

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE – PARIS VI  
SPECIALITE SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

PATRICK GOBLET a le plaisir de vous inviter à la soutenance  
de son Habilitation à Diriger les Recherches

sur le thème

**MODELISATION DU TRANSFERT DE MASSE ET D'ENERGIE  
EN AQUIFERE: DES APPROCHES NUMERIQUES AUX APPLICATIONS**

La soutenance aura lieu le 28/11/2011 à 10 h à l'Ecole des Mines de Paris, 60, Bd Saint-Michel,  
salle Vendôme, devant le jury composé de :

Philippe Ackerer, DR CNRS, Université de Strasbourg	Rapporteur
Frédéric Delay, Pr, Université de Strasbourg	Rapporteur
René Therrien, Pr, Université Laval, Québec	Rapporteur
Jean Dercourt, Pr, Université Pierre et Marie Curie	Examineur
Ghislain de Marsily, Pr , Université Pierre et Marie Curie	Examineur
Olivier Pironneau, Pr, Université Pierre et Marie Curie	Examineur

# MODELISATION DU TRANSFERT DE MASSE ET D'ENERGIE

## EN AQUIFERE: DES APPROCHES NUMERIQUES AUX APPLICATIONS

Mémoire présenté en vue de l'Habilitation à Diriger les Recherches

PATRICK GOBLET

### Résumé

Le thème principal de mon travail de recherche est le développement et l'application d'outils de simulation des flux d'eau, de masse et d'énergie dans les structures aquifères. J'ai donc choisi de donner des éléments de réponse à deux questions très fondamentales: qu'y a-t-il dans un outil de simulation et à quoi cela sert-il ?

Le fil conducteur de ce mémoire d'HDR est double:

- D'une part, l'aller-retour entre les besoins nés de la modélisation d'un problème concret et la recherche des techniques numériques les plus adaptées en termes d'efficacité mais aussi de parcimonie (recherche de l'approche la plus simple possible)
- D'autre part, l'illustration de la compréhension accrue des mécanismes d'écoulement dans les structures aquifères permise par la modélisation.

Dans le souci d'identifier les méthodes numériques les plus performantes, j'ai été amené à développer et à tester différentes approches, avec des succès inégaux. Il me semble que cette expérience peut présenter une certaine utilité pour un modélisateur; c'est pourquoi j'en ai développé quelques aspects dans la première partie de ce mémoire. Trois problèmes sont abordés:

- La simulation de fronts abrupts lors de la résolution de l'équation de la dispersion, pour lesquelles sont discutées principalement une discrétisation en Eléments Spectraux, une approche aux Eléments Finis discontinus et une approche ELLAM (Eulerian Lagrangian Localized Adjoint Method)
- La simulation de l'écoulement (équation de la diffusivité) dans des milieux présentant des propriétés de perméabilité très fortement variables dans l'espace: une méthode de résolution par cycles multigrilles a été développée
- L'immersion de domaines poreux finement discrétisés, ou encore de domaines fracturés schématisés par un Réseau de Fractures Discrètes, dans un modèle d'écoulement régional: deux solutions sont proposées, l'une faisant appel à la méthode des Eléments Frontières, l'autre à une discrétisation en Eléments Finis.

Dans une deuxième partie, j'évoque mes travaux en matière de développement logiciel, entre autres le développement du code de simulation METIS, qui représente l'écoulement et le transport de masse et d'énergie en milieu poreux et / ou fracturé. Ceci me permet d'illustrer sur quelques exemples comment les outils de simulation s'ajustent pour offrir au modélisateur des fonctionnalités spécifiques qui rendent plus aisée la mise en place d'une modélisation ou qui enrichissent les informations que l'on peut en tirer.

Les outils que j'ai développés ont été utilisés pour des applications variées, allant de problèmes d'ingénierie très concrets comme la description des écoulements à travers une

digue vers des problèmes plus "amont" comme la circulation de traceurs naturels dans les grandes structures aquifères. J'ai choisi de présenter certaines de ces applications, en sélectionnant celles qui reposaient sur un support expérimental, ce qui me permet d'illustrer la démarche de modélisation depuis l'analyse des données jusqu'à la simulation.

Une première série d'exemples concerne la simulation du transport de traceurs naturels (gaz rares en particulier) dans deux grands bassins sédimentaires (Bassin Parisien et Système aquifère du Carrizo aux USA). Ces exemples montrent comment la modélisation des traceurs naturels permet d'aider à lever les indéterminations existant sur les paramètres d'écoulement (perméabilité), et d'améliorer ainsi la connaissance des flux d'eau. Les traceurs naturels sont également utilisés pour déterminer l'âge des eaux, ce qui ouvre la possibilité de reconstitutions paléoclimatiques.

Le second exemple concerne l'évaluation des débits de fuite à travers les géomembranes disposées au fond des installations de stockage de déchets. Ceci impose entre autres de décrire l'écoulement de fluide dans un système composé pour partie de matériaux naturels et pour partie de matériaux artificiels. Un élément déterminant dans la géométrie des écoulements est l'espace mince qui sépare le terrain d'accueil de la géomembrane. Ce travail s'appuie sur un support expérimental important développé au CEMAGREF, et sur une modélisation grâce au code METIS.