



SIMULATION DE L'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE FORAGE HYDRAULIQUE DE MONZOUNGOU DO AU BENIN

SIMULATION OF UNDERGROUND WATER FLOW IN MONZOUNGOU DO HYDRAULIC DRILLING IN BENIN

HOUNTON DJI B.¹, CODO F. P.², AINA M. P.³

¹ Université d'Abomey-Calavi, Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA), 072 BP 50 Cotonou, Bénin.

² Université d'Abomey-Calavi, Institut National de l'Eau (INE),
01 BP 526 Cotonou, Bénin.

³ Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE),
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

babilassrock@yahoo.fr

RESUME

Le diagnostic du système hydraulique existant dans le village de Monzoungou do, en vue de la réfection de son réseau de distribution d'eau potable, nous a amené à créer un simulateur de son forage. Il s'agit d'un simulateur à une dimension qui utilise la pression au fond du forage ou en tête de forage pour résoudre les équations générales de conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie. La validation de ce code affiche que dans le forage hydraulique de Monzoungou do, les simulations sont en accord avec les journaux de pression de forages en générale.

Mots- clés : Simulation, forage hydraulique, eaux souterraines, pression, Matlab.

ABSTRACT

The diagnosis of the existing hydraulic system in the village of Monzougoudo, with a view to repairing its drinking water distribution network, led us to create a simulator for its drilling. It is a one-dimensional simulator that uses pressure at the bottom of the borehole or drillhole to solve the general conservation equations of mass, momentum and energy. The validation of this code shows that in the hydraulic drilling of Monzougoudo, the simulations are in agreement with the drilling pressure logs in general.

Keywords: Simulation, Hydraulic drilling, underground waters, pressure, matlab.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource d'une grande importance pour la vie et indispensable pour l'activité humaine sur la terre. Les ressources en eau douce ne constituent que 3% de la ressource mondiale (Ahmad, 2007), dont les trois quarts sont sous forme de neiges et glaces (Gleick, 1996). Le pourcentage restant, fait de l'eau un capital précieux. Les réserves en eaux souterraines représentent les 95 % de l'eau douce sur la terre (Ahmad, 2007).

En Afrique, les eaux souterraines représentent la deuxième source d'approvisionnement en eau potable après les eaux de surface. L'OMS rapporte que près de 75% de la population africaine, utilisent, cette ressource d'eaux souterraines pour leurs besoins notamment en eau de boisson, en agriculture et l'élevage (OMS, 2016).

Au Bénin, nombreux sont les zones rurales qui sont dotés d'énormes ressources en eaux dans leurs sous-sols. Et la plupart de ces zones sont très dépendants de ces ressources pour leurs besoins en eau dont une partie importante est utilisée pour l'alimentation en eau potable des populations à partir des forages réalisés à cet effet. Le village de Monzougoudo fait partie de ces zones rurales et exploite essentiellement sa nappe captive pour l'approvisionnement en eau de sa population. Cependant, son réseaux de distribution d'eau potable qui est resté non fonctionnel depuis plus d'une décennie à obliger la population à se retourner vers l'alimentation traditionnelle qui est un vecteur de développement des maladies hydriques comme la diarrhée, la dysenterie, la fièvre typhoïde, le choléras...etc.

Cette situation à amener le gouvernement béninois à orienter des recherches vers la détermination des paramètres hydrodynamiques qui conditionnent l'exploitation des eaux souterraines de la nappe captive de Monzougoudo. Ainsi, c'est pour contribuer à la détermination de ces paramètres hydrodynamiques, que cette étude a été initiée. L'objectif général visé par cette étude est de créer un simulateur à une dimension du forage de Monzougoudo, qui utilise la pression au fond du forage ou en tête de forage pour résoudre les équations générales de conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie en vue de diagnostiquer le forage



Figure 1 : Etat des équipements en tête de forage (Vanne, débitmètre, manomètre endommagée)

DESCRIPTION DU PROBLEME

Un forage hydraulique permet d'accéder au réservoir d'eaux souterraines et d'extraire de l'eau en vue de satisfaire les besoins des populations en eau potable.

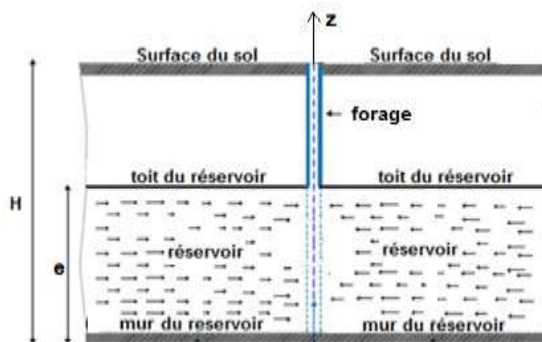


Figure 2 : Représentation physique du problème

Le modèle physique du forage de Monzougoudo est constitué d'un tuyau vertical circulaire avec un écoulement de l'eau souterraine dans la zone profonde avec une pression statique donnée. L'analyse de l'écoulement de l'eau à l'intérieur du forage hydraulique de Monzougoudo nécessite le calcul correct de la pression et des profils de vitesse le long du forage, ainsi que la connaissance des propriétés hydrodynamiques d'eau car il s'agit d'un forage non géothermique (température de l'eau à la surface du sol égale à 20°C). Bien que de nombreux simulateurs pour la modélisation de l'écoulement de l'eau dans les forages hydrauliques aient été déjà développés; leur capacité de prédiction pour faire correspondre les données mesurées sur le terrain n'a été que partiellement réussie.

MATERIELS ET METHODES

Les données nécessaires pour modéliser un forage

Géométrie et hydrodynamique du forage de Monzougoudo

Les données concernant la géométrie et l'hydrodynamique du forage sont regroupées dans le tableau 1 et concernent principalement les données techniques du forage hydraulique réalisé dans le village de Monzougoudo et qui sont fournies par la Direction Générale de l'Eau du Bénin (DGEau).

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques et paramètres hydrodynamiques du forage de Monzougoudo (source : DGEau, Bénin)

Caractéristiques géométriques et paramètres hydrodynamiques du forage de Monzougoudo	
Profondeur du forage H (m)	244,18
Diamètre du forage D (m)	0,126
Débit Q (cm ³ /s)	2000
Accélération de la pesanteur g (m/s ² ou N/kg)	9,81
Pression en tête de forage p ₂ (bars)	4,16
Rugosité absolue du tuyau ε (mm)	0,12

Paramètres hydrodynamiques de la nappe

A partir des pompages d'essai réalisés sur la nappe aquifère de Monzougoudo par la DGEau du Bénin, nous avons obtenus quelques valeurs de paramètres hydrodynamiques. La température de la nappe est constante de 20 °C, le fluide qui est de l'eau a une masse volumique $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, une viscosité

dynamique $\mu = 10^{-3} Pa.s$ et une viscosité cinématique $\vartheta = 10^{-6} m/s$, (DGEau, Bénin).

Formulation des équations

Le code se base principalement sur la résolution des équations de Bernoulli qui s'écrit :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho_w g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho_w g} + z_2 + \Delta h \quad (1)$$

avec

p_1 : pression en pied du forage; p_2 : pression en tête de forage;

v_1 : vitesse en pied de forage; v_2 : vitesse en tête de forage;

z_1 : côte de pied de forage; z_2 : côte de tête de forage;

Δh : perte de charge le long du forage

En première approche, on résout le système d'équations en utilisant le modèle homogène qui suppose que la vitesse de l'eau constante le long du forage.

L'équation de quantité de mouvement nous permet de calculer la pression par le biais du calcul de la pression hydrostatique et des pertes de charges.

Les pertes de charges se calculent par la formule de Darcy-Weisbach qui s'écrit :

$$\Delta h = \lambda \frac{H v^2}{D 2g} \quad (2)$$

où :

Δh : perte de charge le long du forage ; H : profondeur du forage;

λ : coefficient de perte de charge ; D : diamètre du forage ; v : vitesse.

La formule de Colebrook a été utilisée pour déterminer le coefficient de perte de charge λ

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71D} \right) \quad (3)$$

Après transformation des formules précédentes discrétisation par la méthode de différence finie avec un schéma décentré amont on retrouve l'expression suivante :

$$p_2 = p_1 - \rho_w g H - \lambda \rho_w \frac{H v^2}{D} \quad (4)$$

avec

p_1 : pression en pied du forage; p_2 : pression en tête de forage;

v : vitesse d'écoulement de l'eau dans le forage ;

L'initialisation de la pression, c'est à dire le champ de pression à l'instant initial, se calcule par la pression hydrostatique et on suppose qu'à l'instant initial il n'y a pas d'écoulement de l'eau dans le forage ($v = 0$) :

$$p_2 = p_1 - \rho_w g H \quad (5)$$

La pression au fond du forage est calculée à travers le calcul de la pression dans le réservoir :

$$p_1 = p_{st} - \frac{\mu Q}{2\pi e k} \ln\left(\frac{R}{a}\right) \quad (6)$$

p_1 : la pression en pied de forage ; p_{st} : la pression statique dans le réservoir,

k : perméabilité intrinsèque du milieu ; R : le rayon d'action du forage ;

a : le rayon du forage ; μ : la viscosité dynamique du fluide, Q : le débit ;

e : l'épaisseur du réservoir

Description du code

Le code réalisé dans cette étude reprend les équations formulées dans la section précédente et utilise le langage Matlab pour les coder.

Le code commence d'abord par :

- Début du programme
- Lire tous les paramètres du problème.
- Initialise les variables.
- Calcule la pression dans le réservoir.
- Calcule tous les coefficients de pertes de charge.
- Calcule la pression dans le forage avec la pression hydrostatique et les pertes de charge.
- Écriture des fichiers résultats
- Fin du programme

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats

Dans cette partie, on présentera les résultats obtenus par le code développé durant cette étude:

Dans tous ce qui suit, on suppose qu'initialement il n'y a dans le forage et le réservoir que de l'eau liquide pure, on initialise le champ de pression par la pression hydrostatique.

On commence par le profil de pression :

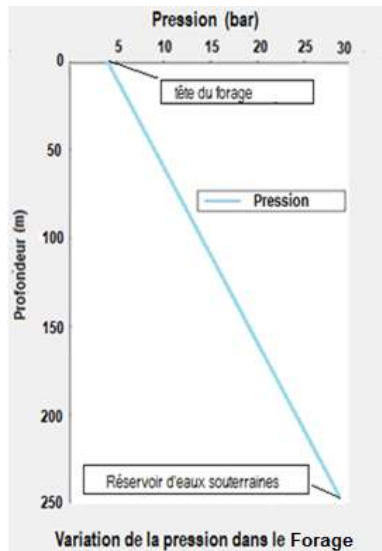


Figure 3 : Variation de la pression $p(z)$ dans le forage en fonction de la profondeur z

Discussion

Les profils de pression ci-dessous ont été extraits de l'article « The thermodynamics behind initiation of flow from geothermal wells » Jason G. Gotuato. Energy Development Corporation – EDC; 38/F One Corporate Centre Building; Julia Vargas corner, Meralco Avenue ; Ortigas Center, Pasig City, 1605; PHILIPPINES.

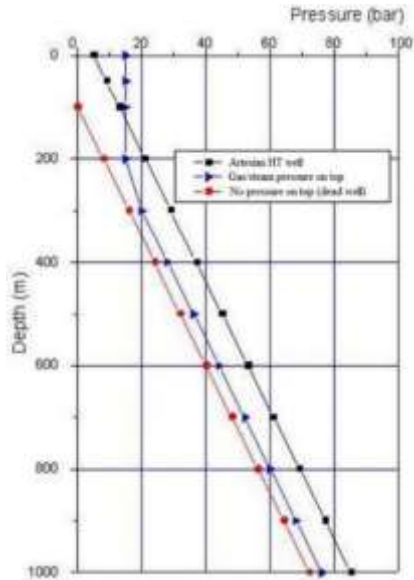


Figure 4 : Artesian and non-artesian wells for low-temperature systems (Steingrímsson, 2015)

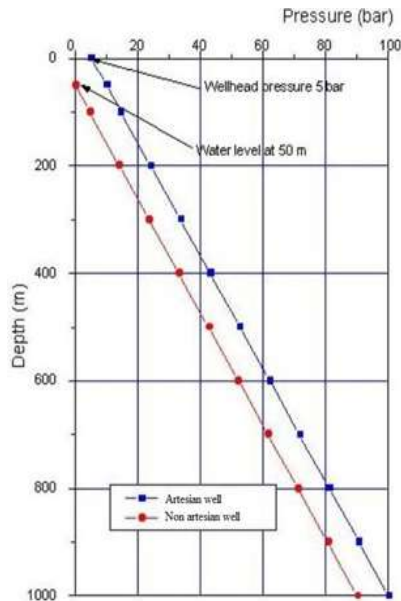


Figure 5 : Artesian and non-artesian wells for high-temperature systems (Steingrímsson, 2015)

On remarque que le profil de pression obtenu pour le forage hydraulique de Monzougoudo et ceux trouvés en littérature ont la même allure.

CONCLUSION

Le simulateur de forage créé pour cette étude est un simulateur à une dimension qui utilise la pression au fond du puits ou en tête de forage pour résoudre les équations générales de conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie. La validation de ce code affiche que dans le forage de Monzougoudo, la simulation est en bon accord avec les journaux de pression de forages en générale.

Dans l'avenir, des améliorations pourraient être apportées à ce simulateur. L'option de changements d'une géométrie de forage pourrait être incorporée. En outre, l'ajout de plus d'options pour le facteur de correction de friction permettrait au simulateur de devenir plus convivial.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUSTRALIAN DRILLING INDUSTRY TRAINING COMMITTEE, LTD (1997) DRILLING: The manual of methods, applications, and management. Lewis Publishers, 624 pp.
- AHMAD, A.K.H., (2007). Media Pembelajaran an Makassar; Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.
- BJÖRNSSON, G., ARASON, P., BÖDVARSSON, G.S., (1993). The wellbore simulator HOLA. Version 3.1. User's guide. Orkustofnun, Reykjavík, Iceland, 36 pp.
- BUNING, B.C., GONZAGA, L.D., AQUI, A.R., SALERA, J.R.M., AND SARMIENTO Z.F. (1998). Discharge initiation by gas-lifting: PNOC-EDC experience in Philippine geothermal wells. Proceedings of the 23rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, CA, US, 379-383 pp.
- CODO F.P. (1989). Etude Analytique des coactions hydrodynamiques et thermodynamique entre les réservoirs, les puits de production et de Réinjection Géothermiques. Thèse de Doctorat ès Sciences Minières, Université Polytechnique de l'Industrie Lourde Miskolc, Hongrie, 127p.
- CODO F.P., ADANHOUNMÈ V., and ADOMOU A. (2012). Analytical approach for the determination of complex potential and pressure in the production and

- reinjection wells of geothermal reservoir. *Journal of Applied Sciences Research*, ISSN 1819-544X, no8, pp.261-266.
- DRISCOLL, F.G. (1986) *Groundwater and wells* (2nd ed.). Johnson Screens, St. Paul, MN, US, 1089 pp.
- GLEICK, P.H., (1996). "Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. *Water International*. 21: 83 -92.
- HUBBERT M.K., WILLIS D.G. (1957). *Mechanics of hydraulic fracturing*. *Petroleum, Trans, AIME*, Vol. 210, pp153-168.
- JASON G. G., (2015). *The thermodynamics behind initiation of flow from geothermal wells*. United Nations University, Geothermal Training Programm. Orkustofnun, Grensasvegur 9, IS-108 Reykjavik, Iceland.
- OMS (2016). *La mise en valeur des ressources en eau, Rapport mondial des Nations-Unies*, 29 p.