

**Etude et délimitation du bassin
d'alimentation du forage de
M'réréni 2 (12312X0035/Mréré2) -
bassin versant du Mroni Bé -
Mayotte**

Rapport final

BRGM/RP-57624-FR

Décembre 2009



DIRECTION
DE L'AGRICULTURE



ONEMA

Office national de l'eau
et des milieux aquatiques



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Etude et délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2 (12312X0035/Mréré2) - bassin versant du Mroni Bé - Mayotte

Rapport final

BRGM/RP-57624-FR
Décembre 2009

Étude réalisée dans le cadre de
la convention R&D ONEMA/DAF/BRGM du 9 juin 2009
et des projets de Service public du BRGM 2009 EAU K71

B. Mougin, A. Malard
Avec la collaboration de
A. Brugeron

Vérificateur :

Nom : A. WUILLEUMIER

Date : 05/12/2009

Signature :

Approbateur :

Nom : P. PUVILLAND

Date : 17/12/2009

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, BAC, aire d'alimentation de captage, eau potable, eau de surface, eau souterraine, aquifères volcaniques, forage, hydrogéologie, vulnérabilité, pressions, Mroni Bé, Mayotte, Comores, France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Mougin B., Malard A., avec la collaboration de Brugeron A. (2009) - Etude et délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2 (12312X0035/Mréré2) - bassin versant du Mroni Bé - Mayotte – BRGM/RP-57624-FR. 78 p., 23 ill., 5 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, de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30/12/2006, et aux exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'eau, il s'est avéré urgent de définir les Bassins d'Alimentation de Captages (dits « BAC » par la suite) destinés à l'alimentation en eau potable, 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 de ces captages ; cette démarche capitale s'inscrit dans une obligation réglementaire et une logique de gestion durable des ressources en eaux à Mayotte.

Lors des comités permanents de la MISEEN¹ du 08/11/2007 et du 03/03/2008, il a été convenu que toutes les prises d'eau et tous les forages d'alimentation en eau potable (AEP) de Mayotte devaient être protégés (soit 14 BAC en tout). Cinq de ces BAC définis comme prioritaires (inscrits en tant que captages Grenelle sur les listes ministérielles) ont déjà été étudiés à travers une convention passée entre la DAF (Direction de l'Agriculture et de la Forêt) et le BRGM et 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 (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 03/10/2008, l'ONEMA (avec le soutien de la DAF) a souhaité poursuivre les études de délimitation pour 4 autres BAC :

- la prise d'eau de surface de Mrowalé (Indice BSS² : 12306X0056/MROCAP) sur le bassin versant du Mro Walé, rapport BRGM/RP-57626-FR ;
- le forage de M'ronabéja 2 (12316X0032/MRONAB) sur le bassin versant du Mroni Antanana, rapport BRGM/RP-57623-FR ;

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

² BSS : Banque du Sous-Sol gérée par le BRGM et accessible sur le site Internet InfoTerre <http://infoterre.brgm.fr/>

- **le forage de M'réréni 2 (12312X0035/Mréré2) sur le bassin versant du Mroni Bé, qui fait l'objet du présent rapport ;**
- la prise d'eau de surface de Longoni (BSS 12307X0144/LONGON) sur le bassin versant du Mro Oua Longoni, dont le fonctionnement est épisodique, rapport BRGM/RP-57625-FR.

2 prises d'eau en rivière et 2 forages d'eau souterraine sont donc étudiés dans le cadre de la convention ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009.

Les 5 bassins restants (14 moins les 5 prioritaires et les 4 cités ci-dessus ; BAC du Mro Oua Kwalé, Kawéni, Andrianabé, Béja et Maré) sont étudiés dans le cadre de la convention SIEAM¹/BRGM du 24 avril 2009.

Le forage de M'réréni 2 n'est pas encore exploité en raison des fortes teneurs en manganèse (supérieures à la concentration maximale admise pour l'eau potable fixée à 50 µg/L) qui nécessite l'ajout d'une unité de traitement aux équipements d'exploitation.

Les résultats de l'étude relative au bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2 montrent que ce dernier s'inscrit dans le bassin versant de surface du cours d'eau Mroni Bé et occupe une surface de 3,7 km² (soit environ 82 % de la surface du bassin versant). Le piézomètre de M'réréni et le forage de M'réréni 1 - situés à proximité et non destinés à l'AEP - sont compris dans le BAC car ils recoupent des niveaux aquifères en connexion avec le forage. La délimitation du BAC épouse celle du bassin versant de surface et ses limites sont repoussées en aval au niveau de la zone d'appel générée par le futur pompage du forage (débit d'exploitation conseillé de 22 m³/h).

L'étude de la vulnérabilité du bassin – basée sur l'utilisation de l'IDPR & de l'indice de rugosité (cf. rapport BRGM/RP-57299-FR) – témoigne d'une couverture relativement ruisselante (lithologie argileuse avec plaines littorales et alluvions) à l'aval du bassin versant du Mroni Bé qui garantit un degré de protection de la ressource (vulnérabilité peu élevée 150 mètres autour du forage). Des faciès plus infiltrants sont observés en amont du bassin versant et supposés comme participants à l'alimentation des niveaux aquifères.

L'inventaire et l'évaluation sur place des pressions du bassin versant fait état : de l'absence d'assainissement des eaux usées, de la proximité de la route CCD5, d'importantes pratiques culturelles de bananeraies et de parcs à zébus.

Par conséquent, le risque de pollution ou de dégradation de la ressource en eau souterraine à proximité du captage s'avère – à l'heure actuelle – assez modéré.

¹ SIEAM : Syndicat Intercommunal des Eaux et Assainissement de Mayotte

Il est néanmoins nécessaire de surveiller attentivement la ressource en eau des BAC et de poursuivre rapidement le programme d'étude qui doit aboutir à l'instauration des périmètres de protection et aux plans d'action adaptés à la protection de la ressource.

La Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales (DASS) de Mayotte et le SIEAM se sont engagés dans une démarche consensuelle et souhaitent à l'avenir étendre ces études et les procédures réglementaires à l'ensemble des captages AEP de l'île ainsi qu'aux forages prochainement mis en exploitation. La réalisation de l'ensemble des BAC de l'île permettra 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) loi sur l'eau du 16 décembre 1964, (ii) 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, (iii) 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 (iv) le Plan National Santé Environnement qui fixe comme objectif que l'ensemble des captages soient protégés en 2010.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation du bassin versant	15
2.1. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT ET DES FORAGES.....	15
2.2. TOPOGRAPHIE	16
2.2.1. Altitude.....	16
2.2.2. Pentes	18
2.3. METEOROLOGIE.....	19
2.3.1. Pluviométrie.....	19
2.3.2. Pluie efficace	21
2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET RECONNAISSANCES DE TERRAIN	22
2.5. MORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE DU COURS D'EAU	27
2.5.1. Présentation du réseau hydrologique.....	27
2.5.2. Etude morphologique du cours d'eau.....	27
2.6. MORPHOPEDOLOGIE.....	30
3. Délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2	33
3.1. LE PIEZOMETRE DE M'RERENI - BSS 12312X0033/M'RE1	33
3.2. LE FORAGE DE M'RERENI 1 - BSS 12312X0034/MRERE1	37
3.3. LE FORAGE AEP DE M'RERENI 2 - BSS 12312X0035/MRERE2	42
3.3.1. Présentation	42
3.3.2. Qualité des eaux.....	45
3.4. DELIMITATION DU BAC DU FORAGE DE M'RERENI 2	47
4. Caractérisation de la vulnérabilité	51
5. Caractérisation des pressions	53
5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN VERSANT DU MRONI BE	53
5.1.1. Urbanisation, aménagement et assainissement des eaux usées.....	53

5.1.2. Activités rurales et agricoles	53
5.1.3. Sites industriels, sites et pratiques domestiques à risques (lessives, décharges sauvages).....	55
5.1.4. Risques naturels	55
5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS	56
6. Evaluation du risque de pollution du bassin d'alimentation de captage.....	59
7. Recommandations	61
8. Conclusion.....	63
9. Références bibliographiques	65

Liste des illustrations

Illustration 1 - Découpage du bassin versant topographique du Mroni Bé et localisation des forages ainsi que du pluviomètre de Poroani au nord (support scan 25 IGN© 1/25 000)	15
Illustration 2 - Carte des altitudes rencontrées dans le bassin versant du Mroni Bé (support MNT IGN© au pas de 25 m)	17
Illustration 3 - Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant du Mroni Bé (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)	17
Illustration 4 - Carte des pentes rencontrées dans le bassin versant du Mroni Bé (support MNT IGN© au pas de 25 m)	18
Illustration 5 - Localisation des postes pluviométriques Météo-France (rouges) et DAF (verts), situés à Mayotte (source : Stollsteiner P. et al., 2009, rapport BRGM-RP-56881-FR) et distribution moyenne des précipitations annuelles à Mayotte (source : Malard A. et al., 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR).....	19
Illustration 6 - Géologie du bassin versant du Mroni Bé (d'après Stieltjes – 1988)	23
Illustration 7 - Carte lithologique interprétative du site de Poroani-M'réréni (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR).....	24
Illustration 8 - Mesures de conductivité (valeurs en $\mu\text{S}/\text{cm}$) et affleurements le long du Mroni Bé (observations du 25 septembre 2009).....	26
Illustration 9 - Profil en long du Mroni Bé, du cours principal et de l'affluent Mroni Kaféni (les annotations correspondent aux limites de la carte géologique). La localisation des profils est donnée en Illustration 10.	28
Illustration 10 – Localisation des profils en long du Mroni Bé et du Mroni Kaféni et des sections de pentes (support IGN© 1/25 000).	29
Illustration 11 - Formations pédologiques du bassin versant du Mroni Bé 1/50 000 (Latrille E. et al. 1981)	30
Illustration 12 - Variations piézométriques du piézomètre de M'réréni entre novembre 1992 et août 2009 (source : DAF). En surimposition sont figurées les précipitations efficaces calculées à la station pluviométrique de Bandrélé sur la même période (source : Météo-France).....	35
Illustration 13 - Forage de M'réréni 1 (photographie BRGM du 25 septembre 2009)	38
Illustration 14 - Variations piézométriques du forage de M'réréni 1 entre septembre 2000 et août 2009 (source : DAF). En surimposition sont figurées les précipitations efficaces calculées à la station pluviométrique de Bandrélé sur la même période (source : Météo-France).....	40
Illustration 15 - Mise en relation des données piézométriques du piézomètre de M'réréni et du forage de M'réréni 1 entre septembre 2000 et août 2009 (données DAF de Mayotte)	41
Illustration 16 - Forage de M'réréni 2 (dans le bâtiment jaune) et piézomètre de M'réréni (tube acier vert) (photographie BRGM du 25 septembre 2009)	43

Illustration 17 - Principe de la zone d'appel d'un forage en exploitation (aire d'alimentation)	48
Illustration 18 - Limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage M'réreni 2 (source : BRGM).....	48
Illustration 19 - Découpage du bassin d'alimentation de captage du forage de M'réreni 2 (bassin versant du Mroni Bé).....	50
Illustration 20 - Résultats du calcul IDPR et rugosité du bassin d'alimentation de captage du forage de M'réreni 2. Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives (source : BRGM).....	51
Illustration 21 - Bananeraie à proximité du forage de M'réreni 1 (photographie BRGM du 25 septembre 2009).....	54
Illustration 22 - Cartographie des pressions exercées sur le bassin versant du Mroni Bé (source : BRGM).....	56
Illustration 23 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain du forage de M'réreni 2 - Bassin versant du Mroni Bé.....	59

Liste des tableaux

Tableau 1 - Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Bandré (985 03 001, source : Météo-France) entre 1986 et 2007 (les années incomplètes sont entre parenthèses et les années erronées sont soulignées)	20
Tableau 2 - Informations relatives au piézomètre de M'réreni (sources : SIEAM et BRGM).....	34
Tableau 3 - Informations relatives au forage de M'réreni 1 (sources : SIEAM et BRGM)	37
Tableau 4 - Informations relatives au forage de M'réreni 2 (sources : SIEAM et BRGM)	42
Tableau 5 - Population du village de Miréréni (chiffres INSEE 2007)	53

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes techniques du piézomètre de M'réreni (12312X0033/M're1), des forages M'réreni 1 (12312X0034/M'réré1) et M'réreni 2 (12312X0035/M'réré2).....	67
Annexe 2 Analyses physico-chimiques des eaux souterraines du bassin versant du Mroni Bé	73

1. Introduction

En 2009, l'île de Mayotte est pourvue de 37 ouvrages d'eau destinés à la consommation humaine en fonctionnement (20 forages ou drains d'eaux souterraines, 16 captages en rivière et une usine de dessalement) qui assurent l'alimentation de plus 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 fait l'objet, il s'avère urgent de mettre en place les pratiques réglementaires de protection des ressources en eau.

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.

Dans le cadre de la convention ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009, le BRGM s'est engagé à mener en 2009 - sur le bassin versant du Mroni Bé - une étude relative à la délimitation et à la caractérisation du Bassin d'Alimentation de Captage concernant le forage de M'réréni 2 (BSS : 12312X0035/M'réré2) ; forage qui n'est pas encore exploité à ce jour.

Ce forage est issu de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines 1999-2000 encadrée par la Collectivité Départementale de Mayotte. Compte tenu des fortes teneurs en manganèse relevées dans le forage, l'équipement initialement installé pour l'exploitation a été retiré. Le SIEAM avait alors envisagé d'équiper ce forage d'une unité de traitement *in-situ* du manganèse.

Concernant la définition de la méthodologie d'étude, le BRGM a travaillé sur l'élaboration d'une méthodologie nationale relative aux eaux souterraines (Vernoux J.F. 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

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.

en milieu fissuré (de type massif alpin) par l'élaboration d'une méthodologie plus spécifique appelée DISCO (OFEFP, version provisoire de 2002).

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 connaissances du milieu et de données qu'il est – à l'heure actuelle – 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 A. et al. 2009, BRGM/RP-57299-FR) adapté au contexte a été conduite 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 à Mayotte comporte trois volets, qui sont les axes usuellement présents dans les méthodologies et qui seront développés dans l'étude du bassin versant du Mroni Bé :

- **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. Dans le cas du Mroni Bé, la délimitation du bassin d'alimentation du forage nécessite de bien connaître le comportement hydrologique des eaux de surface.
- **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 captage souterrain et donc susceptibles de représenter un vecteur de pollution prépondérant en cas de pollution exercée sur la surface du BAC. L'estimation de la vulnérabilité des captages souterrains 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 est exposé.

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.

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 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 le captage en termes de dégradation de la qualité des eaux par pollution diffuse et/ou chronique. Sur la base de ces informations, des recommandations et vigilances particulières seront à observer sur les zones les plus exposées, c'est à dire 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 qui portera sur la poursuite des 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 DES FORAGES

Le bassin versant du Mroni Bé est situé au Sud-Ouest de Mayotte sur la commune de Chirongui et il recoupe sur sa partie amont la commune de Bandrelé. Le cours d'eau s'écoule du Nord-Est au Sud-Ouest et longe les villages de M'réréni Bé et Miréréni avant de rejoindre le lagon dans la baie de Bouéni (cf. illustration 1).

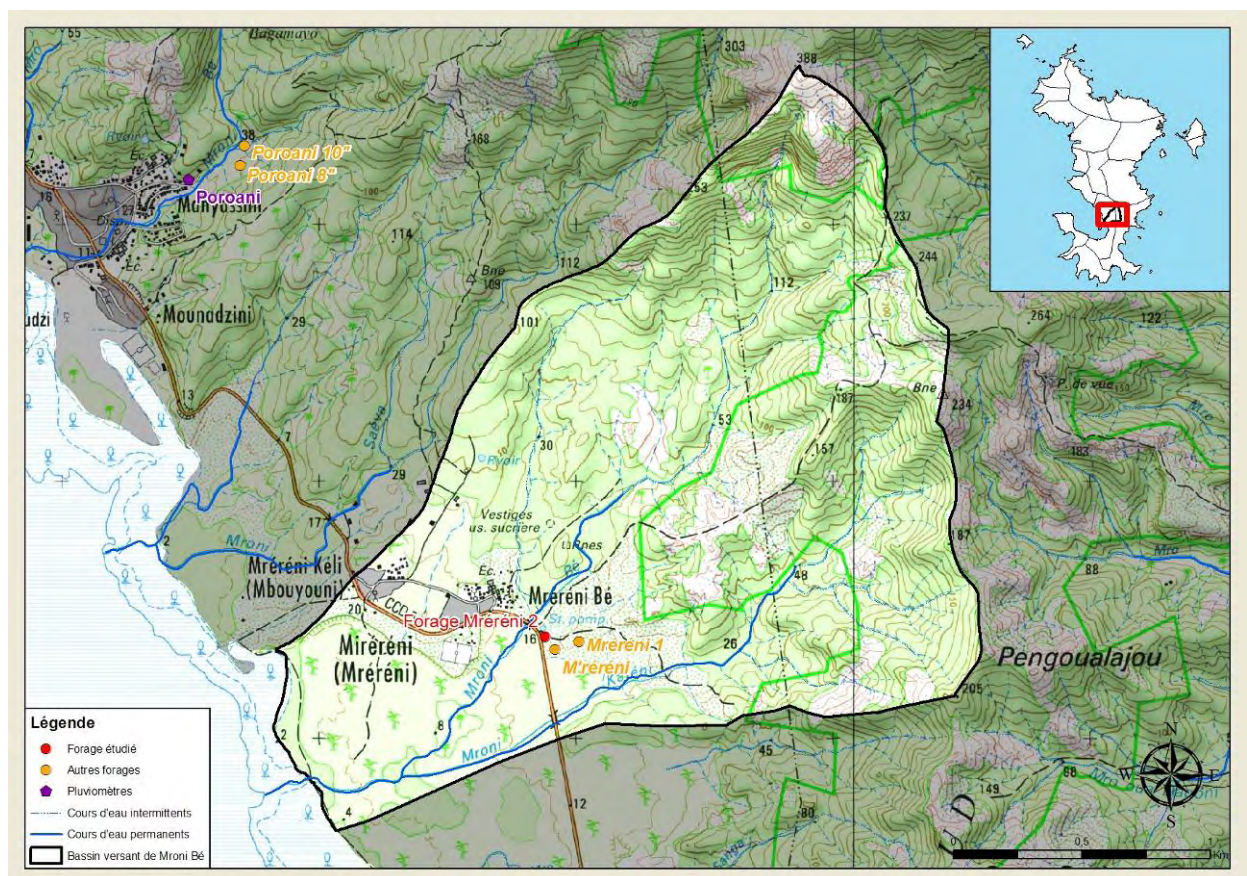


Illustration 1 - Découpage du bassin versant topographique du Mroni Bé et localisation des forages ainsi que du pluviomètre de Poroani au nord (support scan 25 IGN© 1/25 000)

Le bassin du Mroni Bé accueille un ouvrage qui n'est pas encore exploité à ce jour (cf. Illustration 1) : le forage de M'réréni 2 (BSS : 12312X0035/M'réré2).

Deux autres ouvrages existent à côté de ce point d'eau : le piézomètre de M'réréni (12312X0033/M're1) et le forage de M'réréni 1 (12312X0034/M'réré1) dont l'exploitation n'est pas envisagée.

2.2. TOPOGRAPHIE

Le bassin versant du Mroni Bé est délimité par plusieurs reliefs : au Nord un relief au pied de la face Sud du Mlima Bépilipili (388 m NGM), à l'Est une ligne de crêtes entre 187 et 244 m NGM, et au Sud-Est le Pengoualajou (205 m NGM). La partie aval du bassin est relativement plate et elle se termine par une grande bananeraie située entre la route CCD5 et la côte bordée de mangrove.

La surface du bassin versant est de 4.5 km², le périmètre de 9.3 km pour une longueur de 3 km et une largeur de 2.5 km. L'indice de compacité de Gravelius¹ du bassin versant est de 1.23 - ce qui souligne que le bassin est de forme légèrement allongée (Malard A. et al. 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR).

Il s'agit d'un bassin versant de taille supérieure à la moyenne sur l'île (superficie 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 28 km avec pas moins de 20 affluents présents sur le bassin. Le Mroni Bé est le cours d'eau principal et son écoulement est permanent jusqu'à environ 350 m d'altitude. Au Sud du bassin versant, l'affluent Mroni Kaféni rejoint la rive gauche du cours d'eau principal à 410 m de son exutoire.

La distance entre l'extrême amont du cours d'eau et l'embouchure est de 3.9 km.

2.2.1. Altitude

Le bassin versant culmine à 388 m au niveau de la pointe Nord du bassin versant et près de 80 % de la surface du bassin versant est comprise entre 0 et 150 m NGM (cf. Illustration 2 et Illustration 3).

Sur le bassin versant du Mroni Bé, l'altitude moyenne est de 86 m NGM.

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

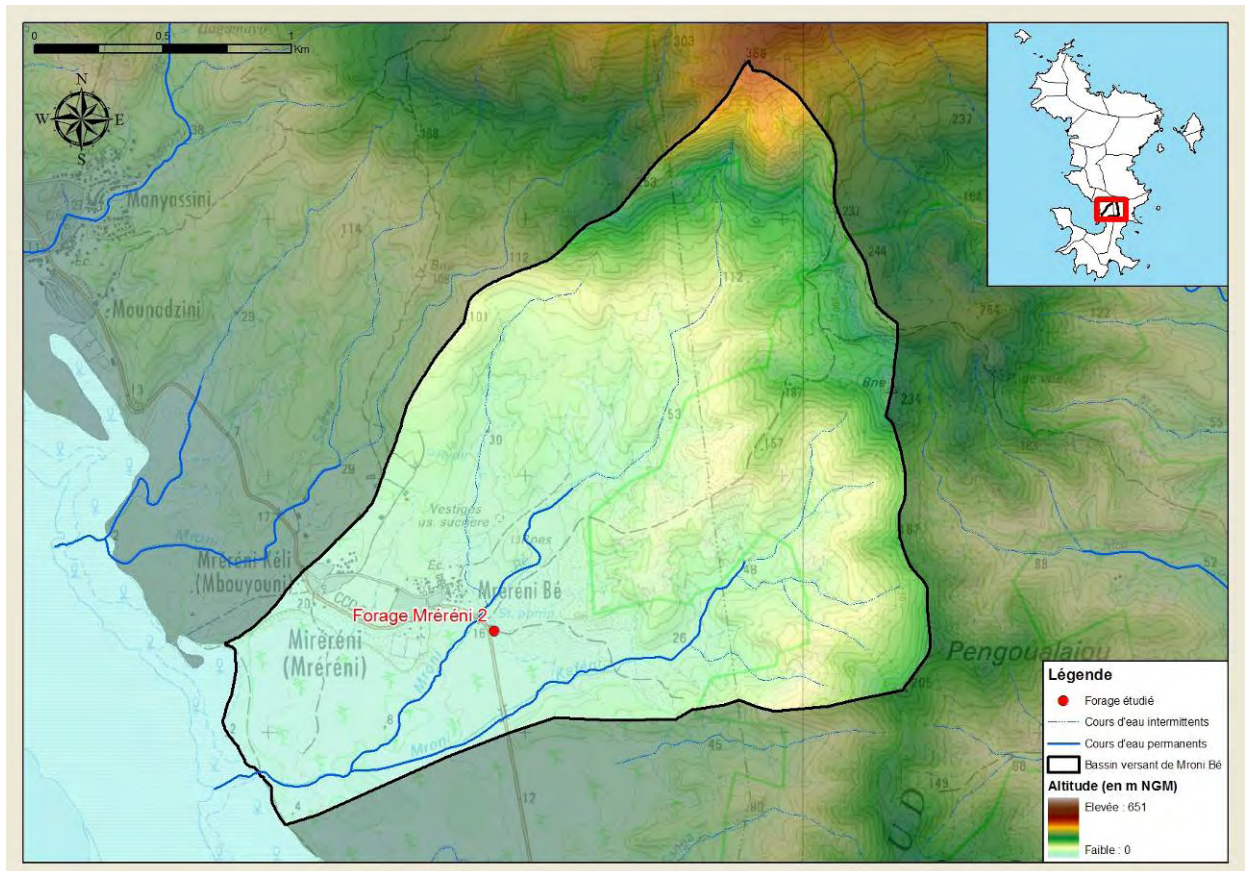


Illustration 2 - Carte des altitudes rencontrées dans le bassin versant du Mroni Bé (support MNT IGN© au pas de 25 m)

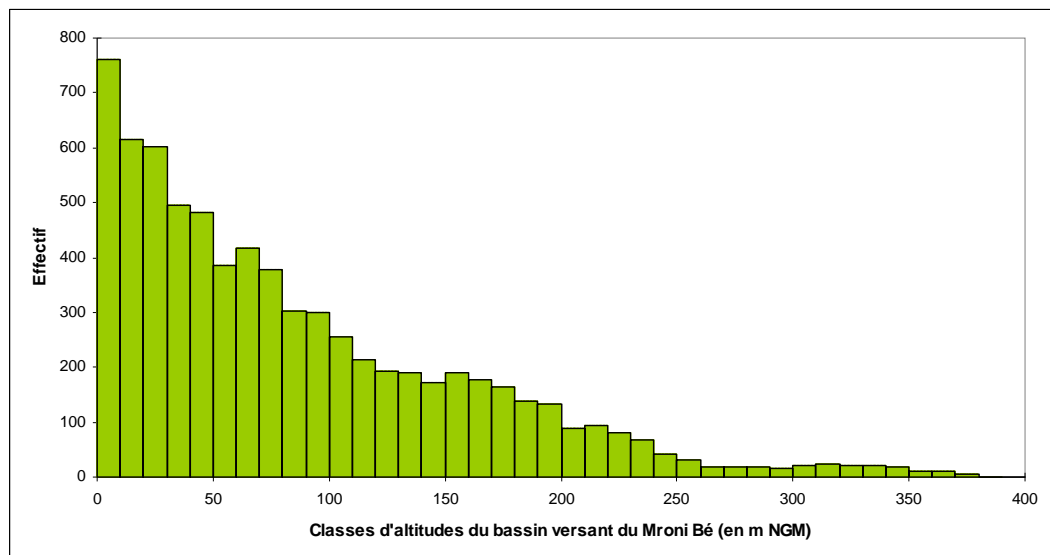


Illustration 3 - Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant du Mroni Bé (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)

A noter la décroissance exponentielle sur l'histogramme entre l'exutoire (classes d'altitudes faibles) et le sommet du bassin (classes d'altitudes fortes). Ceci indique que les reliefs entourant ce bassin versant ont des d'évolutions comparables (faible contraste de relief).

Les altitudes supérieures à 250 m NGM sont en très faible nombre sur le bassin (environ 3 % des effectifs du bassin).

2.2.2. Pentes

La carte des pentes est présentée sur l'illustration ci-après. Le fond de la vallée du Mroni Bé est relativement plat, et seule la partie Nord qui compose les versants du Mlima Bépilipili présente des pentes plus élevées (supérieures à 30° par endroit). Par comparaison avec d'autres bassins versants de Mayotte, celui du Mroni Bé est relativement monotone.

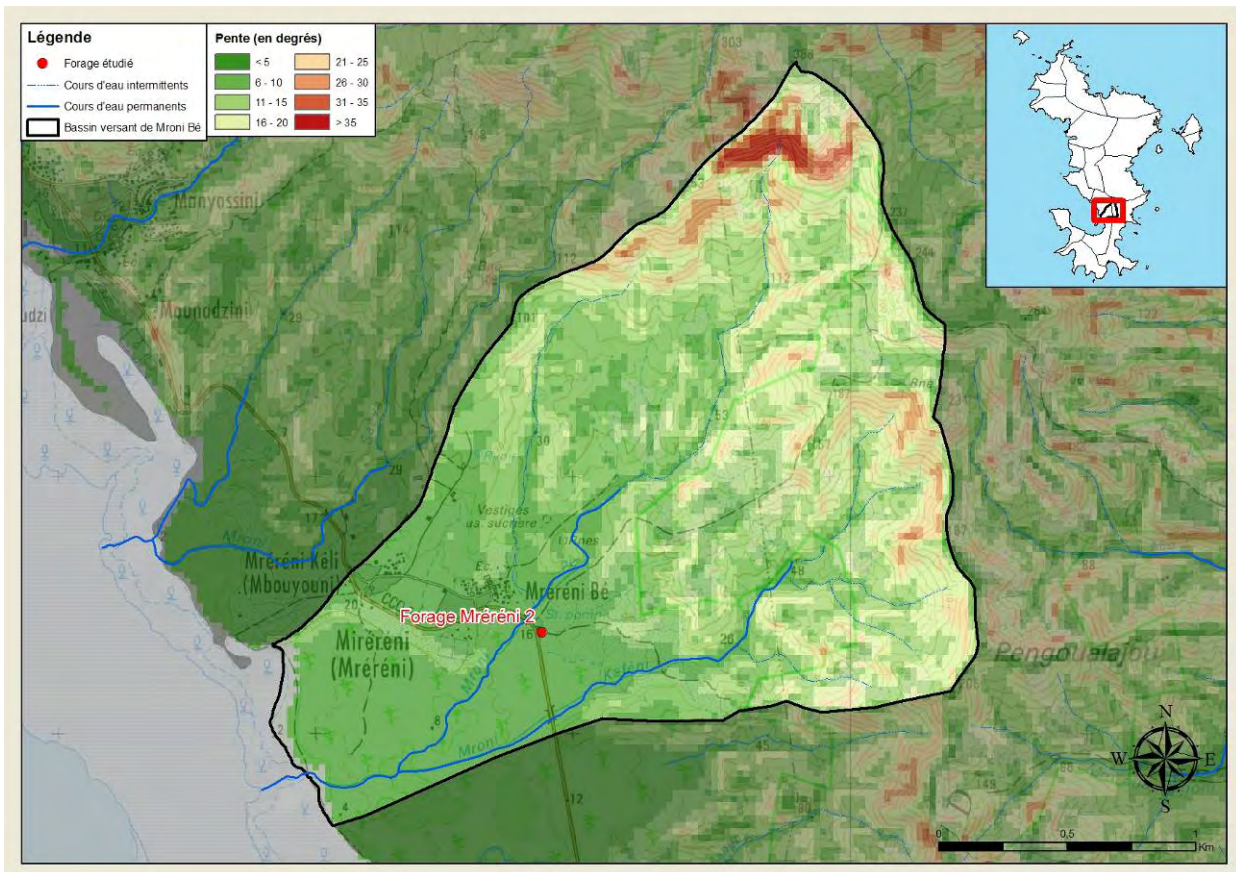


Illustration 4 - Carte des pentes rencontrées dans le bassin versant du Mroni Bé (support MNT IGN© au pas de 25 m)

Les plus fortes pentes sont localisées au Nord du bassin versant topographique et les rives gauches du cours d'eau montrent des pentes plus abruptes (qui peuvent être dues à une dissymétrie des profils d'incision).

2.3. METEOROLOGIE

2.3.1. Pluviométrie

Les postes pluviométriques suivis à Mayotte et la carte de distribution moyenne des pluies sur Mayotte sont présentés dans l'illustration 5 ci-dessous.

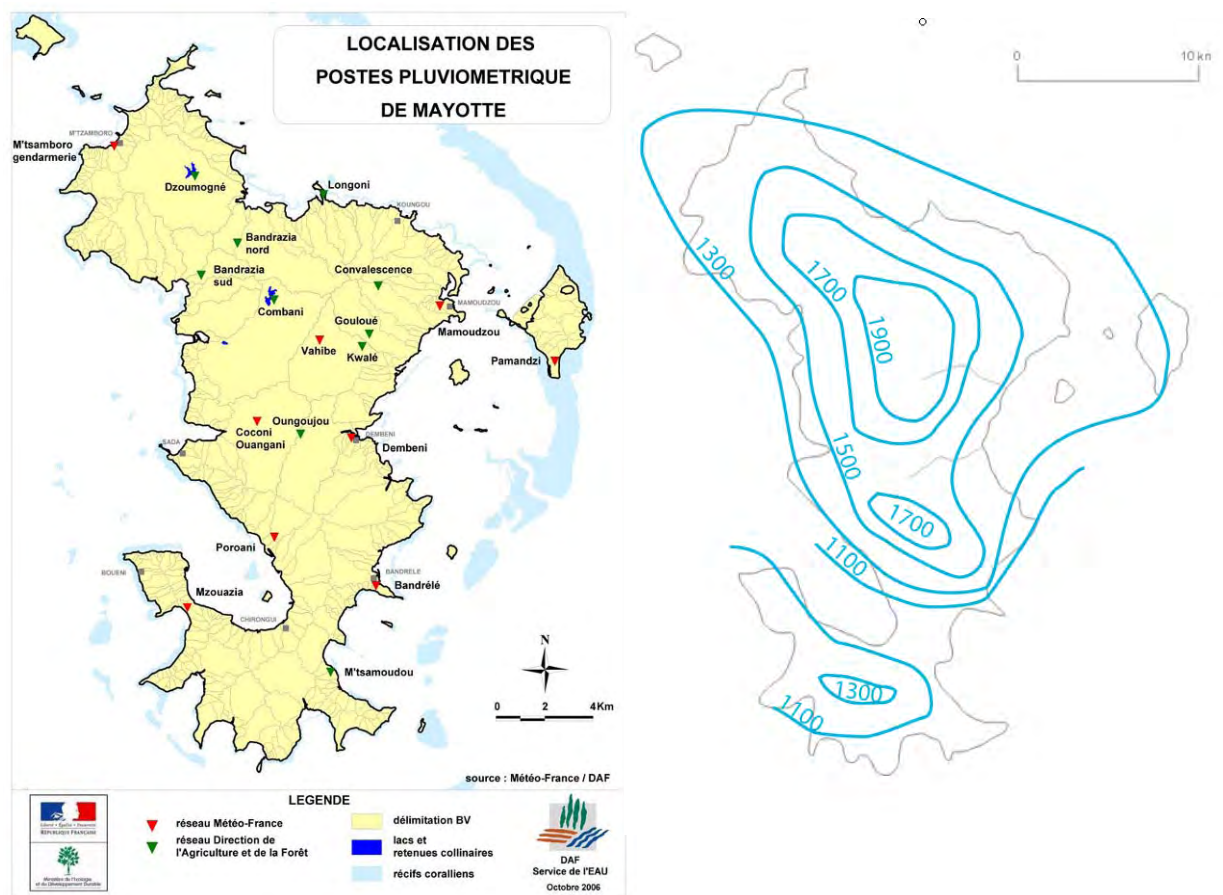


Illustration 5 - Localisation des postes pluviométriques Météo-France (rouges) et DAF (verts), situés à Mayotte (source : Stollsteiner P. et al., 2009, rapport BRGM-RP-56881-FR) et distribution moyenne des précipitations annuelles à Mayotte (source : Malard A. et al., 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR)

Aucun pluviomètre n'est présent à l'intérieur du bassin versant du Mroni Bé. Le réseau de surveillance de Météo-France possède cependant des stations situées à proximité :

- la station météorologique « Poroani Musée » (indicatif Météo-France 985 06 002), située à environ 2,3 km au Nord-ouest du forage M'réréni 2, à une altitude de 20 m NGM ;
- la station « Bandrélé » (indicatif Météo-France 985 03 001), située à environ 4,1 km à l'Est du forage M'réréni 2, à une altitude de 20 m.

La station pluviométrique de Poroani est suivie par Météo-France depuis le 01/05/2004. La DAF a également suivi une station à Poroani mais positionnée à une altitude de 49 m NGM entre février 1999 et septembre 2002 (code DAF A4, le « A » signifie pluviomètre automatique). En raison du faible nombre d'années mesurées (3.5 + 5 ans), de l'interruption des mesures pendant 2 ans et du déplacement de la station, il est délicat d'utiliser les données de cette station dans ce rapport.

Les chroniques des précipitations sont enregistrées depuis le 01/02/1986 à la station de Bandrélé et présentées dans le Tableau 1.

Suite à l'analyse des pluviométries journalières mesurées (Stollsteiner P. et al., 2009, rapport BRGM-RP-56881-FR) plusieurs années ont été considérées comme erronées (pluviométrie fortement sous estimée en 1990-1991-1992-1993 ; cumuls annuels soulignés dans le Tableau 1) et d'autres sont incomplètes (1986-1988-2005 ; cumuls annuels indiqués entre parenthèses).

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Cumul annuel (mm)	(742.1)	804.9	(1164.7)	1176.6	<u>483.1</u>	<u>904.8</u>	<u>491.2</u>	<u>395.4</u>	1367.0	1544.6	1599.8
Années	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Cumul annuel (mm)	1320.5	1284.2	1408.6	1138.3	1043.4	1600.1	1263.1	1501.6	(802.8)	1224.9	1328.4
Moyenne de 1986 à 2008 (mm)	(1117.7)	22 années									
	<u>1239.8</u>	18 années									
	1307.1	15 années									

Tableau 1 - Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Bandrélé (985 03 001, source : Météo-France) entre 1986 et 2007 (les années incomplètes sont entre parenthèses et les années erronées sont soulignées)

Les précipitations moyennes inter-annuelles ont été calculées de trois façons : en prenant toutes les années (moyenne entre parenthèses sur 22 années), en enlevant les années erronées (moyenne soulignée, 18 années), en enlevant les années erronées et incomplètes (15 années). Compte-tenu de ces remarques et de façon à avoir une moyenne fiable, la valeur de 1307 mm est retenue.

Cette moyenne inter-annuelle est proche des isohyètes de pluies inter-annuelles (environ 1400 mm pour Bandrélé) présentées dans le rapport BRGM/RP-57299-FR (Malard A. et al., 2009) et sur l'illustration 5.

Au regard de l'altitude moyenne du bassin versant (environ 86 m NGM), de l'altitude de la station Bandrélé (20 m NGM) et de la carte des isohyètes (sur le bassin de Mroni Bé, le cumul de pluie augmente de façon régulière en s'éloignant de la côte vers le Nord-est), la valeur moyenne des précipitations de 1307 mm sera à considérer comme valeur basse.

2.3.2. Pluie efficace

Le calcul de pluie efficace se fait à partir des données de pluie, d'ETP (évapotranspiration potentielle) et de RFU du sol (réserve facilement utilisable) qui permettent de calculer l'évapotranspiration réelle. Une RFU de 100 mm a été considérée comme représentative à l'échelle de Mayotte (valeur usuelle utilisée dans les travaux de Lapègue, 1999).

Il est rappelé que la pluie efficace correspond à l'ensemble de l'eau disponible pour les écoulements, qu'ils soient de surface ou souterrain.

Un calcul des pluies efficaces tombant sur le bassin versant du Mroni Bé a été réalisé à partir de cette station pluviométrique (Bandrélé) et des valeurs d'ETP moyennes mensuelles calculées sur la période 1967-1975 à Coconi (Lapègue J. 1999, altitude annoncée à 90 m NGM).

Pour cette étude, les données de pluies récupérées à Bandrélé sont mensuelles entre 1986 et 2001, et journalières entre 2002 et 2007.

Sur la période 2002-2007 (données journalières de pluies), le calcul montre que 37 % des pluies sont des pluies efficaces. Le calcul réalisé avec des données mensuelles entre 1986 et 2007 indique que 28 % des pluies sont des pluies efficaces. La réalité doit se situer dans cette fourchette de valeurs (puisque la pluviométrie de la période 2002-2007 a une moyenne interannuelle de 1384 mm/an, très proche de celle évoquée ci-dessus : 1307 mm/an sur la période 1986-2007).

Dans la suite de ce rapport les pluies efficaces journalières seront utilisées pour analyser les variations piézométriques.

2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET RECONNAISSANCES DE TERRAIN

En plus des informations portées par la carte géologique de Mayotte (Stieltjes, 1988), des études complémentaires ont permis de préciser les faciès lithologiques et les géométries des formations, cf. les travaux de 2000 à 2002 (rapports BRGM/RP-51498-FR et BRGM/RP-50428-FR).

Géomorphologiquement, le bassin versant s'insère dans la partie Est et interne de l'ancienne caldera de l'édifice du sud, caldera orientée Sud-est Nord-ouest qui forme aujourd'hui la Baie de Bouéni et qui est égueulée vers l'Ouest.

Les formations géologiques composant le bassin versant du Mroni Bé sont relativement homogènes. D'après la carte géologique (cf. Illustration 6) les versants du bassin sont identifiés comme étant les séries basaltiques (basaltes à néphéline) formant la base de la série méridionale. Ces formations sont souvent altérées, notamment au niveau des crêtes et les formations héritées sont de type badlands ou « padzas » en shimahorais. Ces formations sont présentes au niveau des crêtes et des reliefs escarpés.

Au sommet du bassin, c'est-à-dire au-delà de 250 m NGM, il est fait mention de dépôts de colluvions, de type colluvions de bas de pentes issus de la dégradation mécanique des versants (présence de blocs).

A la base du bassin versant, les environnements proxy-littoraux - c'est-à-dire sous 20 m NGM - sont identifiés comme des plaines alluviales. La composition des formations est indiquée dans le chapitre 2.6.

Les formations de fond de vallée sont relativement peu développées en surface. Il s'agit d'alluvions et de colluvions de nature plutôt sablo-argileuse avec présence de blocs encaissés (souvent altérés).

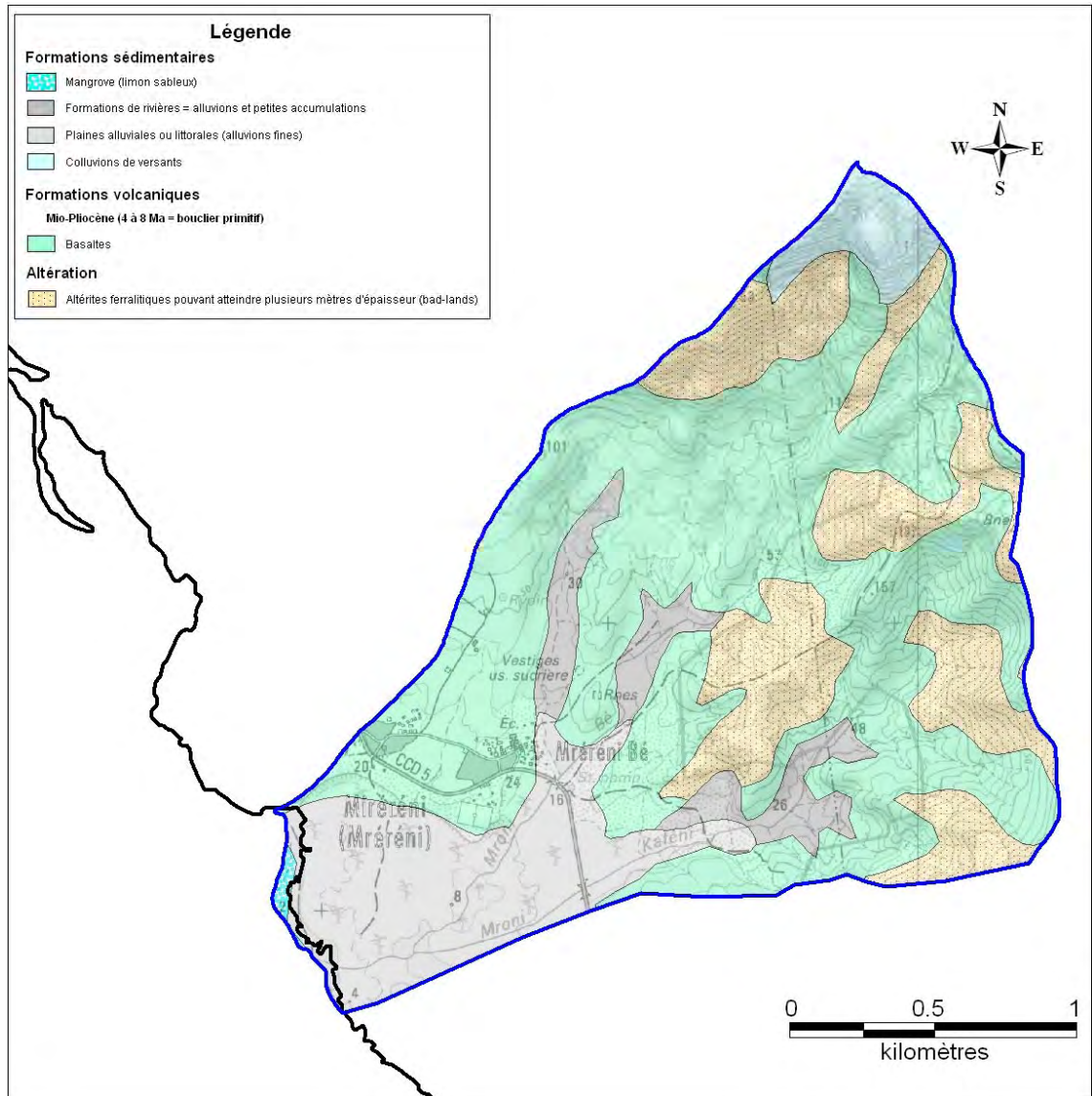
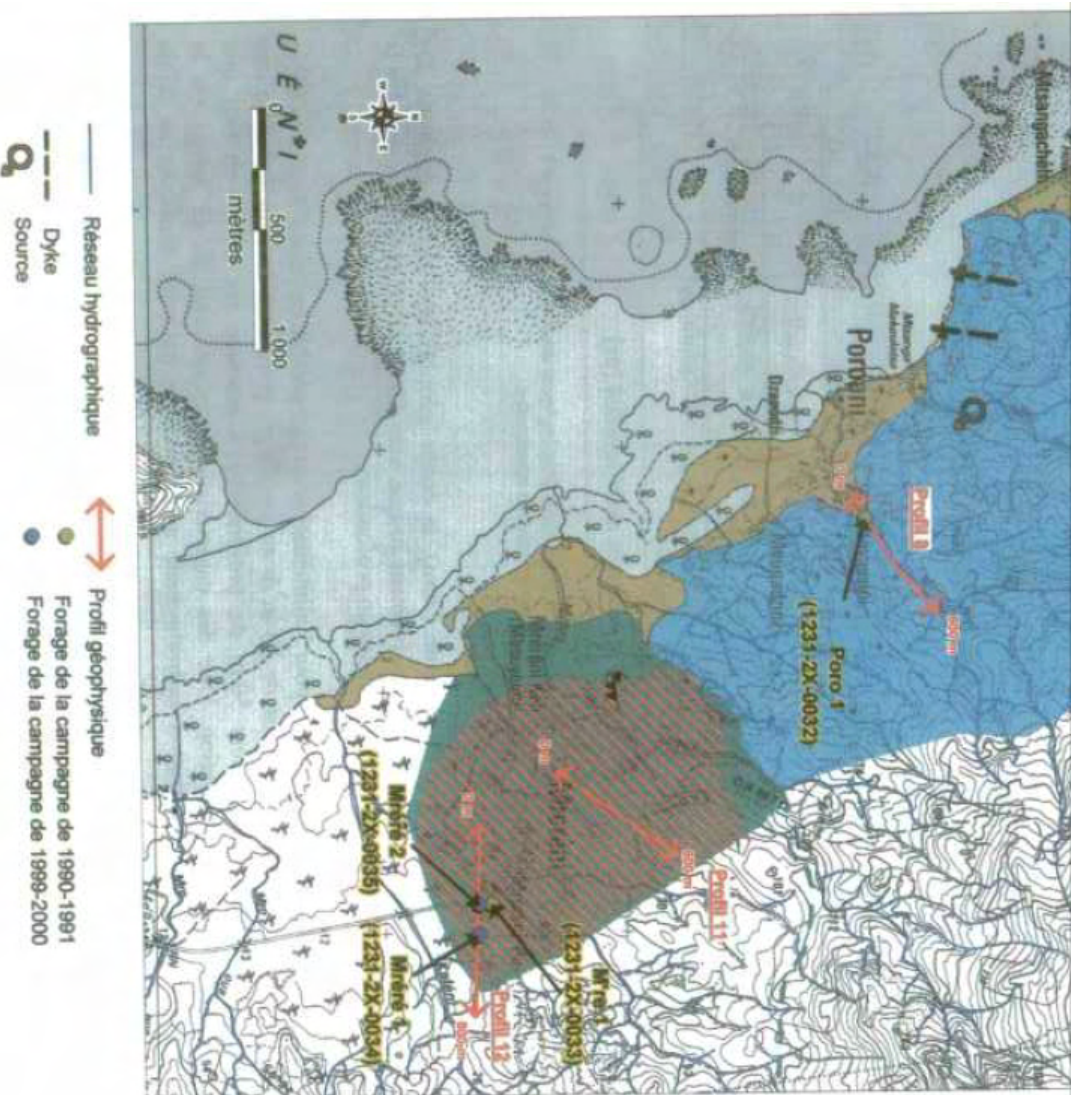


Illustration 6 - Géologie du bassin versant du Mroni Bé (d'après Stieltjes – 1988)



- 1. Formations sédimentaires récentes**
- Dépôts fluviaux et de mangrove
- 2. Formations volcaniques en relation avec le Massif Sud**
- Coulee massive de basalte riche en pyroxène avec quelques feldspaths
- Dépôts pyroclastiques**
- Eléments grossiers à structure bréchique
 - Eléments fin à structure « centreuse »
 - Saupoudrage de surface
- Unité de basalte est riche en petites olivines

Illustration 7 - Carte lithologique interprétative du site de Poroani-M'réni (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR)

En complément de la carte géologique, la carte lithologique détaillée en page précédente montre 4 principaux ensembles géologiques (cf. Illustration 7) ; il s'agit :

- de coulées massives, d'épaisseur plurimétrique à décamétrique, de basaltes riches en pyroxènes avec quelques feldspaths, qui affleurent très largement en bordure Ouest du bassin ; elles sont très peu altérées en surface ;
- des brèches d'explosion riches en pyroxènes, observées en rive droite du Mroni Saéva (cours d'eau mitoyen du Mroni Bé à l'Ouest). Les informations recueillies lors de la foration des deux forages de M'réréni 1 et 2 (voir chapitres 3.2 et 3.3. et Annexe 1) suggèrent que ces formations cendreuses et bréchiques, d'une épaisseur de 10-15 m, nappent l'ensemble du secteur de M'réréni ;
- de formations sous jacentes, observées au sein des forages existants (M'réréni, M'réréni 1 et 2, voir chapitres 3.1, 3.2. et 3.3. et annexe 1), et composées de basalte plus ancien à zéolithes montrant à la fois olivine et pyroxène. Ces basaltes constituent le substratum des basaltes à pyroxènes ;
- les formations alluviales récentes sont limitées à la partie aval des cours d'eau.

La sortie de reconnaissance du 25 septembre 2009 a permis de vérifier ou de préciser certains points de géologie. Il y a quelques affleurements sur le bassin (cf. Illustration 8) et les formations alluvionnaires qui tapissent les fonds de vallées sont relativement développées.

Des formations basaltiques affleurant en rive gauche de rivière dès 60-70 m NGM ont été identifiées comme des basaltes très altérés à feldspaths et fantômes de minéraux, avec plusieurs traces d'altération hydrothermale et zéolithes. Ces formations très altérées sont sans-doute à rattacher aux laves recoupées par les forages du bassin, composées de basaltes à zéolithes montrant à la fois olivine et pyroxène.

Des formations de type pyroclastites altérées ont également été observées en rive gauche du Mroni Bé vers 35-50 m NGM. Elles confirment le nappage des formations cendreuses et bréchiques sur les laves évoquées ci-dessus.

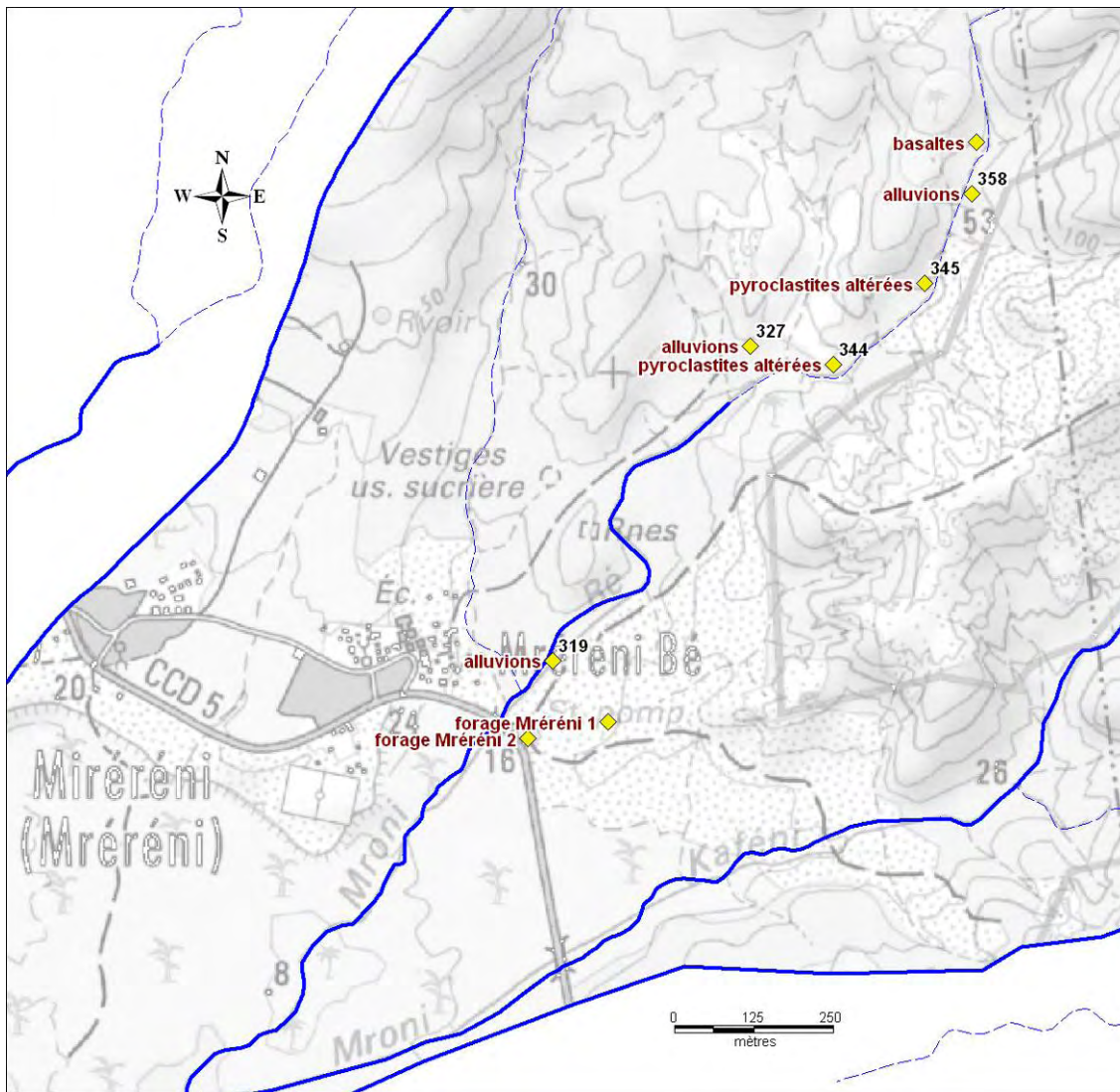


Illustration 8 - Mesures de conductivité (valeurs en $\mu\text{S}/\text{cm}$) et affleurements le long du Mroni Bé (observations du 25 septembre 2009)

2.5. MORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE DU COURS D'EAU

2.5.1. Présentation du réseau hydrologique

Le Mroni Bé est en réalité la réunion de deux cours d'eau vers 6 m NGM : le Mroni Bé et le Mroni Kaféni (cf. Illustration 1).

Le réseau hydrographique du bassin versant est plutôt développé dans sa partie Nord. L'activité hydrologique du Mroni Bé est visiblement plus élevée que celle du Mroni Kaféni. Le développement du réseau hydrographique du bassin montre une densité de drainage (D_d) de 2,2 km/km² et une densité hydrographique (F) de 1,6 canaux/km² environ. Ces densités sont inférieures aux valeurs moyennes de l'île (2,4 km/km² pour D_d et 1,9 canaux/km² pour F), ce qui suggère que le bassin est probablement plus propice aux infiltrations qu'aux ruissellements.

La rivière principale du bassin ne fait l'objet d'aucun suivi de la DAF (aucune station de jaugeage) compte tenu de la faiblesse de son activité hydrologique.

La reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009 a permis d'observer des débits relativement faibles (quelques L/s) et de mesurer quelques valeurs de conductivité : les valeurs s'étendent de 319 μ S/cm en aval à 358 μ S/cm en amont (cf. Illustration 8). Ces observations montrent un appauvrissement des eaux de l'amont vers l'aval qui pourrait correspondre à une diminution de la part des eaux souterraines dans le cours d'eau et à une contamination par des eaux de surface moins chargées (quelques affluents ont pu être relevés le long du linéaire du Mroni Bé). Ceci peut être mis en lien avec des phénomènes d'infiltration le long du cours d'eau ou à un enrichissement progressif par des eaux superficielles (phénomènes non mis en évidence sur le terrain).

2.5.2. Etude morphologique du cours d'eau

L'examen du Mroni Bé et du cours d'eau secondaire (le Mroni Kaféni) entre l'exutoire et les reliefs amont montre des profils en long similaires (cf. Illustration 9). Dans le détail, en remontant de l'aval vers l'amont, il est possible de distinguer 5 sections singulières :

- une première section commune aux deux cours d'eau qui se développe entre l'exutoire du bassin versant et l'altitude 20 m NGM et correspondant à la plaine littorale du Mroni Bé. C'est dans cette zone qu'est implanté le forage de M'réréni 2 et où la confluence Mroni Bé / Mroni Kaféni se réalise. Cette section se développe sur environ 1610 m et est marquée par une pente très faible (0,011 m/m soit 1,1 %) ;
- une seconde section plus courte, qui se développe sur 650 m de linéaire entre 20 et 45 m NGM et qui se démarque par un redressement de la pente du cours d'eau (3,8 %). Elle est également commune aux deux cours d'eau ;

- une troisième section de pente intermédiaire (8.4 %) et qui se développe sur 810 m entre 45 et 110 m NGM. Cette section est commune au Mroni Kaféni jusqu'à l'altitude 80 m NGM ;
- une quatrième section qui se développe sur 460 m entre 110 et 200 m NGM - montre une pente relativement forte (19,1 %). Pour le Mroni Kaféni, cette section a une pente un peu plus forte (19,5 %) ;
- une cinquième et dernière section qui se développe au-dessus de 200 m NGM pour le Mroni Bé (155 m NGM pour le Mroni Kaféni), commune aux deux cours d'eau et qui remonte jusqu'aux sommets du bassin versant (355 m NGM). La pente de cette section est la plus forte observée sur le bassin et est supérieure à 40 %.

Ainsi, synthétiquement, le bassin se décompose : à l'amont par de forts reliefs à forte pente (sections 4 et 5) qui débouchent dans une vallée intermédiaire de pente moins forte (section 3) qui débouchent à leur tour dans une plaine littorale (sections 1 et 2).

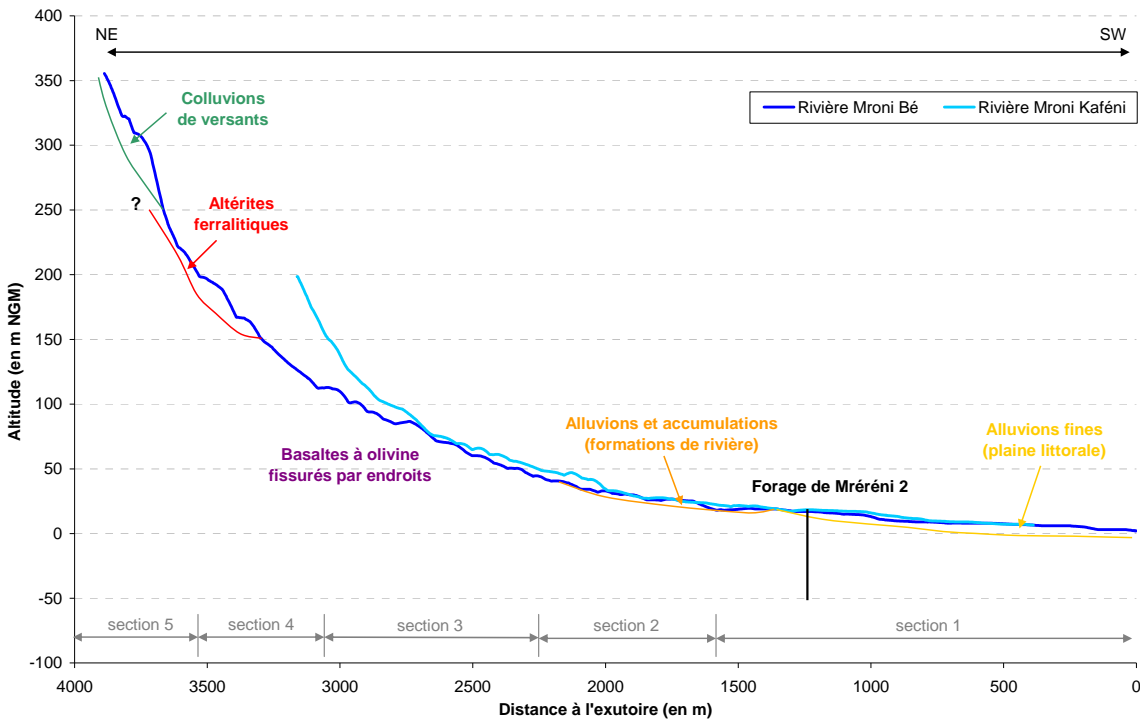


Illustration 9 - Profil en long du Mroni Bé, du cours principal et de l'affluent Mroni Kaféni (les annotations correspondent aux limites de la carte géologique). La localisation des profils est donnée en Illustration 10.

En associant les informations géologiques, il est possible de rattacher les sections 1 et 2 aux formations alluviales (plaine littorale et accumulation de fond de rivière), et les sections suivantes aux formations basaltiques. Les colluvions de versant se développent sur les plus fortes pentes (section 5), tout comme les altérites (section 4). D'après les observations de terrain (cf. Illustration 8), la section 3, à pente

intermédiaire, peut être composée de formations pyroclastiques qui recouvrent les unités basaltiques.

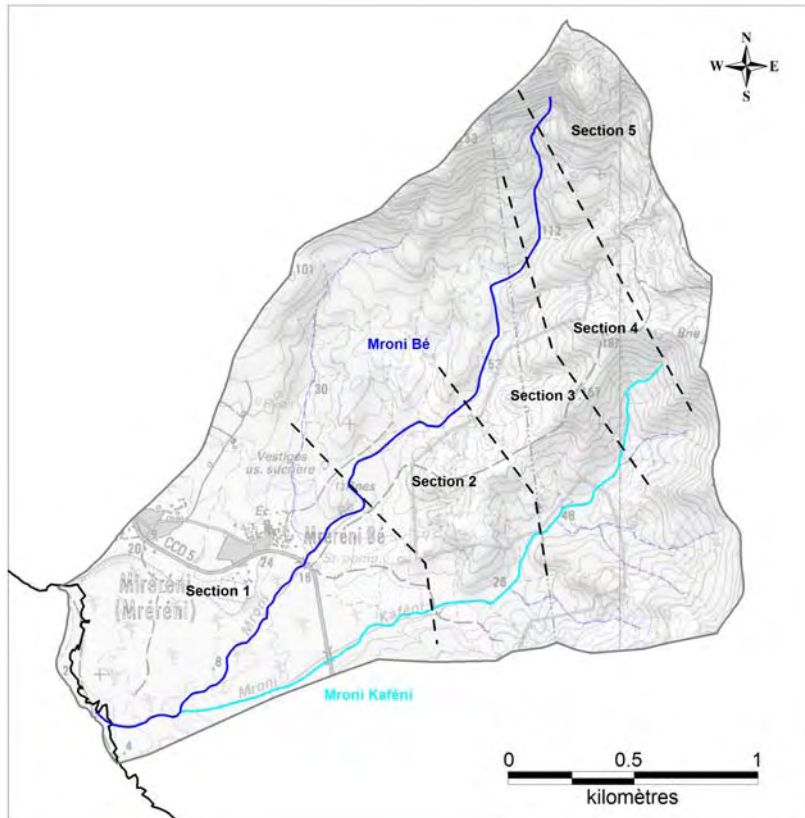


Illustration 10 – Localisation des profils en long du Mroni Bé et du Mroni Kaféni et des sections de pentes (support IGN© 1/25 000).

Il n'y a pas de ruptures de pentes notoires comme il est possible d'observer sur une large majorité de bassins versants à Mayotte, la pente du cours d'eau est progressivement régressive d'amont en aval. Cette observation laisserait supposer une certaine uniformité géologique dans les formations (absences de discontinuités dues par exemple à un recouvrement par une coulée plus récente et plus massive, etc.), le relief massif en amont et les produits de dégradation en aval.

Au niveau de la partie peu pentue du bassin, l'eau du Mroni Bé est relativement stagnante mais sans trace de pollution significative (des petits poissons, signes d'une qualité relative des eaux, y ont été aperçus) et le débit est faible.

2.6. MORPHOPEDOLOGIE

En ce qui concerne les formations pédologiques superficielles, il apparaît qu'elles sont relativement hétérogènes à l'échelle du bassin versant. En se basant sur les informations de la carte morphopédologique du CIRAD (Latrille, 1981 cf. Illustration 11) le bassin montre les faciès évoqués ci-dessous.

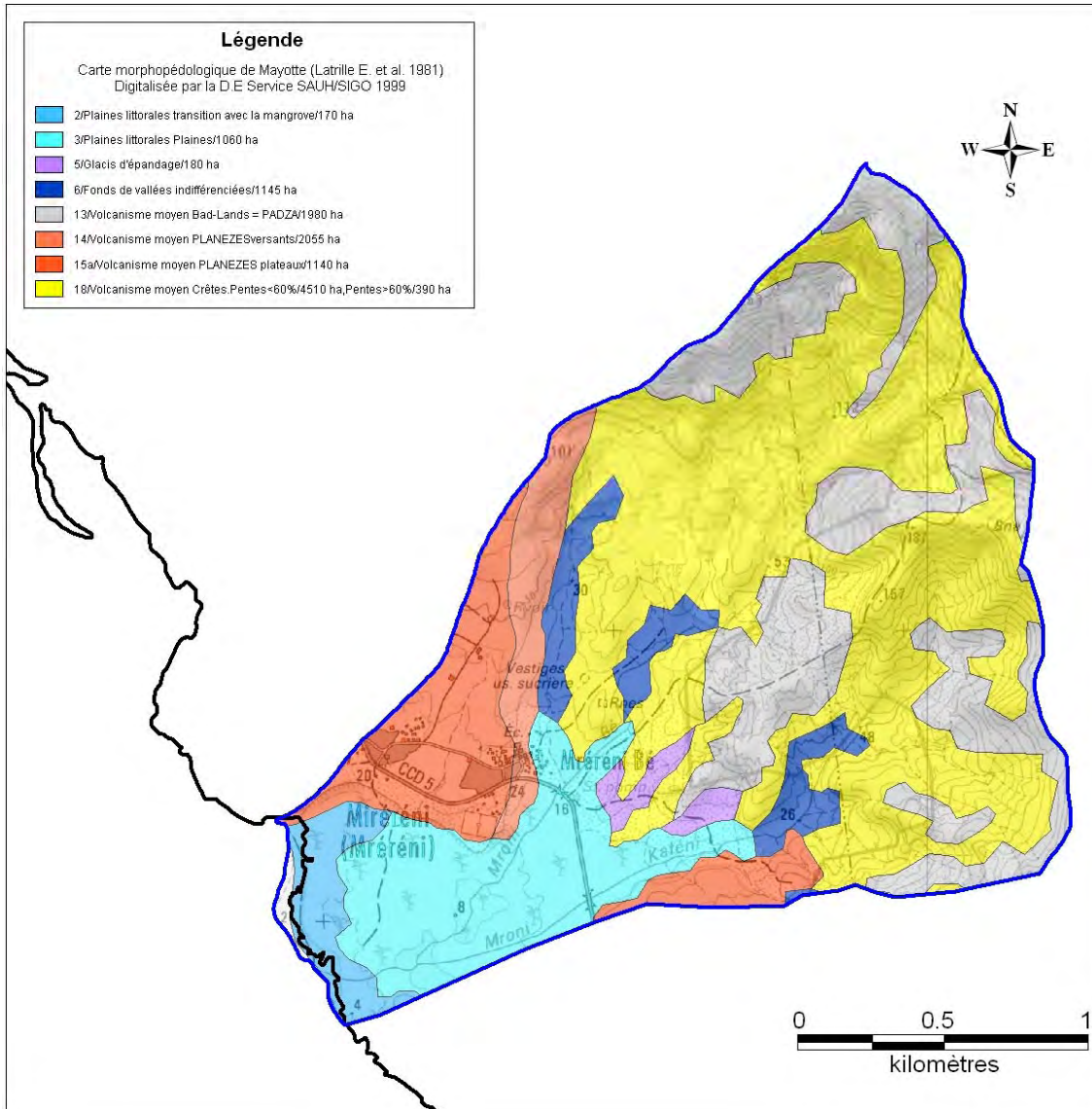


Illustration 11 - Formations pédologiques du bassin versant du Mroni Bé 1/50 000 (Latrille E. et al. 1981)

Toute la partie amont du bassin - notamment les versants à partir de 20 m NGM - montre des sols bruns jeunes issus des activités volcaniques du Mont Bénara. Il s'agit

de sols peu évolués et peu développés tapissant les crêtes et pentes du bassin versant. Ces sols, souvent remaniés et d'épaisseur assez faible sont relativement favorables à l'infiltration. Localement l'absence de sols provoque l'affleurement de la roche mère en place.

Aux endroits où ces versants sont incisés par les cours d'eau se développent des formations alluvionnaires et ou colluvionnaires de fond de vallée. Ces formations se distinguent par l'accumulation des produits de dégradation du bassin avec blocs déplacés et graviers altéritiques encaissés dans des formations sablo-argileuses. Ces formations ont une perméabilité très variable d'une vallée à l'autre selon les compositions et les phénomènes de tassement / remaniement.

Les crêtes et sommets des versants du bassin montrent localement des formations de type badlands (ou « padzas » en shimahorais). Ces formations se caractérisent par une perméabilité verticale élevée dans les premiers mètres mais très imperméables en profondeur (Lapègue J. 1999). Il est intéressant de noter que ces faciès sont relativement bien développés et ceinturent presque intégralement le bassin versant.

En aval du bassin se développent des formations de plaines littorales, quasiment jusqu'au village de M'réréni, et ce jusqu'à 20 m NGM. Il s'agit de l'accumulation de produits d'érosion du bassin, majoritairement argilo-sableux mais aussi des alluvions vasardes dus aux environnements de transition (déplacement des mangroves, etc.). Ces formations se distinguent des alluvions de fonds de vallées et des glacis d'épandage car plus argileuses.

Par ailleurs, au niveau des villages de M'réréni et remontant le versant, entre la côte et le point coté 101 m NGM, mais aussi en rive gauche du Mroni Kaféni se développent des sols identifiés comme des altérites ferralitiques en place. Il s'agit de sols évolués, altérés sur place et souvent épais. Ces sols induisent des morphologies de type planèzes¹ à l'échelle du paysage. Ces formations sont souvent peu perméables.

Ainsi, en conclusion, il est important de noter que la majorité des versants du bassin est composée de sols jeunes et bruns à perméabilité relative. Les formations de type fond de vallées sont peu développées, probablement en raison des linéaires courts des cours d'eau. La présence de formations de type badlands, majoritairement imperméables, permet de diminuer le degré de vulnérabilité des eaux souterraines dans le bassin.

Par la suite, l'utilisation de l'IDPR² pour le calcul de la vulnérabilité des eaux souterraines (cf. chapitre 4) viendra confirmer, infirmer ou nuancer ces observations.

¹ Relief constitué par une coulée volcanique peu inclinée et disséquée par des ravins.

² Indice de Persistance et de Développement des Réseaux.

3. Délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2

Comme évoqué dans le chapitre 2.1, plusieurs forages existent sur le bassin versant topographique du Mroni Bé : le piézomètre de M'réréni (BSS : 12312X0033/M're1), le forage de M'réréni 1 (12312X0034/M'réré1) et celui de M'réréni 2 (12312X0035/M'réré2) qui n'est pas encore exploité à ce jour.

La caractérisation du bassin d'alimentation de captage du forage de M'réréni 2 nécessite la prise en considération des informations géologiques, piézométriques et hydrogéologiques du piézomètre de M'réréni et du forage de M'réréni 1, pour les raisons suivantes :

- il s'agit des 3 seuls ouvrages d'eau du bassin versant ;
- leur proximité (9 m entre M'réréni et M'réréni 2, 121 m entre M'réréni 1 et M'réréni 2, 129 m entre M'réréni et M'réréni 1, et moins de 5 m d'écart en altitude) permet des rapprochements d'ordre géologique et hydrogéologique.

3.1. LE PIEZOMETRE DE M'RERENI - BSS 12312X0033/M'RE1

Le forage est issu de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines 1990-1991 encadrée par la Collectivité Départementale de Mayotte (cf. Tableau 2 et Illustration 16).

Le piézomètre de M'réréni (12312X0033/M're1) a été réalisé entre le 29 décembre 1990 et le 16 janvier 1991. Sa profondeur est de 69 m et il recoupe des laves altérées moyennement perméables qui appartiennent vraisemblablement au substratum (Mauroux B., 1991). Il se situe au niveau de l'édifice volcanique du Complexe du Sud et recouperait les formations basales de la série méridionale (Stieltjes 1988).

L'accès à l'ouvrage se fait à partir de la route CCD5 à 50 m avant le pont à l'entrée du village de M'réréni Bé (en venant de Chirongui). Le piézomètre se trouve à proximité immédiate de la route à côté d'un champ de bananes (cf. Illustration 16), et il est inscrit dans l'enclos du forage AEP M'réréni 2. Le piézomètre est fermé à l'aide d'une tête de puits en acier vert d'environ 90 cm de hauteur (cf. Illustration 16), munie d'un capot de fermeture vissé et il est protégé en surface par deux dalles de béton carrée de 50 et 65 cm de côté.

Nom	Piézomètre de M'réréni
Code Commune	98506
Commune	CHIRONGUI
Section	AM
Titre	T23
Parcelle	10
Coord X_{RGM04}	517 092 m
Coord Y_{RGM04}	8 573 151 m
Coord Z_{NGM}	14,95 (nivelé)
Code BSS	12312X0033/M're1
Chronique piézométrique	1992 à 2009
Date de création	Janvier 1991
Remarque	Piézomètre suivi DAF (hebdomadaire)

Tableau 2 - Informations relatives au piézomètre de M'réréni (sources : SIEAM et BRGM)

La coupe lithostratigraphique synthétique du forage est représentée en Annexe 1. Les formations rencontrées sont les suivantes :

- 0 – 5,2 m : limon argileux brun ;
- 5,2 – 9 m : brèches explosives (d'après l'interprétation de Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR) ;
- 9 – 30 m : altérites avec quelques blocs de basaltes moins altérés (fracturés et sains) ;
- 30 – 69 m : alternances de basaltes vacuolaires, fracturés, fissurés, altérés et de basaltes sains.

Cette organisation lithologique semble être assez représentative de l'ensemble du bassin du Mroni Bé.

Six séries d'essais type Lefranc ont été effectuées (Mauroux B., 1991) et leur interprétation a permis d'évaluer la perméabilité K des terrains :

- de 3 à 4,5 m : $K = 1,1 \cdot 10^{-5}$ m/s ;
- de 12 à 13,5 m : $K = 1,6$ à $2,1 \cdot 10^{-5}$ m/s ;

- de 21 à 24 m : $K = 0,4 \text{ à } 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$;
- de 25,5 à 31,5 m : $K = 5,5 \text{ à } 7,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$;
- de 25,5 à 43 m : $K = 0,4 \text{ à } 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$;
- de 34 à 53 m : $K = 0,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

Les valeurs de perméabilités observées à l'époque sont relativement intéressantes dans le contexte hydrogéologique local, seuls les horizons situés entre 25 et 30 m de profondeur présentent des valeurs plus faibles (en effet, sur les passes de 21 à 24 et de 25,5 à 43 m, la perméabilité démarre à $4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$). L'aquifère est jugé comme de capacité moyenne (Mauroux B., 1991). Son potentiel, mesuré par essai d'eau « air lift », est jugé inférieur à $8 \text{ m}^3/\text{h}$.

Les niveaux piézométriques de l'aquifère sont suivis à travers le piézomètre de M'réréni depuis 1992 par la DAF de Mayotte (cf. Illustration ci-dessous).

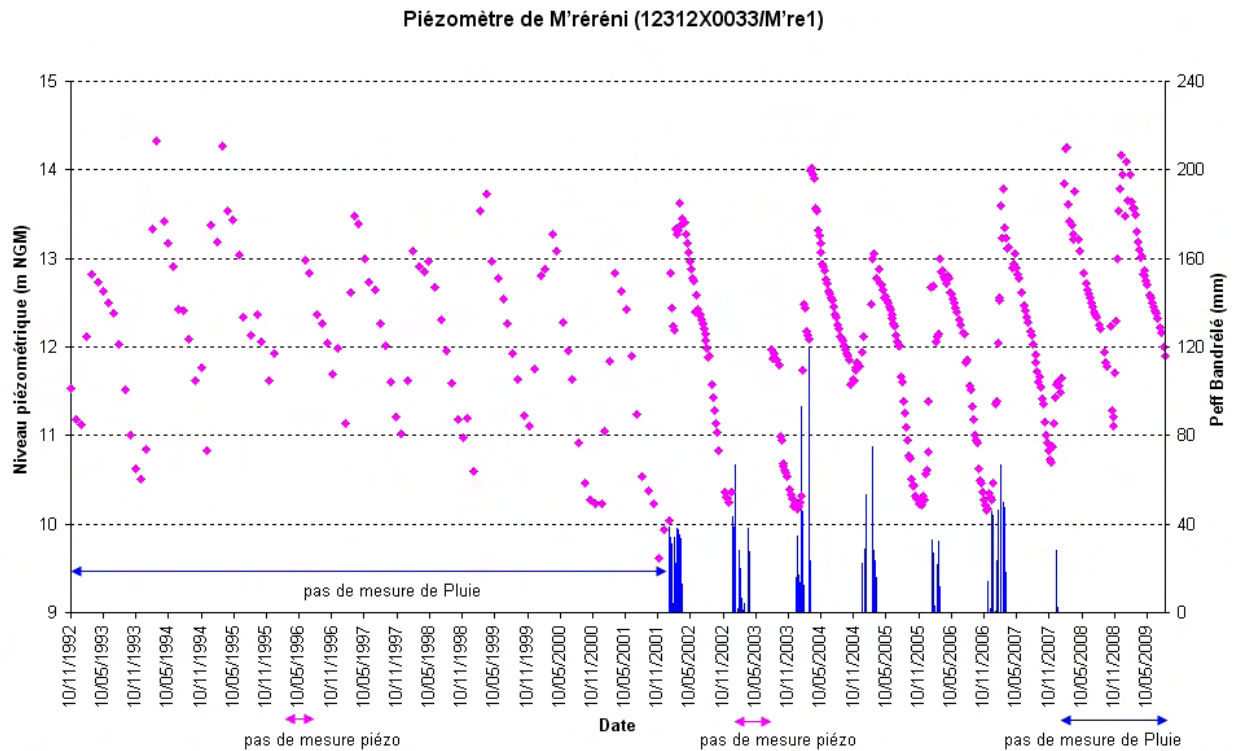


Illustration 12 - Variations piézométriques du piézomètre de M'réréni entre novembre 1992 et août 2009 (source : DAF). En surimposition sont figurées les précipitations efficaces calculées à la station pluviométrique de Bandrélé sur la même période (source : Météo-France).

L'acquisition des données piézométriques est aléatoire entre novembre 1992 et février 2002. Entre janvier et août 2003 la piézométrie n'a pas été enregistrée. Depuis août 2003, les données sont hebdomadaires.

Entre 1992 et 2009, les niveaux piézométriques varient entre 9 et 15 m NGM environ. Les niveaux moyens de l'aquifère se situent autour de 12 m NGM. L'analyse des fluctuations indique des cycles annuels composés :

- d'un tarissement qui débute généralement entre le mois de mars et d'avril et qui se termine au mois de novembre, décembre. Le tarissement s'effectue en saison sèche. Le tarissement est rapide au début (pente élevée) entre les mois de mars-avril et d'août, puis encore plus d'août à novembre-décembre (pente plus forte). Dans l'ensemble la pente de tarissement est forte. La vitesse de vidange de l'aquifère est de l'ordre de 10 mm/jour. L'amplitude de fluctuation entre les périodes de hautes eaux et de basses eaux est comprise entre 2.5 et 3 m ;
- d'une recharge de l'aquifère qui s'effectue pendant la saison humide. Elle débute en général vers le mois de novembre par des périodes de faible remontée piézométrique (les deux premiers mois), puis se termine par des remontées plus franches à partir du mois de janvier.

La mise en relation des niveaux piézométriques avec le signal des pluies enregistrées quotidiennement à la station de Bandrélé montre que ces deux signaux sont relativement bien corrélés. La hausse des niveaux piézométriques s'effectue au moment des accumulations de précipitations efficaces (cf. Illustration 12).

La chronique piézométrique de 1992 à 2009 montre des cycles interannuels : de 1992 à 1995 tendance à la hausse des niveaux moyens, de 1996 à 2001 baisse, de 2002 à 2004 hausse, de 2005 à 2006 baisse, puis de 2006 à 2009 hausse (les amplitudes interannuelles sont évaluées à 1,5 m). Ces tendances sont en accord avec les pluviométries croissantes/décroissantes sur ces périodes.

3.2. LE FORAGE DE M'RERENI 1 - BSS 12312X0034/MRERE1

Le forage est issu de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines 1999-2000 encadrée par la Collectivité Départementale de Mayotte. Les informations relatives à ce forage sont consignées dans le Tableau 3. Le forage de M'réréni 1 est un forage de reconnaissance profond de 70 m, mis en place entre le 3 et le 13 mai 2000 (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR), qui a été alésé et équipé en tant que piézomètre de 49 m de profondeur (cf. Illustration 13). La partie inférieure de l'ouvrage a été comblée entre 49 et 70 m (cf. coupe technique en Annexe 1).

Nom	Forage de M'réréni 1
Code Commune	98506
Commune	CHIRONGUI
Section	AM
Titre	T23
Parcelle	10
Coord X_{RGM04}	517 218 m
Coord Y_{RGM04}	8 573 177 m
Coord Z_{NGM}	19,06 (MNT IGN© 2009)
Code BSS	12312X0034/Mréré1
Chronique piézométrique	2000 à 2009
Date de création	Mai 2000
Remarque	Utilisé en piézomètre, suivi DAF (hebdomadaire)

Tableau 3 - Informations relatives au forage de M'réréni 1 (sources : SIEAM et BRGM)



Illustration 13 - Forage de M'réréni 1 (photographie BRGM du 25 septembre 2009)

L'accès au forage se fait à partir de la route CCD5 en prenant une piste à droite de la route, située 50 m avant le pont à l'entrée du village de M'réréni Bé (en venant de Chirongui). Le forage se trouve à 150 m de la route dans un champ de bananes.

Le forage est fermé à l'aide d'une tête de puits en acier d'une cinquantaine de cm de hauteur (cf. Illustration 13), munie d'un capot de fermeture cadenassé et il est protégé en surface par une dalle de béton carrée de 75 cm de côté.

La coupe lithostratigraphique synthétique du forage est représentée en Annexe 1. Les formations rencontrées sont les suivantes :

- 0 – 11 m : cendres indurées et brèches explosives ;
- 11 – 30 m : basalte très altéré à zéolithes (olivines et pyroxènes) ;
- 30 – 40 m : basalte fissuré à zéolithes (olivines et pyroxènes) avec traces d'oxydation le long des fissures ;
- 40 – 70 m : basalte altéré zéolitisé (pyroxènes) avec d'importantes traces d'oxydation.

L'aquifère n'a pas été capté pour l'alimentation en eau potable en raison de sa très faible productivité en eau (moins de 10 m³/h au soufflage, provenant essentiellement

de deux venues d'eau situées vers 26 m puis vers 48 m de profondeur¹). L'ouvrage est utilisé en tant que piézomètre d'observation. Une des caractéristiques essentielles de ce forage est la présence d'une altération hydrothermale assez poussée qui peut expliquer sa faible productivité (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR). Les circulations hydrothermales ont entraîné un colmatage des fissures des laves réduisant ainsi leur perméabilité (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR).

Les niveaux piézométriques de l'aquifère sont suivis à travers le forage de M'réréni 1 depuis 2000 (cf. Illustration 14 ci-après).

Les niveaux piézométriques montrent une cyclicité annuelle et fluctuent entre 12 m et 17 m NGM. Le battement annuel de la nappe est relativement élevé : environ 2 m à 3 m entre saison sèche et saison humide. Dans le détail des fluctuations, les tendances sont très proches de celles observées au piézomètre de M'réréni :

- les amplitudes interannuelles observées entre 2000 et 2009 sont faibles, souvent inférieures à 1 m. Les cycles interannuels sont identiques (de 2000 à 2001 baisse, de 2002 à 2004 hausse, de 2005 à 2006 baisse, puis de 2006 à 2009 hausse) ;
- les périodes de tarissement ont une tendance plus linéaire que pour le piézomètre. La vitesse de vidange de l'aquifère est de l'ordre de 10 mm/jour ;
- la recharge de l'aquifère s'effectue en deux phases successives : faible remontée piézométrique aux mois de novembre-décembre, puis remontée franche des niveaux à partir du mois de janvier ;
- la réponse de la nappe au signal des pluies est identique : les précipitations efficaces impactent rapidement la nappe.

¹ Les raisons du comblement de la partie inférieure de l'ouvrage entre 49 et 70 m ne sont pas expliquées dans le rapport de forage. Ce comblement s'expliquerait par l'absence d'arrivées d'eau (pas de gain de débit)

Forage de M'réréni 1 (12312X0034/Mréré1)

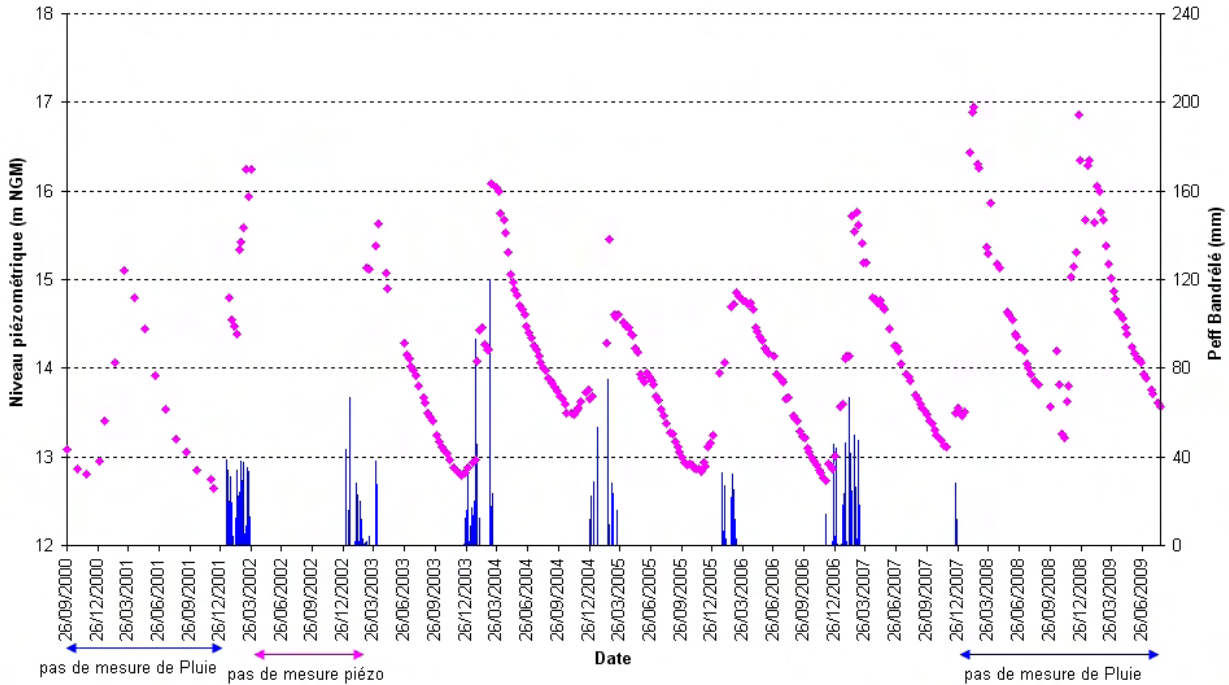


Illustration 14 - Variations piézométriques du forage de M'réréni 1 entre septembre 2000 et août 2009 (source : DAF). En surimpression sont figurées les précipitations efficaces calculées à la station pluviométrique de Bandréte sur la même période (source : Météo-France).

La réactivité importante lors de la recharge et du tarissement (pente prononcée), implique un système aquifère plutôt ouvert et relativement perméable.

Les chroniques piézométriques des deux ouvrages suivis par la DAF ont été superposées sur un même graphique (cf. Illustration 15). Cette superposition montre que les signaux piézométriques sont relativement bien corrélés.

Le niveau piézométrique est plus élevé au niveau du forage de M'réréni 1 qu'au niveau du piézomètre de M'réréni (un écart moyen de 2.25 m en hautes eaux et de 2.43 m en basses eaux). Dans l'hypothèse d'une continuité aquifère entre les deux ouvrages et considérant un écartement de 129 m, le calcul du gradient hydraulique donne environ 0,018 m/m. Cette valeur plutôt faible pour Mayotte est inférieure à la pente topographique entre les deux ouvrages (0,032 m/m) et témoigne (i) dans le cas d'une continuité hydraulique (hypothèse probable), d'une perméabilité horizontale moyenne des aquifères, (ii) dans le cas de deux aquifères compartimentés, d'un étagement peu marqué.

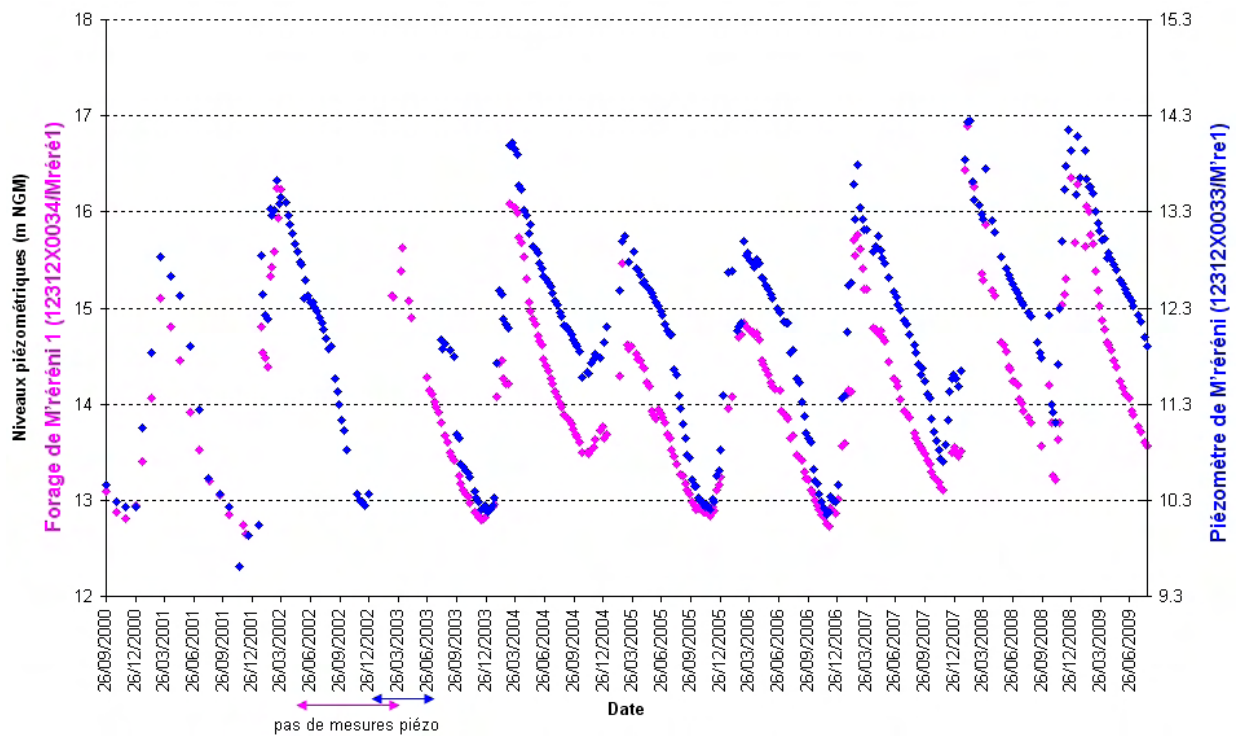


Illustration 15 - Mise en relation des données piézométriques du piézomètre de M'réréni et du forage de M'réréni 1 entre septembre 2000 et août 2009 (données DAF de Mayotte)

Les battements de la nappe au niveau du piézomètre de M'réréni sont un peu plus importants en amplitude (environ 3 m) que ceux du forage de M'réréni 1 (environ 2 m) et les pentes de tarissement plus fortes (d'août à novembre-décembre). Ces observations suggèrent que les mécanismes de stockage sont légèrement moins importants au niveau du piézomètre de M'réréni, et vraisemblablement les transits sont un peu plus rapides. Le gradient hydraulique entre les deux ouvrages est quasi identique en basses eaux qu'en hautes eaux (respectivement 0,019 m/m et 0,017 m/m).

L'illustration 15 montre que le piézomètre de M'réréni semble avoir deux droites de tarissement (de mars-avril à août, puis d'août à novembre-décembre) tandis que le forage de M'réréni 1 en a une seule (bien visible en 2005-2006-2007-2008). Ce phénomène peut s'expliquer par une superposition de couches de perméabilité différente au sein de l'aquifère : les alluvions argileuses et les altérites à perméabilité plus faible que les basaltes fissurés sous-jacents. Le tarissement de la nappe devient plus rapide quand la partie supérieure de l'aquifère est dénoyée.

La connexion des niveaux aquifères entre les deux ouvrages d'eau est cependant bien mise en évidence.

3.3. LE FORAGE AEP DE M'RERENI 2 - BSS 12312X0035/MRERE2

3.3.1. Présentation

Le forage est issu de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines 1999-2000 encadrée par la Collectivité Départementale de Mayotte. Les informations relatives à ce forage sont consignées dans le Tableau 4. Le forage de M'réréni 2 est un forage de reconnaissance profond de 70 m, mis en place entre le 15 mai et le 14 juin 2000 (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR), qui a été alésé et équipé en forage d'exploitation (cf. Illustration 16).

Nom	Forage de M'réréni 2
Code BSS	12312X0035/Mréré2
Code Commune	98506
Commune	CHIRONGUI
Section	AM
Titre	T23
Parcelle	10
Coord X_{RGM04}	517 108 m
Coord Y_{RGM04}	8 573 120 m
Coord Z_{NGM}	15 m (carte IGN 1/25 000)
Date de création	Juin 2000
Date exploitation	Futur AEP (non exploité actuellement)

Tableau 4 - Informations relatives au forage de M'réréni 2 (sources : SIEAM et BRGM)



Illustration 16 - Forage de M'réréni 2 (dans le bâtiment jaune) et piézomètre de M'réréni (tube acier vert) (photographie BRGM du 25 septembre 2009)

L'accès au forage se fait à partir de la route CCD5 à 50 m avant le pont à l'entrée du village de M'réréni Bé (en venant de Chirongui). Le forage se trouve en contrebas de la route à côté d'un champ de bananiers, cocotiers et ananas (cf. Illustration 16). Il se trouve environ à 1 100 m de la côte Ouest de Mayotte.

Lors de la visite du 25 septembre 2009, l'installation présentait des traces évidentes de dégradation : clôtures de l'enclos cassées, deux plots en béton retirés et cassés, déchets déposés dans l'enceinte, tag sur le bâtiment (cf. Illustration 16). L'électricité arrive jusqu'à la station qui n'est pas encore en exploitation.

La coupe lithostratigraphique synthétique du forage est représentée en Annexe 1. Les formations rencontrées sont les suivantes :

- 0 – 6 m : alluvions argileuses ;
- 6 – 14 m : cendres indurées et brèches explosives ;
- 14 – 40 m : basalte très altéré à zéolithes (pyroxènes) ;
- 40 – 50,5 m : basalte fissuré à zéolithes (olivines et pyroxènes) ;
- 50,5 – 70 m : basalte scoriacé ou fissuré (pyroxènes et olivines).

A l'exception des horizons superficiels, la coupe géologique est proche de celle du forage de M'réréni 1.

Les venues d'eau (débits instantanés : $130 \text{ m}^3/\text{h}^1$ environ au total à l'avancement) peuvent être classées de la manière suivante par ordre d'importance (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR) :

- la zone la plus perméable ($80 \text{ m}^3/\text{h}$ environ) correspond à la partie fissurée et/ou fracturée de la coulée la plus profonde (54 à 60 m de profondeur),
- la partie fissurée de la coulée sus-jacente présente une perméabilité du même ordre de grandeur (environ $25 \text{ m}^3/\text{h}$ entre 44 et 47,5 m),
- la partie fissurée et en graton de la coulée la plus superficielle contribue elle aussi, bien que de manière un peu plus modeste,
- enfin, la base scoriacée et zéolitisée du forage semble elle aussi contribuer.

L'aquifère a été capté au niveau des zones les plus productrices entre 36 et 69 m de profondeur. L'aquifère est constitué d'une alternance de coulées fissurées séparées par des inter-lits scoriacés. Il se situe sous couverture peu perméable formée par des alluvions et des dépôts pyroclastiques argileux.

Un pompage d'essai longue durée de 12 heures (Lachassagne P. et al. 2000) a permis d'estimer une première fois la transmissivité de l'aquifère à $5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ et a mis en évidence une limite alimentée située entre quelques dizaines de mètres et 100 m (cours d'eau ou formations alluviales et/ou cendreuse et bréchiques ?). Ce pompage d'essai ainsi que les simulations à long terme ont permis de déterminer des débits d'exploitation prévisionnels de l'ordre de 70 à $75 \text{ m}^3/\text{h}$ (20h/24 toute l'année), à valider impérativement par des essais de plus longue durée.

En 2001-2002, un travail de réévaluation des résultats obtenus en 2000 a été effectué (Lachassagne P. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR). Ce travail a intégré l'interprétation de mesures complémentaires acquises au forage de M'réréni 2 (suivi piézométrique au cours d'un nouveau pompage de 59 heures) qui apportent les informations et précisions suivantes :

- amélioration du modèle servant à prédire l'évolution des rabattements lors de l'exploitation du forage (seconde estimation de la transmissivité de l'aquifère à $4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$),
- coefficient d'emmagasinement de l'aquifère : entre $1 \cdot 10^{-5}$ et $5 \cdot 10^{-4}$ en accord avec son caractère capacitif,
- confirmation du risque de vulnérabilité de cet aquifère vis-à-vis de l'intrusion saline (en proposant une évaluation de la transmissivité de l'aquifère entre le littoral et le forage),

¹ On rappelle que les essais de débit instantané au soufflage surestiment la productivité de l'ouvrage.

- positionnement préconisé de la pompe entre 48 et 53 m de profondeur, rabattement maximal admissible de 33,4 m, et débit d'exploitation prévisionnel de 37 à 85 m³/h.

Sur ce site, l'incertitude la plus forte concerne la dynamique du biseau salé et l'aptitude de l'aquifère à être rechargé en saison des pluies. En considérant un critère de sécurité fort vis-à-vis du biseau salé pour l'exploitation du forage de M'réréni 2 (non atteinte du fond du forage), il est conseillé de limiter le débit d'exploitation à 22 m³/h tout en se gardant un débit maximal de 31 m³/h environ (Lachassagne P. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR).

Un suivi de la turbidité devra être réalisé lors de la mise en route du forage en raison d'un (faible) risque d'entraînement de minéraux (de type kaolinite ?) liés à l'hydrothermalisme.

3.3.2. Qualité des eaux

La qualité des eaux du forage de M'réréni 2 a été analysée à 8 reprises : entre mars 2002 et mars 2004 (les analyses sont présentées en Annexe 2 ; sources : SOGEA, DAF et CRECEP¹). A l'heure actuelle, les analyses montrent quelques dégradations de la qualité des eaux souterraines du bassin versant du Mroni Bé. Ces eaux se singularisent par :

- une conductivité moyenne pour les eaux souterraines qui semble être un peu plus élevée en fin de saison sèche (entre 83 µS/cm, valeur très basse pour des eaux souterraines, et 369 µS/cm ; la moyenne à Mayotte est de 300 µS/cm) ;
- des teneurs élevées en bicarbonates (199 et 203 mg/l) proches des valeurs maximum couramment rencontrées sur Mayotte (de 50 et 200 mg/l) ;
- une teneur élevée en ammonium (0,52 mg/l). La présence d'ammonium dans ces proportions témoigne manifestement du manque ou du dysfonctionnement des structures d'assainissement. On peut penser que ce problème a été réglé car les 7 analyses suivantes ont des teneurs inférieures à 0,5 mg/l (seuil de potabilité indiqué dans l'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) ;
- des teneurs élevées en manganèse (1.2 et 1.6 mg/l), qui font partie des 6 analyses sur 8 qui dépassent la valeur seuil de potabilité de 0.05 mg/l (norme de potabilisation à 50 µg/l dans l'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). Vu l'absence d'activité génératrice de manganèse sur le bassin versant du Mroni Bé, ces fortes concentrations sont très certainement naturelles. En revanche, les teneurs en fer souvent associées aux

¹ CRECEP : Centre de recherche d'expertise et de contrôle des eaux de Paris.

teneurs en manganèse ne montrent pas de valeurs significativement élevées (0,15 mg/L au maximum contre 0,2 mg/L fixée par la norme de potabilisation) ;

- des pH assez élevés de 7,0 à 8,3 (moyenne 7,4) ;
- des teneurs en sodium et en chlore qui signent une eau de pluie marine ayant un temps de résidence prolongé dans des roches volcaniques (l'eau a un faciès franchement bicarbonaté calcique ; A. Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR), observation renforcée par un signal de conductivité plutôt faible ;
- quelques paramètres bactériologiques ont été observés : flore hétérotrophe et coliformes (sur 2 analyses). La présence de paramètres microbiologiques est un signe de vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions d'origine anthropique.

Un log de conductivité a été réalisé lors des travaux de foration de M'réréni 2 qui a donné une gamme allant de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (vers 20 m de profondeur) à 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au fond du forage (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR). Compte-tenu de ce log et des analyses mentionnées ci-dessus, cette évolution témoigne visiblement de la non participation des niveaux inférieurs dans l'alimentation du forage.

Seules deux autres analyses d'eaux souterraines ont été effectuées sur le piézomètre de M'réréni en novembre 1992 et avril 1993, suite à sa réalisation (cf. Annexe 2). Les quelques paramètres analysés ne permettent pas de dire si les caractéristiques physico-chimiques sont proches des eaux du forage de M'réréni 2.

Les teneurs élevées en manganèse sont responsables du fait que le forage n'a pas été mis en exploitation de juin 2000 à novembre 2002. Dans le cadre de sa mise en exploitation, il est essentiel de recourir à un traitement de rabattement des teneurs en manganèse.

3.4. DELIMITATION DU BAC DU FORAGE DE M'RERENI 2

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, la délimitation du BAC souterrain du forage de M'réréni 2 s'inscrit en amont dans les limites du bassin versant de surface¹ et intègre le piézomètre M'réréni et le forage de M'réréni 1 identifiés comme appartenant au même système aquifère.

L'existence du piézomètre de M'réréni (situé à côté du forage de M'réréni 2) et du forage de M'réréni 1 permet – après approche de l'altitude du forage au moyen du MNT IGN© 2009 (le piézomètre ayant été nivelé) – de déterminer une valeur de gradient hydraulique entre les points d'eau et donc d'estimer à peu près la ligne géométrique de la nappe entre les deux. Cette valeur est essentielle pour le calcul de la courbe enveloppe du rayon d'influence du forage de M'réréni 2 en pompage (pour un débit préconisé).

La délimitation du BAC souterrain en aval du bassin versant s'obtient par le calcul de la zone d'appel du forage de M'réréni 2 en exploitation (cf. Illustration 17)². La zone d'appel est délimitée par une courbe enveloppe qui est présentée en Illustration 18 et qui est calculée sur la base des paramètres suivants :

- une transmissivité de $4,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s (variation de +/- $1 \cdot 10^{-4}$) ;
- un gradient piézométrique compris entre 1,7 et 1,9 % (estimé entre le piézomètre de M'réréni et le forage de M'réréni 1 ; cf. chapitre 3.2) ;
- un débit de pompage de 22 m³/h (débit d'exploitation conseillé) ;
- angle fait par l'écoulement par rapport à un axe Est-Ouest : -50° en utilisant comme référence le sens inverse des aiguilles d'une montre. L'écoulement se fait du Nord-est vers le Sud-Ouest.

¹ Le rapport méthodologique indique qu'il y a cohérence entre le bassin versant topographique et le bassin versant hydrogéologique (Malard A. et al. 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR).

² Une délimitation de la zone d'appel du pompage au voisinage du forage de M'réréni 2 a été effectuée à l'aide d'un outil développé sous Excel (cf. Vernoux J-F. et al., 2007, rapport BRGM/RP-55874-FR). Cette délimitation repose sur des hypothèses simplificatrices, que l'on peut considérer comme valides localement : l'écoulement est uniforme et unidirectionnel, et la nappe est supposée captive. Compte tenu de ces hypothèses, le calcul n'est valable qu'au voisinage du forage, dans le bassin versant topographique du Mroni Bé.

Illustration 17 - Principe de la zone d'appel d'un forage en exploitation (aire d'alimentation)

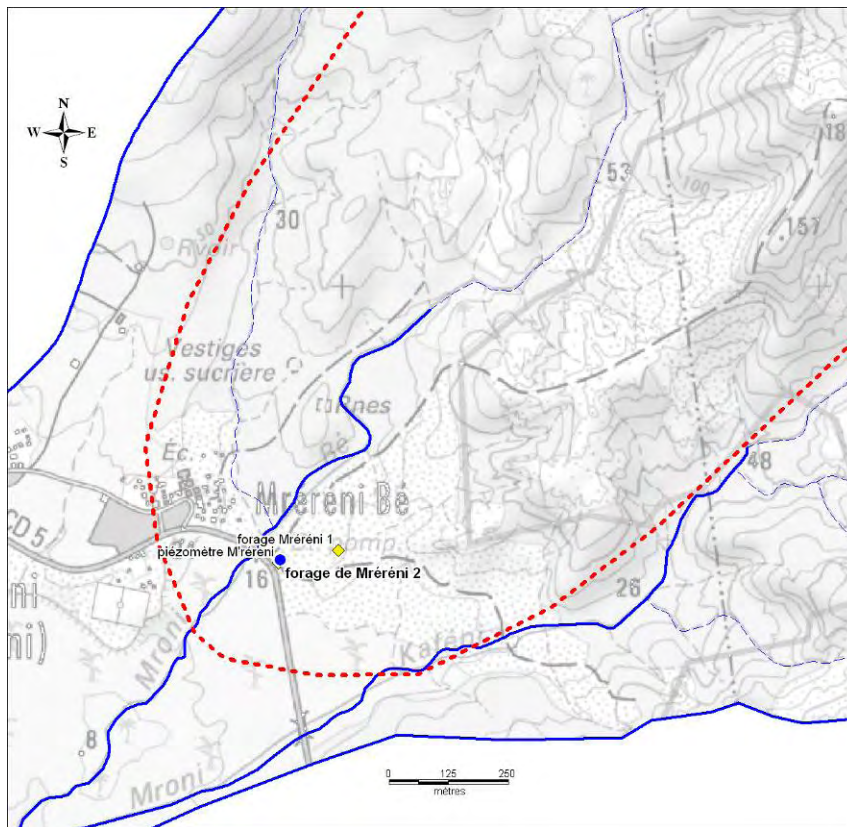
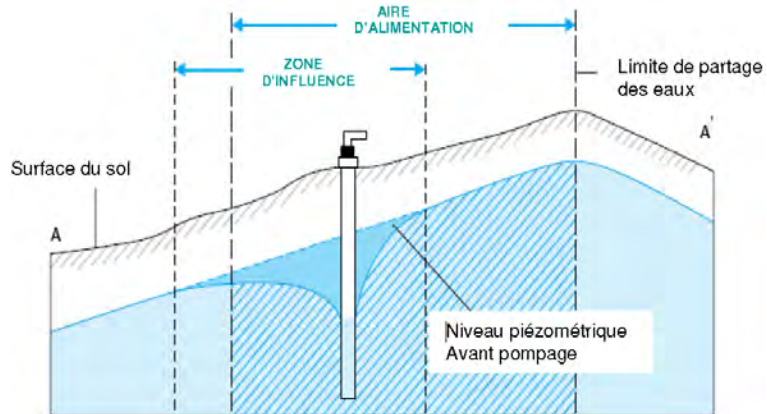


Illustration 18 - Limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage M'réréni 2 (source : BRGM)

Une délimitation des courbes enveloppes de la zone d'appel (cf. Illustration 18) est obtenue avec une certaine probabilité de non dépassement selon les paramètres pris en compte. On obtient donc plusieurs délimitations. Pour des raisons de sécurité optimum de protection de l'eau souterraine du forage, la courbe enveloppe la plus large est retenue (valeurs les plus handicapantes des paramètres).

La valeur de la transmissivité retenue est de $4,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s, réévaluée suite au nouveau pompage de 59 heures en mars 2002.

Le débit d'exploitation retenu est la valeur identifiée en 2002 lors de la réévaluation des débits d'exploitation des forages de la campagne 1999-2000 (débit d'exploitation conseillé de 22 m³/h ; Lachassagne P. et al., rapport BRGM/RP-51603-FR).

Par ailleurs, un facteur de dispersion de 1,5 est appliqué aux limites de la courbe enveloppe dans le souci d'une approche sécuritaire.

La connexion des niveaux aquifères entre les ouvrages d'eau du Mroni Bé (piézomètre de M'réréni, forages de M'réréni 1 et 2) a été mise en évidence dans ce rapport. Le piézomètre de M'réréni étant situé en aval du forage de M'réréni 2 mais à proximité immédiate, il sera inscrit dans la délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2. Au vu de l'illustration 18, on confirme que le forage M'réréni 1 et le piézomètre M'réréni sont situés à l'intérieur de la zone d'appel du forage M'réréni 2.

Comme la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage M'réréni 2 longe et prend en compte une partie de l'affluent Mroni Kaféni (cf. Illustration 18), il sera intégré dans le BAC.

Ainsi, la délimitation du bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2 (cf. Illustration 19) débute dans le lit du Mroni Bé, 255 m en aval du forage (quand le cours d'eau recoupe l'altitude 10 m NGM). Cette limite remonte au Nord-Ouest vers le village de M'réréni Bé qu'elle traverse (ainsi que la route CCD5), puis continue au Nord vers le sommet coté 101 m NGM en suivant directement la ligne de crête. De ce point, la limite du BAC épouse les contours du bassin versant du Mroni Bé (passage par les points cotés 253, 388, 237, 244, 234, 187 et 205 m NGM) jusqu'à la route CCD5 qui recoupe la partie Sud du bassin versant. Après cette route la limite fait un angle droit pour se prolonger vers le Nord-Ouest en traversant le Mroni Kaféni et enfin elle rejoint la rive gauche du Mroni Bé.

La surface du BAC ainsi délimitée est de 3,7 km² pour un périmètre de 7,8 km, ce qui correspond à environ 82 % de la superficie totale du bassin versant.

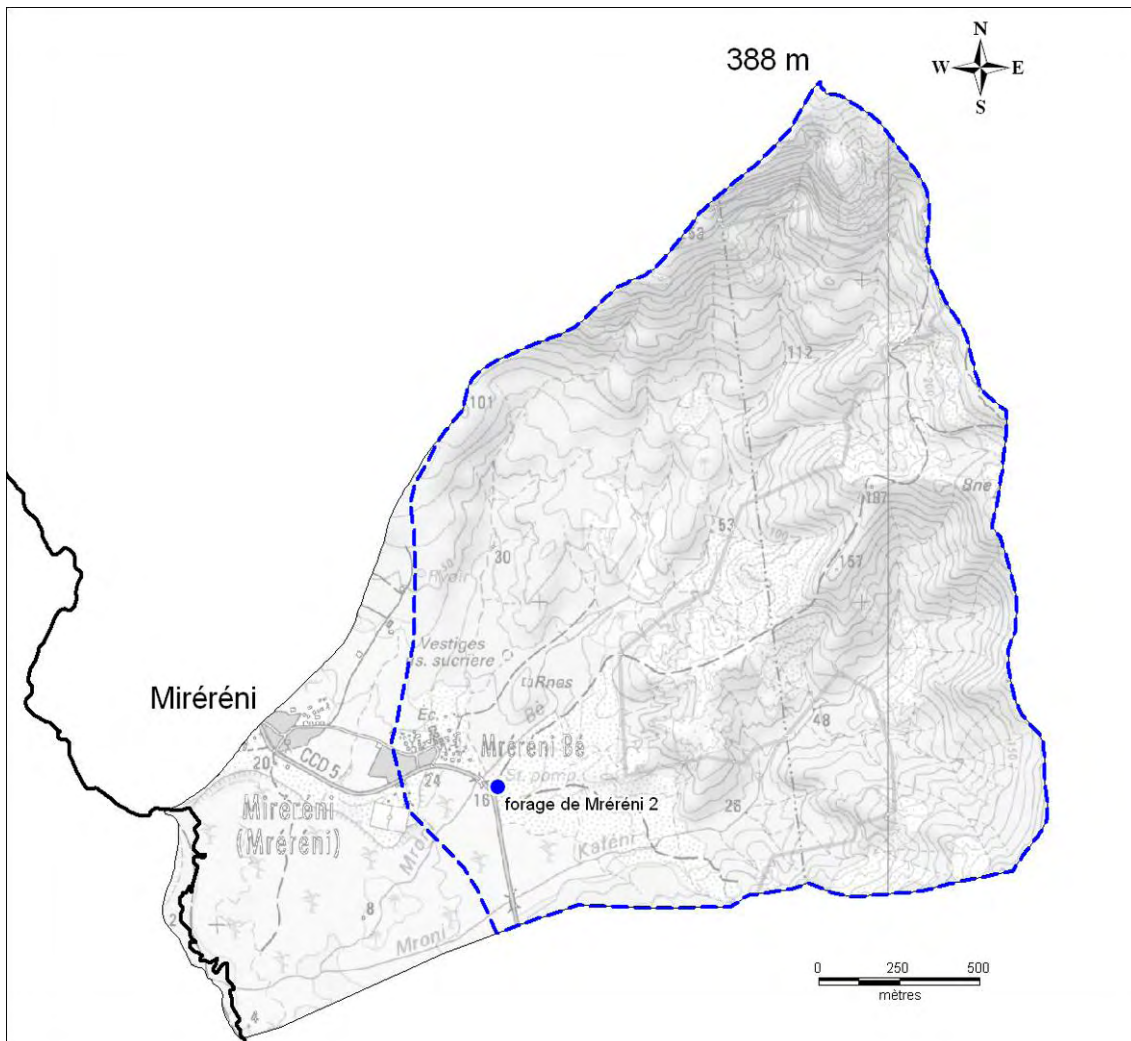


Illustration 19 - Découpage du bassin d'alimentation de captage du forage de M'réréni 2 (bassin versant du Mroni Bé)

4. Caractérisation de la vulnérabilité

La démarche retenue à Mayotte pour la caractérisation de la vulnérabilité des BAC est présentée dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR (Malard A. et al. 2009) : il s'agit de l'application de la méthode combinant l'IDPR et l'indice de rugosité (appelée par la suite méthode IDPR combiné). Les résultats du calcul appliqués au BAC souterrain du forage de M'réréni 2 sont présentés dans l'illustration 20.

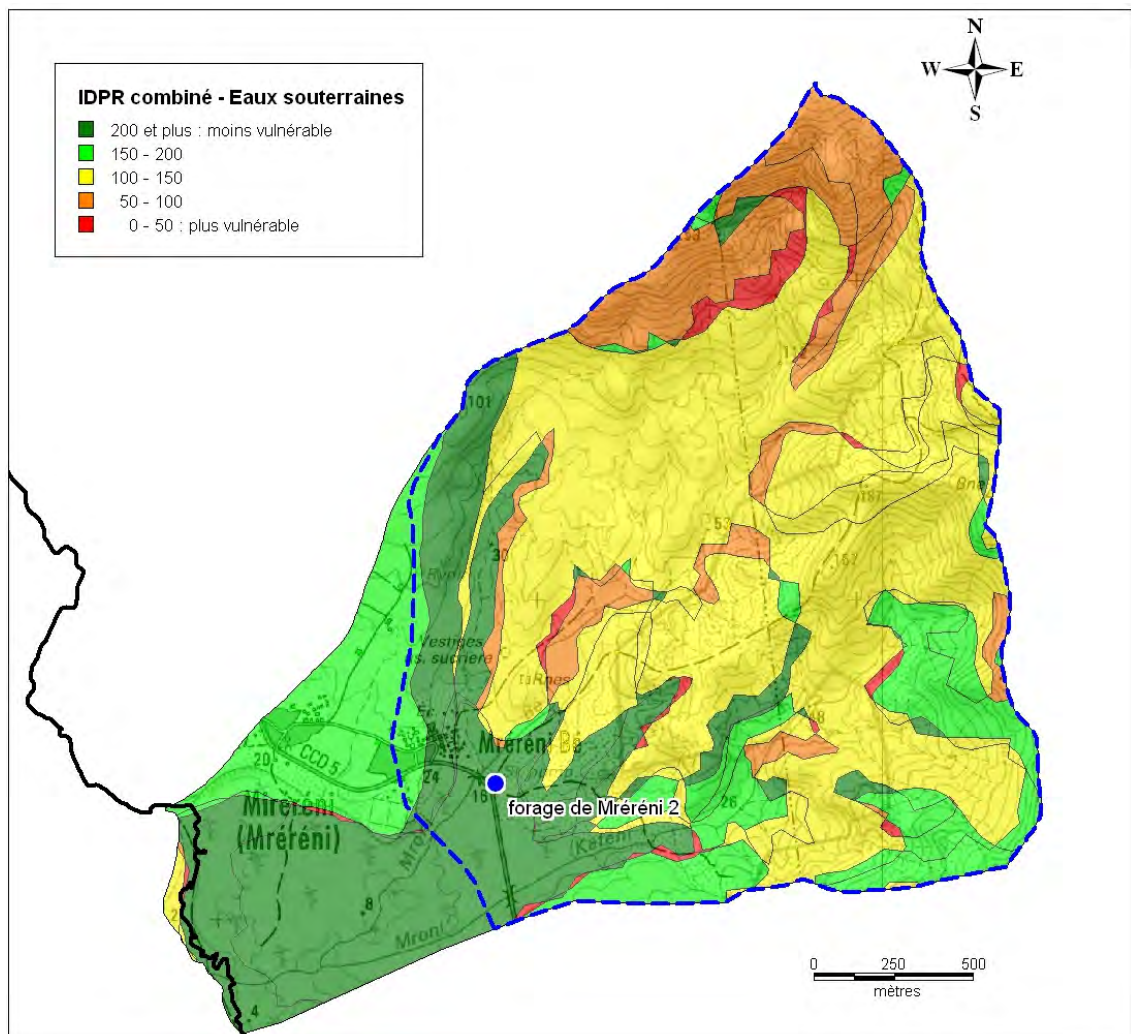


Illustration 20 - Résultats du calcul IDPR et rugosité du bassin d'alimentation de captage du forage de M'réréni 2. Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives (source : BRGM).

Comparativement aux autres bassins versants de Mayotte, les résultats obtenus pour l'IDPR combiné placent le bassin d'alimentation du forage de M'réréni 2 dans une situation globalement moyennement vulnérable. Dans le détail la situation est contrastée d'amont en aval : les terrains amont figurent en orange et sont assez vulnérables, le milieu du BAC a une situation intermédiaire (couleur jaune) et la partie aval est peu vulnérable (couleur vert foncé).

Le développement du réseau hydrographique du bassin montre une densité de drainage et une densité hydrographique faibles (cf. chapitre 2.5.1). Le réseau hydrographique est surtout moins développé dans la partie amont du bassin versant topographique, lieu où l'IDPR montre des unités fonctionnelles (géologiques et pédologiques) à caractère infiltrant. On peut noter que c'est un secteur présentant des pentes notables (secteurs 3-4-5 à pente moyenne allant de 8 % à plus de 40 % ; cf. chapitre 2.5.2.). La baisse de conductivité de l'eau entre l'amont et l'aval du Mroni Bé, mesurée lors de la reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009, permettait de dire qu'une infiltration des eaux du cours d'eau était probable.

Les secteurs les plus infiltrants sont composés de colluvions de versant, localement d'altérites, et en surface de sols bruns jeunes issus des activités volcaniques du Mont Bénara (cf. chapitres 2.4. et 2.6.). Les secteurs intermédiaires se trouvent sur une lithologie majoritairement basaltique avec quelques recouvrements pyroclastiques.

La partie aval du BAC signalée comme peu vulnérable s'explique par des unités fonctionnelles à caractère ruisselant. Il s'agit des formations de plaines littorales (produits d'érosion argilo-sableux et alluvions vasardes) et des alluvions sablo-argileuses.

Ces formations permettent de diminuer le degré de vulnérabilité des eaux souterraines dans le bassin, dans un périmètre d'environ 150 m autour du forage de M'réréni 2. C'est d'ailleurs ce que mentionnait le rapport BRGM/RP-50428-FR (Lachassagne P. et al. 2000) : « l'aquifère semble assez peu vulnérable (couverture par des alluvions argileuses et des dépôts pyroclastiques argileux) ».

Afin de quantifier au mieux les infiltrations (partie amont du BAC), des tests de perméabilité couplés avec des traçages pourraient être envisagés en plusieurs points du bassin sur des lithologies / pédologies différentes. Les résultats permettraient d'apprécier – à l'échelle du BAC ou du bassin versant – les infiltrations en mettant une valeur physique sur les classes relatives des indices IDPR et rugosité ainsi que la vitesse d'atteinte au captage. Ce paramètre de vitesse est recommandé dans l'établissement des périmètres de protection.

5. Caractérisation des pressions

5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN VERSANT DU MRONI BE

5.1.1. Urbanisation, aménagement et assainissement des eaux usées

Le bassin versant du Mroni Bé accueille le village de Miréréni (composé des bourgs de M'réreni Bé et M'réreni Kéli) à l'exutoire du bassin versant le long de la route CCD5. L'évolution de la population de ce village est donnée dans le Tableau 5. Il représente 0,4 % de la population de l'île.

Village	1997	2002	2007
Miréréni	424	721	837

Tableau 5 - Population du village de Miréréni (chiffres INSEE 2007)

Le village couvre environ 1,6 % de la surface du bassin versant topographique. Il n'a pas d'activités industrielles particulières, il s'agit essentiellement d'habitats ruraux.

On peut rappeler la présence de la route CCD5 qui longe l'enceinte AEP du forage de M'réreni 2. En cas de pollution accidentelle (par exemple renversement d'un camion transportant du carburant), les eaux du forage seraient directement impactées.

Aucune mini station d'épuration n'est recensée sur le bassin versant topographique du Mroni Bé (en mars 2008, la DAF a procédé à un inventaire général). La plus proche est basée au niveau du dispensaire/maternité de Chirongui, située à 3 km du bassin.

L'absence d'assainissement des eaux usées peut entraîner une pression non négligeable pour le BAC du forage de M'réreni 2. C'est d'ailleurs ce que semblent montrer les analyses chimiques (cf. chapitre 3.3.2) avec la présence de paramètres bactériologiques et d'ammonium dans les eaux souterraines du bassin.

5.1.2. Activités rurales et agricoles

La carte d'occupation des sols (DAF – 2002) montre la présence de polycultures intensives vivrière à hauteur de 1,2 km² soit 27 % de la surface totale du bassin, et de monoculture de banane sur 0,8 km² (18 % de la surface).

La reconnaissance du 25 septembre 2009 a permis de préciser ces activités agricoles. La nature des produits cultivés est très aléatoire d'une saison sur l'autre mais reste limitée aux productions suivantes : bananiers, cocotiers, ananas, courges et potirons. La monoculture de banane reste cependant la culture prioritaire de ce bassin (cf. Illustration 21). Ces cultures sont étendues et localisées dans toute la moitié aval du

bassin versant du Mroni Bé et notamment tout autour de l'enceinte AEP du forage de M'réréni 2.



Illustration 21 - Bananeraie à proximité du forage de M'réréni 1 (photographie BRGM du 25 septembre 2009)

On peut également noter que lors de cette reconnaissance de terrain, un affluent du Mroni Bé constituait une vasque de 3 m de coté sur 5 m de long et elle était utilisée par un cultivateur pour irriguer ses jeunes cultures.

Lors de la reconnaissance du 25 septembre 2009, deux parcs à zébus (3 à 4 bêtes par parc) ont été observés sur le bassin versant à proximité immédiate du cours d'eau. Le premier est situé 150 m en amont du croisement route CCD5/cours d'eau, et le second est positionné au milieu du bassin à 90 m au Sud du point côté 53 m NGM. Le risque sanitaire peut être non négligeable dans le cas d'une prise d'eau de surface (ruissellement de fumier, contamination bactériologique, entretien du parc, vaccination du bétail ?) mais moindre dans le cas d'un captage souterrain. En effet, en cas de précipitations, les écoulements du parc à zébus se dirigeaient vers le cours d'eau. Au regard de ces observations, cette pression est considérée comme moyenne sur l'aire d'alimentation du forage.

Comme rappelé dans le rapport BRGM/RP-57299-FR, l'agriculture à Mayotte n'est pas consommatrice de grandes quantités d'engrais et de produits phytosanitaires. Les risques liés aux pratiques agricoles concernent surtout la mobilisation des sols, le ravinement et l'accélération de l'érosion des terres arables suite aux aménagements,

labours et pratiques de déforestation. Ces phénomènes peuvent être plus nuisibles pour une prise d'eau de surface. Comme indiqué dans le rapport méthodologique (BRGM/RP-57299-FR), les activités agricoles sont considérées comme pressions moyennes.

A noter que la moitié amont du bassin versant est protégée par un couvert forestier composé de : la réserve forestière de Bénara (1,5 km² soit 33 % de la surface totale du bassin), forêt dense (0,12 km² soit 3 % de la surface) et forêt dégradée avec quelques parcelles de cultures (0,8 km² soit 17 % de la surface).

5.1.3. Sites industriels, sites et pratiques domestiques à risques (lessives, décharges sauvages)

Aucun site industriel n'est recensé sur le bassin versant topographique du Mroni Bé. Les industries les plus proches sont situées à plus de 3 km : à Poroani (industrie extractive) et à Chirongui (station service et décharge).

Aucun site de lessive ni lavage de véhicules en rivière n'ont été recensés lors de la reconnaissance de terrain du 25 septembre 2009.

Il en est de même pour les sites de décharge sauvage. On peut juste rappeler que des déchets ont été observés dans l'enclos du forage AEP et dans la rivière.

5.1.4. Risques naturels

Au regard des informations figurant sur l'atlas des risques réalisé par le BRGM relatif à la commune de Chirongui (rapport BRGM/RP-52662-FR, J-C. Audru et al. 2004), l'exposition aux aléas naturels du bassin d'alimentation de captage du forage de M'réréni 2 est la suivante :

- le forage est situé en zone d'aléa moyen glissements de terrain accompagnés de chutes de blocs (la partie amont du BAC est située en zone d'aléa fort en raison des fortes pentes des terrains) ;
- le forage de M'réréni 2 est situé en zone d'aléa moyen vis-à-vis de l'aléa inondation, puisqu'il est situé à proximité du Mroni Bé (le BAC est situé en zone d'aléa faible à nul sauf le long des axes du cours d'eau).

Compte tenu de la configuration du site sur lequel le forage est implanté, le risque de destruction de l'enceinte AEP - ou du moins de nuisance - par mouvement de terrain et inondation est limité.

5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS

La carte des pressions recensées sur le BAC souterrain du bassin versant du Mroni Bé et pondérée par les arguments décrits dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR (Malard A. et al. 2009) est présentée ci-après.

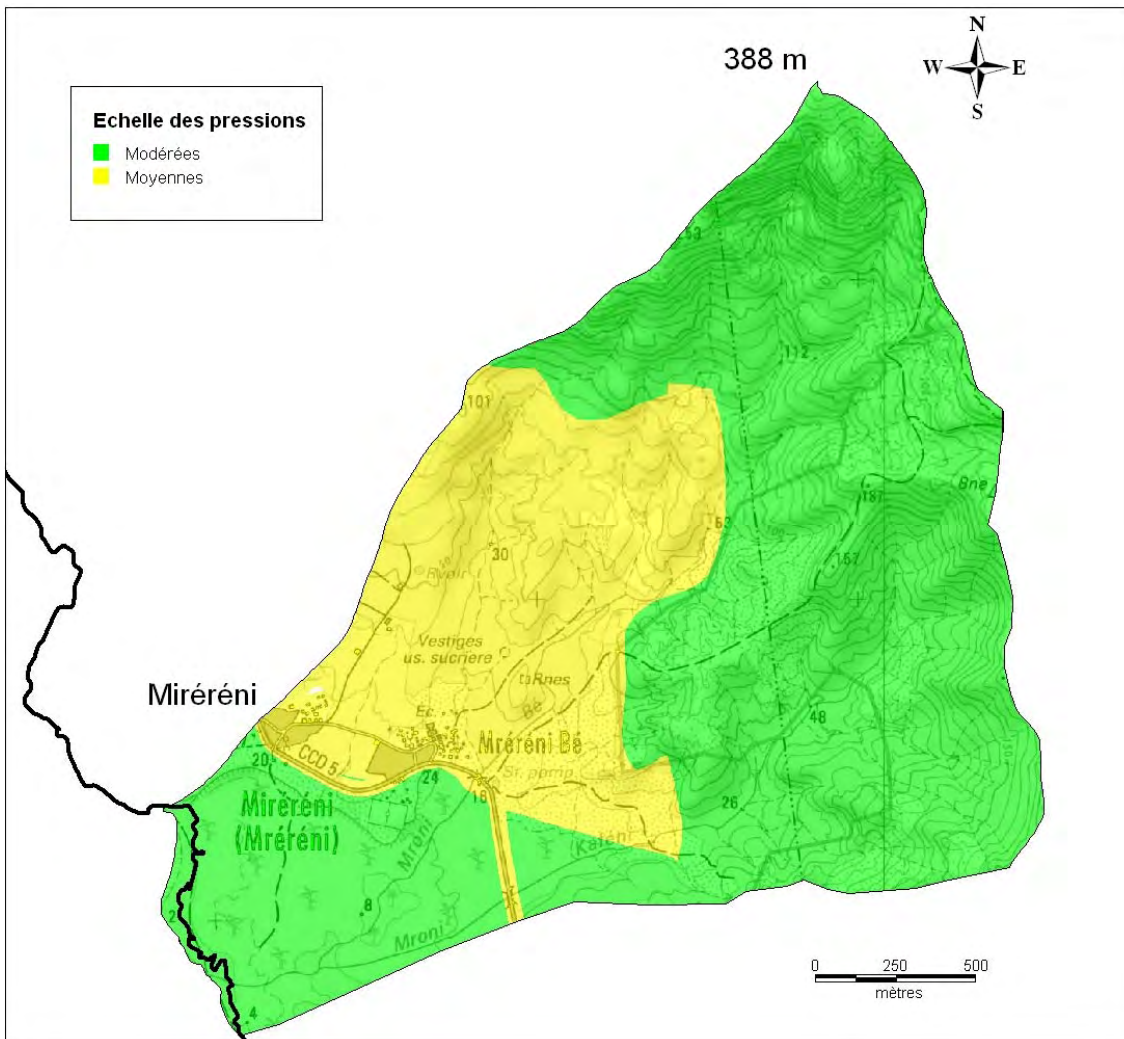


Illustration 22 - Cartographie des pressions exercées sur le bassin versant du Mroni Bé (source : BRGM)

A la lecture de la carte, il apparaît que les pressions identifiées sur le bassin versant se concentrent majoritairement au Centre-ouest du bassin en amont des villages Miréréni (M'réreni Bé et M'réreni Kéli), mais également le long de la route CCD5.

Les pressions les plus importantes sont donc : l'absence d'assainissement des eaux usées, la proximité de la route CCD5, les pratiques culturelles de bananeraies, et les parcs à zébus.

6. Evaluation du risque de pollution du bassin d'alimentation de captage

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, le degré d'exposition du bassin d'alimentation de captage aux intrusions de surface (entendu comme notion de risque) est approché par le croisement des informations de vulnérabilité et de pression, et ce pour le BAC souterrain.

En croisant les informations des cartes de vulnérabilité des eaux souterraines (cf. chapitre 4) et de pressions (cf. chapitre 5.2.), il est possible d'établir la carte suivante.

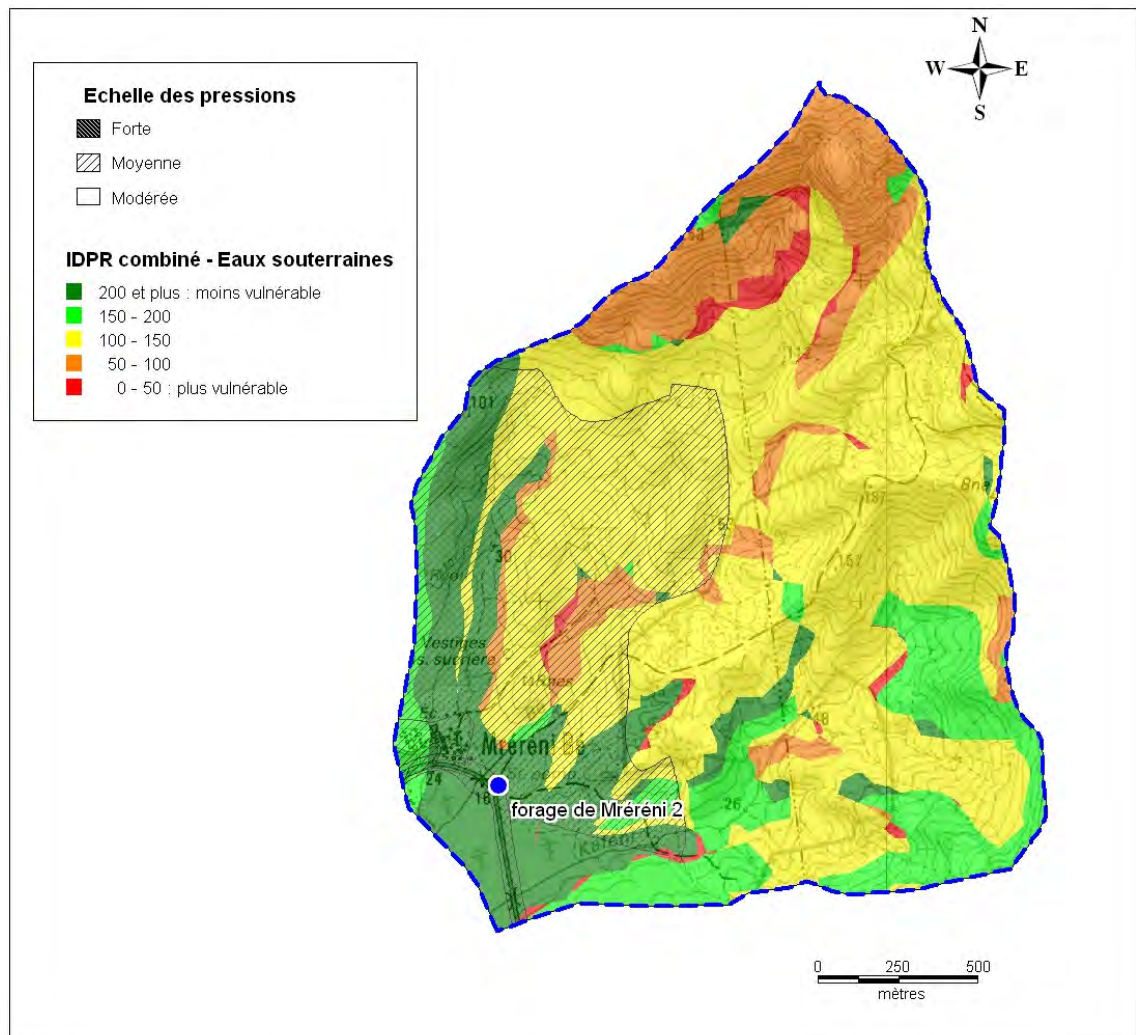


Illustration 23 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain du forage de M'réréni 2 - Bassin versant du Mroni Bé

L'illustration montre que le croisement des informations de vulnérabilité et de pressions dans l'enceinte du BAC souterrain du forage de M'réréni 2 aboutit à la superposition de pressions identifiées comme moyennes (cultures principalement) sur des zones identifiées comme moyennement vulnérables (lithologie basaltique) ou assez vulnérables (alluvions au Nord-Est de M'réréni Bé). De plus, ces pressions semblent se trouver dans la zone d'appel du pompage sur le forage de M'réréni 2.

On peut cependant remarquer qu'une partie de ces pressions moyennes (plus d'un tiers) est située dans des zones à l'aval du bassin versant moins vulnérables (dont la route CCD5). En effet, les alluvions argileuses et les dépôts pyroclastiques argileux, rencontrés dans les 14 premiers mètres de la foration de M'réréni 2, forment localement une couverture et peuvent diminuer le degré de vulnérabilité des eaux souterraines captées par le forage.

Les secteurs amont du BAC, considérés comme assez vulnérables (unités fonctionnelles à caractère infiltrant), ne sont soumis qu'à des pressions modérées (couvert forestier).

Le degré d'exposition de la ressource en eau souterraine est donc faible dans un rayon de 150 m autour du forage, et il devient plus important en amont du forage dans la moitié Ouest du BAC, c'est-à-dire à l'approche des villages. Dans l'autre moitié, cette ressource semble moins menacée puisque les pressions sont modérées.

7. Recommandations

Les résultats de l'étude ont mis en évidence la nécessité d'un programme d'actions à mettre en place dans le souci de la restauration et de la préservation de la ressource en eau souterraine du BAC du bassin versant du Mroni Bé. Compte tenu de la vulnérabilité intrinsèque du BAC, il est nécessaire de limiter au maximum le volume et la nature des pressions s'exerçant en surface. Les recommandations sont les suivantes :

- il est absolument nécessaire de renforcer le suivi de la qualité des eaux, notamment la bactériologie, le manganèse et les teneurs en ammonium. 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 pollutions chroniques ou diffuses (ces données seront indispensables dans les réflexions futures relatives à la protection de la ressource, notamment à travers la mise en place des plans d'action qui accompagneront les futurs périmètres de protection) ;
- les teneurs en manganèse des eaux souterraines suggèrent qu'il est nécessaire de mener rapidement les études de caractérisation du fond géochimique des eaux souterraines. L'empreinte géochimique, c'est-à-dire l'influence de la composition chimique des roches encaissantes sur la qualité des eaux (et notamment des métaux) est un volet essentiel à acquérir dans le domaine de la qualité des eaux (qu'elles soient souterraines mais aussi de surface) ;
- ces mesures devront s'accompagner - dès le début de l'exploitation - de la mise en place d'un système de mesure efficace des prélèvements en tête de forage ;
- respecter le débit maximum préconisé pour l'exploitation du forage de M'réréni 2 (soit 22 m³/h, en se gardant un débit maximal de 31 m³/h environ) afin de limiter le risque de vulnérabilité de cet aquifère vis-à-vis de l'intrusion saline ;
- suivre, au moins lors de la mise en route du forage, la turbidité de l'eau souterraine en raison d'un (faible) risque d'entraînement de minéraux (de type kaolinite ?) liés à l'hydrothermalisme ;
- suivre, au moins de façon journalière, les niveaux piézométriques du forage pompé et poursuivre le suivi hebdomadaire actuel des deux autres forages ;
- la réalisation de jaugeages différentiels dans le cours d'eau en période de basses eaux permettra de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse de pertes dans le cours d'eau (infiltrations) et - si possible - de la quantifier ;
- des tests de perméabilité couplés avec des traçages permettraient de rattacher des valeurs physiques d'infiltrabilité aux indices IDPR et rugosité, et ce en fonction des formations lithologiques et/ou pédologiques concernées. Les traçages permettraient d'apprécier les vitesses de transfert des eaux souterraines vers les forages, données essentielles dans la bonne détermination des périmètres de protection ;

- il sera nécessaire de réglementer et surveiller les pratiques (assainissement, agriculture, élevage) dans la partie basse du bassin versant du Mroni Bé, notamment à l'amont du village de M'réréni Bé ;
- plus largement - et ce constat sera applicable à l'ensemble des bassins versants de Mayotte lors de l'instauration des périmètres de protection – il sera nécessaire de mettre en place des plans d'actions spécifiques portant sur des fondamentaux comme : l'information et la sensibilisation de la population riveraine à la protection de la ressource, le développement de mesures agro-environnementales, les moyens de surveillance de la ressource et des pratiques...

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 recherche et développement à coûts partagés ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009, la délimitation du bassin d'alimentation du captage du bassin versant du Mroni Bé, à savoir le forage de M'réréni 2 (BSS 12312X0035/Mréré2) a été établie sur la base des principes méthodologiques du rapport BRGM/RP-57299-FR.

Le bassin d'alimentation du forage englobe 82 % de la superficie totale du bassin versant de surface (partie en amont du forage).

Les résultats des calculs « IDPR combiné » montrent que l'aval du bassin versant du Mroni Bé a une capacité ruisselante (plaines littorales et alluvions), et que son amont possède un réseau de drainage déficitaire soit une capacité infiltrante. De fait, la vulnérabilité du captage souterrain implanté à l'aval de ce bassin versant dans la zone ruisselante est localement peu élevée (150 mètres autour du forage).

En ce qui concerne l'inventaire et la caractérisation des pressions s'exerçant sur le captage, les pressions identifiées comme les plus importantes sont : l'absence d'assainissement des eaux usées, la proximité de la route CCD5, les pratiques culturales de bananeraies, et les parcs à zébus.

En raison des fortes teneurs en manganèse, l'eau du forage n'est pas consommable sans traitement (nécessité d'installation d'une unité de rabattement du manganèse dissous). Les teneurs en paramètres bactériologiques et en ammonium montrent que l'eau souterraine captée au niveau du forage n'est pas considérée comme réellement polluée étant donnée l'absence de substances organiques indésirables dépassant les limites de qualité AEP - constat qui n'écarte pas les pollutions accidentelles et dont les constituants, teneurs ou effets n'ont jamais été réellement mesurés (notamment en raison du nombre trop faible d'analyses réalisées).

Par ailleurs, l'inventaire des aléas naturels susceptibles de nuire à l'enceinte AEP montre que le forage est situé en zone d'aléa moyen de type mouvement de terrain accompagné de chutes de blocs et en zone d'aléa moyen de type inondation.

Finalement, le risque de pollution ou de dégradation de la ressource en eau souterraine du BAC s'avère – à l'heure actuelle – assez modéré. Le développement de l'urbanisation, et surtout celui des pratiques agricoles sont les facteurs essentiels pouvant conduire à l'avenir à une dégradation conséquente de la ressource.

Les recommandations portent à la fois (i) sur la surveillance de la ressource, c'est-à-dire le renforcement du suivi de la qualité des eaux, des niveaux piézométriques, des débits transitant dans le cours d'eau (jaugeages) et de la quantité des prélèvements (mesure et respect du débit préconisé), (ii) sur la surveillance et la réglementation des pratiques en vigueur sur les BAC (assainissement, pratiques agricoles, élevage) et (iii) sur la mise en place de plans d'actions portant sur la sensibilisation des riverains à

propos de la protection de la ressource en eau et le développement de mesures agro-environnementales. Ces recommandations doivent être observées sur l'ensemble du BAC et plus particulièrement dans la partie basse du bassin versant du Mroni Bé notamment à l'amont du village de M'réréni Bé où les pressions sont les plus importantes.

La suite de cette étude conduit logiquement à la réalisation d'une étude hydrogéologique complémentaire qui sera l'étude préalable à l'instauration des périmètres de protection. Ce programme est envisagé sur les années 2010/2011.

9. Références bibliographiques

AUDRU J.C., DESPRATS J.F., EUCHER G., JOSSOT O., MATHON C., NEDELLEC J.L., RANCON J.P., SEDAN O. et ZORNETTE N., avec la collaboration de GUILLOBEZ S. (CIRAD), de DANIEL P. et de HAIE B. (Météo-France) (2004) - Atlas des aléas naturels à Mayotte. Communes de Chiconi, Ouangani, Sada et Chirongui - Rapport BRGM/RP-52662-FR, 121 pages, 68 figures ou photos, 4 tableaux, 54 cartes et 8 annexes.

JOURDAIN T., LACHASSAGNE P., LEBON D., MIEHE J.M., MOURON R. (2002) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte campagne 2001-2002 - Synthèse des résultats des reconnaissances géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et radon - Propositions d'implantation des sondages de reconnaissance – Rap. BRGM/RP-51498-FR – 2002 MAY 01, 115 p., 33 fig., 6 tab., 4 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.

Lachassagne P., Ladouche B., Petit V., coll. Jourdain Th. Et Mouron R. (2002) – Protection et optimisation de la ressource en eau souterraine à Mayotte. Réévaluation des débits d'exploitation des forages de 1999-2000, sur la base d'observations complémentaires réalisées en 2000-2001. Rapport BRGM/RP-51603-FR, 89 p., 31 figs.

Lapègue J. (1999) – Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte : la ressource hydrique et l'assainissement pluvial et l'érosion. Rapport de thèse, université de la Réunion, 376 p.

Latrille E. (1981) – Mayotte. Carte morphopédologique et des propositions d'affectation des terres. 1/50 000. Exploitation agronomique de l'inventaire des terres cultivables – Rapport IRAT, 126 pp.

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.

Malard A. avec la collaboration de B. Aunay, J.F. Vernoux et V. Mardhel (2009) – 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.

Mauroux B. (1991) – Programme des forages de reconnaissance des eaux souterraines à Mayotte. Rapport BRGM/R35165 REU 4S 92.

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

Stollsteiner P., coll. Cluzet C. (2008) - Actualisation des propositions pour une méthodologie relative aux études hydrauliques et hydrologiques à Mayotte. Rapport BRGM/RP-56881-FR, 98 p., 32 ill., 4 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 Seine-Normandie, rapport BRGM/RP-55332-FR, 128 pages, 125 illustrations, 8 annexes

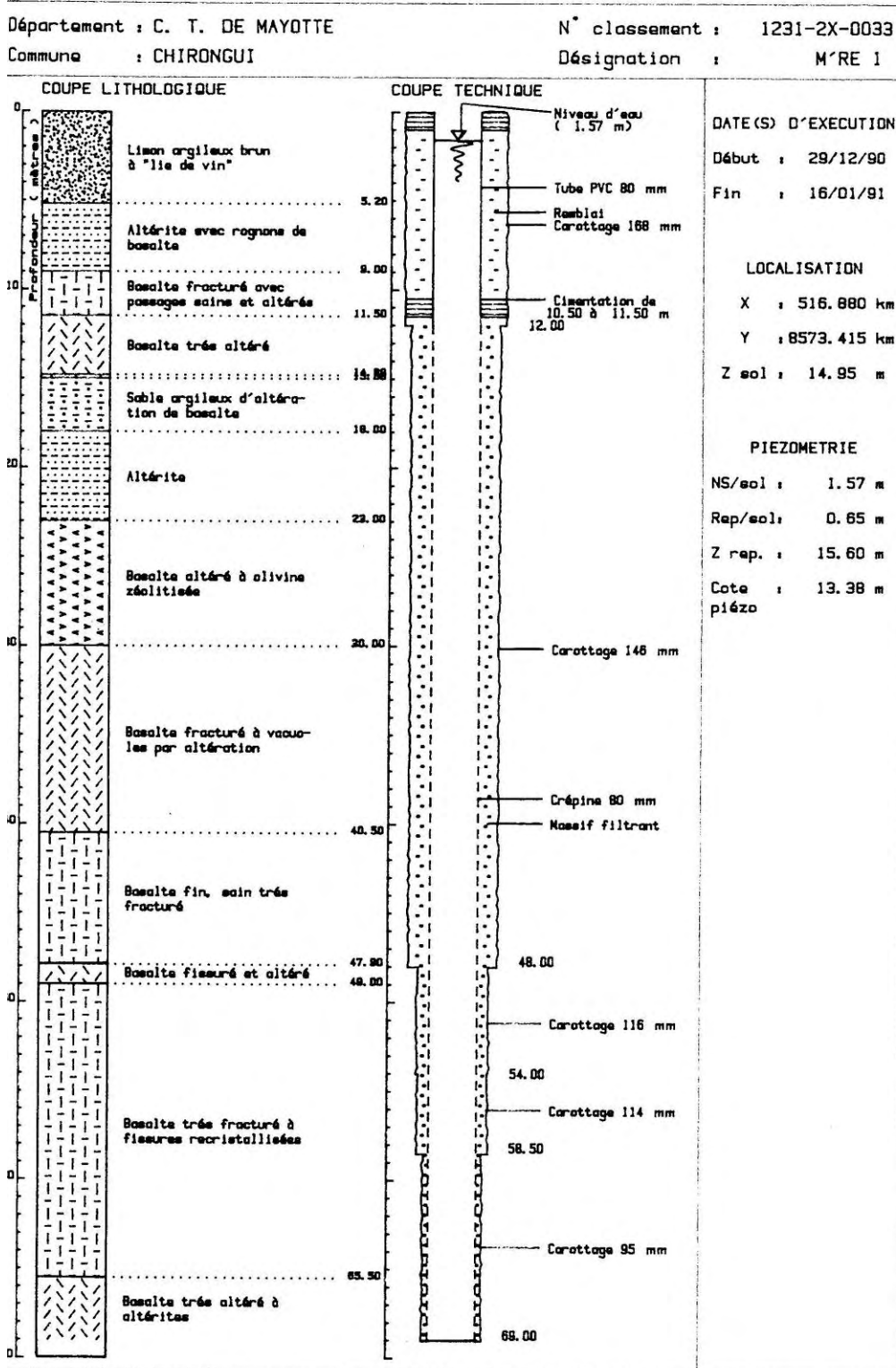
Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874-FR, 75 pages, 14 illustrations

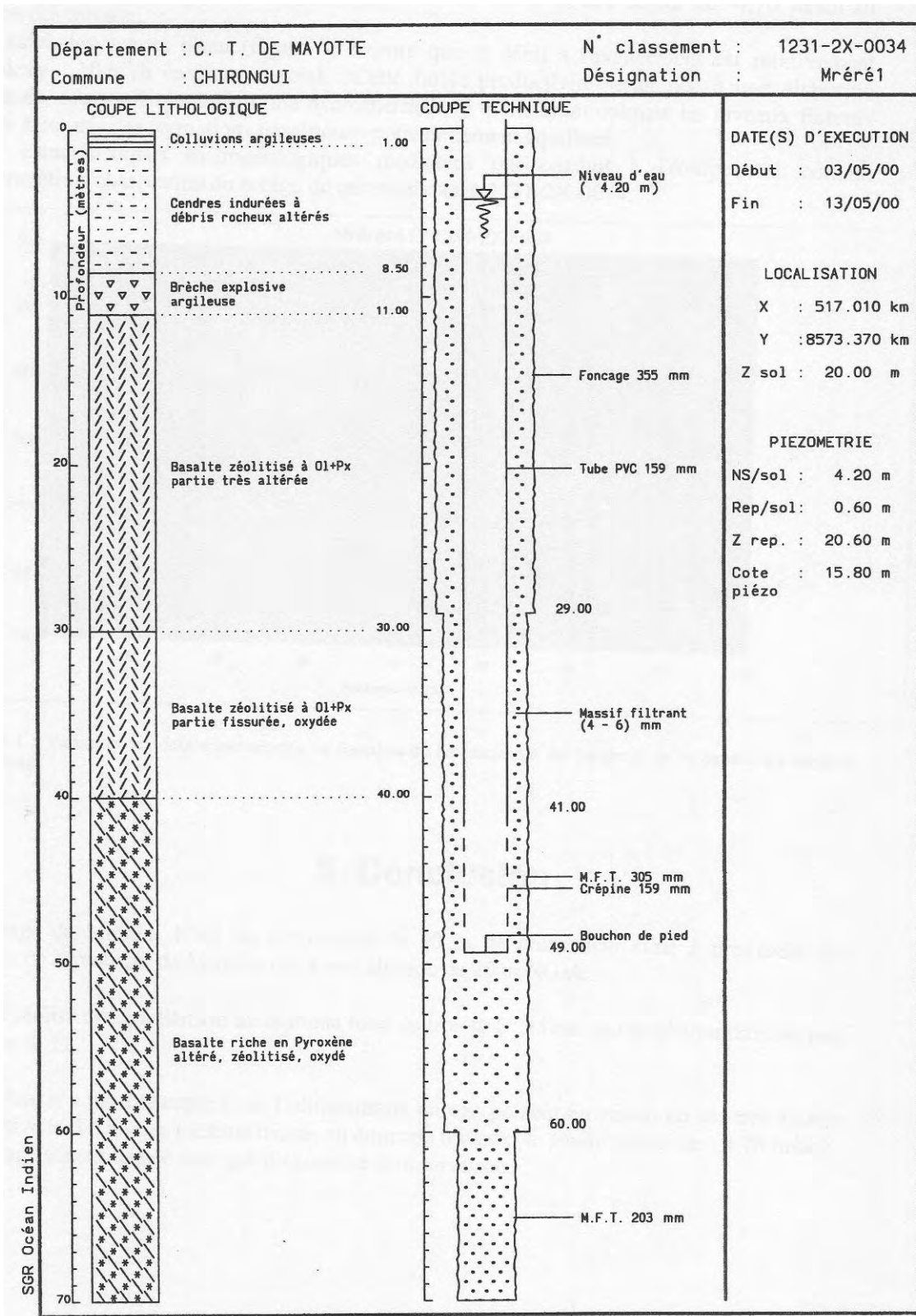
Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2008) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Application du guide méthodologique sur des bassins test, rapport BRGM/RP-55875-FR, 172 pages, 113 illustrations, 7 annexes.

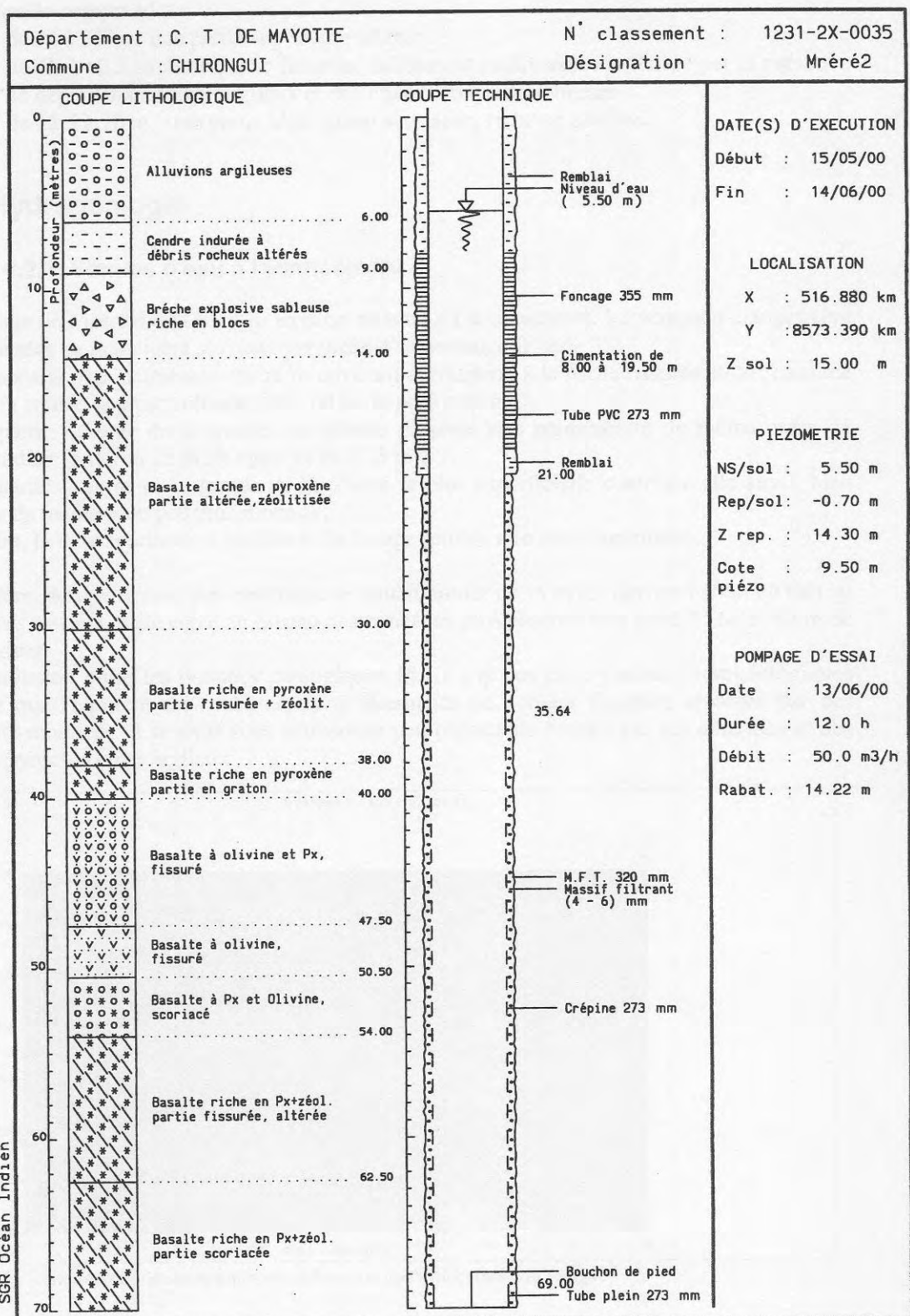
Annexe 1

Coupes techniques du piézomètre de M'réréni (12312X0033/M're1), des forages M'réréni 1 (12312X0034/Mréré1) et M'réréni 2 (12312X0035/Mréré2)

FIGURE 34







Annexe 2

Analyses physico-chimiques des eaux souterraines du bassin versant du Mroni Bé



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