



# **Vers un contrôle en temps réel des paramètres de qualité de l'eau dans les canaux**

**X. Litrico, O. Fovet, G. Belaud**

**UMR G-EAU**

Séminaire de clôture du projet ALGEQUEAU, 2 décembre 2010, Montpellier



# Introduction

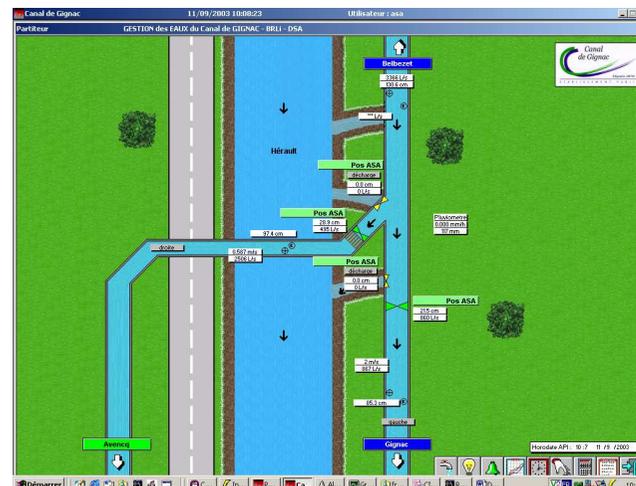
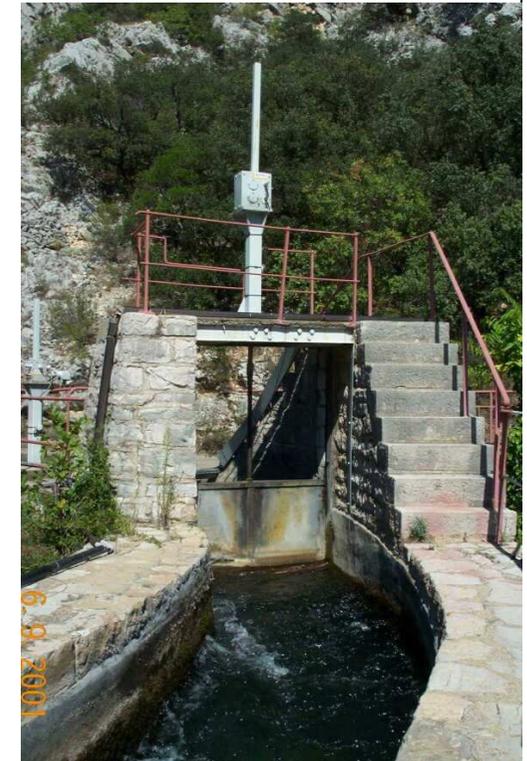
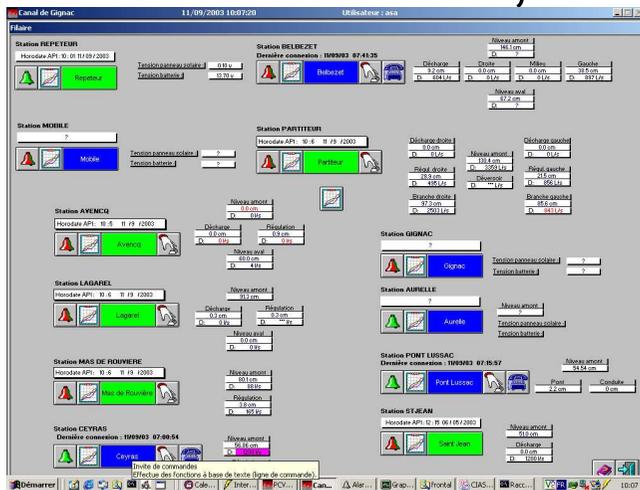
- Les canaux à surface libre disposent d'ouvrages hydrauliques (vannes, seuils, pompes) permettant de contrôler les niveaux et débits en différents points
- Ces ouvrages utilisés pour la gestion opérationnelle permettent
  - D'améliorer la gestion quantitative de l'eau
  - De faciliter le travail du gestionnaire
  - D'apporter un meilleur service à l'usager
- Modernisation des canaux: SCADA, capteurs et actionneurs

# Canaux = infrastructure gérée

- Ouvrages hydrauliques

– Vannes, seuils

et



# Vers la gestion de la qualité

- Les contraintes de gestion impliquent de plus en plus des aspects de qualité de l'eau, en plus de la quantité
- Les ouvrages hydrauliques peuvent aussi être utilisés pour gérer la qualité de l'eau: gestion de la salinité aux Pays-Bas (Xu et al., Water Science & Tech. 2010)
- Les canaux sont donc un cas d'étude parfait pour une gestion combinant qualité et quantité

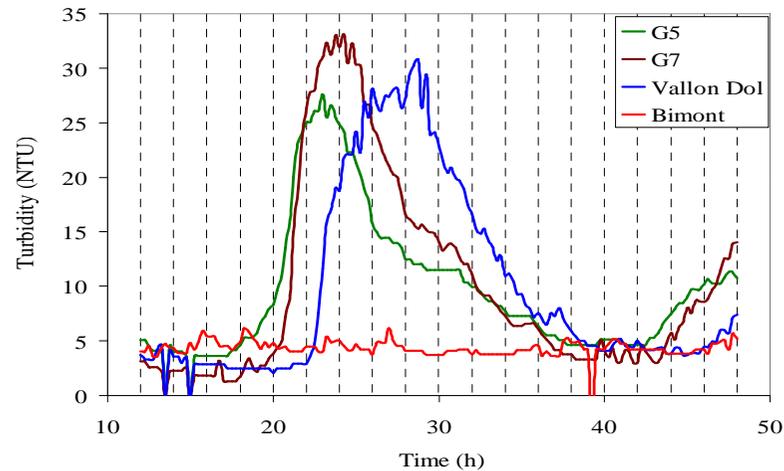
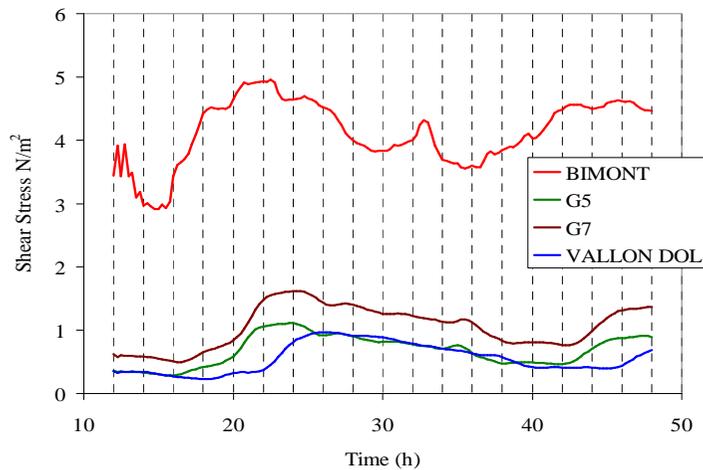
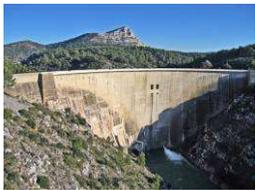
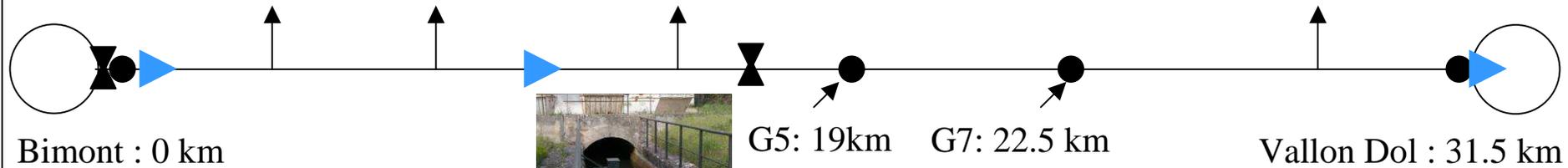


# Plan

- Introduction
- Contrôle en boucle ouverte
  - Modèle simplifié
  - Conception de chasses
- Contrôle en boucle fermée
  - Contrôle adaptatif
- Perspectives

# Données de chasses réalisées sur site réel

- Canal de Provence: Branche de Marseille Nord (BMN)



- monitoring
- ⚡ regulation gate
- ↑ offtake or escape channel

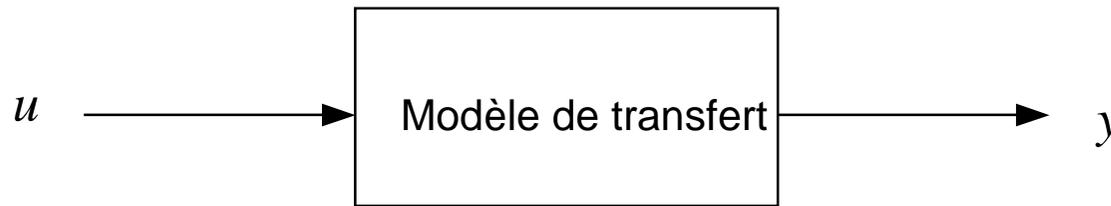


# Contrôle en boucle ouverte

- Développement d'un modèle entrée-sortie
  - Entrée = débit amont
  - Sortie = turbidité aval
  - Modèle linéaire (second ordre + retard)
- Calage du modèle sur des données réelles
- Inversion du modèle pour concevoir une chasse

# Modèle de transfert entrée- sortie

- $u(t)$  = dérivée du débit amont
- $y(t)$  = turbidité aval



- Modèle du second ordre avec retard à 3 paramètres:

$\alpha$  : temps de réponse

$$y(s) = \frac{\beta e^{-\gamma s}}{(1 + \alpha s)(1 + K' s)} u(s)$$

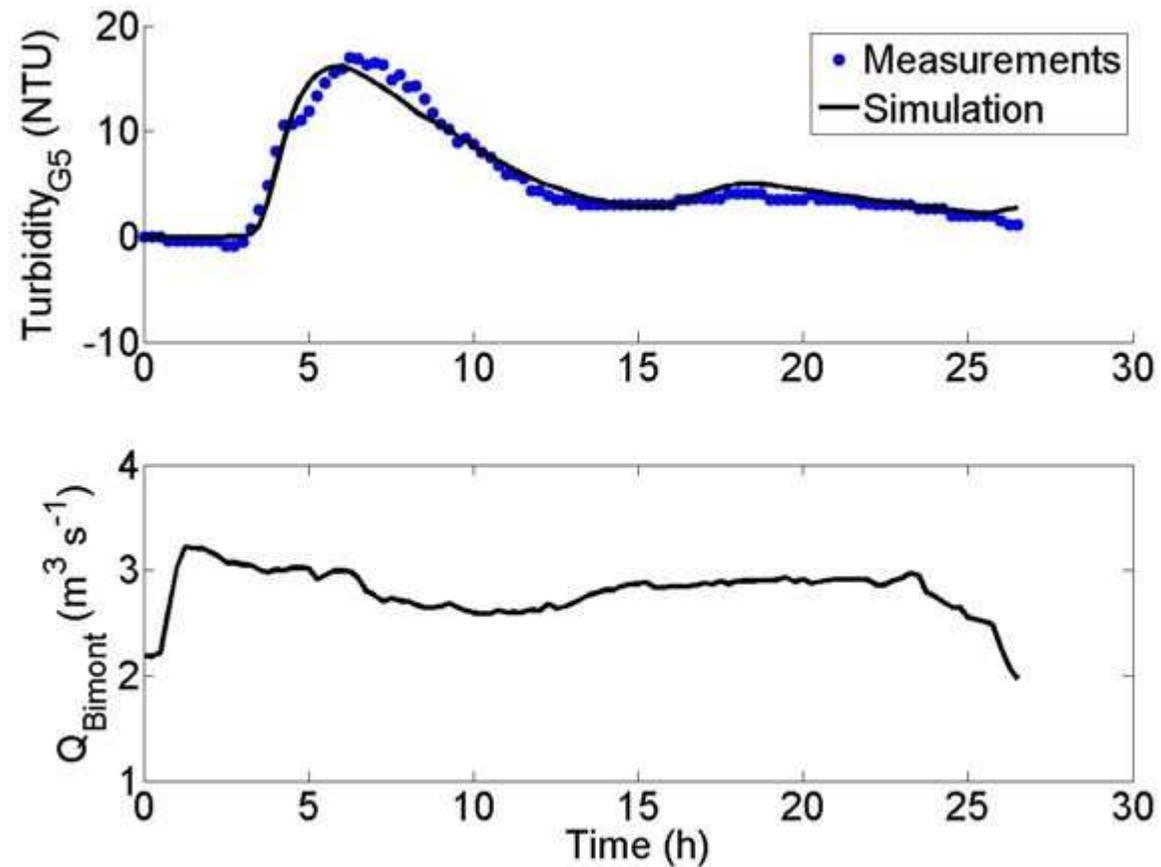
$\beta$  : gain

$\gamma$  : retard

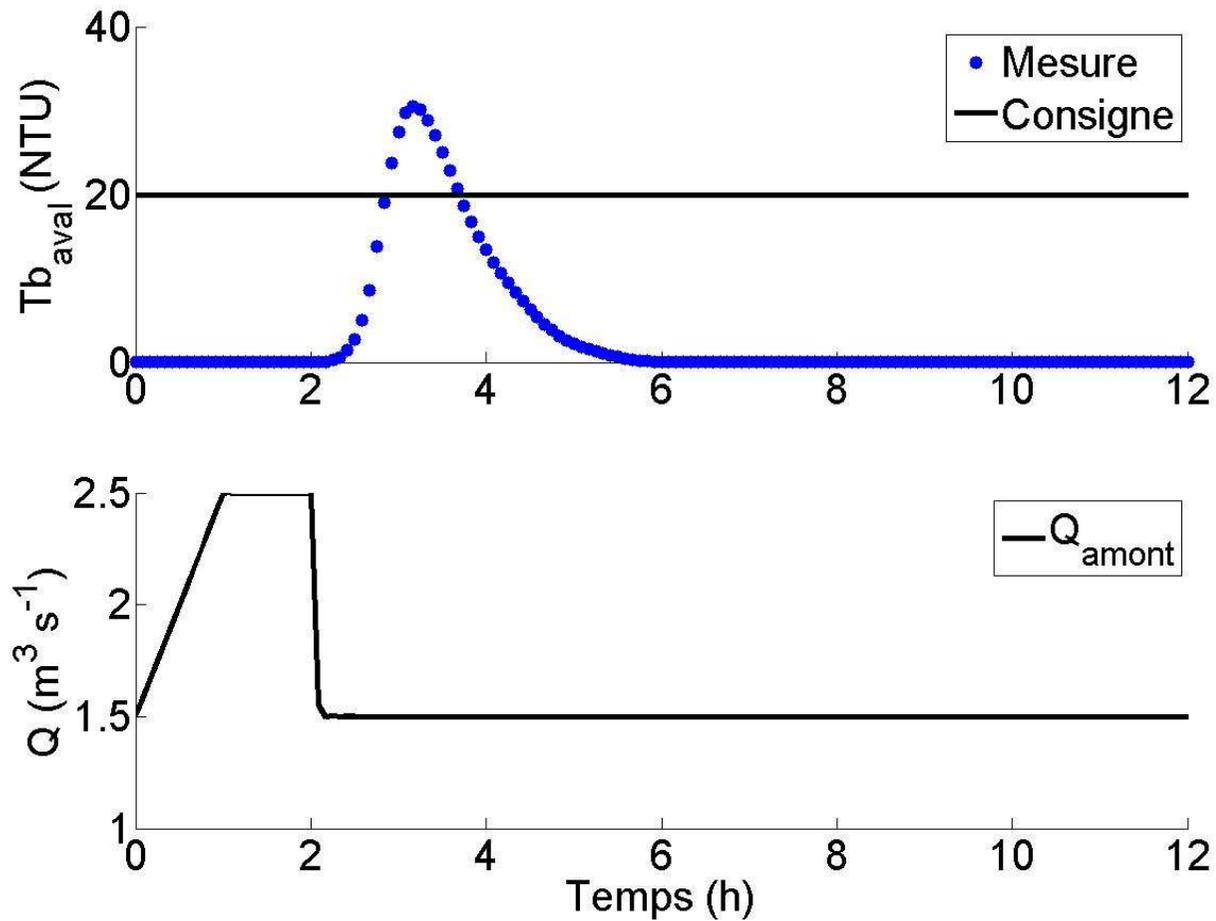
# Calage du modèle

- Calage du détachement et transport

Identification des paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  sur des données de débit amont et turbidité aval



# Simulation sur modèle non

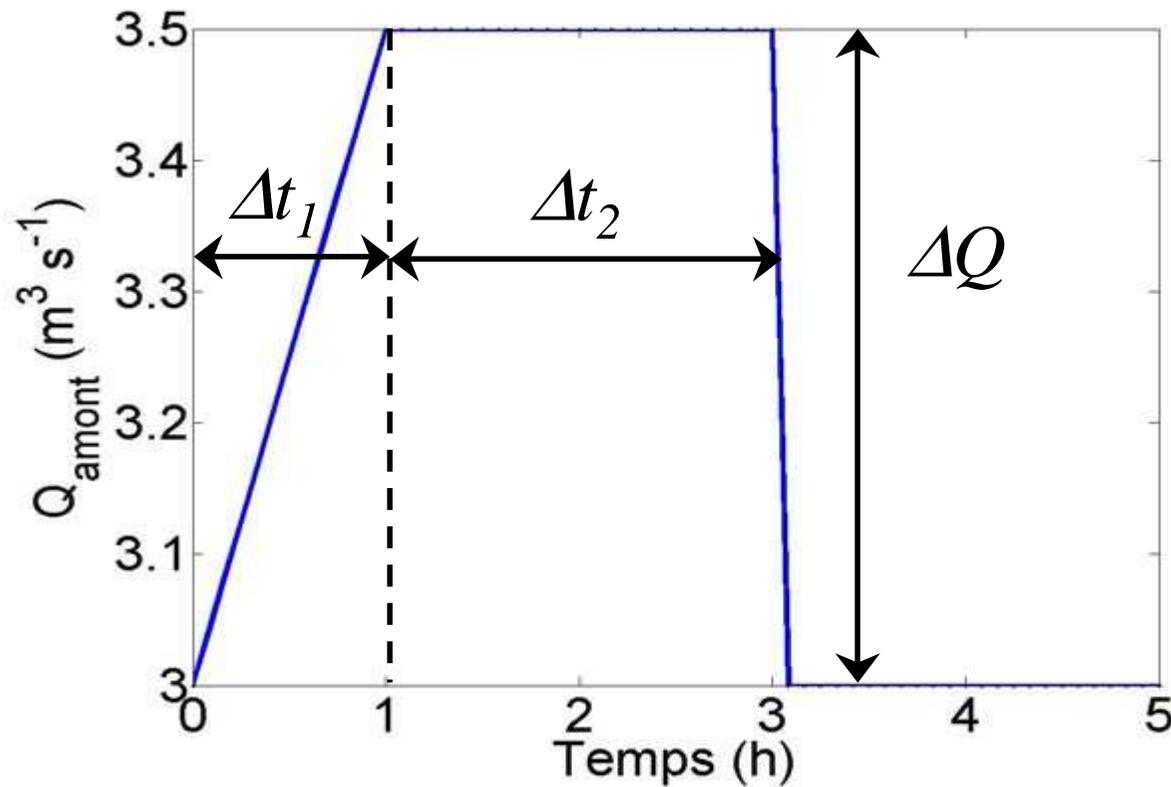


# Conception de la chasse

- Objectifs:
  - Maximiser le détachement
  - Sous la contrainte d'un niveau maximal de turbidité
  - Minimiser le volume d'eau utilisé
- Intérêts d'utiliser un modèle linéaire simple
  - Il peut être résolu *analytiquement* pour des entrées en échelon ou rampes
  - On peut exprimer le niveau de turbidité max, le volume d'eau et la biomasse détachée en fonction des paramètres de la chasse
  - Utile pour gérer les compromis entre turbidité et volume d'eau

# Conception de la chasse

- Choix des paramètres déterminant la chasse





# Expressions analytiques

- Turbidité

$$T_b(t - \tau' - \gamma) = 0 \quad \text{if } t \leq \tau' + \gamma$$

$$T_b(t - \tau' - \gamma) = \frac{\Delta Q \beta}{\Delta t_1 (\alpha - K')} \left( \alpha (1 - e^{-\frac{t}{\alpha}}) - K' (1 - e^{-\frac{t}{K'}}) \right) \\ \text{if } \tau' + \gamma < t \leq \tau' + \gamma + \Delta t_1$$

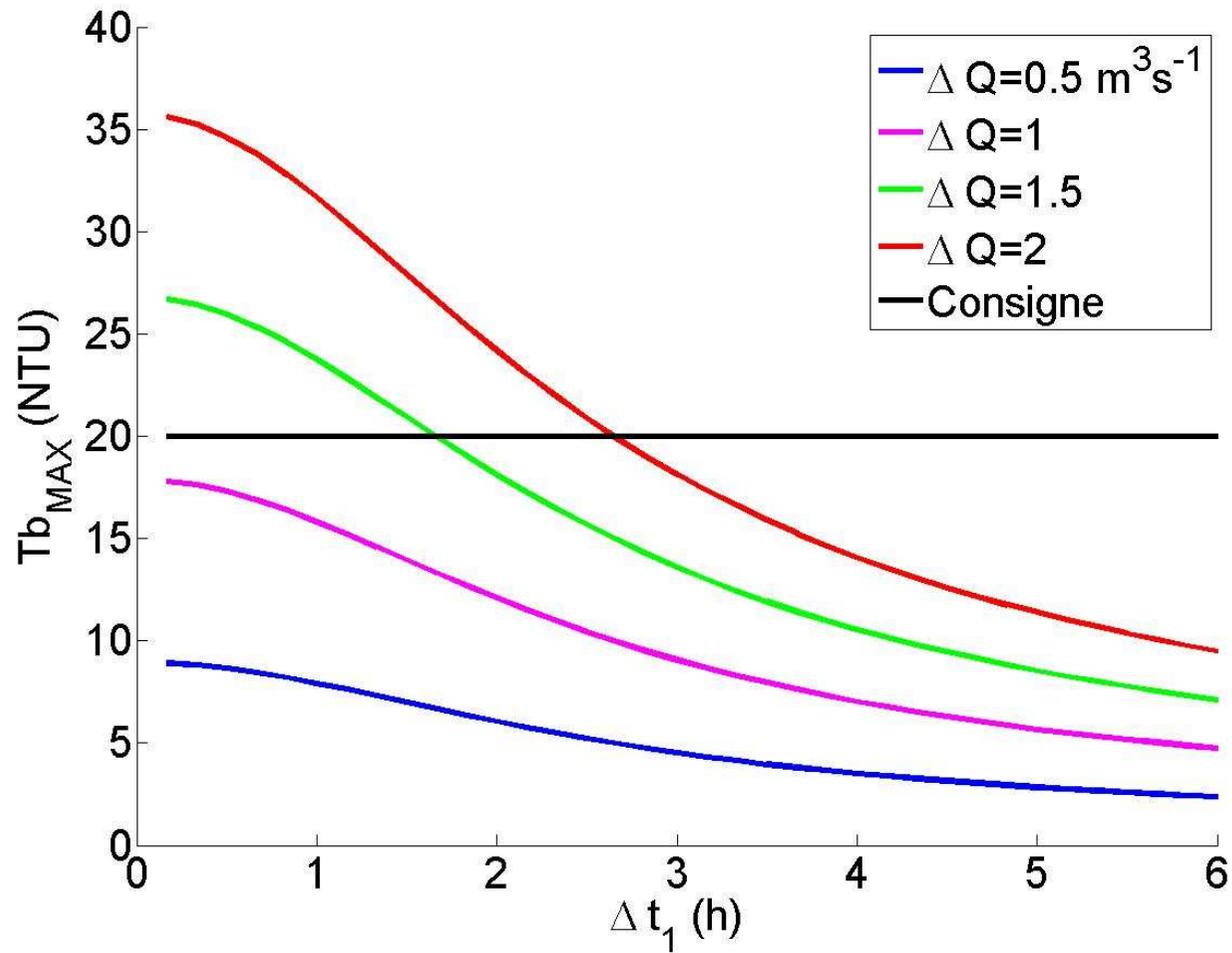
$$T_b(t - \tau' - \gamma) = \frac{\Delta Q \beta}{\Delta t_1 (\alpha - K')} \left( \alpha (1 - e^{-\frac{t}{\alpha}}) - K' (1 - e^{-\frac{t}{K'}}) \right. \\ \left. - (\alpha (1 - e^{-\frac{t - \Delta t_1}{\alpha}}) - K' (1 - e^{-\frac{t - \Delta t_1}{K'}})) \right) \\ \text{if } t > \tau' + \gamma + \Delta t_1$$

$$T_{b,M} = \frac{\Delta Q \beta}{\Delta t_1 (\alpha - K')} \left( \alpha (1 - e^{-\frac{t_M - \Delta t_1}{\alpha}}) - K' (1 - e^{-\frac{t_M - \Delta t_1}{K'}}) \right. \\ \left. - (\alpha (1 - e^{-\frac{t_M - \Delta t_1}{\alpha}}) - K' (1 - e^{-\frac{t_M - \Delta t_1}{K'}})) \right) \quad \Bigg| \quad t_M = \frac{\alpha K'}{\alpha - K'} \log \left( \frac{K' (e^{\frac{\Delta t_1}{K'}} - 1)}{\alpha (e^{\frac{\Delta t_1}{\alpha}} - 1)} \right)$$

- Turbidité maximale

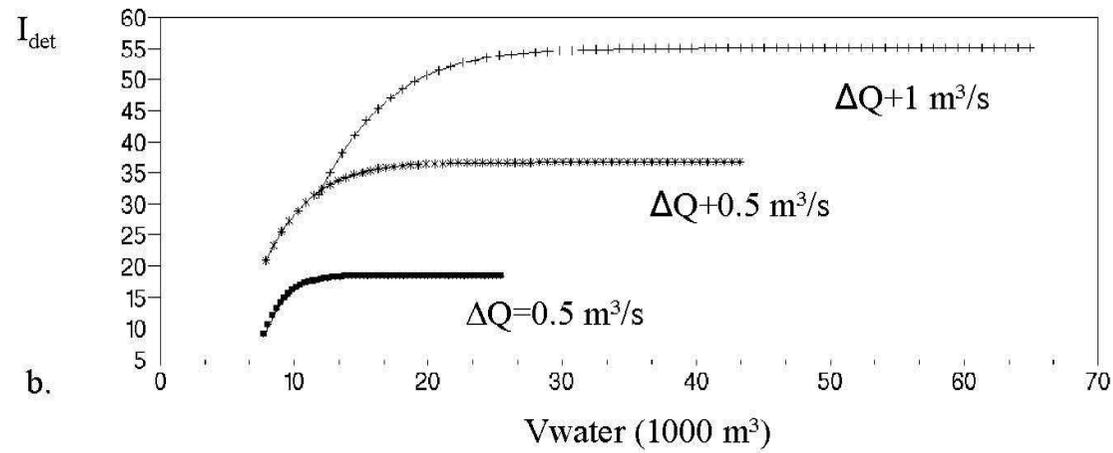
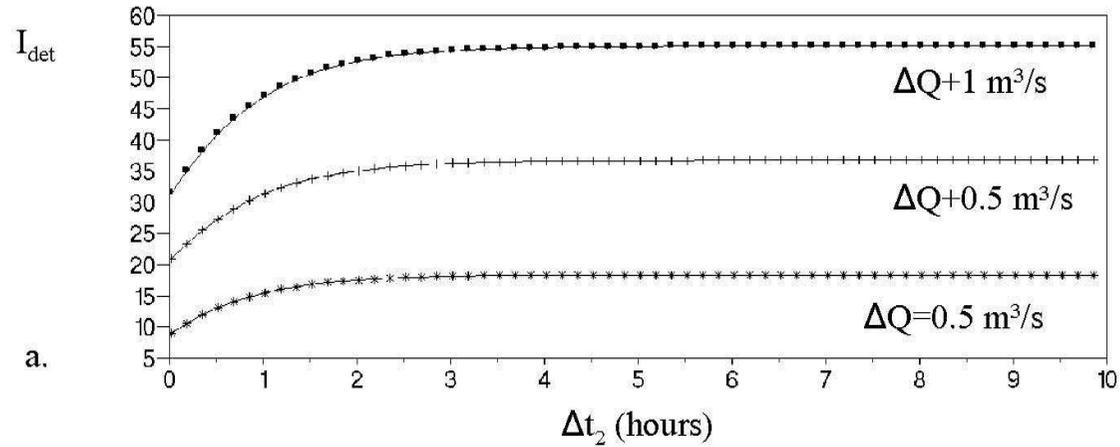
$$I_{det} = \Delta Q \beta \left( 1 + \frac{\alpha^2 e^{-\frac{\Delta t_2}{\alpha}} (e^{-\frac{\Delta t_1}{\alpha}} - 1) - K'^2 e^{-\frac{\Delta t_2}{K'}} (e^{-\frac{\Delta t_1}{K'}} - 1)}{(\alpha - K') \Delta t_1} \right) \quad \Bigg|$$

# Abaques

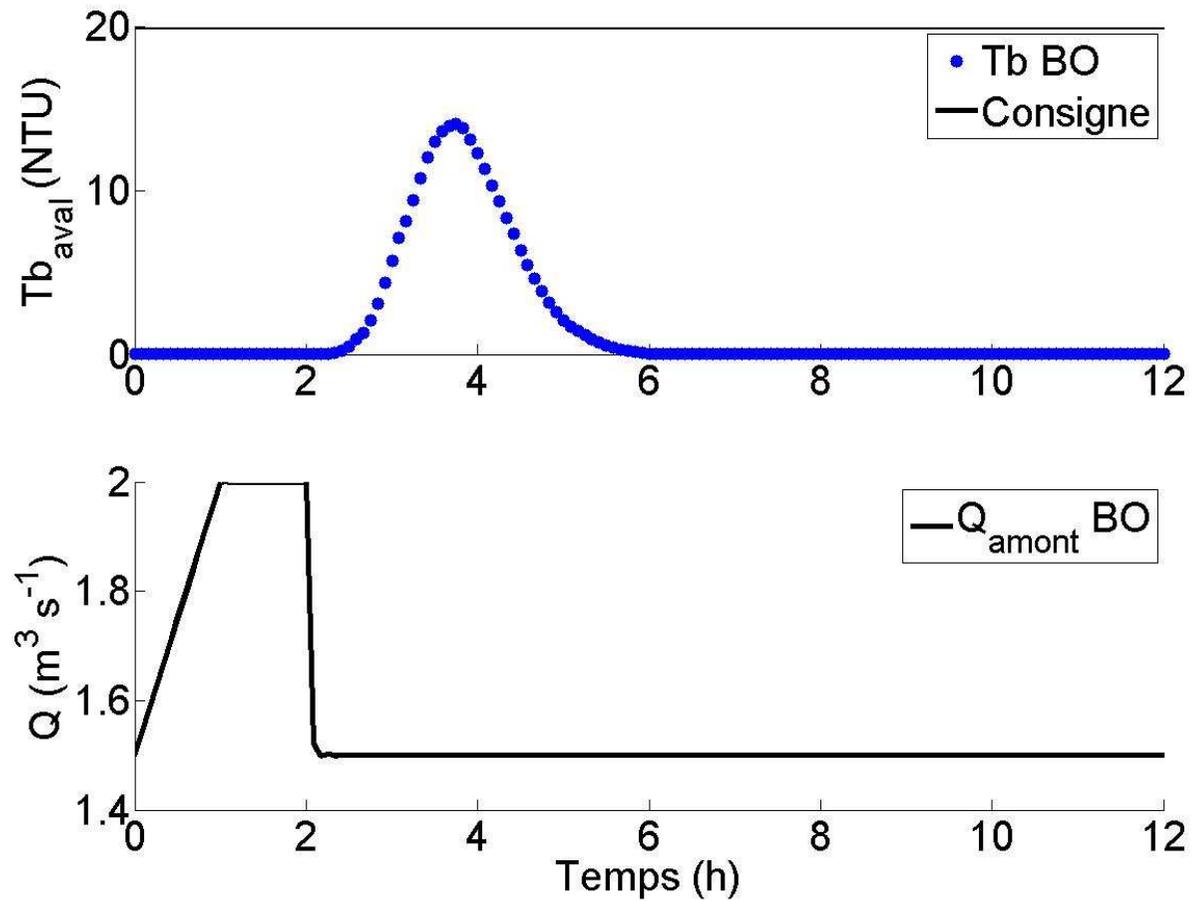


# Abaques

- Bi



# Boucle ouverte: test en simulation

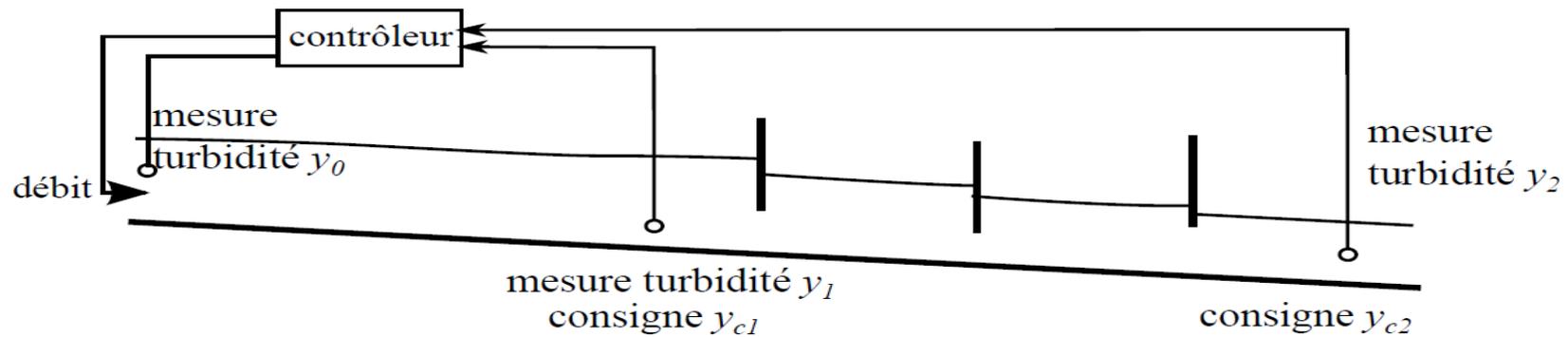




# Contrôle en boucle ouverte

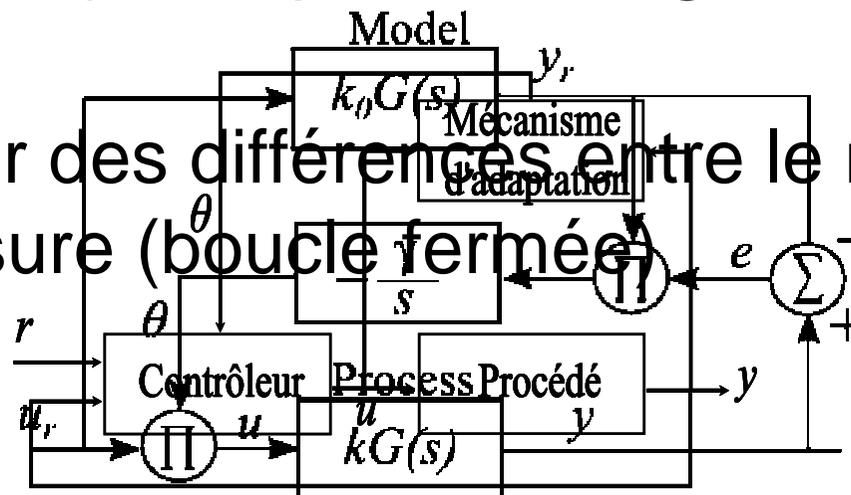
- Sensible aux erreurs de modèle:
  - Si l'on a sous-estimé la quantité d'algues dans le canal, la turbidité aval va dépasser la valeur maximale autorisée
  - Pas d'ajustement possible en temps réel
- Conception d'un contrôleur en boucle fermée
  - Correction de la lâchure de débit amont en fonction de la turbidité aval
  - Nécessité de réagir avant que la chasse ait

# Contrôle en boucle fermée; principe

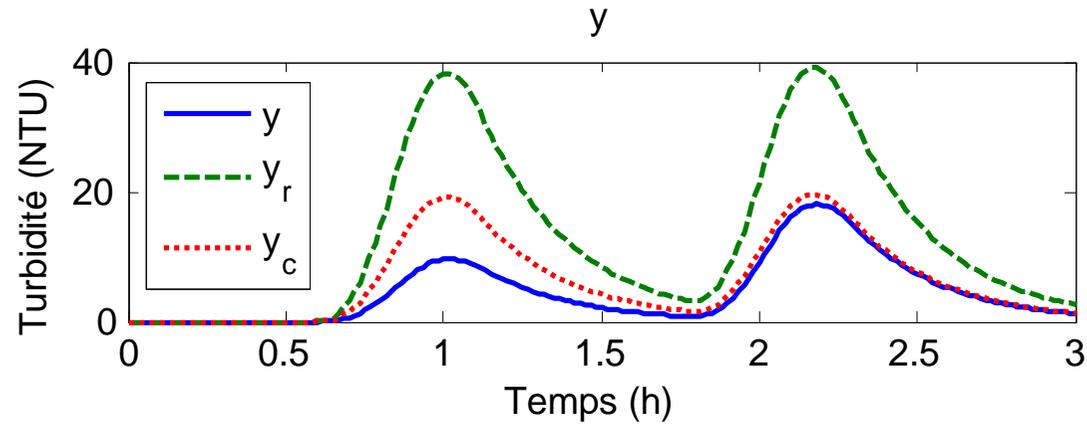
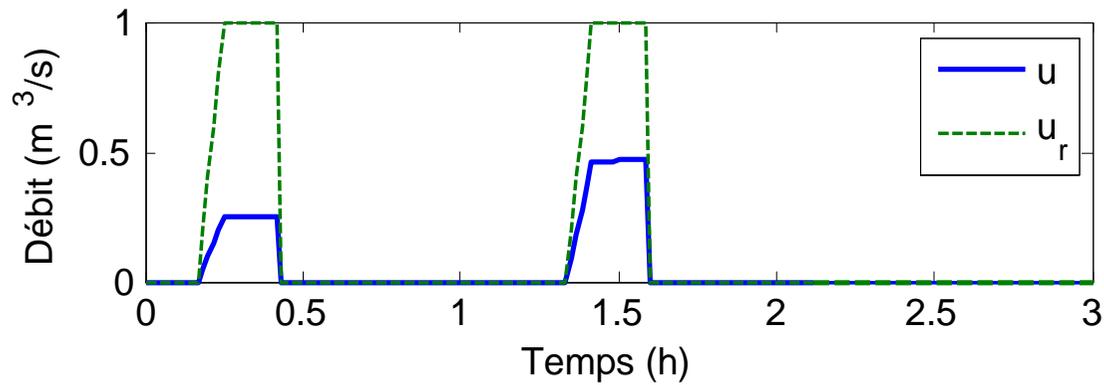


# Contrôle adaptatif en boucle fermée

- Principe:
  - Identifier en temps réel un paramètre inconnu (ici la quantité d'algues dans le canal)
  - À partir des différences entre le modèle et la mesure (boucle fermée)

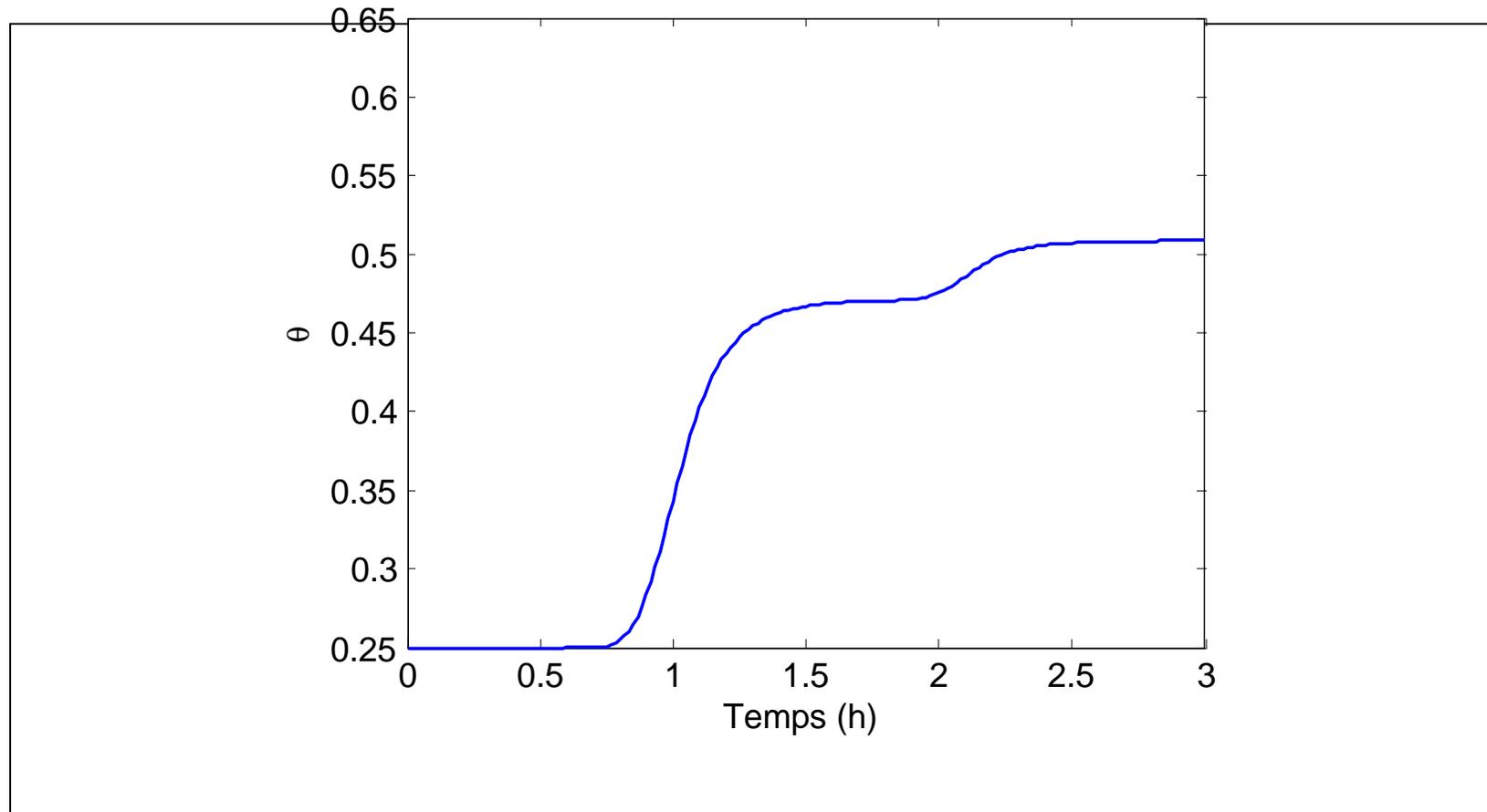


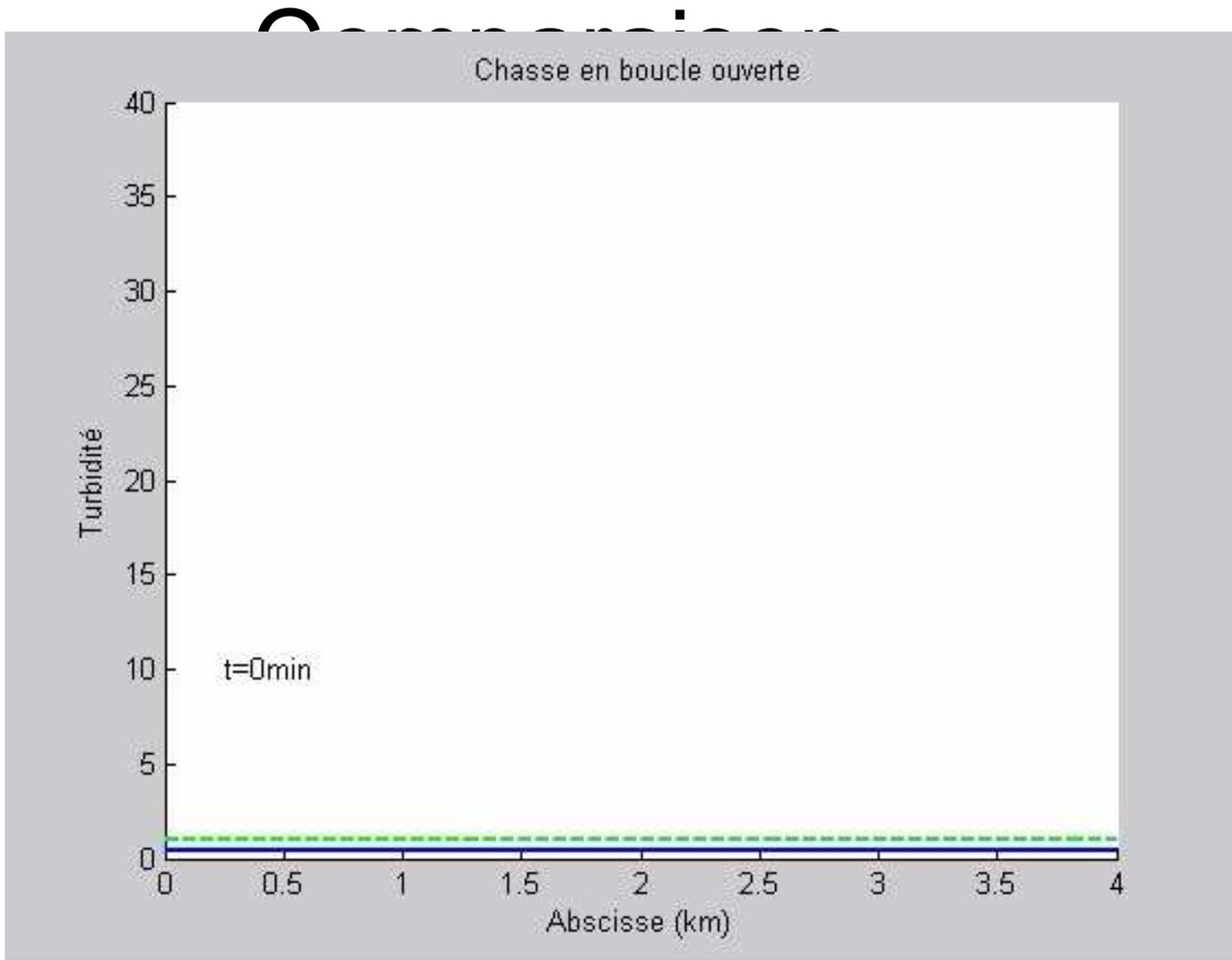
# Contrôle adaptatif: résultats de simulation



# Contrôle adaptatif : paramètre d'adaptation

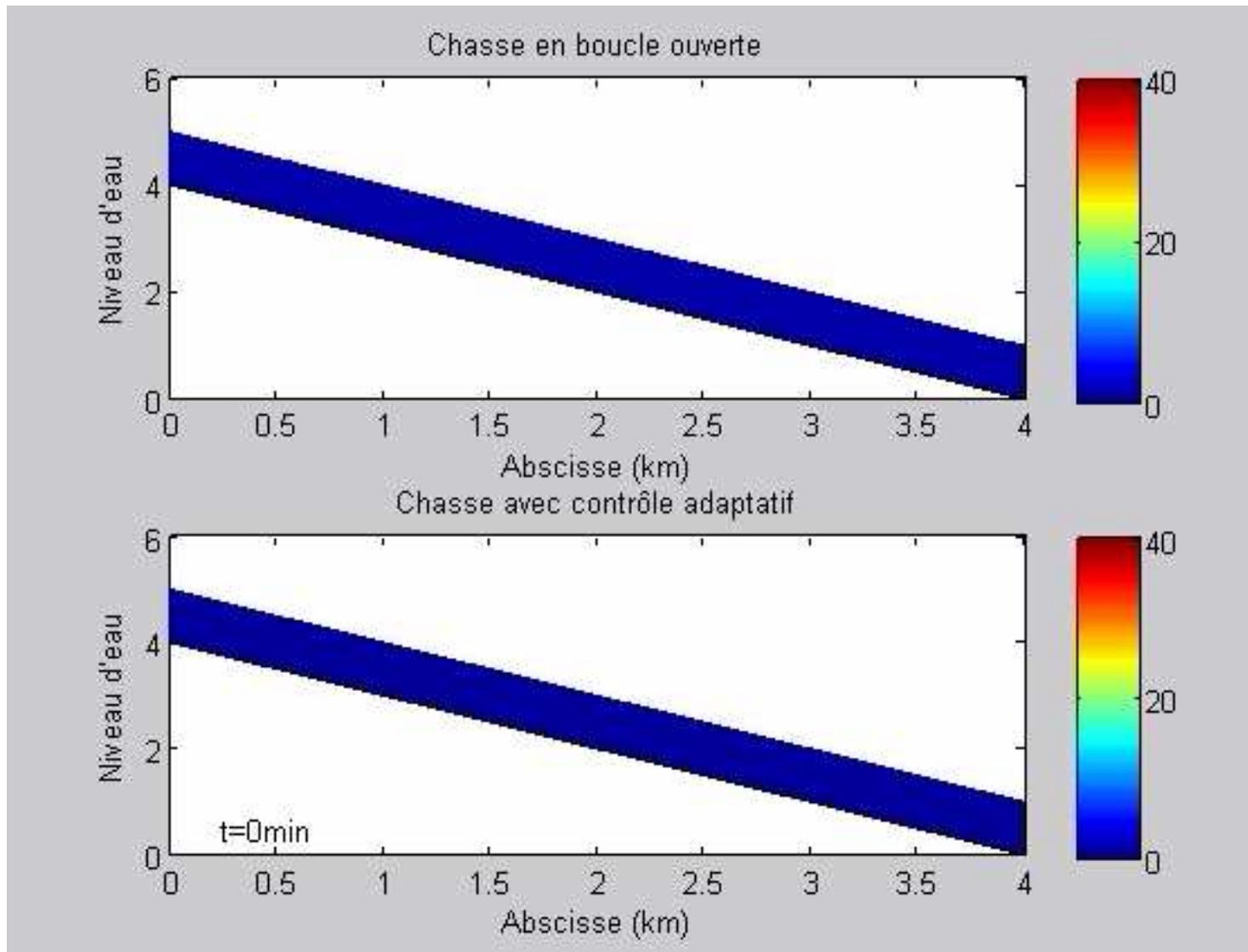
Paramètre  $\theta$

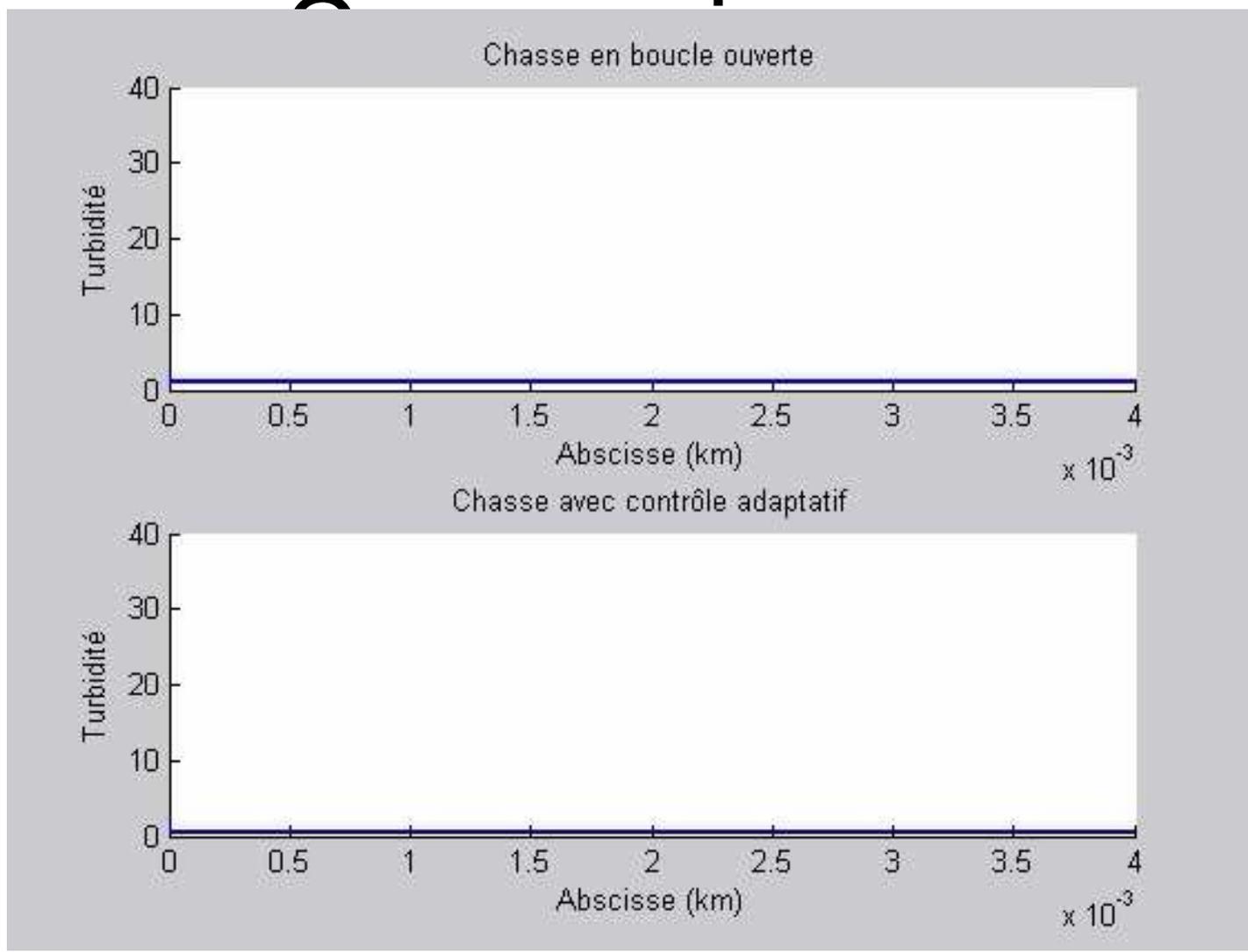






# Comparaison







# Autres pistes pour le contrôle en boucle fermée

- Placement optimal de capteurs
  - Placement d'un capteur proche de l'amont
  - Pas trop proche sinon pas de signal
  - Pas trop loin sinon temps de retard trop grand
- Contrôle robuste
  - Contrôle peu sensible aux incertitudes de modèle
- Contrôle prédictif

Utilise un modèle du système pour prédire

# Conclusions & Perspectives

- Chasses hydrauliques : une stratégie de gestion originale
- Contrôle en boucle ouverte
  - Dimensionnement de chasses à l'aide d'un modèle linéaire entrée-sortie
  - Facile à caler
  - Utile pour gérer les compromis
- Contrôle en boucle fermée
  - Contrôle adaptatif
  - Contrôle proportionnel
- Perspectives:

Tests de chasses en boucle ouverte et en

