



MODELE HYDROGEOLOGIQUE POUR LE SUIVI DU RABATTEMENT DE LA NAPPE DE MONZOUNGODO AU BENIN

HYDROGEOLOGICAL MODEL FOR MONITORING THE DRAWDOWN OF THE GROUNDWATER OF MONZOUNGODO IN BENIN

HOUNTONDI B.¹, CODO F. P.²

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.

babilassrock@yahoo.fr

RESUME

L'approvisionnement en eau potable de la population Monzoungodo est fait à partir des eaux souterraines. La croissance de la population entraînant ainsi une forte demande en eau pourrait occasionner dans le futur un déficit en matière d'approvisionnement en eau potable. Cette étude a but de réaliser un modèle hydrogéologique capable de suivre le niveau de cette nappe et d'apprécier l'évolution du rabattement induit par l'exploitation du forage de Monzoungodo. Le modèle a été conçu en régime permanent. Le débit d'exploitation de la nappe de Monzoungodo augmentant avec la croissance de la population, ceci occasionne une diminution du rabattement à partir du point de coordonnées (r=33,74m ; h=286,65m) où on enrégistre le rabattement moyen.

Mots-clés : forage, rabattement, régime permanent, nappe captive, Monzoungodo.

ABSTRACT

The drinking water supply of the Monzougoudo population is made from groundwater. Population growth resulting in high demand for water could lead to a shortage in the future of drinking water supply. This study aims to realize a hydrogeological model able to follow the level of this aquifer and to appreciate the evolution of the drawdown induced by the exploitation of the drilling of Monzougoudo. The model has been designed in steady state. The exploitation rate of the Monzougoudo aquifer increases with the growth of the population, this causes a decrease in the drawdown from the point of coordinates ($r = 33.74\text{m}$, $h = 286.65\text{m}$) where we register the average drawdown

Keywords: Boreholes, drawdown, steady state, captive aquifer, Monzougoudo.

INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau potable de la population de Monzougoudo est assuré à partir de son réservoir à nappe captive. Au cours de ces dernières décennies, l'expansion accélérée du village de Monzougoudo, la croissance de la population, ont développé des activités telles que: la lessive, le lavage de moto et la baignade aux alentours du forage (photo 1 et photo 2). Cette ressource est donc confrontée à des menaces qui contribuent à la dégradation quantitative et qualitative des eaux souterraines. Dans l'optique de renforcer l'approvisionnement en eau à Monzougoudo, l'Etat Béninois s'est orienté vers l'exploitation de sa nappe captive. Ainsi, c'est pour contribuer à une gestion durable de cette ressource en eau, que cette étude a été initiée. L'objectif général visé par cette étude est de concevoir un modèle hydrogéologique capable de prévoir l'influence de la variation du débit d'exploitation sur le niveau de la nappe dans le réservoir de Monzougoudo en vue d'une gestion efficace de son forage hydraulique.



Photo1 : Lessive et lavage de moto aux alentours du forage



Photo 2 : Baignade aux Alentours du forage

PRESENTATION GENERALE DE LA REGION DE MONZOUGOUDO

Monzougoudo est un village situé dans la commune de Ouinhi plus précisément dans l'arrondissement de Ouinhi- Centre. Il est limité au Nord par les villages de Ouzogon et de Adjogbé, au sud par le village de Manfougbon, à l'Est par le département des plateaux et à l'Ouest par les villages de Monzoukango et Ahikon (Figure 1.). Ce village est situé dans le bassin sédimentaire côtier. Il compte six (06) localités à savoir : Adjazoungo, Mafougbon, Monzougoudo centre, Alidjinouhoué, Ayèhoué et Davèzoumè.

La figure 1 montre la situation géographique de la zone d'étude au Bénin.

Géologie et Hydrogéologie

Monzougoudo appartient à l'unité IIIa d'âge paléocène supérieur-Yprésien (OBM, 1989). Cette unité est constituée essentiellement par des argiles gris sombre, de calcaires à légèrement calcaires, feuilletées. Les rapports en pourcentage entre les minéraux argileux qui les constituent, l'attapulgite et la kaolinite, sont variables le long de la sub-séquence; l'attapulgite atteint les pourcentages les plus élevés à la base vers la moitié de la succession (OBM, 1989).

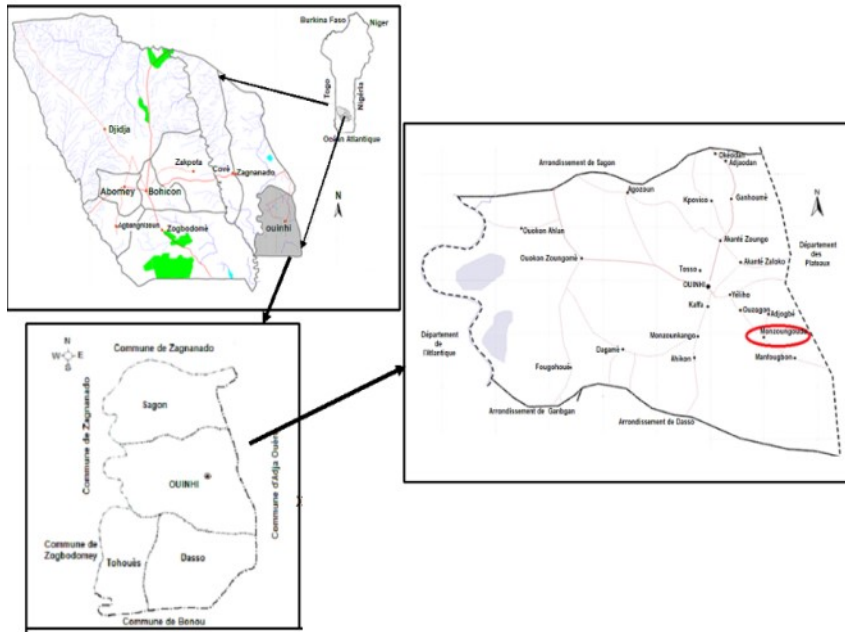


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

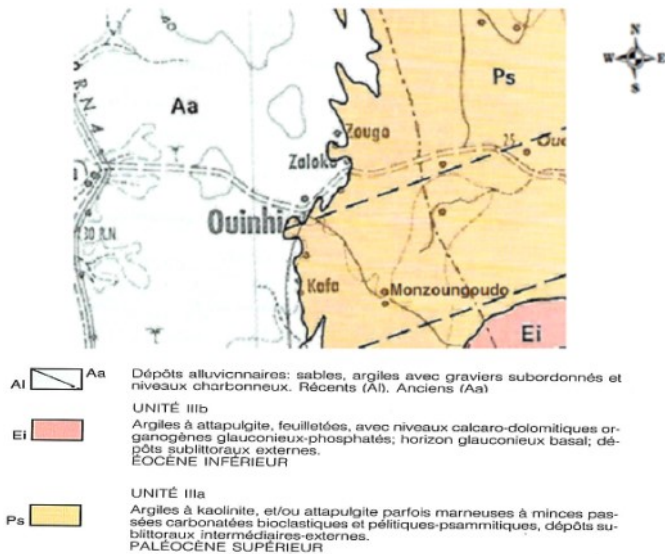


Figure 2 : Extrait de la carte géologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin localisant Monzougoudo (OBM, 1989).

Modèle hydrogéologique pour le suivi du rabattement de la nappe de Monzougoudo au Benin

Sur le plan hydrogéologique, Monzougoudo dispose d'un aquifère continu à porosité d'interstice et comportant quelques ressources dont les plus importants sont les sables, qui constituent les aquifères continus des régions sédimentaires.

Cet aquifère recèle des ressources hydrogéologiques nettement plus importantes et en général, plus facile à prospector que ceux du socle ou des couvertures plus anciennes, même si ces ressources ne sont pas encore bien quantifiées.

C'est un aquifère monocouche des sables du crétacé supérieur (Turonien – Coniacien), il est à nappe captive sous les argiles et marnes sénoniennes et maestrichtiennes, où il s'approfondit rapidement rendant son exploitation hypothétique. La figure 3 montre un extrait de la carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin localisant Monzougoudo.

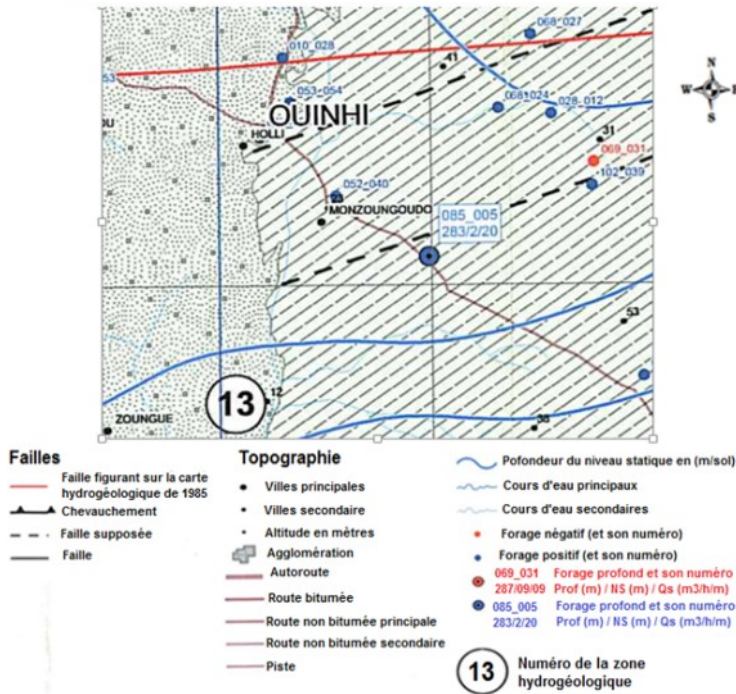


Figure 3 : Extrait de la carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin localisant Monzougoudo (DGEau, 2012).

MATERIEL ET METHODE

Les sections suivantes décrivent le matériel et la méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude.

Matériel et données

La mise en place du modèle hydrogéologique de la nappe de Monzougoudo a nécessité la collecte de données. Les données hydrogéologiques et hydrauliques de la nappe et du forage de Monzougoudo ont été fournies par la Direction Régionale de l'Eau de la DGEau du Bénin. Elles ont permis d'étudier et d'analyser les conditions hydrogéologiques et hydrauliques et de calculer les paramètres de l'écoulement dans la nappe et dans le forage. Aussi, la coupe technique du forage de Monzougoudo a été fournie par la DGEau en vue de la détermination de la couche géologique captée par cet ouvrage.

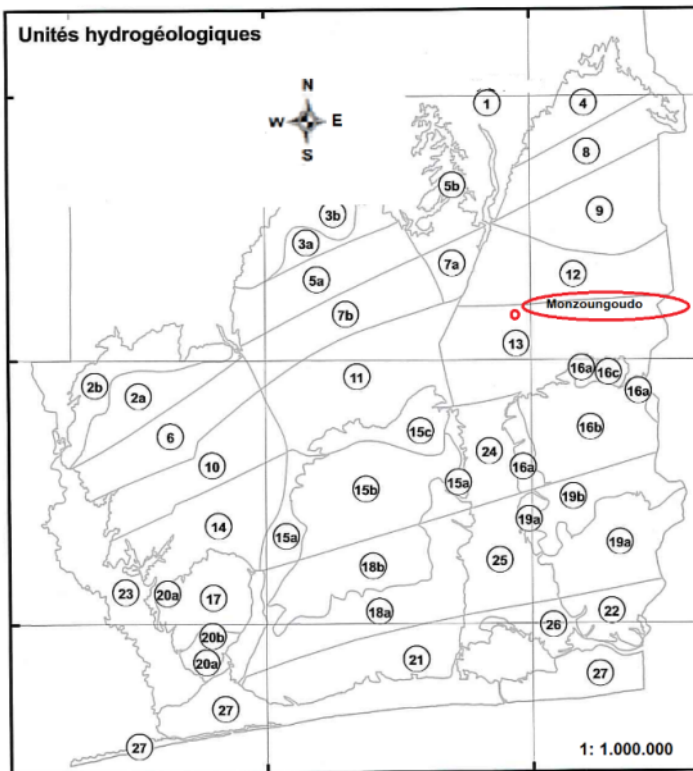


Figure 4 : Unités hydrogéologiques du bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

D'après les informations reçues de la DGEau, Monzougoudo est situé dans le bassin sédimentaire côtier et appartient à l'unité l'hydrogéologique 13 d'âge Maestrichien. La figure 4 indique les unités hydrogéologiques du bassin sédimentaire côtier et le village de Monzougoudo est localisé dans l'unité hydrogéologique 13.

Caractéristiques du forage de Monzougoudo

Les données techniques du forage regroupées dans le tableau ci-dessous 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. Ces données sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques et paramètres hydrodynamiques du forage de Monzougoudo (source : DGEau, 2012)

Caractéristiques géométriques et paramètres hydrodynamiques du forage de Monzougoudo	
Paramètres	Valeurs
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

La carte de profondeur des forages (Figure 5) a été établie à partir des données recueillies sur les forages répartis dans le bassin sédimentaire côtier. Cette carte montre qu'au niveau l'unité hydrogéologique 13, à laquelle appartient Monzougoudo, on note des profondeurs de forages allant de 100 m à 250 m, soit une profondeur moyenne de 150 m. Ces valeurs limites, inférieure de 100 m et supérieure de 250 m, permettent de confirmer que la profondeur du forage de Monzougoudo est de 244,18 m.

L'analyse des forages situés dans le bassin sédimentaire côtier du Bénin, a permis de dresser une cartographie du taux de réussite des forages (Figure 6) du bassin. A travers cette carte, on note un taux de réussite pour un débit supérieur à 0,7 m³/h de 93%, pour les forages situés dans l'unité hydrogéologique 13 à laquelle appartient Monzougoudo. Un forage est considéré comme positif si le débit minimum en pompage est de 0,7 m³/h. A Monzougoudo le débit est de 7,2 m³/h et donc le forage de ce village est positif.

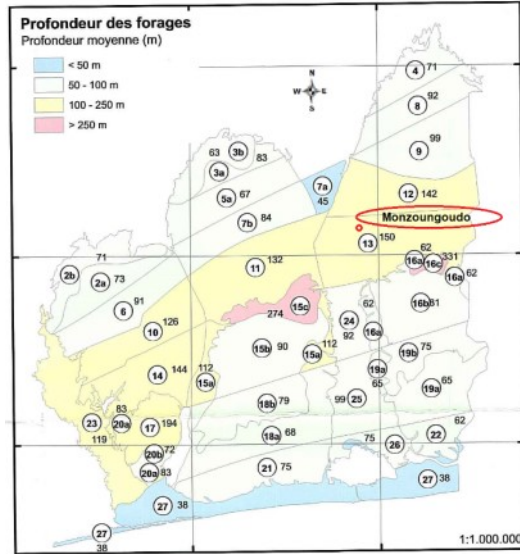


Figure 5 : Profondeur des forages dans le bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

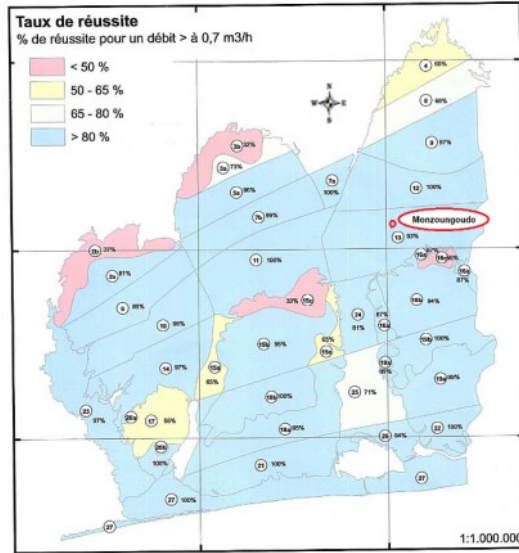


Figure 6 : Taux de réussite des forages dans le bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

Le débit d'une eau représente la quantité d'eau écoulee par unité de temps. Les prélèvements de débit au niveau des forages du bassin sédimentaire côtier ont

permis d'établir la carte de productivité des forages (débits spécifiques), (Figure 7). Les débits reportés représentent les débits de maximum de pompage. L'unité hydrogéologique 13 à laquelle appartient Monzougoudo, présente des débits spécifiques variants de $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ à $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, donc en moyenne un débit de $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Cette valeur moyenne proche de $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, confirme que le forage de Monzougoudo possède une bonne productivité.

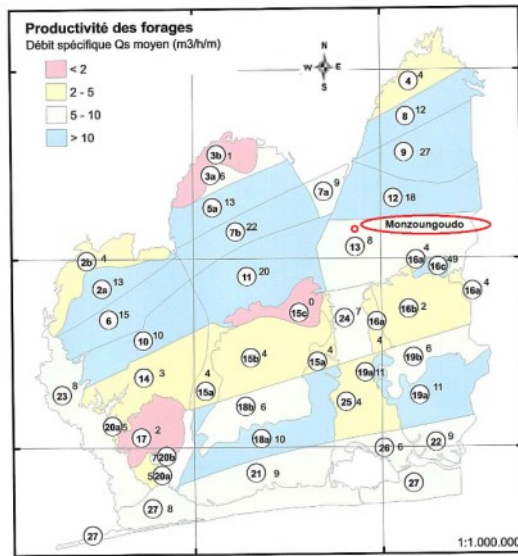


Figure 7 : Productivité des forages dans le bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

Caractéristiques de l'aquifère de Monzougoudo

L'analyse des forages situés dans le bassin sédimentaire côtier du Bénin, a permis de dresser une cartographie de la profondeur du réservoir (Figure 8) de ce bassin. Ces profondeurs sont mesurées par rapport au niveau de la mer.

A travers cette carte, il apparaît d'après les courbes d'iso-profondeur que l'aquifère des sables du crétacé de l'unité hydrogéologique 13 à laquelle appartient Monzougoudo, se situe à une profondeur variant entre 100 m et 200 m. Ces valeurs limites, inférieure de 100 m et supérieure de 200 m, confirment la profondeur à laquelle se trouve le toit de l'aquifère de Monzougoudo qui est de 201 m.

Le forage de Monzougoudo, traverse la totalité des formations géologiques de la zone d'étude. Ce forage a été réalisé par rotary, ce qui a produit des cuttings.

L'interprétation des cuttings a permis de reconnaître la géologie de Mouzoungou et de réaliser le log et la coupe litho-stratigraphique. La Figure 9 montre la coupe du forage de Monzoungou.

Cette coupe, a permis de confirmer, que l'aquifère de Monzoungou est constituée du sable quartzeux et que cet aquifère est captif car le toit est constitué d'une couche d'argile donc imperméable.

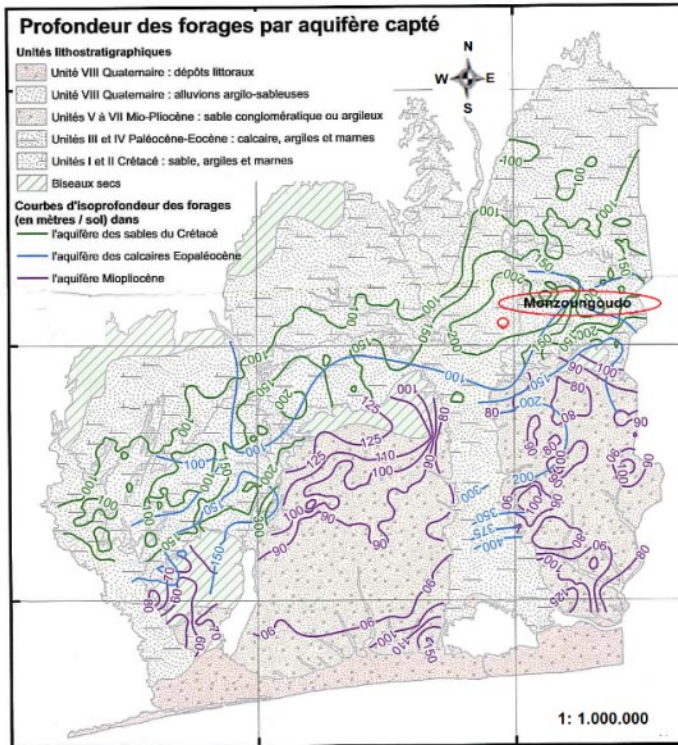


Figure 8 : Aquifères captés et courbes d'isoprofondeur des forages dans le bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

On note également que le niveau statique du forage est de +0,95 m, cette valeur positive montre que le forage de Monzoungou est artésien jaillissant.

De même, cette coupe nous a permis de déterminer l'épaisseur moyenne du réservoir de Monzoungou.

Le toit et le mur de la nappe étant respectivement situés à 201 m et 244,18 m de profondeur, les venues d'eaux souterraines dans le forage ont lieu dans le sable

quartzeux entre 214 et 244,18 m de profondeur (zone dans laquelle se trouvent les crépines), on déduit alors que l'épaisseur du réservoir est de 43,18 m.

A partir des pompages d'essai réalisés sur la nappe aquifère de Monzoungoudo par la DGEau du Bénin, nous avons obtenus quelques valeurs de paramètres hydrodynamiques. L'aquifère captif est assez transmissif et perméable (perméabilité de l'ordre de $2,28.10^{-4} \text{ m/s}$). L'aquifère captif est riche en sable avec une porosité de 30 % (DGEau, 2012).

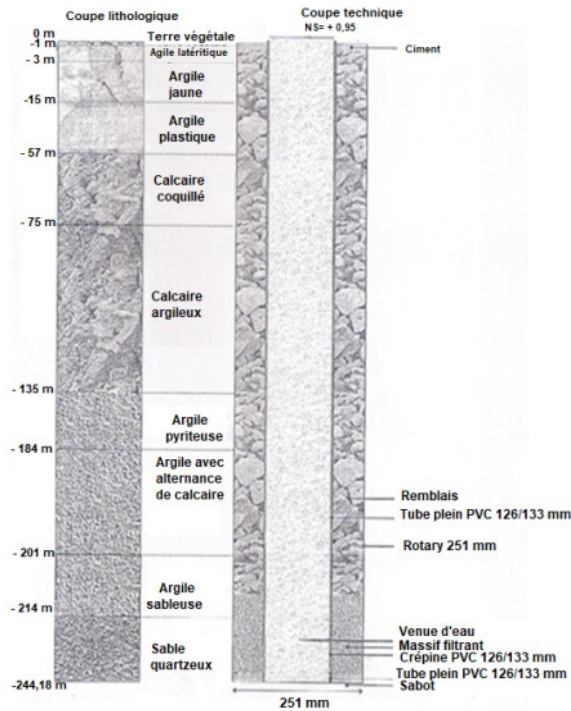


Figure 9 : Coupe du forage montrant la géologie de Monzoungoudo (DGEau, 2012)

Caractéristiques de la nappe de Monzoungoudo

A partir des pompages d'essai réalisés sur la nappe aquifère de Monzoungoudo par la DGEau du Bénin, nous avons obtenus quelques valeurs des caractéristiques de la nappe. Le fluide qui est l'eau a une masse volumique $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, une viscosité dynamique $\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$ et une viscosité cinématique $\vartheta = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, (DGEau, 2012).

La carte piézométrique (Figure 10) a été établie à partir des données recueillies sur les piézomètres répartis dans le bassin sédimentaire côtier. Cette carte montre qu'au niveau l'unité hydrogéologique 13, à laquelle appartient Monzougoudo, l'écoulement des eaux se fait dans la direction sud-nord.

La carte de profondeur de l'eau (Figure 11) a été établie à partir des données recueillies sur les forages répartis dans le bassin sédimentaire côtier. Cette carte renseigne sur l'alimentation de l'unité hydrogéologique 13, à laquelle appartient Monzougoudo, l'accumulation des eaux dans la nappe se fait à partir de deux unités hydrogéologiques. Ces deux directions d'accumulations des eaux souterraines sont définies sur la carte (Figure 11) :

- de l'unité hydrogéologique 12 vers l'unité hydrogéologique 13,
- de l'unité hydrogéologique 16 vers l'unité hydrogéologique 13,

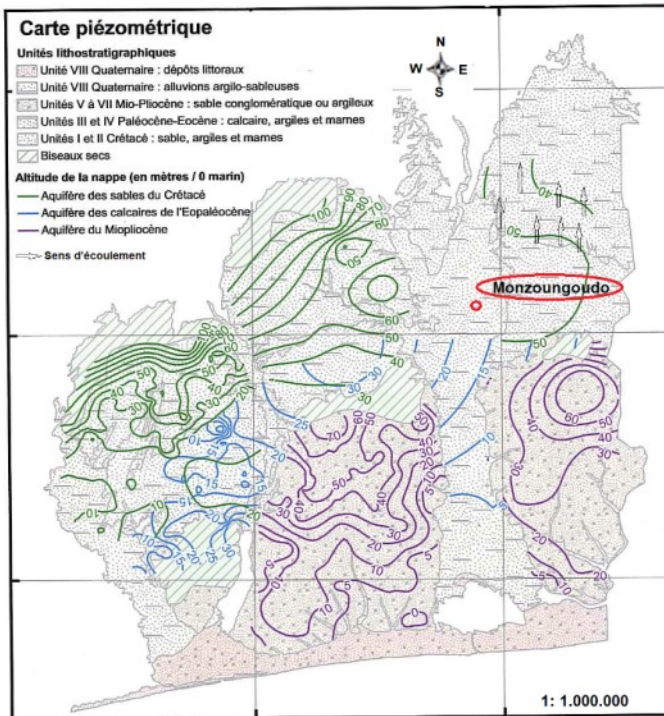


Figure 10 : Carte piézométrique du bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

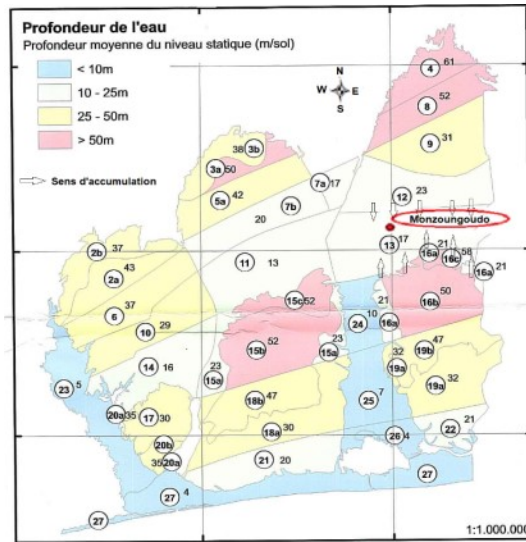


Figure 11 : Profondeurs de l’eau dans le bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

APPROCHE METHODOLOGIQUE

La modélisation de l’écoulement souterrain de la nappe de Monzougoudo et la détermination de l’influence du débit d’exploitation sur le niveau de la nappe se sont effectuées analytiquement et à partir du code Matlab.

La formulation générale de la problématique de l’hydrodynamique de la nappe de Monzougoudo pour son approvisionnement en eau potable, a découlé des équations gouvernantes issues des expressions mathématiques pour décrire les phénomènes d’écoulement de la nappe et dans le forage. Ces équations constituent la base mathématique sur laquelle reposent les simulations d’écoulement.

Calcul de la pression statique dans l’aquifère

Le modèle mathématique utilisé pour calculer la pression statique de l’eau en tout point du réservoir est défini par l’équation de Bernoulli (Codo and al., 2012). En tête de forage, la pression est:

$$p_2 = p_1 - \rho_w gH - \lambda \rho H \frac{v^2}{2d} \quad (1)$$

Après transformation on a:

$$p_2 = p_{st} - \rho_w gH - \frac{\mu Q}{2\pi ek} \ln\left(\frac{R}{a}\right) - 0,06642\rho_w \frac{H}{d^{4,8}} Q^{1,8} v^{0,2} \quad (2)$$

avec

$$p_1 = p_{st} - \frac{\mu Q}{2\pi ek} \ln\left(\frac{R}{a}\right) ; \quad \lambda = \frac{0,086}{Re^{0,2}} ; \quad Re = \frac{v d}{\nu} \quad \text{et} \quad v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

Avec l'approximation de Laurent et al. (1972): $\ln\left(\frac{R}{a}\right) = 2\pi$,

On obtient la pression statique dans le réservoir:

$$p_{st} = p_2 + \rho_w gH + \frac{\mu Q}{ek} + 0,06642\rho_w \frac{H}{d^{4,8}} Q^{1,8} v^{0,2} \quad (3)$$

Le calcul de la pression statique est effectué en utilisant les caractéristiques du forage et de la nappe de Monzoungoudo.

Hypothèses sur le réservoir d'eaux souterraines

- la température de l'eau à la sortie du forage est constante de 20°C, donc le réservoir n'est pas géothermique et la température est négligeable dans ce dernier,
- le réservoir est tel que le rayon d'action (R) est très grand par rapport à son épaisseur constante (e), ($R \gg e$)
- le réservoir d'eau souterraine est un milieu poreux, perméable, homogène, et isotrope ($k_v = k_h = k$)
- le fluide est incompressible ($\rho_w = \text{constante}$)
- l'écoulement est radial vers le forage ; dans les conditions suivantes : $\partial^2 h / \partial \theta^2 = 0$ et $\partial^2 h / \partial z^2 = 0$
- la loi de Dupuit est vérifiée, c'est-à-dire l'écoulement dans le réservoir est bidimensionnel selon le plan (x, y) (les vitesses sont horizontales, et $v_z = 0$)
- l'écoulement est permanent, ($\frac{\partial h}{\partial t} = 0$)
- l'écoulement est conservatif ($\text{div } \vec{v} = 0$).

Conditions initiales

Avant la mise en exploitation ($t = 0$), la charge est uniforme dans tout le réservoir. Ainsi la condition initiale s'écrit donc :

$$h(x, y, z, 0) = h_R; \quad \forall (x, y, z) \quad (4)$$

Conditions aux limites du domaine d'étude

La limite extérieure du domaine, correspond à la surface latérale d'un cylindre de milieu poreux de rayon R par rapport à l'axe du forage et correspondant à un rabattement nul. Ainsi sur cette face la charge est maintenue égale à h_R .

A la limite intérieure du domaine d'étude constitué par la surface latérale du forage exploitant le réservoir avec un débit Q, on a la charge sur cette surface qui est notée h_w .

Les limites inférieure et supérieure du domaine d'étude, sont constituées par les épontes de la couche, qui sont imperméables car, nous avons à faire à une nappe captive. Sur ces limites nous aurons donc:

$$\frac{\partial h}{\partial n} = 0 \quad (5)$$

Lois de comportement

Charge hydraulique

On définit la charge hydraulique d'un fluide incompressible (eau) et soumis à la seule gravité par:

$$h = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho_w g} + z_h \quad (6)$$

Puisque les écoulements dans le milieu poreux sont de vitesses assez faibles (généralement inférieures à 10^{-3} m/s), il est possible de négliger l'inertie du fluide (eau) à l'échelle macroscopique. Le facteur de charge dynamique $\frac{v^2}{2g} = 0$ est donc négligé et l'on a pour le fluide une charge hydraulique équivalente à la charge statique:

$$h = \frac{p}{\rho_w g} + z_h \quad (7)$$

Loi de Darcy généralisée

Elle exprime que la vitesse de filtration \vec{v} est proportionnelle au gradient de la pression p .

Pour un fluide incompressible, cette loi peut aussi s'exprimer en fonction de la charge piézométrique par la relation:

$$\vec{v} = -K \vec{\nabla} h \quad \text{avec} \quad K = \frac{k \rho_w g}{\mu} \quad (8)$$

μ : viscosité dynamique de l'eau, k : perméabilité intrinsèque du milieu

z_h : cote définie selon l'axe vertical, ρ_w : masse volumique de l'eau

g : accélération de la pesanteur, h : charge hydraulique

Equation générale de continuité

L'équation de continuité s'écrit par la relation suivante:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\phi) + \text{div}(\vec{v}) = 0 \quad (9)$$

Equation de diffusivité

La combinaison de l'équation de continuité et la loi de Darcy donne l'équation de diffusivité:

$$\text{div}(-K \vec{\nabla} h) = 0 \quad (10)$$

Puisque l'écoulement est radial, alors nous travaillons suivant l'axe r et l'équation de diffusivité s'écrit :

$$\frac{d^2 h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} = 0 \quad (11)$$

Soit:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dh}{dr} \right) = 0 \quad (12)$$

Les étapes d'intégration sont les suivantes:

$$r \frac{dh}{dr} = C_1$$

$$dh = \frac{C_1}{r} dr$$

$$h = C_1 \ln r + C_2$$

En utilisant les conditions aux limites :

$$r = a, \quad h_w = C_1 \ln a + C_2$$

$$r = R, \quad h_R = C_1 \ln R + C_2$$

on obtient :

$$C_1 = \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \text{ et } C_2 = h_w - \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \ln a$$

La solution générale s'écrit alors :

$$h = \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \ln r + h_w - \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \ln a \quad (13)$$

$$h = \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \ln(r/a) + h_w \quad (14)$$

Le débit d'écoulement du réservoir vers le forage est calculé en utilisant l'équation de Darcy et l'équation suivante :

$$v = -K \frac{dh}{dr} \text{ devient } v = -K \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \cdot \frac{1}{r} \quad (15)$$

Le débit Q peut être déterminé en évaluant le flux à n'importe quelle distance r et en intégrant sur la surface de l'écoulement. En prenant $r = a$, nous obtenons:

$$v = -K \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \frac{1}{a} \quad (16)$$

et

$$Q = \int_A (v)_{r=a} dA = \int_{\theta=0}^{2\pi} -K \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \frac{1}{a} a d\theta e \quad (17)$$

$$Q = -2\pi K e \frac{h_R - h_w}{\ln(R/a)} \quad (18)$$

Il faut noter que le débit Q est négatif car celui-ci est vers le forage (en sens inverse de la direction de l'axe des 'r')

Ainsi :

$$h_R - h_w = \frac{Q}{2\pi K e} \ln\left(\frac{R}{a}\right) \quad (19)$$

En remplaçant l'équation (19) dans l'équation (14) on obtient :

$$h = \frac{Q}{2\pi K e} \ln\left(\frac{r}{a}\right) + h_w \quad (20)$$

En écoulement permanent, la pression hydrodynamique de débit, p_{hq} est la pression dans les tous premiers moments du démarrage de l'écoulement au pied du forage et est déterminée par la relation :

$$p_{hq} = \frac{\mu Q}{2\pi e k} \ln\left(\frac{R}{a}\right) \text{ avec } \ln\left(\frac{R}{a}\right) = 2\pi \quad (21)$$

où :

p_{hq} : la pression hydrodynamique de débit,

Q : le débit de production,

h_r : l'épaisseur productrice,

a : le rayon du forage

R : le rayon d'action du forage

k : la perméabilité intrinsèque

La pression au fond du forage p_w , est en lien avec la pression statique du réservoir p_{st} par la relation (Codo,1989) :

$$p_w = p_{st} - \frac{\mu Q}{2\pi e k} \ln\left(\frac{R}{a}\right) \quad \text{avec} \quad \ln\left(\frac{R}{a}\right) = 2\pi \quad (22)$$

donc

$$p_w = p_{st} - \frac{\mu Q}{ek} \quad (23)$$

La charge hydraulique dans le forage h_w , est liée à la pression au fond du forage p_w par la relation :

$$h_w = \frac{p_w}{\rho_w g} \quad (24)$$

Ainsi en remplaçant $p_w = p_{st} - \frac{\mu Q}{ek}$ dans l'équation précédente on obtient :

$$h_w = \frac{p_{st}}{\rho_w g} - \frac{\mu Q}{ek\rho_w g} \quad \text{avec} \quad K = \frac{k\rho_w g}{\mu} \quad (25)$$

Donc l'expression de h_w devient :

$$h_w = \frac{p_{st}}{\rho_w g} - \frac{Q}{eK} \quad (26)$$

En remplaçant l'expression (26) dans l'équation (20) on obtient :

$$h = \frac{Q}{2\pi Ke} \ln\left(\frac{r}{a}\right) + \frac{p_{st}}{\rho_w g} - \frac{Q}{eK} \quad (27)$$

soit:

$$h = \frac{Q}{2\pi Ke} \left[\ln\left(\frac{r}{a}\right) - 2\pi \right] + \frac{p_{st}}{\rho_w g} \quad (28)$$

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats

Le graphique ci-dessous (Figure 12) est obtenu à partir du code numérique Matlab. Les différents débits utilisés tiennent compte de la croissance de la population entraînant ainsi une augmentation de la demande en eau, ce qui pourrait occasionner dans le futur un déficit en matière d’approvisionnement en eau potable.

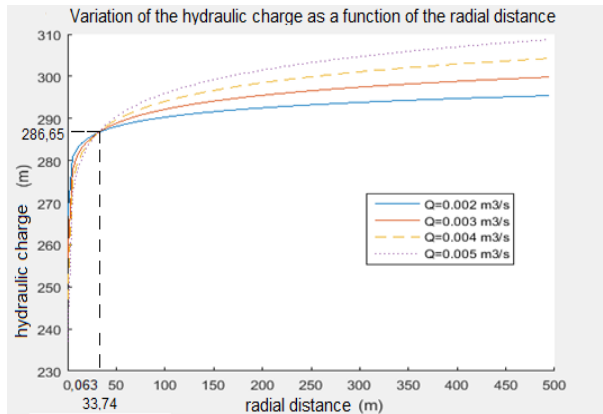


Figure 12a : Variation de la charge hydraulique en fonction de la distance radiale

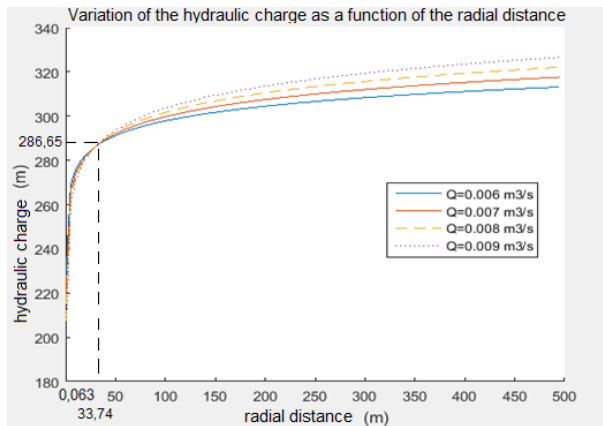


Figure 12.b : Variation de la charge hydraulique en fonction de la distance radiale

Les coordonnées du point commun à toutes les courbes sont déterminées comme suit: après une transformation de l'équation (28), on obtient la relation suivante:

$$\left[h - \frac{P_{st}}{\rho_w g} \right] - \frac{Q}{2\pi K e} \left[\ln \left(\frac{r}{a} \right) - 2\pi \right] = 0 \quad , \forall Q \in \mathbb{R} \quad (29)$$

Ainsi on a:

$$\begin{cases} h - \frac{P_{st}}{\rho_w g} = 0 \\ \ln \left(\frac{r}{a} \right) - 2\pi = 0 \end{cases} \quad (30)$$

Soit :

$$\begin{cases} h = \frac{P_{st}}{\rho_w g} \\ r = a e^{2\pi} \end{cases} \quad (31)$$

En utilisant les valeurs de la pression statique dans le réservoir, de la densité de l'eau, de l'accélération de la pesanteur, du rayon du forage qui sont respectivement :

$$p_{st} = 28,12 \text{ bars} \quad ; \quad \rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad ; \quad g = 9,81 \text{ N/kg} \quad ; \quad a = D/2 = 0,063 \text{ m}$$

On a:

$$\begin{cases} h = \frac{28,12 \times 10^5}{1000 \times 9,81} \\ r = 0,063 e^{2\pi} \end{cases}$$

soit:

$$\begin{cases} h = 286,65 \text{ m} \\ r = 33,74 \text{ m} \end{cases}$$

DISCUSSION

Ces figures montrent des courbes qui indiquent le comportement de la charge hydraulique suivant différent débit d'exploitation en régime permanent pour certaines distances radiales lors de l'écoulement de l'eau dans le réservoir de Monzougoudo. Le modèle de la nappe de Monzougoudo étant considéré comme en régime permanent, des simulations du niveau de l'eau de la nappe

ont été faites et a servi de base pour la détermination des rabattements de la nappe de Monzougoudo suivant les différents débits.

L'analyse de ces courbes montre que les fortes valeurs de rabattements ont été enregistrées au droit du forage ($0,063 \text{ m} \leq r \leq 33,74 \text{ m}$) et ont les mêmes valeurs quelque soit le débit d'exploitation, car dans cette zone toutes les courbes de charge hydraulique sont confondues, tandis que les faibles valeurs de rabattements ont été observées lorsque la distance radiale $r > 33,74 \text{ m}$ et ces valeurs diminuent au fur et à mesure que le débit d'exploitation Q augmente pour s'annuler dès que le rayon d'action du forage sera atteint.

Ainsi, le débit d'exploitation aura un impact sur le niveau de l'eau de la nappe de Monzougoudo, car le mode d'occupation du sol de la zone d'étude peut rendre le sol imperméable de même que la forte puissance des argiles qui varient de 1 à 57 m et de 135 à 214 m de profondeur comme le montre la figure 9 (DGEau, 2012) peut entraîner une diminution de la recharge.

Le rabattement de la nappe de Monzougoudo, permet d'apprécier l'influence de l'extraction d'eau au niveau de son forage sur le champ de captage.

Lorsque le débit d'exploitation au niveau du forage augmente, les rabattements induisent des cônes de plus en plus grands. Les valeurs de rabattement obtenues ainsi pour les différents débits d'exploitation reflètent le comportement réel de la nappe.

Le cône de rabattement qui se forme autour du forage de Monzougoudo est déterminé par le débit prélevé et sa progression est fonction du débit prévisionnel. Il est donc nécessaire d'avoir une idée sur l'augmentation des débits d'exploitation du forage en tenant compte de la croissance de la population.

Dans le souci d'augmentation de la production, afin de satisfaire la demande en eau potable de la population de Monzougoudo, le cône de rabattement de la nappe de Monzougoudo progresse vers la rivière Monzoun, qui est une source probable de contamination des eaux souterraines de la zone d'étude.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'élaborer un modèle hydrogéologique pouvant permettre de déterminer le rabattement induit lors de l'exploitation de la nappe de Monzougoudo en tenant compte de la croissance de la population entraînant ainsi une forte demande en eau potable. Pour atteindre cet objectif le modèle

hydrogéologique de la nappe de Monzoungoudo a été réalisé à partir des données d'archives (géologique, hydrogéologique, piézométriques, etc.) et des données de débit de forage.

En général, la modélisation du système nappe-forage hydraulique de Monzoungoudo est très important car elle permet de comprendre le fonctionnement de la nappe et de prédire l'évolution future du rabattement de la nappe en fonction de certains paramètres.

Cette étude montre que la modélisation de la nappe de Monzoungoudo contribue à améliorer les performances qualitative et quantitative lors de l'exploitation de cet aquifère.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baba-Hamed K., Bouanani A., Nasri A, BOuanani R. (2015). La modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Ghriss (Mascara NW- Algérie). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°21, pp. 143-150.
- BEN A.F., Analyse des écoulements et du transport de contaminants dans les rejets miniers entreposés dans les massifs rocheux fracturés. Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique de Montréal, 155p.
- BERNI N., YACOUB O.E. (2012). Etude numérique d'un écoulement dans un milieu poreux. Mémoire de Master Professionnel, Université Kasdi Merbah Ouargla d'Algérie, 40 p.
- 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., 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.
- DGEau (2012). Carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin. Impressum: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Allemagne.
- GAALOUL N. (2015). Modélisation des écoulements souterrains en milieu poreux non saturé: application à la recharge artificielle par les eaux usées traitées nappe côtière Korba (Cap-Bon Tunisie). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°21, pp. 181-190.

Modèle hydrogéologique pour le suivi du rabattement de la nappe de Monzoungoudo au Benin

- KOUAME K. J., DJE KOUAKOU B., AKE G. E., KOBLAN A. K., JOURDA J.P. (2017). Simulation de l'évolution du rabattement de la Nappe de bonoua (sud-est, côte d'ivoire) par Modélisation hydrogéologique. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, no32, pp.23-46.
- LAURENT H., FABRIS et GRINGARTEN A.C. (1972). Etude des possibilités d'exploitation de l'eau chaude du DOGGER dans la région du CORBEIL ESSONNES (91). Rapport BRGM, Département de Géothermie, Orléans, 41p.
- MAJDOUB R., DRIDI L., M'NASRI S. (2014). Caractérisation de la nappe profonde Gafsa nord suite à la surexploitation des eaux souterraines. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°17, pp. 179-192.
- OBM (1989). Notice explicative de la carte géologique. Feuilles Pira-Savè, Abomey-Zagnanado, Lokossa-Porto Novo. 1ère édition, mémoire no 3.
- OUALI, S. (2006). Etude géothermique du sud de l'Algérie. Mémoire de Magister en géophysique, Université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, 84p.