

Table des matières

01_01_ST1_RAKOTOARISOA Daniel	2
02_13_ST1_Kevin RAHERINJAKANIRINA	16
03_14_ST1_Ramanitrarivo	26
04_15_ST1_JekoniaBotozandry_terrasses	43
05_02_ST2_Rakotoarivelo	56
06_16_ST2_Razafimahatratra	74
07_17_ST2_BOTORONONO	93
08_05_ST3_rasoarimalala	103
09_06_ST3_ANDRIAMANANTENA_Ainazo_Herilala	130
10_18_ST3_RAVALISON R. M._logo	153
11_07_ST4_Botozandry	165
12_08_ST4_Randriamparany	175
13_10_ST4_TSIRAHAMBA Sylvestre	182
14_11_ST4_Razafindrakoto	192
15_12_ST4_Beariniaina	206
16_22_ST4_DrFenozoANDRIAMANANTENA	222
17_03_ST3_Randrianarison	231
18_20_ST5_Randriatefison	245
19_21_ST5_Rabearivelo	264

Caractérisation hydrogéologique du sous bassin versant d'Ambovombe Centre en vue de l'alimentation en eau potable de la population

D. Rakotoarisoa^{1,2}, H. Randrianilaina⁵, J.M. Rasolomanana²,
Z.Ratolojanahary^{2,4}, N. Andrimanaosoa^{2,3}, A.R. Herivahatraina⁴

¹Institut Supérieur de Technologie, Ambositra, Région Amoron'i Mania, B.P. 306

²ED Ingénierie et Géosciences, ESPA, Université d'Antananarivo, B.P. 1500

³Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo, B.P. 3843

⁴Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe –Vakinankaratra B.P 105

⁵Direction Régionale de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène, Amoron'i Mania B.P. 306

*Auteur correspondant: D. Rakotoarisoa; Tel. +261340184363, E-mail: rakotoarisoa_daniel@yahoo.fr

Résumé- La Concurrence de la consommation entre le secteur eau potable et les autres secteurs utilisateurs surtout usage agricole dans le monde rural persiste encore. En effet, l'eau de surface disponible est largement insuffisante surtout durant la période où l'activité agricole augmente. Dans cette optique, le recours à l'exploitation des eaux souterraines est de plus en plus intéressant. L'objectif de cet article est donc de déterminer la fonction conduite et le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère afin d'évaluer la quantité d'eau fournie par l'aquifère du sous bassin versant d'Ambovombe Centre. Pour atteindre cet objectif, une démarche méthodologique basée sur diverses formules a été appliquée en utilisant les données recueillies sur terrain.

Mot clés : eau souterraine ; aquifère, fonction conduite, coefficient d'emmagasinement, bassin versant

Abstract- Consumption competition between the drinking water sector and other user sectors, especially agricultural use in rural areas, still persists. Indeed, the available surface water is largely insufficient, especially during the period when agricultural activity increases. From this perspective, the use of groundwater exploitation is increasingly interesting. The objective of this article is therefore to determine the conducted function and the storage coefficient of the aquifer in order to assess the quantity of water supplied by the aquifer of the Ambovombe Center sub-watershed. To achieve this objective, a methodological approach based on various formulas was applied using data collected in the field.

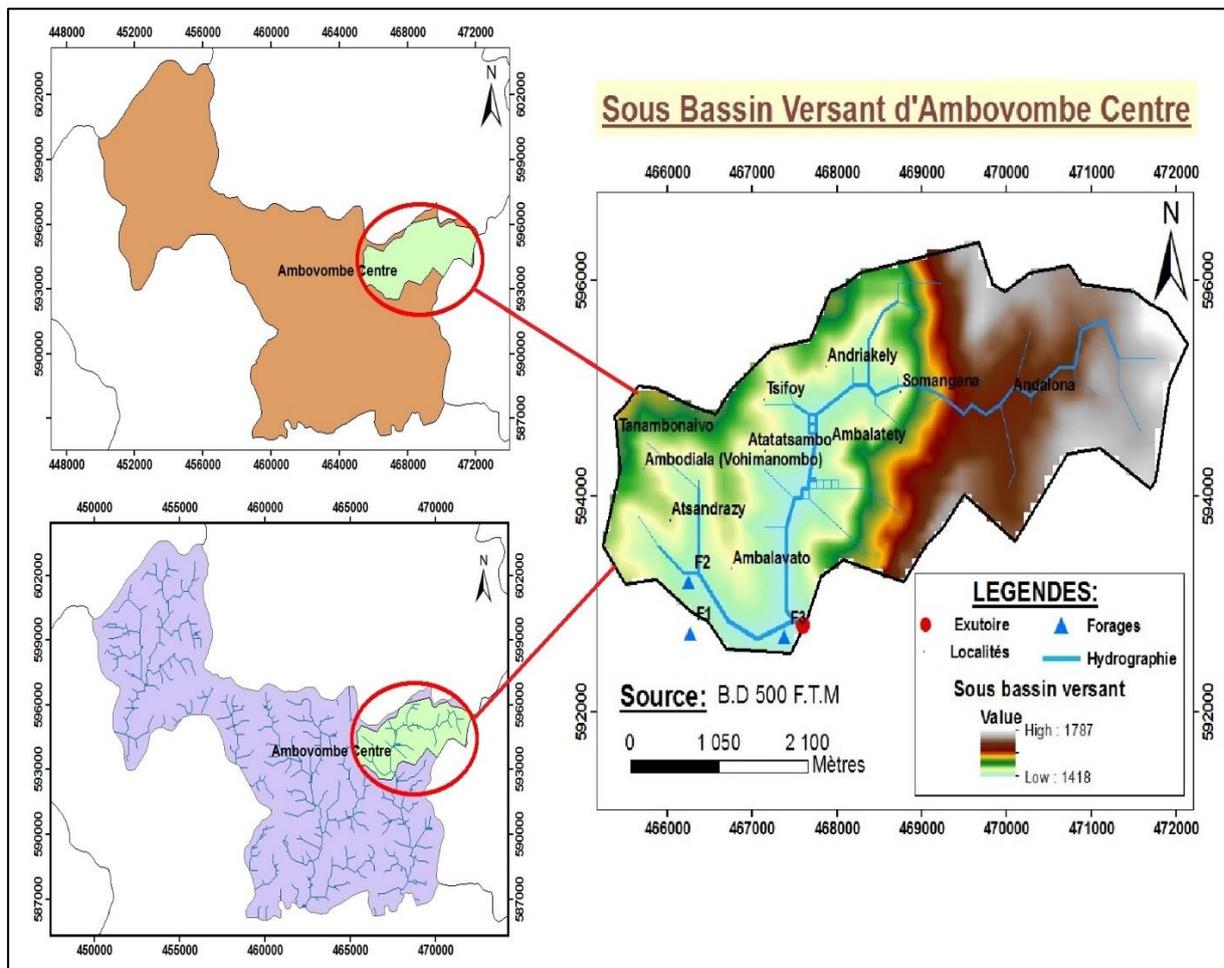
Keywords : underground water ; aquifer, driven function, storage coefficient, watershed

1. Introduction

Il existe un rapport direct entre l'abondance de l'eau et les évolutions de la démographie. L'augmentation de la demande en eau pour les activités humaines accentuera en effet les contraintes d'approvisionnement de cette ressource. Pour le District de Manandriana, l'insuffisance chronique de l'eau est une contrainte fondamentale pour son développement socio-économique. Certaines populations dans le sous bassin d'étude ont bénéficié d'un système d'approvisionnement en eau potable principalement par captage des sources. Mais, les autres s'approvisionnent en eau de source aux alentours de leur village. Durant la période d'étiages les sources s'assèchent. Le faible taux d'accès à l'eau potable (38%) (UGIR 2015) dans le secteur d'étude exige le recours aux exploitations et de connaissances approfondies des eaux souterraines. L'eau souterraine est une source spécifique et privilégiée d'approvisionnement en eau (Margat, 2011). C'est pour ces diverses raisons que cet article apporte plus d'informations sur les eaux souterraines dans les sous bassins versants d'Ambovombe centre. Ce, sur la coupe lithologique de l'aquifère d'une part et, sur le débit souterrain d'autre part en prenant une attention particulière sur le fonctionnement hydrogéologique. Il s'agit ici de déterminer tous les paramètres qui ont des influences sur la productivité de l'aquifère.

2. Localisation de la zone d'étude

Avec une latitude S 20° 46' 44" et longitude E 47° 04' 37"; la zone d'étude est située dans le District de Manandriana Région Amoron'i Mania. Les altitudes varient de 1300 m à 1900 m d'altitude. Elle possède 26 831 habitants (PCD, 2016). La commune rurale d'Ambovombe centre est caractérisée par de la végétation en prédominance de formations graminéennes. La pluviométrie annuelle varie entre 1 200 mm et 1 400 mm. Avec une variation annuelle de température moyenne de l'ordre de (18 à 21°C), un climat de type tropical d'altitude à saison chaude et humide ainsi que Saison hivernale et sèche y est présent (UGIR, 2015). La figure ci-après présente la carte de localisation du sous bassin versant d'Ambovombe centre.



Carte-1 : localisation de la zone d'étude

2. Matériel et Méthode

Après avoir consulté de divers ouvrages ainsi que des cartes thématiques, des descentes sur terrain ont été effectuées pour collecter toutes les informations nécessaires à la détermination de chaque caractéristique de l'aquifère.

2.1. Inventaire points d'eau

Pour connaître la carte isopièze, il est nécessaire de mesurer tous les niveaux piézométriques dans chaque point d'eau (puits forage, source d'affleurement ...) préexistants. Après la descente sur terrain, nous avons établi les tableaux ci-après.

Tableau1- localisation de puits

Nom de puits	Profondeur	Coordonnées		
		Altitude	X	Y
P1	16 m	1351 m	47,0772	-20,7754
P2	21 m	1455 m	47,0778	-20,7753
P3	12 m	1417 m	47,075	-20,772
P4	8 m	1659 m	47,0725	-20,7733
P5	10 m	1659 m	47,0721	-20,7733

Tableau-2 : affleurement de source inventorié dans le sous bassin versant d'Ambovombe Centre

Nom de sources	Coordonnées		
	Altitude	X	Y
S1	1410 m	47,0751	-20,7761
S2	1396 m	47,0744	-20,7747
S3	1634 m	47,0728	-20,7742
S4	1399 m	47,0739	-20,7724
S5	1448 m	47,0739	-20,7673
S6	1431 m	47,0726	-20,7669
S7	1443 m	47,0747	-20,7674

2.2. Détermination de chaque paramètre caractéristique de l'aquifère

La détermination de chaque paramètre caractéristique a été faite à partir de la donnée de forage installé à Ambalabevary. Sur cet ouvrage, deux essais de pompage atte effectués (essais par palier et essais à débit constant).

La théorie de l'hydraulique des eaux souterraines présuppose que pendant le pompage dans un forage, les conditions de flux dans l'aquifère sont laminaires. Toutefois, des turbulences peuvent se produire dans l'aquifère à proximité du forage si le pompage se fait à un débit suffisamment élevé. Si l'eau est agitée par des turbulences, Jacob propose d'exprimer le rabattement dans le forage par l'équation suivante :

$$s = BQ + CQ^2$$

Où s est le rabattement, Q le débit de pompage et B et C des constantes ; BQ= perte de charge linéaire et CQ² = perte de charge quadratique. La valeur de C et B est obtenue à partir de la courbe de rabattement.

Si tous les termes de l'équation précédente sont divisés par Q, la valeur de rabattement spécifique est obtenue et l'équation devient.

$$s/Q = B + CQ$$

Pour calculer la transmissivité, la perméabilité et le coefficient d'emménagement de l'aquifère la formule de Jacob ci-après a été utilisée.

$$s = \frac{0,183 \times Q}{T} \log\left(\frac{2,25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)$$

Avec s : Rabattement ; r : distance forage-piézomètre ou rayons de puits ; t = temps depuis le début du pompage en seconde ; Q= Débit du pompage (m³/s) ; T= transmissivité de l'aquifère (m² /s) ; S= Coefficient d'emménagement de l'aquifère.

3. Résultats

3.1. Caractéristique lithologique de la zone d'étude

D'après les analyses des cuttings et des carottes effectués dans le forage installé à Ambalabevary, avec un forage 42,6 m de profondeur, il est caractérisé par de formation géologique sableuse et de granité altéré. La figure ci-après montre parfaitement la coupe lithologique obtenue.

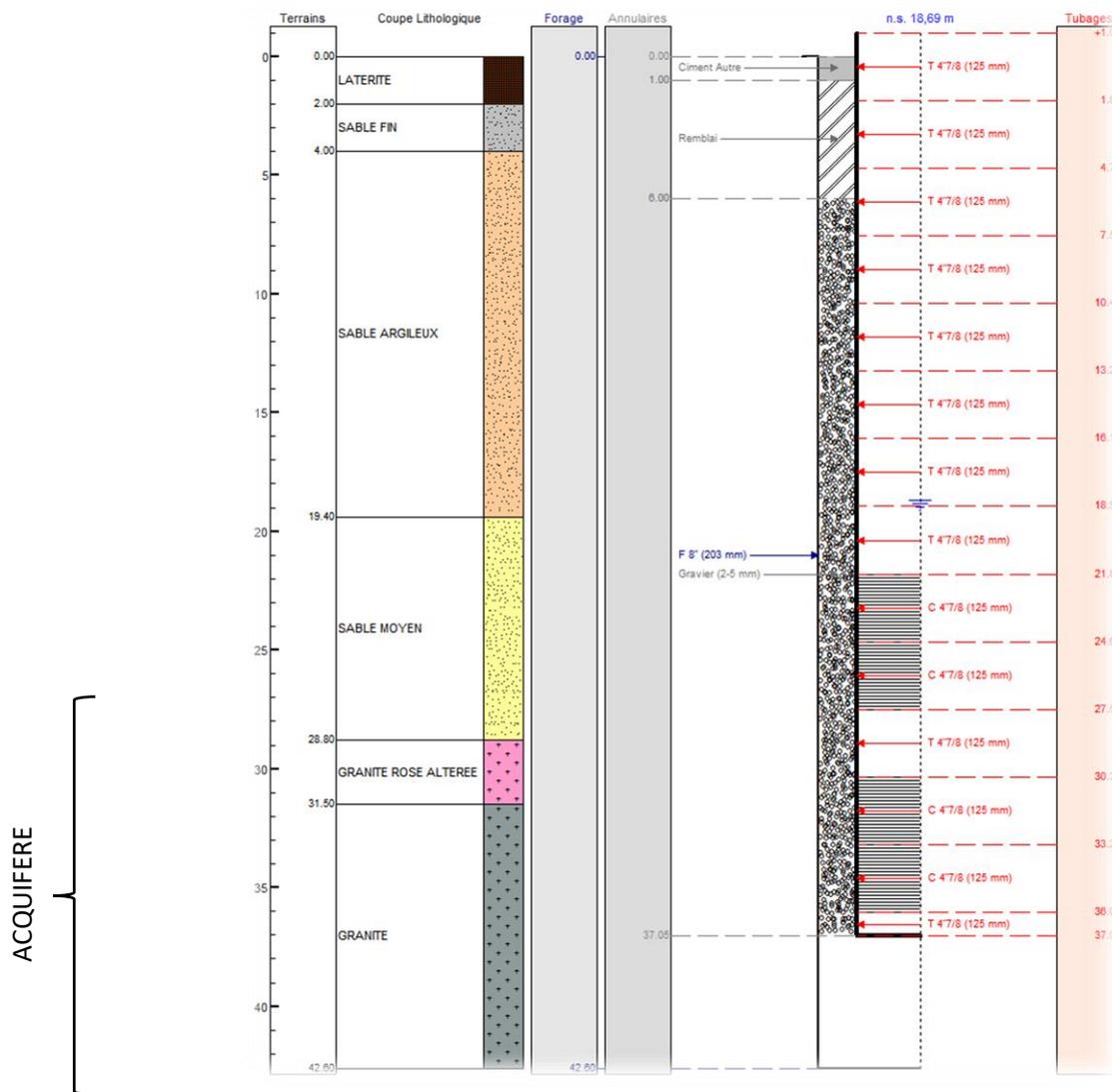


Figure 1- Coupe lithologique d'Ambalabevary

[F 8" (203 mm) : Forage rotary avec diamètre de 203 mm ; T 4" 7/8 (125 mm) : Tubage lisse avec diamètre 125mm ; C 4" 7/8 (125 mm) : Tubage crépine avec diamètre 125 mm.]

Sur cette figure, les observations des coupes lithologiques et des carottes ont révélé globalement la succession de trois (4) couches :

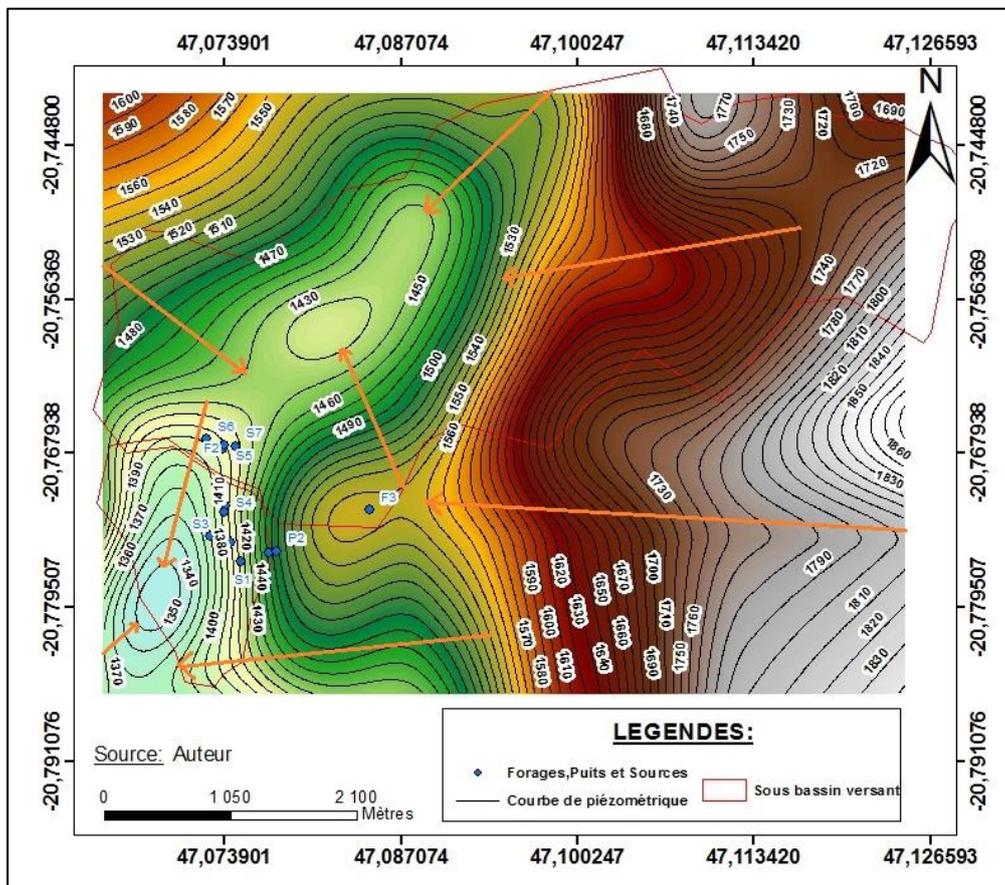
- Latéritique à la surface
- De sable (fin, argileux, moyen)
- La roche altérée et fracturée (probablement le réservoir de la nappe phréatique)
- Et la roche saine qui est du granite

C'est la succession classique des couches géologiques,

3.2. Caractéristique hydrogéologique du sous bassin versant d'Ambovombe centre

3.2.1. Courbe piézométrique

Après le relevé de niveau d'eau dans chaque point d'eau, la carte de niveau piézométrique ci-dessous a été tracée.



Carte-2 : courbe d'isopièze

En examinant ces courbes isopièzes, il apparaît que l'extension de la nappe des altérites est discontinue par la présence des collines. Cette figure montre que sur la partie Sud, l'existence des courbes isopièzes serrées indique une pente de niveau piézométrique importante. Les isopièzes deviennent espacées vers le nord traduisant une pente hydraulique faible (Arjen van der, W., 2010).

3.2.2. Essais par palier

L'essai de pompage par palier se fait par de débit variable. La figure de la courbe de rabattement en fonction de temps de pompage se trouve en annexe de cet article.

Sur cette figure (cf. annexe), la courbe en rouge est le rabattement de la nappe et celui en bleu est le débit effectue pour chaque palier. La courbe représentative obtenue lors de l'essai par pompage met en évidence la variation de la valeur de rabattement pour chaque palier de débit.

Pour le premier palier correspondant à une gamme de valeur de temps de 0h jusqu'à 1h30, avec un débit de $0.50\text{m}^3/\text{h}$; le rabattement augmente lentement en fonction du temps de 19,35 m jusqu'à 24,96 m pendant 90 minutes. Cette augmentation progressive est due à l'effet de capacité de puits. A partir de la 40ème minute de pompage, le rabattement reste constant, cela signifie que le rabattement atteint sa valeur maximale pour ce palier;

Pour le deuxième palier correspondant à une gamme de valeur de temps de 1h30 jusqu'à 1 h45. Avec un débit de $1,12\text{m}^3/\text{h}$. Lors de la première minute du deuxième palier le rabattement est passé de $24,96\text{ m}$ à $25,85\text{ m}$. Puis, il augmente lentement jusqu'à la fin de deuxième palier, et atteint jusqu'à $30,8\text{ m}$. l'augmentation continue de rabattement indique que le débit pompé est encore inférieur au débit entrant dans l'ouvrage, donc il est nécessaire d'accroître la quantité de débit de pompage.

Pour le troisième palier correspondant à une gamme de valeur de temps de 1h45 jusqu'à 2 h15 et de débit de l'ordre de $1,50\text{m}^3/\text{h}$. La valeur de rabattement varie pendant 30 minutes, mais après, la courbe présente à une pente faible ce qui signifie une faible augmentation de rabattement.

Quant au quatrième palier correspondant à une gamme de valeur de temps de 2h15 jusqu'à 2h18. Avec un débit de $1,17\text{m}^3/\text{h}$, le rabattement augmente rapidement en fonction du temps de 27 m jusqu'à $31,5\text{ m}$ pendant 3 minutes. C'est l'augmentation du débit qui a influencé l'augmentation de ce rabattement. La courbe présente une pente forte, c'est-à-dire que le rabattement augmente fortement durant les 3 minutes de ce palier. Mais à la fin de ce palier, il tend à s'épuiser l'eau du pompage. Ce phénomène signifie que le débit sortant dans l'ouvrage est largement supérieur à celui qu'on a pompé (Orofino S., 2009).

Pour le rétablissement de la nappe, après 2h de temps de remonté le rabattement devient 20 m . La première portion de la courbe se situe entre 2h16 et 2h 21mn, elle est presque une droite. Entre 2h21mn jusqu'à 3h, le rabattement devient 22.8m . Ce dernier signifie que la nappe est bien alimentée et présente une bonne perméabilité. Et la dernière portion de la courbe présente une forme parabolique ; C'est à dire le rabattement tend atteindre le niveau statique initial.

3.2.3. Relation rabattement et débit

La figure ci-dessous présente la relation du débit de chaque palier avec les rabattements correspondant.

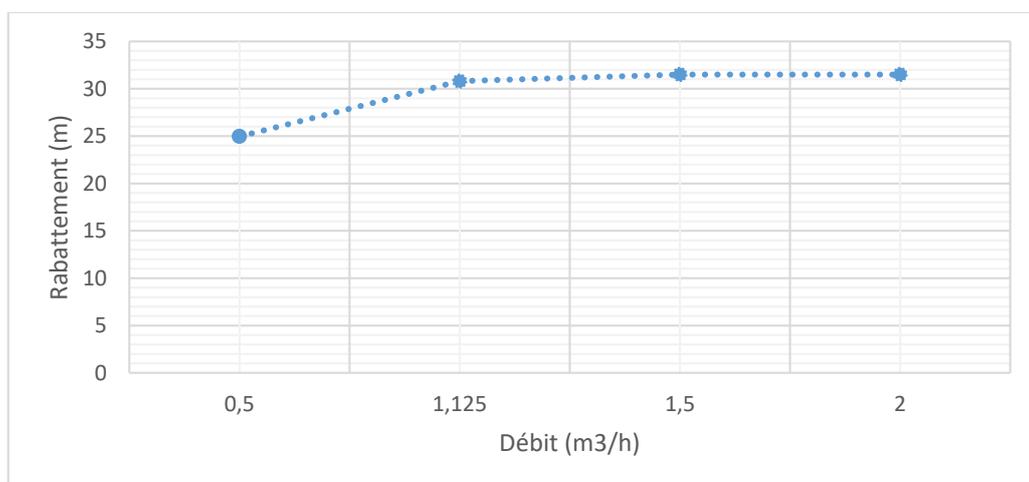


Figure 2- Rabattement en fonction de débit

Cette figure indique que le débit augmente entre 0,5 m³/h et 1,125 m³/h. La courbe prend la direction horizontale à partir de 1,125 m³/h. ce phénomène signifie que le débit critique dans l'aquifère étudié est de l'ordre de 1,125 m³/h.

3.2.4. Rabattement totale

Etant donné que le rabattement total est obtenu en connaissant les deux types de perte de charge. La figure ci-dessous illustre la relation entre le débit et le rabattement spécifique dans le même forage.

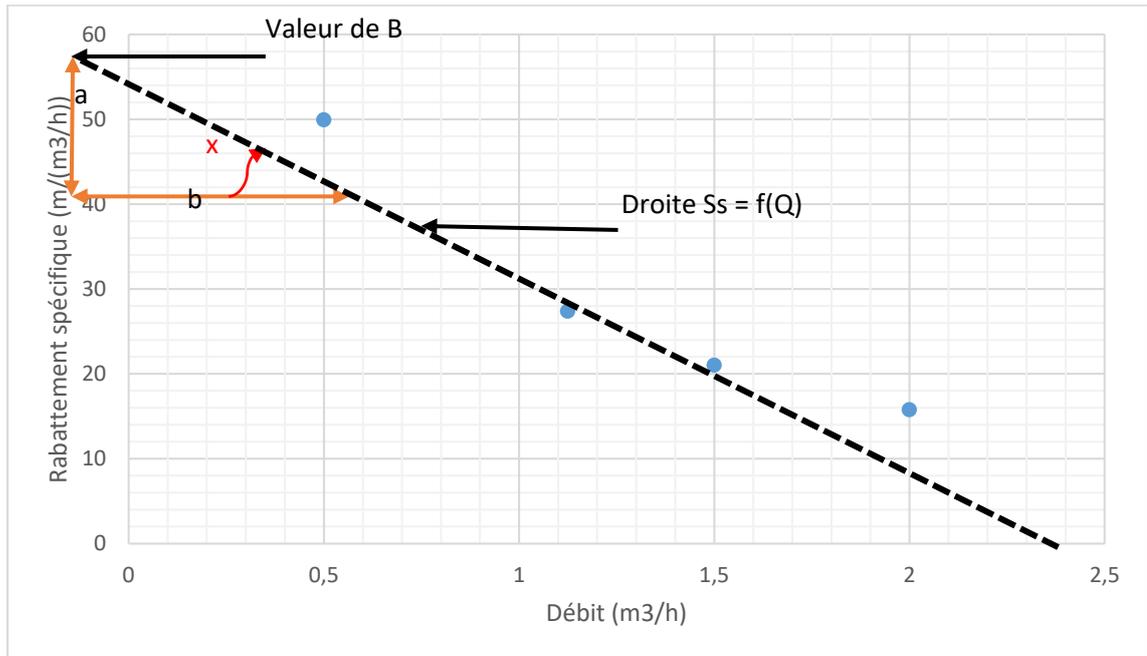


Figure 3- rabattement spécifique en fonction de débit à Ambalabevary

Sur cette figure, la valeur de constante C est de l'ordre de 20 alors que pour celui de B est égale 58 (B=58). La valeur de perte de charge linéaire (20 Q) est largement inférieure à celui de perte de charge quadratique (58Q²). Ceci signifie que l'eau passe de l'aquifère au forage et à la pompe à travers le massif filtrant et la crépine, présente un écoulement presque toujours turbulent (Boak R., 2011). Un rabattement supplémentaire est donc nécessaire pour que l'eau entre dans la pompe.

Lors des essais de pompages, les rabattements maximaux pour des paliers ne sont pas atteints. L'équation caractéristique nous a permis de calculer ce rabattement maximal. La courbe caractéristique de l'ouvrage (figure N° 4) permet de déterminer le débit maximal de l'exploitation

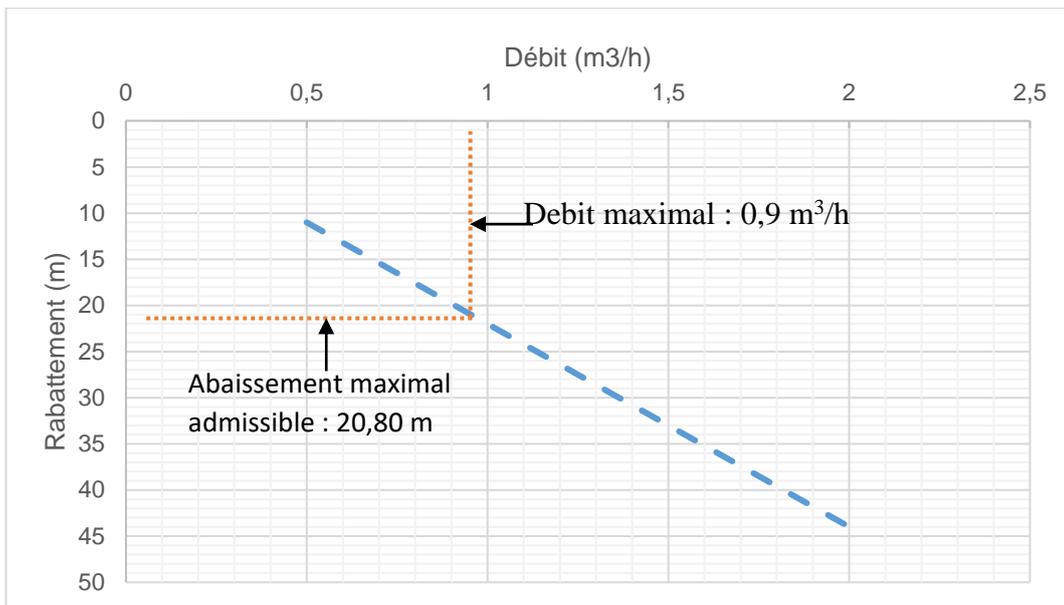


Figure 4 Courbe caractéristique de l'ouvrage

Pour éviter l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, l'abaissement maximal admissible ne devrait pas dépasser 1 m au-dessus de toit de la crépine (Bejaona 2017). Dans cette étude, le toit de crépine est situé à 21,80 m en profondeur, l'abaissement maximal est donc 20,80 m. Ainsi, le débit maximal d'exploitation correspond à ce rabattement maximal est 0,9 m³/h. Lors de l'exploitation, on ne devrait pas dépasser ce débit maximal car cela risquerait de détériorer l'ouvrage. En matière de potentialité de l'ouvrage, notre forage est positif car le débit obtenu est supérieur au débit exigé (0,5m³/h) pour récompenser le besoin en eau de la population dans la commune rurale d'Ambovombe centre.

3.2.4. Essais avec débit constant

Lors de l'essai, le débit utilisé est de 1,125 m³ / h. Il a été réalisé pendant 12 h de temps. La figure montre le rabattement en fonction du temps de pompage.

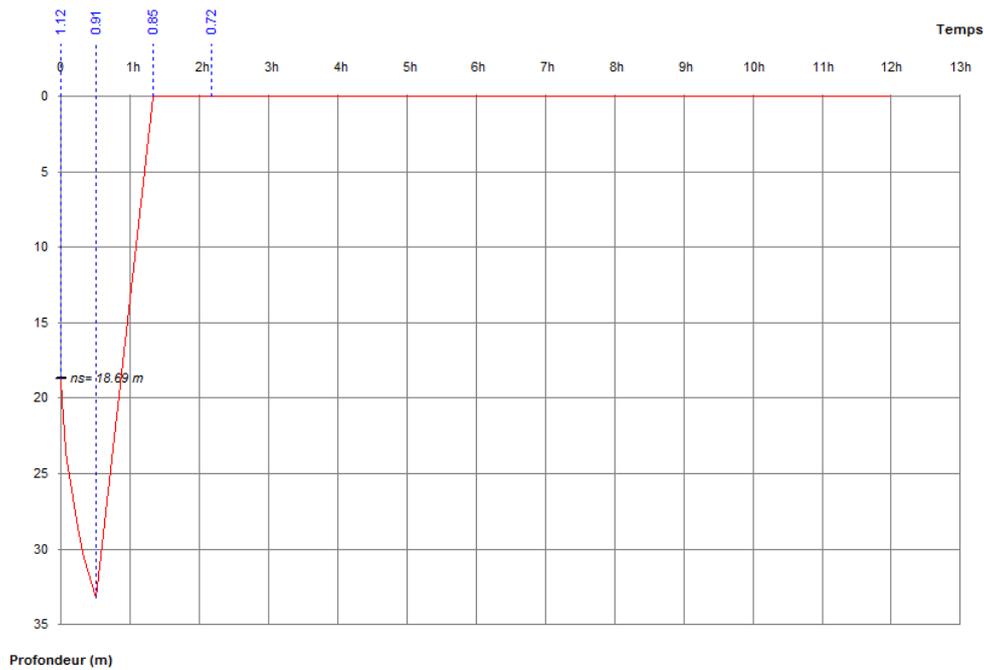


Figure 5_ Rabattement en fonction de temps de pompage

La courbe en rouge est le rabattement de la nappe et celui en bleu est le débit correspondant pour l'essai du pompage à longue durée. Sur cette figure, la courbe met en évidence la variation de la valeur de rabattement et le débit. Elle présente trois portions : la première portion présente une pente forte qui correspond à l'augmentation du rabattement durant 30 minutes avec un débit de 1,125 m³/h. Ensuite, la deuxième portion montre une courbe presque verticale, cela signifie que le rabattement diminue lentement et le débit change 0,91 m³/h. Enfin, la troisième portion présente une courbe horizontale, c'est-à-dire le rabattement reste constant. Cette dernière signifie que le débit pompé est proportionnel au débit venant de l'aquifère vers l'ouvrage.

3.2.5. Valeurs de chaque paramètre caractéristique de l'aquifère

L'application des formules citées à partir méthodologique dans le sous bassin versant d'Ambovombe centre a permis d'obtenir une valeur de transmissivité $T = 0,0247 \text{ m}^2/\text{s}$. Le coefficient de perméabilité K est égal $197,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Ce résultat confirme le résultat obtenu de la formation prédominante en coupe lithologique. Le coefficient d'emmagasinement $S = 0,0748$. Ce dernier représente la quantité d'eau libérée sous une variation unitaire de la charge hydraulique, c'est-à-dire sous l'effet d'une baisse du niveau d'eau.

4. Discussion

Selon GRILLOT en 1992, à Madagascar, le socle altéré des hautes terres fonctionne sur le plan hydraulique selon un mode particulier :

- ✓ Nappe libre dans les altérites
- ✓ Nappe semi-captive dans le complexe altérites-socle fissuré

✓ Interférences entre les deux aquifères par drainances verticales dont le sens dépend des périodes du cycle climatique.

En référence au travail de recherche de Castany, (1977); l'aquifère du sous bassin versant d'Ambovombe centre est donc aquifère à nappe libre (coefficient d'emmagasinement S entre 0,2 à 10^{-2}). La valeur de coefficient de perméabilité ($10^{-5} < K < 10^{-2}$) d'Ambalabevary correspond à la formation géologique sableuse (Metaiche M., 2013). En plus, la valeur de notre coefficient emmagasinement est élevée par rapport à la valeur de la transmissivité, ce qui confirme ce résultat. Ceci témoigne la fiabilité de résultat de ce travail de recherche.

Le débit moyen obtenu sur notre zone d'étude est conforme aux résultats des travaux de Rakotondrainibe (2006) montrant que les aquifères captés dans une telle zone de socle cristallin (partie nord et centre) de Madagascar fournissent des débits dont la moyenne est de l'ordre de $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Cependant, certains ouvrages fournissent de très faibles débits, voire sont abandonnés pour des raisons beaucoup plus de tarissement que de qualité de l'eau.

Cette productivité est influencée par le faciès lithologique, la présence ou non d'altérites, la connectivité hydraulique des fractures recoupées par les ouvrages (M'Bonu, 1991).

D'après Bresson G. en 2008, si la valeur transmissivité est élevée par rapport à la valeur du coefficient d'emmagasinement au même instant « t » pour le même débit Q , le cône de rabattement dans la nappe est très étendu. Ce n'est pas notre cas ; le cône de rabattement de la nappe d'Ambalabevary est donc moins étendu. Ce résultat est parmi le point fort de cette recherche car il fournit des renseignements scientifiques de référence aux décideurs locaux pour la gestion de l'exploitation de la nappe étudiée.

Conclusion

Dans le sous bassin versant d'Ambovombe centre la profondeur de niveau piézométrique varie de 8m à 16m. La direction d'écoulement de la nappe est générale vers le centre du Bassin d'étude. La valeur élevée du coefficient de perméabilité de l'aquifère montre une possibilité d'exploitation productive de la nappe pour couvrir le manque d'eau en matière de l'alimentation en eau de la population d'Ambovombe centre. Le résultat de cette étude montre parfaitement qu'il y a une relation entre le coefficient d'emmagasinement et la formation lithologique du terrain qui détermine le type de la nappe souterraine. Pour la zone étudiée, l'aquifère exploité est à nappe libre.

Les résultats de ce travail ont permis de disposer de nouvelles perspectives encourageantes pour la suite des travaux. Ainsi, l'évaluation de la recharge de la nappe est nécessaire pour améliorer et conserver la quantité d'eau exploitable dans l'aquifère du bassin par recours à différentes méthodes d'approche géo scientifique. Une telle vision pourrait bien être mise en œuvre dans d'autres sous bassins où le tarissement de source règne provoquant de litiges sociaux.

Remerciement

Je tiens particulièrement à remercier Monsieur RASOLOMANANA Eddy, Professeur titulaire de l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Directeur de l'ED Ingénierie et Géoscience de m'avoir encouragé pour relater dans cet article une partie de mon travail de recherche sur le sous bassin versant d'Ambovombe centre District de Manandriana, Région Amoron'i Mania.

Références bibliographiques

- 1-Arjen van der, W., 2010. "Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines appliquées aux forages manuels". Fondation PRACTICA, p. 49.
- 2-Boak R., 2011. "Guide pratique pour les essais de pompage de puits, revue technique". Editeur CICR- Genève, p. 99-108.
- 3-Castany, G. & Margat, J., 1977. "Dictionnaire française d'hydrogéologie". Editions du BGRM, p. 127.
- 4-Bresson G. 2008. A la recherche et exploitation des eaux souterraines, p 40 -58
- 5-MARGAT J., 2011 .Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde p.13
- 6-Metaiche M., 2013. "Forage: Techniques et procédures". Université de Bouira, p. 20.
- 7-Orofino S., 2009. "Interprétation du pompage d'essai". GINGER (Groupe d'IngénierieEuRope).
- 8-UGIR, 2015. "Monographie - Région Amoron'i Mania" p. 55-61.
- 9- GRILLOT J. C. ; 1992. Régime des eaux souterraines en milieu cristallin altéré : un exemple en zone intertropicale humide d'altitude (Madagascar) ; Hydrological Sciences Journal ; 37 : 2 ; p105-117.
- 10-M'Bonu M., 1991. Hydrogéologie, hydrochimie et Géochimie isotopique des aquifères de socle du Plateau de Jos et des plaines environnantes (Nigeria). PhD Thesis. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. France, p.100-108.
- 11-Rakotondrainibe J.H., 2006. Synthèse de la géologie et du huit zone hydrogéologie de Madagascar, 50p.
- 12-Bejaona F. D., 2007. Caractérisations hydrogéologiques et hydrochimiques des eaux souterraines pour L'approvisionnement en eau potable des villages d'Antsakomileka et d'Ambarindranahary p.77-80.

Annexe

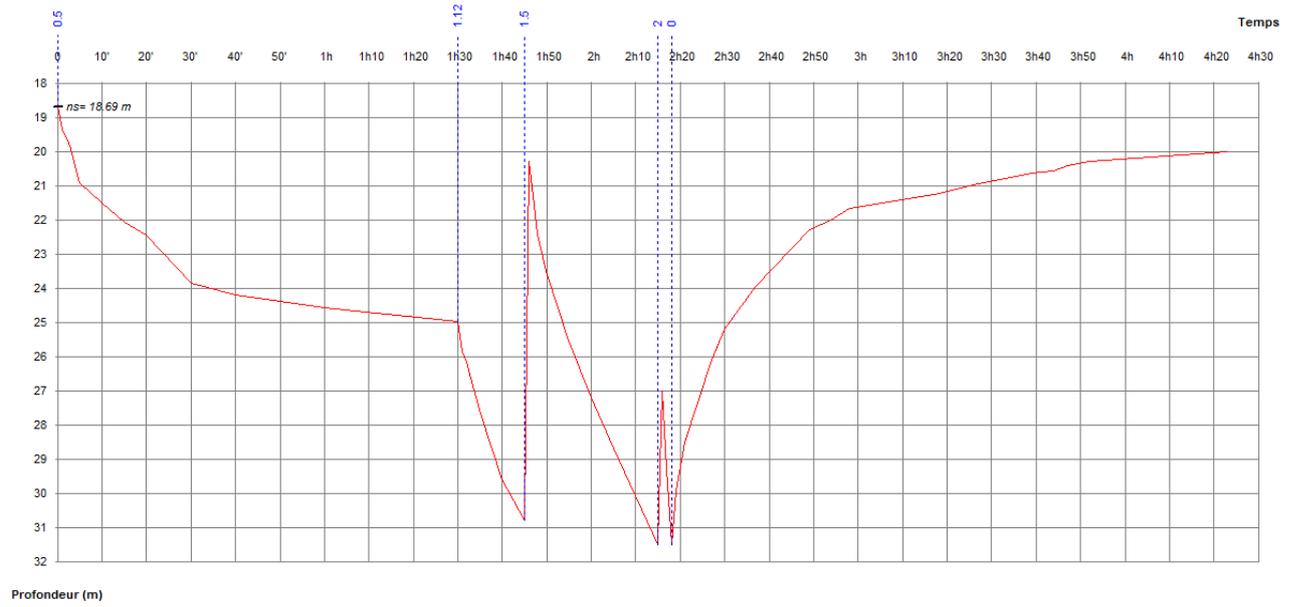


Figure a-Courbe

de rabattement en fonction de temps de pompage à

Ambalabevary