

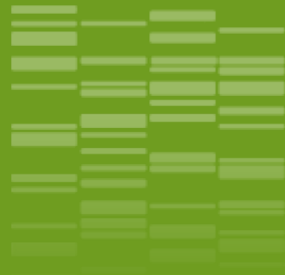
## *Intégration des systèmes de traitement et de modèles de plantes pour l'adaptation de la REUT aux usages*

*J. Harmand, SAMI, LBE-INRA, Narbonne  
Réseaux TREASURE & SICMED-REUSE*

*En collaboration avec les unités GEAU, IEM, MISTEA et SupAgro*

# CONTEXTE

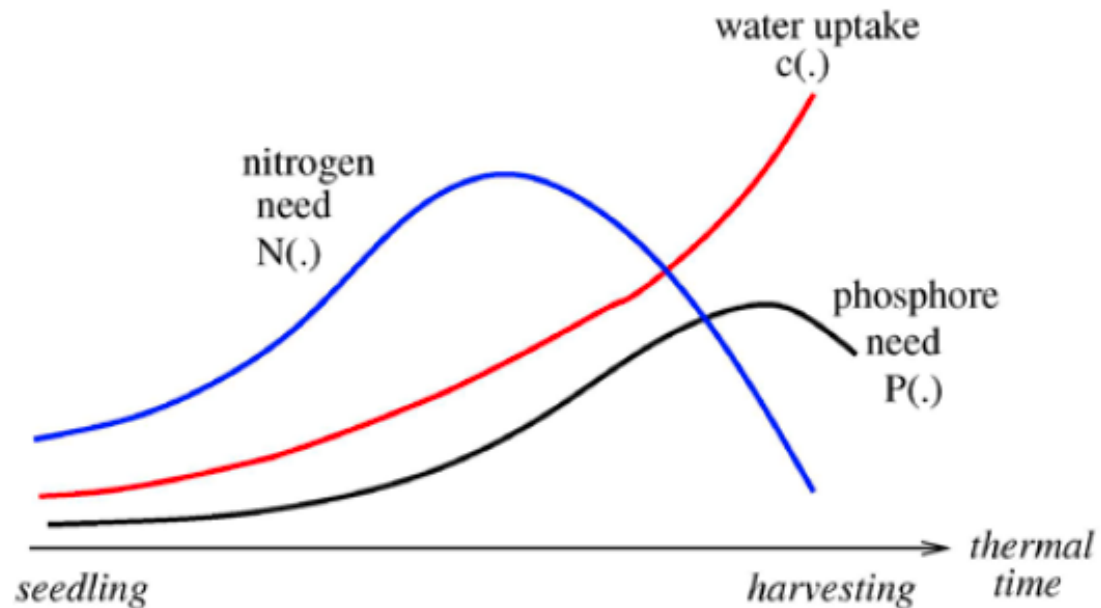
- ❖ Les techniques pour la REUT sont mûres
- ❖ Que nous disent les *modèles* de plantes?
- ❖ Réels besoins *d'optimisation*
- ❖ En quoi *la modélisation et l'automatique* peuvent-elles nous aider?



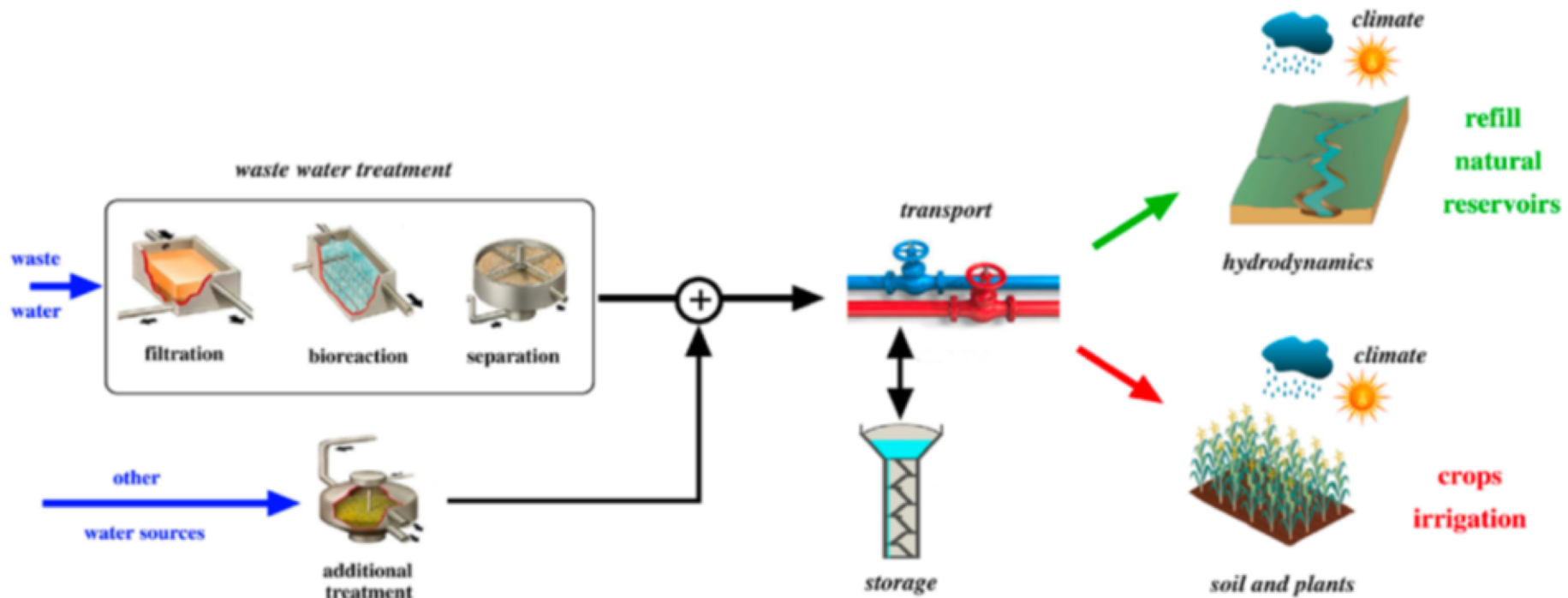
**01**

# Adapter la qualité de l'eau aux usages

# Que nous disent les modèles de plantes?



# De quels degrés de liberté dispose-t-on le long d'une chaîne de REUT?

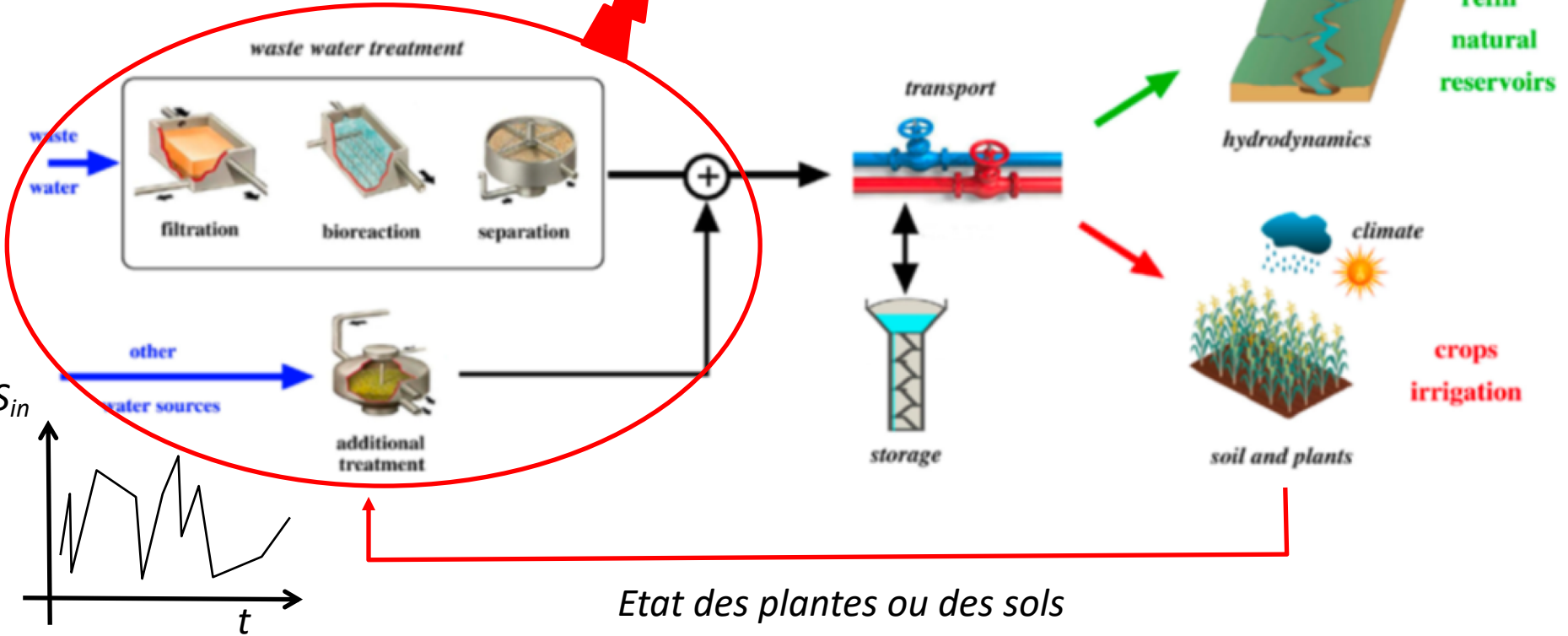
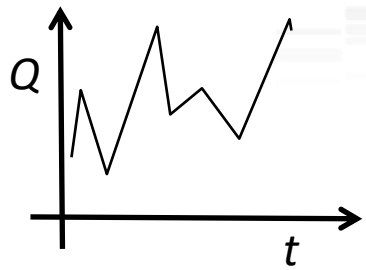




## Un défi...

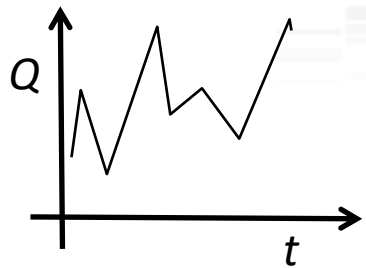
Comment optimiser la croissance des plantes en agissant sur les leviers disponibles sur une filière de REUT?

# Il faut fermer la boucle!

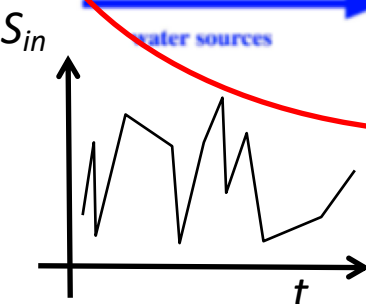
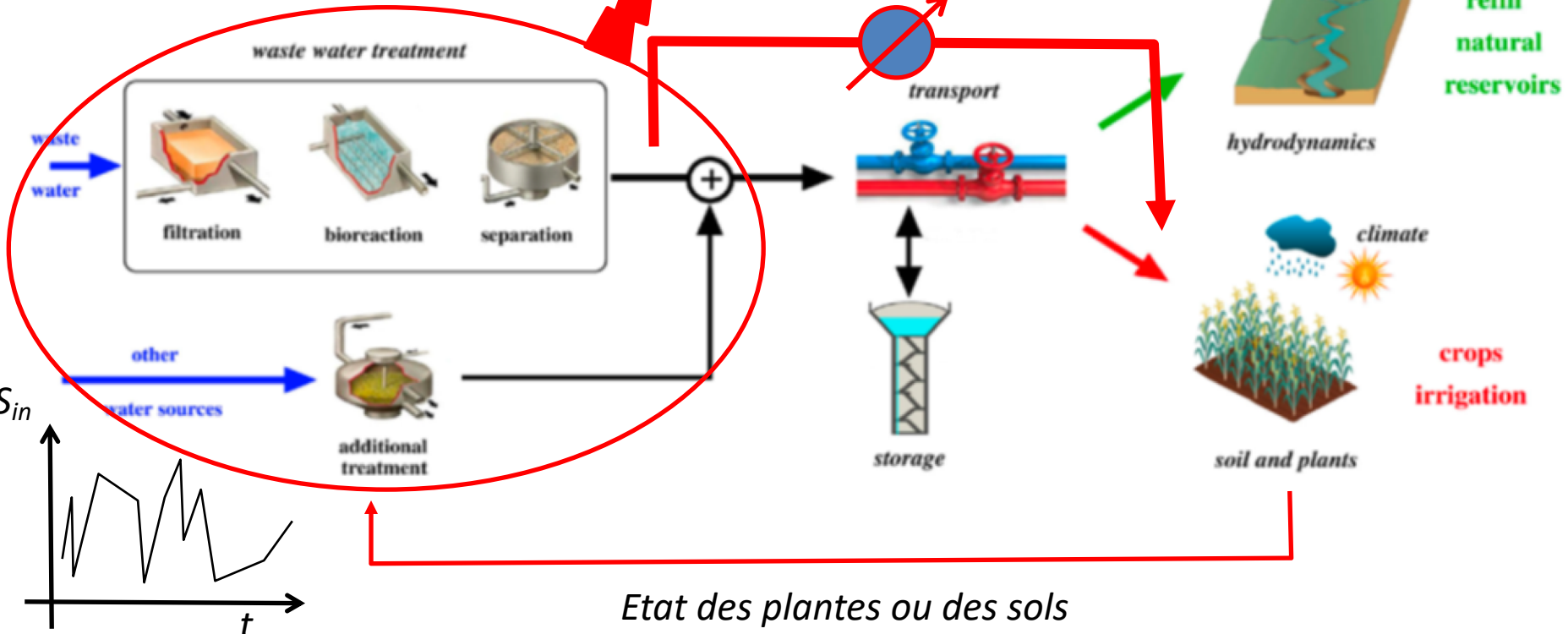


Etat des plantes ou des sols

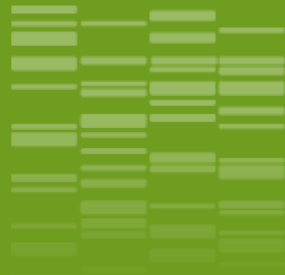
# (Une remarque importante!)



N, P, minéraux...

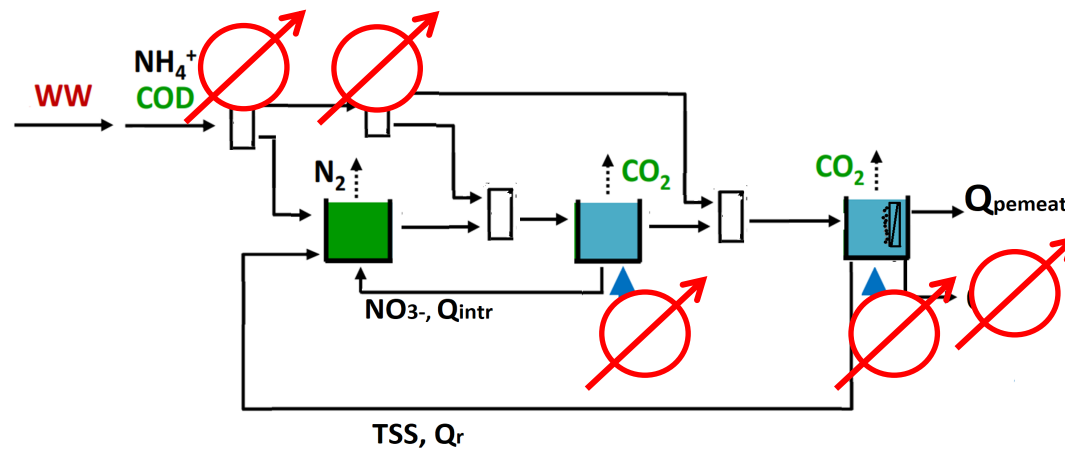




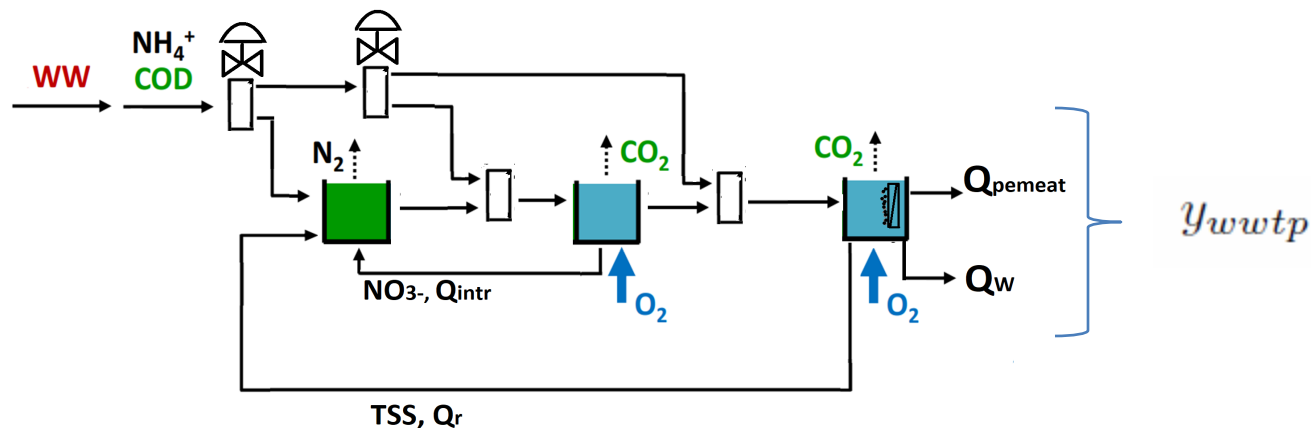


# 02 La démarche

# Un système de traitement *flexible* pour la REUT



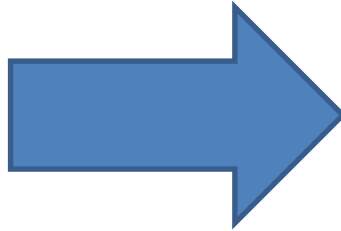
# Un système de traitement *flexible* pour la REUT (2)



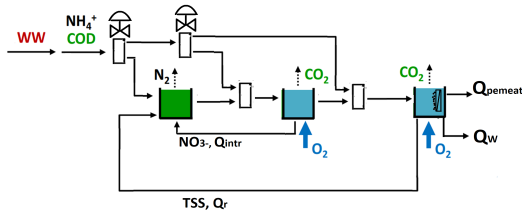
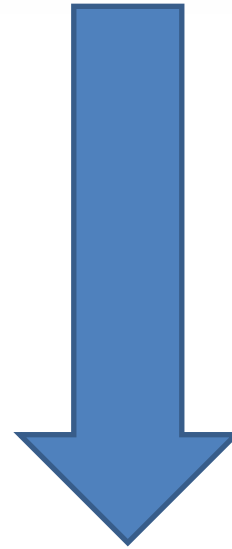
Que choisir pour  $Y_{wwtp}$  que l'on puisse atteindre en jouant sur  $u$  ?

$$\text{⊗} \sim u$$

# Comment générer la trajectoire $y_{wwtp}$ ?



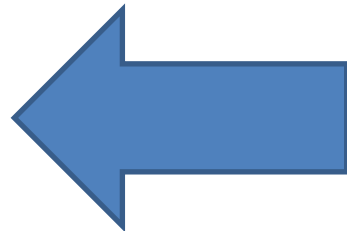
$$\begin{cases} \dot{x}_p &= f_p(x_p, u_p, w_p) \\ y_p &= g_p(x_p) \end{cases}$$



$$u_{wrrf?} / y_{wwtp} = \dot{u}_p^*$$



$$u_p^* \sim y_{wwtp}$$



$$u_p / \max_{u(\cdot)} \int_0^T \varphi(t) K_S(S(t)) dt ?$$



# 03

Résultats préliminaires : contrôle optimal de la croissance des plantes

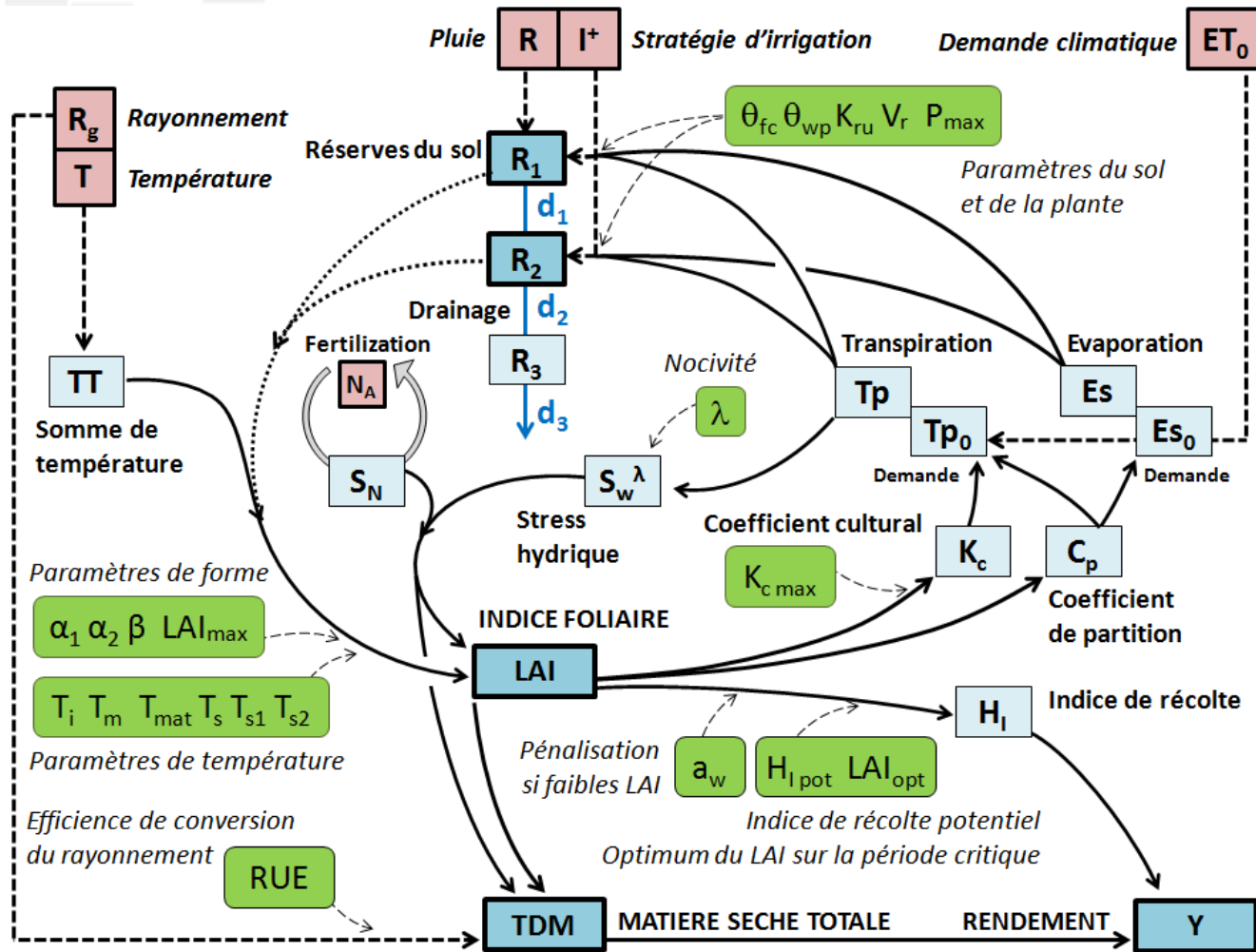
# Contrôle optimal de la croissance des plantes

About modeling and control strategies for  
scheduling crop irrigation <sup>★</sup>

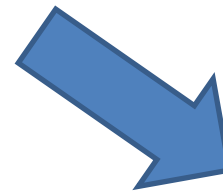
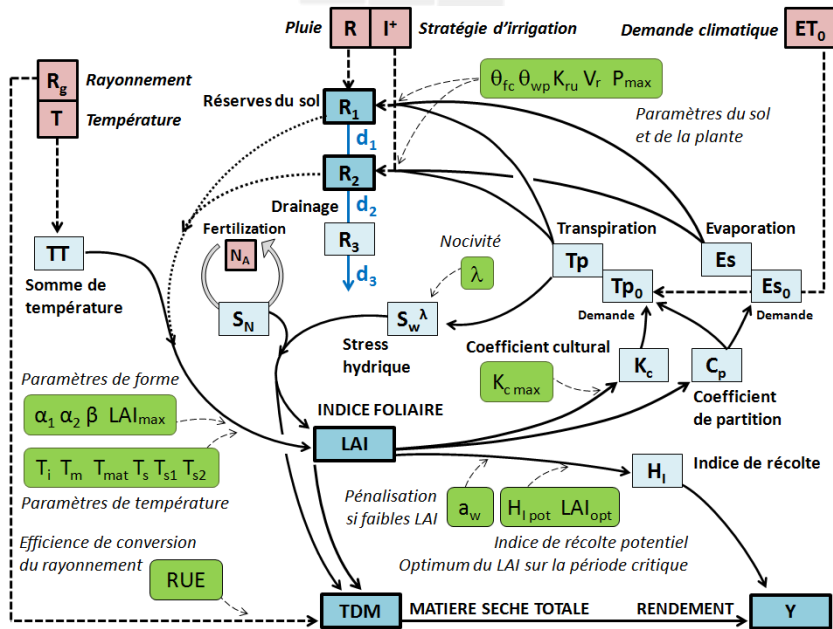
Nesrine Kalboussi <sup>\*,\*\*</sup> Sébastien Roux <sup>\*\*</sup> Kenza Boumaza <sup>\*\*</sup>  
Carole Sinfort <sup>\*</sup> Alain Rapaport <sup>\*\*</sup>

***Control Methods for Water Resource Systems - 1st  
CMWRS 2019, Delft, Pays Bas, Septembre 2019***

# Contrôle optimal de la croissance des plantes (2)



# Contrôle optimal de la croissance des plantes (3)

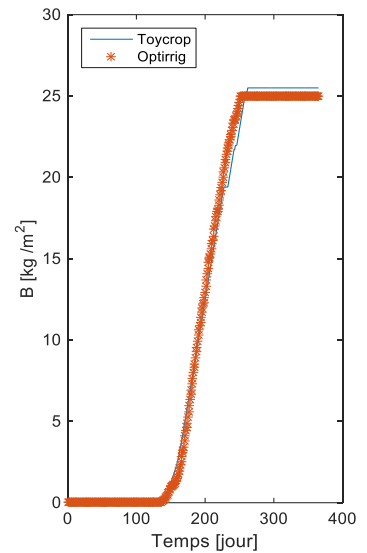
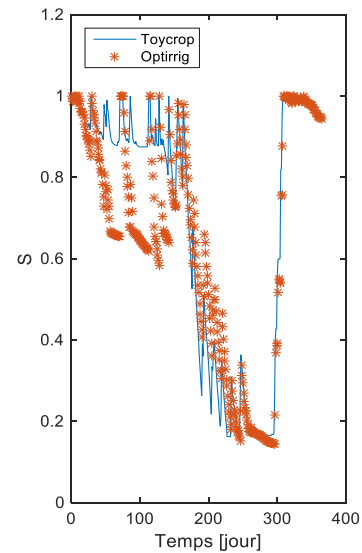
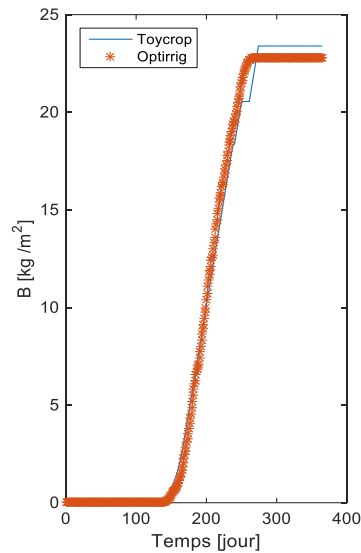
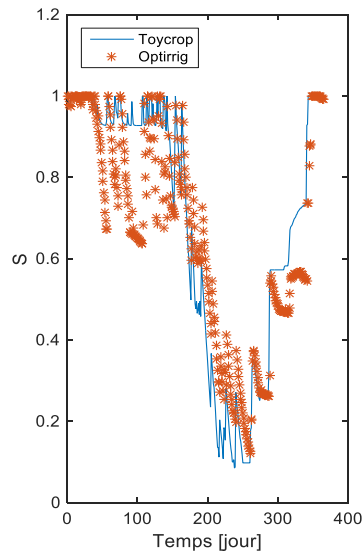


$$\dot{S} = k_1(-\varphi(t)K_S(S) - (1 - \varphi(t))K_R(S) + k_2u(t))$$

$$\dot{B} = k_3\varphi(t)K_S(S)$$



# Contrôle optimal de la croissance des plantes (4)



# Contrôle optimal de la croissance des plantes (5)

$$\max_{u(\cdot)} \int_0^T \varphi(t) K_S(S(t)) dt$$

Under constraints:

$$u \in [0,1]$$

$$\dot{S} = k_1(-\phi(t)K_S(S) - (1 - \phi(t))K_R(S) + k_2u(t)), \quad S(0) = 1$$

$$\dot{V} = u(t), \quad V(0) = 0$$

Rque : ici on n'optimise *que* la quantité d'eau!

# Contrôle optimal de la croissance des plantes (6)

$$\psi_{t_S}^{SOS}(t, S, V) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < t_S \text{ or } V = \bar{Q} \\ \tilde{u}_{S^*}(t) & \text{if } t \geq t_S, S = S^* \text{ and } V < \bar{Q} \\ 1 & \text{if } t \geq t_S, S < S^* \text{ and } V < \bar{Q} \end{cases}$$

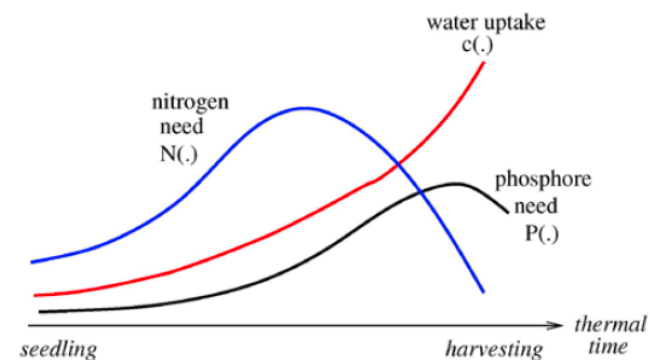
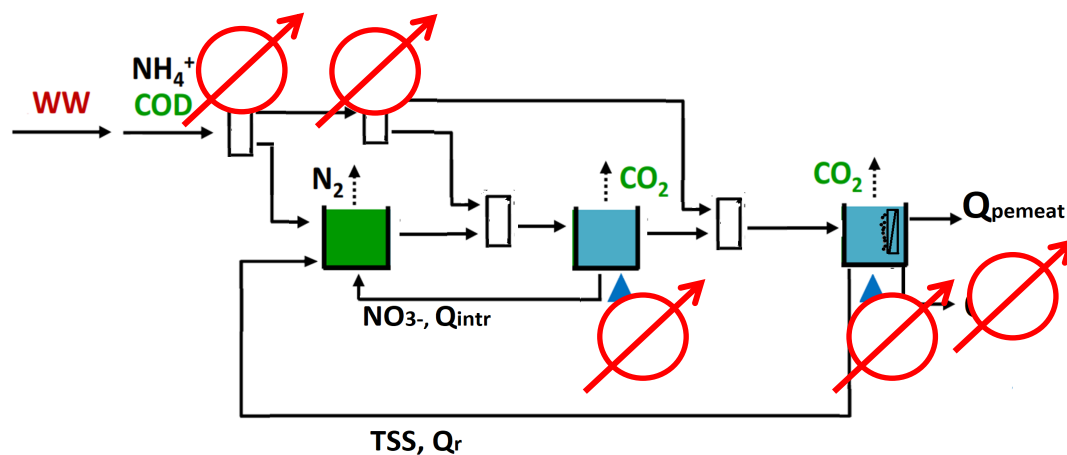
- Si présence d'un quota : calcul de l'instant auquel il faut irriguer!
- Si pas de quota : optimisation de la quantité nécessaire d'eau pour optimiser une production en utilisant une stratégie optimale  
qualitativement conforme à ce qu'ont coutume de proposer les experts de l'irrigation!

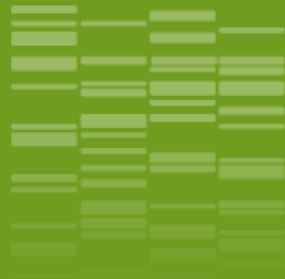
# Un système de traitement *flexible* pour la REUT

$$\psi_{tS}^{SOS}(t, S, V)$$



$Y_{wwtp}$





**04**

# Contrôle des systèmes flexibles

# Un système de traitement *flexible* pour la REUT

## *Définition de différents scénarios*

Scenario 1 : Traitement complet à traitement dégradé (azote sous forme ammoniacale)

Scenario 3 : Traitement dégradé à traitement complet

Travaux réalisés dans le cadre de la thèse de Farouk Aichouche en collaboration avec M. Heran, IEM, Univ. Montpellier

# Un système de traitement *flexible* pour la REUT

Contrôle du temps de séjour des boues

Scenario 1 : Passage de 25 à 6 jours de mise en place du scénario

Scenario 3 : Passage de plus de 100 jours à 50 pour mise en place d'une nitrification partielle

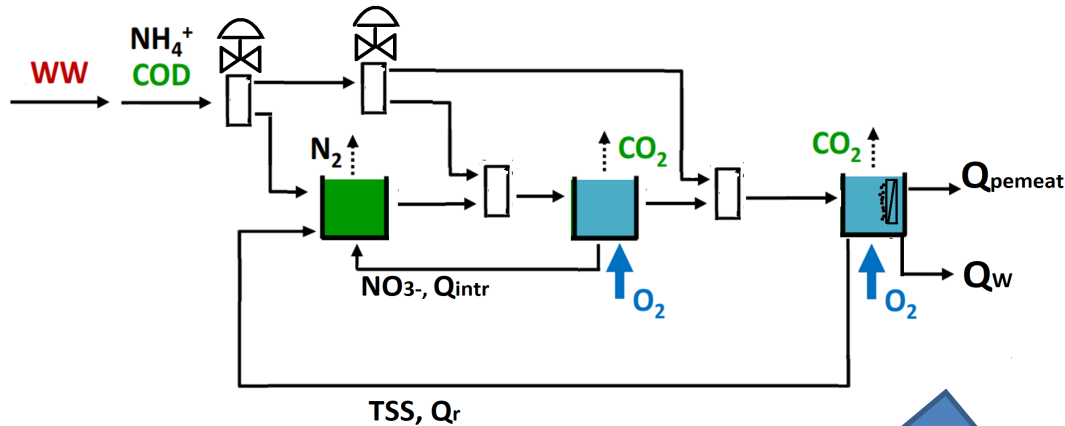


# \_05

Intégration des modèles de station  
de traitement et de modèles de  
plantes



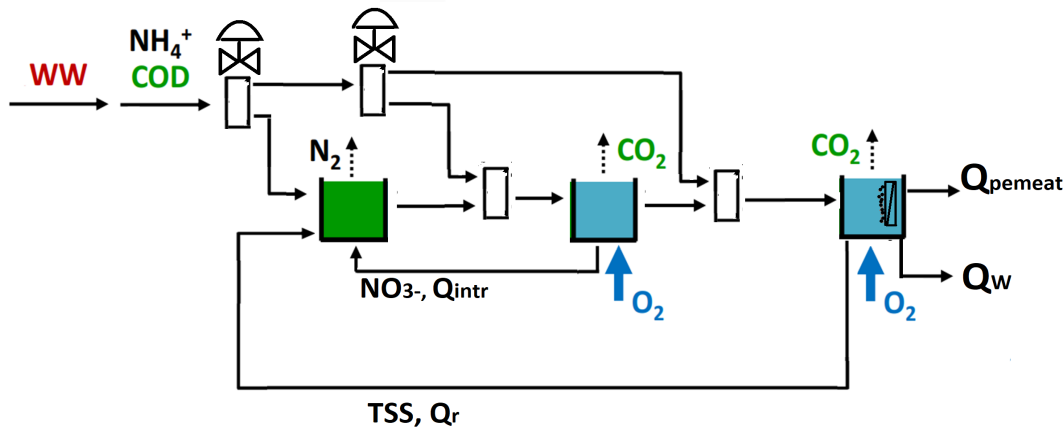
# Un système de traitement *flexible* pour la REUT (2)



Que choisir pour  $y_{wwtp}$  que l'on puisse atteindre en jouant sur  $u$ ?

$$\begin{cases} \dot{x}_{wwrf} = f_{wwrf}(x_{wwrf}, u_{wwrf}, w_{wwrf}) \\ y_{wwtp} = g_{wwrf}(x_{wwrf}) \end{cases}$$

# Which « information » for such a feedback?



$$\begin{cases} \dot{x}_{wrrf} = f_{wrrf}(x_{wrrf}, u_{wrrf}, w_{wrrf}) \\ y_{wrrf} = g_{wrrf}(x_{wrrf}) \end{cases}$$

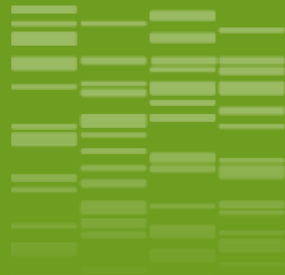
$$\begin{cases} \dot{x}_p = f_p(x_p, u_p, w_p) \\ y_p = g_p(x_p) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x}_{int} = f_{int}(x_{int}, u_{int}, w_{int}) \\ y_{int} = g_{int}(x_{int}) \end{cases}$$

\*Waste Resource Recovery Facilities

# Vers un contrôle optimal des filières de réutilisation des eaux

- Comment passer d'un traitement *en mode complet* à un traitement *en mode dégradé*?
- Comment choisir les stratégies d'irrigation et les appliquer à une filière de REUT?
  - *Innovation Deal « Sustainable wastewater treatment combining anaerobic membrane technology and water reuse »*
  - *Projet européen Control4Reuse (cf. [www.control4reuse.net](http://www.control4reuse.net)) et thèse de Farouk Aichouche (LBE - Univ. Tlemcen/Univ. Montpellier, bourse de la BID) – Flexibilité des systèmes de réutilisation des eaux usées traitées en agriculture*
  - *Postdoc de Nesrine Kalboussi (Digitag) – ACV des filières de réutilisation des eaux usées traitées*
  - *Réseaux TREASURE et SICMED-Reuse ([www.inra.fr/treasure](http://www.inra.fr/treasure))*
  - *Projet AGENCE (Site de Murviel les Montpellier)*



06

## Conclusions et perspectives

# Conclusions et perspectives

- L'utilisation de ressources non conventionnelles doit être optimisée;
- La modélisation des systèmes de traitement couplés à des modèles de cultures permet d'envisager l'optimisation de toute la filière;
- Nécessité d'une approche pluridisciplinaire;
- Nombreux défis techniques, notamment dans le couplage de modèles fondamentalement différents;
- Résultats préliminaires très encourageants



# Conclusions et perspectives

## **International REUSE MUSE Workshop: Agricultural Water Reuse - How to address health and environmental challenges?**

2-4 octobre 2019 – Montpellier

<https://sites.google.com/view/workshop-reuse/main-page>



Merci de votre attention!