

Université Michel de Montaigne – Bordeaux 3

ED 480 Montaigne Humanités

Habilitation à diriger des Recherches

Hydrodynamique des systèmes aquifères profonds

- transferts de pression, de masse et d'énergie -

A l a i n D U P U Y

EA 4592 Géoresources & Environnement

Travaux présentés le 10 décembre 2012, Amphi E ENSEIRB-MATMECA

devant le jury composé par :

Pr. René THERRIEN	Vice-Doyen, Sciences & Génie, Université Laval, Québec	Rapporteur
Pr. Olivier BANTON	Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse	Rapporteur
Pr. Adrian CEREPİ	Institut Polytechnique Bordeaux – Université de Bordeaux	Rapporteur
Pr. Dominique GASQUET	Université de Savoie - Chambéry	Examinateur
Pr. Olivier ATTEIA	Institut Polytechnique Bordeaux – Université de Bordeaux	Examinateur
Pr. Hon. Pierre POUCHAN	Université Michel de Montaigne Bordeaux 3	Examinateur

Résumé

L'objet de mes travaux consiste à la mise à disposition de l'hydrogéologue d'un ensemble d'outils performants et modernes visant à la caractérisation des modes de transferts de pression, de masse et d'énergie pour participer à l'objectif final qui est l'expression d'un bilan hydrodynamique des nappes profondes. La connaissance des circulations de l'eau souterraine profonde constitue ainsi un enjeu majeur de l'hydrogéologie quantitative à des fins d'économie, de développement durable et de gestion stratégique.

Démarche

Une approche scientifique efficiente des aquifères profonds ne peut s'effectuer que par une convergence des moyens et techniques d'investigations susceptibles d'en décrire le fonctionnement intime. Une méthodologie recouvrant une multiplicité d'approches de caractérisation par couplage, est particulièrement adaptée à l'étude des systèmes aquifères profonds pour lesquels les champs de pression sont très importants et non inscriptibles dans le cadre du bassin *stricto sensu*, avec des temps de transferts généralement très longs et des conditions de températures différentes et parfois discontinues.

L'histoire géologique des grands bassins sédimentaires, et en particulier celle du Bassin d'Aquitaine, qui se traduit par une succession de dépôts avec des caractéristiques spécifiques différentes et synthétisée dans la notion d'aquifère multicouche, constitue un cadre d'études et de recherches exceptionnel en matière de nappes profondes.

Au cours de mes travaux, le bilan hydrologique a été approché selon différentes orientations qui infèrent pour chacune d'entre elles sur les écoulements souterrains. Après avoir envisagé l'aspect géologique et les implications des conditions de gisement en termes d'hydrogéologie, les effets de ces derniers sont détaillés en insistant sur le rôle de la température, sur l'hydrodynamisme souterrain des aquifères profonds, ainsi que sur les paramètres hydrodynamiques.

Dans un second volet, une vision spécifique aux aquifères profonds des différents modes de transferts de pression et de leurs interprétations et usages est donnée. Les aspects intra et inter aquifères sont précisés, ainsi que leurs possibles utilisations.

Dans un troisième volet, une synthèse des usages des modes de transferts de masse et d'énergie toujours en vue de caractériser les circulations de fluide au sein des grands systèmes aquifères profonds est réalisée. Les aspects des différents effets des champs géothermique et de salinité seront précisés en termes de champ de vitesse, temps de résidence, paléo-hydrogéologie. Nous envisagerons également les modes et outils à disposition pour une restitution plus aboutie des transferts de masse à grandes ou petites échelles.

La connaissance des paramètres qui régissent les transferts de pression, de masse, et d'énergie au sein des aquifères profonds, s'avère indispensable à la mise en œuvre d'une hydrogéologie quantitative moderne, sans préjuger, toutefois d'un certain nombre de problèmes qui restent à résoudre. La démarche scientifique devra désormais s'inscrire au sein d'un développement durable souhaité et dans le cadre d'un changement climatique annoncé. Les nappes profondes

constituent de ce double point de vue un objectif d'importance majeure. Leur extension souterraine constitue un atout économique certain qui permet la fourniture rapide d'une eau de qualité. Leur qualité est garantie d'une quasi permanence, préservée des pollutions récurrentes par l'écran naturel que constituent plusieurs centaines de mètres de terrains peu favorables à l'infiltration, tels que marnes et argiles, pour peu d'une maîtrise des intrants.

La solution de gestion en matière de développement durable nécessite d'envisager de reconstituer par la mise en œuvre de la recharge artificielle, des stocks amoindris, en venant suppléer une recharge naturelle incertaine.

L'intérêt est évident, et le projet scientifique urgent, sous son approche pluridisciplinaire. Le changement climatique annoncé, fournit un cadre à la fois incertain et d'importance très variable selon l'évolution des usages qu'il engendrera : usage agricole, usage industriel, eau potable, urbanisationetc ? Il nous appartient donc de nous doter, pour le moyen terme, d'outils appropriés et performants.

Perspectives

Ainsi, les perspectives et orientations des activités de recherches futures s'organisent autour de trois axes qui visent à définir le fonctionnement hydrologique global d'aquifères captifs.

Le premier axe consiste à envisager le changement climatique à venir comme un événement extrême ayant déjà existé à la fin de la dernière période de glaciation, avec des caractéristiques identiques. Le réchauffement climatique qui s'en est suivi, a amorcé une fonte des premiers mètres du permafrost discontinu, (et même du permafrost permanent continu).

De nouvelles conditions climatiques ont pu fortement modifier le potentiel hydraulique au droit des secteurs d'affleurement de systèmes aquifères. Il y aurait, des lors, une possibilité unique de pouvoir étudier ce qui s'est produit il y a 12 000 ans pour l'ensemble des grands aquifères captifs du monde.

De tels travaux de recherche conduiraient à préciser les apports aux limites des grands systèmes captifs, avec des possibilités de suivi de pression, de masse et de température. L'analyse du fonctionnement hydraulique de ces zones et de leur comportement serait une opportunité pour acquérir des connaissances sur la dynamique et le fonctionnement de la recharge aux limites d'aquifères actuellement fortement sollicités pour la production d'eau potable voire agricole ou industrielle.

Le changement climatique global constaté offre donc un cadre de travail propice à une meilleure compréhension du fonctionnement hydrodynamique des aquifères et nappes profonds. Du point de vue de l'hydrogéologue, on ne peut s'empêcher d'envisager ces grands aquifères profonds comme un refuge, vers lequel vont se tourner une grande partie des décideurs socio-économiques là où le besoin en eau ne pourra plus être satisfait par les eaux de surface ou de sub-surface.

Dans un deuxième axe, il apparaît aujourd'hui essentiel d'envisager des travaux de recherche sur la recharge artificielle d'aquifères profonds trop sollicités.

Le rôle stratégique que jouent les grands aquifères profonds ne peut s'envisager à long terme sans une gestion durable et raisonnée. Ces grandes entités sont caractérisées par leur inertie,

notamment vis-à-vis d'évènements extérieurs accidentels et/ou de haute fréquence telle qu'une recharge périodique annuelle parfois problématique.

Ceci induit, selon nous, la nécessité d'initier des travaux en vue d'améliorer nos connaissances sur la faisabilité d'une fonction de recharge artificielle à l'échelle de grands aquifères profonds. Sans ce soutien, ces derniers ne pourront effectivement subvenir à la demande d'eau nouvelle que de manière transitoire.

Le défi est donc d'initier un savoir-faire en matière de recharge artificielle d'aquifères profonds, ayant conscience des difficultés à injecter ou à infiltrer, une qualité et une quantité d'eau compatibles. Sans parler de la réalisation technique de champs de réinjection en adéquation avec les aquifères ciblés...

Un troisième axe potentiel, pourrait être l'exploitation géothermique de haute énergie en grande profondeur, axe spécifique aux nappes profondes des grands bassins sédimentaires. Dans ce secteur d'activité, les progrès scientifiques et techniques à réaliser sont nombreux, et les systèmes de demain restent à concevoir, avec une part importante de recherche et d'innovation technologique. A titre d'illustration, on pourrait envisager le dimensionnement et la mise en place d'un échangeur souterrain, avec une approche à double échelle locale-régionale. Dans cette optique, le fonctionnement du puits échangeur serait à l'origine de perturbations « hydro-géo-thermiques » au sein du système aquifère telles que des cellules de convection provoquées. De tels mécanismes thermo-convectifs induits, en milieu naturel, restent à étudier ...

L'ensemble de ces projets de travaux associe l'acquisition de données et leur usage dans des modèles qui se veulent de plus en plus fréquemment prévisionnels.

A moyen terme, l'outil prédictif, à savoir le modèle numérique, devra prendre en compte l'incertitude nouvelle pesant sur le climat à venir et l'importance relative des usages associés. Cette nouvelle contrainte induit pour le monde hydrogéologique d'envisager l'usage plus systématique d'outils stochastiques, seuls capables à date, de restituer les incertitudes sur les conditions limites des systèmes aquifères et de faire évoluer le déterminisme darcéen dans le domaine prédictif.