Résolution du problème inverse en hydrogéologie par une estimation successive des flux

Philippe Pasquier

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Plan de la présentation

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

1. Introduction
2. Méthode de l'estimation successive des flux
3. Modèle synthétique utilisé
4. Inversion bi-dimensionnelle
5. Détermination des paramètres opérationnels
6. Impact de l'erreur d'estimation des charges
7. Application à l'aquifère de Lachenaie
8. Inversion tri-dimensionnelle
9. Conclusion

Utilisation des méthodes numériques

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Les problèmes rencontrés sont complexes :

- Ressources en eau potable
  - Détermination des périmètres de protection
- Études environnementales
  - Évaluation de différents scénarios de restauration
- Stockage de déchets nucléaires
  - Migration des isotopes radioactifs
- Ressources pétrolières
  - Évaluation des ressources pétrolières

$\Rightarrow$ Méthodes numériques

Modèle non-calibré

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

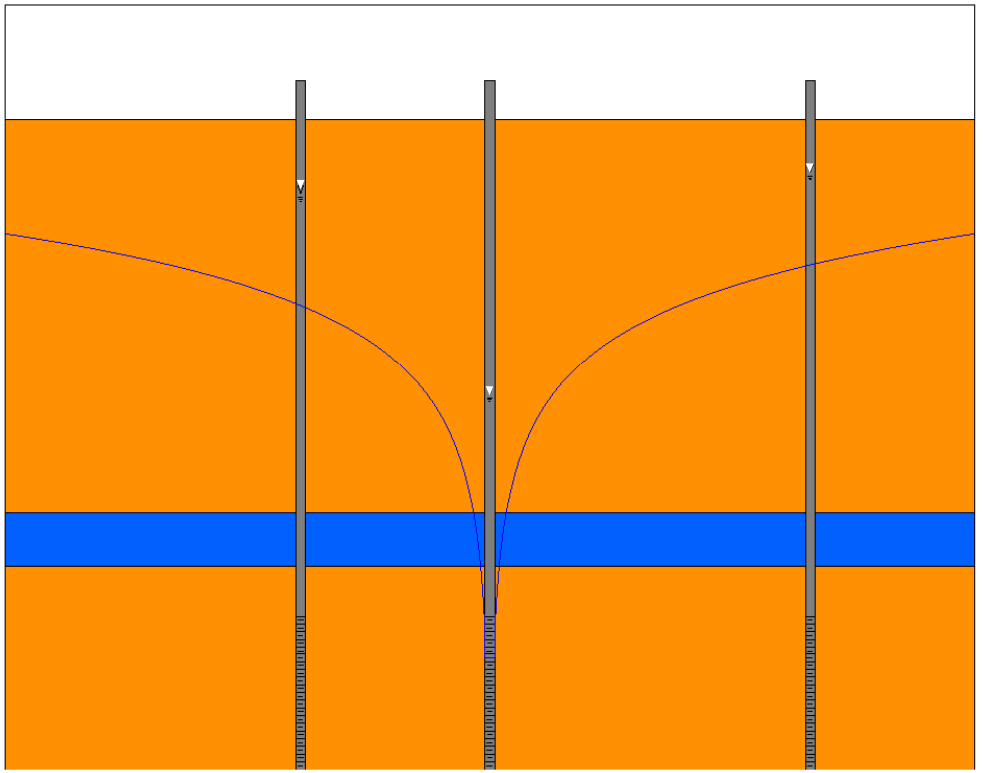
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Les paramètres n'assurent pas la reproduction des :

- Charges hydrauliques (Delhomme, 1979)
- Trajectoires des particules (Lavenue et al., 1995)
- Temps de parcours (Zimmerman et al., 1998)



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

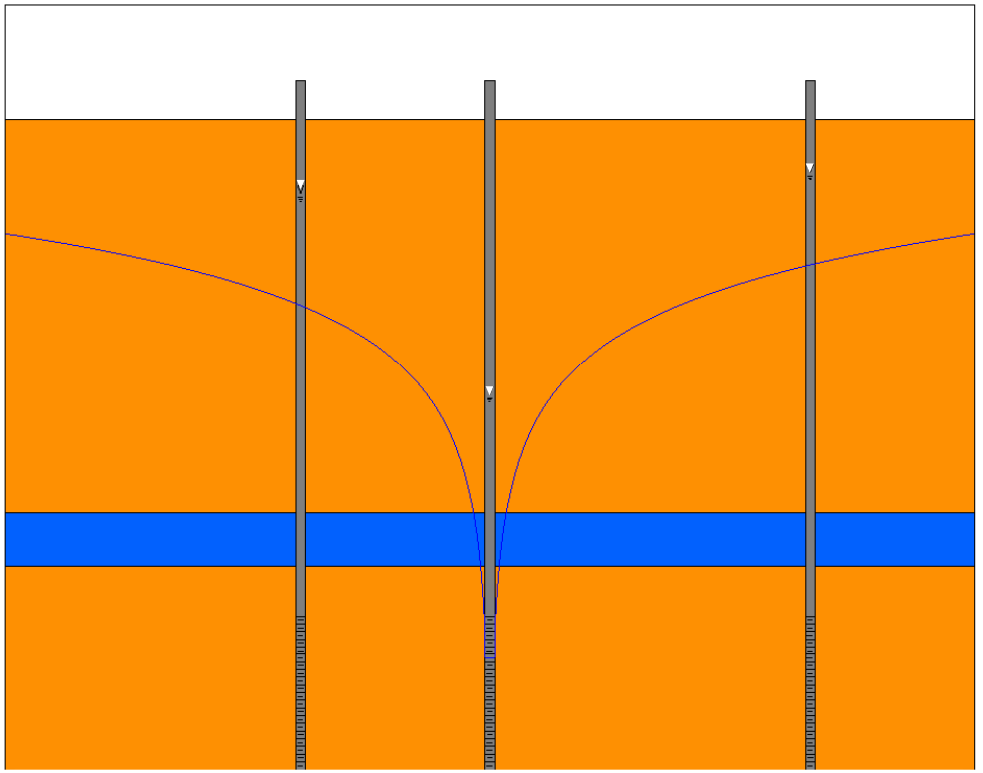
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

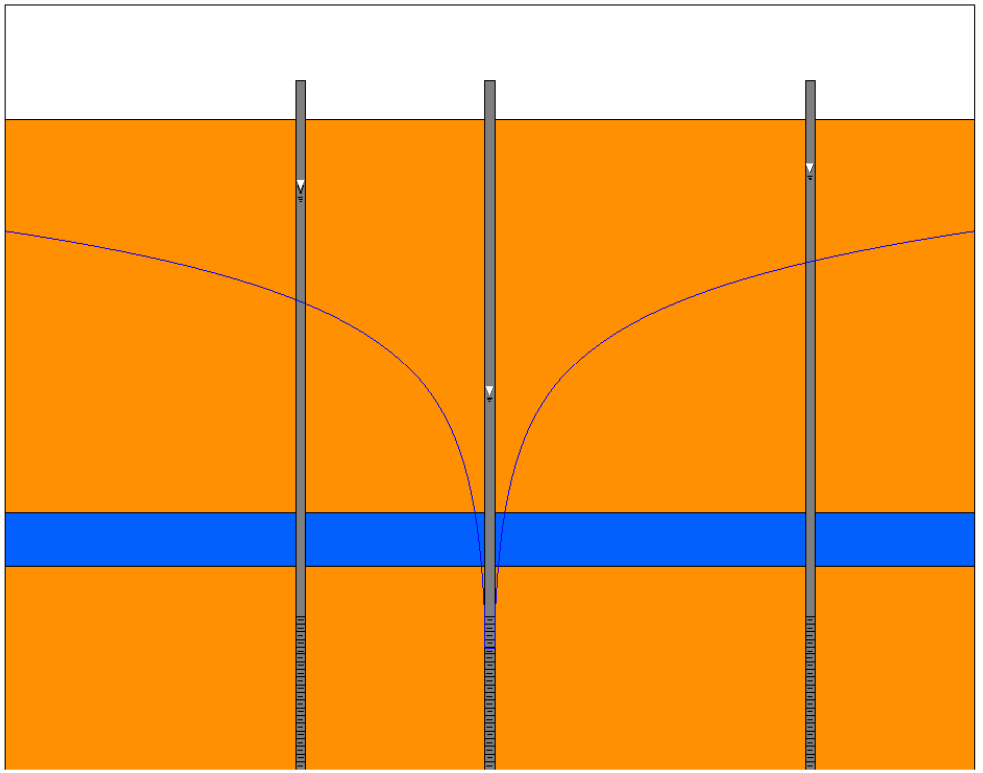
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

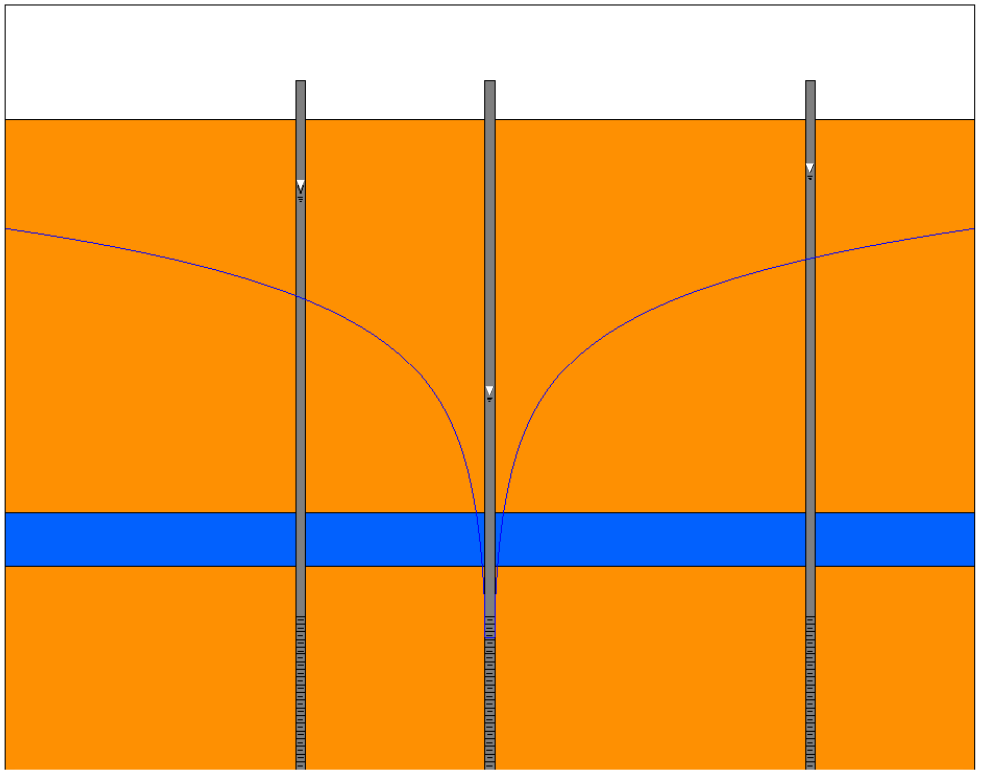
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

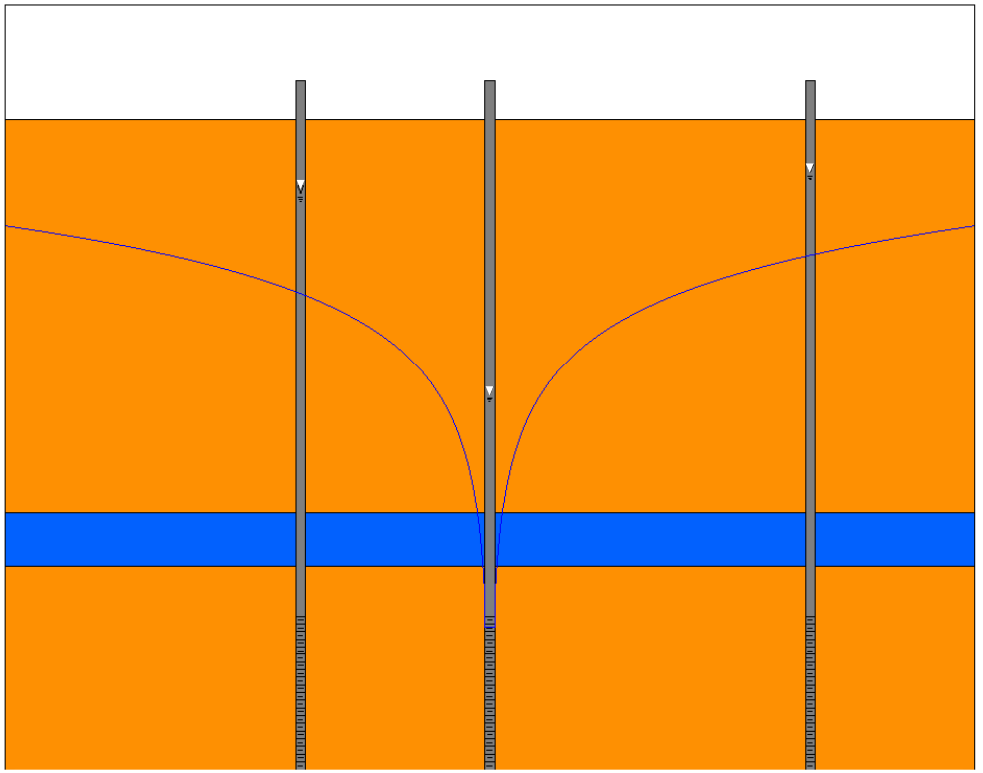
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

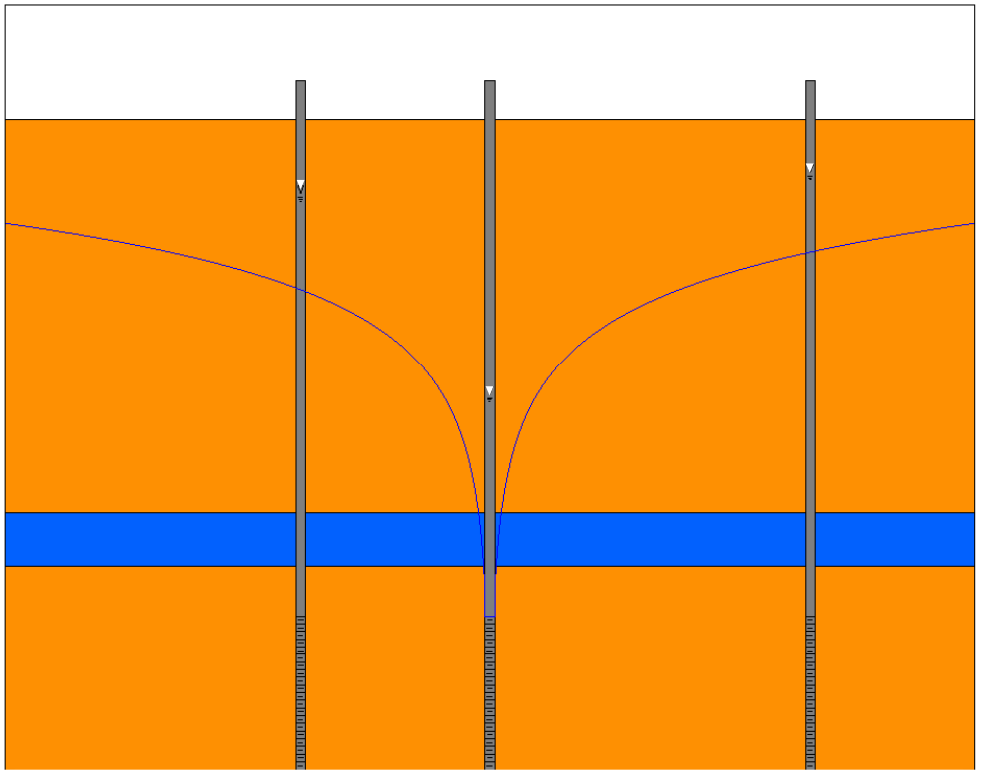
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

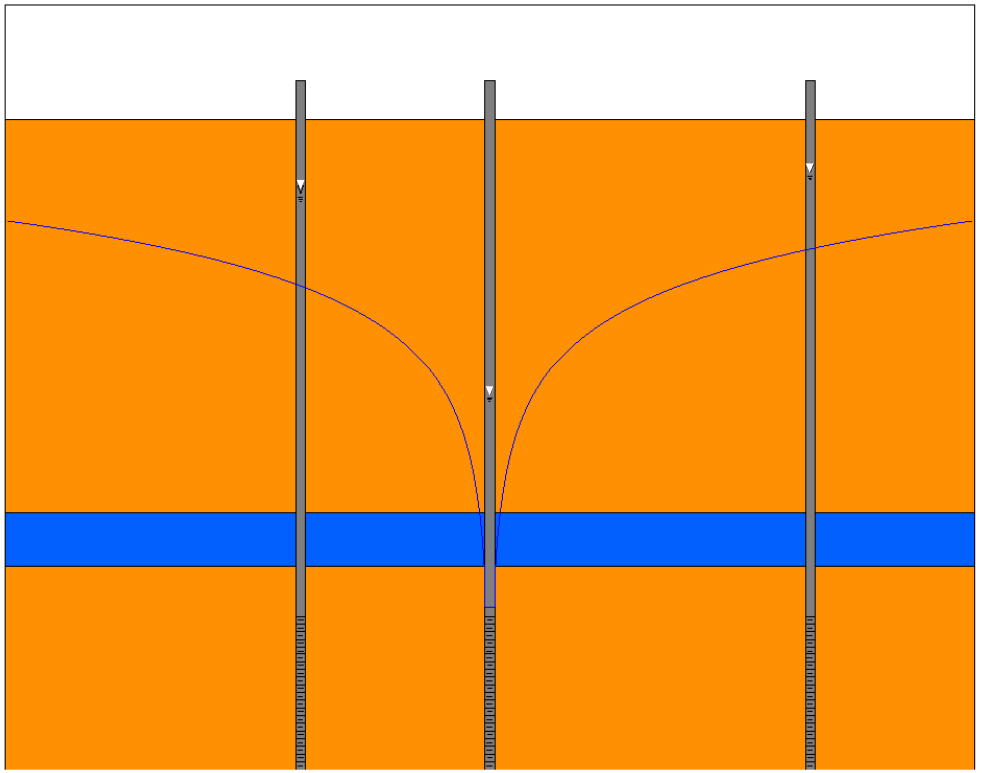
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

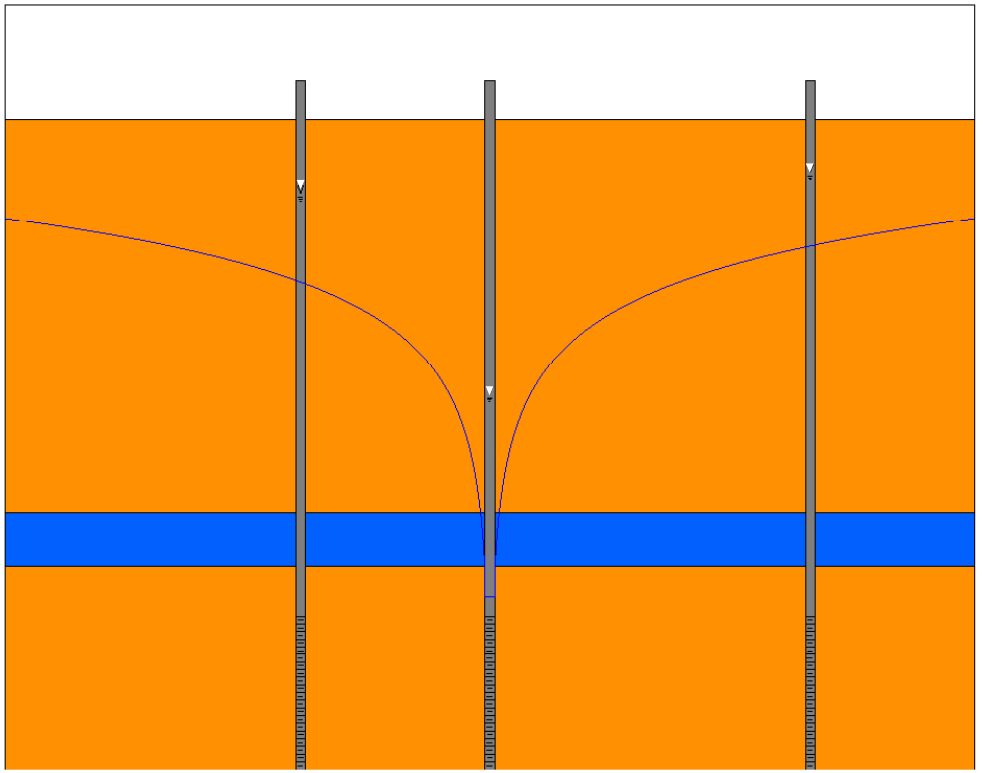
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

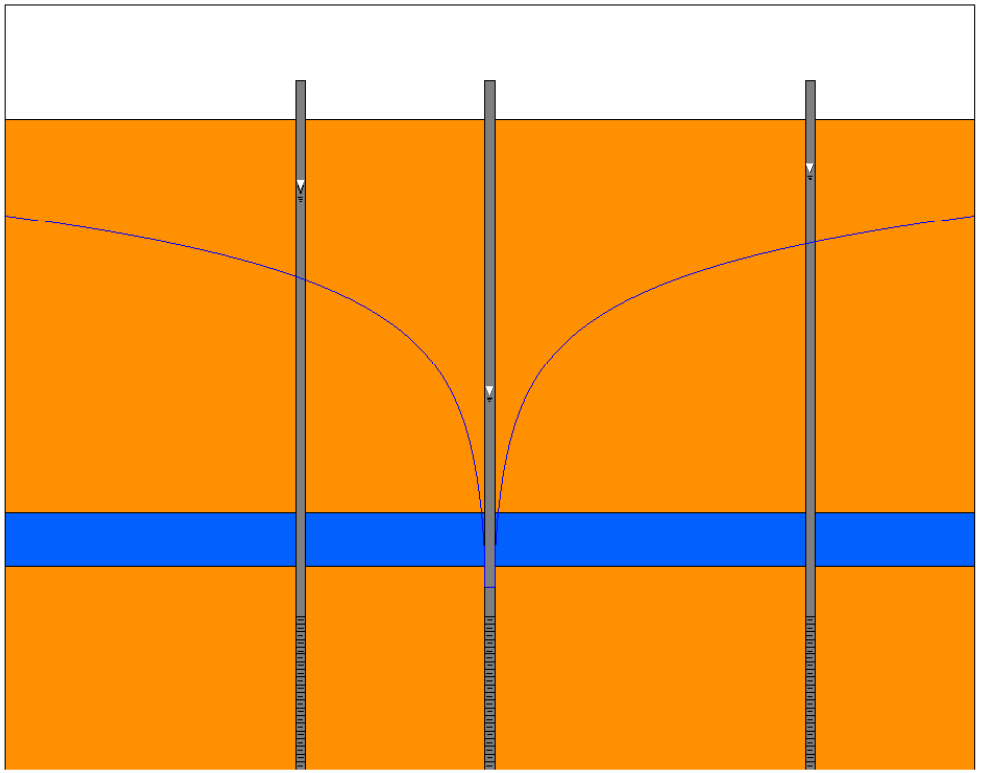
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

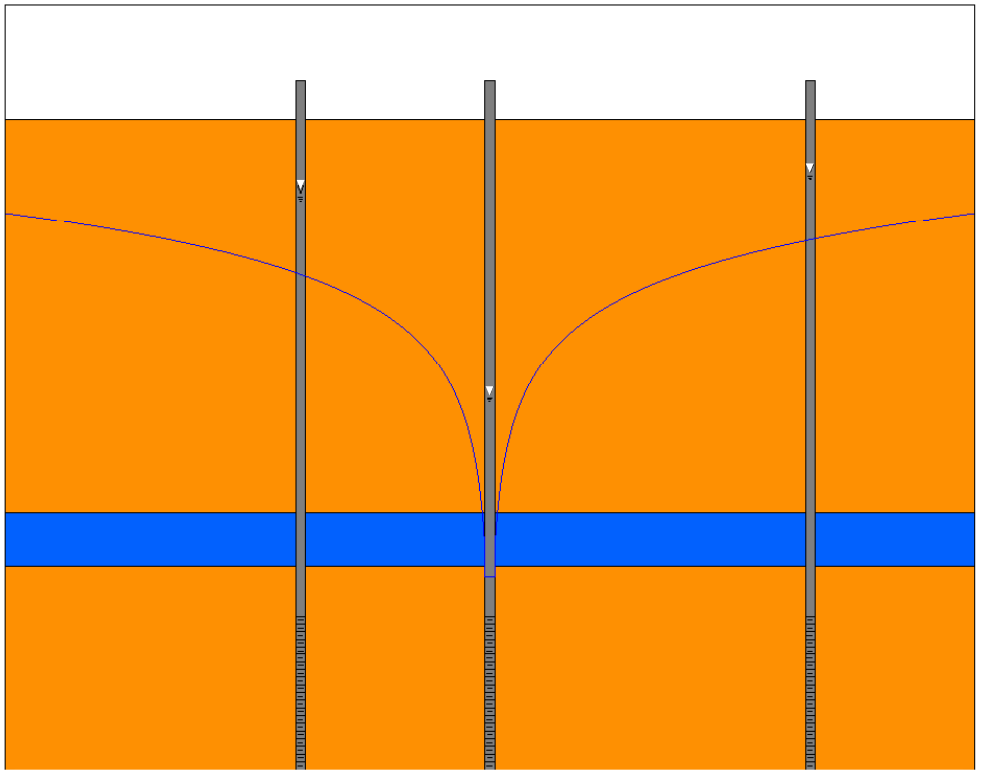
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

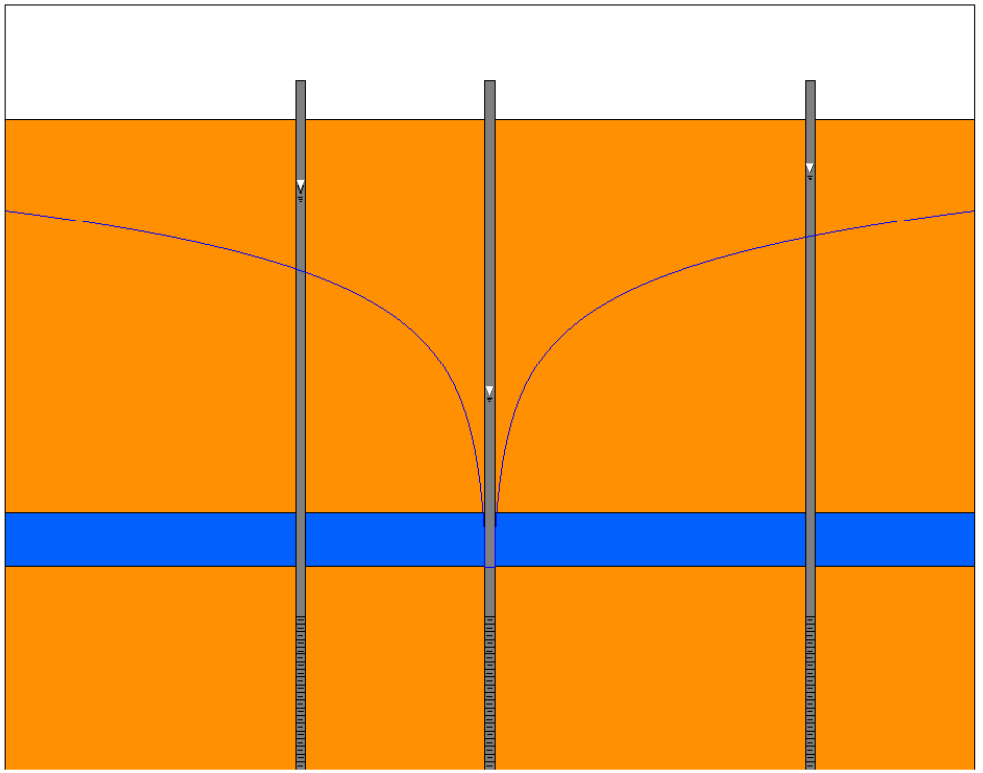
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

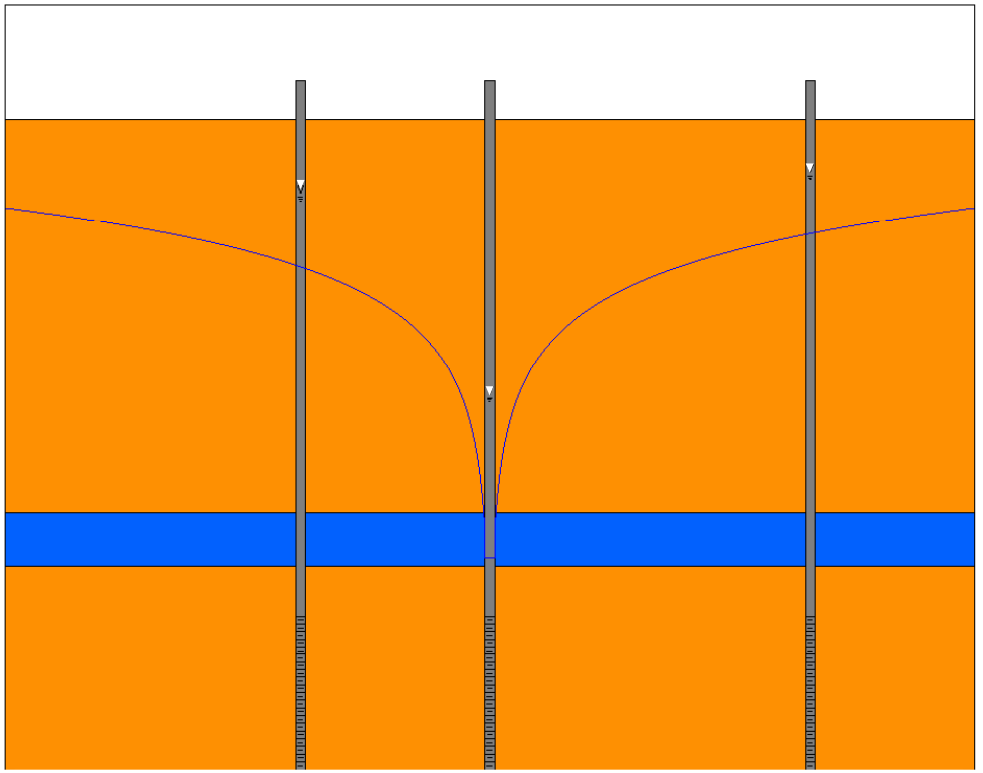
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

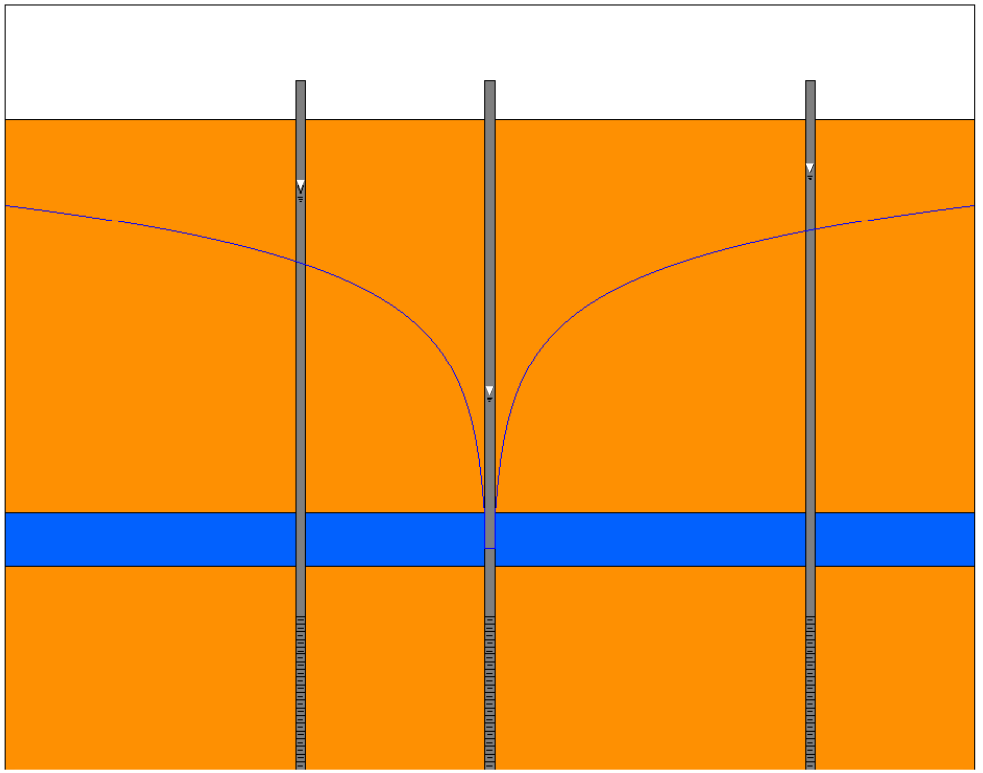
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

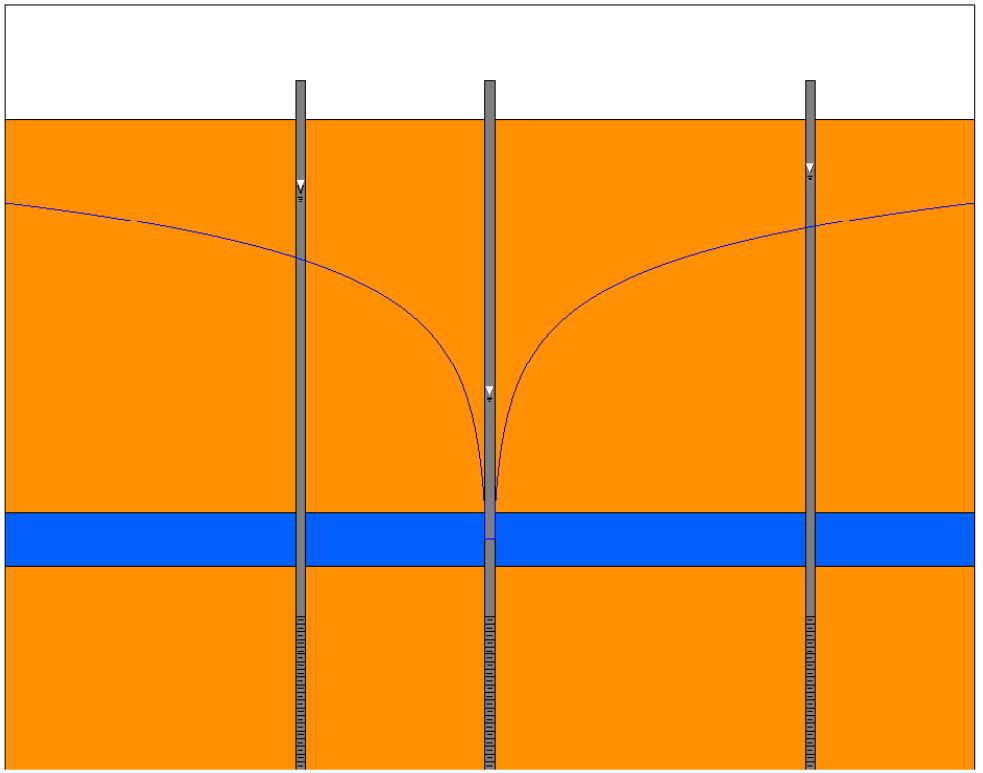
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

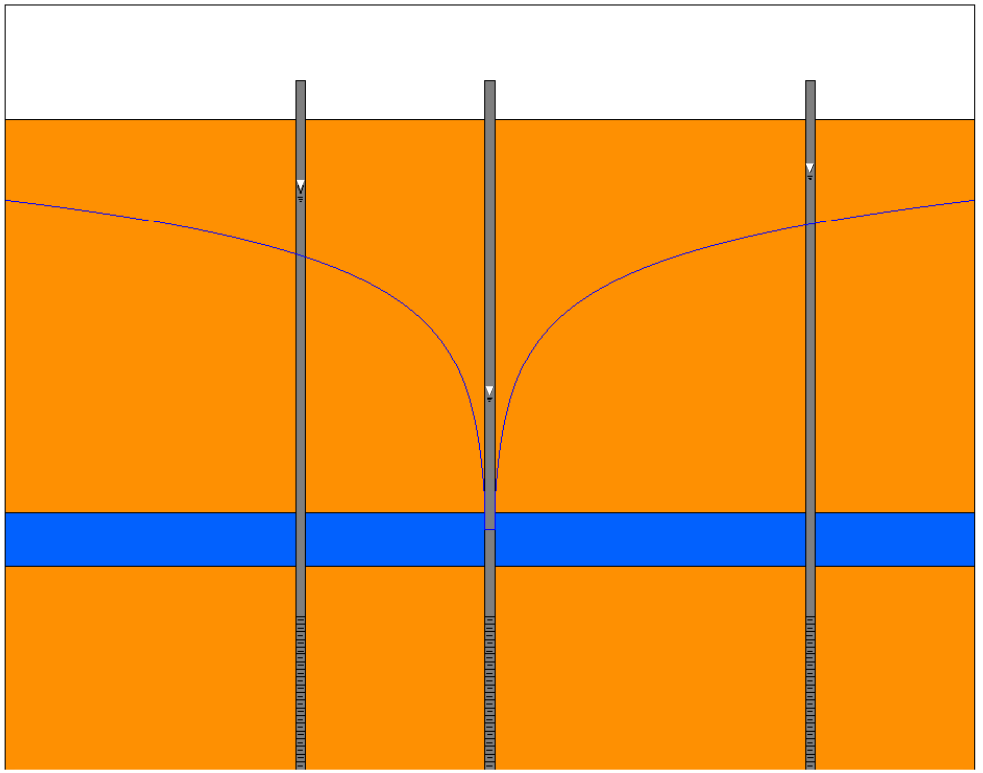
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

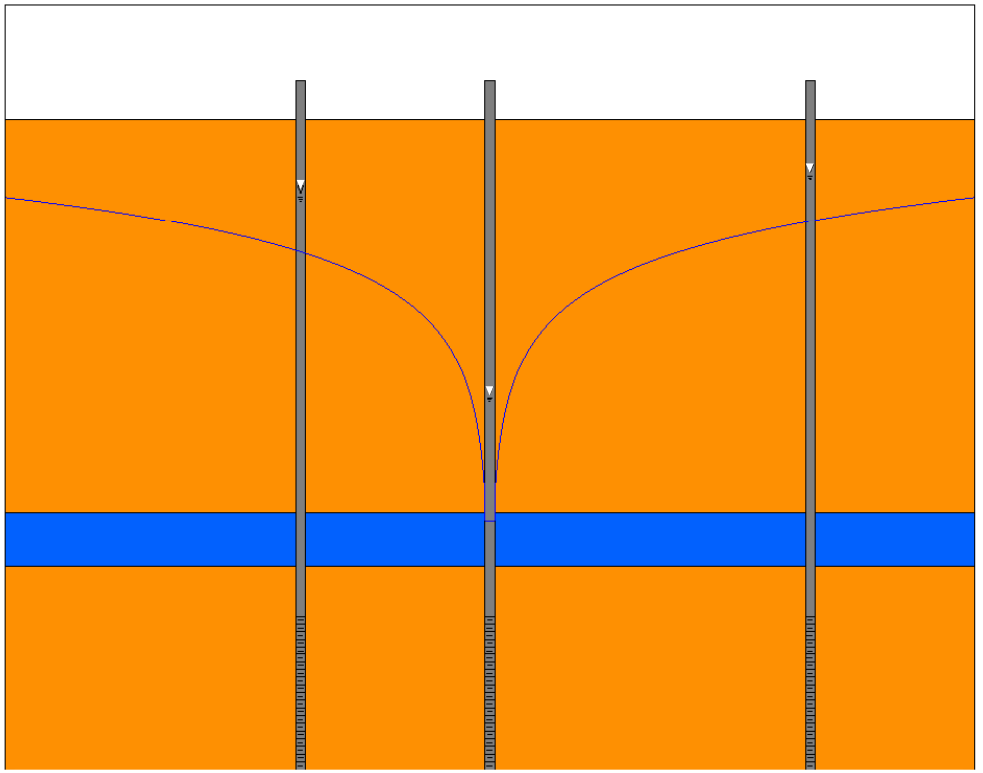
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

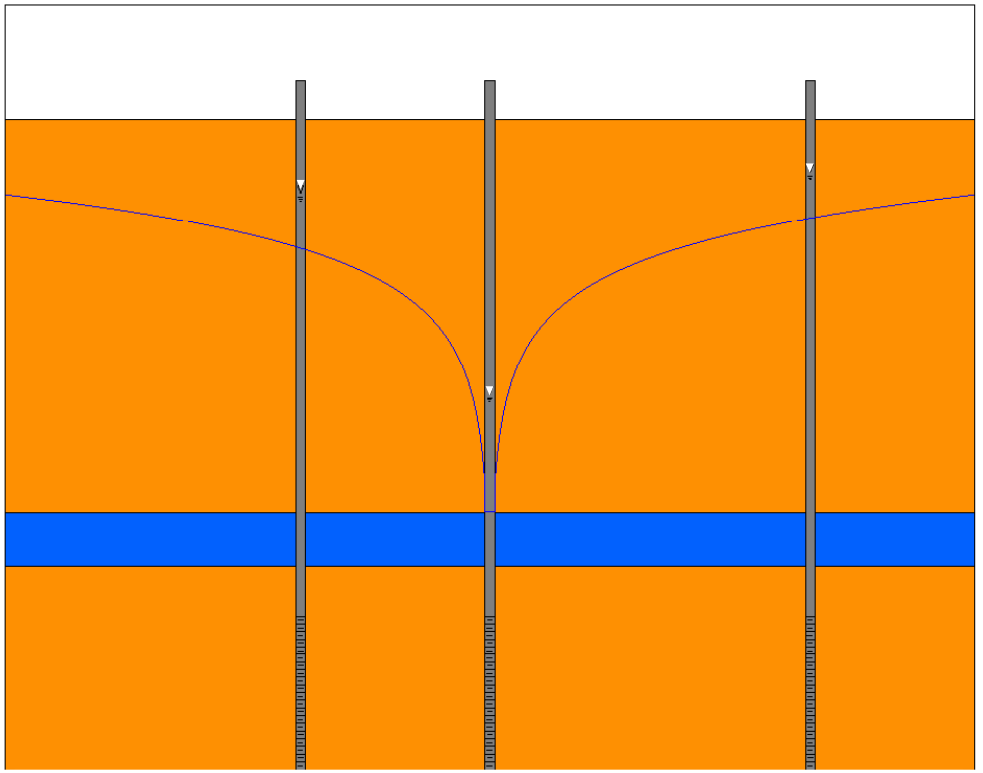
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

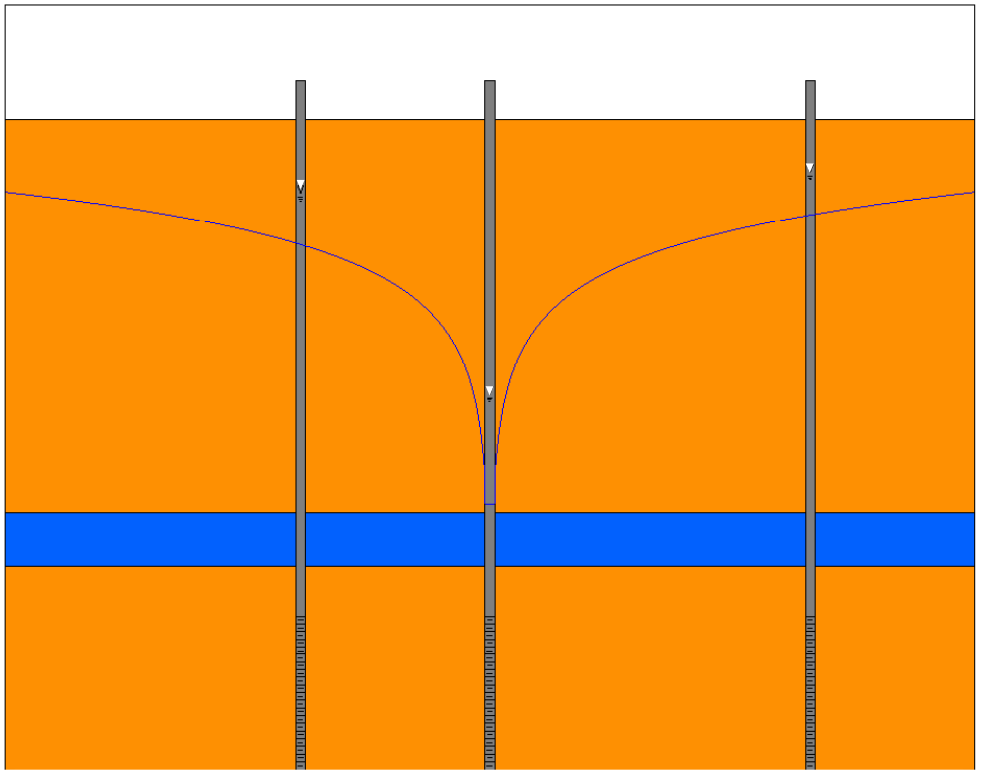
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

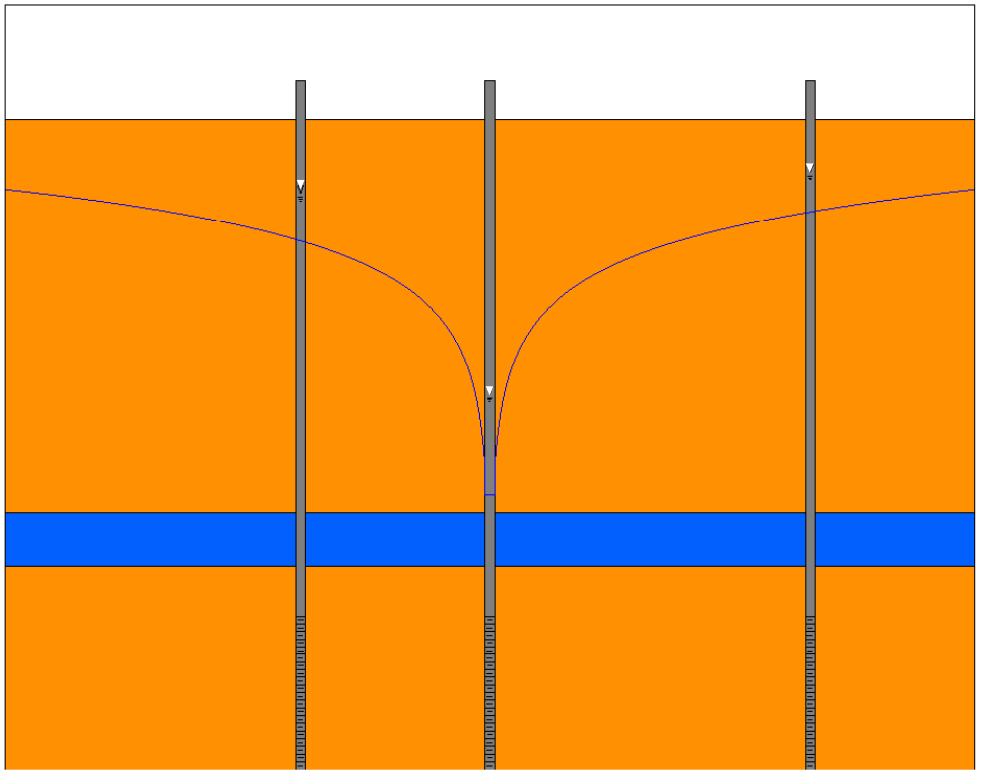
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

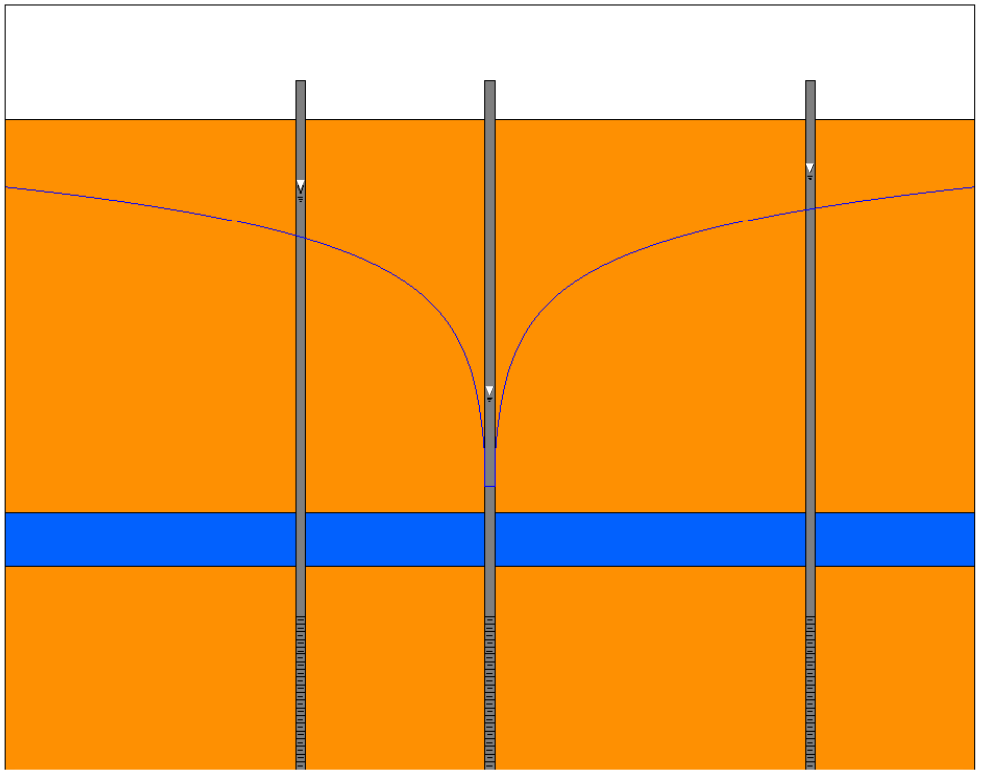
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

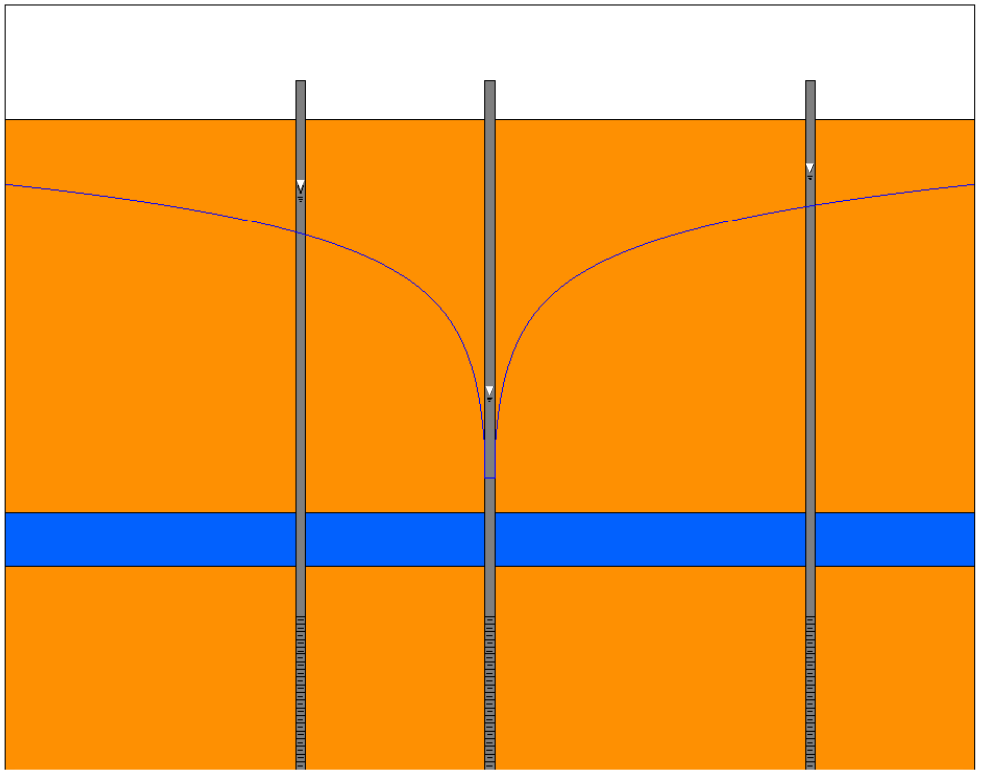
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

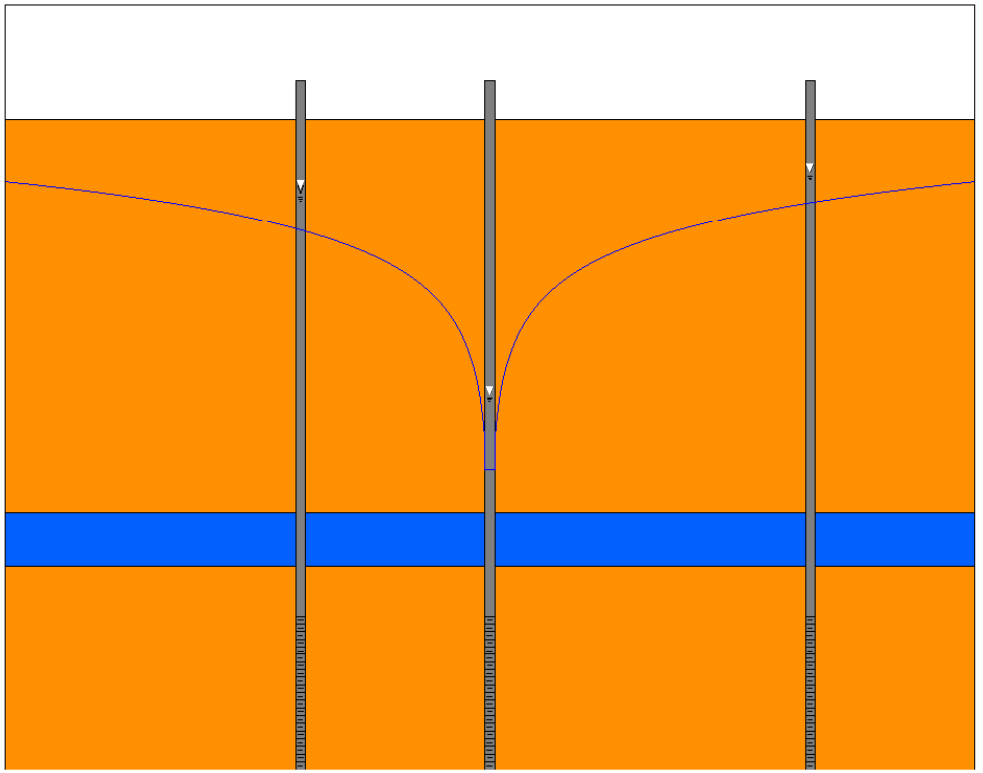
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

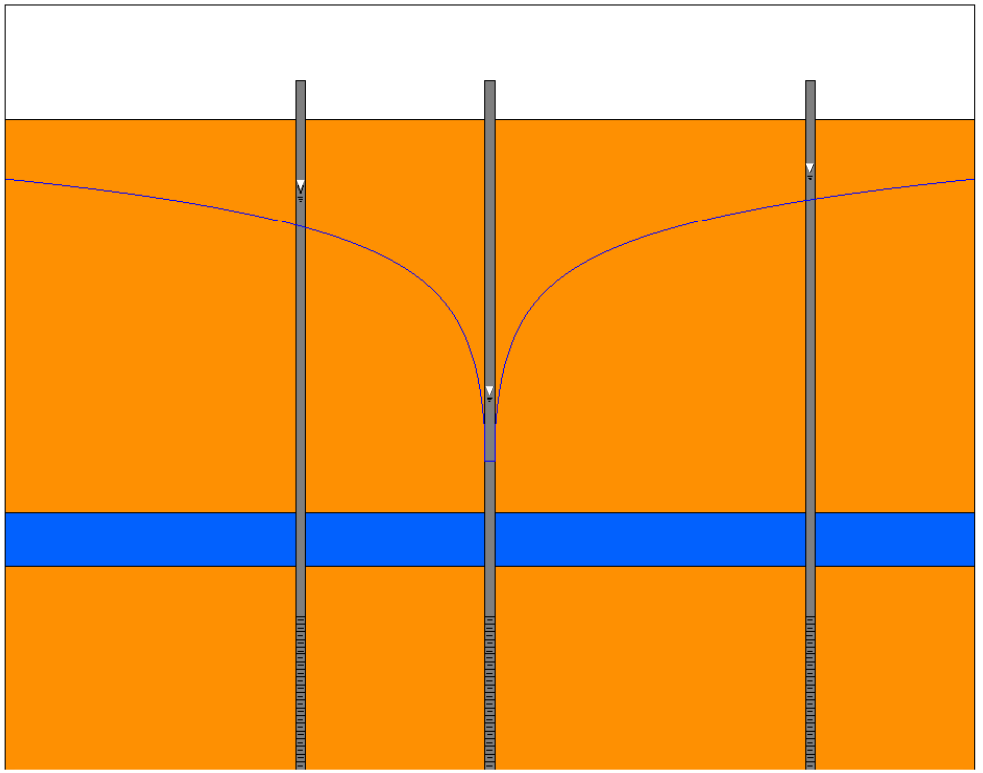
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

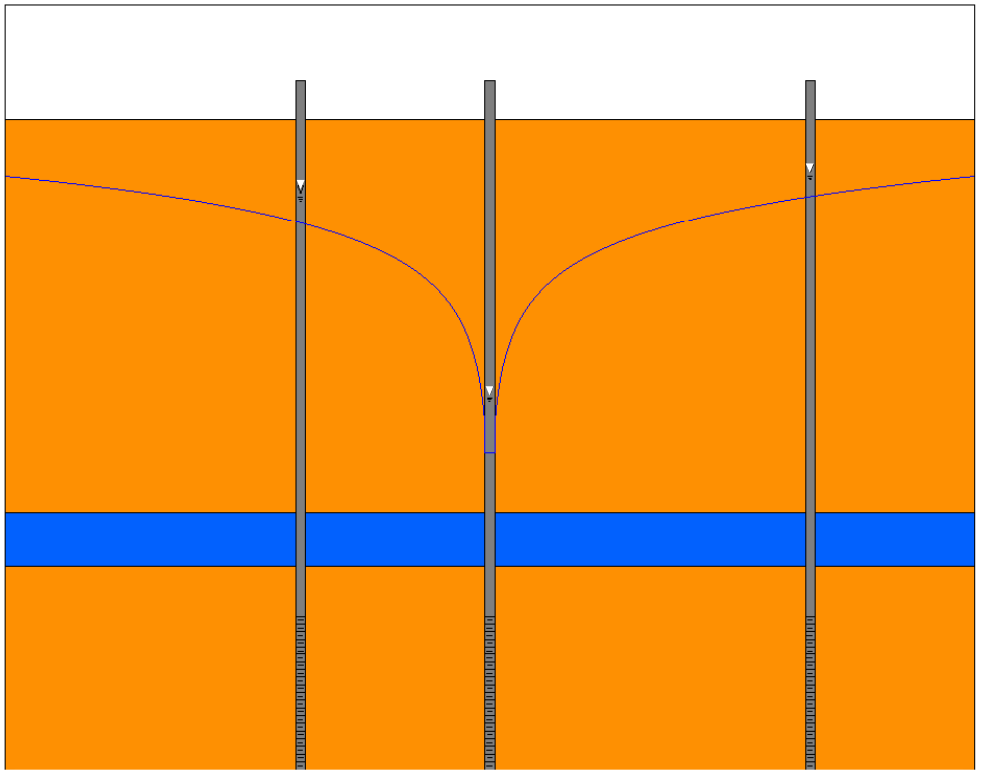
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

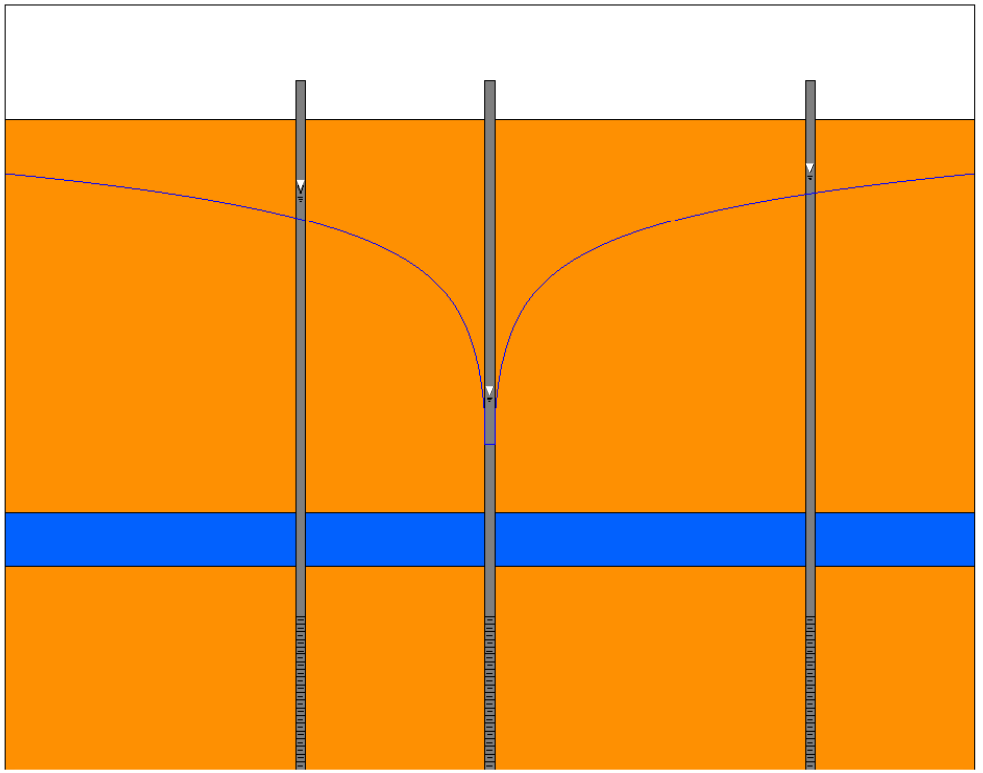
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

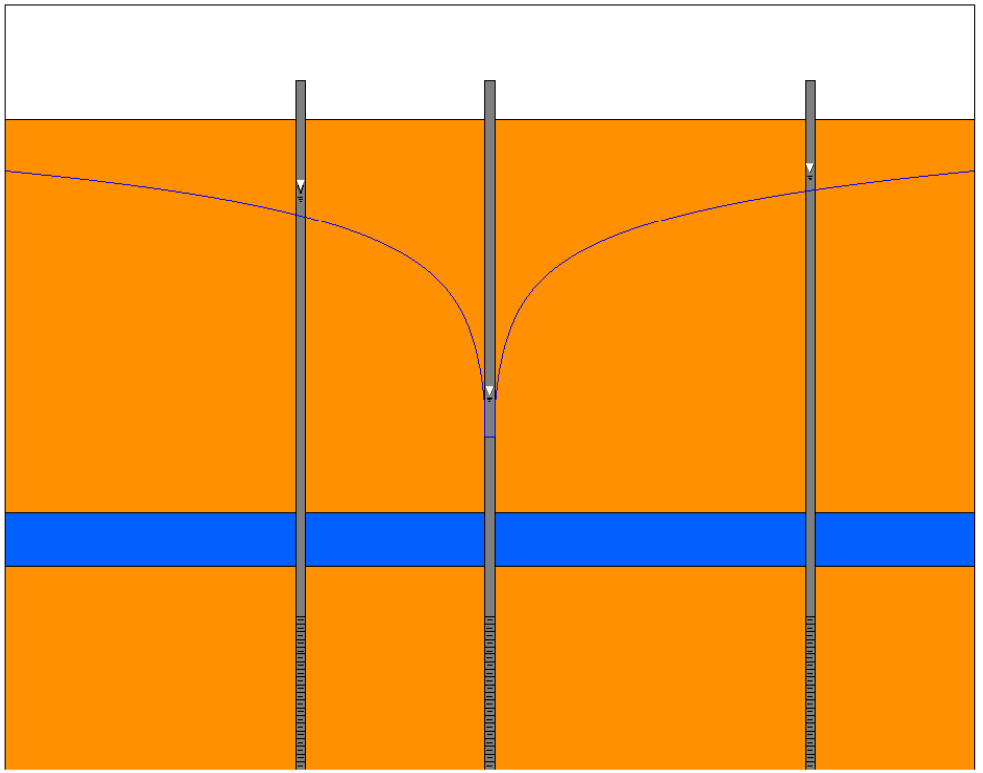
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

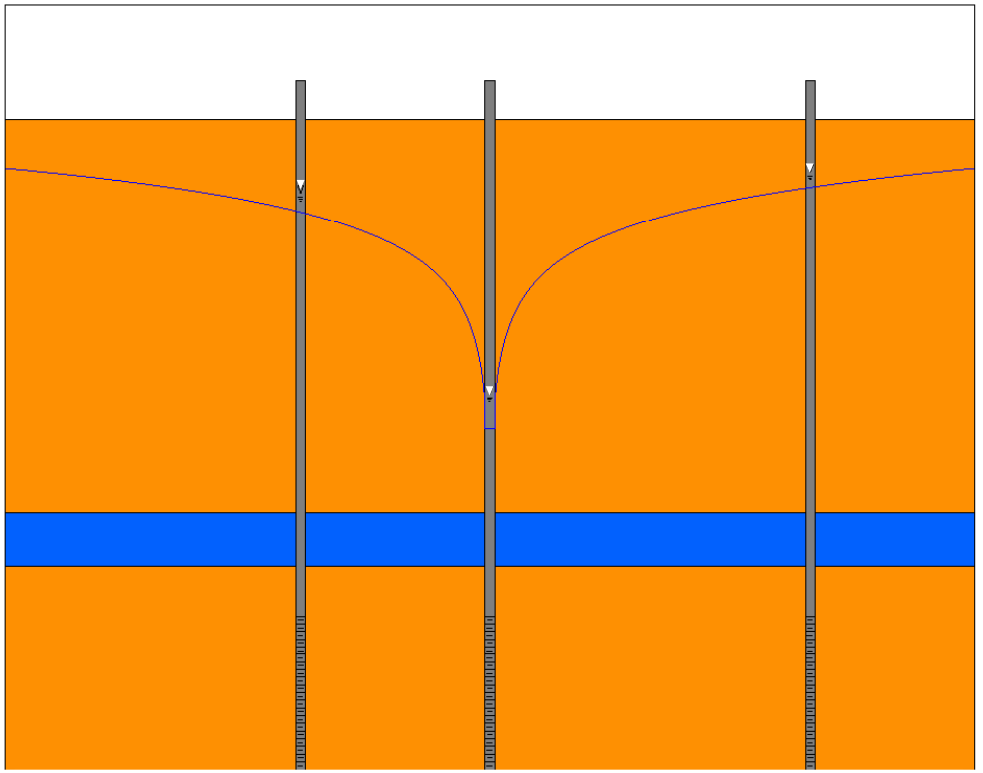
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

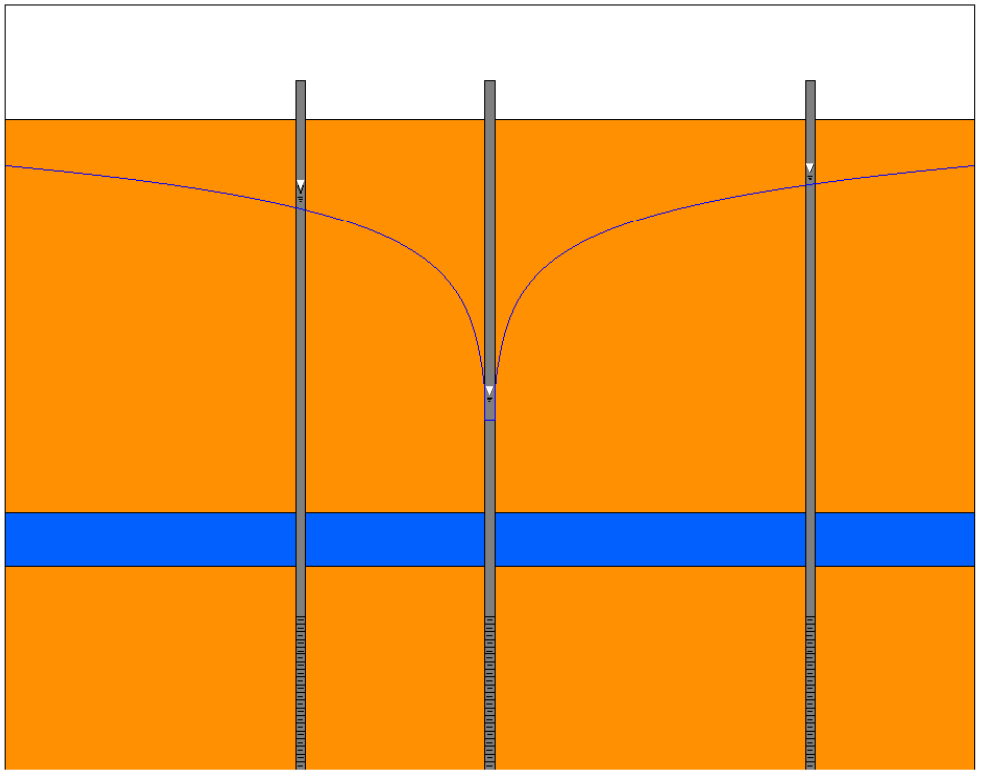
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

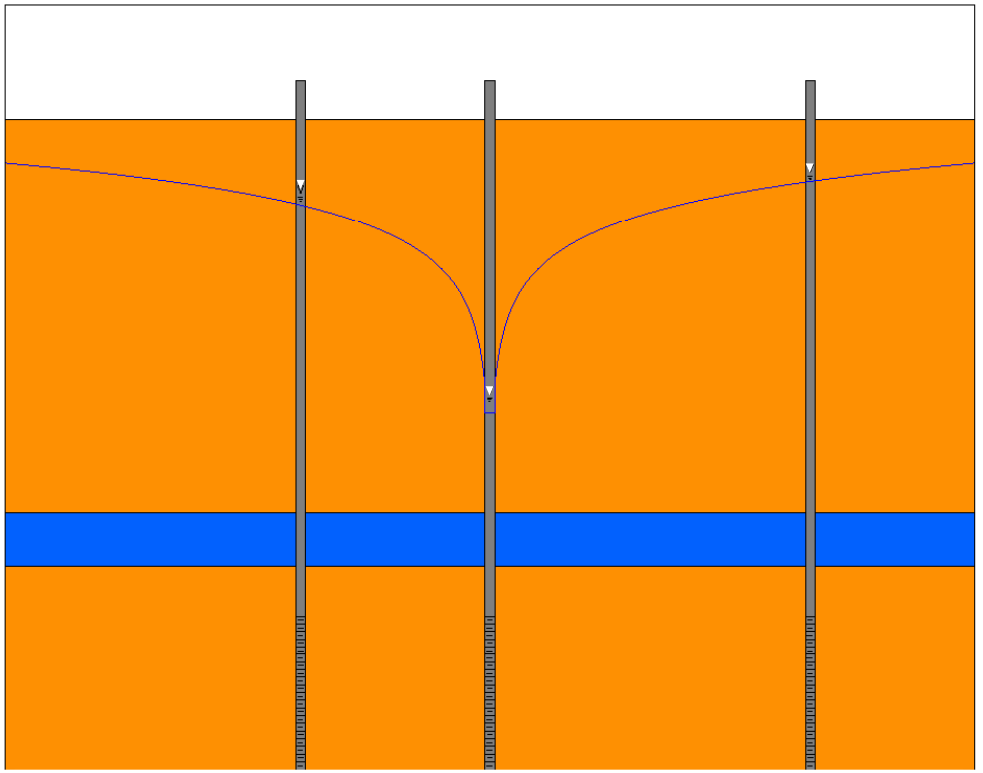
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

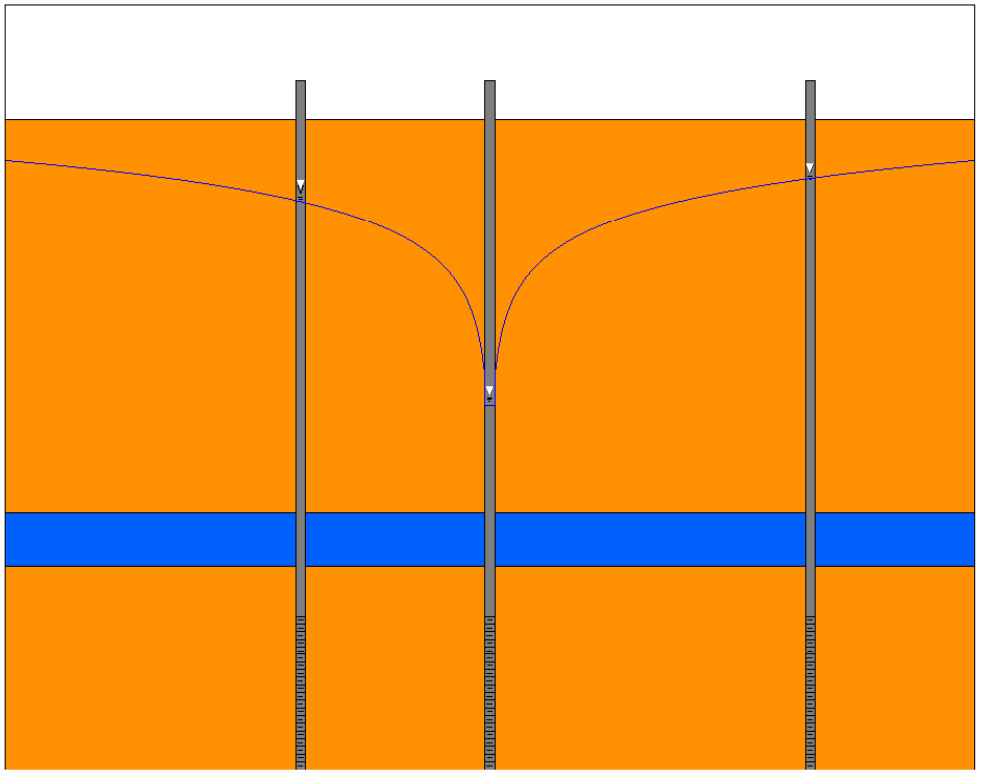
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

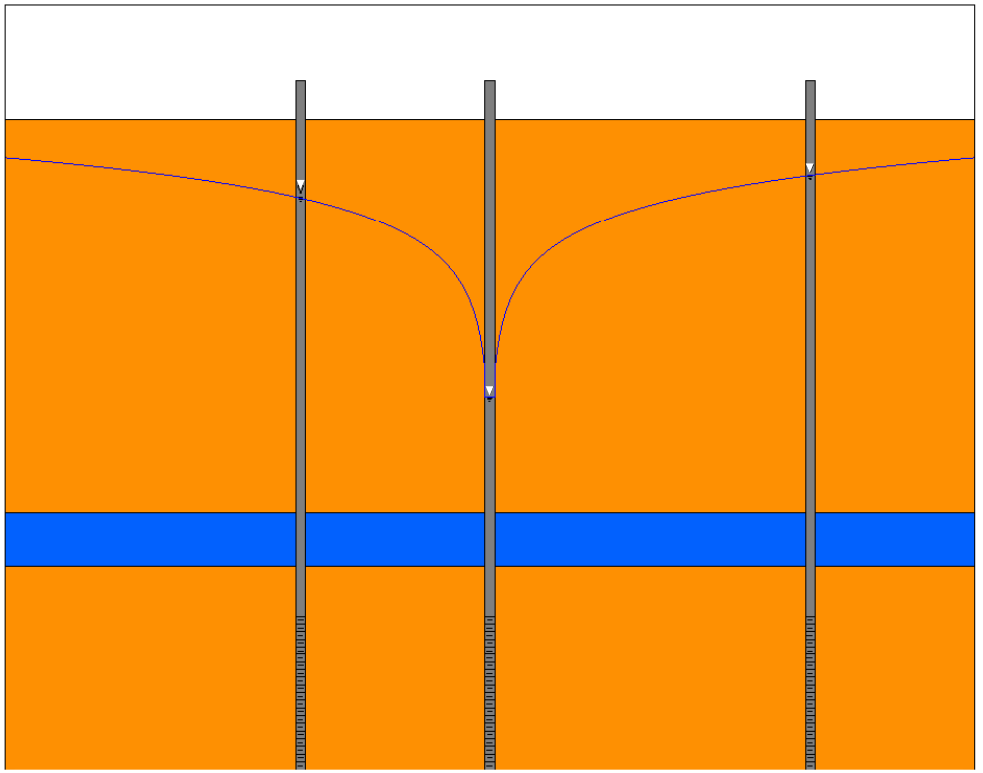
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Le problème inverse

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

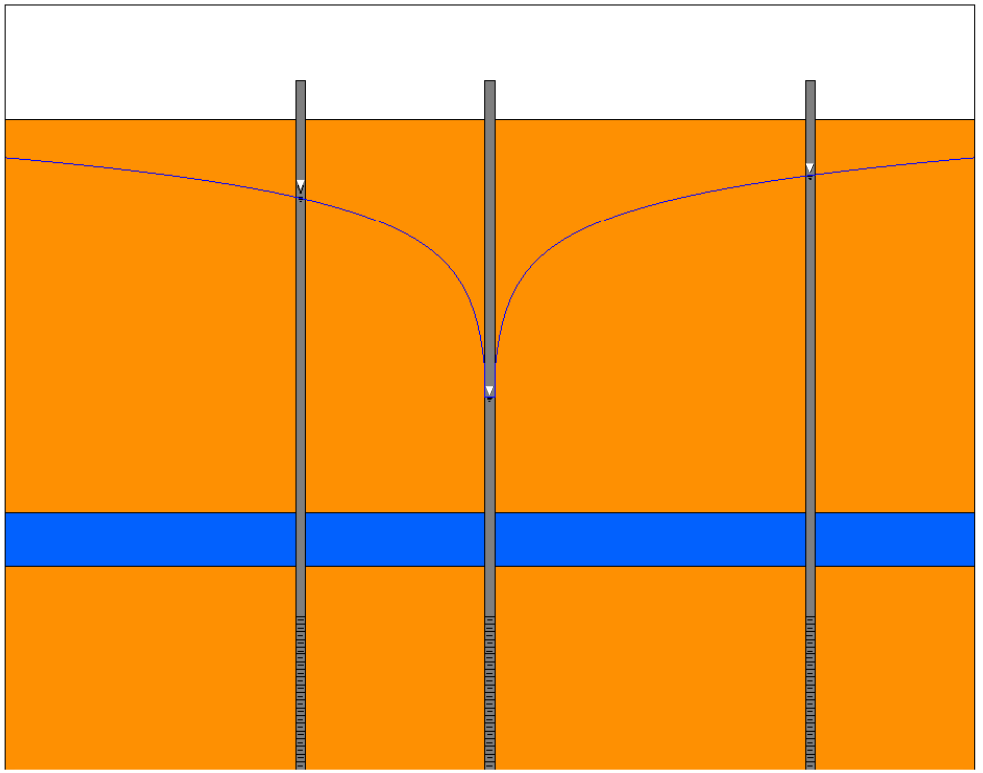
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Résoudre le problème inverse consiste à trouver une solution de K reproduisant les mesures de h.

$$h_{obs} = h_{num}(x_{obs}, y_{obs}) \Rightarrow \text{Modèle calibré}$$



Méthodes inverses actuelles

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

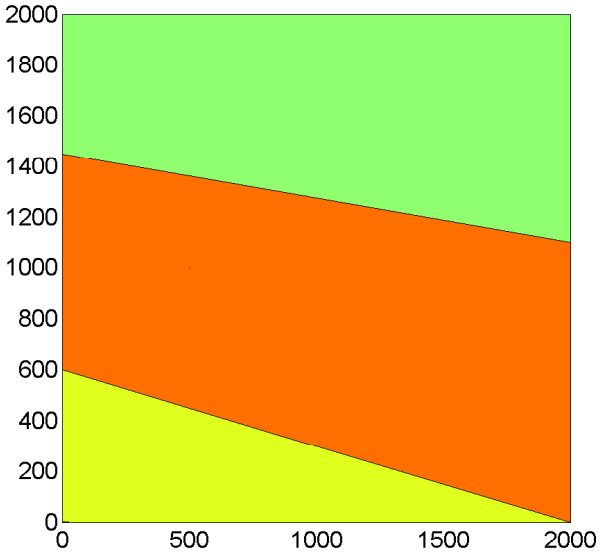
Inversion 3D

Conclusion

Méthode de la zonation pure

(Carrera et Neuman, 1986)

- Paramétrisation simple
- Inadapté au transport
- Optimisation difficile lorsque K est hétérogène



Méthodes inverses actuelles

Introduction
- Problématique
- Objectifs

Estimation successive des flux

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

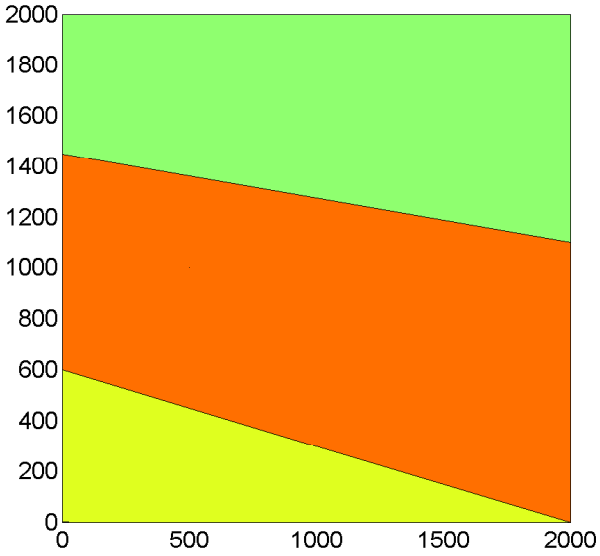
Inversion 3D

Conclusion

Méthode de la zonation pure

(Carrera et Neuman, 1986)

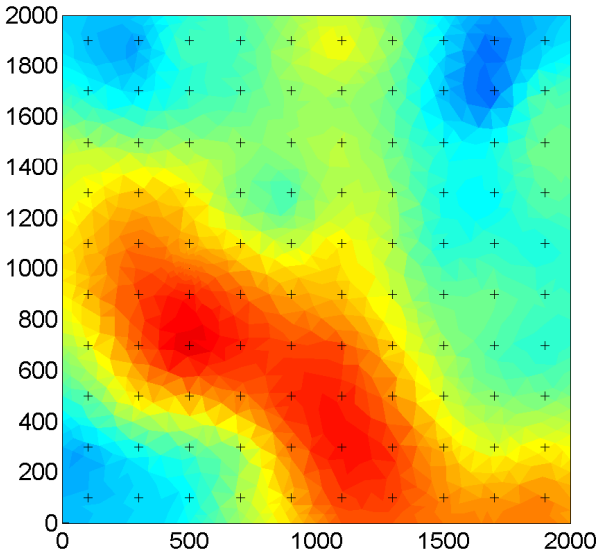
- Paramétrisation simple
- Inadapté au transport
- Optimisation difficile lorsque K est hétérogène



Méthode des points maîtres

(Gómez-Hernández et *al.*, 1997)

- Très performant
- Connaissance du variogramme
- Coûteux en calcul



Objectifs

Introduction
- Problématique
- Objectifs
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Objectif principal

- Développer un algorithme d'inversion rapide en régime permanent et transitoire

Objectifs

Introduction
- Problématique
- Objectifs
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Objectif principal

- Développer un algorithme d'inversion rapide en régime permanent et transitoire

Objectifs spécifiques

- Développer la justification théorique de la méthode
- Évaluer l'impact des différents paramètres opérationnels
- Évaluer l'effet de la présence d'erreur d'estimation sur h
- Évaluer l'applicabilité de cette approche pour une situation réelle

Problème de Cauchy

La méthode d'inversion s'appuie sur la loi de Darcy

$$\vec{q} = -\mathbf{K} \cdot \nabla h$$

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Problème de Cauchy

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

La méthode d'inversion s'appuie sur la loi de Darcy

$$\vec{q} = -\mathbf{K} \cdot \nabla h$$

Si $\mathbf{K}$ est isotrope, une solution au problème de Cauchy est donnée par :

$$K = \frac{\| -\vec{q} \|_2}{\| \nabla h \|_2}$$

Problème de Cauchy

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

La méthode d'inversion s'appuie sur la loi de Darcy

$$\vec{q} = -\mathbf{K} \cdot \nabla h$$

Si $\mathbf{K}$ est isotrope, une solution au problème de Cauchy est donnée par :

$$K = \frac{\| -\vec{q} \|_2}{\| \nabla h \|_2}$$

Comment obtenir $\vec{q}$ et h ?

$$\vec{q} \simeq \vec{q}^{\,o} \quad \Rightarrow \quad \text{Calculé numériquement}$$
$$h \simeq \hat{h} \quad \Rightarrow \quad \text{Estimé par krigeage universel}$$

Calcul du flux hydraulique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Le flux hydraulique est obtenu en résolvant

$$div(K^o \cdot \nabla h^o) + Q = S_s \frac{\partial h^o}{\partial t}$$

avec un champ de conductivité hydraulique K^o

Calcul du flux hydraulique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

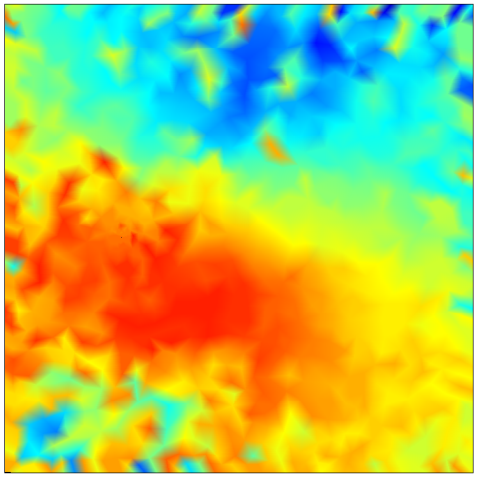
Conclusion

Le flux hydraulique est obtenu en résolvant

$$div(K^o \cdot \nabla h^o) + Q = S_s \frac{\partial h^o}{\partial t}$$

avec un champ de conductivité hydraulique K^o

$$K^o$$



Calcul du flux hydraulique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

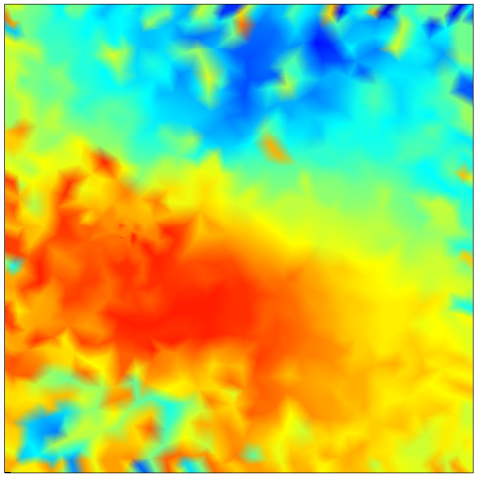
Conclusion

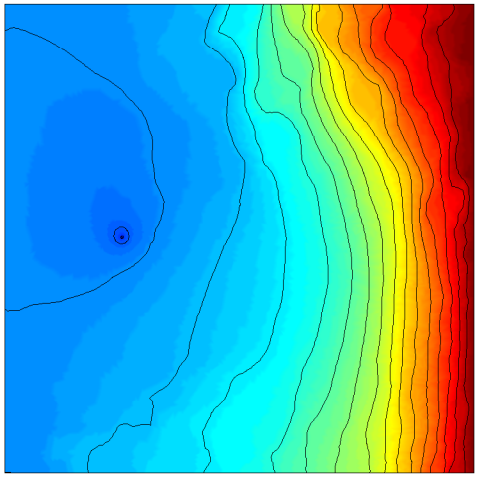
Le flux hydraulique est obtenu en résolvant

$$div(K^o \cdot \nabla h^o) + Q = S_s \frac{\partial h^o}{\partial t}$$

avec un champ de conductivité hydraulique K^o

$$K^o \qquad \Rightarrow \qquad h^o$$





Calcul du flux hydraulique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

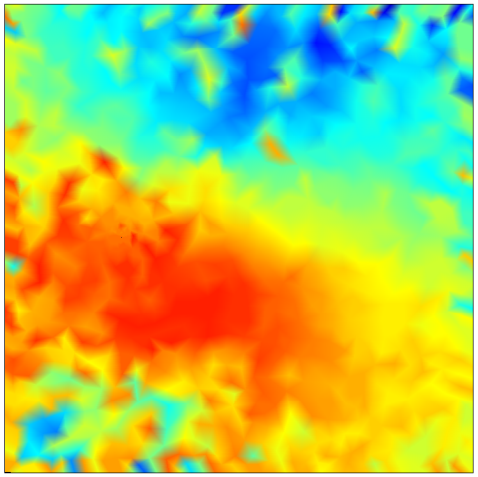
Conclusion

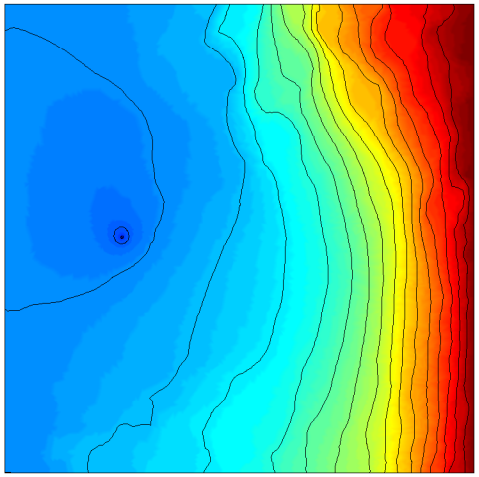
Le flux hydraulique est obtenu en résolvant

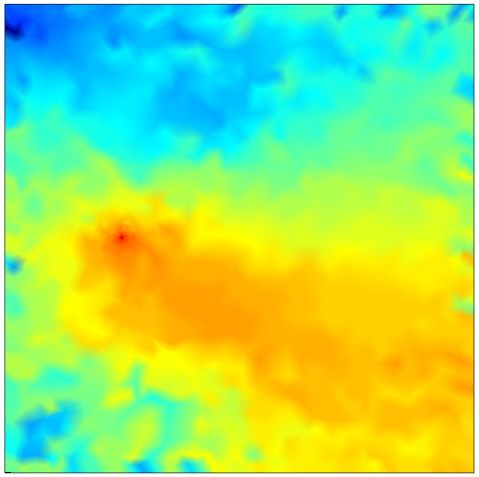
$$div(K^o \cdot \nabla h^o) + Q = S_s \frac{\partial h^o}{\partial t}$$

avec un champ de conductivité hydraulique K^o

$$K^o \quad \Rightarrow \quad h^o \quad \Rightarrow \quad \|\vec{q}^{\,o}\|_2$$







Calcul du flux hydraulique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

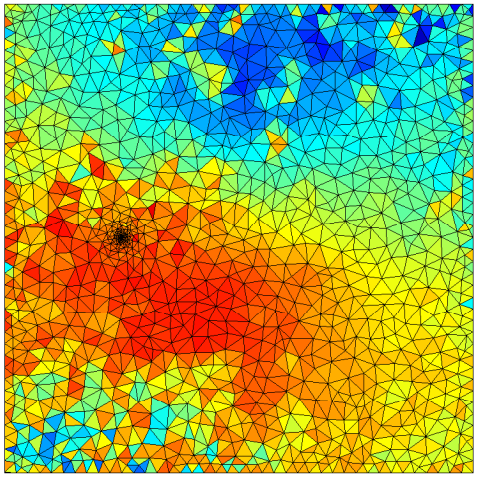
Conclusion

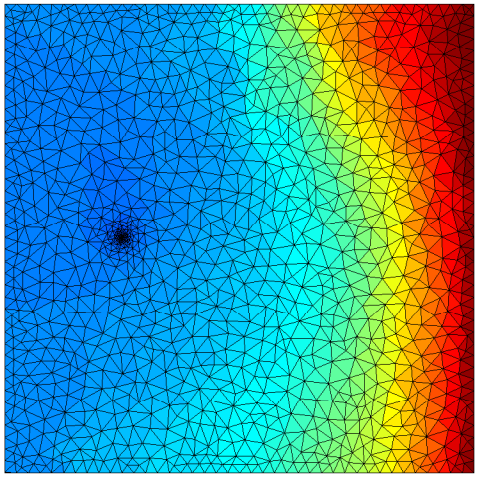
Le flux hydraulique est obtenu en résolvant

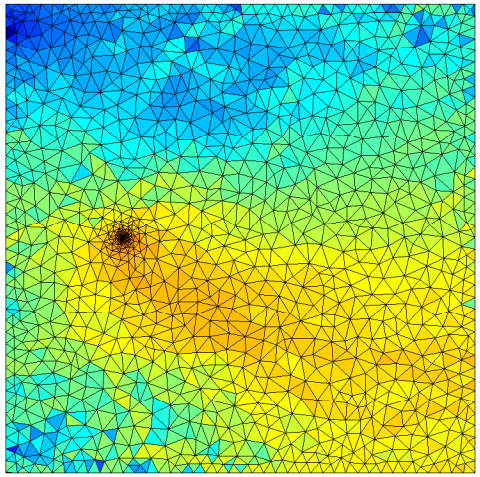
$$div(K^o \cdot \nabla h^o) + Q = S_s \frac{\partial h^o}{\partial t}$$

avec un champ de conductivité hydraulique K^o

$$K^o \quad \Rightarrow \quad h^o \quad \Rightarrow \quad \|\vec{q}^{\,o}\|_2$$







Calcul du flux hydraulique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

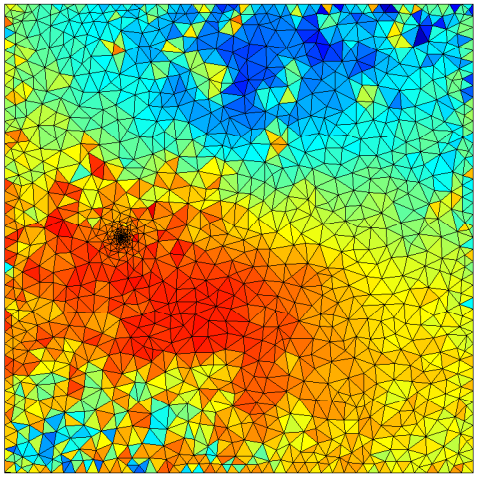
Conclusion

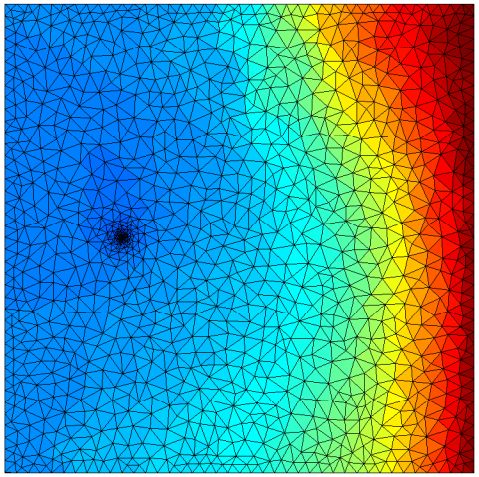
Le flux hydraulique est obtenu en résolvant

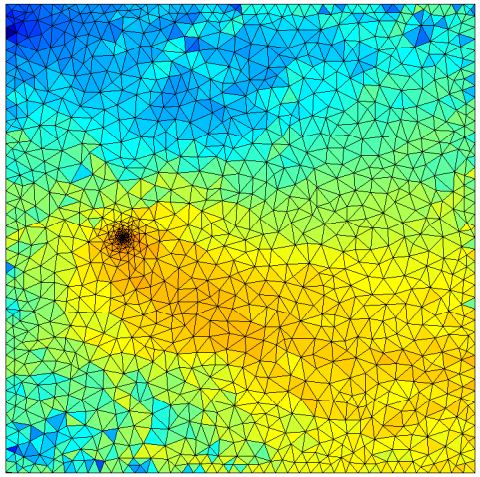
$$div(K^o \cdot \nabla h^o) + Q = S_s \frac{\partial h^o}{\partial t}$$

avec un champ de conductivité hydraulique K^o

$$K^o \quad \Rightarrow \quad h^o \quad \Rightarrow \quad \|\vec{q}^{\,o}\|_2$$







$\Rightarrow$ Le champ obtenu est conservatif

$\Rightarrow$ $\vec{q}^{\,o}$ respecte les frontières de Neumann

Krigeage du champ de charges

Les charges hydrauliques sont obtenues par krigeage

$$\hat{h} = \begin{bmatrix} h'_{obs} & \Delta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_{hh} & \Sigma_{h\Delta} & F_h \\ \Sigma'_{h\Delta} & \Sigma_{\Delta\Delta} & F_\Delta \\ F'_h & F'_\Delta & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_{h0} \\ \sigma_{\Delta 0} \\ f_0 \end{bmatrix}$$

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Krigeage du champ de charges

Les charges hydrauliques sont obtenues par krigeage

$$\hat{h} = \begin{bmatrix} h'_{obs} & \Delta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_{hh} & \Sigma_{h\Delta} & F_h \\ \Sigma'_{h\Delta} & \Sigma_{\Delta\Delta} & F_\Delta \\ F'_h & F'_\Delta & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_{h0} \\ \sigma_{\Delta 0} \\ f_0 \end{bmatrix}$$

- L'effet d'un puits de pompage est pris en compte par une dérive de puits (Brochu et Marcotte, 2003)

$$h(x,y) = H_w - (x - x_w) \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - (y - y_w) \cdot \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{Q_w}{4\pi T} \ln\left(\frac{r^2}{r_w^2}\right)$$

$$\Downarrow$$

$$F_h = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & \ln(r_1^2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n_{obs}} & y_{n_{obs}} & \ln(r_{n_{obs}}^2) \end{bmatrix}$$

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

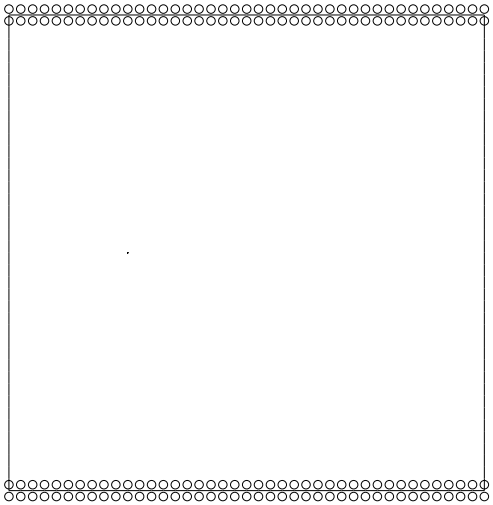
Krigeage du champ de charges

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Les charges hydrauliques sont obtenues par krigeage

$$\hat{h} = \begin{bmatrix} h'_{obs} & \Delta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_{hh} & \Sigma_{h\Delta} & F_h \\ \Sigma'_{h\Delta} & \Sigma_{\Delta\Delta} & F_\Delta \\ F'_h & F'_\Delta & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_{h0} \\ \sigma_{\Delta 0} \\ f_0 \end{bmatrix}$$

- L'effet d'un puits de pompage est pris en compte par une dérive de puits (Brochu et Marcotte, 2003)
- Les conditions frontières sont modélisées par des points doublons (Delhomme, 1979 ; Brochu et Marcotte, 2003)



$$\Rightarrow \quad F_\Delta = \begin{bmatrix} 0 & \Delta x_1 & \Delta y_1 & \Delta \ln(r^2_{\Delta 1}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \Delta x_{n_\Delta} & \Delta y_{n_\Delta} & \Delta \ln(r^2_{\Delta n}) \end{bmatrix}$$

Krigeage du champ de charges

Les charges hydrauliques sont obtenues par krigeage

$$\hat{h} = \begin{bmatrix} h'_{obs} & \Delta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_{hh} & \Sigma_{h\Delta} & F_h \\ \Sigma'_{h\Delta} & \Sigma_{\Delta\Delta} & F_\Delta \\ F'_h & F'_\Delta & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_{h0} \\ \sigma_{\Delta 0} \\ f_0 \end{bmatrix}$$

- L'effet d'un puits de pompage est pris en compte par une dérive de puits (Brochu et Marcotte, 2003)
- Les conditions frontières sont modélisées par des points doublons (Delhomme, 1979 ; Brochu et Marcotte, 2003)
- Les covariances sont obtenues avec un modèle de covariance gravimétrique (Chilès et Guilhen, 1984)

$$C(r) = C_0\delta(r) + C\left(1 + \frac{r^2}{\alpha^2}\right)^{-0.5}$$

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla\hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Estimation successive

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Ayant une estimation de $\vec{q}$ et h pour l'ensemble du domaine, une solution est donnée par :

$$K = \frac{\| - \vec{q}^{\,o} \|_2}{\|\nabla \hat{h}\|_2} = K^o \cdot \frac{\|\nabla h^o\|_2}{\|\nabla \hat{h}\|_2}$$

Estimation successive

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Ayant une estimation de $\vec{q}$ et h pour l'ensemble du domaine, une solution est donnée par :

$$K = \frac{\| - \vec{q}^{\,o}\|_2}{\|\nabla \hat{h}\|_2} = K^o \cdot \frac{\|\nabla h^o\|_2}{\|\nabla \hat{h}\|_2}$$

1. $\vec{q}^{\,o}$ est une estimation de $\vec{q}$
2. $\vec{q}^{\,o}$ et $\nabla \hat{h}$ ne sont pas parallèles $\Rightarrow$ Processus itératif
3. $\mathbf{K}$ est posé isotrope

Estimation successive

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Ayant une estimation de $\vec{q}$ et h pour l'ensemble du domaine, une solution est donnée par :

$$K = \frac{\| -\vec{q}^{\,o} \|_2}{\|\nabla \hat{h}\|_2} = K^o \cdot \frac{\|\nabla h^o\|_2}{\|\nabla \hat{h}\|_2}$$

1. $\vec{q}^{\,o}$ est une estimation de $\vec{q}$
2. $\vec{q}^{\,o}$ et $\nabla \hat{h}$ ne sont pas parallèles $\Rightarrow$ Processus itératif
3. $\mathbf{K}$ est posé isotrope

$$K_j^{i+1} = K_j^i \cdot \frac{\left\| \nabla h_j^i \right\|_2}{\left\| \nabla \hat{h}_j \right\|_2}$$

i : Indice de l'itération $(i \geq 0)$

j : Indice de l'élément $(1 \geq j \leq n_{el})$

Schéma d'amortissement

Un amortissement est ajouté afin de diminuer l'ampleur des corrections à chaque itération

$$K_j^{i+1} = K_j^i \cdot \frac{\left\| \nabla h_j^i \right\|_2 + \beta^i}{\left\| \nabla \hat{h}_j \right\|_2 + \beta^i}$$

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Schéma d'amortissement

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Un amortissement est ajouté afin de diminuer l'ampleur des corrections à chaque itération

$$K_j^{i+1} = K_j^i \cdot \frac{\left\| \nabla h_j^i \right\|_2 + \beta^i}{\left\| \nabla \hat{h}_j \right\|_2 + \beta^i}$$

β varie en fonction de i et prend différentes formes :

$$\beta^i = \beta^o$$

$$\beta^i = \alpha i + \beta^o$$

$$\beta^i = \beta^o e^{-3i/\alpha}$$

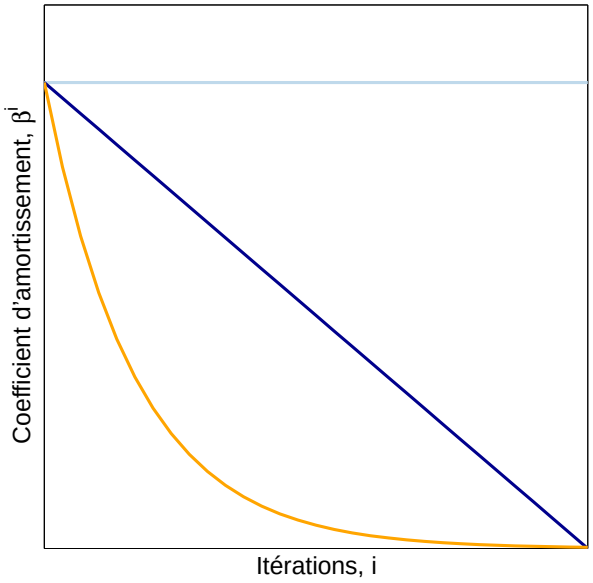


Schéma temporel

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

En régime transitoire, ∇h^i et $\nabla \hat{h}$ évoluent avec t

$h(t_0) \quad \Rightarrow \quad h(t_1) \quad \Rightarrow \quad h(t_2)$

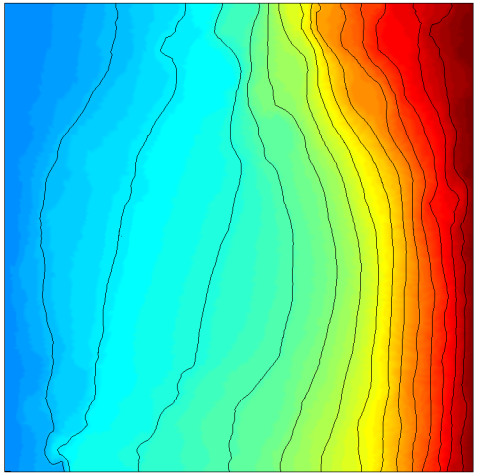
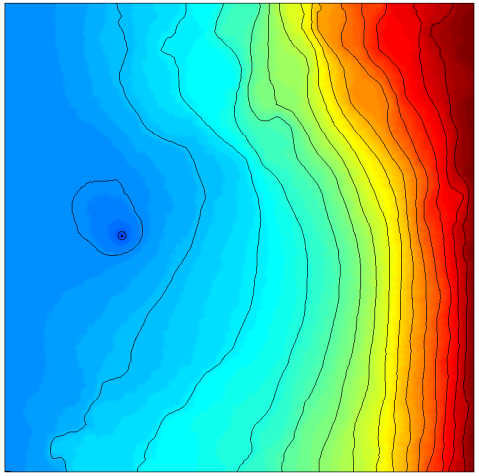
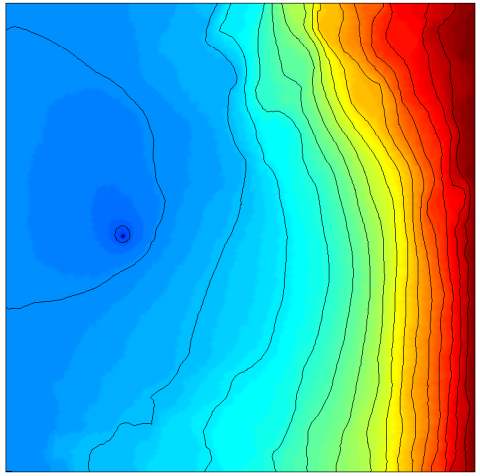




Schéma temporel

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

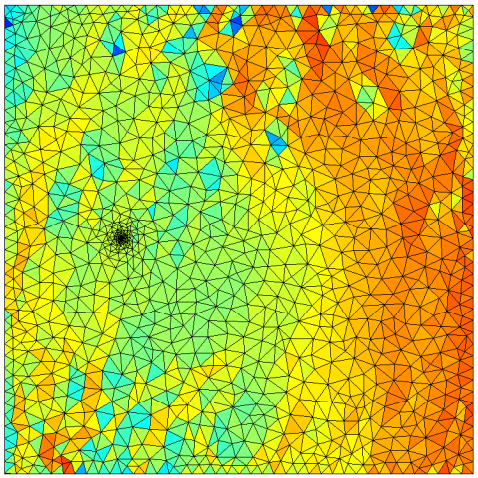
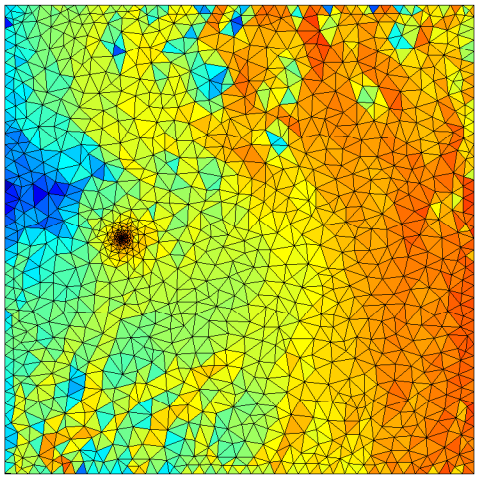
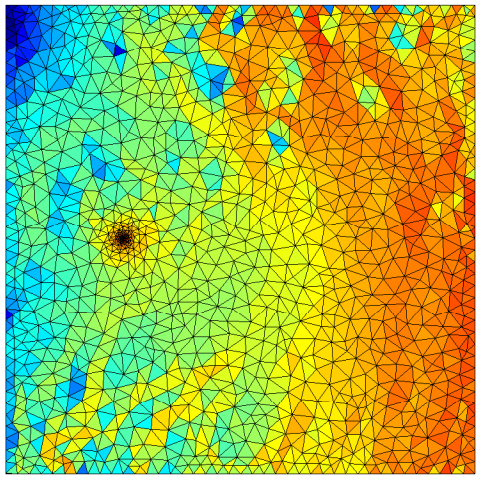
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

En régime transitoire, ∇h^i et $\nabla \hat{h}$ évoluent avec t

$$\nabla h(t_0) \quad \Rightarrow \quad \nabla h(t_1) \quad \Rightarrow \quad \nabla h(t_2)$$

Quel champ $\nabla h(t)$ utiliser ?

Schéma temporel

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla\hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

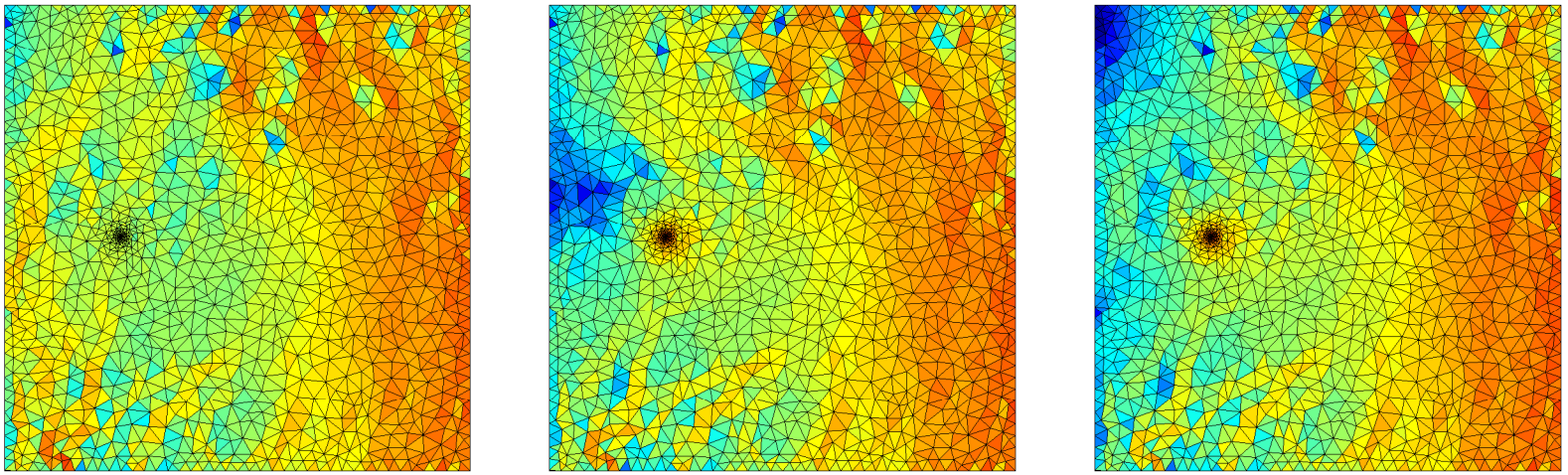
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

En régime transitoire, ∇h^i et $\nabla\hat{h}$ évoluent avec t

$$\nabla h(t_0) \quad \Rightarrow \quad \nabla h(t_1) \quad \Rightarrow \quad \nabla h(t_2)$$



Quel champ $\nabla h(t)$ utiliser ? $\Rightarrow$ Tous les champs.

$$K_j^{i+1} = K_j^i \cdot \sum_{k=1}^{n_t} \frac{\left\| \nabla h_{j,k}^i + \beta^i \right\|_2}{\left\| \nabla \hat{h}_{j,k} + \beta^i \right\|_2} \cdot \lambda_k$$

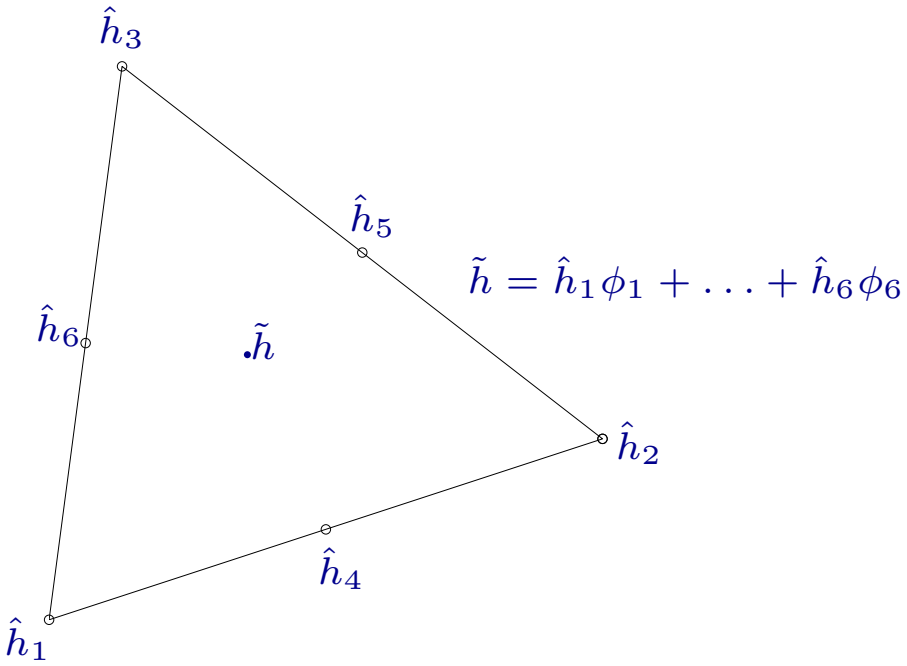
Calcul du gradient hydraulique

$\nabla \hat{h}$ est obtenu en dérivant les ϕ_i des éléments finis.

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

1. h est krigé aux nœuds des éléments finis $\hat{h}_i = u_i \Rightarrow \tilde{h} = \sum_{i=1}^{6} u_i \phi_i$



Calcul du gradient hydraulique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla\hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

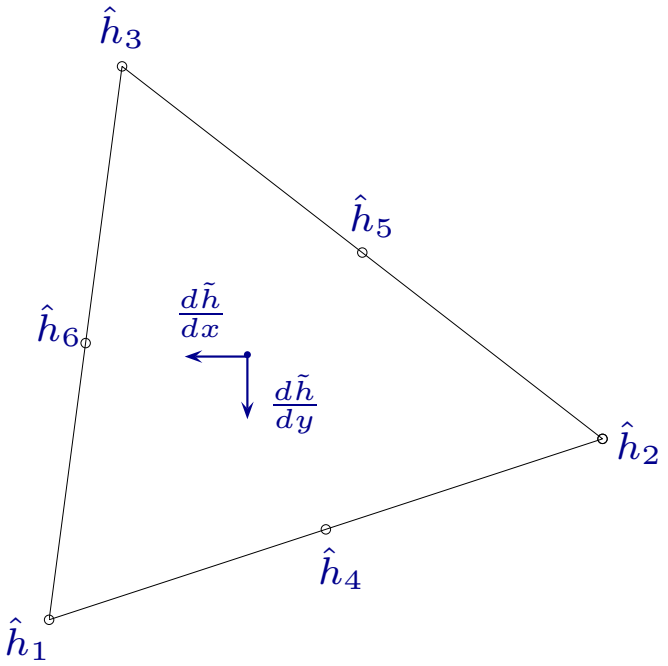
Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

$\nabla\hat{h}$ est obtenu en dérivant les ϕ_i des éléments finis.

1. h est krigé aux nœuds des éléments finis $\hat{h}_i = u_i \Rightarrow \tilde{h} = \sum_{i=1}^{6} u_i \phi_i$
2. $\nabla\hat{h}$ est obtenu en dérivant $\tilde{h} \Rightarrow \frac{d\tilde{h}}{dx} = \sum_{i=1}^{6} u_i \frac{d\phi_i}{dx}$ et $\frac{d\tilde{h}}{dy} = \sum_{i=1}^{6} u_i \frac{d\phi_i}{dy}$

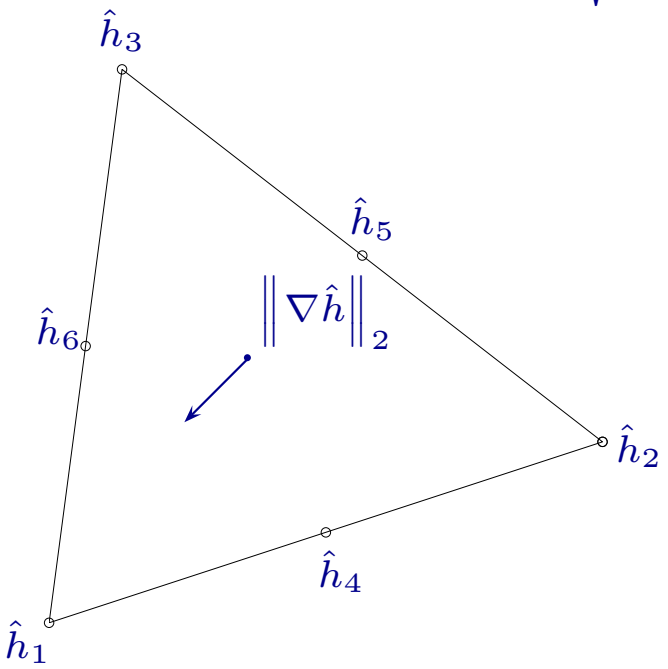


Calcul du gradient hydraulique

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla\hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

$\nabla\hat{h}$ est obtenu en dérivant les ϕ_i des éléments finis.

1. h est krigé aux nœuds des éléments finis $\hat{h}_i = u_i \Rightarrow \tilde{h} = \sum_{i=1}^{6} u_i \phi_i$
2. $\nabla\hat{h}$ est obtenu en dérivant $\tilde{h} \Rightarrow \frac{d\tilde{h}}{dx} = \sum_{i=1}^{6} u_i \frac{d\phi_i}{dx}$ et $\frac{d\tilde{h}}{dy} = \sum_{i=1}^{6} u_i \frac{d\phi_i}{dy}$
3. La magnitude du flux est donné par $\left\|\nabla\hat{h}\right\|_2 = \sqrt{\left(\frac{d\tilde{h}}{dx}\right)^2 + \left(\frac{d\tilde{h}}{dy}\right)^2}$



Algorithme schématique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Simulation géostatistique : K^0

Krigeage du champ de charges hydrauliques : $\hat{h}$

Algorithme schématique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion

Simulation géostatistique : K^0

Krigeage du champ de charges hydrauliques : $\hat{h}$

↓

Résolution de

$$div(K^i \cdot \nabla h^i) + Q = S_s \frac{\partial h^i}{\partial t}$$

Algorithme schématique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

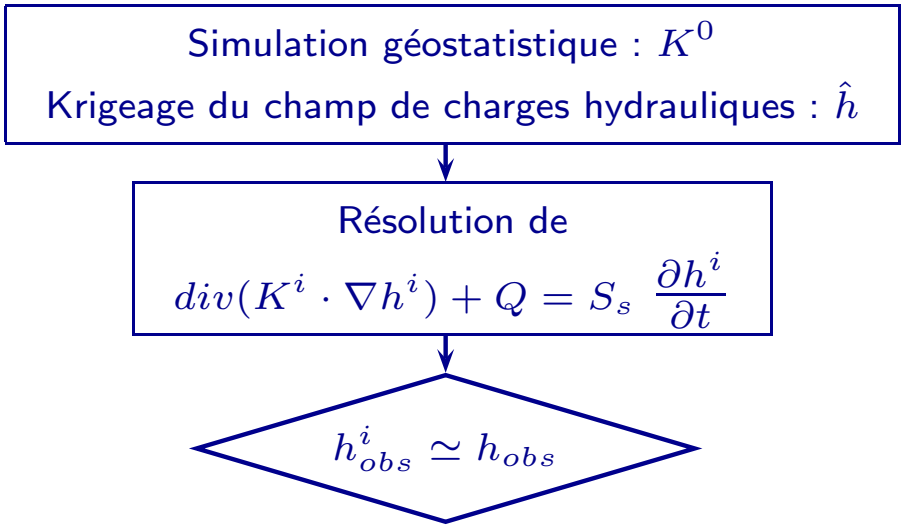
Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

Inversion 3D

Conclusion



Algorithme schématique

Introduction

Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique

Modèle synthétique

Inversion 2D

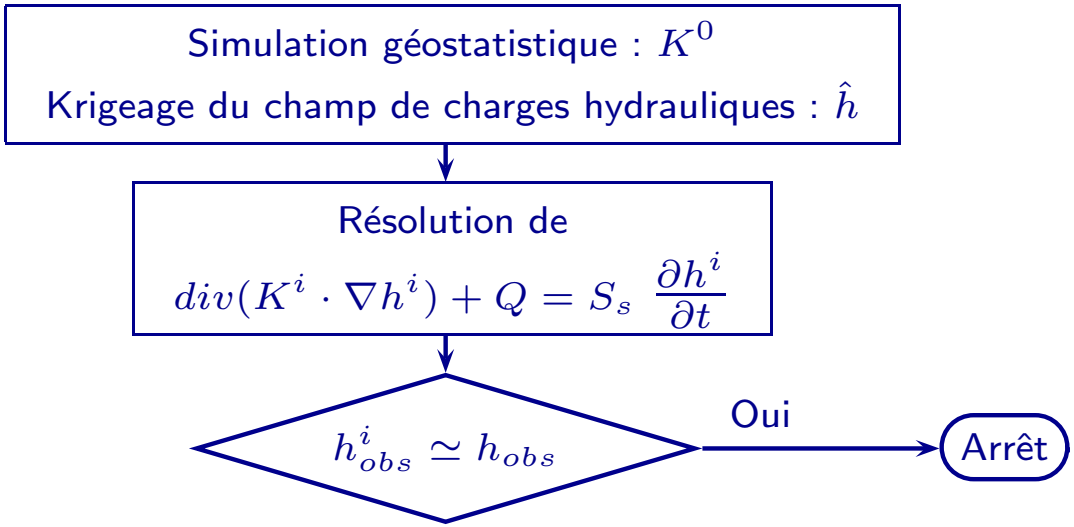
Paramètres opérationnels

Erreur d'estimation des charges

Aquifère de Lachenaie

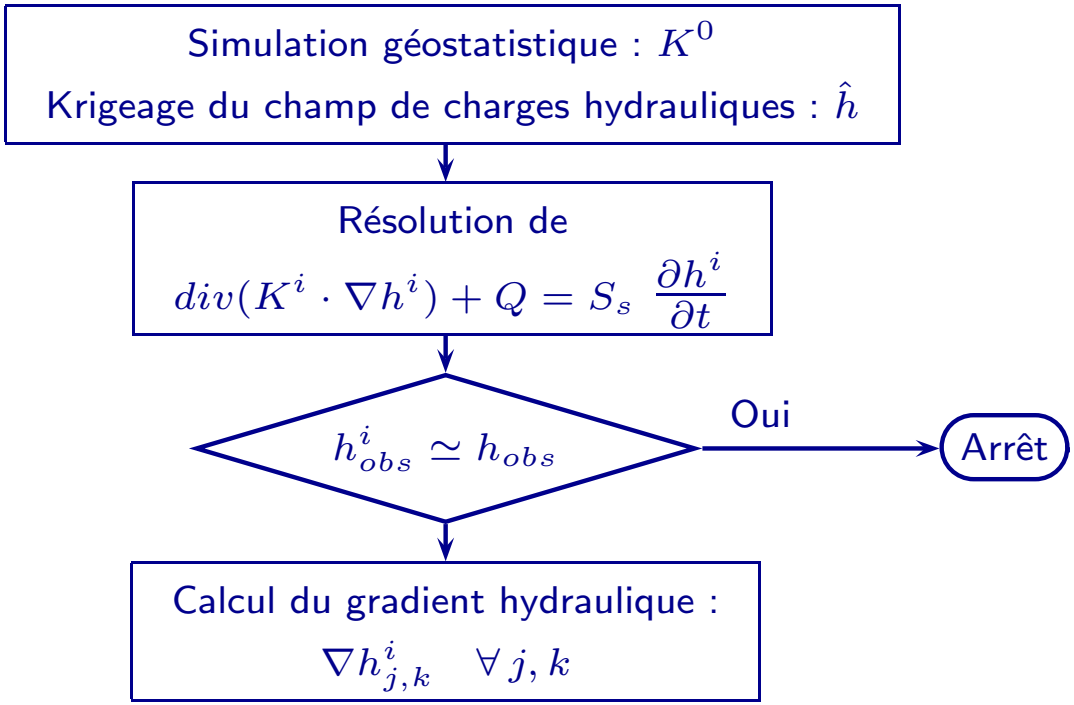
Inversion 3D

Conclusion



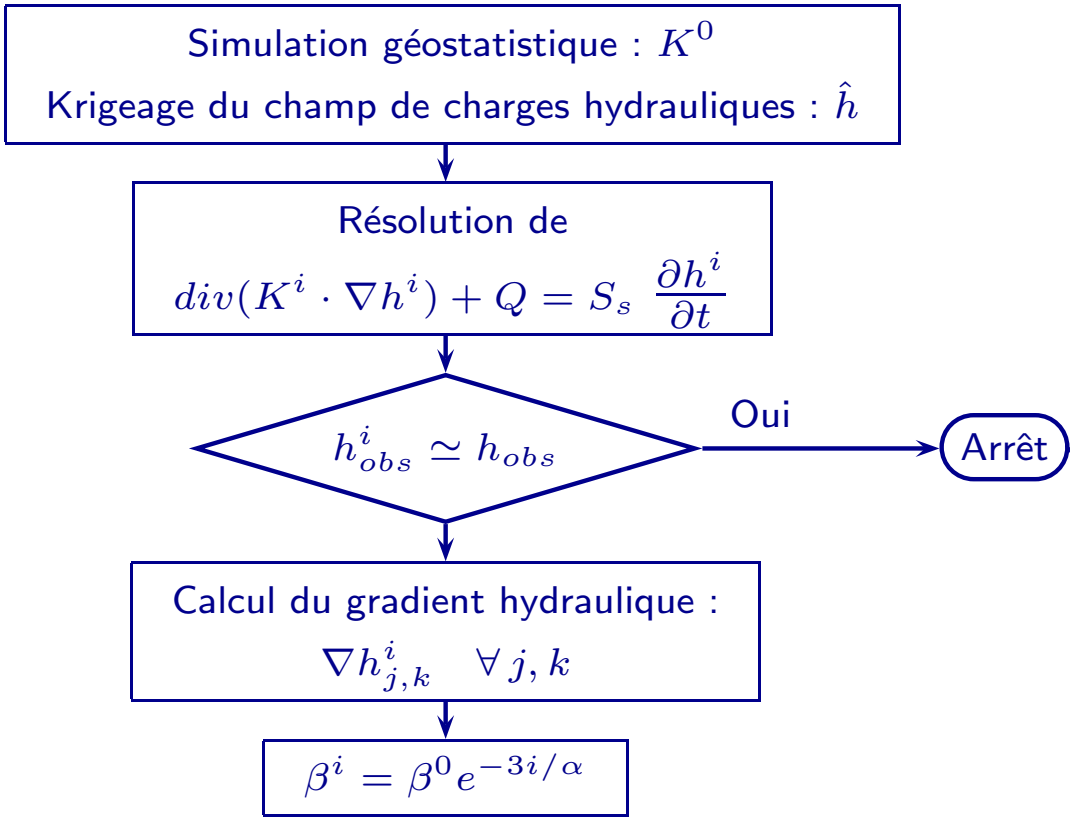
Algorithme schématique

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



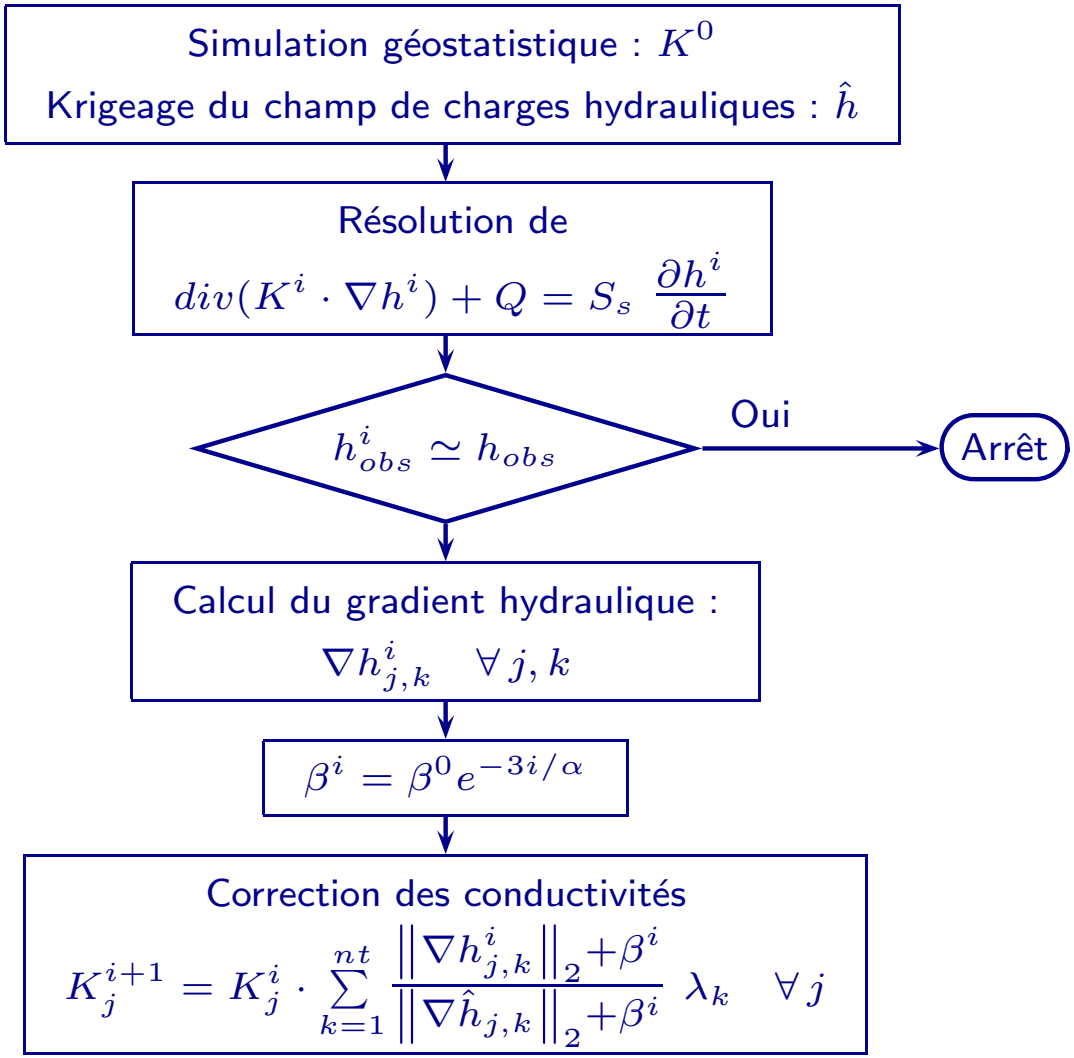
Algorithme schématique

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



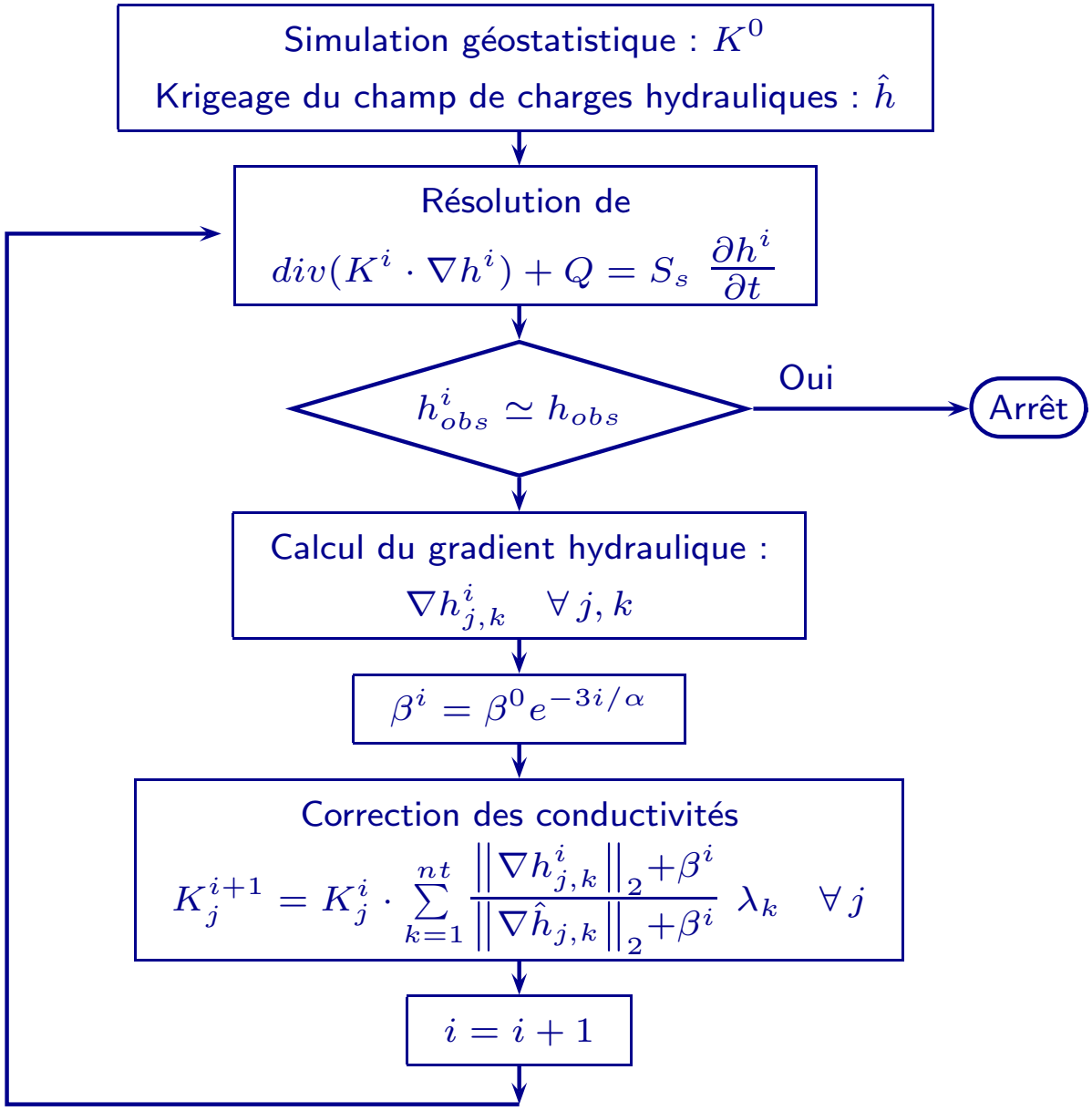
Algorithme schématique

Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



Algorithme schématique

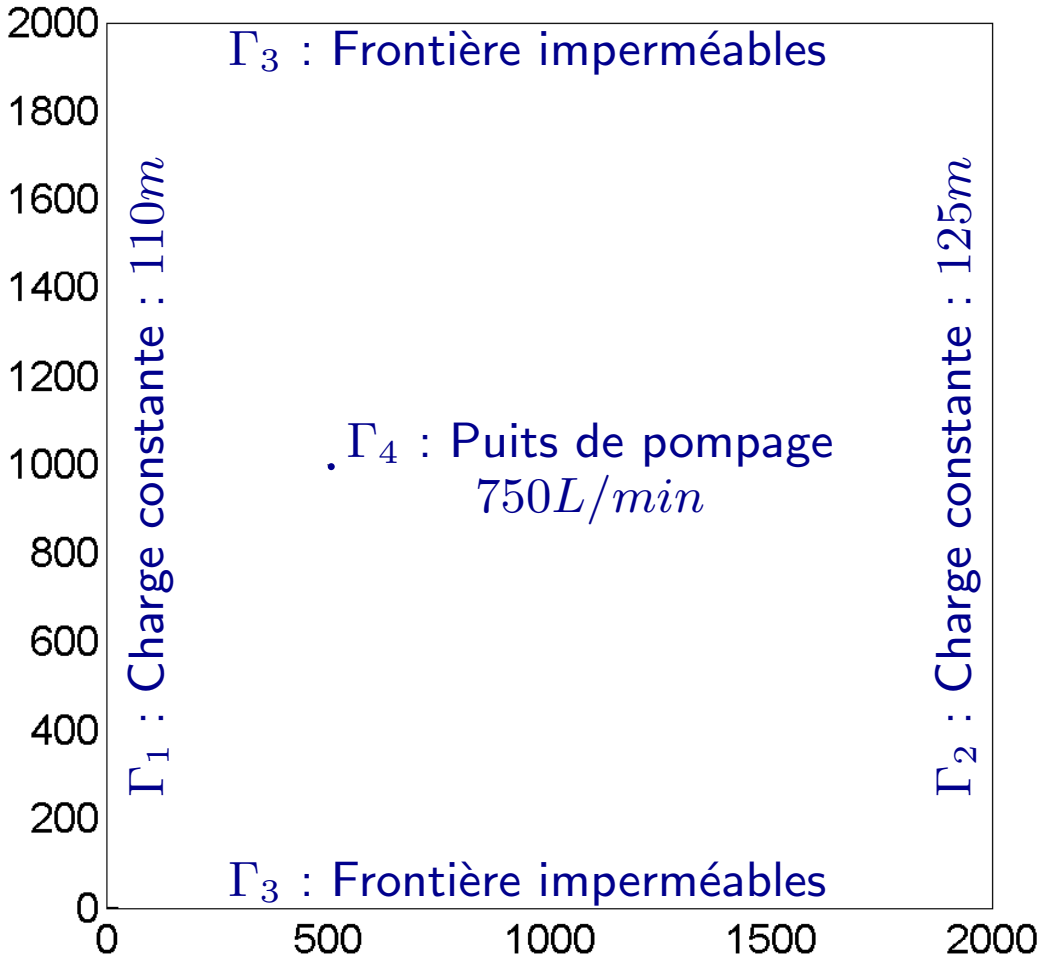
Introduction
Estimation successive des flux
- Problème de Cauchy
- Estimation de $\vec{q}^{\,o}$
- Estimation de $\hat{h}$
- Estimation successive
- Schéma d'amortissement
- Schéma temporel
- Calcul de $\nabla \hat{h}$
- Algorithme schématique
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

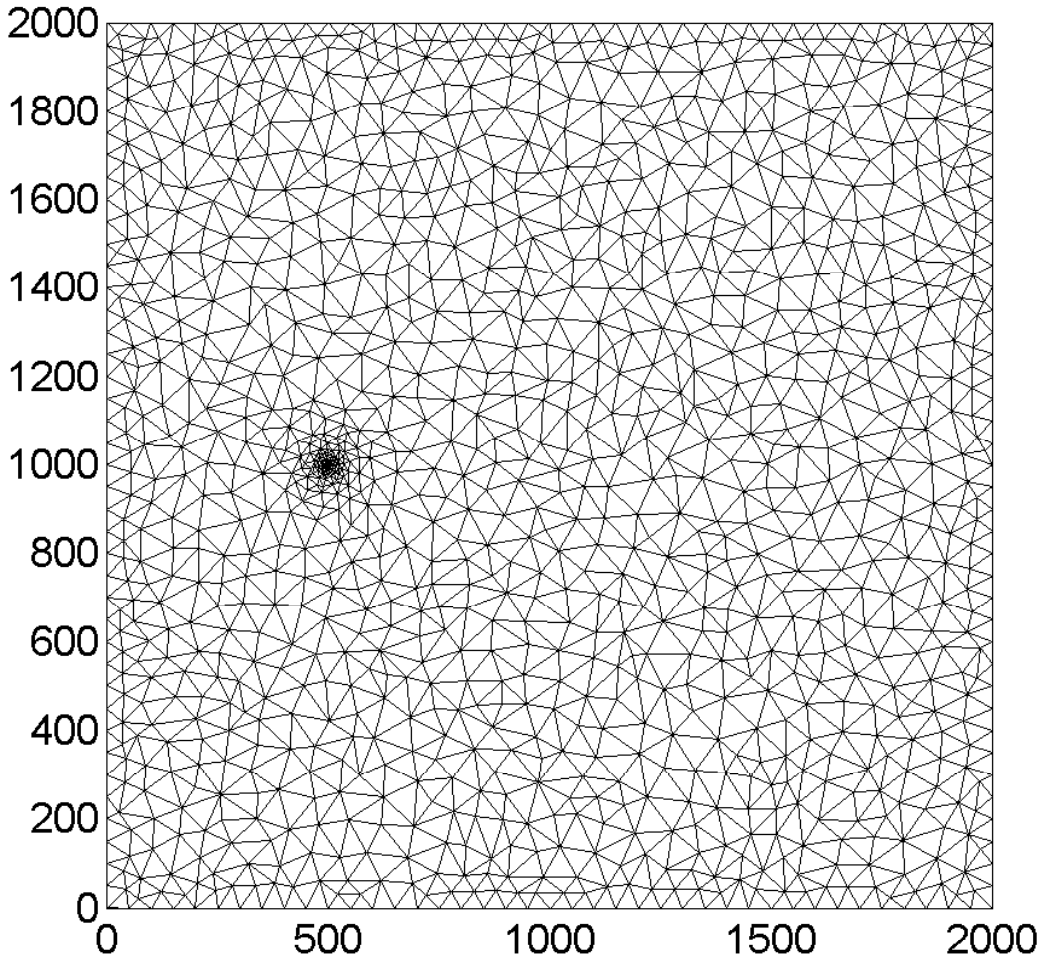
Conditions frontières



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

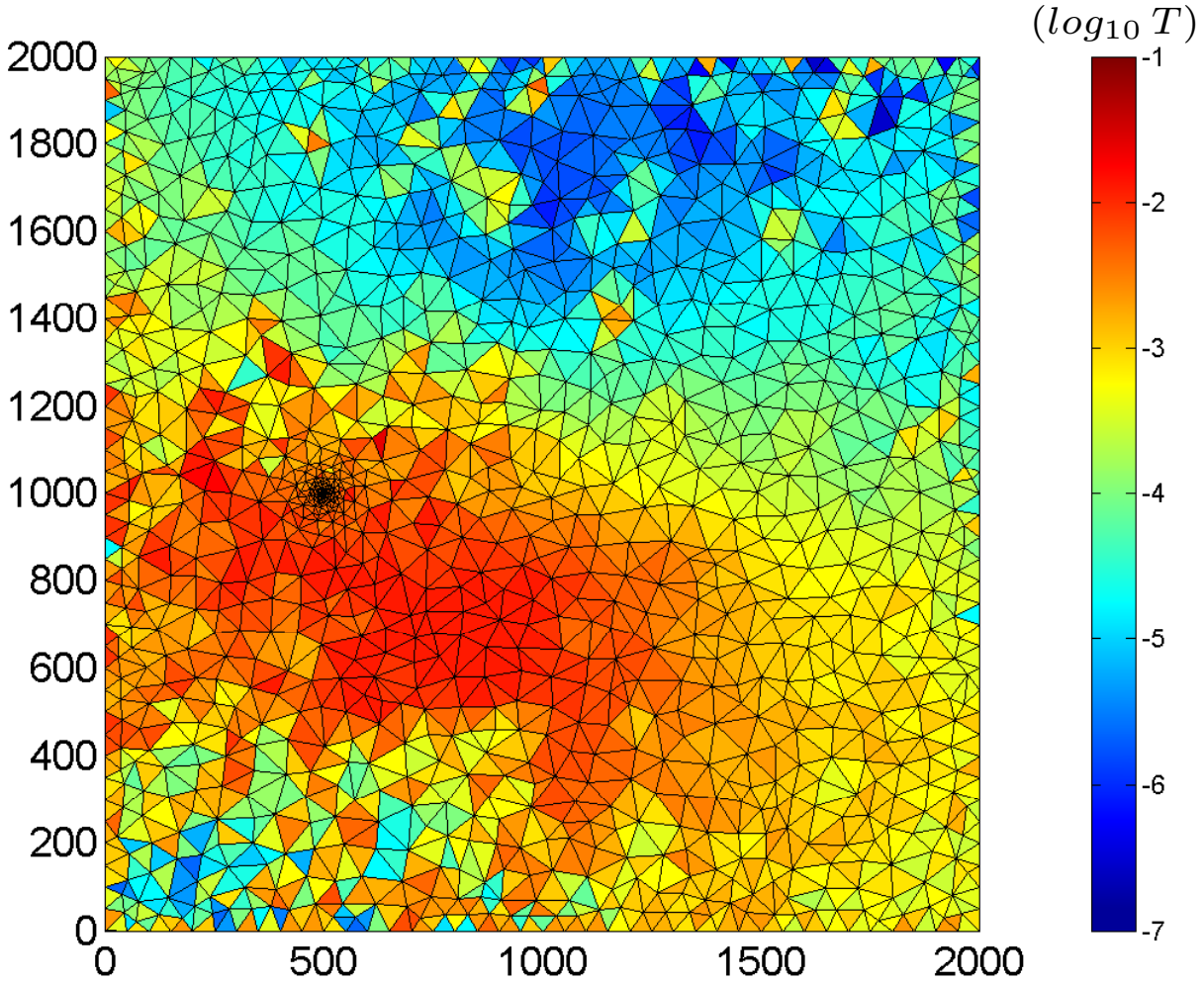
Discrétisation du domaine
3088 éléments finis quadratiques



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

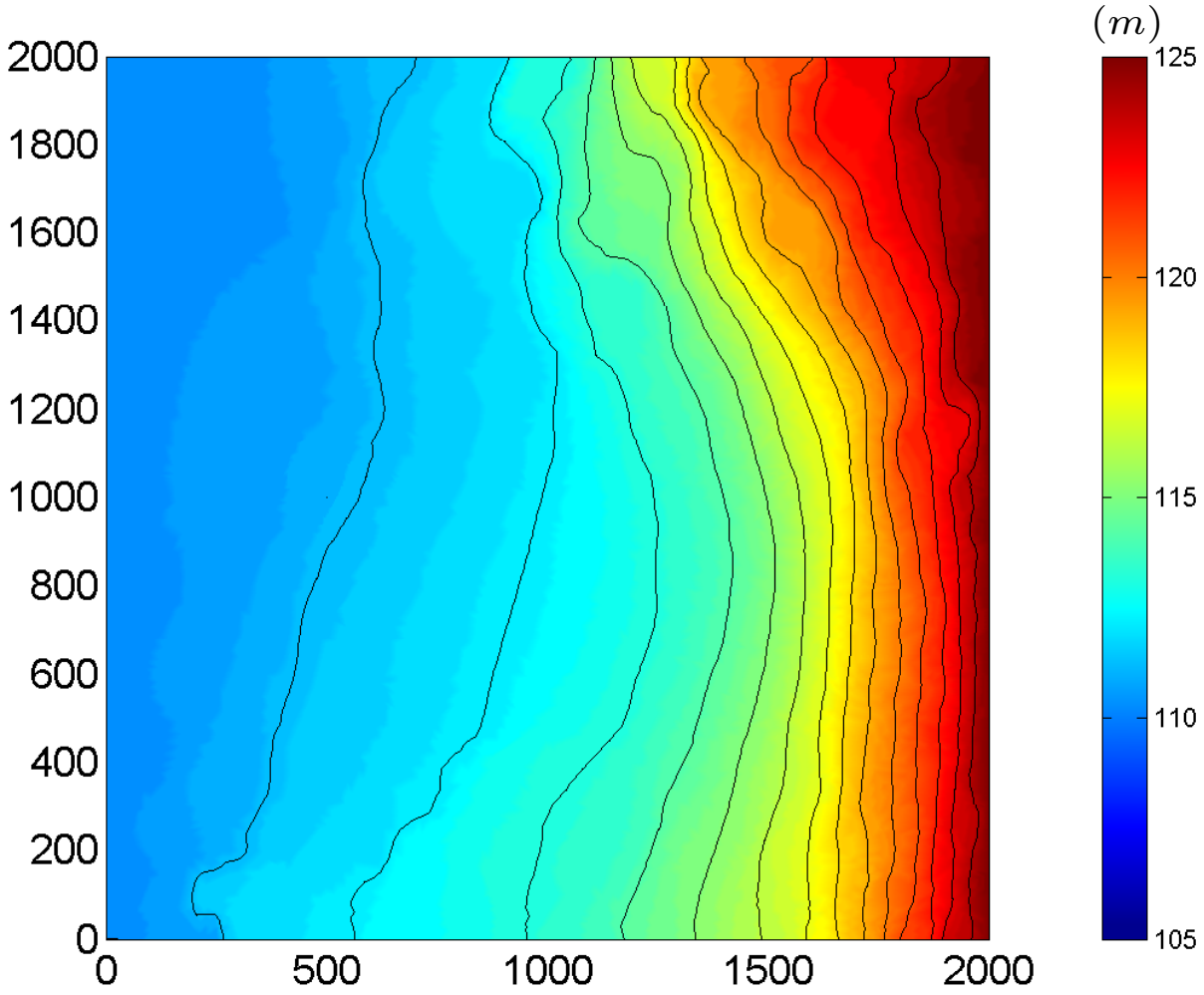
Champ de transmissivités de référence



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

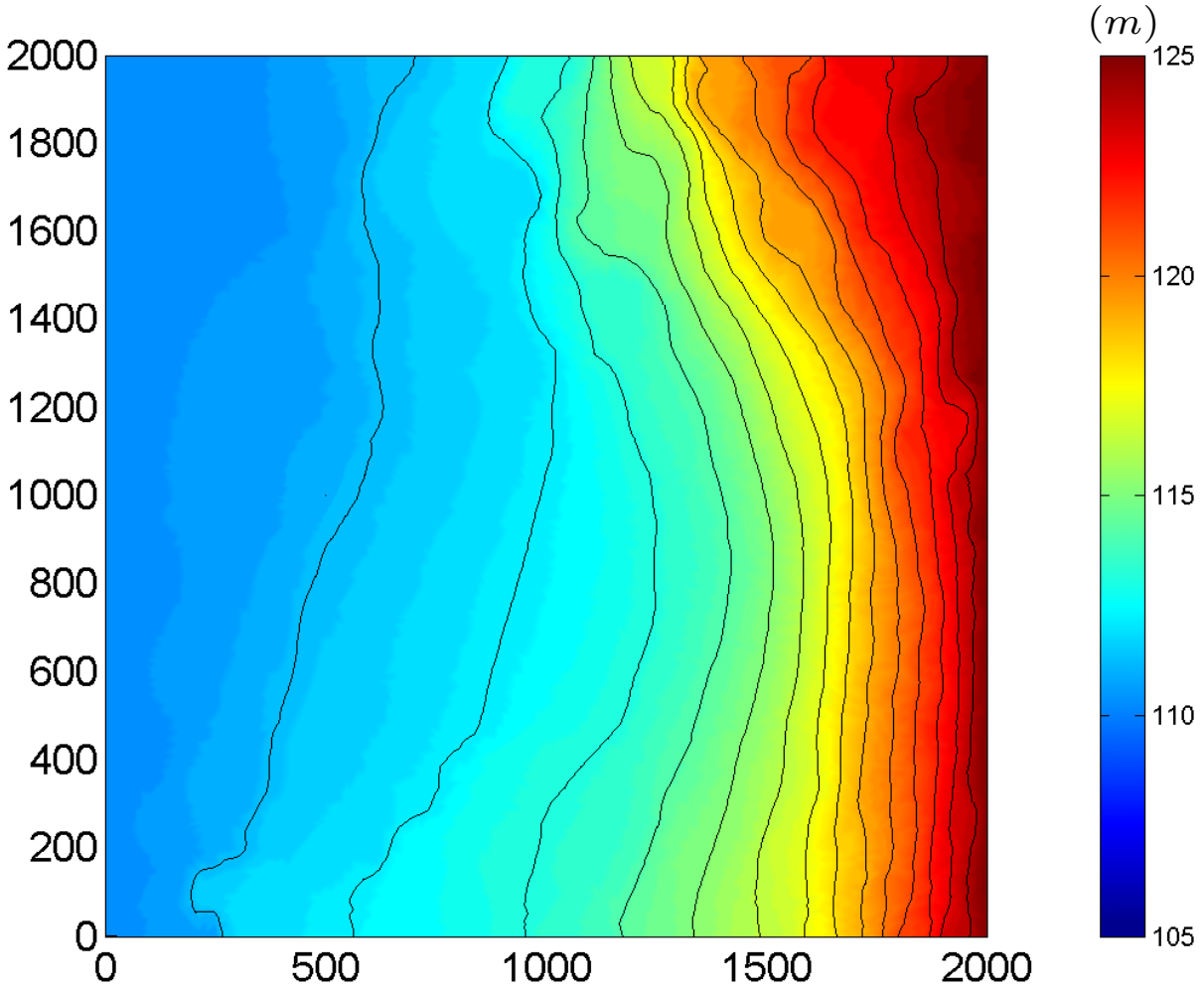
Charges hydrauliques à t=0



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

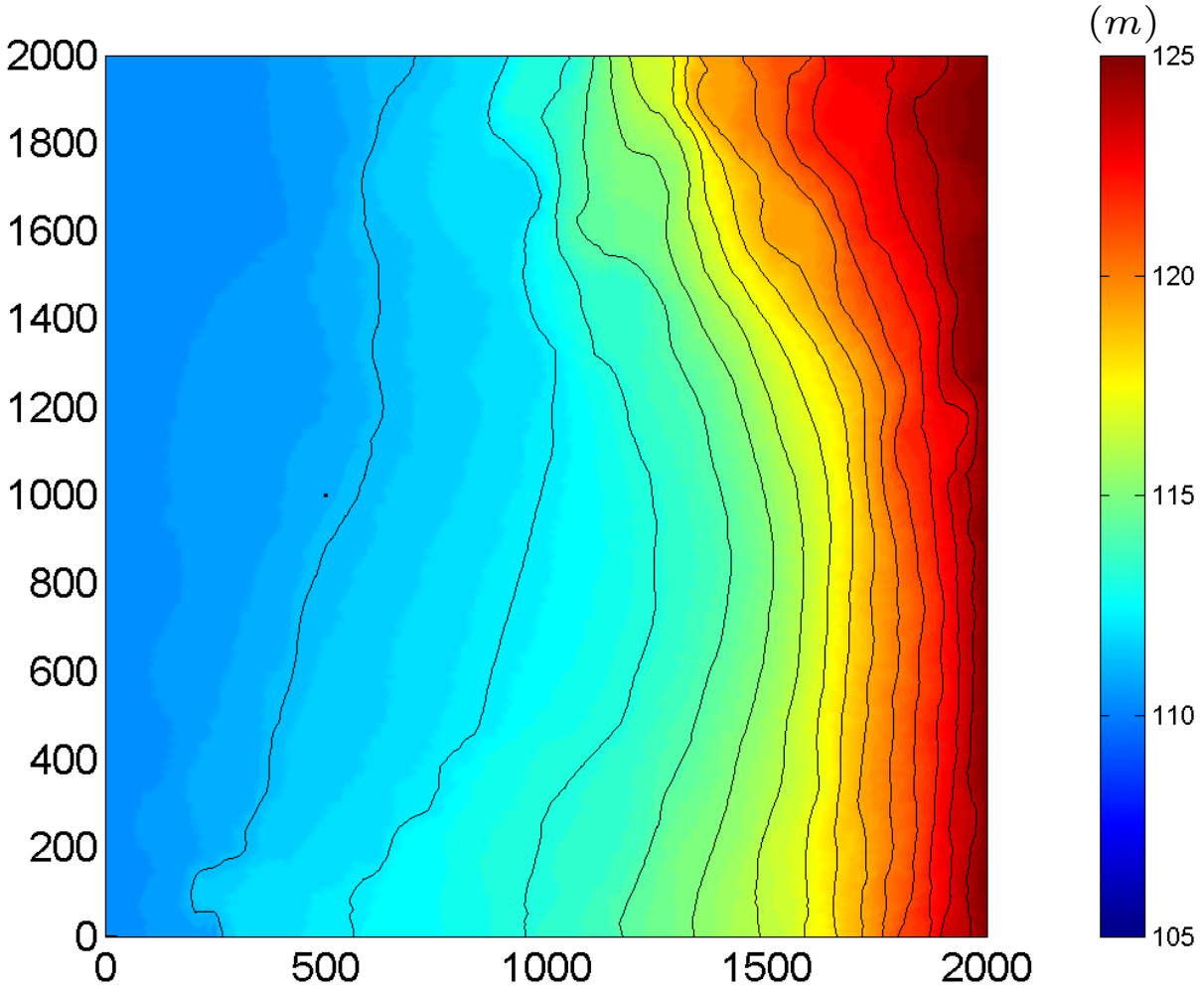
Charges hydrauliques à $t = 10^{-4.94}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

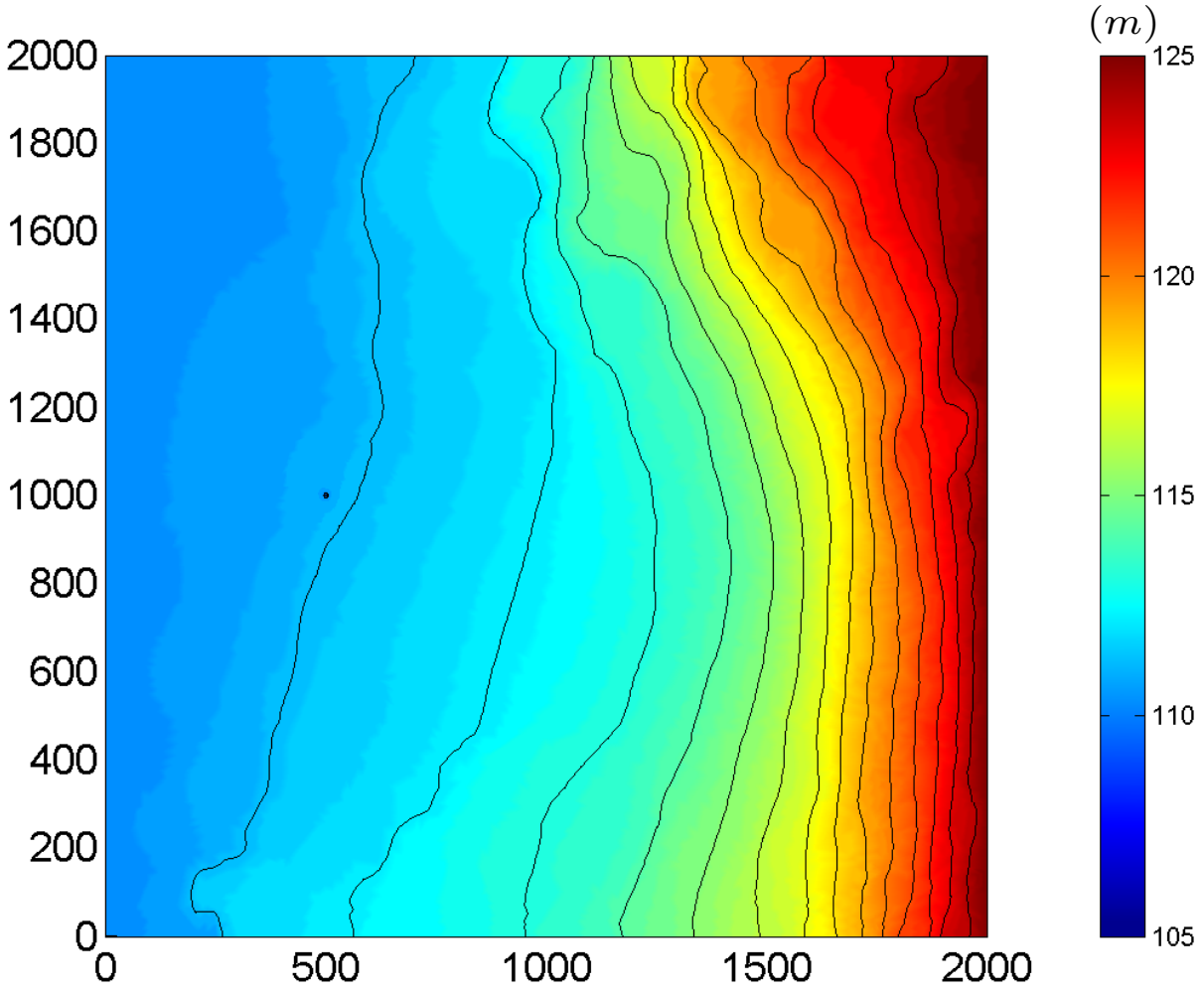
Charges hydrauliques à $t = 10^{-4.54}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

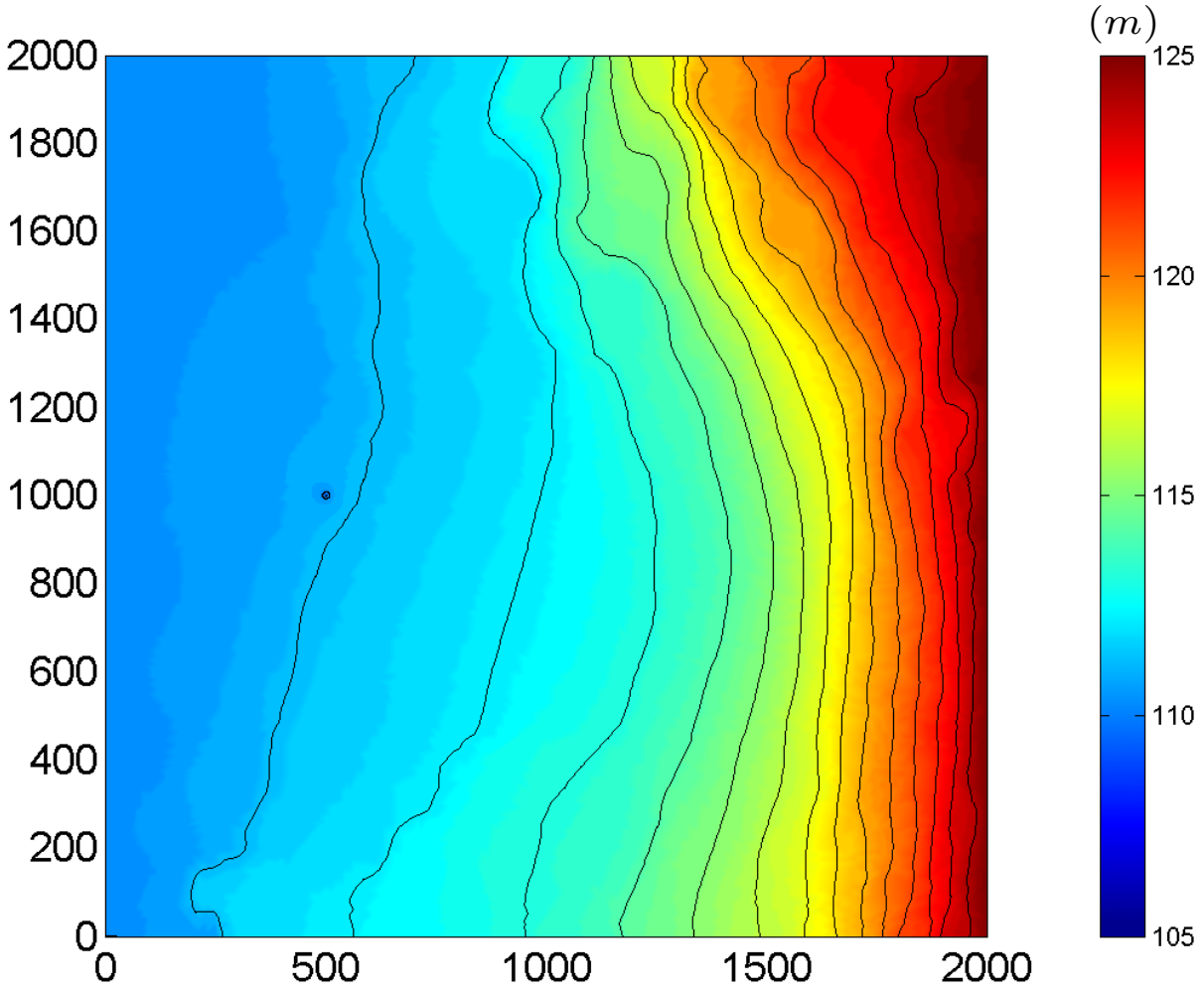
Charges hydrauliques à $t = 10^{-4.14}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

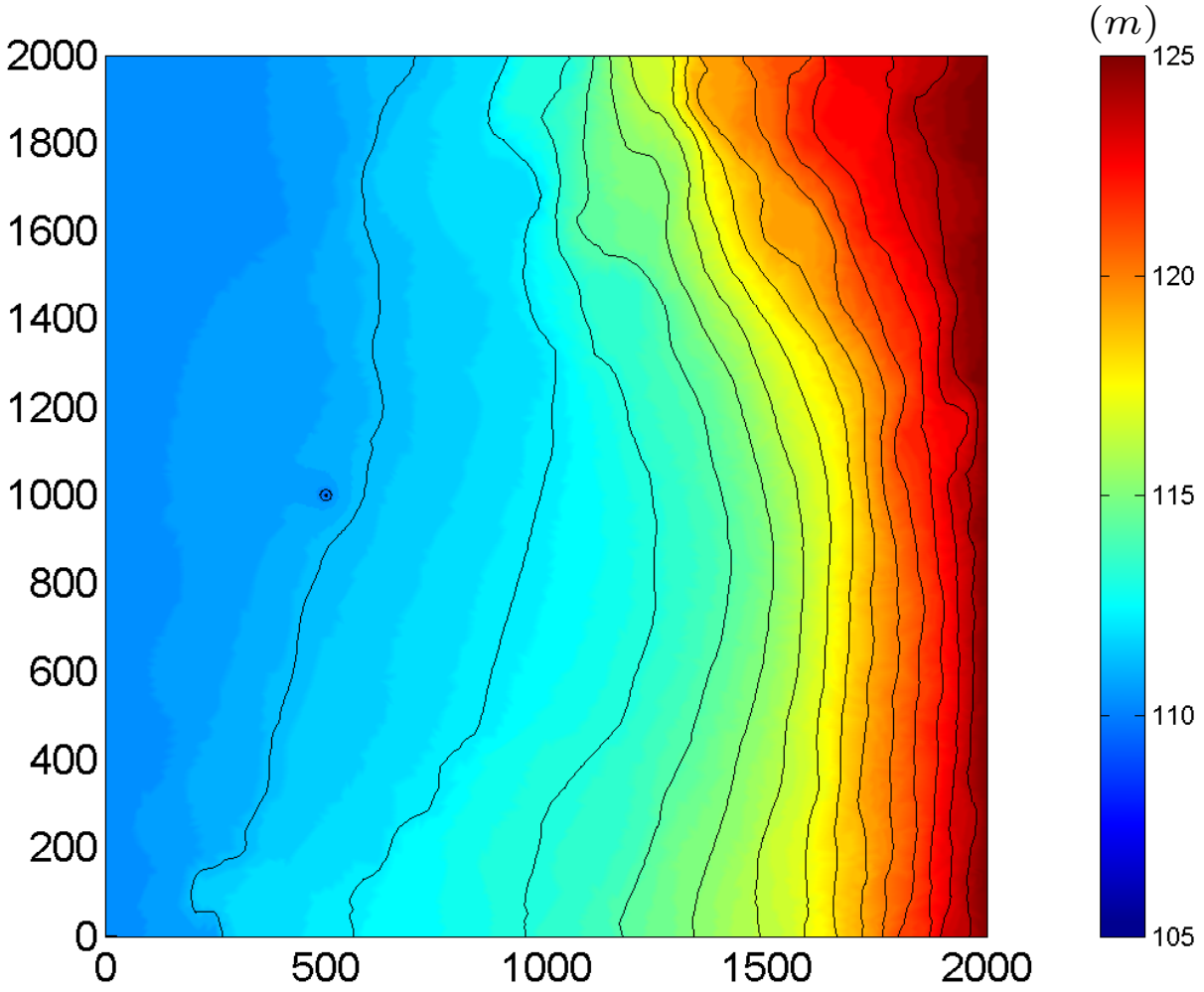
Charges hydrauliques à $t = 10^{-3.74}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

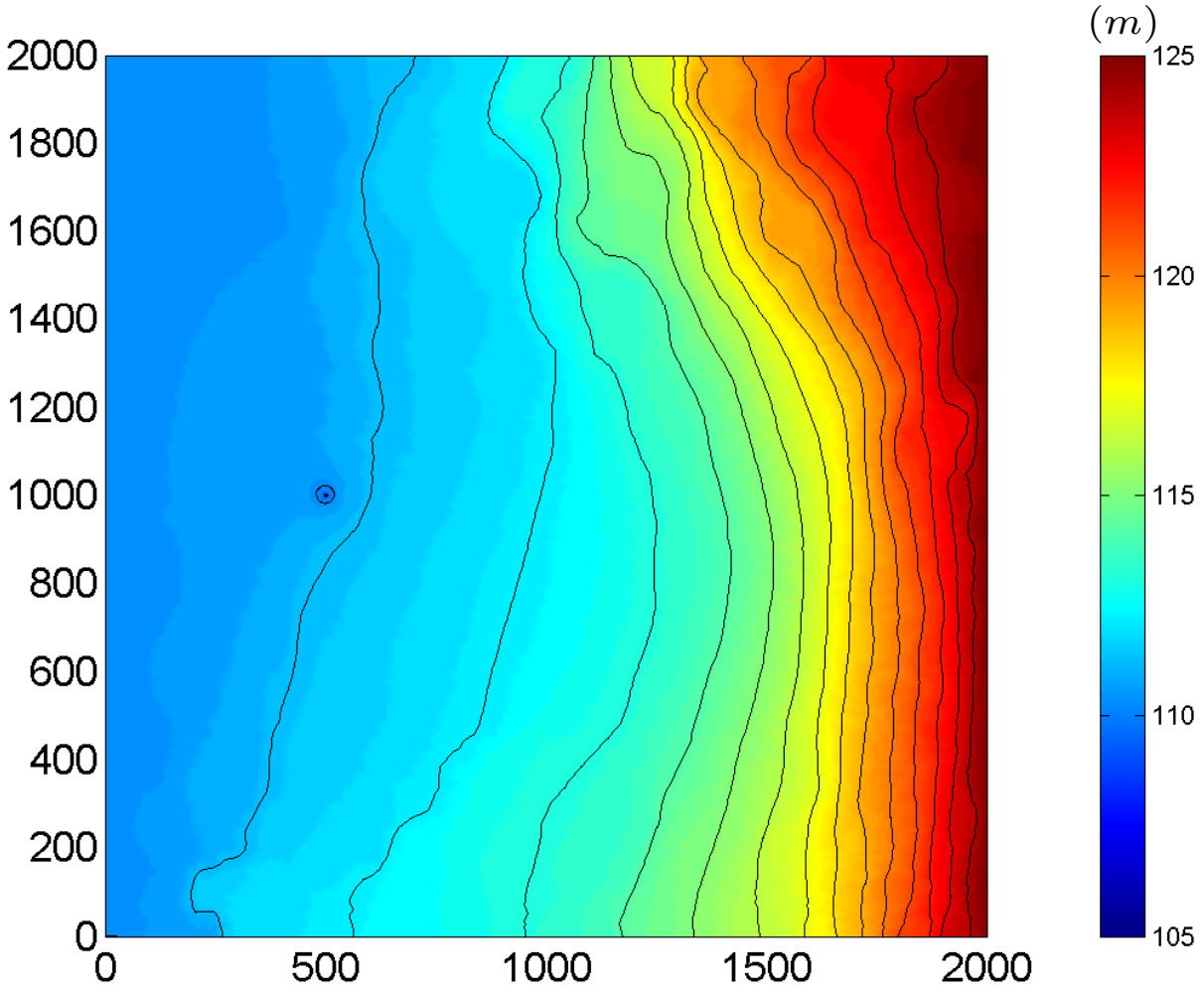
Charges hydrauliques à $t = 10^{-3.34}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

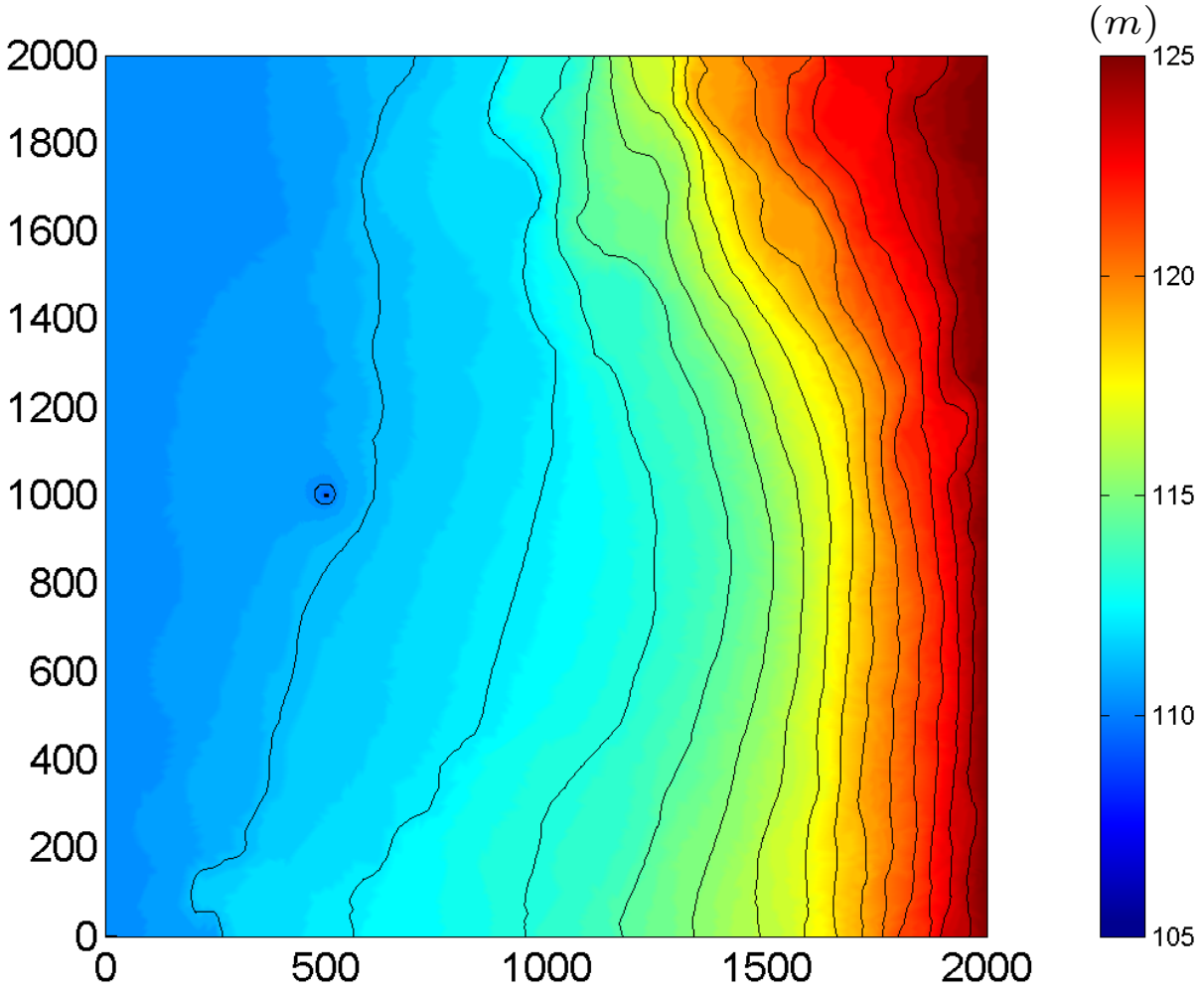
Charges hydrauliques à $t = 10^{-2.94}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

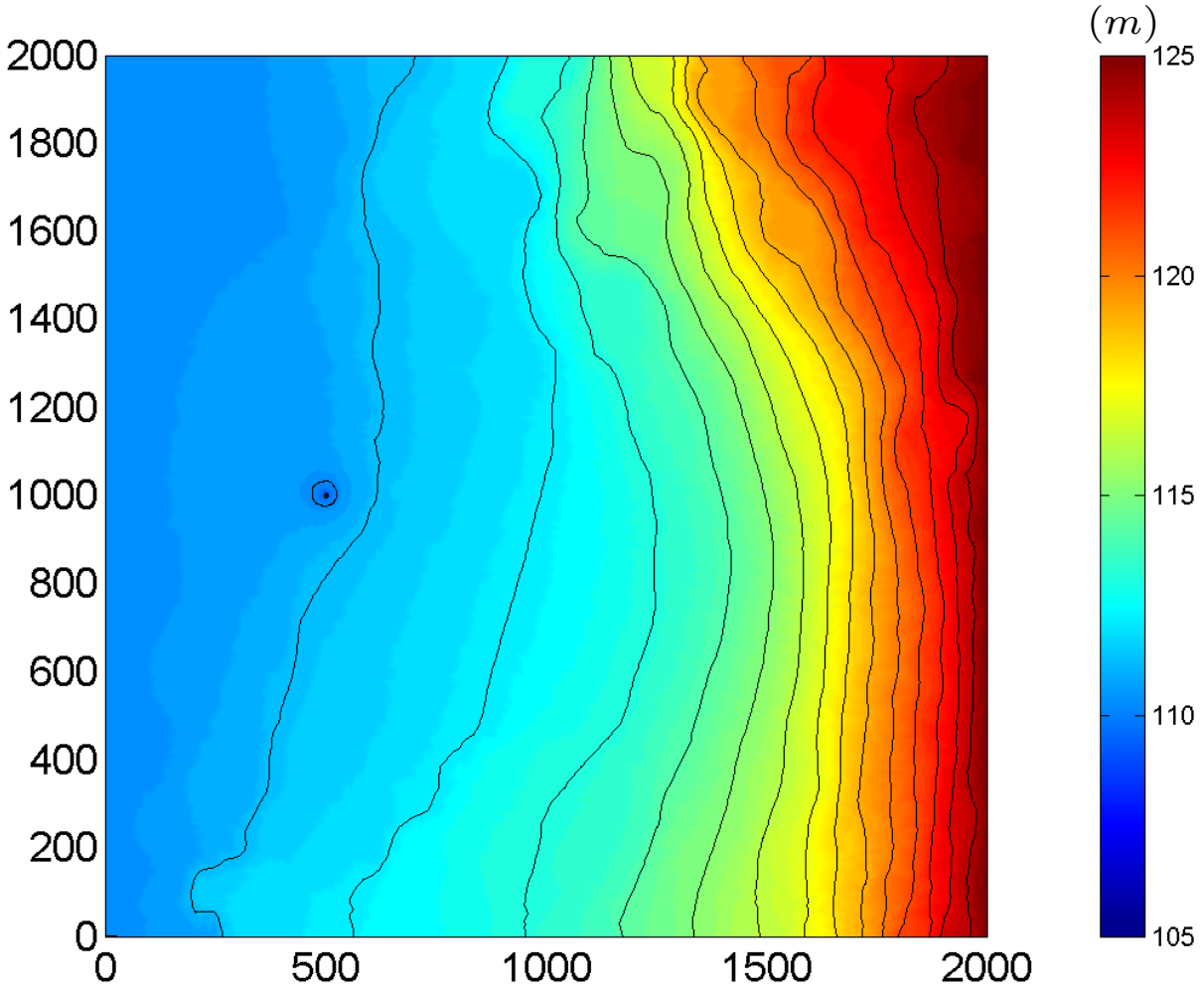
Charges hydrauliques à $t = 10^{-2.79}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

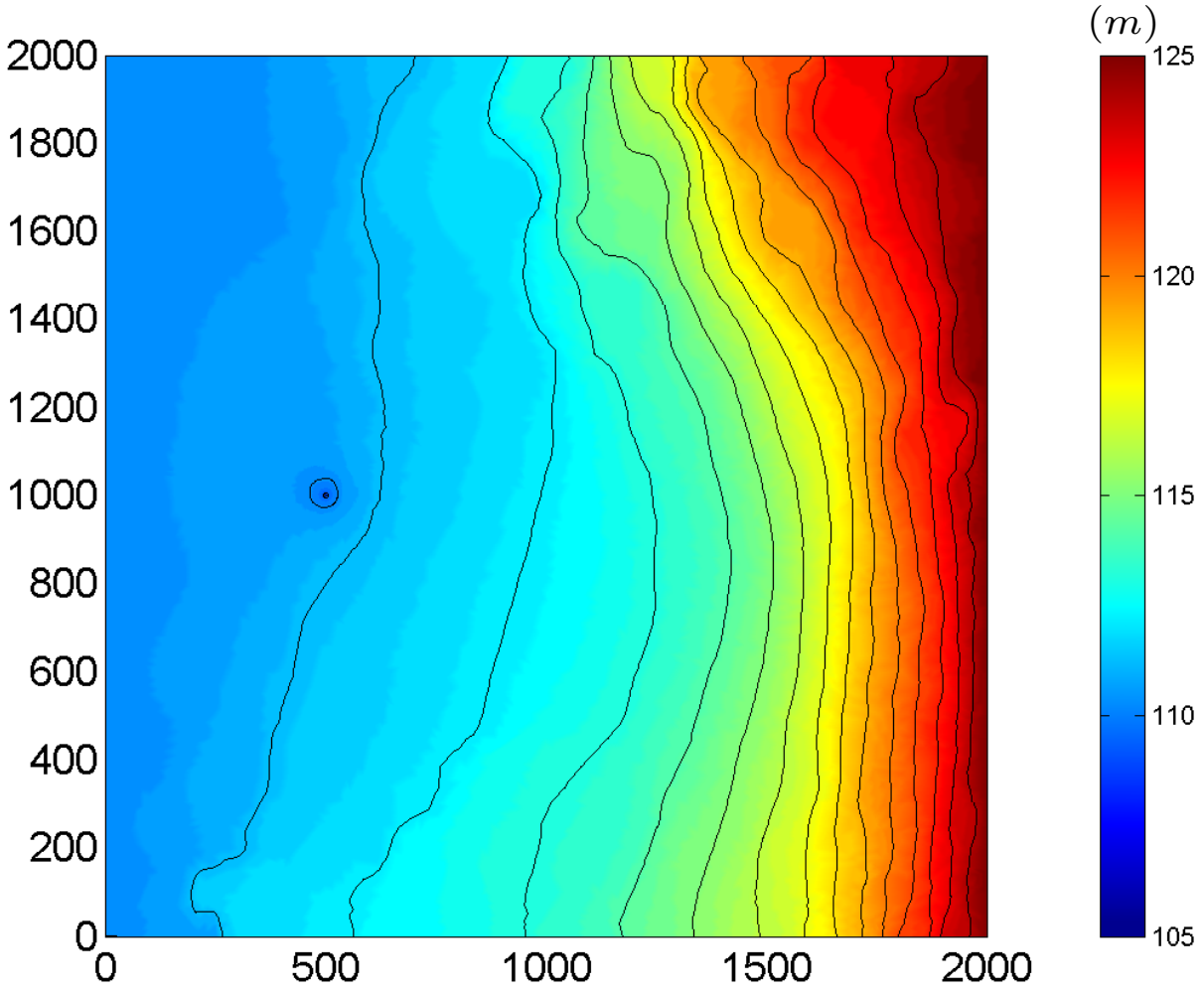
Charges hydrauliques à $t = 10^{-2.64}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

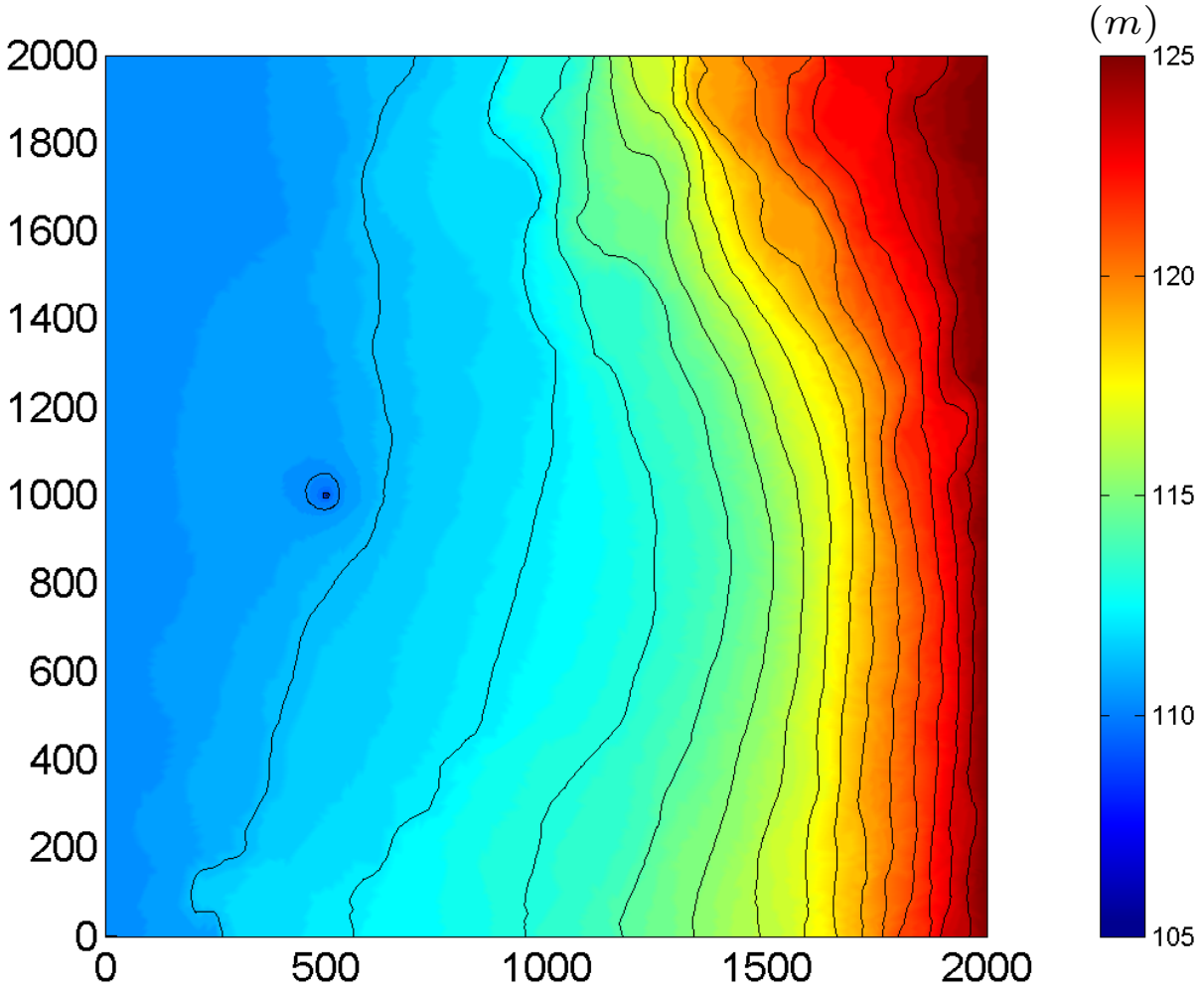
Charges hydrauliques à $t = 10^{-2.49}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

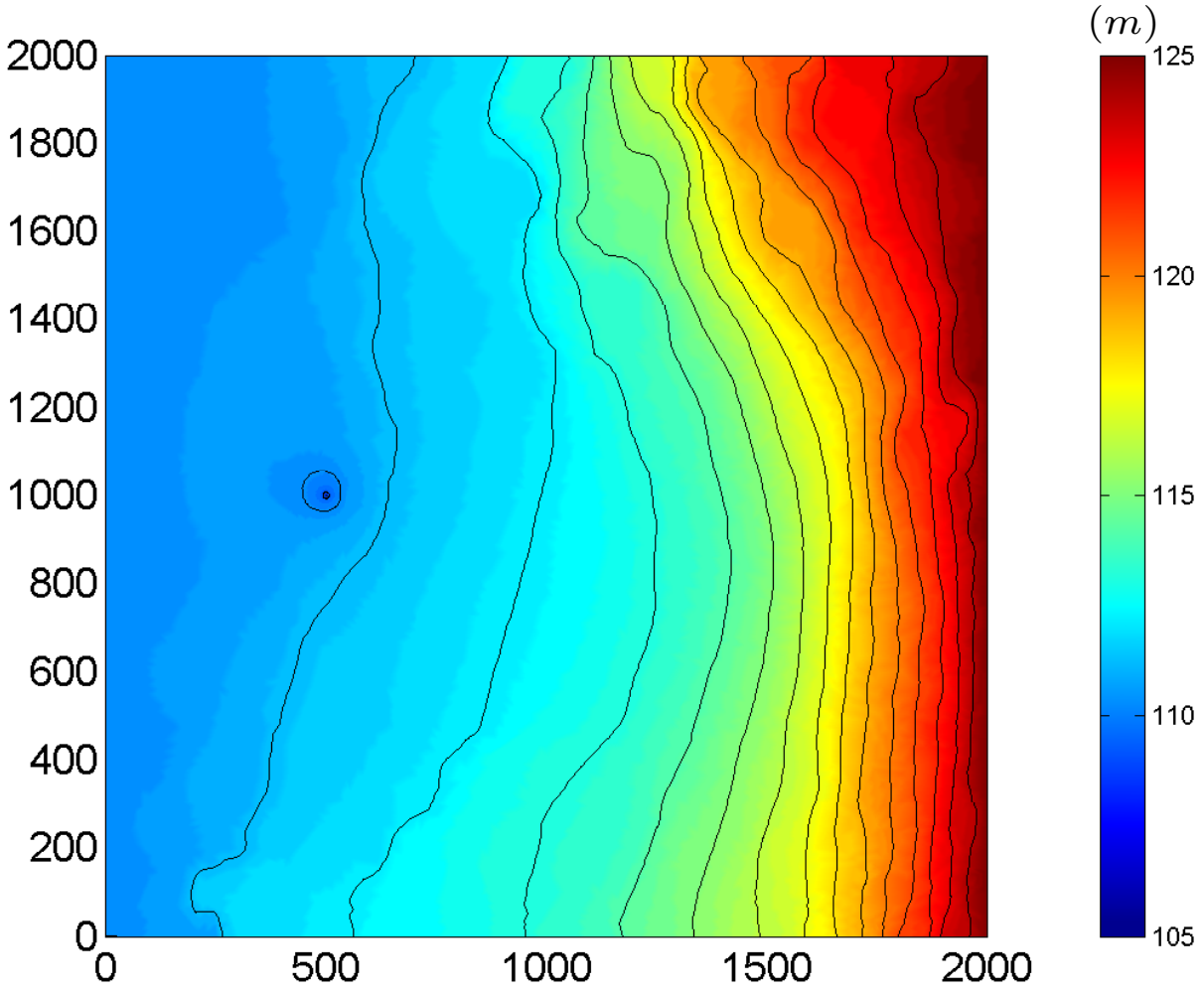
Charges hydrauliques à $t = 10^{-2.34}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

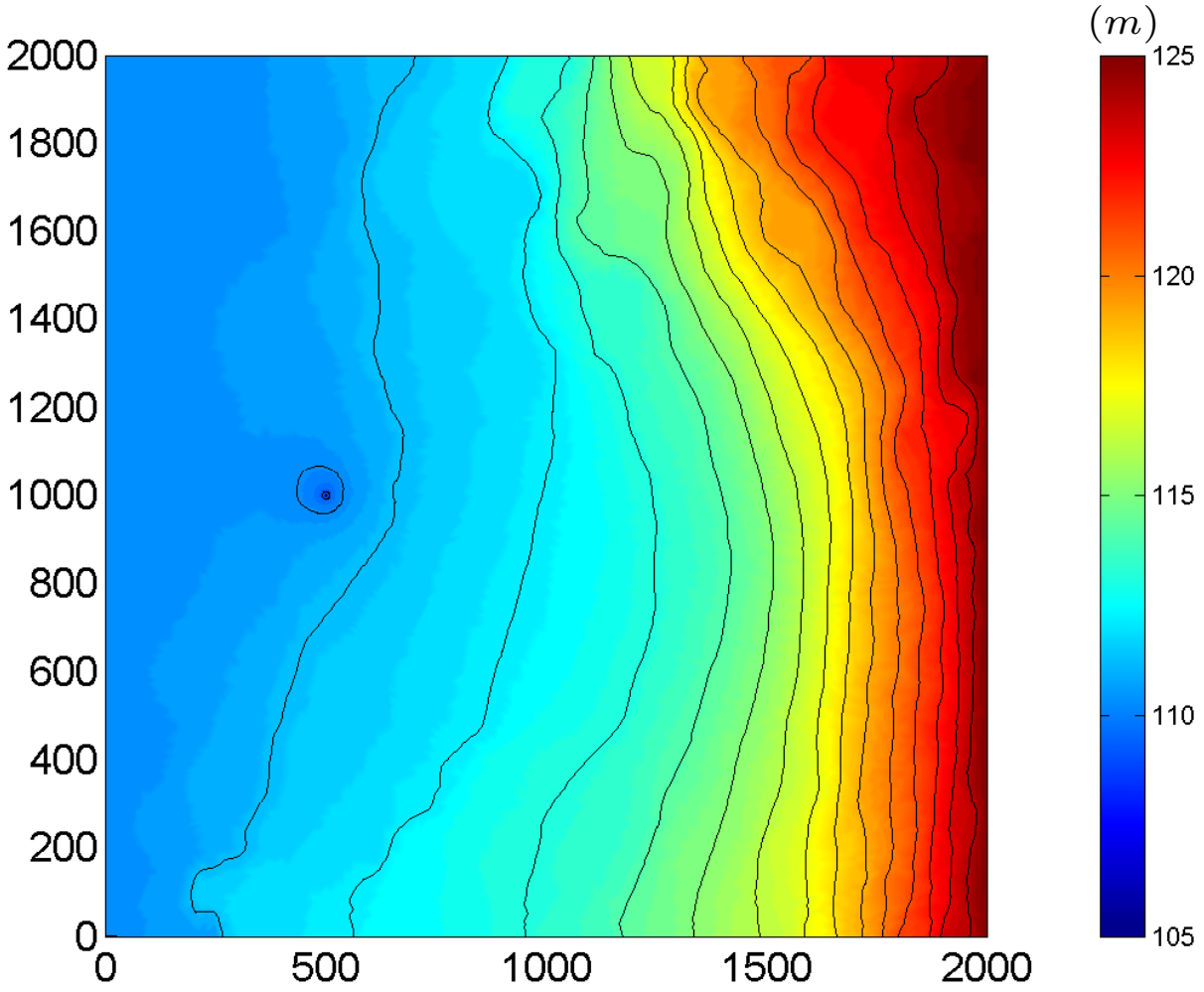
Charges hydrauliques à $t = 10^{-2.19}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

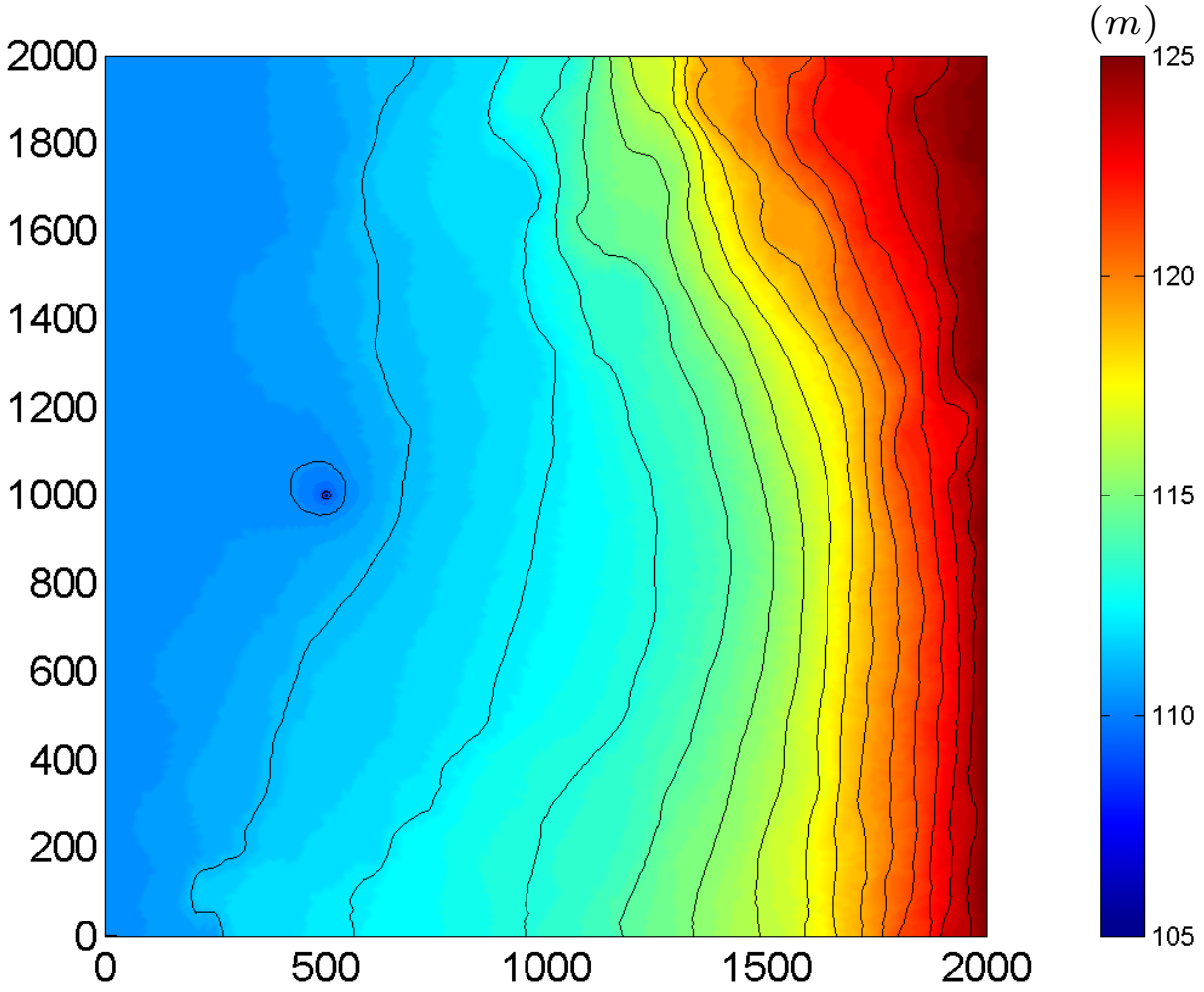
Charges hydrauliques à $t = 10^{-2.04}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

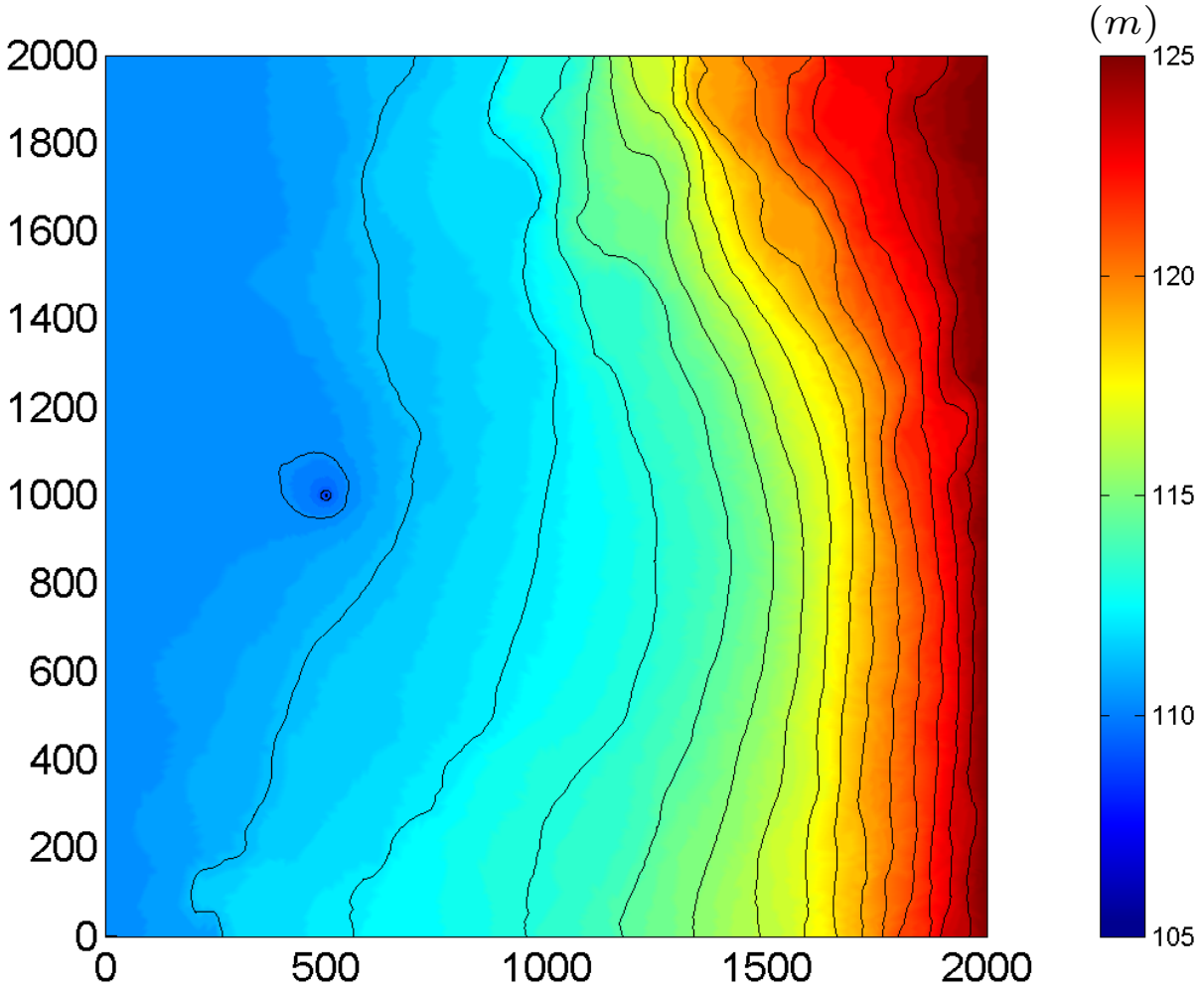
Charges hydrauliques à $t = 10^{-1.89}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

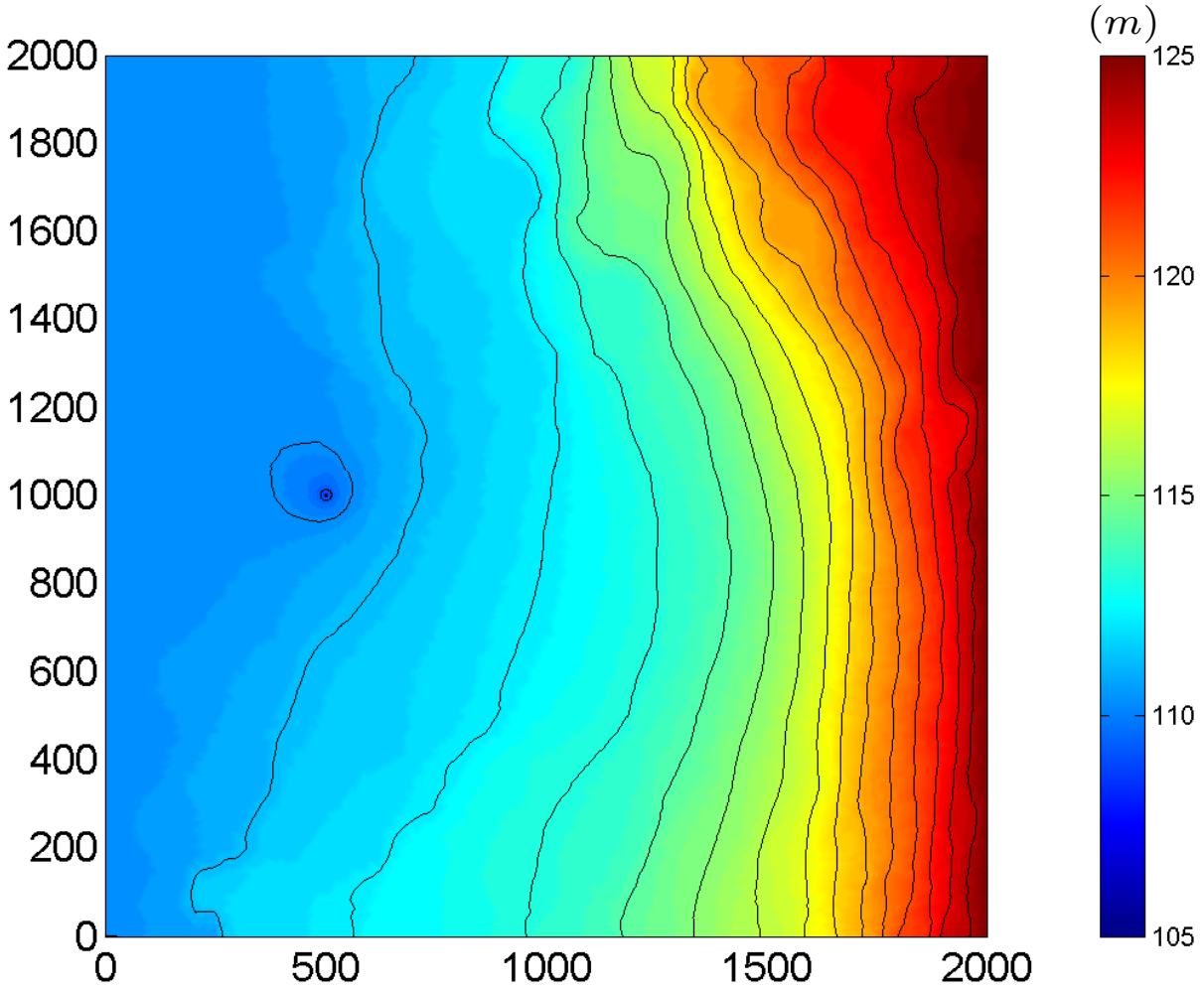
Charges hydrauliques à $t = 10^{-1.74}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

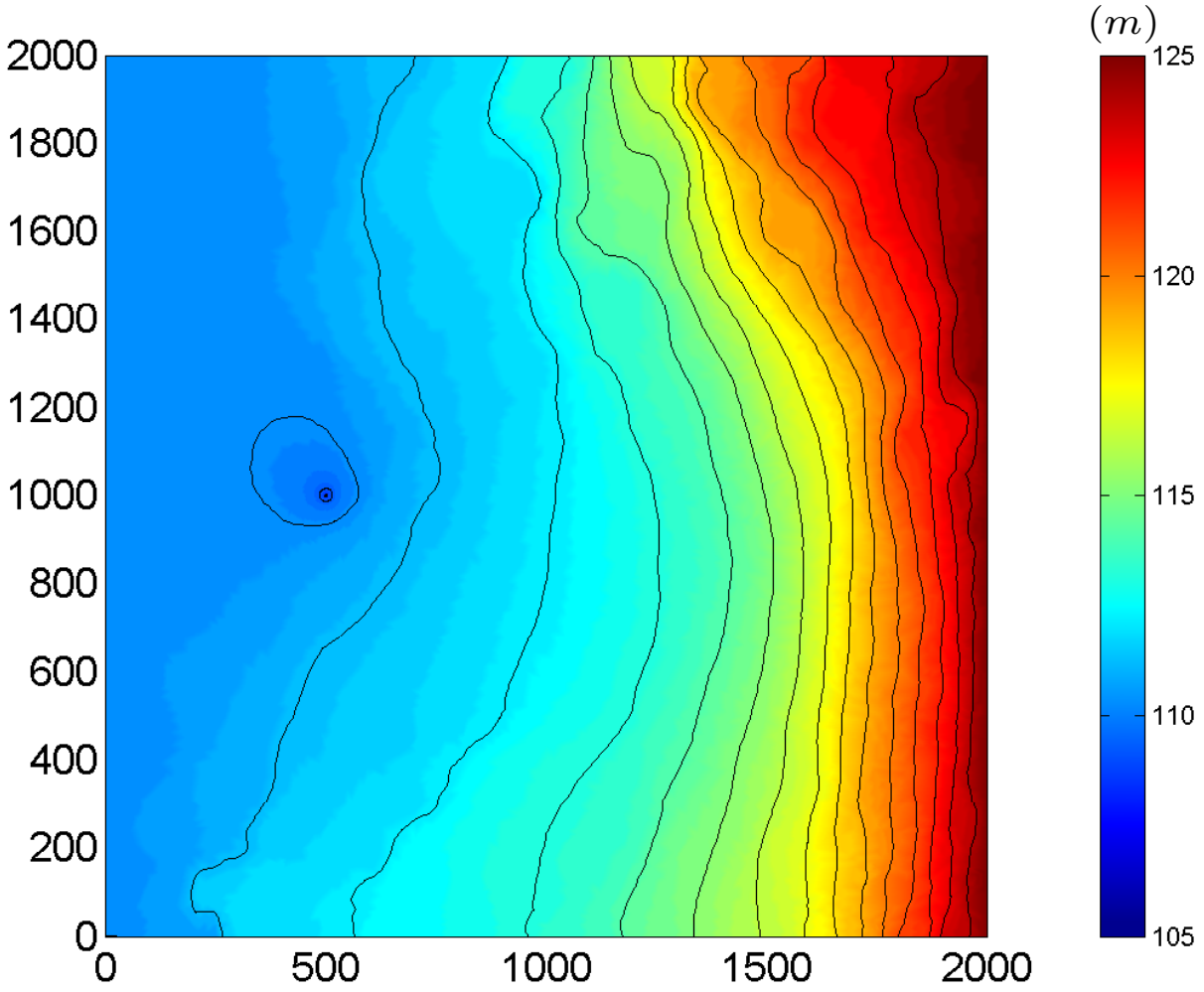
Charges hydrauliques à $t = 10^{-1.59}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

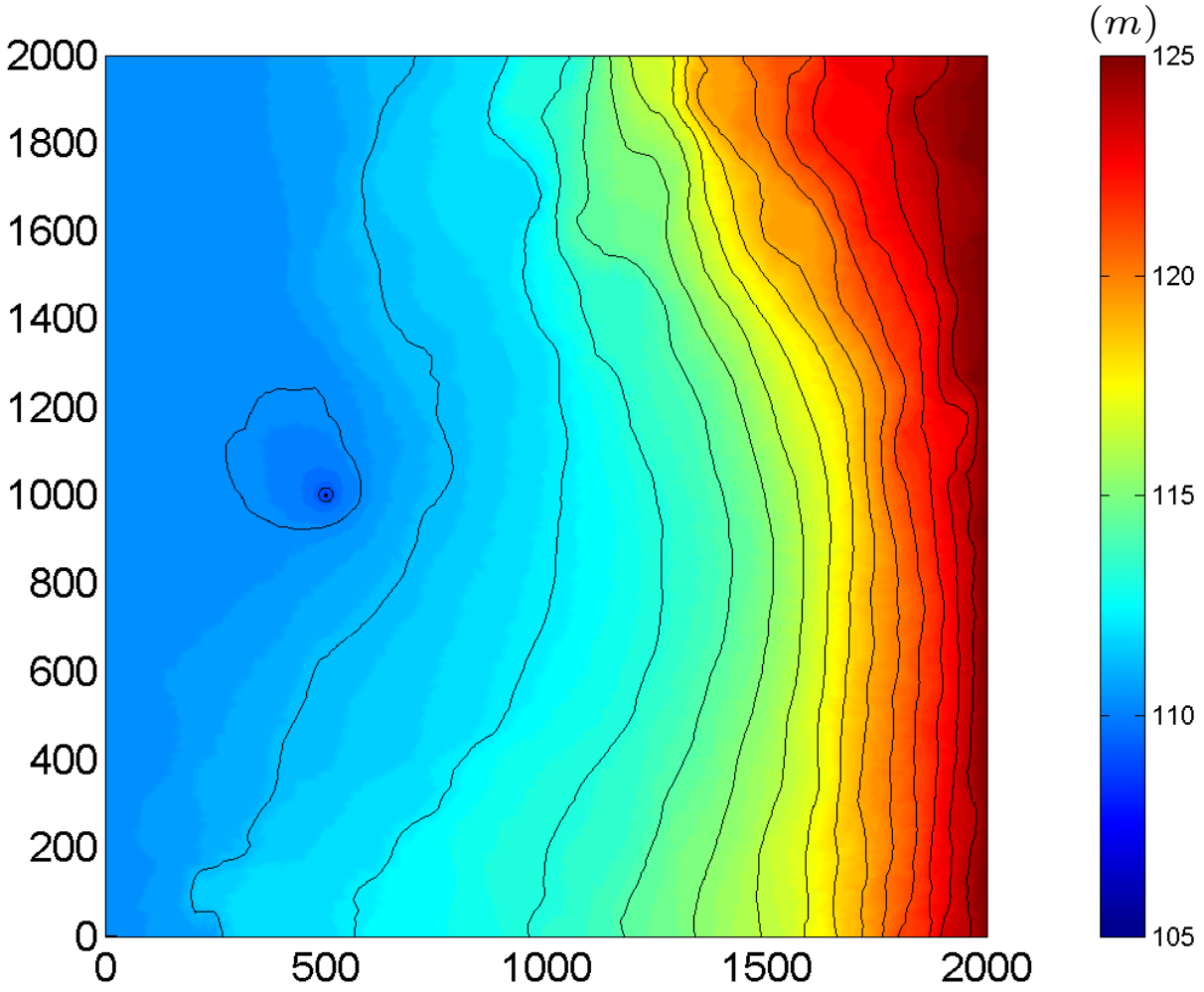
Charges hydrauliques à $t = 10^{-1.44}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

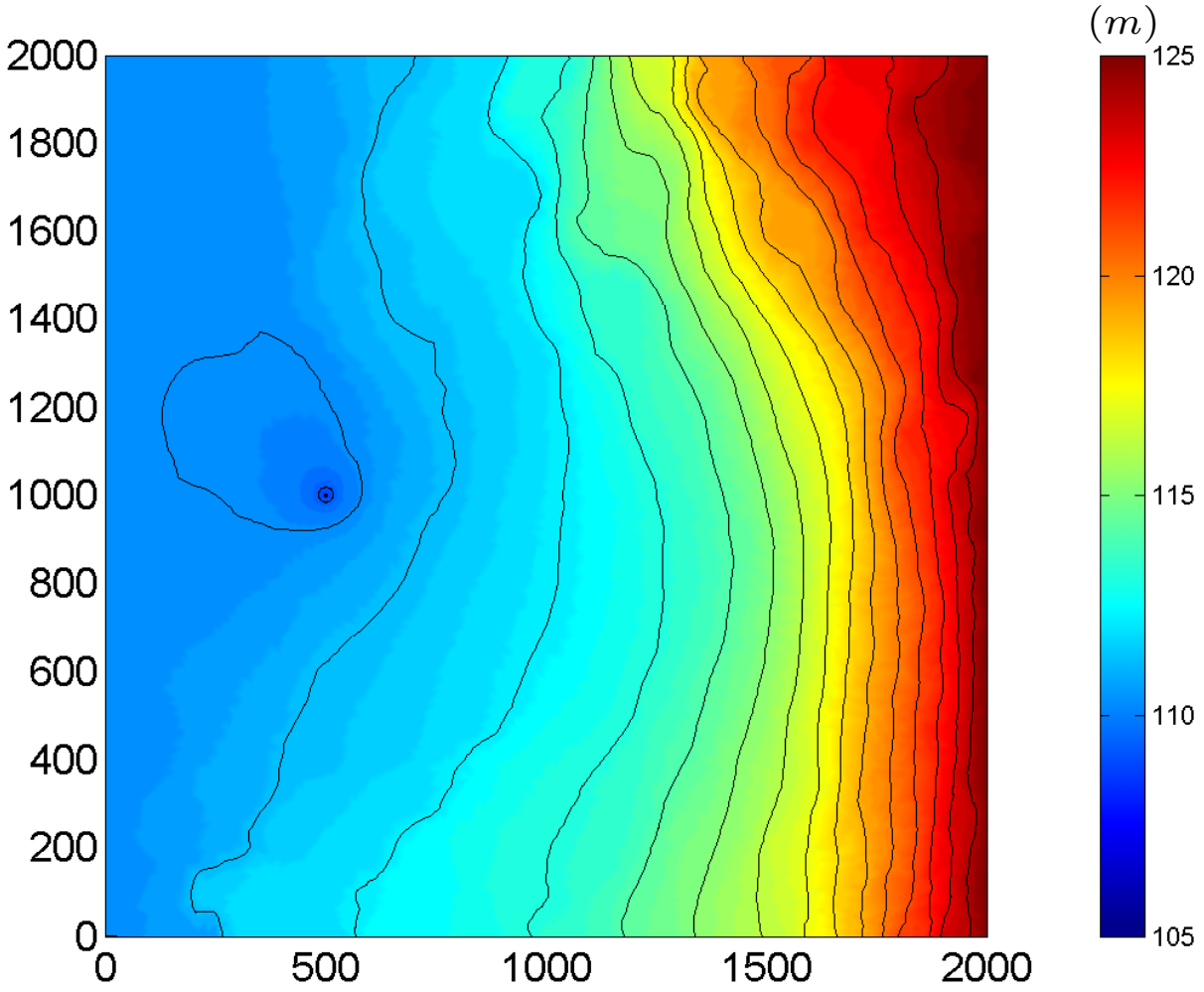
Charges hydrauliques à $t = 10^{-1.29}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

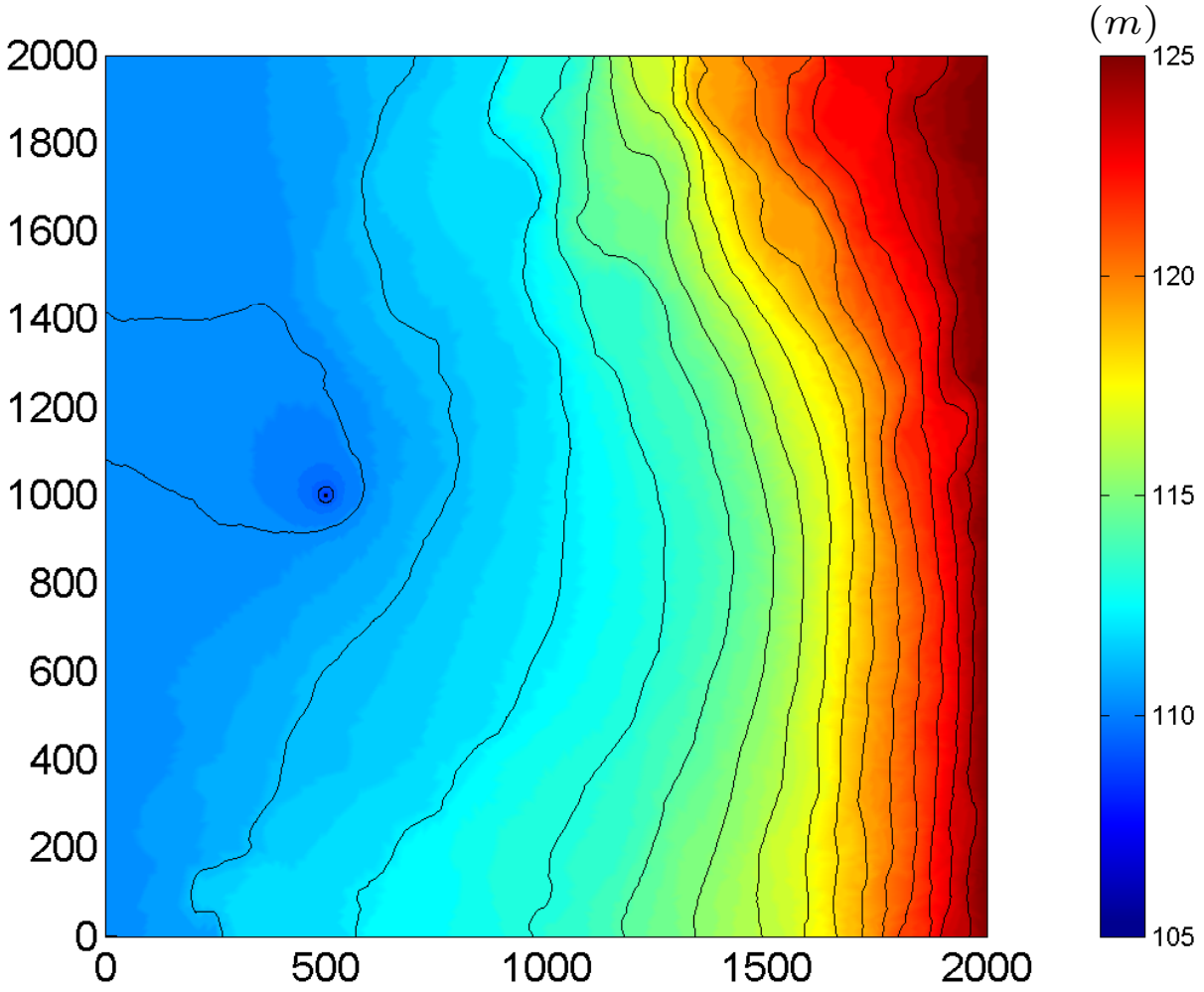
Charges hydrauliques à $t = 10^{-1.24}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

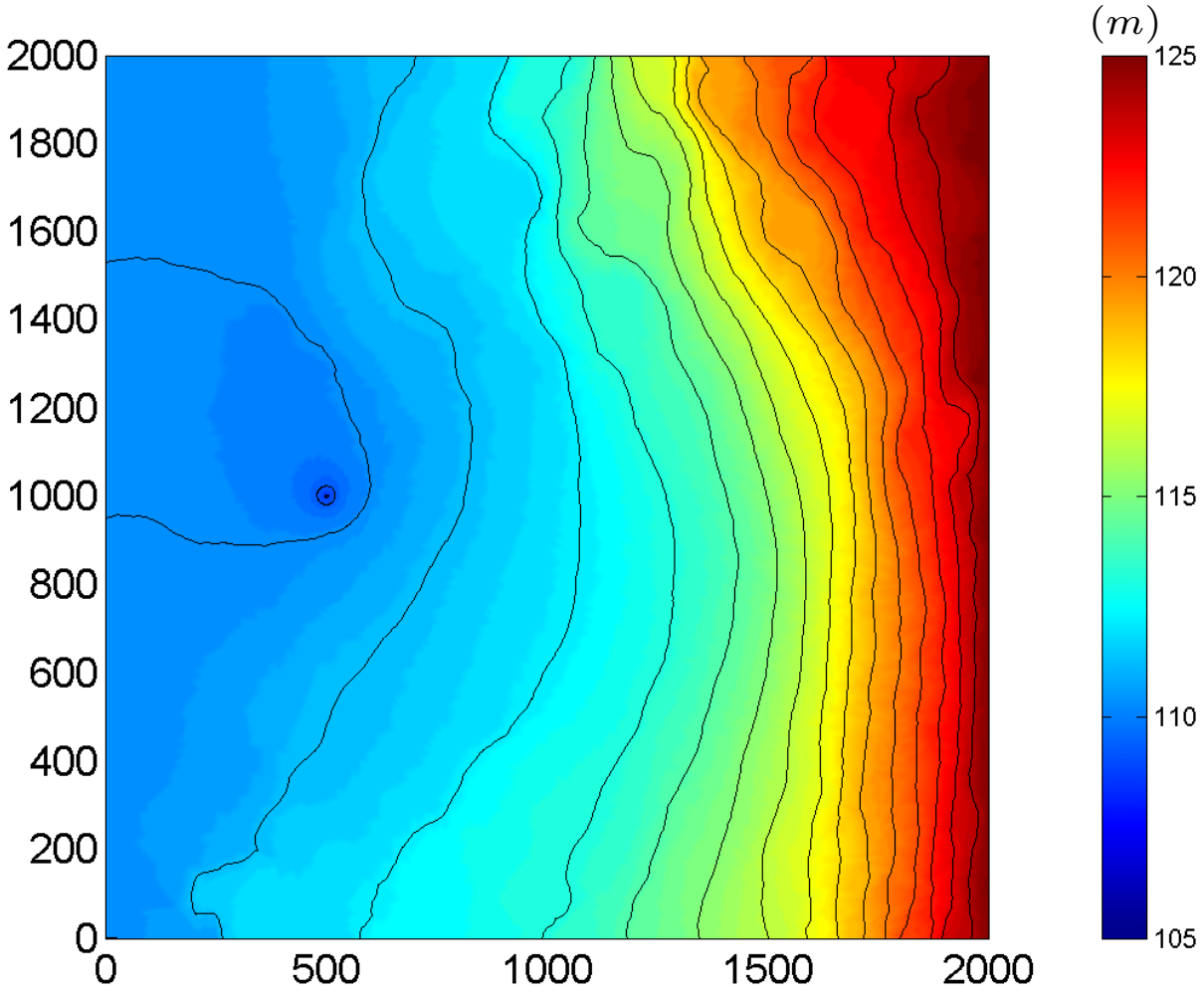
Charges hydrauliques à $t = 10^{-1.19}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

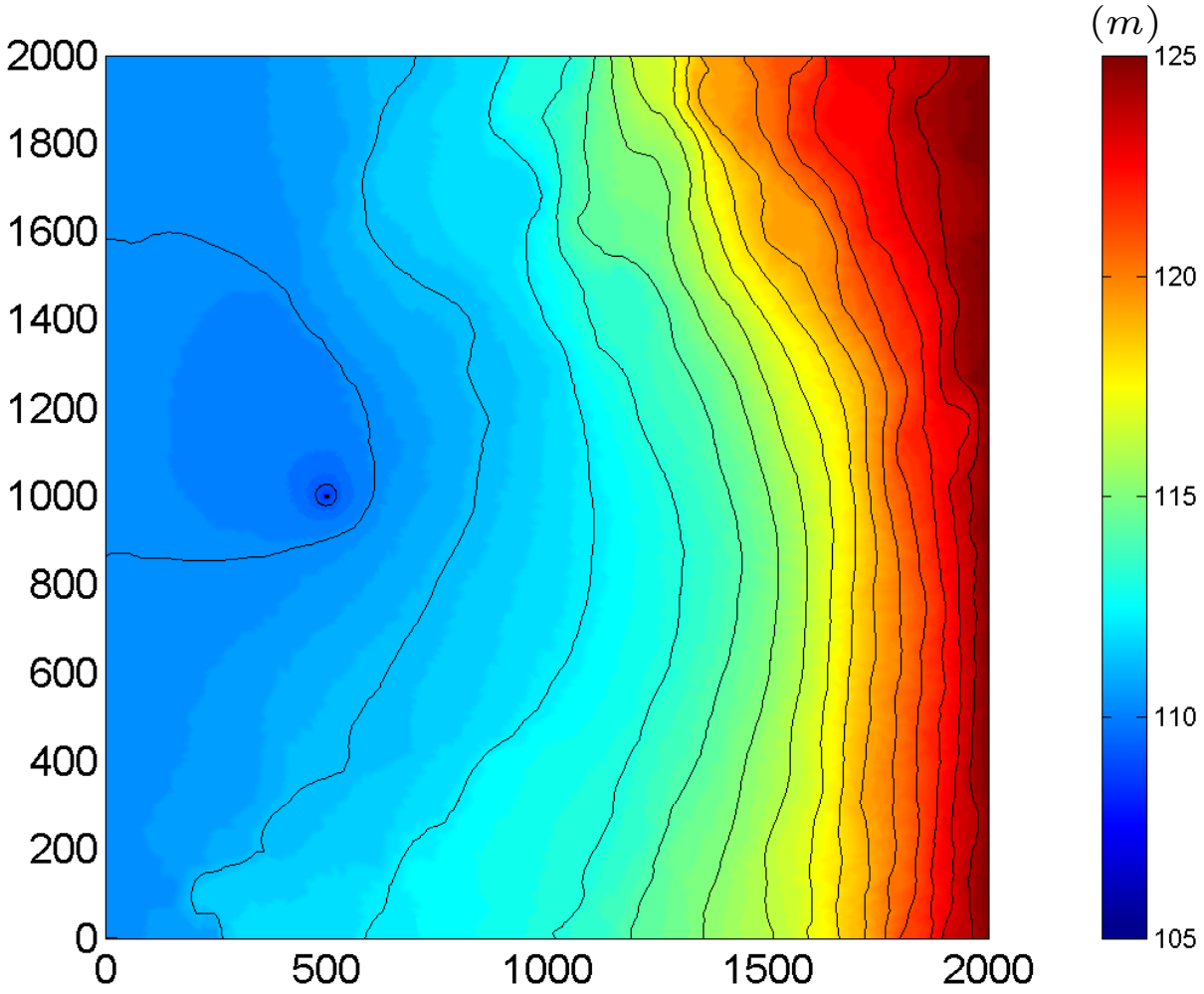
Charges hydrauliques à $t = 10^{-0.94}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

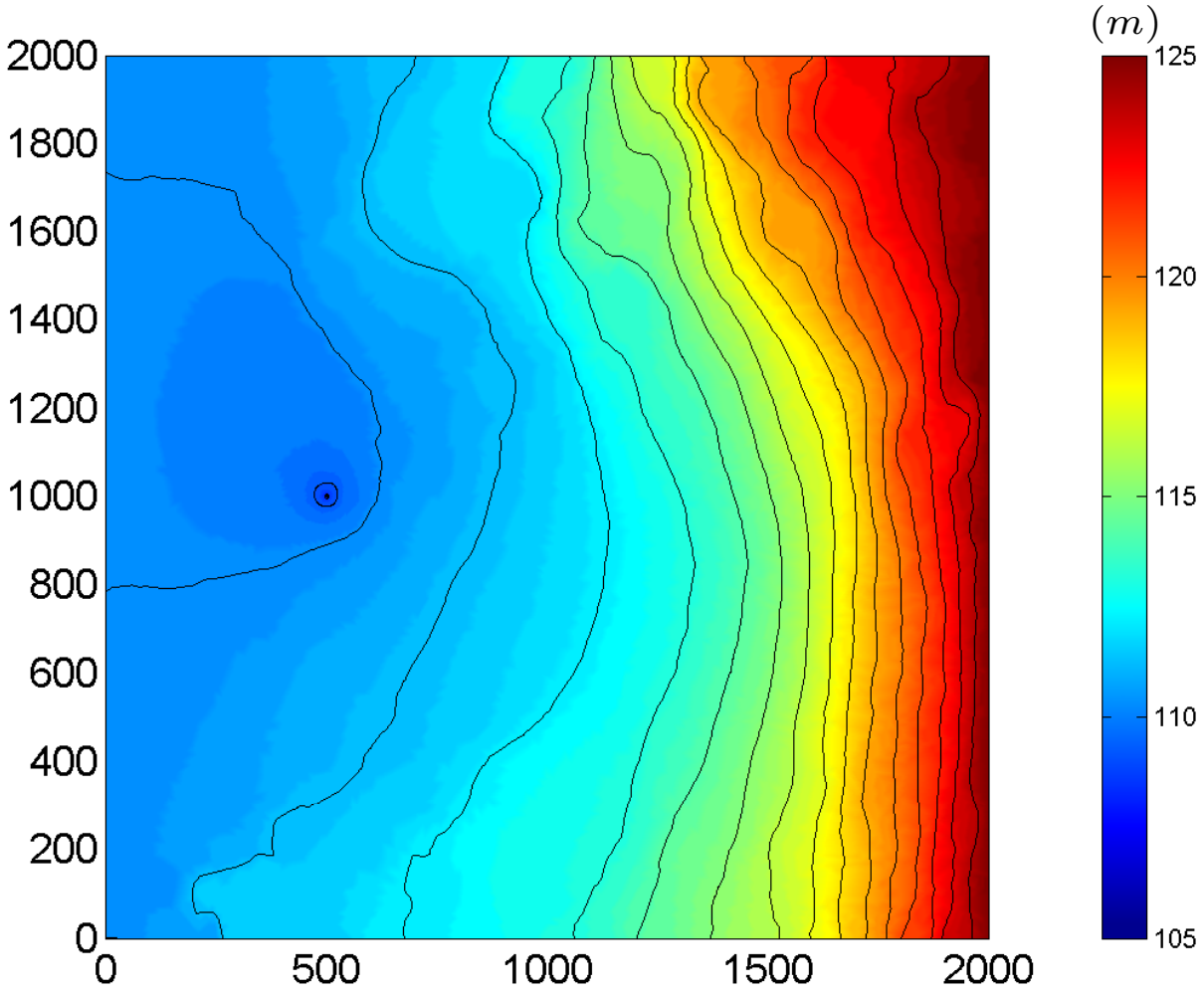
Charges hydrauliques à $t = 10^{-0.74}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

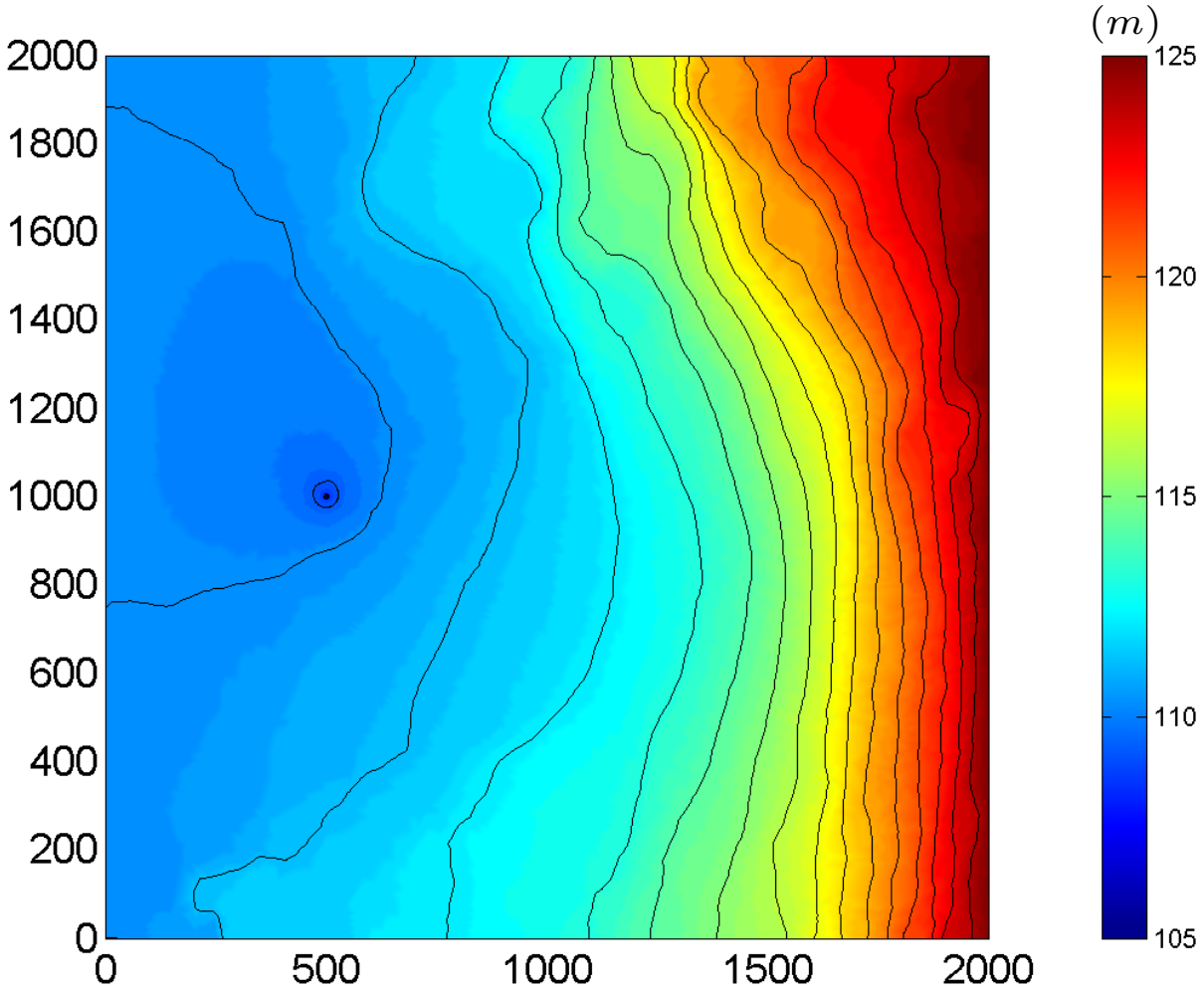
Charges hydrauliques à $t = 10^{-0.54}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

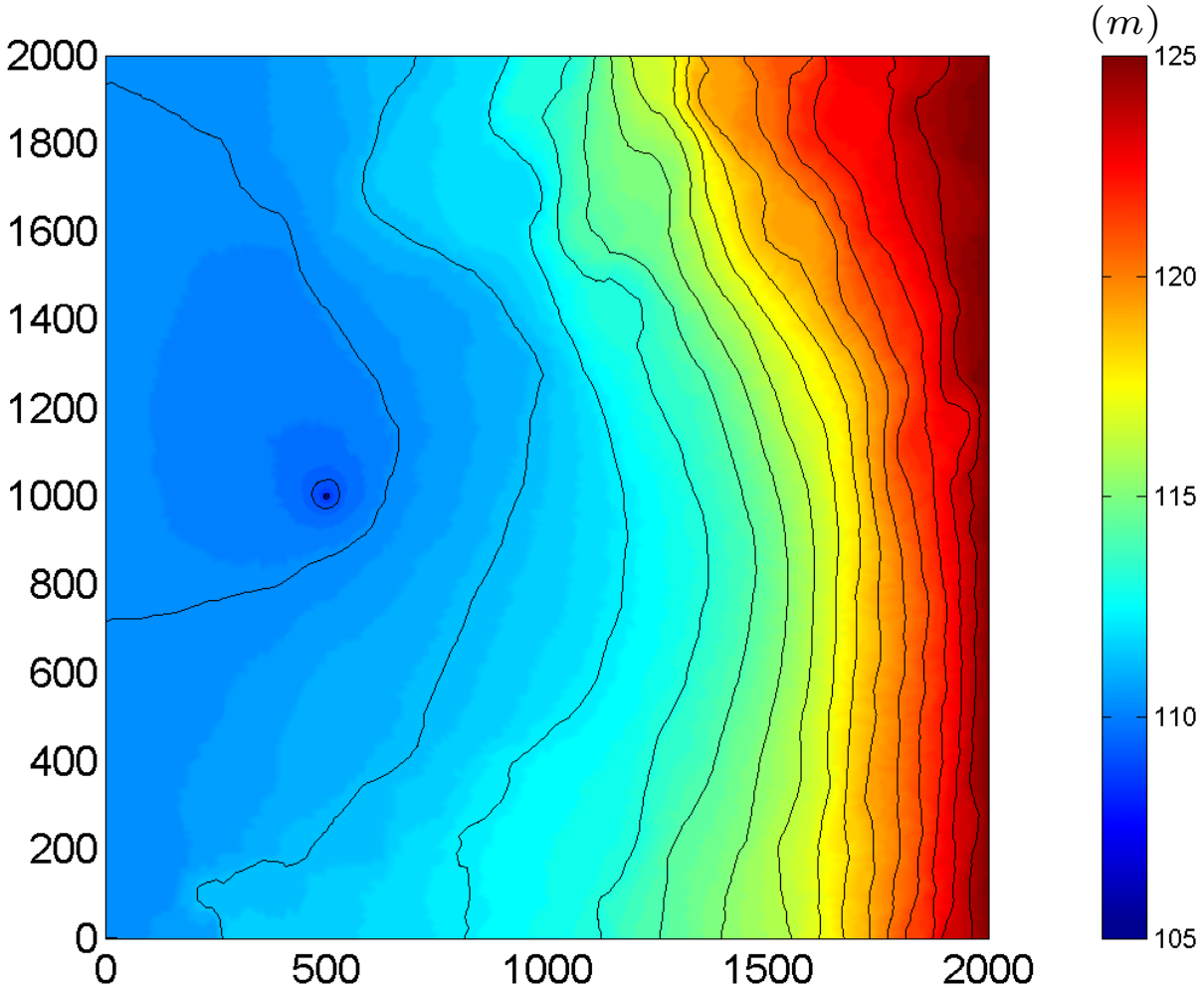
Charges hydrauliques à $t = 10^{-0.34}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

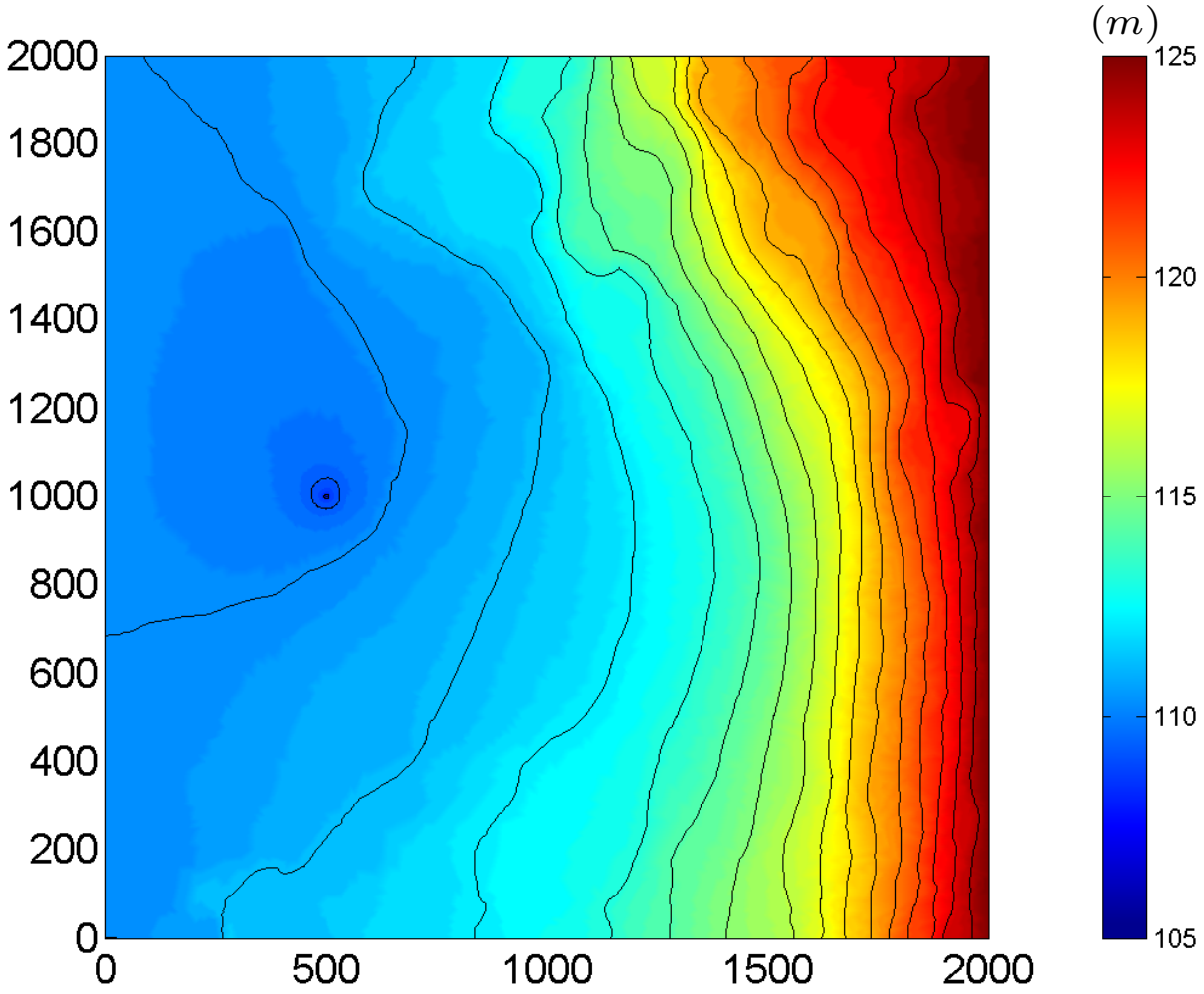
Charges hydrauliques à $t = 10^{-0.14}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

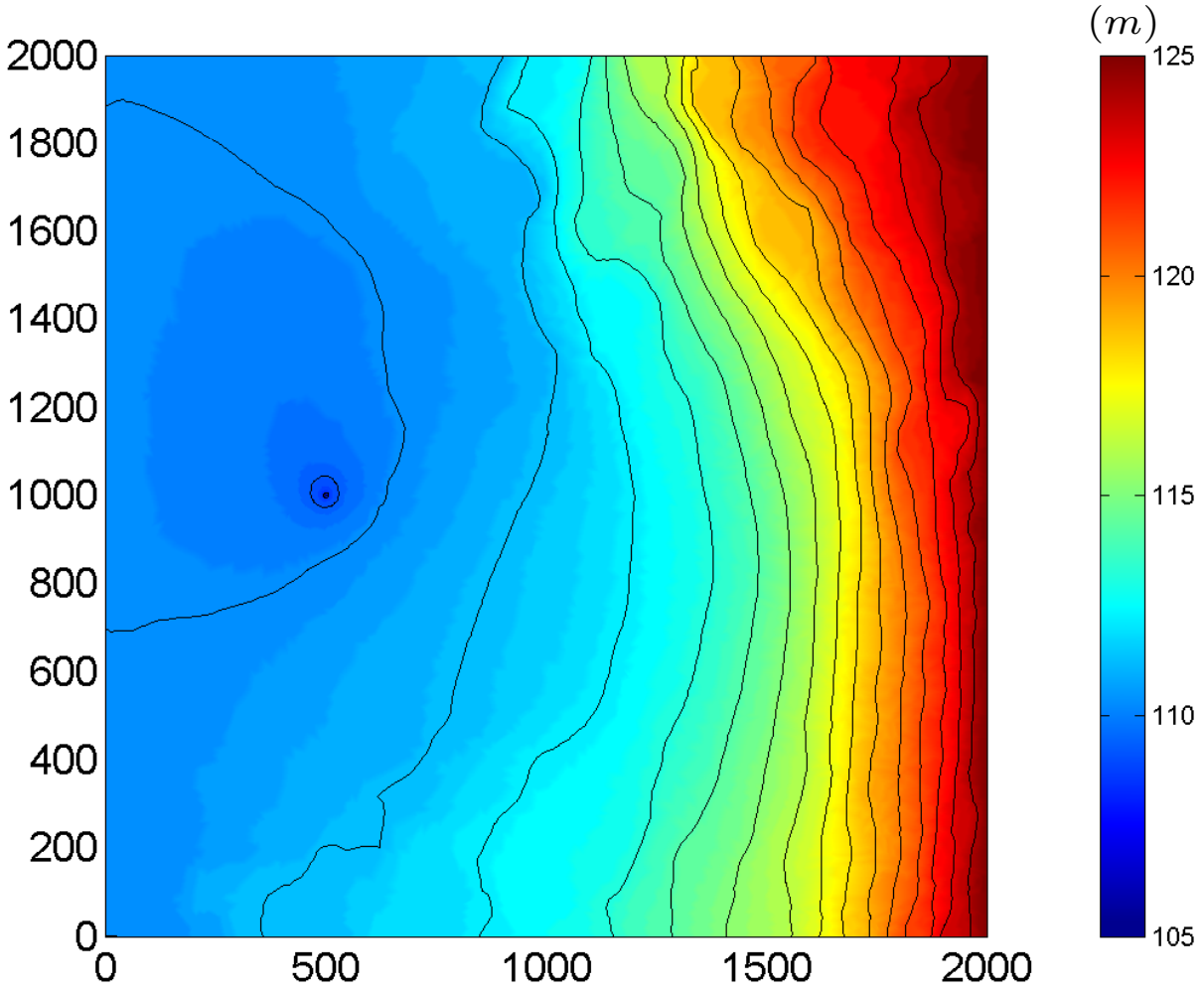
Charges hydrauliques à $t = 10^{0.06}$d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

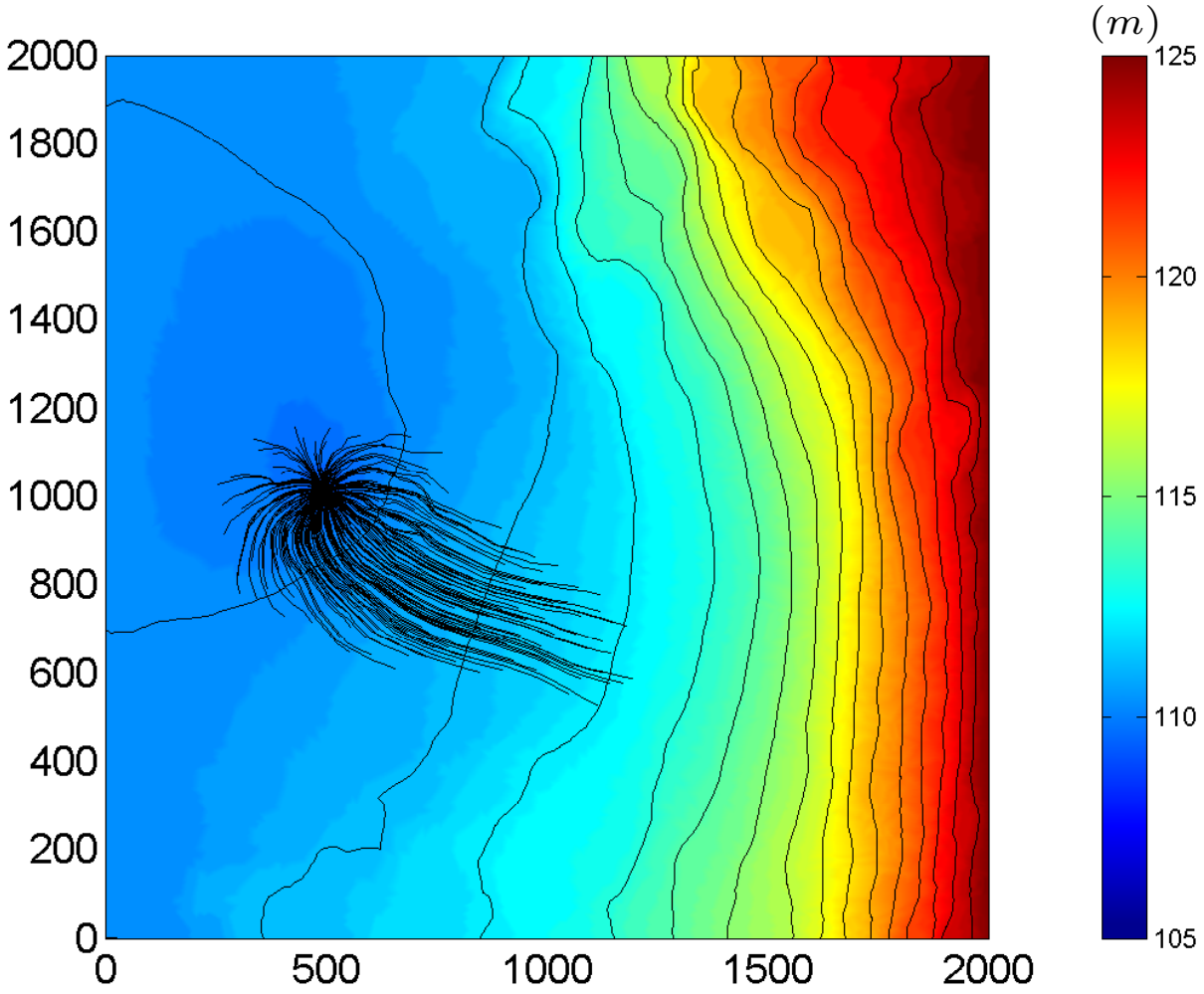
Charges hydrauliques à $t = \infty$ d



Modèle synthétique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

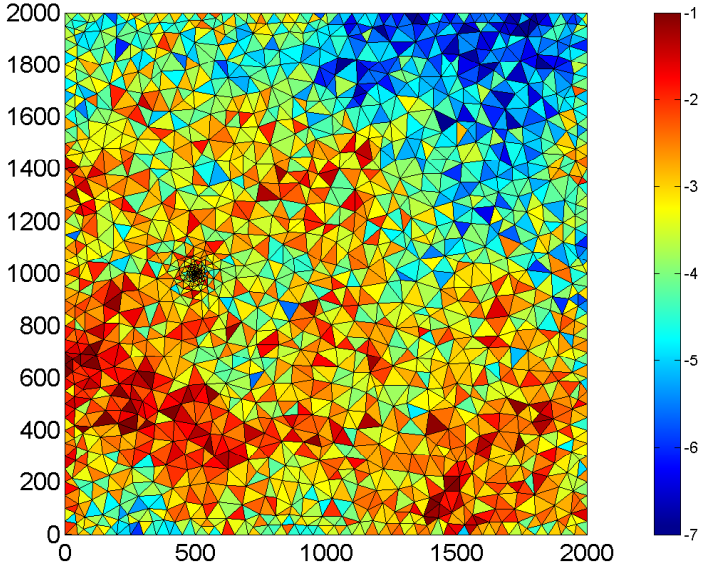
Trajectographie pour $t_{CAP} \leq 3$ ans



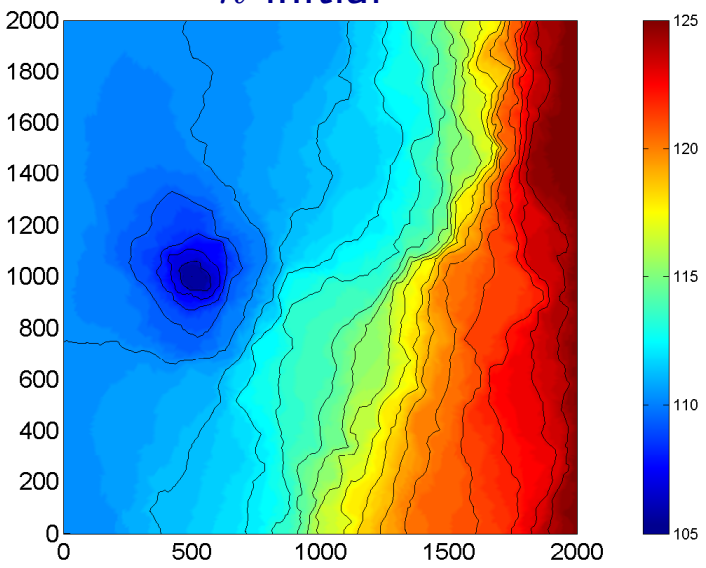
Exemple d'inversion en régime permanent

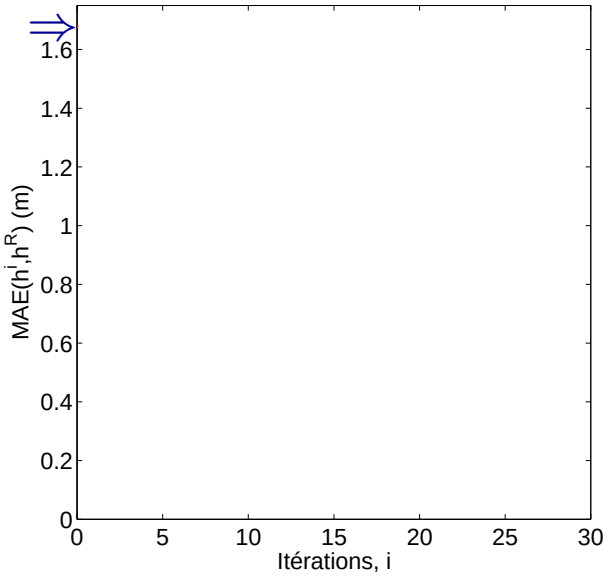
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

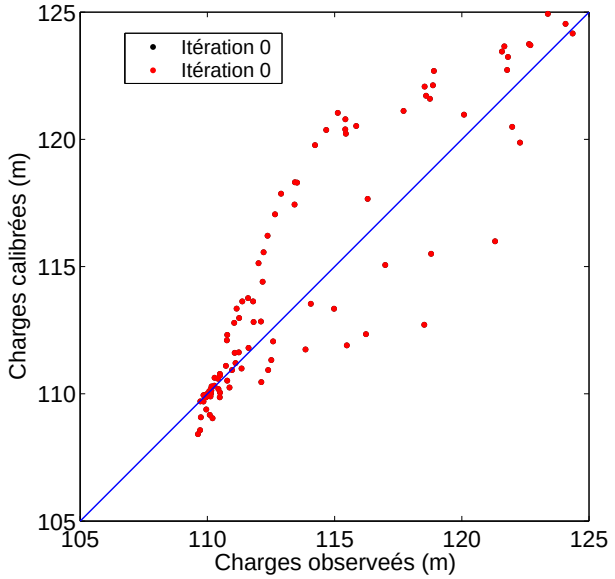
T initial



h initial

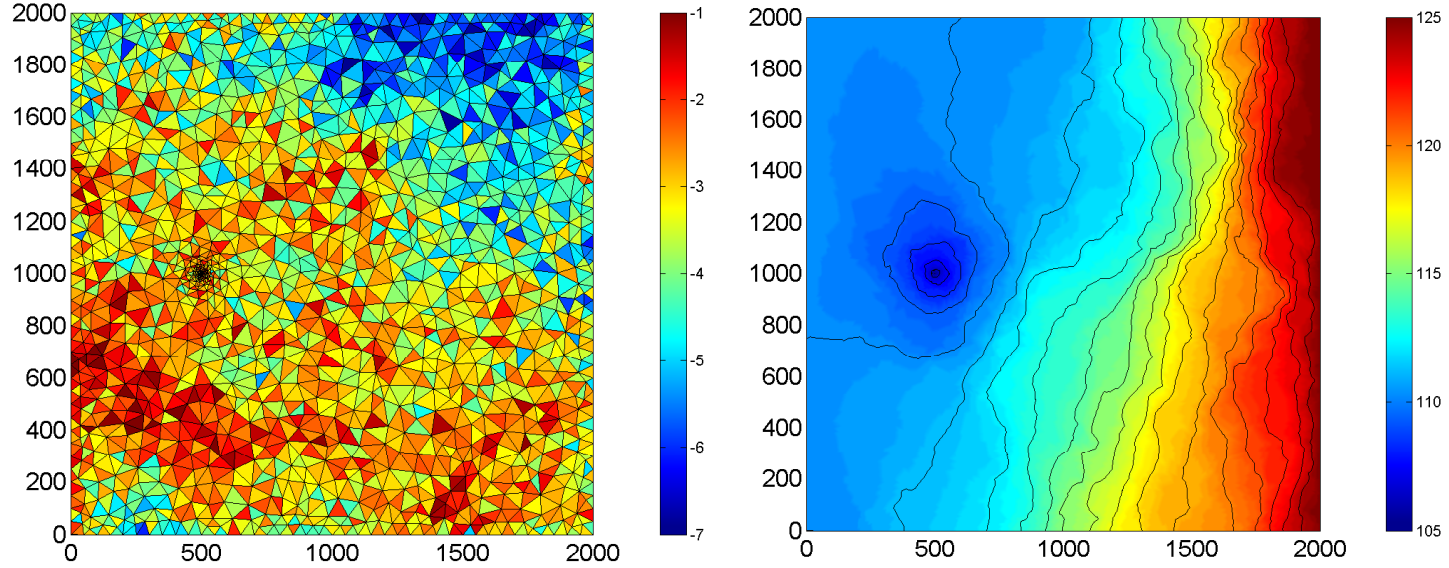


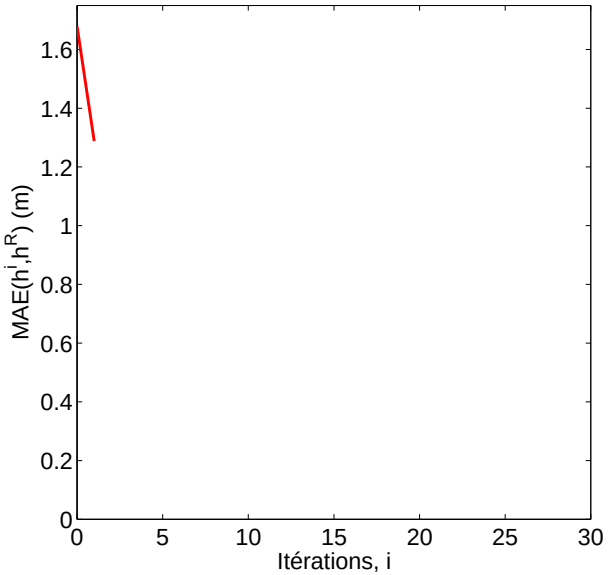


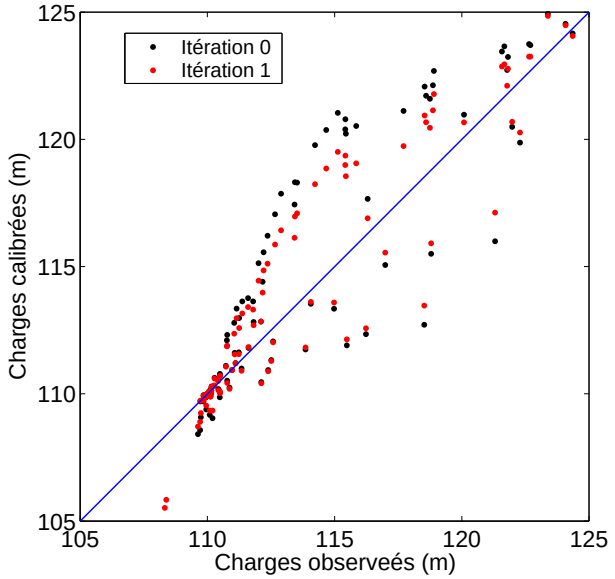


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

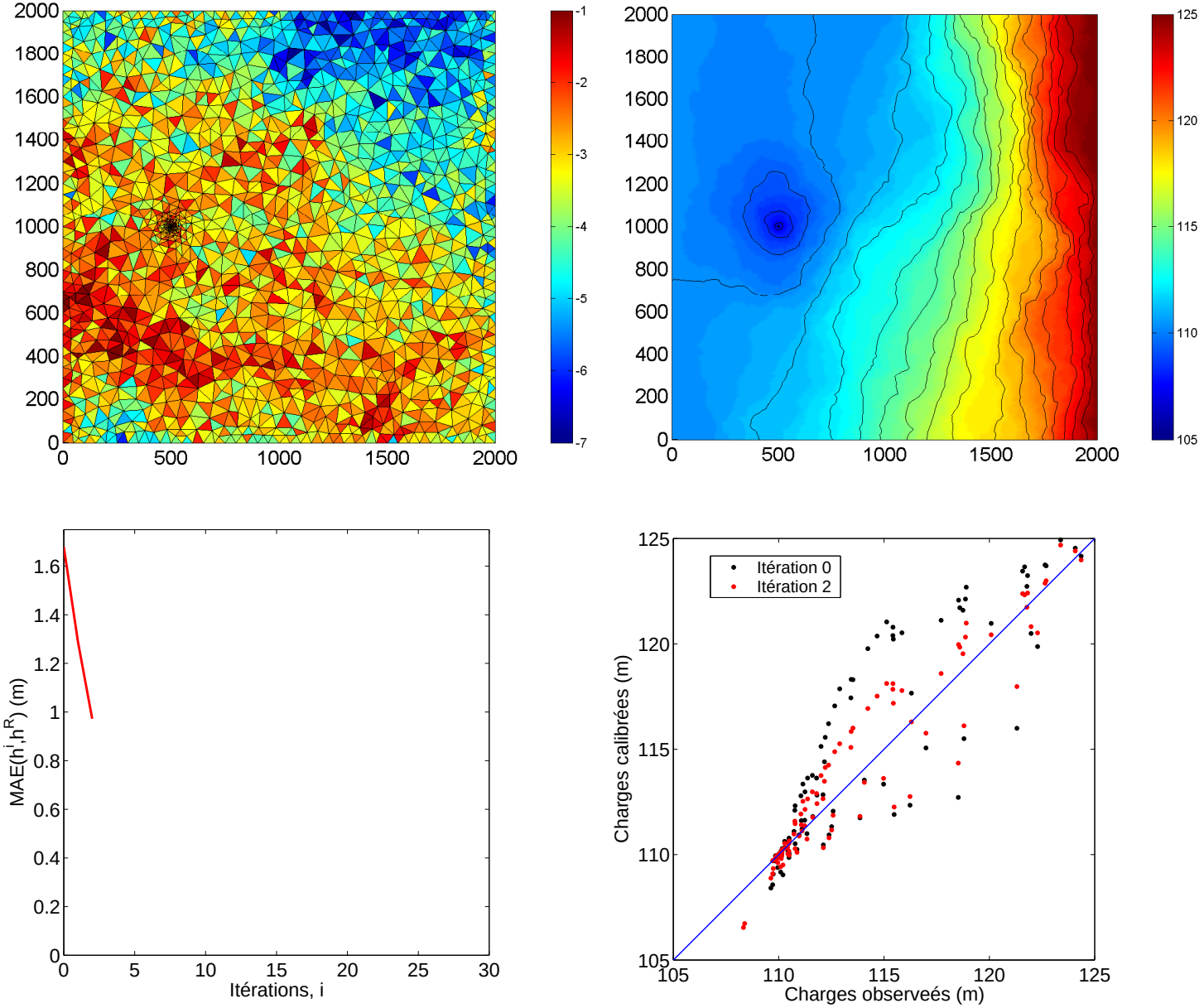






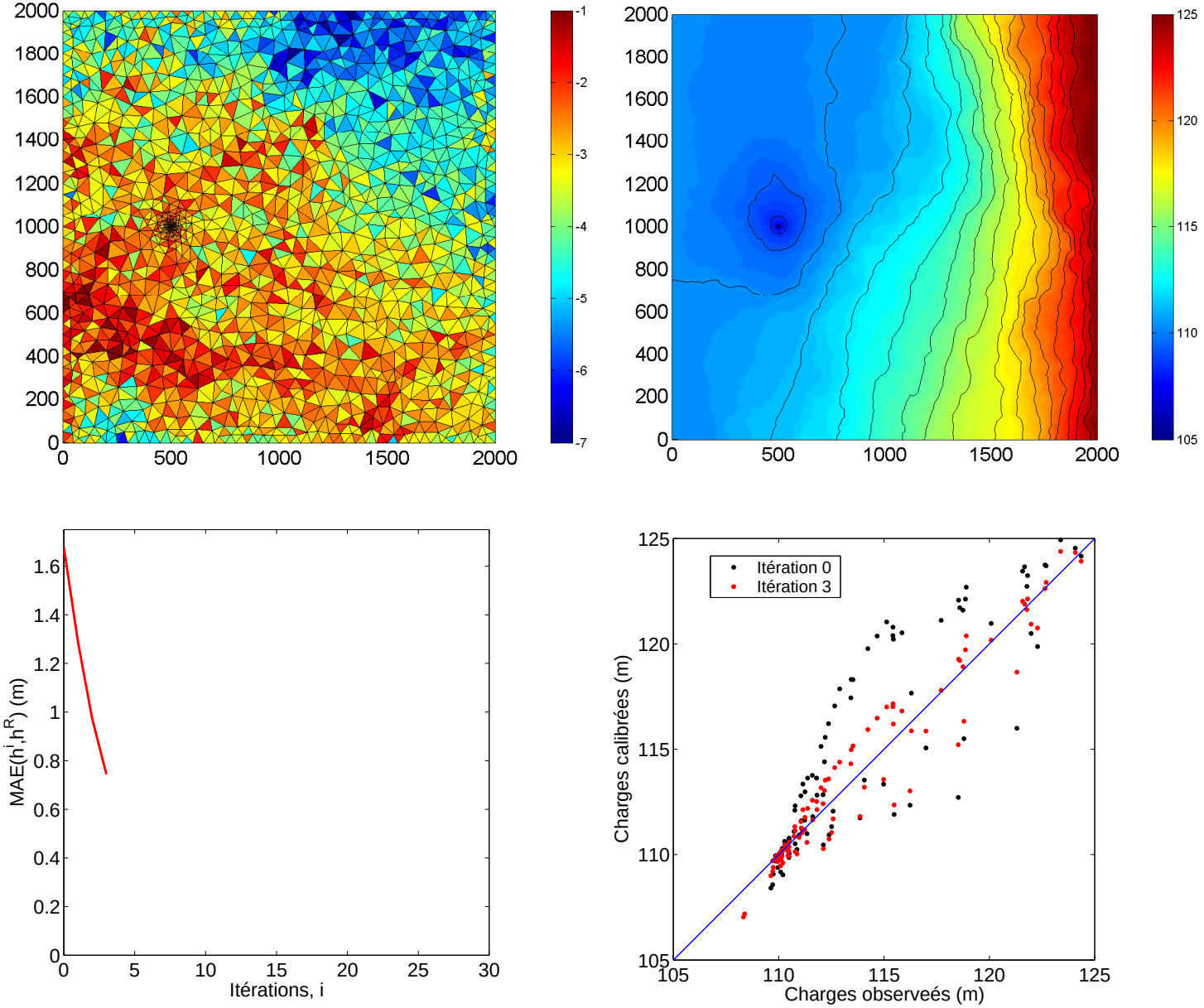
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



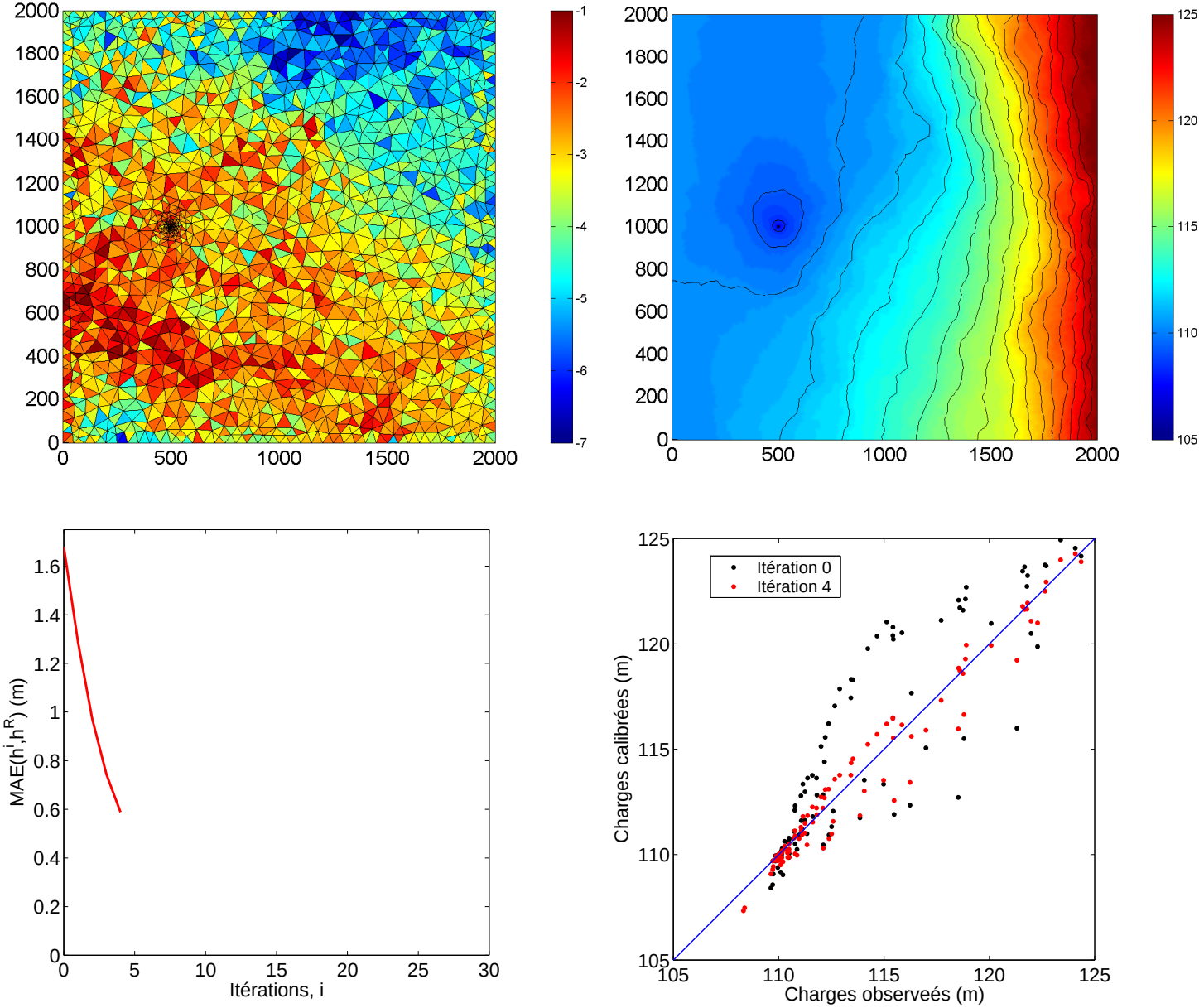
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



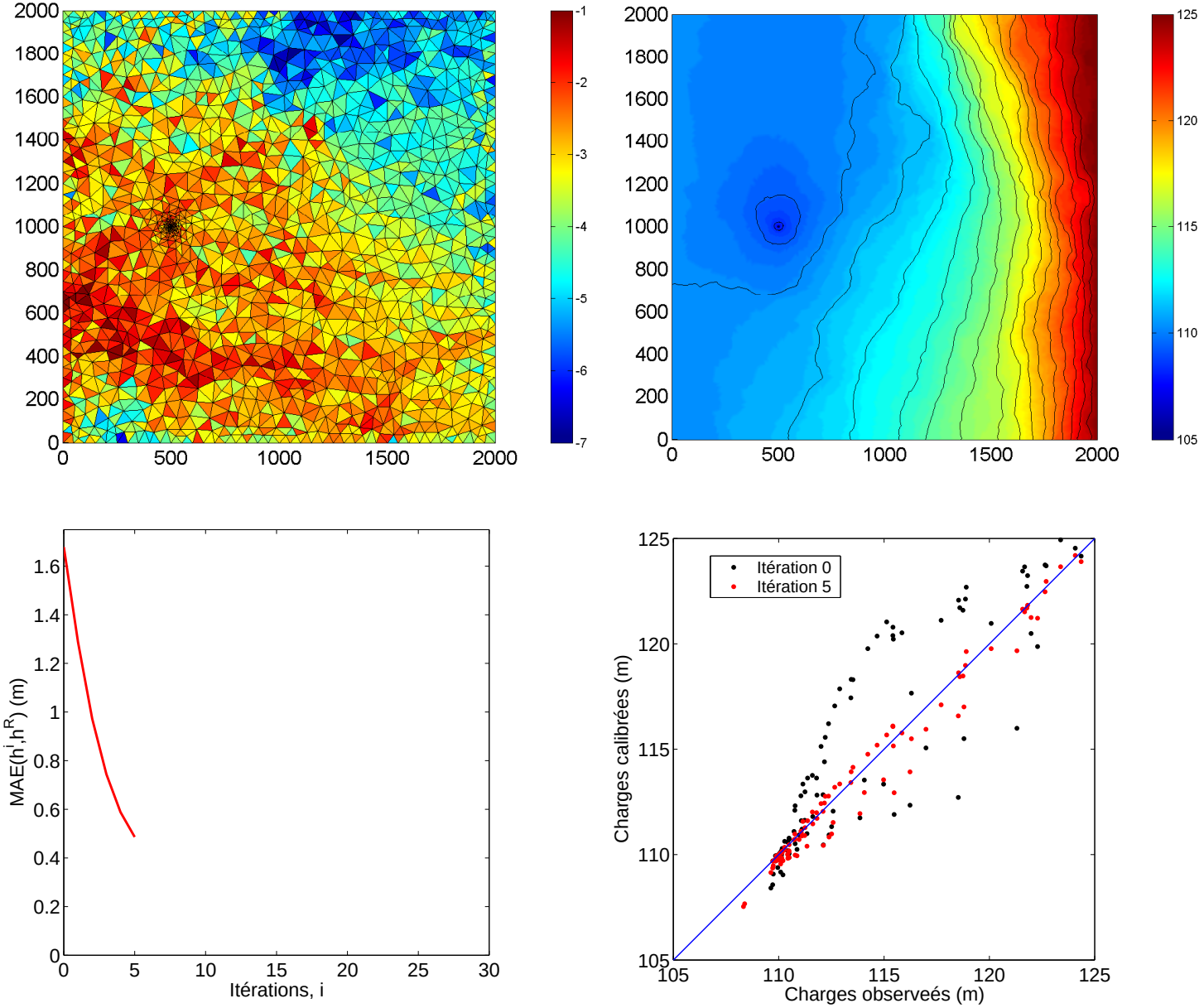
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



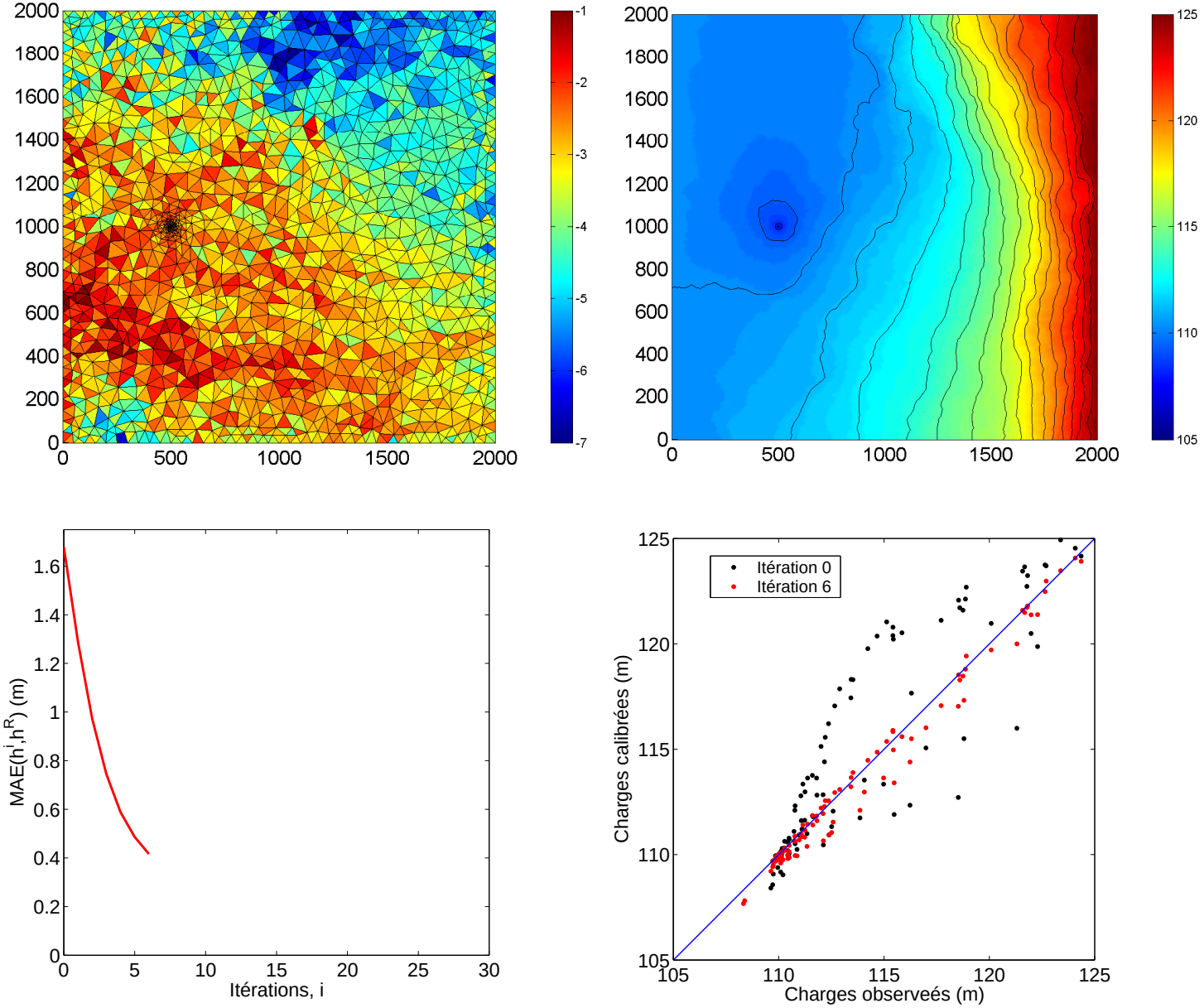
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



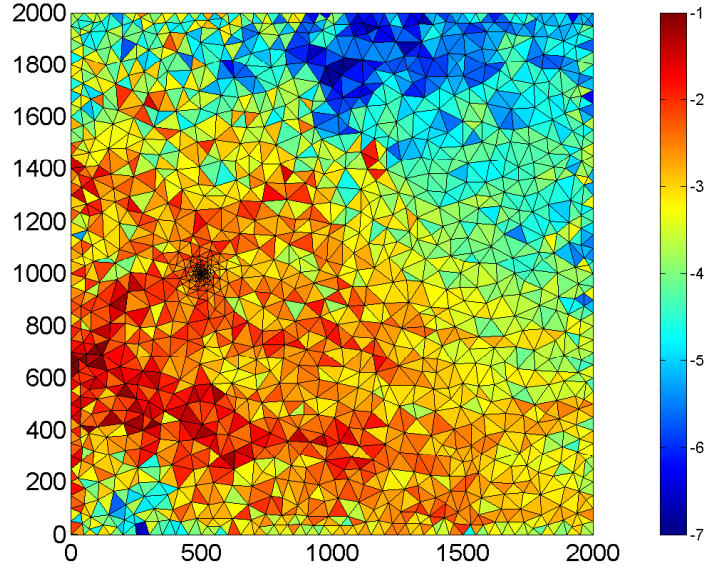
Exemple d'inversion en régime permanent

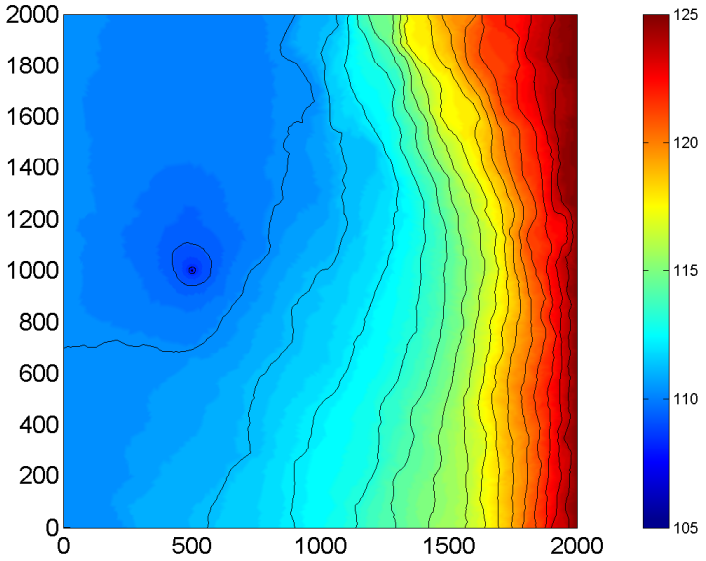
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

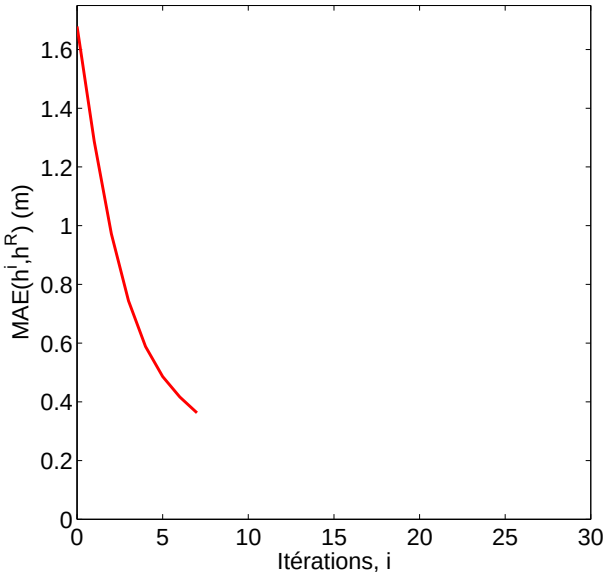


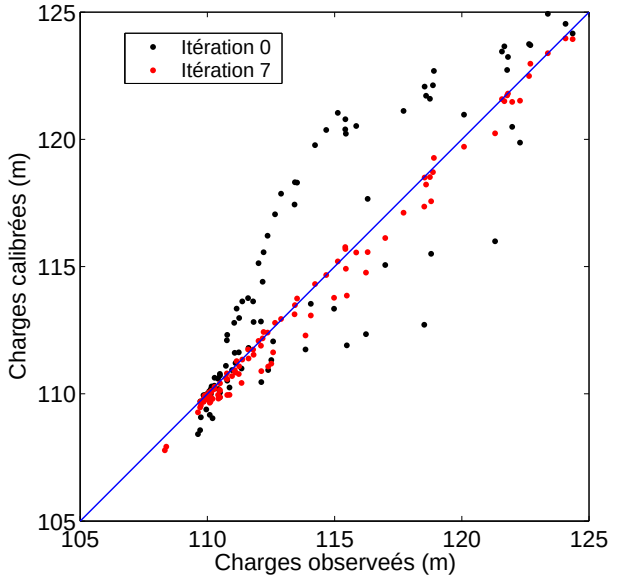
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



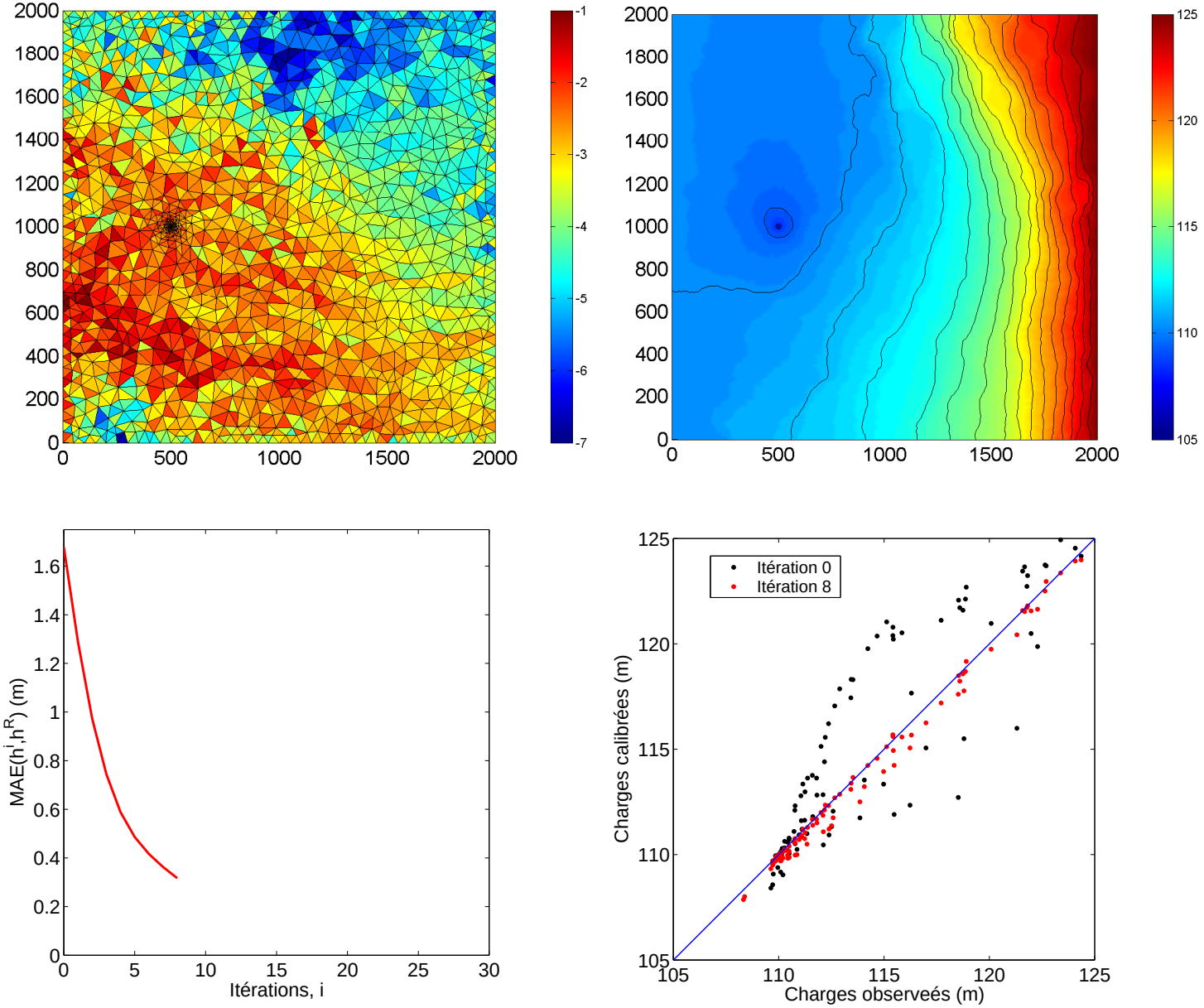






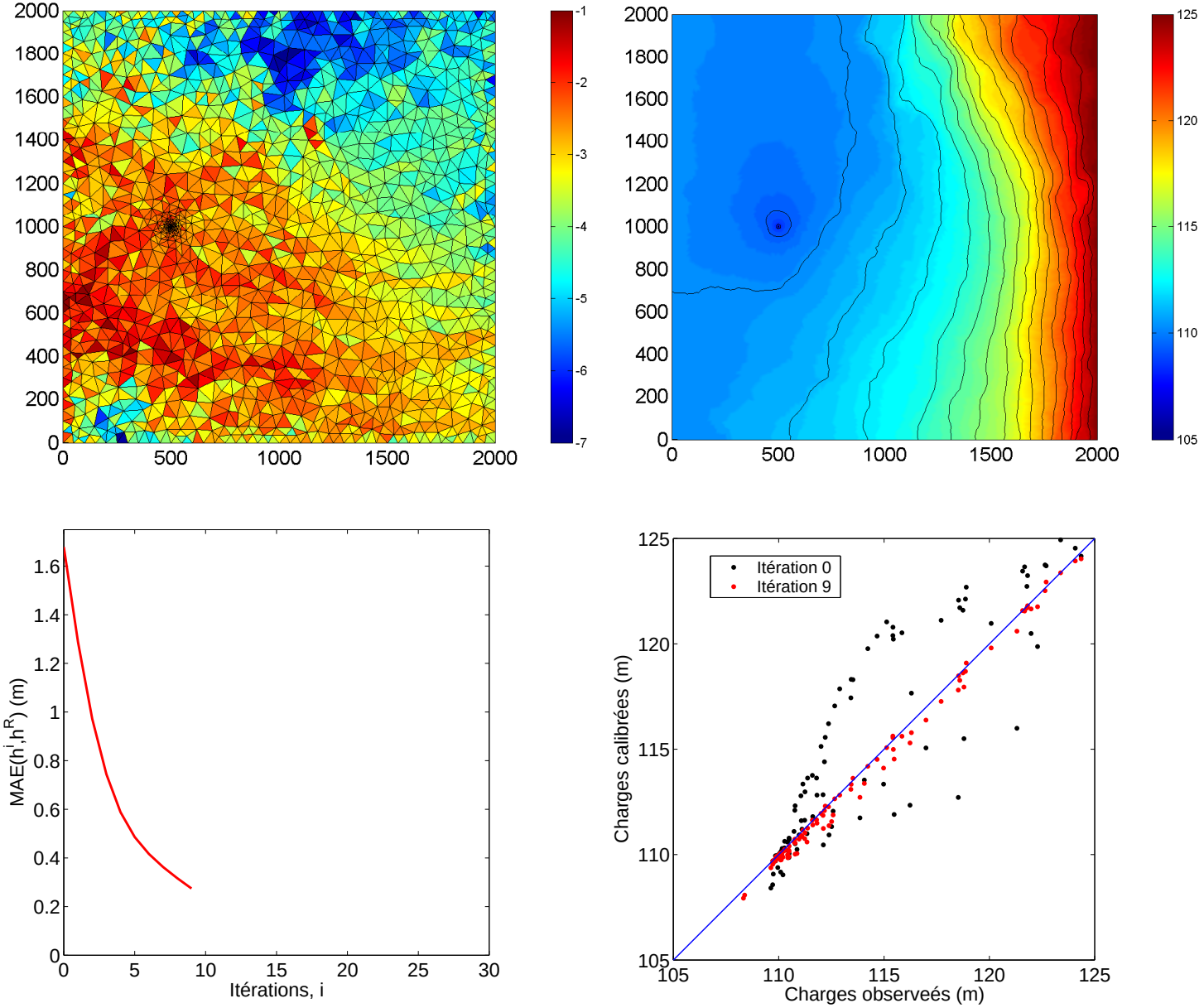
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



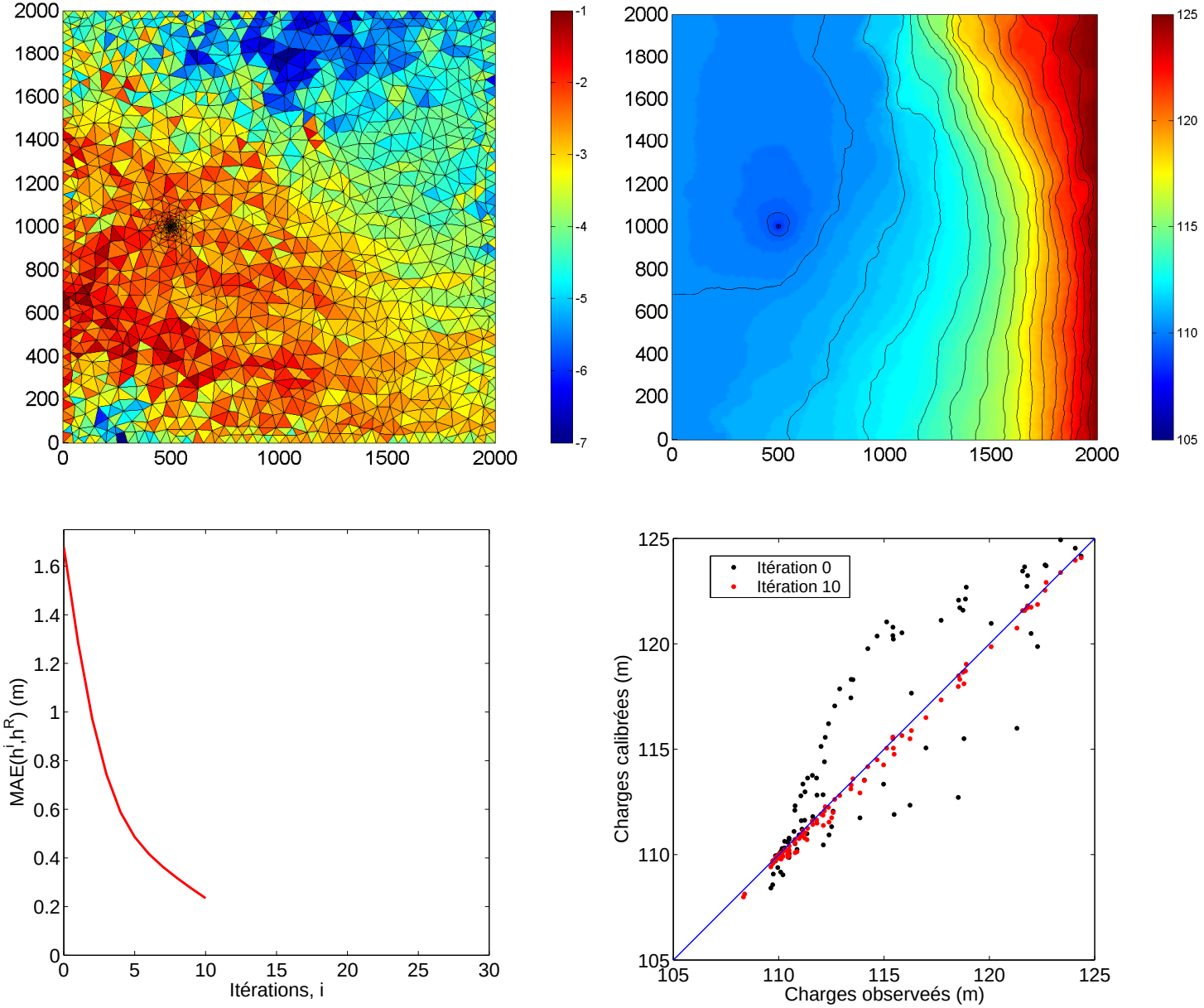
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



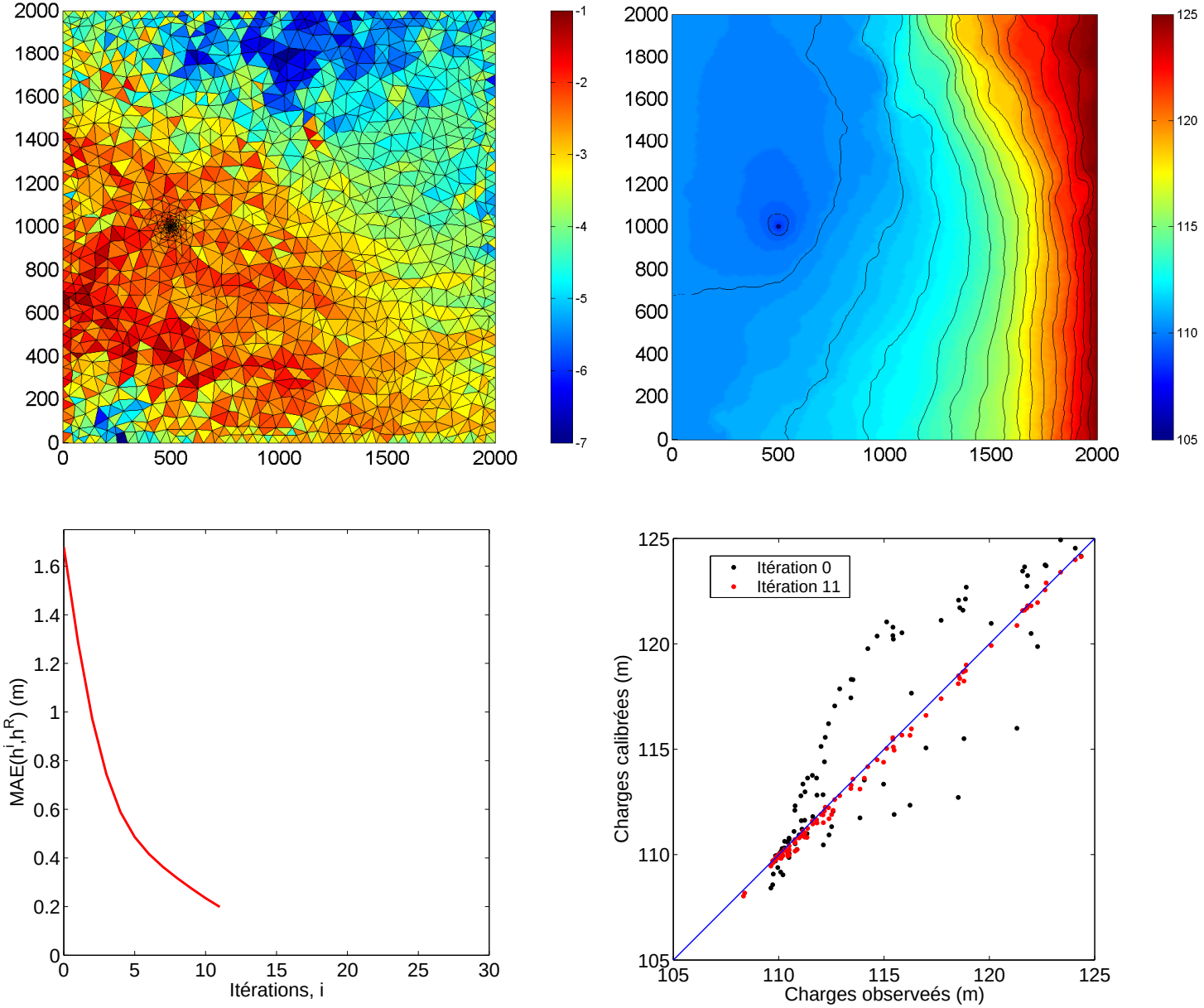
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



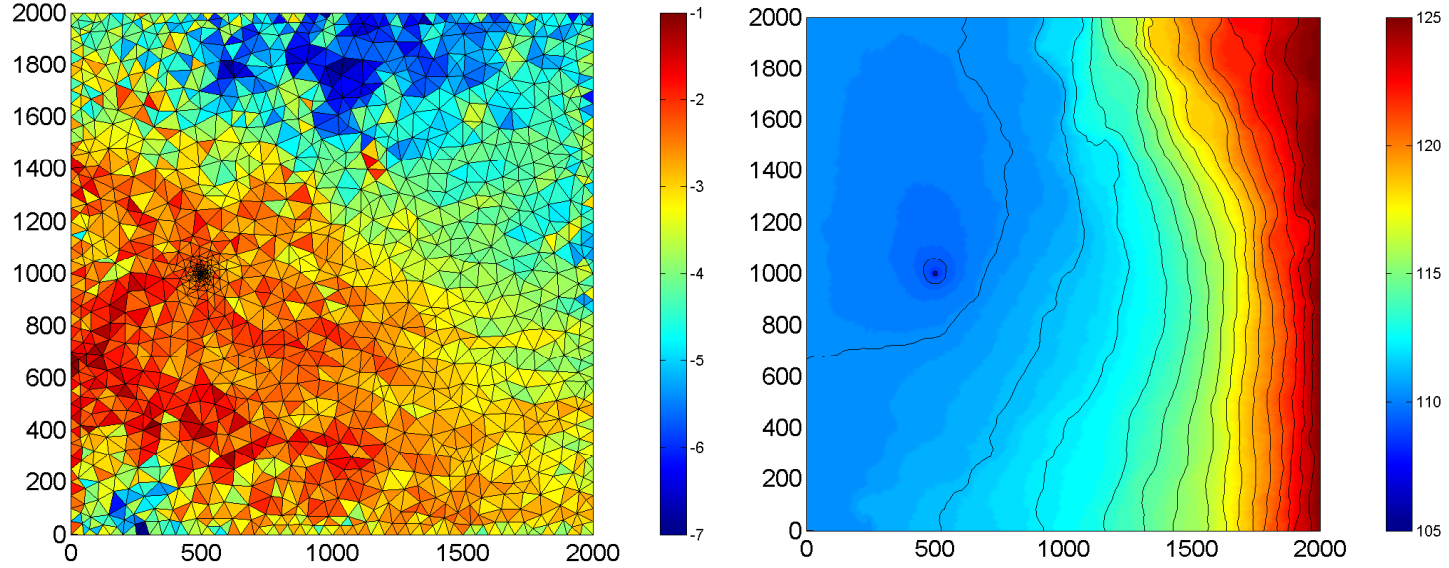
Exemple d'inversion en régime permanent

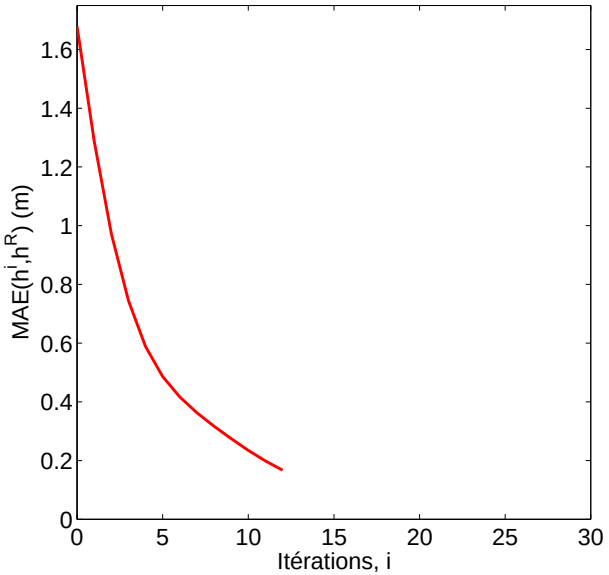
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

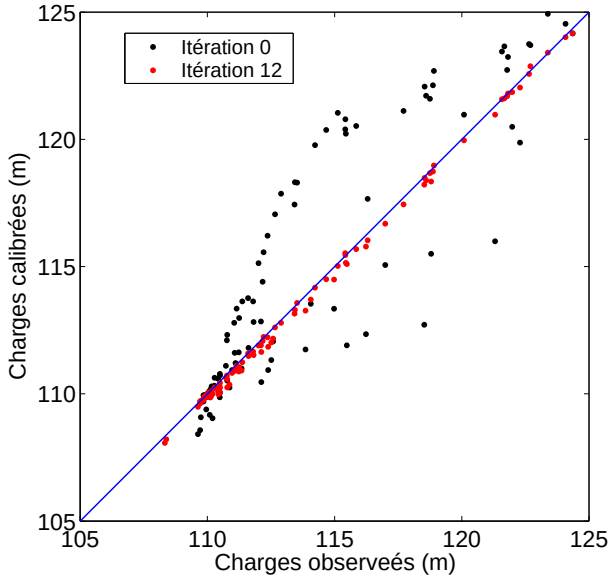


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

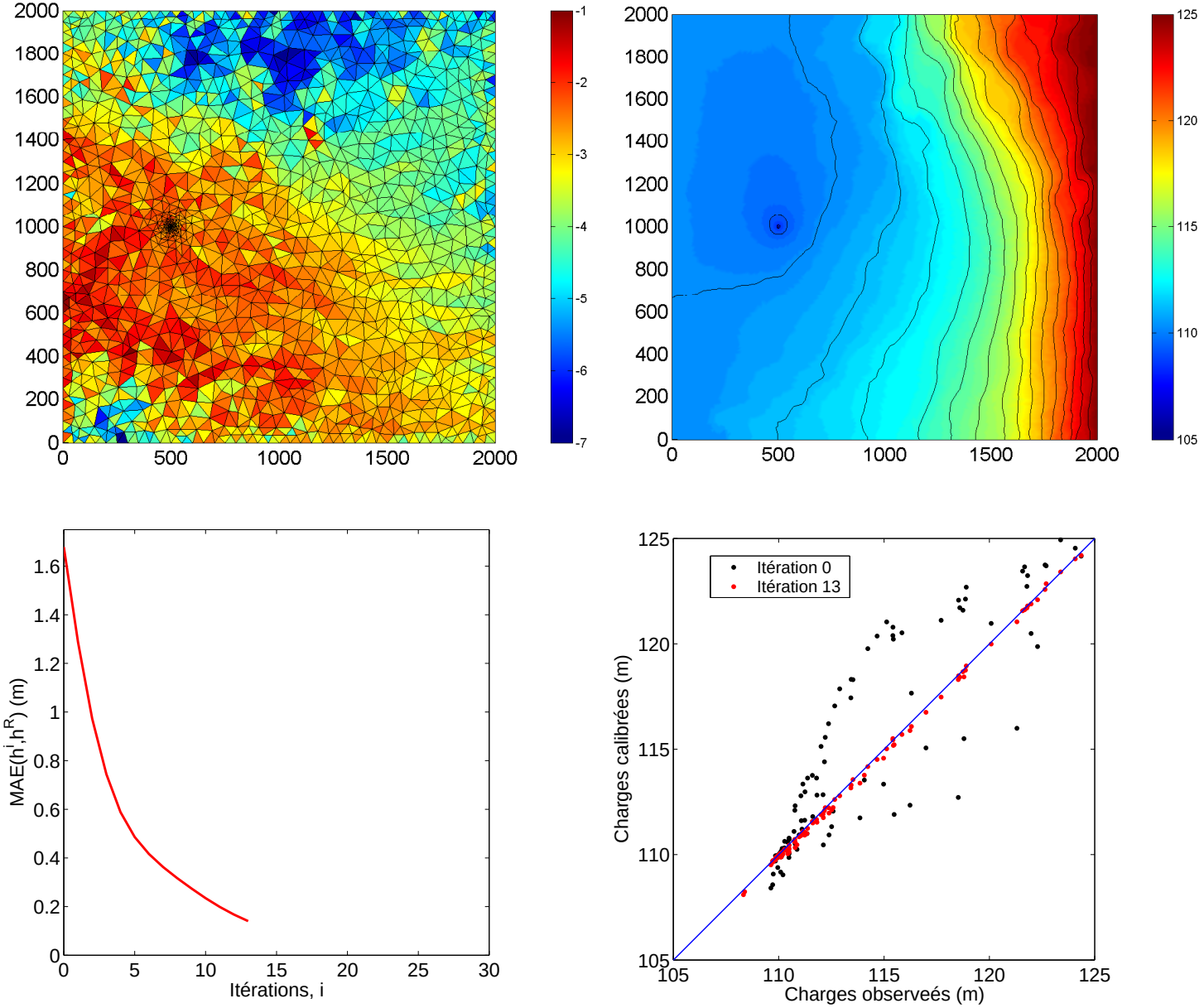






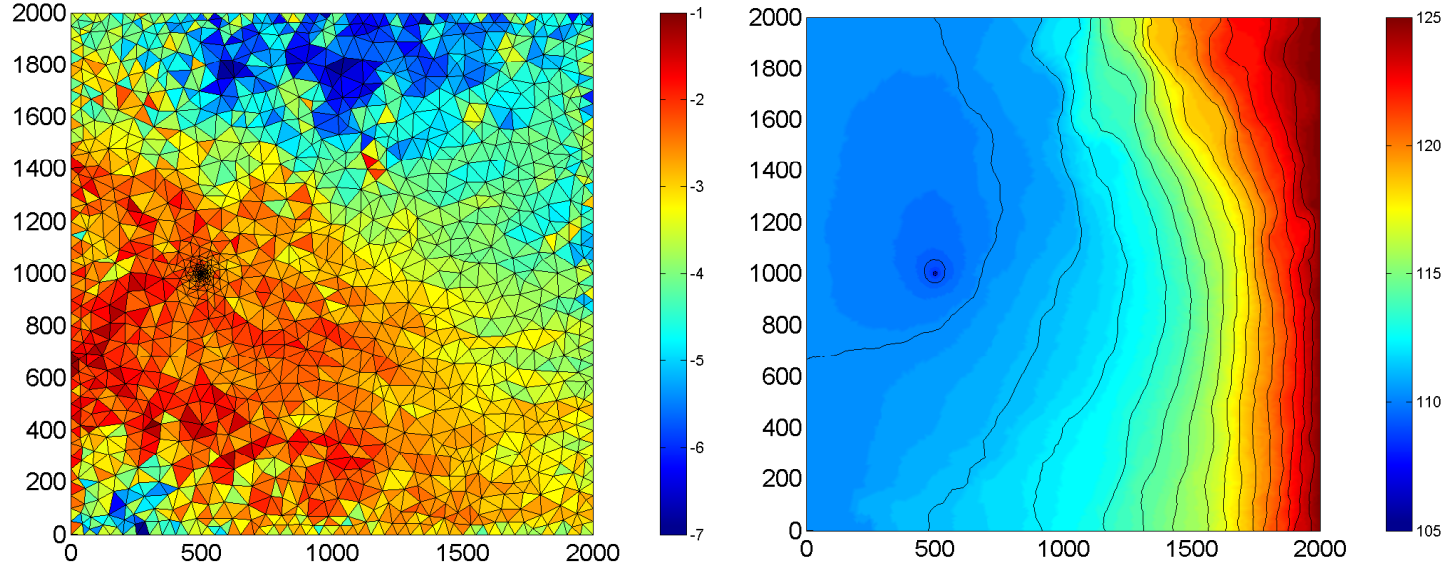
Exemple d'inversion en régime permanent

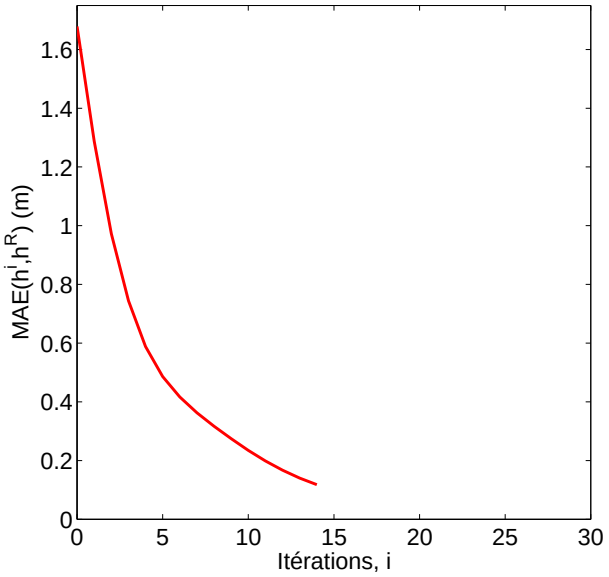
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

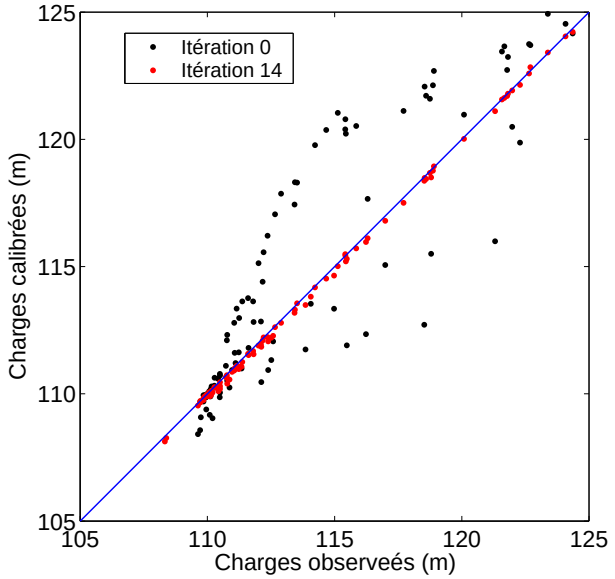


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

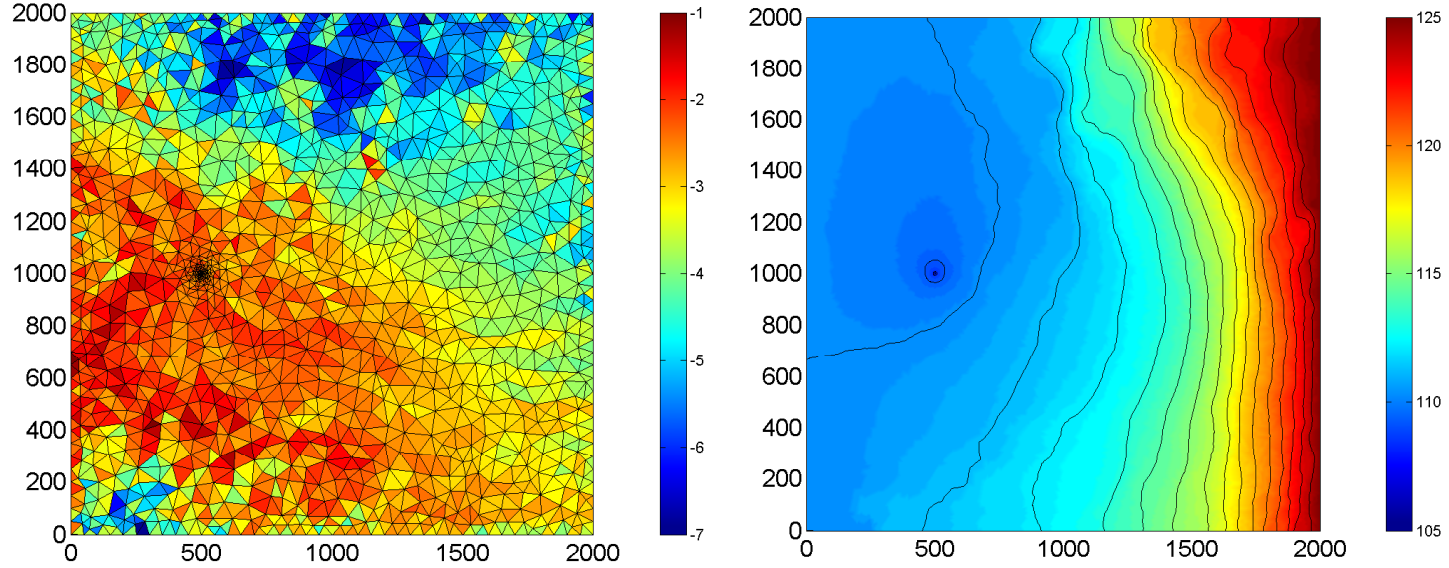


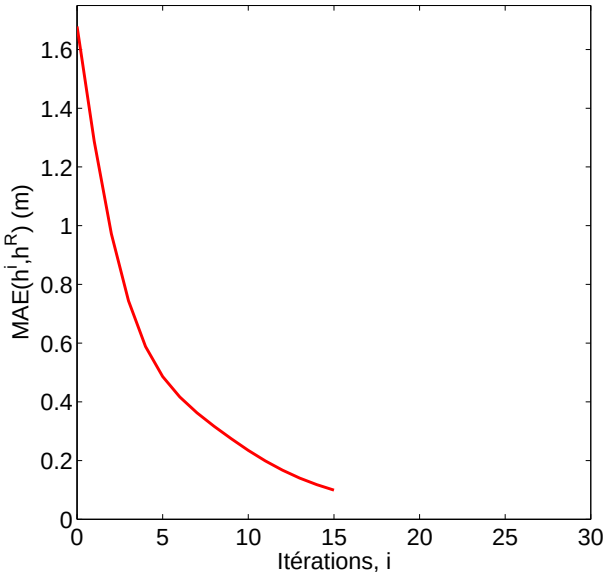


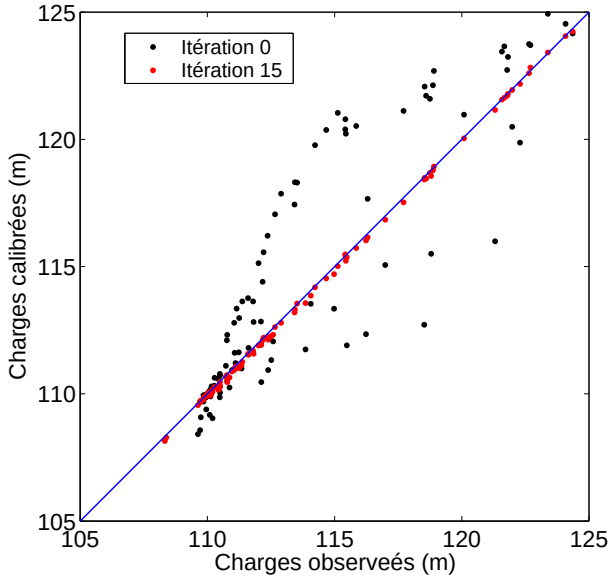


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

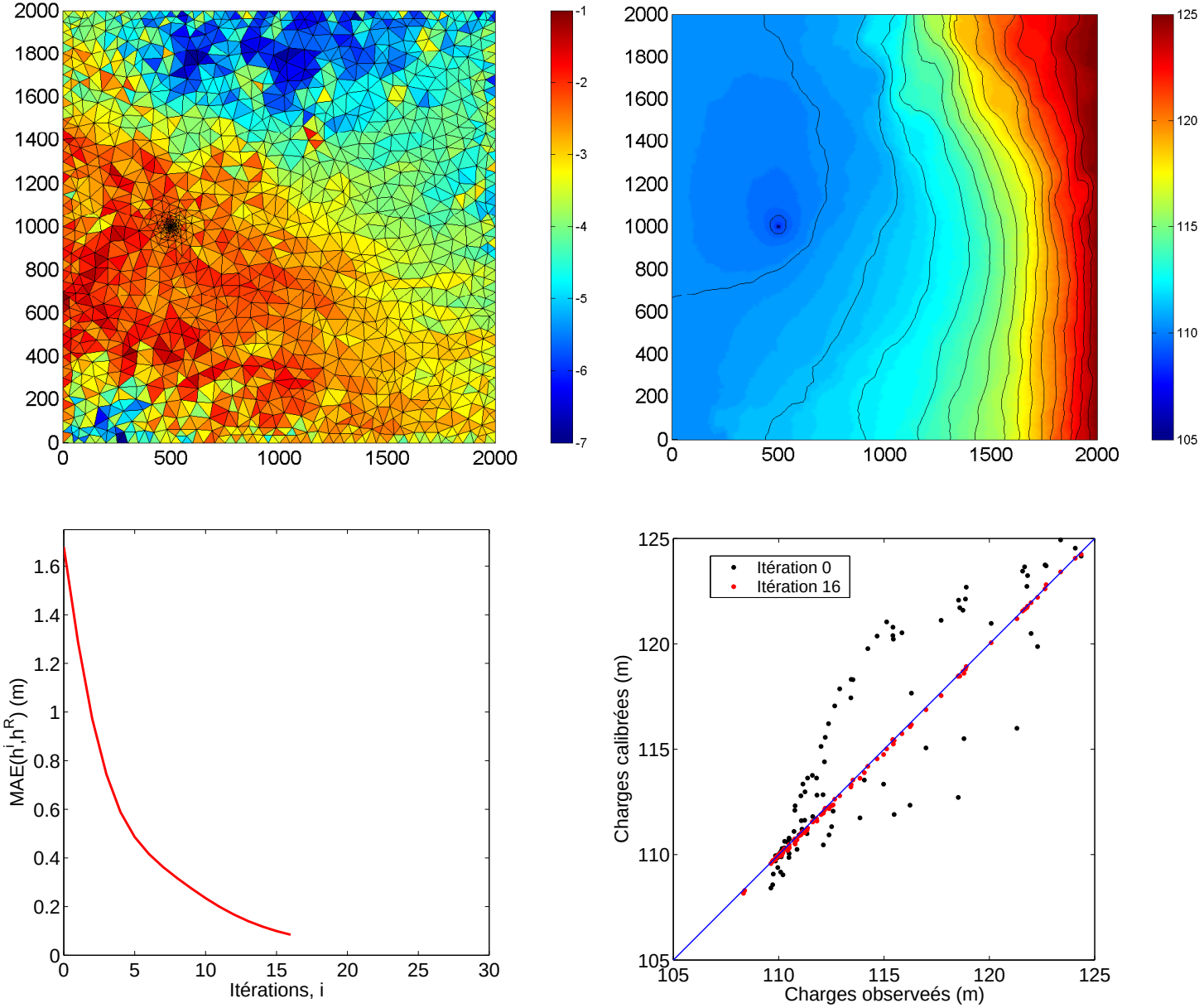






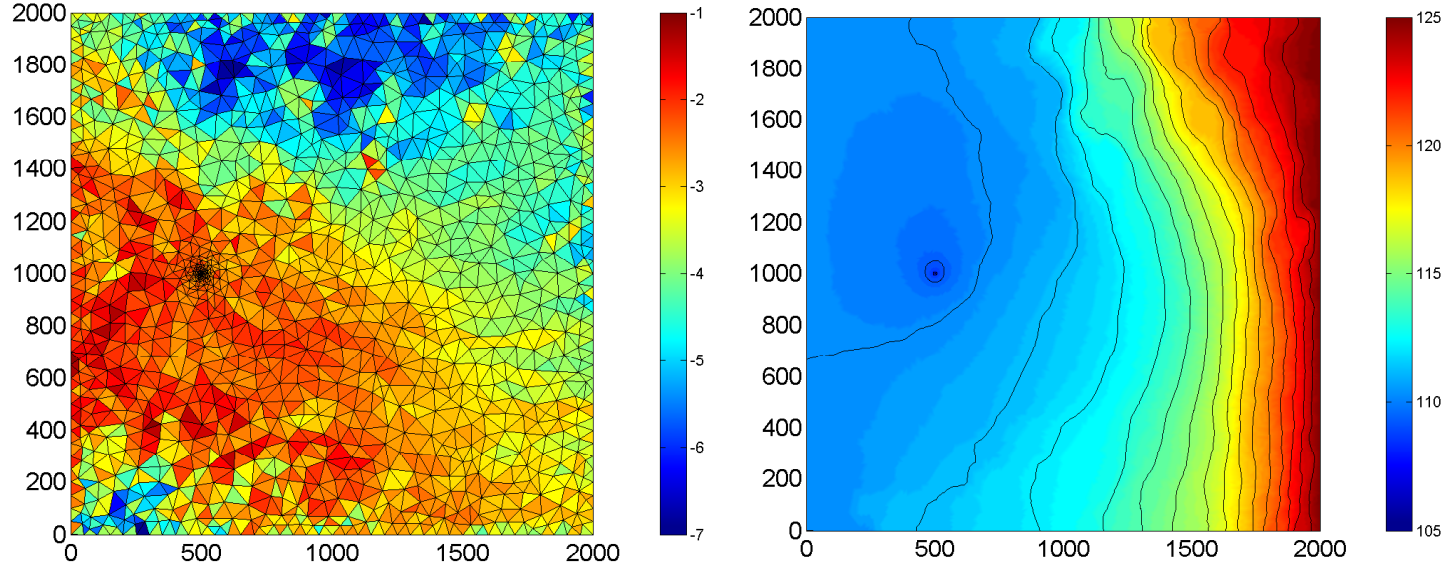
Exemple d'inversion en régime permanent

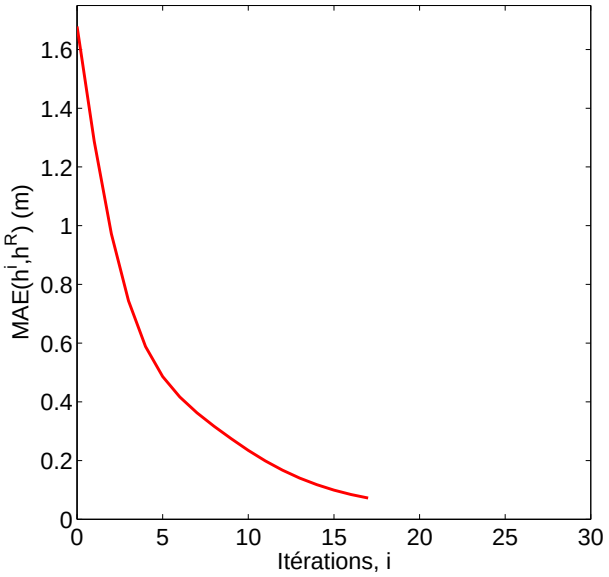
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

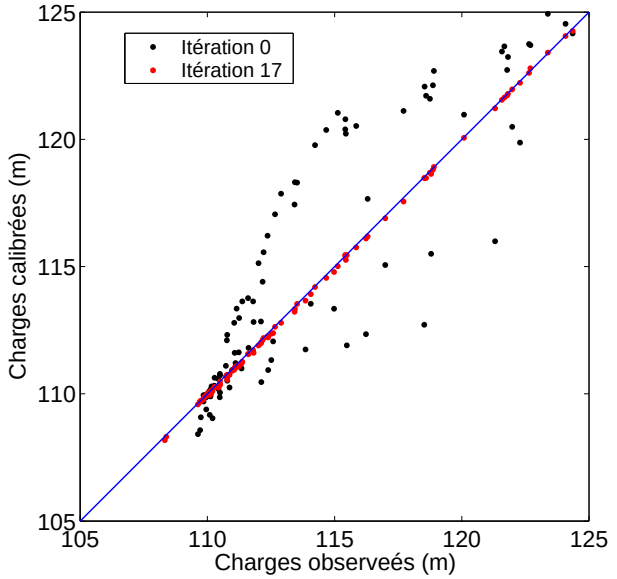


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

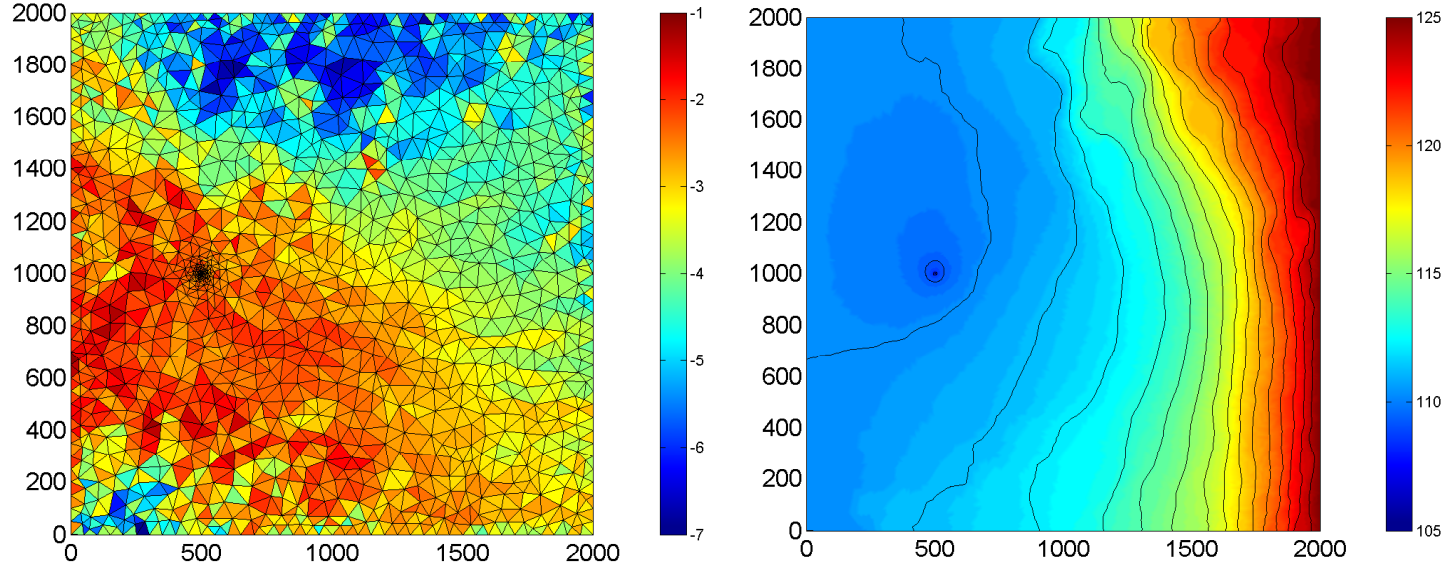


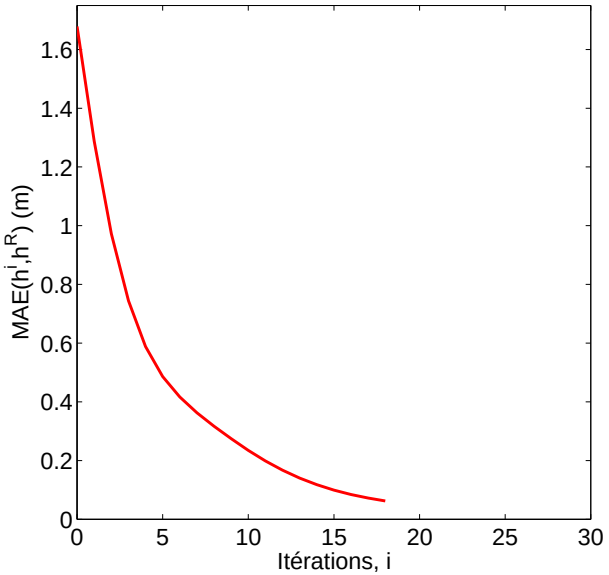


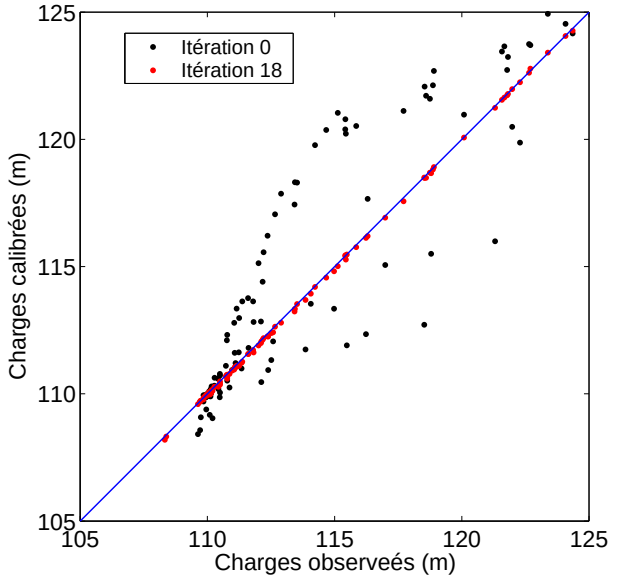


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

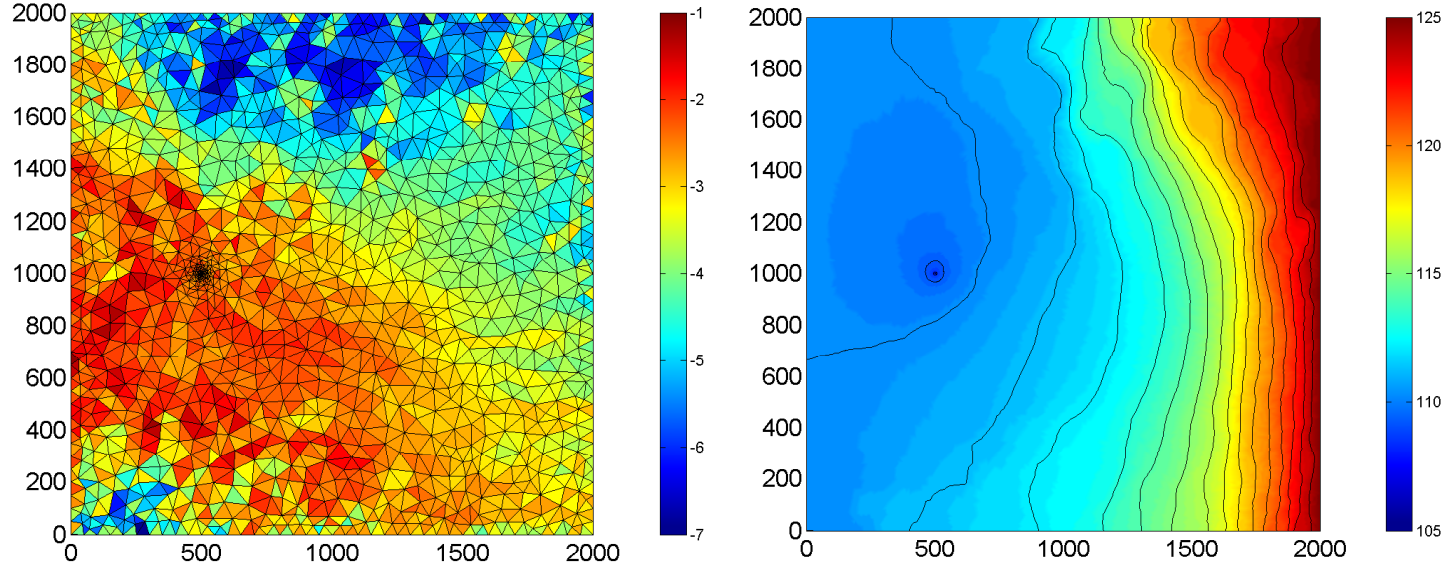


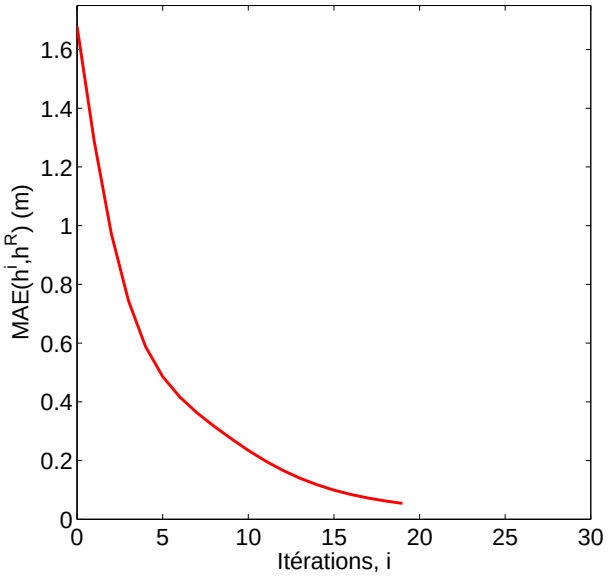


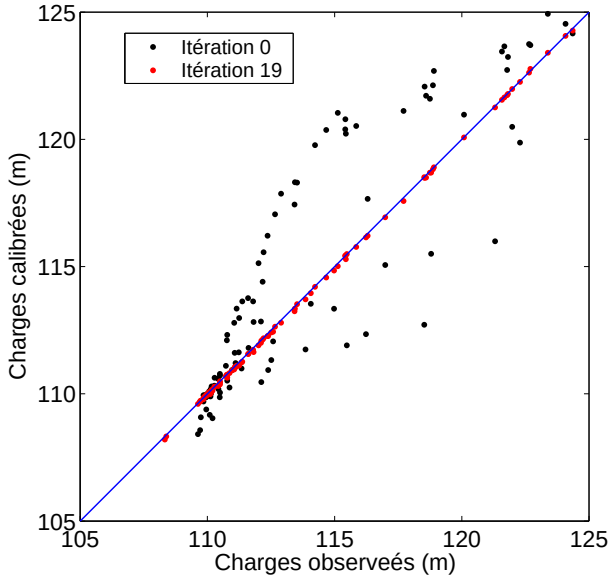


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

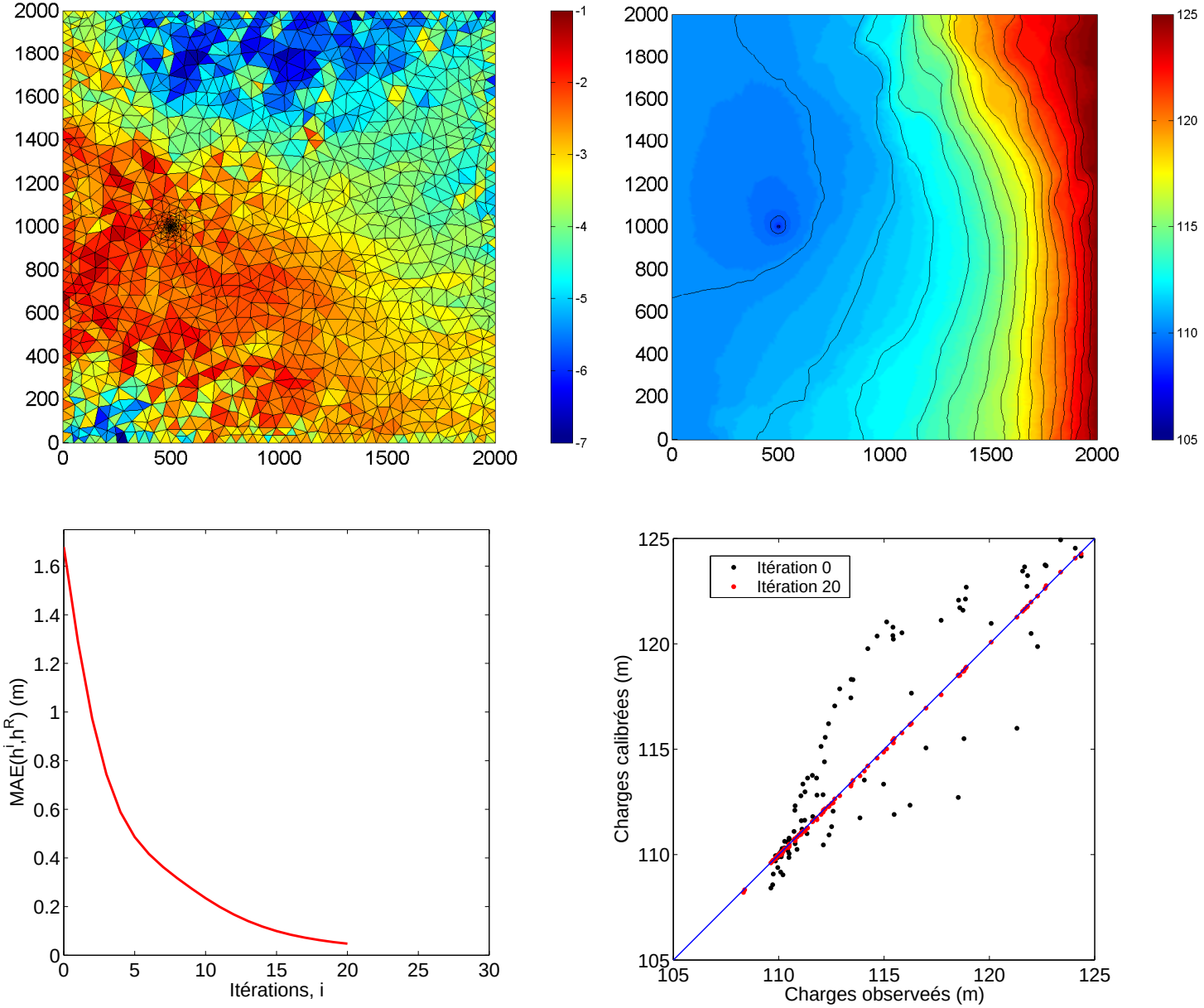






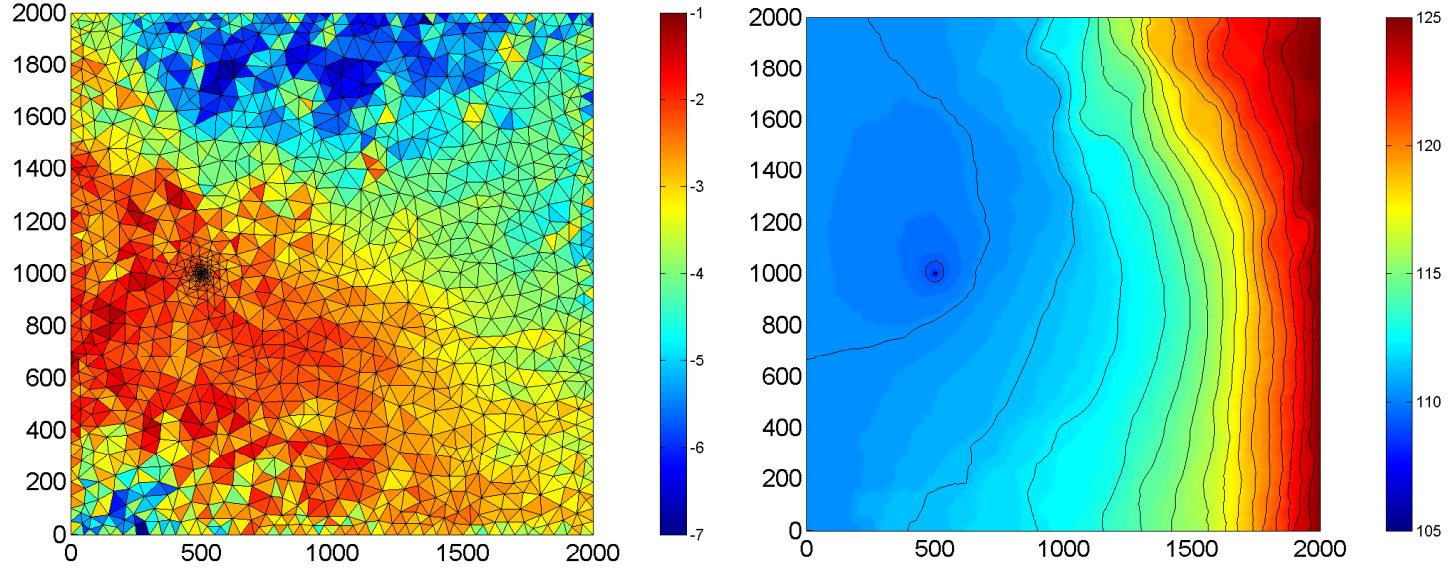
Exemple d'inversion en régime permanent

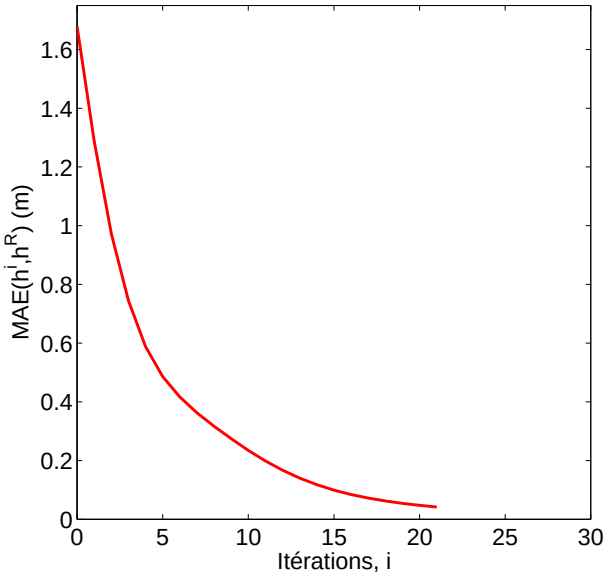
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

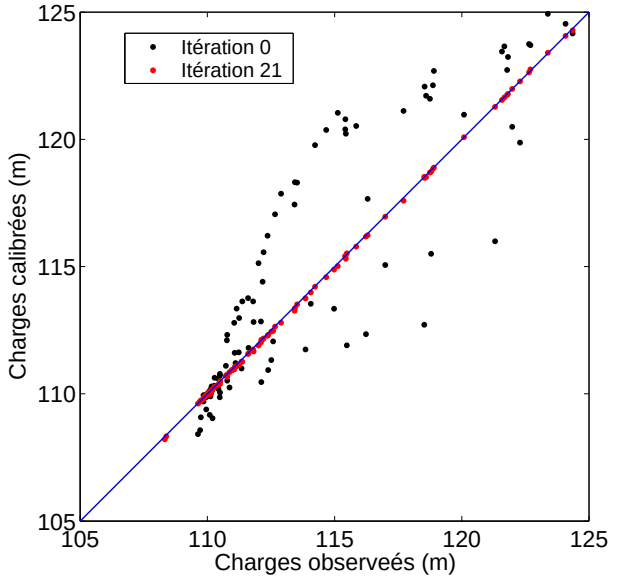


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

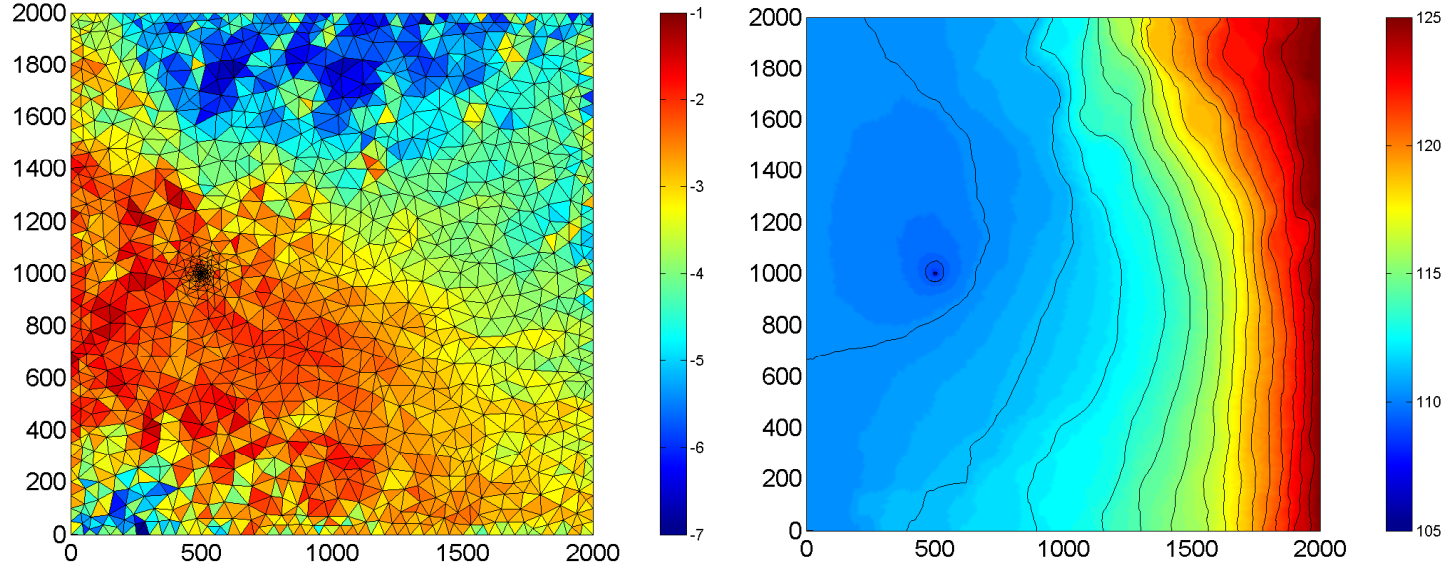


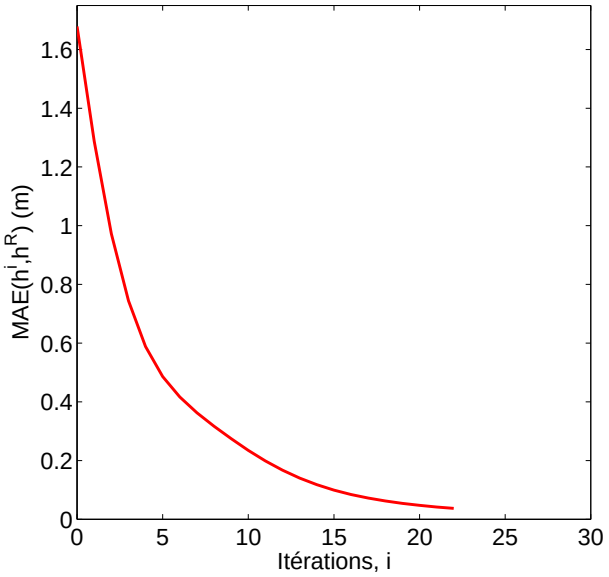


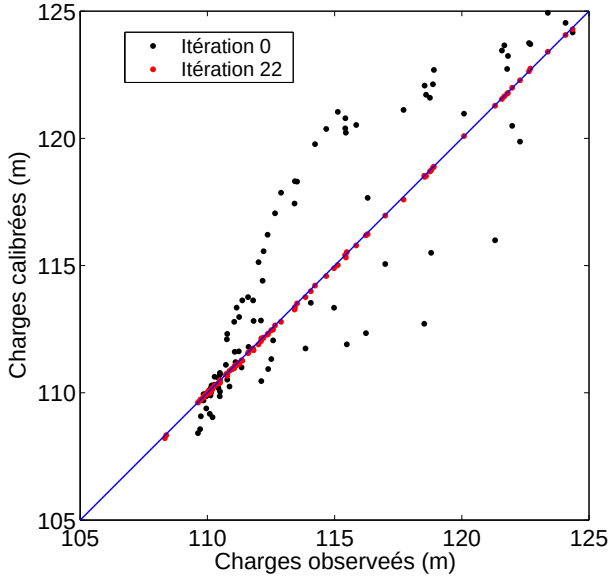


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

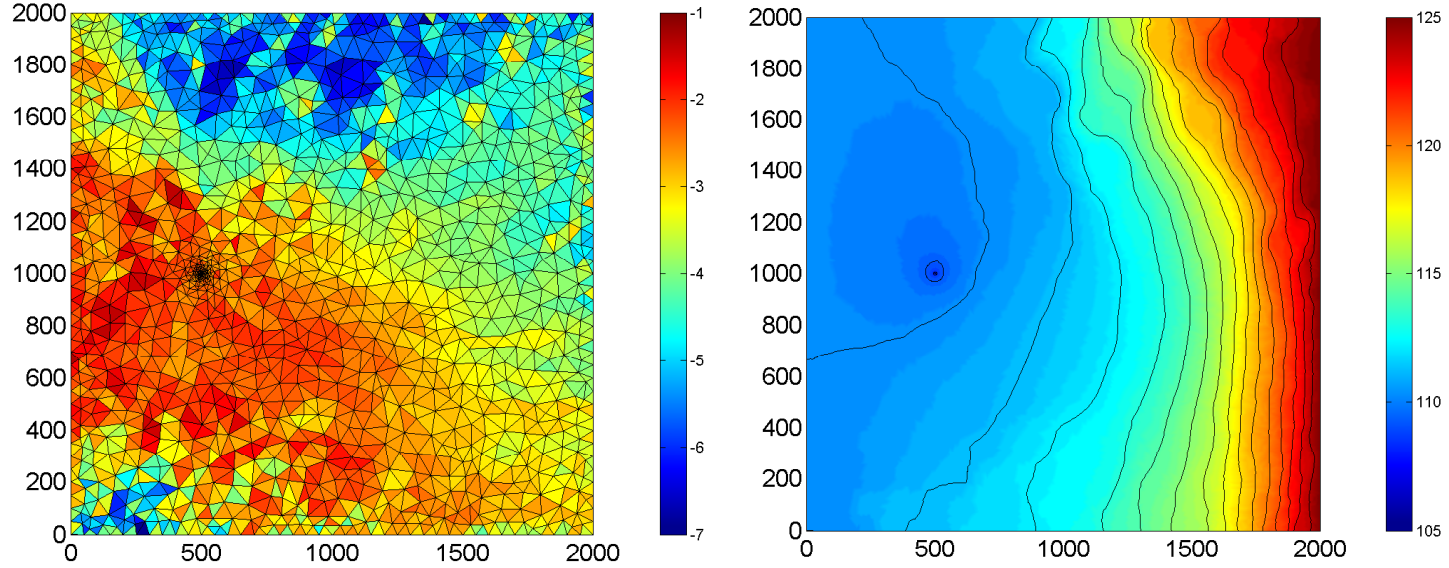


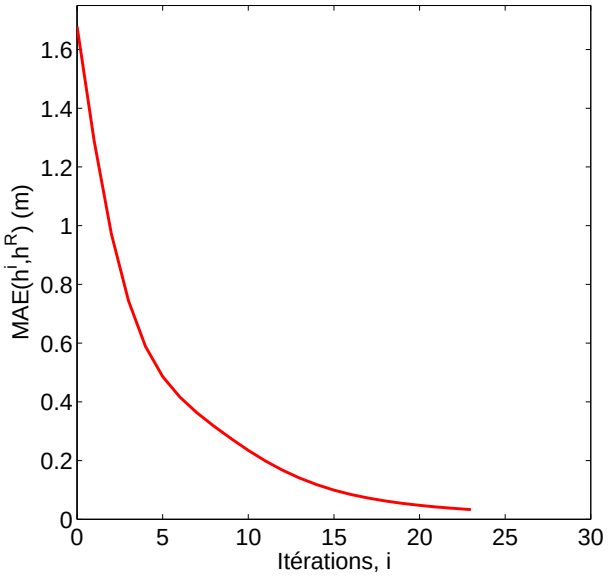


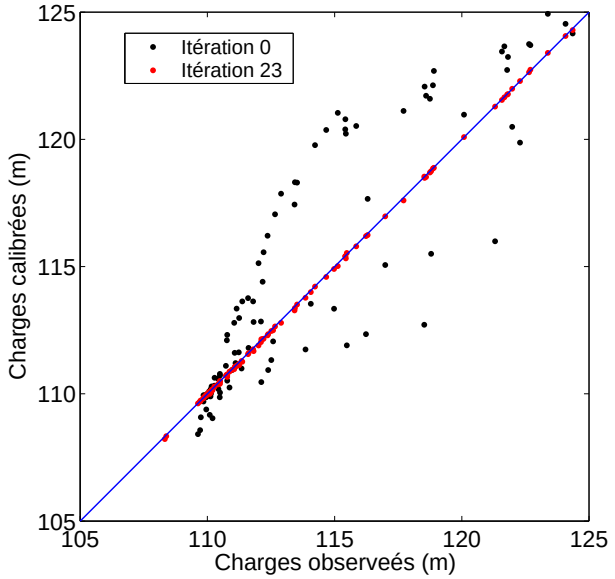


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

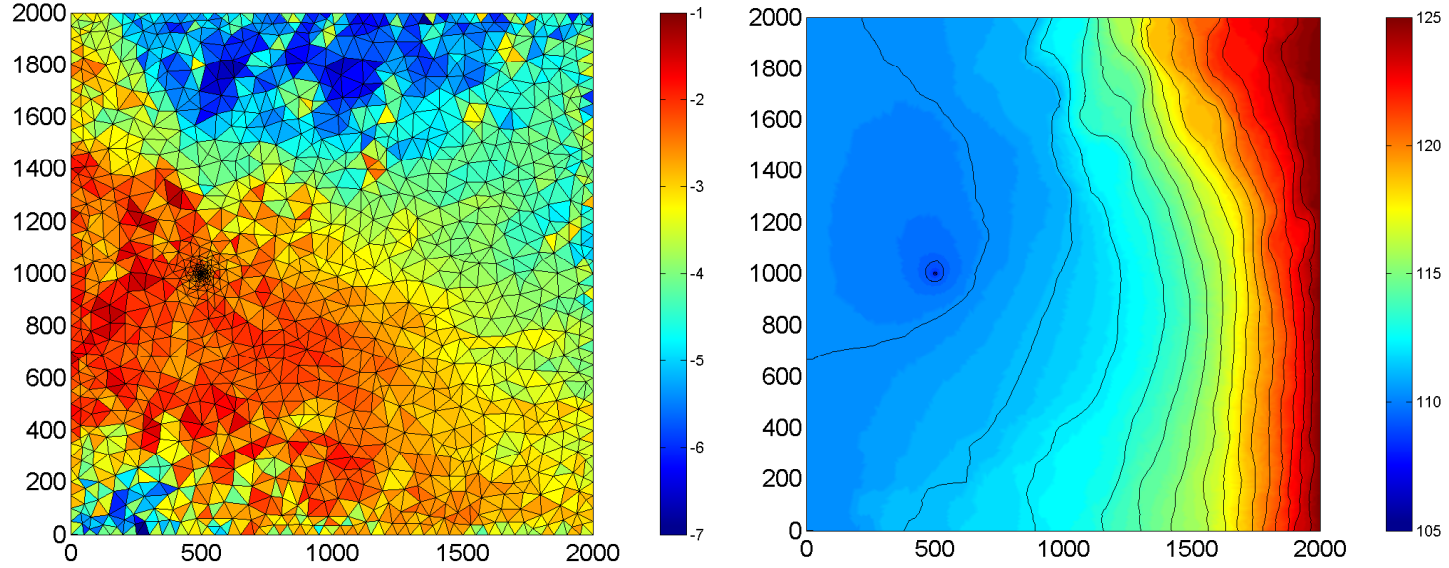


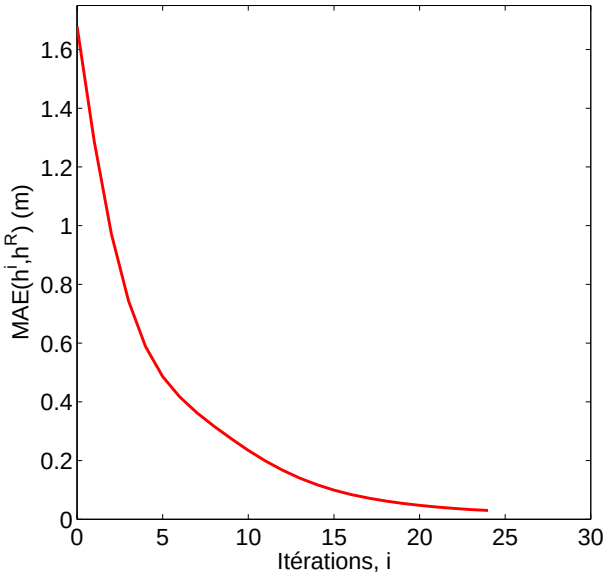


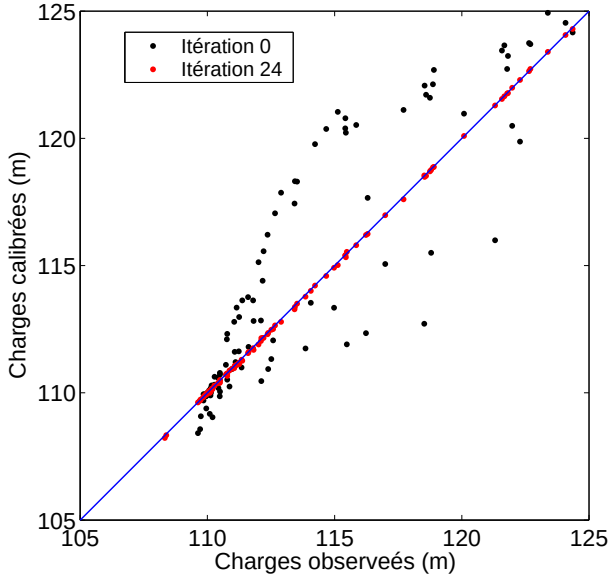


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

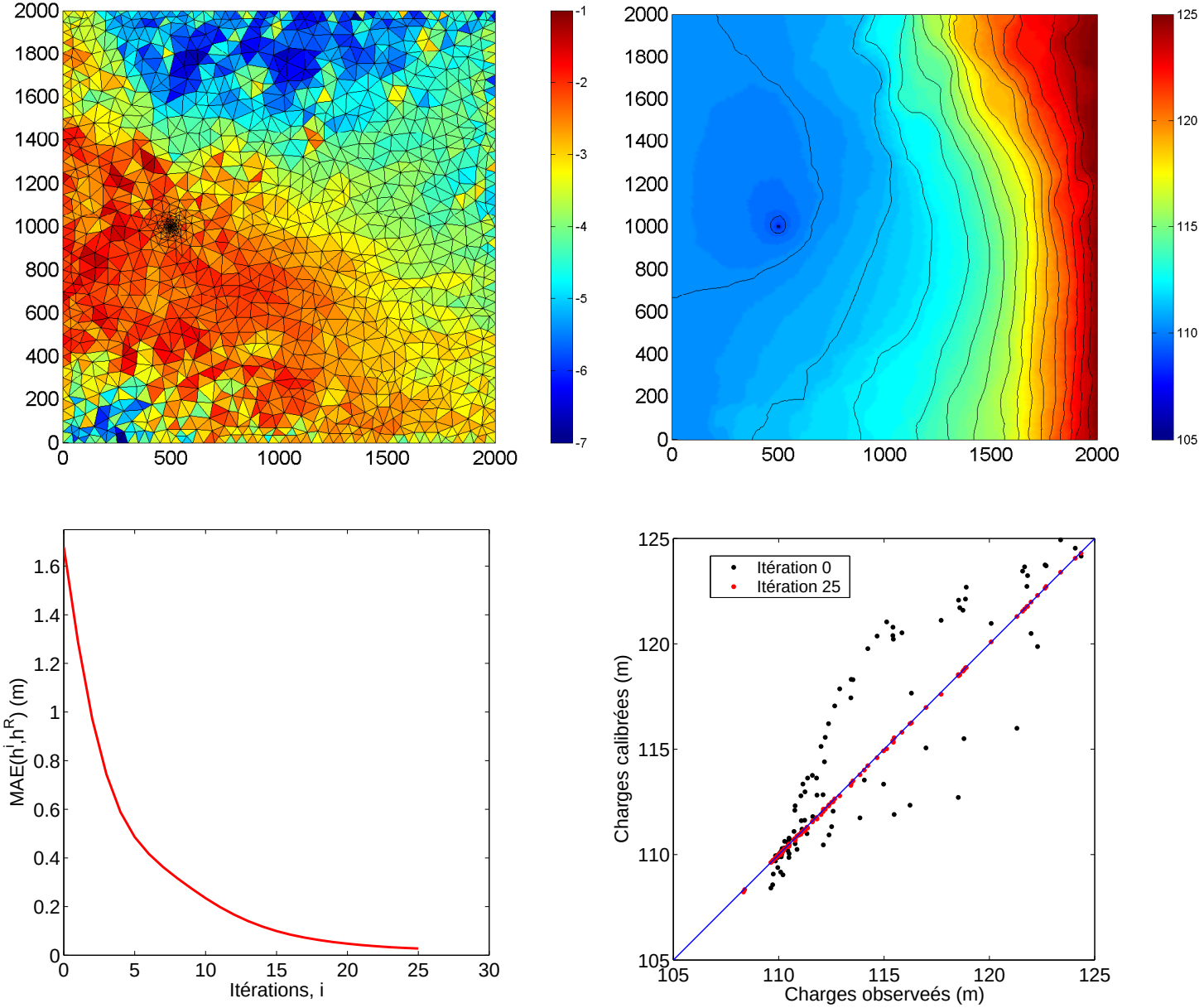






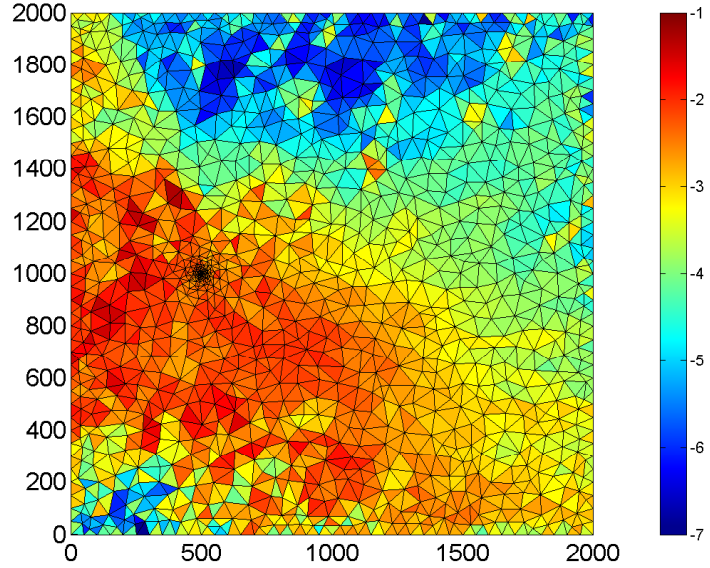
Exemple d'inversion en régime permanent

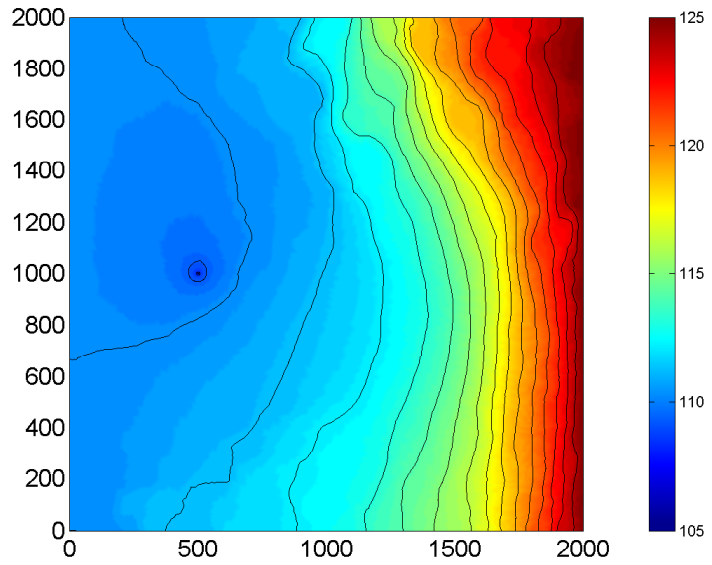
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

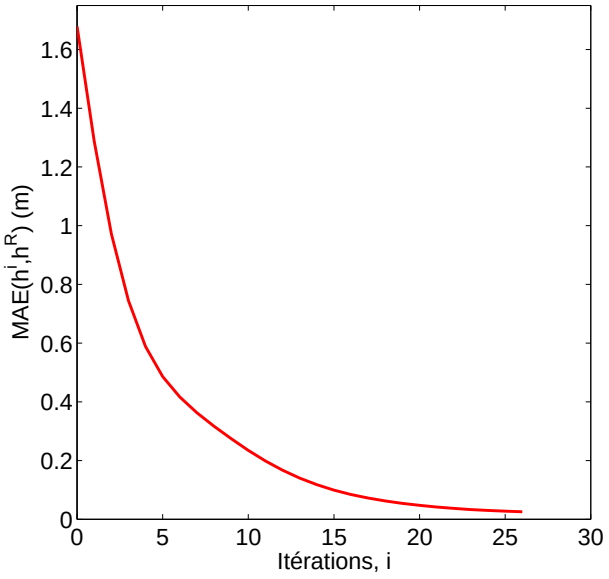


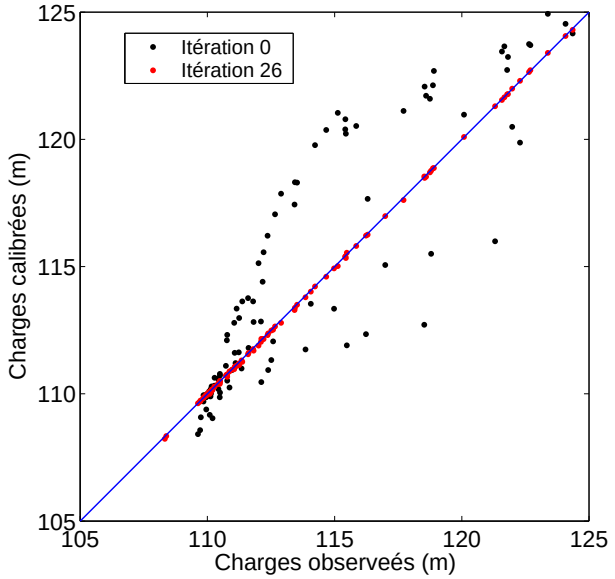
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



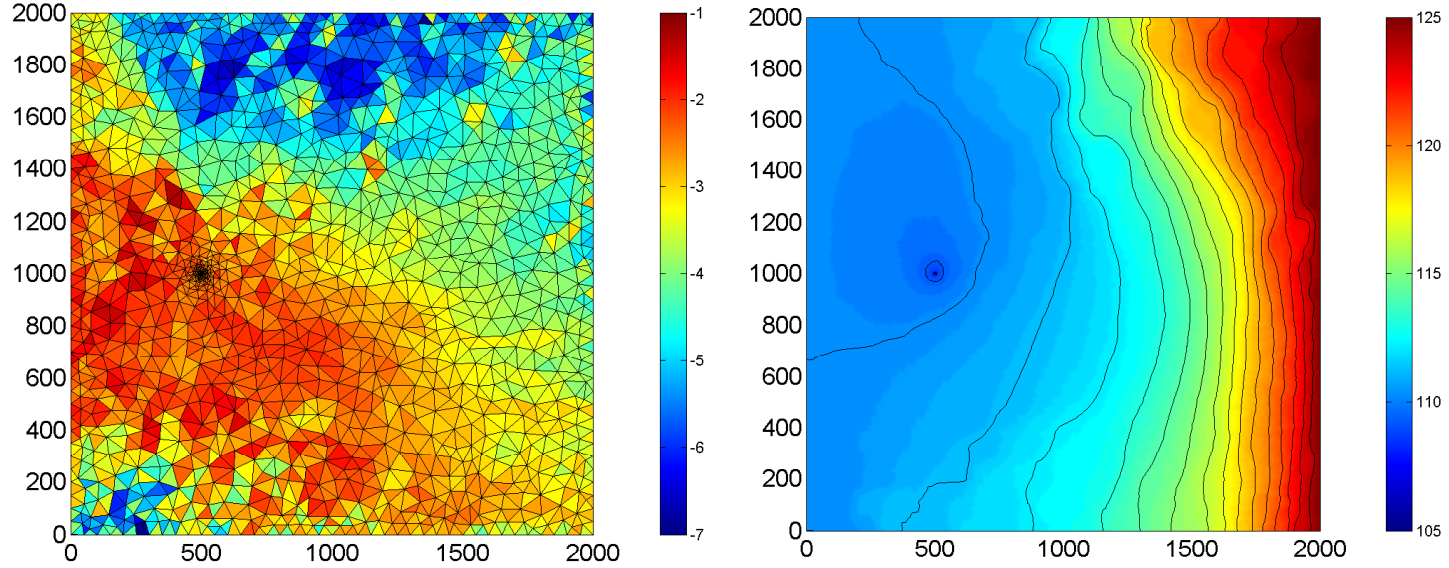


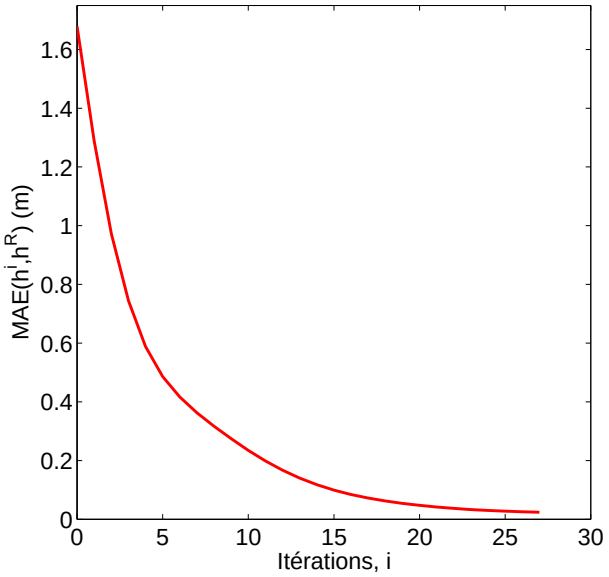


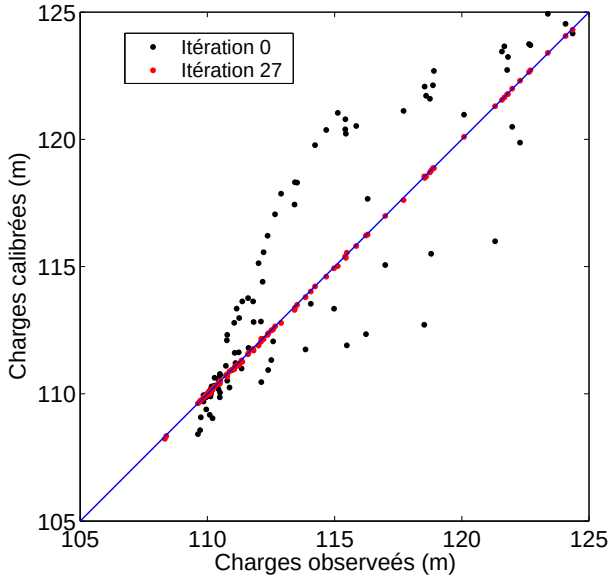


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

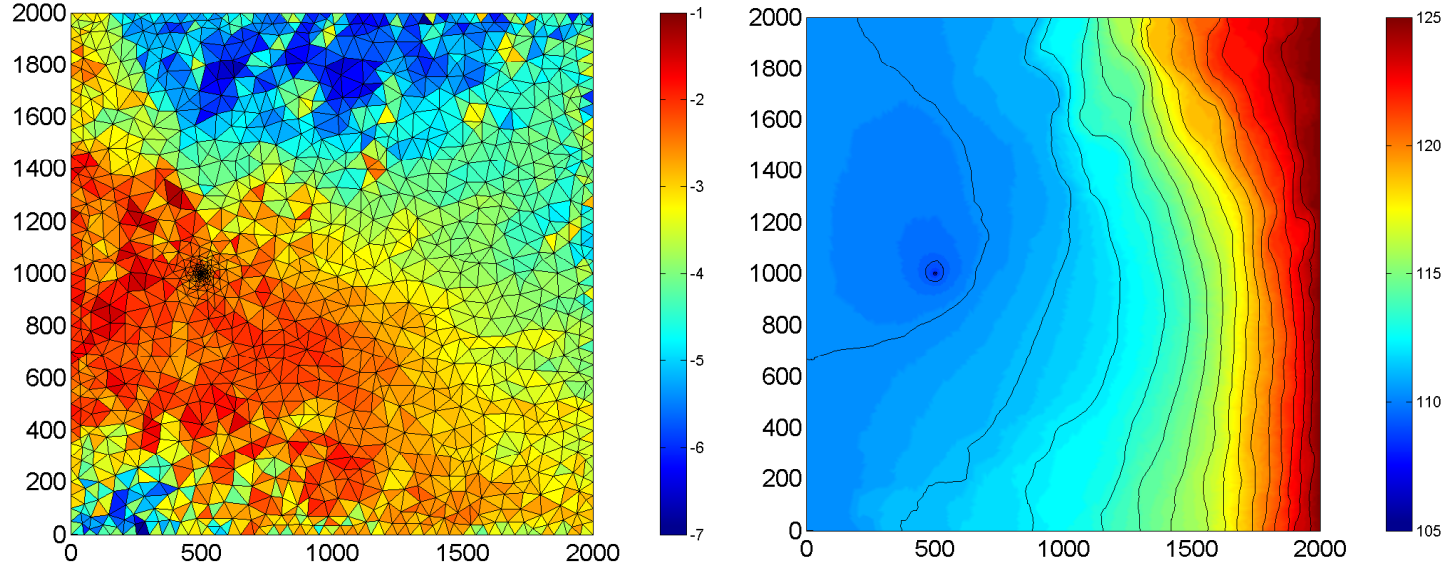


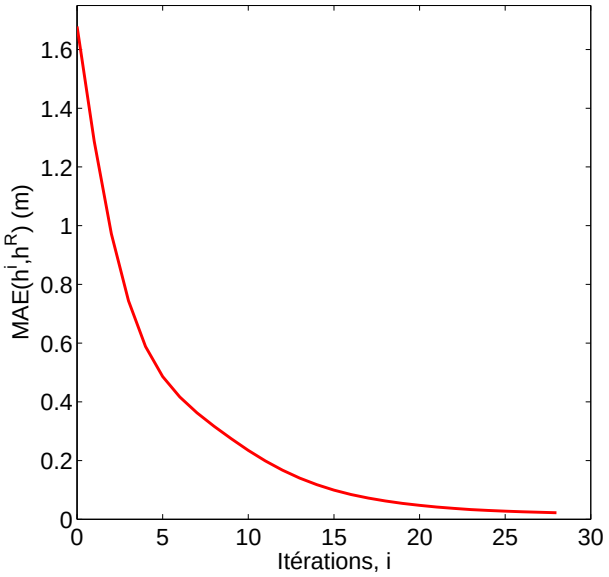


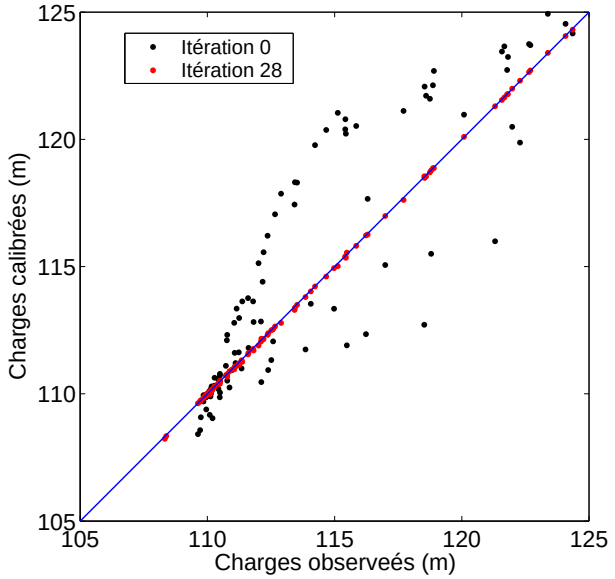


Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

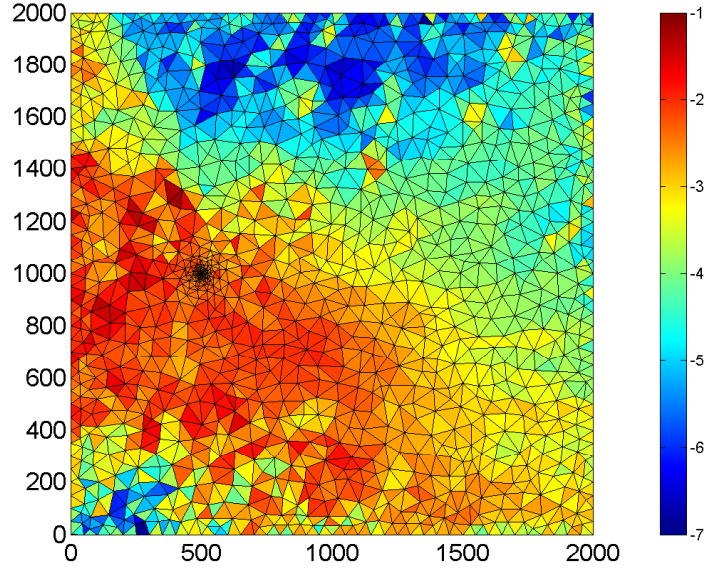


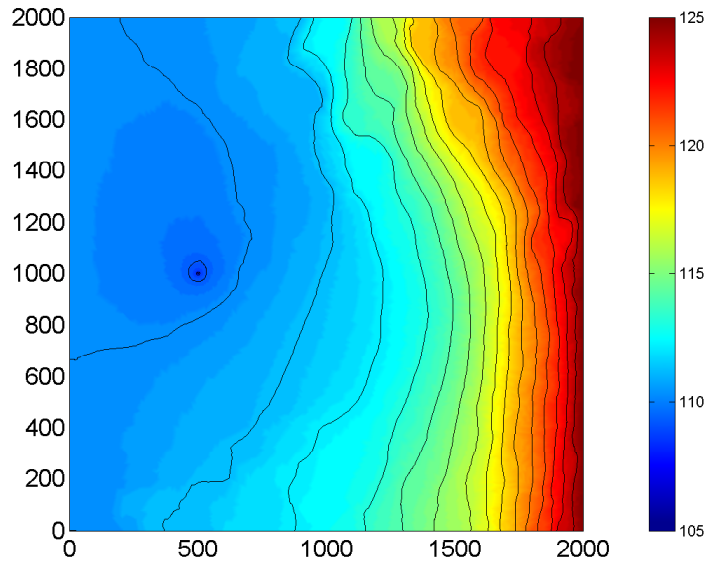


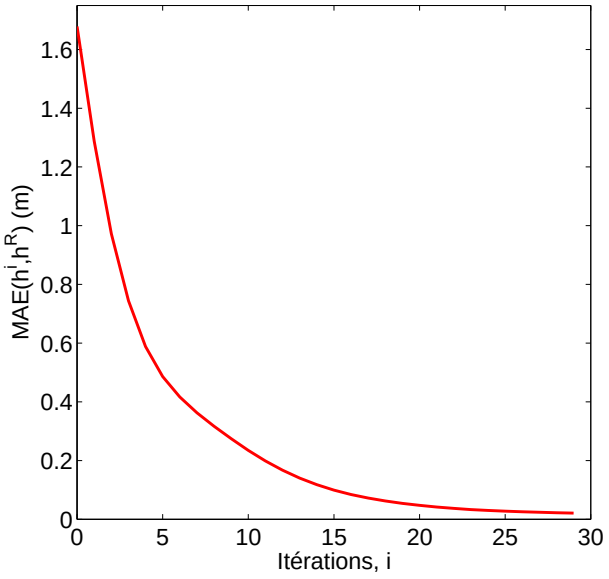


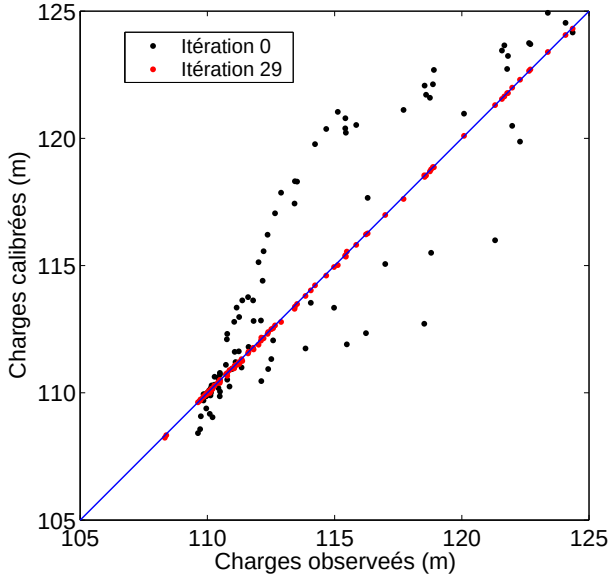
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion





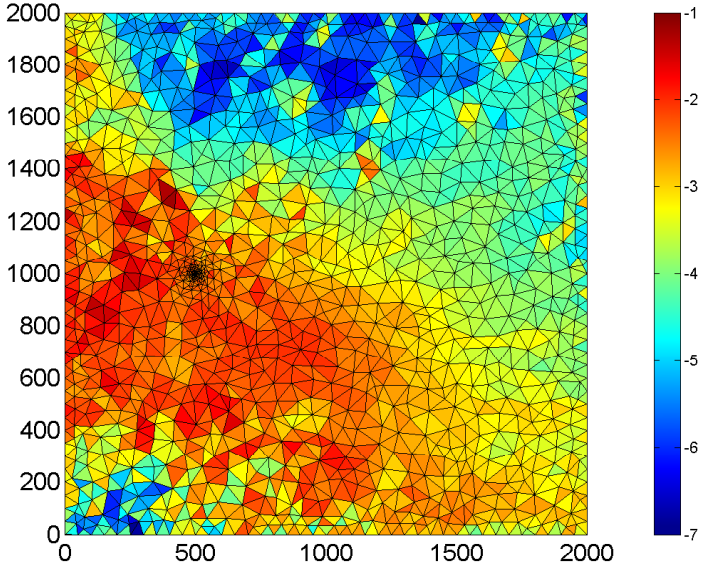




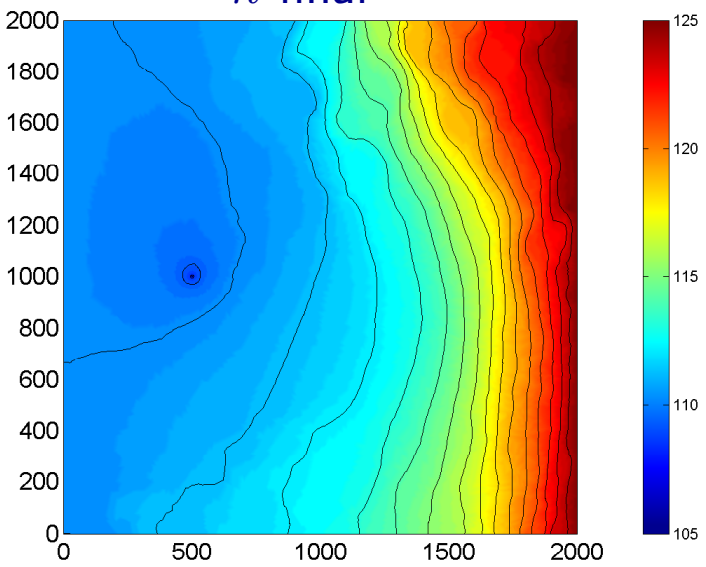
Exemple d'inversion en régime permanent

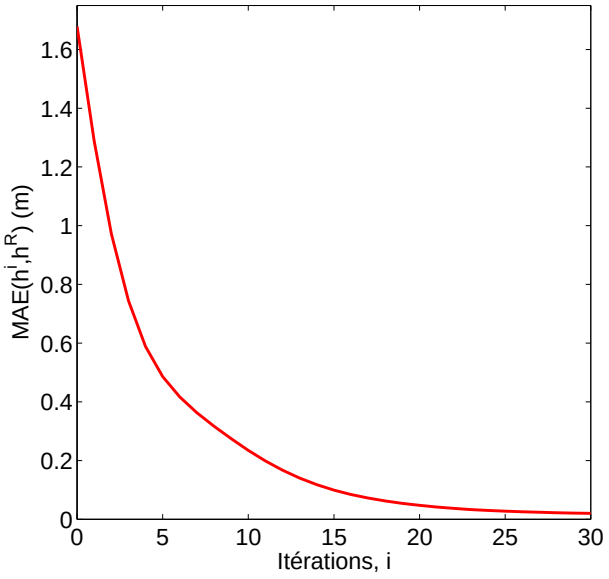
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

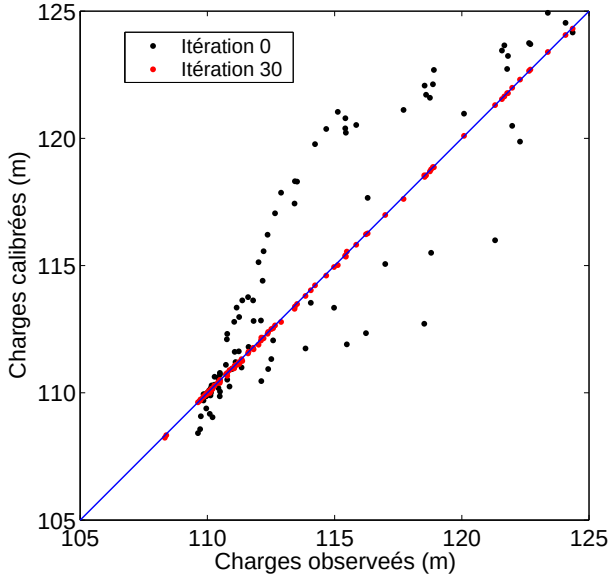
T final



h final



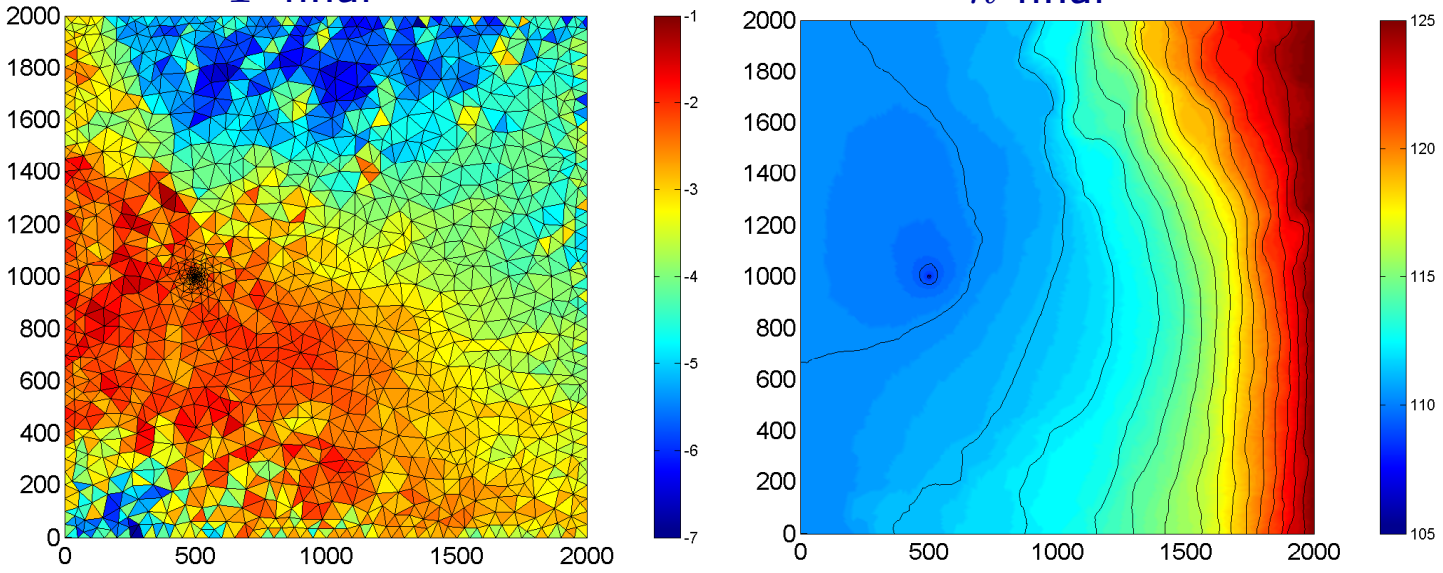




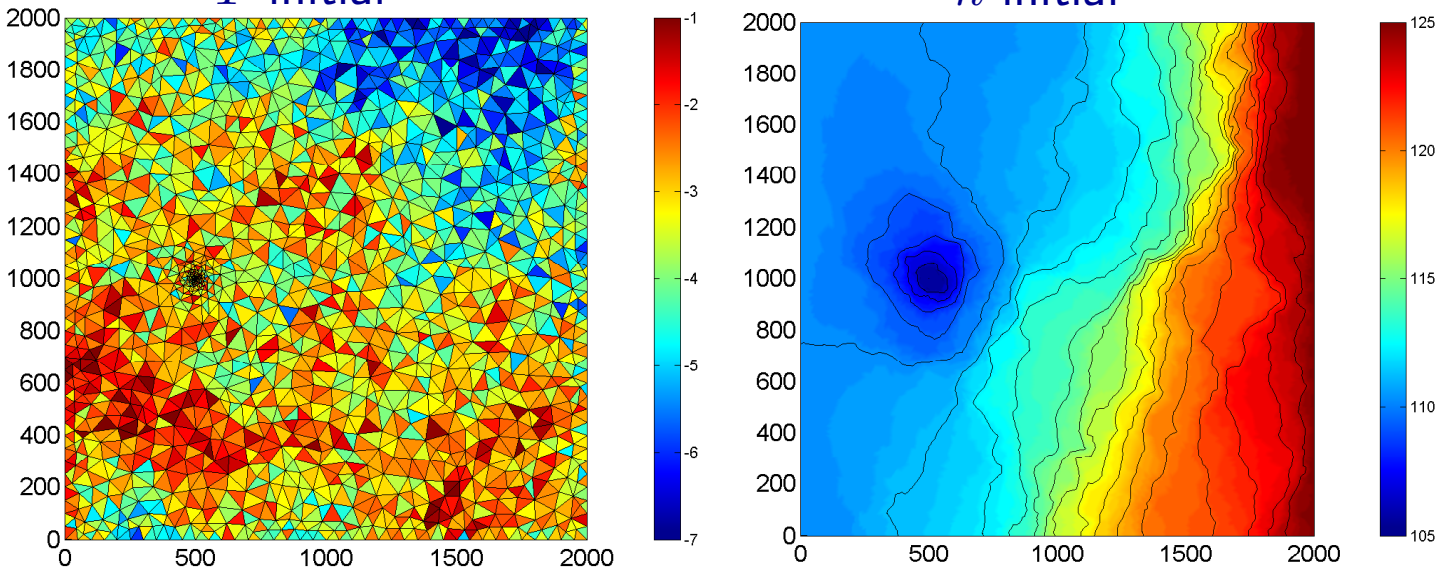
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

T final $\Rightarrow$ h final



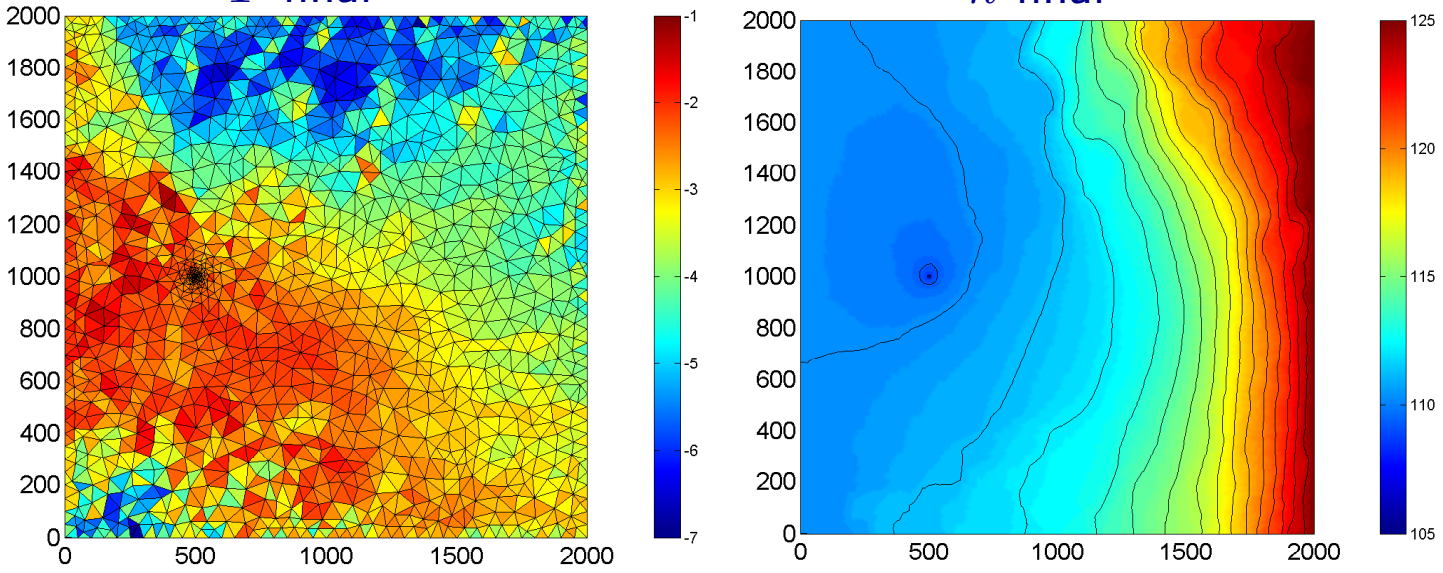
T initial $\Rightarrow$ h initial



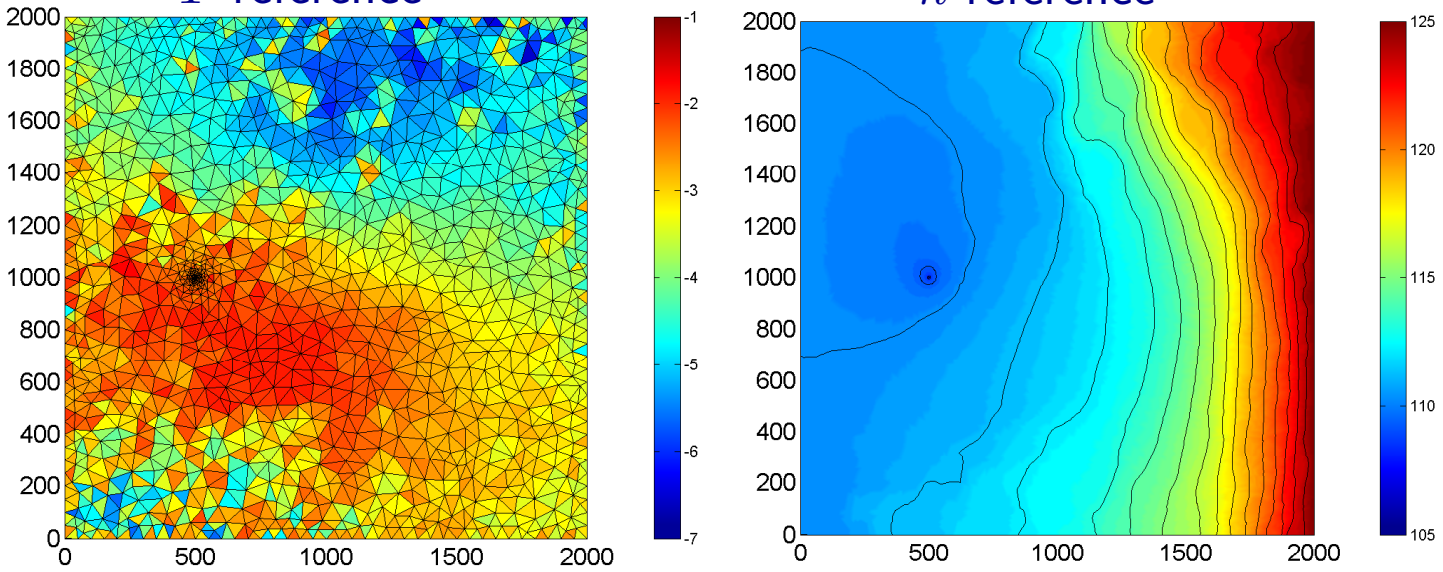
Exemple d'inversion en régime permanent

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

T final $\Rightarrow$ h final

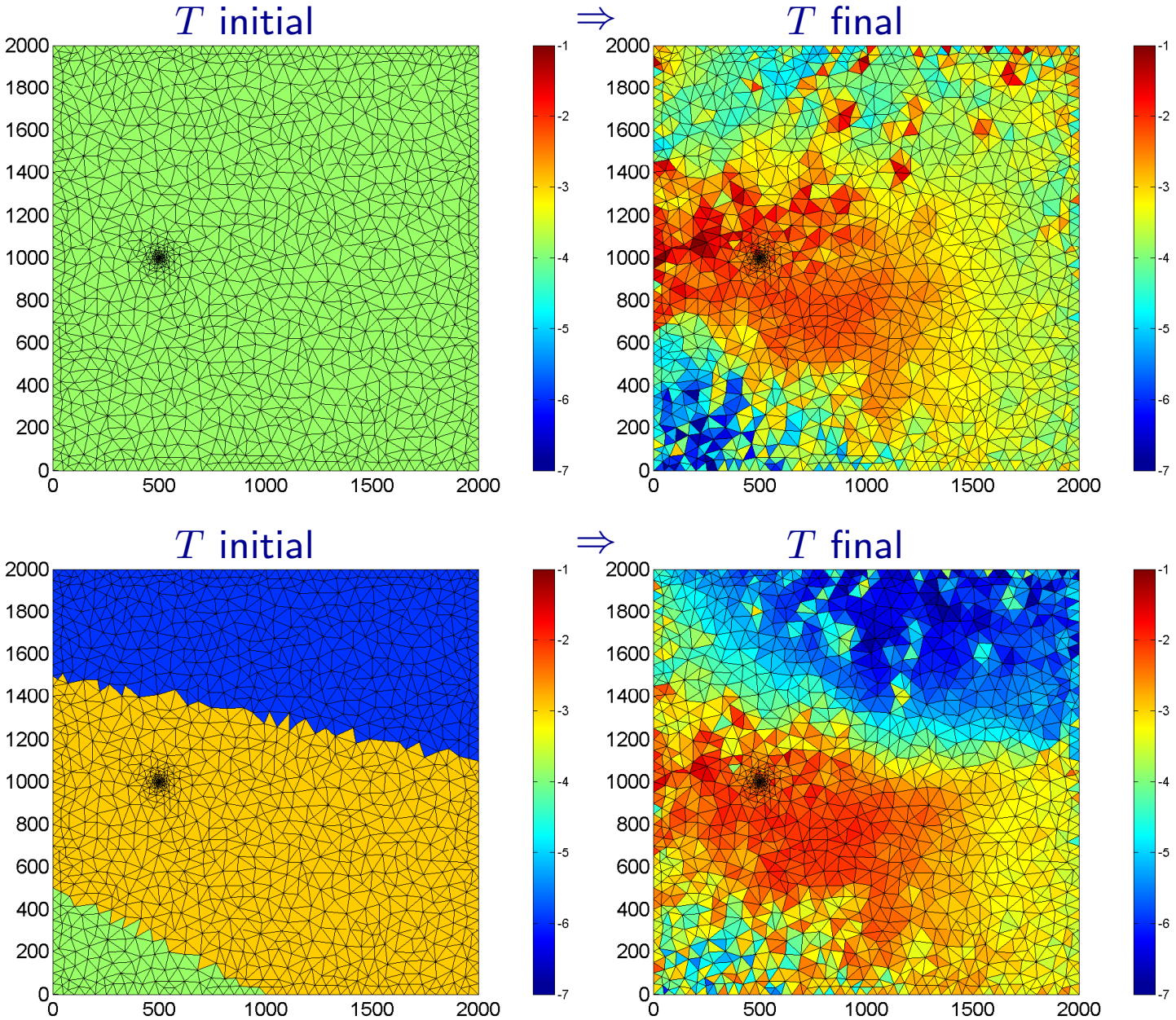


T référence $\Rightarrow$ h référence



Exemples d'inversion en régime transitoire

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion



Temps de calcul dans HydroGeo_Inv

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Régime permanent

Opération	Temps	Proportion
Correction de T	3.47s	20.7%
Résolution du problème direct	13.32s	79.3%
Temps total de calcul	16.79s	100%

Pentium© IV cadencé à 2,66 Ghz

Temps de calcul dans HydroGeo_Inv

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
- Régime permanent
- Régime Transitoire
- Temps de calcul
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Régime permanent

Opération	Temps	Proportion
Correction de T	3.47s	20.7%
Résolution du problème direct	13.32s	79.3%
Temps total de calcul	16.79s	100%

Régime transitoire

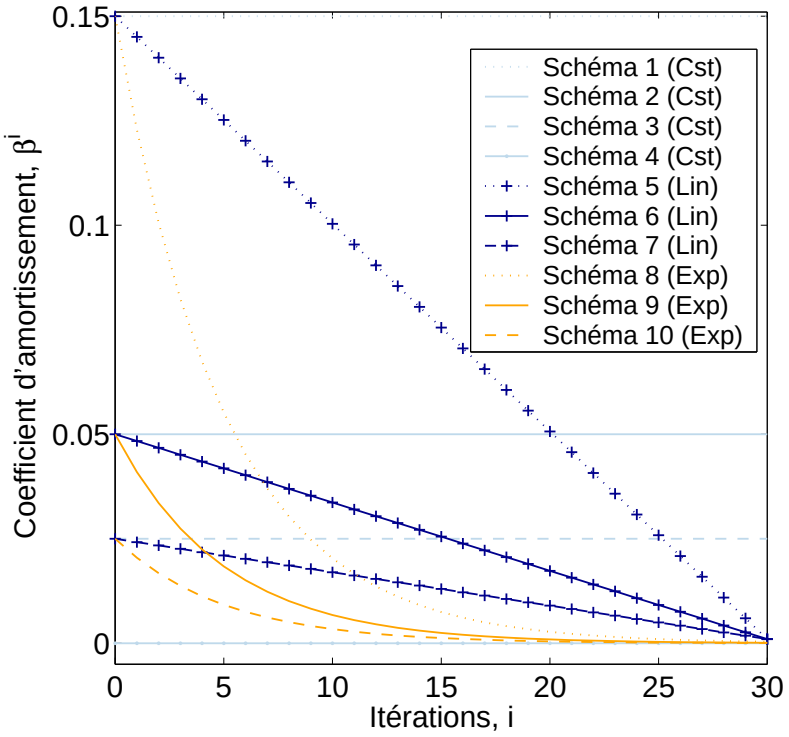
Opération	Temps	Proportion
Correction de T	19.36s	8.9%
Résolution du problème direct	197.36s	91.1%
Temps total de calcul	216.72s s	100%

Pentium© IV cadencé à 2,66 Ghz

Schémas d'amortissement comparés

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
- Schémas d'amortissement
- Évolution des EMAE
- Comparaison des schémas
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

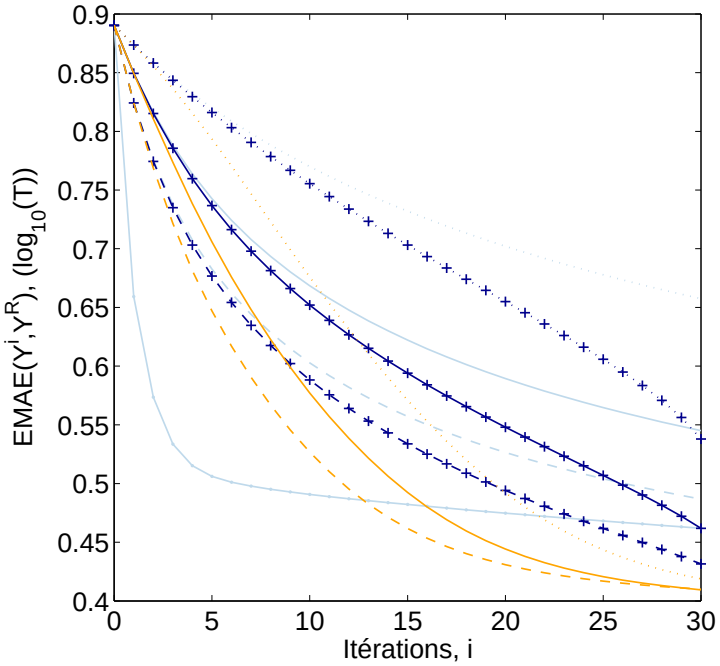
$$\beta^i = \beta^o$$
$$\beta^i = \alpha i + \beta^o$$
$$\beta^i = \beta^o e^{-3i/\alpha}$$

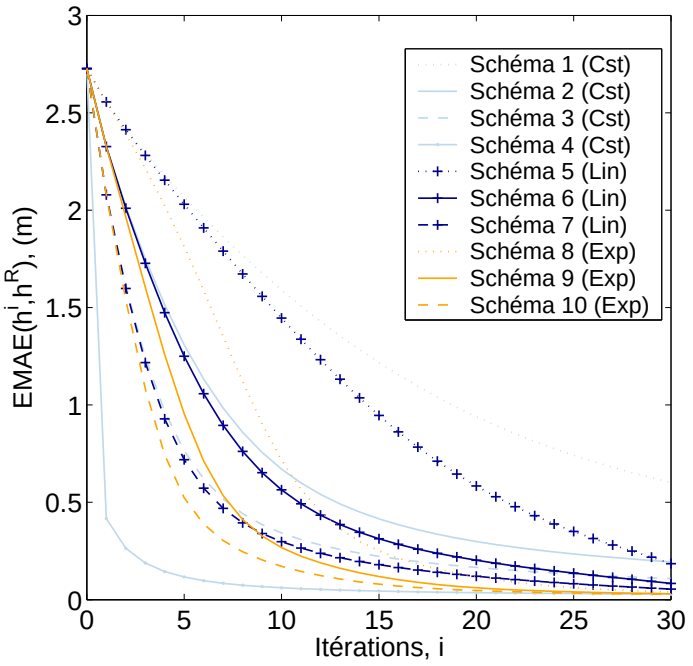


- 100 inversions par schéma d'amortissement
- Comparaison dans un cadre statistique

Évolution des statistiques d'erreur

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
- Schémas d'amortissement
- Évolution des EMAE
- Comparaison des schémas
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion





1. Erreurs strictement décroissantes
2. L'amortissement améliore la reconstruction

$EMAE(Y^{30}, Y^R)$: Espérance des erreurs absolues moyennes entre Y^i et Y^R

$EMAE(h^{30}, h^R)$: Espérance des erreurs absolues moyennes entre h^i et h^R

Comparaison des schémas d'amortissement

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
- Schémas d'amortissement
- Évolution des EMAE
- Comparaison des schémas
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Erreurs de reconstruction et d'ajustement

Schéma	Type	$EMAE(Y^{30}, Y^R)$ $log_{10}(m^2/s)$	$EMAE(h^{30}, h^R)$ (m)
1	Constant	0.6574	0.6014
2		0.5451	0.1944
3		0.4867	0.1082
4		0.4619	0.0278
5	Linéaire	0.5379	0.1851
6		0.4618	0.0835
7		0.4316	0.0546
8	Exponentiel	0.4187	0.0398
9		0.4095	0.0305
10		0.4100	0.0276

1. Les schémas 8, 9 et 10 sont plus performants
2. Les schémas exponentiels sont équivalents

Impact des erreurs d'estimation de h

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

La méthode d'inversion repose sur l'utilisation de $\hat{h}$.

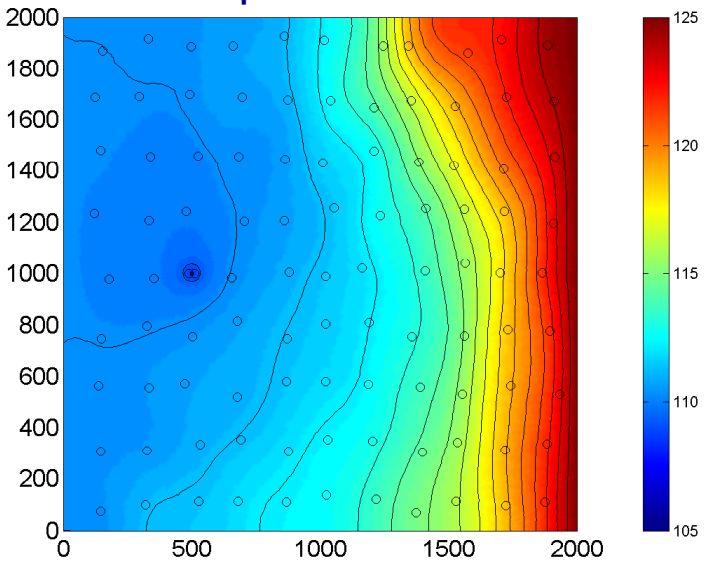
Scénario piézométrique	Régime	n_{Piezo}	n_t
1	Permanent	6380 (∞)	1
2		100	
3		50	
4		25	
5		10	
6	Transitoire	6380 (∞)	5
7		100	
8		50	
9		25	
10		10	

- 100 inversions par scénario
- Comparaison dans un cadre statistique

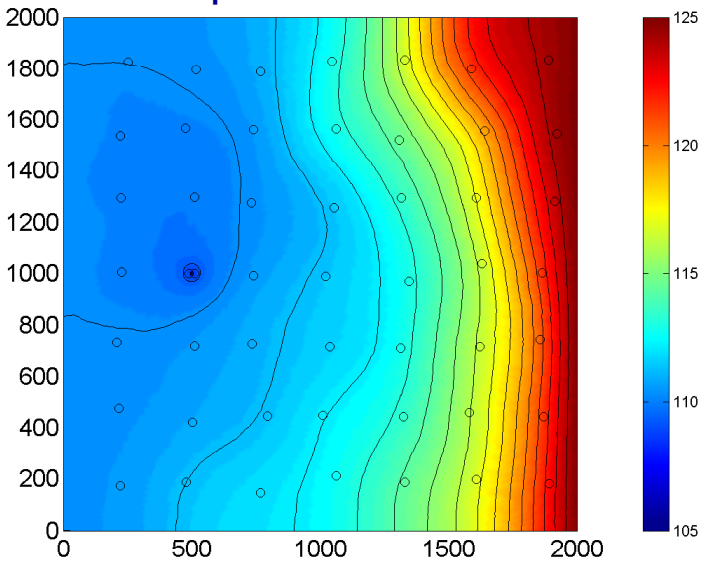
Champs de charges des scénarios 2 à 5

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

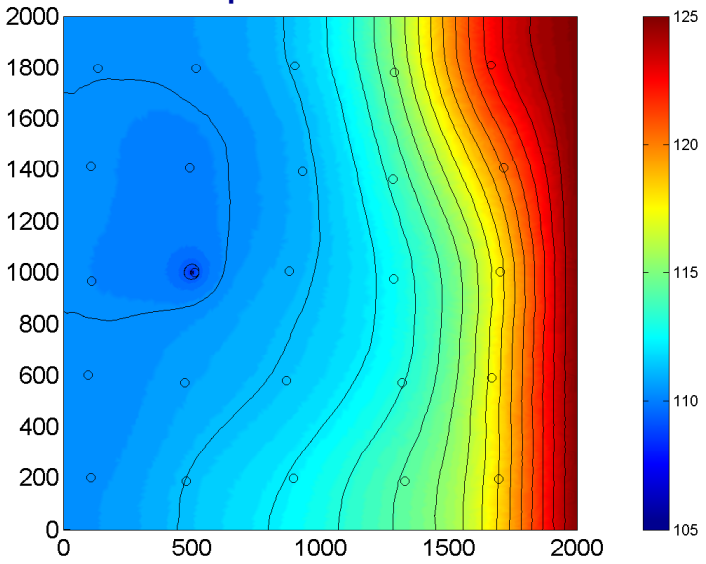
100 piézomètres



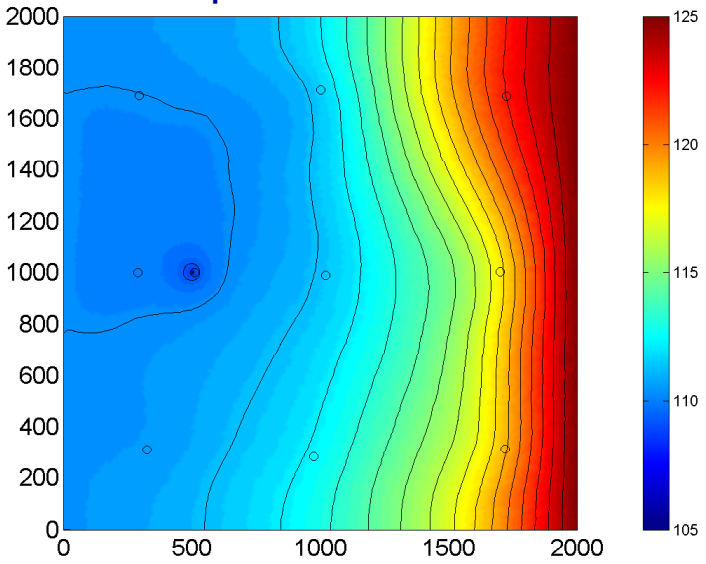
50 piézomètres



25 piézomètres



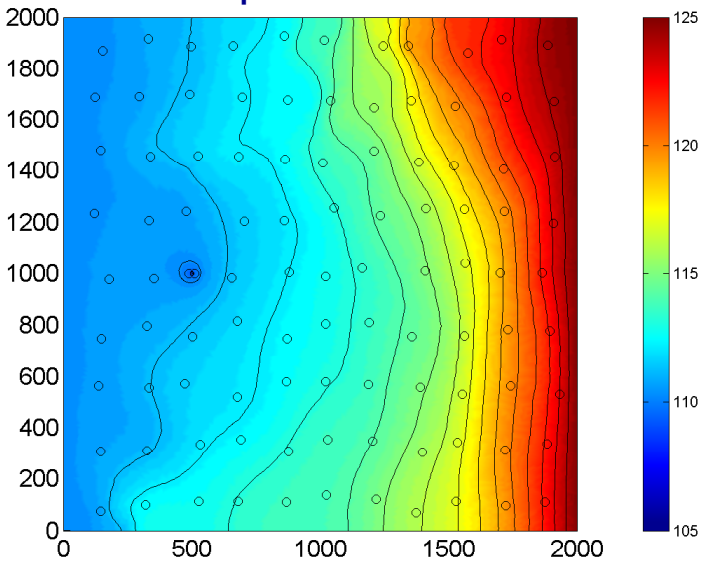
10 piézomètres



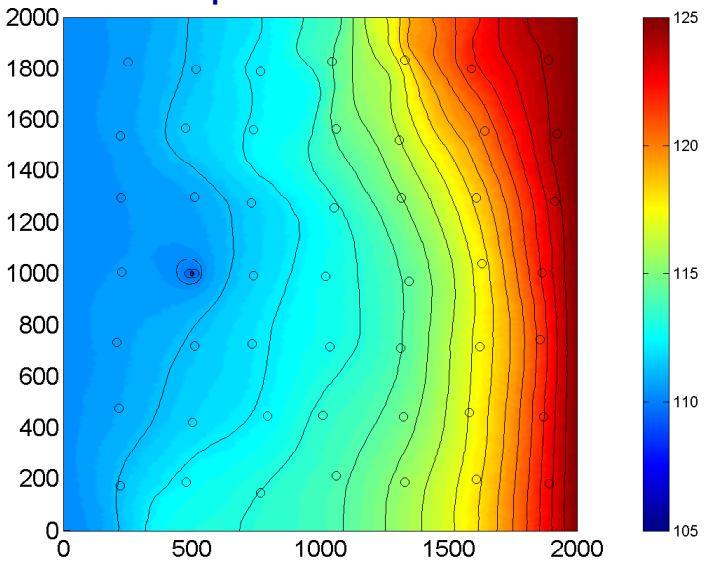
Champs de charges des scénarios 7 à 10

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

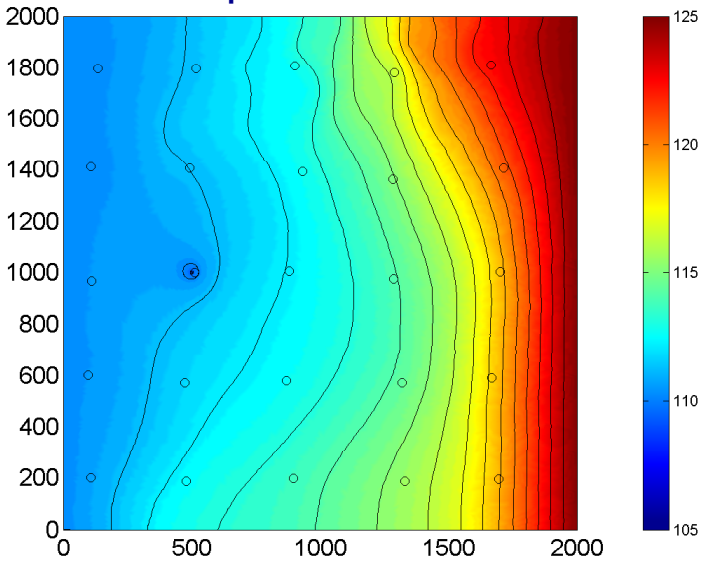
100 piézomètres



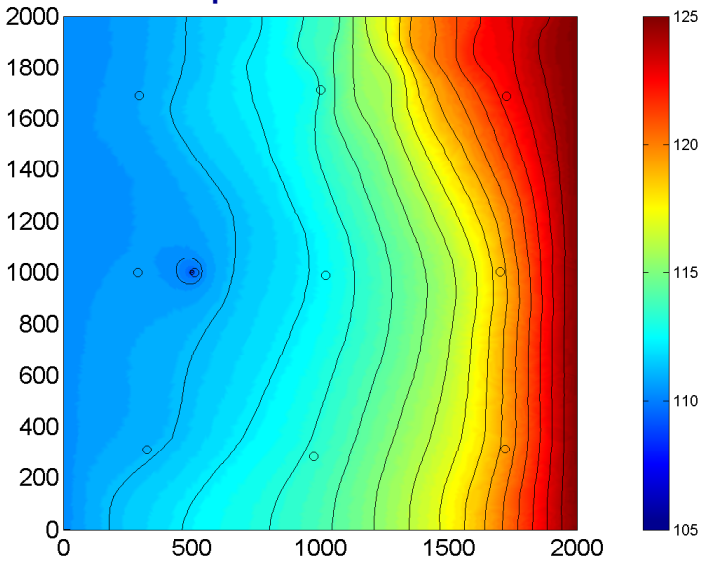
50 piézomètres



25 piézomètres



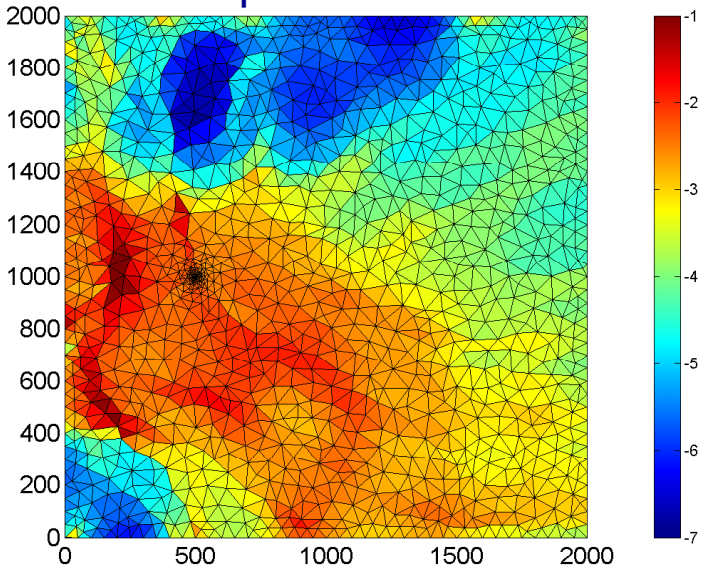
10 piézomètres



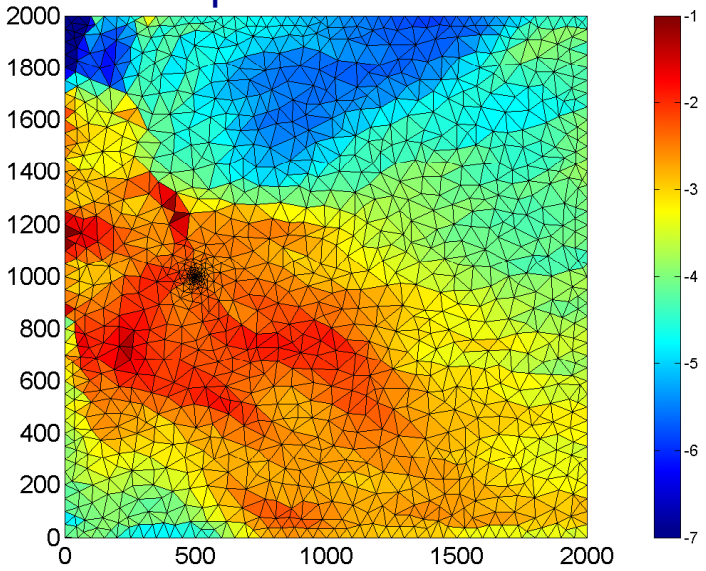
Champs de T pour les scénarios 2 à 5

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

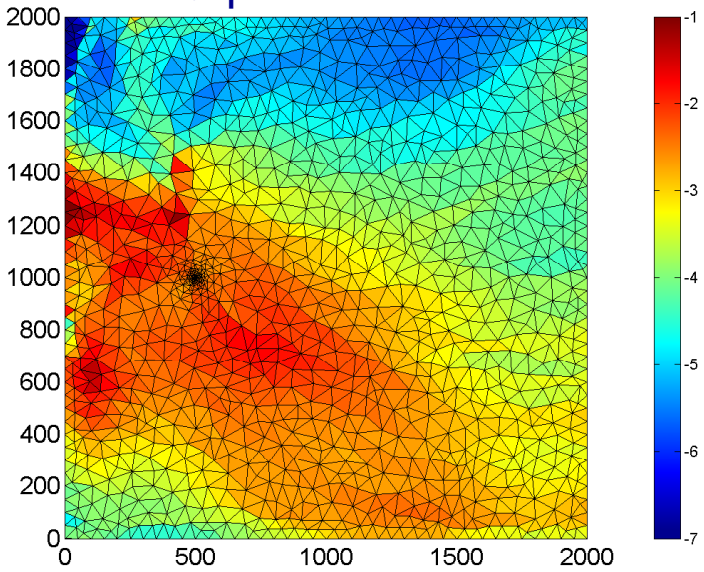
100 piézomètres



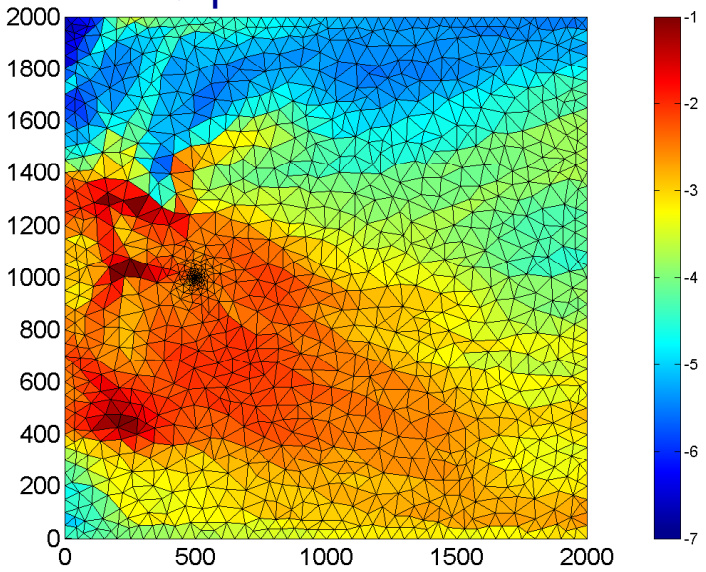
50 piézomètres



25 piézomètres



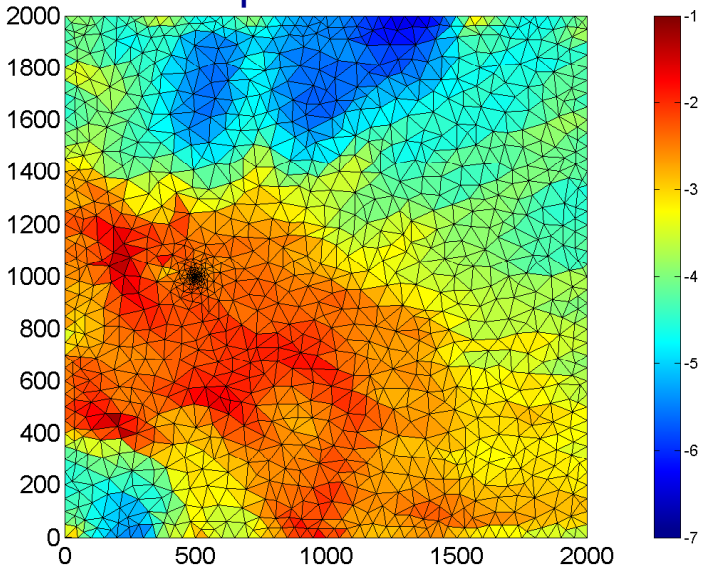
10 piézomètres



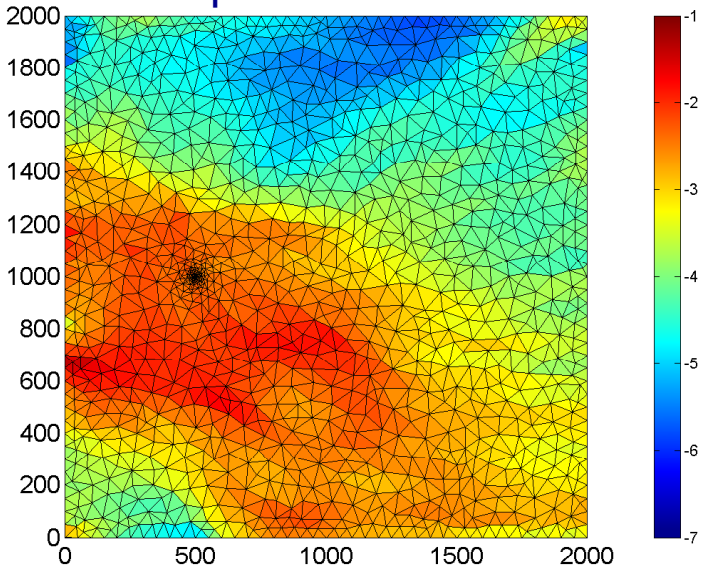
Champs de T pour les scénarios 7 à 10

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

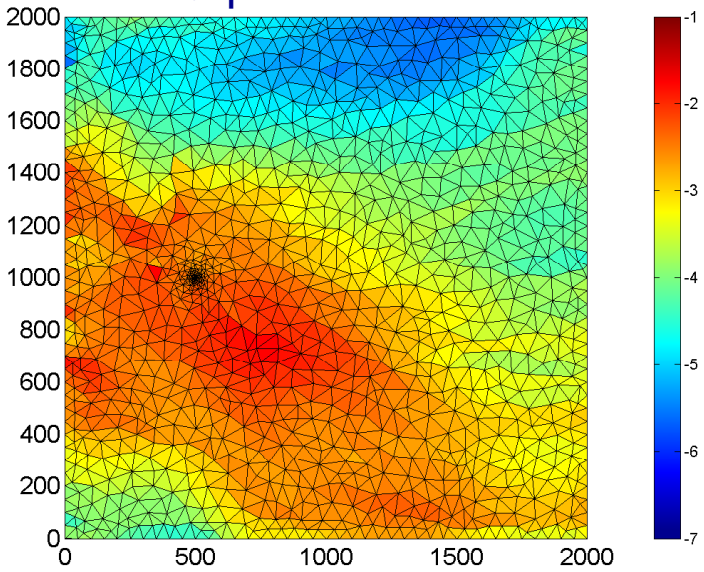
100 piézomètres



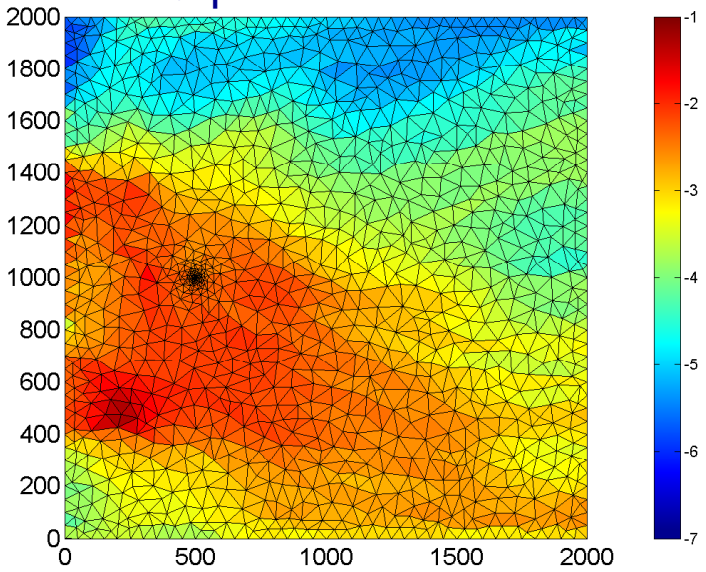
50 piézomètres



25 piézomètres



10 piézomètres



Statistiques d'erreur

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Erreurs de reconstruction et d'ajustement

Scénario piézométrique	$EMAE(Y^{30}, Y^R)$ $log_{10}(m^2/s)$	$EMAE(h^{30}_{Obs}, h^R_{Obs})$ (m)	$EMAE(h^{30}, \hat{h})$ (m)
1 (∞)	0.4100		
2(100)	0.5570		
3 (50)	0.5495		
4 (25)	0.5667		
5 (10)	0.5749		
6 (∞)	0.3857		
7(100)	0.4930		
8 (50)	0.4921		
9 (25)	0.5125		
10(10)	0.5307		

1. La reconstruction bénéficie d'une meilleure caractérisation de h
2. La reconstruction est meilleure en régime transitoire

Statistiques d'erreur

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Erreurs de reconstruction et d'ajustement

Scénario piézométrique	$EMAE(Y^{30}, Y^R)$ $log_{10}(m^2/s)$	$EMAE(h^{30}_{Obs}, h^R_{Obs})$ (m)	$EMAE(h^{30}, \hat{h})$ (m)
1 (∞)	0.4100	0.0291	
2(100)	0.5570	0.0364	
3 (50)	0.5495	0.0354	
4 (25)	0.5667	0.0387	
5 (10)	0.5749	0.0495	
6 (∞)	0.3857	0.0769	
7(100)	0.4930	0.0852	
8 (50)	0.4921	0.0942	
9 (25)	0.5125	0.0948	
10(10)	0.5307	0.1243	

1. La reconstruction bénéficie d'une meilleure caractérisation de h
2. La reconstruction est meilleure en régime transitoire
3. Plus il y a de charges à caler, plus performante est la méthode

Statistiques d'erreur

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Erreurs de reconstruction et d'ajustement

Scénario piézométrique	$EMAE(Y^{30}, Y^R)$ $log_{10}(m^2/s)$	$EMAE(h^{30}_{Obs}, h^R_{Obs})$ (m)	$EMAE(h^{30}, \hat{h})$ (m)
1 (∞)	0.4100	0.0291	0.0276
2(100)	0.5570	0.0364	0.0358
3 (50)	0.5495	0.0354	0.0337
4 (25)	0.5667	0.0387	0.0380
5 (10)	0.5749	0.0495	0.0457
6 (∞)	0.3857	0.0769	0.0732
7(100)	0.4930	0.0852	0.0769
8 (50)	0.4921	0.0942	0.0833
9 (25)	0.5125	0.0948	0.0854
10(10)	0.5307	0.1243	0.1022

1. La reconstruction bénéficie d'une meilleure caractérisation de h
2. La reconstruction est meilleure en régime transitoire
3. Plus il y a de charges à caler, plus performante est la méthode
4. $EMAE(h^{30}_{Obs}, h^R_{Obs})$ et $EMAE(h^{30}, \hat{h})$ sont comparables

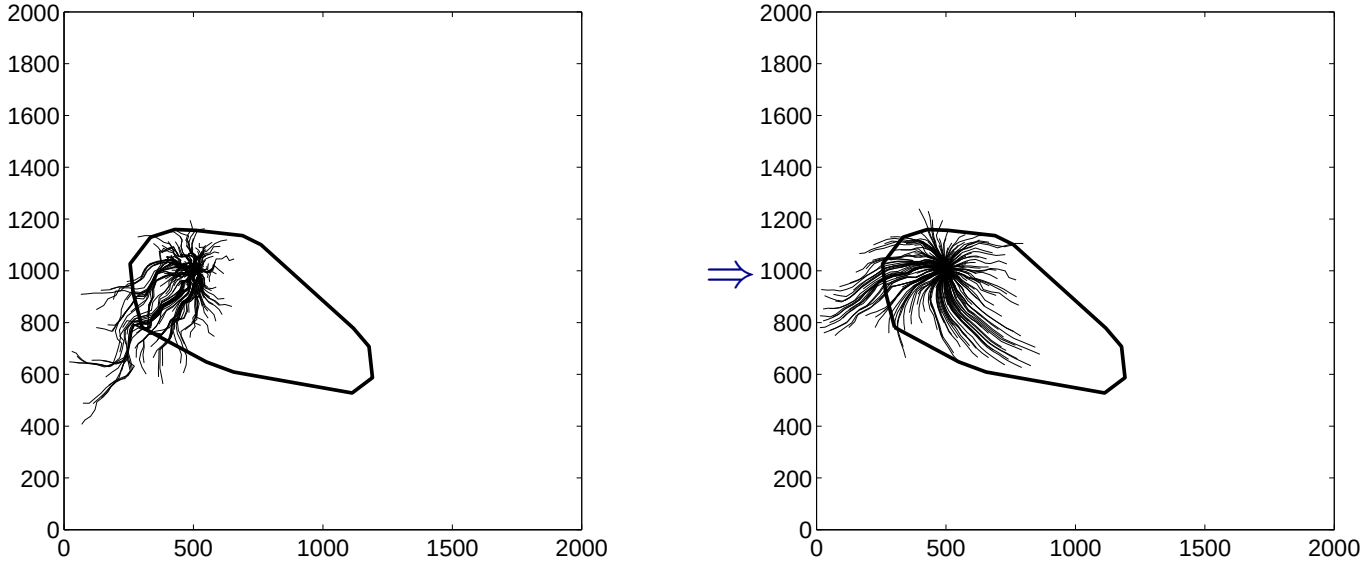
Périmètre de protection stochastique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Périmètre stochastique $\Rightarrow P_{CAP}(x, y; t \leq 3ans)$

(T^0, h^0) $\Downarrow$ Trajectographie avant inversion

(T^{30}, h^{30}) $\Downarrow$ Trajectographie après inversion



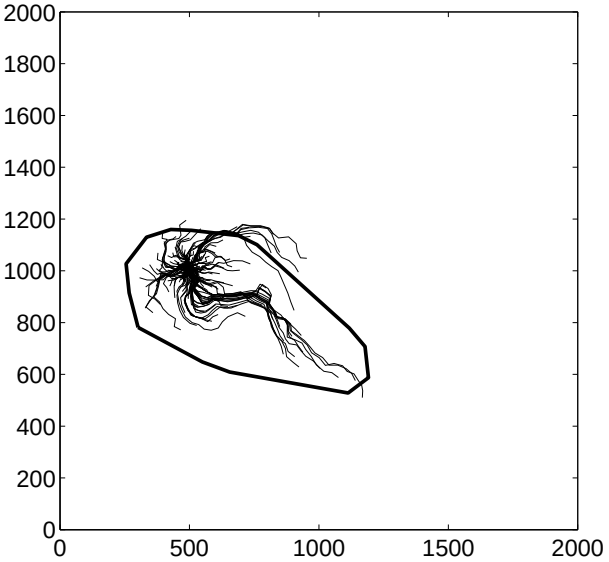
Inversion A

Périmètre de protection stochastique

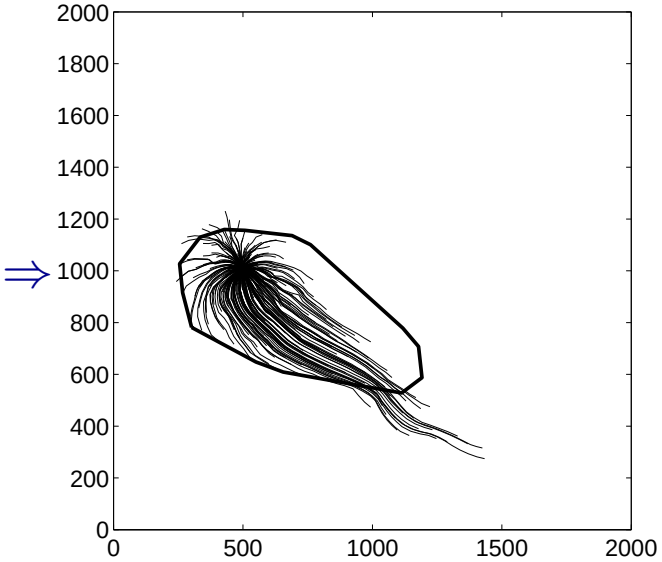
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Périmètre stochastique $\Rightarrow P_{CAP}(x, y; t \leq 3ans)$

(T^0, h^0) $\Downarrow$ Trajectographie avant inversion



(T^{30}, h^{30}) $\Downarrow$ Trajectographie après inversion



$\Rightarrow$

Inversion B

Périmètre de protection stochastique

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
- Scénarios étudiés
- $\hat{h}$ en régime permanent
- $\hat{h}$ en régime transitoire
- Champs de T obtenus
- Statistiques d'erreur
- Périmètre stochastique
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion

Périmètre stochastique $\Rightarrow P_{CAP}(x, y; t \leq 3ans)$

(T^0, h^0)

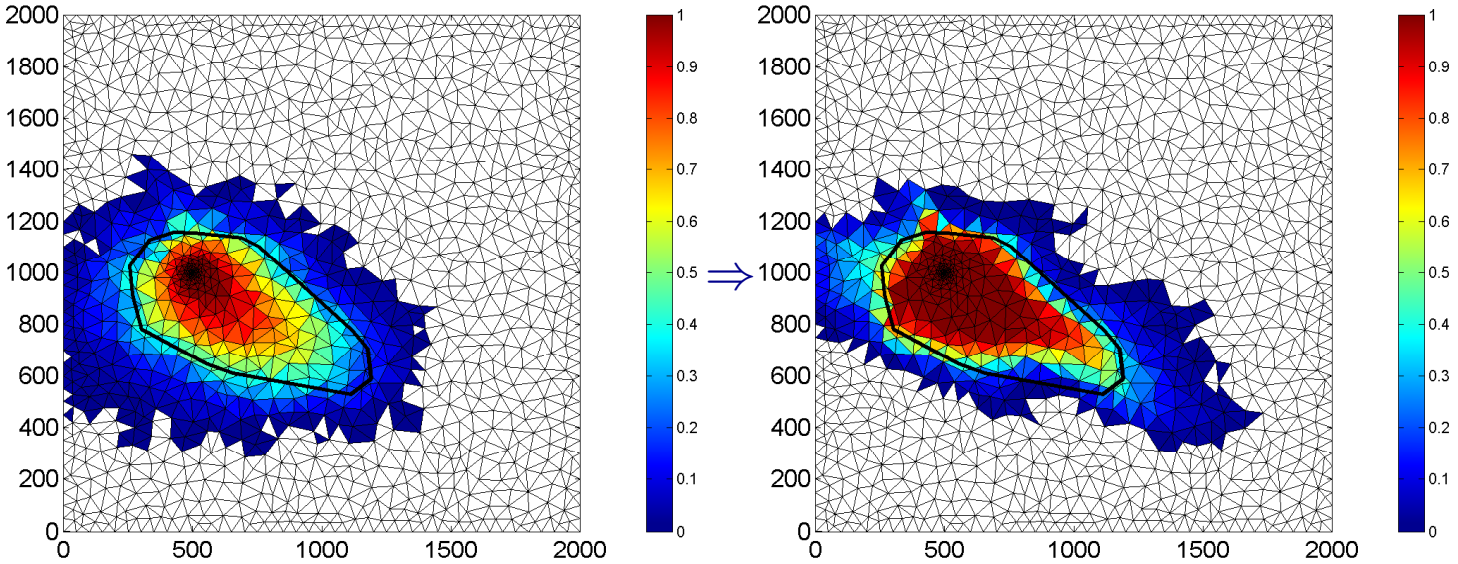
$\Downarrow$

Périmètre avant inversion

(T^{30}, h^{30})

$\Downarrow$

Périmètre après inversion

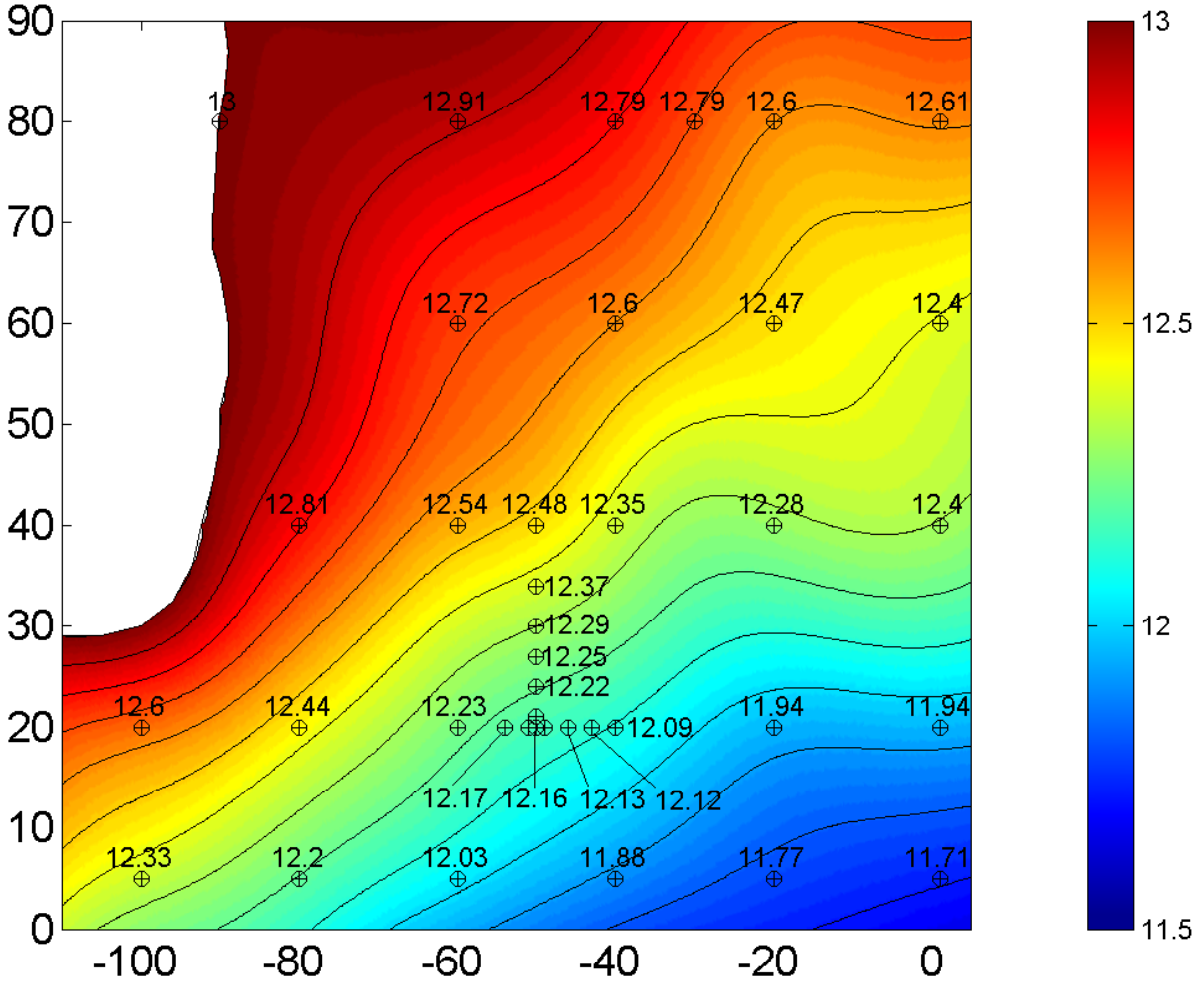


Probabilités de capture pour toutes les inversions

Le site de Lachenaie

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
- Résultats de l'inversion
Inversion 3D
Conclusion

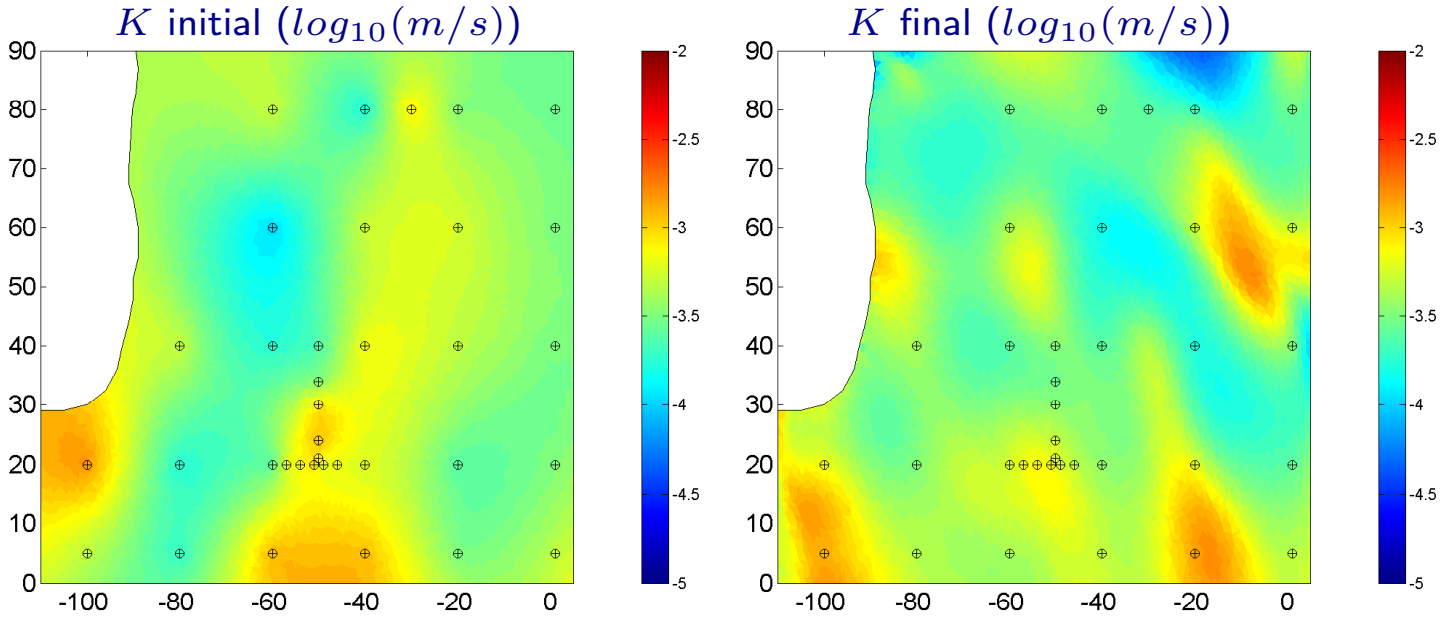
Carte piézométrique (m)



D'après le relevé de Gagnon (1998) le 23 novembre 1996

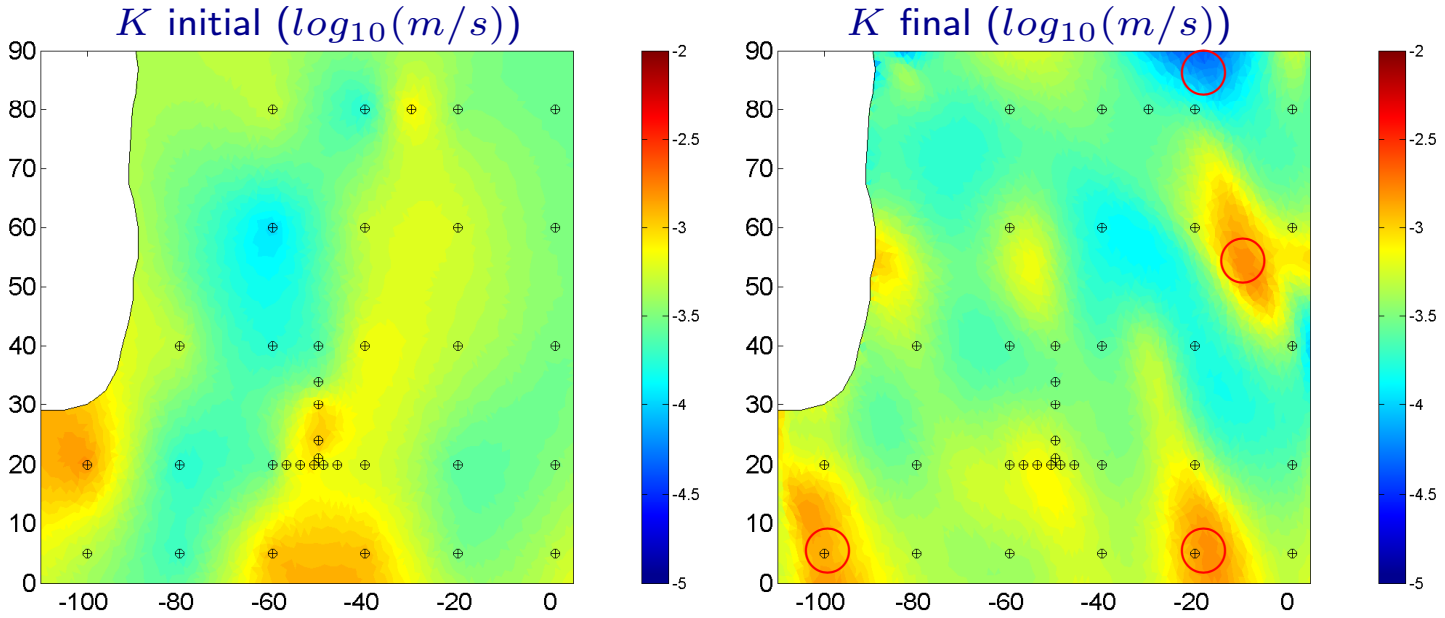
Champs obtenus après inversion

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
- Résultats de l'inversion
Inversion 3D
Conclusion



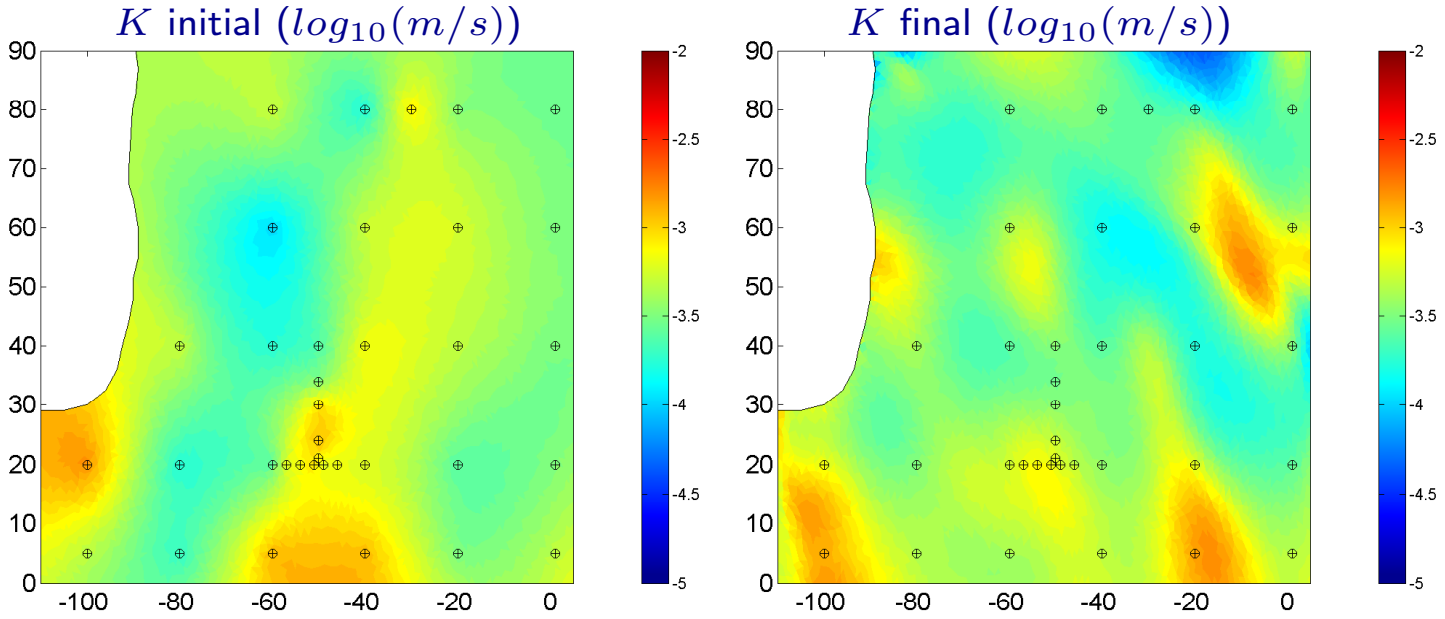
Champs obtenus après inversion

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
- Résultats de l'inversion
Inversion 3D
Conclusion



Champs obtenus après inversion

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
- Résultats de l'inversion
Inversion 3D
Conclusion

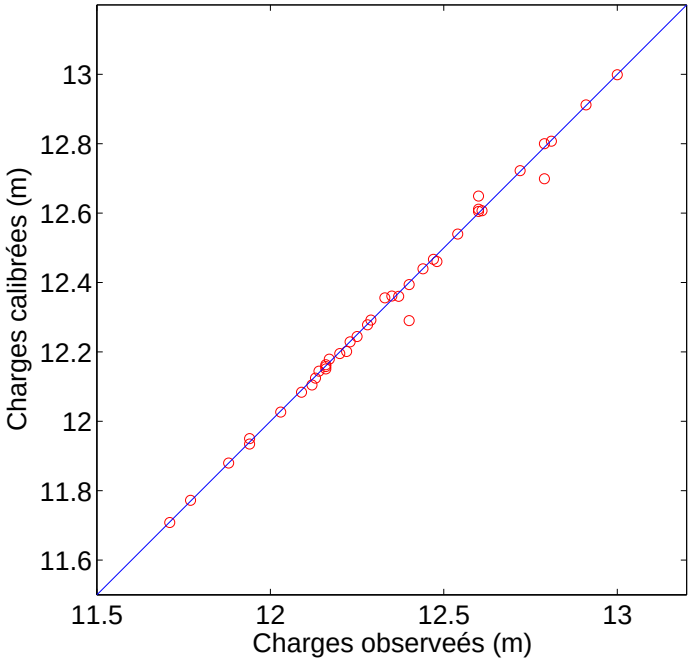


Conductivité hydraulique moyenne d'après :

- Essais *in situ* (Gagnon, 1998) $10^{-3.36} m/s$
- Essais de pompage (Chapuis et al., 2005) $10^{-3.14} m/s$
- Levé radar (Gloaguen et al., 2001) $10^{-3.13} m/s$
- Inversion (cette étude) $10^{-3.47} m/s$

Comparaison aux points de mesures

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
- Résultats de l'inversion
Inversion 3D
Conclusion

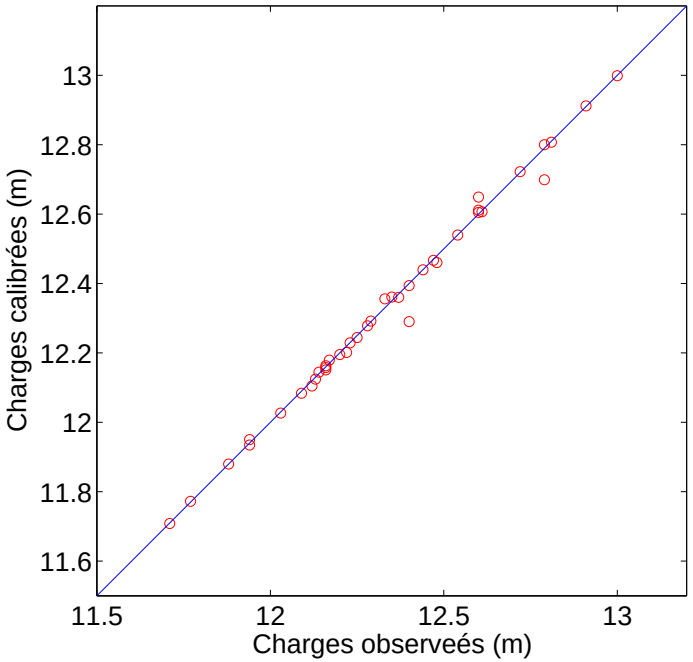


$$MAE(h_{obs}^{20}, h_{obs}^{R}) = 1.2cm$$

3 mesures $\Rightarrow 52\%$ de l'erreur

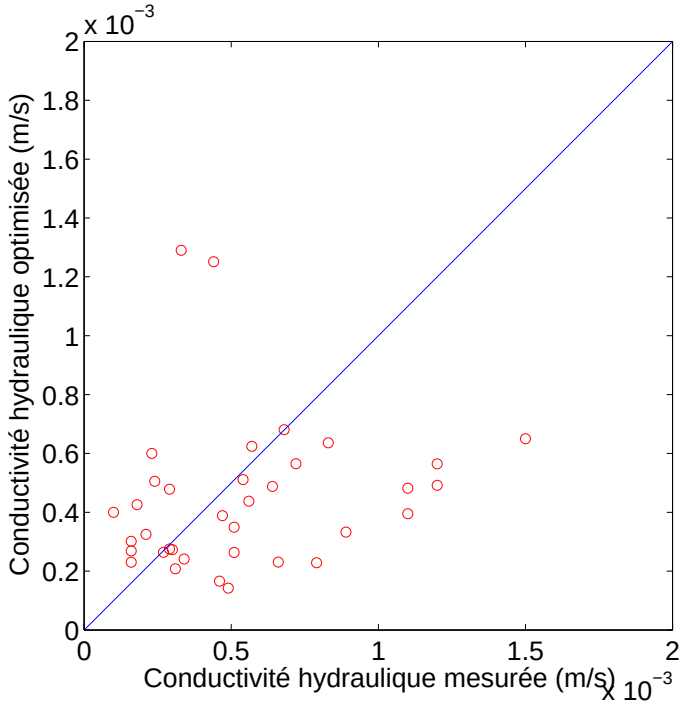
Comparaison aux points de mesures

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
- Résultats de l'inversion
Inversion 3D
Conclusion



$MAE(h_{obs}^{20}, h_{obs}^{R}) = 1.2cm$

3 mesures $\Rightarrow$ 52% de l'erreur



$M(Y_{obs}^{20}, Y_{obs}) = 10^{0.0505} m/s$

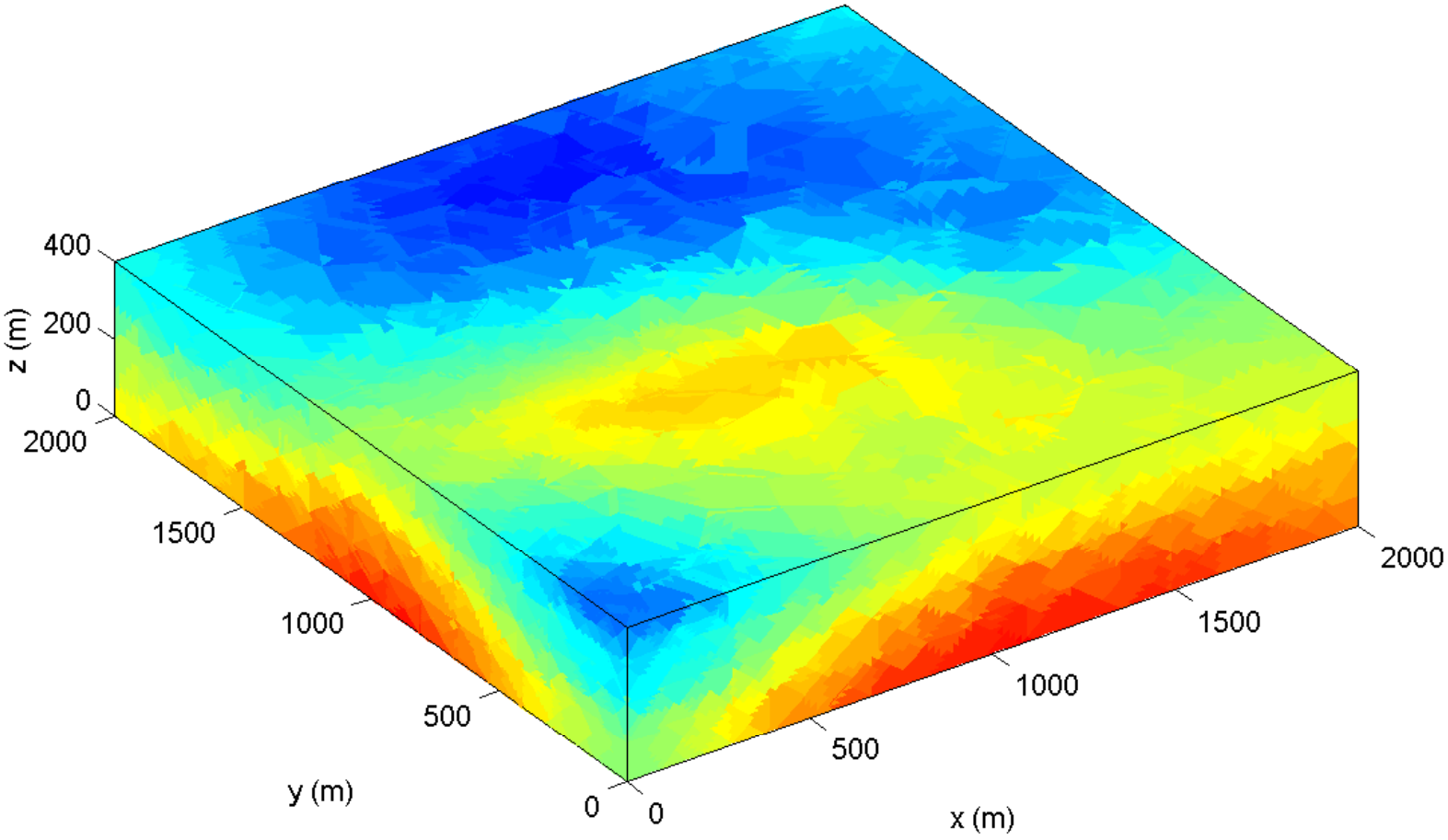
32 des 36 mesures

$0.33 \times K_{inv} \leq K_{obs} \leq 3 \times K_{inv}$

Modèle synthétique 3D

Conductivités hydrauliques de référence (m/s)

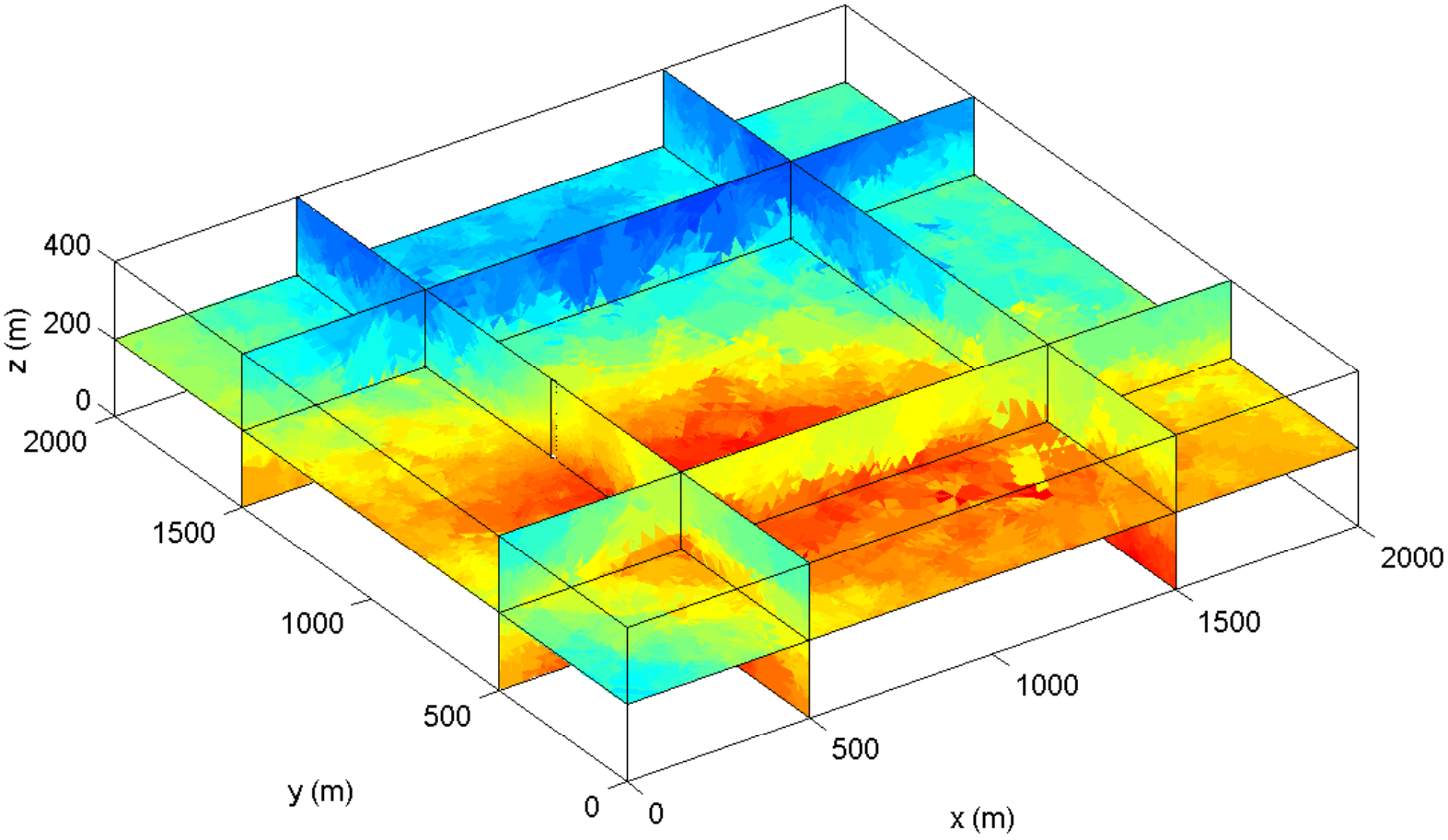
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Modèle synthétique 3D

Conductivités hydrauliques de référence (m/s)

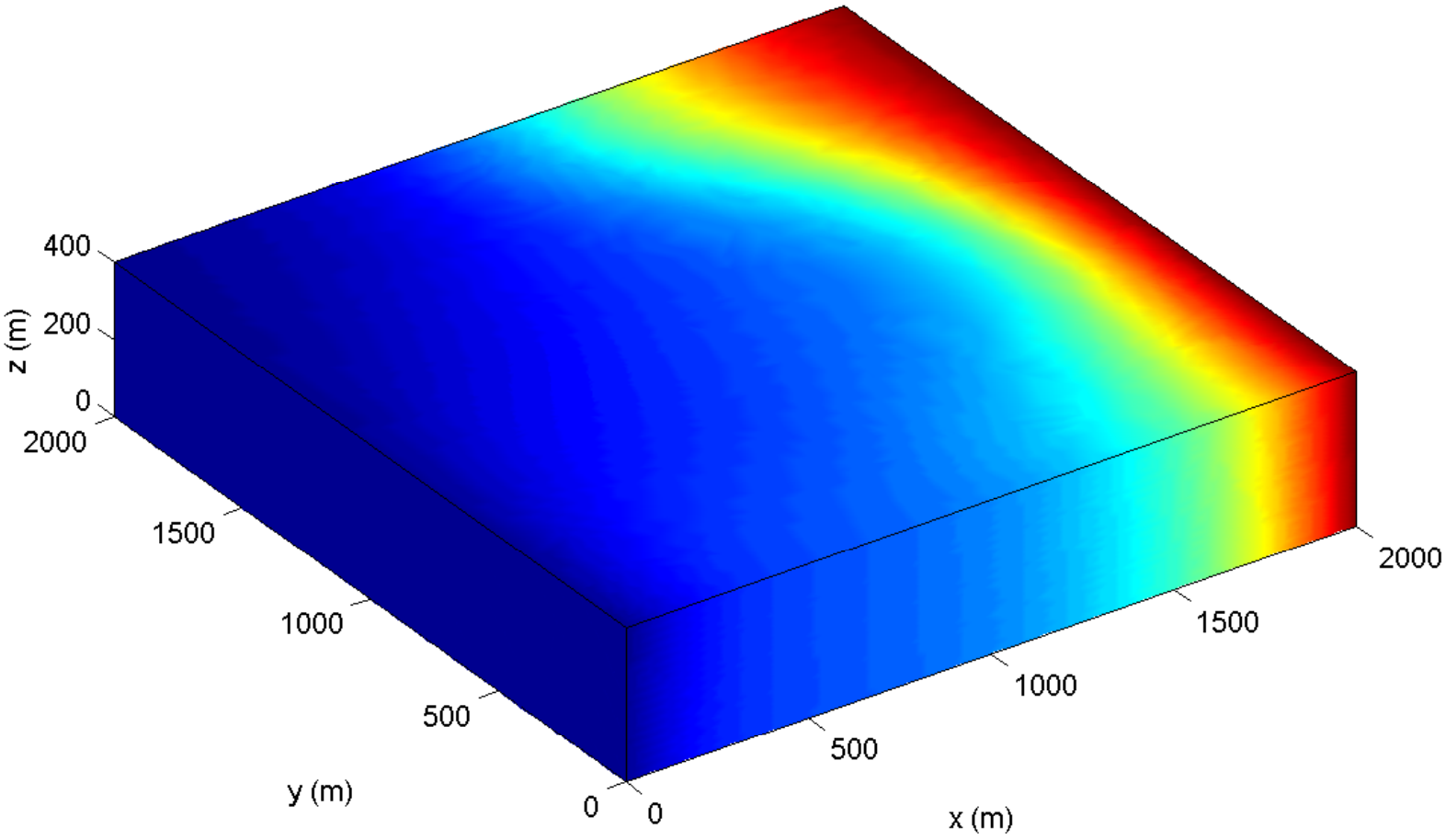
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Modèle synthétique 3D

Charges hydrauliques de référence (m)

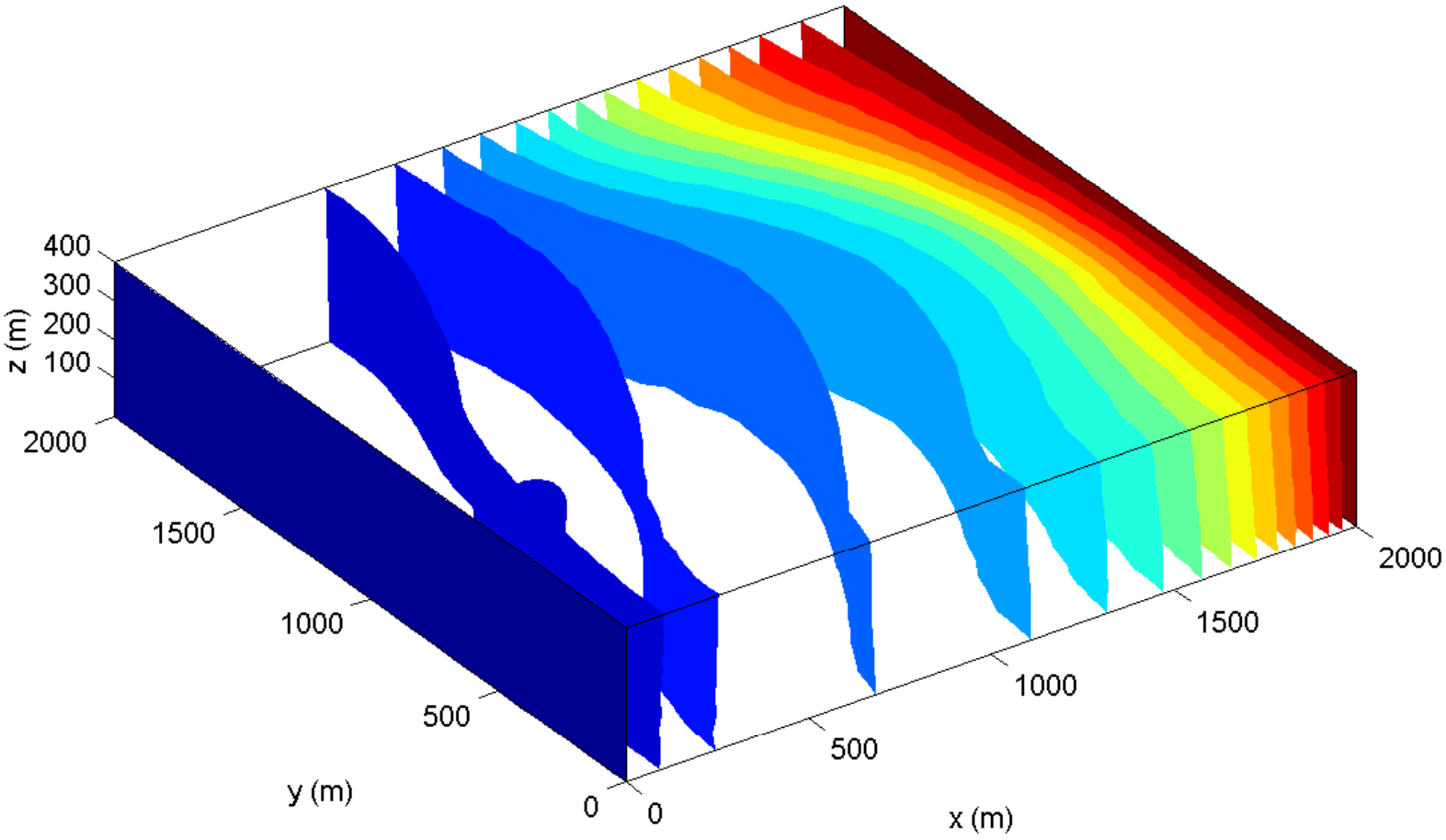
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Modèle synthétique 3D

Charges hydrauliques de référence (m)

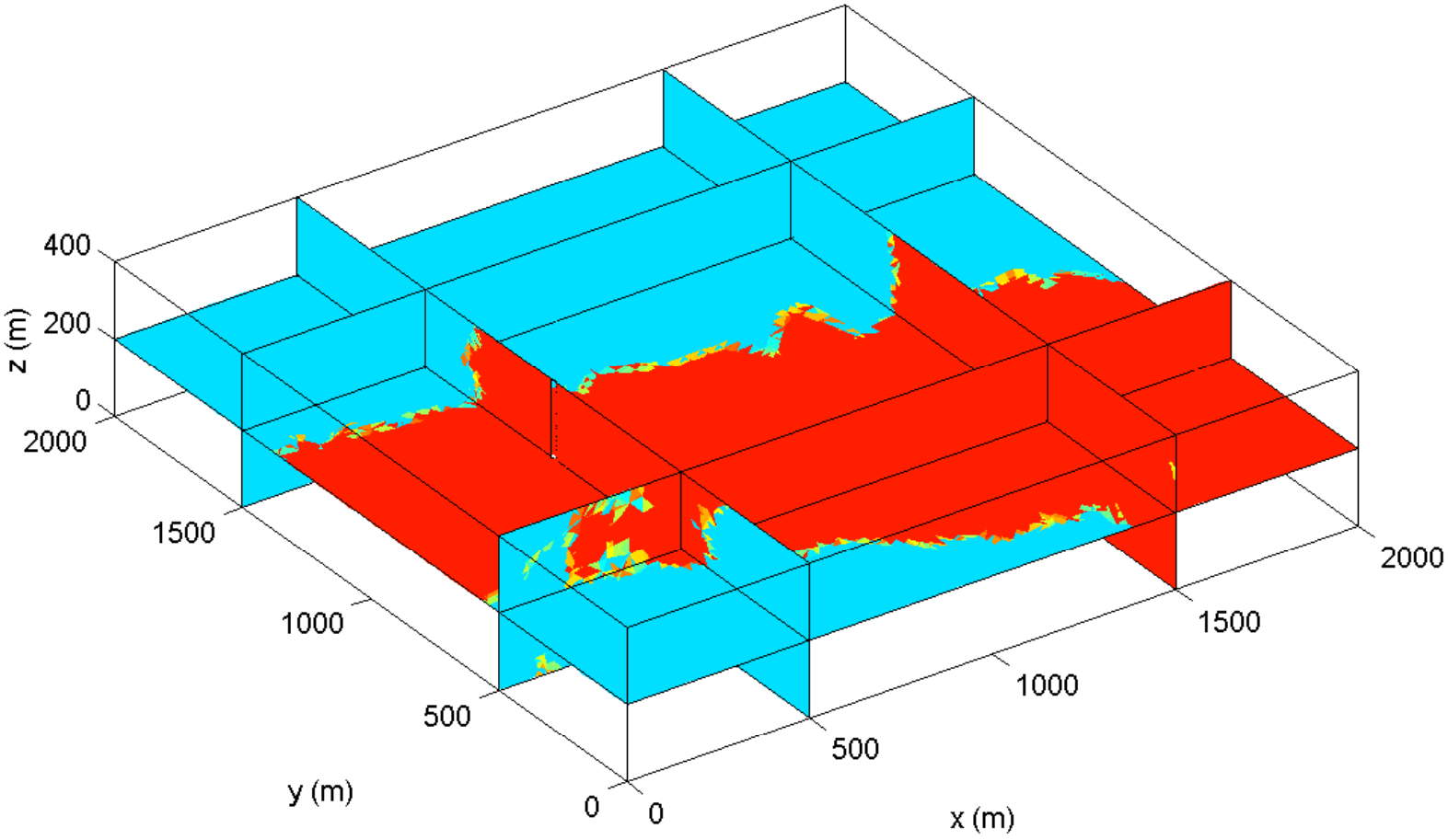
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques initiales (m/s)

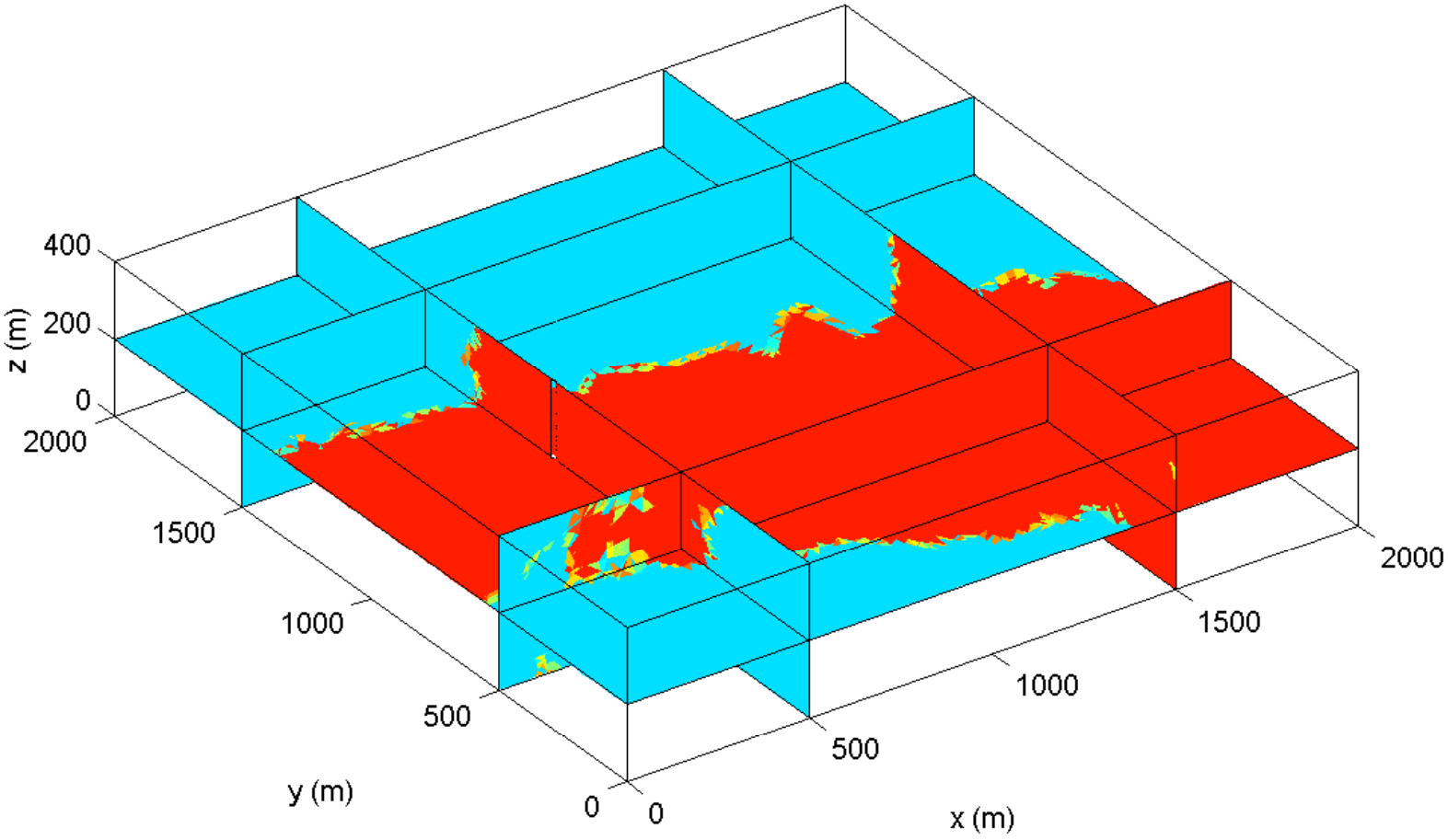
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

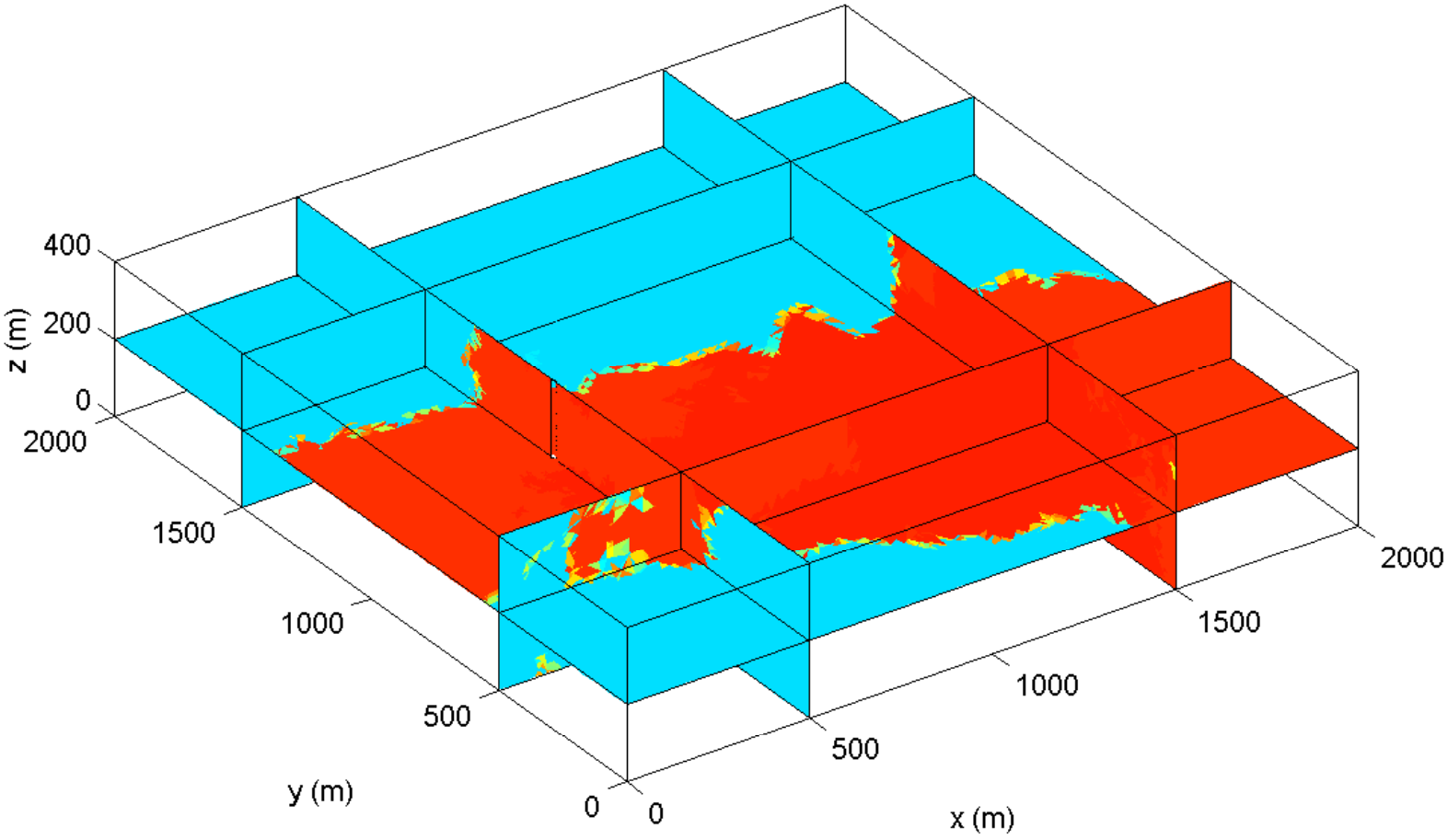
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

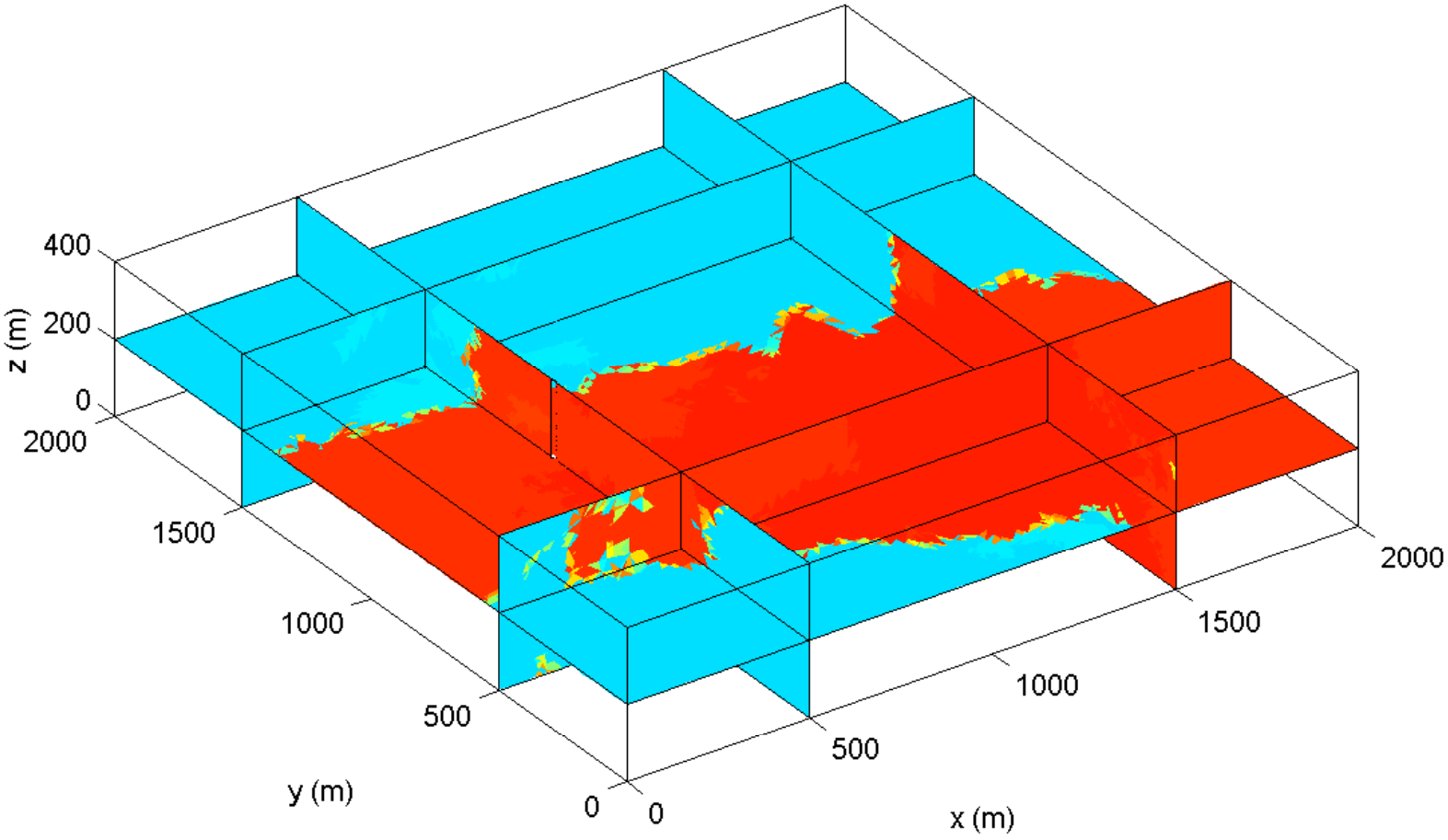
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

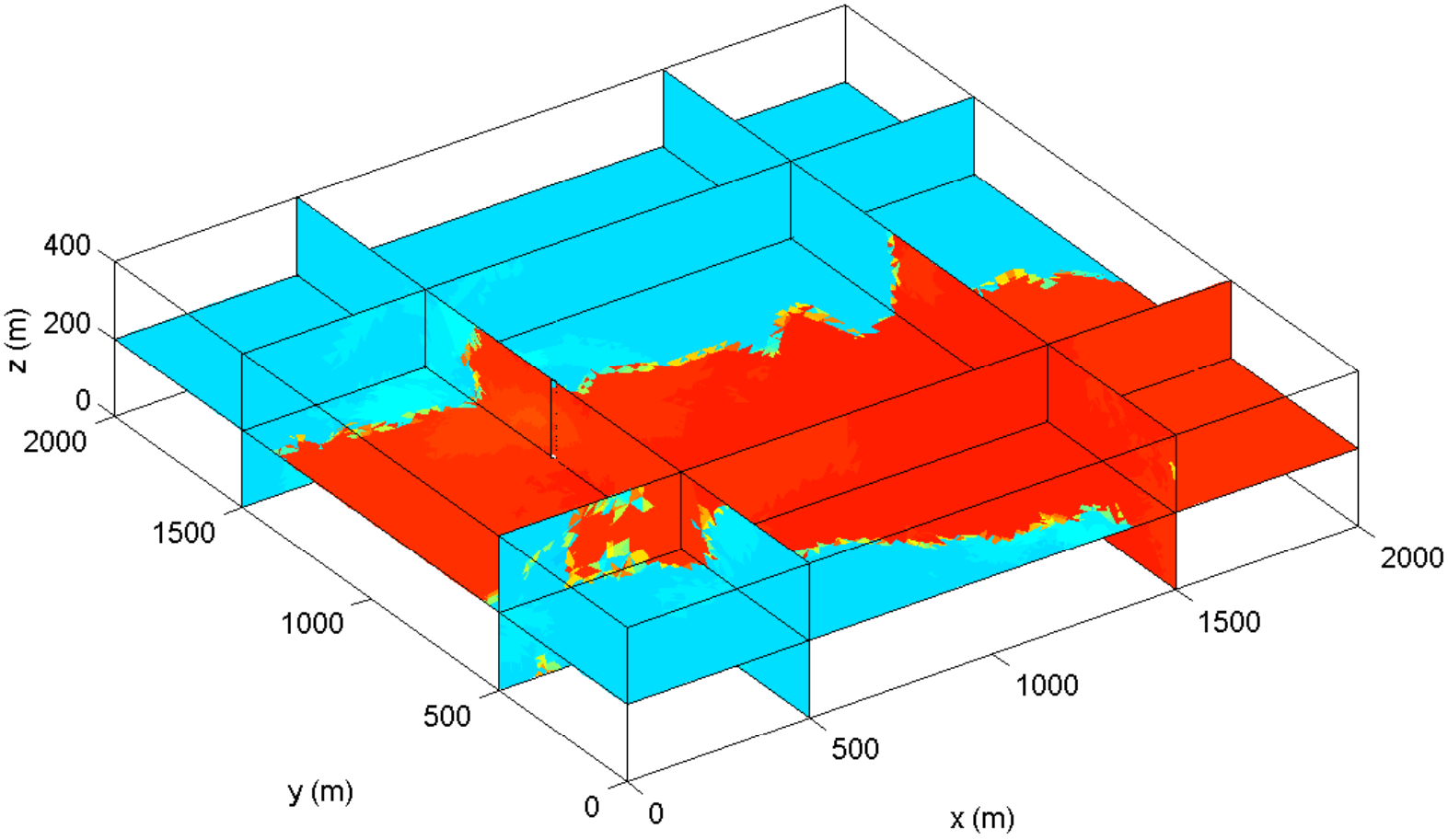
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

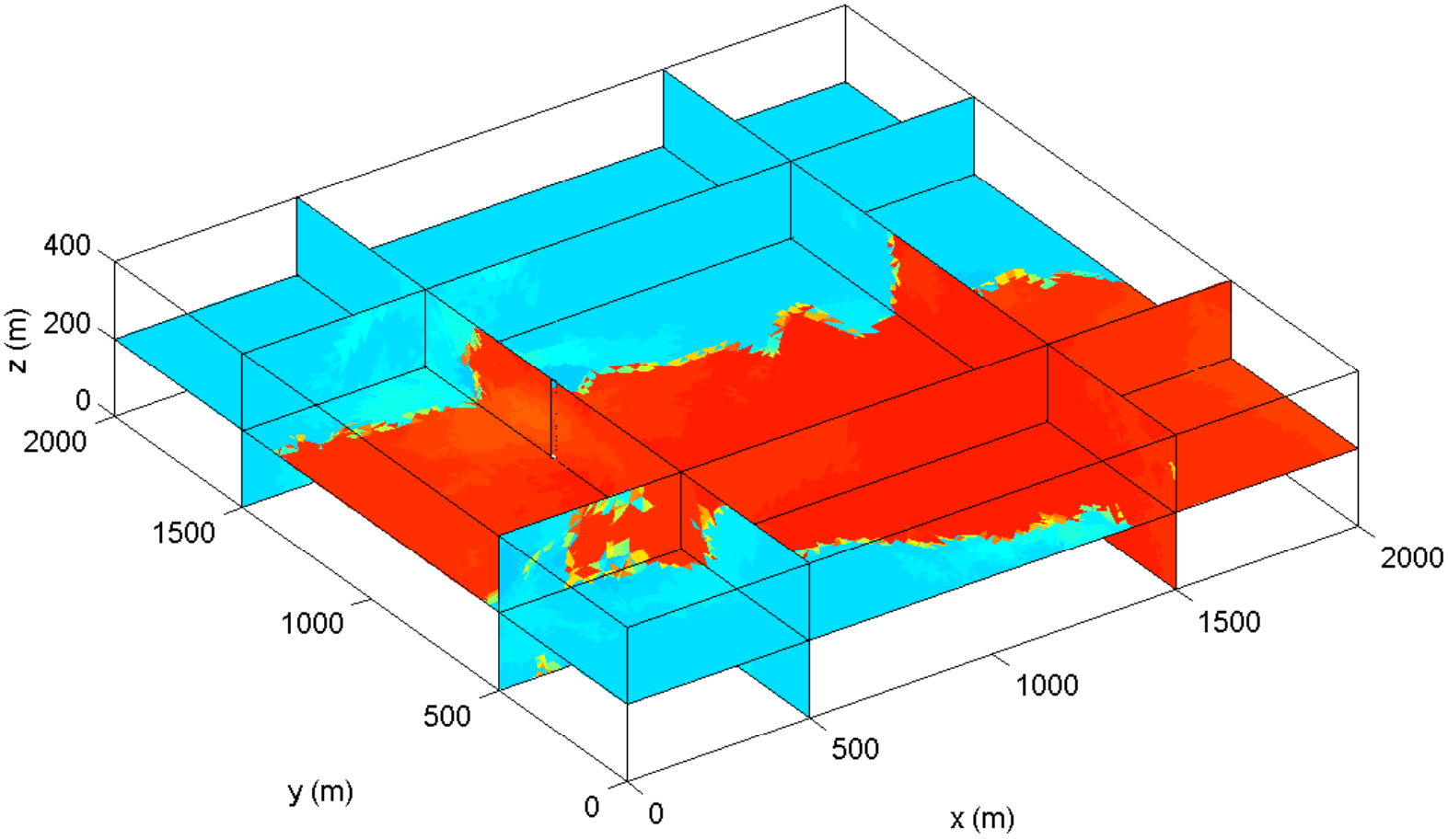
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

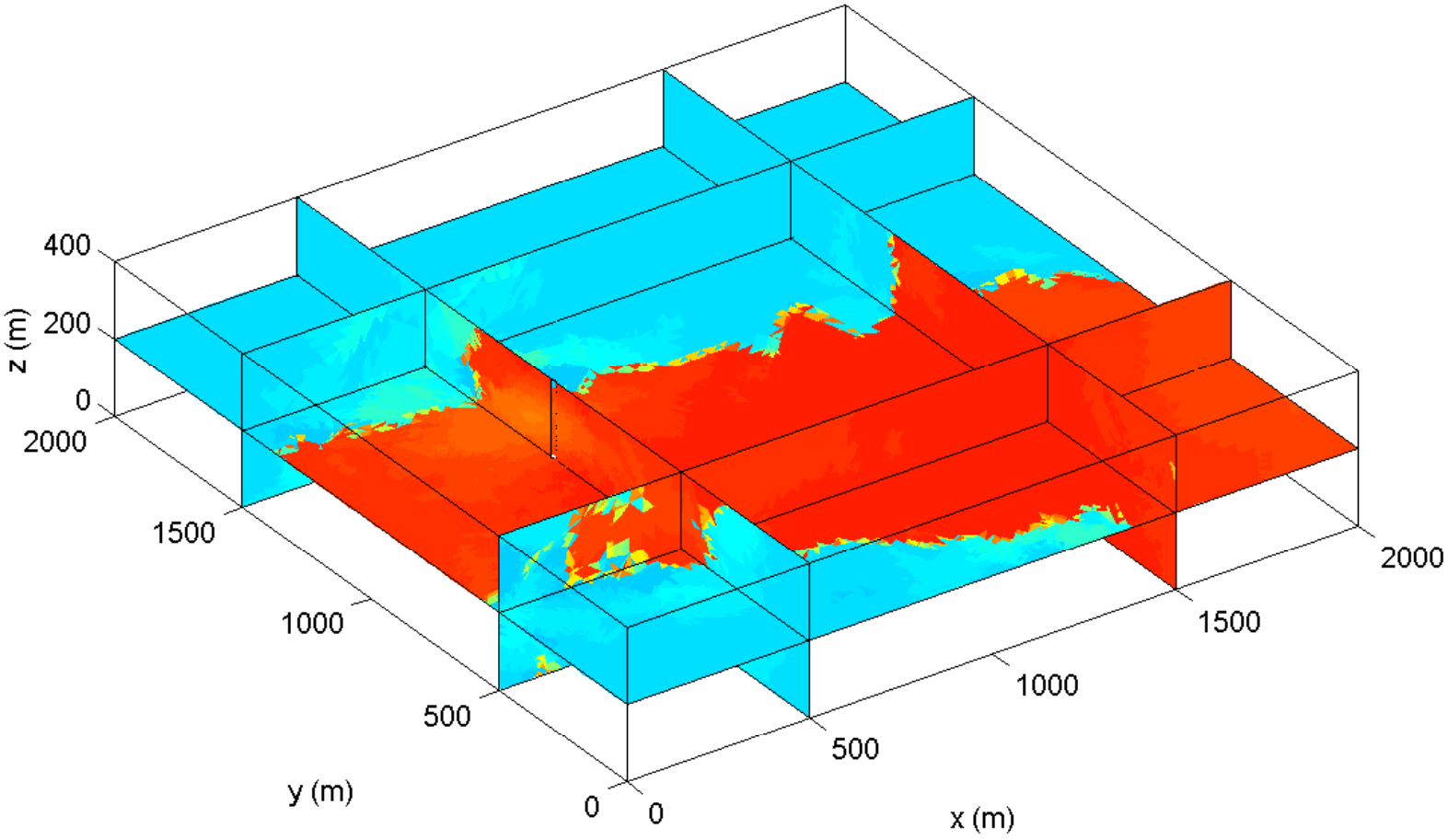
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

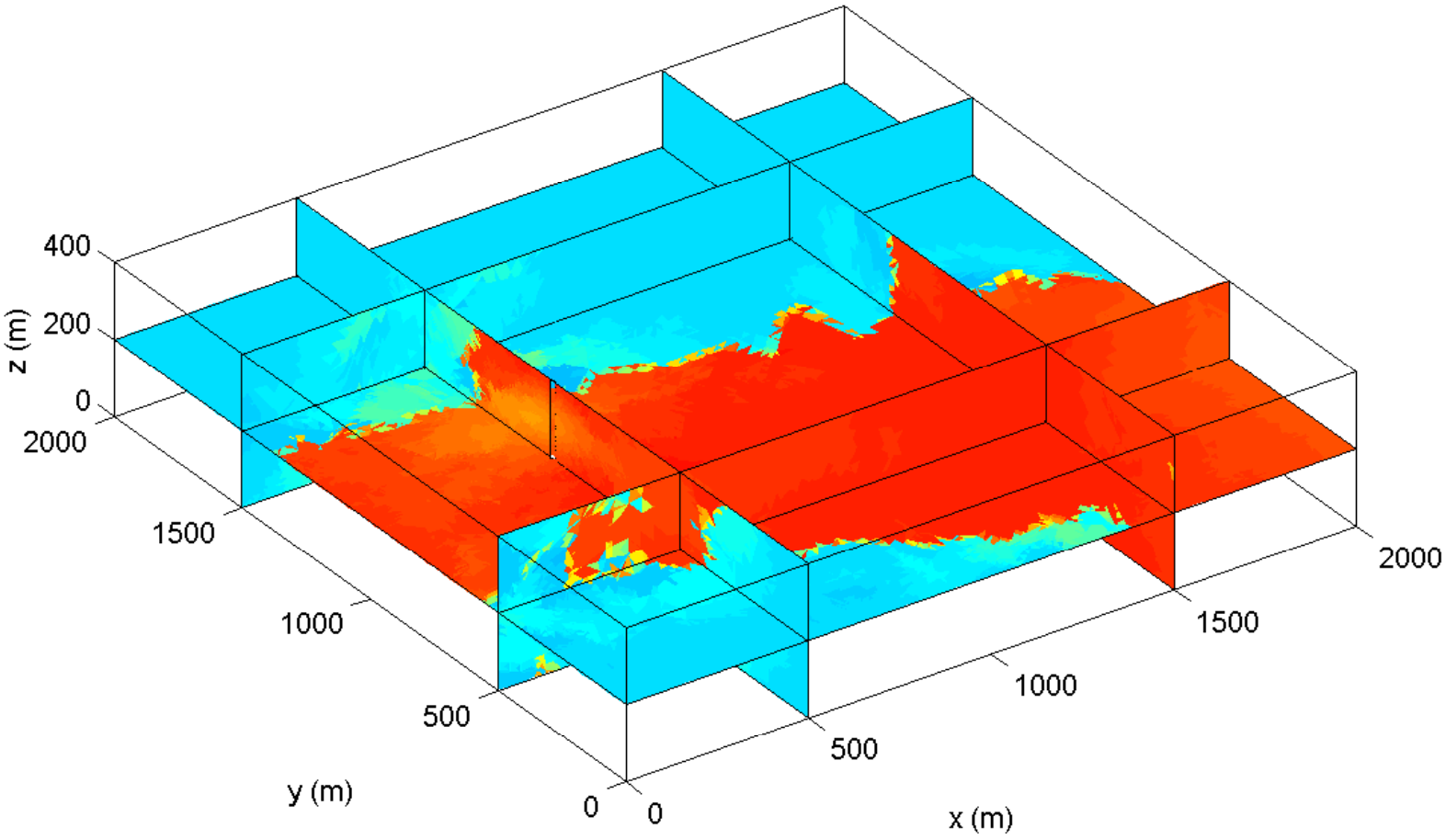
Conductivités hydrauliques (m/s)

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

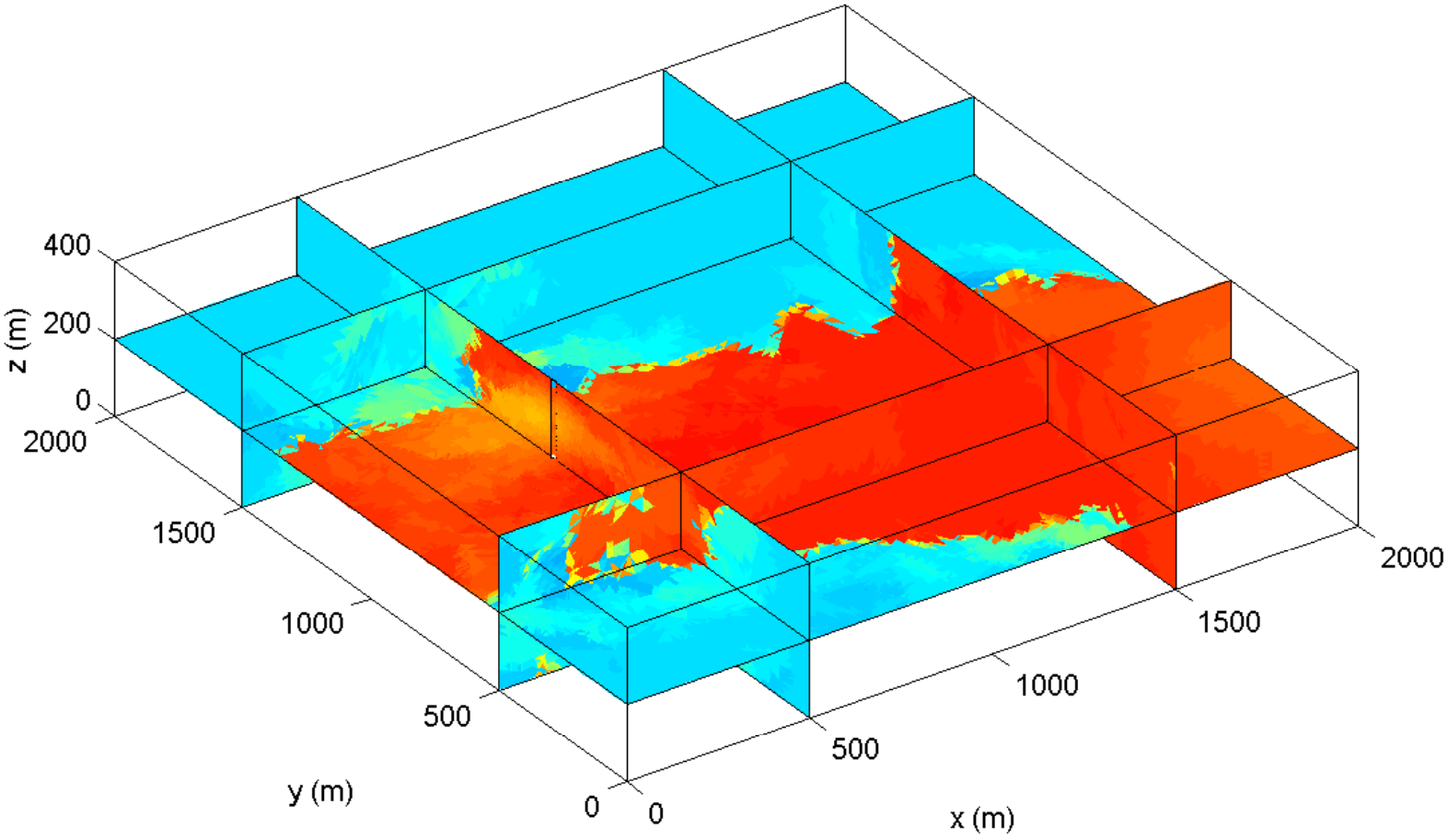


Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

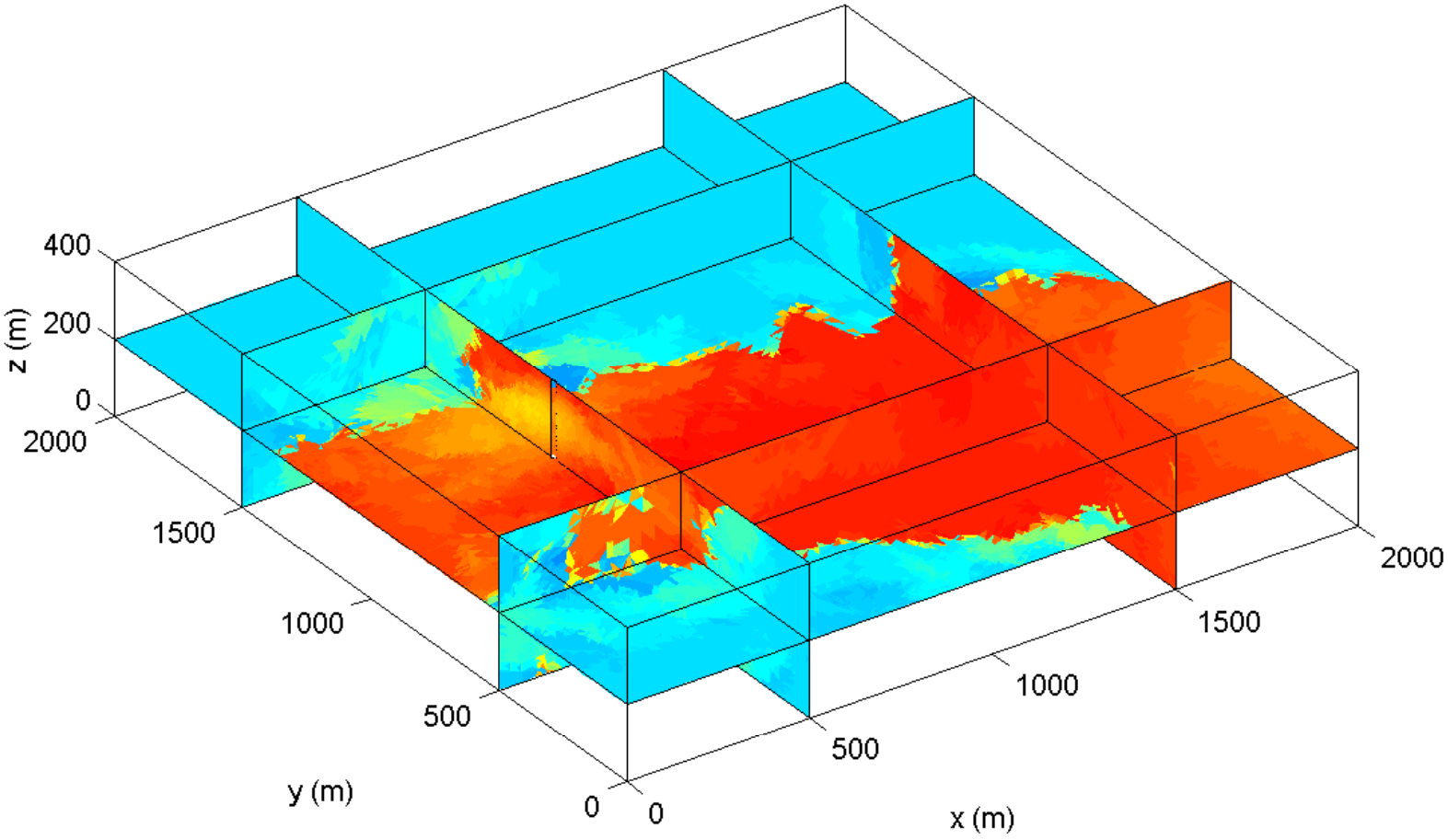
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

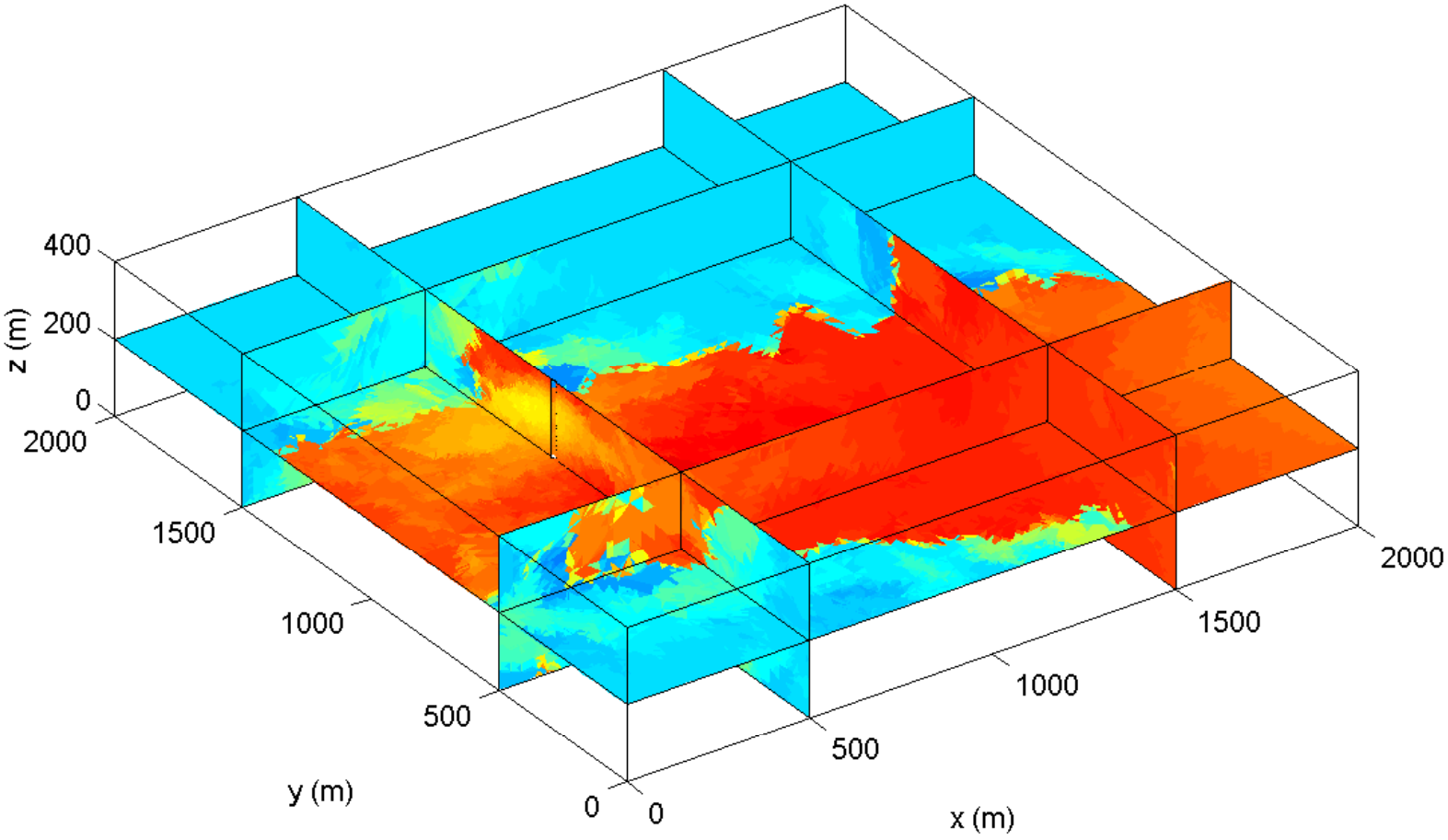
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

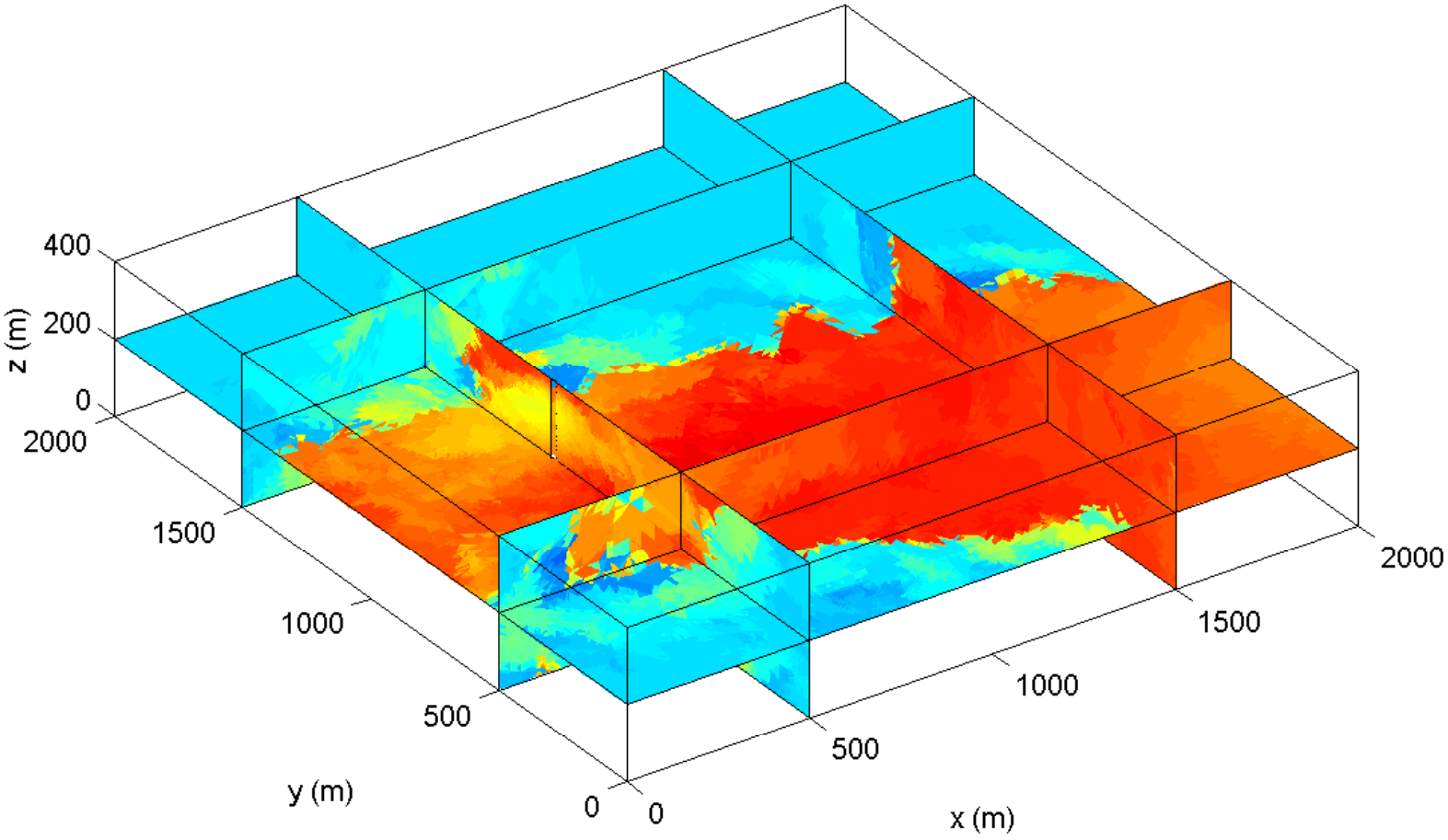
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

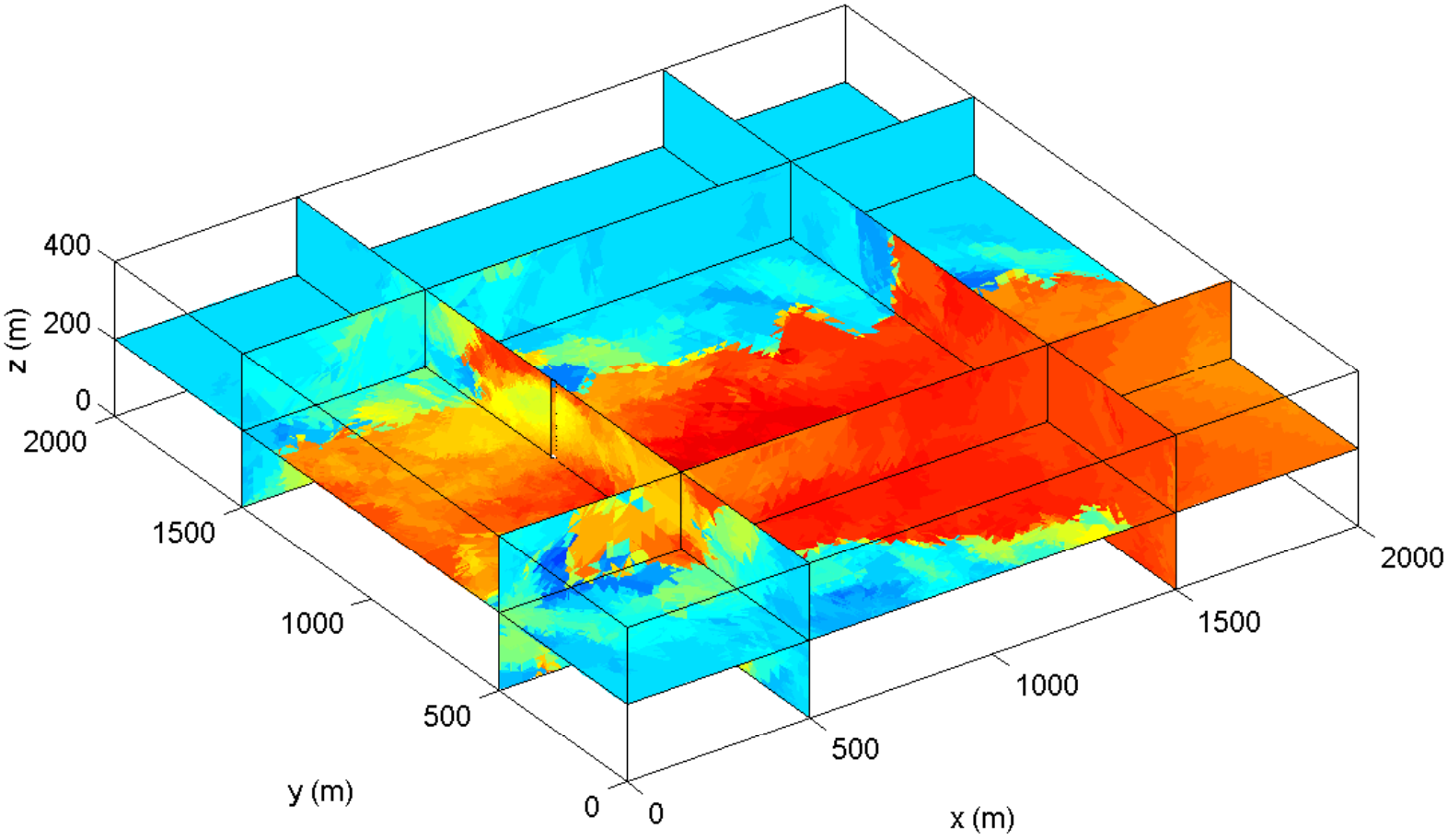
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

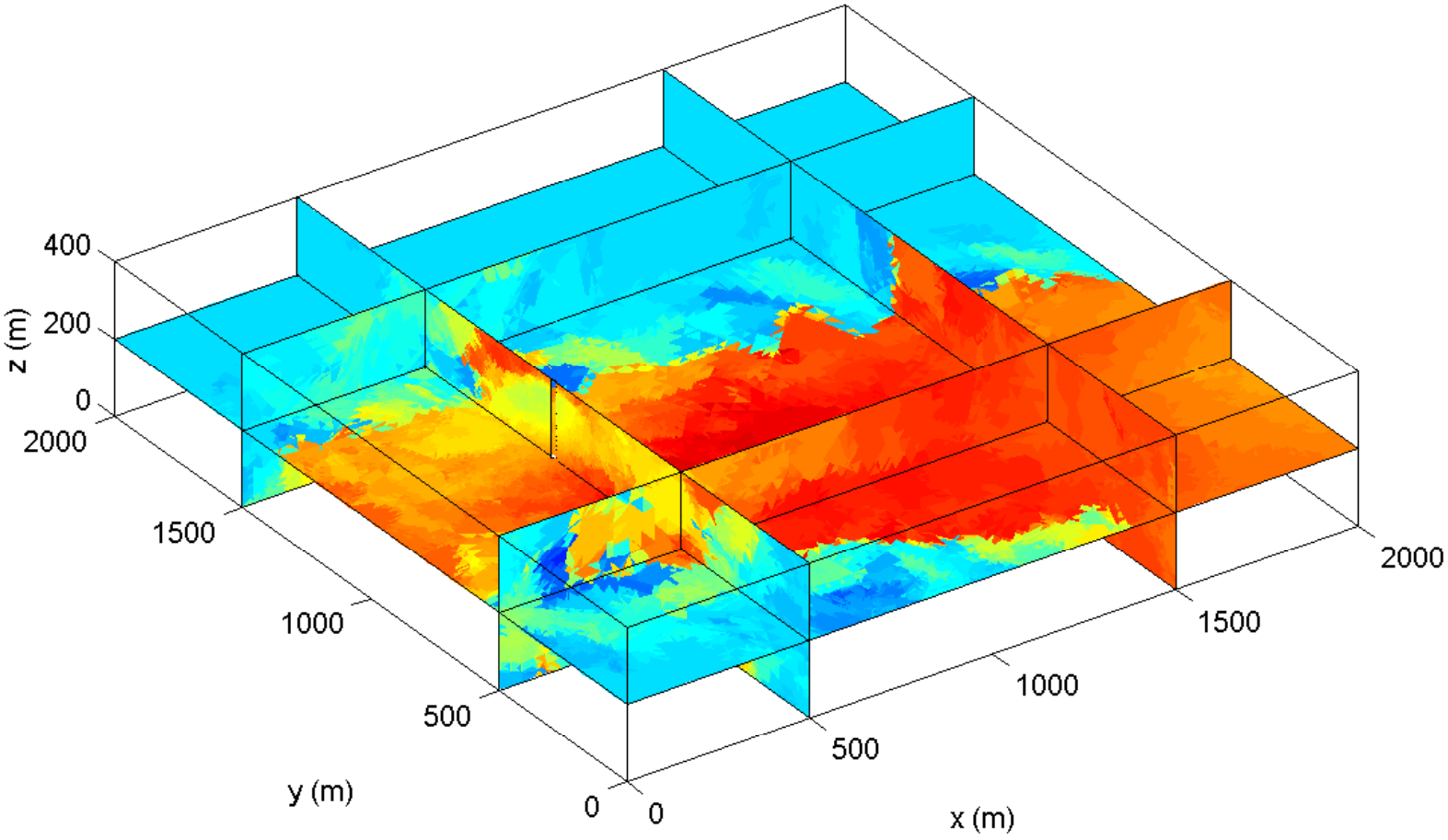
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

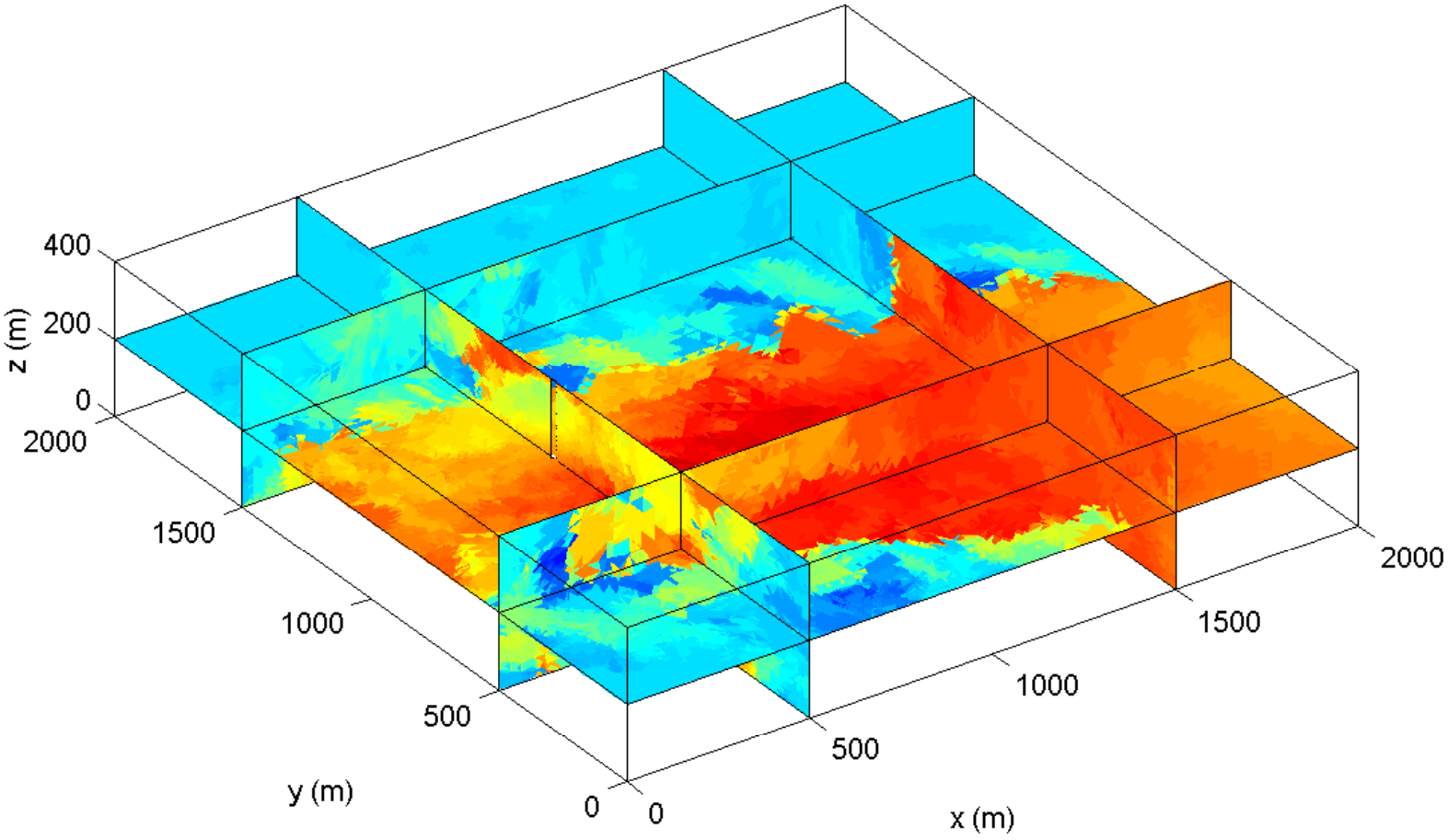
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

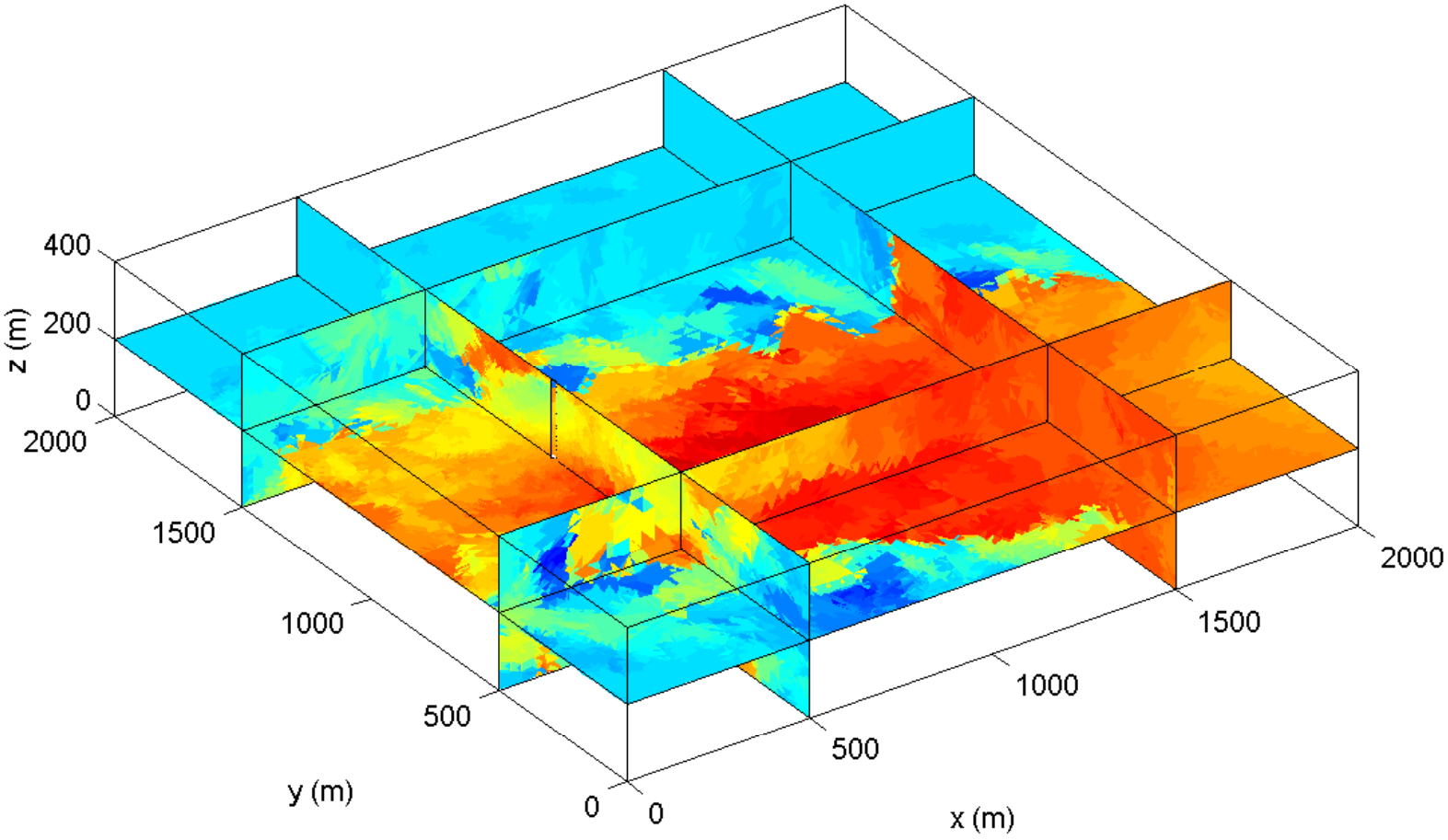
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

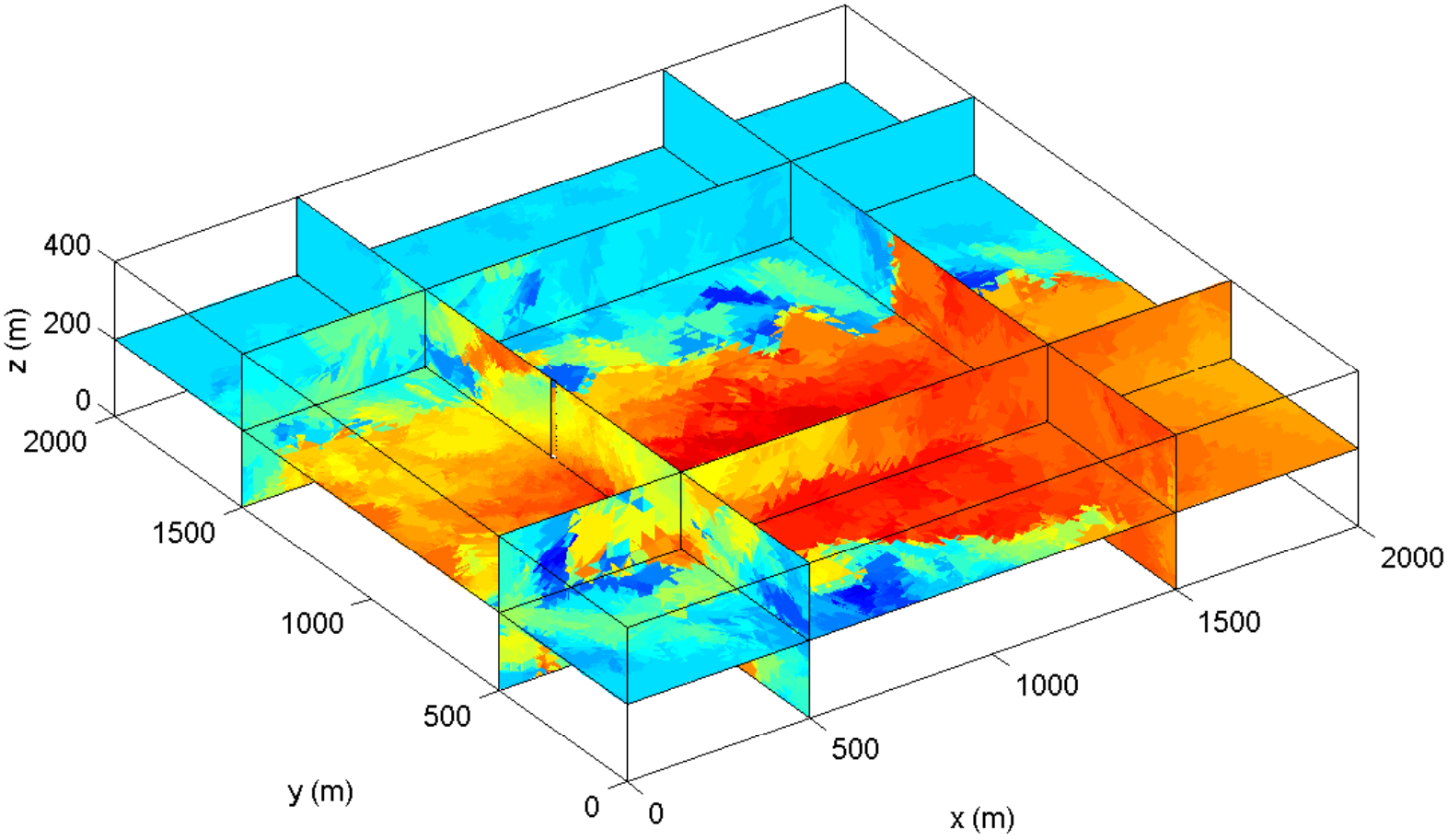
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

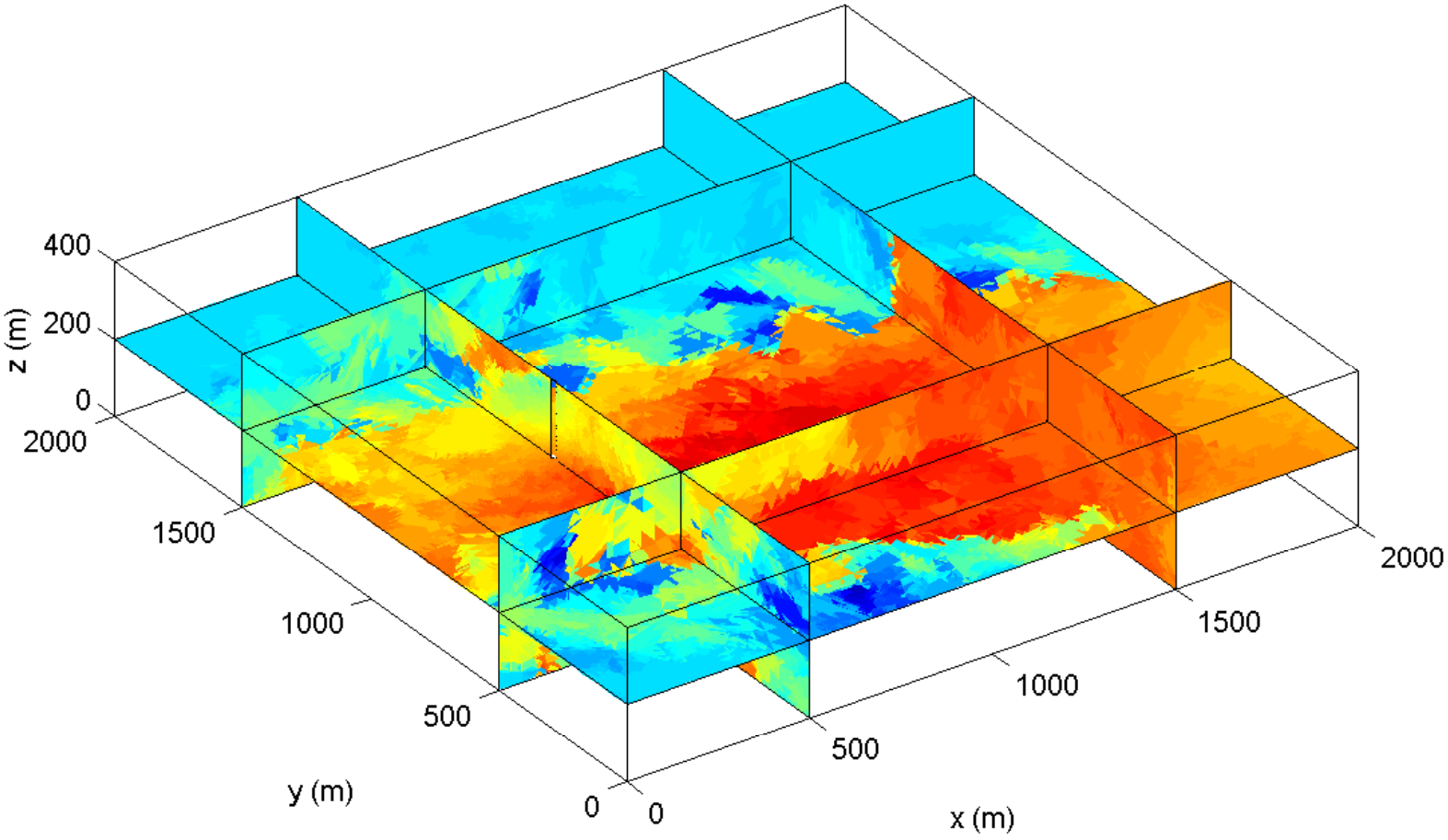
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

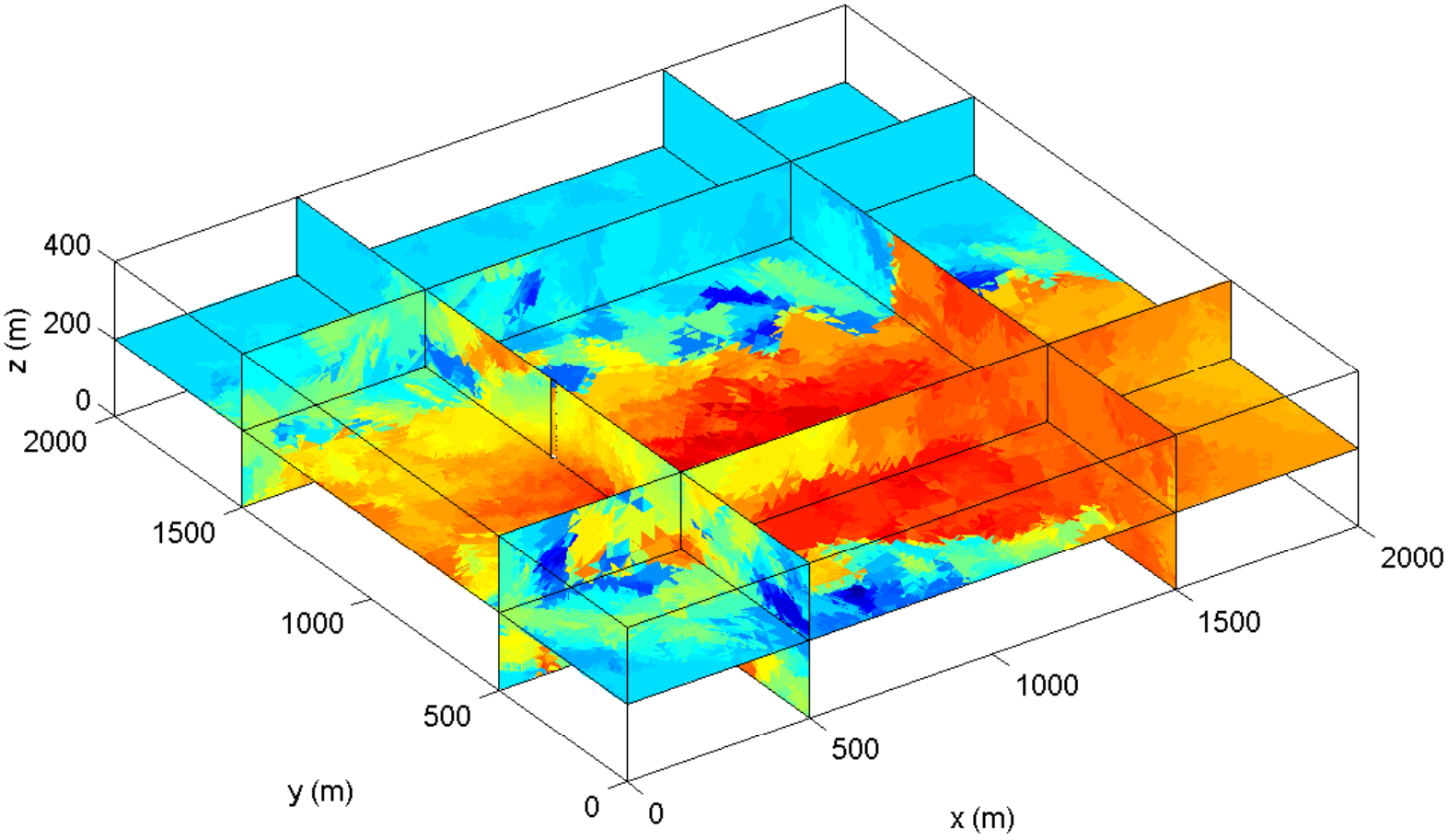
Conductivités hydrauliques (m/s)

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

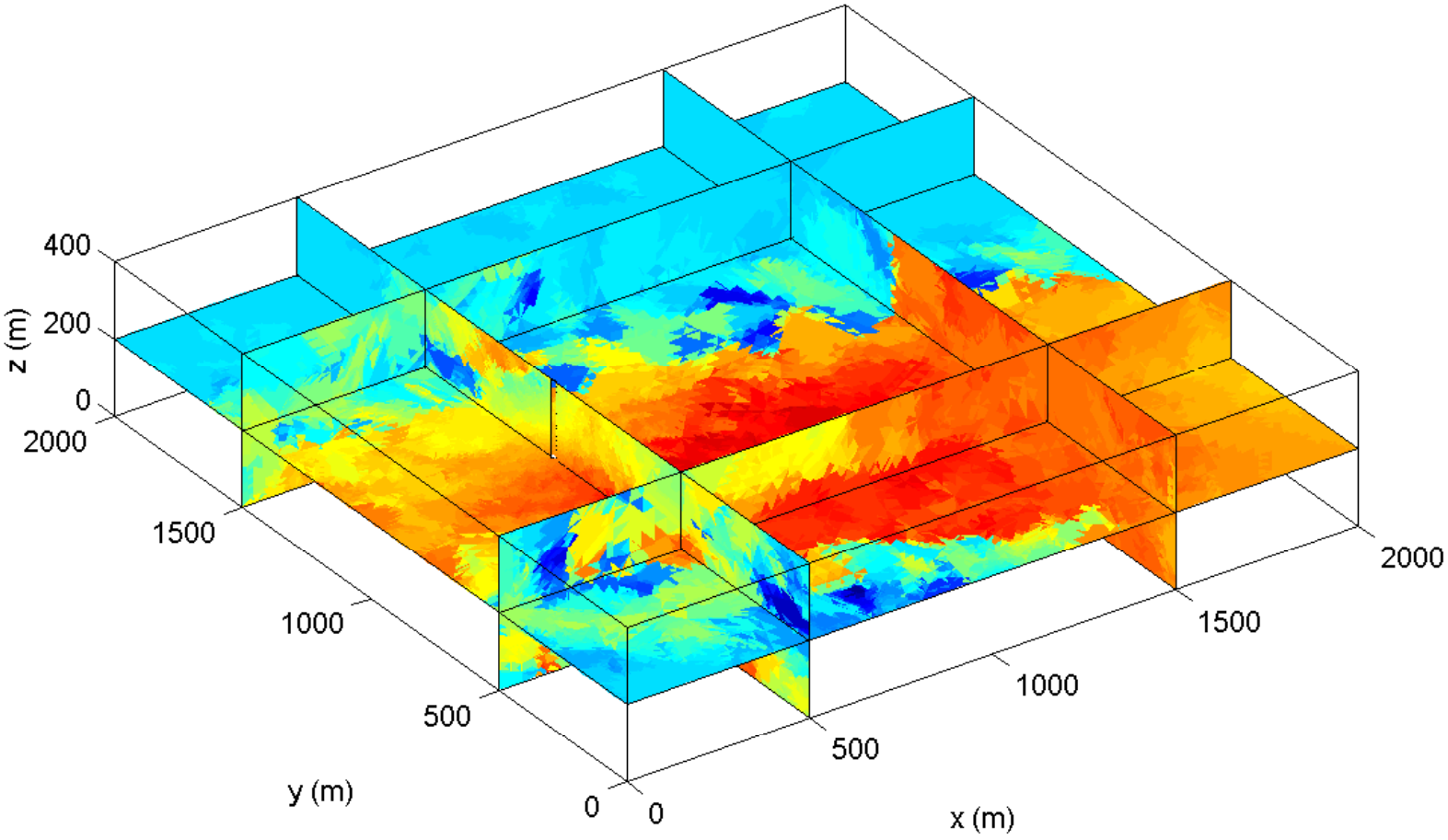


Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

Inversion 3D

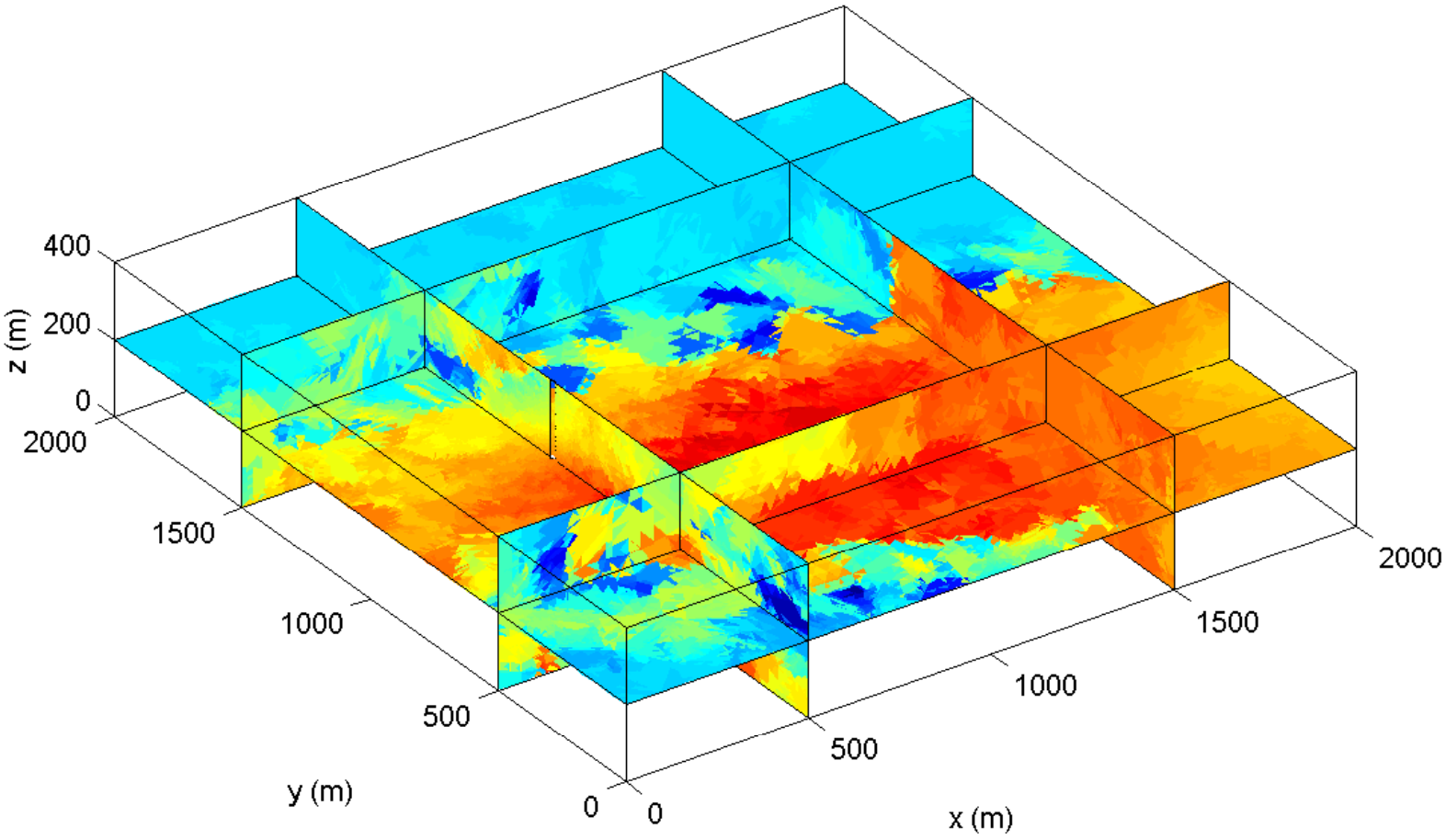
Conductivités hydrauliques (m/s)

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

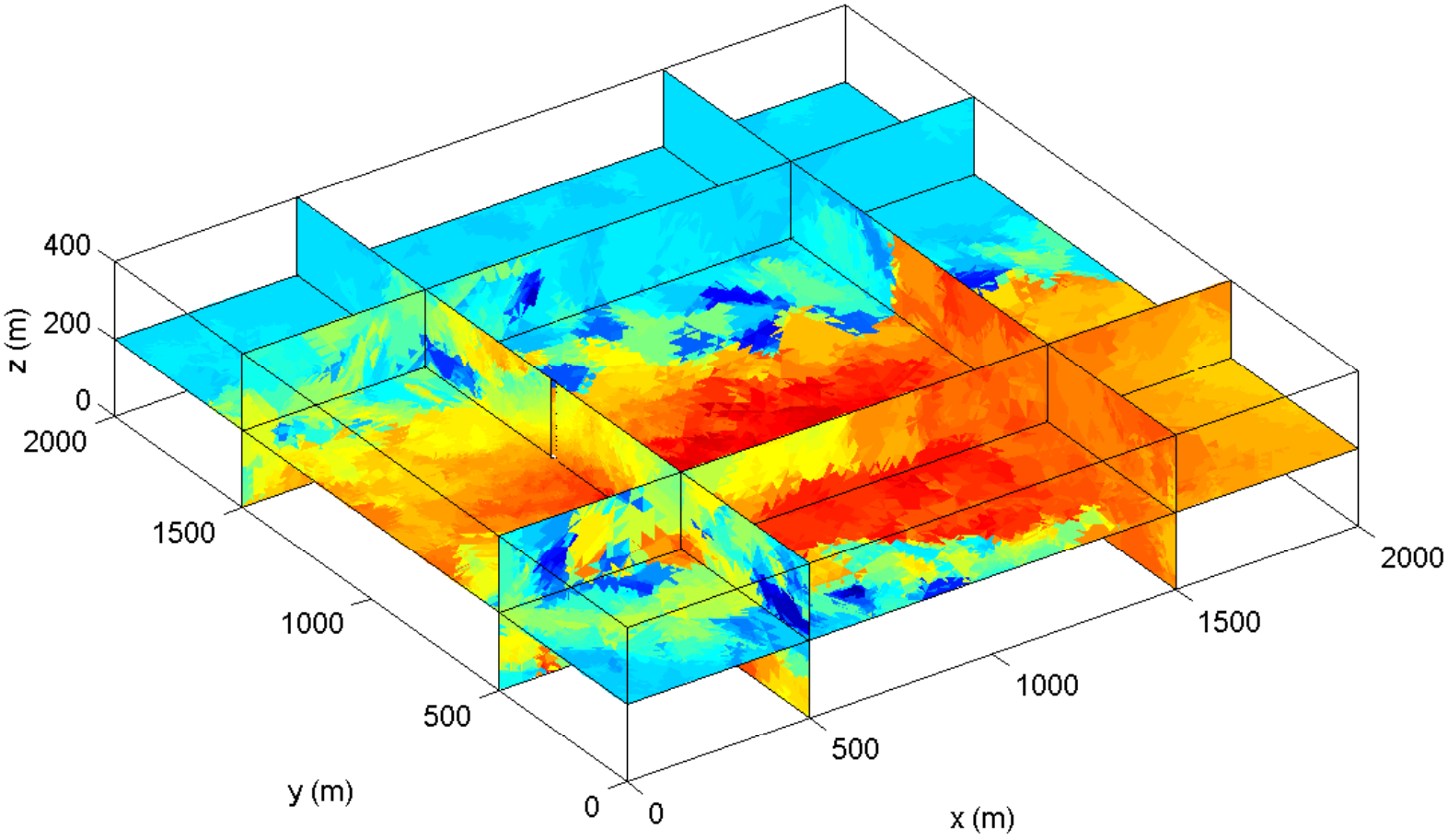


Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

Inversion 3D

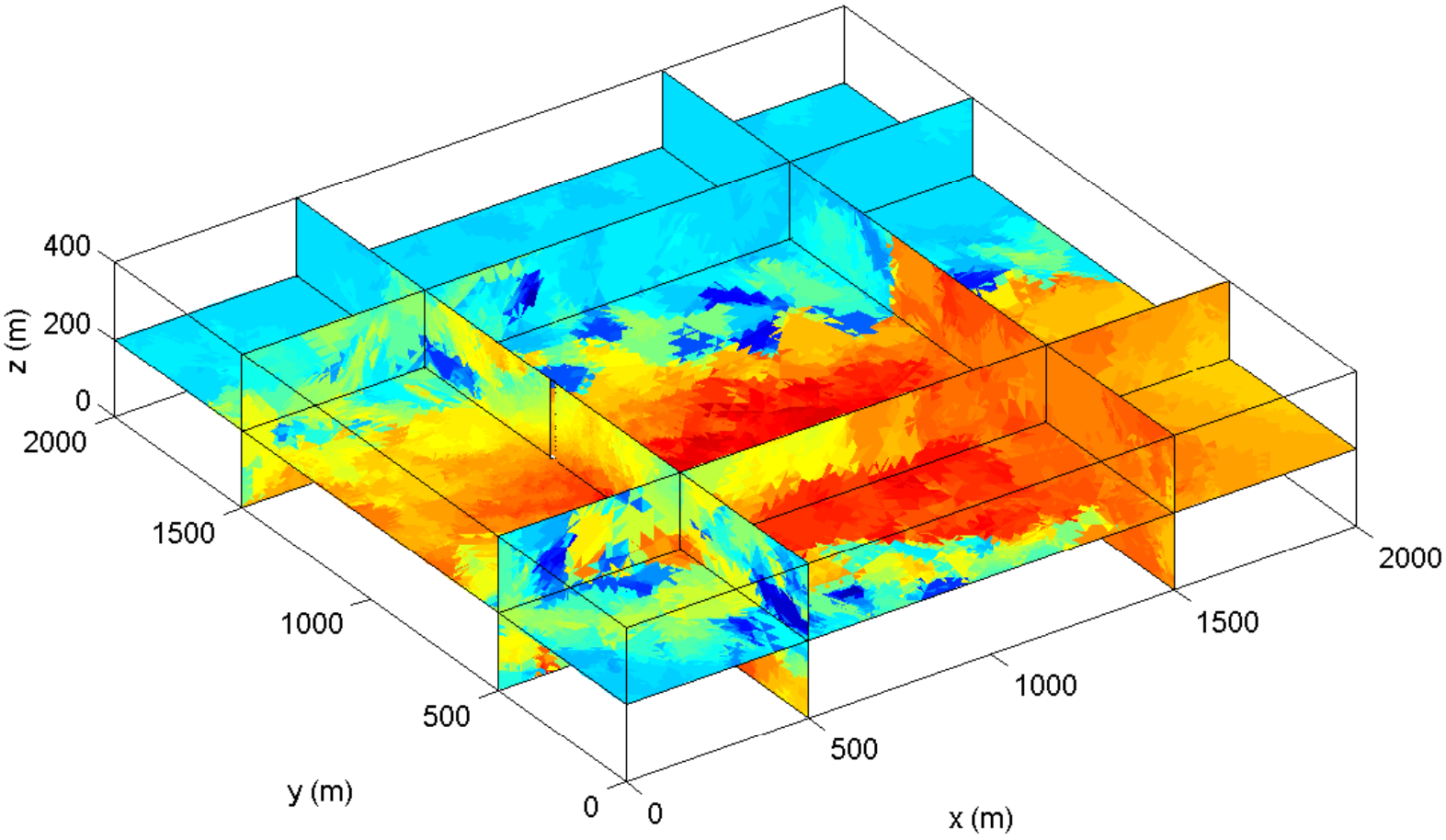
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

Conductivités hydrauliques (m/s)



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

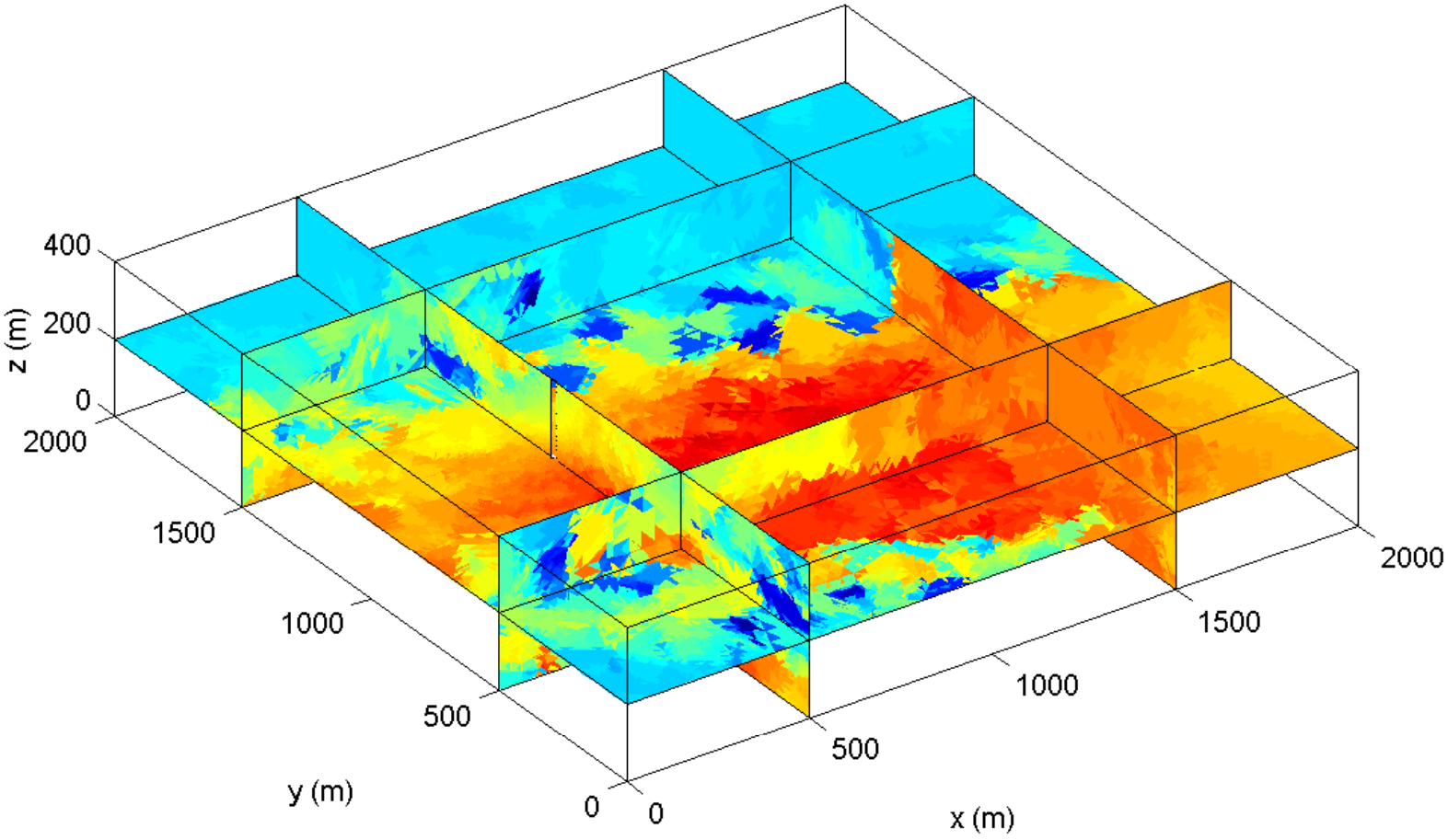


Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

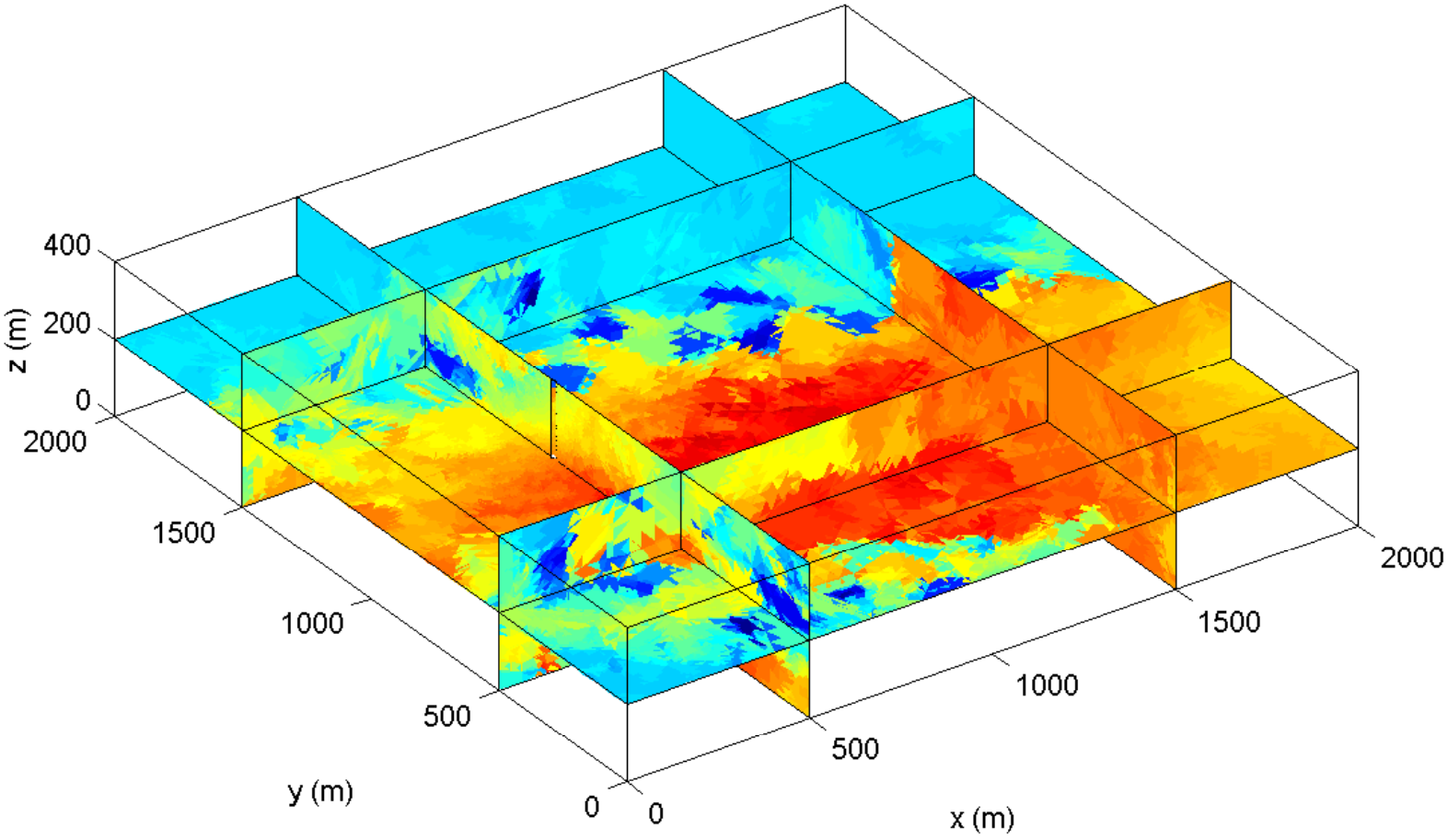
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

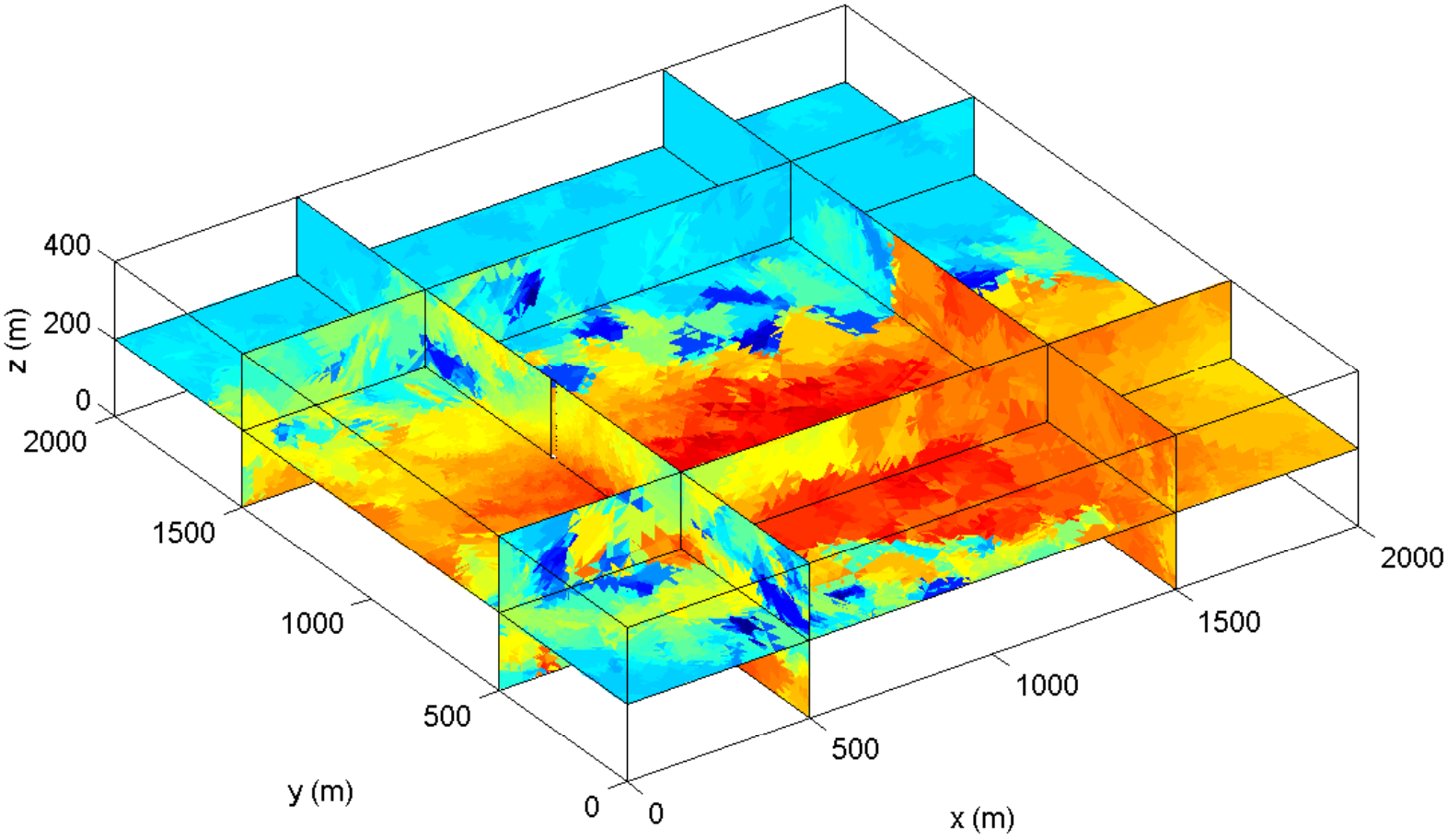
Conductivités hydrauliques (m/s)

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Inversion 3D

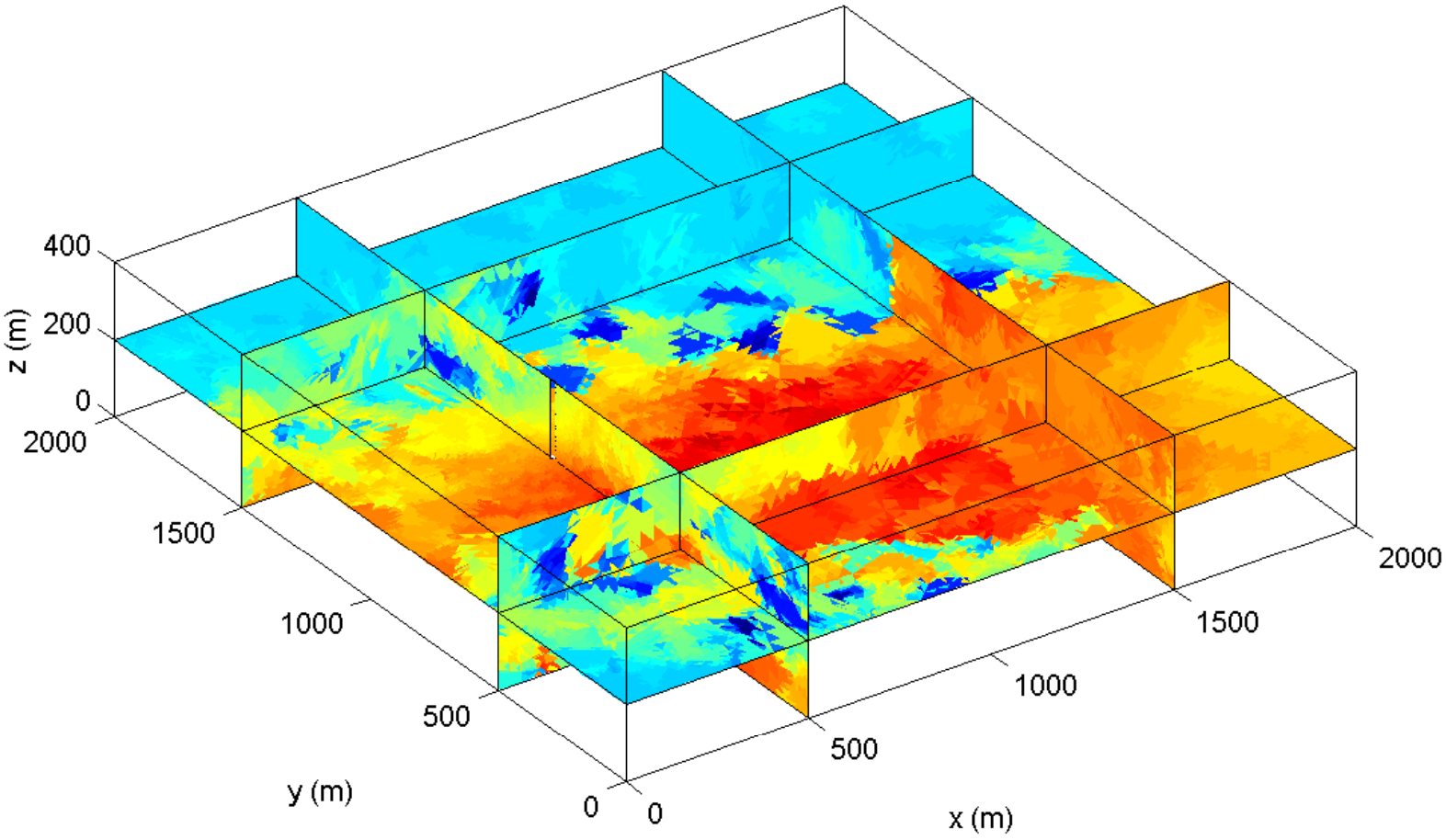
Conductivités hydrauliques (m/s)



Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

Inversion 3D

Conductivités hydrauliques (m/s)

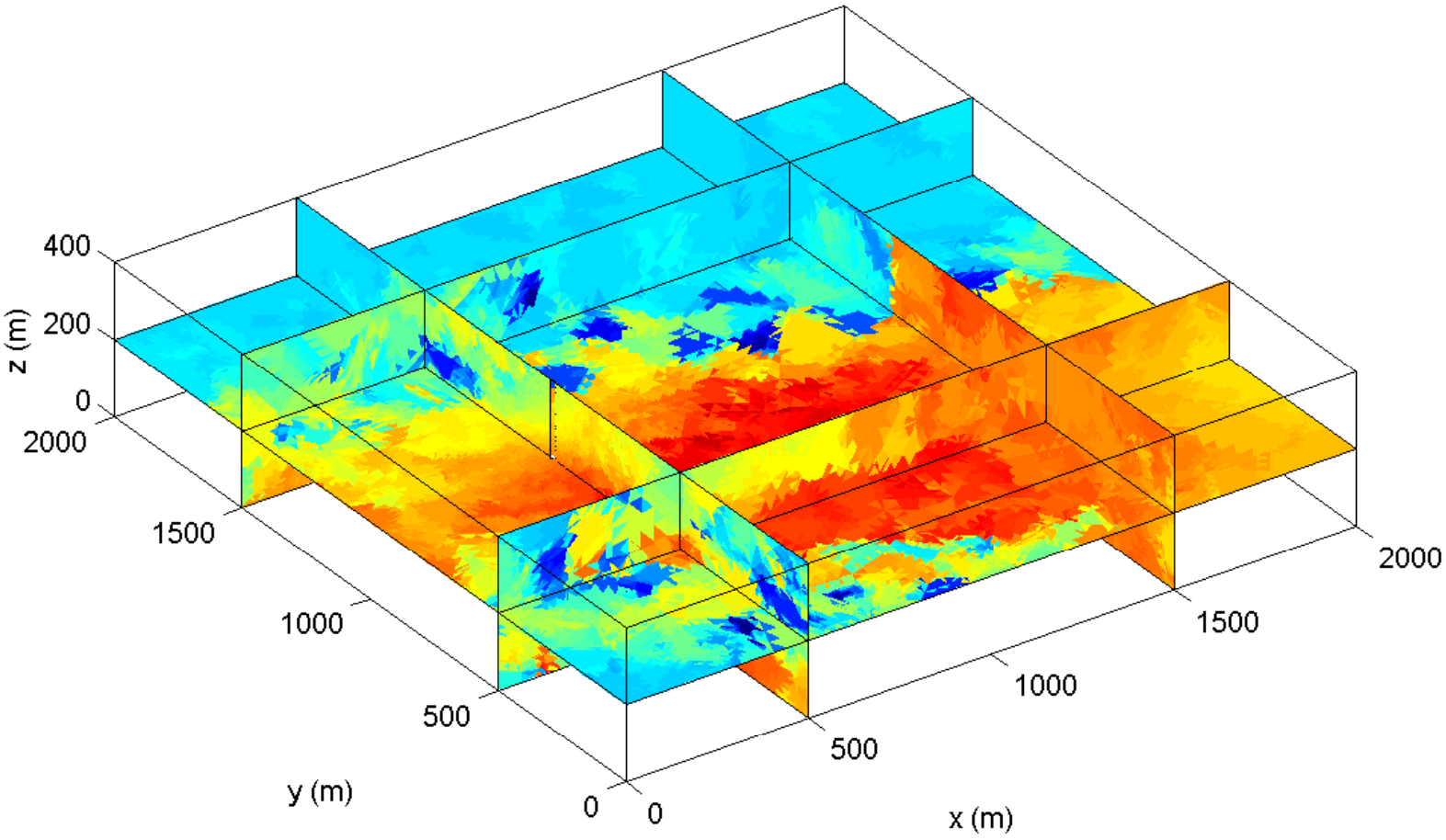


Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

Inversion 3D

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

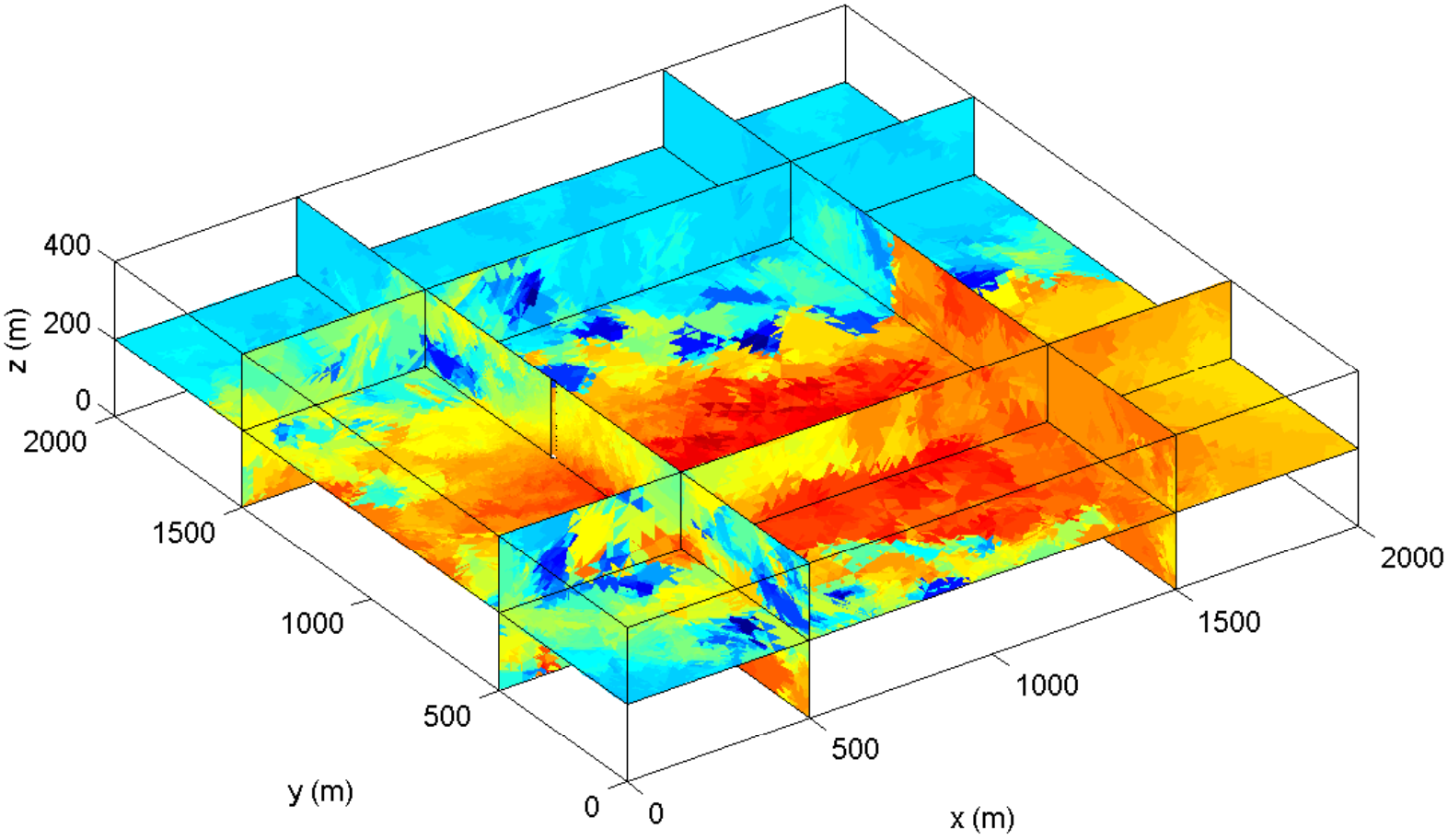
Conductivités hydrauliques (m/s)



Inversion 3D

Conductivités hydrauliques finales (m/s)

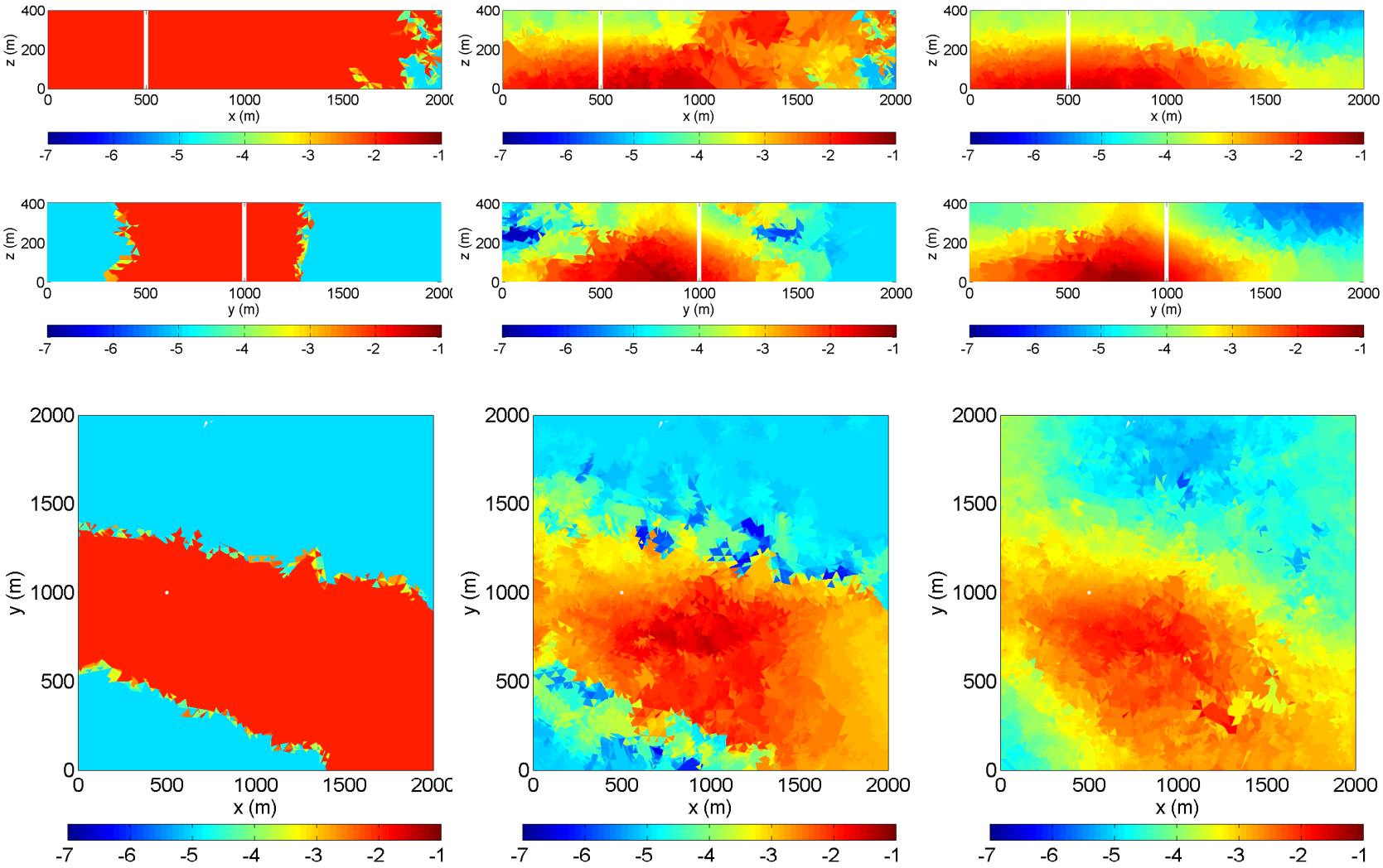
Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion



Comparaison des solutions

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
- Modèle 3D de référence
- Évolution de l'inversion
Conclusion

K initial | K final | K référence



Synthèse des résultats

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion
- Synthèse
- Contributions
- Travaux ultérieurs

La méthode d'inversion développée est :

- Peu coûteuse en temps de calcul
- Adaptée aux régimes permanent et transitoire
- Performante lorsqu'utilisée avec des charges krigées
- Bénéficie d'une meilleure couverture piézométrique
- Adaptée au 3D

Contributions originales

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion
- Synthèse
- Contributions
- Travaux ultérieurs

Contributions originales

- Inclusion d'une fonction d'amortissement
- Extension de la méthode au cas transitoire
- Utilisation de charges krigées lors de l'inversion
- Extension de la méthode au cas 3D

Contributions originales

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion
- Synthèse
- Contributions
- Travaux ultérieurs

Contributions originales

- Inclusion d'une fonction d'amortissement
- Extension de la méthode au cas transitoire
- Utilisation de charges krigées lors de l'inversion
- Extension de la méthode au cas 3D

Autres contributions

- Programme d'inversion 2D et 3D
- Étude de l'aquifère régional de Châteauguay

Travaux ultérieurs

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion
- Synthèse
- Contributions
- Travaux ultérieurs

Développements supplémentaires

- Régionalisation des mesures ponctuelles en 3D
- Incorporation du krigeage de K dans l'inversion
- Application à d'autres domaines :
  - Transport des contaminants
  - Roc fracturé
  - Géothermie
  - Géophysique

Travaux ultérieurs

Introduction
Estimation successive des flux
Modèle synthétique
Inversion 2D
Paramètres opérationnels
Erreur d'estimation des charges
Aquifère de Lachenaie
Inversion 3D
Conclusion
- Synthèse
- Contributions
- Travaux ultérieurs

Développements supplémentaires

- Régionalisation des mesures ponctuelles en 3D
- Incorporation du krigeage de K dans l'inversion
- Application à d'autres domaines :
  - Transport des contaminants
  - Roc fracturé
  - Géothermie
  - Géophysique

Merci !