

III-2 LE SYSTEME ALLUVIONNAIRE

Les sédiments alluviaux ou alluvions constituent la plaine alluviale de la rivière Manombo. Ils ont été transportés et déposés par cette dernière. Les alluvions et les sables des dunes sont très perméables et constituent un réservoir assez important pour alimenter en eau les villages environnants.

L'aquifère de sable non consolidé est étendu sur une superficie de 338 km² le long de la Manombo avec une épaisseur moyenne d'environ 20m.

III-2-1 Caractéristiques de l'aquifère

Il est indispensable pour l'étude de définir caractéristiques de l'aquifère car elles conditionnent le comportement de l'eau souterraine et par conséquent le mode d'exploitation de l'aquifère.

i-Porosité efficace

En réalité, la mesure de la porosité se fait en laboratoire par une analyse granulométrique. Vu que nous n'avons pas pu faire cette analyse en laboratoire, la valeur de la porosité sera prise forfaitairement en se référant à des valeurs fixées à titre indicatif. Le sable fait partie des roches grenues dont la porosité peut aller jusqu'à 30%. Cette porosité est conditionnée par la taille des grains, leur arrangement et la présence des matériaux fins dans l'échantillon. Les dunes peuvent être classées dans la catégorie des sables fins.

Types de réservoir	Porosité efficace (%)
Graviers	25
Sable grossier	15
fin	10
Alluvions	10 à 20
Argile	3
Craie	2 à 5
Calcaire fissuré	2 à 10

Tableau 20: Porosité efficace moyenne pour les principaux réservoirs d'après G.Castany

ii- Transmissivité et coefficient d'emmagasinement

A partir des résultats d'essai de pompage à un débit constant de 5,6 l/s pendant 10h, on a obtenu la courbe $s' = f(t)$ présenté en annexe 6 avec la valeur de T. La transmissivité est tirée de la courbe de remontée car le régime permanent est trop long dans la phase de descente et ne nous

permet pas de trouver T. C'est le même problème pour la détermination du coefficient d'emménagement S. En réalité, l'essai de pompage n'est pas assez satisfaisant pour être interprété de manière à déterminer les caractéristiques de l'aquifère car le débit pompé est trop faible.

Pour un rabattement $s > 0,1b$, les méthodes utilisées en nappe captive ne sont plus valables. Il convient de corriger le rabattement s telle que $s' = s - \frac{s^2}{2b}$ où b représente l'épaisseur saturée de l'aquifère car pour un rabattement s .

Depuis le graphique du rabattement en fonction du log du temps présenté en annexe 6, on a déduit la valeur de la transmissivité.

$$T = 6.44.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Comme on n'a pas pu calculer le coefficient d'emménagement à partir de l'essai de pompage, on considèrera forfaitairement S de plus que pour un aquifère à nappe libre, le coefficient d'emménagement n'est autre que la porosité efficace. Donc on prendra $S = 0,1$

iii- Conductivité hydraulique K

Initialement $T = K.b$ où b représente la puissance de l'aquifère en mètre. K peut donc être tirée de cette expression et on trouve $K = 2,14.10^{-4} \text{ m/s}$

iv- Diffusivité

La diffusivité s'exprime par la relation $D = \frac{T}{S}$

L'aquifère de sable non consolidé étudié a une diffusivité $D = 6,44 \text{ m}^2/\text{s}$

Les caractéristiques de l'aquifère sont synthétisées dans le tableau suivant :

n_e (%)	T[m ² /s]	S	K[m/s]	D[m ² /s]
10	6,44.10 ⁻³	0.1	2,14.10 ⁻⁴	6,44

Tableau 21: Caractéristiques de l'aquifère d'alluvion

En plus des caractéristiques de l'aquifère, il faut aussi connaître la situation de la nappe, comme la direction de l'écoulement, les gradients piézométriques et l'allure des variations des niveaux d'eau.

III-2-2 Etude de la nappe

Le but de cette section est de passer à une appréciation quantitative de la ressource en eau souterraine disponible. Le concept ne reste pas au niveau de la ressource globale. En effet, la distinction entre la réserve en eau statique et la ressource renouvelable est d'une grande portée

pratique. La maîtrise de la connaissance de ces deux composantes devra permettre d'emprunter une voie rationnelle de l'exploitation des ressources.

i- Réserve totale

La réserve totale représente l'intégralité de la quantité d'eau contenue dans l'aquifère. Il s'agit du volume d'eau résidant dans les vides de la formation géologique. Notons toutefois que seule une partie de ce volume peut être extrait de la nappe en mode durable. Cette quantité est la réserve renouvelable que nous étudierons dans le sous paragraphe suivant.

Le volume de la réserve se calcule par le produit de la superficie A de l'aquifère avec l'épaisseur moyenne saturée e et le coefficient d'emmagasinement S.

$$V_{\text{total}} = A \cdot e \cdot S$$

A [m ²]	e [m]	S	V _{total} [m ³]
197.000.000	15	0.1	295.000.000

ii- Réserve renouvelable

Par définition, les ressources renouvelables en eau souterraine doivent pouvoir être exploitées en équilibre sans porter atteinte à long terme aux réserves, c'est-à-dire sans surexploitation. Par conséquent, l'effet des captages sont compensés naturellement à terme annuel ou mensuel par les précipitations. D'une manière simplifiée, la réserve renouvelable est la quantité de recharge de la nappe par les précipitations.

➤ Zone de recharge

La détermination de l'aire de recharge de la nappe est basée sur l'analyse de trois paramètres dont :

- La pluviométrie, qui est l'origine de l'infiltration efficace alimentant la nappe
- La direction des écoulements, qui indique la provenance de l'eau
- La géologie, qui permet de cibler les zones favorables à l'infiltration, c'est-à-dire les formations géologiques à forte perméabilité.

Etude des niveaux d'eau ; carte isopièze

L'observation des niveaux d'eau à partir des points d'eau dans quelques villages nous a permis d'avoir une idée sur la piézométrie du site. La carte des niveaux piézométriques est établie en procédant à l'interpolation de ces données observées au niveau des points de mesure. Elle met en évidence la tendance générale des écoulements souterrains.

Il s'agit ici de spatialiser les données à l'aide du logiciel ARCGIS.

Spatialisation des données

Lorsqu'on dispose d'un nombre limité de points de mesure pour représenter un phénomène de nature continue, on a recours à des méthodes d'interpolation pour cartographier ce phénomène. Une interpolation permet de déterminer la valeur d'un « nœud » à partir d'un nombre limité de données aux points d'échantillonnage. Ces données peuvent être intégrées et traitées dans un système d'information géographique. Le logiciel SIG Arcgis nous offre plusieurs options d'interpolation spatiale, notamment l'interpolation linéaire IDW : « Inverse Distance Weighted » et le krigeage (ou polygonalement de Thiessen). Ces deux méthodes sont essentiellement utilisées pour des phénomènes à gradients faibles où on a des surfaces « lissées », comme pour le cas des écoulements souterrains.

L'IDW (pondération par l'inverse des distances)

La méthode par distance inverse est une méthode d'interpolation qui estime la valeur d'une cellule en effectuant une moyenne pondérée des points connus voisins. Elle suppose que l'influence de la variable cartographiée décroît avec la distance qui la sépare de son emplacement d'échantillonnage. Ainsi, plus le point connu est proche du point à estimer, plus il a de l'influence dans le processus de moyenne. Les paramètres qui entrent en jeu dans cette méthode sont :

- La puissance : elle permet de contrôler l'importance des points connus sur les nœuds interpolés en déterminant une puissance à la distance (distance au carré, au cube, etc.). Une puissance de 2 est communément utilisée lors de l'implémentation de cette méthode.
- Le nombre de voisins : il sert à définir le nombre de voisins à prendre en considération dans le calcul.

Krigeage (interpolation géostatistique)

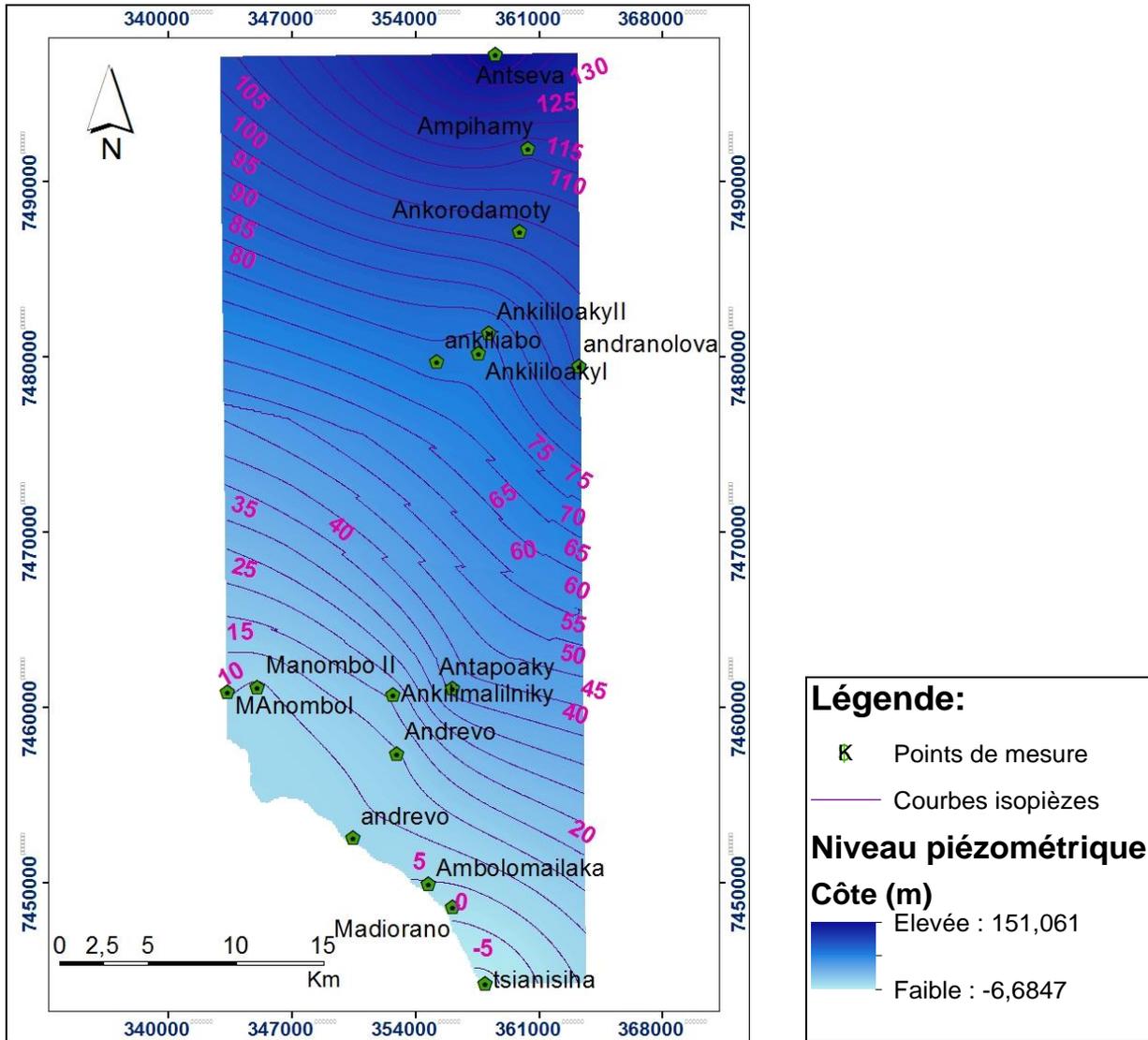
Le krigeage est comparable à l'IDW dans la mesure où elle déduit, par pondération des points connus, des valeurs en tous lieux afin de rendre compte de l'aspect continu du phénomène à étudier. La différence fondamentale entre les deux méthodes se situe au niveau du calcul de la pondération, celui du krigeage étant beaucoup plus sophistiqué. Il tient compte non seulement de la distance entre les points mesurés, mais aussi de la corrélation de leurs valeurs et de l'emplacement de la prévision. On utilise pour cela des fonctions de semi-variogramme et de covariance. Le traitement se fait en deux étapes :

- Les paramètres de l'entourage et la dépendance statistique des mesures sont d'abord déterminés et par la suite la pondération λ de chaque point pour chaque nœud de la carte.
- La prévision pour chaque nœud est ensuite évaluée.

Aucune méthode n'est généralement préférée par rapport à une autre. Le choix de la méthode dépend de la nature du phénomène à représenter. La méthode de distance inverse permet d'avoir une surface d'interpolation beaucoup plus fluide que le krigeage. Cependant, elle ne tient pas compte de la configuration relative des données, et de ce fait de la redondance de l'information. Elle résulte aussi parfois à la formation d'iso valeurs en cercle. La polygonalement de Thiessen est une méthode largement utilisée mais engendre des frontières abruptes entre les polygones. L'IDW est utilisée pour l'interpolation de valeurs plutôt aléatoires tandis que le krigeage est plus avantageux pour les données en corrélation.

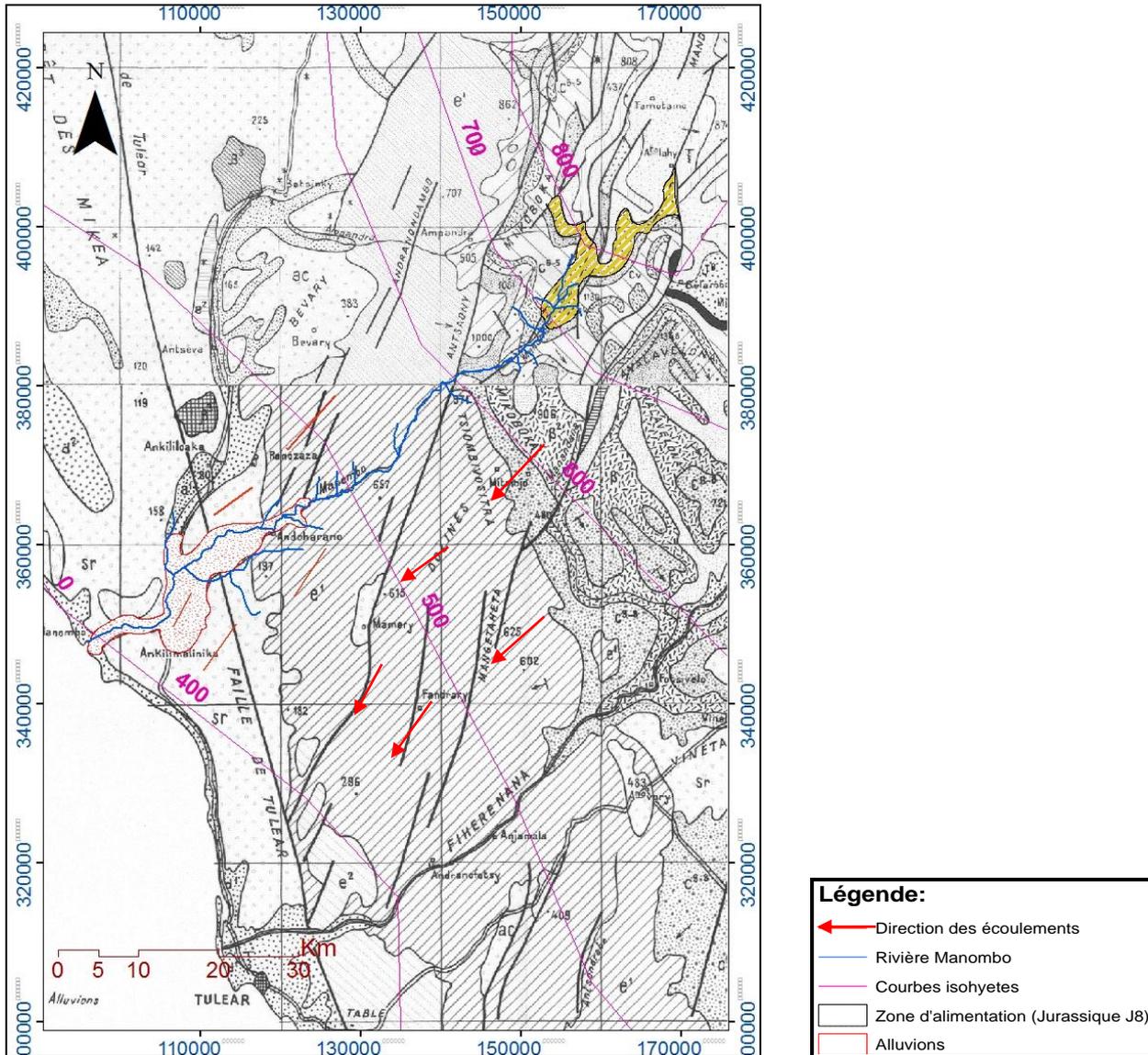
Pour l'établissement de la carte piézométrique, la méthode d'interpolation par krigeage est plus adaptée afin de restituer la continuité spatiale des niveaux d'eau.

Carte 6 : Carte des isopièzes de la nappe alluviale



D'après la carte des niveaux piézométriques ci-dessus, on constate que les écoulements dans la nappe d'alluvion suivent une direction nord-est/sud-ouest.

Carte 7 : Zone d'alimentation de la nappe alluviale



Source : BDEA (Base de données du secteur eau et assainissement)-Ministère de l'eau

En se référant au bilan hydrologique établi précédemment, on a pu voir que l'infiltration est nulle dans la zone d'affleurement des alluvions. La recharge de cet aquifère ne se fait donc pas directement par la précipitation sur le site.

En suivant la direction des écoulements, on constate que cette dernière suit celle de la rivière Manombo. De par cela, on peut donc supposer que cette nappe est alimentée par la même source que Manombo à Ankomaka, dans le massif Jurassique J⁸. Selon les courbes isohyètes, la hauteur des pluies qui tombent dans cette zone se situe entre les 700mm à 800mm.

Notons également que la nappe alluviale est en équilibre avec la rivière et les échanges se font dans les deux sens.

➤ Volume de recharge

La quantité de recharge de la nappe est déduite de la part de pluie qui s'infiltré vers la profondeur désignée par le terme « infiltration efficace ». Cette dernière est calculée à partir du bilan hydrologique de la zone où se produit l'infiltration.

Bilan hydrologique à Ankomaka

Tous les éléments du bilan tels que la pluie, l'ETP et le ruissellement sont calculés respectivement en annexe 2, annexe 4, et annexe 3.

Mois	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Annuel
P	4	24	51	124	181	157	110	39	16	12	4	6	731
ETP	116	118	114	100	99	82	59	44	45	56	74	104	1012
P-ETP	-111	-93	-63	24	82	75	51	-6	-28	-44	-70	-98	
Déficit cumulé	356	449	63	0	0	0	0	6	34	77	147	245	
Stock S	3	1	52	76	100	100	100	95	70	45	22	8	
ΔS	-5	-2	-48	24	24	0	0	-5	-25	-25	-23	-14	-99
ETR	10	26	99	100	99	82	59	44	41	38	28	20	646
Surplus	0	0	0	0	58	75	51	0	0	0	0	0	184
R(mm)	0	0	0	0	24	9	5	0	0	0	0	0	38
I(mm)	0	0	0	0	34	66	46	0	0	0	0	0	146

Tableau 22: Bilan hydrologique à Ankomaka

$$P = R + I + ETR \pm \Delta S$$

$$731 = 38 + 146 + 646 - 99$$

Le volume de la recharge est la quantité d'eau infiltrée sur toute l'aire de recharge A. Soit donc :

$$V_{\text{rech}} = I \times A$$

I [mm]	A [m ²]	V _{recharge} [m ³]
146	102000000	1 449 040

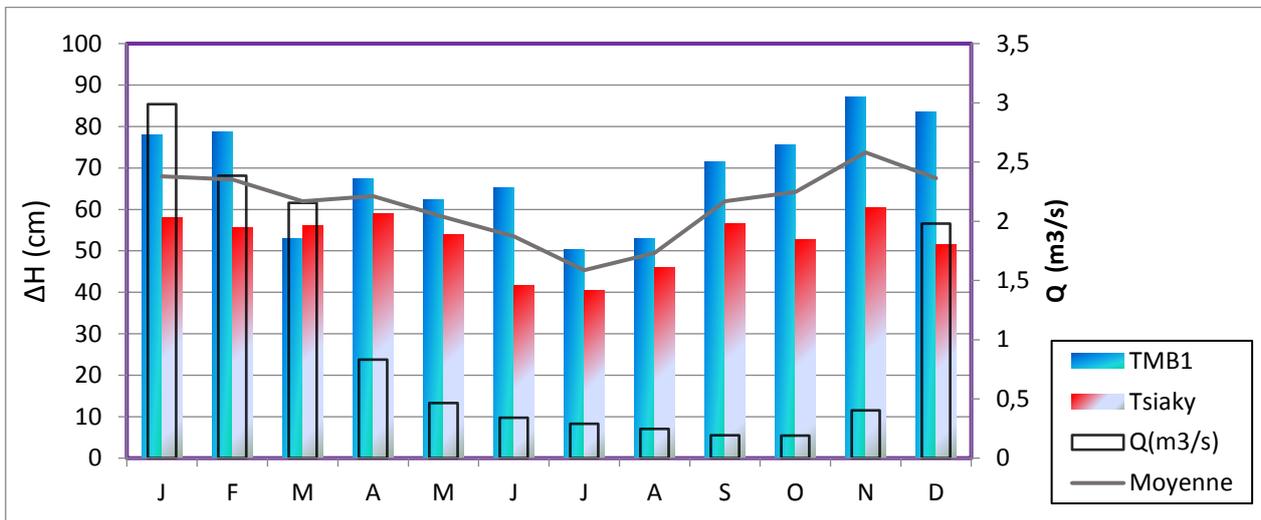
iii-Etude de la fluctuation des niveaux d'eau

Depuis 2007, un système de suivi des niveaux piézométriques a été mis en place dans quelques lieux du site afin d'observer les variations saisonnières et annuelles des niveaux d'eau. Ces mesures sont traduites sous forme de graphique avec le débit de la Manombo, de manière à représenter les fluctuations de la nappe par rapport au régime de la rivière qui est en interconnexion avec elle.

Trois séries de mesure sont reportées sur l'histogramme. La première est celle de la variation moyenne du niveau statique par rapport à tous les points de mesure. Elle représente la tendance

globale de la variation des niveaux d'eau. Les deux autres sont des mesures ponctuelles, à deux endroits distincts du site choisis pour définir le régime des eaux souterraines à différents lieux.

Il est à noter que les séries de mesure de 4 ans dont nous disposons ne nous permettent pas de conclure l'évolution annuelle du niveau d'eau car la période est trop courte. Il se peut que les éventuels états de niveaux d'eau soient influencés par un phénomène particulier.



Graphique 3: Fluctuation des niveaux piézométriques dans la nappe d'alluvion

A première vue, on constate que le niveau général de la nappe ne connaît pas une très grande variation au cours de l'année. On peut remarquer également, d'après le graphique, que la tendance générale du niveau d'eau souterraine suit celle de la rivière Manombo, mais avec un décalage important lors des périodes de pluies. Cela s'explique par le fait que le ruissellement est nettement important par rapport à l'infiltration en période de crue. D'où l'écart flagrant observé entre le régime de la rivière et la nappe en période de pluie. Cependant, en étiage, les tendances se rapprochent lorsque le débit de la Manombo n'est plus influencé par les écoulements de surface. A ce moment là l'apport de la rivière est soutenu par la nappe.

La variation du niveau de la nappe observée à Tsiaky, en bordure de la rivière est peu significative avec un écart de 15cm entre le niveau maximum et minimum durant l'année. Le comportement de la nappe à cet endroit est normal par rapport à l'ensemble et les variations globales de la nappe concordent avec celles de la rivière. Cette corrélation justifie bien l'existence de l'interconnexion entre la rivière et la nappe.

Au puits TMB1, plus au sud sur la côte, la fluctuation du niveau piézométrique est un peu plus marquée avec une amplitude maximale de 40cm. Cependant on ne peut pas encore dire que cette différence soit assez importante. Par contre, en comparaison avec la variation moyenne des niveaux d'eau, on trouve qu'à cet endroit le régime de la nappe est très irrégulier et aléatoire. Il ne

présente aucun rapport avec Manombo. Ce phénomène s'explique par une éventuelle influence des flux d'eau de la nappe sous-jacente à la nappe phréatique.

De ces observations, on peut conclure que la recharge de l'aquifère est plus ou moins répartie uniformément au cours de l'année. Cela est dû au fait que l'infiltration à l'origine de l'alimentation de la nappe est un processus lent, contrairement au ruissellement qui entraîne une variation significative immédiate mais temporaire de l'état de la rivière. Les fluctuations du niveau de la nappe souterraine sont régies par l'interconnexion avec la rivière Manombo, qui est d'autant plus étroite en période d'étiage.