

# Modélisation et simulation du processus de développement de plantes aquatiques en rivière.

Till Panfiloff<sup>1,2</sup>, Anne-Kristel Bittebiere<sup>1</sup>, Sofia Licci<sup>1</sup>, Pierre Marmonier<sup>1</sup>, Serge Fenet<sup>2</sup>, Sara Puijalon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Écologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés (LEHNA) - UMR5023

<sup>2</sup> Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'Information (LIRIS) - UMR5205



## INTRODUCTION

**Macrophytes** : plantes aquatiques à croissance clonale qui jouent un rôle important dans les écosystèmes aquatiques [Lacoul et Freedman, 2006].

Croissance en tache :



Quelle est la dynamique de développement des macrophytes ?

### Courant

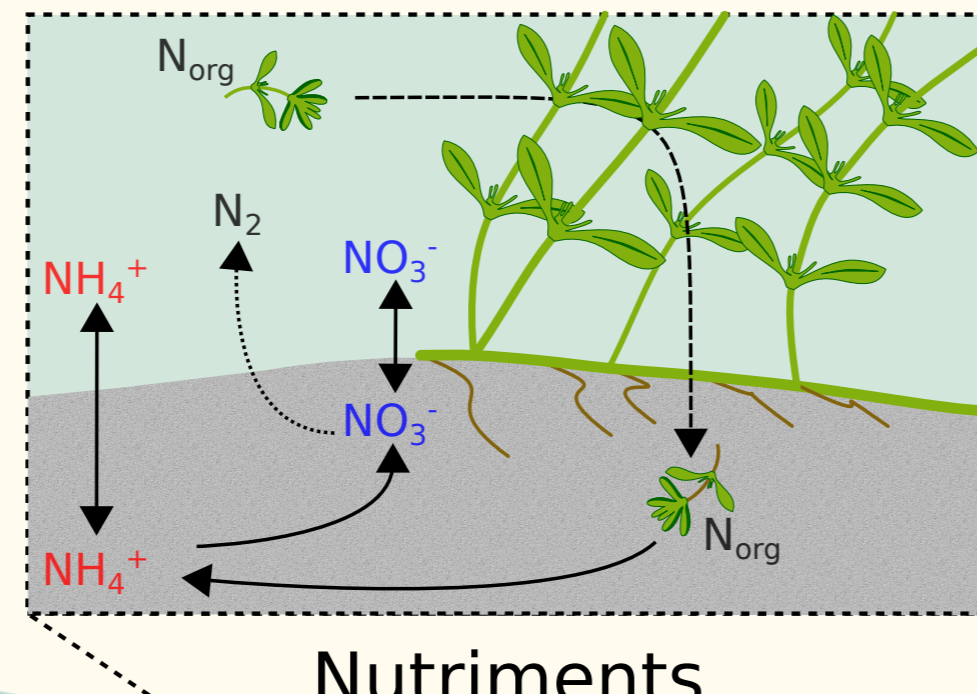
#### Effets directs :

- croissance dans le sens du courant [Sand-Jensen et Pedersen, 2008]
- modifications phénotypiques [Puijalon et Bornette, 2004]
- arrachage ( $F_c > F_a$ ) [Dawson, 1978]

#### Effets indirects :

- modification de la répartition des sédiments [Sand-Jensen, 1998]
- renouvellement des nutriments dissous dans l'eau [Madsen et al., 2001]

**Rétroaction** : déformation de l'écoulement [Meire et al., 2014]

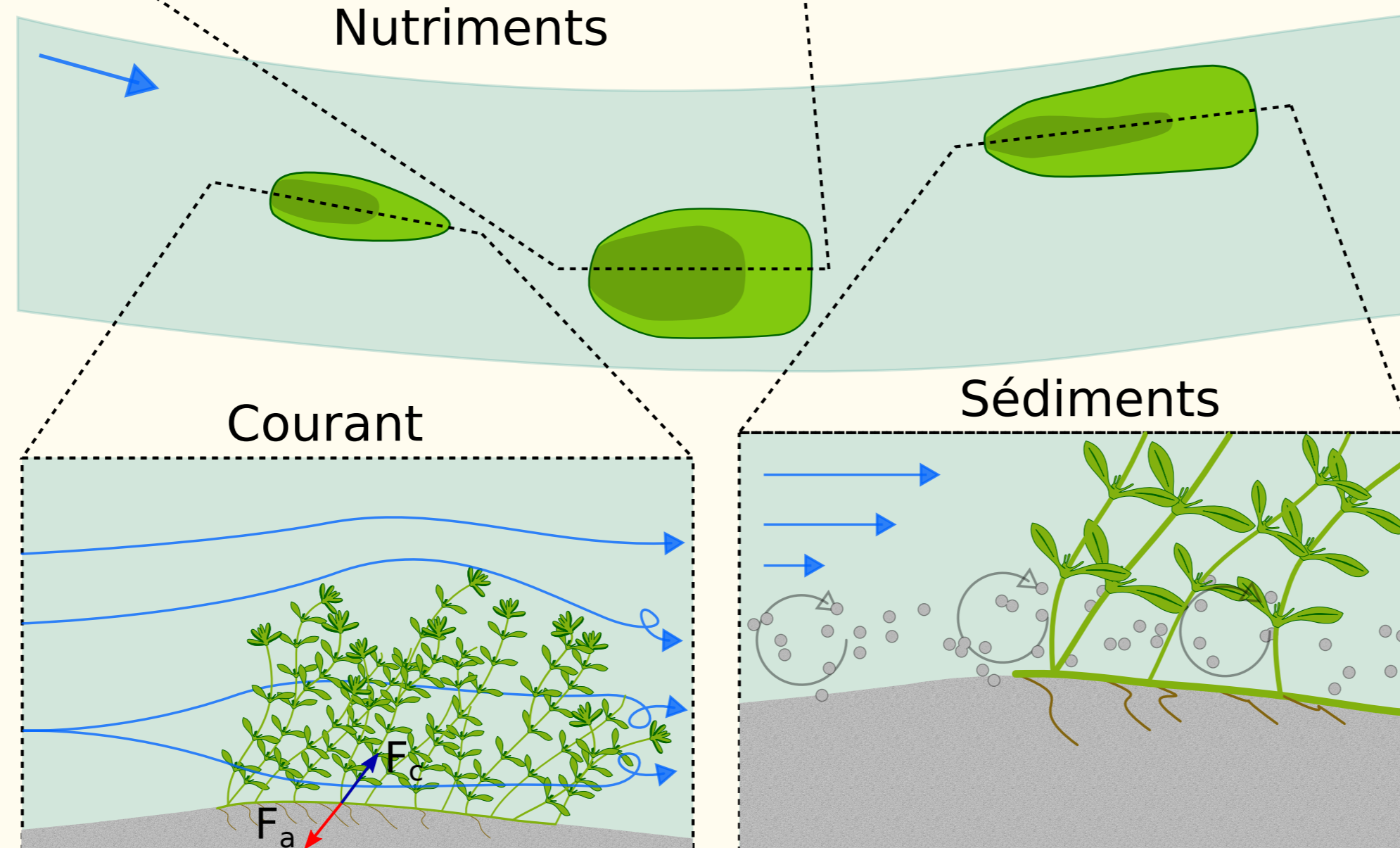


### Nutriments

#### Effets directs :

- croissance des plantes (nitrates, ammonium) [Barko et al., 1991]
- $NH_4^+$  inhibe la croissance à concentration élevée [Clarke et Baldwin, 2002]

**Rétroaction** : piégeage de la matière organique en suspension  $\Rightarrow$  apport en azote : minéralisation ( $N_{org} \rightarrow NH_4^+$ ) [Longhi et al., 2016]



### Sédiments

#### Effets directs :

- ancrage des plantes [Boedeltje et al., 2001]
- réserve de nutriments [Barko et al., 1991]

#### Effet indirect :

- transformations de l'azote (minéralisation, nitrification, dénitrification) [Jenkins et Kemp, 1984]

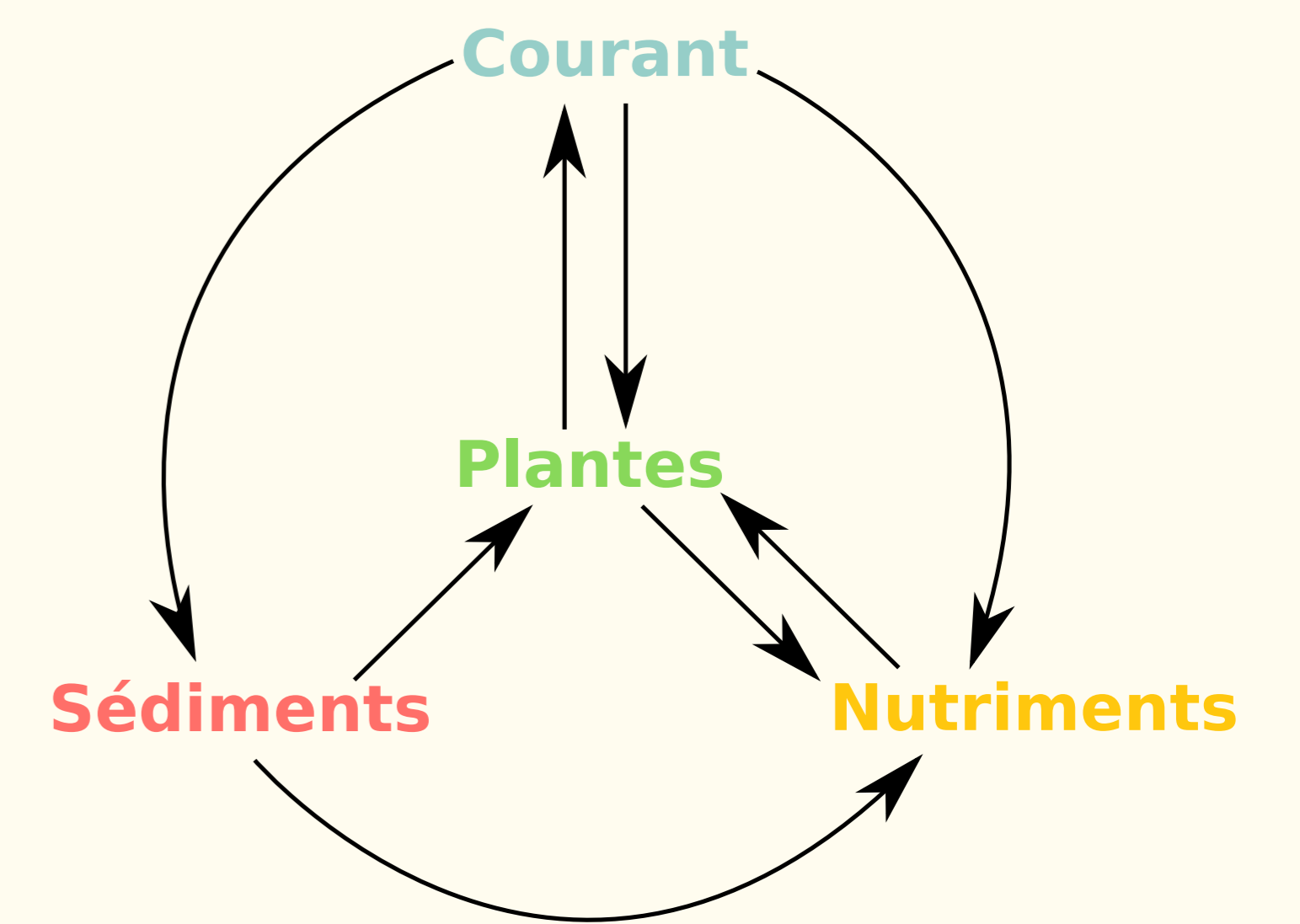
#### Rétroaction (indirecte) :

- modification du courant  $\Rightarrow$  modification de la répartition des sédiments [Madsen et al., 2001]

## OBJECTIF

Constatation

Il n'existe pas de modèles qui prennent en compte l'ensemble des interactions de ce système :



### Objectif

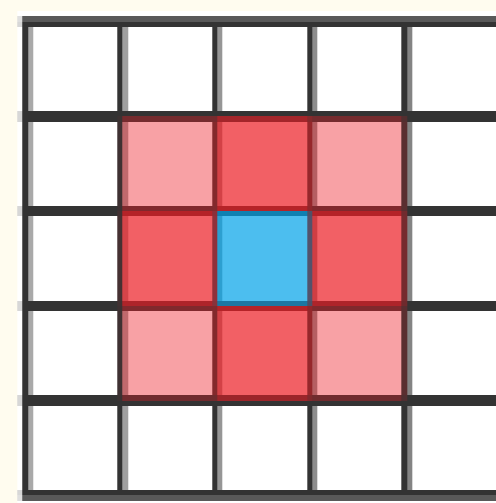
Développer un modèle informatique de croissance de macrophytes en rivières permettant de tester *in silico* des hypothèses biologiques.

## MATÉRIELS & MÉTHODES

**Modèle individu-centré**, particulièrement adapté aux systèmes biologiques complexes [Beslon, 2008].

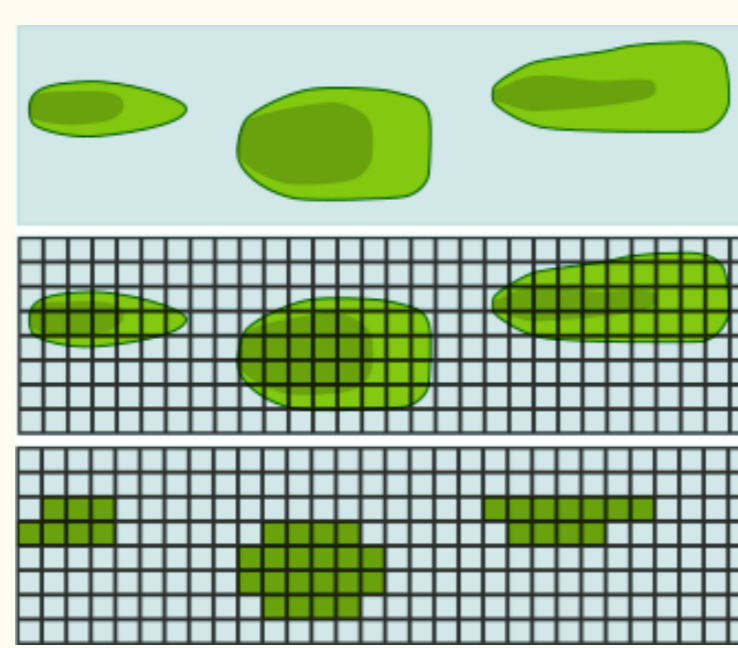
deux niveaux d'organisation :

- interactions locales entre les individus définis **explicitement**
- structure émergente de l'interaction entre les individus, définie **implicitement**



### Automate cellulaire :

- l'espace à modéliser est découpé selon une **grille**
- les individus sont les **cellules** de cette grille.
- les individus interagissent localement avec le voisinage



### Implémentation : Python + NumPy

- Orienté objet
- Rapide, calculs matriciels en C/C++
- Développement en utilisant des opérations sur des tableaux.
- Calcul parallèle

### Les processus implémentés :

#### Courant

- dynamique du courant

#### Nutriments

- apport en azote organique
- concentrations en nitrate
- concentrations en ammonium
- minéralisation
- nitrification
- dénitrification

#### Sédiments

- sédimentation
- érosion
- modèle en tas de sable

#### Plantes

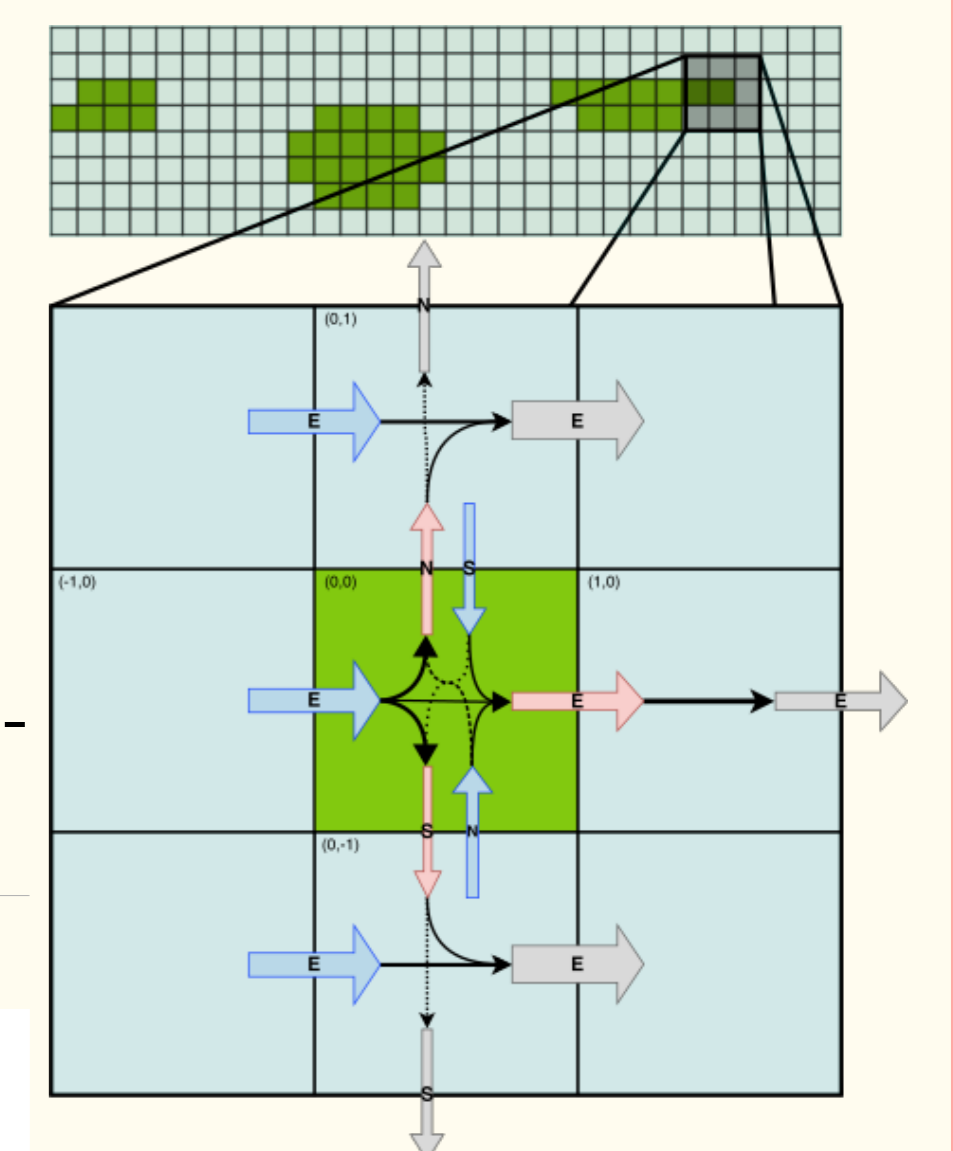
- croissance des plantes
- arrachage des plantes
- colonisation des cellules

### Ex. 1 : modèle hydraulique

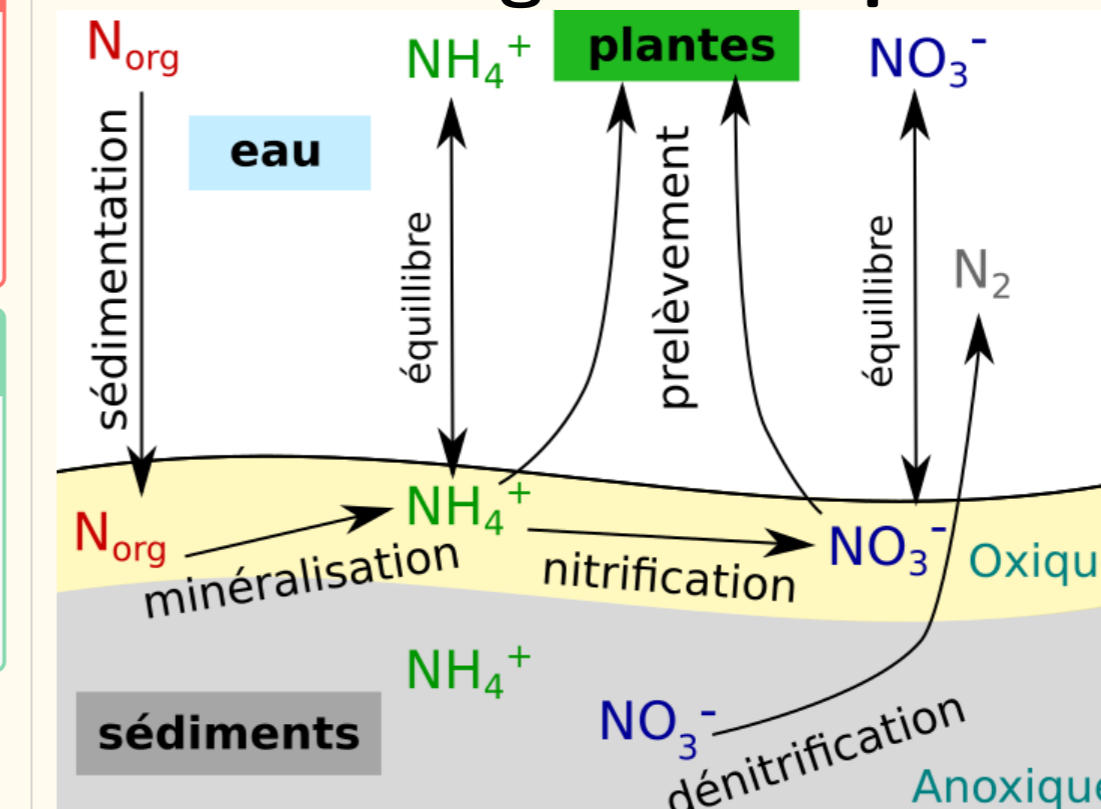
3 paramètres :

- vitesse initiale ( $cm.s^{-1}$ )
- perméabilité (sans unité)
- fraction transversale redirigée en aval (interne au modèle)

$\Rightarrow$  Modèle simple, rapide et suffisamment précis



### Ex. 2 : échanges chimiques



- minéralisation
- nitrification
- dénitrification
- prélèvements des plantes
- équilibre chimique entre l'eau et les sédiments.

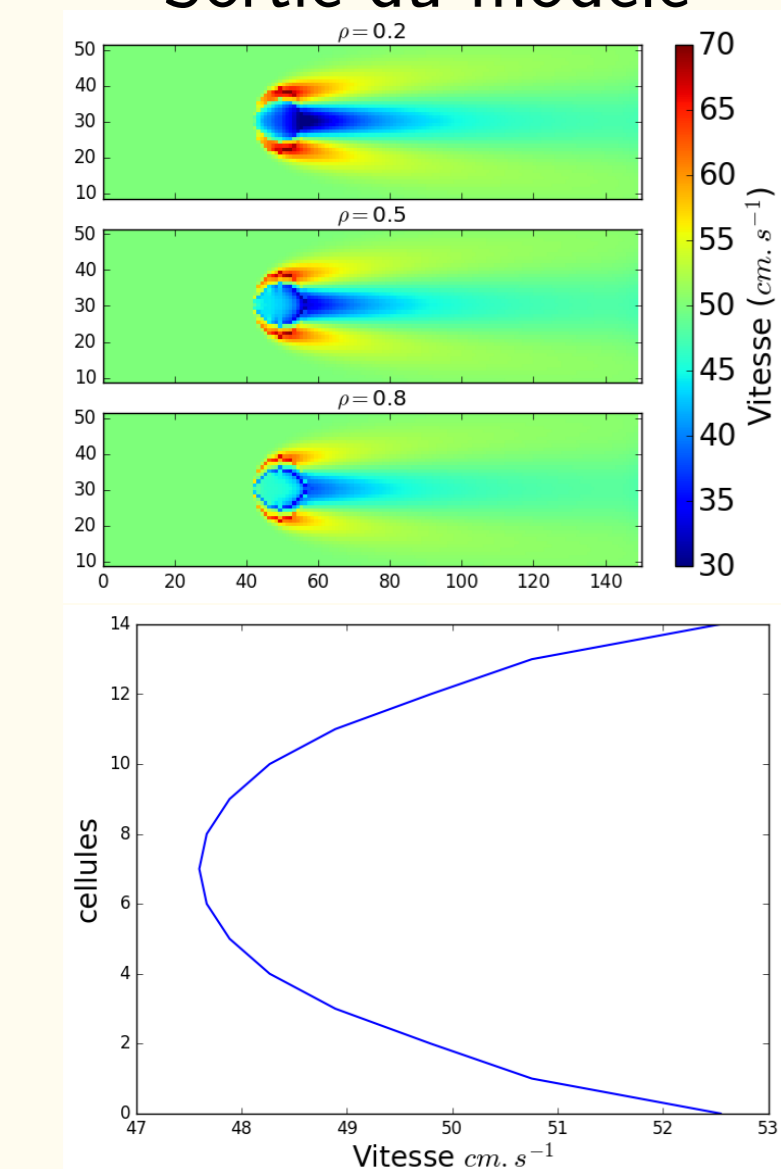
## RÉSULTATS

### 1. Modèle hydraulique

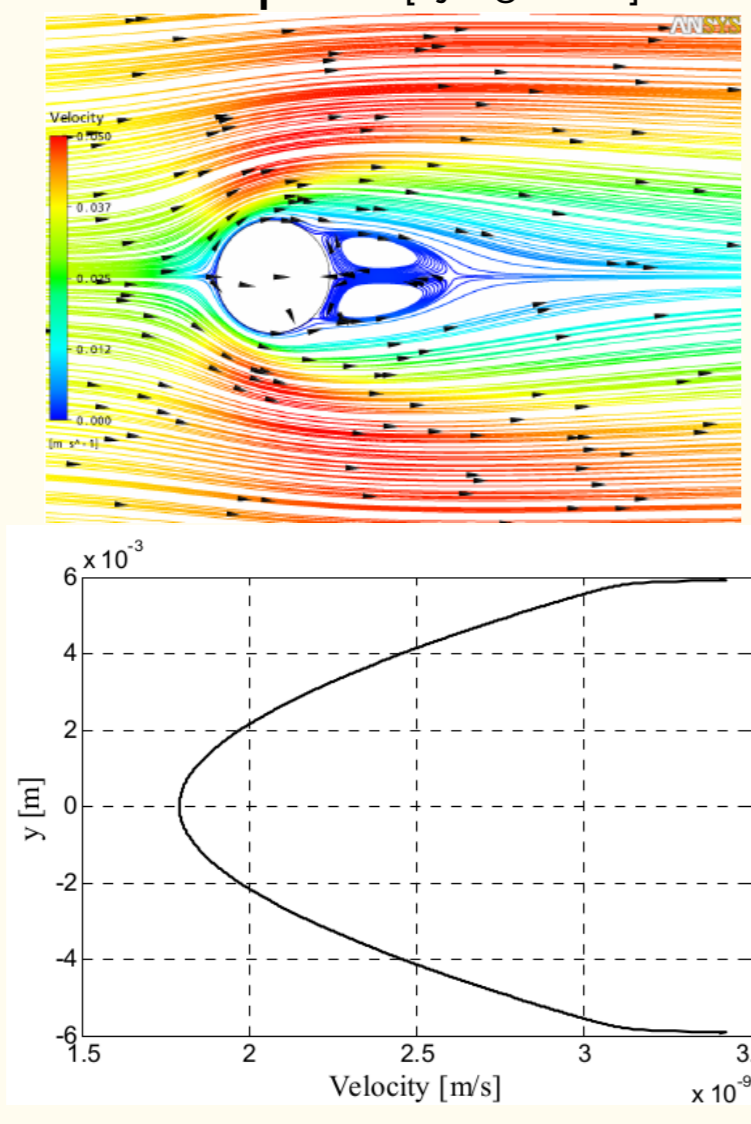
100 cycles à  $50cm.s^{-1}$

- vitesse globale pour une tache fixe de plantes
- profils de vitesse dans et autour de la tache

#### Sortie du modèle



#### D'après [Ljung, 2008]



+ forme globale conservée

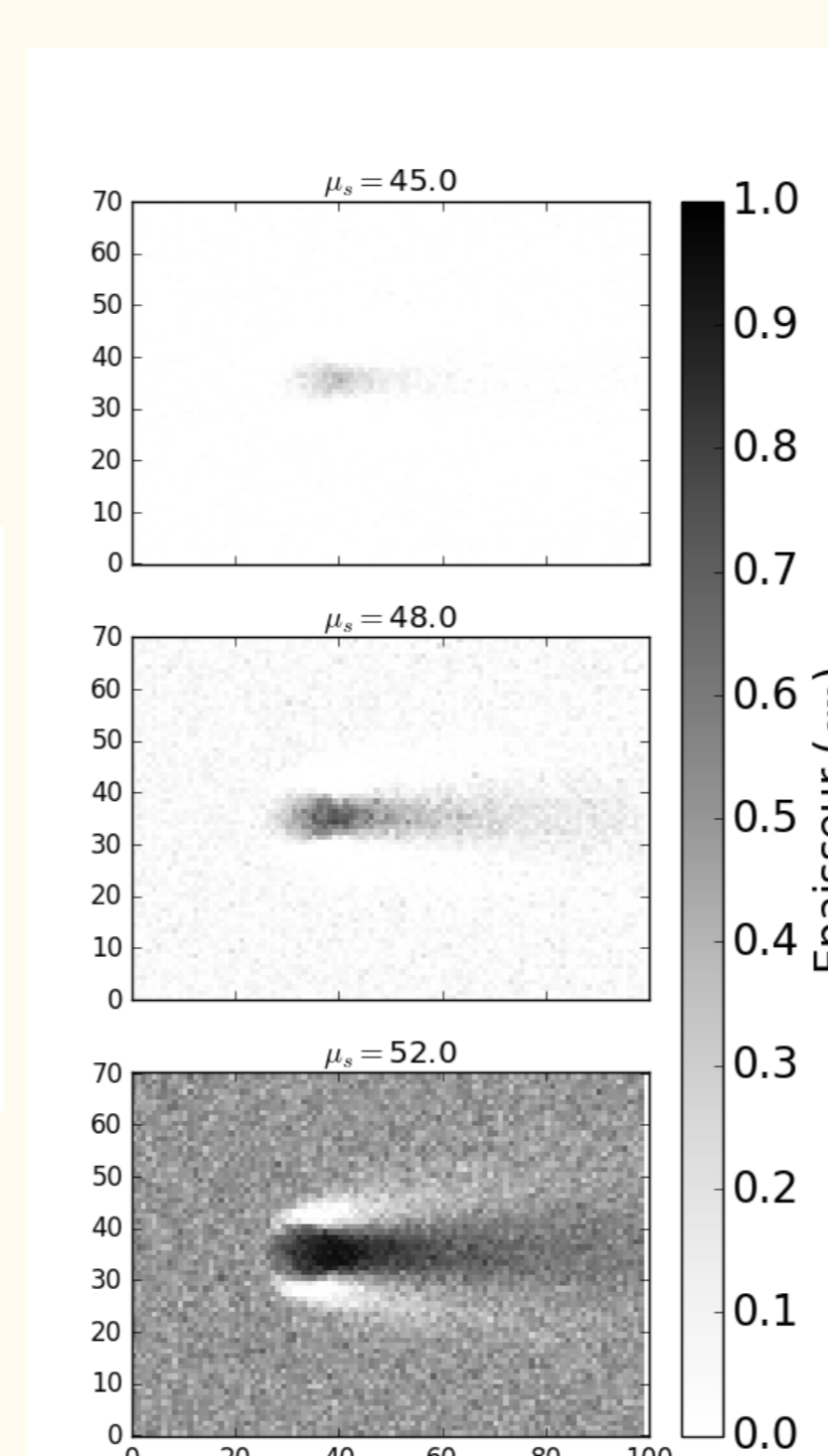
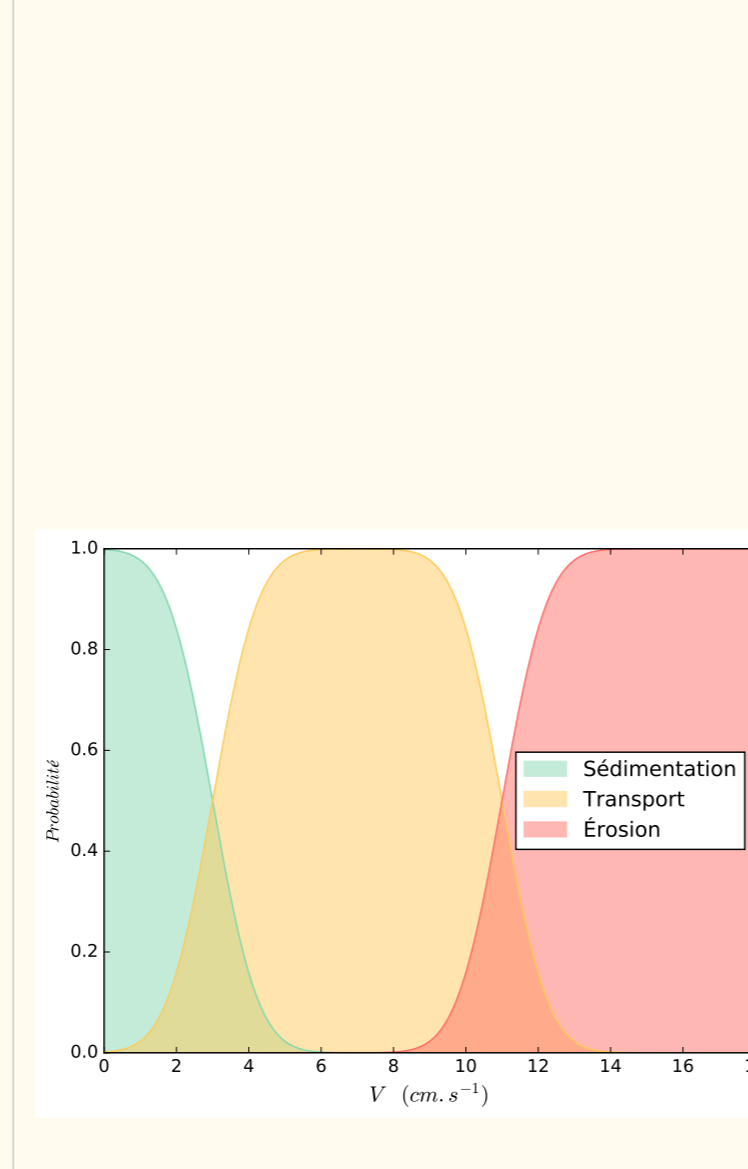
- pas de ralentissement en amont

+ profils similaires

### 2. Sédimentation/Érosion

100 cycles à  $50cm.s^{-1}$

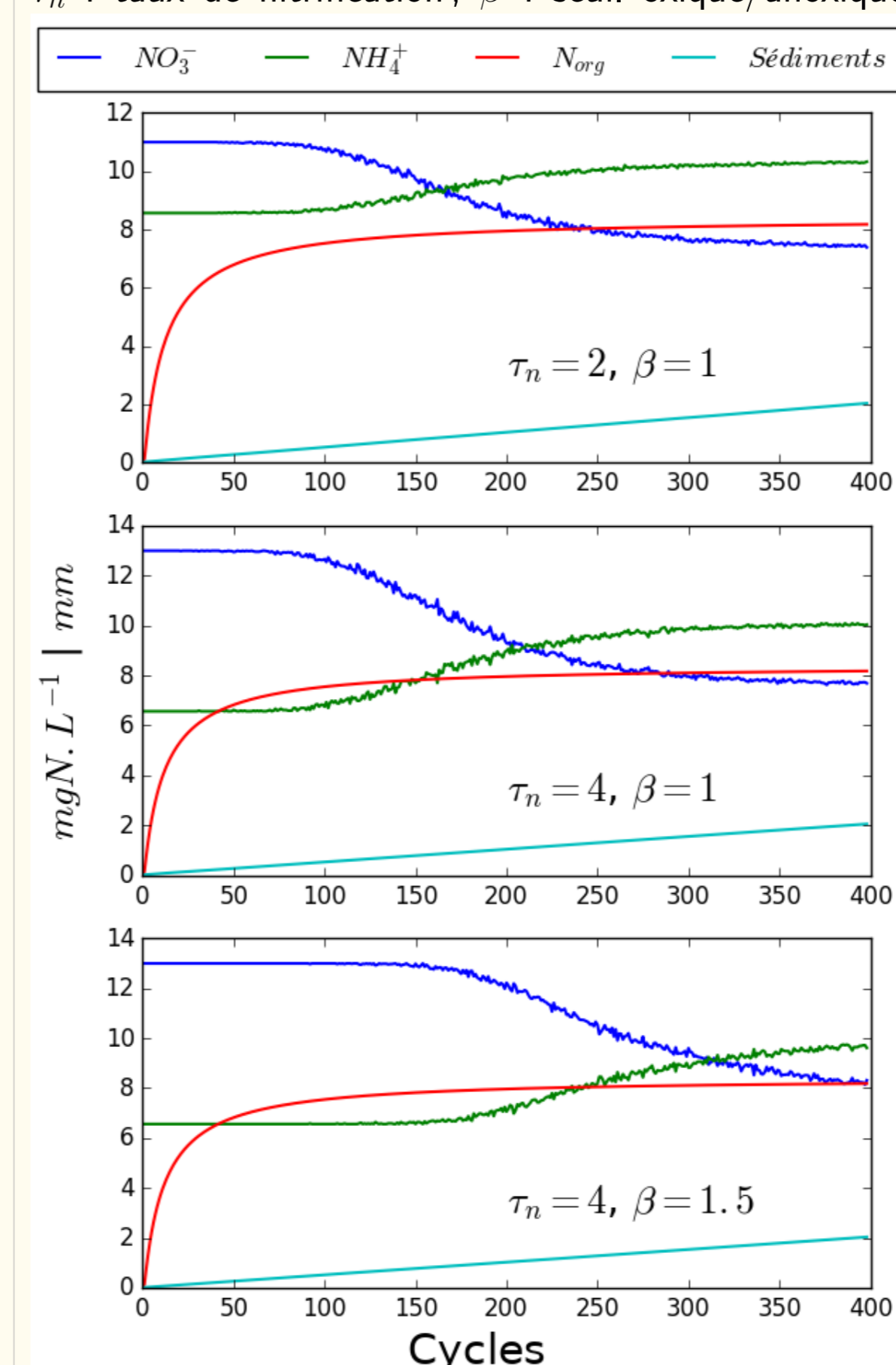
- épaisseur de sédiments en fonction de la vitesse
- $\mu_s > V_i \Rightarrow$  sédimentation sur toute la zone
- répartition hétérogène pour une même vitesse



### 3. Concentration en nutriments

100 cycles,  $[NH_4^+]_i = [NO_3^-]_i = 10mg.L^{-1}$

$\tau_n$  : taux de nitrification ;  $\beta$  : seuil oxygène/anoxique



## CONCLUSION

### Contributions :

- Conception d'un modèle théorique qui décrit le développement des macrophytes en fonction du courant, des sédiments et des nutriments
- Implémentation du modèle individu-centré en Python
- 1<sup>re</sup> phase de validation des mécanismes implémentés

Les résultats permettent de valider la conception du modèle pour les facteurs considérés séparément, mais pas encore de tester leurs effets sur le développement des macrophytes.

$\Rightarrow$  paramétrer et valider l'interaction entre les sous-modèles

### Perspectives :

Paramétrage et calibration du modèle par exploration guidée de l'ensemble des paramètres possibles et validés à partir de données de terrain.

