

---

# Couplage par composants logiciels de codes d'hydrogéologie

Jocelyne Erhel (INRIA-Rennes)  
Philippe Ackerer (IMFS-Strasbourg)  
Jean-Raynald de Dreuzy (CAREN-Rennes)  
Michel Kern (INRIA-Rocquencourt)  
Hugues Leroy (INRIA-Rennes)  
Christian Perez (INRIA-Rennes)

École GRID2002 - Décembre 2002

# Plan

---

- ▷ Projet Hydrogrid
- ▷ Couplage algébrique
- ▷ Couplage géométrique

---

# Projet Hydrogrid

# Objectifs du projet Hydrogrid

---

Projet de l'ACI GRID, retenu en 2002

Couplage de codes pour le transfert de fluides et de solutés  
dans les milieux géologiques :  
une approche par composants logiciels

- ▶ Modéliser le transport réactif de polluants dans le sous-sol
- ▶ Modéliser l'intrusion d'eau salée dans un aquifère
- ▶ Modéliser le stockage profond de déchets radioactifs
- ▶ Prendre en compte des couplages multi-physiques et multi-domaines
- ▶ Réaliser un couplage par composants logiciels sur une grille

# Partenaires du projet Hydrogrid

---

Projet ESTIME, INRIA-Rocquencourt

Équipe HTMP, IMFS-Strasbourg

Projet ALADIN, INRIA-Rennes

Projet PARIS, INRIA-Rennes

Équipe ASCII, INRIA-Rennes

Équipe TPC, Géosciences-Rennes

# Composants logiciels

---

## Composants parallèles

Un composant logiciel par modèle numérique

Composant parallèle encapsulé dans un objet

Couplage des objets

## Support logiciel

Modèle de programmation de RMI (ACI GRID, 2001)

Gestion efficace du réseau

---

# Couplage algébrique

# Intrusion d'eau salée

---

## Modèles physiques

Physique complexe avec instabilités et recirculations

Modélisation de l'écoulement : vitesse et pression (charge hydraulique)

Modélisation du transport : concentration en eau salée et densité

## Couplage des modèles

L'écoulement dépend de la densité

Le transport par convection dépend de la vitesse

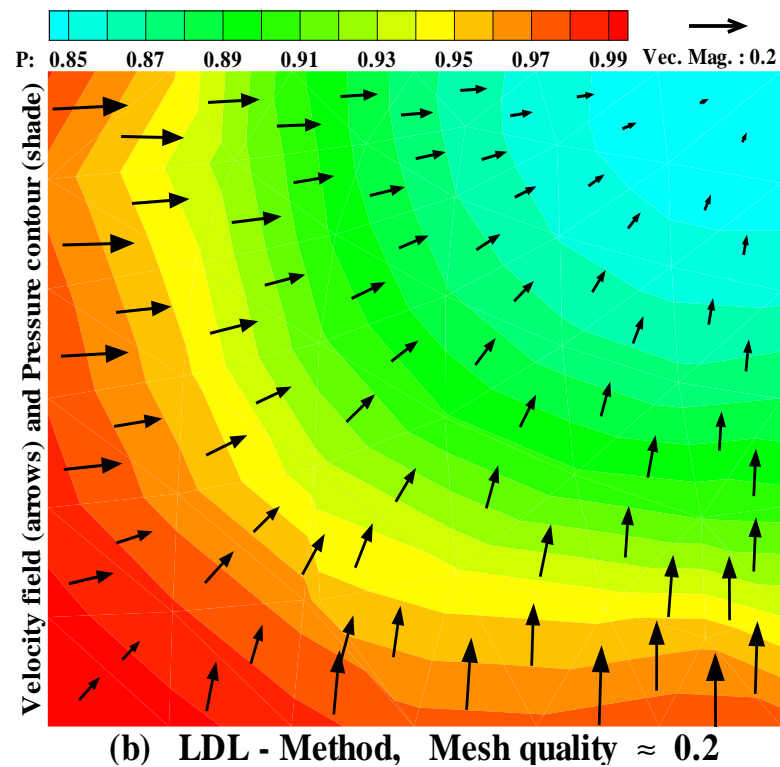
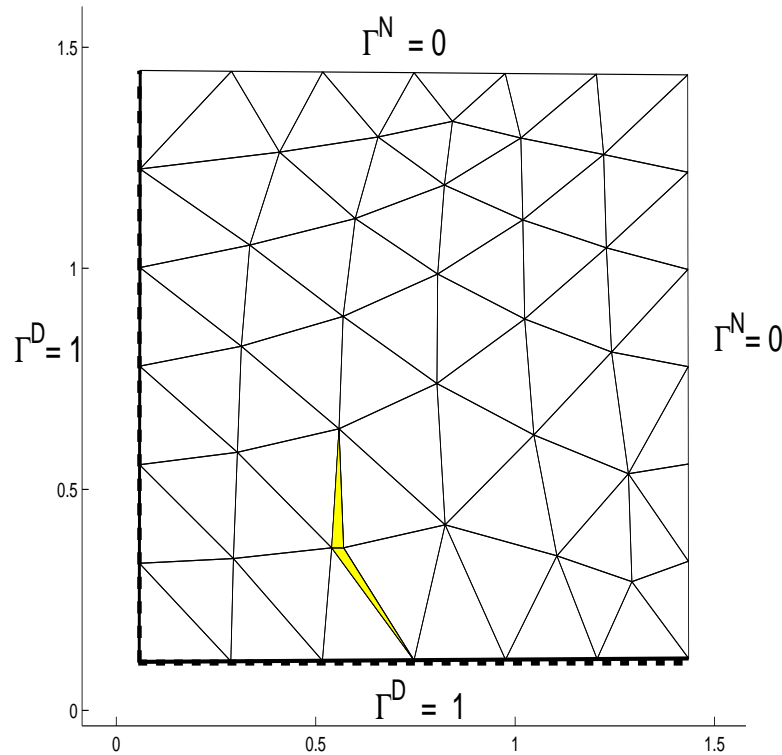
**Équations aux Dérivées Partielles non linéaires couplées**

# Intrusion d'eau salée

Discrétisation en espace et en temps

Écoulement : Éléments Finis Mixtes et schéma en temps implicite

Transport : Éléments Finis Discontinus et schéma en temps explicite



# Transport réactif

---

## Modèle physique

Plusieurs espèces chimiques en phase aqueuse ou précipitée

Modélisation du transport : convection-diffusion

Modélisation de la chimie : à l'équilibre ou cinétique

## Couplage des modèles

Le transport dépend des concentrations en phase précipitée

La chimie en chaque point dépend des concentrations

Équation aux Dérivées Partielles non linéaires couplée à un système d'Équations Algébriques ou d'Équations Différentielles Ordinaires

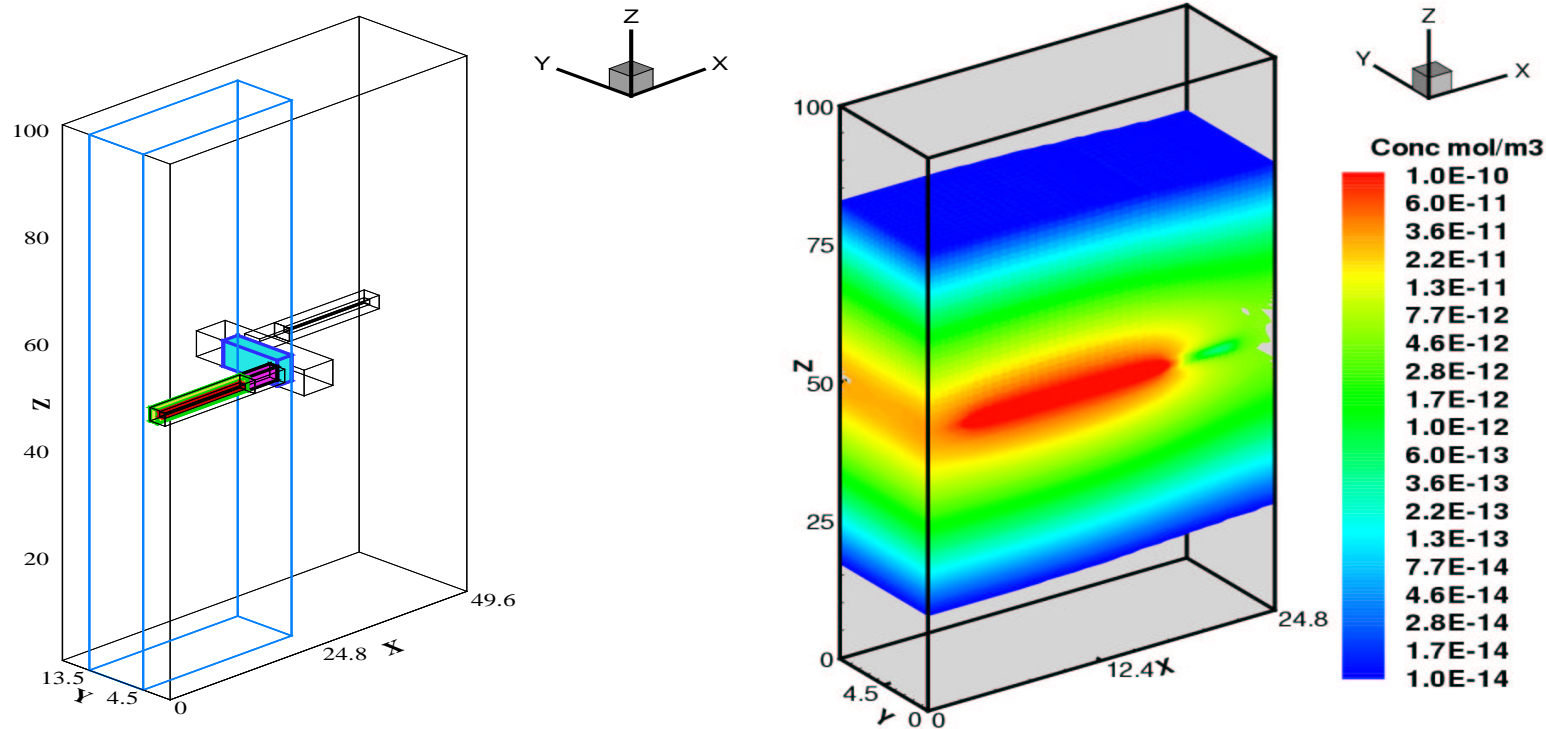
# Transport réactif

## Discrétisation en espace et en temps

Transport : Éléments Finis Discontinus et schéma en temps explicite

Chimie : convergence vers l'équilibre en chaque point du maillage

Cinétique chimique : schéma en temps implicite



# Couplage algébrique des schémas

---

Schéma simplifié : un pas de temps

$$\begin{cases} f(p^{n+1}, c^{n+1}) = 0 \\ g(p^{n+1}, c^{n+1}) = 0 \end{cases}$$

Couplage non linéaire des deux modèles

# Couplage numérique

---

## Pas à pas

$$\begin{cases} f(p^{n+1}, c^n) = 0 \\ g(p^n, c^{n+1}) = 0 \end{cases}$$

Découplage à chaque pas de temps, pas de temps réduit

## Point fixe

$$\begin{cases} f(p^{n+1, k+1}, c^{n+1, k}) = 0 \\ g(p^{n+1, k}, c^{n+1, k+1}) = 0 \end{cases}$$

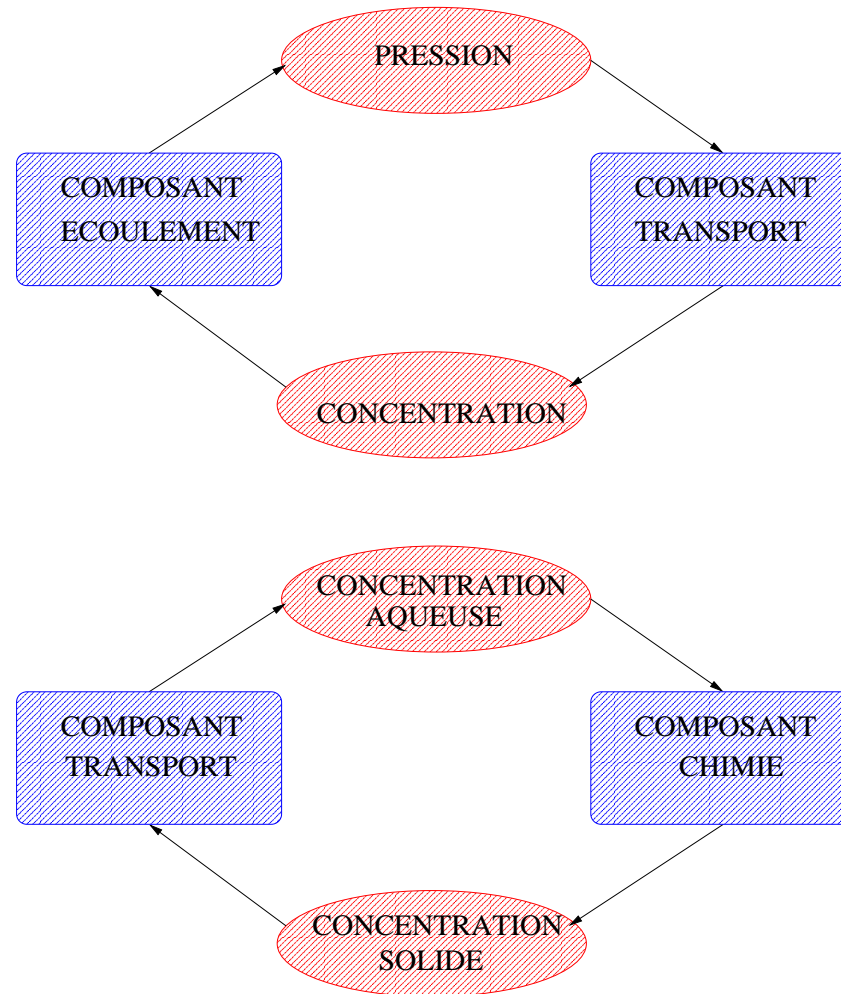
Découplage, pas de temps plus grand, calculs plus coûteux

## Newton

Couplage fort, calculs coûteux et précis

# Couplage des composants logiciels

---



---

# Couplage géométrique

# Milieu hétérogène peu fracturé

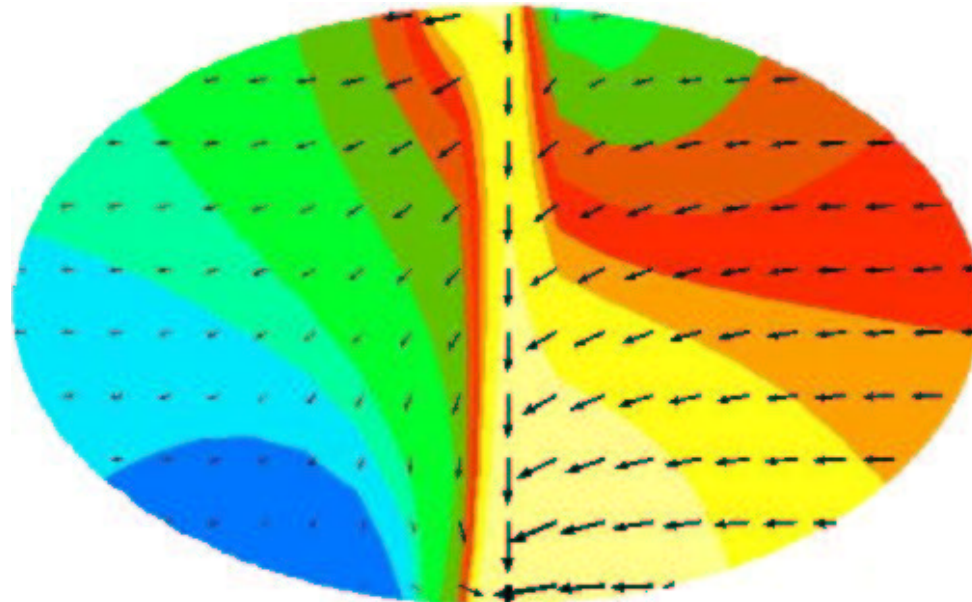
---

Modélisation du transport de solutés

Modèle géométrique

Sous-domaines avec fort contraste de coefficients

Interfaces de type fracture



# Milieu hétérogène peu fracturé

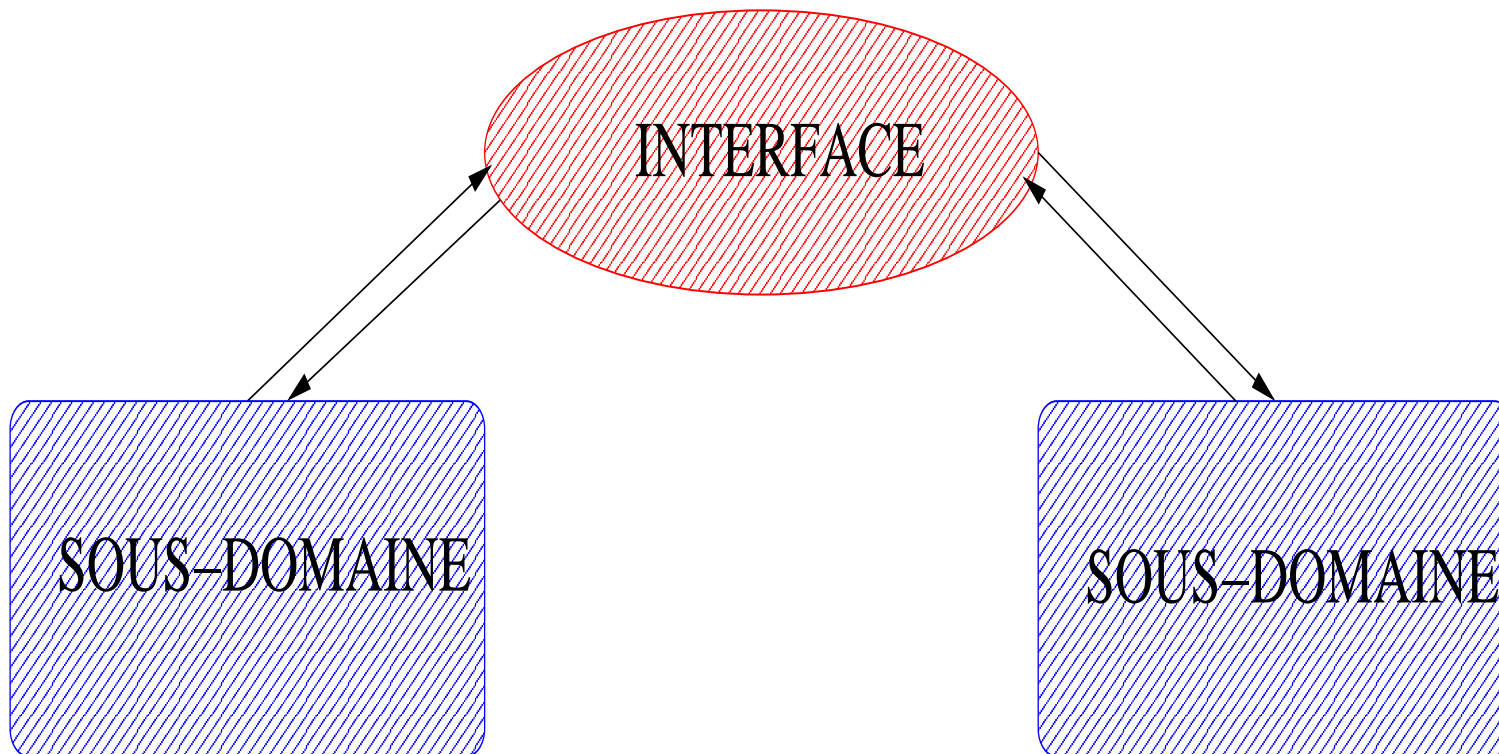
---

## Méthode numérique

Un schéma numérique par sous-domaine

Maillages non raccordés : interface complexe

Couplage multi-domaines par les interfaces

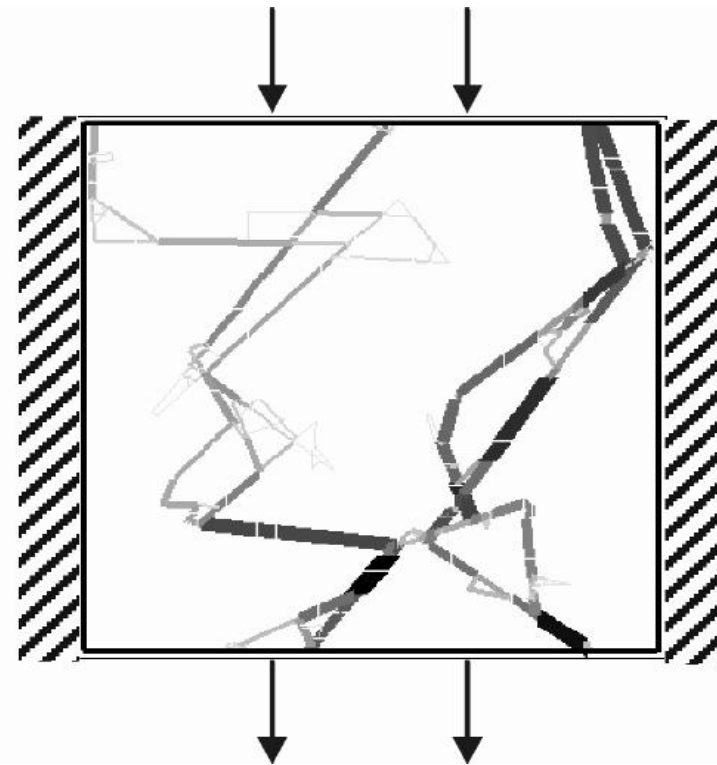
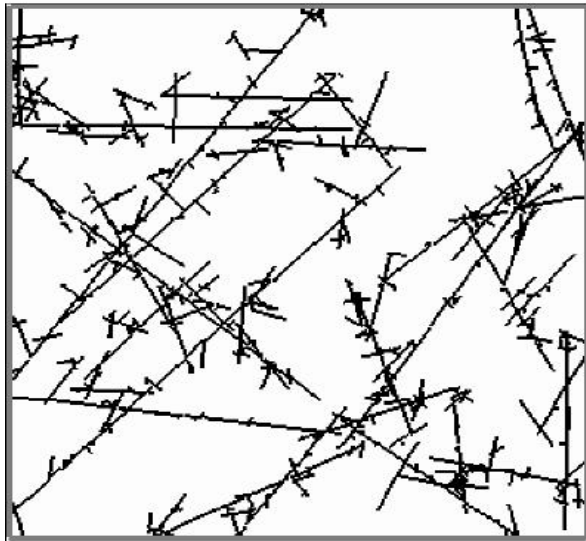


# Réseau de fractures

---

## Modèle géométrique

Réseau 3D de plans de fractures elliptiques  
Distribution des coefficients en loi puissance



# Réseau de fractures

---

## Méthode numérique

Schéma numérique sur chaque fracture

Réseau de liens

Couplage multi-échelles par les liens

