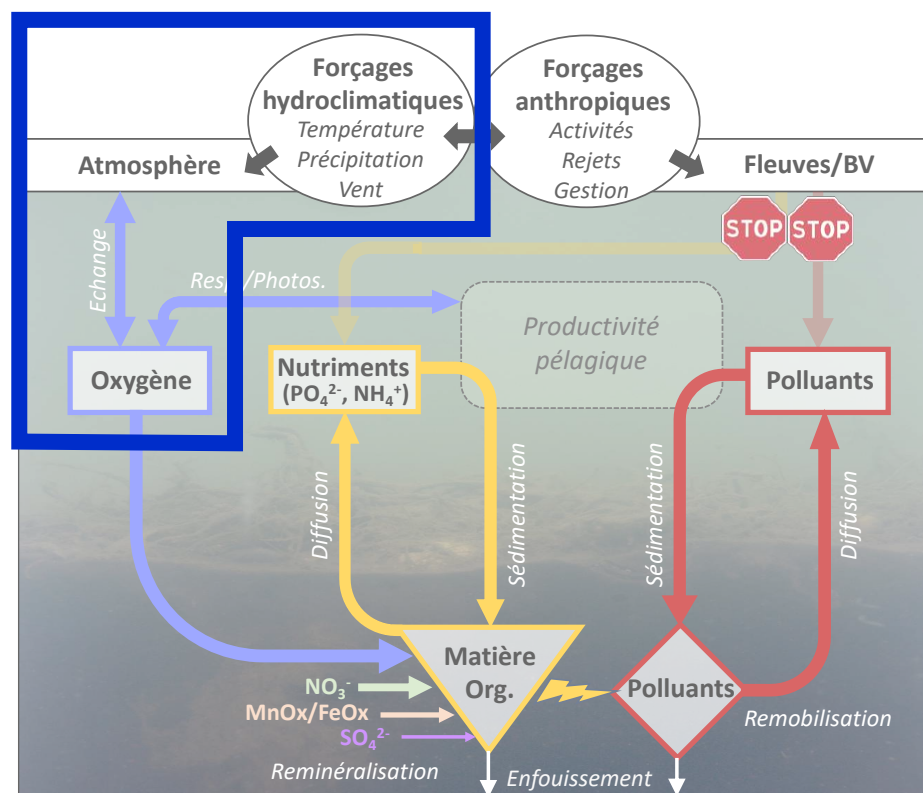
Réactions et flux benthiques

- Oxygène
- Nutriments & éléments traces

Contamination plastique

- Polymère particulaire
- Additifs chimiques

2.1. Dynamiques actuelle et future de l'oxygène et occurrence des phénomènes de désoxygénation dans les écosystèmes côtiers méditerranéens



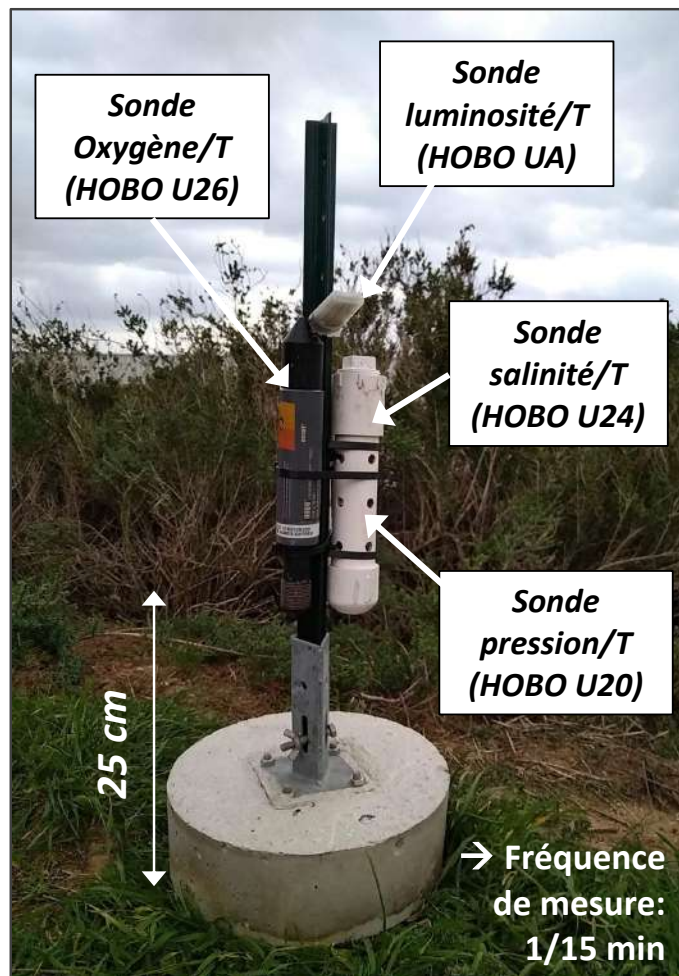
Objectifs

- 1) Caractériser la **dynamique temporelle** des conditions d'oxygénation et l'**occurrence des phénomènes de désoxygénation**
- 2) Identifier les **facteurs forçants** en jeu dans l'occurrence de ces phénomènes
- 3) Prédire leur **évolution future** sous l'effet des forçages climatiques.

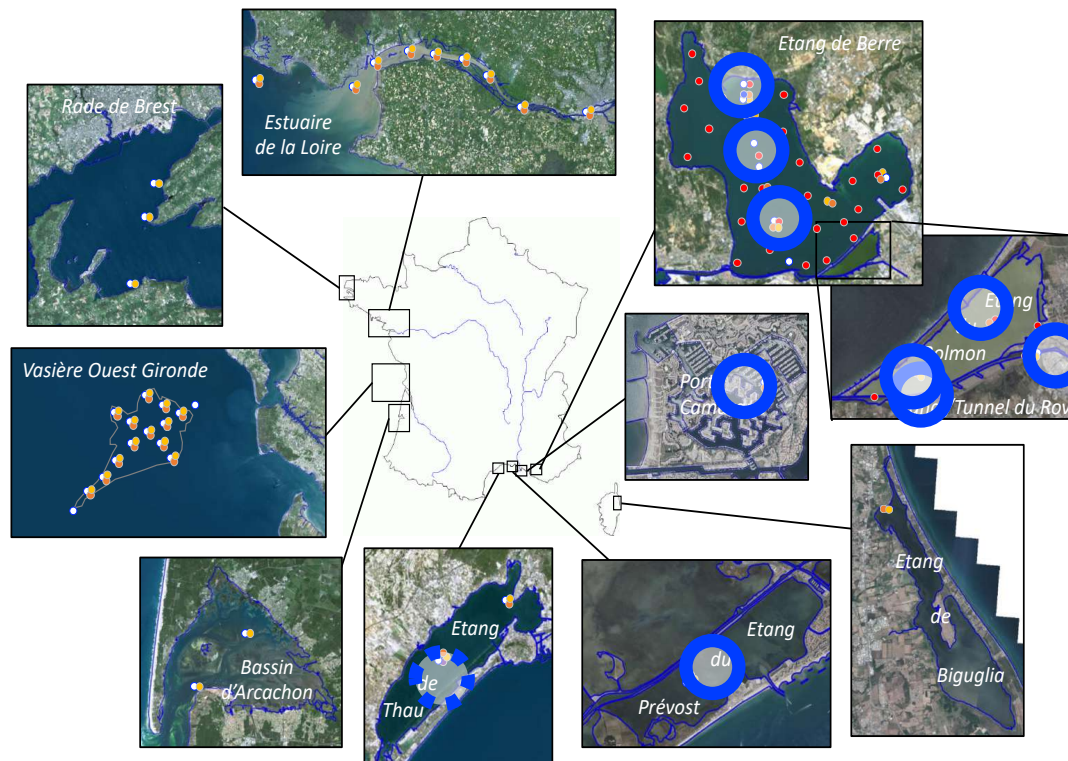
1. Dynamique actuelle / occurrence des phénomènes de désoxygénation / facteurs forçants

Approche méthodologique

(1) Création de stations benthiques de mesures physicochimiques autonomes



(2) Déploiement sur le terrain



→ Différents sites côtiers:
3 lagunes contrastées (Berre, Bolmon, Prévost)
1 port (Port Camargue)
1 canal et 1 tunnel (Rove)

→ Durée:
entre 1 et 6 ans

→ Maintenance et calibration régulières (tous les 1-2 mois)

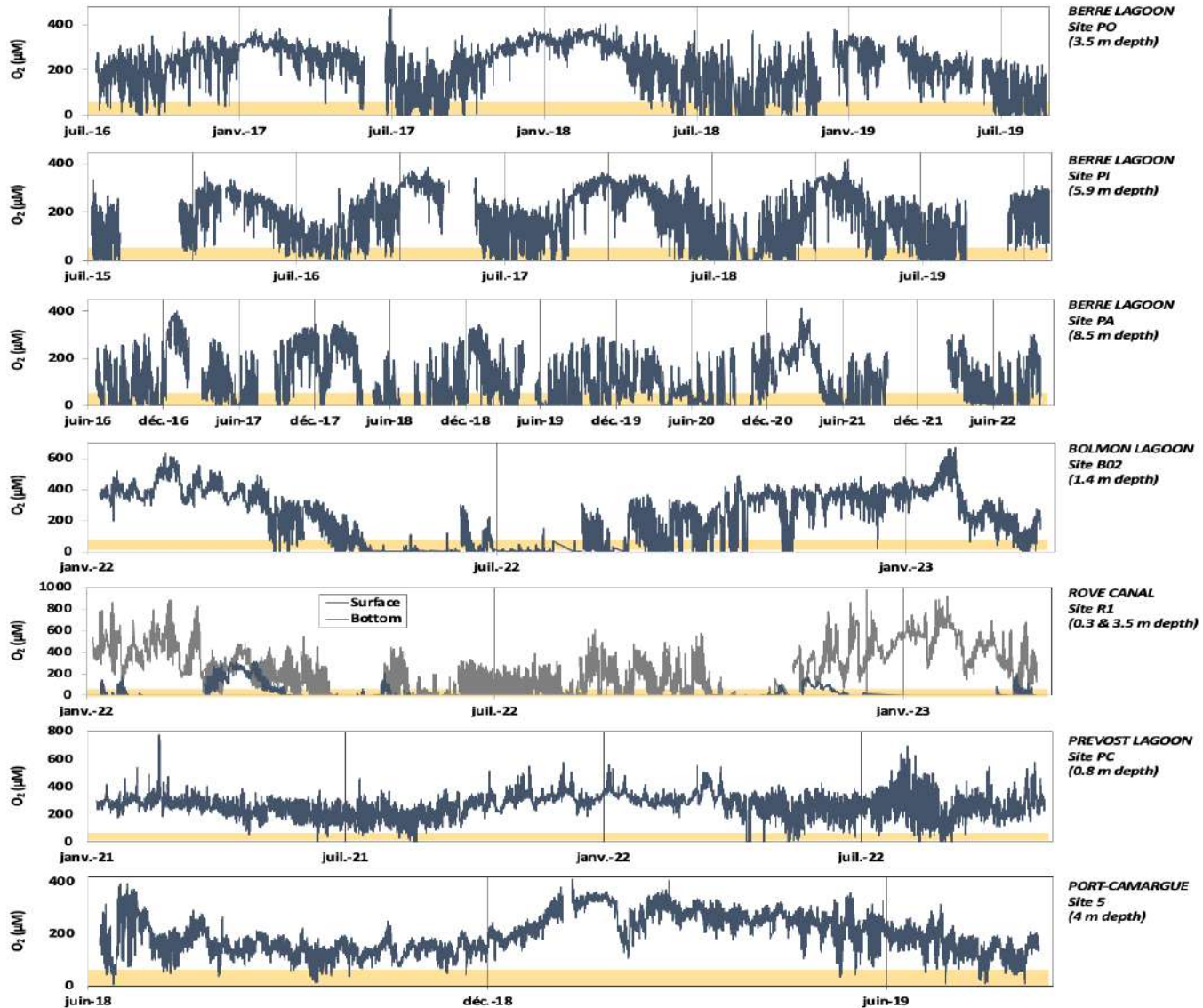
+ données météorologiques et hydrologiques



(3) Récupération & Traitement des données

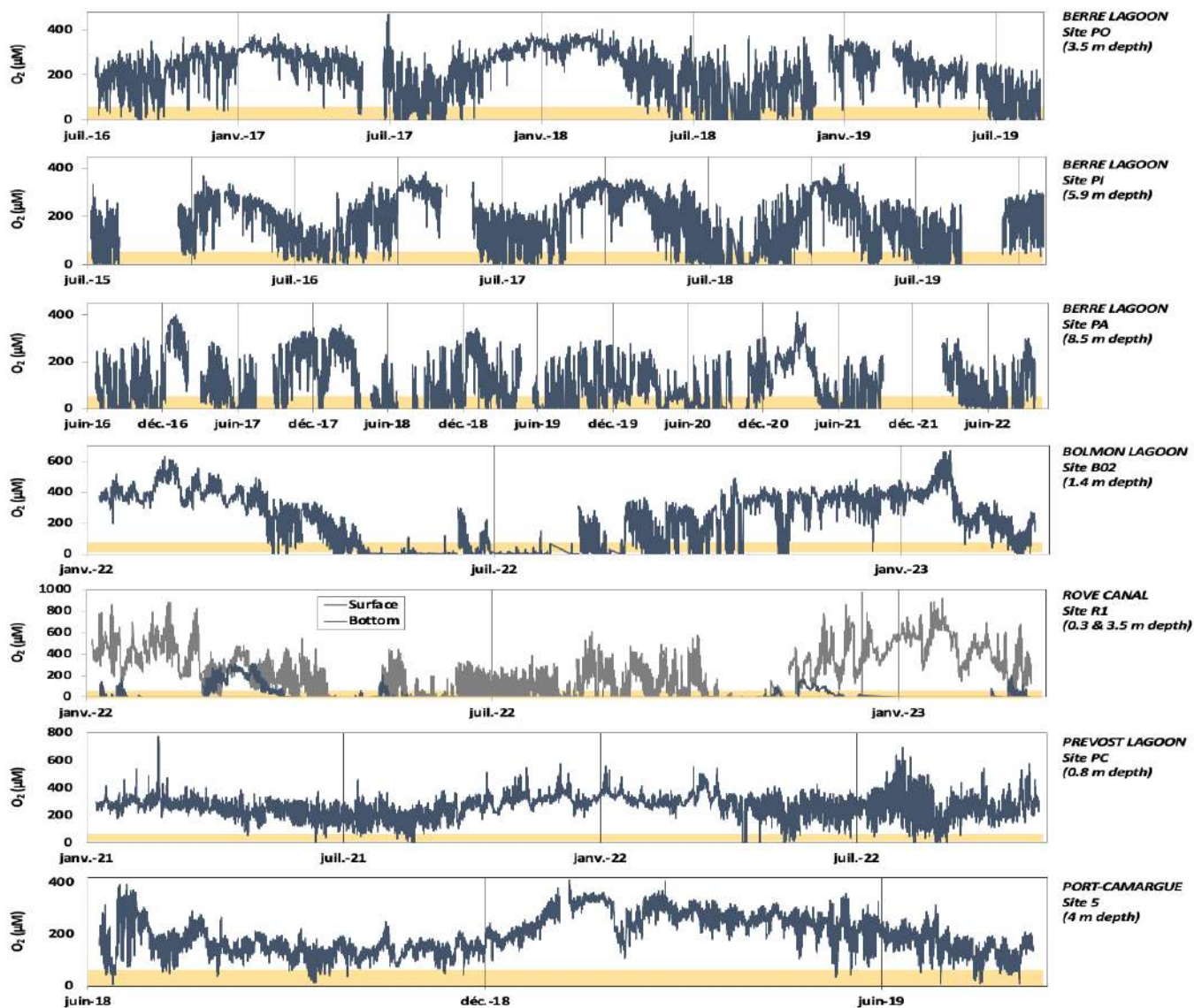
1. Dynamique actuelle / occurrence des phénomènes de désoxygénation / facteurs forçants

Chroniques temporelles HR de l'oxygène dans le bas de la colonne d'eau

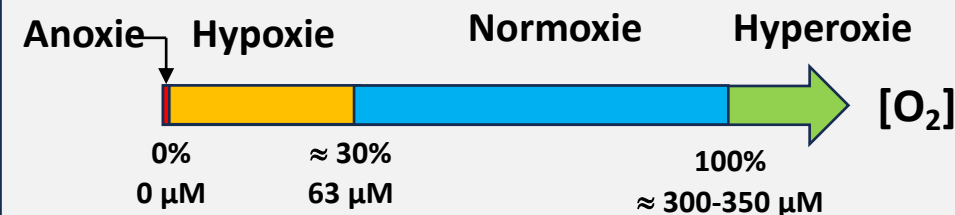
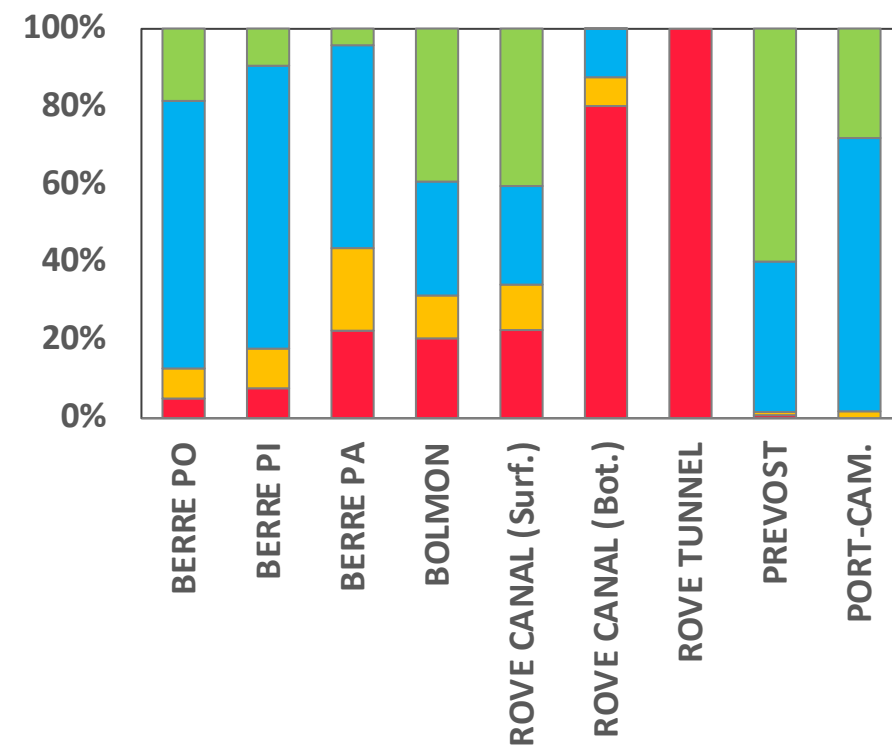


1. Dynamique actuelle / occurrence des phénomènes de désoxygénation / facteurs forçants

Chroniques temporelles HR de l'oxygène dans le bas de la colonne d'eau



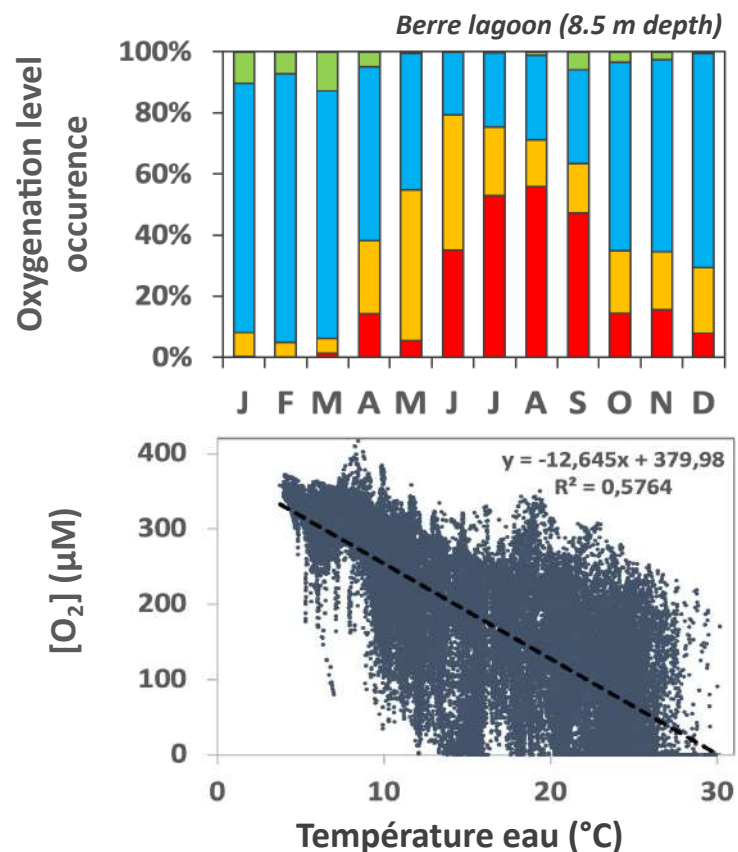
Occurrence moyenne des niveaux d'oxygénation



1. Dynamique actuelle / occurrence des phénomènes de désoxygénation / facteurs forçants

Variations temporelles & facteurs forçants

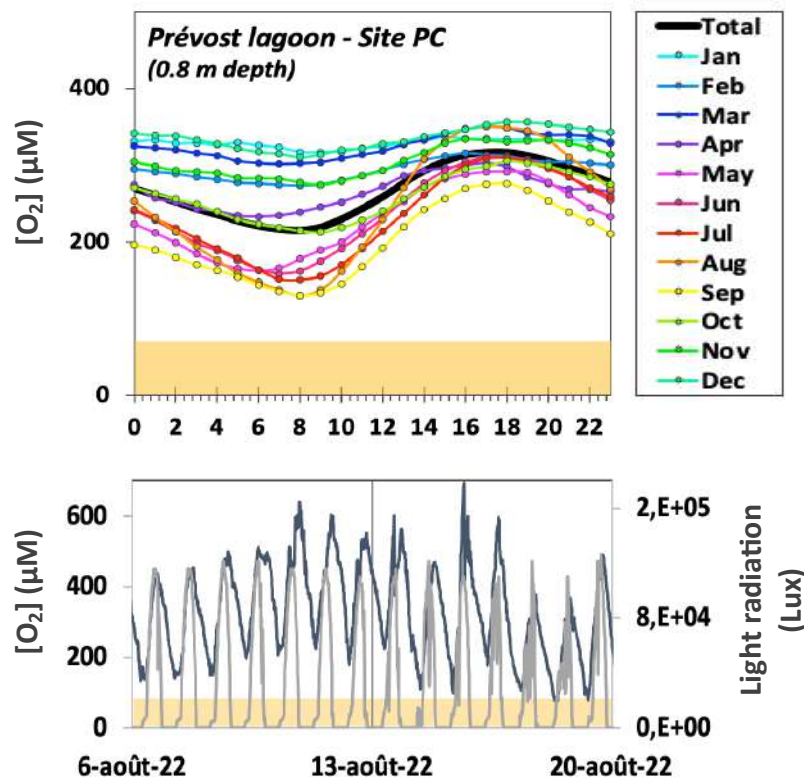
→ Cycles **saisonniers** (>30 jours)
= 76-89% de la variabilité totale



→ **Activité biologique (respiration) en lien avec la température**

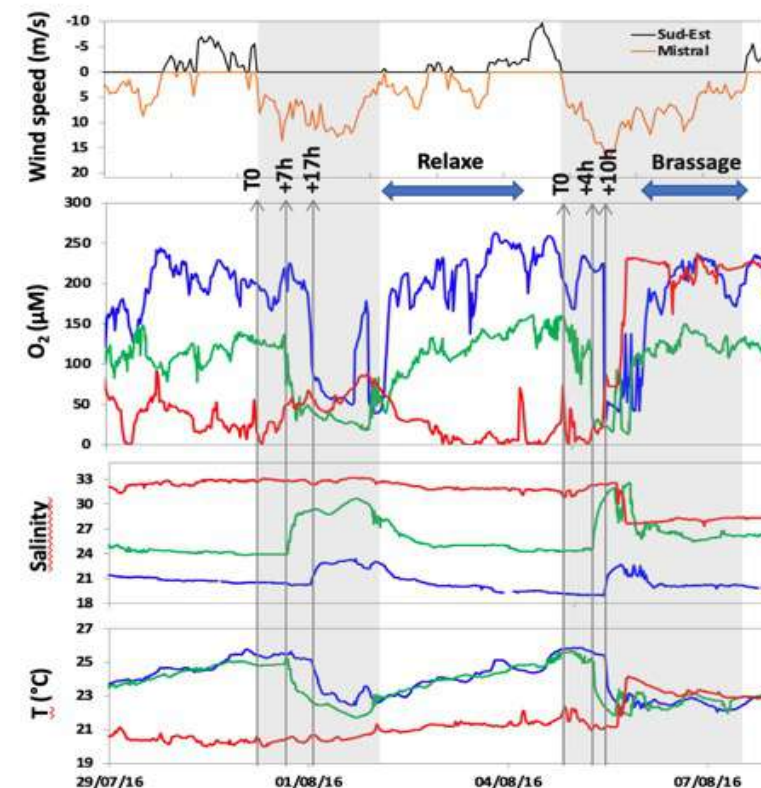
Remarque: Rôle solubilité O₂ <10%

→ Cycles **journaliers** (<24 h)
= 4-7% de la variabilité totale



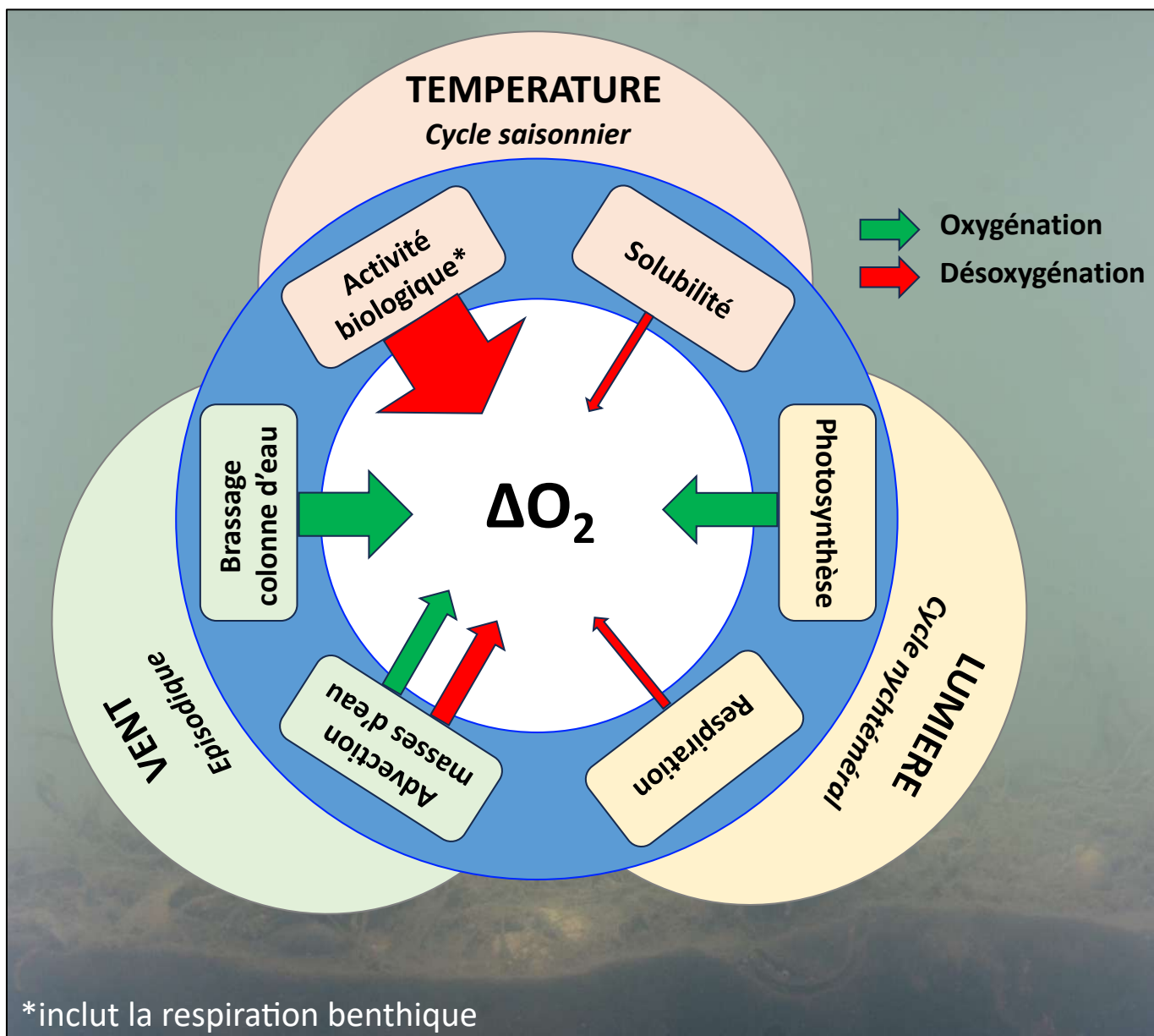
→ **Activité biologique photosynthèse/respiration en lien avec la luminosité**

→ Variations **épisodiques** (>24h-<30j)
= 7-23% de la variabilité totale



→ **Brassage/advection de la masse d'eau sous l'effet des vents**

1. Dynamique actuelle / occurrence des phénomènes de désoxygénation / facteurs forçants



Bilan semi-quantitatif sur les facteurs forçants impliqués dans la dynamique de l'oxygène dans les zones côtières méditerranéennes

+ variations fonction des caractéristiques internes des zones côtières étudiées:

- niveau d'eutrophisation
- clarté de l'eau/turbidité
- profondeur
- exposition aux vents
- communautés benthiques et pélagiques

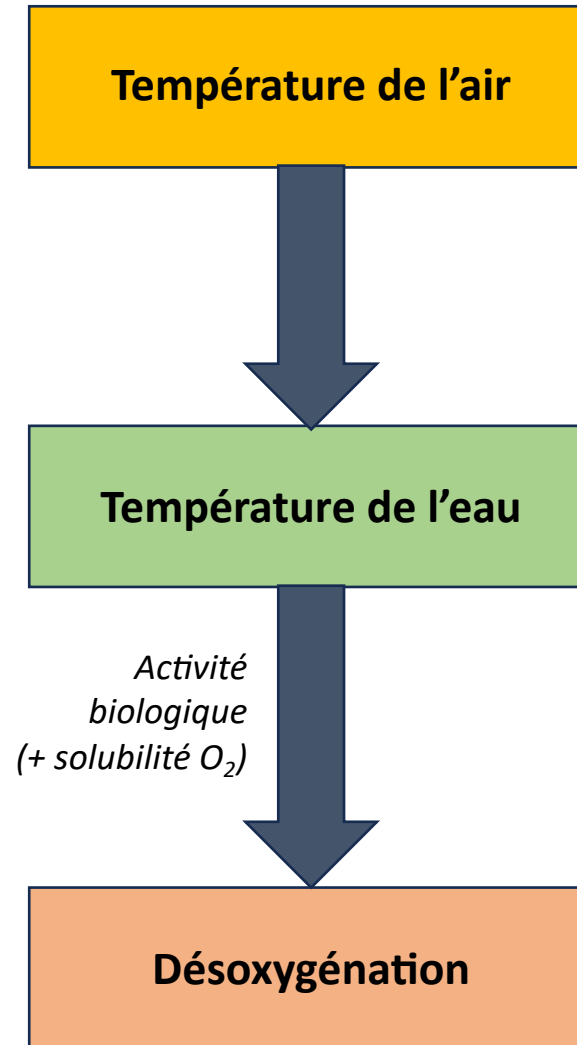
Perspectives

→ Quantification des proportions respectives de chacun des facteurs forçants

= *Traitements statistiques en cours*
(thèse L. Huchet)

2. Prédiction des conditions de température et (des)oxygénations sous l'effet des forçages climatiques

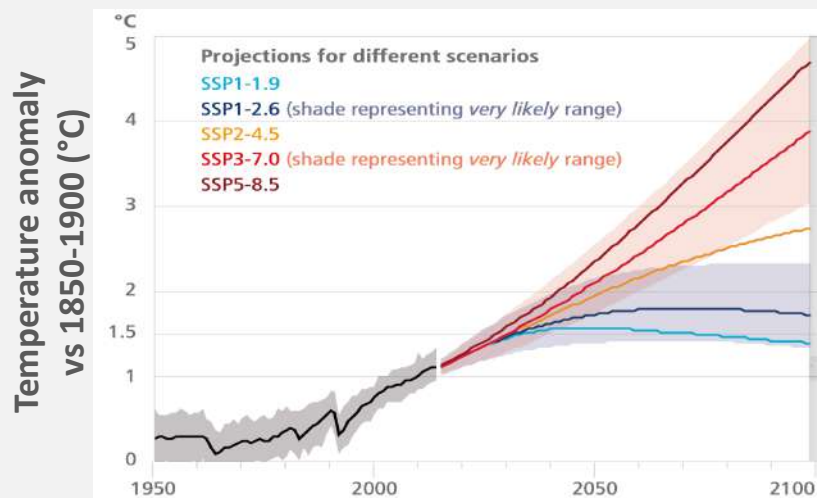
Approche méthodologique



2. Prédiction des conditions de température et (des)oxygénations sous l'effet des forçages climatiques

Approche méthodologique

Forçages climatiques



Pour la région Occitanie:

Référence 2001-2020	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
2050	0,5 (0,3 à 1,0)	1,0 (0,6 à 1,3)	1,4 (1,3 à 1,8)
2100	0,5 (0,2 à 0,8)	1,6 (1,3 à 2,0)	3,8 (3,5 à 4,2)

[IPCC, 2021] [CROCC, 2021]

Température de l'air

?

Température de l'eau

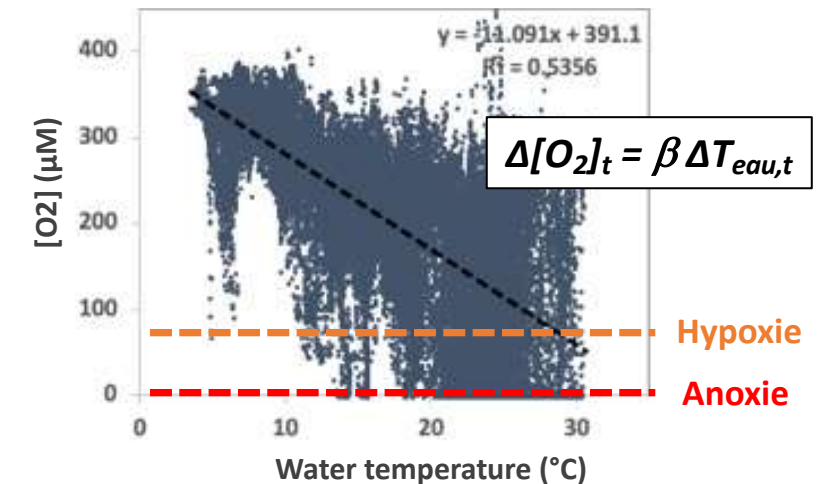
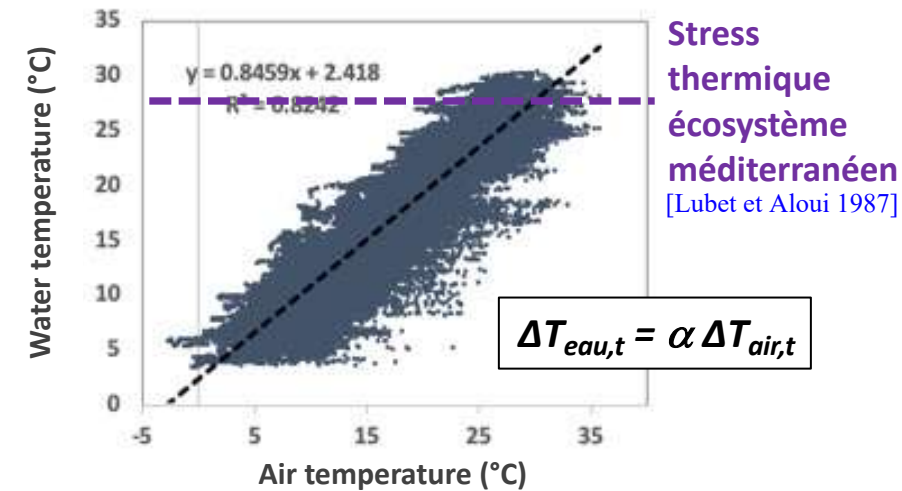
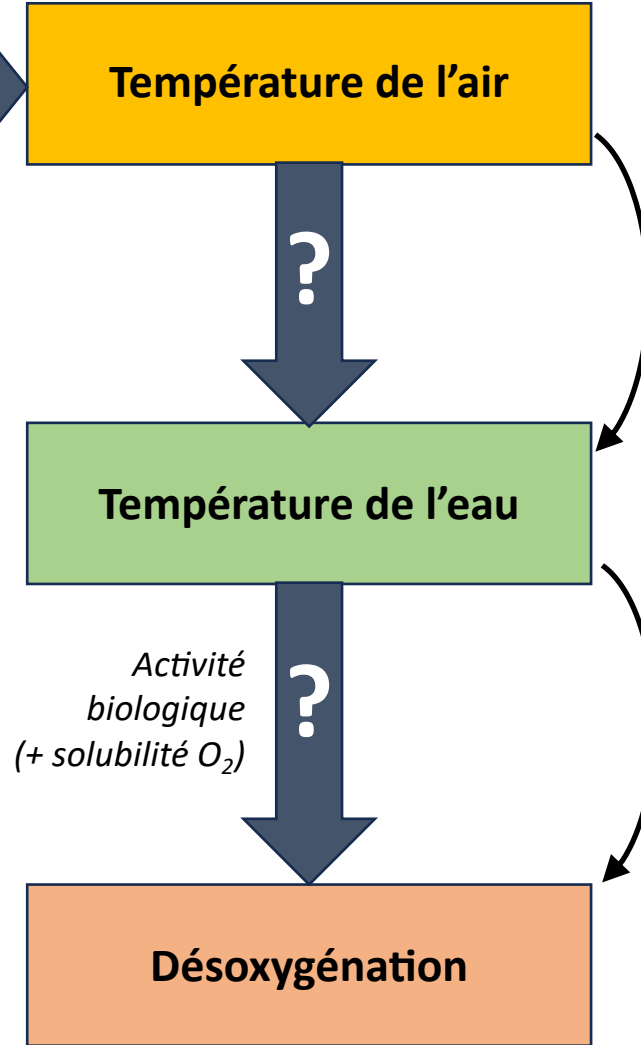
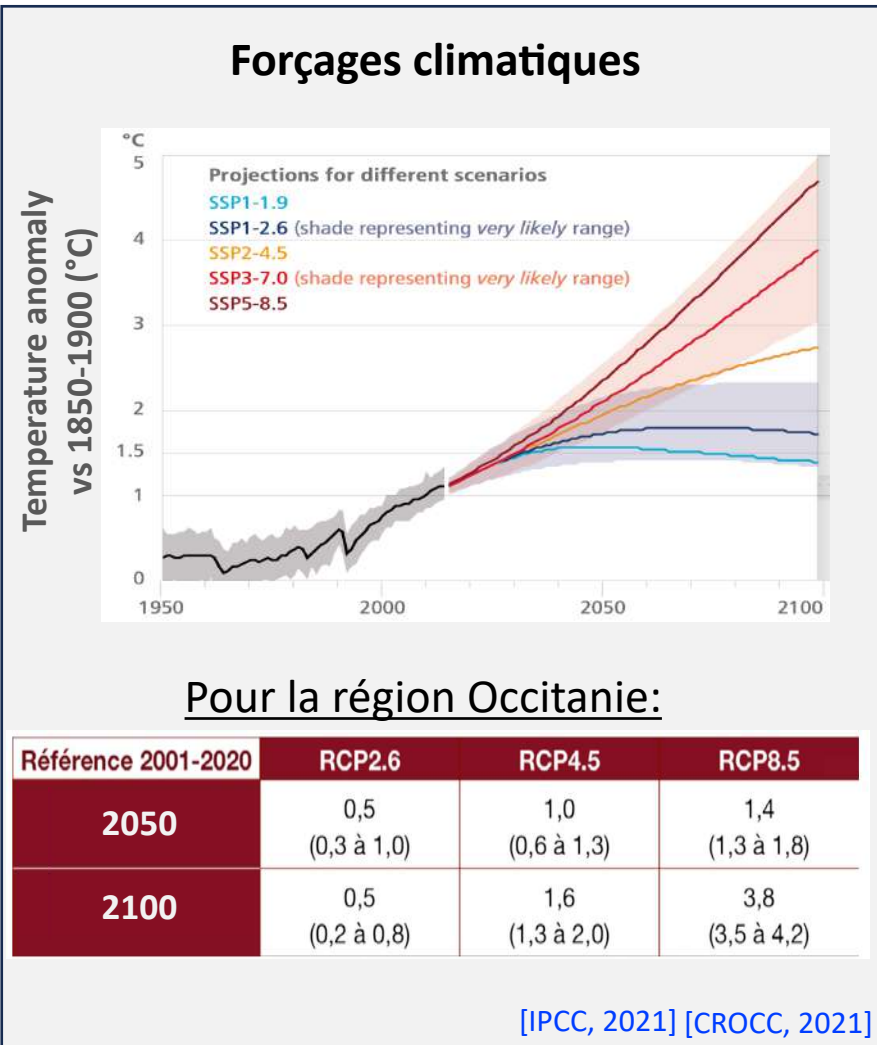
Activité
biologique
(+ solubilité O₂)

?

Désoxygénation

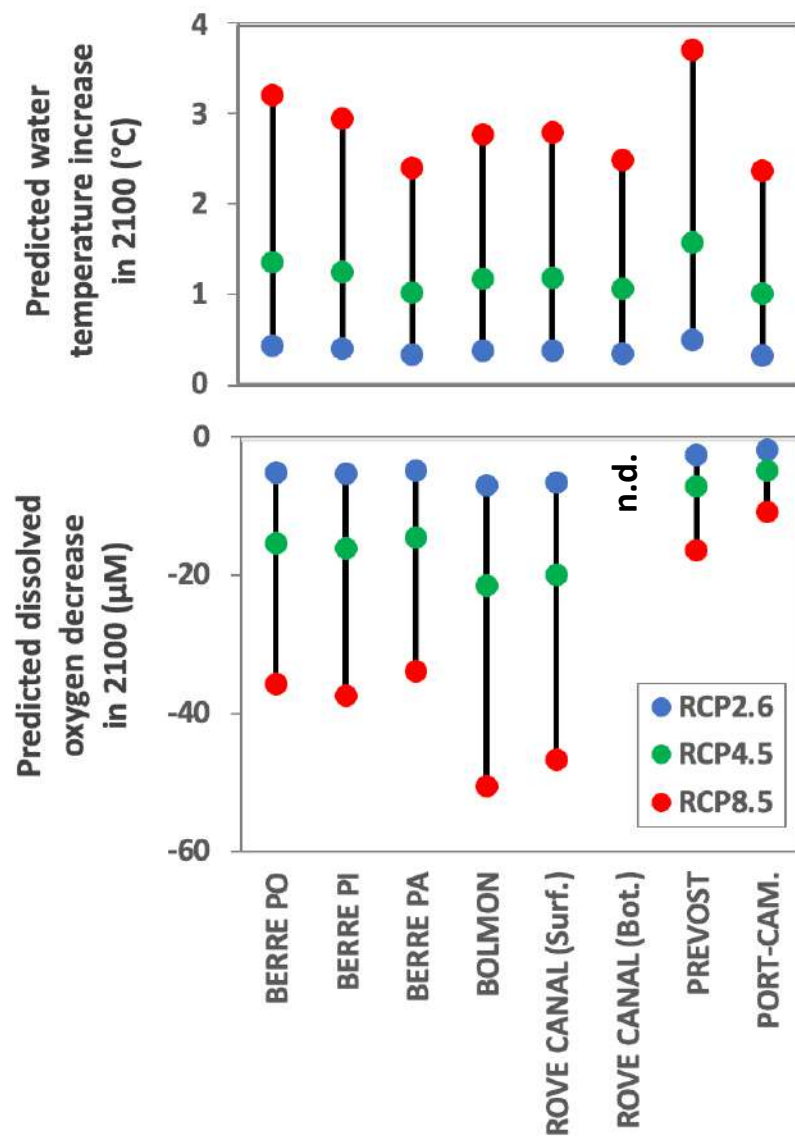
2. Prédiction des conditions de température et (des)oxygénations sous l'effet des forçages climatiques

Approche méthodologique

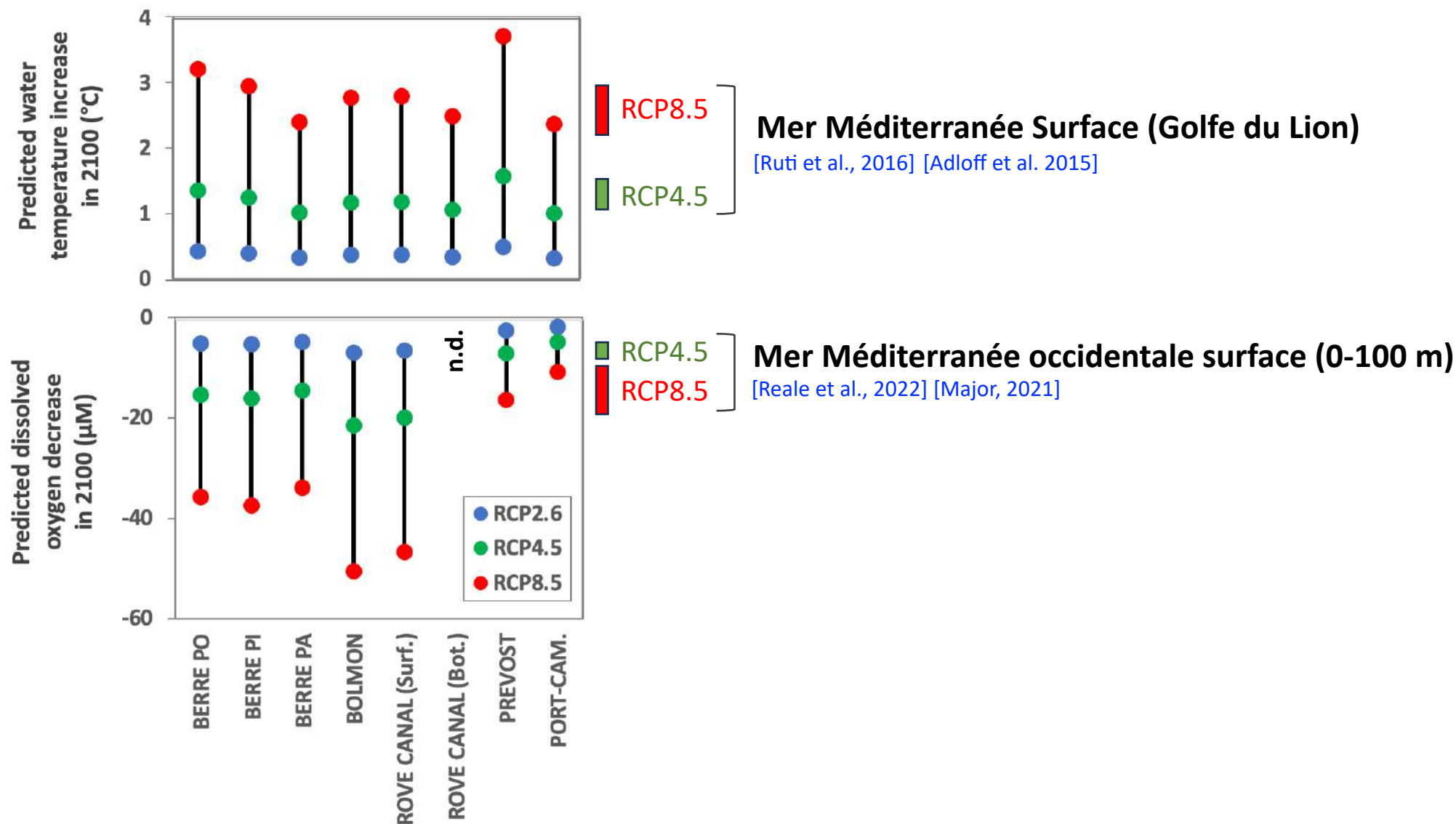


Hypothèses: 1) α et β constants dans le futur ; 2) ΔT_{air} homogène sur l'ensemble des sites étudiés

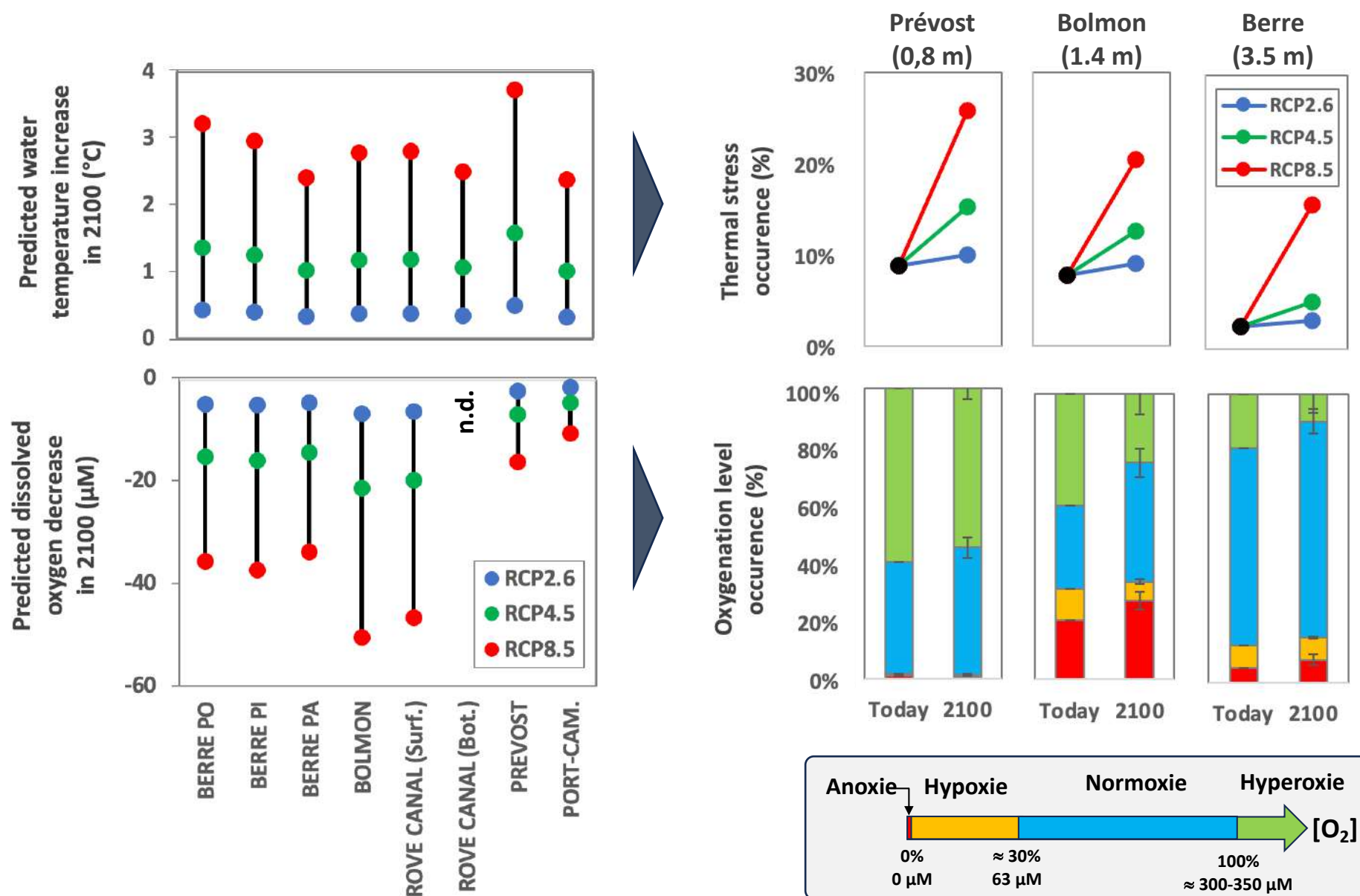
2. Prédiction des conditions de température et (des)oxygénations sous l'effet des forçages climatiques



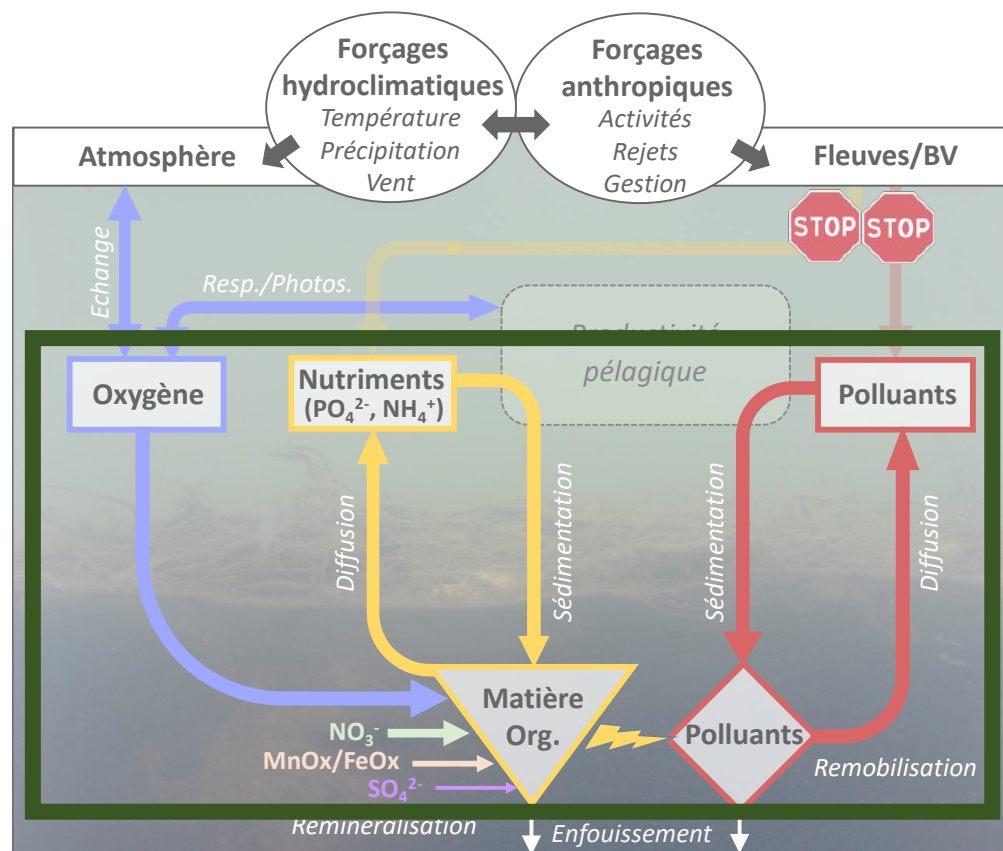
2. Prédiction des conditions de température et (des)oxygénations sous l'effet des forçages climatiques



2. Prédiction des conditions de température et (des)oxygénations sous l'effet des forçages climatiques



2.2. Impacts des phénomènes de desoxygenation sur les flux d'oxygène/nutriments/polluants à l'interface eau-sédiment



Objectifs

Evaluer l'impact des phénomènes de désoxygénation et leur dynamique temporelle (fréquence, intensité, durée) sur:

- (1) Les réactions biogéochimiques du sédiment
- (2) flux benthiques en oxygène, nutriments et contaminants chimiques

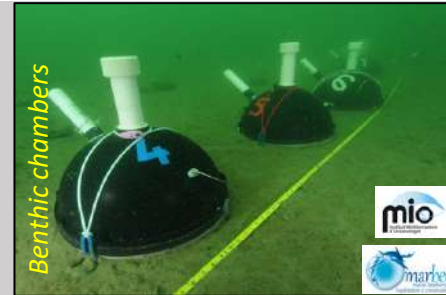
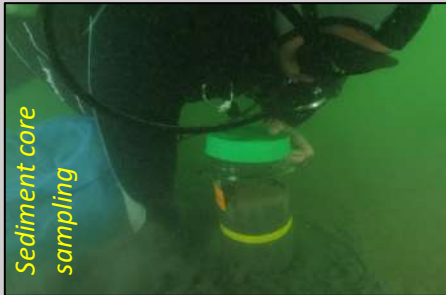
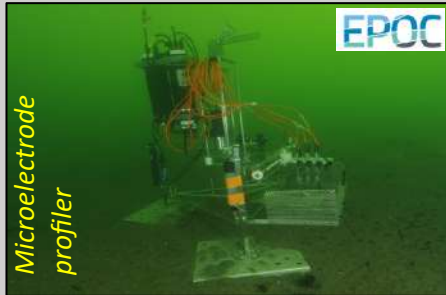
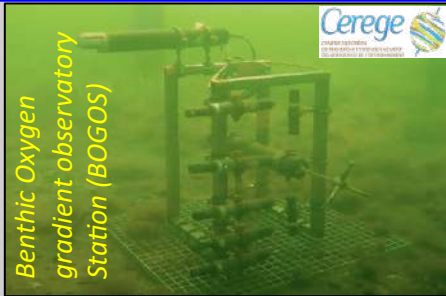
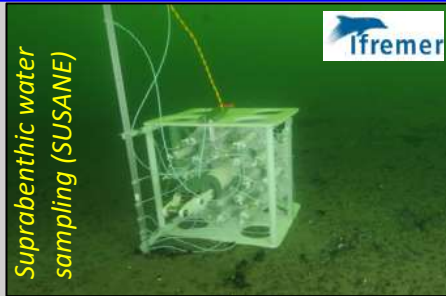
Approche méthodologique

Approche expérimentale

in situ



ex situ

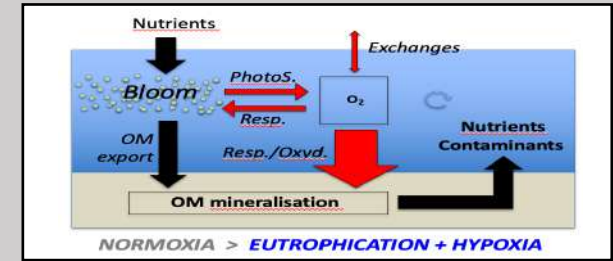


Profils verticaux de concentration & réactions diagénétiques

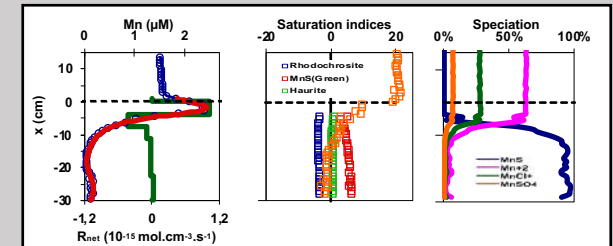
Flux benthiques

Approche calculatoire

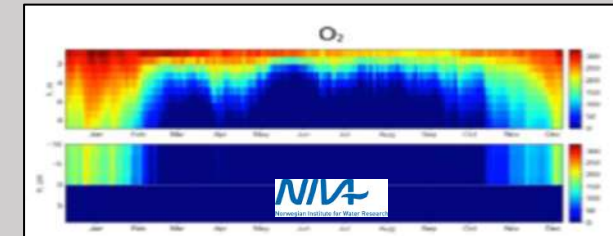
Box model & mass balance calculations



1D Transport-reaction & thermodynamic calculations



1D Biogeochemical modeling



Calibration



Understanding

Bilan de masse / Prédiction

EPOC

mio
Institut Méditerranéen
d'OcéanologieCerege
CENTRE EUROPÉEN
DE RECHERCHE ET D'INNOVATION
DES GÉOGRAPHS DE L'ENVIRONNEMENT

HSM

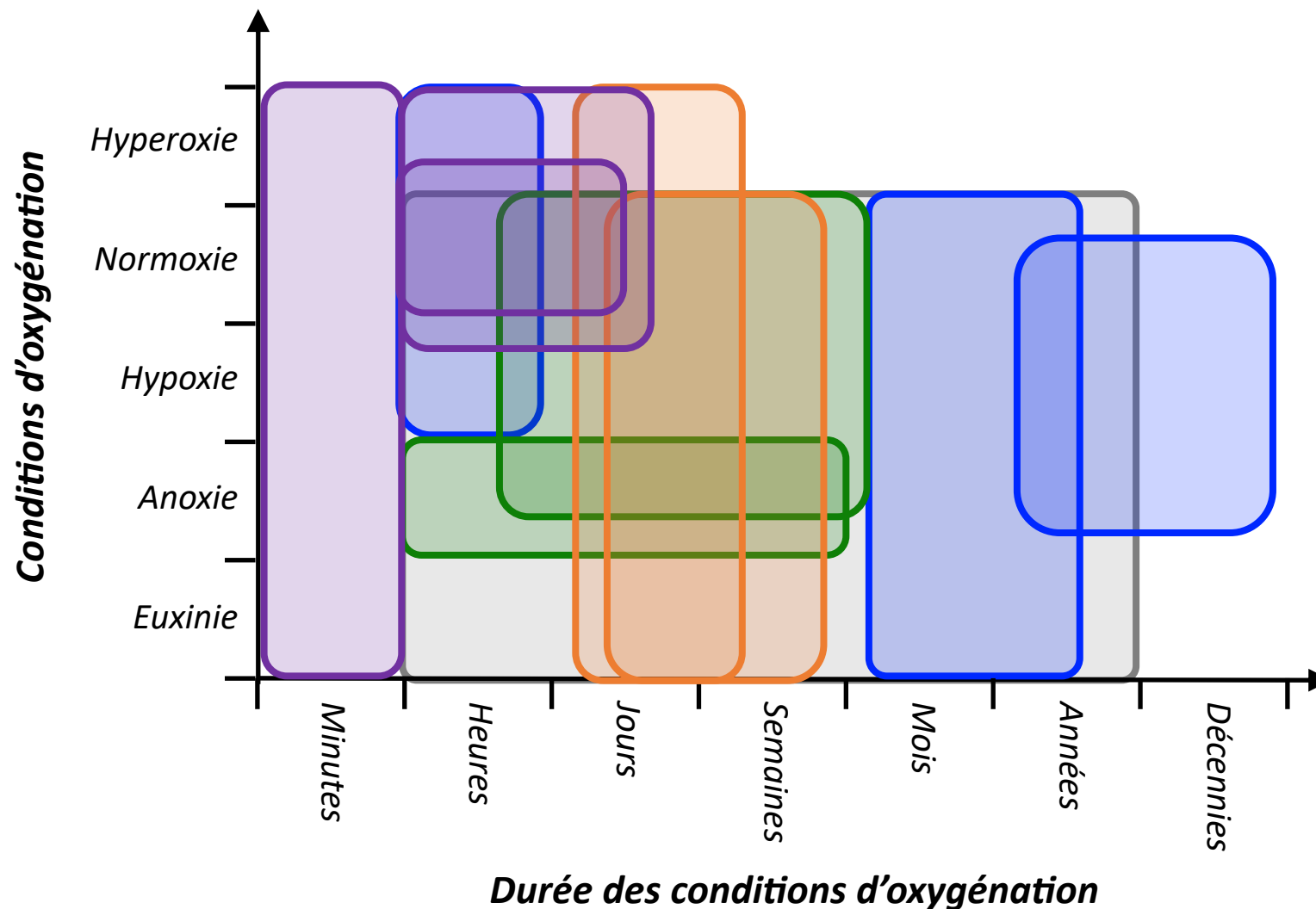
imbe

Ifremer

GIPREB
SYNDICAT MIXTEIrphe
Institut de Recherche
sur les Phénomènes
Hors Équilibremarbec
marine biodiversity
exploitation & conservationUNIVERSITÉ
LAVALNIVA
Norwegian Institute for Water Research

Domaine d'intensité/durée des conditions d'oxygénation étudiées et approche méthodologique mise en oeuvre

Projets: ANOXITO (2021-2022), PONUTELA (2020-2021), BIOGEOBENTHOBS (2022), ANOXIMO (2020-2021), PREDHYP-O2 (2017-2018), PREDHYPO (2015-2017)



Expérimentations en conditions d'oxygénation in situ

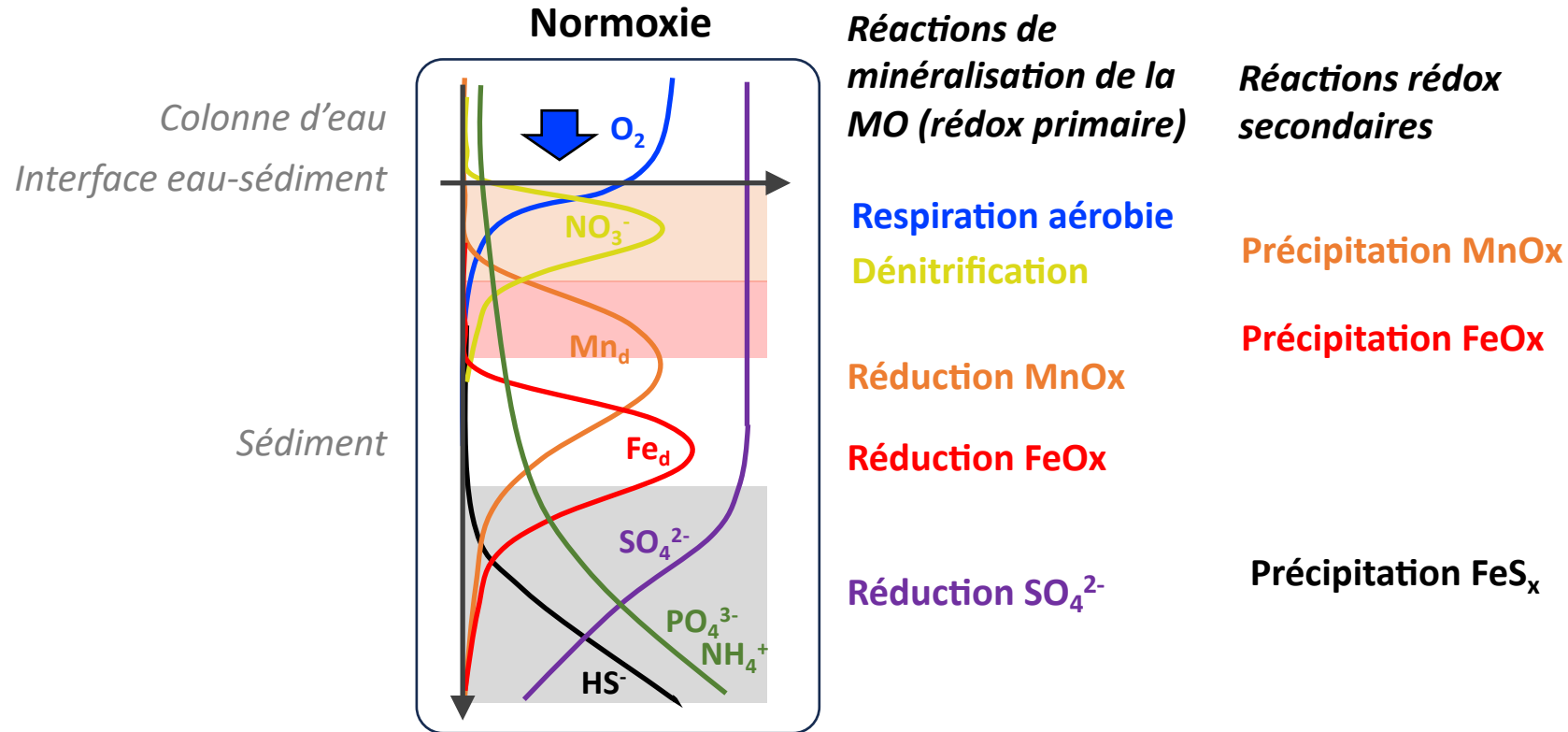
Expérimentations en conditions d'oxygénation contrôlées

Expérimentations de confinement in situ

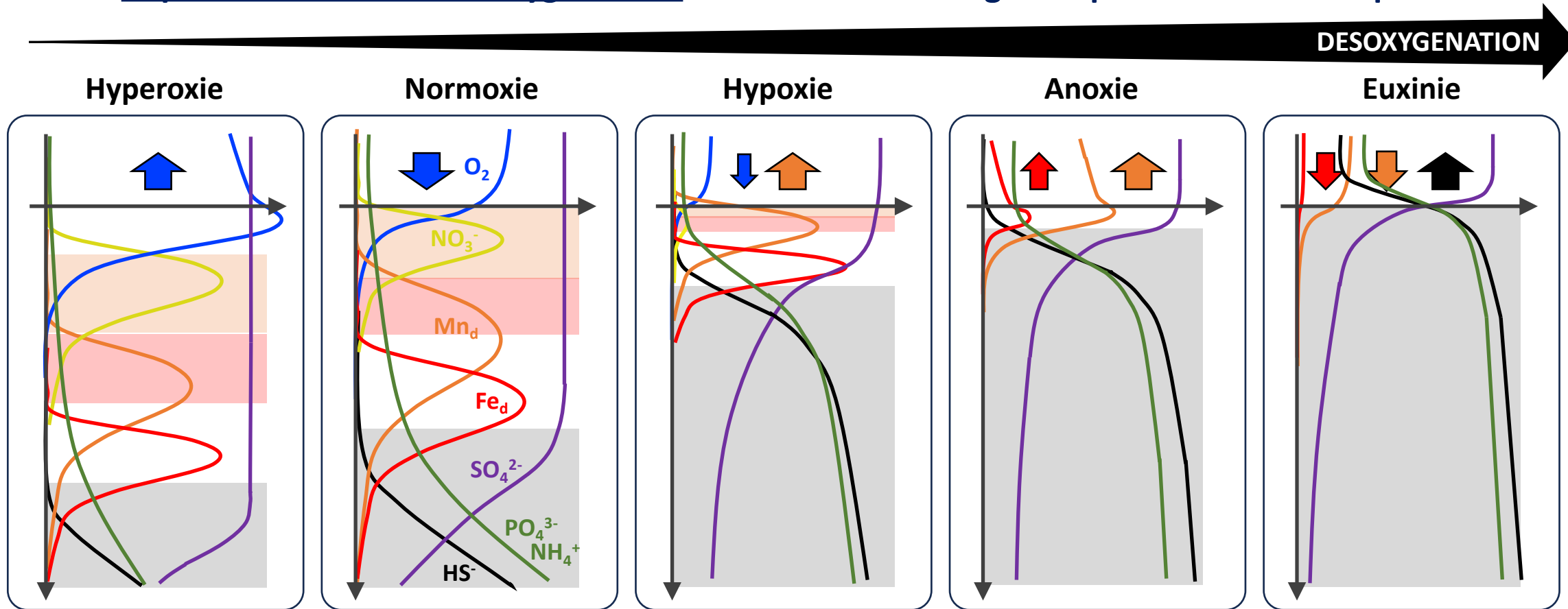
Méthodes expérimentales innovantes in situ

Modélisation hydrobiogéochimique

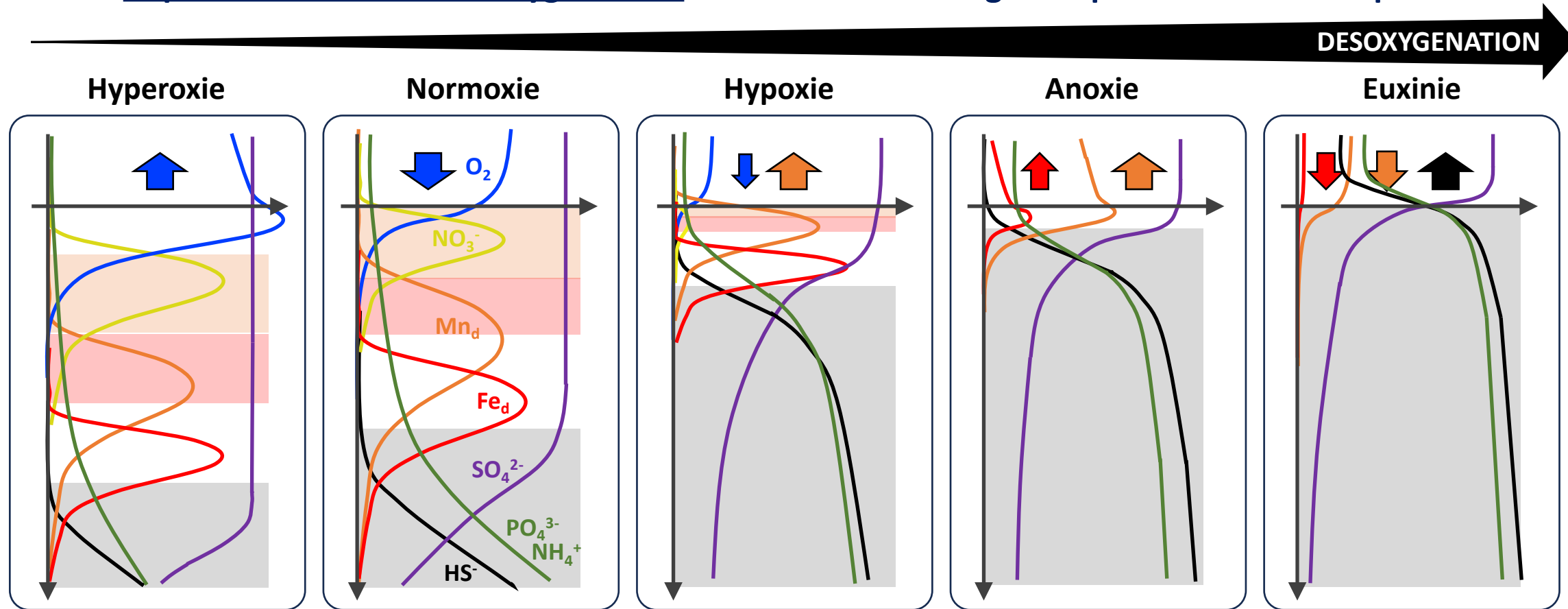
1. Impact des conditions d'oxygénation sur les réactions diagénétiques et flux benthiques



1. Impact des conditions d'oxygénation sur les réactions diagénétiques et flux benthiques



1. Impact des conditions d'oxygénation sur les réactions diagénétiques et flux benthiques



Relation entre l'oxygénation dans la colonne d'eau et les flux benthiques

ΔO_2
colonne d'eau



Migration verticale
des **réactions
diagénétiques**



Modification des
**réactions à l'interface
eau-sédiment**

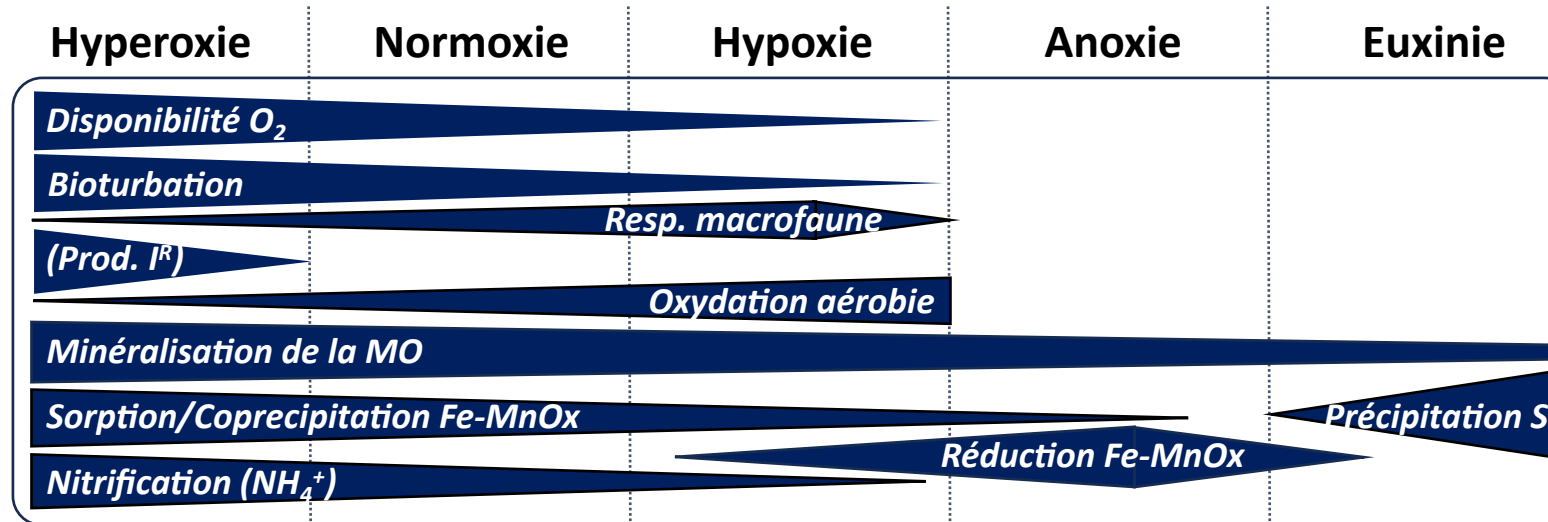


Modification des **flux**
(sens, nature,
intensité)

1. Impact des conditions d'oxygénation sur les réactions diagénétiques et flux benthiques



Conditions
(pseudo)
stationnaires

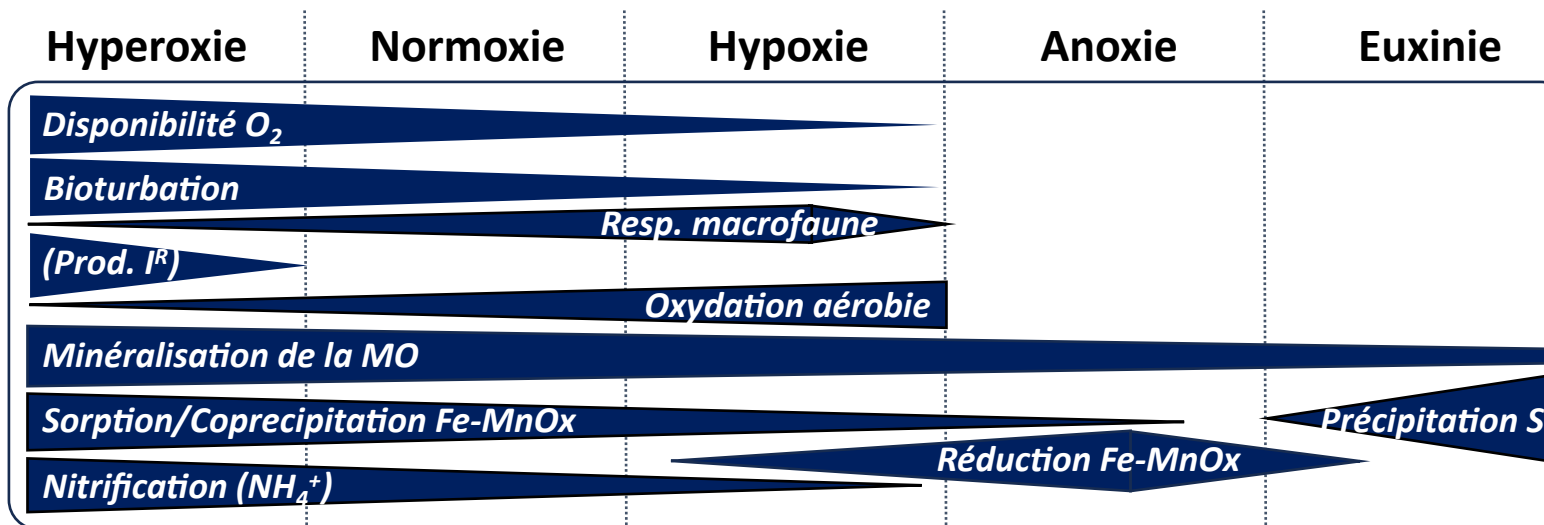


Facteurs de contrôle & réactions à l'interface eau-sédiment

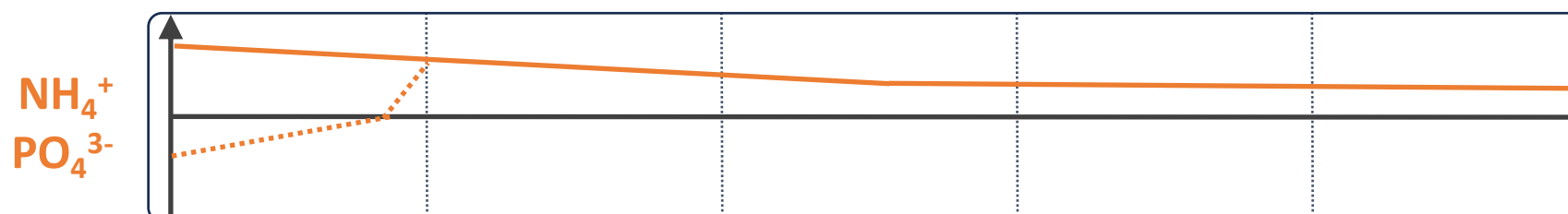
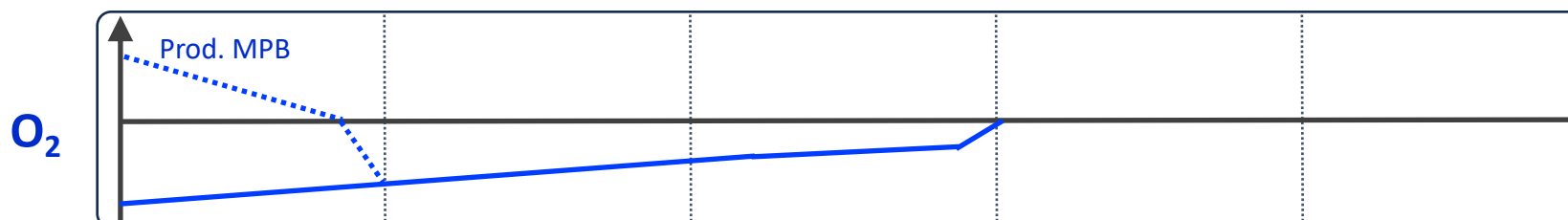
1. Impact des conditions d'oxygénation sur les réactions diagenétiques et flux benthiques



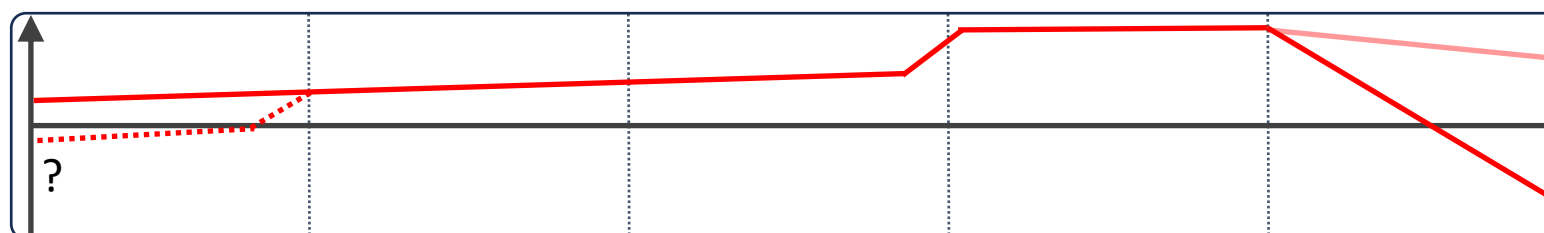
Conditions
(pseudo)
stationnaires



Facteurs de contrôle & réactions à l'interface eau-sédiment



Éléments
traces

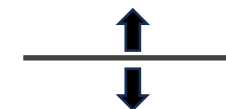


As
(Cr)

Co, Ni, V, Hg,
Cu, Zn, Pb

Flux nets
à l'interface
eau-sédiment

Vers la
colonne d'eau

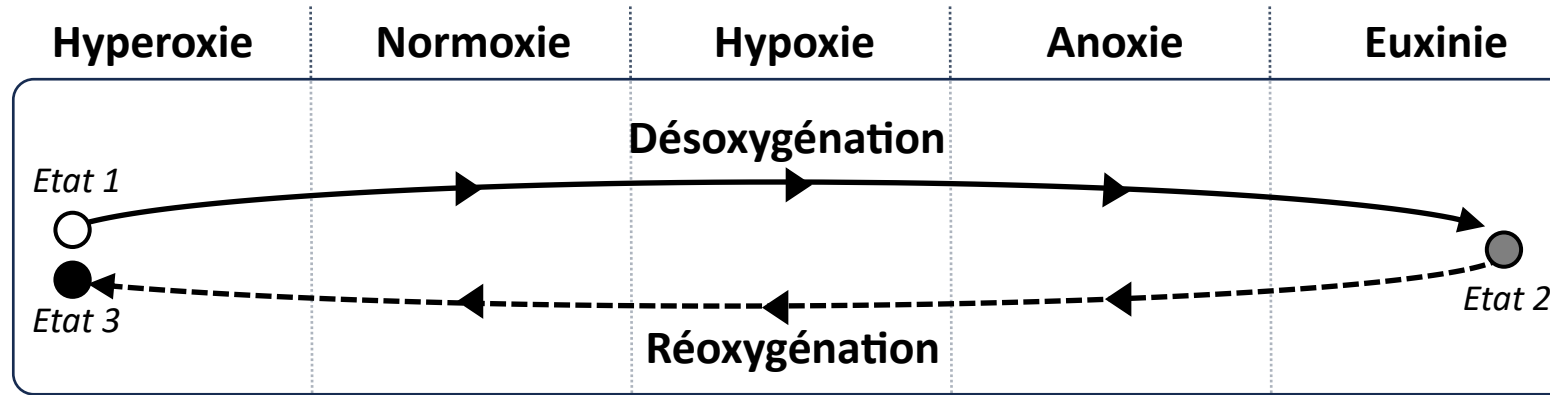


Vers le
sédiment

2. Impact de la variation des conditions d'oxygénation sur les réactions diagénétiques et flux benthiques



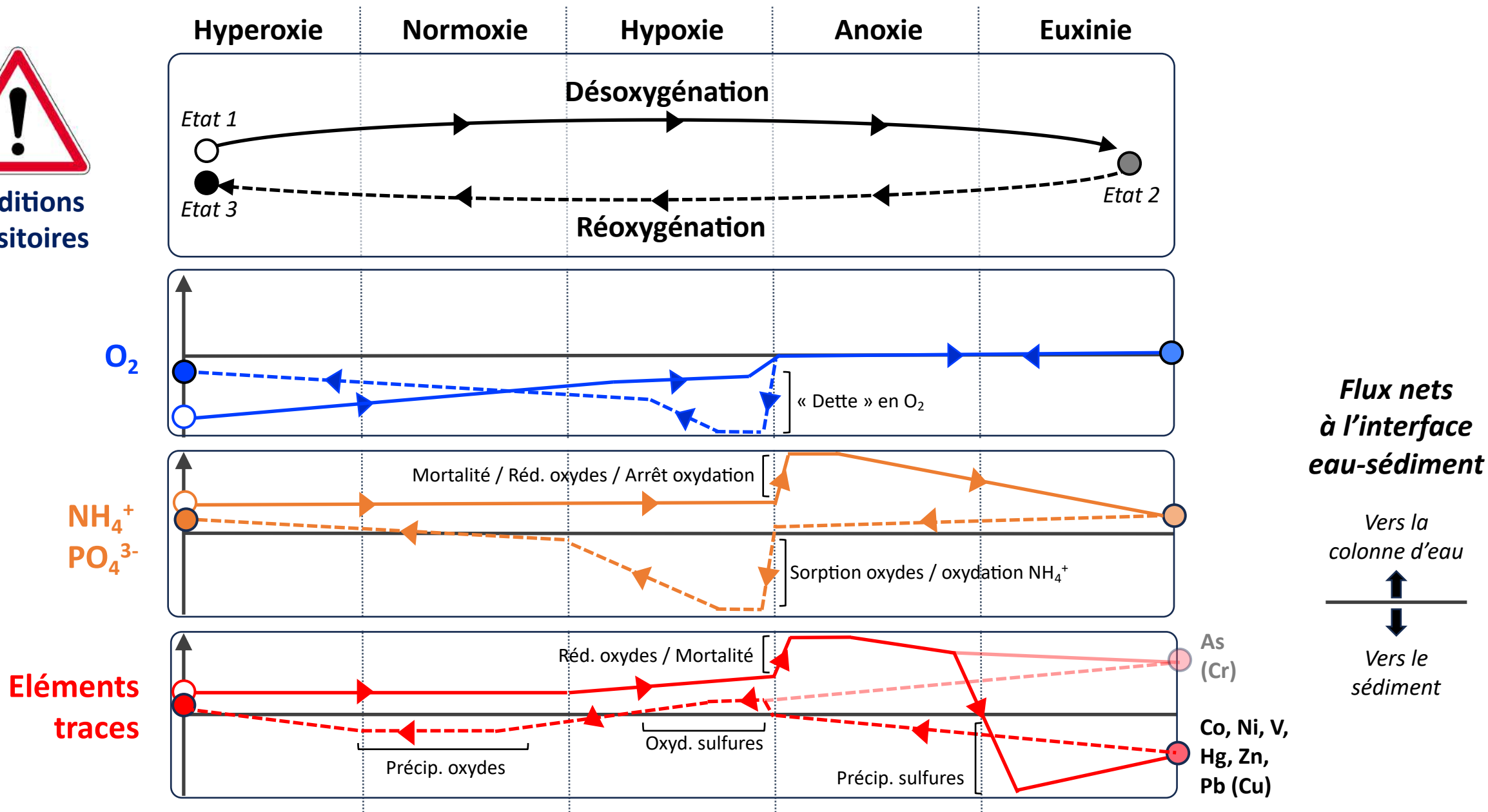
Conditions
transitoires



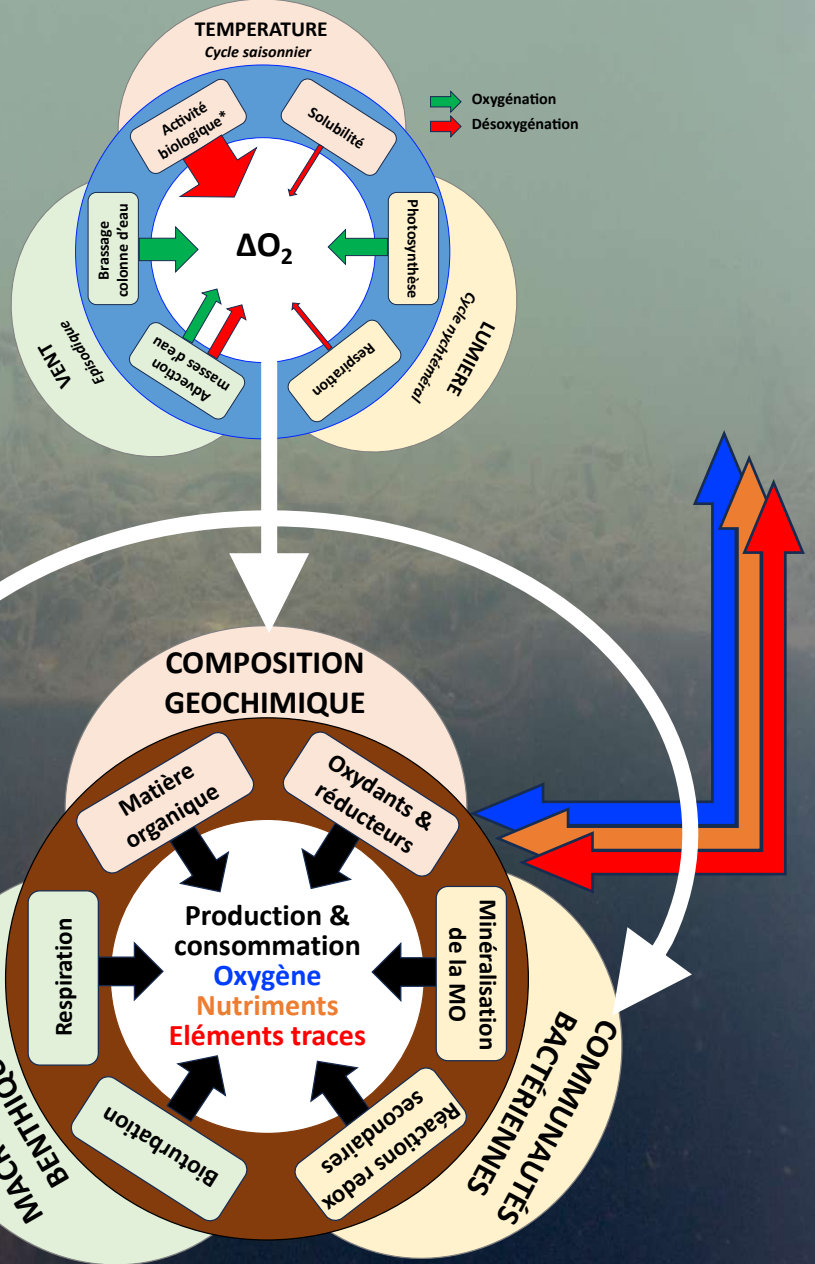
2. Impact de la variation des conditions d'oxygénation sur les réactions diagénétiques et flux benthiques



Conditions
transitoires



Dynamique de l'oxygène dans la colonne d'eau



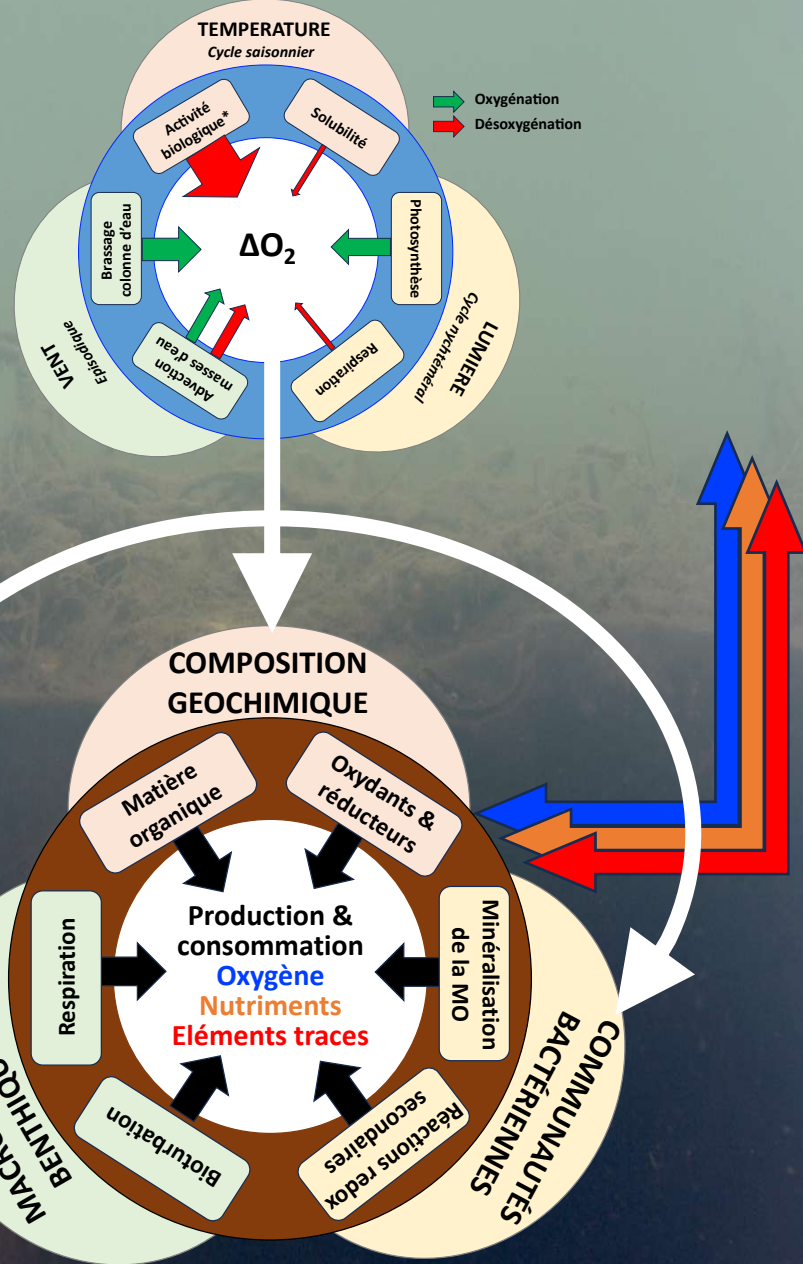
Réponse diagénétique dynamique

Bilan sur l'impact de la (dés)oxygénation sur les réactions diagénétiques et les flux benthiques

→ Complexe mais processus et facteurs clés identifiés!



Dynamique de l'oxygène dans la colonne d'eau

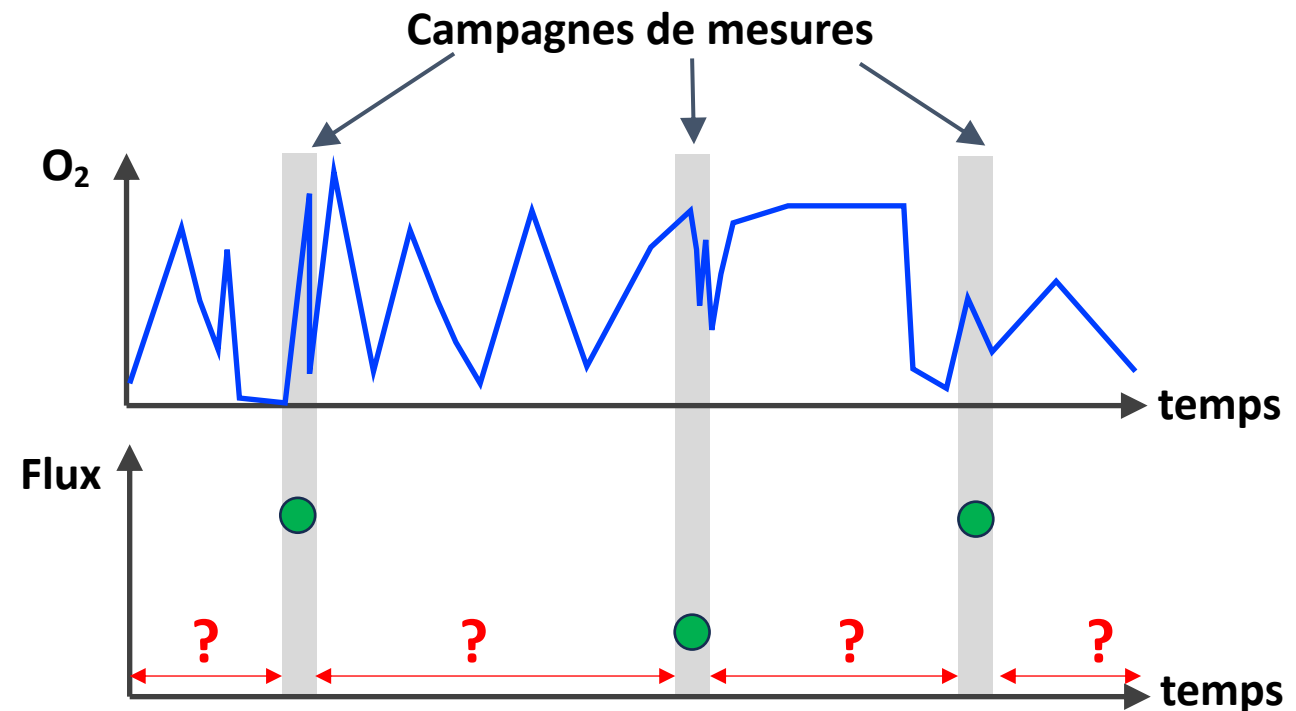


Bilan sur l'impact de la (dés)oxygénation sur les réactions diagénétiques et les flux benthiques

→ **Complexe mais processus et facteurs clés identifiés!** 😊

MAIS

→ **Incapacité d'établir les bilans de masses des échanges à l'interface eau-sédiment** 😭



3. Développement/utilisation d'outils novateurs

→ Outils expérimentaux de mesure de flux (continu) à haute résolution temporelle

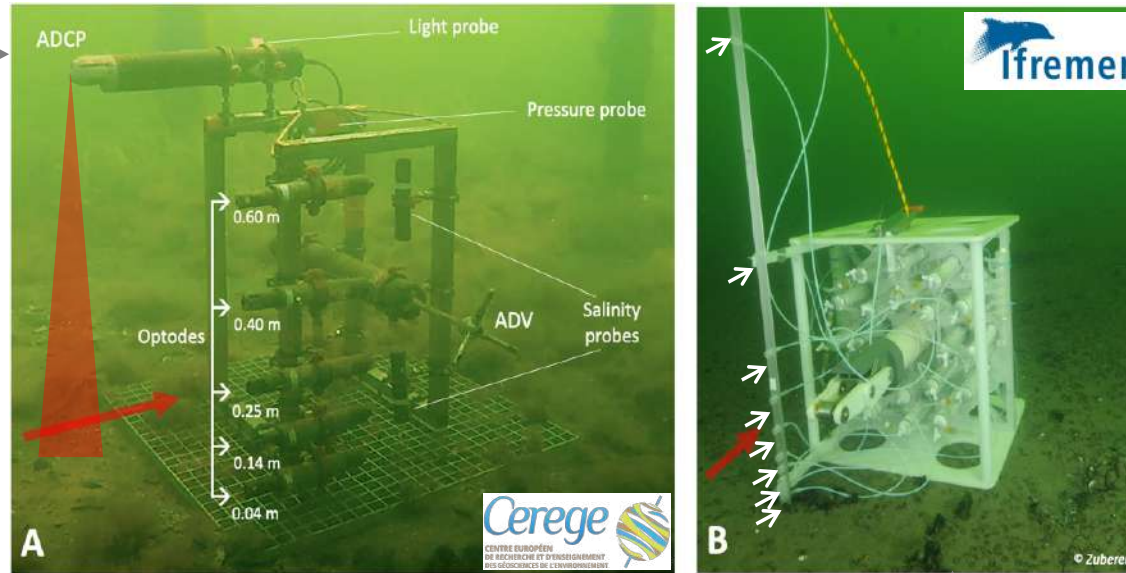
Méthode des gradients dans la couche limite benthique

BOGOS

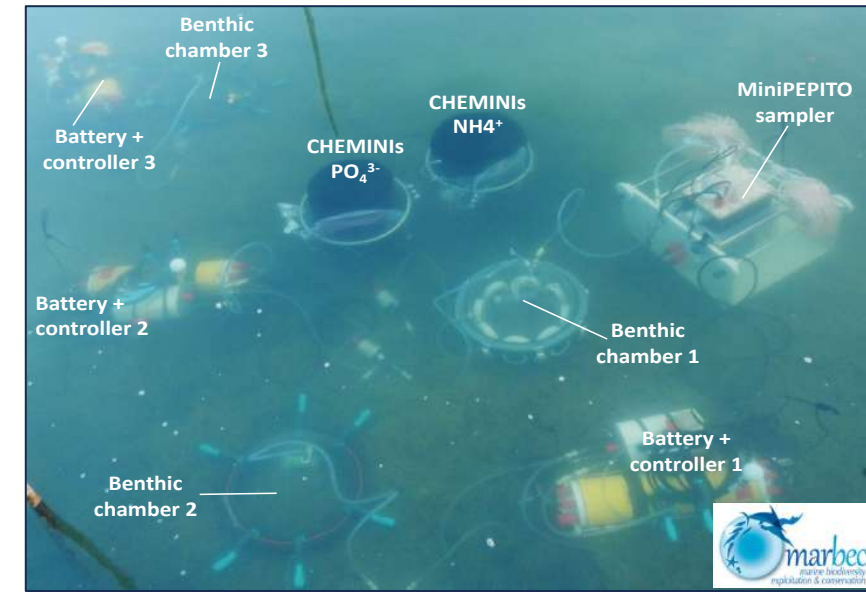
(Benthic Oxygen Gradient Observatory Station)
[Régis et al., en révision]

SUSANE

(SUprabenthic SAmples for Near-shore Environment)
[Knoery et al., 2019]



Chambres benthiques autonomes



[Ouisse et al. en prep.]

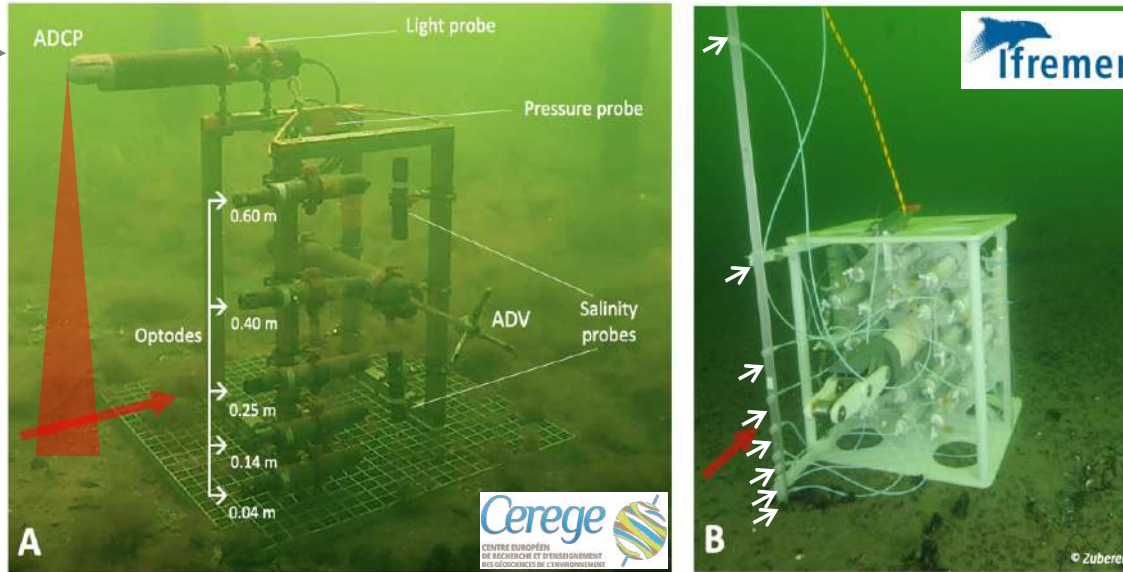
3. Développement/utilisation d'outils novateurs

→ Outils expérimentaux de mesure de flux (continu) à haute résolution temporelle

Méthode des gradients dans la couche limite benthique

BOGOS

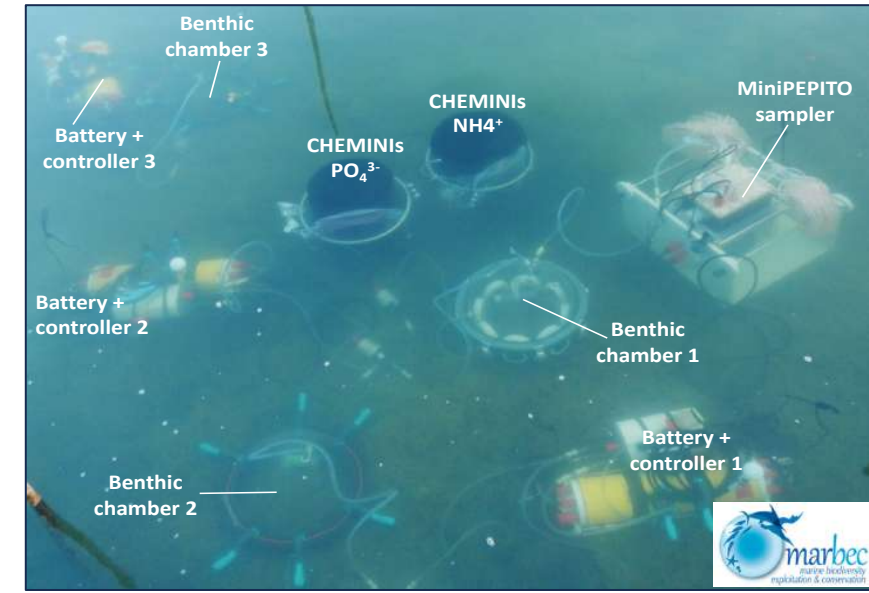
(Benthic Oxygen Gradient Observatory Station)
[Régis et al., en révision]



SUSANE

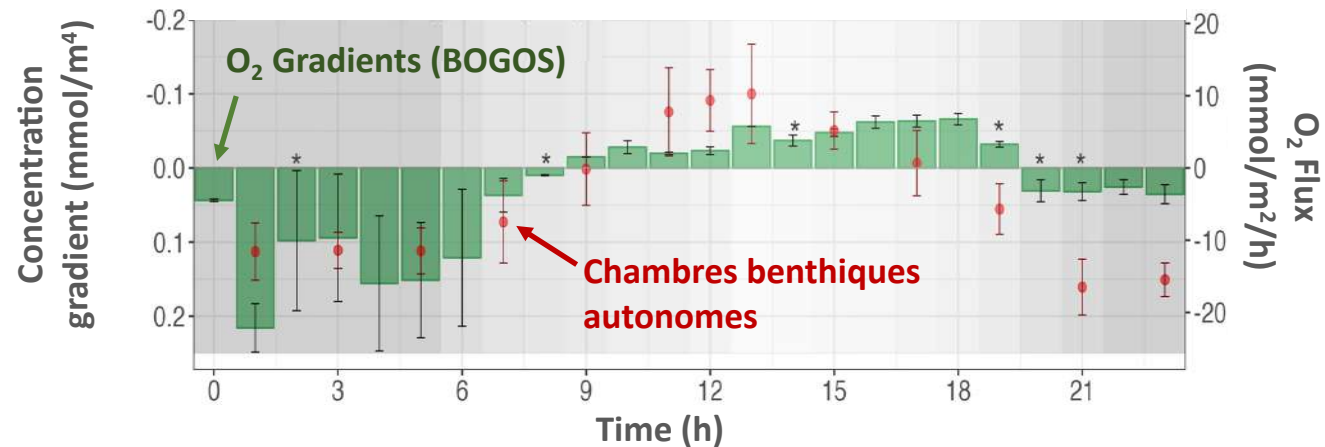
(SUprabenthic SAMpler for Near-shore Environment)
[Knoery et al., 2019]

Chambres benthiques autonomes



[Ouisse et al. en prep.]

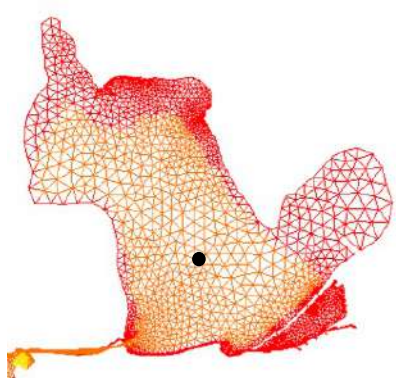
Exemple: Reconstruction du cycle nycthémeral de l'oxygène dans l'étang du Prévost / Chaetomorpha



3. Développement/utilisation d'outils novateurs

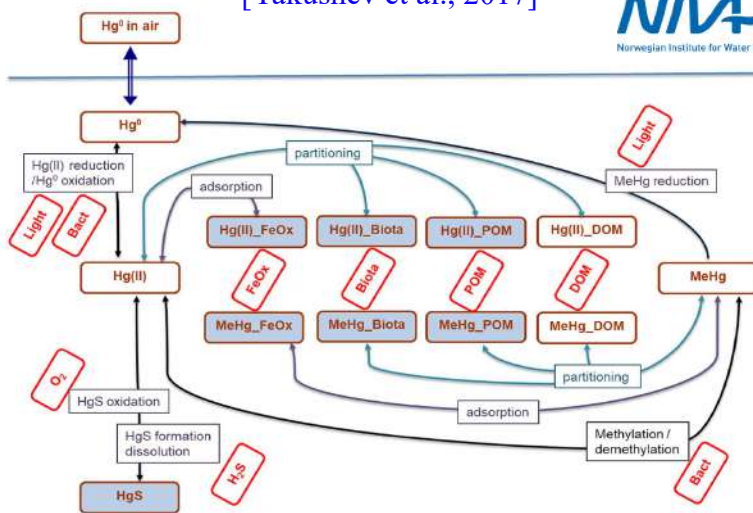
→ Approche de modélisation hydrobiogéochimique

Modèle hydrodynamique - TELEMAC 3D



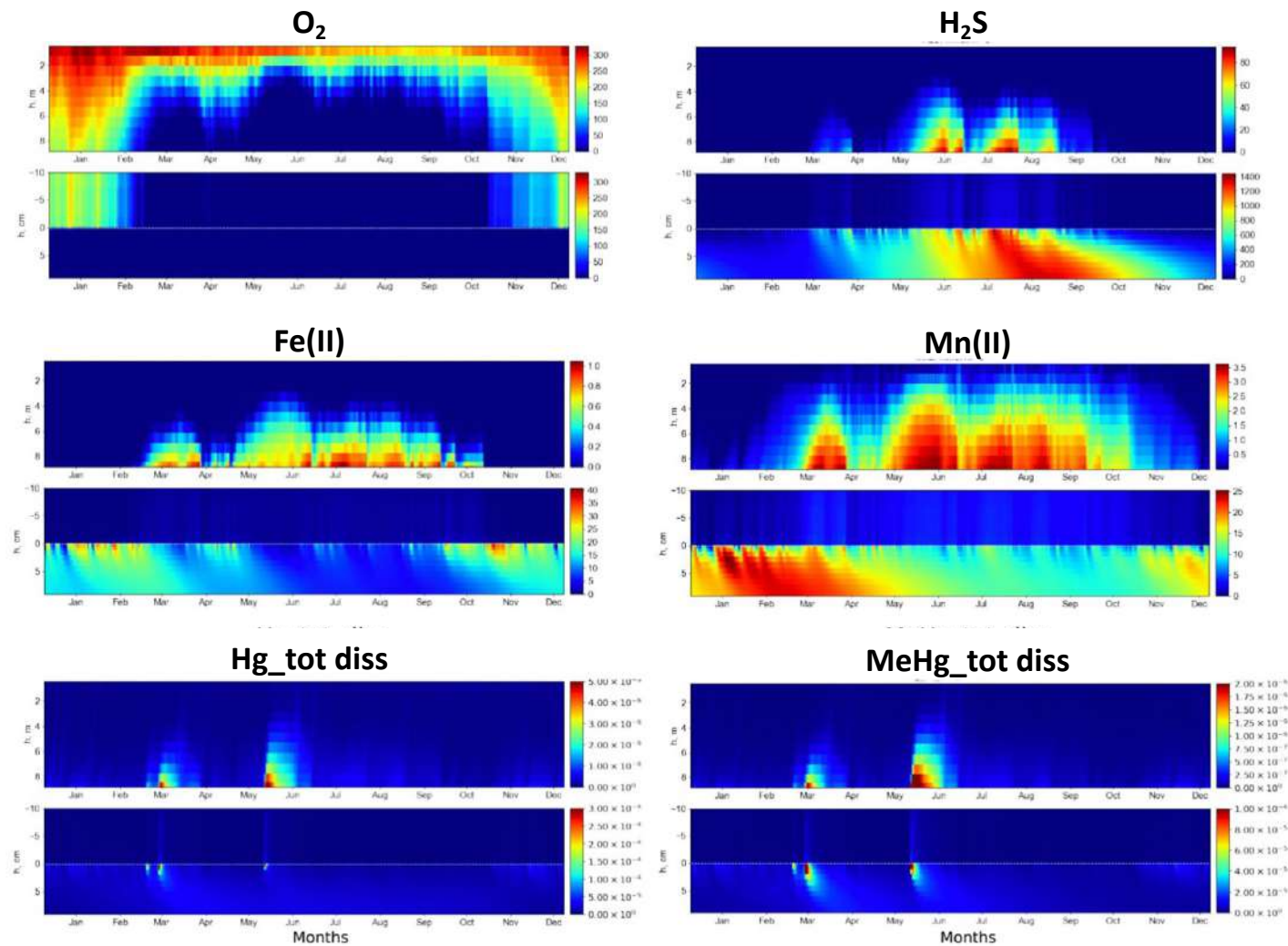
Modèle biogéochimique - BROM

[Yakushev et al., 2017]

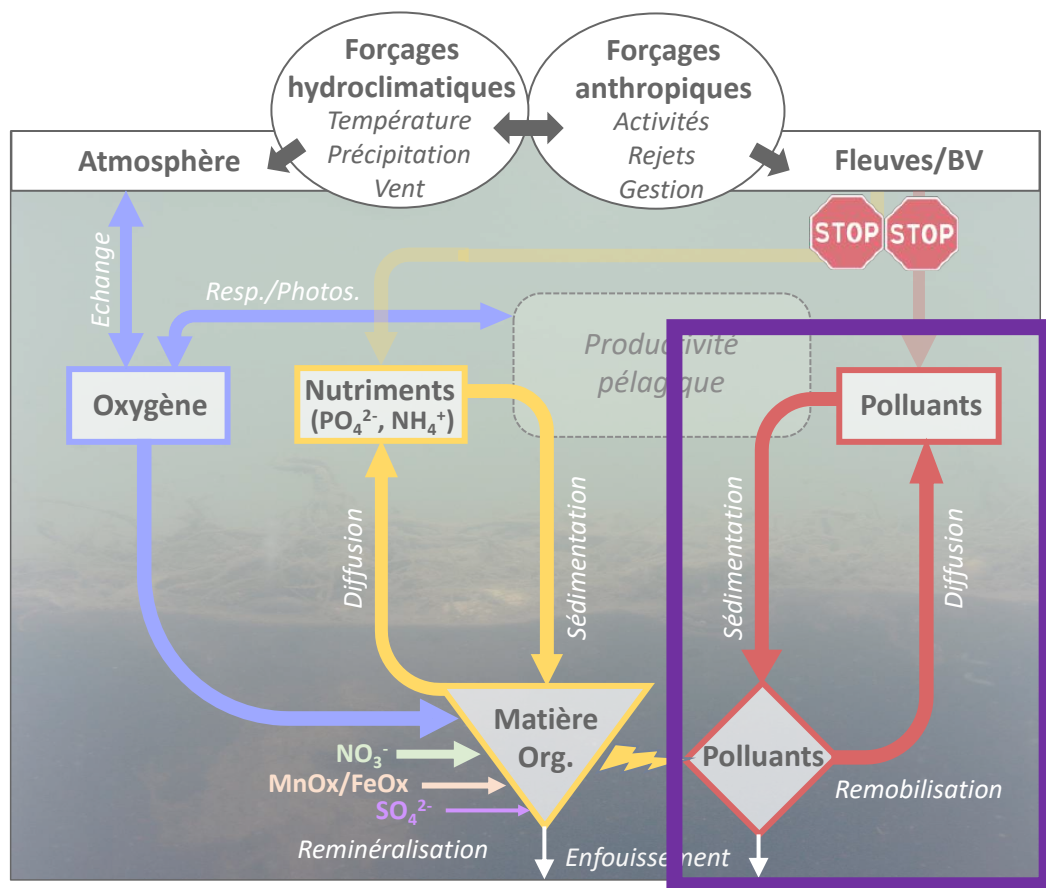


Simulation continue des réactions et flux benthiques

(situation actuelle + scénarios) [Pakhomova et al., 2018]



2.3. Microplastiques et additifs chimiques: les sédiments sont-ils une source ou un puits pour les zones côtières?



Objectifs

- (1) Evaluer les **niveaux de contamination** en microplastiques des sédiments
- (2) Quantifier les **taux d'accumulation/enfouissement sédimentaire** et les facteurs de contrôle
- (3) Evaluer si des **additifs chimiques** pourraient être **relargués** vers les eaux porales (en lien avec les processus diagénétiques) et ultimement vers la colonne d'eau

1. Contamination et accumulation des microplastiques dans les sédiments côtiers

Projet "Laboratoire Plastique de Pamparigouste" (2023-2025)



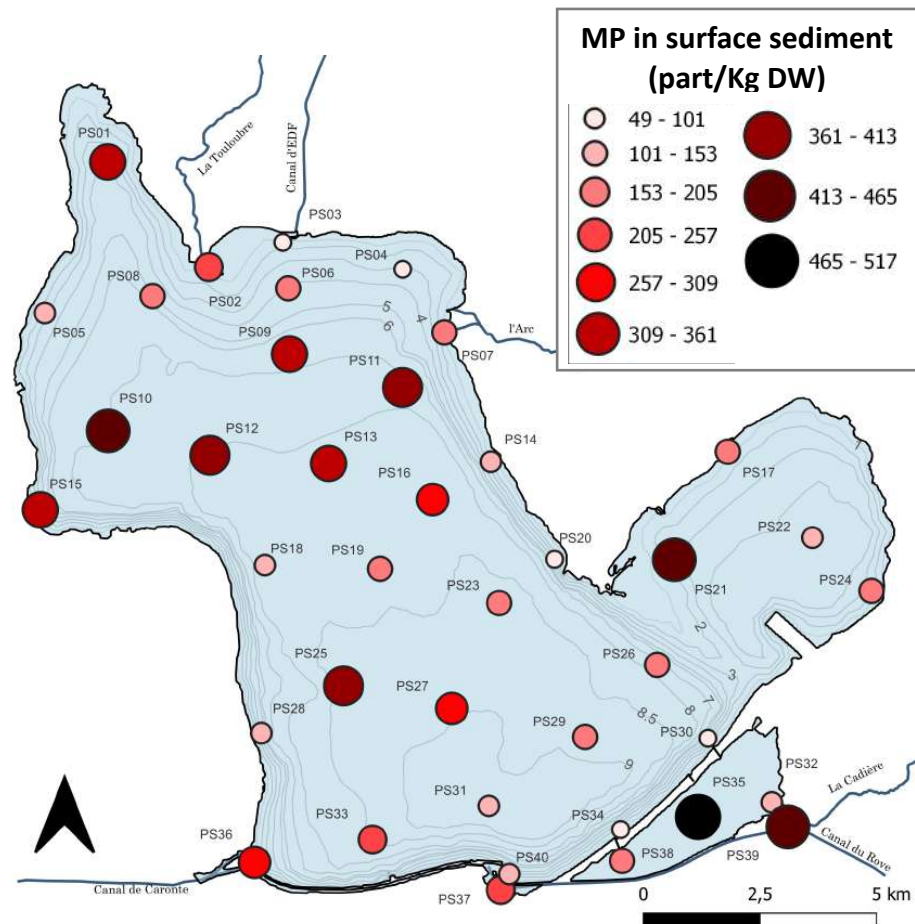
BUREAU
DES GUIDES

INRAE

AIX
MARSEILLE
PROVENCE

Fondation
de France

Distribution spatiale dans les sédiments de surface



→ TOUS les échantillons contaminés (!)

Concentrations similaires à d'autres sites côtiers méditerranéens (60-2000 part/Kg)

[Saliu et al. 2023] [Alomar et al. 2016] [Vianello et al., 2013] [Alcaïno et al. 2023]

1. Contamination et accumulation des microplastiques dans les sédiments côtiers

Projet "Laboratoire Plastique de Pamparigouste" (2023-2025)



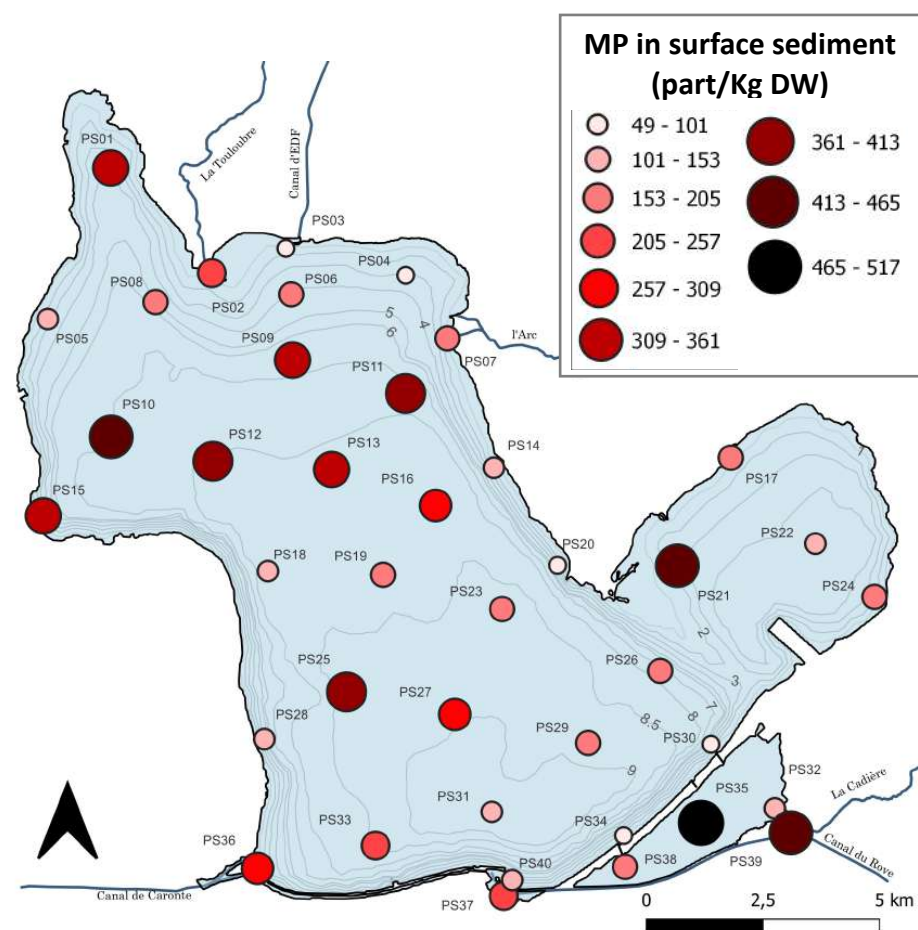
BUREAU
DES GUIDES

INRAE

AIX
MARSEILLE
PROVENCE

Fondation
de France

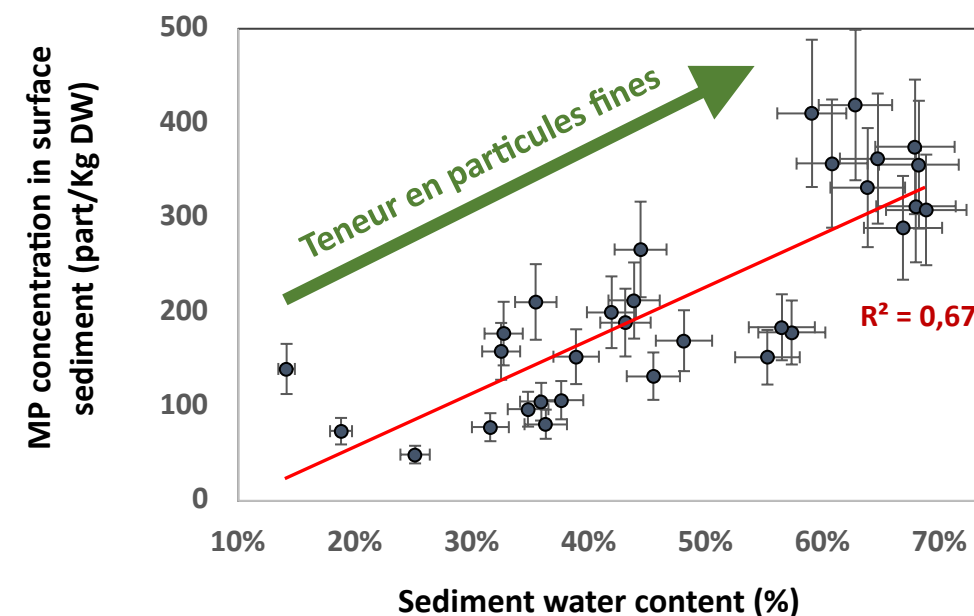
Distribution spatiale dans les sédiments de surface



→ TOUS les échantillons contaminés (!)
Concentrations similaires à d'autres sites côtiers méditerranéens (60-2000 part/Kg)

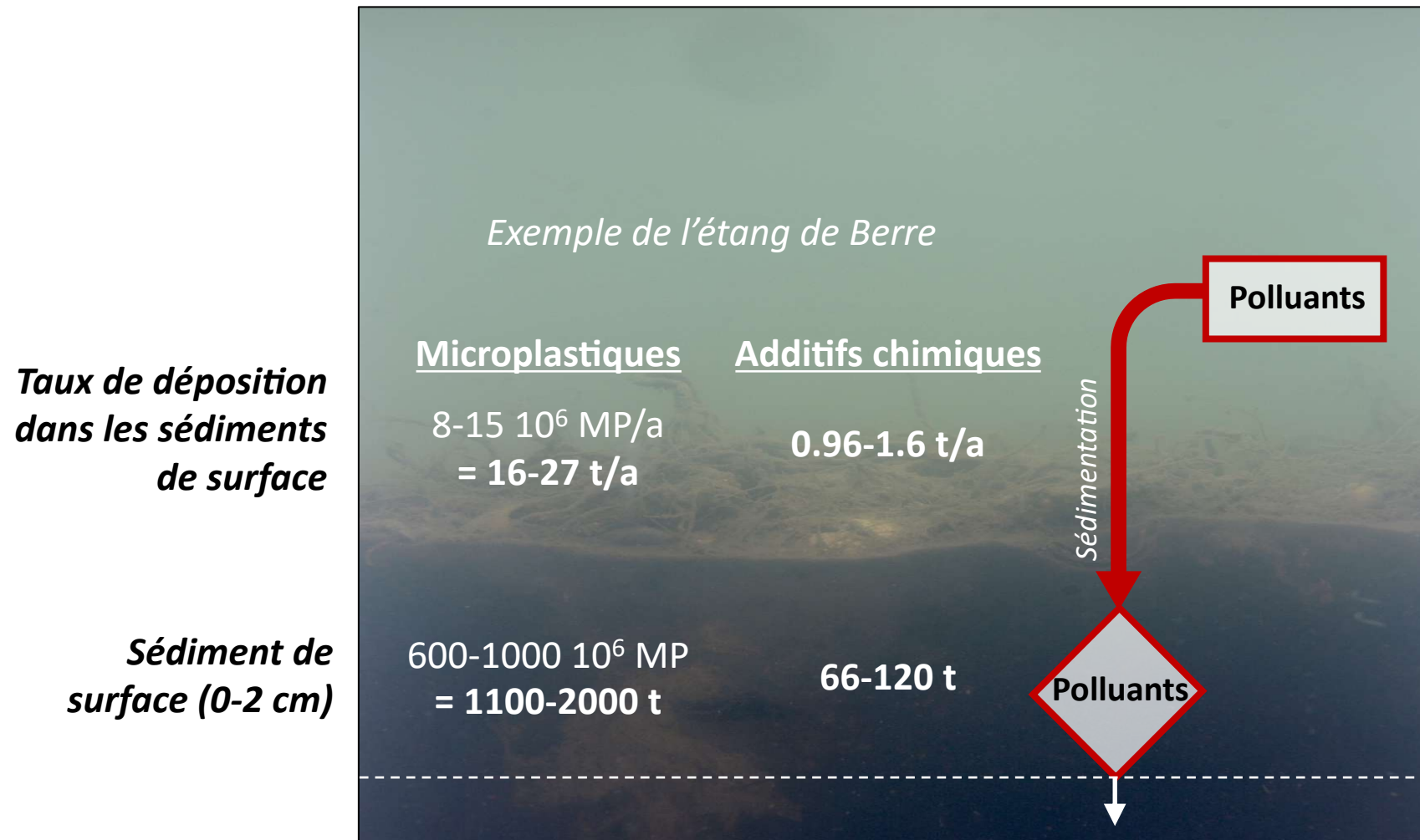
[Saliu et al. 2023] [Alomar et al. 2016] [Vianello et al., 2013] [Alcaïno et al. 2023]

→ Distribution spatiale contrôlée par l'hydrodynamisme



1. Contamination et accumulation des microplastiques dans les sédiments côtiers

Bilan de masse



2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Projets MICROPLASTIS (2019-2020), ANDROMEDA (2019-2022), PLASTIFSED (2019-2022)

Approche méthodologique

Incubation de microplastiques dans du sédiment en conditions contrôlées au laboratoire

- 1) **Prélèvement de sédiment**
homogénéisé + défauné
(tamisage 0.5 mm)

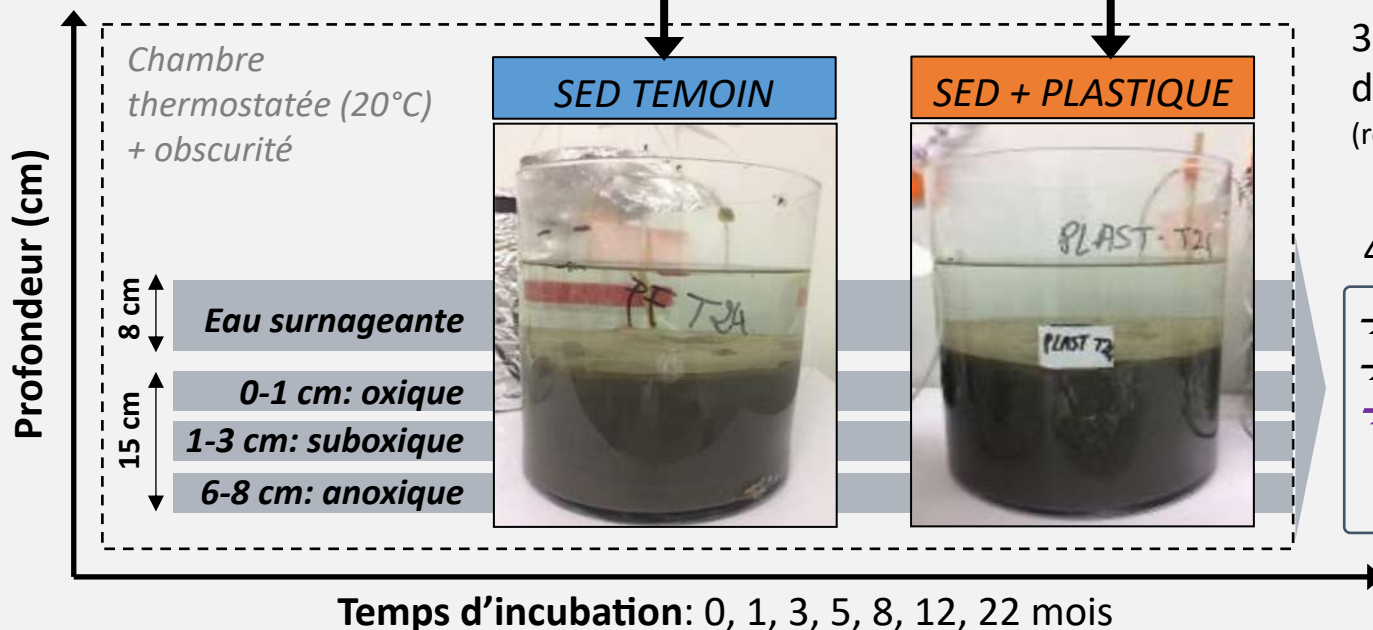


- 2) **Ajout de plastique**
PE recyclé 200-500 µm
(1300 mg/Kg DW)

- 3) **Incubation** en eau
de mer synthétique
(renouvelée mensuellement)

- 4) **Suivi analytique**

→ Physicochimie
 → Réactions diagénétiques
 → **Additifs organiques**
 - 9 phtalates
 - 7 esters organophosphorés



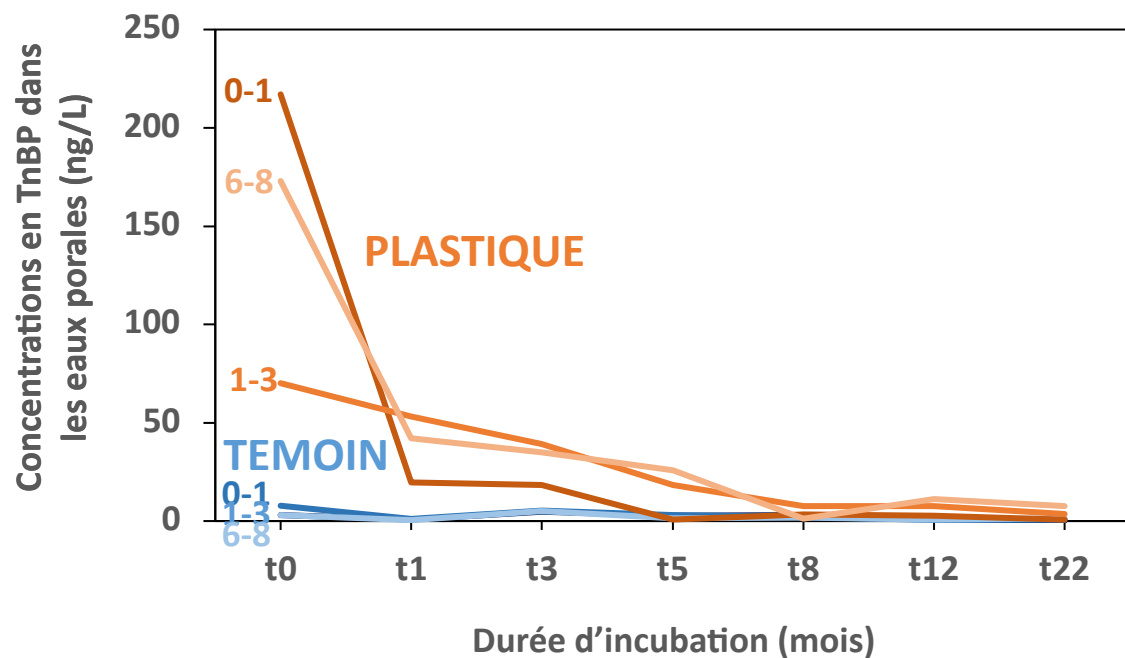
Prélèvement de carottes in situ

= étangs de Bolmon, Thau et Prévost



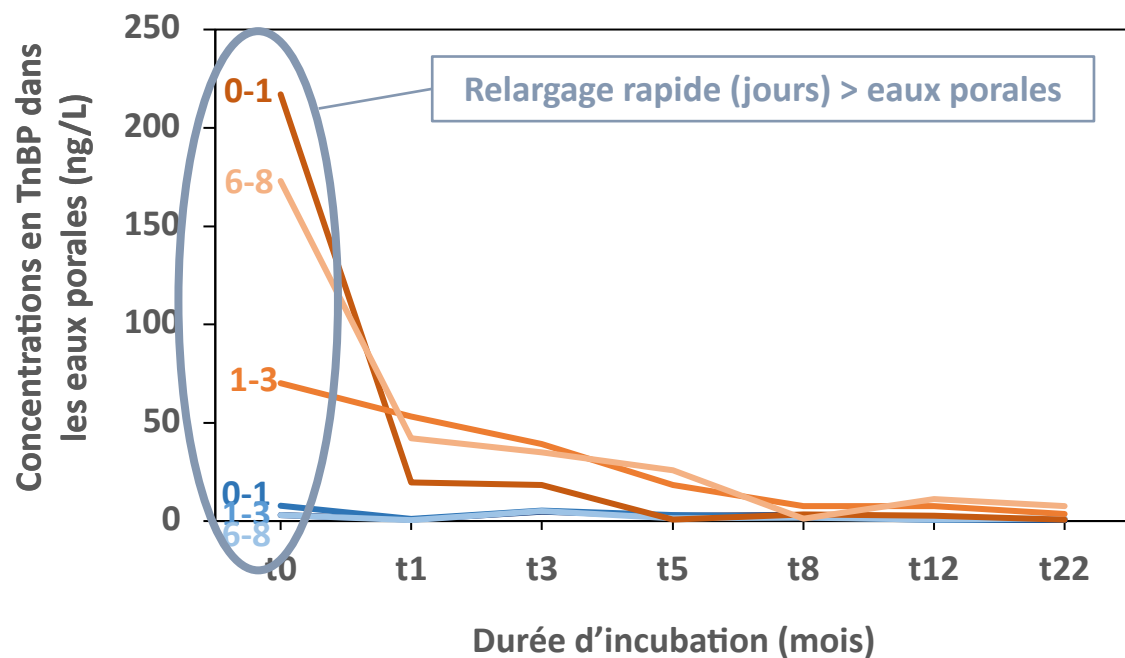
2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)



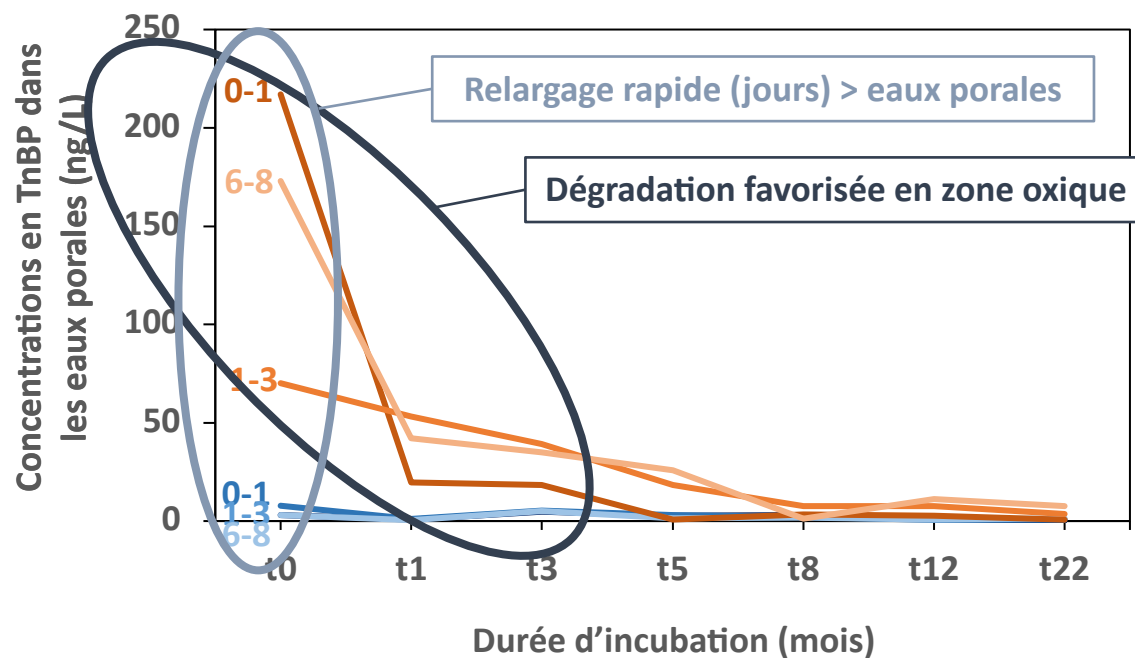
2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)



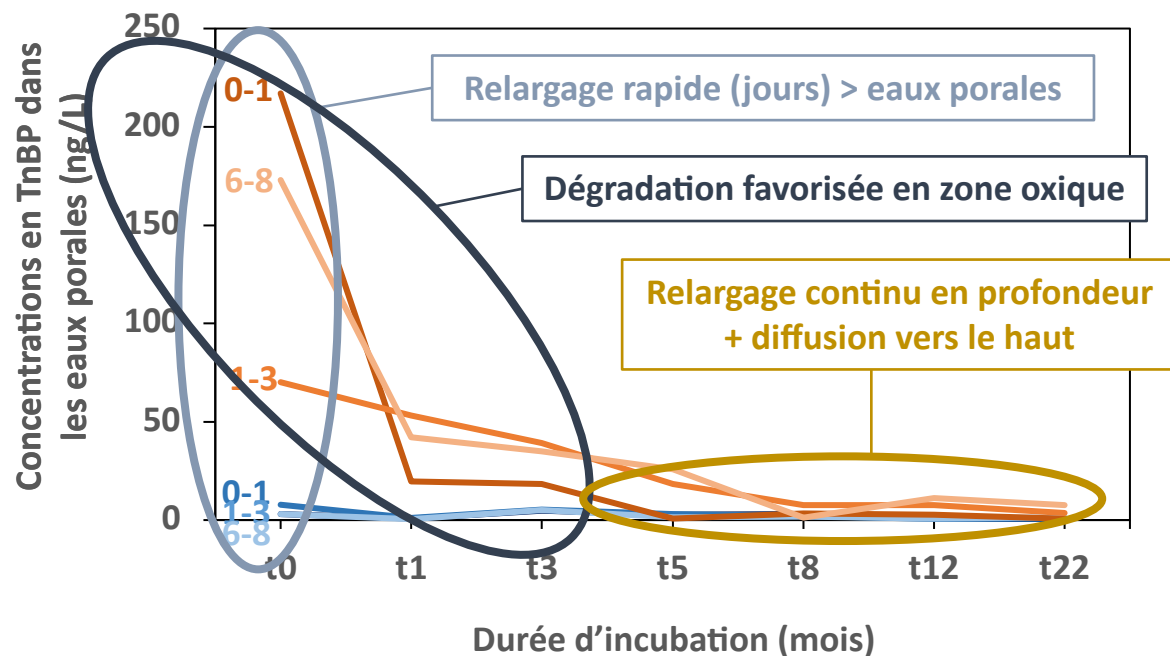
2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)



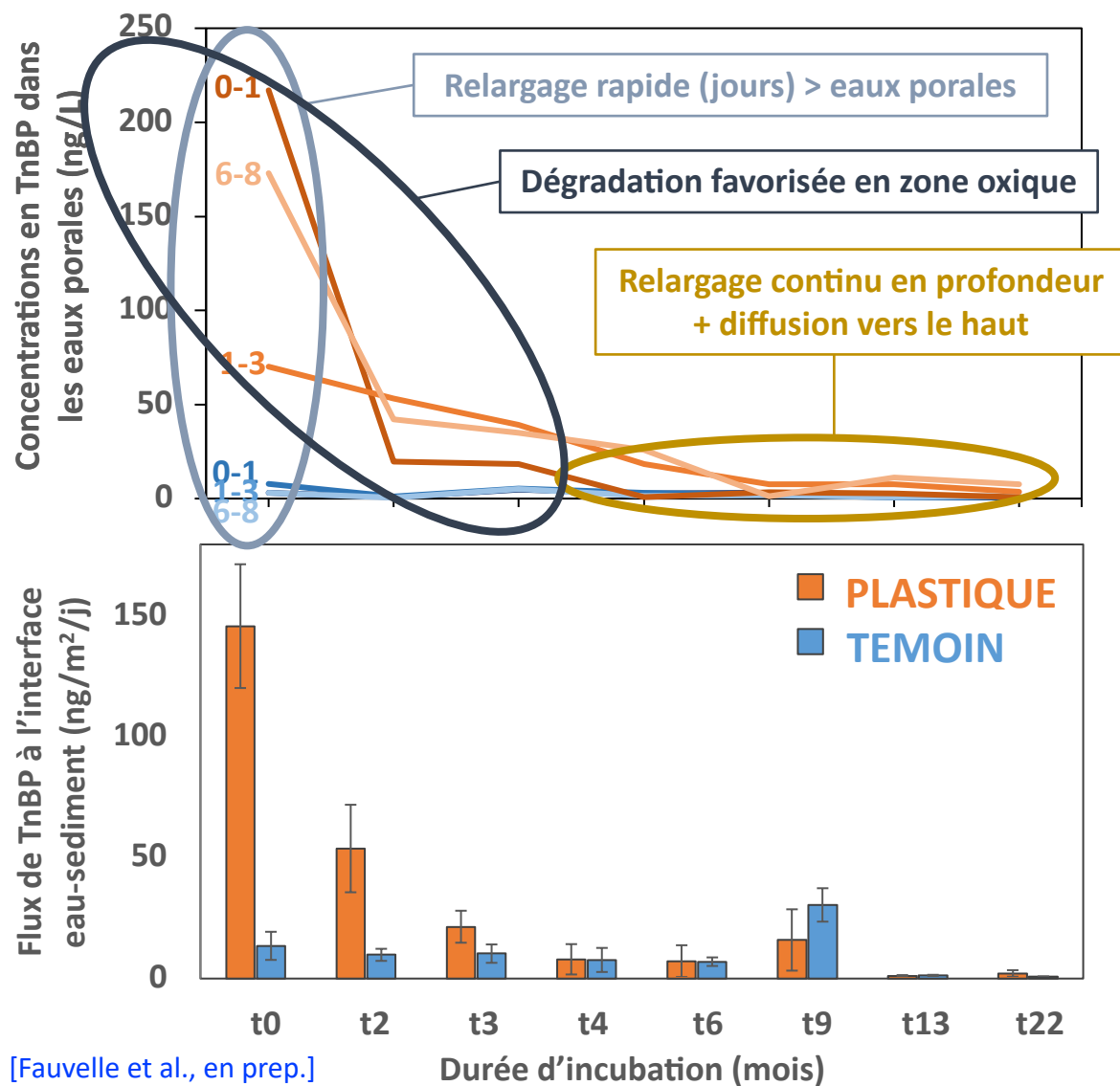
2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)



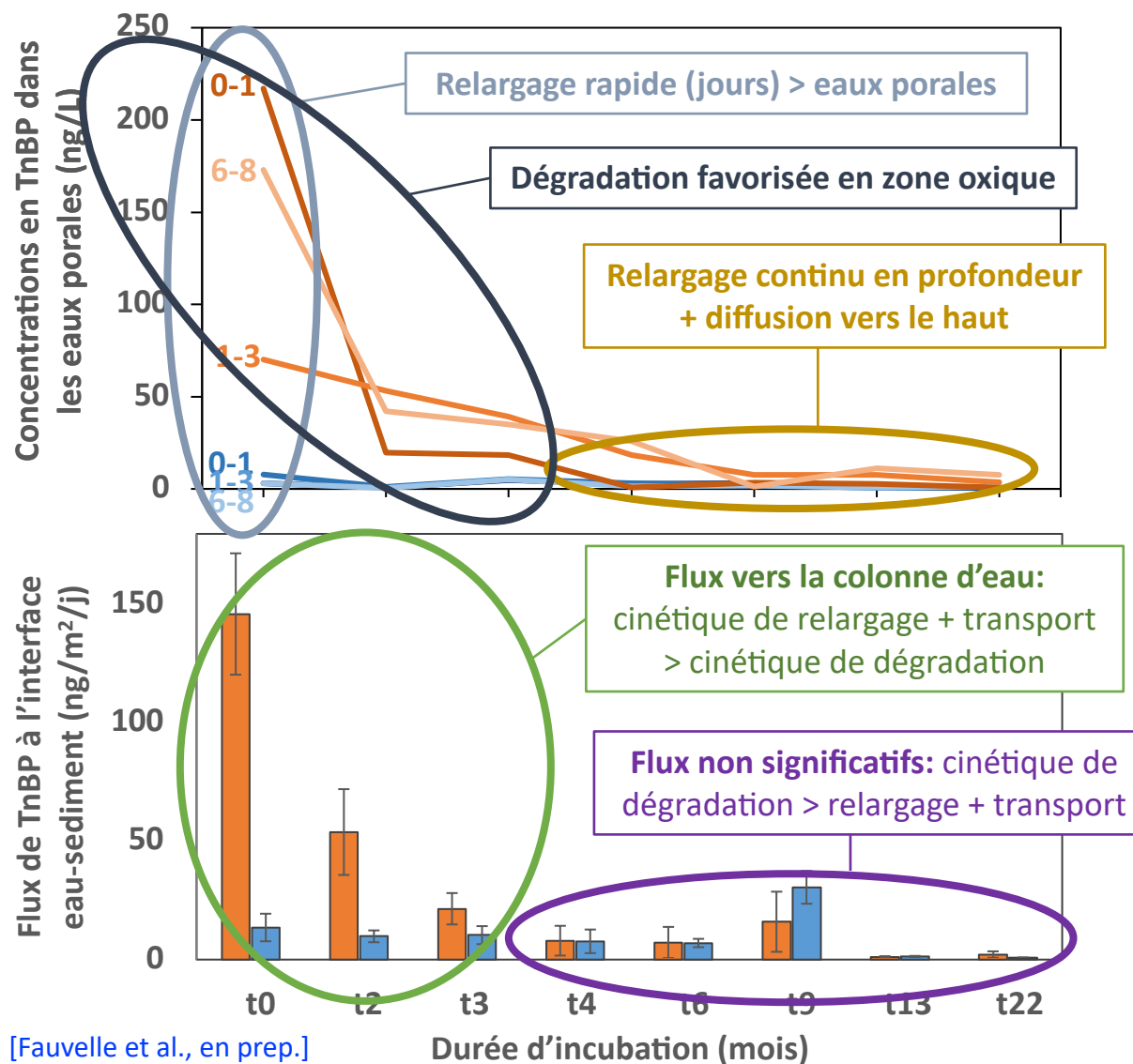
2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)



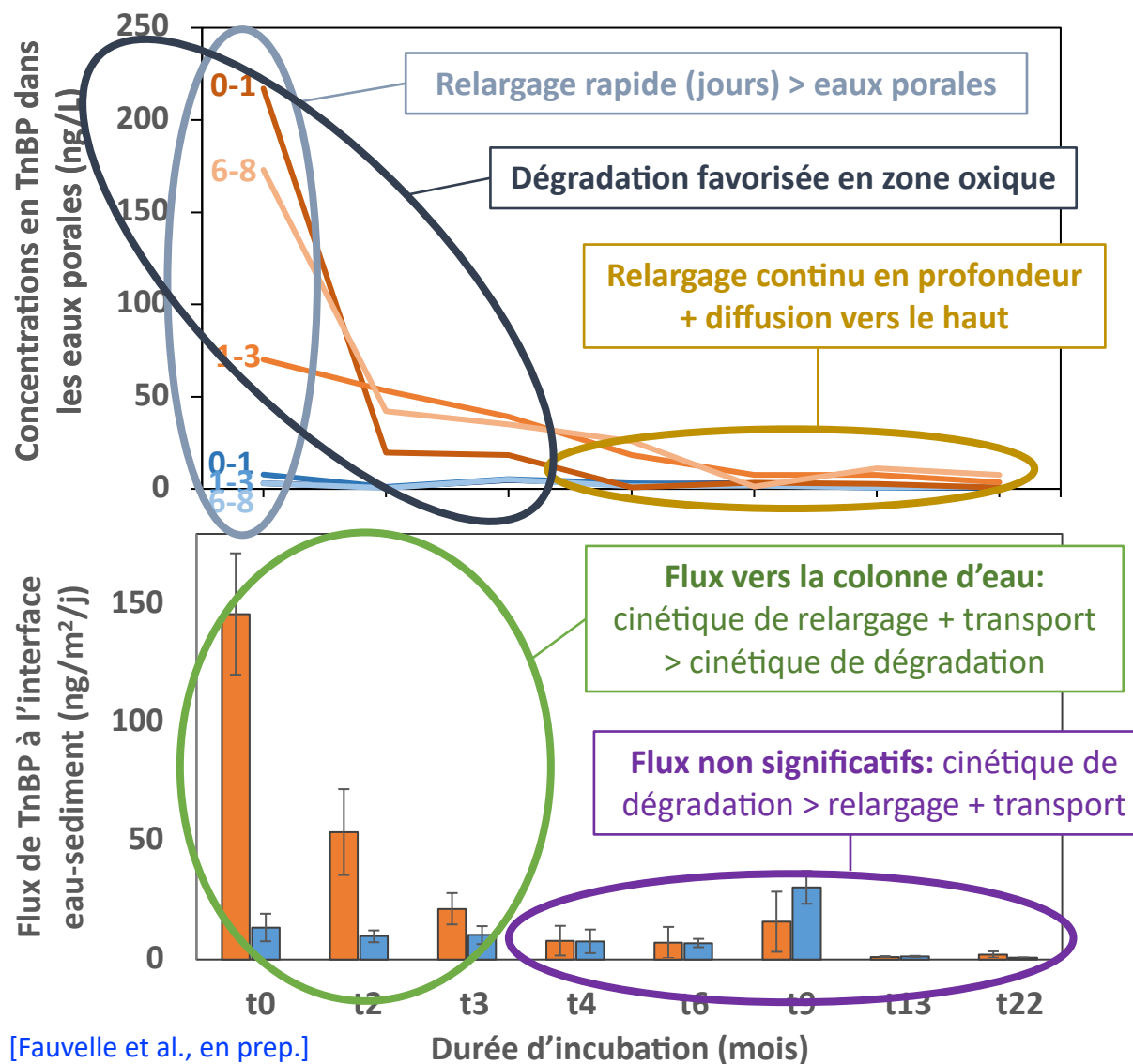
2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)

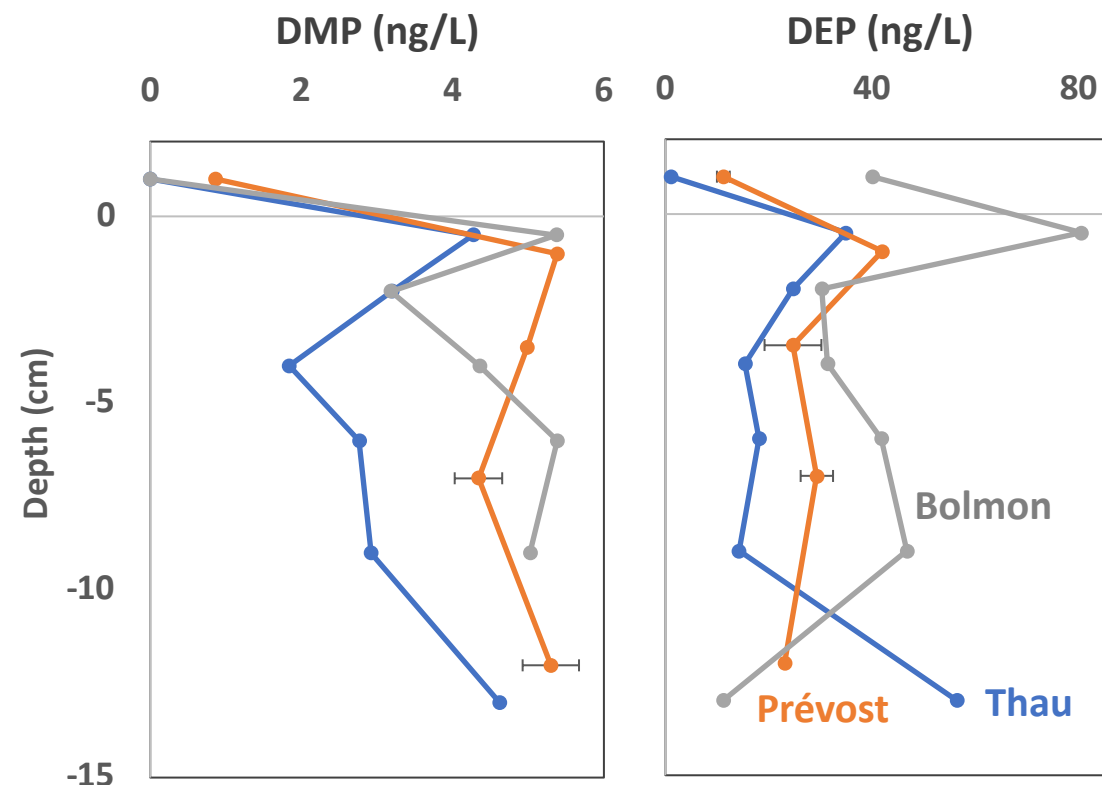


2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)

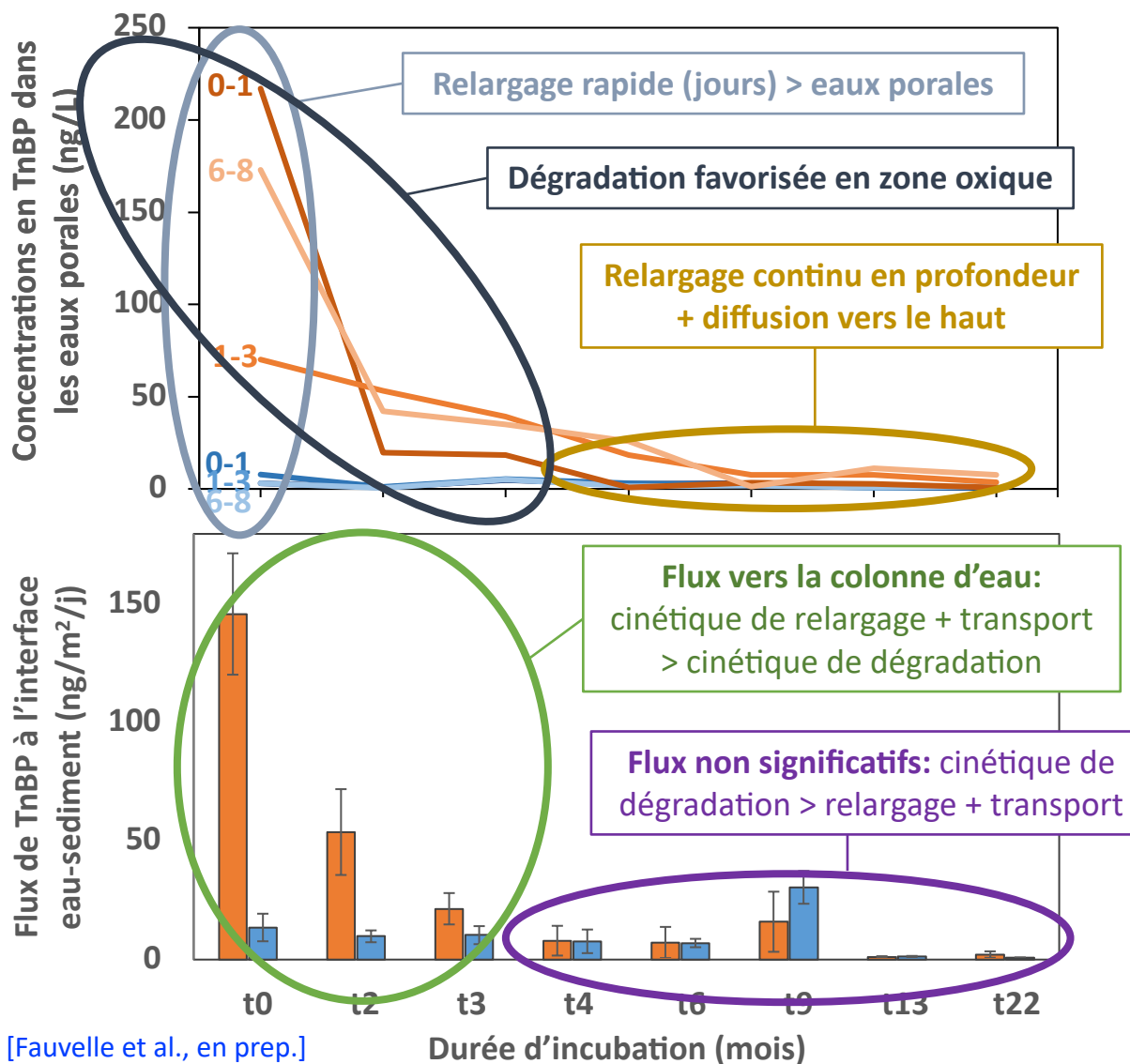


Profils dans les eaux interstitielles in situ: cas du diméthylphthalate (DMP) et diéthylphthalate (DEP)

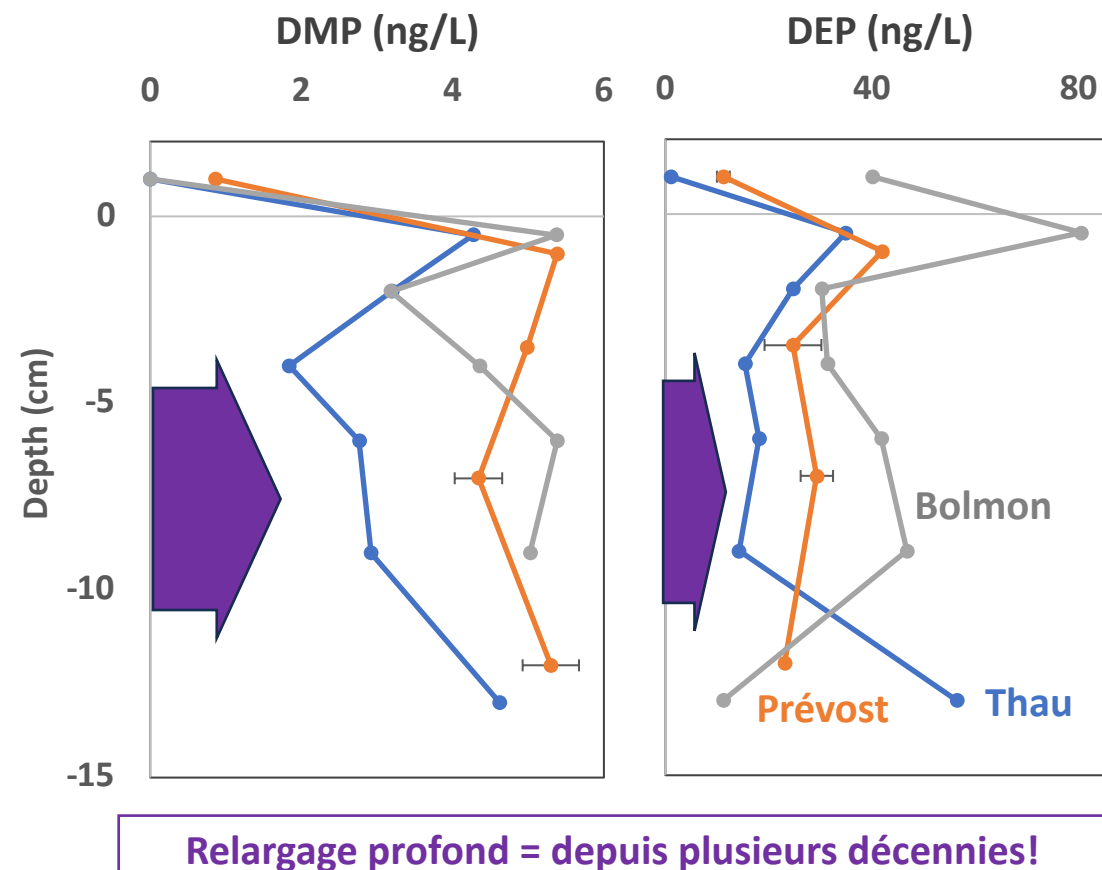


2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)

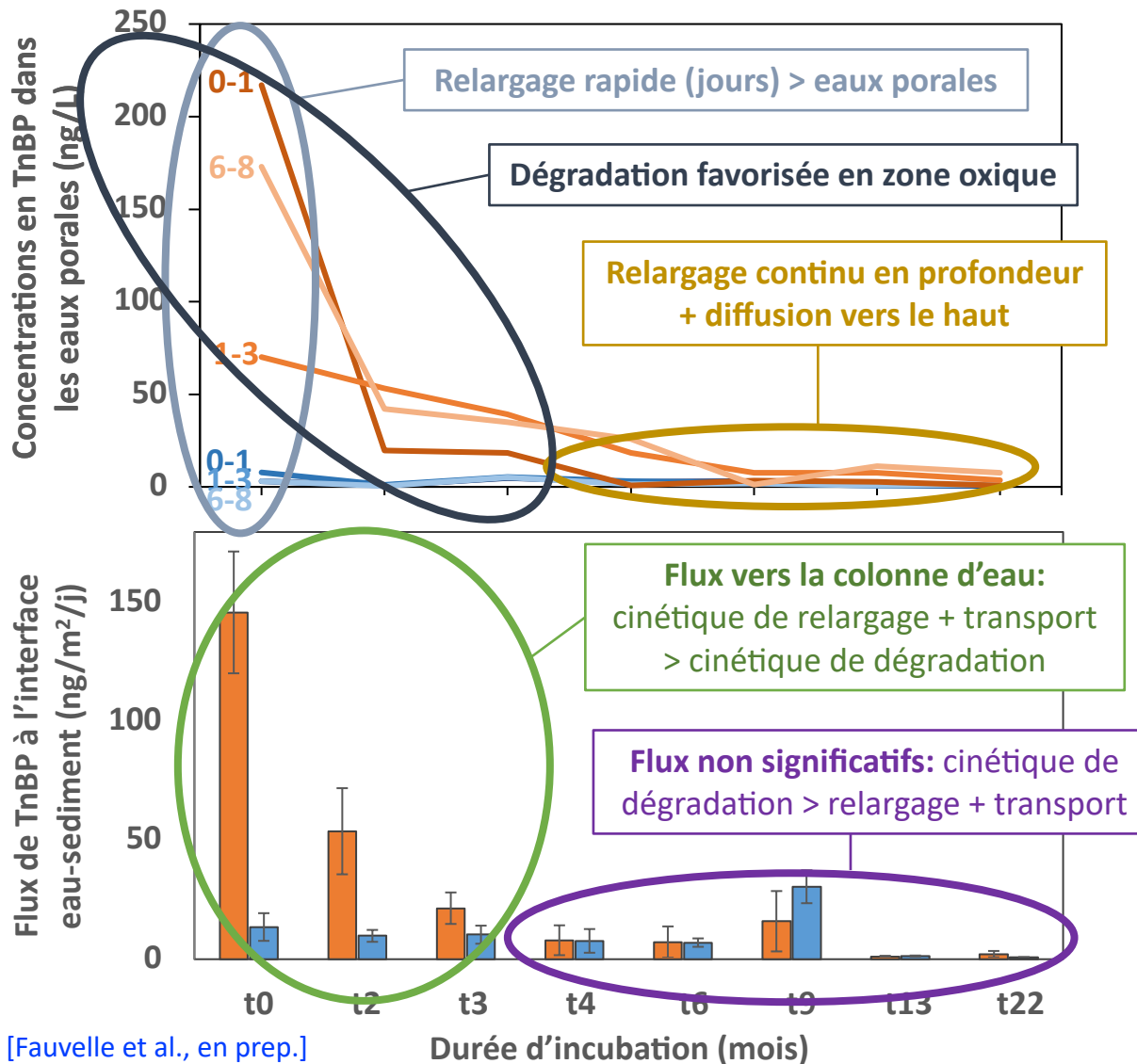


Profils dans les eaux interstitielles in situ: cas du diméthylphthalate (DMP) et diéthylphthalate (DEP)

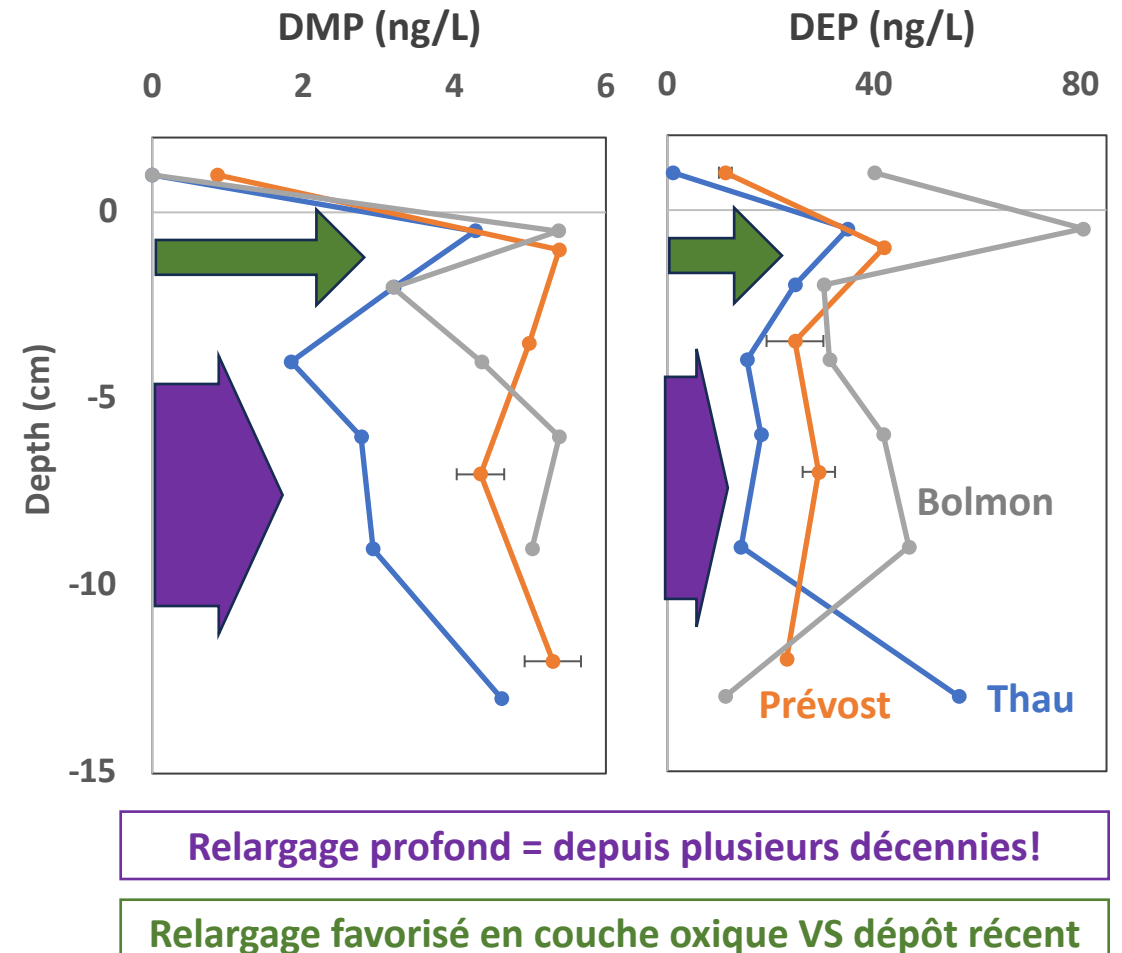


2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)

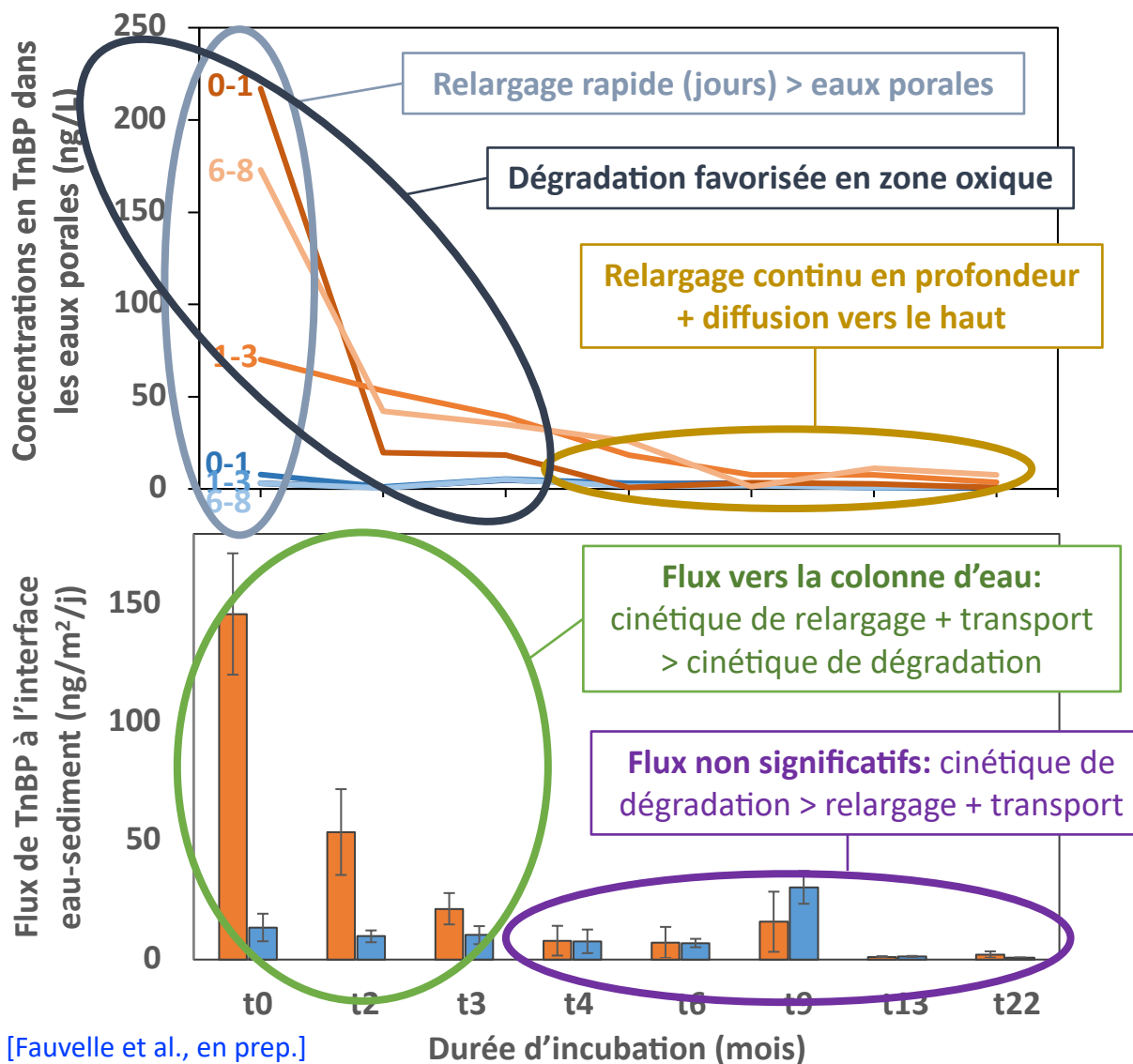


Profils dans les eaux interstitielles in situ: cas du diméthylphthalate (DMP) et diéthylphthalate (DEP)

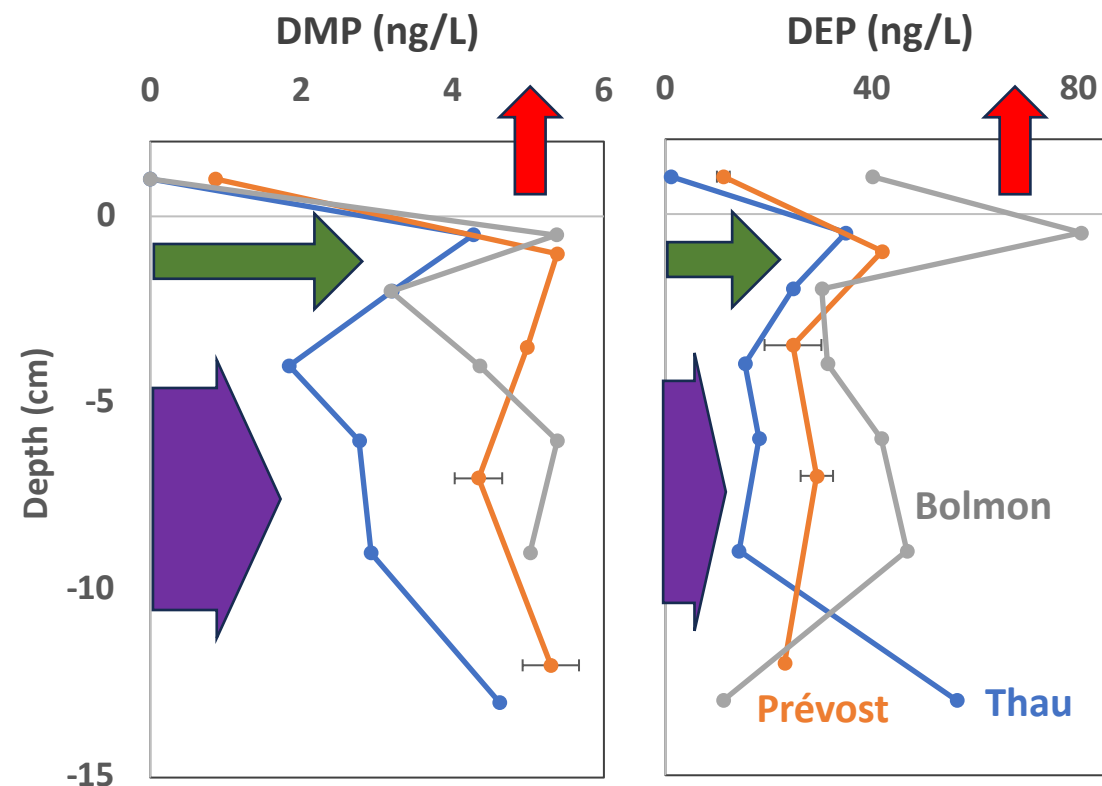


2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?

Incubation de plastiques: cas du tri-n-butyl phosphate (TnBP)



Profils dans les eaux interstitielles in situ: cas du diméthylphthalate (DMP) et diéthylphthalate (DEP)

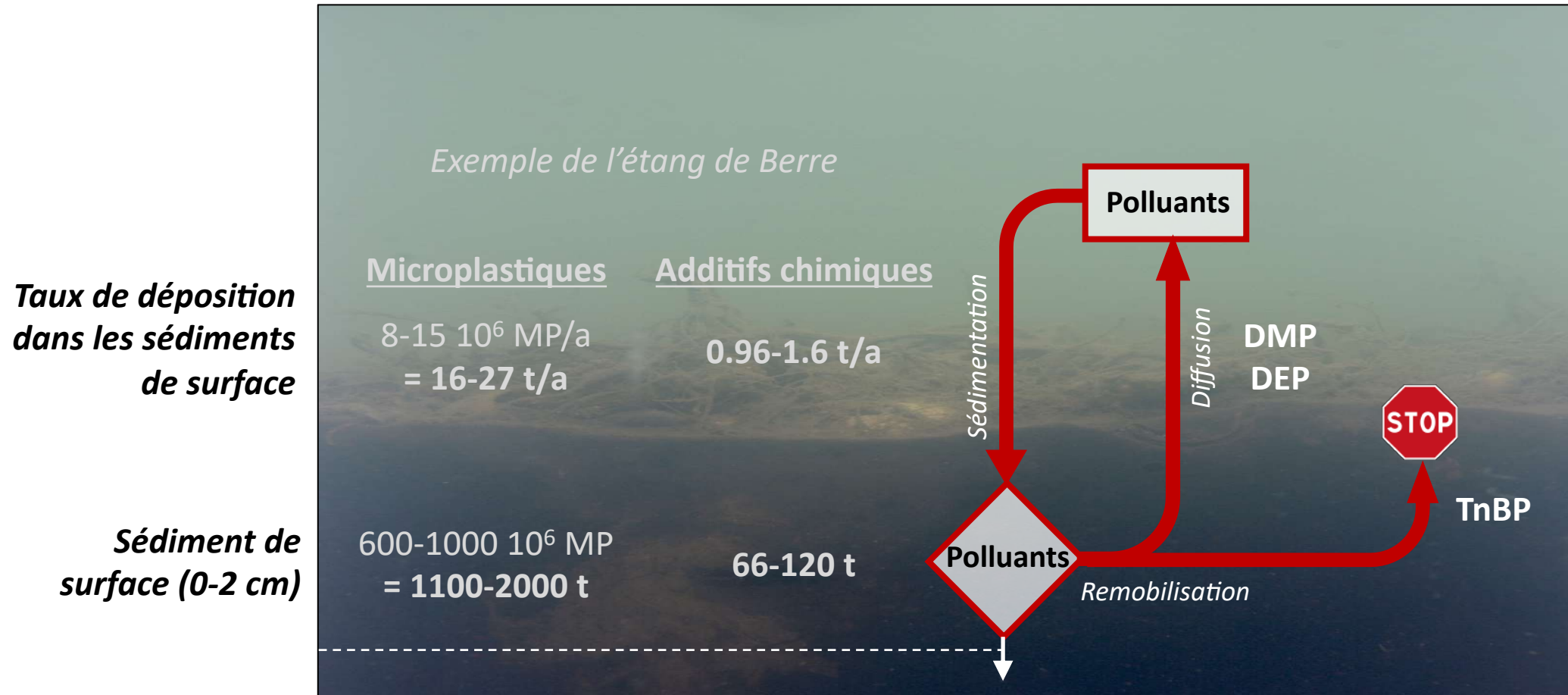


Relargage profond = depuis plusieurs décennies!

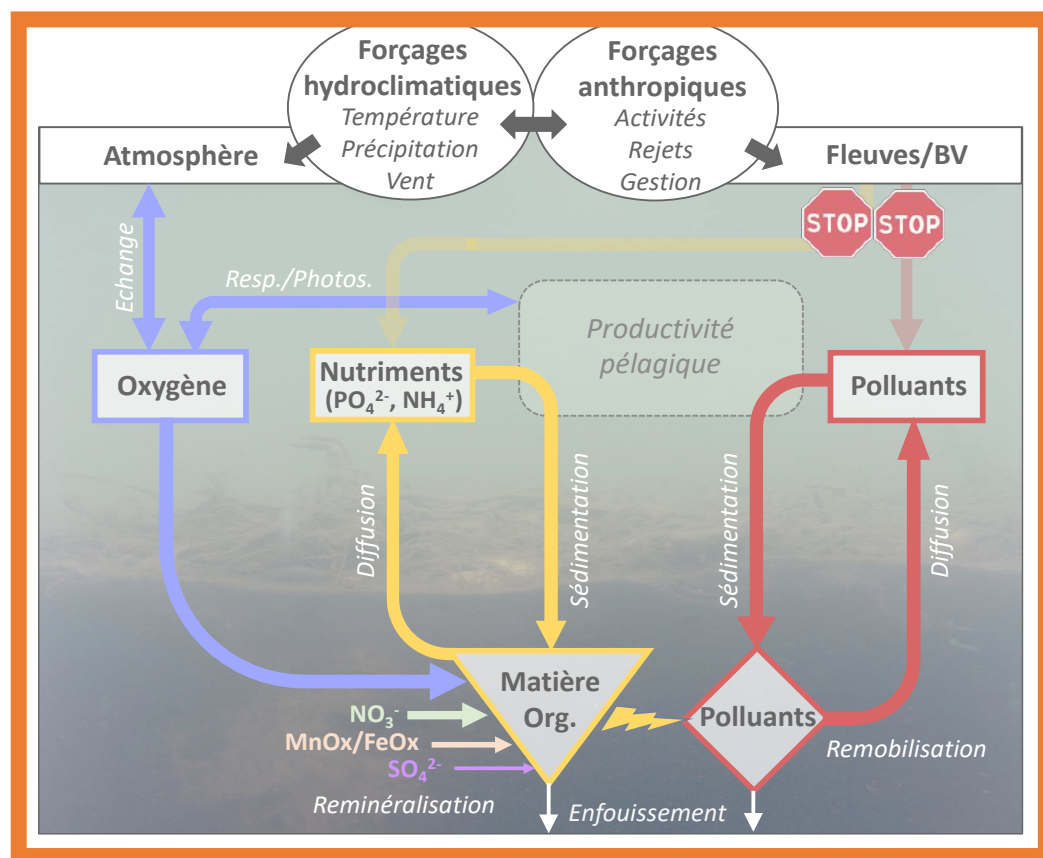
Relargage favorisé en couche oxygène VS dépôt récent

Flux vers la colonne d'eau!

2. Relargage d'additifs chimiques depuis les sédiments?



2.4. Implication des sédiments dans la dégradation écologique des lagunes méditerranéennes



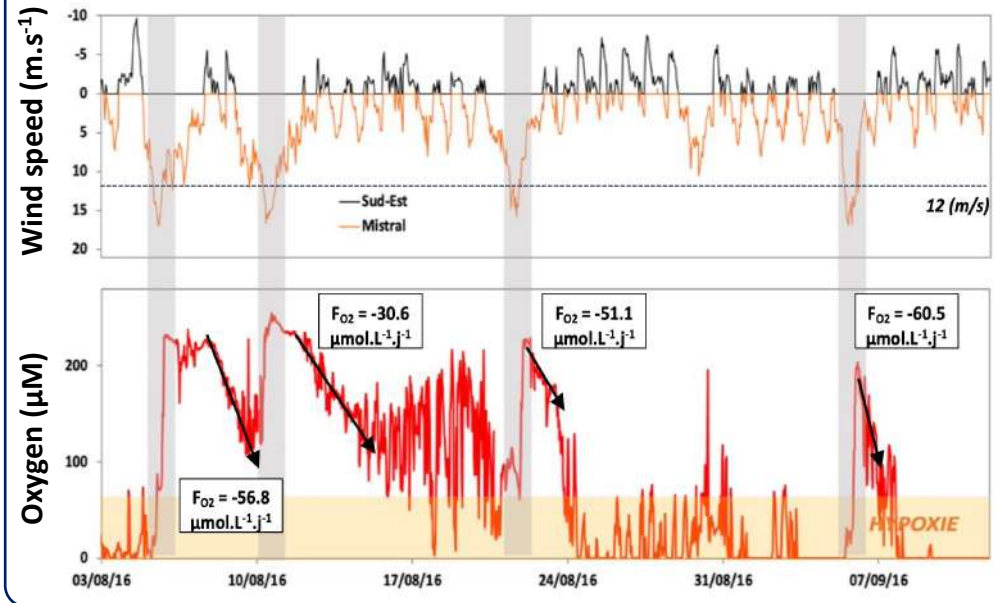
Objectifs

- (1) Implication de la consommation benthique en oxygène sur la désoxygénation
- (2) Implication du recyclage des nutriments sur l'eutrophisation

→ Quelques exemples sur l'étang de Berre

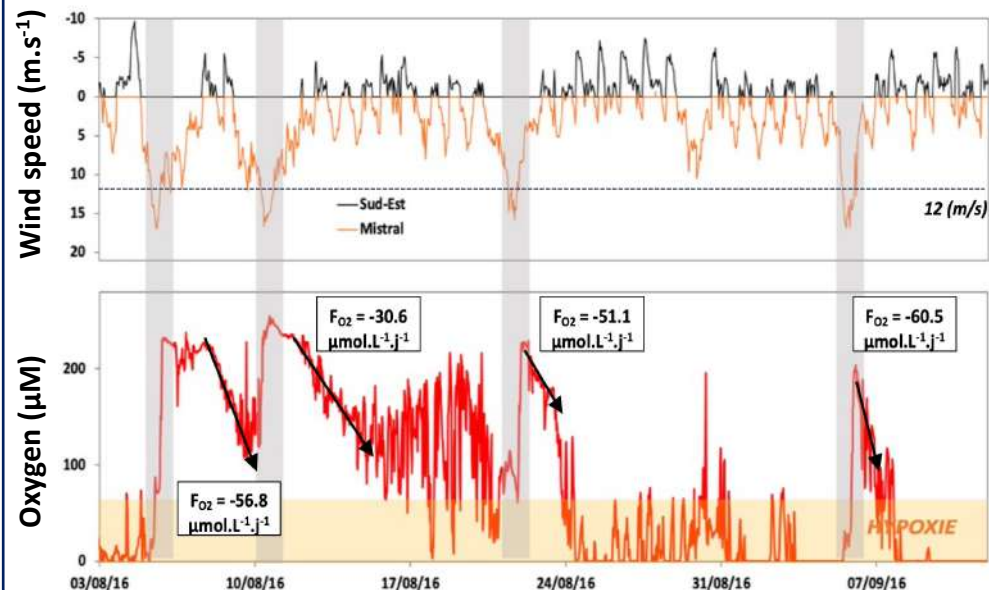
1. Demande benthique en oxygène et risque de désoxygénation

Chroniques temporelles d'oxygène

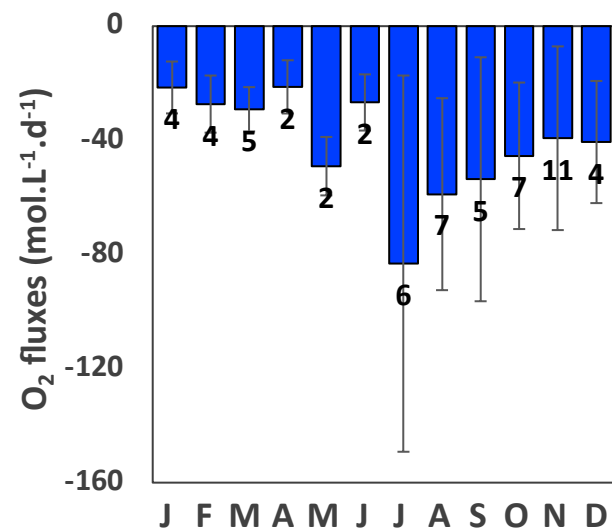


1. Demande benthique en oxygène et risque de désoxygénation

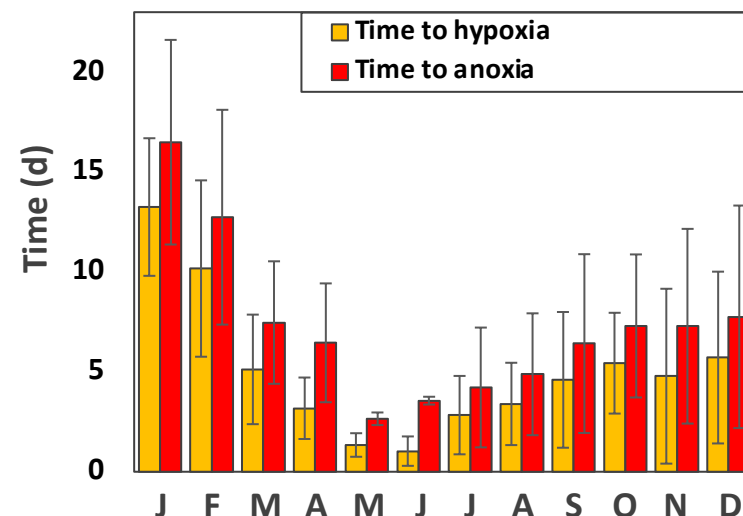
Chroniques temporelles d'oxygène



Reconstitution des demandes benthiques mensuelles en oxygène

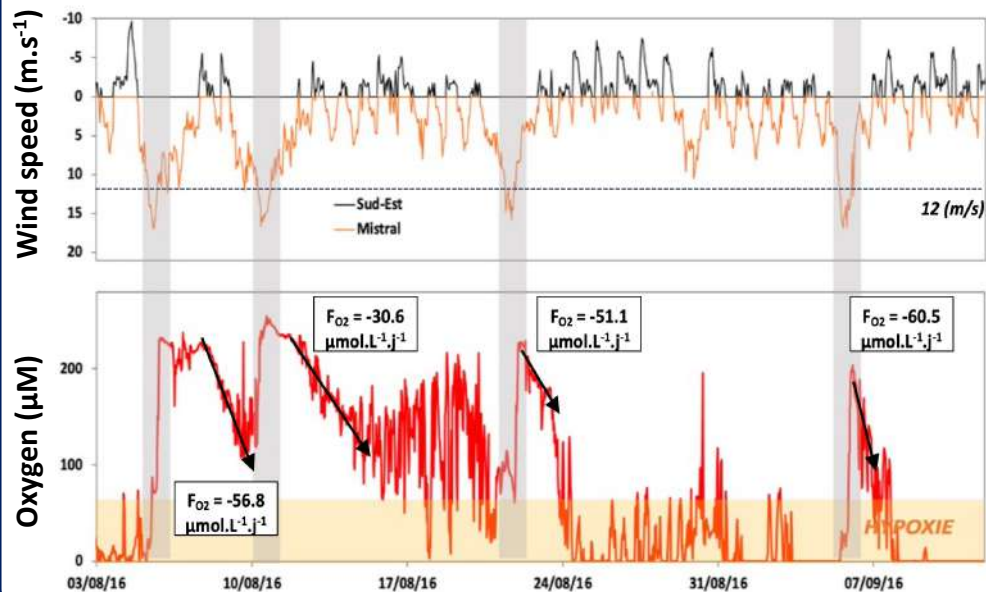


Temps pour atteindre la désoxygénation et période de récurrence des vents forts

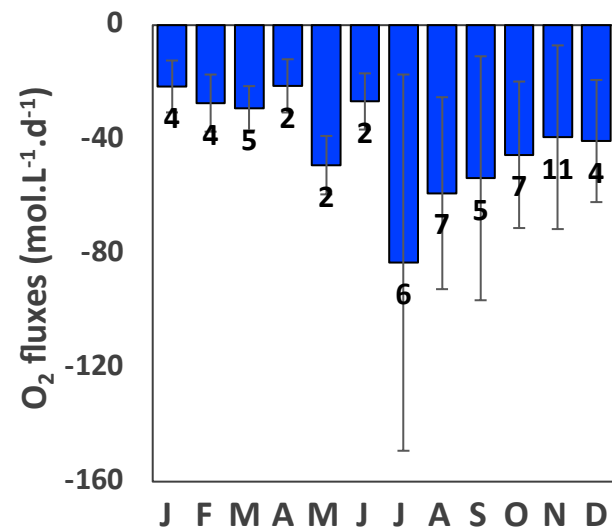


1. Demande benthique en oxygène et risque de désoxygénation

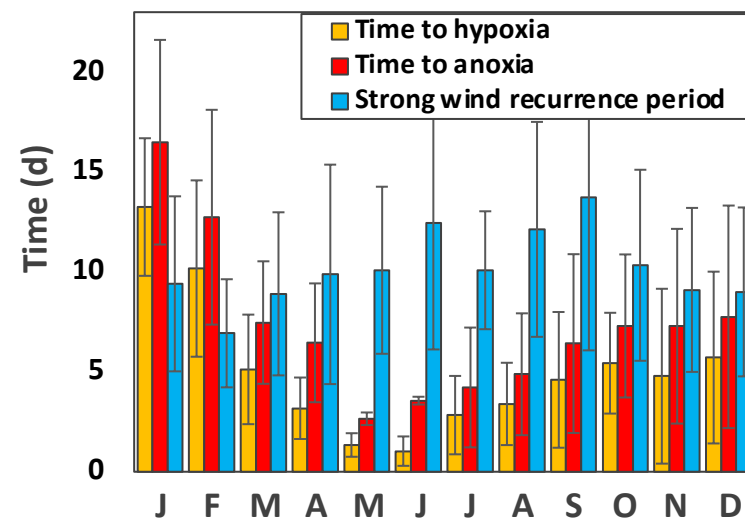
Chroniques temporelles d'oxygène



Reconstitution des demandes benthiques mensuelles en oxygène

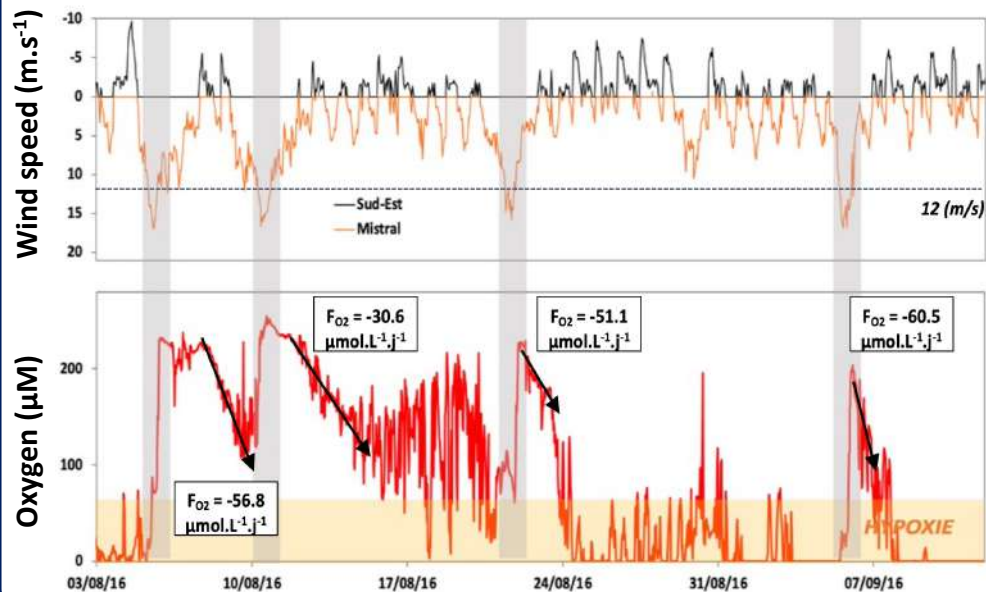


Temps pour atteindre la désoxygénation et période de récurrence des vents forts

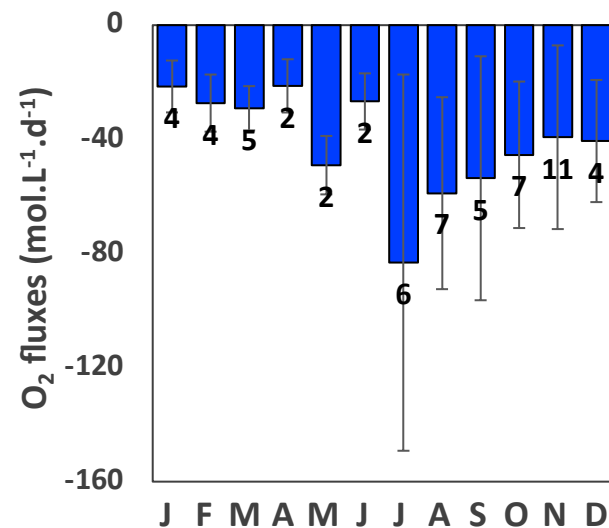


1. Demande benthique en oxygène et risque de désoxygénation

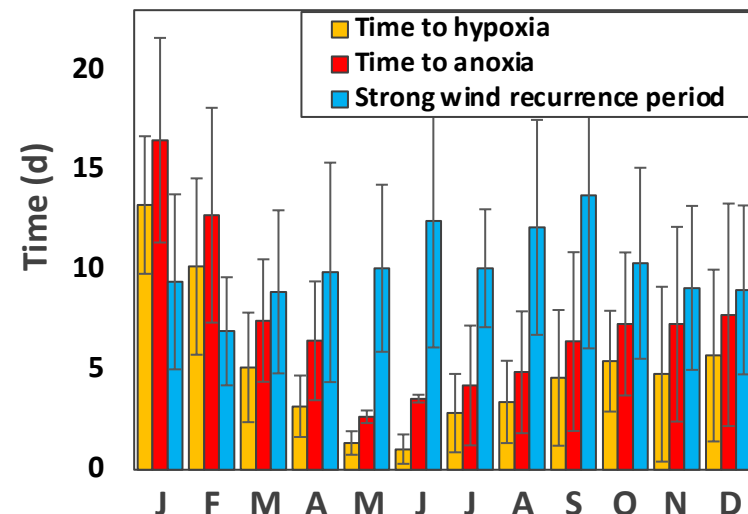
Chroniques temporelles d'oxygène



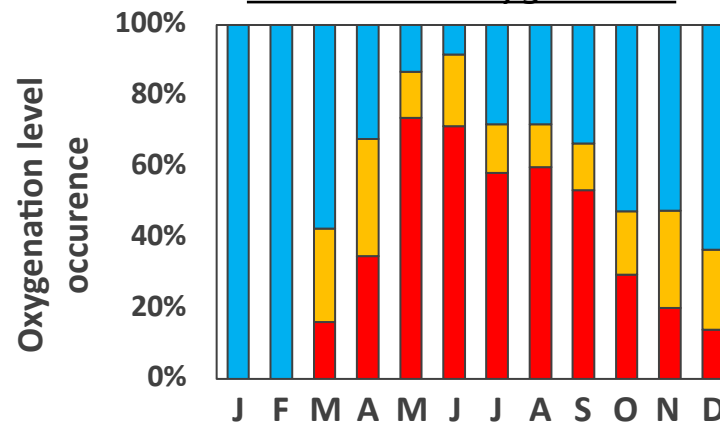
Reconstitution des demandes benthiques mensuelles en oxygène



Temps pour atteindre la désoxygénation et période de récurrence des vents forts



Probabilité d'occurrence des conditions d'oxygénation



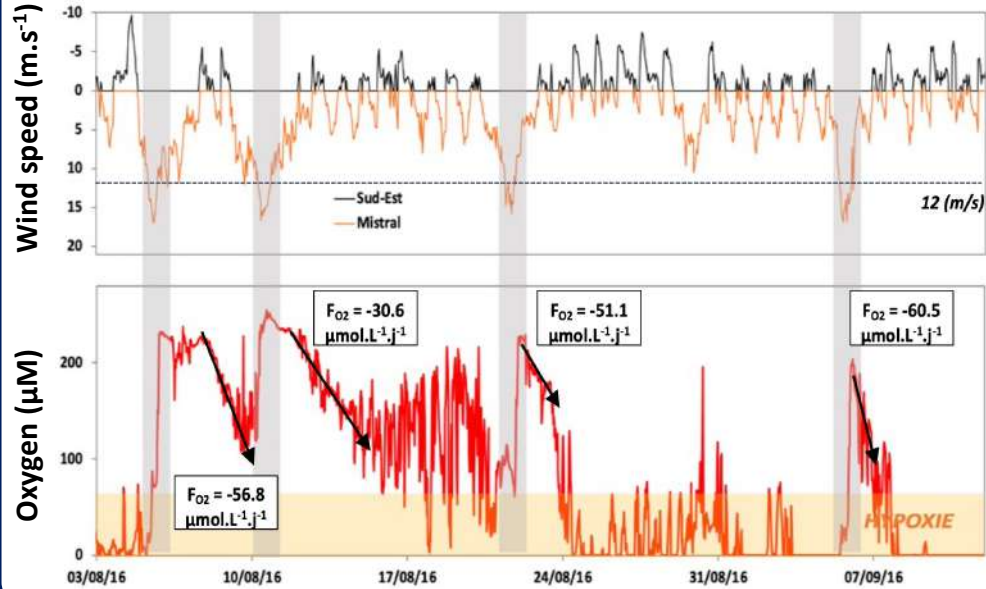
Hypothèses:

> Demande benthique en oxygène = seule cause de désoxygénation

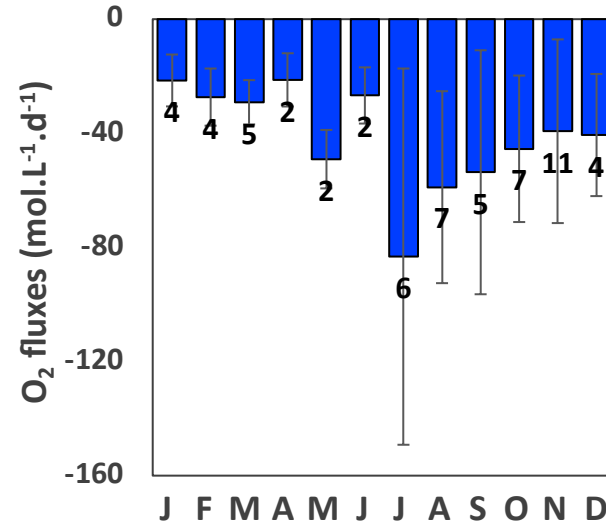
> Vent fort / déstratification = seule cause de réoxygénation

1. Demande benthique en oxygène et risque de désoxygénation

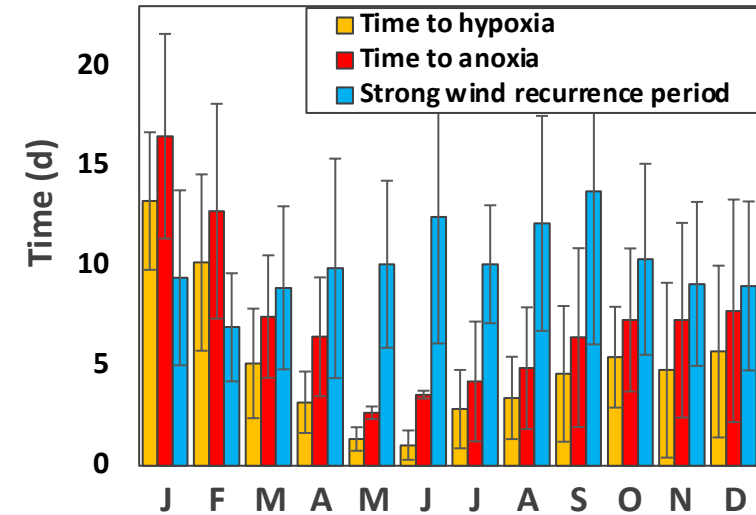
Chroniques temporelles d'oxygène



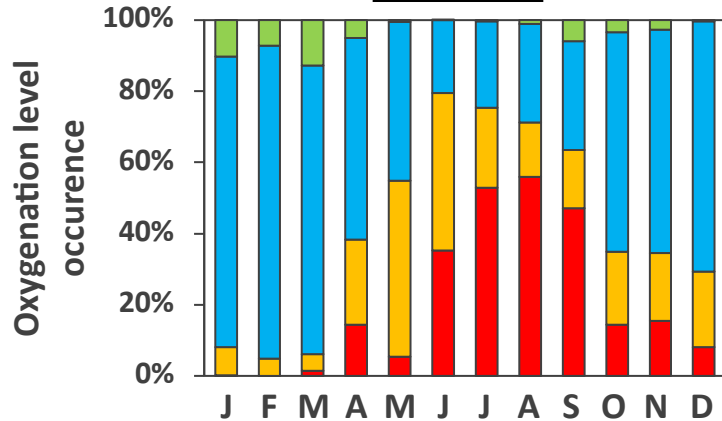
Reconstitution des demandes benthiques mensuelles en oxygène



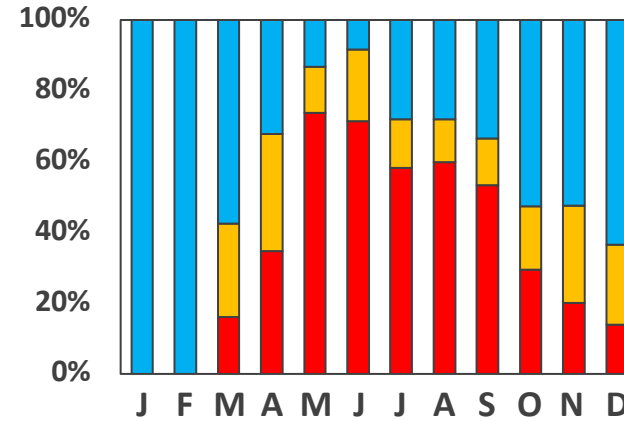
Temps pour atteindre la désoxygénation et période de récurrence des vents forts



Conditions d'oxygénation observées



Probabilité d'occurrence des conditions d'oxygénation

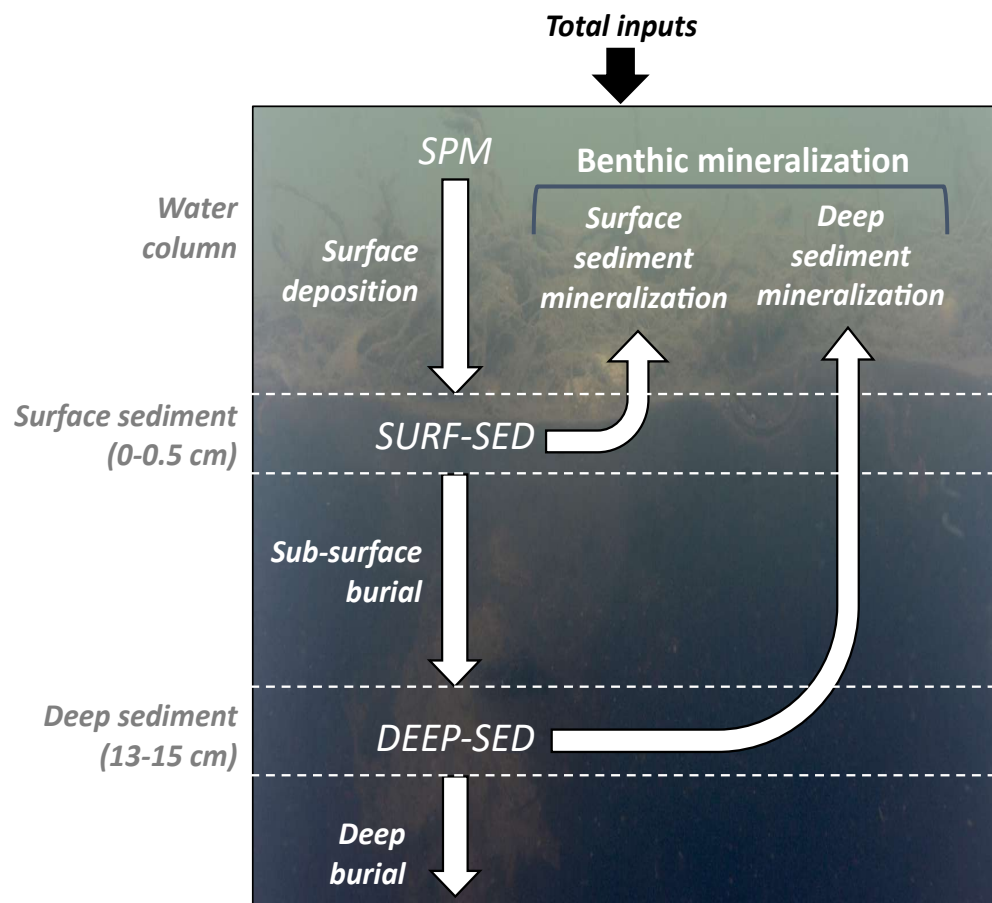


Hypothèses:

- > **Demande benthique en oxygène** = seule cause de **désoxygénation**
- > **Vent fort / déstratification** = seule cause de **réoxygénation**

2. Recyclage benthique des nutriments et risque d'eutrophisation

Modèle en boîte: bilan de masse en phase particulaire



1. Calcul sur les données disponibles

>

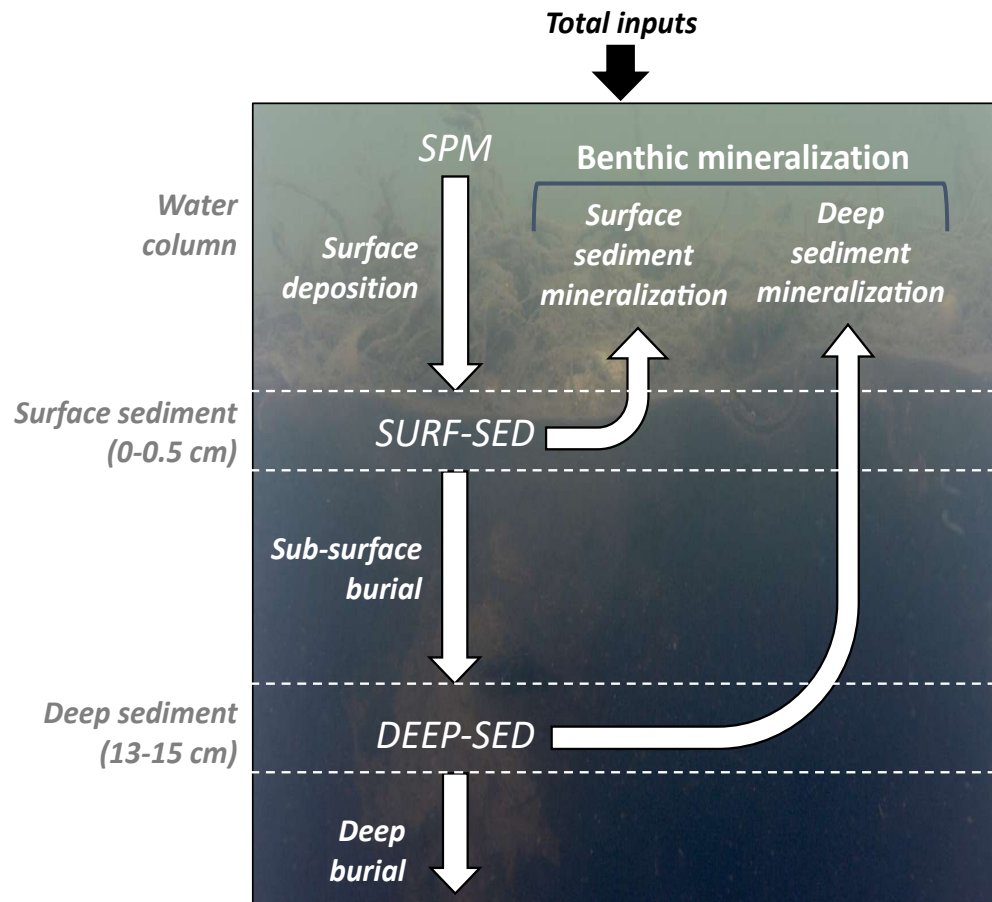
2. Extrapolation sur les 3 « écozones » de l'étang (0-4 m / 6-8 m / >7m)

>

3. Extrapolation à la totalité de l'étang

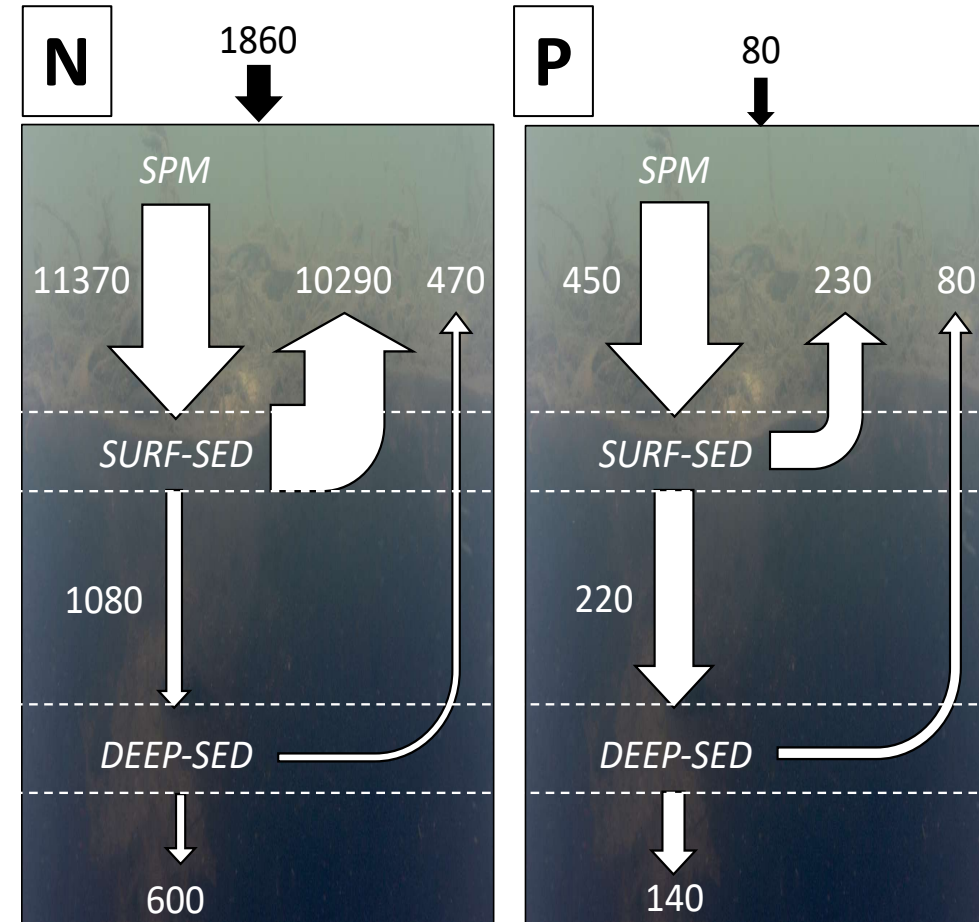
2. Recyclage benthique des nutriments et risque d'eutrophisation

Modèle en boîte: bilan de masse en phase particulaire



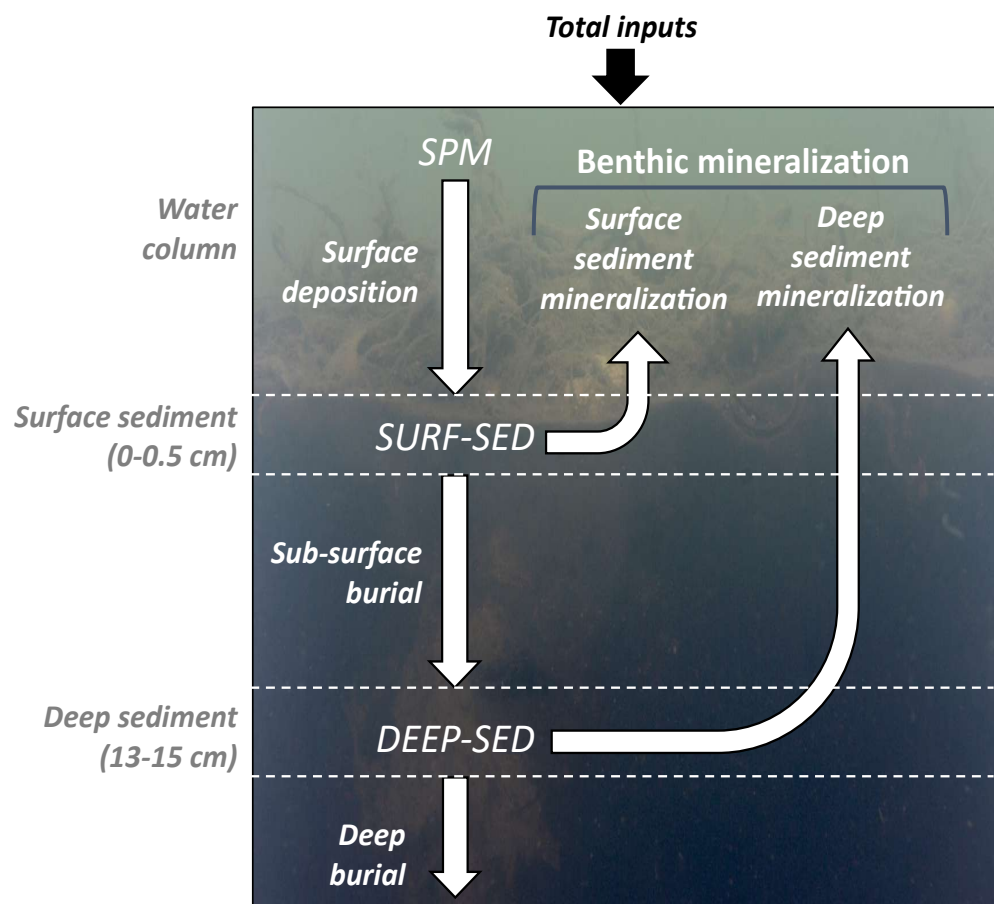
1. Calcul sur les données disponibles >
2. Extrapolation sur les 3 « écozones » de l'étang (0-4 m / 6-8 m / >7m) >
3. Extrapolation à la totalité de l'étang

Bilan des flux de nutriments (t/a)



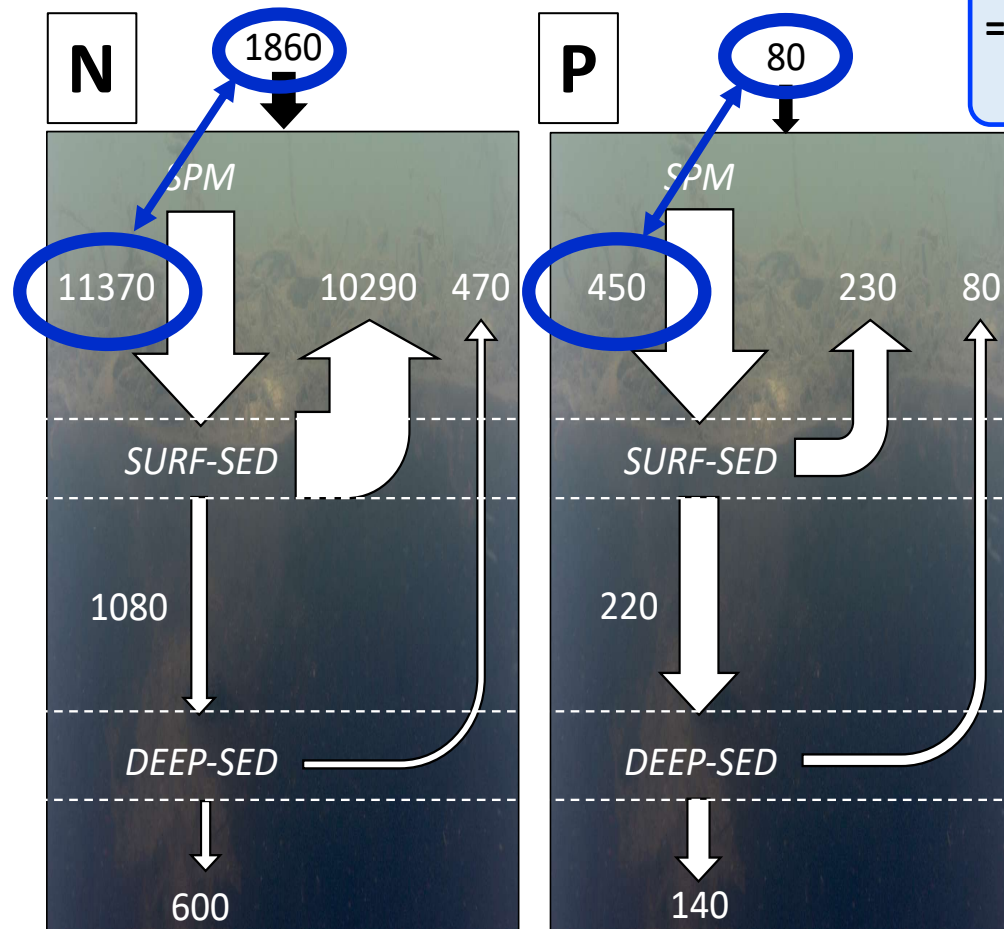
2. Recyclage benthique des nutriments et risque d'eutrophisation

Modèle en boîte: bilan de masse en phase particulaire



1. Calcul sur les données disponibles >
2. Extrapolation sur les 3 « écozones » de l'étang (0-4 m / 6-8 m / >7m) >
3. Extrapolation à la totalité de l'étang

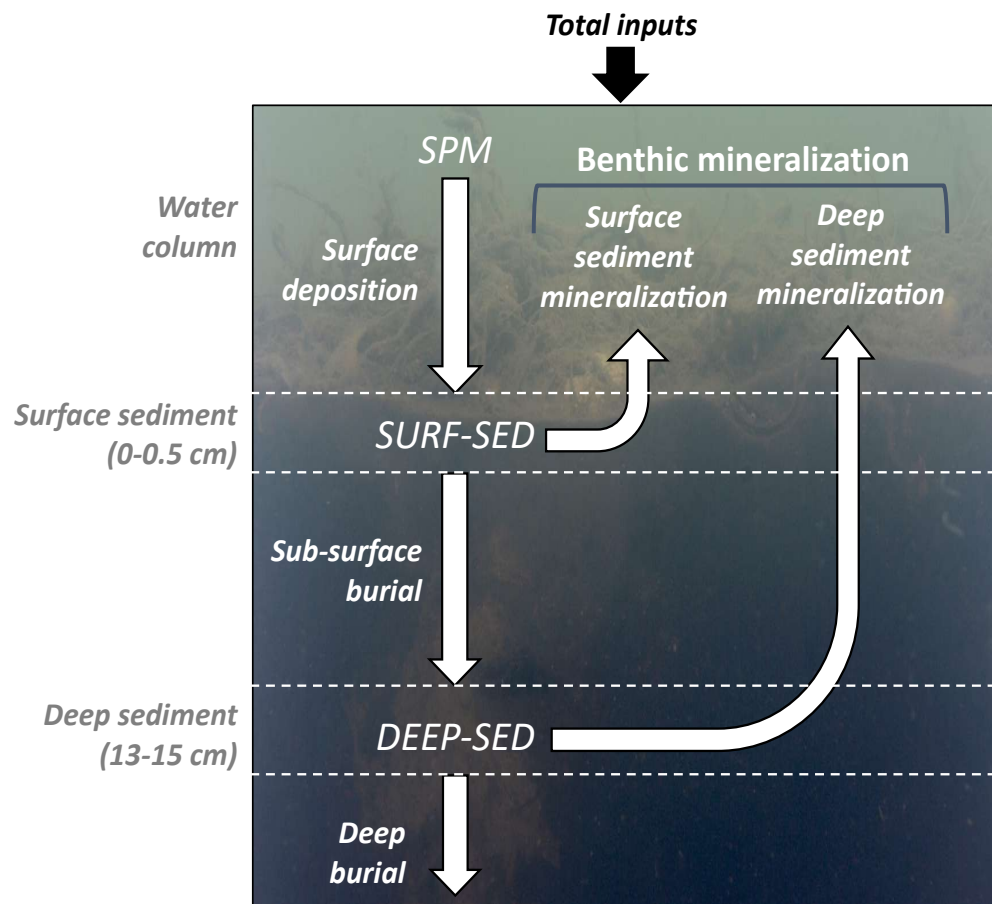
Bilan des flux de nutriments (t/a)



Dépôt >> apports
= important recyclage
benthique!

2. Recyclage benthique des nutriments et risque d'eutrophisation

Modèle en boîte: bilan de masse en phase particulaire



1. Calcul sur les données disponibles

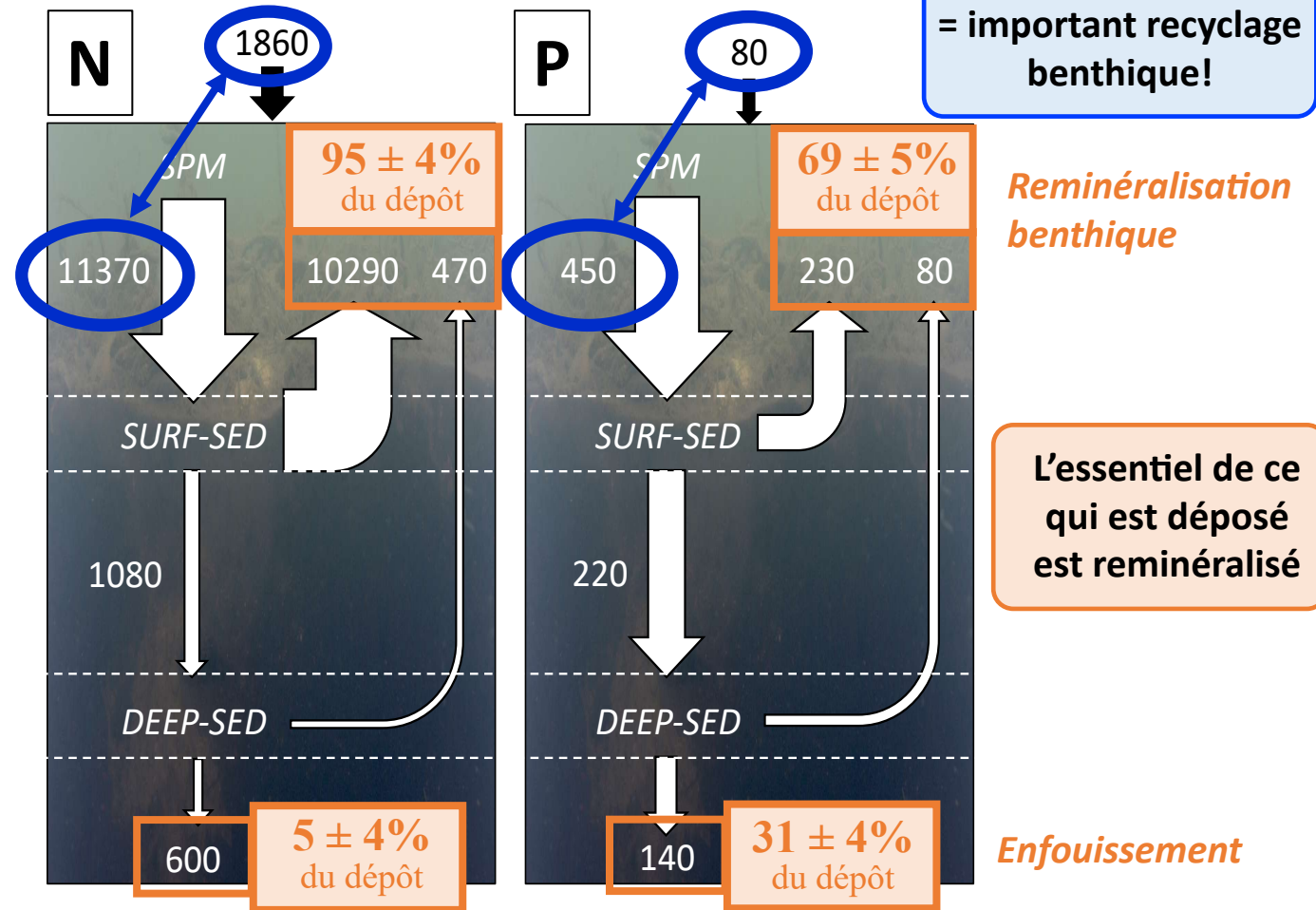
>

2. Extrapolation sur les 3 « écozones » de l'étang (0-4 m / 6-8 m / >7m)

>

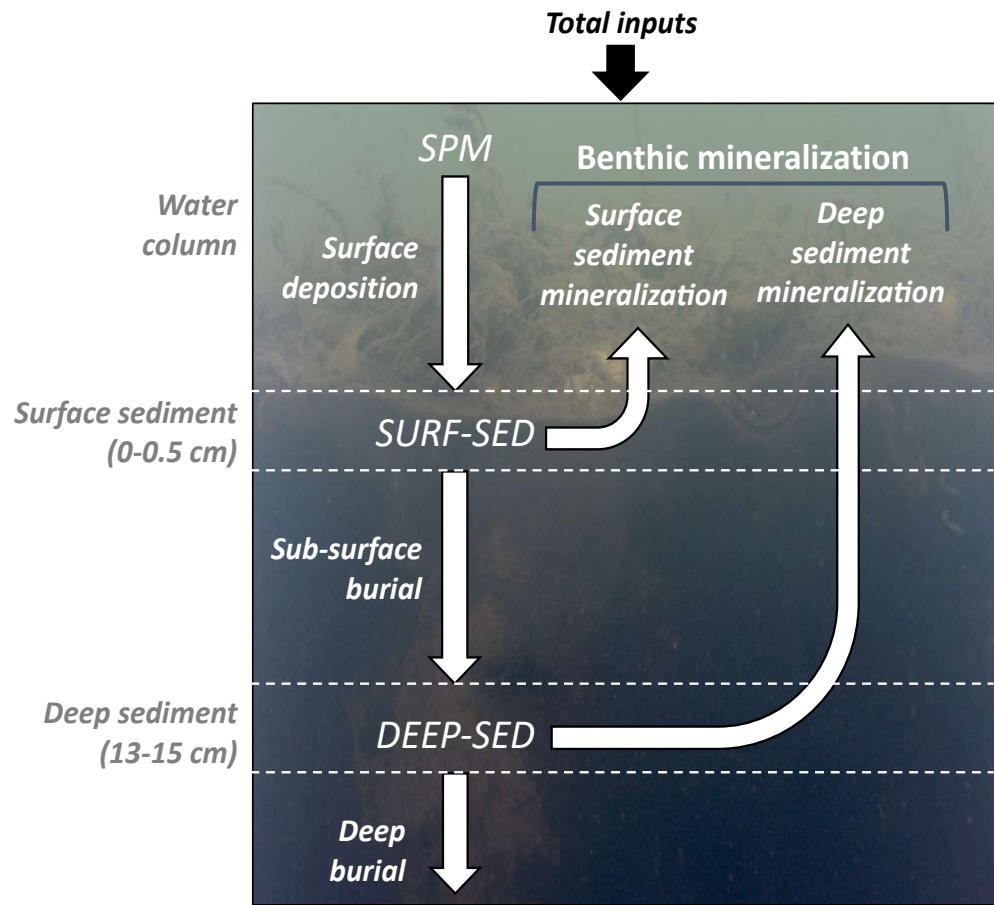
3. Extrapolation à la totalité de l'étang

Bilan des flux de nutriments (t/a)



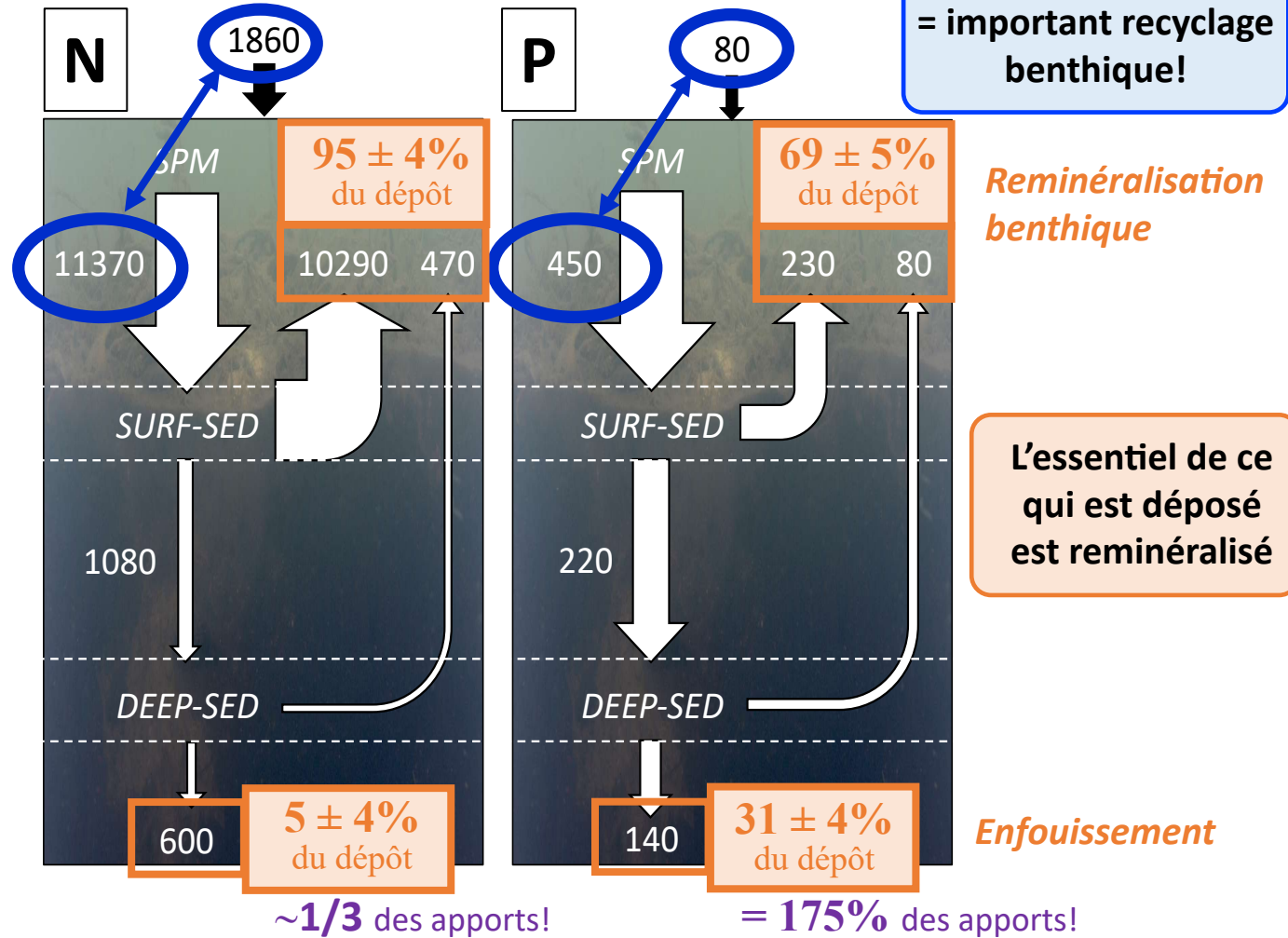
2. Recyclage benthique des nutriments et risque d'eutrophisation

Modèle en boîte: bilan de masse en phase particulaire



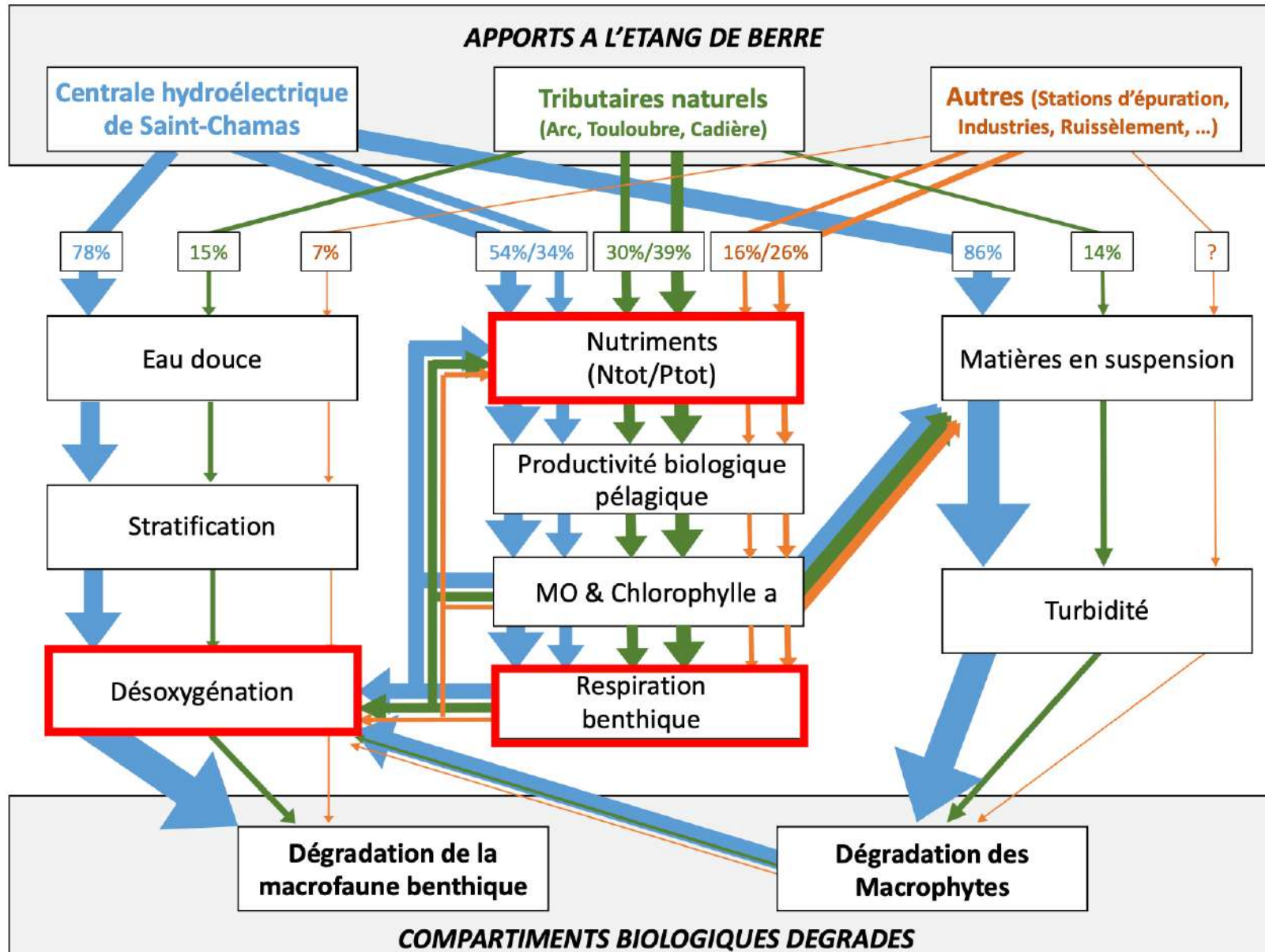
1. Calcul sur les données disponibles
- >
2. Extrapolation sur les 3 « écozones » de l'étang (0-4 m / 6-8 m / >7m)
- >
3. Extrapolation à la totalité de l'étang

Bilan des flux de nutriments (t/a)



Les sédiments contribuent à l'export net des nutriments au cours du temps (= oligotrophisation long-terme)

2. Recyclage benthique des nutriments et risque d'eutrophisation



Les points clés à retenir

Dynamique de l'oxygène

- > **Variabilité temporelle très importante** en lien avec le rôle des forçages externes (Température/Vent/lumière) sur les mécanismes internes (activité biologique, respiration/photosynthèse, solubilité, ...)
- > **Amplitude** de variation très importante (Hyperoxie ↔ Euxinie)
- > La **plupart des sites sont impactés** par des phénomènes de désoxygénation
- > **Augmentation** des phénomènes de désoxygénation au cours des décennies à venir

Les points clés à retenir

Dynamique de l'oxygène

- > **Variabilité temporelle très importante** en lien avec le rôle des forçages externes (Température/Vent/lumière) sur les mécanismes internes (activité biologique, respiration/photosynthèse, solubilité, ...)
- > **Amplitude** de variation très importante (Hyperoxie ↔ Euxinie)
- > La **plupart des sites sont impactés** par des phénomènes de désoxygénation
- > **Augmentation** des phénomènes de désoxygénation au cours des décennies à venir

Flux benthiques en oxygène/nutriments/polluants

- > L'impact de l'oxygénation dans la colonne d'eau sur les flux benthiques est particulièrement complexe (plusieurs compartiments couplés aux dynamiques de réponses propres)
- > Les flux benthiques sont **extrêmement variables** en lien avec 1) les conditions d'oxygénation (Hyperoxie ↔ Euxinie), 2) leurs variabilités temporelles (stationnaire vs transitoire), 3) la vitesse (ex: heure/saison) et 4) le sens (désoxygénation vs réoxygénation) de ces variations
- > Si les processus en jeu sont assez bien compris, les flux restent difficilement prédictibles

Les points clés à retenir

Dynamique de l'oxygène

- > **Variabilité temporelle très importante** en lien avec le rôle des forçages externes (Température/Vent/lumière) sur les mécanismes internes (activité biologique, respiration/photosynthèse, solubilité, ...)
- > **Amplitude** de variation très importante (Hyperoxie ↔ Euxinie)
- > La **plupart des sites sont impactés** par des phénomènes de désoxygénation
- > **Augmentation** des phénomènes de désoxygénation au cours des décennies à venir

Flux benthiques en oxygène/nutriments/polluants

- > L'impact de l'oxygénation dans la colonne d'eau sur les flux benthiques est particulièrement complexe (plusieurs compartiments couplés aux dynamiques de réponses propres)
- > Les flux benthiques sont **extrêmement variables** en lien avec 1) les conditions d'oxygénation (Hyperoxie ↔ Euxinie), 2) leurs variabilités temporelles (stationnaire vs transitoire), 3) la vitesse (ex: heure/saison) et 4) le sens (désoxygénation vs réoxygénation) de ces variations
- > Si les processus en jeu sont assez bien compris, les flux restent difficilement prédictibles

Implication des sédiments dans la dégradation écologique des lagunes méditerranéennes

- > Demande benthique en oxygène est impliquée (+ la stratification de la colonne d'eau) dans l'occurrence des phénomènes de désoxygénation (ex: Etang de Berre)
- > L'enfouissement des nutriments dans les sédiments contribue à limiter l'eutrophisation (long terme) mais l'intense recyclage benthique de P et N contribue à retarder cet effet (moyen terme)
- > Implication probable sur la contamination chimique (métaux, additifs organiques) mais non quantifiée

1. Curriculum Vitae

2. Recherches actuelles

3. Projets futurs

2024

Projets (formels & informels) en cours

2029

Projet intégrateur ambitieux

2034



2024

Projets (formels & informels) en cours

2029

Projet intégrateur ambitieux

2034

Renforcement/élargissement des connaissances sur les cycles biogéochimiques benthiques en zone côtières

1) Flux à l'interface en régime diagénétique transitoire

→ Développement/utilisation d'outils expérimentaux novateurs: BOGOS/SUSANE, Chambres benthiques autonomes, microprofileurs (projet JERICO3), CHEMINIs, MiniPEPITO, Thoë/DGT (projet GoL_EOLE, 2025-2027)

→ Outils de modélisation diagénétique prédictive non stationnaire (projet thèse L. Huchet: 2023-2025)



2) Impacts des forçages hydroclimatiques et anthropiques futurs sur le fonctionnement des zones côtières

→ Accompagnement des gestionnaires/actions de réhabilitation:

Flux maximum admissibles, tunnel du Rove/Bourdigues/rejets EDF (CS Etang de Berre)



→ Évaluation de l'impact des forçages hydroclimatiques sur les zones côtières:

Régimes fluviaux (projet RIOMAR: 2023-2029), stress thermiques/désoxygénation (projet thèse L. Huchet: 2023-2025)



→ Impact du déploiement des parcs éoliens en mer (projet GoL_EOLE, 2025-2027, CS Eolien, Obs GF)

3) Cycle des plastiques/additifs dans le sédiment

→ Sources/devenir dans l'étang de Berre (Projet Laboratoire Plastique de Pamparigouste, 2023-2025), d'accumulation sédimentaire et relargage d'additifs chimiques (Projets PLASTICORREV, 2024-2025 – PLASTICOHM, 2024-2025)



2024

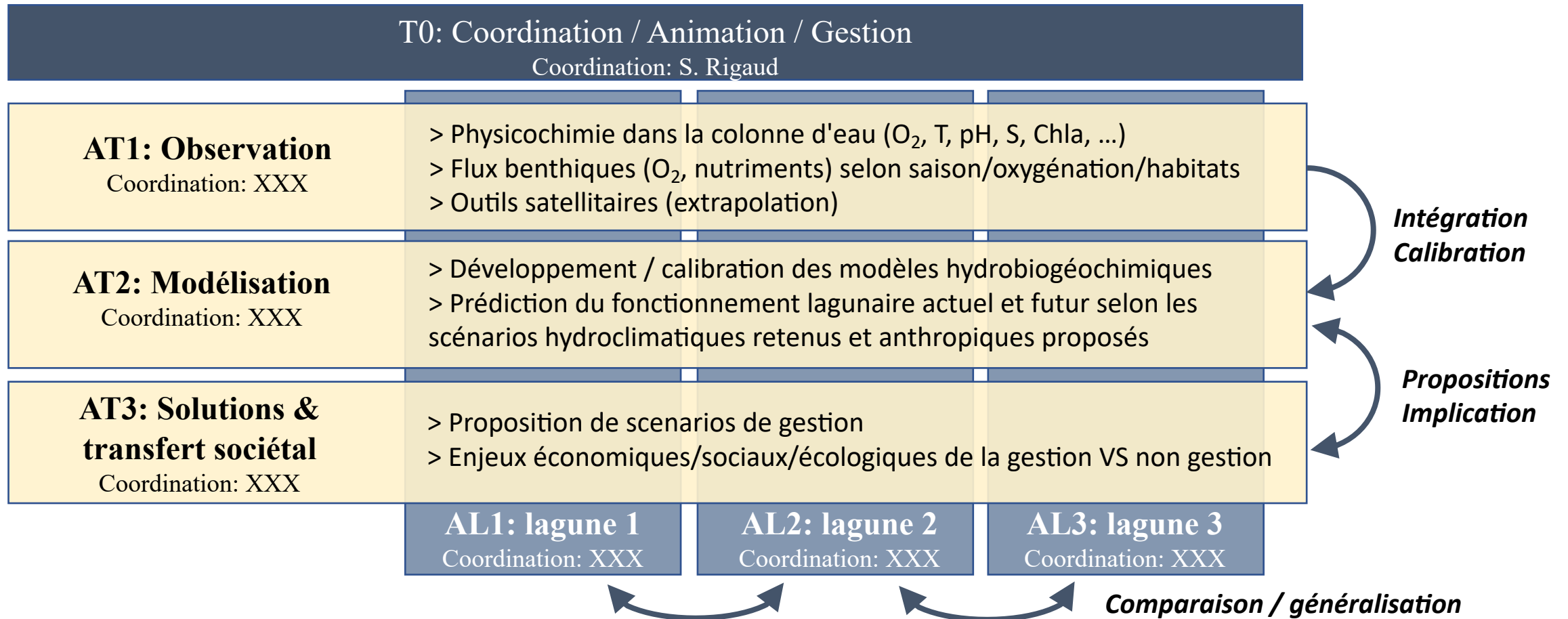
Projets (formels & informels) en cours

2029

Projet intégrateur ambitieux

2034

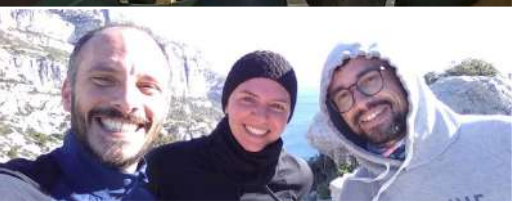
Fonctionnement hydrobiogéochimique et écologique des LAGunes méditerranéennes au 21^{ème} siècle sous l'influence des forçages hydroclimatiques et anthropiques: risques et stratégie d'adaptation (LAG21)



MERCI



**de m'avoir appris à faire de la belle science entre amis/es
et de m'avoir donné le gout de la rigueur sans trop se prendre au sérieux!!!**



**de m'avoir appris à faire de la belle science entre amis/es
et de m'avoir donné le gout de la rigueur sans trop se prendre au sérieux!!!**

Et à mes nombreux/ses collaborateurs/rices
physicobiogéomodéoloécomicromacrochimicologistologues benthiques!
(et pour beaucoup aussi amis/es)

