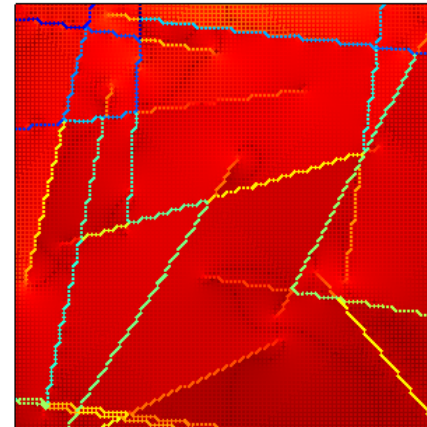


Influence de la structure des réseaux de fractures sur les interactions entre fractures et matrice



Prise en compte de la matrice dans les modèles discrets de fractures (DFN)

Laboratoire d'accueil : Géosciences Rennes

Responsables de thèse : Philippe Davy et Jean-Raynald de Dreuzy

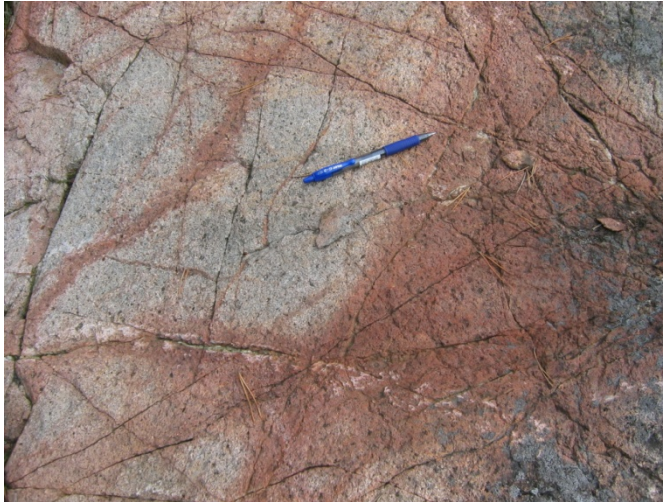
Plan de présentation

1. *Introduction*
2. *Le modèle double porosité discret*
3. *Détermination de la perméabilité matricielle*
4. *Représentation de l'échange fracture matrice*
5. *Validation et résultats*

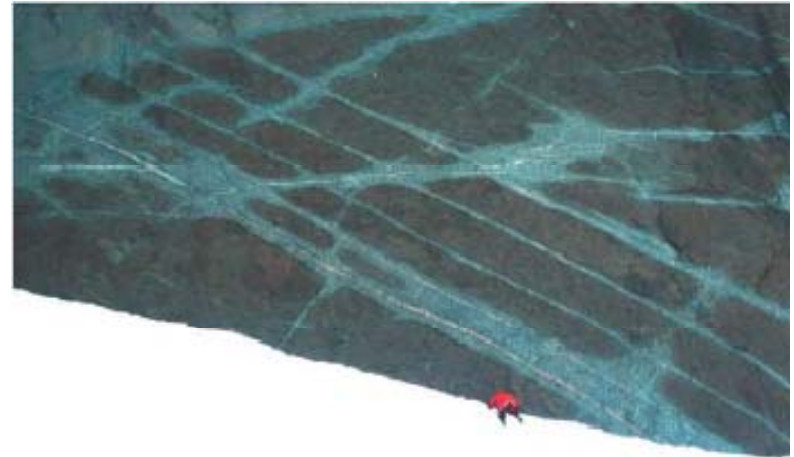
Introduction

1. *Milieux poreux fracturés*

- deux niveaux d'hétérogénéité à prendre en compte :
 - perméabilités roche poreuse/fractures
 - diversité des tailles des fractures



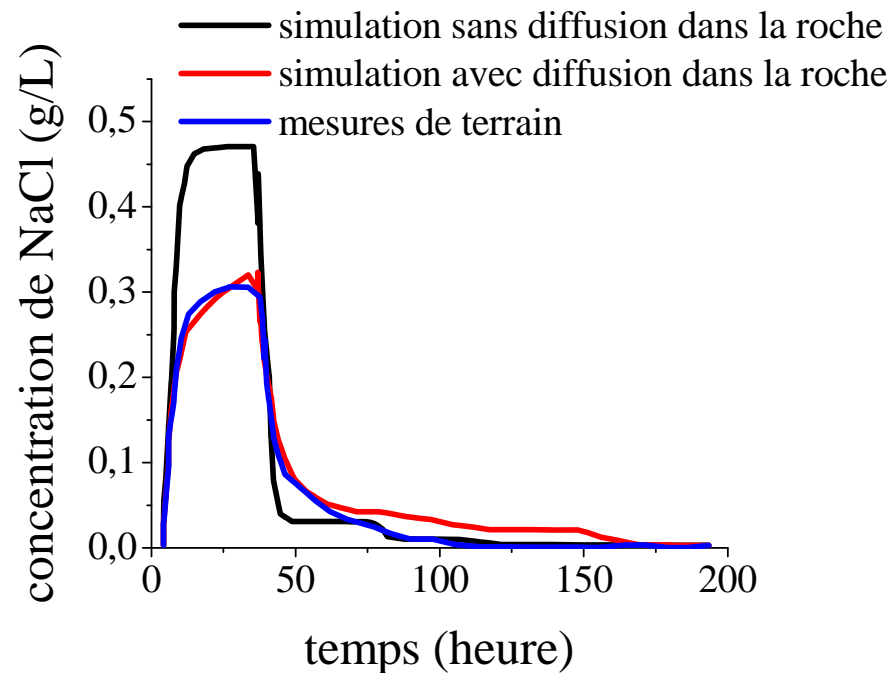
fractures observées en Suède



fractures observées en Antarctique

2. *Intérêts des échanges fractures matrice*

- exploitation pétrolière : échange de la zone de stockage vers les réseaux d'acheminement
- géothermie : échange de chaleur
- étude de polluants : retenue des polluants par la roche poreuse

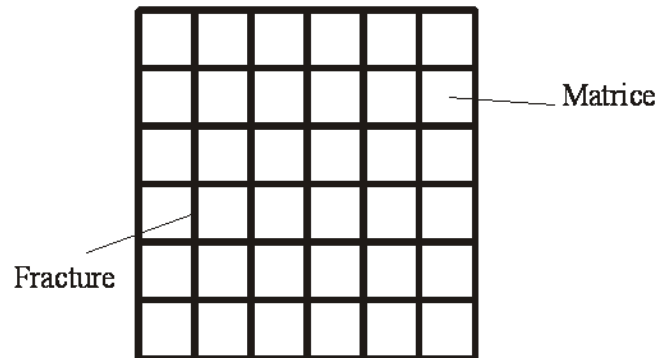


expérience de traceurs à Kamaishi
(Dershowitz, 1995)

Modèle double porosité discret

1. *Modèle double porosité*

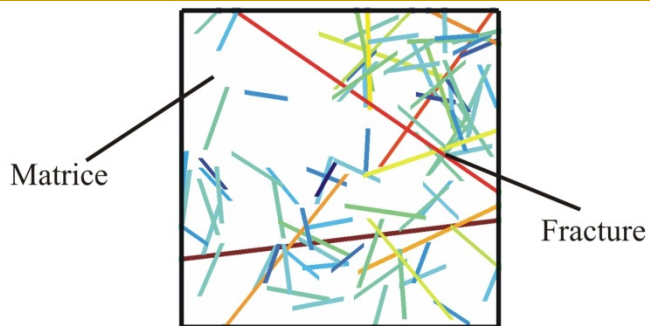
- réservoir représenté par la superposition de deux milieux continus :
 - la matrice : roche poreuse et fractures isolées
 - les réseaux de fractures



« Boîte à sucre » (Warren and Root, 1963)

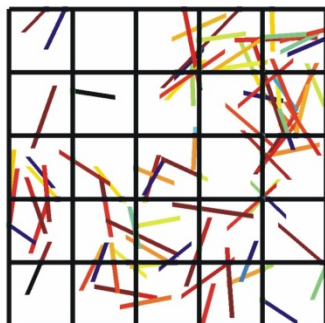
- détermination de l'écoulement dans le réservoir :
 - résolution de l'écoulement dans chaque milieu
 - détermination du débit échangé entre les deux milieux
 - **besoin des perméabilités de chaque milieu**
 - **besoin d'une définition du débit échangé**

Réservoir



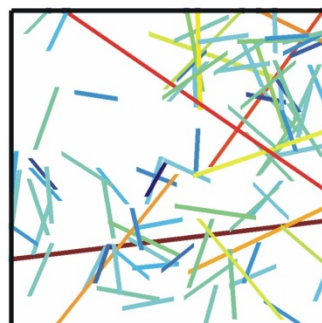
Blocs

Milieu Poreux Equivalent

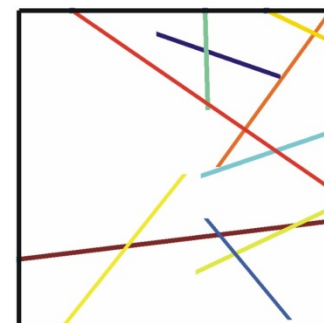


$$\delta \mathcal{H}_m / \delta t = \mathcal{A}_m \mathcal{H}_m + Q_{mf}$$

- description : module Porous_Basis
- résolution : module Porous_Flow

détermination du débit
d'échange Q_{mf}

Discret Fracture Network



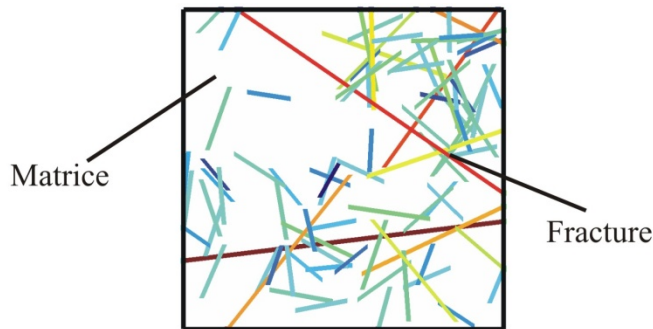
$$\delta \mathcal{H}_f / \delta t = \mathcal{A}_f \mathcal{H}_f + Q_{mf}$$

- description : module Frac_Basis
- résolution : module Frac_Flow_General

modèle double porosité discret

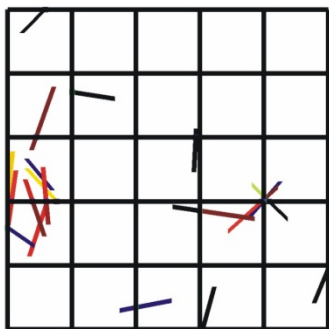
Sélection des fractures de grandes tailles

Réservoir

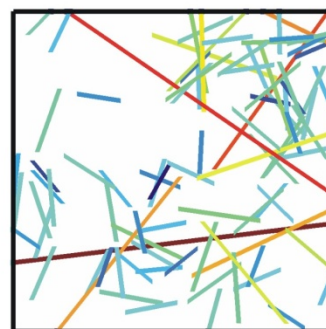


Blocs

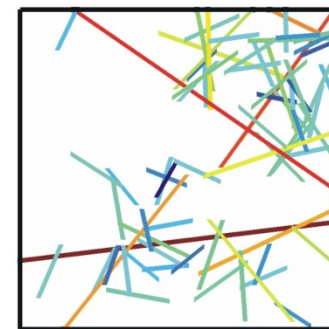
Milieu Poreux Equivalent



$$\delta \mathcal{H}_m / \delta t = \mathcal{A}_m \mathcal{H}_m + Q_{mf}$$

détermination du débit
d'échange Q_{mf}

Discret Fracture Network

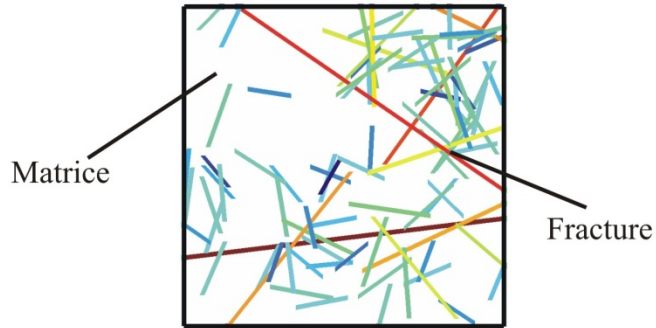


$$\delta \mathcal{H}_f / \delta t = \mathcal{A}_f \mathcal{H}_f + Q_{mf}$$

modèle double porosité discret

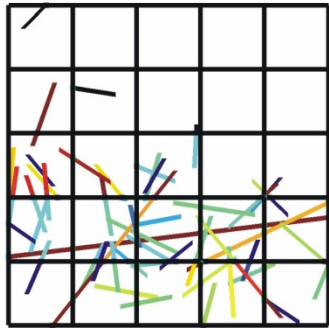
Sélection des fractures connectant les bords

Réservoir

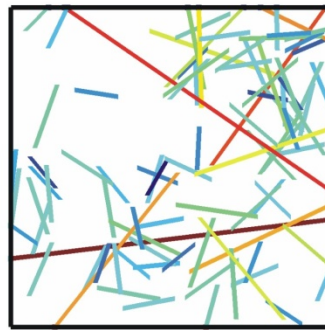


Blocs

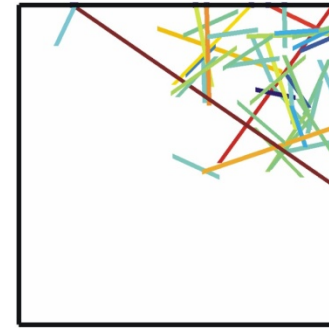
Milieu Poreux Equivalent



$$\delta \mathcal{H}_m / \delta t = \mathcal{A}_m \mathcal{H}_m + Q_{mf}$$

détermination du débit
d'échange Q_{mf}

Discret Fracture Network



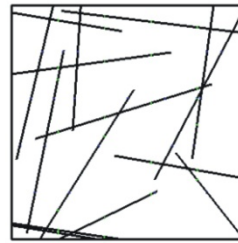
$$\delta \mathcal{H}_f / \delta t = \mathcal{A}_f \mathcal{H}_f + Q_{mf}$$

modèle double porosité discret

Sélection des fractures connectant les bords y+ et x+

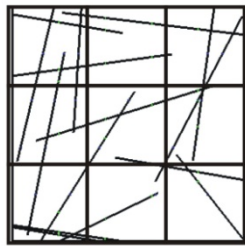
2. Détermination de la perméabilité des blocs matriciels

Réservoir



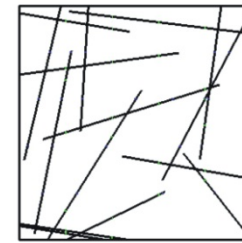
Blocs

Milieu Poreux Equivalent



$$\delta \mathcal{H}_m / \delta t = \mathcal{A}_m \mathcal{H}_m$$

Discret Fracture Network

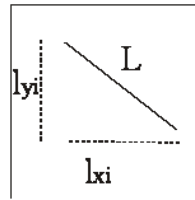


$$\delta \mathcal{H}_f / \delta t = \mathcal{A}_f \mathcal{H}_f$$

modèle double porosité discret appliqué à un milieu
connecté avec une faible perméabilité de matrice

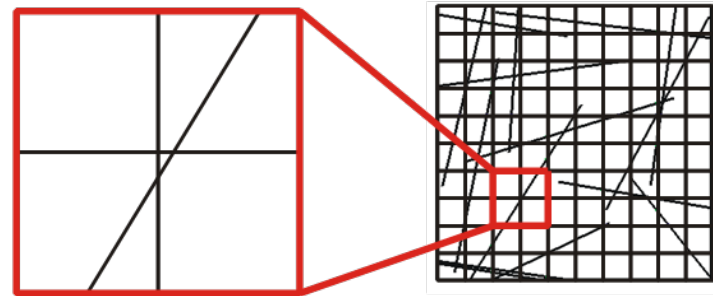
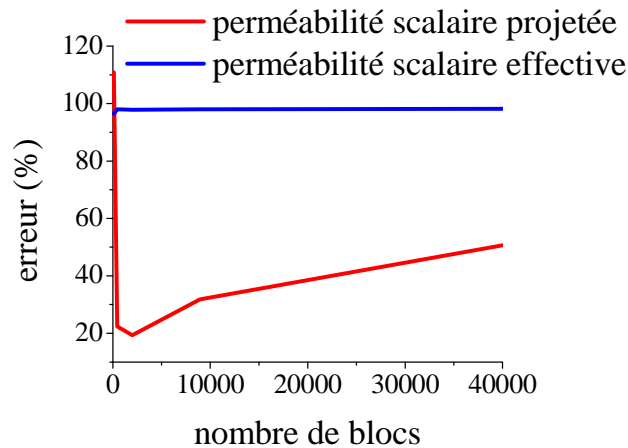
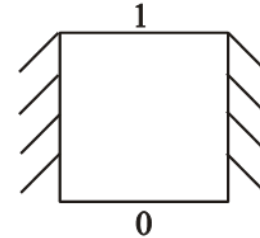
La perméabilité scalaire :

- perméabilité équivalente projetée (projection des fractures) :



$$K_{eq} = K_m + \frac{1}{dx} \sum_i \frac{(l_{xi} + l_{yi})}{L_i} T_{fi}$$

- perméabilité effective (simulation numérique) :

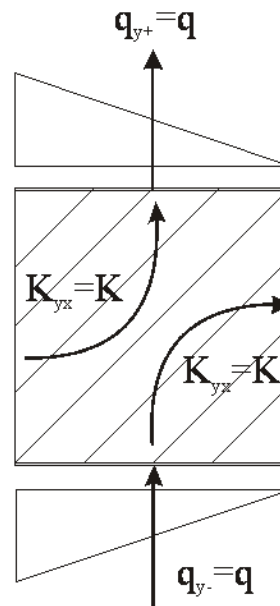


- **erreur supérieure à 20%**
- **difficultés du choix de la discrétisation**

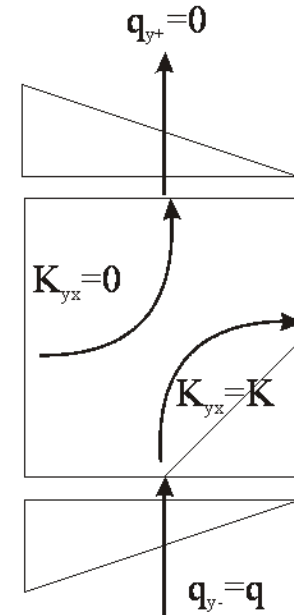
La perméabilité tensorielle :

- plus précise que la perméabilité scalaire
- applicable seulement à des milieux de structure régulière

$$\begin{pmatrix} q_x \\ q_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \nabla h_x \\ \nabla h_y \end{pmatrix}$$



milieu représentable
par un tenseur



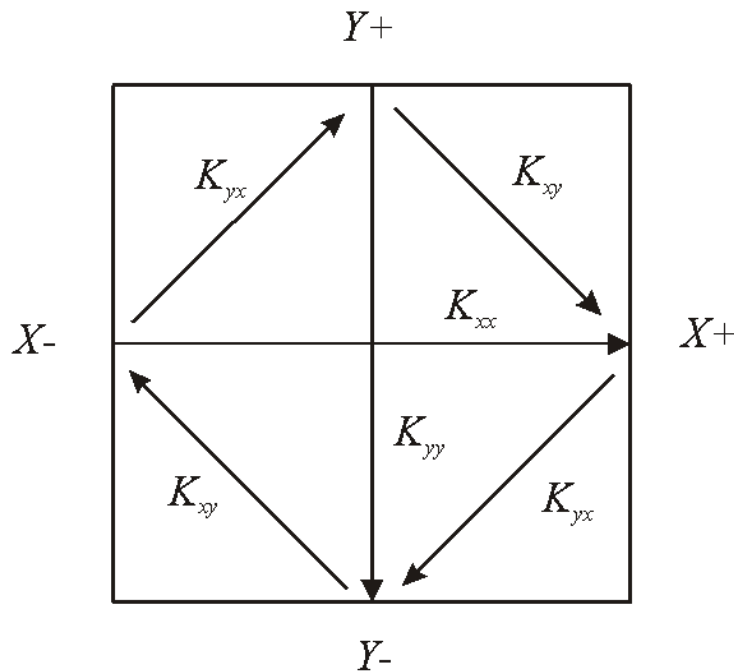
milieu non représentable
par un tenseur

- **représentation tensorielle de la perméabilité n'est pas adaptée à des configurations simples**

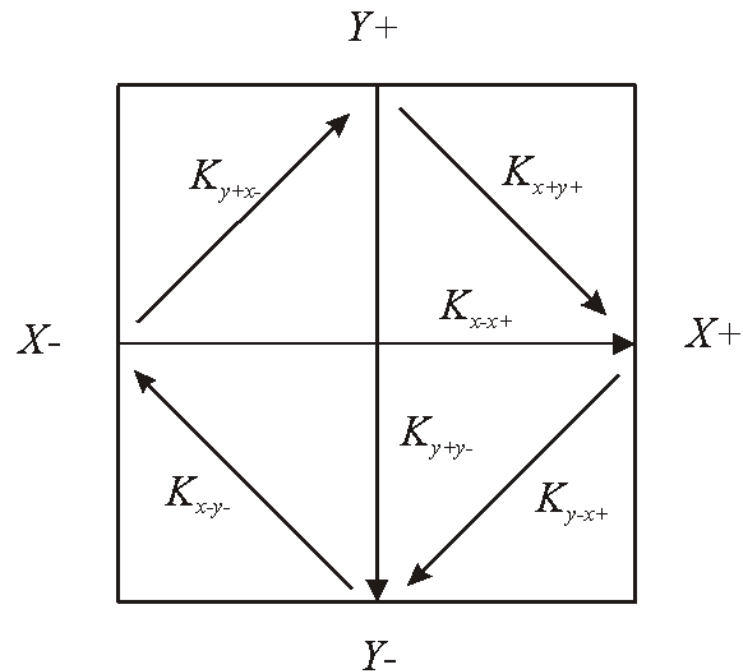
Représentation matricielle :

Choix de la relation entre charges et débits en chaque bloc :

- description des propriétés hydrauliques de bord à bord plutôt qu'entre directions



représentation tensorielle



représentation matricielle

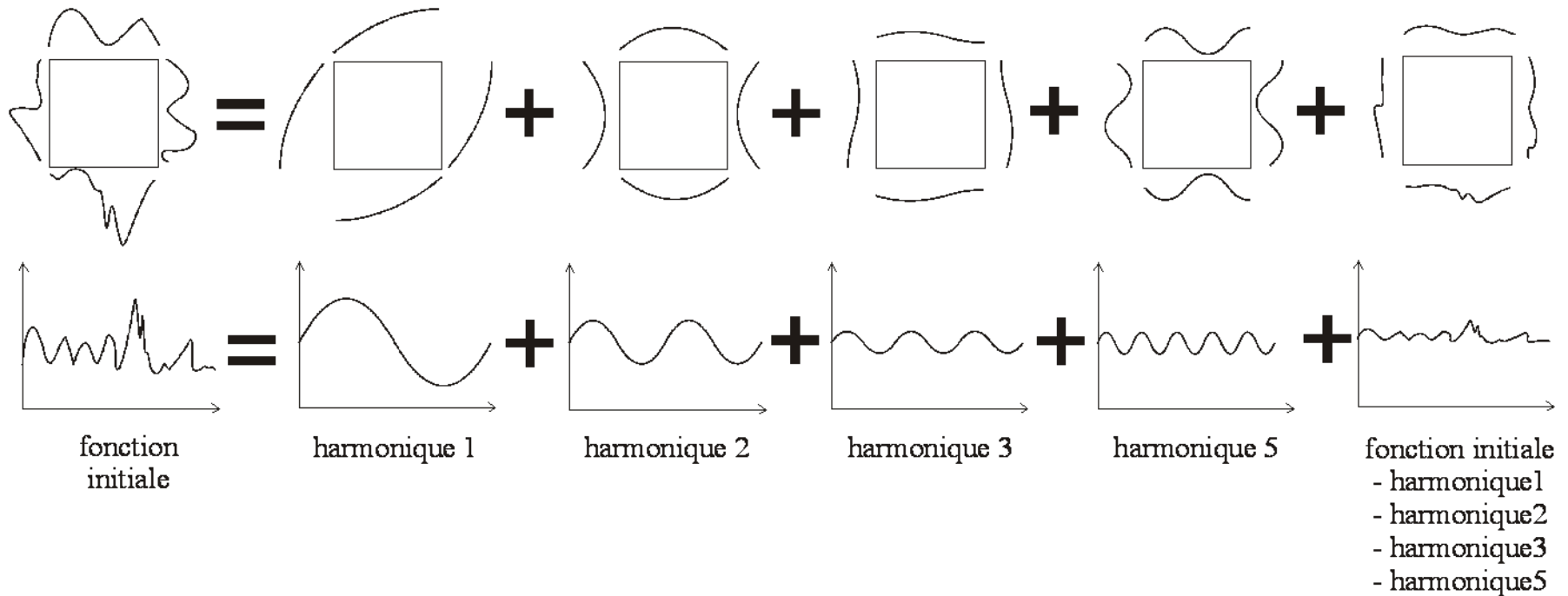
- en chaque bloc : loi de Darcy $q = K\nabla h$ remplacée par la relation $q = Ah$
 - q et h : vecteurs de débits et de charges aux bords du bloc
 - A : matrice des propriétés hydrauliques
 - **relation linéaire entre charges et débits**
 - **description plus précise des liens entre chaque bord du bloc**
 - **A décrit les propriétés hydrauliques du bloc**

$$\begin{pmatrix} q_{x+} \\ q_{x-} \\ q_{y+} \\ q_{y-} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{x+x+} & a_{x+x-} & a_{x+y+} & a_{x+y-} \\ a_{x-x+} & a_{x-x-} & a_{x-y+} & a_{x-y-} \\ a_{y+x+} & a_{y+x-} & a_{y+y+} & a_{y+y-} \\ a_{y-x+} & a_{y-x-} & a_{y-y+} & a_{y-y-} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} h_{x+} \\ h_{x-} \\ h_{y+} \\ h_{y-} \end{pmatrix}$$

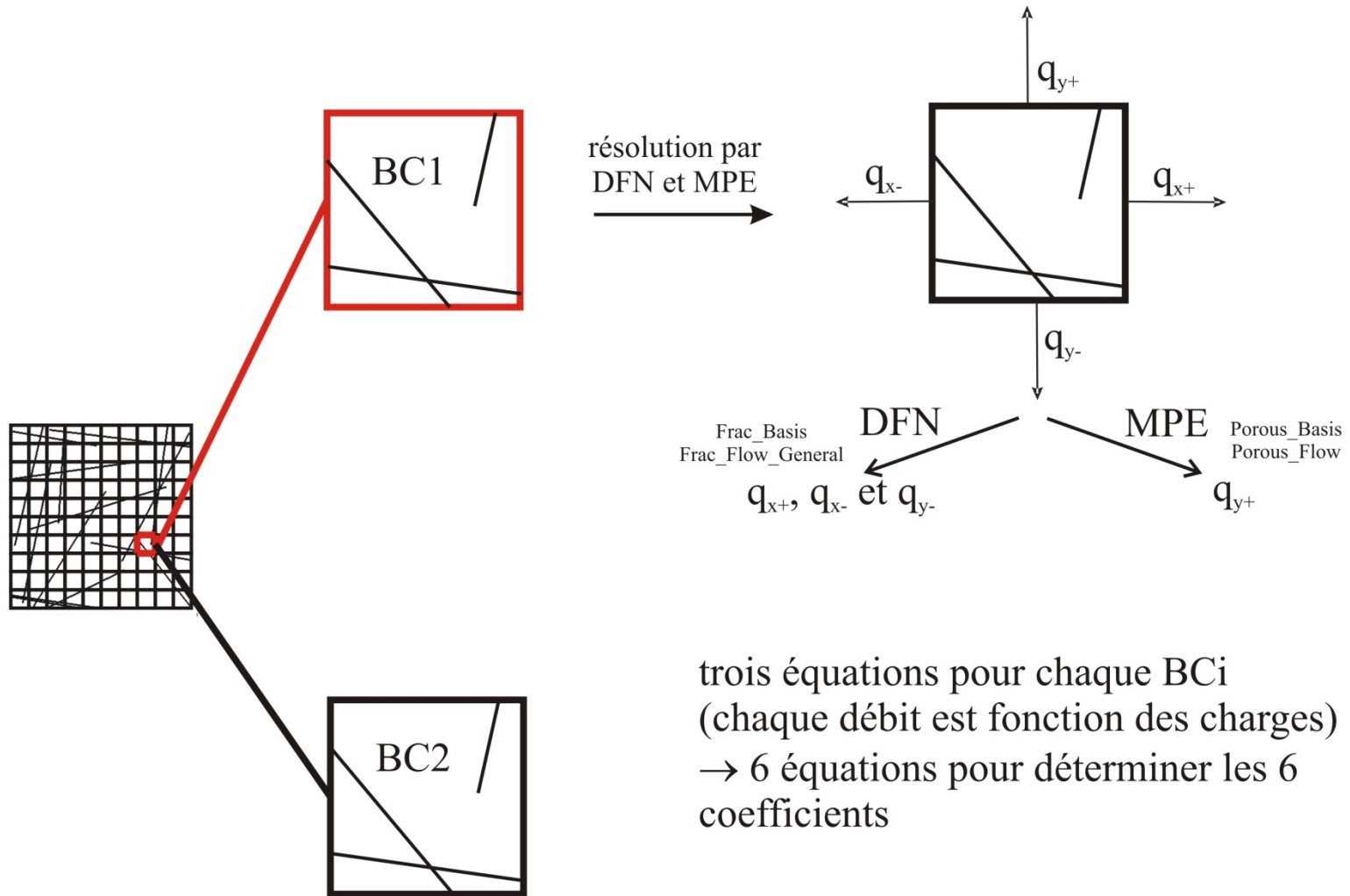
expression développée de la relation $q = Ah$

Détermination des coefficients de la matrice A en chaque bloc :

- définition des conditions limites à appliquer (arbitrairement ou par simulation)
- décomposition des fonctions choisies avec deux contraintes :
 - continuité aux coins
 - superposition



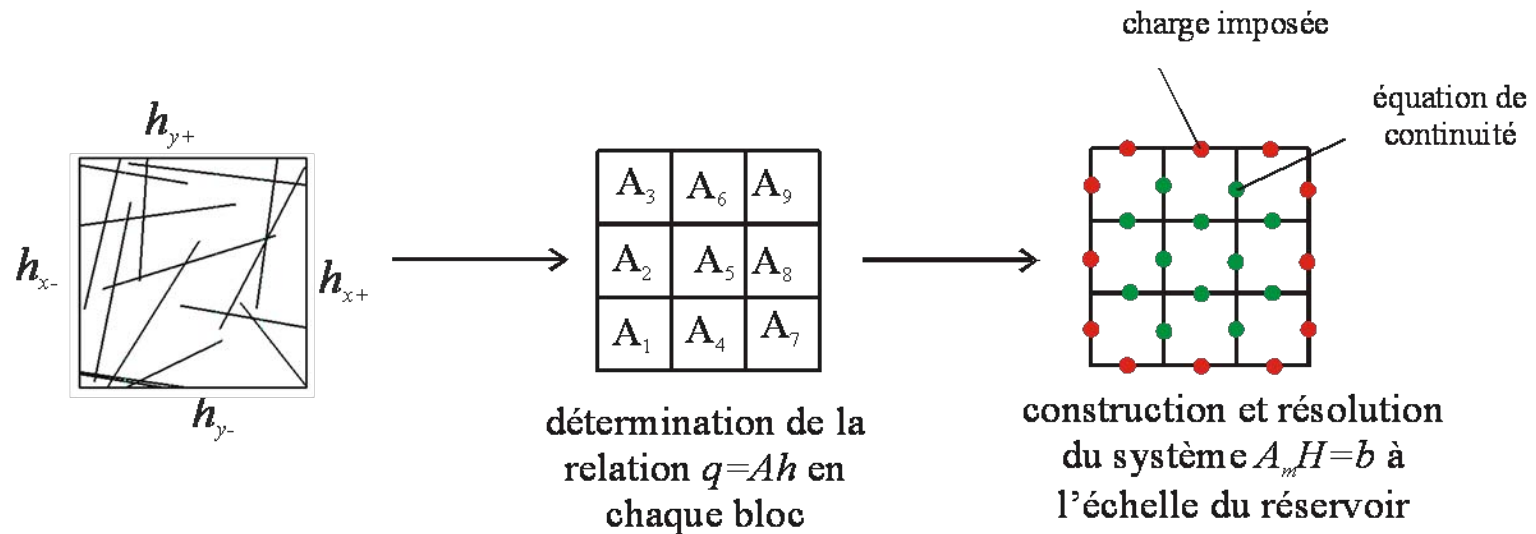
- chaque configuration permet l'établissement de trois équations :



trois équations pour chaque BCi
 (chaque débit est fonction des charges)
 → 6 équations pour déterminer les 6 coefficients

Détermination de l'équation de diffusivité matricielle :

- à partir des relations $q=Ah$ en chaque bloc : établissement du système à résoudre à l'échelle du réservoir
- équations du système :
 - conditions limites aux bords du réservoir
 - conditions de continuité de débits aux interfaces des blocs



3. *Expression de l'échange fractures matrice*

Coefficient indépendant du temps (Warren and Root, 1963):

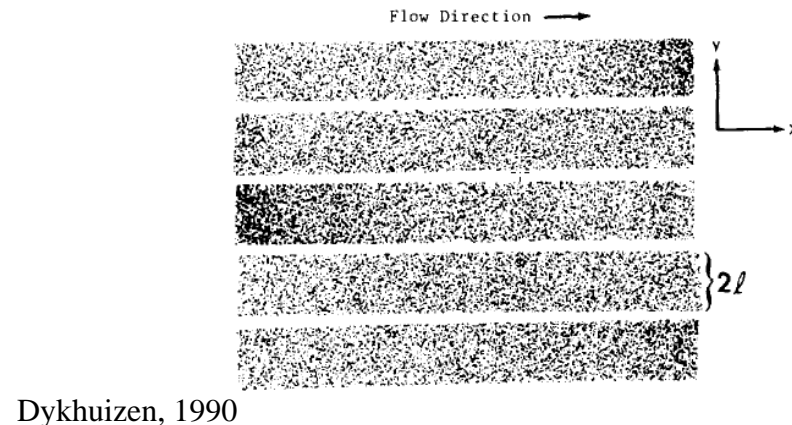
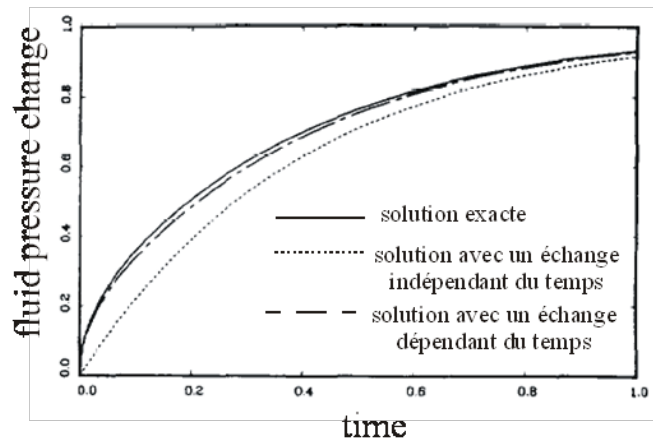
$$Q_{mf} = -\alpha \frac{\bar{K}_m}{\mu} (P_f - P_m)$$

- **hypothèse d'atteinte de l'état d'équilibre**

Coefficient dépendant du temps :

$$Q_{mf} = G^*(t) * \frac{\partial [P_m(x,t) - P_f(x,t)]}{\partial t}$$

- **prise en compte de la dépendance en temps**
- **pas d'échanges entre les couches matricielles**



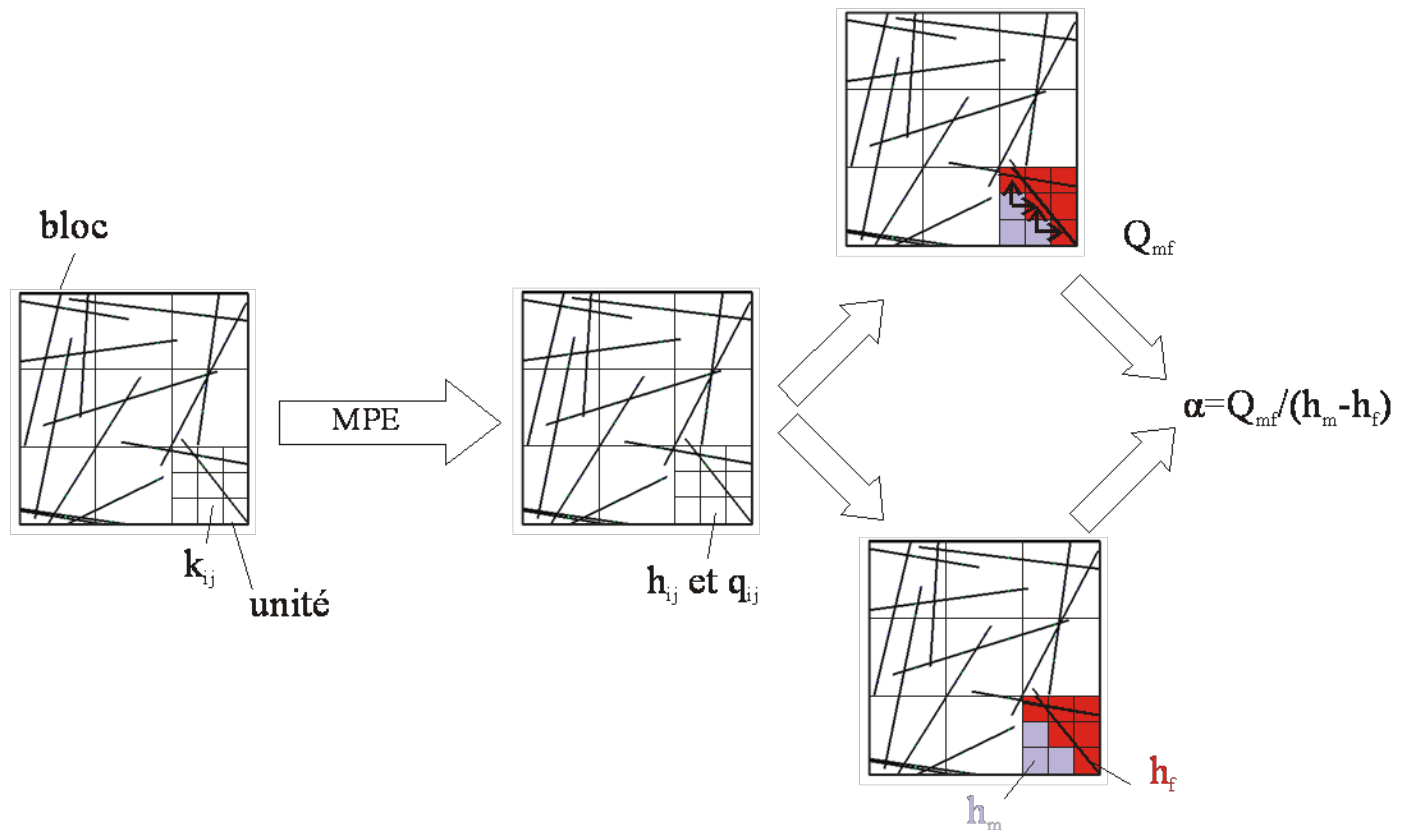
Dykhuizen, 1990

Échange fractures matrice du modèle double porosité discret :

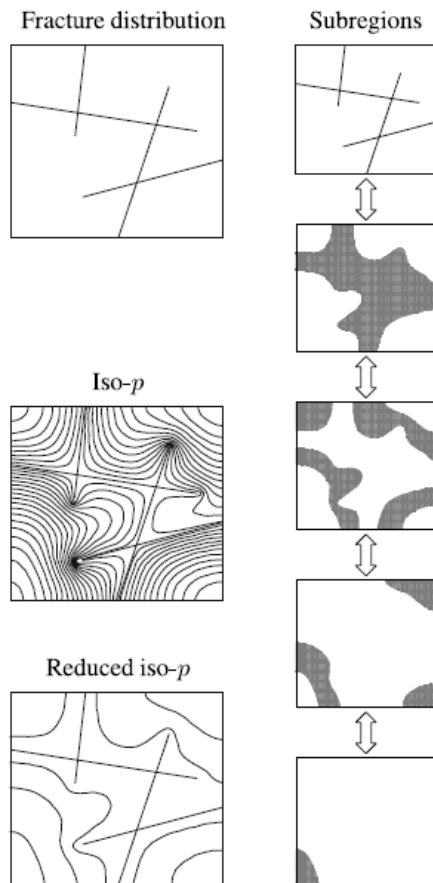
- formulation utilisée : Warren & Root

$$Q_{mf} = -\alpha(h_f - h_m)$$

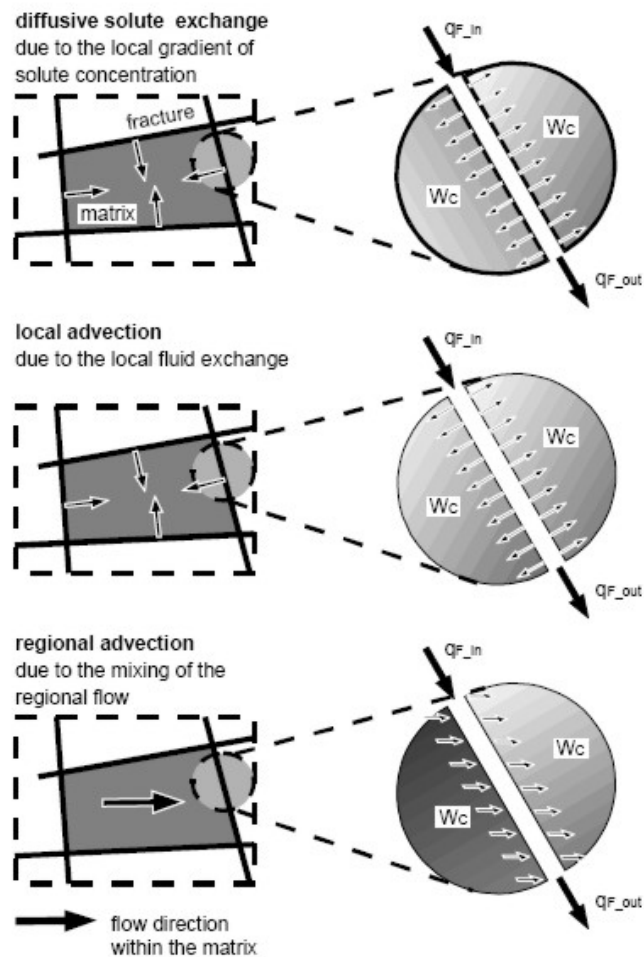
- détermination du coefficient d'échange pour chaque bloc :



Augmentation de la complexité :

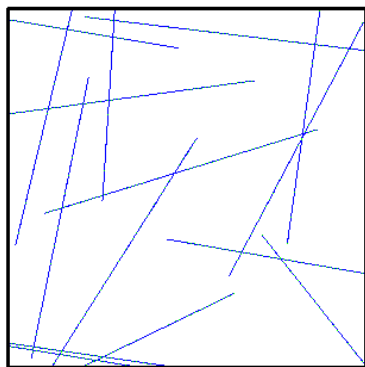


Karimi, 2006

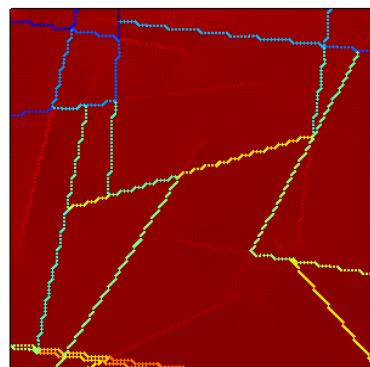
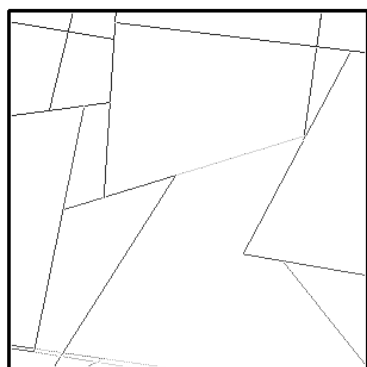


Lagendijk, 2000

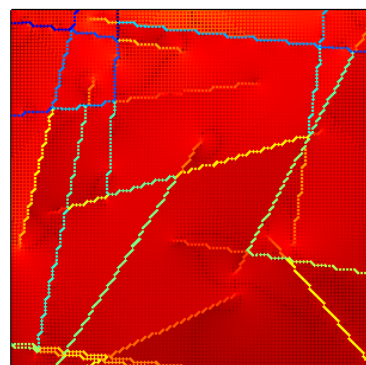
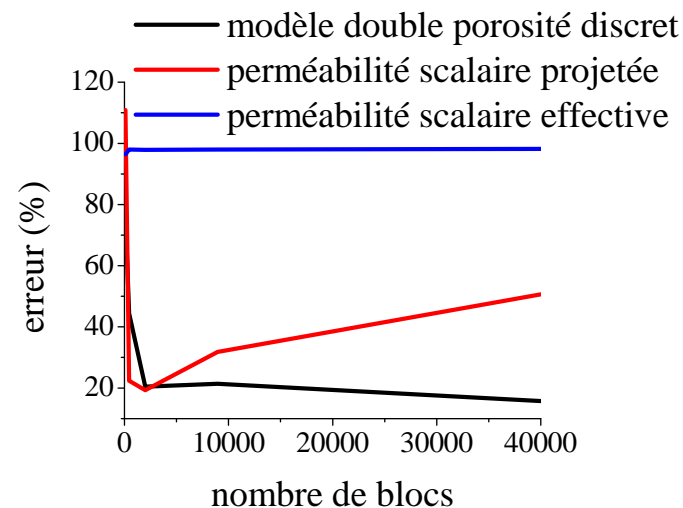
4. Validation et résultats



représentation du réseau

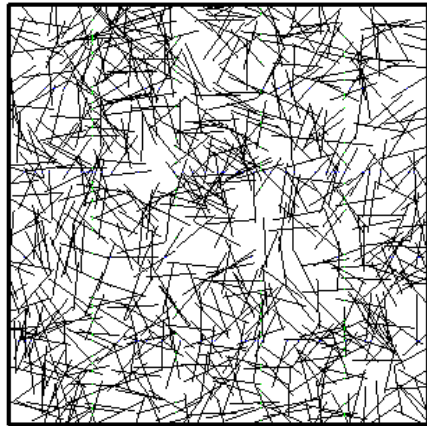
 $K_{matrice}/K_f = 10^{-6}$ 

représentation des fractures connectées (DFN)

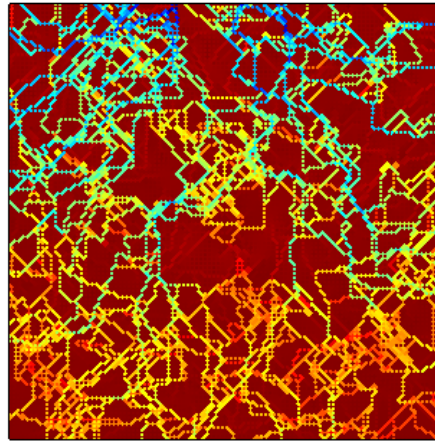
 $K_{matrice}/K_f = 10^{-1}$ 

évolution de l'erreur des méthodes d'homogénéisation en fonction du nombre de blocs

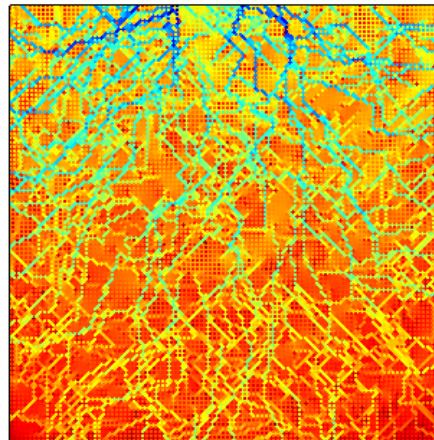
paramètres de simulations : taille du système/taille minimale des fractures=5, loi de génération des fractures (unité de longueur=4 et exposant de la loi de puissance=2), nombre de fractures=15



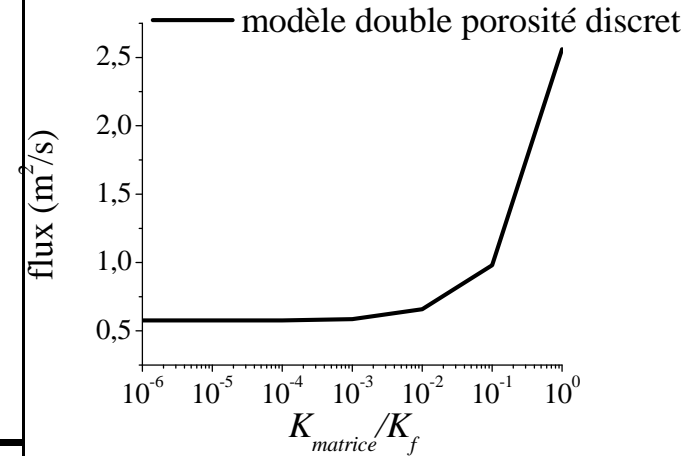
représentation du réseau



$$K_{matrice}/K_f = 10^{-6}$$

représentation des fractures
connectées

$$K_{matrice}/K_f = 10^{-1}$$

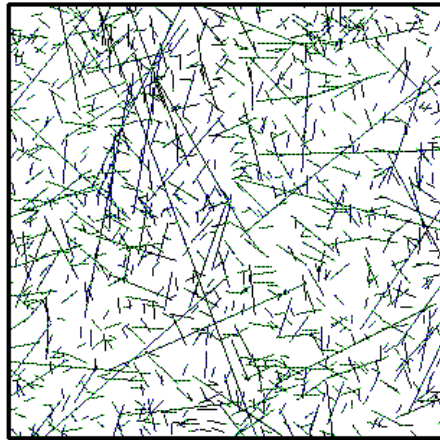


évolution du flux en fonction de la
perméabilité de la matrice

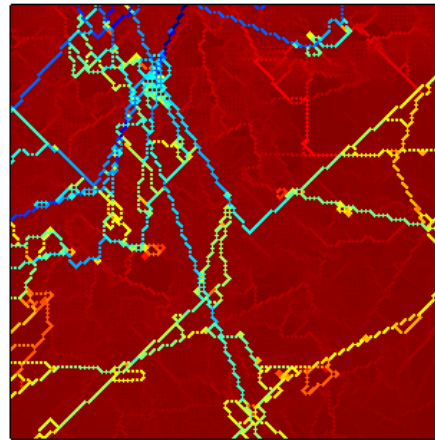
erreur par rapport à la
méthode DFN : **6,4%**

(plus de 100% avec les
autres méthodes)

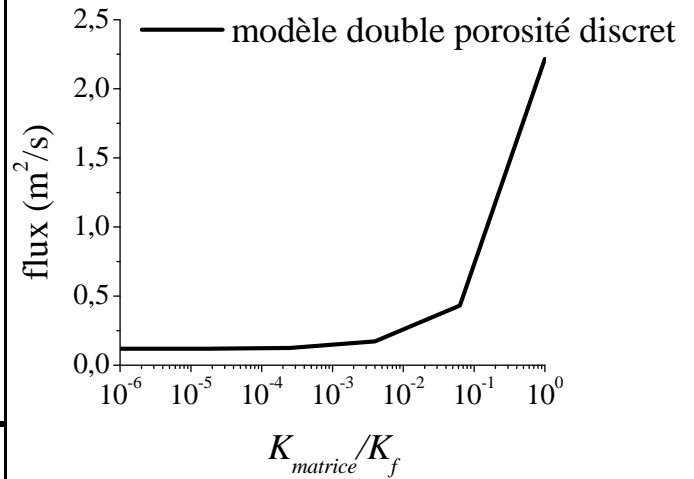
paramètres de simulations : taille du système/taille minimale des fractures=50, nombre de blocs=100, loi de génération des fractures avec unité de longueur=6 et exposant de la loi de puissance=4 (peu de variation de la taille des fractures), paramètre de percolation=10 (moyennement connecté)



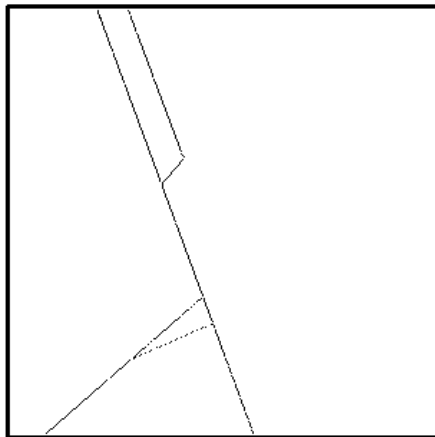
représentation du réseau



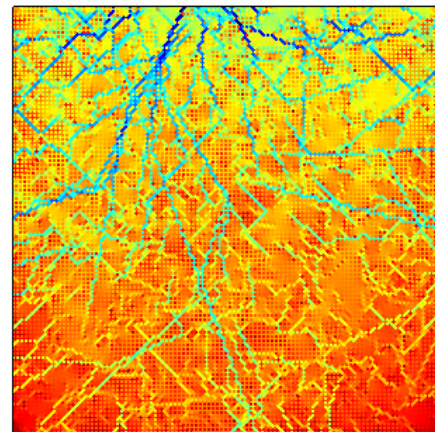
$$K_{matrice}/K_f = 10^{-6}$$



évolution du flux en fonction de la perméabilité de la matrice



représentation des fractures connectées



$$K_{matrice}/K_f = 10^{-1}$$

paramètres de simulations : taille du système/taille minimale des fractures=50, nombre de blocs=100, loi de génération des fractures avec exposant de la loi de puissance=2.5 (forte variation de la taille des fractures), seuil de percolation

Conclusion

1. *Modèle double porosité discret*

- représentation optimale de l'écoulement dans les deux milieux :
 - écoulement dans les réseaux de fractures : conservation et utilisation optimales des informations sur les fractures
 - écoulement dans la matrice : description détaillée des paramètres hydrauliques de la matrice qui permet une bonne prise en compte des fissures à intégrer
- modèles 2D et 3D
- limitation du calcul par la sélection des fractures

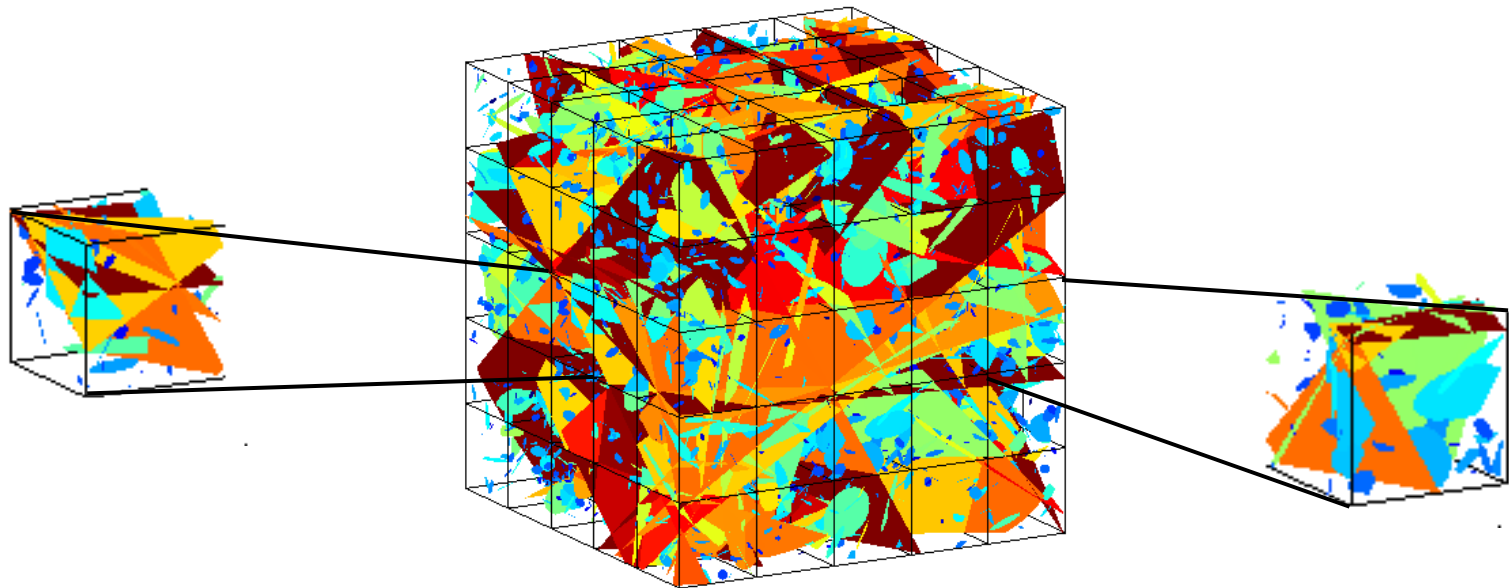
2. *Etat d'avancement et perspectives*

Méthode d'homogénéisation :

- implémentée en 2D et 3D
- en cours de validation

Echange fractures matrice à implémenter:

- 2D / 3D
- permanent / transitoire
- transport de flux / transport de solutés



24

