



**WEBINAIRE  
INTER-ESTUAIRES**

**Estuaires : traits généraux et spécificités de ces socio-écosystèmes  
pour l'appui à la gestion**

**SESSION 3 - Restauration du fonctionnement écologique : influence  
des facteurs environnementaux et anthropiques**

**Réflexions sur la réhabilitation écologique en milieu estuarien**

Jean-Michel Olivier - UMR CNRS 5023- LEHNA

Cécile Capderrey – BRGM

Manuel Muntoni – GIP Seine-Aval

15 Décembre 2020



COORDINATION  
INTER-ESTUAIRES



OFB  
OFFICE FRANÇAIS  
DE LA BIODIVERSITÉ



GIP Seine-Aval  
GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC

## Définition

### **Réhabilitation :**

« La réhabilitation insiste sur la réparation et la récupération des processus, et donc sur la productivité et les services de l'écosystème, tandis que la restauration vise également à rétablir l'intégrité biotique préexistante, en termes de composition spécifique et de structure des communautés ». (J. Aronson, *Espaces naturels*, 29, 2010)

« An ecosystem has recovered - and is restored – when it contains sufficient biotic and abiotic **resources to continue its development without further assistance or subsidy. It will sustain itself structurally and functionally.**

It will demonstrate **resilience to normal ranges of environmental stress** and disturbance. It will interact with contiguous ecosystems in terms of biotic and abiotic flows and cultural interactions. »

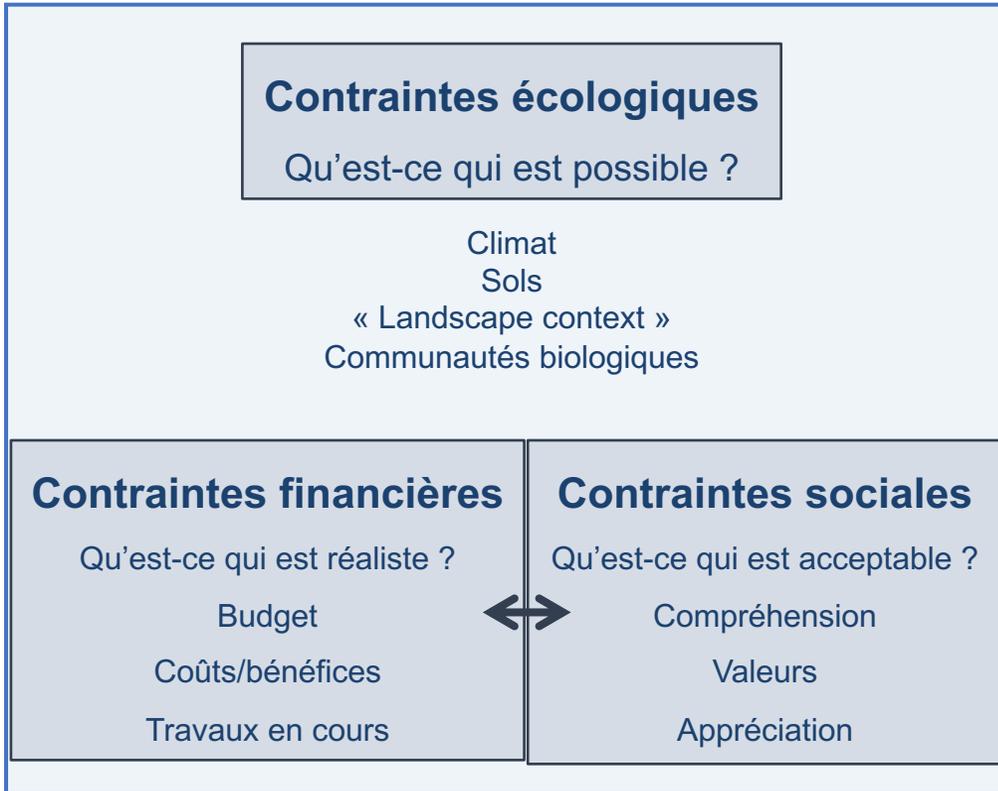
**Résilience** : capacité d'un système à « absorber » une perturbation et à se réorganiser tout en maintenant des fonctions, une structure et des boucles de rétroaction similaires à l'état pré-perturbation.

### **Ce qui favorise la résilience**

- la redondance écologique de groupes fonctionnels critiques qui permet une diversité de réponses aux « drivers » environnementaux mais qui permet de maintenir les fonctions (processus) au sein de l'écosystème
- des facteurs paysagers comme l'hétérogénéité spatiale, la fragmentation et la connectivité

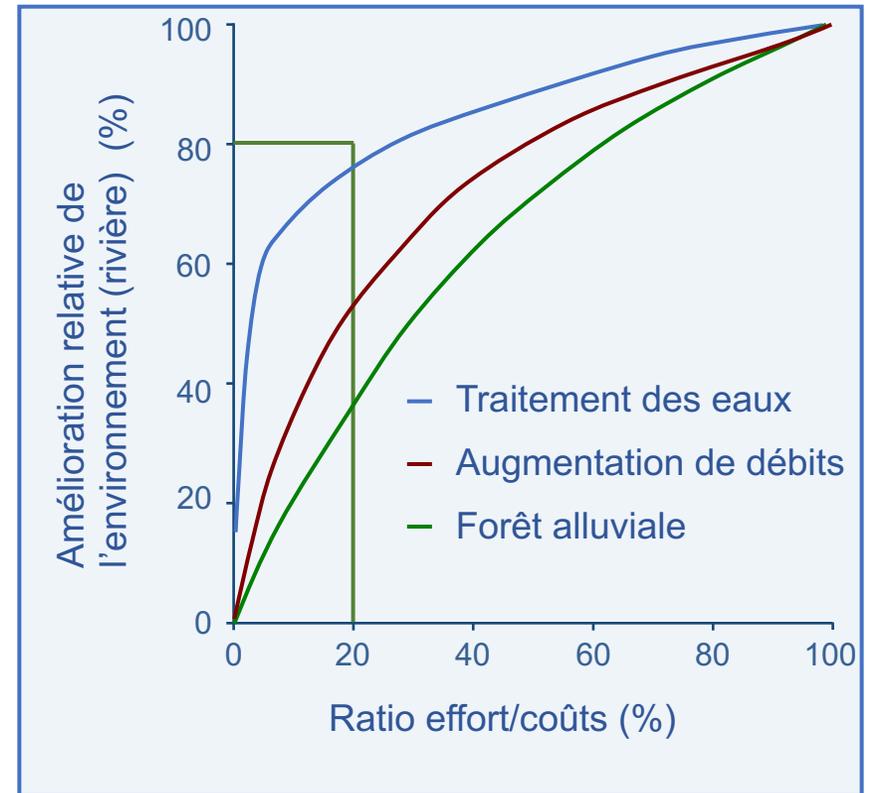
# Contexte : restauration écologique

## Projets de restauration écologique



Miller J.R. & Hobbs R. (2007) *Restoration ecology* (15 (3), 382-390)

## Évaluation coûts-bénéfices



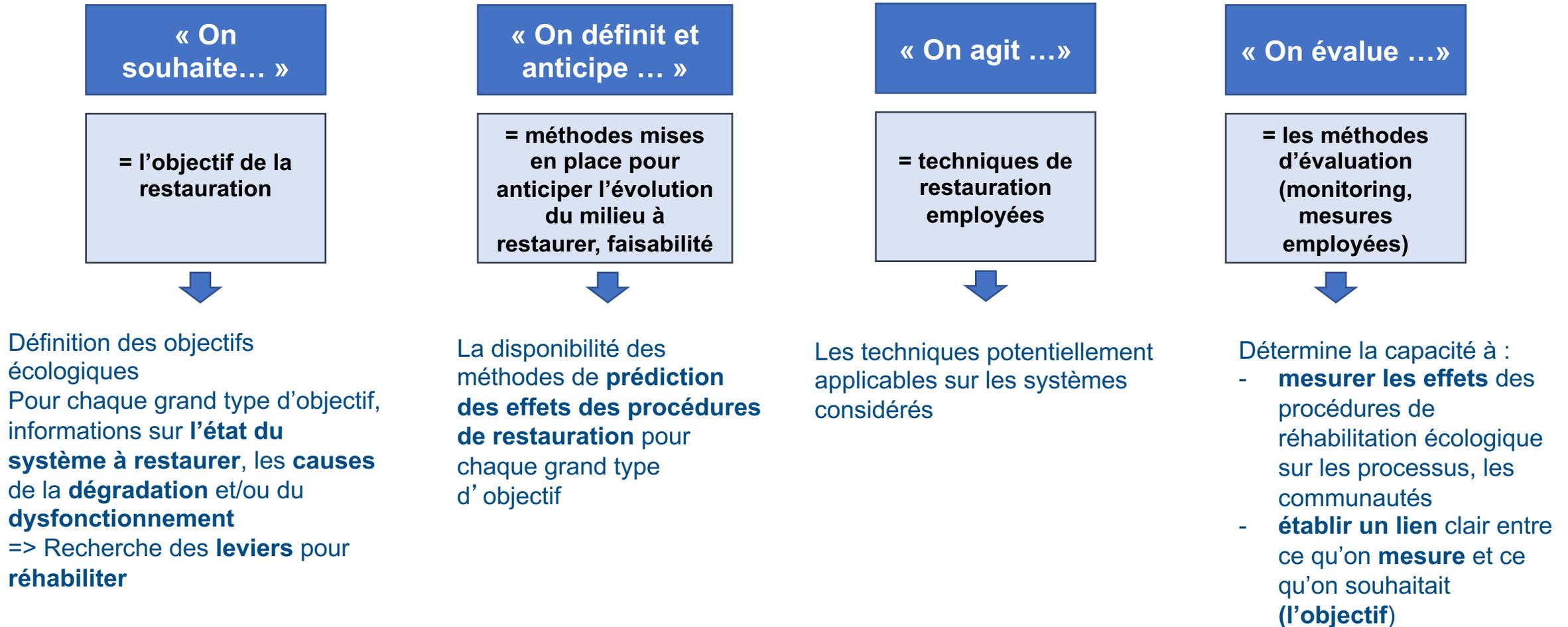
## Difficultés

- Définir des objectifs écologiques, réhabiliter les processus plutôt que les formes
- Peu de données / anticipation
- Predictabilité ?
- « Statistical power » ? (effet taille, monitoring...)

**Besoin de retours d'expériences**

## Aspects scientifiques et techniques

### La démarche



Les traits d'histoire de vie de nombreuses espèces aquatiques ou semi-aquatiques sont synchronisés avec la variabilité spatio-temporelle de la disponibilité des habitats en lien avec l'hydrodynamisme du système (Tockner *et al.*, 2010)

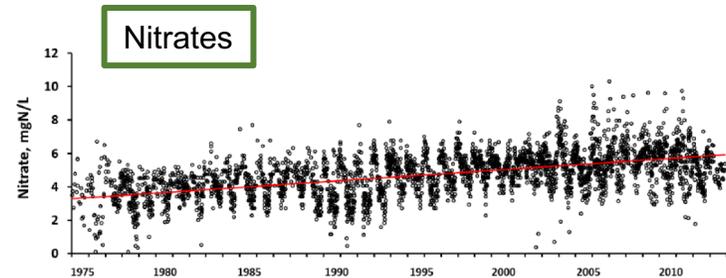
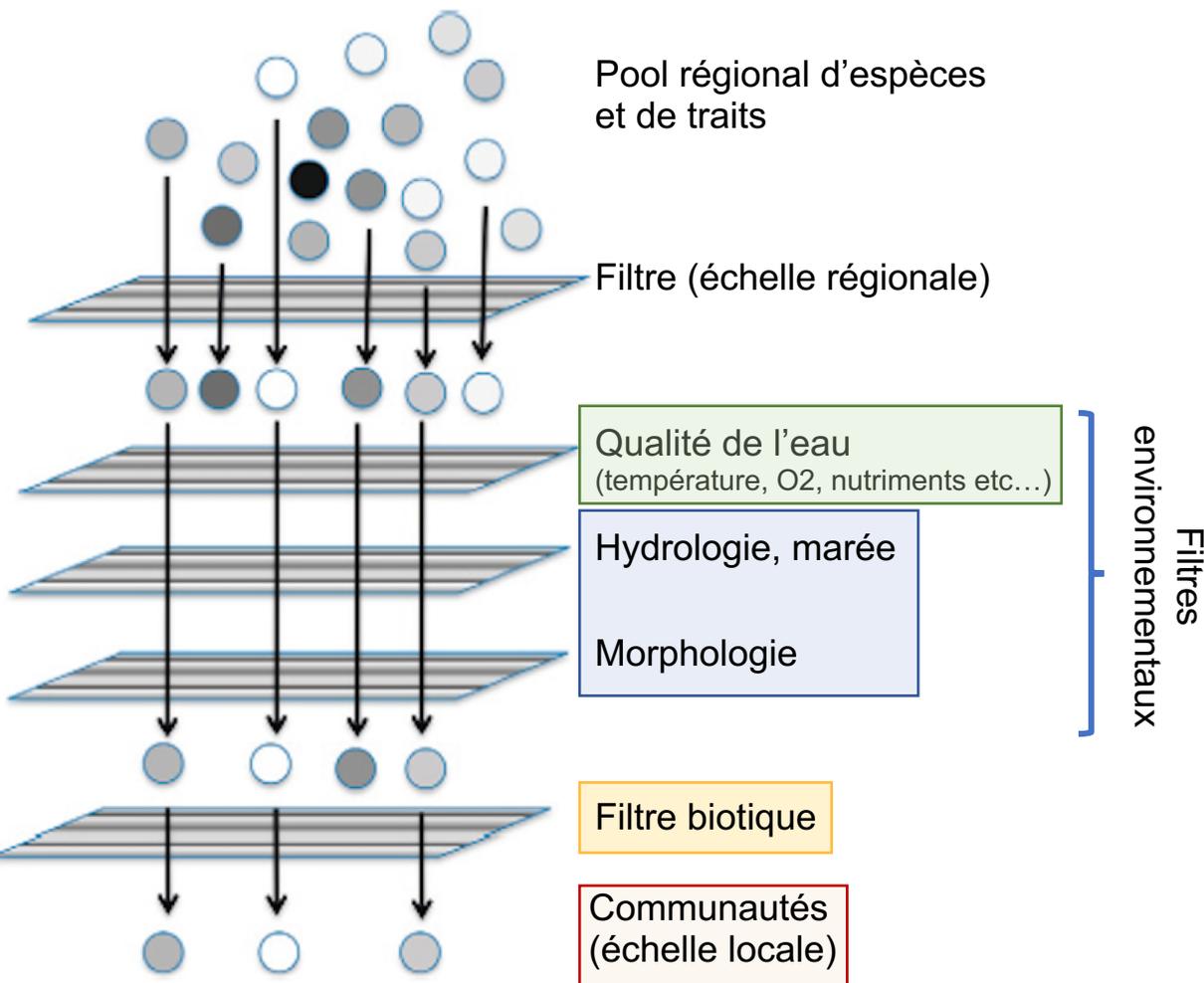
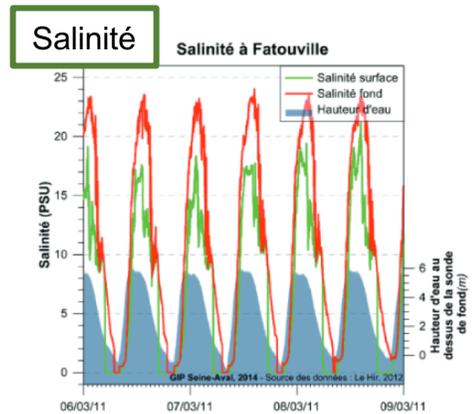
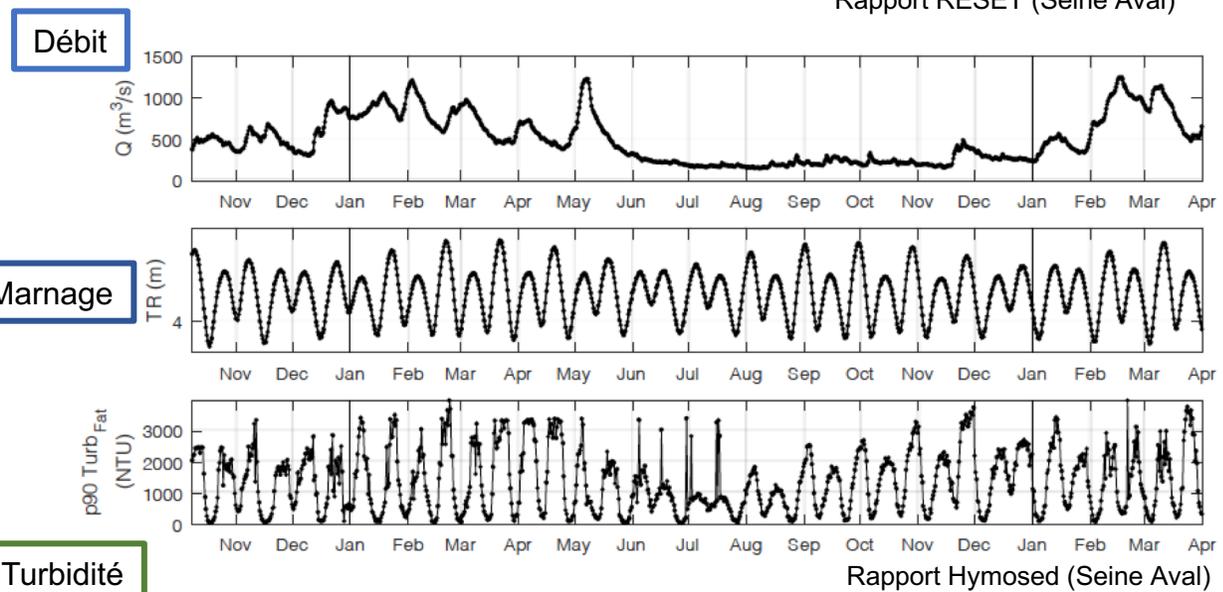
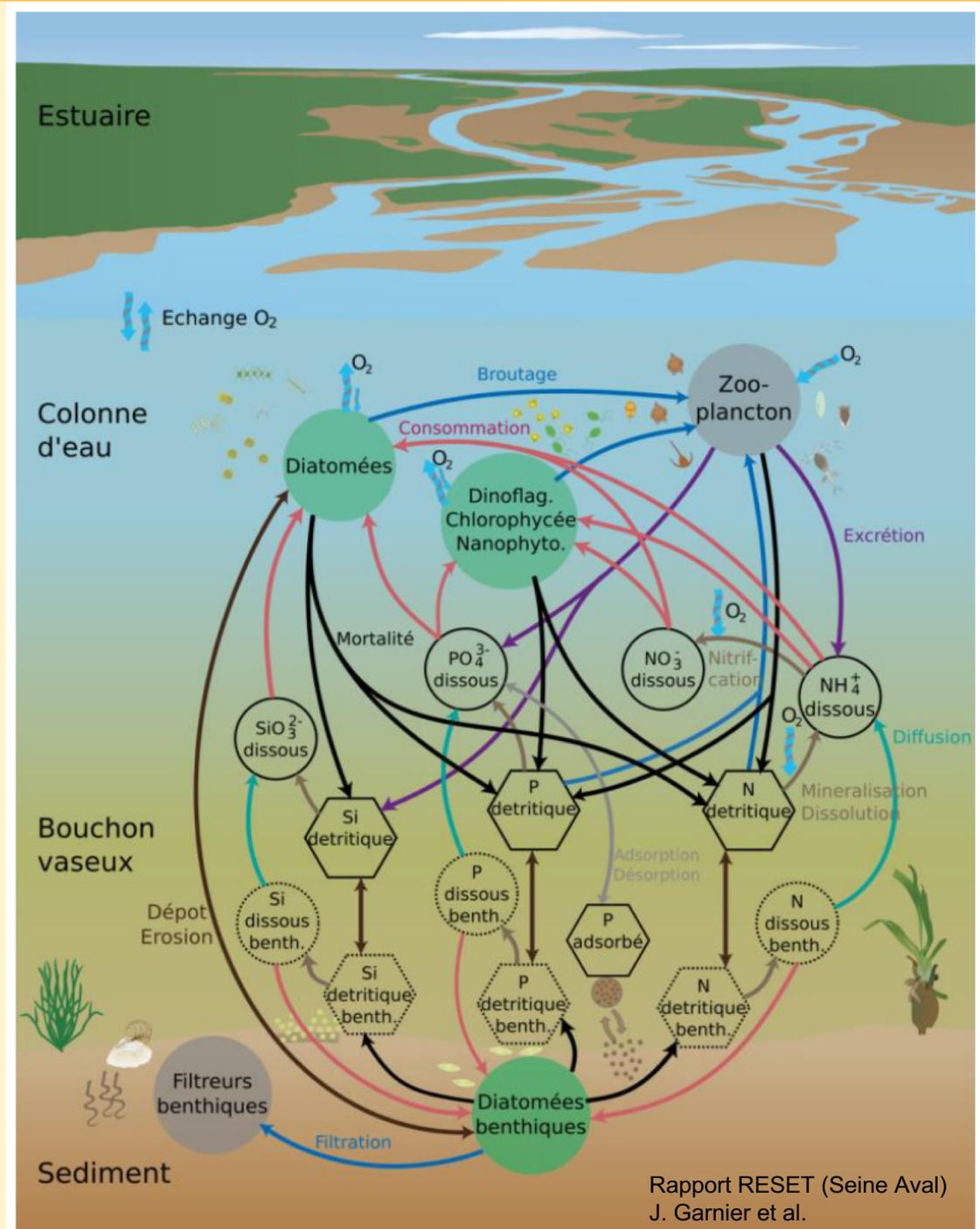
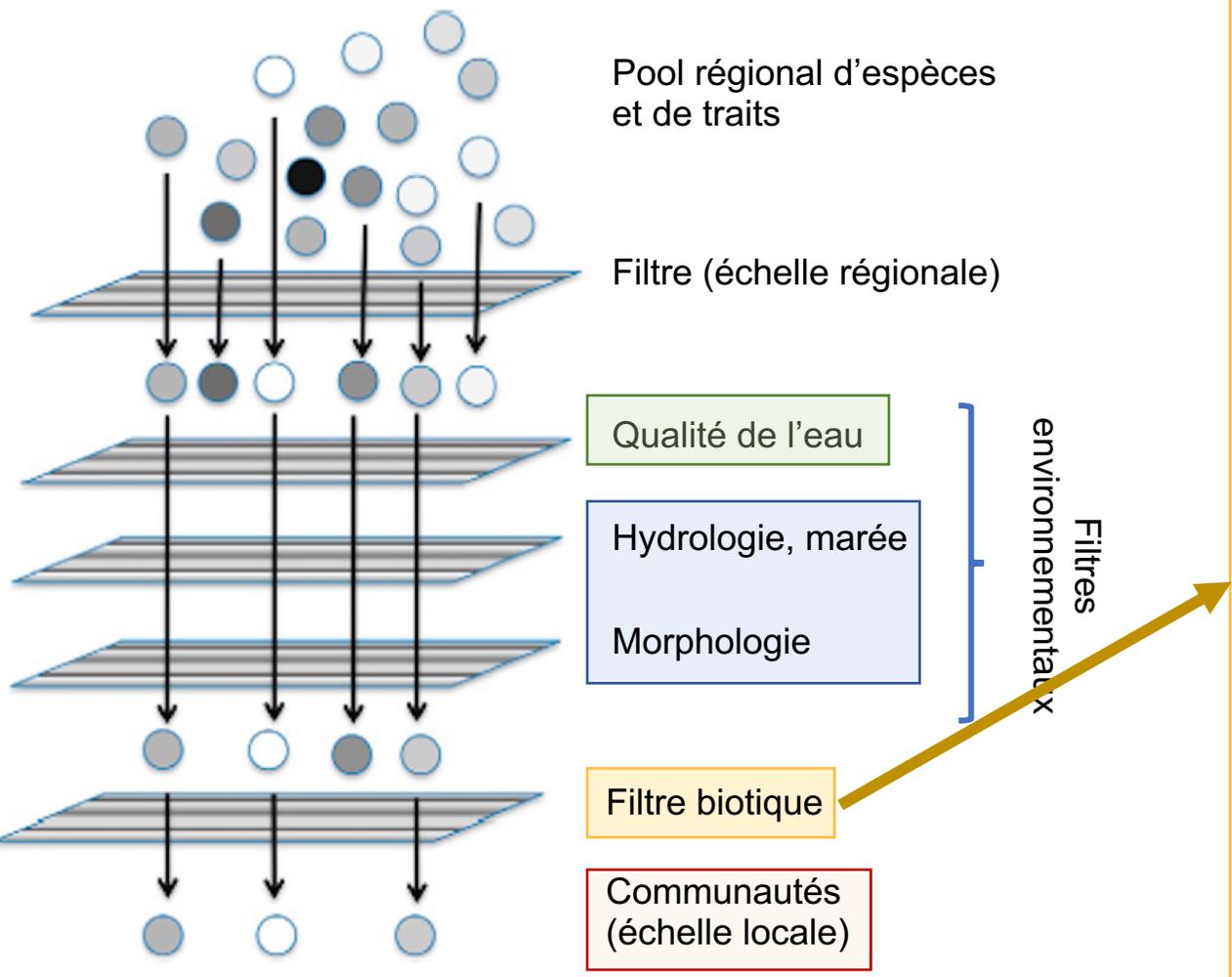


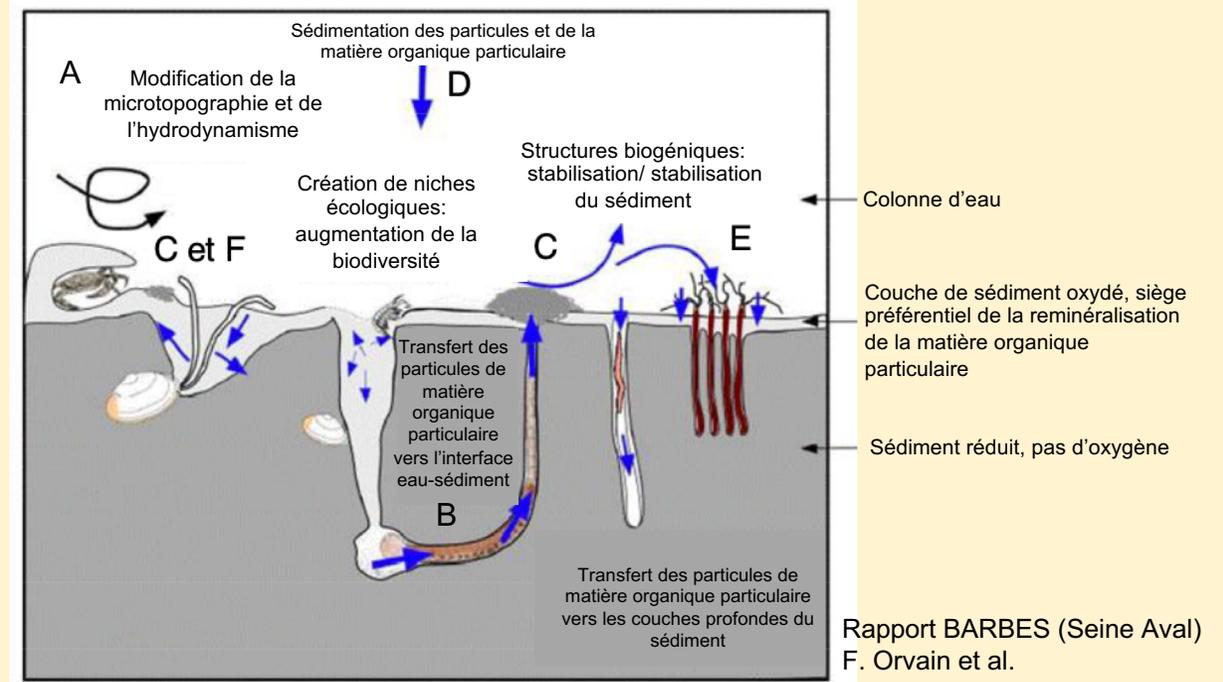
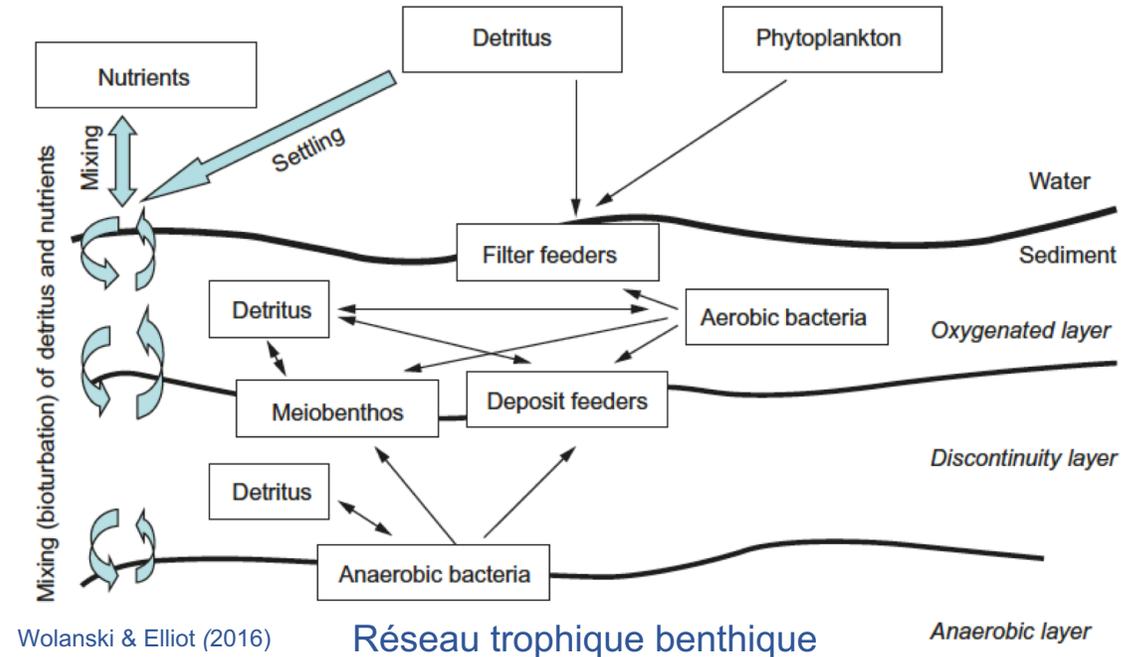
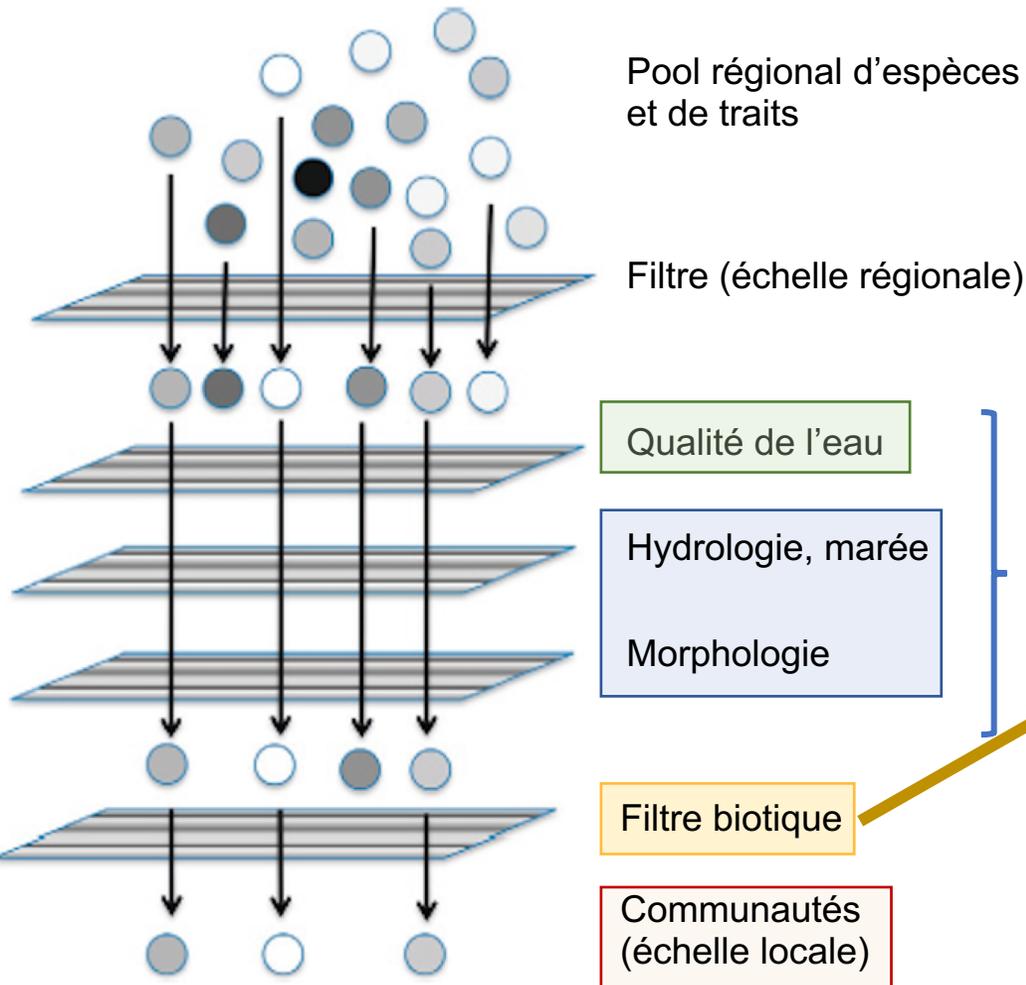
Figure 18 : Evolution des concentrations en nitrate à l'entrée de l'estuaire à Poses de 1975 à 2013.



Les traits d'histoire de vie de nombreuses espèces aquatiques ou semi-aquatiques sont synchronisés avec la variabilité spatio-temporelle de la disponibilité des habitats en lien avec l'hydrodynamisme du système (Tockner *et al.*, 2010)

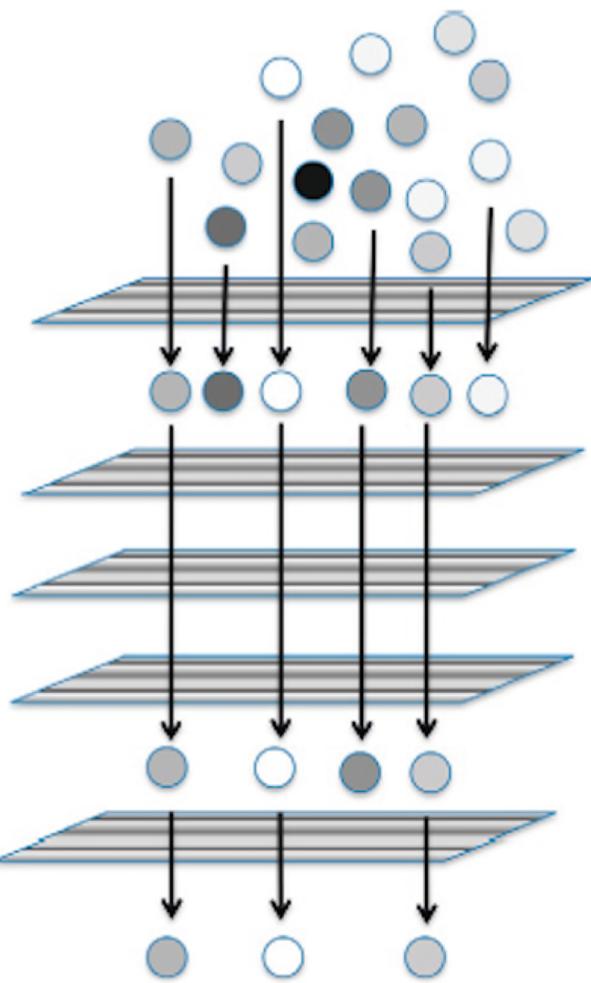


Les traits d'histoire de vie de nombreuses espèces aquatiques ou semi-aquatiques sont synchronisés avec la variabilité spatio-temporelle de la disponibilité des habitats en lien avec l'hydrodynamisme du système (Tockner *et al.*, 2010)



Diversité des processus de bioturbation induisant une modification de l'érodabilité des sédiments

Les traits d'histoire de vie de nombreuses espèces aquatiques ou semi-aquatiques sont synchronisés avec la variabilité spatio-temporelle de la disponibilité des habitats en lien avec l'hydrodynamisme du système (Tockner *et al.*, 2010)



Pool régional d'espèces et de traits

Filtre (échelle régionale)

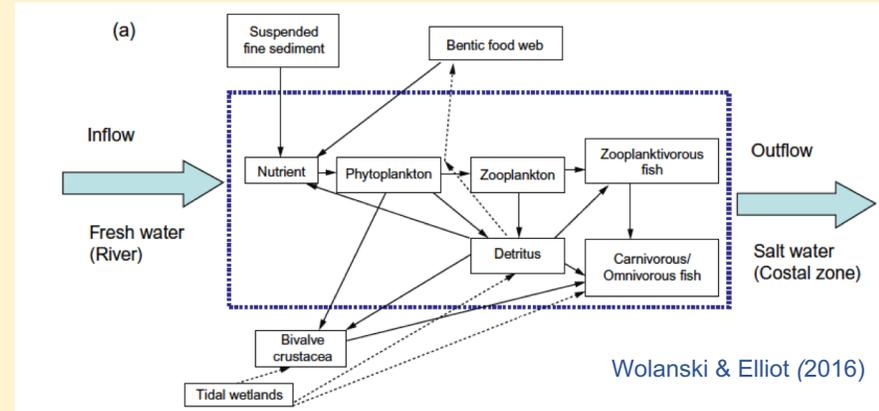
Qualité de l'eau

Hydrologie, marée  
Morphologie

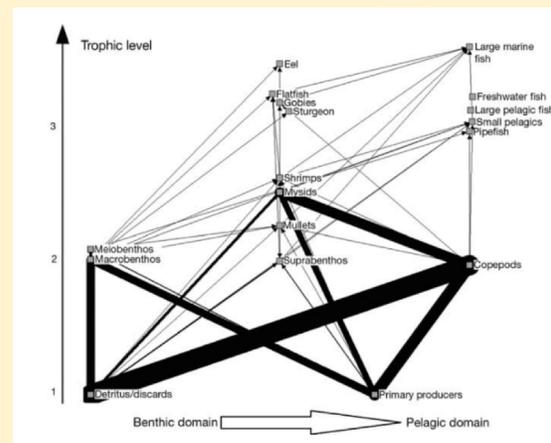
Filtre biotique

Communautés (échelle locale)

Filtres environnementaux

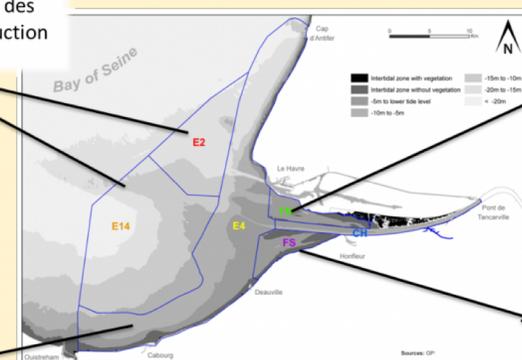


Wolanski & Elliot (2016)



Le réseau trophique de l'estuaire de la Gironde (d'après Lobry *et al.* 2008)

**Boîtes marines:**  
Part plus importante des poissons dans la production secondaire

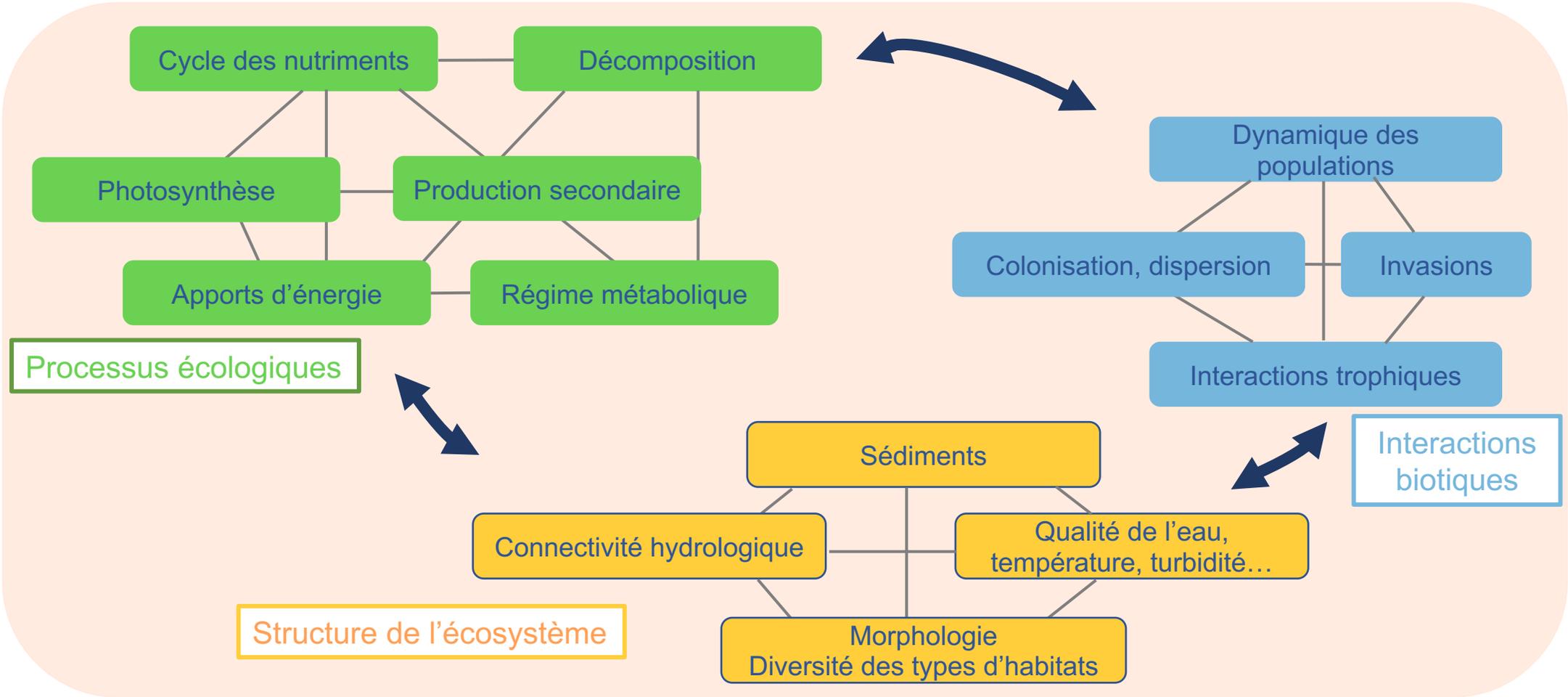
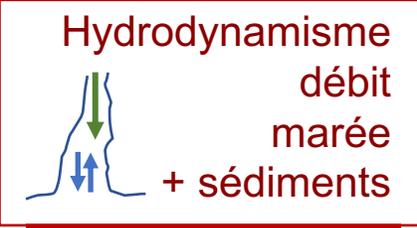


**FN:**  
Fort recyclage  
Forte omnivorie  
=  
Stressé

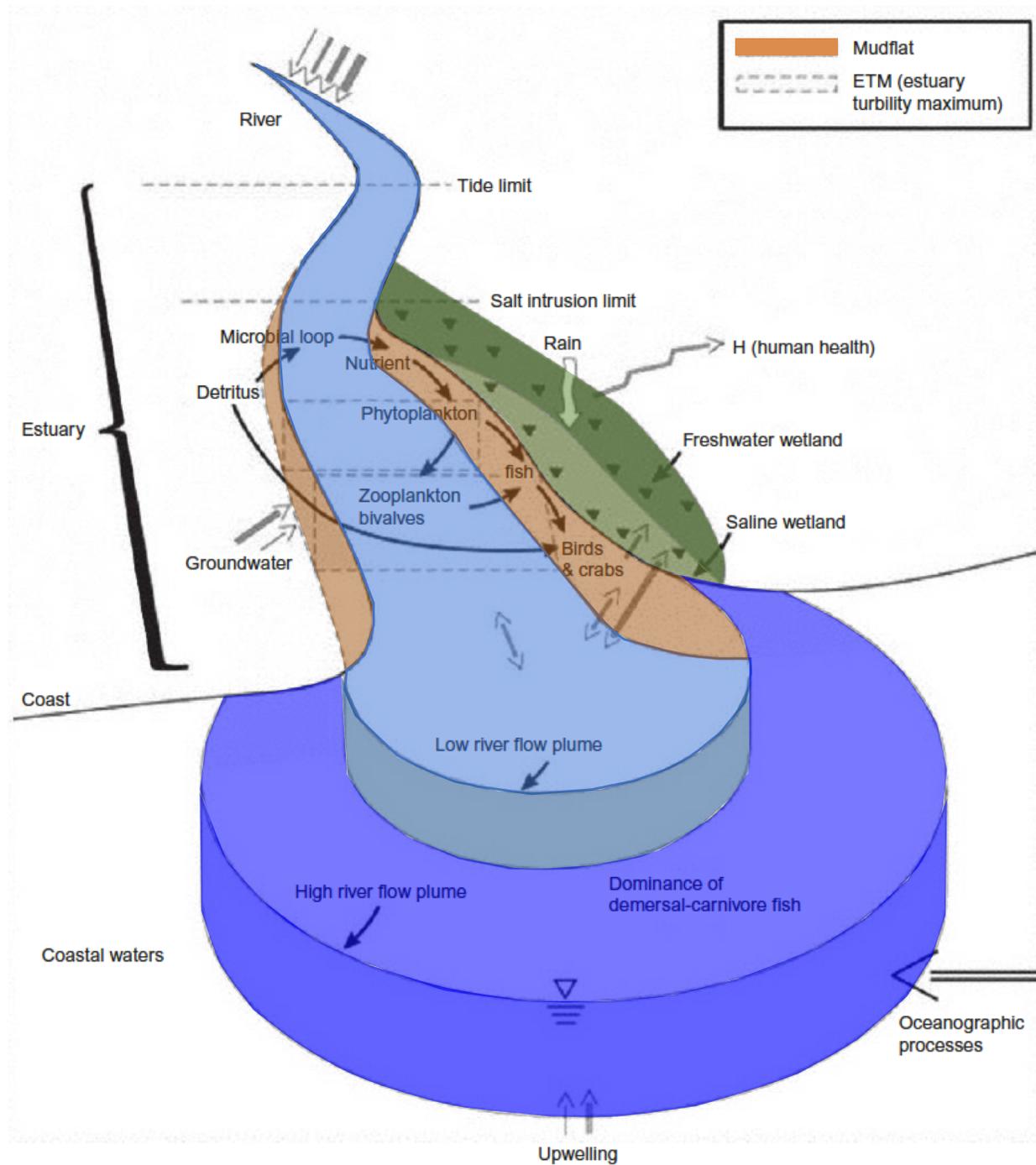
**Zone de transition:**  
Des espèces clés de bas niveau trophique (un contrôle "bottom-up")

**FS:**  
Forte activité  
Faible recyclage  
Faible omnivorie  
=  
Moins stressé

# Réhabilitation des processus (intégrité de l'écosystème) dans un système très dynamique à plusieurs échelles spatio-temporelles



D'après Palmer M., Ruhi A. (2019) Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration. *Science* 365, eaaw2087 (2019)



# Estuaire et fonctionnalité estuarienne

## Les fonctions écologiques estuariennes

### Fonctions de soutien au cycle de vie des organismes

**Habitats Essentiels**  
(nourricerie, reproduction, migration, repos, croissance, alimentation...)



Prairies humides

Roselières

Vasières

Colonne d'eau et milieux subtidaux

### Fonctions hydro-morpho-sédimentaires



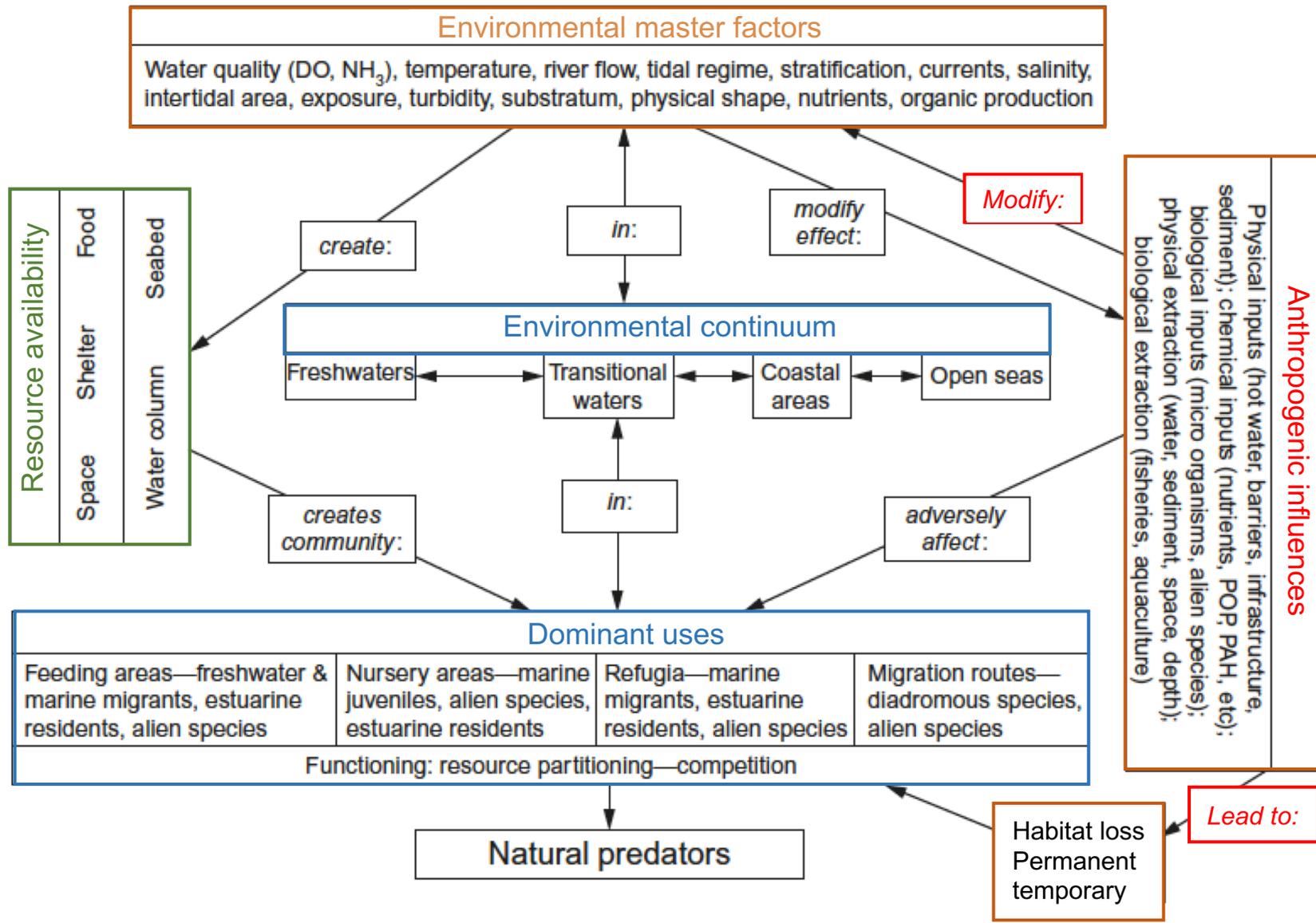
**Flux de matière et structuration des habitats**  
(transport, stockage de nutriments, sédiments, contaminants)

### Fonctions biogéochimiques

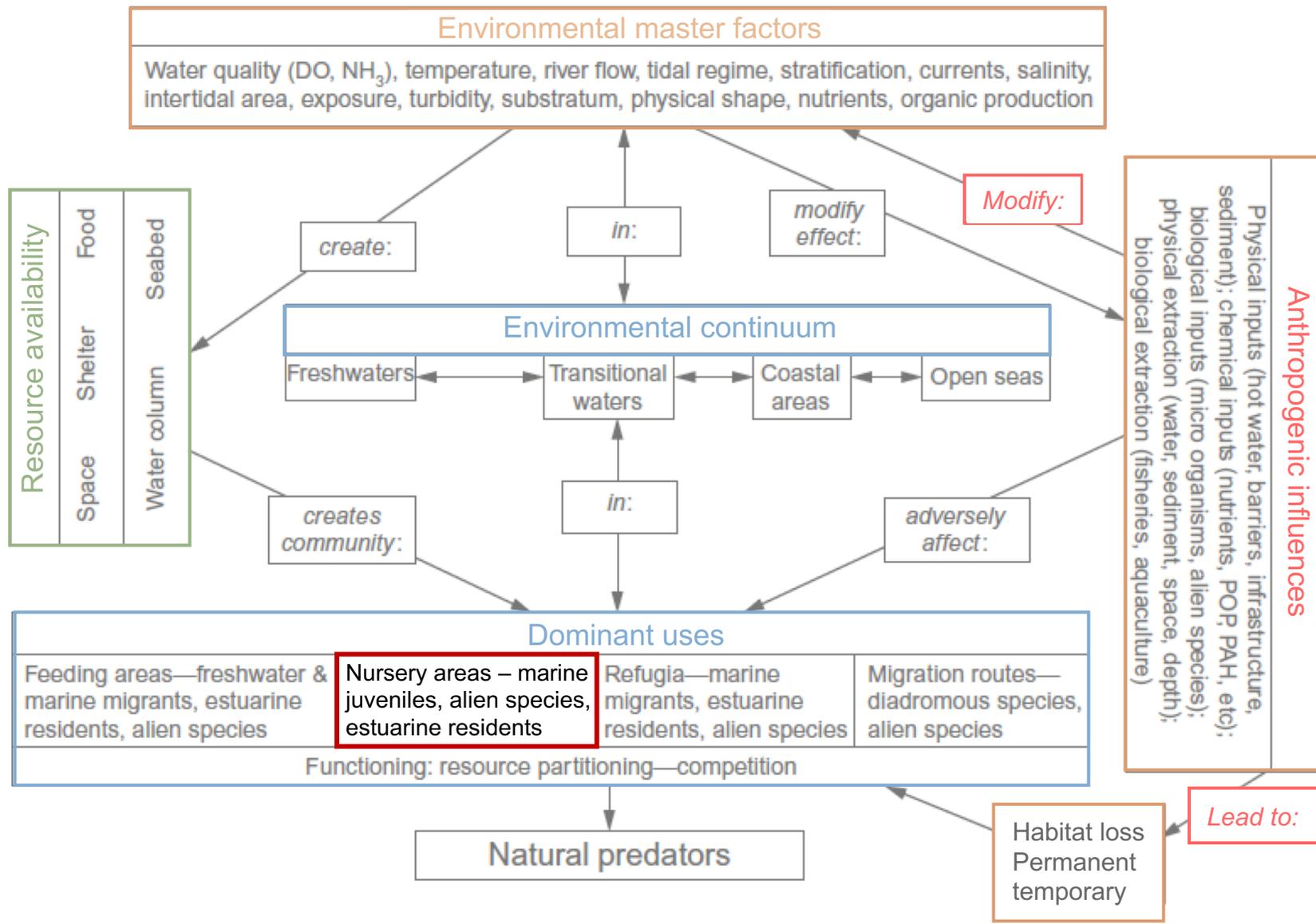
**Transformation, épuration & stockage**  
de sédiments, nutriments (C, N, P, Si) et contaminants

**Productivité**  
(primaire et secondaire)



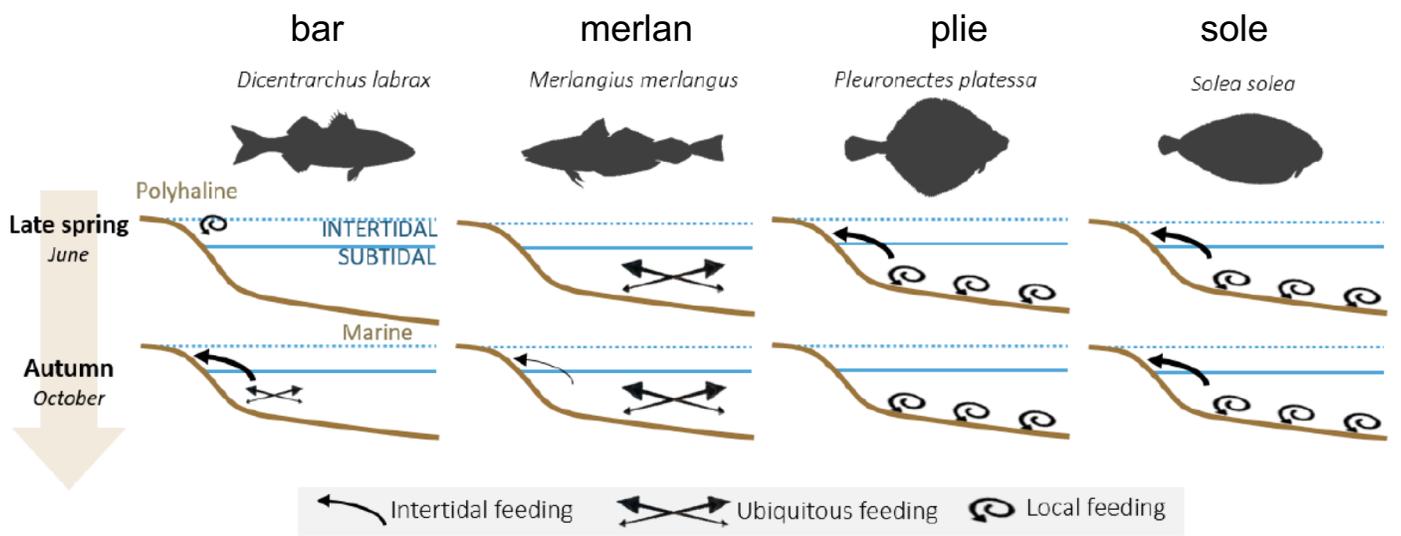
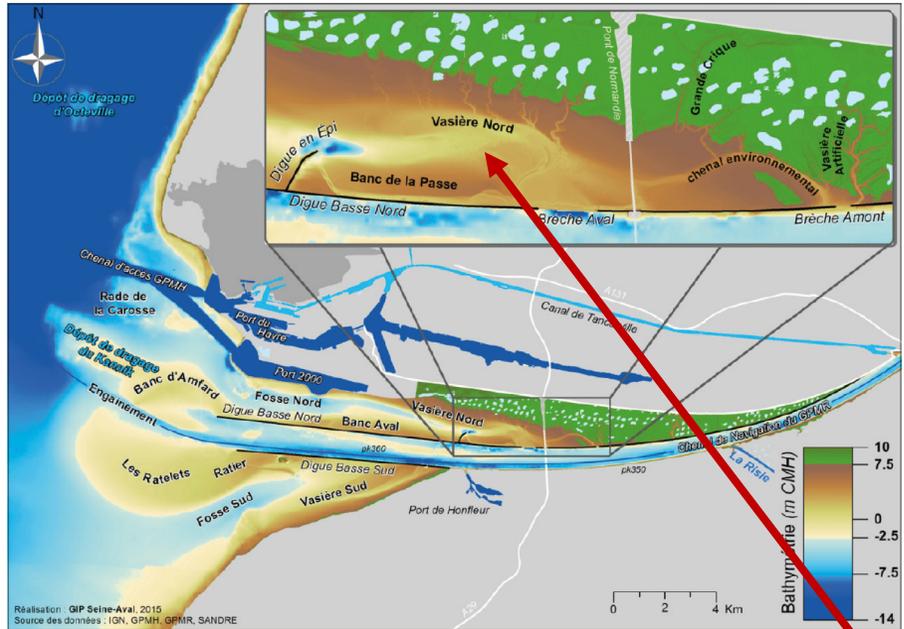


## Assemblages de poissons en estuaires

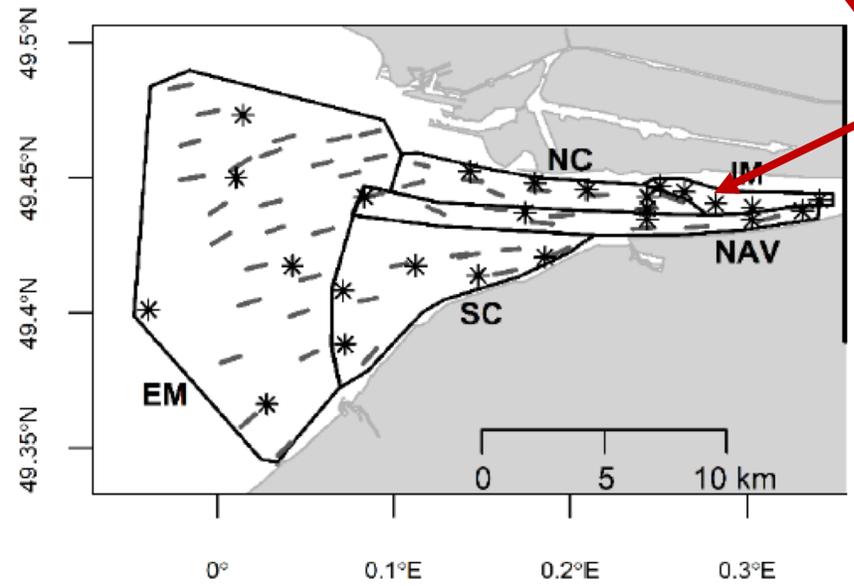


## Assemblages de poissons en estuaires

# Exemple : estimation de la capacité trophique dans l'estuaire de Seine (SA6)



Estimation de la contribution de chaque type d'habitat à l'alimentation de chaque espèce (contenus stomacaux et isotopes stables C et N)



Rôle majeur de la vasière (intertidale) Nord pour le bar, la sole, et la plie au printemps, la plus forte production de proies / unité de surface pour les poissons au printemps (méiofaune et macrozoobenthos)

Arguments pour la restauration (surface, connectivité, temps de résidence...)

Day, L., Brind'Amour, A., Cresson, P., Chouquet, B., and Le Bris, H. (2020). Contribution of Estuarine and Coastal Habitats Within Nursery to the Diets of Juvenile Fish in Spring and Autumn. *Estuaries and Coasts*.  
 Day L. (2020) Fonctionnement et capacité trophique des nurseries côtières et estuariennes : exemple de la Seine. Thèse de doctorat, AGROCAMPUS, Rennes.

## Priorités de restauration : secteur aval

**O.1.3.** Diversification des pieds de berges (diminution du linéaire à pente abrupte)



**O.3.1.** Garantir la continuité de la mosaïque d'habitats latéraux



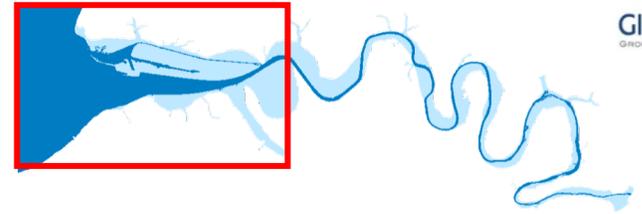
**O.4.2.** Réhabilitation du caractère humide des milieux du lit majeur



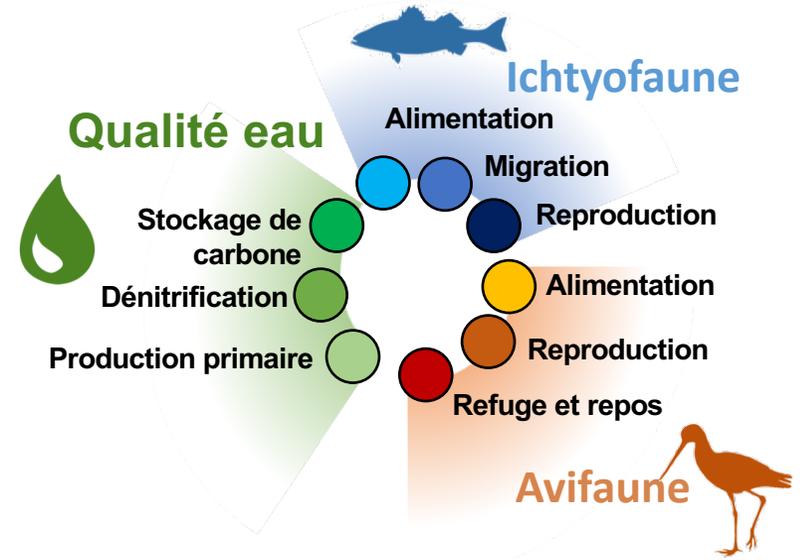
**O.2.2.** Restauration des continuités écologiques entre habitats subtidiaux peu profonds et intertidaux inférieurs



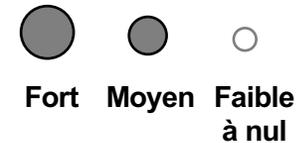
**O.2.1.** Restauration des dynamiques hydro-sédimentaires favorisant le maintien et le développement des vasières intertidales



### Fonctions écologiques ciblées



### Potentiel d'amélioration de la fonction



# Conclusion

- Mobiliser les acquis : REX, connaissances, outils...



## Retours d'expériences de restauration écologique en milieu estuarien

Analyse de la littérature scientifique  
publiée

Rapport final

Cécile Capderrey, Jean-Michel Olivier, Stéphanie  
Moussard, Valérie Foussard, Nicolas Bacq

Septembre 2016

# Outils mobilisables pour la restauration écologique en milieu estuarien (Capderrey, 2019)

**Fiche Outil** ANAQUALAND

Développement : ANAQUALAND 2.0 : un logiciel Disponible en libre accès <https://www6.rennes.inra.fr>

Principe : Estimation de la connectivité aquatiques pour diverses et L'approche de modélisation « l'alimentation optimale » voyage. Le modèle a été développé

Connectivité : Forme, taille, éléments dans le par la distance h points

Intégration des deux connectivité chaque maille, Les valeurs de résistance qui accélèrent la dispersion. Finalement, les hautes valeurs physiques ou chimiques). Les cartes de résistance et logiciel calcule pour chaque atteindre la tâche d'habitat d'identifier les taches d'habitat d'identifier les zones (non-)

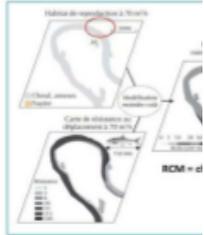


Schéma de principe de la modélisation ANAQUALAND (Le Pichon et al., 2007). La résistance est exprimée en mètres fonction rapport ANAQUALAND (Projet de Pichon et Alp, 2018).

References: Le Pichon, C., Gorges, G., Boët, P., ... (2007). Fishes in riverscapes. Environment & Planning B: Planning and Design, 35(1), 1-12. Le Pichon, C., Gorges, G., Baudry, J., Boët, P., ... (2018). Modélisation de la connectivité aquatique en milieu estuarien. Méthodes et applications. Méthodes et applications. Méthodes et applications.

**Fiche Outil** ECOPATH

les échelles régionales jusqu'aux échelles locales et peut intégrer des composantes

Développement : ...

**Fiche Outil** Protocole de modélisation LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone)

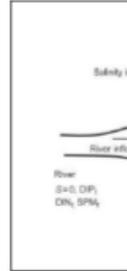
Description, principe : Appliqué à plus de 250 estuaires. Modèle permettant de suivre

Principe : → Le modèle travaille sur 3 masses d'eau en 3 b

→ Il se base sur un salinité et fournit l'estuaire.

Paramètres d'entrée : - DIP (Phosphore inorganique) - DIN (azote inorganique) - Salinité - Débits - Quantité de matière

Résultats : Calcul des charges



Adaptations / couplage : → Adaptable aux estuaires → Modifiable pour l'estuaire. Modèle qui nécessite une donnée particulière = LOICZ

References: Swaney et al., 2011. The LOICZ Academic Press, Amsterdam, 1. Xu, H., Wolanski, E., & Chen, Z. (2010). The Yangtze Estuary, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 83(10):2869-2877. Le Pichon et Alp, 2018. Projet de recherche Seine-Aval 5, ANACONDA poissons à l'échelle de l'estuaire, mené par C. Le Pichon et M. A.

**Fiche Outil** MARS3D MARS : Model for Applications at Regional Scales

is dominants dans les (ex: salinisation) et de effets à long terme (SLR) estuaries, cibler zones

Développement : • Clough and Park 2008 • <http://www.warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/> • Employé pour projeter les changements se produisant dans de nombreuses régions côtières • Open Source / interface

SLR accéléré sur les services écosystémiques, tels que la productivité de l'eau dans les zones intertidales (voir Craft et al., 2009). affectent le devenir des zones intertidales au fur et à mesure du SLR : salinité / saturation du sol.

listée dans SLAMM en utilisant une fonction « salt wedge »

scénarios SLR et cartes pour des analyses

zones humides incluses comme optionnelles dans la végétation des zones

sorties dans un environnement utiliser les sorties textes et

simulation prédite des zones humides par le 1m du niveau de la mer à l'horizon 2055 pour Montauk, NY (project funded by)

pour simuler les effets du SLR sur la séquestration du carbone et les améliorations (nitrification) sur l'Altamaha River Estuary, Georgia, USA et a permis de prédire l'impact de certaines zones. Les écosystèmes liés aux améliorations de la qualité de l'eau du carbone déclinent avec l'augmentation de la fréquence de submersion des zones : subissent une conversion en marais saumâtres. La zone de zone humide intertidale est réduite de 12% alors que la dénitrification et les pertes de 10% et 19% (voir la revue établie par Fagherazzi et al., 2012).

Application of Sea-Level Affecting Marshes Model (SLAMM) to Long Island, NY and New York City and Development Authority, 2014. <http://www.warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/> Delta Technical Documentation, Release 6.0 beta. Warren Pinnacle Consulting, Inc, USA. Guo, H., & Michener, M. 2009. Forecasting the effects of accelerated sea level rise on tidal marsh environment. 7: 73-78. egeren, G. R., Temmerman, S., D'Alpaos, A. van de Koppel, J., Rybczyk, J.M., Reyes E., Craft C. & Clough, J. 2012. geomorphic, and climatic factors. Reviews of Geophysics, 50(1).

**Fiche Outil** CE-QUAL-ICM (ou ICM)

Description : • Modèle de qualité de l'eau (lacs, rivières, estuaires et eaux côtières)

Sorties : Projections de la productivité et élévation des marais (sorties graphiques et tabulaires)

Projections obtenues par le MEM des élévations et de la biomasse pour différents scénarios d'augmentation du niveau de la mer. Les prédictions ont été faites pour des marais témoins non fertilisés et des marais fertilisés. Les scénarios d'augmentation du niveau de la mer s'étalent d'un taux constant (24 cm/an) à un taux d'accélération atteignant 200 cm/an à la fin du siècle.

Possibilités de couplage : Possibilité de couplage avec un modèle hydrodynamique : MEM + ADCIRC (Morris & Hagen, 2014) Hydro-MEM (Alizad et al., 2016; Alizad et al., 2018)

Applications : Problématiques de résilience côtière Gestion/conservation/restauration des zones intertidales face à l'augmentation du niveau de la mer

References: Alizad K., Hagen S. C., Medeiros S. C., Biskie M. V., Morris J. T., Balthis L. & Buckel C. A. 2018. Dynamic responses and implications to coastal wetlands and the surrounding regions under sea level rise. Plos One. 13(12): e0210134. Alizad K., Hagen S. C., Morris J. T., Bacopoulos P., Biskie M. V., Weisshampel J. F., & Medeiros S. C. 2016. A coupled, two-dimensional hydrodynamic-marsh model with biological feedback. Ecological Modelling, 327: 29-43. Gardner, L.R., and D.E. Porter. 2001. Stratigraphy and geologic history of a south-eastern salt marsh basin, North Inlet, South Carolina, USA. Wetlands Ecology and Management, 9:373-382. Kearney, M.S., A.S. Rogers, J.R.G. Younis, E. Rizzo, D. Stutzer, J.C. Stevenson, and K. Sundberg. 2002. Landsat imagery shows decline of coastal marshes in Chesapeake and Delaware Bays. EOS 83:17-178. Morris, J.T., University of South Carolina Ecosystem Processes. Sedimentation Objective: Forecast changes in marsh elevation Morris, J.T., P.V. Sundareswarar, C.T. Neech, B. Kjerfve, and D.R. Cahoon. 2002. Responses of coastal wetlands to rising sea level. Ecology 83(10):2869-2877. Morris J. T. & Hagen S. C. 2014. Coupled Marsh Equilibrium Model and hydrodynamic model (ADCIRC). Coastal Resiliency Symposium. Schile L.M., Callaway J.C., Morris J. T., Stralberg T.V. & Kelly M. 2014. Modeling Tidal Marsh Distribution with Sea-Level Rise: Evaluating the Role of Vegetation, Sediment and Upland Habitat in Marsh Resiliency. Plos One. 9(2) : e88750.

**Fiche Outil** MEM (Marsh Equilibrium Model)

Description, principe : Modèle qui incorpore les données organiques et inorganiques pour modéliser l'accrétion/projeter les élévations des zones intertidales (marais) sous divers scénarios d'augmentation du niveau de la mer. → Prédire le devenir des zones côtières face à l'augmentation du niveau de la mer.

Entrées : - Biomasse végétale - Ratio racine/pousses (« root:shoot ratio ») - Fraction réfractaire de la biomasse souterraine (i.e. insoluble) - Taux de turnover de la biomasse souterraine - élévation du marais (m) - Amplitude tidale - Taux d'augmentation du niveau de la mer - Concentration en sédiments en suspension - Coefficient de piégeage des sédiments

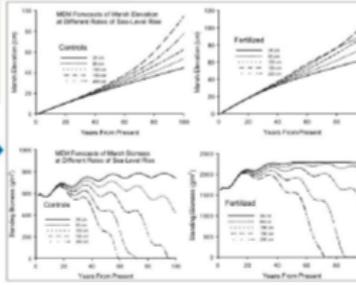


Image de l'interface utilisateur web

**Fiche Outil** SLAMM (Sea Level Affecting Marshes Model)

is dominants dans les (ex: salinisation) et de effets à long terme (SLR) estuaries, cibler zones

Développement : • Clough and Park 2008 • <http://www.warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/> • Employé pour projeter les changements se produisant dans de nombreuses régions côtières • Open Source / interface

SLR accéléré sur les services écosystémiques, tels que la productivité de l'eau dans les zones intertidales (voir Craft et al., 2009). affectent le devenir des zones intertidales au fur et à mesure du SLR : salinité / saturation du sol.

listée dans SLAMM en utilisant une fonction « salt wedge »

scénarios SLR et cartes pour des analyses

zones humides incluses comme optionnelles dans la végétation des zones

sorties dans un environnement utiliser les sorties textes et

simulation prédite des zones humides par le 1m du niveau de la mer à l'horizon 2055 pour Montauk, NY (project funded by)

pour simuler les effets du SLR sur la séquestration du carbone et les améliorations (nitrification) sur l'Altamaha River Estuary, Georgia, USA et a permis de prédire l'impact de certaines zones. Les écosystèmes liés aux améliorations de la qualité de l'eau du carbone déclinent avec l'augmentation de la fréquence de submersion des zones : subissent une conversion en marais saumâtres. La zone de zone humide intertidale est réduite de 12% alors que la dénitrification et les pertes de 10% et 19% (voir la revue établie par Fagherazzi et al., 2012).

Application of Sea-Level Affecting Marshes Model (SLAMM) to Long Island, NY and New York City and Development Authority, 2014. <http://www.warrenpinnacle.com/prof/SLAMM/> Delta Technical Documentation, Release 6.0 beta. Warren Pinnacle Consulting, Inc, USA. Guo, H., & Michener, M. 2009. Forecasting the effects of accelerated sea level rise on tidal marsh environment. 7: 73-78. egeren, G. R., Temmerman, S., D'Alpaos, A. van de Koppel, J., Rybczyk, J.M., Reyes E., Craft C. & Clough, J. 2012. geomorphic, and climatic factors. Reviews of Geophysics, 50(1).

# Conclusion

- Mobiliser les acquis : REX, connaissances, outils...
- Préconiser des approches multi-échelles
- Préconiser une approche statistique (fréquence des différents types d'habitats) pour prendre en compte la dynamique spatio-temporelle des estuaires
- Travailler sur les liens habitats – processus – biodiversité => réalisation des fonctions écologiques caractéristiques des estuaires
- Privilégier des démarches quantitatives et une bancarisation des données => retours d'expériences, modélisation des réponses
- Participer au GT national animé par la MIE....



Merci pour votre attention