



HAL
open science

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

Jérôme Harmand

► **To cite this version:**

Jérôme Harmand. Intégration des systèmes de traitement et de modèles de plantes pour l'adaptation de la REUT aux usages. 10. Journées Techniques Eau et Déchets - JTED 2019, Institut National des Sciences Appliquées - Toulouse (INSA de Toulouse). FRA., May 2019, Toulouse, France. <hal-02733933>

HAL Id: hal-02733933

<https://hal.inrae.fr/hal-02733933v1>

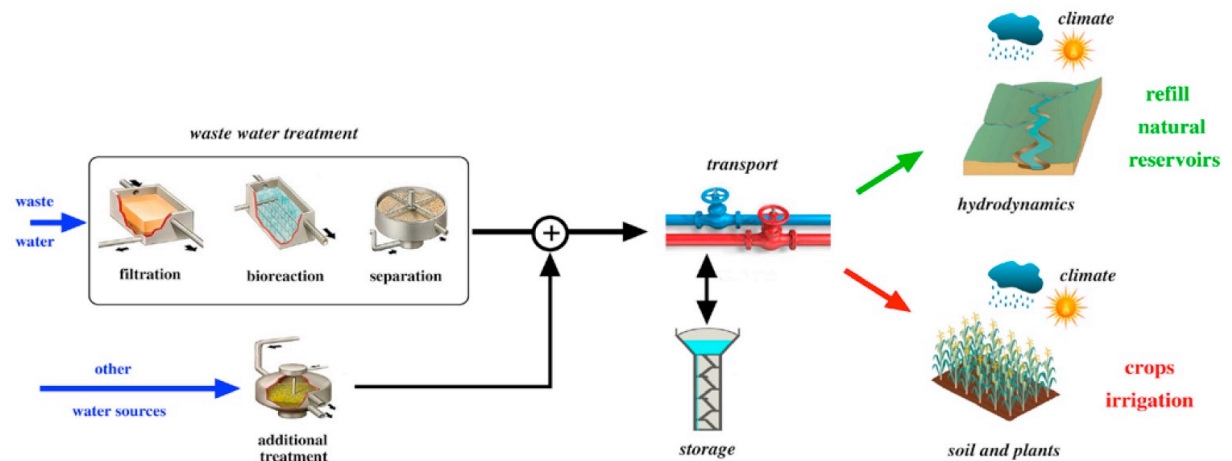
Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



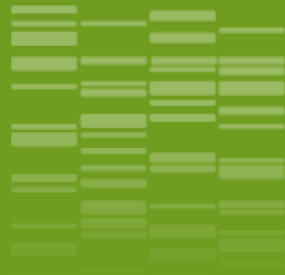
Intégration des systèmes de traitement et de modèles de plantes pour l'adaptation de la REUT aux usages

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

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

CONTEXTE

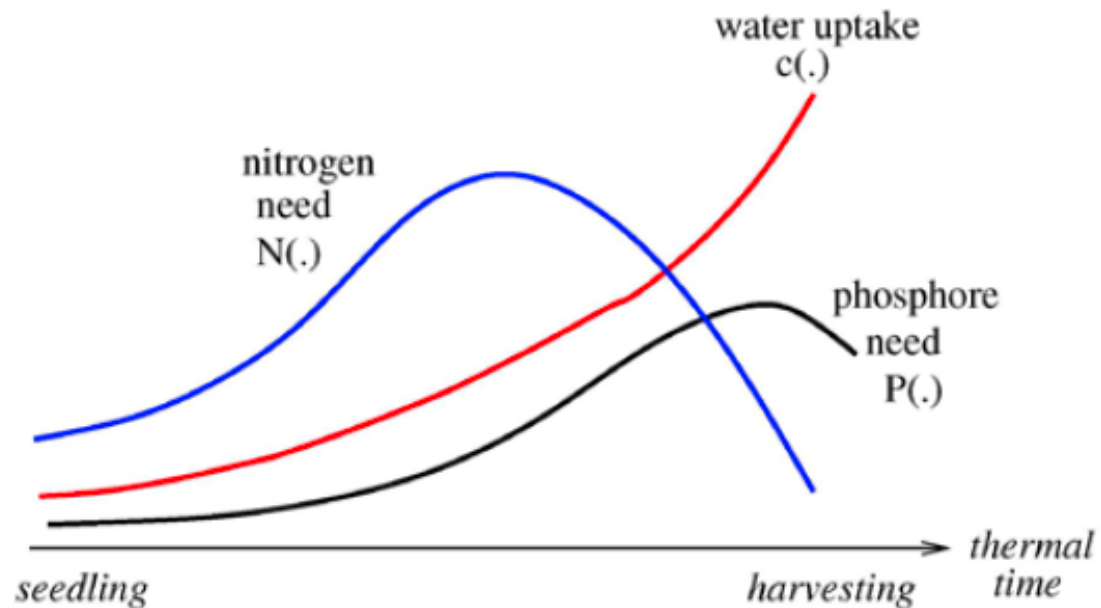
- ❖ Les techniques pour la REUT sont mûres
- ❖ Que nous disent les *modèles* de plantes?
- ❖ Réels besoins *d'optimisation*
- ❖ En quoi *la modélisation et l'automatique* peuvent-elles nous aider?



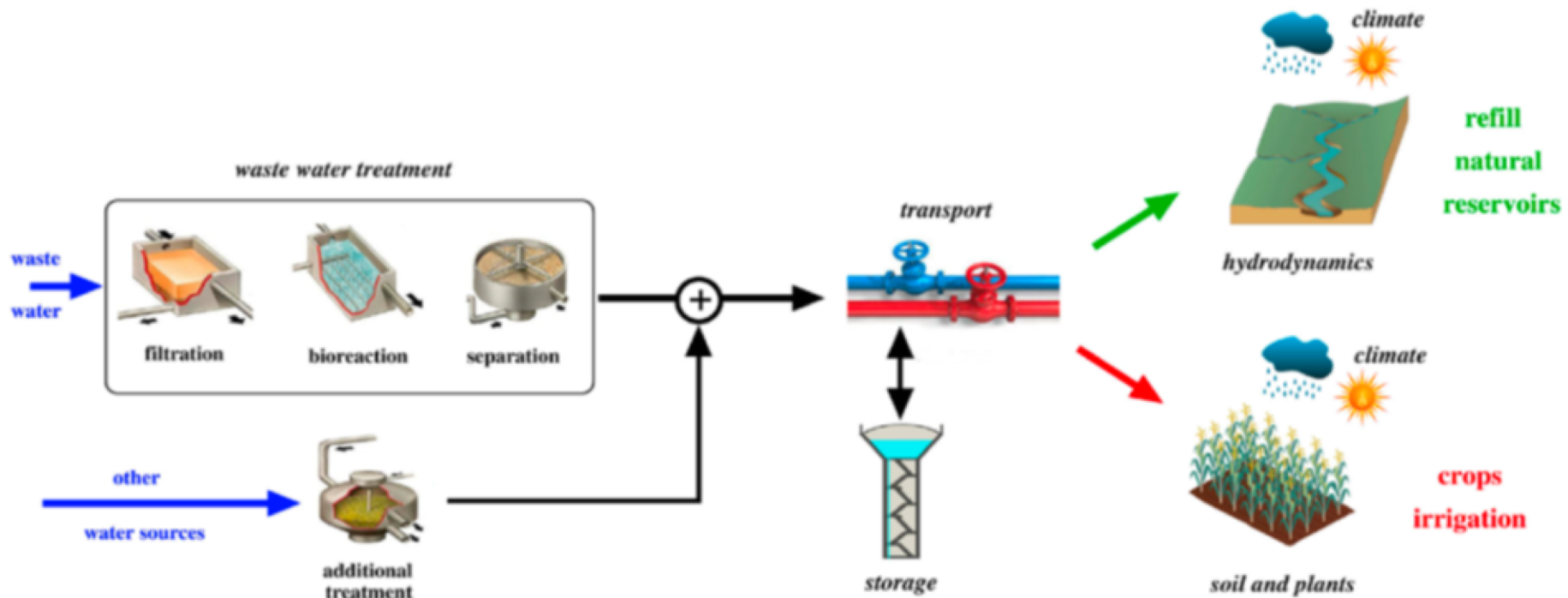
01

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?

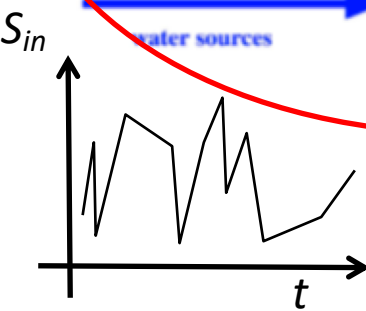
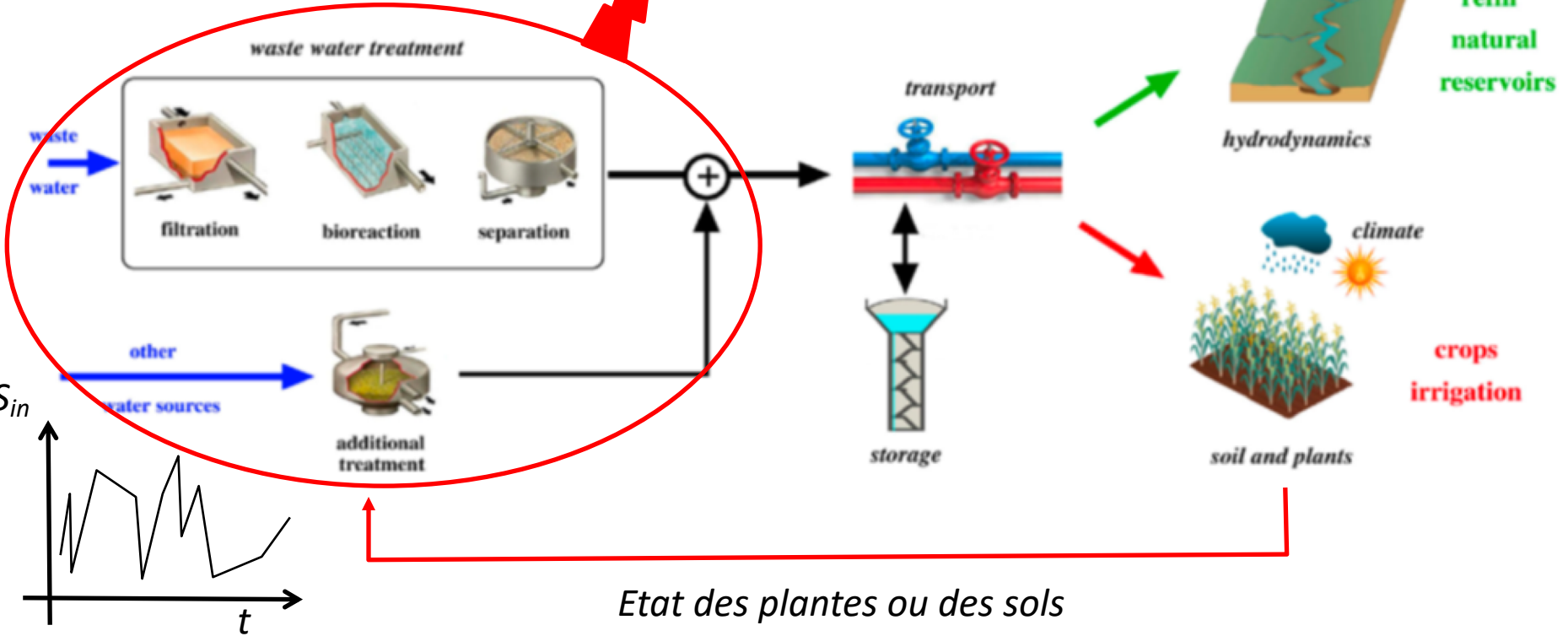
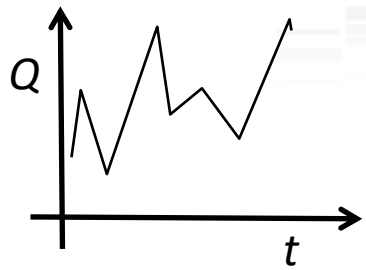




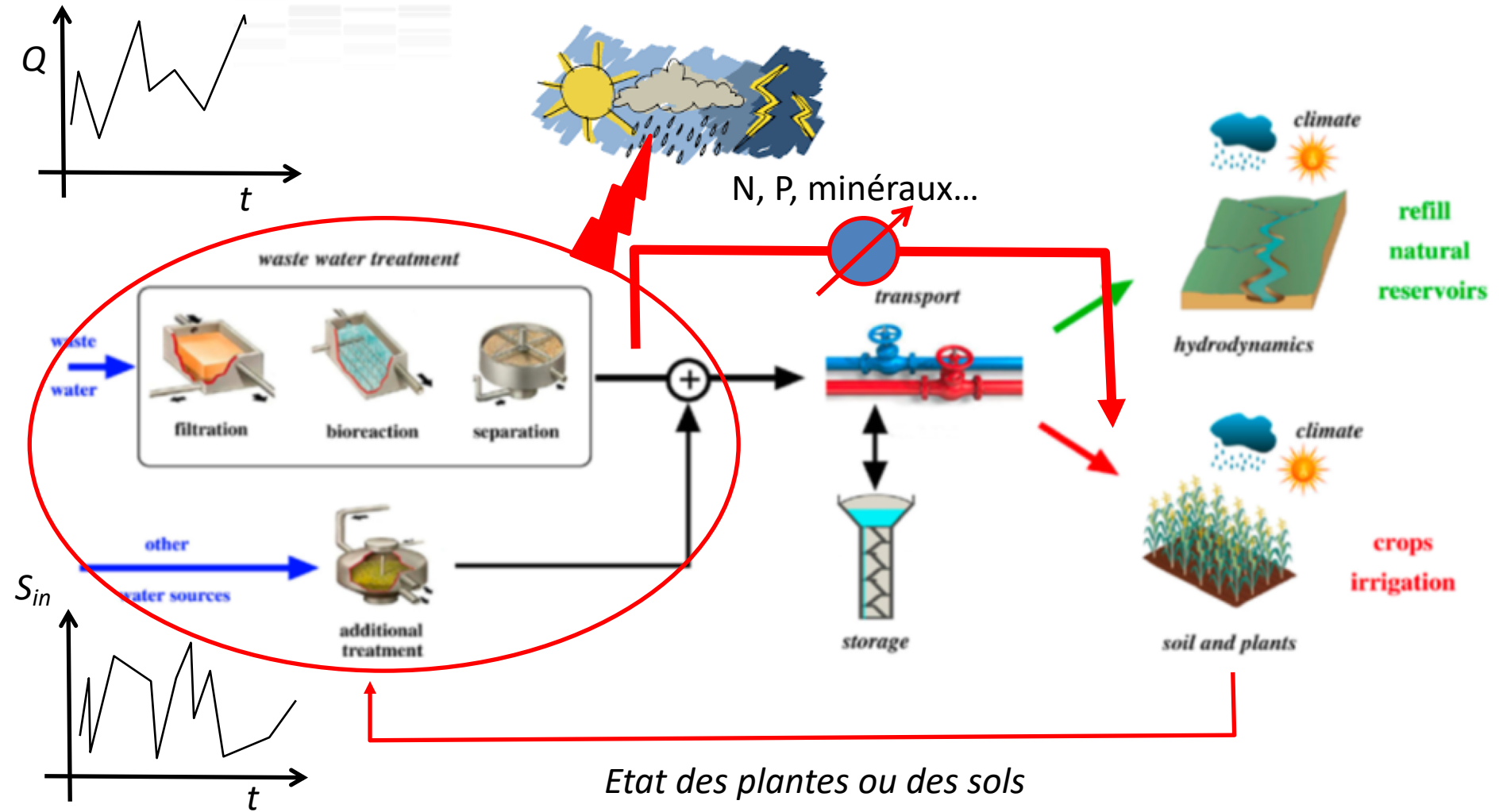
Un défi...

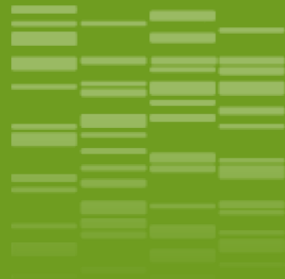
Comment optimiser la croissance des plantes en agissant sur les leviers disponibles sur une filière de REUT?

Il faut fermer la boucle!



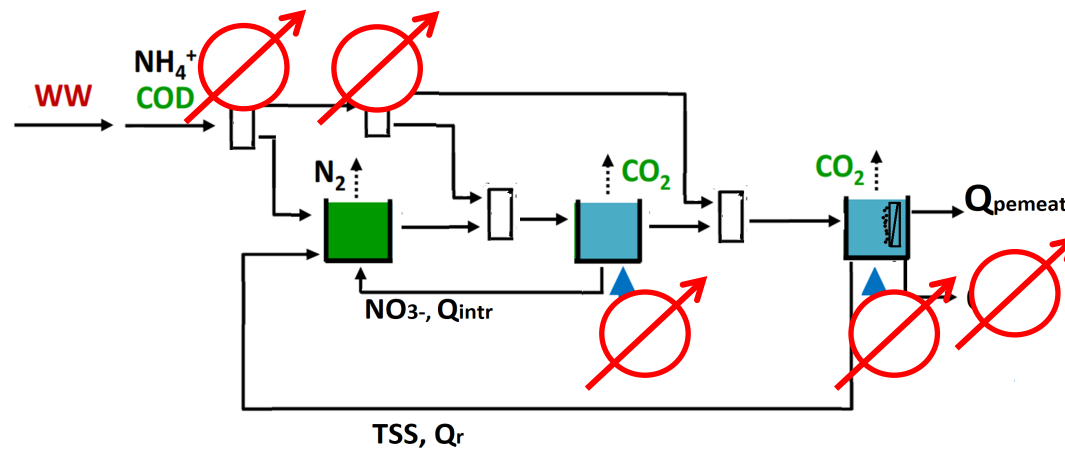
(Une remarque importante!)



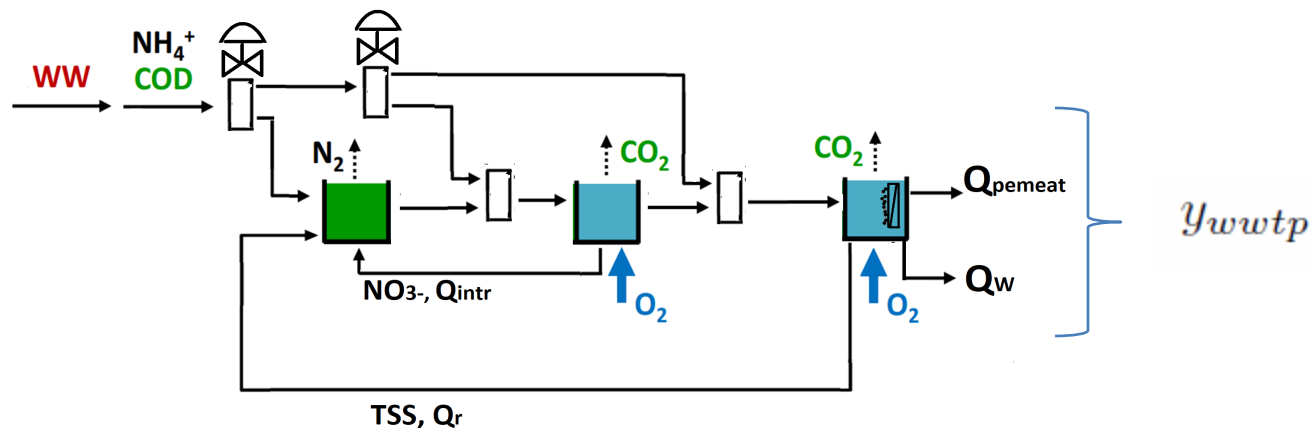


02 La démarche

Un système de traitement *flexible* pour la REUT



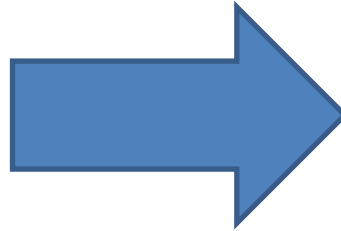
Un système de traitement *flexible* pour la REUT (2)



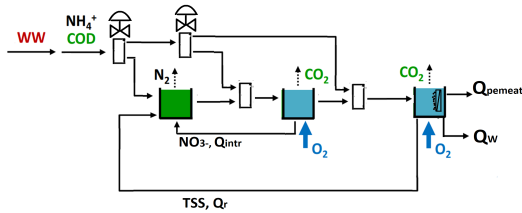
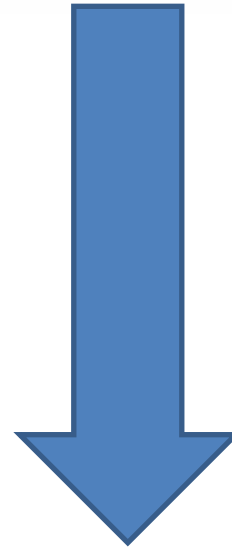
Que choisir pour Y_{wwtp} que l'on puisse atteindre en jouant sur u ?

$$\text{⊗} \sim u$$

Comment générer la trajectoire y_{wwtp} ?



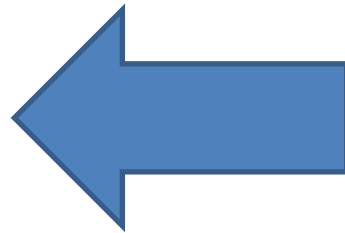
$$\begin{cases} \dot{x}_p &= f_p(x_p, u_p, w_p) \\ y_p &= g_p(x_p) \end{cases}$$



$$u_{wrrf?} / y_{wwtp} = \hat{u}_p$$



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



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



03

Résultats préliminaires : contrôle optimal de la croissance des plantes

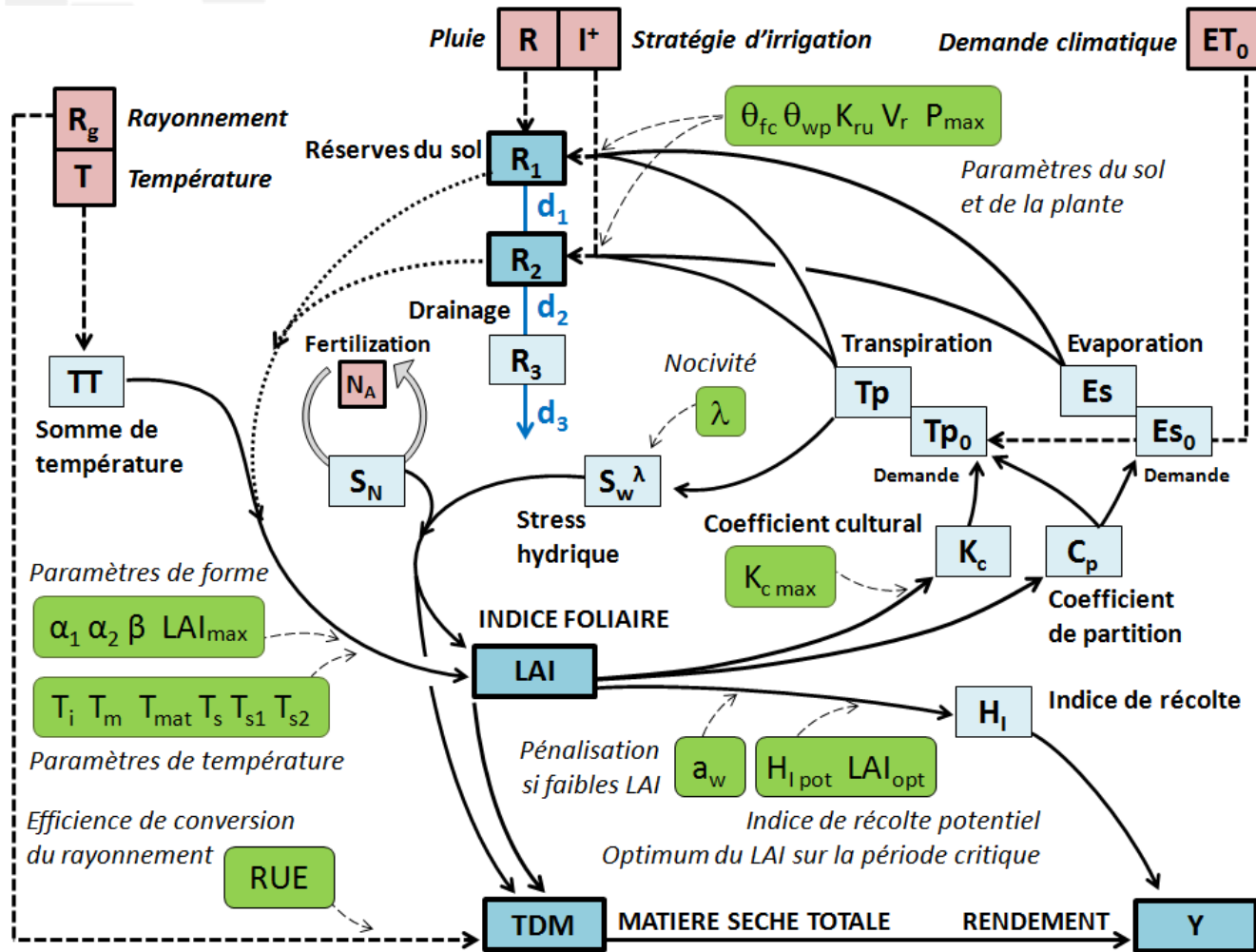
Contrôle optimal de la croissance des plantes

About modeling and control strategies for scheduling crop irrigation [★]

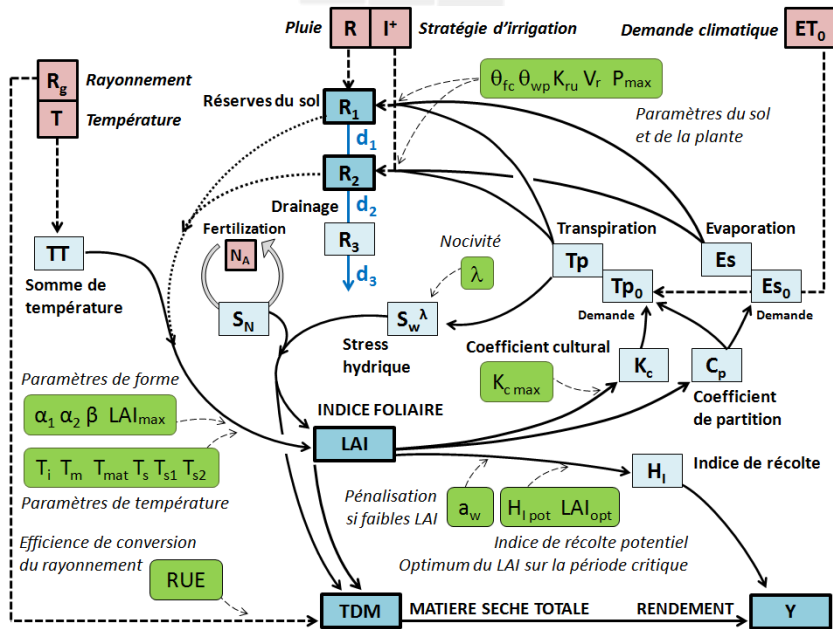
Nesrine Kalboussi ^{*,**} Sébastien Roux ^{**} Kenza Boumaza ^{**}
Carole Sinfort ^{*} Alain Rapaport ^{**}

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

Contrôle optimal de la croissance des plantes (2)



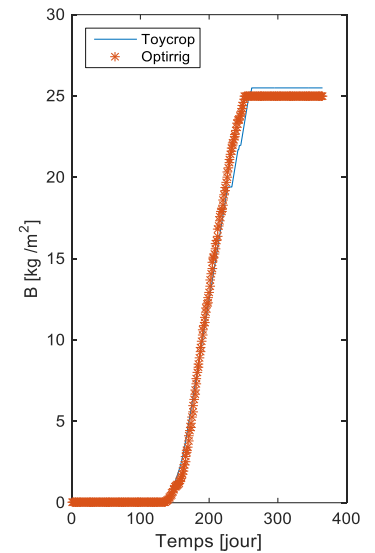
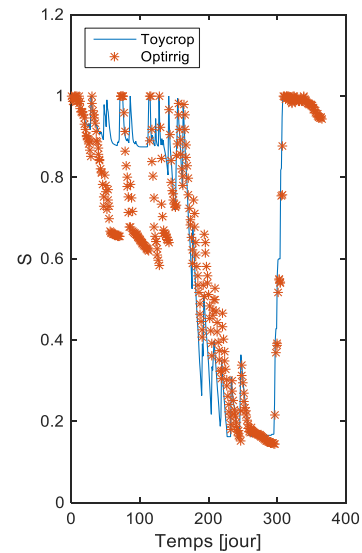
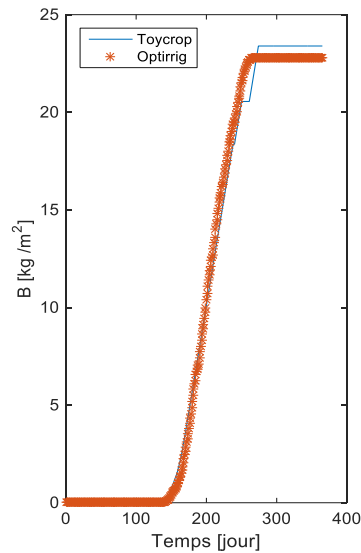
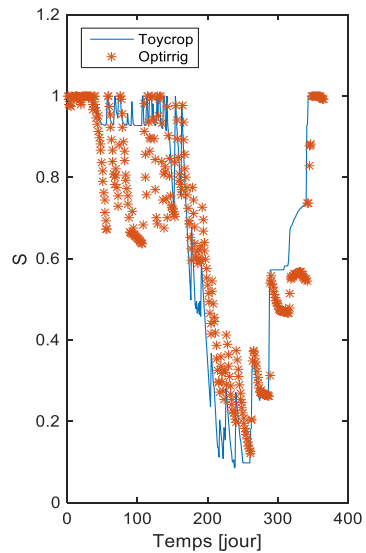
Contrôle optimal de la croissance des plantes (3)



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

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

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!

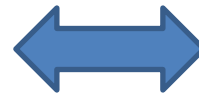
Contrôle optimal de la croissance des plantes (6)

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

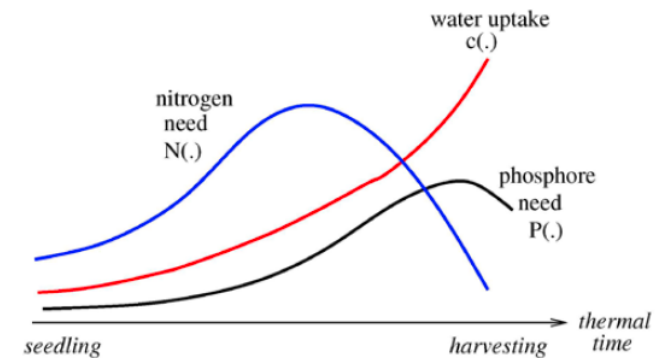
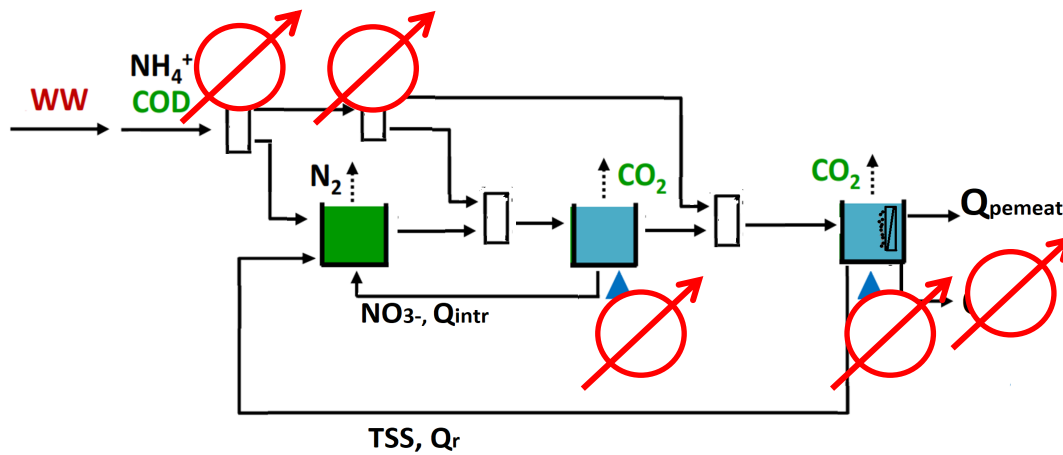
- Si présence d'un quota : calcul de l'instant auquel il faut irriguer!
- Si pas de quota : optimisation de la quantité nécessaire d'eau pour optimiser une production en utilisant une stratégie optimale
qualitativement conforme à ce qu'ont coutume de proposer les experts de l'irrigation!

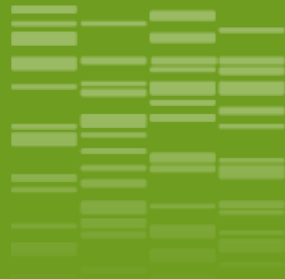
Un système de traitement *flexible* pour la REUT

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



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

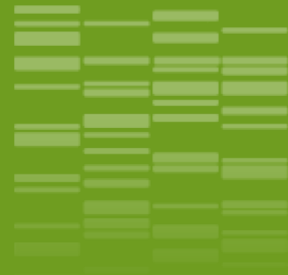
Travaux réalisés dans le cadre de la thèse de Farouk Aichouche en collaboration avec M. Heran, IEM, Univ. Montpellier

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

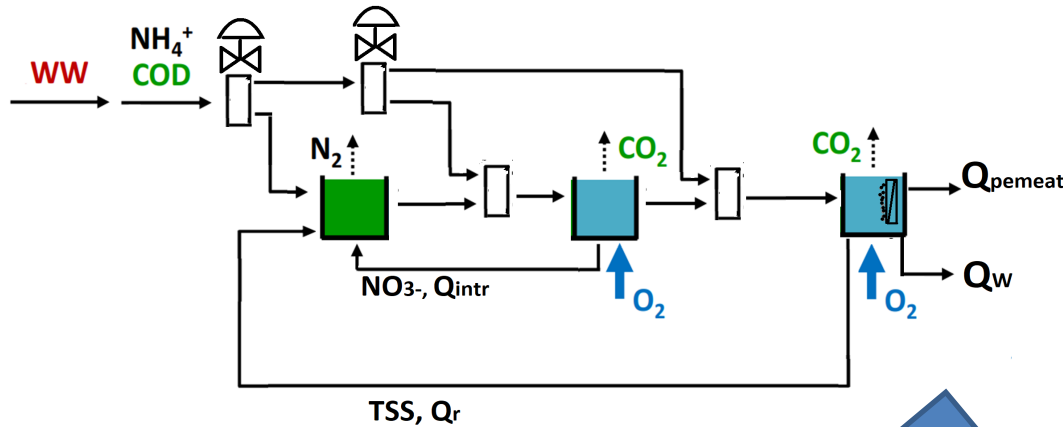
Scenario 3 : Passage de plus de 100 jours à 50 pour mise en place d'une nitrification partielle



05

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

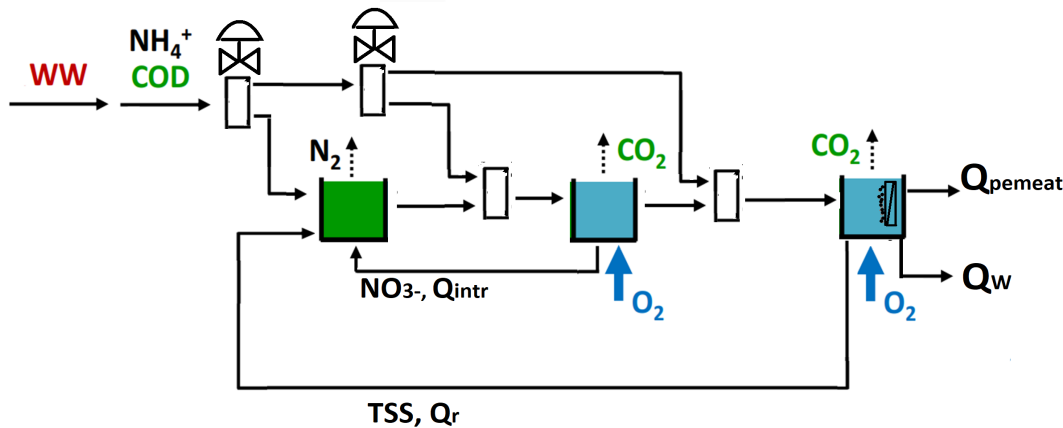
Un système de traitement *flexible* pour la REUT (2)



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?



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

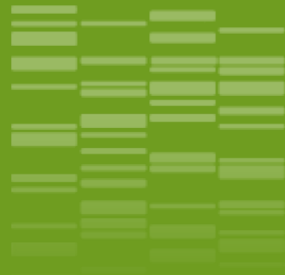
$$\begin{cases} \dot{x}_p = f_p(x_p, u_p, w_p) \\ y_p = g_p(x_p) \end{cases}$$

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

*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) 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)*
 - *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!