



EVALUATION DES POTENTIALITES EN EAU SOUTERRAINE DE L'AQUIFERE POREUX DE MONZOUNGOUDO AU BENIN

ASSESSMENT OF THE GROUNDWATER POTENTIALITIES OF THE MONZOUNGOUDO POROUS AQUIFERE IN BENIN

***HOUNTONDI B.¹, CODO F. P.², AINA M.P.³,
LANMANDJEKPOGNI P.M.¹***

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.

bablassrock@yahoo.fr

RESUME

La réfection du système d'approvisionnement en eau potable du village de Monzoungoudo, nous a amené à effectuer l'estimation de la réserve de cet aquifère ainsi que des besoins en eau des populations, qui permettront de prédire si les habitants de Monzoungoudo pourront disposer de l'eau à l'horizon 2050. Ces estimations nécessitent une connaissance détaillée de la géologie, de l'hydrogéologie, des propriétés hydrauliques du milieu, de la démographie et du climat. La croissance démographique entraîne une augmentation de la demande en eau pour différents usages, notamment pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Face à cette demande croissante, la gestion des eaux souterraines constitue un domaine particulièrement sensible.

Dans ce travail, la structure du réservoir de Monzoungoudo sera identifiée puis les valeurs de la transmissivité (T_r), de la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le réservoir (v), du coefficient d'emmagasinement (S), de la diffusivité hydraulique (D_h) seront déterminées et la réserve de l'aquifère ainsi que les besoins de la population à l'horizon 2050 seront estimés.

Mots-clés : Eaux souterraines, aquifère poreux, Monzougoudo, Bénin.

ABSTRACT

The refurbishment of the drinking water supply system of the village of Monzougoudo will lead us to estimate the reserve of this aquifer as well as the water needs of the populations, which will make it possible to predict whether the inhabitants of Monzougoudo will be able to water by 2050. These estimates require a detailed knowledge of geology, hydrogeology, hydraulic properties of the environment, demography and climate. Population growth is leading to an increase in the demand for water for different uses, particularly for drinking water supply and irrigation. In response to this growing demand, groundwater management is a particularly sensitive area. In this work, the structure of the Monzougoudo reservoir will be identified then the values of the transmissivity (T_r), groundwater flow velocity in the reservoir (v), storage coefficient (S), Hydraulic diffusivity (D_h) will be determined and the aquifer reserve as well as the needs of the population by 2050 will be estimated.

Key words: Underground waters, Porous aquifer, Monzougoudo, Benin.

INTRODUCTION

L'aquifère de Monzougoudo fait partie du bassin sédimentaire côtier du Bénin. Il renferme dans son sous – sol un potentiel hydrique important constitué d'une nappe captive qui est la principale ressource en eau du village de Monzougoudo.

Ce village ne dispose que d'un seul forage artésien jaillissant qui alimente sa population, par l'intermédiaire d'un mini réseau de distribution d'eau potable muni de 07 bornes fontaines, (DGEau, 2000).

Il y a une dizaine d'années, la vanne principale en tête de forage avait été endommagée.

La non maîtrise de ce forage artésien a pour conséquence, l'écoulement à plein temps de l'eau du forage (photo1).



Photo 1 : Ecoulement à plein temps de l'eau du forage et le lavage de moto aux alentours du forage (Source : Babilas HOUNTONDI)

Cette ressource subit ainsi une surexploitation inquiétante, d'où l'intérêt de cette étude considérée comme un pas vers une gestion rationnelle des ressources en eau de la région. Cette étude a permis principalement :

- d'identifier la structure du réservoir de Monzougoudo;
- de déterminer des valeurs de la transmissivité (T_r), de la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le réservoir (v), du coefficient d'emmagasinement (S), de la diffusivité hydraulique (D_h) et d'estimer la réserve, ainsi que les besoins de la population à l'horizon 2050.

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'attapulгите et la kaolinite, sont variables le long de la sub-séquence ; l'attapulгите atteint les

pourcentages les plus élevés à la base vers la moitié de la succession (OBM, 1989). Les figures 2 et 3 montrent respectivement un extrait de la carte géologiques et de la coupe géologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin localisant Monzougoudo.

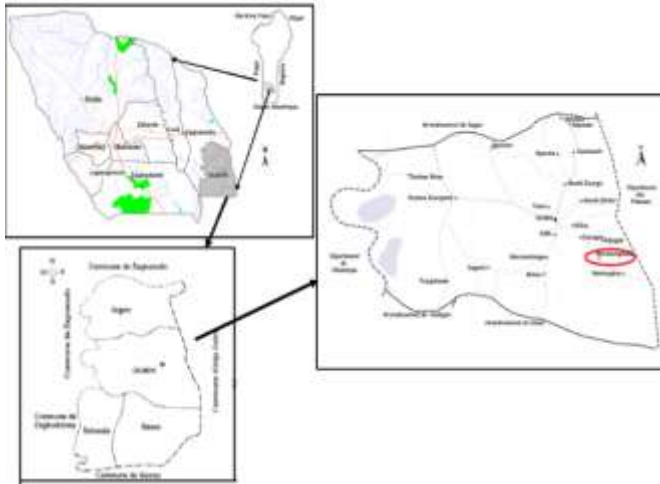


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

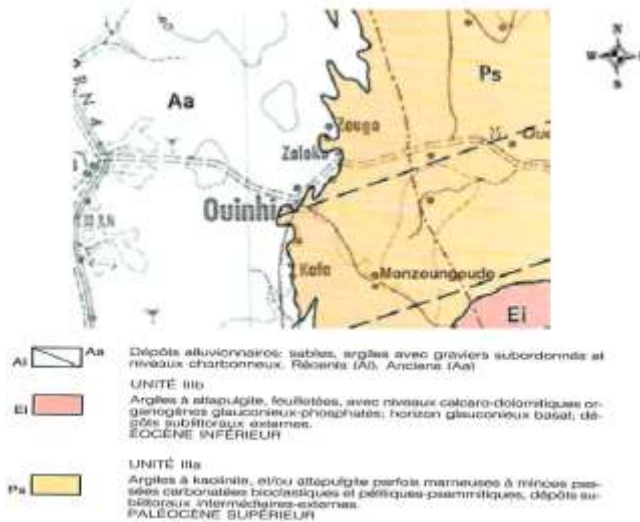


Figure 2 : Extrait de la carte géologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin localisant Monzougoudo (OBM, 1989).

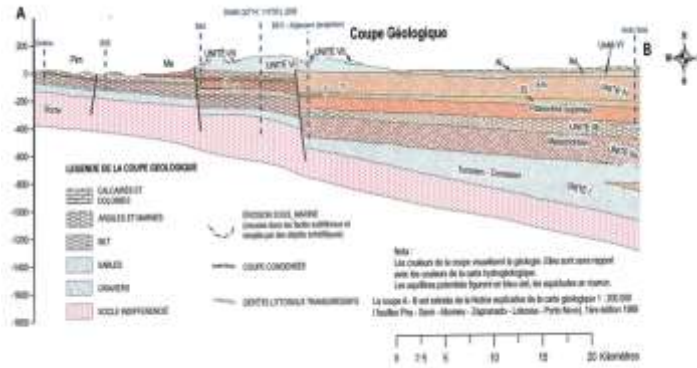


Figure 3 : Coupe géologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin (DGEau, 2012).

Sur le plan hydrogéologique, Monzoungoudo 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.

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 4 montre un extrait de la carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin localisant Monzoungoudo.

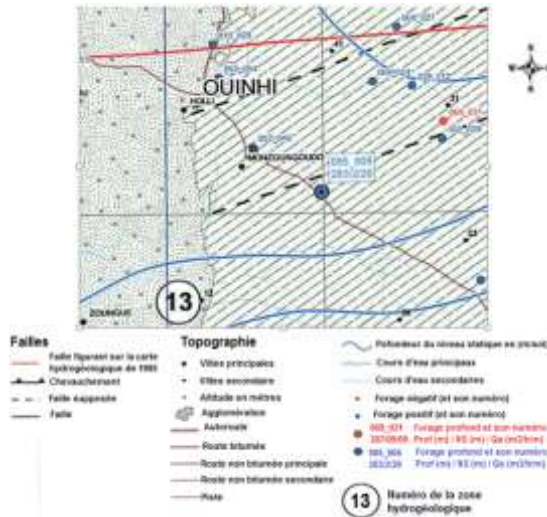


Figure 4 : Extrait de la carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin localisant Monzoungoudo (DGEau, 2012).

Démographie

La population du village de Monzougoudo est passée de 1899 habitants en 2002 à 2941 en 2014. Le tableau suivant montre l'évolution de sa population de 2002 à 2014 selon les recensements généraux de la population et de l'habitat (RGPH) de 2002 et de 2014.

Tableau 1 : Evolution de la population de Monzougoudo

	RGPH 2002	RGPH 2014
RGPH	Population (habitants)	Population (habitants)
Monzougoudo	1899	2941

Estimation de la population

La population pour les futurs horizons est estimée par la loi des accroissements géométriques:

$$P_t = P_0(1 + \tau')^n \quad (1)$$

avec: P_t Nombre d'habitants à l'horizon futur.

P_0 Nombre d'habitants à l'année de base 2014 (année du recensement)

τ' Taux d'accroissement en (%).

n L'écart d'années entre l'année de projection et l'année de base.

La population de Monzougoudo, selon le recensement (RGPH, 2014) est de 2941 habitants. La population de Monzougoudo connaît un taux d'accroissement de 4,03 % (RGPH, 2014) et qui est supposé constant jusqu'à l'horizon 2050. L'estimation de la population selon les divers horizons est représentée dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Estimation de la population de Monzougoudo aux différents horizons

Horizon	2014	2026	2038	2050
Nombre d'habitants	2941	4725	7591	12687

Climat

Monzougoudo situé dans la commune de Ouinhi, jouit d'un climat subéquatorial (Amoussou, 2010). Il est caractérisé par un régime pluviométrique bimodal (Figure 5). Deux saisons pluvieuses, dont la plus grande s'étend d'avril à juillet avec une hauteur pluviométrique mensuelle de 170 mm en juin et de 145 mm en septembre pour la petite saison des pluies qui

s'étendent de mi-septembre à mi-novembre. Elles sont alternées par deux saisons sèches de décembre à mars d'une part et de mi-juillet à août d'autre part (Kodja, 2017).

Les données hydroclimatiques sont celles enregistrées pour la commune d'Ouinhi, au niveau du poste d'observation de l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne (ASECNA) à Bonou proche de Ouinhi. Ces données couvrent une période de 30 ans au moins (1985 à 2015) et ont permis d'établir les données climatiques moyennes sur cette période. La hauteur pluviométrique annuelle moyenne est de 1250 mm avec une inégale répartition des pluies.

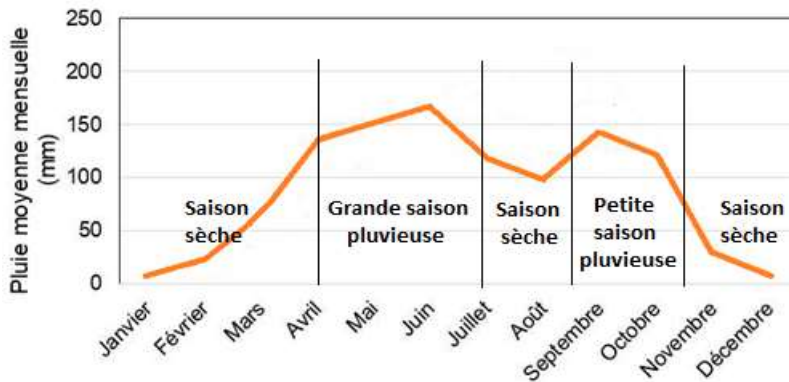


Figure 5 : Précipitations moyennes mensuelles de pluies à Bonou (moyennes de 1951 à 2015; Kodja, 2017).

MATERIEL ET METHODE

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

Matériel et données

La détermination des données hydrodynamiques du réservoir de Monzougoudo a nécessité la collecte de données. Les données hydrogéologiques de la nappe 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 de calculer les paramètres de l'écoulement dans la nappe.

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 6 indique les unités hydrogéologiques du bassin sédimentaire côtier et le village de Monzougoudo est localisé dans l'unité hydrogéologique 13.

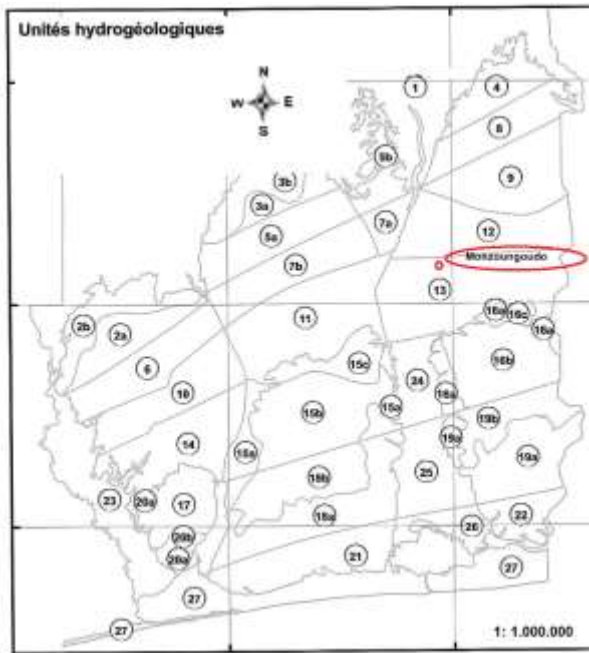


Figure 6 : Unités hydrogéologiques du bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

Caractéristiques de l'aquifère de Monzougoudo

La coupe du forage de Monzougoudo (Figure 7) montre que le niveau statique est de +0,95 m, cette valeur positive montre que ce forage est artésien jaillissant. 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 quartzueux 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 Monzougoudo 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 $2,28 \cdot 10^{-4}$ m / s). L'aquifère captif est riche en sable avec une porosité de 30 % (DGEau, 2012)

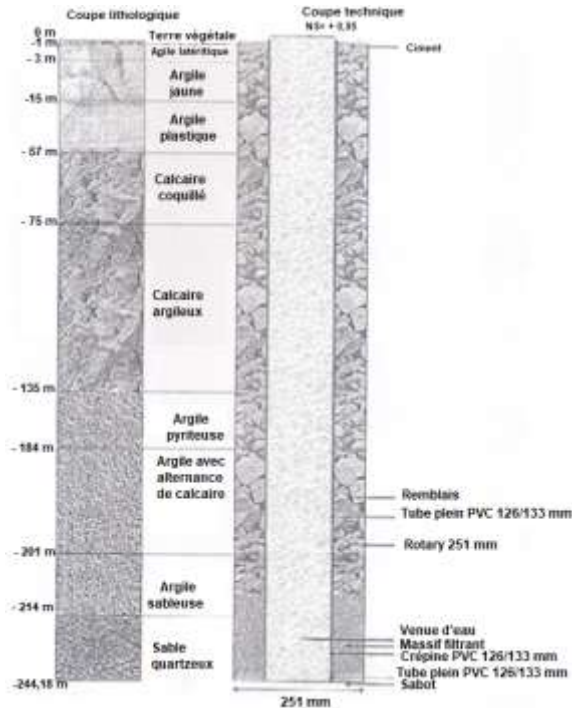


Figure 7 : Coupe du forage montrant la géologie de Monzougoudo (DGEau, 2012)

Caractéristiques de la nappe de Monzougoudo

A partir des pompages d'essai réalisés sur la nappe aquifère de Monzougoudo 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 $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, (DGEau, 2012).

La carte de profondeur de l'eau (Figure 8) 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 8) :

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

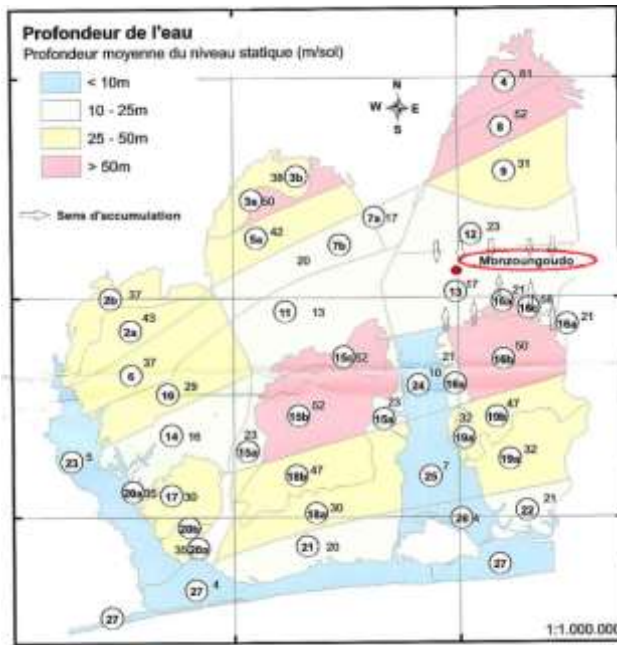


Figure 8 : Profondeurs de l'eau dans le bassin sédimentaire côtier (DGEau, 2012)

Nature de la nappe et du réservoir

La nappe de Monzoungoudo, est une nappe de subsurface car située à une profondeur de 214 m (Ouali, 2006).

Dans le village de Monzoungoudo, l'interaction entre les eaux souterraines du réservoir et la rivière Monzoun, est relative au sens d'écoulement entre ces deux compartiments. La rivière Monzoun ayant une profondeur moyenne de 20 m et la nappe (réservoir) étant située à une profondeur de 201 m, les écoulements sont alors orientés du réseau hydrographique (rivière) vers l'aquifère (Figure 9).

Dans ce cas, le réseau hydrographique (rivière) alimente la nappe sous-jacente (réservoir), cependant ces écoulements sont dépendants de nombreux paramètres (profondeur de la nappe, conductivité hydraulique du milieu...). La recharge de l'aquifère est fonction des variations saisonnières. En effet, en période d'étiage, le débit de la rivière n'est plus alimenté par le ruissellement, l'alimentation du réservoir varie alors selon la saison.

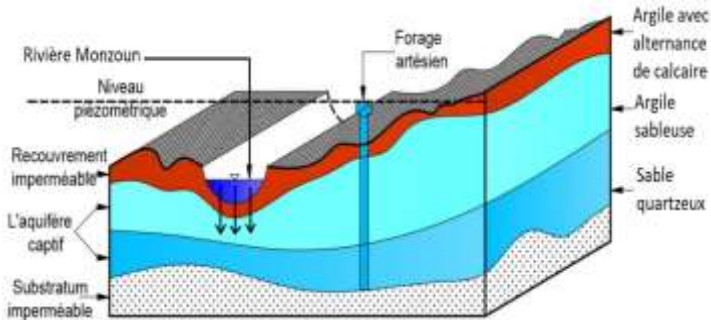


Figure 9 : Relation eau souterraine – rivière. Cas des écoulements descendants (Rivière vers aquifère) sans connexion. (Kaboré, 2017)

Au niveau des limites qui alimentent le réservoir, la pression est maintenue constante dans le temps indépendamment du volume que contient le puits ou le forage. Ainsi le réservoir d'eau souterraine de Monzougoudo est un réservoir qui communique avec la surface. C'est donc un réservoir alimenté ou une nappe alimentée (Figure 10).

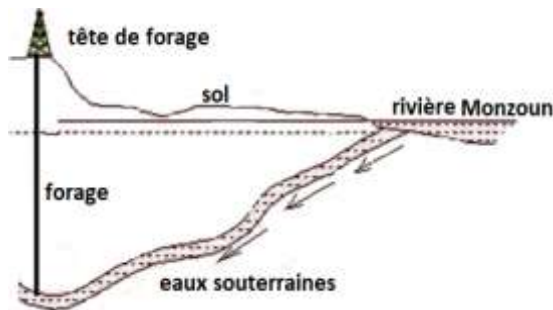


Figure 10 : Réservoir alimenté (Nappe alimentée) (Berni et Ould Elhacen, 2012)

APPROCHE METHODOLOGIQUE

Le calcul du volume de la tranche aquifère est basé sur l'interprétation par digitalisation de la carte des épaisseurs de l'eau dans le bassin sédimentaire côtier (Figure 8), et ceci après détermination du coefficient d'emmagasinement (S) .

Transmissivité (T_r)

La transmissivité (T_r) d'une nappe est la capacité de cette nappe à permettre l'écoulement de l'eau (à transmettre) sur toute son épaisseur e .

Elle peut être calculée par :

$$T_r = K \cdot e \quad (2)$$

Vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le réservoir (v)

La vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le réservoir est calculée à partir de la loi de Darcy (1854) qui s'écrit:

$$q = -K \frac{dh}{dr} \quad (3)$$

avec q le débit

Or

$$v = \frac{q}{\phi} \quad (4)$$

Coefficient d'emménagement (S)

Le coefficient d'emménagement (S), correspondant à la quantité d'eau relâchée par unité de surface pour une variation de charge d'une unité.

Dans un réservoir à nappe captive, le coefficient d'emménagement (S) se calcule par la formule suivante :

$$S = S_s \cdot e \quad (5)$$

Avec S_s le coefficient d'emménagement spécifique et e l'épaisseur de l'aquifère

$$S_s = \frac{V_w}{V \cdot \Delta Z} \quad (6)$$

V_w est le volume d'eau s'échappant d'un volume V de la nappe lorsqu'il est soumis à une variation de charge hydraulique Δz .

Diffusivité hydraulique (D_h)

La diffusivité hydraulique est le paramètre régissant la propagation d'influence dans l'aquifère saturé. Elle est donnée par la relation:

$$D_h = \frac{T_r}{S} \quad (7)$$

Evaluation de la réserve (W_T)

Les réserves représentent le volume d'eau stockée. L'aquifère à nappe captive de Monzougoudo est contenu dans un réservoir homogène constitué de sable. Le volume de la tranche aquifère est calculé avec la profondeur moyenne de l'eau dans le piézomètre (b_m) par la relation suivante (Castany, 1982) :

$$W_T = V \cdot S \quad \text{avec} \quad V = b_m \cdot S \quad (8)$$

Donc

$$W_T = b_m \cdot A_{iso} \cdot S \quad (9)$$

Avec :

b_m : épaisseur moyenne de l'eau,

A_{iso} surface planimétrique,

S : coefficient d'emmagasinement du réservoir.

La surface planimétrique correspondante (A_{iso}) est déterminée par digitalisation dans l'unité hydrogéologique 13 à laquelle appartient le village de Monzougoudo.

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats

Les tableaux ci-dessous (3 et 4) montrent respectivement les valeurs des paramètres hydrodynamiques déterminées de même que l'estimation de la réserve pour ce qui concerne le réservoir d'eaux souterraines de Monzougoudo.

Tableau 3 : Paramètres hydrodynamiques du réservoir d'eaux souterraines de Monzougoudo

Paramètres hydrodynamiques	valeurs
Transmissivité T_r en m^2/s	$9,87 \cdot 10^{-3}$
Vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le réservoir (v) en m/s	$4,57 \cdot 10^{-6}$
Coefficient d'emmagasinement (S) en %	93,3
Diffusivité hydraulique (D_h) en m^2/s	$1,06 \cdot 10^{-3}$

Tableau 4 : Calcul du volume du réservoir de Monzougoudo.

Epaisseur moyenne de l'eau (m)	Surfaces planimétrique 10^6 m^2	Volumes 10^6 m^3
17	734,06	12479,02
Total		12479,02

La réserve W_T un coefficient d'emmagasinement de $S = 93,3 \%$ est de :

$$W_T = 12479,02 \times 0,933 = 11642,93 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 11642,93 \text{ hm}^3$$

DISCUSSION

La transmissivité (T_r) de nappe étant la capacité de cette nappe à permettre l'écoulement de l'eau sur toute son épaisseur (e), alors la valeur de la transmissivité obtenue pour la nappe de Monzougoudo qui est de $9,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ montre que son réservoir est assez transmissif.

La vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le réservoir de Monzougoudo est calculée à partir de la loi de Darcy. Cette vitesse de $4,57 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ est inférieure à 10^{-3} m/s qui correspond à la valeur limite de la vitesse en écoulement souterrain, cette valeur confirme que lors des écoulements dans le milieu poreux les vitesses sont assez faibles.

Le coefficient d'emmagasinement (S), correspond à la quantité d'eau relâchée par unité de surface pour une variation de charge d'une unité. La valeur du coefficient d'emmagasinement obtenue pour le réservoir d'eaux souterraines de Monzougoudo qui est de $93,3\%$ montre que ce réservoir possède une très bonne capacité d'emmagasinement.

La diffusivité hydraulique d'un aquifère est le paramètre régissant la propagation d'influence dans ce dernier. La valeur de la diffusivité hydraulique obtenue pour l'aquifère de Monzougoudo est de $1,06 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, elle montre que ce dernier possède une bonne diffusivité hydraulique.

Les besoins en eau potable en zone rurale au Bénin sont estimés à $50 \text{ l / jour / habitant}$, (BDI / DGEau / DDMEE), donc par an ces besoins sont de $18\,250 \text{ l}$ soit $18,25 \text{ m}^3$ par habitant. Ainsi en 2050 où la population du village de Monzougoudo serait de $12\,687$ habitants, on aurait besoin d'un volume :

$$V_P = 18,25 \text{ m}^3 \times 2050 \times 12\,687 = 100,53 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 100,53 \text{ hm}^3$$

Le volume représentant les besoins de la population de Monzougoudo à l'horizon 2050 étant inférieur à la réserve, alors la demande en eau potable pour l'alimentation du village de Monzougoudo sera satisfaite jusqu'à l'horizon 2050.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'estimer la réserve d'eaux souterraines du réservoir de Monzougoudo, ainsi que les besoins en eau potable de la population à l'horizon 2050. Pour atteindre cet objectif, la structure du réservoir de Monzougoudo a été identifiée et les valeurs de la transmissivité (T_r), de la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le réservoir (v), du coefficient d'emmagasinement (S), de la diffusivité hydraulique (D_h) ont été déterminées.

En général, cette étude permet de confirmer que la demande en eau potable pour l'alimentation du village de Monzougoudo sera satisfaite jusqu'à l'horizon 2050, et contribue à améliorer la performance quantitative lors de l'exploitation de cet aquifère.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAICHE A., SIDI MOHAMED H., ABLAOUI H. (2015). Surexploitation des ressources en eau de l'aquifère du plateau de Mostaganem. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°22, pp. 153-165.
- BERNI N., OULD E.Y. (2012). Etude numérique d'un écoulement dans un milieu poreux. Mémoire de Master Professionnel, Université Kasdi Merbah Ouargla d'Algérie, 40p.
- CASTANY G. (1982). Principe et Méthodes de l'hydrogéologie, collection Dumond Université, 236p.
- CHAFFAI H., DJABRI L., LAMROUS S. (2005). Reserves hydriques de la Wilaya d'Annaba. inventaire, évaluation et besoins futurs en ressources en eau. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, pp.31-36.
- DARCY H. (1854). Experimental Researches on the Flow of water in pipes, Comptes rendus, vol. 38, n° 11 t1, pp. 1109-1121.
- DGEau (2012). Carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin. Impressum: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Allemagne.

- KABORÉ P. (2017). Etudes techniques détaillées de réalisation d'une Adduction d'Eau Potable Multi-Villages autour du forage artésien de Fon dans la région des Hauts-Bassins (Burkina Faso). Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement, 105p.
- KABOUR A., HANI A., MEKKAOUI A., CHEBBAH L. (2010). Évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride. CAS de la ville de Bechar (sud-ouest algérien). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, pp. 7-19.
- KODJA D.J. (2018). Indicateurs des évènements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 280 p.
- 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.
- MANGOUA M. J., KOUASSI K. A., YAO A. B., DOUAGUI G. A., GOULA B. T. A., BIEMI J. (2019). Evaluation des potentialités en eau souterraine des aquifères fissures dans le bassin versant du Bandama (côte d'ivoire), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°37, pp. 53-74.
- OBM (1989). Notice explicative de la carte géologique. Feuilles Pira-Savè, Abomey-Zagnanado, Lokossa-Porto Novo. 1^{ère} édition, mémoire n° 3.
- OUALI S. (2006). Etude géothermique du sud de l'Algérie. Mémoire de Magister en géophysique, Université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, 84p.
- ZELLA L., SMADHI D. (2006). Gestion de l'eau dans les oasis algériennes Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, pp.149-156
- ZELLA L., SMADHI D. (2006). Gestion de l'eau dans les pays arabes; Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, pp.157-169.