

## Thèse

pour l'obtention du grade de  
Docteur de l'Université de Poitiers

### Faculté des sciences fondamentales et appliquées

(Diplôme national - arrêté du 7 août 2006)

*Ecole doctorale* : Ingénierie, Chimie, Biologie, Géologie

Secteur de recherche : Terres solides et enveloppe superficielle

### Spécialité : Hydrogéologie

Présentée par Abdourahman HOUMED-GABA

\*\*\*\*\*

### Hydrogéologie des milieux volcaniques sous climat aride. Caractérisation sur site expérimental et modélisation numérique de l'aquifère basaltique de Djibouti (Corne de l'Afrique).

\*\*\*\*\*

Directeur de thèse : Moumtaz RAZACK

Co-directeur de thèse : Mohamed JALLUDIN

Soutenue le 16 avril 2009

devant la commission d'examen

Jury

Yves TRAVI	Professeur, Université d'Avignon	Président
Jean-Pierre FAILLAT	Professeur, Université de Brest	Rapporteur
Christian LEDUC	Directeur de recherches, IRD, Montpellier	Rapporteur
Joël ROLET	Président du CIFEG, Orléans	Examineur
Moumtaz RAZACK	Professeur, Université de Poitiers	Examineur
Mohamed JALLUDIN	Directeur général du CERD, Djibouti	Examineur

## Résumé

L'aquifère de Djibouti est formé par des basaltes fissurés et des scories datés de 1 à 9 Ma, intercalés de niveaux sédimentaires. Il est localisé en zone côtière sous un climat semi-aride. Cet aquifère revêt une importance capitale pour la ville de Djibouti qui exploite cette ressource à hauteur de 15 millions de m<sup>3</sup>/an. Un Site Expérimental Hydrogéologique (SEH) constitué de 11 forages répartis sur 1 hectare, y a été implanté.

Les logs de conductivité électrique des forages ont montré un niveau d'eau douce superficielle surmontant un niveau d'eau saumâtre. La lithologie a montré des scories surmontées par des basaltes.

Les slug tests effectués sur les basaltes fissurés ont été interprétés à l'aide des solutions de Hvorslev (1951) et Bouwer & Rice (1976). Des perméabilités très faibles de 10<sup>-8</sup> m/s ont été obtenues.

Les pompages d'essais exécutés sur des scories ont donné des perméabilités très élevées, de l'ordre de 10<sup>-2</sup> m/s. Au niveau du SEH, les scories se comportent comme un milieu semi-captif avec une drainance à partir des basaltes, conformément au modèle de Hantush-Jacob (1955).

Les résultats des analyses chimiques des eaux de l'aquifère, traités par des outils de classification statistique (analyses factorielles de correspondances) ont montré trois types d'eau : le type chloruré, le type sulfaté et le type bicarbonaté.

Un modèle numérique de l'aquifère en régime permanent a été élaboré par la méthode des points pilotes combinée aux fonctionnalités de paramétrisation non-linéaire et de régularisation du logiciel d'inversion PEST. Les résultats du modèle montrent que l'exploitation de cet aquifère a atteint une limite cruciale.

**Mots clés** : Aquifère basaltique; Essais hydrauliques; Site expérimental d'Atar; Points pilotes; Djibouti, Géostatistique; Climat aride; Modélisation numérique.

## Abstract

The Djibouti aquifer is constituted by fractured basalts and scoria of 1 to 9 My old, intercalated with sediments layers. It is localised in a coastal area under semi-arid conditions. This aquifer is exploited over 15 millions m<sup>3</sup>/year for Djibouti town water supply. A hydrogeological research site which includes by now 11 wells was set up on the aquifer, over 1 hectare area. Lithological logs of the wells show scoria underlying fractured basalt. Electrical conductivity profiles performed on the research site wells show fresh groundwater overlying at places brackish water.

Slug tests were conducted on the fractured basalts, using Hvorslev (1951) and Bouwer & Rice (1976) solutions. Long term pumping tests were conducted to characterise the scoria. An estimate of the average hydraulic conductivity is thus obtained for the fractured basalts ( $K=10^{-8}$  m/s) and for the scoria ( $K=10^{-2}$  m<sup>3</sup>/s). The long term tests have been interpreted using the semi-confined Hantush-Jacob model (1955) which showed that the scorias are under leaky conditions.

The chemical analyses results, using multivariate statistical tools (factorial analysis) show three types of water, chloride water, sulphate group and bicarbonate type.

A numerical modelling is elaborated using the pilot points methodology in conjunction with the PEST non-linear parameter estimation and regularisation functionality. The water balance showed that the exploitation of this aquifer has reached a crucial limit and cannot be increased without serious risks of degrading its resources.

**Key words:** Basaltic aquifer; Hydraulic tests; Research site of Atar; Pilot points; Djibouti; Geostatistics; Arid climate; Numerical modelling.