

J'ai le plaisir de vous inviter a ma soutenance de Thèse le **Jeudi 08 Juillet à 14h30 en salle Barrois** dont l'intitulé est le suivant:

**Caractérisation hydrogéophysique des milieux fracturés : développement instrumental et modélisation des vitesses d'écoulement en forage**

devant le jury composé de :

François-Henri CORNET Prof., I.P.G Strasbourg / rapporteur  
Frédéric DELAY Prof., Université de Poitiers / rapporteur  
Alain DASSARGUE Prof., Université de Liège / examinateur  
Philippe DAVY, Directeur de recherche, CNRS / examinateur  
Albert GENTER Scientific manager, B.R.G.M / examinateur  
Olivier BOUR Prof., Université de Rennes 1 / directeur de thèse

Je vous invite également à venir vous restaurer au traditionnel pot qui suivra ma soutenance.

Cordialement,

Sébastien Ruelleu

**Résumé :**

Les milieux fracturés se caractérisent par une forte hétérogénéité du champ de vitesse liée à la localisation des flux dans les zones les plus perméables du réseau de fractures. Dans un tel contexte, prédire les écoulements ou le transport nécessite d'apporter des contraintes assez fines sur le milieu et sur les flux. Nous avons abordé cette question à travers trois approches complémentaires:

- (i) une étude des liens entre fracturation, zones de déformation, et écoulements observés sur le site expérimental de Ploemeur ;
- (ii) la réalisation d'un modèle numérique de débitmétrie destiné à imager les propriétés hydrauliques entre forages; et
- (iii) le développement d'une nouvelle sonde permettant la mesure des vitesses d'écoulement horizontales en partenariat avec la division technique de l'INSU (Brest).

L'analyse des diagraphies et des carottes de forage du site de Ploemeur a clairement mis en évidence que les principales zones de déformation sont constituées de brèches de faille ou bien par des zones broyées, associées ou non à des pegmatites très fracturées. À l'échelle locale, la corrélation entre zones de déformation ou de fracturation et zones d'écoulements est difficile à réaliser tant la variabilité des propriétés du milieu est importante. Toutefois, il semble confirmé que le contact granite micaschistes soit associé à des zones broyées faiblement pentées et des pegmatites fracturées très transmissives. Les autres familles de fractures subverticales N110° et N20° contrôlent sans doute une partie de la recharge.

Le modèle numérique de débitmétrie en forage nous a permis de reproduire des expériences de tests d'interférences pour établir les réponses types en fonction des propriétés géométriques et hydrauliques des fractures. La caractérisation de la connectivité des différentes structures connectées aux puits est facilement identifiable à travers l'analyse des flux transitoires. Une des difficultés liées à l'inversion provient de la présence de cheminements indirects et de la méconnaissance du débit effectif pompé dans les structures connectées. Nous avons aussi montré que le coefficient d'emmagasinement des fractures contrôlait significativement la réponse des flux verticaux. Enfin, nous avons mis en évidence la façon dont les structures déconnectées du puits de pompage pouvaient influencer la réponse hydrologique. Ces travaux sont complétés par une application sur le site de Ploemeur.

Pour mesurer in-situ la vitesse d'écoulement de l'eau, nous avons participé au développement d'une nouvelle sonde (PIVEF) basée sur la mesure de vitesse par suivi de particules. L'intérêt majeur de cette sonde est de permettre des mesures de vitesses sur une large fenêtre d'observation sans avoir à déplacer l'outil de mesure. La réalisation mécanique de l'outil ainsi que son pilotage ont été réalisés par la Division Technique de l'INSU tandis que le traitement des images et les tests en laboratoire ont été réalisés à Géosciences Rennes. Les tests sur banc expérimental ont montré que les vitesses d'écoulement du fluide peuvent être mesurées sur une large gamme de valeur ( $1.10^{-5}$  à  $1.10^{-2}$  m/s) en milieu homogène. Lorsque les

écoulements sont localisés de manière analogue à ce qui est observé dans les milieux fracturés, la présence de boucles de recirculation crée des perturbations dans la colonne d'eau, en particulier lorsque les pendages des fractures sont supérieurs à 30°. Ces travaux expérimentaux ont pu être complétés par quelques tests préliminaires sur site.

**Mots-Clés** : *Hydrogéologie, géophysique, milieu fracturé, mesure de vitesse en forage, modélisation, débitimétrie*