

Etude du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB) - bassin versant du Mroni Antanana - Mayotte

Rapport final

BRGM/RP-57623-FR

Octobre 2009

Étude réalisée dans le cadre de la convention R&D
ONEMA/BRGM du 8 juillet 2009

A. Malard,

Avec la collaboration de A. Brugeron, B. Mougin et A. Wuilleumier

Vérificateur :

Nom : Claudine LAMOTTE

Date : 12/10/2009

Signature :

Approbateur :

Nom : Pascal PUVILLAND

Date : 22/10/2009

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : bassin d'alimentation de captage, aire d'alimentation de captage, aquifères, forages, vulnérabilité, pressions, Mroni Antanana, M'ronabéja, Mayotte, Comores, France

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Malard A. avec la collaboration de Brugeron A., Mougin B., et Wuilleumier A. (2009) - Etude du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB) - bassin versant du Mroni Antanana – Mayotte – BRGM/RP-57623-FR. 76 p., 20 ill., 10 tab., 2 ann.

Synthèse

Au vu de la vulnérabilité des ressources en eau de l'île de Mayotte et de l'intérêt pour les services de l'Etat de disposer d'outils de réglementation indispensables à l'application de la loi sur l'eau de 1992 et aux exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'eau, il s'est avéré urgent de définir les Bassins d'Alimentation de Captage (dits « BAC » par la suite) et de caractériser leur vulnérabilité aux pressions exercées sur la surface du bassin. L'étude de ces bassins d'alimentation doit ensuite initier les travaux vers la mise en place des périmètres de protection des captages ; cette démarche capitale s'inscrit dans une logique durable de gestion des ressources en eaux à Mayotte.

Lors des comités permanents de la MISEEN¹ du 08/11/07 et du 03/03/08, il a été convenu que toutes les prises d'eau et tous les forages d'alimentation en eau potable de Mayotte devaient être protégés. Cinq captages définis comme prioritaires (inscrits en tant que captages Grenelle sur les listes ministérielles) ainsi que les forages et autres prises d'eau situés dans le même bassin versant ont déjà été étudiés à travers une convention passée entre la DAF et le BRGM (datée du 18 août 2008). Ce sont ceux :

- de l'Ourovéni, avec notamment la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani (cf. rapport BRGM/RP-57111-FR) ;
- de Gouloué (cf. rapport BRGM/RP-57109-FR) ;
- de Bouyouni bas (cf. rapport BRGM/RP-57108-FR) ;
- de Méresse (cf. rapport BRGM/RP-57110-FR) ;
- correspondant à la prise d'eau en mer pour l'usine de dessalement de Petite Terre (cf. rapport BRGM/RP-57112-FR).

Suite au Comité Régional de Programmation des opérations de Service Public du BRGM du 03/10/08 et à la réunion de travail SIEAM/BRGM du 26/12/08, le SIEAM (Syndicat Intercommunal des Eaux et Assainissement de Mayotte) a souhaité poursuivre les études de délimitation des BAC sur 5 autres bassins versants, soit 15 autres captages AEP. Il s'agit des captages suivants :

- les 2 prises d'eau de surface du Mro Oua Kwalé (Kwalé haut 12307X0145/KWALHA et Kwalé bas 12307X0146/KWALHA) ainsi que les forages de Kwalé 1 (Indice national : 12307X0022/Koual1) et de Kwalé 3 (12303X0100/Kwalé3), rapport BRGM/RP-57621-FR ;
- les forages de Kawéni F1 (12307X0013/F1), F2 (12307X0014/F2), et 3 10'' (12307X0021/Kaoué3), rapport BRGM/RP-57620-FR.

¹ Mission Inter Service de l'Eau et de l'ENVironnement

- la prise d'eau du Mro Oua Andrianabé (12306X0054/AMPCAP), le drain de M'tsangamouji (12306X0055/AMPDRA) et les forages de M'tsangamouji 1 (12306X0017) et 2 (12306X0016), rapport BRGM/RP-57618-FR ;
- le forage de Béja 1 (12306X0015/BEJA1), rapport BRGM/RP-57619-FR ;
- les prises d'eau de Mouhogoni (12302X0027/CAP_MO) de Mjihari ou Dzoumognè (12302X0028/CAP_MJ), de Mapouéra (12302X0030/CAP_MAP) et de Mahojani (BSS 12302X0029/CAP_MA) ainsi que le forage de Mohogoni (12302X0025/MOHOG), rapport BRGM/RP-57622-FR.

Soit 7 prises d'eau en rivière, un drain et 9 forages d'eau souterraine.

Afin de couvrir la totalité des captages de l'île, l'ONEMA a souhaité prendre en charge les études de délimitation des BAC relatives aux 4 derniers bassins versants - soit 4 captages - non réellement considérés comme prioritaires au regard du nombre modeste de captages qu'ils abritent et des volumes d'eau exploités limités. Ces 4 derniers bassins versants sont donc étudiés dans le cadre de la convention de R&D partagés ONEMA/BRGM du 8 juillet 2009. Il s'agit des bassins qui accueillent les ouvrages d'eau suivants :

- le bassin versant du Mro Walé (captage en rivière 12306X0056/MROCAP), rapport BRGM/RP-57621-FR ;
- le bassin versant du Mroni Antanana (forage de M'ronabéja 2 12316X0032/MRONAB) dont l'étude fait l'objet du présent rapport ;
- le bassin versant du Mroni Bé (forage de Mréréni 2 12312X0035/Mréré2), rapport BRGM/RP-57624-FR ;
- le bassin versant du Mro Oua Longoni (captage en rivière 12307X0144/LONGON dont le fonctionnement est épisodique), rapport BRGM/RP-57625-FR.

Les résultats de l'étude du forage de M'ronabéja 2 – ouvrage épisodiquement en exploitation – montre que la délimitation de l'aire d'alimentation couvre plus de 95 % de la superficie du bassin versant du Mroni Antanana, le cours d'eau principal du bassin. Les limites de l'aire d'alimentation épousent en amont les limites du bassin versant de surface du Mroni Antanana et sont contraintes en aval par le rayon d'influence du forage en pompage. Cette condition repousse la limite du bassin 50 m en aval du forage.

L'étude de la vulnérabilité du bassin d'alimentation – basée sur l'utilisation de l'IDPR & de l'indice de rugosité (cf. Malard 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR) – montre que la majeure partie de la surface du bassin (notamment Sud et Est) présente un faible degré de vulnérabilité. Il semblerait que les géomorphologies et les lithologies principales du bassin ne favorisent pas les infiltrations, à l'exception de l'endroit même et des environs du village de Choungui. En effet, les secteurs identifiés comme les bas de versant du mont Choungui montrent vraisemblablement les degrés de vulnérabilité les plus forts, à relier à un radoucissement topographique et une lithologie à dominante de colluvions.

L'inventaire et l'évaluation des pressions du bassin versant fait état de pressions importantes au niveau du village de Choungui (défaut d'assainissement, décharges sauvages, urbanisation non contrôlée, etc.). Le reste du bassin d'alimentation peut être considéré comme à pressions faibles si ce ne sont les parcelles d'agriculture vivrière située dans secteurs de basses altitudes du bassin.

Ainsi le constat montre que le risque de pollution ou de dégradation de la ressource en eau souterraine à proximité du captage s'avère – à l'heure actuelle – modéré. En revanche, le risque de pollution ou de contamination en provenance des versants du village de Choungui est à considérer. Peuvent être considérés comme à risque : les infiltrations directes au droit du village de Choungui [lithologie(s) assez perméable(s)] et les écoulements dans les ravines en contrebas du village ; ravines qui servent de décharges sauvages de déchets ménagers, automobiles, etc. Sans compter les pratiques à risques qu'il est possible de recenser, comme les lessives et lavages en rivières.

Toutefois, le relatif éloignement (plus d'un km) et le différentiel d'altitude (plus de 200 m) entre les abords du village et le forage de M'ronabéja 2 sont des conditions favorables qui permettent la mise en place de mécanismes d'autoépuration, de dilution et de dispersion des eaux et réduisent ainsi le risque de pollution de l'ouvrage.

Ces résultats montrent qu'il est nécessaire :

- de poursuivre le suivi quantitatif et qualitatif de la ressource, en suivant : de manière régulière et plus précise (nivellement) les battements de la nappe au niveau du piézomètre de M'ronabéja 1 et de manière plus fine et plus complète, la qualité des eaux souterraines au niveau du forage de M'ronabéja 2 en fonctionnement (substances phytosanitaires, conductivité paramètres bactériologiques, concentrations en $[Na^+]$ et $[Cl^-]$, etc.) ;
- de réduire la pression urbaine au niveau du village de Choungui (assainissement, déchets, etc.) ;
- de trouver un terrain d'entente avec la population locale afin de faire accepter la consommation d'eau souterraine pour l'alimentation dans les mœurs ;
- de surveiller et de faire appliquer les réglementations en vigueur en ce qui concerne : les pratiques de défrichement et de brûlis, les pratiques agricoles et les pratiques d'élevage dans l'enceinte du BAC. Ce constat vaut pour la majorité voire la totalité des BAC de Mayotte.

Le programme qui vise à la protection des ressources en eau de Mayotte, initié par les études de bassin d'alimentation de captage se poursuit et doit aboutir à l'instauration des périmètres de protection et aux plans d'action adaptées à la protection de la ressource. Cette étude fait partie d'une démarche collective initiée par la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales (DASS) de Mayotte et le Syndicat Intercommunal des Eaux et Assainissement de Mayotte (SIEAM), le but final étant de mettre en place rapidement les périmètres de protection de captages au sens administratif, d'instruire les dossiers de Déclaration

d'Utilité Publique¹ et de mettre en application les plans d'action de protection des ressources.

¹ Comme prévu par (i) la loi relative à la protection de la santé publique de 1902, article 10, qui impose pour tous captages la réalisation d'une Déclaration d'Utilité Publique qui déterminera - si nécessaire – un périmètre de protection contre la pollution de l'ouvrage, (ii) la loi sur l'eau de 1992 qui impose à tous les captages la délimitation des périmètres de protection. Cette loi, rétroactive, s'applique aussi bien aux captages en création qu'aux captages antérieurs et (iii) le Plan National Santé Environnement qui fixe comme objectif que l'ensemble des captages soit protégé en 2010.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation du bassin versant	15
2.1. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT ET DU FORAGE	15
2.2. TOPOGRAPHIE	17
2.2.1. Altitudes.....	17
2.2.2. Pentes	20
2.3. PLUVIOMETRIE	22
2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET RECONNAISSANCES DE TERRAIN	25
2.5. MORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE DU COURS D'EAU	29
2.5.1. Description du réseau hydrographique.....	29
2.5.2. Morphologie du cours d'eau	29
2.5.3. Hydrologie	30
2.6. MORPHOPEDOLOGIE.....	34
3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage	37
3.1. LE PIEZOMETRE DE M'RONABEJA 1 (12316X0031/MRO1) ET LE FORAGE DE M'RONABEJA 2 (12316X0032/MRONAB).	37
3.2. QUALITE DES EAUX	45
3.3. DELIMITATION DU BAC	47
4. Caractérisation de la vulnérabilité du forage de M'ronabéja 2	51
5. Caractérisation des pressions	53
5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN DU MRONI ANTANANA	53
5.1.1. Pressions urbaines : déchets / assainissement / lessives / pêches	53
5.1.2. Pressions agricoles	54
5.1.3. Pressions industrielles.....	54
5.1.4. Risques naturels.....	54
5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS.....	55

6. Evaluation du risque de pollution des eaux souterraines du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2	57
7. Recommandations	59
8. Conclusion.....	61
9. Références bibliographiques	63

Liste des illustrations

Illustration 1. Découpage du bassin versant topographique du Mroni Antanana et localisation du piézomètre de M'ronabéja 1 (12316X0031), du forage de M'ronabéja 2 (12316X0032) et de la station de jaugeage E5 de la DAF (support IGN© 1/25 000. Attention, la courbe marquée 300 m NGM au pied du mont Choungui est fautive, il s'agit en fait de la courbe 350 m NGM)	16
Illustration 2. Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant du Mroni Antanana par classes de 10 m (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)	17
Illustration 3. Carte de répartition des altitudes du bassin versant du Mroni Antanana (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)	19
Illustration 4. Carte des pentes du bassin versant du Mroni M'ronabéja (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m).....	21
Illustration 5. Géologie du bassin versant du Mroni Antanana (Stieljes – 1988).....	25
Illustration 6. Observations réalisées lors de la sortie de reconnaissance du bassin versant du Mroni Antanana du 25 septembre 2009. La correspondance entre les points, les commentaires et les coordonnées figurent dans le Tableau 4.	27
Illustration 7. Profil en long du Mroni Antanana (en bleu) et des deux principaux affluents (en rouge et en vert) et positionnement relatif des ouvrages d'eau du bassin. Les basaltes à olivine et néphéline ne sont présents qu'au niveau du cours principal et en rive droite de l'affluent 1. La continuité des lithologies dans les profondeurs du massif n'est qu'une supposition.....	30
Illustration 8. Débits du Mroni Antanana enregistrés au niveau de la station de jaugeage 12316X0039/E5 (données DAF, exploitables de 2004 à 2007)	32
Illustration 9. Formations pédologiques du bassin versant du Mroni Antanana au 1/50 000 (Latrille E. et al. CIRAD, 1981)	35
Illustration 10. Le piézomètre de M'ronabéja 1 (photographie du 25 septembre 2009). La tête a été réhabilitée en 2009. La cote du point de mesure (repère) est de +1,1 m/sol.	38
Illustration 11. Variations piézométriques du piézomètre de M'ronabéja 1 entre novembre 1992 et août 2009 (données DAF de Mayotte). Deux périodes de pertes de données sont à noter, en 1996 et en 2003.....	39
Illustration 12. Superposition de la chronique des débits du Mroni Antanana (de l'illustration 8) et de la chronique du piézomètre de M'ronabéja 1 entre janvier 2004 et avril 2007.	40

Illustration 13. Mise en relation des niveaux piézométriques de M'ronabéja 1 et de la pluviométrie journalière enregistrée à la station de M'tsamoudou (le signal pluviométrique n'est pas corrigé par rapport à l'altitude et sert à titre indicatif pour identifier les tendances)	41
Illustration 14. le forage de M'ronabéja 2 (photographie du 25 septembre 2009). L'enclos n'est pas cadenassé et le local est souvent l'objet de dégradation. Sur le mur du local, il est possible de lire : « nous avons assez de l'eau pourie » (orthographe véridique).....	43
Illustration 15. Principe du rayon d'influence de la zone saturée d'un forage en exploitation (www.wellmanager.com)	47
Illustration 16. reconstitution de la cote piézométrique du 01/07/2000 au piézomètre de M'ronabéja 1. A cette date, la cote piézométrique équivaut à 8,75 m NGM.	48
Illustration 17. Carte de délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 et rayon d'influence du forage.....	49
Illustration 18. Carte de vulnérabilité des eaux souterraines du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2	51
Illustration 19. Carte des pressions exercées sur le bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2.	55
Illustration 20. Carte de croisement des informations de vulnérabilité et de pressions du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2.	57

Liste des tableaux

Tableau 1. Les pluviomètres situés à proximité du bassin versant du Mroni Antanana et leurs distances respectives au centre du bassin.	22
Tableau 2. Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique A10 de M'tsamoudou entre 1996 et 2003. Il n'y a pas d'enregistrement entre début 2004 et février 2008. En l'absence de valeurs au mois de janvier, la chronique de 2008 n'est pas prise en compte.	22
Tableau 3. Calcul de la pluie efficace à l'altitude moyenne du bassin versant du Mroni Antanana (169 m NGM) – la valeur de référence de RFU est fixée à 50 mm.....	23
Tableau 4. Observations géologiques et hydrologiques consignées lors de la reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009	28
Tableau 5. Informations relatives à la station de jaugeage 12316X0039/E5 du cours d'eau du Mroni Antanana.....	31
Tableau 6. Informations relatives au piézomètre de M'ronabéja 1	37
Tableau 7. Informations relatives au forage de M'ronabéja 2.....	42
Tableau 8. Historique des prélèvements du forage de M'ronabéja 2 depuis 2004	44
Tableau 9. Paramètres du calcul de la zone d'appel du forage de M'ronabéja 2.....	47

Tableau 10. Population des villages de M'ronabéja et de Choungui (chiffres INSEE 2007). Il est important de rappeler que ces chiffres évoluent très vite à Mayotte et que la réalité 2009 peut être assez différente. 53

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes techniques du piézomètre de M'ronabéja 1 (12316X0031/MRO1) et du forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB)..... 65

Annexe 2 Analyses physico-chimiques du piézomètre de M'ronabéja 1 et du forage de M'ronabéja 2 69

1. Introduction

A l'heure actuelle, l'île de Mayotte compte 37 ouvrages d'eau en fonctionnement (20 forages ou drains d'eaux souterraines, 16 captages en rivière et une usine de dessalement) qui assurent l'alimentation de près de 187 000 habitants (chiffre INSEE 2007). Paradoxalement, malgré le développement des pressions, quasiment aucun de ces ouvrages ne fait l'objet de périmètres de protection comme prévu au titre de la loi sur l'eau de 1992¹.

Ainsi, considérant l'essor démographique et la pression des aménagements dont l'île est l'objet, il s'est avéré urgent de mettre en place les pratiques réglementaires de protection des ressources en eau.

Le BRGM, pour le compte de l'ONEMA, s'est engagé à mener en 2009 les études relatives à la délimitation et à la caractérisation des Bassins d'Alimentation de Captages sur 4 bassins versants², dont le bassin versant du Mroni³ Antanana qui accueille le forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB) et le piézomètre de M'ronabéja 1 (12316X0031/MRO1).

Le forage de M'ronabéja 2, issu de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines de 1999/2000 (cf. Lachassagne et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR) a révélé un potentiel d'exploitation de 25 m³/h 20h/24. Mis en exploitation en 2004, les prélèvements ont été stoppés en 2006 sur demande du SIEAM en raison de plaintes de la part de la population du village de M'ronabéja. En effet, celle-ci se plaignait non seulement de troubles médicaux qu'elle impute à la qualité de l'eau mais de plus, le forage situé à proximité d'un ancien cimetière génère craintes et superstition.

La majorité de la population du village de M'ronabéja refuse catégoriquement de consommer l'eau du forage. Ce sentiment évolue jusqu'à une certaine hostilité qui est visible à travers les actes de dégradation de l'ouvrage dès que celui-ci est soupçonné d'être en fonctionnement. Par conséquent, depuis 2006, le forage n'est utilisé qu'en cas de secours (rupture de la canalisation venant de Kani-Kéli) et - dans un souci d'entretien de l'ouvrage et du matériel - ce dernier est pompé 2 heures par semaine et l'eau est rejetée dans le milieu.

¹ A nuancer, à l'heure actuelle, il existe un périmètre de protection concernant la retenue collinaire de Combani (Arrêté préfectoral n°03 DAF/98). Par ailleurs, une étude préalable à la définition du périmètre de protection des forages de Kwalé – 12307X0022 et 12307X0100, cf. rapport BRGM/RP-53593-FR – existe, mais aucune suite n'a été donnée en termes d'instauration des périmètres de protection.

² Convention de recherches et développement partagés ONEMA/BRGM du 8 juillet 2009

³ « Mroni » signifiant rivière en shimahorais

Sur chaque bassin versant, la nécessité des études à l'échelle des bassins d'alimentation de captages à Mayotte se justifie par l'insuffisance et/ou l'absence de nombreuses données, informations et connaissances géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques nécessaires à la définition pertinente des périmètres de protection de captages.

Concernant la définition de la méthodologie d'étude, le BRGM a travaillé sur l'élaboration d'une méthodologie nationale relative aux eaux souterraines (Vernoux et al. 2007, 2008, rapports BRGM/RP-55332-FR, RP-55874-FR et RP-55875-FR) qui peut être adaptée aux milieux poreux, aux aquifères karstiques ainsi qu'aux aquifères fissurés de socle et/ou - dans une certaine mesure – volcaniques. En complément, l'Office Fédéral Suisse de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP) a apporté sa contribution à la délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré (de type massif alpin) par l'élaboration d'une méthodologie plus spécifique appelée DISCO.

Après réflexion, les méthodologies BRGM et OFEFP ne peuvent être appliquées en l'état de manière pertinente sur le sol mahorais en raison des différences de contexte géologique, climatologique, historique, d'occupation des sols, de la diversité des ouvrages d'eau (eau de surface et souterraine) et surtout de connaissances en général. En effet, ces méthodologies nécessitent dans leur application un certain volume de connaissance du milieu et de données qu'il est – au jour d'aujourd'hui – impossible de rassembler à Mayotte. Ces différences contextuelles et le déficit de connaissances et de données nécessitent un travail d'adaptation et l'élaboration de nouveaux protocoles d'étude. Par conséquent, en préambule aux études de caractérisation des bassins d'alimentation de captages de Mayotte, la rédaction d'un rapport méthodologique en août 2009 (Malard. 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR) adapté au contexte a été rédigé et a permis de fixer les modalités de ces études, de sélectionner les outils adéquats de caractérisation des vulnérabilités et surtout de proposer un cadre méthodologique commun applicable à l'ensemble des études BAC à Mayotte réalisées en 2009¹.

Très concrètement, l'étude des bassins d'alimentation de captage des eaux souterraines et de surface à Mayotte comporte trois volets, qui sont les axes usuellement présents dans les méthodologies et qui seront développés dans l'étude du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2

- **la délimitation de la surface d'alimentation** : il s'agit du tracé des limites de la surface participant à l'alimentation du captage. Pour chaque captage, le bassin considéré est la surface sur laquelle toute molécule d'eau précipitée atteindra - à plus ou moins brève échéance – ce dernier. La délimitation des bassins d'alimentation de captage nécessite de connaître à la fois les comportements hydrologiques des eaux de surface et hydrogéologiques des eaux souterraines.

¹ Une exception toutefois ; l'étude du bassin d'alimentation de l'usine de dessalement de Pamandzi (Petite terre, rapport BRGM/RP-57112-FR) ne répond pas à l'application de la méthodologie développée en raison de l'originalité du milieu exploité – à savoir le milieu marin ouvert.

- **la détermination de la vulnérabilité intrinsèque** : au sein du bassin délimité, il s'agit de déterminer les secteurs les plus contributifs à l'alimentation du forage et donc susceptibles de représenter un vecteur de propagation prépondérant en cas de pollution exercée sur la surface du BAC. L'estimation de la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine captée est basée sur le ratio infiltration / ruissellement déterminé par calcul de l'IDPR adapté à Mayotte - c.à.d. en contexte volcanique insulaire sous climat tropical.
- **le recensement et l'évaluation des pressions exercées sur la surface du bassin d'alimentation** : l'inventaire des types de pression réalisé à l'échelle de l'île permet de hiérarchiser ces dernières en fonction de leur incidence sur la ressource utilisée à des fins d'eau potable. Sur la surface de chaque BAC, seront identifiées les pollutions potentielles (en nature et volume) auxquelles le captage pourrait être exposé.

L'essentiel de la démonstration repose sur la description physique, géologique, hydrologique et hydrogéologique des BAC, ainsi que sur l'utilisation de l'outil IDPR & indice de rugosité pour la caractérisation de la vulnérabilité. Au final, le croisement des informations de vulnérabilité et de pressions hiérarchisées permet d'appréhender – dans les limites de la surface du bassin d'alimentation - le risque réel encouru par la ressource en eau souterraine captée en termes de dégradation de la qualité par pollution. Sur la base de ces informations, des recommandations et vigilances particulières seront à observer sur les zones les plus exposées, c.à.d. où les secteurs les plus vulnérables coïncident avec les pressions les plus fortes. Ces résultats permettront d'estimer le degré de protection de la ressource captée et surtout d'envisager la nature, le volume et les conditions du travail suivant relatif aux études hydrogéologiques préalables à l'instauration des périmètres de protection de captages (envisagées pour 2010/2011).

2. Présentation du bassin versant

2.1. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT ET DU FORAGE

Le bassin versant du Mroni Antanana se trouve au sud de l'île de Mayotte dans la commune de Kani-Kéli. Il se développe entre le célèbre mont Choungui (594 m NGM), une partie du village de Choungui à l'Ouest et le lagon à hauteur du village de M'ronabéja (Illustration 1).

Le bassin est défini sur la base des limites des versants participant à l'alimentation du Mroni Antanana. La limite aval du bassin versant ne se poursuit pas jusqu'à l'exutoire littoral, le domaine restant étant déjà considéré comme appartenant au domaine marin et sous influence tidale.

Le bassin accueille deux forages, le piézomètre de M'ronabéja 1 (code BSS 12316X0031/MRO1) réalisé à l'occasion de la première campagne de forage de reconnaissance de 1991-1992 (cf. rapport BRGM 35165 REU 4S 92) et le forage AEP de M'ronabéja 2 (code BSS 12316X0032/MRONAB), plus récent, date de la campagne de reconnaissance et d'exploitation de 1999/2000 (cf. Lachassagne et al. 2000, rapport BRGM/ -50428-FR).

En plus de ces ouvrages, il existe une station hydrométrique de mesure des débits du Mroni Antanana (mesures assurées par la DAF)

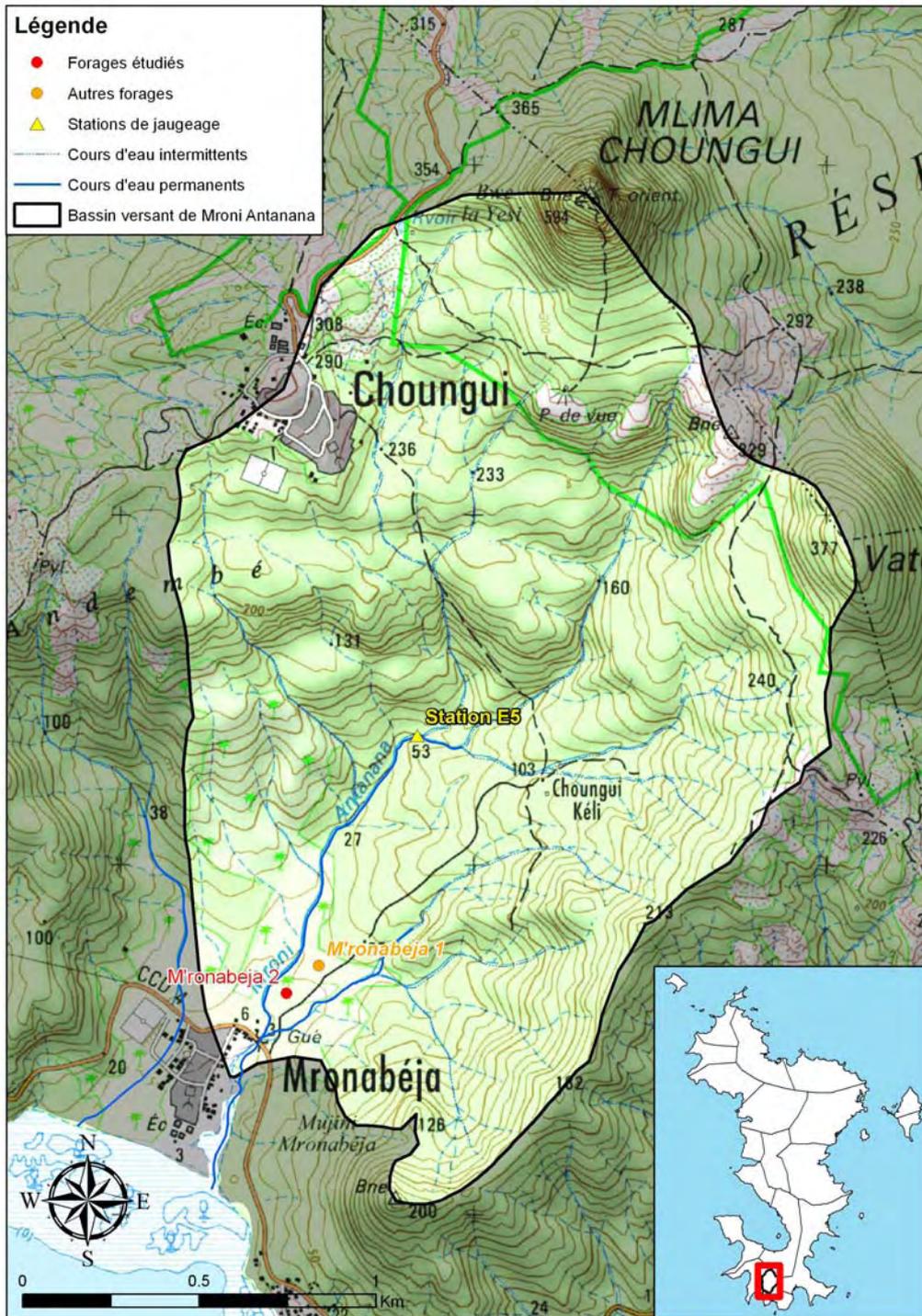


Illustration 1. Découpage du bassin versant topographique du Mroni Antanana et localisation du piézomètre de M'ronabéja 1 (12316X0031), du forage de M'ronabéja 2 (12316X0032) et de la station de jaugeage E5 de la DAF (support IGN© 1/25 000. Attention, la courbe marquée 300 m NGM au pied du mont Choungui est fautive, il s'agit en fait de la courbe 350 m NGM)

2.2. TOPOGRAPHIE

Le bassin s'étend sur une longueur de 2700 m entre le mont Choungui et l'exutoire du Mroni Antanana, entre 594 m NGM et le niveau marin. D'une surface de 3,7 km² pour un périmètre de 8,1 km, le bassin est de forme plutôt circulaire comme en témoigne l'indice de Gravelius¹ de 1,17.

Il s'agit d'un bassin versant moyen en termes de superficie comparativement aux autres bassins versants étudiés dans le cadre des études de bassin d'alimentation de captage (moyenne de 3,75 km² sur 67 bassins). La longueur du réseau de drainage - qui correspond à la somme du développement linéaire des cours d'eau pérennes et temporaires - est estimée à 23 km avec pas moins de 49 affluents présents sur le bassin. Le Mroni Antanana est le cours d'eau principal et son écoulement est permanent jusqu'à l'altitude de 70 m NGM environ (information de la BD topo IGN©).

2.2.1. Altitudes

L'altitude moyenne du bassin versant du Mroni Antanana – calculée à partir du MNT au pas de 25 m - est de 169 m NGM. La répartition altimétrique par classes de 10 m d'altitude est la suivante.

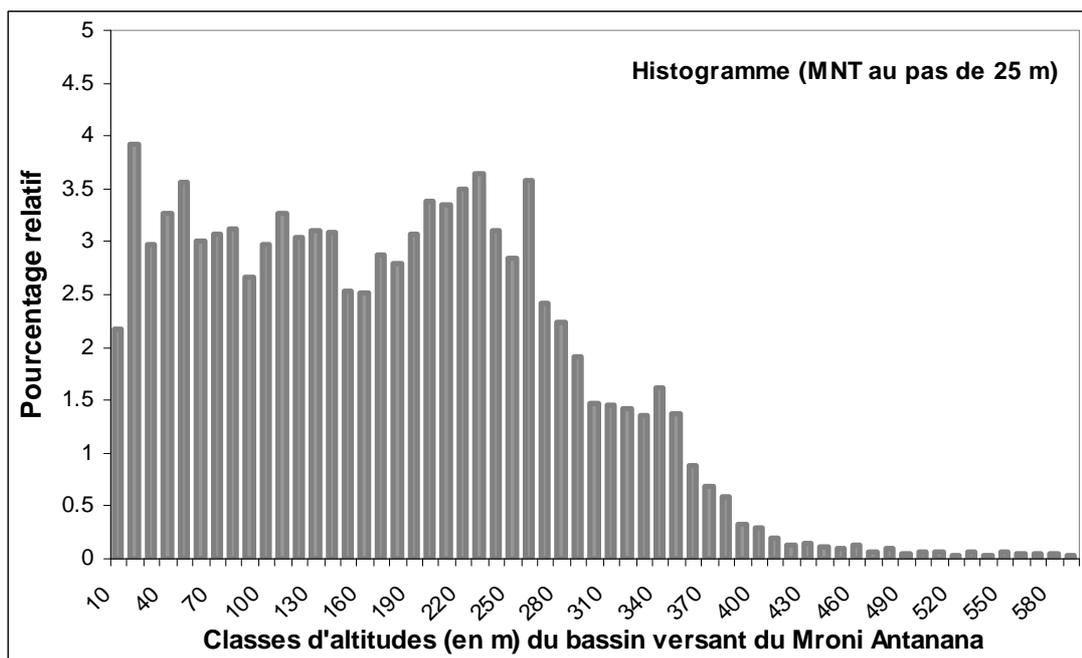


Illustration 2. Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant du Mroni Antanana par classes de 10 m (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)

¹ L'indice de compacité de Gravelius est le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface

Le profil topographique de l'illustration 2 montre que la répartition de la surface du bassin en fonction de l'altitude n'est pas continue et montre une rupture entre 250 et 400 m NGM : 19 % de la surface du bassin se situe sous l'altitude de 50 m NGM, 65 % se situe sous celle des 200 m NGM et moins de 2 % dépasse les 400 m NGM.

L'examen de la carte de répartition des altitudes confirme le constat précédent : les surfaces supérieures à 400 m NGM en nombre sont très faibles et concernent surtout les flancs du mont Choungui. Les altitudes décroissent ensuite rapidement selon une direction majoritairement SSW en direction du village de M'ronabéja, dans le sens de l'axe de développement du cours d'eau.

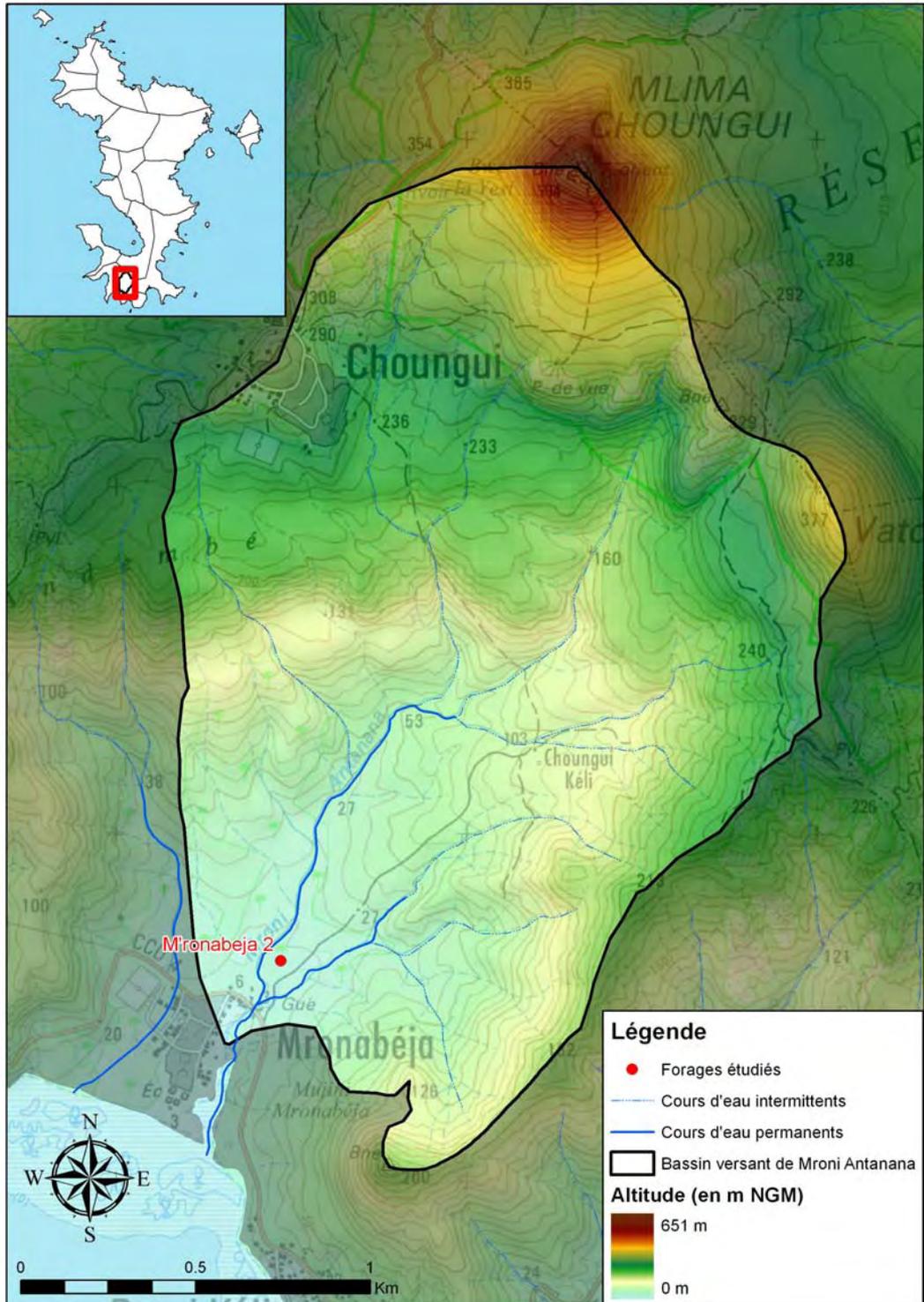


Illustration 3. Carte de répartition des altitudes du bassin versant du Mroni Antanana (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)

2.2.2. Pentes

La carte des pentes (Illustration 4) indique que le bassin versant du Mroni Antanana se situe souvent sur des pentes comprises entre 6° et 15°. Les pentes inférieures à 5° sont rares et visibles uniquement à la hauteur du village de M'ronabéja.

En ce qui concerne les profils à pente forte, il est possible de relever 3 secteurs d'altitudes distinctes :

- la bande comprise entre 150 et 180 m NGM à l'Ouest du bassin, descendant progressivement aux altitudes 100 à 150 m NGM à l'Est du bassin dont les pentes sont relativement élevées (entre 30 et 35°) et qui témoigne d'une coulée compétente ;
- la bande comprise entre 210 et 260 m NGM de pentes très fortes (souvent supérieures à 35°) au Nord du bassin, dont des reliquats peuvent être observés flanc Est. Cette bande correspond probablement aussi à une coulée de forte compétence ;
- un secteur supérieur à 310 m NGM qui correspond aux versants des monts Choungui et Vatounkaridi. Les pentes supérieures à 35° signent la présence de la protrusion phonolitique dans le paysage du bassin.

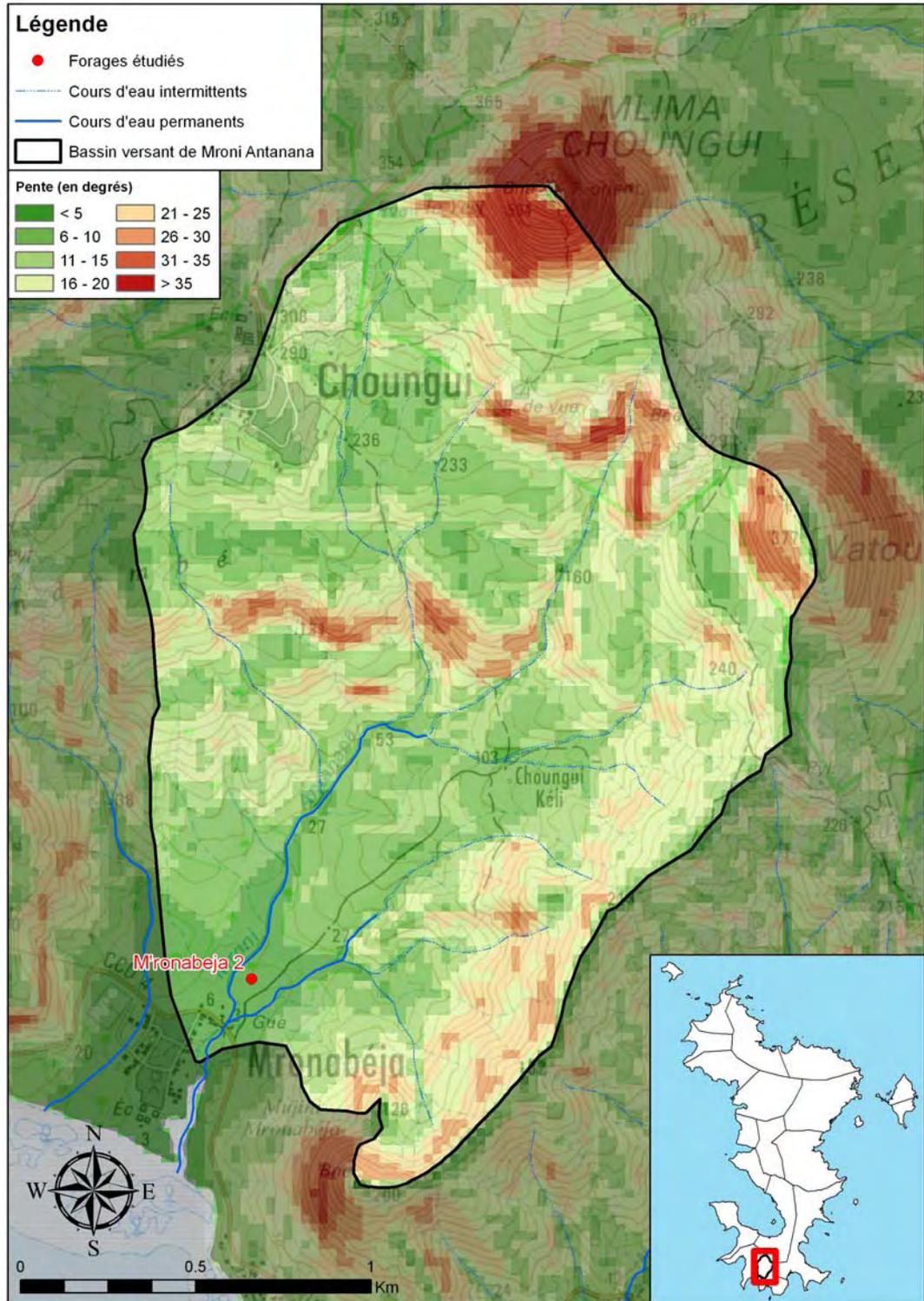


Illustration 4. Carte des pentes du bassin versant du Mroni M'ronabéja (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)

2.3. PLUVIOMETRIE

Il n'y a pas de pluviomètres dans le bassin versant du Mroni Antanana.

Les deux pluviomètres les plus proches sont les ceux de M'tsamoudou et M'zouzasia mais restent situés respectivement à 4,9 km à l'Ouest, et 5,8 km à l'Est. Cette distance est cependant relativement élevée à l'échelle de Mayotte puisqu'il est possible d'y observer des différences climatiques (cf. Malard 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR).

Pluviomètre	Code station	Gestionnaire	Coord X (m _{RGM04})	Coord Y (m _{RGM04})	Altitude (m NGM) ⁸	Distance (en km)
M'tsamoudou	A10	DAF	518 707	8 567 627	91	4,9
M'zouzasia	MFA03	Météo-France	511 094	8 571 105	8	5,8

Tableau 1. Les pluviomètres situés à proximité du bassin versant du Mroni Antanana et leurs distances respectives au centre du bassin.

Station A10 M'tsamoudou / Années	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Cumul annuel (mm)	1148	673	852	951,5	934,5	716,5	911,5	887,5
Moyenne sur la période 1996-2003 (mm)	884							

Tableau 2. Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique A10 de M'tsamoudou entre 1996 et 2003. Il n'y a pas d'enregistrement entre début 2004 et février 2008. En l'absence de valeurs au mois de janvier, la chronique de 2008 n'est pas prise en compte.

La pluviométrie à l'altitude moyenne du bassin versant du Mroni Antanana (169 m NGM) sera considérée comme étant la moyenne des précipitations annuelles du pluviomètre de M'tsamoudou, considéré comme le plus proche en distance et le plus représentatif en altitude, sur la période de 1996/2003, corrigée du facteur d'altitude.

La correction du facteur d'altitude est apportée par la relation $\partial(P_z)/\partial z = 1,3 \text{ mm/m}$ avec P_z le cumul des précipitations annuelles à l'altitude z (relation établie dans le cadre du programme d'études relatif aux modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni, cf. Malard 2009a rapport BRGM/RP-57385-FR).

⁸ Les altitudes ont été vérifiées sur le MNT IGN© 2009 et l'incertitude peut être considérée comme de l'ordre du mètre

Ainsi, la pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant du Mroni Antanana calculée sur la période 1996/2003 est $P_z = 884 + 78 \times 1,3 = 985 \text{ mm}$ - où 78 représente la différence entre l'altitude du pluviomètre de M'tsamoudou et l'altitude moyenne du bassin versant (en mètres).

Le calcul de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) - basé aussi sur la relation établie dans le cadre du programme d'études relatif aux modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni (cf. Malard 2009a, rapport BRGM/RP-57385-FR) – est, au delà de 100 m NGM de l'ordre de -1,1 mm par mètre de dénivelé.

A partir de 100 m NGM, la valeur de l'ETP peut être approchée par la relation $ETP_z = -1,1 \times z + 1322$ où 1322 mm est la valeur de l'ETP à 100 m NGM.

Ainsi, la valeur annuelle de l'ETP à l'altitude de 169 m NGM est en théorie de 1136 mm.

Le calcul de la pluie efficace (P_{eff}) sur le bassin au pas de temps mensuel est donné dans le tableau suivant. La reconstitution des valeurs de précipitation et d'ETP a été établie sur la base des régressions linéaires (cf. Malard 2009a, rapport BRGM/RP-57385-FR).

MOIS	Valeurs moyenne des précipitations de M'tsamoudou (91 m NGM) (mm)	valeurs reconstituées des précipitations à 169 m NGM (mm)	ETP mens à 169 m NGM (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	P eff (mm)
Janvier	214	223	51.56	171	50	171
Février	147	155	60.46	95	50	95
Mars	206	214	62.67	151	50	151
Avril	83	91	70.68	20	20	50
Mai	11	20	75.71	-56	0	0
Juin	17	25	70.87	-46	0	0
Juillet	15	23	60.86	-38	0	0
Août	12	21	90.44	-70	0	0
Septembre	20	29	69.52	-41	0	0
Octobre	25	33	60.95	-28	0	0
Novembre	42	51	77.95	-27	0	0
Décembre	112	121	76.53	44	44	0
TOTAL	904	1005	828	177		467

Tableau 3. Calcul de la pluie efficace à l'altitude moyenne du bassin versant du Mroni Antanana (169 m NGM) – la valeur de référence de RFU est fixée à 50 mm

La valeur annuelle des précipitations efficaces du bassin versant du Mroni Antanana à 169 m NGM – calculée au pas de temps mensuel – est de 467 mm environ. Cette valeur correspond à la lame d'eau disponible pour les écoulements de surface et souterrains et représente 47 % des précipitations annuelles moyennes (valeur

relativement proche des estimations de Lapègue (1999) qui définissait une part des précipitations efficaces de 40 % des précipitations brutes).

2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET RECONNAISSANCES DE TERRAIN

Les informations géologiques relatives au bassin versant du Mroni Antanana sont figurées sur la carte géologique de Mayotte au 1/50 000 (Stieljes – 1988). Il n'y a eu que peu d'investigations géologiques menées par la suite à l'échelle du bassin.

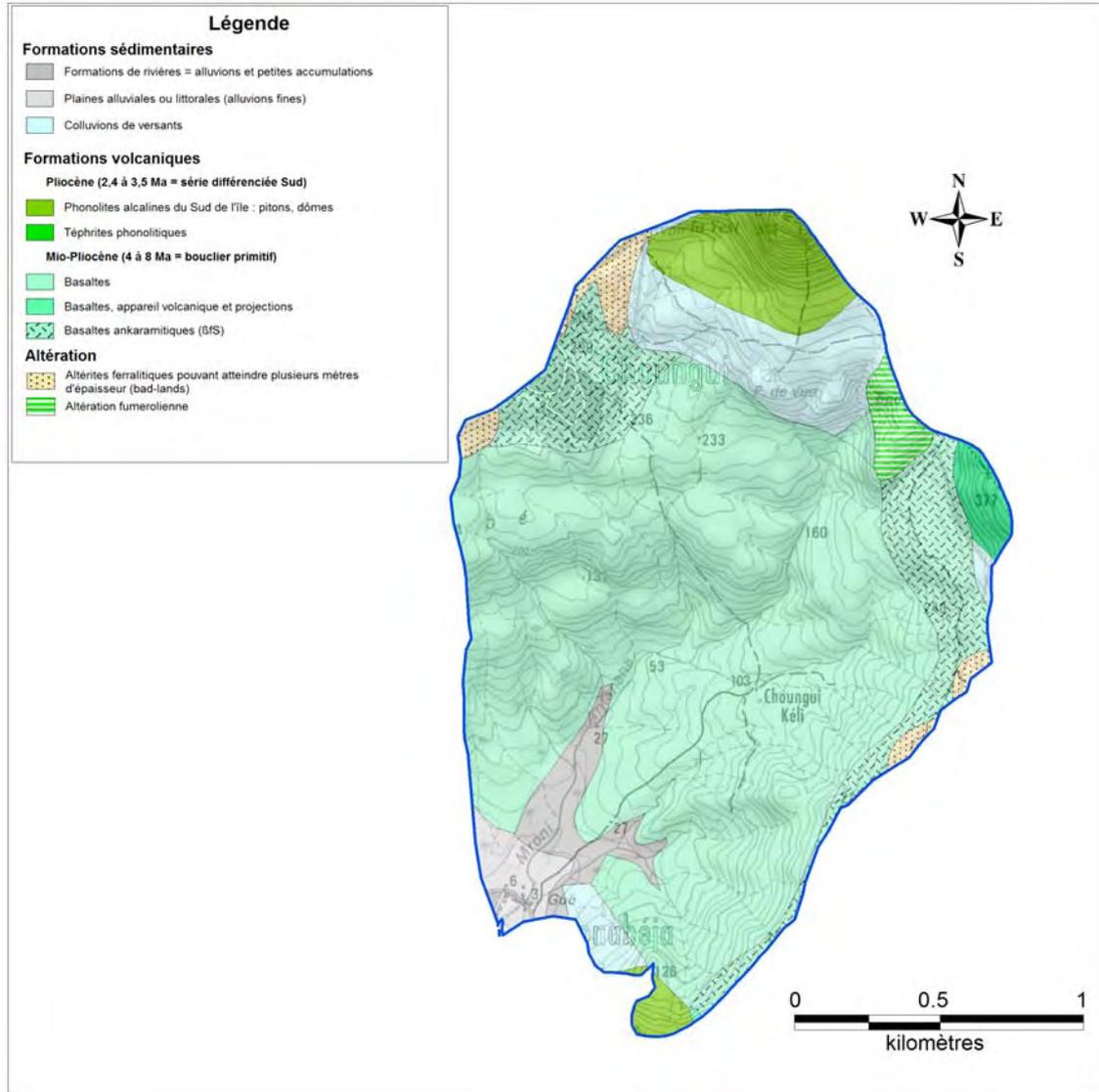


Illustration 5. Géologie du bassin versant du Mroni Antanana (Stieljes – 1988).

D'après la carte, l'essentiel du bassin versant se compose d'unités basaltiques Mio Pliocène de type basaltes à néphélines ou néphélinites formant la base de la série méridionale. Ces basaltes occupent l'essentiel des versants et des fonds de vallées.

Ces formations sont surmontées au niveau des reliefs par des basaltes ankaramitiques plus jeunes et souvent altérés. Ces séries altérées contribuent d'ailleurs à la formation des bad-lands ou « padzas » qui arment les crêtes Est et Ouest du bassin.

Au nord, le mont Choungui se distingue géologiquement comme une formation phonolitique à pente raide à la base de laquelle une bande de colluvions (débris de pentes) vient ceinturer l'édifice sur près de 100 m de dénivelé. D'autres reliefs plutôt néphéliniques se situent en limite du bassin versant, notamment le mont Vatounkaridi (377 m NGM), ainsi que le Mujini M'ronabéja (200 m NGM) qui verse son flanc Sud-est sur le village de Passi-Kéli.

En aval du bassin, c'est-à-dire sous 20 m NGM, les formations détritiques de fond de vallées ou de plaines alluviales viennent tapisser les basaltes Mio Pliocène sur quelques mètres d'épaisseur.

Les reconnaissances de terrain du 25 septembre 2009 ont permis de confirmer ou de préciser la lithologie en certains points.

Ainsi, des affleurements ont pu être observés – à mettre en relation avec l'illustration 6 :

- au point 10, à l'affleurement dans la rivière (affluent 2). Il s'agit de basaltes qui forment le substratum du cours d'eau. Ces basaltes très altérés peuvent éventuellement et localement être confondus avec des produits pyroclastiques tout aussi altérés. Ils disparaissent sous la retenue (point 11) et réapparaissent à l'affleurement au point 12, 100 m en amont. Malgré leur degré d'altération élevé, ces formations ont été reconnues comme des basaltes scoriacés. Au point 13, les colluvions de bas de pentes – importants en masse – viennent en recouvrement des séries basaltiques scoriacées. Ces formations basaltiques réapparaissent à l'affleurement seulement au point 14. Elles s'étalent donc sur 250 m au moins.
- au point 18, sont reconnus à l'affleurement dans le cours d'eau (affluent 1) des basaltes faiblement altérés. Dans le détail, ces basaltes montrent des feldspaths de type néphéline et de nombreuses olivines. Ces basaltes remontent en amont et sont progressivement recouverts par des colluvions de bas de pentes. Ces mêmes colluvions sont identifiés en aval en recouvrement des séries basaltiques. Ces basaltes peuvent être rapprochés des basaltes identifiés dans le secteur de Dapani lors de l'implantation des sondages de reconnaissance de la campagne 2006-2007 (cf. Frissant et al. 2006, rapport BRGM/RP-55322-FR) entre 50 et 120 m NGM ;
- en recouvrement de ces formations, des basaltes plus sains - identifiés comme des basaltes à amphibole - apparaissent entre 120 m et 150 m NGM. Ces basaltes redressent localement la pente du cours d'eau principal et explique la « bosse » observée sur le profil en long du cours principal (cf. Illustration 7). Ces basaltes ne sont vraisemblablement visibles qu'au niveau du cours principal et en rive droite de l'affluent 1 (où ils apparaissent partiellement en recouvrement des unités sous-jacentes du point 18 et avec une orientation de coulée en direction du Sud-est). Cette observation rejoint celle communément admise à Mayotte selon laquelle les cours d'eau se développent à l'interface entre deux séries de coulées. Ainsi il y

n°	Point	Altitude indicative (en m NGM)	Observations	Coord X (RGM04)	Coord Y (RGM04)
1	789	15	Piézomètre de M'ronabéja 1	513 787	8 565 453
2	790	21	Forage de M'ronabéja 2	513 718	8 565 412
3	791	52	Fin de la zone de cultures	513 971	8 565 622
4	792	88	Cultures de bananes en bordure Est du chemin	514 246	8 565 866
5	793	154	Affluent 2 – débit 20 L/s – conductivité 624 µS/cm	514 388	8 566 008
6	794	74	Conductivité 626 µS/cm – débit similaire	514 443	8 566 005
7	795	102	Conductivité 621 µS/cm – débit similaire	514 461	8 566 017
8	796	104	Suintement en rive gauche	514 463	8 566 033
9	797	129	Débit plus faible 10 L/min - Conductivité 298 µS/cm	514 579	8 566 060
10	798	105	Basalte altéré à l'affleurement = substratum rivière	514 605	8 566 050
11	799	103	Retenue (prise d'eau pour irrigation) 11 L/min - Conductivité 297 µS/cm	514 632	8 566 077
12	800	144	Basalte scoriacé à l'affleurement - Conductivité 601 µS/cm	514 705	8 566 070
13	801	127	Vasque – traces d'exfiltration – formation de brèches – débit 3 L/min	514 735	8 566 099
14	802	131	Confluence – traces d'exfiltration – la ravine en RD est captée	514 801	8 566 126
15	803	148	Affleurement basalte dans l'affluent rive gauche	514 835	8 566 136
16	804	177	Conductivité 570 µS/cm	514 826	8 566 251
17	805	203	Point de vue – cultures de bananes et manioc	514 769	8 566 441
18	806	247	Affluent 1 - affleurement de basalte altéré = substratum de la rivière	514 720	8 566 840
19	807	202	Colluvions recouvrent les basaltes - Conductivité 303 µS/cm	514 688	8 566 762
20	808	196	Mesure de débit 6 L/min	514 657	8 566 638
21	809	133	Nouvel affleurement de basalte (sain)	514 528	8 566 484
22	810	161	Cascade de 7 m – contact lithologique	514 535	8 566 430
23	811	149	Seuil de jaugeage + prise d'eau – débit capté en intégralité	514 522	8 566 394
24	812	144	Basalte sain affleure en rive droite sur basalte altéré – suintement	514 536	8 566 333
25	813	105	2 ^{de} cascade (4 m) – fin des basaltes sains - Conductivité 494 µS/cm	514 486	8 566 284
26	814	88	Affluent 2 - Conductivité 635 µS/cm	514 277	8 566 053

Tableau 4. Observations géologiques et hydrologiques consignées lors de la reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009

2.5. MORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE DU COURS D'EAU

2.5.1. Description du réseau hydrographique

Le Mroni Antanana prend sa source sur les contreforts du Mont Choungui. Il est possible de remonter le lit mineur jusqu'à l'altitude de 300 m NGM, altitude en amont de laquelle la pente est trop forte pour permettre le développement d'un lit mineur. Le Mroni Antanana possède de nombreux affluents relativement développés, caractéristique inhérente aux bassins d'indice de Gravelius faible.

Le cours d'eau principal se développe sur 2 870 m entre les versants du Mont Choungui et la mangrove.

Le développement du réseau hydrographique du bassin montre : une densité de drainage de 2,66 km/km² et une densité hydrographique F de 2,4 canaux/km² environs. Il est important de noter que la densité de drainage est très supérieure à la moyenne calculée sur l'ensemble de l'île (2,44 km/km²), idem pour la densité hydrographique (1,96 canaux/km²), ce qui - à première vue - tend à indiquer que le bassin a un comportement plus ruisselant qu'infiltrant.

2.5.2. Morphologie du cours d'eau

Le tracé du profil du Mroni Antanana et de deux de ses principaux affluents permet de distinguer 4 sections à profils singuliers (cf. Illustration 7).

En ce qui concerne le cours principal du Mroni Antanana, il est possible de distinguer :

- i. une section aval qui se développe entre les zones de forage et la mangrove et qui correspond aux formations d'accumulations de type plaines alluviales ou littorales (cf. cartes géologiques et morphopédologiques respectivement Illustration 5 et Illustration 9). La pente moyenne de cette section est beaucoup plus faible, autour de 0,7 % ;
- ii. une section intermédiaire qui peut être considérée comme la section de raccordement des principaux affluents et qui se développe entre 10 et 60 m NGM. La pente moyenne du cours d'eau et des affluents approche 5,5 % ;
- iii. une seconde section intermédiaire qui se développe entre 60 m et 350 m NGM relativement développée (plus de 1500 m de long) et marquée par une pente encore relativement élevée de l'ordre de 24 % environ. La station de jaugeage E5 marque la rupture. Sur cette section, le cours principal montre une « bosse » entre 100 et 250 m NGM qui n'apparaît pas sur les autres affluents où la pente décroît progressivement jusqu'à la pente de raccordement ;

- iv. une section amont qui se développe au dessus de 350 m NGM et se distingue par des pentes très fortes - de l'ordre de 83 % – et qui correspondent aux formations phonolitiques du mont Choungui.

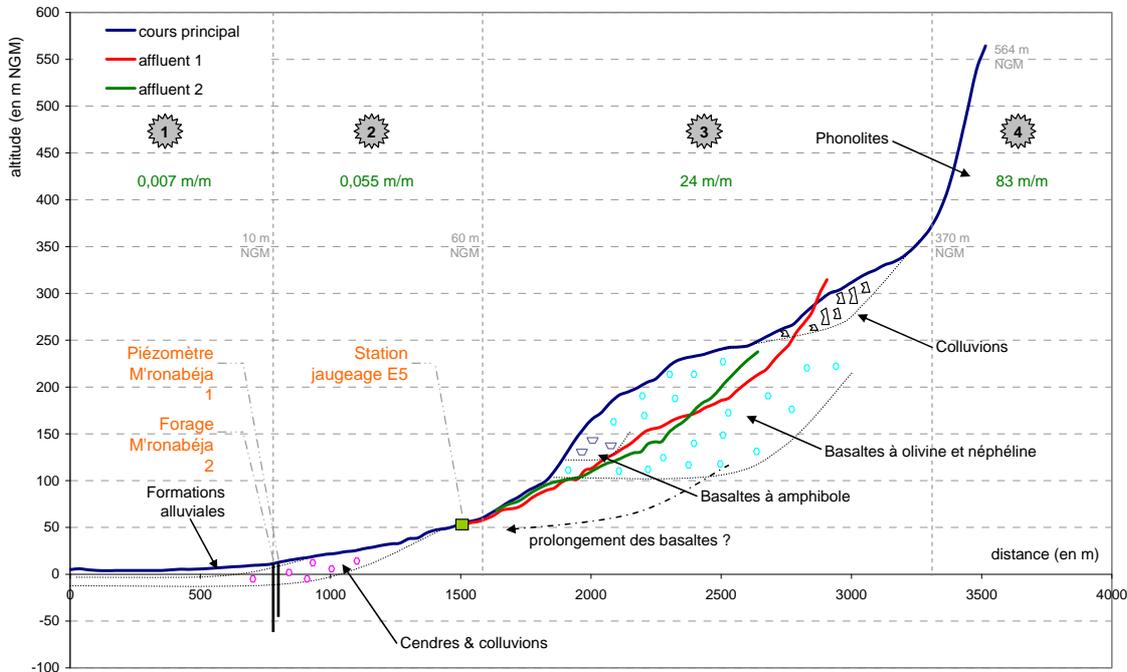


Illustration 7. Profil en long du Mroni Antanana (en bleu) et des deux principaux affluents (en rouge et en vert) et positionnement relatif des ouvrages d'eau du bassin. Les basaltes à olivine et néphéline ne sont présents qu'au niveau du cours principal et en rive droite de l'affluent 1. La continuité des lithologies dans les profondeurs du massif n'est qu'une supposition.

2.5.3. Hydrologie

Les débits du Mroni Antanana sont suivis par la DAF à hauteur de la station de jaugeage E5. Les informations sur la station sont compilées dans le Tableau 5 et la chronique des débits enregistrés est présente dans le Tableau 8.

Il s'agit en réalité d'une retenue dans laquelle les eaux sont captées pour alimenter probablement l'agriculture à hauteur du village de M'ronabéja mais aussi le réseau annexe d'adduction. Un pourcentage de la population n'est pas raccordé au réseau d'adduction principal sous contrôle de la SOGEA mais bénéficie d'un réseau secondaire non déclaré.

Nom	Station de jaugeage du Mroni Antanana
Code Commune	98509
Commune	KANI KELI
Section	AN
Parcelle	21
Coord X_{RGM04}	514 521 m
Coord Y_{RGM04}	8 566 394 m
Coord Z_{NGM}	48 m (MNT IGN© 2009)
Code station	E5
Code BSS	12316X0039/E5
Chronique	2004 à 2007
Date de création	Non renseignée
Remarque	Attention, les débits prélevés par la prise ne sont pas comptabilisés dans le calcul des débits débordant du seuil

Tableau 5. Informations relatives à la station de jaugeage 12316X0039/E5 du cours d'eau du Mroni Antanana

Lors de la reconnaissance du 25 septembre, la station de jaugeage n'a pu être identifiée (confusion avec une retenue en amont).

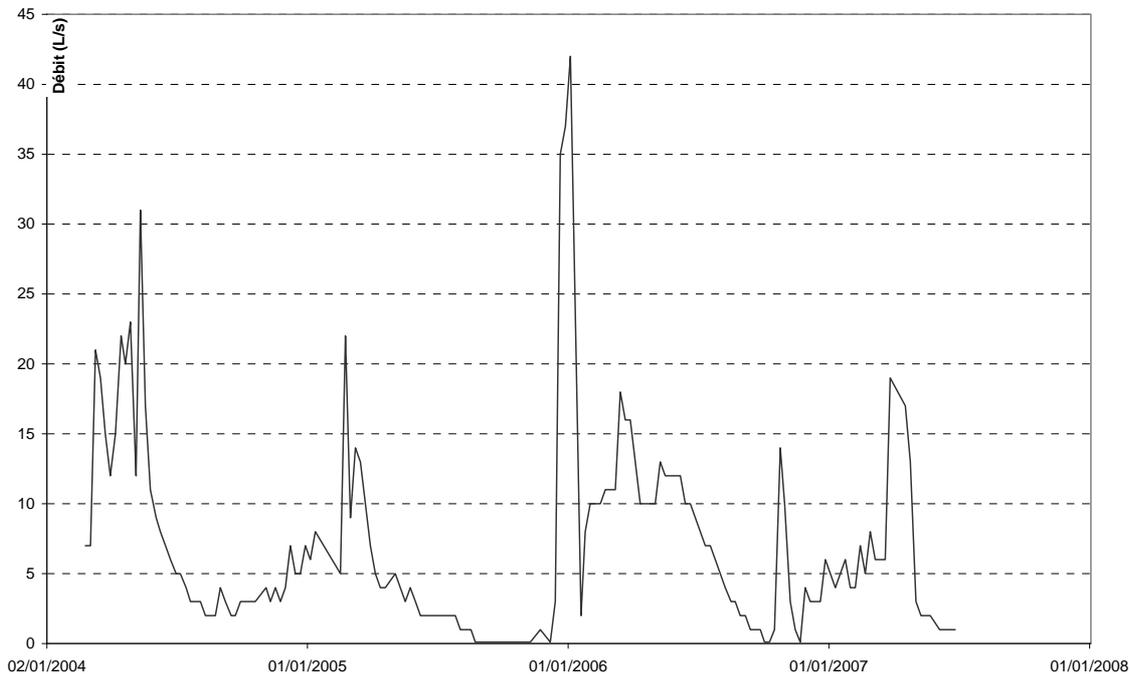


Illustration 8. Débits du Mroni Antanana enregistrés au niveau de la station de jaugeage 12316X0039/E5 (données DAF, exploitables de 2004 à 2007)

Entre janvier 2004 et mai 2007, les débits du Mroni Antanana à hauteur de la station de jaugeage E5 fluctuent annuellement entre 0 et plus de 20 à 40 L/s. Les variations de débit suivent une cyclicité annuelle avec un pic de débit en début d'année (entre janvier et avril, c'est-à-dire en fin de saison des pluies) et un niveau d'étiage en fin d'année (entre octobre et décembre, c'est-à-dire en fin de saison sèche). Il est important de noter que la régularité des cycles interannuels n'est pas assurée d'une année sur l'autre, que ce soit en termes :

- d'occurrence : le pic peut apparaître en janvier (2006) comme en avril (2004) ;
- d'amplitude : en hautes eaux, plus de 40 L/s en janvier 2006 contre à peine moins de 20 L/s en mars 2007 et en basses eaux le cours d'eau peut être à sec ou présenter un débit supérieur à 5 L/s ;
- ou de durée (écartement de la courbe) : la durée du pic en hautes eaux 2005 est bien inférieure à celle de 2004, etc.

Au vu de ces irrégularités, il convient de souligner l'incertitude de la mesure en hautes et basses eaux :

- le pas de temps des mesures (hebdomadaire) ne permet pas de rendre compte de la variabilité des débits en hautes eaux ;
- les débits de crue ne sont pas mesurés ;
- la méthode de mesure des débits en basses eaux ne permet pas une résolution aussi fine sur des valeurs de l'ordre du L/s.

Ainsi, les débits annuels sont souvent sous-estimés et ne permettent pas la réalisation de bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant.

La chronique de débits sera néanmoins utilisée à titre indicatif en parallèle de la chronique du piézomètre de M'ronabéja 1 (Illustration 12).

2.6. MORPHOPEDOLOGIE

En ce qui concerne les formations superficielles, il s'avère que le bassin du Mroni Antanana est relativement homogène. A la lecture des informations apportées par la carte morphopédologique du CIRAD (Latrille 1981), plus de 90 % du bassin versant est tapissée d'altérites ferrallitiques remaniées de pentes. Il s'agit de sols remaniés et souvent décapés issus de la dégradation des reliefs. Ces sols, de composition variable, sont souvent peu épais en raison de la pente et du décapage.

Le long du cours d'eau, entre 10 et 30 m NGM, les formations de fond de vallée sont identifiées comme étant des produits d'accumulation de type colluvions et/ou alluvions. Ces formations sont relativement hétérogènes mais se caractérisent par la présence de graviers altéritiques encaissés dans des formations sablo-argileuses

A l'aval du bassin versant, au niveau du village de M'ronabéja se développent des formations de plaine littorale, dues à l'accumulation des produits de dégradation du bassin et au battement des environnements de transition tels que la mangrove. Ces formations se distinguent des dépôts colluvionnaires et alluvionnaires de fond de vallée car de composition majoritairement argilo-sableuse- ou de type alluvions vasardes.

Sur les flancs de la plaine littorale se sont développés localement des glacis d'épandage au débouché des ravines. Il s'agit de petits éventails de colluvions.

Les crêtes délimitant le bassin versant (à l'exception du sommet et des versants du Mt Choungui) montrent des formations de type badlands - ou « padzas » en shimahorais - qui correspondent à des altérites en place, non remaniées et relativement développées en épaisseur. Ces formations se caractérisent par une perméabilité verticale élevée dans les premiers mètres mais très imperméables en profondeur (Lapègue - 1999).

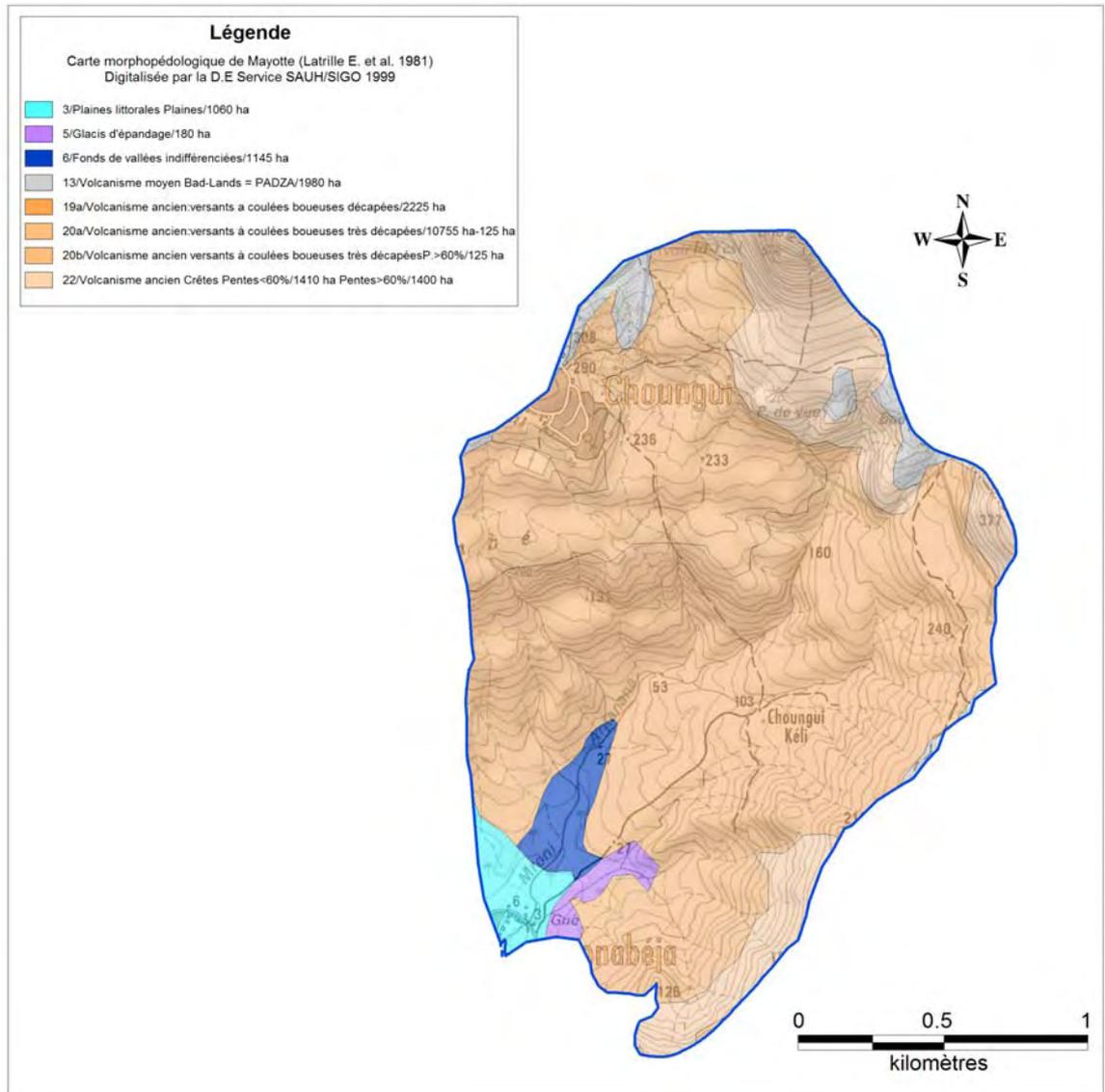


Illustration 9. Formations pédologiques du bassin versant du Mroni Antanana au 1/50 000 (Latrille E. et al. CIRAD, 1981)

3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage

3.1. LE PIEZOMETRE DE M'RONABEJA 1 (12316X0031/MRO1) ET LE FORAGE DE M'RONABEJA 2 (12316X0032/MRONAB).

Le piézomètre de M'ronabéja 1 (12316X0031/MRO1) a été réalisé du 12 au 30 mai 1990, pendant la première campagne de forage de reconnaissance (rapport BRGM 35165 REU 4S 92). Situé à une altitude de 11,7 m NGM, distant de 650 m du lagon et de 80 m du forage de M'ronabéja 2, l'ouvrage descend à 56 m de profondeur soit - 44 m sous le niveau du lagon. Il est situé sur une parcelle cultivée où il est possible de distinguer des plants de maniocs, d'ananas, des bananiers et des papayers. Les informations relatives au piézomètre sont compilées dans le tableau suivant.

Nom	Piézomètre de M'ronabéja 1
Code Commune	98509
Commune	KANI KELI
Section	AT
Titre	1407
Parcelle	4
Coord X_{RGM04}	513 790 m
Coord Y_{RGM04}	8 565 444 m
Coord $Z_{\text{sol NGM}}$	11,7 m ⁹
Code BSS	12316X0031/MRO1
Chronique piézométrique	1992 à 2009
Date de création	Mai 1990
Remarque	Piézomètre

Tableau 6. Informations relatives au piézomètre de M'ronabéja 1

⁹ Il semblerait que l'ouvrage ait été nivelé lors des travaux.

La nappe a été identifiée vers 20 m de profondeur. Il s'agit d'une nappe captive dont le niveau statique est susceptible d'affleurer en surface en hautes eaux (artésianisme).



Brgm©

Illustration 10. Le piézomètre de M'ronabéja 1 (photographie du 25 septembre 2009). La tête a été réhabilitée en 2009. La cote du point de mesure (repère) est de +1,1 m/sol.

Dans le détail (voir coupe lithologique de l'ouvrage en Annexe 1), les formations rencontrées pendant la foration sont les suivantes :

- de 0 à 2 m ont été identifiés des limons à dominante argileuse ;
- entre 2 et 18 m les formations peuvent être regroupées sous l'étiquette d'altérites avec présence de blocs de basaltes plus ou moins sains ;
- entre 18 et 22 m, les altérites laissent place à un basalte altéré, compact et devenant scoriacé à la base. Il s'agit visiblement des premières formations aquifères en raison des venues d'eau identifiées. Les niveaux scoriacés reposent sur 1 m de brèches, probablement contemporaines de l'épisode effusif ;
- entre 23 et 47 m de profondeur se développe une épaisseur de basalte très fracturé devenant fissuré et altéré à la base. Ce basalte repose sur une mince couche d'argile d'altération (1 m) ;
- sous cette couche d'altération ont été identifiés de nouveau des basaltes sains fissurés jusqu'à 56 m de profondeur.

L'ouvrage est suivi par la DAF depuis sa création et la chronique piézométrique disponible permet d'étudier l'évolution des niveaux piézométriques sur plus de 15 ans, à raison de mesures manuelles bimensuelles entre 1992 et 2003 et hebdomadaires depuis. A savoir que les niveaux mesurés sont non influencés par le forage de M'ronabéja 2 avant 2000 et épisodiquement depuis.

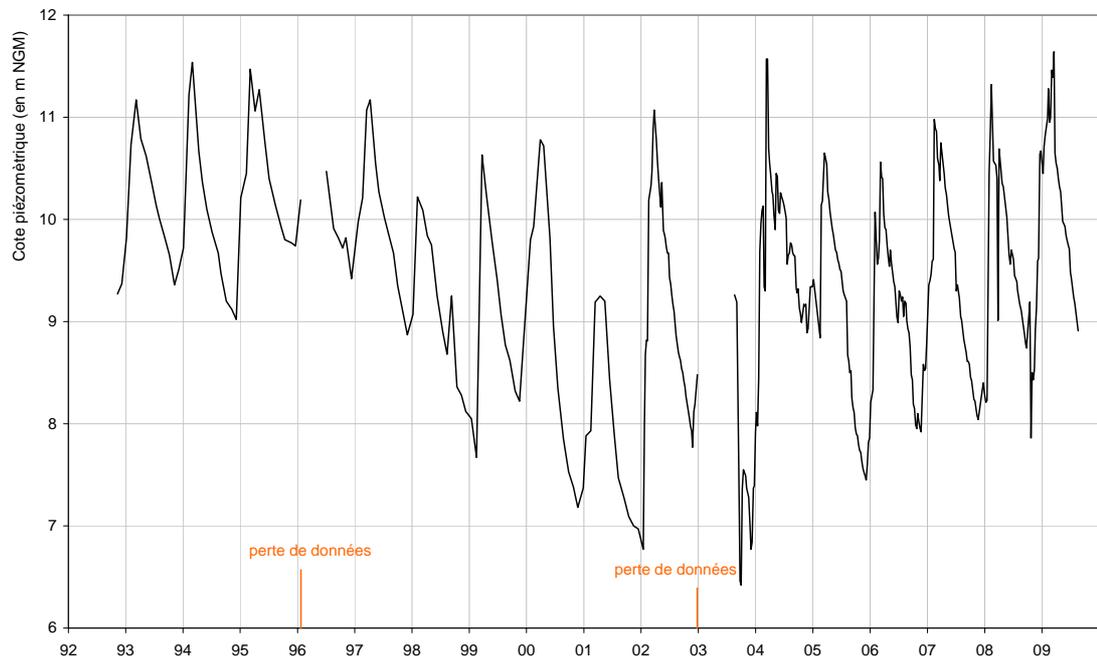


Illustration 11. Variations piézométriques du piézomètre de M'ronabéja 1 entre novembre 1992 et août 2009 (données DAF de Mayotte). Deux périodes de pertes de données sont à noter, en 1996 et en 2003.

Nonobstant la qualité des données, entre 1992 et 2009 (défauts de nivellement, défauts de repère de mesure identifié, problèmes de décimales ou de retranscription possibles), les niveaux du piézomètre de M'ronabéja 1 montrent des cyclicités annuelles très régulières qui fluctuent entre 7 m NGM en basses eaux (en novembre, décembre) et 11,5 m NGM en hautes eaux (mars, avril, mai). Les fluctuations annuelles les plus communes se situent entre 8 et 11 m NGM, particulièrement ces quatre dernières années. Les battements annuels de la nappe peuvent donc être estimés entre 2,5 et 3 m, valeurs assez élevées pour les aquifères de Mayotte.

En détail, il s'avère que les niveaux piézométriques sont relativement stables entre 1992 et 1997 et annuellement situés entre 9 et 11,5 m NGM.

A partir de 1998, les niveaux piézométriques ont tendance à régresser, notamment les niveaux d'étiage qui passent de 9 à 6,5 m NGM entre 1997 et 2003. A cette époque, les niveaux de hautes eaux restent relativement élevés (autour de 11 m NGM), ce qui laisse supposer peu de modifications quant aux mécanismes d'alimentation mais plutôt des vidanges plus élevées en saison sèche (de type prélèvement). Cette baisse entre 1997 et 2003 ne peut être imputée en totalité à la création du forage de M'ronabéja 2 en 2000 car elle semble s'initier bien avant et ce dernier n'a jamais été suffisamment exploité. Il faut noter que la pluviométrie enregistrée en 1997 est inférieure à la moyenne réalisée sur les années 1996 à 2003 (cf. Tableau 2).

Depuis 2004, les niveaux piézométriques ont tendance à remonter : entre l'étiage de 2006 et l'étiage de 2009, le niveau statique de basses eaux est remonté de plus d'un mètre. Le niveau de hautes eaux remonte aussi graduellement sur la même période.

La mise en relation entre 2004 et 2007 des variations piézométriques de la nappe enregistrées au niveau du piézomètre de M'ronabéja 1 et des débits mesurés au seuil E5 (Illustration 12) fait apparaître plusieurs points communs dans les fluctuations des courbes.

Les pics de débits en hautes eaux du Mroni Antanana sont suivis quelques semaines plus tard par des pics de piézométrie. Il est important de noter que le temps de réponse de la nappe aux hausses de débit de la rivière n'est pas constant. Néanmoins, à l'exception du pic de mars 2006, tous les pics de débit enregistrés en rivière précèdent les pics de piézométrie de la nappe.

L'étiage de la nappe de l'année 2004 est beaucoup moins prononcé que les années suivantes (le niveau se situait alors autour de 9 m NGM alors qu'il descend à 8 m NGM voire au dessous en 2005, 2006 et 2007). Il en est de même sur la courbe des débits, ceux-ci sont en moyenne situés entre 2 et 3 L/s en 2004 alors qu'ils sont nuls en 2005 et relativement bas fin 2006.

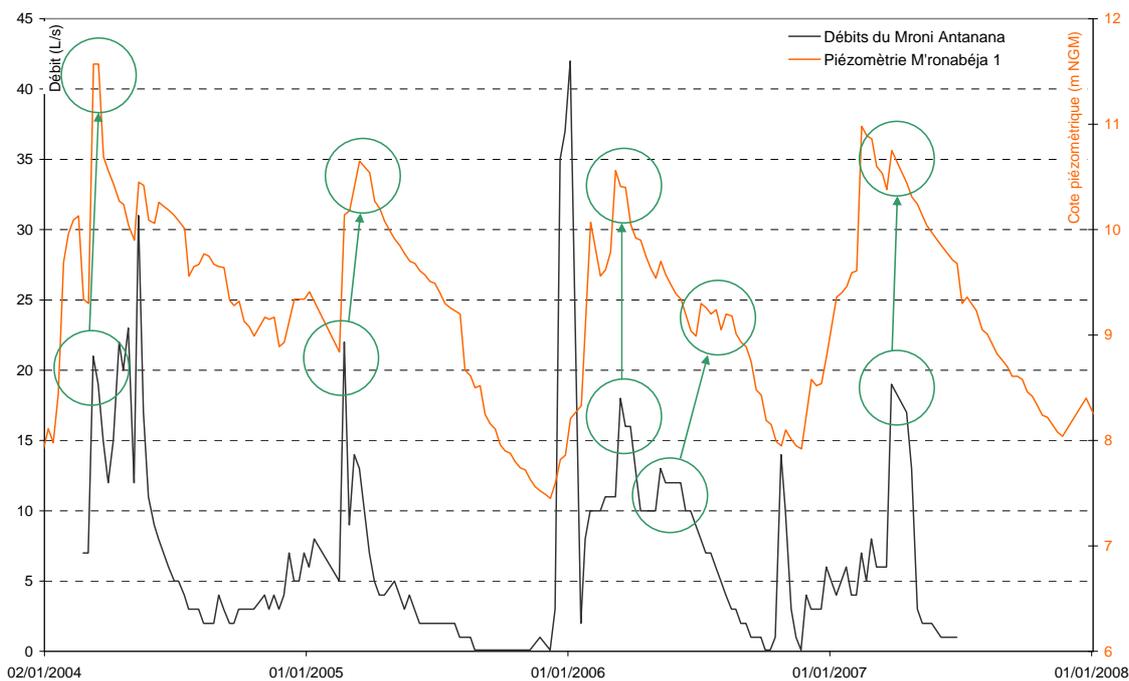


Illustration 12. Superposition de la chronique des débits du Mroni Antanana (de l'illustration 8) et de la chronique du piézomètre de M'ronabéja 1 entre janvier 2004 et avril 2007.

Ces observations montrent que le Mroni Antanana et la nappe captée par les ouvrages de M'ronabéja 1 et de M'ronabéja 2 pourraient avoir des relations d'alimentation réciproque. D'autant que les informations altimétriques (MNT IGN© 2009) montrent

que le lit du cours d'eau est situé à l'altitude de 10,5 m NGM environ, soit une altitude comparable à la moyenne des niveaux piézométriques enregistrés au niveau du piézomètre. En hautes eaux, l'activité hydrologique importante du cours d'eau favorise l'alimentation des niveaux aquifères sous jacents (mis en évidence par les décalages de pics) et en saison sèche, le soutien du cours d'eau est assuré par la vidange de la nappe, vidange d'autant plus conséquente si les niveaux piézométriques sont hauts (exemple de 2004).

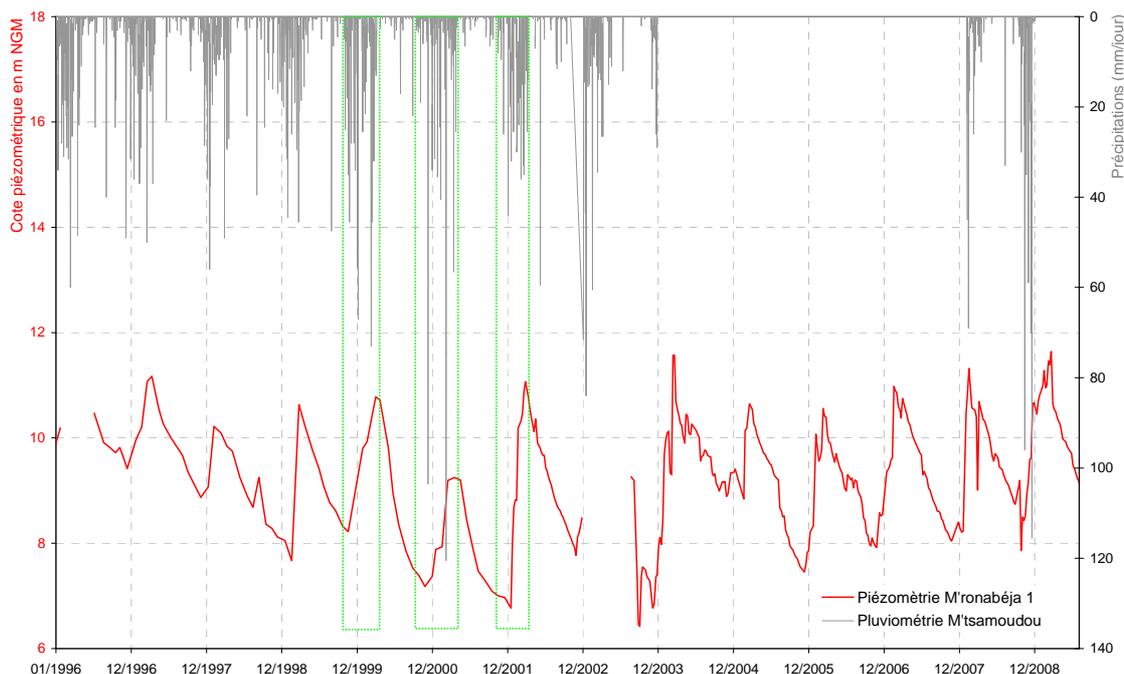


Illustration 13. Mise en relation des niveaux piézométriques de M'ronabéja 1 et de la pluviométrie journalière enregistrée à la station de M'tsamoudou (le signal pluviométrique n'est pas corrigé par rapport à l'altitude et sert à titre indicatif pour identifier les tendances)

La mise en relation de la pluviométrie et du niveau altimétrique de la nappe enregistré au niveau du piézomètre de M'ronabéja 1 (Illustration 13) montre :

- que le pic de recharge intervient non pas au cœur de la saison de pluies mais davantage en fin de saison des pluies (visible sur les années 2000, 2001 et 2002). L'intervalle de temps entre les précipitations et l'alimentation de l'aquifère est conséquent, de l'ordre de plusieurs semaines ;
- que les fluctuations piézométriques sont dépendantes en amplitude de l'importance des précipitations en saison des pluies. A titre d'exemple, la diminution des précipitations en 1997 se traduit par une diminution de la recharge et donc une baisse conséquente des niveaux piézométriques jusqu'en 1998. Le même phénomène apparaît entre 1999 et 2000 pour les mêmes raisons (faiblesse des précipitations sur cette période).

Les relations entre niveaux piézométriques, précipitations et débits du Mroni Antanana mériteraient d'être affinées sur la base de données plus précises et plus régulières, particulièrement en ce qui concerne les débits. En effet, le pas de temps de mesure (hebdomadaire dans le meilleur des cas) ne permet pas de distinguer toute la gamme de variation de débits en hautes eaux et les dates précises de hausse des débits. Ces informations permettraient alors de déterminer le temps de réponse de la nappe aux variations de débits de la station de jaugeage. Par ailleurs, un essai de nappe (pompage longue durée) permettrait de mettre en évidence ou de nuancer l'existence d'une limite alimentée assurée par le cours d'eau.

Le forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB) d'une profondeur de 70 m a été réalisé entre le 10 juin et le premier juillet 2000 par l'entreprise SOLETANCHE BACHY (Lachassagne et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR). Il s'agit du seul forage actuellement exploité pour l'AEP au sud d'une ligne Dembéni-Sada.

Nom	Forage de M'ronabéja 2
Code Commune	98509
Commune	KANI KELI
Section	AT
Titre	1407
Parcelle	4
Coord X_{RGM04}	513 699 m
Coord Y_{RGM04}	8 565 366 m
Coord Zsol_{NGM}	9,6 m (MNT IGN© 2009) ¹⁰
Code BSS	12316X0032/MRONAB
Chronique prélèvement	Septembre 2000 à juin 2007
Date de création	2000
Remarque	Très peu exploité en raison de la réaction de la population locale

Tableau 7. Informations relatives au forage de M'ronabéja 2

¹⁰ L'ouvrage n'a jamais été précisément nivelé. Dans ce cas, l'altitude au sol est déterminée sur la base du modèle numérique de terrain IGN© de 2009.

Les lithologies rencontrées lors des travaux de forage peuvent se décomposer comme suit (Lachassagne et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428) :

- Entre 0 et 3 m de profondeur, des cendres argileuses ont été identifiées. Ces formations peuvent s'apparenter aux 2 m de limons argileux identifiés au niveau du piézomètre de M'ronabéja 1.
- Entre 3 et 28,5 m les formations identifiées sont des alluvions fluviales relativement polygéniques. Ces formations sont très différentes de celles identifiées au niveau du piézomètre à la même profondeur (altérites, visiblement des basaltes en place), ce qui laisse supposer qu'une rupture lithologique existe entre ces deux ouvrages.
- Sous 28,5 m et jusqu'à la profondeur de 44 m sont identifiés des basaltes scoriacés et légèrement altérés, à l'image des basaltes rencontrés entre 18 et 22 m au niveau du piézomètre de M'ronabéja 1.
- Entre 44 et 59 m, il s'agit de coulées de lave qui dans le détail sont : des laves microcristalline fissurées entre 44 et 47,5 m, des laves différenciées à quartz et amphibole entre 47,5 et 54,5 m, des laves sombres et microcristallines entre 54,5 et 59 m.
- Un niveau de cendre vient s'intercaler entre 59 et 60 m de profondeur
- Et enfin, une coulée de lave sombre scoriacée à quartz est recoupée entre 60 et 70 m de profondeur.

Malgré son potentiel hydrodynamique intéressant pour les secteurs sud de l'île - à savoir, une transmissivité de $2,4.10^{-3}$ m²/s, un coefficient d'emmagasinement estimé à $1,9.10^{-3}$ et un débit d'exploitation préconisé de 25 m³/h 20h/24 - cet ouvrage n'est quasiment pas utilisé pour l'alimentation en raison de l'hostilité de la population locale à son fonctionnement.

En effet, les villageois de M'ronabéja – pour la majorité – refusent catégoriquement de consommer l'eau du forage et ce malgré des analyses de qualité très correctes (cf. §. 3.2). Sous prétexte que l'ouvrage est possédé en raison de sa proximité d'un ancien cimetière et que l'eau renforce les épidémies infantiles dans le village, les actes de dégradation du forage sont fréquents lorsque ce dernier est en fonctionnement ou soupçonné de l'être.



Brgm©

Illustration 14. le forage de M'ronabéja 2 (photographie du 25 septembre 2009). L'enclos n'est pas cadenassé et le local est souvent l'objet de dégradation. Sur le mur du local, il est possible de lire : « nous avons assez de l'eau pourie » (orthographe véridique).

Le forage a été mis en service pour la première fois en septembre 2004. Dès cette date, l'historique du forage de M'ronabéja 2 peut être résumé dans le tableau suivant.

Période	Prélèvements	Remarques
Septembre 2004	2 839 m ³	
Août 2005 à décembre 2005	6 554 m ³	
Janvier 2006 à juin 2006 + septembre et octobre 2006	19 748 m ³	Demande du SIEAM d'arrêter le forage
Février à mars 2007	3 669 m ³	Rupture de la canalisation venant de Kani-Kéli
Janvier à février 2008 et juillet 2008	5 602 m ³	Rupture de la canalisation venant de Kani-Kéli
2009	2 heures par semaine	Eau rejetée dans le milieu pour entretien du matériel de pompage et des canalisations

Tableau 8. Historique des prélèvements du forage de M'ronabéja 2 depuis 2004

Les niveaux piézométriques du forage n'ont jamais été suivis depuis sa création. L'unique valeur disponible est celle de fin des travaux qui fait état d'une cote piézométrique de 6,6 m NGM le 01/07/2000.

Le forage n'a jamais réellement fonctionné en permanence plus de 6 mois d'affilée. Aujourd'hui l'intégralité des prélèvements est réinjectée dans le milieu afin de maintenir en état le matériel de pompage et les canalisations.

A noter la présence de cultures à proximité de l'ouvrage, notamment des plants de maniocs, d'ananas, des bananiers et papayers. A une cinquantaine de mètres à l'Est il existe des cultures maraichères de maïs, salade, tomates etc.

3.2. QUALITE DES EAUX

En ce qui concerne la qualité des eaux, 2 analyses ont été réalisées au piézomètre de M'ronabéja 1 en 1992 et 1993 et 11 analyses au forage de M'ronabéja 2 entre 2002 et 2009 (dont 9 en 2004, l'année de mise en service). Ces analyses sont compilées en Annexe 2.

A l'exception d'une mesure en 1992, la conductivité mesurée dans les forages est régulièrement comprise entre 560 et 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valeurs de conductivité qui rappellent celles mesurées dans l'affluent 2 lors de la reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009 (cf. § 2.4). Cette observation accrédite l'hypothèse selon laquelle l'alimentation de la nappe est opérée par infiltration du cours d'eau mais n'écarte pas la possible contamination des eaux souterraines par des eaux saumâtres.

Ces valeurs de conductivité sont les plus fortes enregistrées dans les eaux souterraines de Mayotte (à l'exception des piézomètres de Petite terre qui captent une eau pour le moins saumâtre), cf. Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR.

La nappe se singularise aussi par des valeurs en Ca^{2+} relativement élevées (75 mg/L en moyenne) qu'il est difficile de retrouver ailleurs à Mayotte. Cette teneur forte en calcium contribue à expliquer le signal de conductivité élevé et indique probablement (i) un chimisme particulier des lithologies encaissantes et/ou (ii) un temps de résidence des eaux souterraines assez long pour permettre la solubilisation du calcium dans de telles concentrations. A l'inverse, les teneurs en magnésium ne sont pas particulièrement élevées.

Les teneurs en Na^+ et Cl^- sont elles aussi assez élevées comparativement aux autres aquifères de l'île, et affichent respectivement 39 mg/L et 50 mg/L en moyenne. De même que le calcium, ces teneurs en Na^+ et Cl^- contribuent à expliquer les valeurs fortes de conductivité et indiquent probablement une légère participation d'eau saumâtre à l'alimentation de la nappe.

En ce qui concerne les métaux, les teneurs en fer ne dépassent jamais les concentrations maximales admissibles pour l'eau potable (Annexe 1, §I-2, au décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles) : elles sont en moyenne de 20 $\mu\text{g}/\text{L}$. Des teneurs en manganèse n'ont été visiblement mesurées qu'à deux reprises et affichaient alors 150 $\mu\text{g}/\text{L}$ et 4 000 $\mu\text{g}/\text{L}$, valeurs bien trop fortes pour être considérées comme réalistes (possible erreur de retranscription des analyses). L'analyse la plus récente (février 2009) fait état d'une concentration en manganèse inférieure à 50 $\mu\text{g}/\text{L}$, valeur que l'on retiendra.

Des teneurs élevées en Cu^{2+} et en Zn^{2+} ont été analysées à plusieurs reprises dans le forage de M'ronabéja 2. Les teneurs moyennes de Cu^{2+} et Zn^{2+} mesurées entre 2004 et 2009 sont respectivement de 0,04 mg/L et 0,05 mg/L mais restent inférieurs aux concentrations maximales admissibles pour l'eau potable (1 mg/L pour Cu^{2+} et 5 mg/L pour Zn^{2+}).

Des teneurs importantes en NH_4 ont été mesurées à deux reprises dans le forage de M'ronabéja 2, une fois en 2002 (0,065 mg/L) et la seconde en 2004 (0,09 mg/L). A l'exception de ces deux valeurs, l'ammoniac n'a jamais été retrouvé dans le forage. Il est donc difficile de conclure quant à une contamination quelconque de la nappe.

Les paramètres bactériologiques n'ont jamais été mesurés à l'exception d'un comptage de flore hétérotrophe au forage de M'ronabéja 2 le 18/02/2004. Leur énumération et quantification pourraient apporter des informations substantielles quant à la contamination et/ou au temps de résidence des eaux souterraines.

Des recommandations porteront en fin d'étude sur la poursuite régulière d'analyses des eaux souterraines du forage de M'ronabéja 2. La liste des paramètres analysés considérée à l'heure actuelle comme minimaliste devra s'étoffer de nouveaux paramètres et de seuils de détection et de quantification plus fins (par exemple la quantification de Mn^{2+} dans l'analyse de 2009 indique simplement que cet élément est inférieur à 0,05 mg/L à savoir la concentration maximale admissible pour l'eau potable mais n'en donne pas la concentration réelle qu'il est aujourd'hui possible de mesurer beaucoup plus finement).

Le forage de M'ronabéja 2 est retenu comme point d'eau du réseau DCE de surveillance de la qualité des eaux souterraines (Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR). Dans le cadre de la définition du réseau de surveillance final, les eaux du forage sont analysées lors des campagnes de prélèvement basses eaux (octobre 2009) et hautes eaux (mars et avril 2010).

3.3. DELIMITATION DU BAC

Comme indiqué dans le rapport méthodologique, Malard 2009b, BRGM/RP-57299-FR, (i) en l'absence de participation de bassins hydrogéologiques transversaux connus à plusieurs bassins versants de surface et (ii) en considérant que la majeure partie de l'alimentation des nappes est opérée par infiltration des cours d'eau circulant sur le bassin versant, les limites du bassin d'alimentation de captage du forage de M'ronabéja 2 sont les suivantes :

- en amont de l'ouvrage, les limites du bassin d'alimentation sont confondues avec les limites du bassin versant des eaux de surface (cf. § 2.1) ;
- en aval de l'ouvrage, les limites sont repoussées plus en aval en raison du rayon d'influence du forage aux débits d'exploitation préconisés.

Le calcul du rayon d'influence du forage de M'ronabéja 2 est rendu possible grâce à l'existence du piézomètre de M'ronabéja 1 éloigné de 80 mètres environ et qui capte le même aquifère. Il est alors possible d'estimer à peu près la ligne géométrique de la nappe entre les deux ouvrages et donc de déterminer une valeur de gradient hydraulique non influencé entre les deux, lorsque le forage de M'ronabéja 2 n'est pas en fonctionnement. Cette valeur est essentielle pour le calcul de la courbe enveloppe du rayon d'influence du forage de M'ronabéja 2 en pompage (pour le débit préconisé), cf. Wuilleumier et al. 2009, rapport BRGM/RP-57620-FR.

En aval, le calcul du rayon d'influence du forage de M'ronabéja 2 en exploitation donne une courbe enveloppe de probabilité maximale de non dépassement. Cette courbe enveloppe est calculée sur la base des paramètres suivants et présentée en Illustration 17.

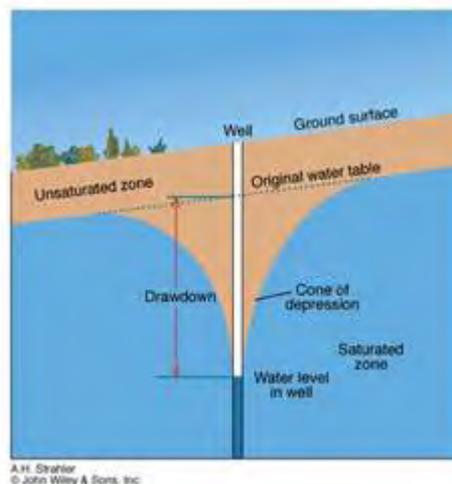


Illustration 15. Principe du rayon d'influence de la zone saturée d'un forage en exploitation (www.wellmanager.com)

	Transmissivité (m ² /s)	Gradient hydraulique (m/m)	Angle d'écoulement (en °/horizontal)	Débit d'exploitation (m ³ /h)
M'ronabéja 2	2,4.10 ⁻³	0,014<x<0,039	41	25

Tableau 9. Paramètres du calcul de la zone d'appel du forage de M'ronabéja 2

Le débit d'exploitation préconisé est fixé à 25 m³/h 20h/24. En considérant une marge sécuritaire, le débit d'exploitation du tableau est fixé à 25 m³/h 24h/24.

Le gradient hydraulique entre les deux ouvrages est estimé à entre 0,014 m/m et 0,039 m/m en considérant :

- un niveau statique de 8,75 m NGM au piézomètre de M'ronabéja 1 le 01/07/2000 (par reconstitution de la chronique entre le 22/06/2000 et le 20/07/2007 (cf. Illustration 16) ;

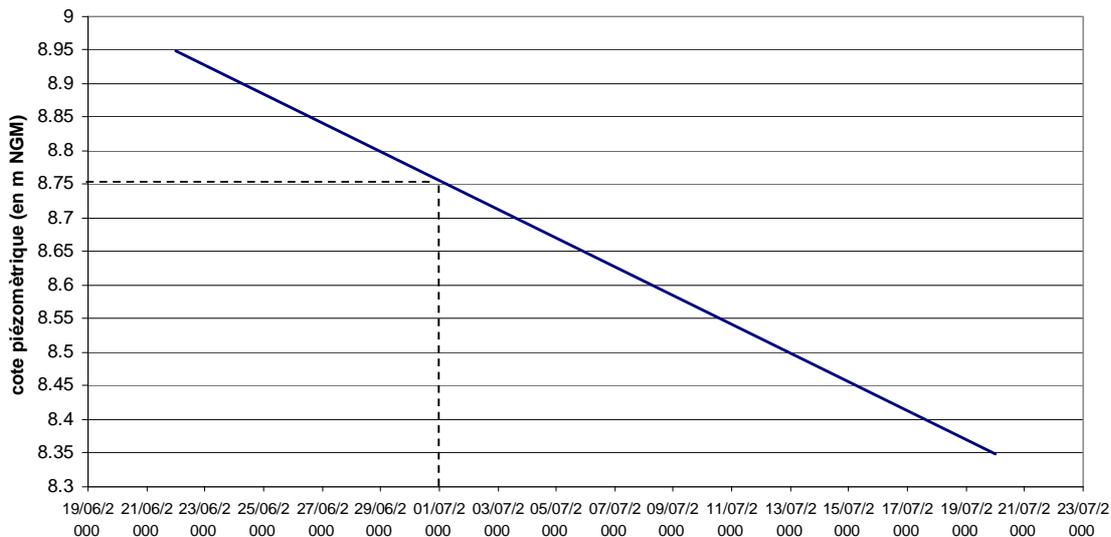


Illustration 16. reconstitution de la cote piézométrique du 01/07/2000 au piézomètre de M'ronabéja 1. A cette date, la cote piézométrique équivaut à 8,75 m NGM.

- un niveau statique de 6,6 m NGM au forage de M'ronabéja 2 le 01/07/2000 (la seule mesure piézométrique disponible à la fin des travaux) ;
- une distance entre les deux ouvrages de 80 m ;
- une incertitude sur la valeur des altitudes équivalente à 1 m entre les deux ouvrages ;
- un facteur de dispersion égal à 1,5 qui renforce la marge sécuritaire du rayon d'influence et permet de conforter une transposition réaliste du calcul en milieu discontinu.

Ainsi, la surimposition du rayon d'influence du forage sur la carte permet de tracer les limites aval du bassin d'alimentation. Il est important de noter que le calcul du rayon d'influence est défini en l'état pour les milieux aquifères continus et les résultats restent par conséquent indicatifs dans le cas des aquifères discontinus, d'où l'utilisation d'un coefficient de dispersion qui renforce la marge sécuritaire du rayon d'influence.

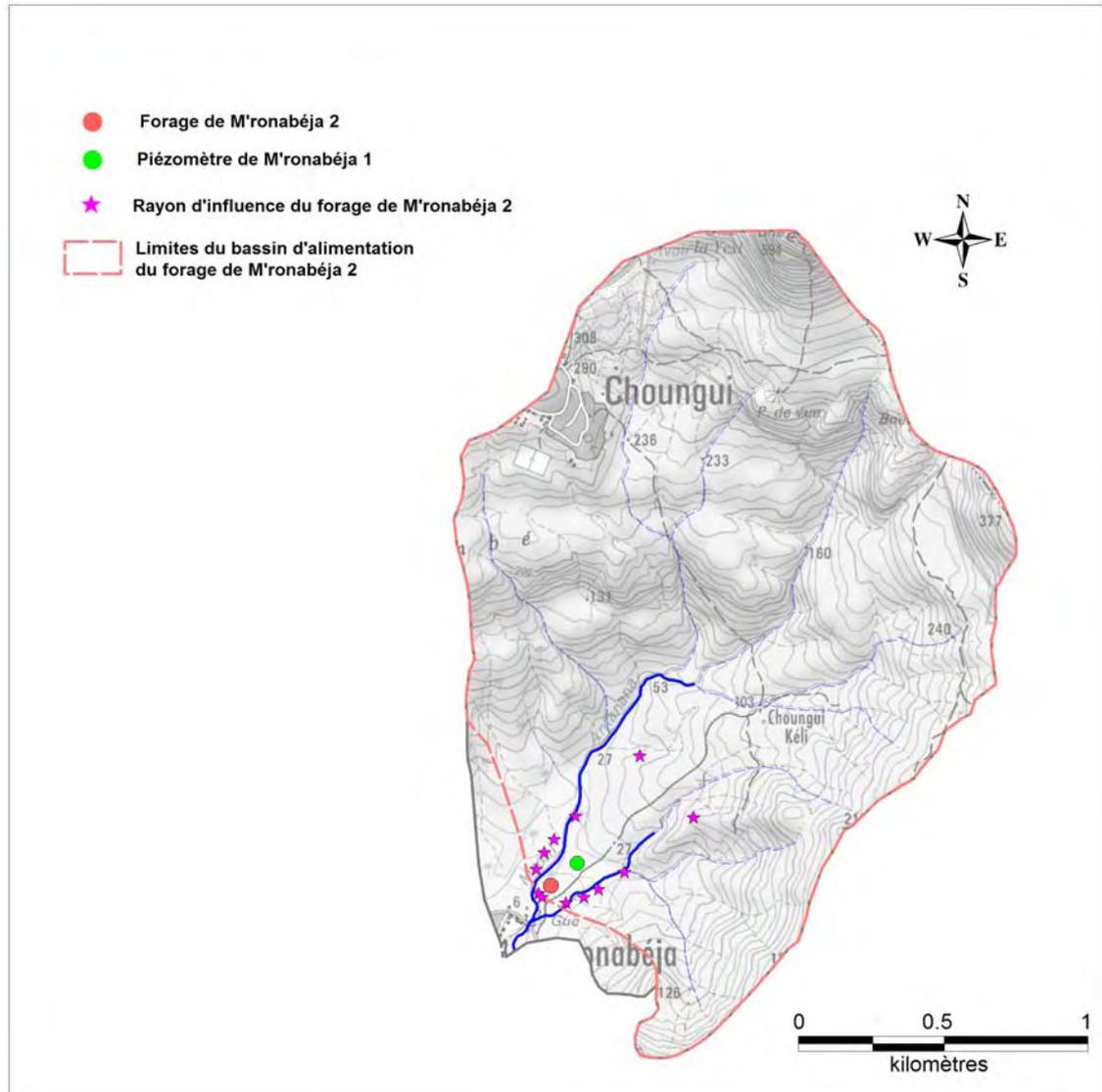


Illustration 17. Carte de délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 et rayon d'influence du forage.

Il est important de noter que la limite d'influence du forage ne se poursuit pas très loin en aval de celui-ci. Considérant la marge de sécurité prise en compte dans le calcul (coefficient de dispersion de 1,5) la limite aval retenue sera d'environ 50 m à compter de la bâtisse de forage.

Les limites du BAC débutent donc 50 m en aval du forage dans le lit du Mroni Antanana et remontent vers l'Ouest en direction du village de Choungui en suivant la ligne de crête la plus directe selon une orientation quasiment NS – légèrement Ouest. Les limites épousent ensuite les limites du bassin versant de surface du Mroni Antanana, traversent le village de Choungui, le mont Choungui et suivent la ligne de crête jusqu'au point coté 126 m NGM en amont direct du village de M'ronabéja. A

compter de ce point, les limites du BAC descendent ensuite par la ligne de crête la plus directe vers le lit du Mroni Antanana.

Ainsi délimité, le BAC a un périmètre de 7,8 km pour une surface de 3,6 km².

Sur la base d'une exploitation au régime de 20h/24 à un rendement de 25 m³/h, le prélèvement annuel cumulé s'élève à 182 500 m³ soit environ 11 % de la pluie efficace (part de la pluie disponible pour les écoulements de surface et souterrains) en considérant une valeur de la pluie efficace retenue de 467 mm/an (soit un volume de pluie efficace de 1 681 200 m³ totalisé sur la surface du BAC).

4. Caractérisation de la vulnérabilité du forage de M'ronabéja 2

L'application de la méthode IDPR & Indice de rugosité (cf. rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR) sur le bassin d'alimentation de captage permet d'obtenir les résultats suivants (Illustration 18) directement interprétables en termes de vulnérabilité.

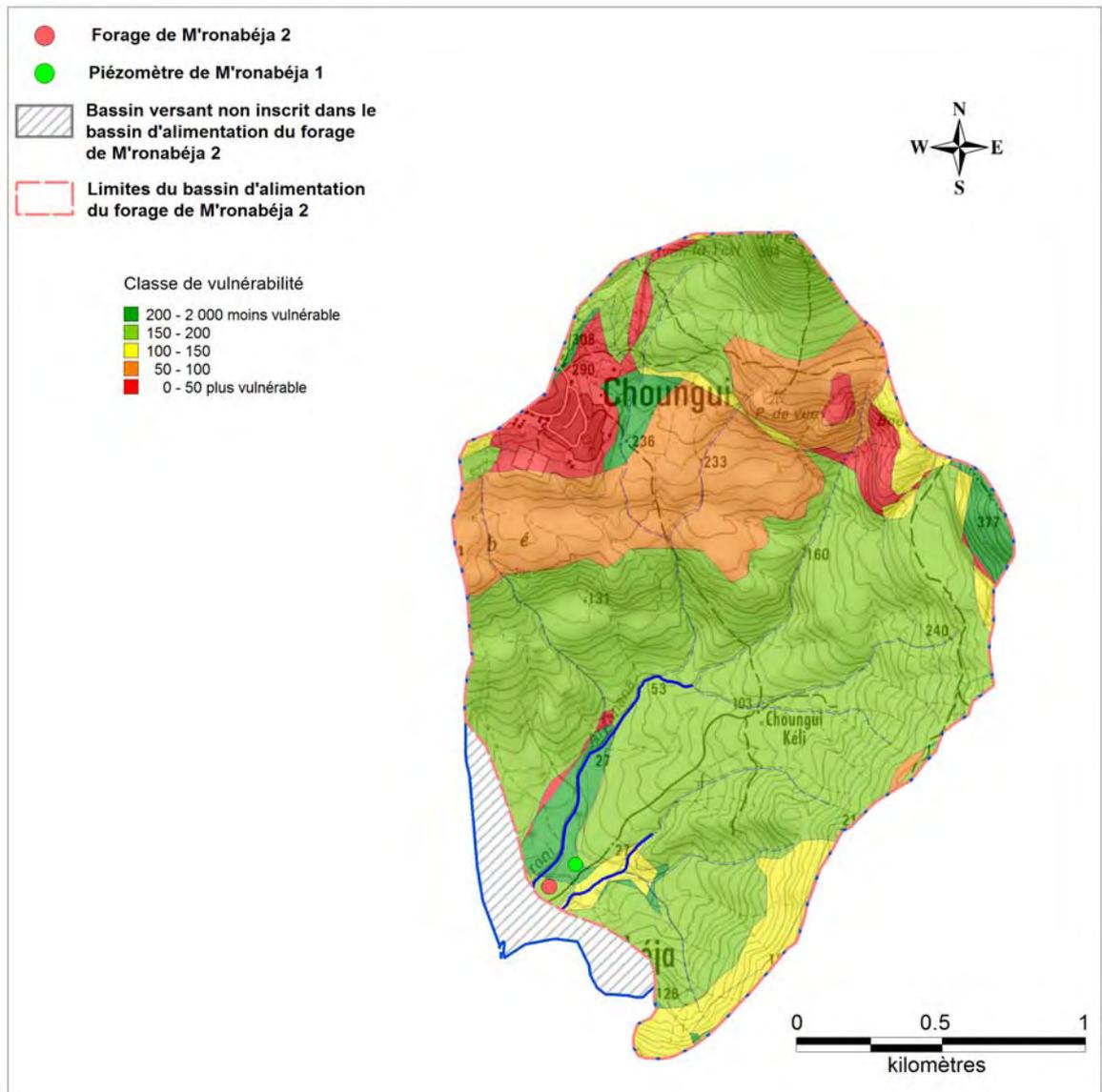


Illustration 18. Carte de vulnérabilité des eaux souterraines du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2

A la lecture de la carte, les indices de vulnérabilité sont repartis de façon relativement hétérogène sur la surface du bassin d'alimentation de captage.

Il est important de noter que plus de 70 % du bassin présente un indice de vulnérabilité faible. C'est le cas notamment des versants dont l'altitude est inférieure à 200 m NGM, du fond de vallée du Mroni Antanana compris entre 10 et 30 m NGM (indice très faible) et des versants Sud du mont Choungui et ouest du mont Vatoukaridi au-delà de 350 m NGM.

En revanche, des zones de vulnérabilité forte apparaissent à hauteur du village de Choungui et - à un degré moindre - sur les versants entre 200 et 300 m NGM. Il apparaît manifeste que la structuration lithologique (cf. Illustration 7 et § 2.4) est à l'origine de cette différenciation des degrés de vulnérabilité des eaux souterraines. Dans l'affluent, au dessus de 210 m NGM, les indices forts de vulnérabilité s'expliquent visiblement par la présence de la ceinture de colluvions en bas de versant du mont Choungui.

La différence lithologique mise en évidence entre rive droite et rive gauche de l'affluent 1 faisait apparaître une série de basalte à olivine et néphéline en rive droite et un recouvrement important de colluvions. Ces formations suspectées de se développer en direction de l'Ouest vers le village de Choungui et en bas des versants du mont Choungui sont corrélées avec un indice de vulnérabilité élevé et un radoucissement de la pente locale.

La zone de vulnérabilité la plus élevée est directement placée sous le village de Choungui et épouse assez précisément les contours.

5. Caractérisation des pressions

5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN DU MRONI ANTANANA

5.1.1. Pressions urbaines : déchets / assainissement / lessives / pêches

Il existe deux villages dans le bassin versant du Mroni Antanana : le village de M'ronabéja en aval du BAC et le village de Choungui sur les crêtes en bordure nord du BAC, à l'altitude de 290 m NGM. D'après le recensement de l'INSEE, ces deux villages font état de la population suivante :

Villages	2002	2007
M'ronabéja	455	450
Choungui	658	772

Tableau 10. Population des villages de M'ronabéja et de Choungui (chiffres INSEE 2007). Il est important de rappeler que ces chiffres évoluent très vite à Mayotte et que la réalité 2009 peut être assez différente.

Si la population du village de M'ronabéja a visiblement tendance à décroître, celle du village de Choungui a augmenté de plus de 3 % entre 2002 et 2007. A cheval sur la bordure du bassin, l'urbanisation se développe sur le versant en direction de M'ronabéja, notamment par la construction de nouveaux quartiers résidentiels (exemple du quartier d'Andembé qui se construit à la sortie sud de Choungui).

Il n'existe pas d'habitats dispersés sur le bassin si ce n'est le lieu dit de Choungui Kéli mais qui ne semble pas habité.

Si le village de M'ronabéja n'est pas inscrit dans le bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2, une grande partie du village de Choungui s'y développe de plus en plus.

La carte des systèmes d'assainissement collectif et semi collectif de Mayotte (DAF 2008) montre qu'il n'existe pas de système fonctionnel de traitement à hauteur du village de Choungui.

La pression urbaine au village de Choungui est relativement forte. Une reconnaissance des ravines en aval du village le 17/06/2009 a mis en évidence des décharges sauvages de déchets ménagers, automobiles et de déchets végétaux.

En ce qui concerne les pratiques à risque, aucun site de lessive n'a été observé dans les cours d'eau en amont du forage, que ce soit dans le cours principal du Mroni Antanana ou ses affluents. Il en est de même concernant les décharges sauvages, à l'exception de celles du village de Choungui. Aucune n'a été recensée sur le reste du

bassin versant, notamment en amont du village de M'ronabéja, dans le fond de vallée du Mroni Antanana.

5.1.2. Pressions agricoles

La carte d'occupation des sols (DAF 2002) indique que le bassin versant du Mroni Antanana est recouvert à plus de 70 % par des forêts dégradées en association avec des parcelles de cultures et des lambeaux de forêt. La reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009 confirme cette observation. Les pratiques de défrichement sont intenses, non ordonnées et le recours au brulis est très fréquent et tout aussi désordonné.

Par conséquent, l'organisation agricole du bassin est assez anarchique et la distinction des différentes parcelles et de la nature des produits agricoles s'avère très délicate à réaliser. Toutefois, à l'exception du fond de vallée du Mroni Antanana, c'est-à-dire à proximité des forages, il n'y a pas d'agriculture vivrière et maraîchère sur les versants du bassin. Il est possible d'identifier ici et là quelques lambeaux de parcelles de bananiers, d'ananas, de maniocs, mais sans qu'il soit possible de parler réellement d'activité agricole (surface réduite à quelques dizaines de mètres carrés et faible utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires).

5.1.3. Pressions industrielles

L'inventaire des sites industriels et des activités de service de l'ex Collectivité Territoriale de Mayotte (Frissant et al. 2004, rapport BRGM/RP-52906-FR) ne fait pas apparaître d'activité particulière dans le bassin versant du Mro Oua Antanana ou à proximité.

La reconnaissance de terrain confirme que depuis 2004 (date de l'inventaire ci-dessus) aucune activité ne s'est récemment installée.

5.1.4. Risques naturels

L'atlas des risques naturels de la commune de Kani-Kéli (mis à jour en 2009, Oppermann et al. rapport BRGM/RP-57566-FR) indique que le bassin versant du Mroni Antanana est exposé aux aléas suivants :

- un aléa fort de type chutes de blocs dominants accompagnés de glissements de terrain dans la partie supérieure du bassin (qui correspond aux pentes du mont Choungui) ;
- un aléa moyen à fort de type glissement de terrain accompagné de chutes de blocs dans la partie médiane, c'est-à-dire à hauteur du village de Choungui et les versants à contrebas jusqu'à environ 30 m NGM. Sous 30 m NGM, le risque de mouvement de terrain est considéré comme nul ;
- Un aléa inondation par débordement du cours d'eau considéré comme nul en rive gauche à cet endroit du Mroni Antanana ;

5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS

La carte des pressions recensées sur le bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 et pondérée par les arguments décrits dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR est présentée ci-dessous (Illustration 19).

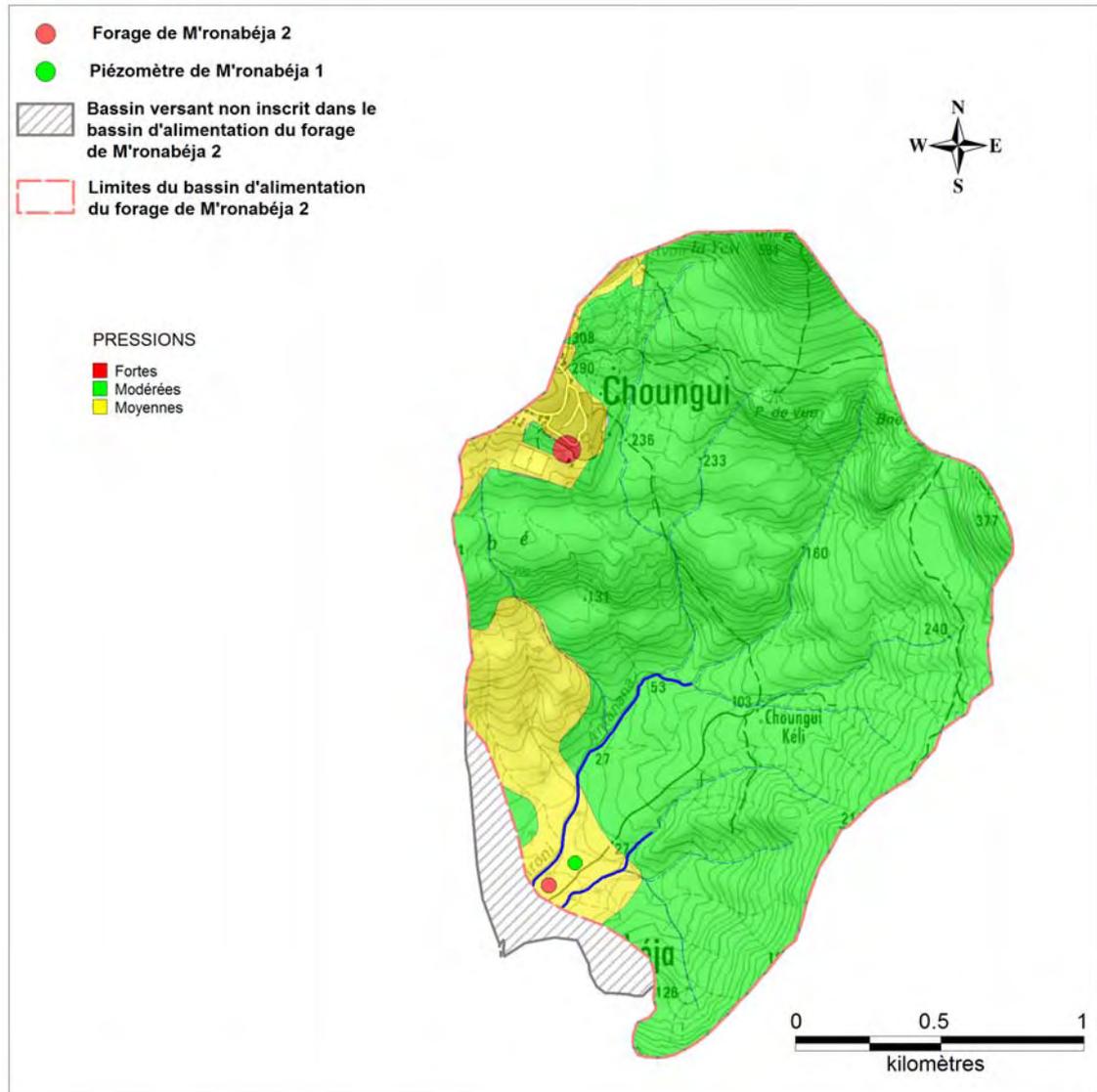


Illustration 19. Carte des pressions exercées sur le bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2.

A la lecture de la carte, le bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 montre un degré de pression majoritairement faible. Les versants Est et Nord du bassin sont

classés en pression modérée alors que les versants Ouest et Sud (village de Choungui et arrière village de M'ronabéja) montrent des pressions moyennes.

Ces pressions moyennes sont imputables :

- au niveau du village de Choungui : à l'urbanisation et aux pratiques à risques (assainissement dispersé, décharge sauvage, etc.) ;
- au niveau des ouvrages (forages et piézomètres) à l'agriculture vivrière intensive remarquée lors de la reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009.

La pression forte indiquée au niveau du village de Choungui n'est autre que le système d'assainissement collectif dont l'état de dysfonctionnement a été jugé grave et qui concentre les effluents.

6. Evaluation du risque de pollution des eaux souterraines du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2

La mise en relation des informations relatives à la vulnérabilité des eaux souterraines et aux pressions exercées sur le bassin d'alimentation de captage permet de dresser la carte de croisement suivante sur le bassin du Mroni Antanana (Illustration 20).

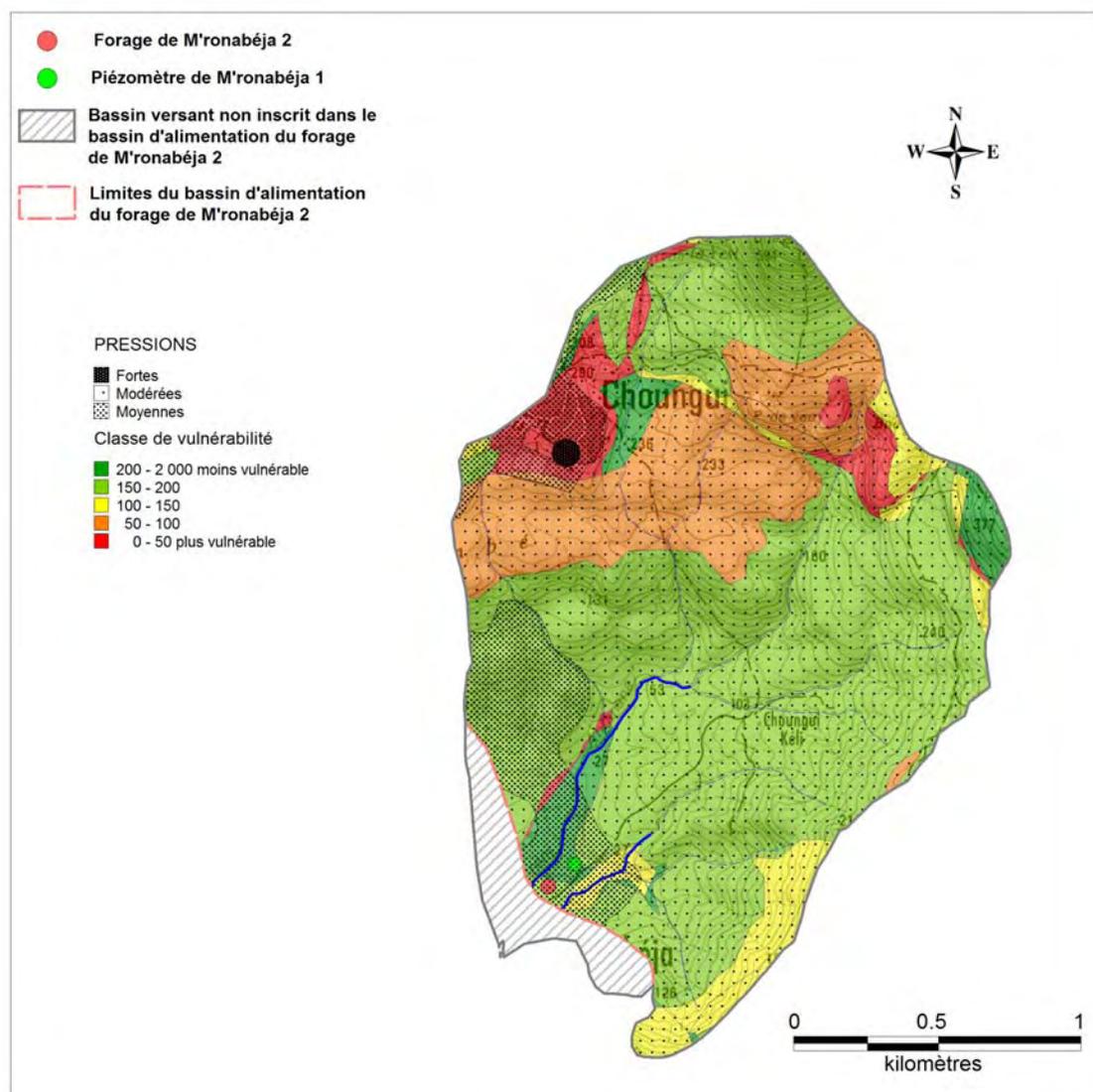


Illustration 20. Carte de croisement des informations de vulnérabilité et de pressions du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2.

Comme indiqué dans le §.4, les secteurs Sud et Est du bassin d'alimentation du forage ne témoignent pas de vulnérabilité ni de pressions particulières. Les risques d'une contamination des eaux provenant de ces versants du bassin peuvent être écartés.

En ce qui concerne les secteurs de basse altitude - à proximité du forage - ils ne montrent pas de conjoncture entre un degré de vulnérabilité et un indice de pression significatif. Les quelques parcelles d'agriculture vivrière observées à proximité du forage reposent manifestement sur un horizon considéré comme peu perméable et donc peu vulnérable vis-à-vis des eaux souterraines.

En revanche, les secteurs situés au Nord du bassin d'alimentation et particulièrement au niveau du village de Choungui et de ses environs, font état d'une pression et d'une vulnérabilité significatives. La géomorphologie et la composition lithologique des secteurs qui se développent en bas de versant du mont Choungui suggèrent un degré de vulnérabilité des horizons assez élevé qui se superpose au niveau du village de Choungui à la pression urbaine importante (déficit d'assainissement, ordures ménagères, pratiques à risque, etc.). Non seulement ce secteur à risque, situé en altitude, montre une pollution et une dégradation des ravines, mais suggère aussi une tendance forte à l'infiltration locale des eaux qui - par transit dans le sol – viendront rejoindre les niveaux aquifères captés plus bas.

Par sa position amont et la nature des sols environnants, le village de Choungui représente un risque réel vis-à-vis des eaux souterraines captées par le forage de M'ronabéja. Néanmoins, le village étant situé à une relative distance (plus d'un kilomètre à l'horizontal) et altitude (plus de 200 m) de l'ouvrage, le risque de pollution des eaux souterraines peut être relativisé sur la base des arguments suivants :

- un transit probablement assez long en cas d'infiltration des eaux superficielles donc des mécanismes d'auto-épuration qui peuvent avoir le temps d'agir ;
- des mécanismes de dispersion et de dilution qui peuvent éventuellement atténuer le risque de contamination en aval.

7. Recommandations

Les résultats de l'étude ont montré que la ressource en eau souterraine du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 se caractérise sur une majeure partie de la surface du bassin par **un faible degré de vulnérabilité et peu de pressions significatives**. Seul le village de Choungui et ses environs représente un risque de pollution réel en raison d'une pression urbaine assez développée (absence d'assainissement, décharges sauvages, pratiques à risques, etc.), d'une position directement en amont du captage ainsi que d'un sol aux propriétés relativement infiltrantes.

Ainsi, **le village de Choungui représente le risque le plus élevé de contamination des ressources en eau souterraine du bassin** : (i) en contrebas du village, par pollution et dégradation des ravines qui alimentent la nappe, (ii) au niveau du village par infiltration directe des eaux qui rejoignent ensuite la nappe.

Ce risque peut néanmoins être modulé par une distance et un différentiel d'altitude assez élevés par rapport au forage, ce qui augmente le temps de transit des eaux et favorise les mécanismes d'auto épuration, de dispersion et de dilution. Ces mécanismes réduisent les risques d'une contamination importante.

Ainsi, au vu des résultats des études de bassin d'alimentation de captage à Mayotte et dans la continuité des programmes d'action à initier dans le domaine de la protection de la ressource, quelques recommandations peuvent être apportées au cas du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2.

En ce qui concerne les recommandations techniques :

- nécessité absolue de renforcer le suivi de la qualité des eaux souterraines, notamment les substances phytosanitaires et les paramètres bactériologiques, révélateurs des dégradations environnementales et qui apportent des informations substantielles en termes de vulnérabilité des eaux, de temps de résidence, etc. A l'heure actuelle, l'absence de données qualité régulières et complètes est un réel handicap dans la caractérisation de la qualité des eaux et la mise en évidence de pollution chroniques ou diffuses. Par ailleurs, le suivi précis et régulier de la conductivité et des concentrations en Na^+ et Cl^- permettraient de vérifier ou d'infirmer la possibilité d'une contamination des eaux souterraines par intrusion des eaux marines. Cette condition est en partie remplie en 2009 et 2010 au moyen des analyses du réseau DCE de surveillance de la qualité des eaux souterraines (Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR) ;
- procéder au nivellement exact du piézomètre de M'ronabéja 1 (depuis la réfection de la tête de puits) dans le souci de suivre précisément les niveaux piézométriques de la nappe à proximité du forage d'exploitation.

En ce qui concerne les recommandations d'usage :

- trouver un terrain d'entente avec la population locale afin de faire entrer la consommation d'eau souterraine dans leurs mœurs. Cette nécessité est d'autant plus justifiée qu'il n'existe que peu de ressources alternatives dans cette partie de l'île - suffisante pour faire face à l'évolution démographique et au développement du niveau de vie. Dans le plan d'action, des mesures dans ce sens doivent être considérées.
- nécessité absolue de surveiller les pratiques de défrichement et de brulis du bassin versant. Comme indiqué précédemment (§. 5.1.2), la reconnaissance de terrain du 25 septembre a mis en évidence des pratiques de défrichement d'ampleur assez fortes. Les conséquences de telles pratiques sont souvent à déplorer en termes de mobilisation des sols, de changement d'hydrodynamisme des cours d'eau et d'impact sur la ressource en eau (tant en quantité qu'en qualité). Il est essentiel, dès à présent, de surveiller les pratiques agricoles et les pratiques d'élevage dans l'enceinte du BAC et de faire appliquer les réglementations en vigueur. Ce constat est général et s'applique à la majorité voire à la totalité des BAC de Mayotte.
- endiguer ou du moins réduire la pression urbaine au niveau du village de Choungui. L'assainissement du village doit être considéré comme une priorité, de même que la gestion des déchets et la sensibilisation de la population. Bien que de taille modeste (moins de 1000 habitants), le village de Choungui est appelé à se développer et les pressions à s'amplifier (décharges sauvages dans les ravines, déchets ménagers, automobiles, lessives, etc.)

La finalité de cette étude est de proposer un support de travail et d'informations à l'échelle du bassin versant et des BAC afin de procéder dans des délais raisonnables aux études hydrogéologiques complémentaires - captage par captage – qui initieront l'instauration des périmètres de protection. Ces travaux devraient aboutir à des recommandations plus complètes et plus spécifiques.

8. Conclusion

Dans le cadre de la convention de recherches et développement partagés ONEMA/BRGM du 8 juillet 2009, le BRGM s'est engagé à mener les études relatives à la délimitation et à la caractérisation du bassin d'alimentation du forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB) situé dans le bassin versant du Mroni Antanana.

Ce forage, d'une profondeur de 70 m, réalisé en 2000 ne sert qu'épisodiquement à l'alimentation en eau du village en raison de l'hostilité de la population vis-à-vis de la consommation d'eau souterraine. Ainsi, malgré un potentiel de $25 \text{ m}^3/\text{h}$ 20h/24, le forage tourne au jour d'aujourd'hui à vide.

Compte tenu de l'historique disponible, la mise en relation des fluctuations de débits du Mroni Antanana et de la piézométrie de la nappe montrerait - bien que l'incertitude sur la mesure des débits existe - qu'en hautes eaux le Mroni Antanana alimente – par le biais d'infiltration – la nappe et qu'en basses eaux, cette dernière alimente le cours d'eau à travers sa vidange. La mesure des conductivités absolues des eaux de surface et souterraines renforcent l'hypothèse de relations nappe/rivière mais n'écarte pas la possible contamination des eaux souterraines par des eaux saumâtres. Par ailleurs, les comparaisons entre pluviométrie, débits hydrologiques et cotes piézométriques de l'aquifère ont montré que les mécanismes d'alimentation étaient relativement longs (de l'ordre de plusieurs semaines), ce qui peut être considérée comme un paramètre de réduction de la vulnérabilité de la nappe. Ainsi, le bassin d'alimentation du forage englobe l'intégralité du bassin versant de surface du Mroni Antanana en amont et se prolonge en aval en limite du rayon d'influence calculé sur la base d'une exploitation au régime de $25 \text{ m}^3/\text{h}$ 24h/24. Le BAC ainsi délimité couvre plus de 95 % du bassin versant, soit une surface de $3,6 \text{ km}^2$.

Sur la base des données pluviométriques disponibles, le calcul de la pluie efficace moyenne annuelle sur le bassin versant a pu être réalisé au pas de temps mensuel en prenant une valeur de RFU de 50 mm. La pluie efficace annuelle a pu être estimée à 467 mm soit environ 47 % des précipitations annuelles s'abattant sur le bassin. Sur la base d'une exploitation au régime de 20h/24 à un rendement de $25 \text{ m}^3/\text{h}$, le prélèvement annuel cumulé du forage s'élève à 11 % de la pluie efficace (part de la pluie efficace).

Les résultats des calculs IDPR montrent que le bassin d'alimentation de captage présente des faciès moyennement infiltrants sur les versants Sud et Est en raison probablement d'une lithologie assez imperméable et d'une géomorphologie particulière mais davantage infiltrante en bas des versants du mont Choungui, c'est-à-dire au niveau du village de Choungui et aux environs du village. De fait, la vulnérabilité du BAC peut être considérée comme moyenne à faible au niveau des versants Sud et Est mais beaucoup plus prononcée au niveau du village de Choungui.

L'inventaire des pressions du bassin d'alimentation montre que les pressions les plus fortes sont exercées au niveau du village de Choungui et se traduisent par le déficit de systèmes d'assainissement, la présence de décharges sauvages, l'urbanisation non contrôlée, etc.

Par ailleurs, l'inventaire des aléas naturels susceptibles de nuire à l'ouvrage ou à la ressource à proximité ne fait pas mention de risque particulier.

Au final, le croisement des informations de vulnérabilité et de pressions met en évidence la conjoncture d'un indice de pressions élevé et d'un degré de vulnérabilité fort au niveau du village de Choungui. Le village de Choungui représente le risque de pollution de la ressource le plus élevé, soit par infiltration directe des eaux, soit par ruissellement dans les ravines polluées qui assurent l'alimentation principale des niveaux aquifères. Ce risque doit être néanmoins modulé en raison de la distance et du différentiel d'altitude au forage, distance qui offre une garantie de mise en œuvre des mécanismes d'autoépuration des eaux, de dilution et de dispersion.

Les recommandations portent à la fois (i) sur la surveillance de la ressource, c.à.d. le renforcement du suivi de la qualité des eaux souterraines du forage de M'ronabéja 2 (produits phytosanitaires, les paramètres bactériologiques, la conductivité et le ratio $[Na^+]/[Cl^-]$, notamment à travers les analyses 2009/2010 du réseau DCE de surveillance de la qualité des eaux souterraines de Mayotte), et du suivi régulier et précis (nivellement) des niveaux du piézomètre de M'ronabéja 1 et (ii) sur la surveillance et la réglementation des pratiques en vigueur sur le BAC, à savoir des pratiques de défrichement, brulis, d'élevages vagabonds et de pressions urbaines au niveau du village de Choungui (décharges sauvages, etc.).

Par ailleurs, il est indispensable de réconcilier les fournisseurs d'eau (SIEAM et SOGEA) et la population du village de M'ronabéja et d'encourager cette dernière à la consommation d'eau souterraine pour son alimentation. Toute politique de développement et de protection de la ressource peut être – à l'avance – considérée comme inutile si la population refuse d'utiliser cette ressource.

La suite de cette étude conduit logiquement à la réalisation d'études hydrogéologiques complémentaires captage par captage en vue de l'instauration des périmètres de protection et des plans d'action inhérents. Ce programme est envisagé sur les années 2010/2011.

9. Références bibliographiques

Annexe 1, §I-2, au décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles.
En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

C. Cluzet, A. Oppermann, A. Malard, L. Françoise. (2009) : Mise à jour des atlas des aléas naturels sur 12 communes de Mayotte, commune de Kani-Kéli. Rapport BRGM/RP-57566-FR, 25 p., 20 figures.

DAF de Mayotte (2002) – Plan d'occupation des sols. Actualisation

DAF de Mayotte (mars 2008) - Etat général des systèmes d'assainissement collectifs et semi-collectifs de Mayotte.

Frissant N., De la Torre Y. et Mouron R. (2004) – Inventaire des sites industriels et activités de service de la Collectivité Départementale de Mayotte. Rapport BRGM/RP-52906-FR. 21 pages, 7 figures, 6 tableaux, 5 annexes dont 3 hors texte.

Frissant N., Lachassagne P., Miehé J.M., Euché G., Petit V., Mouron R., coll. Barthélemy L. (2006) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Campagne 2006-2007. Synthèse des résultats des reconnaissances géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et radon. Proposition d'implantation des sondages de reconnaissance. Rapport BRGM/RP-55322-FR, 138 p., 41 ill. et 6 ann.

Lachassagne P., Cruchet M., Daesslé M., Lebon D. (2000) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Campagne prioritaire d'études et de forages de reconnaissance / d'exploitation (juin 1999 – octobre 2000). Compte-rendu des travaux et principaux résultats géologiques et hydrogéologiques. Rap. BRGM/RP-50428-FR – 2000 SGR/MAY 33, 20 p., 2 fig., 4 tabl., 14 ann.

Lapègue J. – 1999 – Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte. Thèse de l'Université de la Réunion.

Latrille E. (1981) – Mayotte. Carte morphopédologique et des propositions d'affectation des terres. 1/50 000.

Malard A., avec la collaboration de A. Bourhane (2009a) – Modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni – Année 4 – BRGM/RP-57385-FR (Rapport à paraître).

Malard A. avec la collaboration de B. Aunay, J.F. Vernoux et V. Mardhel (2009b) – Définition d'une méthodologie commune aux études des bassins d'alimentation de

captages à Mayotte. Principes de délimitation des bassins et de caractérisation de la vulnérabilité des captages – BRGM/RP-57299-FR, 146 p., 34 ill., 12 tab., 5 eq, 6 ann.

Malard A., Winckel A. (2008) – Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des eaux souterraines, de surface et côtières de Mayotte – BRGM/RP-56774-FR, 218 p., 48 ill., 9 ann.

Programme des forages de reconnaissance des eaux souterraines à Mayotte – Campagne 1991-1992 – BRGM 35165 REU 4S 92

OFEFP – Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré. Guide pratique. Version provisoire du 28 mars 2002.

Stieljes L, Cantagrel J.M, Nougier J., Vatin-Perignon N., Watelet P. (1988) – Carte géologique de Mayotte (Archipel des Comores). Echelle : 1/50 000, Collectivité Départementale de Mayotte. Editions du BRGM.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874-FR, 75 pages, 14 illustrations

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2008) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Application du guide méthodologique sur des bassins test, rapport BRGM/RP-55875-FR, 172 pages, 113 illustrations, 7 annexes.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Seguin J.J, Dörfliger N. (2007) – Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Rapport intermédiaire : synthèse bibliographique et analyse des études réalisées sur le bassin Sine-Normandie, rapport BRGM/RP-55332-FR, 128 pages, 125 illustrations, 8 annexes

Wuilleumier A., Malard A., avec la collaboration de Brugeron A. et Mougin B. (2009) - Etude des bassins d'alimentation des forages de Kawéni - bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli – Mayotte – BRGM/RP-57620-FR. 140 p., 68 ill., 10 tab., 5 ann.

Annexe 1

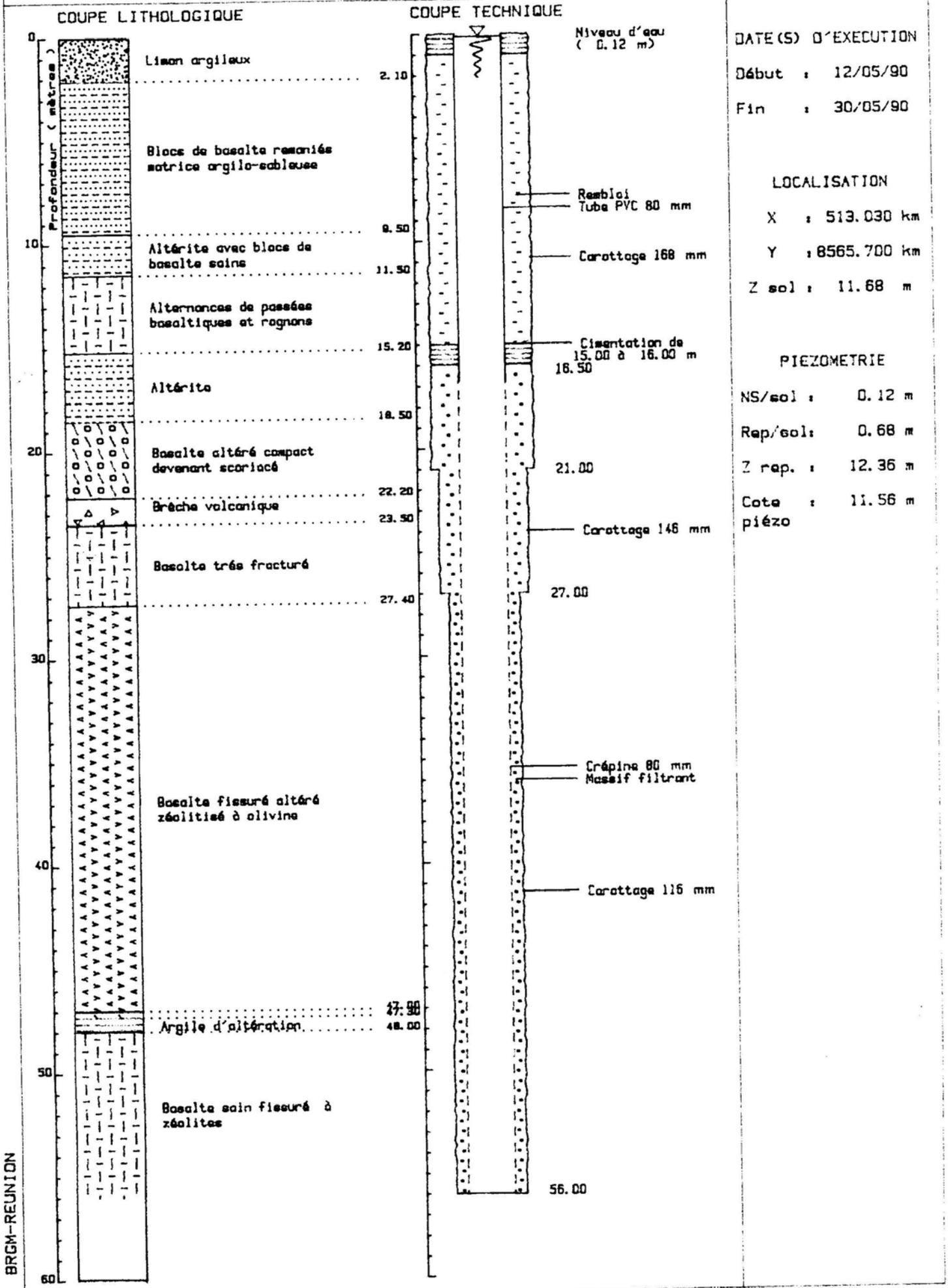
Coupes techniques du piézomètre de M'ronabéja 1 (12316X0031/MRO1) et du forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB)

Département : C. T. DE MAYOTTE

N° classement : 1231-6X-0031

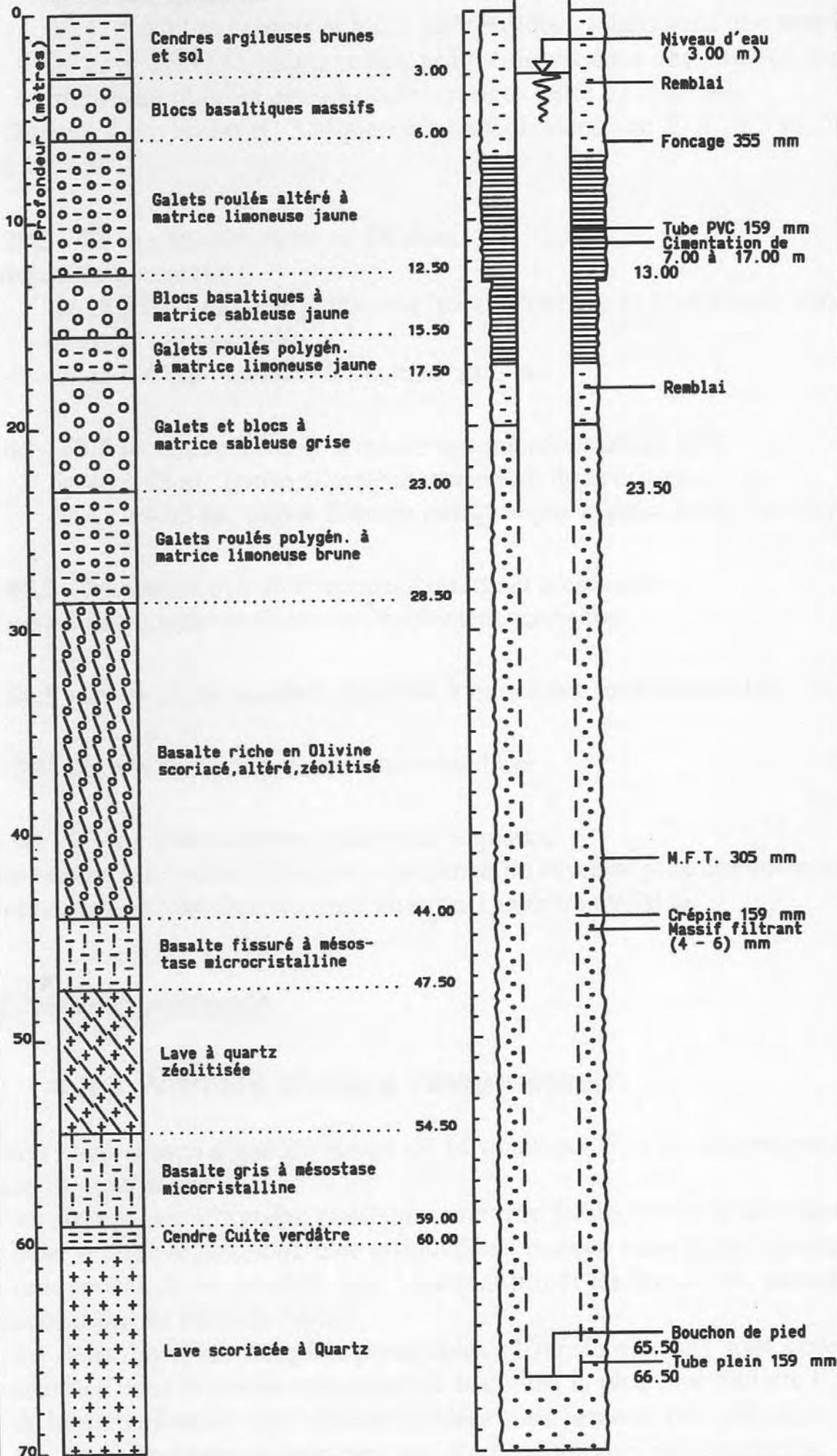
Commune : KANI KELE

Désignation : M'RO 1



COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 10/06/00

Fin : 01/07/00

LOCALISATION

X : 513.470 km

Y : 8565.630 km

Z sol : 7.00 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 3.00 m

Rep/sol : 0.60 m

Z rep. : 7.60 m

Cote : 4.00 m piézo

POMPAGE D'ESSAI

Date : 28/06/00

Durée : 12.0 h

Débit : 15.0 m³/h

Rabat. : 8.94 m

Annexe 2

Analyses physico-chimiques du piézomètre de M'ronabéja 1 et du forage de M'ronabéja 2



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13