



Etude du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 (12306X0014/BEJA1) - bassin versant du Mroni Béja - Mayotte

Rapport final

BRGM/RP-57619-FR

Octobre 2009



Syndicat Intercommunal d'Eau
et d'Assainissement de Mayotte



Géosciences pour une Terre durable

brgm



3 5000 00053762 0



Etude du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 (12306X0014/BEJA1) - bassin versant du Mroni Béja - **Mayotte**

Rapport final

BRGM/RP-57619-FR
Octobre 2009

Étude réalisée dans le cadre de la convention R&D
SIEAM/BRGM du 24 avril 2009

Malard A.

Avec la collaboration de Brugeron A., Mougins B. & Willeumier A.

Vérificateur :

Nom : COURTOIS Nathalie

Date : 09/10/2009

Signature :

Approbateur :

Nom : PUVILLAND Pascal

Date : 12/10/2009

Signature :

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

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

Mots clés : bassin d'alimentation de captage, aire d'alimentation de captage, aquifères, forages, vulnérabilité, pressions, Mroni Béja, Mayotte, Comores, France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Malard A., avec la collaboration de Brugeron A., Mougin B. et Wuilleumier A. (2009) - Etude du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 (12306X0014/BEJA1) - bassin versant du Mroni Béja – Mayotte – BRGM/RP-57619-FR. 72 p., 23 ill., 7 tab. et 2 ann.

Synthèse

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

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

- du Mro Oua Orovéni, avec notamment la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani (cf. Malard 2009, rapport BRGM/RP-57111-FR) ;
- du Mro Oua Gouloué (cf. Malard 2009, rapport BRGM/RP-57109-FR) ;
- du Mro Oua Bouyouni bas (cf. Malard 2009, rapport BRGM/RP-57108-FR) ;
- du Mro Oua Méresse (cf. Malard 2009, rapport BRGM/RP-57110-FR) ;
- correspondant à la prise d'eau en mer pour l'usine de dessalement de Petite Terre (cf. Malard 2009, rapport BRGM/RP-57112-FR).

Suite au Comité Régional de Programmation des opérations de Service Public du BRGM du 03/10/08 et à la réunion de travail SIEAM/BRGM du 26/12/08, le SIEAM (Syndicat Intercommunal des Eaux et Assainissement de Mayotte) a souhaité poursuivre les études de délimitation des BAC pour 15 autres captages AEP.

Les 5 premiers bassins considérés comme prioritaires par le SIEAM, sont étudiés dans le cadre de la convention SIEAM/BRGM du 24 avril 2009. L'étude porte sur 5 bassins et couvre les captages suivants (5 prises d'eau en rivière, un drain et 9 forages d'eau souterraine) :

- les 2 prises d'eau de surface du Mro Oua Kwalé (Kwalé haut 12307X0145/KWALHA et Kwalé bas 12307X0146/KWALHA) ainsi que les forages de Kwalé 1 (Indice national : 12307X0022/Koual1) et de Kwalé 3 (12303X0100/Kwalé3), Brugeron et al. 2009, rapport BRGM/RP-57621-FR ;

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

- Les forages de Kawéni F1 (12307X0013/F1), F2 (12307X0014/F2), et 3 10'' (12307X0021/Kaoué3), Wuilleumier et al. 2009, rapport BRGM/RP-57620-FR .
- la prise d'eau du Mro Oua Andrianabé (12306X0054/AMPCAP), le drain de M'tsangamouji (12306X0055/AMPDRA) et les forages de M'tsangamouji 1 (12306X0017) et 2 (12306X0016), Mougin et al. 2009, rapport BRGM/RP-57618-FR ;
- **le forage de Béja 1 (12306X0014/BEJA1) qui fait l'objet du présent rapport ;**
- Les prises d'eau de surface des Mro Oua Mouhogoni, Mapouéra, Mjihari et Mahojani ainsi que le forage de Mohogoni (12302X0025/MOHOG), Malard. 2009, rapport BRGM/RP-57622-FR ;

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

Les résultats de l'étude relative au bassin d'alimentation du forage de Béja 1 – ouvrage prochainement mis en exploitation – montrent que ce dernier s'inscrit dans le bassin versant de surface du Mroni Béja et occupe une surface de 3,9 km². Le piézomètre amont de Béja 2 est compris dans le BAC car il recoupe 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-delà du rayon d'influence généré par le pompage du forage.

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 peu infiltrante à moyennement infiltrante qui garantit un degré important de protection de la ressource. Des faciès plus infiltrants sont observés au niveau des lits des cours d'eau (lithologie de type alluvions) et supposés comme participant à l'alimentation des niveaux aquifères.

L'inventaire et l'évaluation des pressions du bassin versant fait état : d'une faible urbanisation, de l'absence totale de sites industriels et d'activités à risque et d'une activité culturelle encore sommaire, faiblement consommatrice d'engrais et de produits phytosanitaires (cultures d'ylang-ylang, bananes, maniocs, etc.).

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

Ces résultats encourageants ne doivent pas éclipser le fait qu'il est nécessaire de surveiller attentivement la ressource en eau du BAC au moyen d'analyses régulières de la qualité des eaux et de surveillance des pratiques anthropiques (défrichage, brûlis, décharges sauvages, urbanisation clandestine illégale, etc.), 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.

Cette étude fait partie d'une démarche collective initiée par la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales (DASS) de

Mayotte et le Syndicat Intercommunal des Eaux et Assainissement de Mayotte (SIEAM)¹, le but final étant de mettre en place rapidement les périmètres de protection de captages au sens administratif, d'instruire les dossiers de Déclaration d'Utilité Publique² et de mettre en application les plans d'action de protection des ressources.

¹ Dans le cadre de la convention de recherche et développement partagés DAF/BRGM du 18 août 2008, cinq captages prioritaires (inscrits en tant que captages Grenelle sur les listes ministérielles) ont déjà fait l'objet d'une étude de délimitation de BAC. La signature de la convention ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009 prévoit la réalisation des études BAC sur 4 autres bassins versants. Fin 2009, les études BAC devront être abouties sur tous les captages en service ou en instance de mise en service de Mayotte.

² Comme prévu par (i) la loi relative à la protection de la santé publique de 1902, article 10, qui impose pour tous captages la réalisation d'une Déclaration d'Utilité Publique qui déterminera - si nécessaire - un périmètre de protection contre la pollution de l'ouvrage, (ii) la loi sur l'eau de 1992 qui impose à tous les captages la délimitation des périmètres de protection. Cette loi, rétroactive, s'applique aussi bien aux captages en création qu'aux captages antérieurs et (iii) le Plan National Santé Environnement qui fixe comme objectif que l'ensemble des captages soit protégé en 2010.

Sommaire

1. Introduction.....	11
2. Localisation des ouvrages d'eau et présentation du bassin versant.....	15
2.1. LOCALISATION DES OUVRAGES D'EAU	15
2.2. TOPOGRAPHIE	17
2.2.1. Altitudes.....	17
2.2.2. Pentes	20
2.3. PLUVIOMETRIE	21
2.4. RESEAU HYDROGRAPHIQUE, HYDROLOGIE ET MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU	24
2.4.1. Description du réseau hydrographique.....	24
2.4.2. Morphologie du cours d'eau	24
2.4.3. Hydrologie	26
2.5. GEOLOGIE DU BASSIN ET IMPLICATIONS HYDROGEOLOGIQUES	30
2.6. MORPHOPEDOLOGIE.....	32
3. Délimitation du bassin d'alimentation du forage de Béja 1	35
3.1. LE FORAGE DE BEJA 1 ET LE PIEZOMETRE DE BEJA 2	35
3.1.1. Le forage de Béja 1	35
3.1.2. Le piézomètre de Béja 2.....	40
3.2. QUALITE DES EAUX	46
3.3. DELIMITATION DU BAC	48
4. Caractérisation de la vulnérabilité	51
5. Caractérisation des pressions	53
5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN VERSANT DU MRONI BEJA.....	53
5.1.1. Pressions urbaines : déchets / assainissement / lessives / pêches	53
5.1.2. Pressions agricoles	53
5.1.3. Pressions industrielles.....	54

5.1.4. Risques naturels	54
5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS	55
6. Evaluation du risque de pollution des eaux souterraines du bassin d'alimentation du forage de Béja 1	57
7. Recommandations	59
8. Conclusion.....	61
9. Références bibliographiques	63

Liste des illustrations

Illustration 1. Découpage du bassin versant topographique du Mroni Béja et localisation des forages de Béja 1 et 2, et de la station de jaugeage de Bandrazia (12306X0039/G9).....	16
Illustration 2. Altitude du bassin versant du Mroni Béja (d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m IGN©).....	18
Illustration 3. Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant du Mroni Béja (d'après le MNT au pas de 25 m).....	19
Illustration 4. Cartographie des pentes du bassin versant du Mroni Béja(d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m IGN©).....	20
Illustration 5. Profil en long du Mroni Béja entre l'exutoire du bassin versant et les reliefs amont. Sur le graphique sont figurées les différentes sections du cours d'eau principal et secondaire. Les forages de Béja et la station de jaugeage sont projetés le long du cours secondaire.....	26
Illustration 6. Débits du Mroni Béja enregistrés au niveau de la station de jaugeage 12306X0039/G9 (données DAF de 1995 à 2003). Noter la lacune de données entre février 1996 et juillet 1997.....	27
Illustration 7. Principales observations réalisées lors de la reconnaissance de terrain du 17 septembre 2009.....	28
Illustration 8. Ancienne prise d'eau de surface du Mroni Béja. Cette prise, réalisée par la DAF dans les années 80 n'est plus utilisée aujourd'hui (reconnaissance du 17 septembre 2009).....	29
Illustration 9. Géologie du bassin versant du Mroni Béja (Stieljes et al. 1988).....	30
Illustration 10. Formations pédologiques superficielles du bassin versant du Mroni Béja au 1/50 000 (Latrille 1981).....	33
Illustration 11. Forage de Béja 1 (reconnaissance du 17 septembre 2009). Absence de pressions immédiates autour de l'ouvrage. Ce dernier est bien clôturé et aucune pression significative n'a été relevée à proximité.....	37
Illustration 12. Variations piézométriques du forage de Béja 1 entre septembre 2000 et mai 2008. En surimposition apparaît la pluviométrie journalière enregistrée à hauteur de la station de Bandrazia sud, 40 m NGM (données DAF).....	38
Illustration 13. Evolution du signal piézométrique du forage de Béja 1 en fonction des précipitations enregistrées à la station de Bandrazia Sud – période de juin 2004 à juin 2005.....	39
Illustration 14. Le piézomètre de Béja 2 (reconnaissance du 17 septembre 2009).....	41
Illustration 15. Chronique piézométrique du piézomètre de Béja 2 entre septembre 2000 et septembre 2009 (données DAF).....	42
Illustration 16. Evolution du signal piézométrique du piézomètre de Béja 2 en fonction des précipitations enregistrées à la station de Bandrazia Sud – période de juin 2004 à juin 2005.....	43

Illustration 17. Mise en relation des données piézométriques des forages de Béja 1 & 2 entre septembre 2000 et mai 2008 (données DAF)	44
Illustration 18. Profil de conductivité du forage de Béja 1 (février 2002, extrait de Lachassagne et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR).....	46
Illustration 19. Principe du rayon d'influence de la zone saturée d'un forage en exploitation (www.wellmanager.com)	48
Illustration 20. Carte de délimitation du bassin d'alimentation de captage du forage de Béja 1 (en rouge). Le rayon d'influence du forage est symbolisé par les ronds verts.	49
Illustration 21. Carte de vulnérabilité du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 obtenue sur la base des résultats de l'IDPR & de l'indice de rugosité (cf. Malard et al. 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR)	51
Illustration 22. Carte des pressions exercées sur le bassin versant du Mroni Béja. Les limites du bassin d'alimentation du forage de Béja sont représentées ici en rouge.	55
Illustration 23. Carte de croisement des informations de vulnérabilité et de pressions du bassin d'alimentation du forage de Béja 1.....	57

Liste des tableaux

Tableau 1. Les pluviomètres situés à proximité du bassin versant du Mroni Béja et leurs distances respectives au centre du bassin.....	21
Tableau 2. Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique M5 de Bandrazia Sud entre 1996 et 2008 (années civiles). Il n'y a pas de cumuls en 1997 et en 2006 en raison de lacunes d'enregistrement sur plusieurs mois.	21
Tableau 3. Calcul de la pluie efficace à l'altitude moyenne du bassin versant du Mroni Béja (78 m NGM) – la valeur de référence de RFU est fixée à 50 mm.....	22
Tableau 4. Informations relatives à la station de jaugeage G9 de Bandrazia.....	24
Tableau 5. Informations relatives au forage de Béja 1	36
Tableau 6. Informations relatives au piézomètre de Béja 2.	40
Tableau 7. Paramètres du calcul de la zone d'appel du forage de Béja 1.....	48

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes techniques des forages de Béja 1 & 2 (BSS 12306X0014/BEJA1 & 12306X0015/BEJA2)	67
Annexe 2 Analyses physico-chimiques des eaux souterraines du bassin du Mroni Béja.....	71

1. Introduction

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

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

Le BRGM, pour le compte du SIEAM, s'est engagé à mener en 2009 les études relatives à la délimitation et à la caractérisation des Bassins d'Alimentation de Captages sur 5 bassins versants, dont le bassin versant du Mroni Béja qui accueille le forage de Béja 1 (BSS 12306X0014/BEJA1) et le piézomètre de Béja 2 (BSS 12306X0015/BEJA2). Le forage de Béja 1, issu de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines de 1999/2000 (cf. Lachassagne et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR) a révélé un potentiel d'exploitation de 63 m³/h 24h/24 et devrait être mis en exploitation prochainement.

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

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

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.

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 – pour l'heure – 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, un rapport méthodologique (Malard 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR) adapté au contexte a été rédigé en août 2009 et a permis de fixer les modalités de ces études, de sélectionner les outils adéquats de caractérisation des vulnérabilités et surtout de proposer un cadre méthodologique commun applicable à l'ensemble des études BAC à Mayotte réalisées en 2009¹.

Très concrètement, l'étude des bassins d'alimentation de captage des eaux souterraines et de surface à Mayotte comporte trois volets, qui sont les axes usuellement présents dans les méthodologies et qui seront développés dans l'étude du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 :

- **la délimitation de la surface d'alimentation** : il s'agit du tracé des limites de la surface participant à l'alimentation du captage. Pour chaque captage, le bassin considéré est la surface sur laquelle toute molécule d'eau précipitée atteindra - à plus ou moins brève échéance – ce dernier. La délimitation des bassins d'alimentation de captage nécessite de connaître à la fois les comportements hydrologiques des eaux de surface et hydrogéologiques des eaux souterraines ;
- **la détermination de la vulnérabilité intrinsèque** : au sein du bassin délimité, il s'agit de déterminer les secteurs les plus contributifs à l'alimentation du forage et donc susceptibles de représenter un vecteur de propagation prépondérant en cas de pollution exercée sur la surface du BAC. L'estimation de la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine captée est basée sur le ratio infiltration / ruissellement déterminé par calcul de l'IDPR adapté à Mayotte - c.à.d. en contexte volcanique insulaire sous climat tropical ;
- **le recensement et l'évaluation des pressions exercées sur la surface du bassin d'alimentation** : l'inventaire des types de pressions 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. Compte tenu du l'accroissement de l'urbanisation et des infrastructures artisanales et industrielles de l'île, le recensement des pressions ne peut être considéré que comme une photographie prise au moment de l'étude. Ces pressions sont bien évidemment évolutives.

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.à.d. où les secteurs les plus vulnérables coïncident avec les pressions les plus fortes. Ces résultats permettront d'estimer le degré de protection de la ressource captée et surtout d'envisager la nature, le volume et les conditions du travail suivant qui portera sur la poursuite des études hydrogéologiques préalables à l'instauration des périmètres de protection de captages (envisagées pour les années 2010/2011).

2. Localisation des ouvrages d'eau et présentation du bassin versant

2.1. LOCALISATION DES OUVRAGES D'EAU

Le bassin du Mroni Béja compte deux forages réalisés pendant la campagne prioritaire d'étude et de reconnaissance / exploitation de juin 1999 à octobre 2000 (cf. Lachassagne et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR) :

- le forage de Béja 1 (12306X0014/BEJA1) est en instance de mise en service par la SOGEA dès disponibilité de la puissance électrique et des commandes nécessaires à l'exploitation. Le potentiel d'exploitation est estimé à 63 m³/h 24h/24 (Lachassagne et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR). En attente de la mise en exploitation, cet ouvrage a néanmoins été suivi par la DAF entre septembre 2000 et mai 2008.
- le forage de Béja 2 (12306X0015/BEJA2) a révélé un potentiel plus médiocre (14 m³/h à l'air lift) et est utilisé comme piézomètre par la DAF depuis 2000.

La station de jaugeage de Bandrazia (BSS 12306X0039/G9) est implantée en aval du bassin, à proximité de la route, et les débits sont suivis régulièrement par la DAF depuis 1995.

La localisation des ouvrages est donnée en Illustration 1.

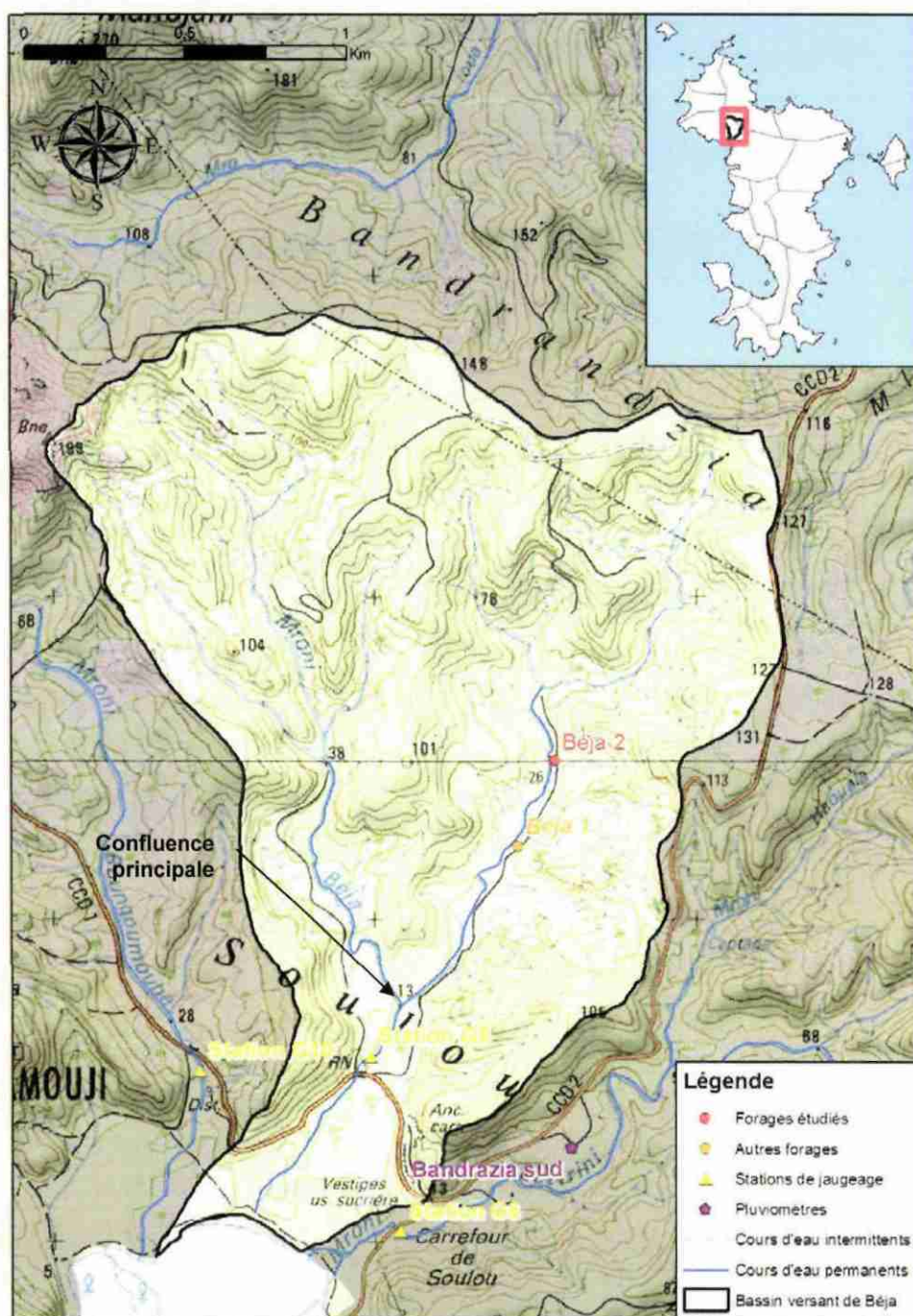


Illustration 1. Découpage du bassin versant topographique du Mroni Béja et localisation des forages de Béja 1 et 2, et de la station de jaugeage de Bandrazia (12306X0039/G9).

2.2. TOPOGRAPHIE

Le bassin versant du Mroni Béja (considéré comme le nom du cours d'eau principal) est situé côté ouest de l'île, dans la commune de M'tsangamouji. De forme relativement compacte, le bassin versant occupe une surface de 3,9 km² pour un périmètre de 9 km, soit un indice de compacité de Gravelius¹ de 1,3. Cet indice est un des plus faibles calculés sur l'île.

Le bassin versant – orienté NNE-SSW - est ceinturé par les contreforts de Bandranzia au nord (dont les reliefs s'étagent entre 120 et 199 m NGM) et rejoint la mangrove au niveau du carrefour de Soulou et des vestiges d'anciennes sucrières (Illustration 1).

La RN ainsi que le pont traversant le Mroni Béja sont les seules infrastructures du bassin et ne concernent que sa partie aval (sous 10 m NGM). Une ancienne carrière et les vestiges d'une usine sucrière du 19^{ème} siècle sont les dernières traces d'une activité industrielle dans le bassin.

Le cours d'eau principal d'ordre 3 (Strahler) est composé en amont de deux drains de même taille et d'ordre égal qui forment deux sous bassins qui confluent à 13 m NGM. Les forages de Béja (1 & 2) sont situés dans le sous bassin Est.

La distance entre l'extrême amont du bassin versant et l'embouchure du Mroni Béja est de 3 km. Le réseau de drainage est composé de 8 canaux dont l'activité hydrologique peut être considérée comme pérenne pour une longueur de 9,3 km.

2.2.1. Altitudes

L'Illustration 2 montre la répartition des altitudes par classe sur le bassin versant du Mroni Béja.

A la lecture de la carte, il apparaît que ce bassin est un bassin de faible altitude - l'altitude moyenne du bassin versant est de 78 m NGM. Le point culminant ne dépassant pas 200 m NGM, l'éventail des classes d'altitude est plus faible que pour d'autres bassins versants (ex : Mro Oua Gouloué, Mro Oua Bouyouni, Mro Oua Maré, etc.).

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

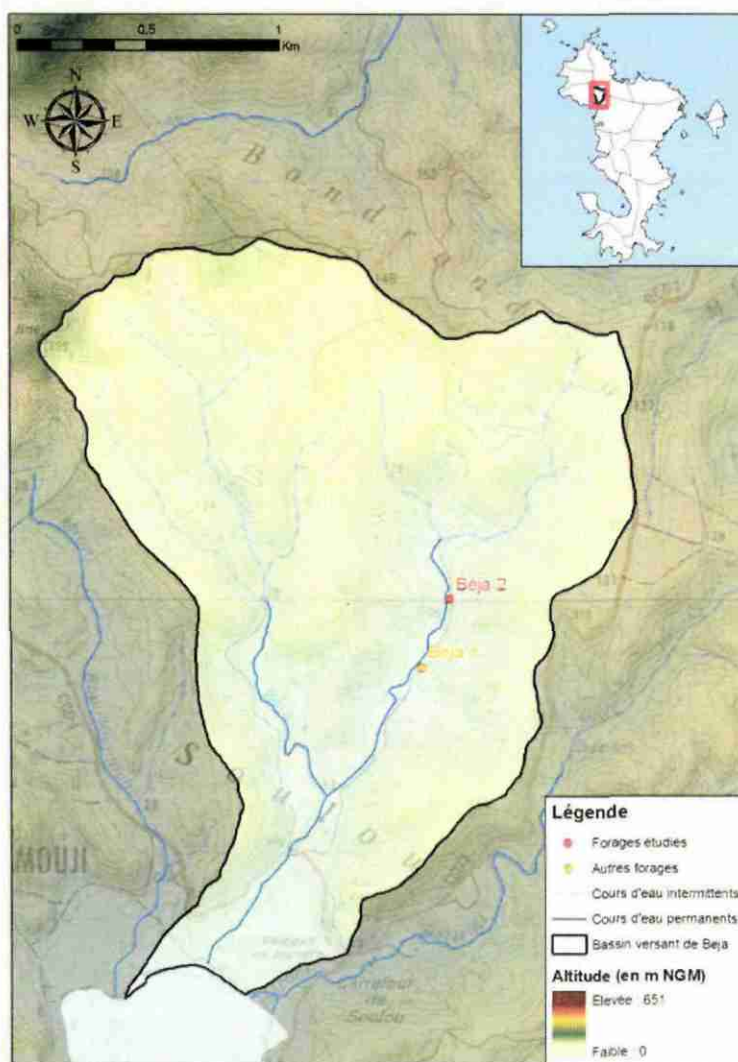


Illustration 2. Altitude du bassin versant du Mroni Béja (d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m IGN©).

Trois classes d'altitude sont majoritaires sur le bassin :

- les secteurs d'altitudes supérieures à 150 m NGM qui constituent la ceinture du bassin versant ;
- les secteurs d'altitudes entre 50 et 110 m NGM qui composent les plateaux plutôt identifiés comme des morphologies particulières dites planèzes¹, avec un pic de

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

représentativité vers 70 m NGM (cf. Illustration 3), c'est-à-dire proche de l'altitude moyenne du bassin versant ;

- les zones de fond de vallées, inférieures à 50 m NGM.

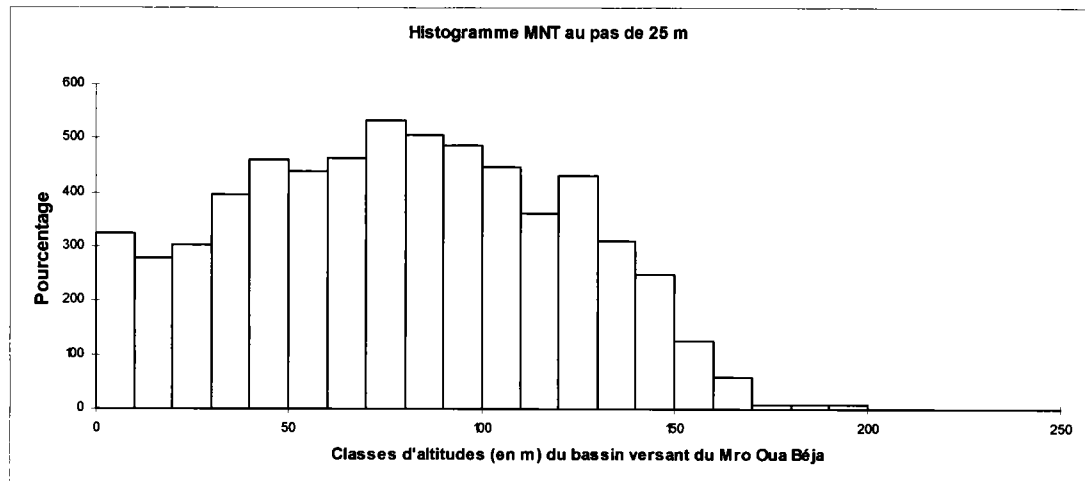


Illustration 3. Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant du Mroni Béja (d'après le MNT au pas de 25 m).

D'après l'illustration ci-dessus, la répartition des altitudes – par classes - sur le bassin versant du Mroni Béja montre une morphologie en cloche alors qu'en règle générale la répartition des surfaces d'un bassin suit une décroissance exponentielle entre l'exutoire et le sommet du bassin. Cette morphologie en cloche est représentative de bassins versants de faible altitude comportant des morphologies en plateaux. Ici, les surfaces entre 0 et 30 m NGM sont également distribuées, puis augmentent entre 30 et 70 m NGM. La surface la plus représentée se situe entre 70 et 80 m NGM (altitude moyenne des morphologies en plateaux (plutôt de type planèzes) du bassin). Ces observations confirment celles réalisées en Illustration 2. Les altitudes décroissent ensuite jusqu'à 170 m NGM. Entre 170 et 200 m NGM, les altitudes sont très peu représentées (surfaces quasiment négligeables).

2.2.2. Pentes

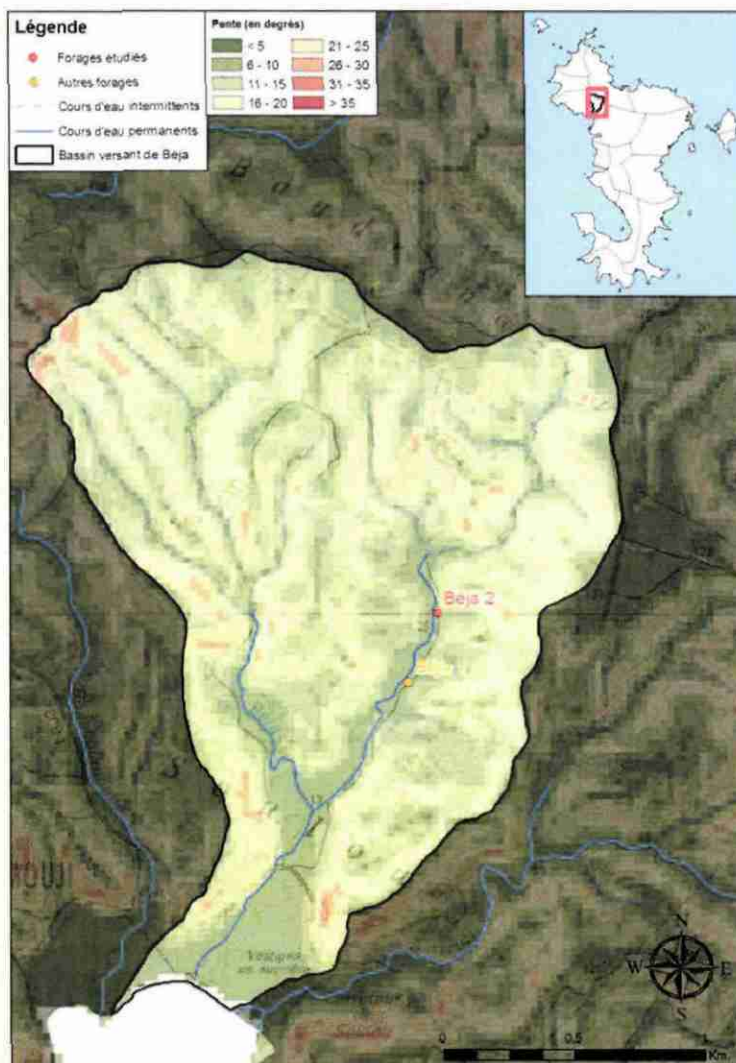


Illustration 4. Cartographie des pentes du bassin versant du Mroni Béja(d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m IGN©).

En ce qui concerne le profil des pentes du bassin versant du Mroni Béja, la carte précédente montre que les reliefs du bassin présentent des pentes relativement modérées.

Les fonds de vallée, les lits des affluents et les crêtes formant les limites Nord du bassin versant sont peu pentus, entre 5 et 15 degrés. Les versants raccordant les reliefs et les fonds de vallée s'échelonnent entre 16 et 25 degrés. Certains secteurs – notamment en rive droite du Mroni Béja – montrent des pentes plus fortes, autour de 30 degrés, qui sont conditionnées par une lithologie particulière (cf. Illustration 9).

2.3. PLUVIOMETRIE

Il n'existe pas de station pluviométrique dans le bassin versant du Mroni Béja. La station la plus proche est celle de Bandrazia Sud (code DAF M5) située dans le bassin versant voisin du Mroni Batirini à moins de 300 m de la bordure SSE du bassin versant, à l'altitude de 36 m NGM. Il existe aussi les stations pluviométriques de Bandrazia Nord (code DAF M6), dans le bassin versant du Mro Oua Méresse à 1 km à l'est, et de Dzoumognè (code DAF A14) à 3 km au nord, dans le bassin versant du Mro Oua Maré.

Pluviomètre	Code station	Gestionnaire	Coord X (m _{RGM04})	Coord Y (m _{RGM04})	Altitude (m NGM) ⁸	Distance (en km)
Bandrazia Sud	M5	DAF	511 837	8 589 019	36	1,5
Bandrazia Nord	M6	DAF	513 786	8 590 788	128	2,4
Dzoumognè	A14	DAF	511 549	8 594 397	45	4,0

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

La pluviométrie à l'altitude moyenne du bassin versant du Mroni Béja (78 m NGM) sera considérée comme étant la moyenne des précipitations annuelles du pluviomètre de Bandrazia Sud - dont les cumuls annuels depuis 1996 et leur moyenne sont représentés dans le tableau suivant, sur la période 1996/2008 - corrigée du facteur d'altitude.

Station M5 Bandrazia Sud / Années	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008
Cumul annuel (mm)	1158	1155	1520	1557	1005	1649	1371	1633	1322	812	1565
Moyenne sur la période 1996-2008 (mm)	1340										

Tableau 2. Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique M5 de Bandrazia Sud entre 1996 et 2008 (années civiles). Il n'y a pas de cumuls en 1997 et en 2006 en raison de lacunes d'enregistrement sur plusieurs mois.

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

Le choix de cette station s'explique notamment par sa proximité avec le bassin versant du Mroni Béja et par une altitude proche de l'altitude moyenne du bassin.

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

Ainsi, la pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant du Mroni Béja calculée sur la période 1996/2008 est $P_z = 1340 + 42 \times 1,3 = 1394 \text{ mm}$ - où 42 est la différence entre l'altitude du pluviomètre et l'altitude moyenne du bassin versant.

Le calcul de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) - basé aussi sur la relation établie dans le cadre du programme d'études relatif aux modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni, cf. Malard et al. 2009a, rapport BRGM/RP-57385-FR - peut s'écrire comme suit entre 0 et 90 m d'altitude : $ETP_z = -3.4 \times z + 1666$ où 1666 mm est la valeur de l'ETP à l'altitude de 0 m NGM.

Ainsi, la valeur annuelle théorique de l'ETP à l'altitude de 78 m NGM est de 1397 mm.

MOIS	Valeurs moyennes des précipitations de Bandrazia Sud (40m NGM) (mm)	Valeurs reconstituées des précipitations à 78m NGM (mm)	ETP mens à 78 m NGM (mm)	P-ETP (mm)	RFU ⁹ (mm)	P eff (mm)
Janvier	250	255	102.34	152	50	152
Février	222	227	91.57	135	50	135
Mars	257	262	108.05	154	50	154
Avril	122	126	107.45	19	19	50
Mai	26	31	113.67	-83	0	0
Juin	20	25	103.00	-78	0	0
Juillet	16	21	104.21	-83	0	0
Août	23	28	118.00	-90	0	0
Septembre	44	49	112.70	-64	0	0
Octobre	59	64	116.31	-52	0	0
Novembre	98	103	120.03	-17	0	0
Décembre	158	163	117.53	45	45	0
TOTAL	1298	1353	1315	38		491

Tableau 3. Calcul de la pluie efficace à l'altitude moyenne du bassin versant du Mroni Béja (78 m NGM) – la valeur de référence de RFU est fixée à 50 mm.

Le calcul de la pluie efficace (Peff) sur le bassin au pas de temps mensuel est donné dans le tableau suivant. La reconstitution des valeurs de précipitation et d'ETP a été

⁹ RFU : Réserve Facilement Utilisable, exprimée en mm.

établie sur la base des régressions linéaires (Malard et al. 2009a, rapport BRGM/RP-57385-FR).

Ainsi la valeur annuelle des précipitations efficaces – calculée au pas de temps mensuel – est de 491 mm environ. Cette valeur correspond à la lame d'eau disponible pour les écoulements de surface et souterrains et représente 36 % des précipitations annuelles moyennes.

2.4. RESEAU HYDROGRAPHIQUE, HYDROLOGIE ET MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU

2.4.1. Description du réseau hydrographique

Le développement du réseau hydrographique du bassin montre une densité de drainage de 2,5 km/km² et une densité hydrographique F de 2,1 canaux/km² environ. La densité de drainage D et la densité hydrographique F sont proches des 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 assez bien développé (nombre réduit de canaux) et probablement peu propice aux infiltrations (arguments par ailleurs développés dans la thèse de Lapègue – 1999). L'indice de compacité calculé plus haut milite aussi en faveur d'un bassin versant mature relativement bien drainé et développé.

Les débits du Mroni Béja sont enregistrés par la DAF au niveau de la station G9 de Bandrazia, en amont de la RN vers 9 m NGM. La station est située en aval des forages (cf. Illustration 1). La chronique (Illustration 6) s'étale de 1995 à 2009.

Nom	Station de jaugeage de Bandrazia
Coord X _{RGM04}	511 188 m
Coord Y _{RGM04}	8 589 291 m
Coord Z _{NGM}	9 m (MNT IGN© 2009) ¹⁰
Code BSS	12306X0039/G9
Chronique mesure	1995 - 2009
Remarque	Suivi manuel hebdomadaire de la DAF depuis 1995

Tableau 4. Informations relatives à la station de jaugeage G9 de Bandrazia.

2.4.2. Morphologie du cours d'eau

Le Mroni Béja est le résultat de la réunion de deux cours d'eau d'ordre 2 (Strahler) vers 13 m NGM. Le bassin versant est donc en réalité composé de deux sous-bassins versants de taille approximativement égale.

L'examen du Mroni Béja et du cours d'eau secondaire (le long duquel viennent se positionner les forages) entre l'exutoire et les reliefs amont montre des profils en long

¹⁰ L'ouvrage n'a jamais été précisément nivelé.

similaires (Illustration 5). Dans le détail, en remontant de l'aval vers l'amont, il est possible de distinguer 5 sections aux pentes singulières :

- une première section qui se développe entre l'exutoire du bassin versant et l'altitude 8 m NGM. Il s'agit de la plaine littorale du Mroni Béja en aval de la confluence entre les deux cours d'eau principaux. Cette section se développe sur environ 600 m et est marquée par une pente très faible (0,008 m/m soit moins de 1 %) ;
- une seconde section très courte, qui se développe sur moins de 200 m de linéaire entre 8 et 14 m NGM et qui se remarque par un redressement de la pente du cours d'eau (0,04 m/m soit 4 %). La confluence entre les deux cours principaux se réalise en limite amont de cette section ;
- une troisième section de pente intermédiaire et qui se développe sur plus de 750 m entre 14 et 29 m NGM. Cette section de pente intermédiaire (0,02 m/m soit 2 %) est commune aux deux cours d'eau alors qu'ils présentent des orientations de développement différentes (NNW-SSE pour le Mroni Béja et NNE-SSW pour le cours secondaire) ;
- une quatrième section qui représente visiblement la section la plus continue du bassin. Cette section – qui se développe sur plus de 1400 m entre 29 et 92 m NGM - montre une pente relativement forte (0,045 m/m soit 4,5 %) et très proche de la pente de la section 2. Cette section est commune au deux cours d'eau ;

Il est intéressant de noter que ces valeurs de pentes sont très communes d'un bassin à l'autre. Ainsi, dans le cas du Mro Oua Gouloué (Malard 2009c, rapport BRGM/RP-57109-FR), les pentes du cours d'eau passent successivement de 10 % à 4 % puis à moins de 1 % dans la plaine littorale.

- une cinquième et dernière section qui se développe au dessus de 92 m NGM, commune aux deux cours d'eau et qui remonte jusqu'aux sommets du bassin versant. La pente de cette section est la plus forte observée sur le bassin, de l'ordre de 0,11 m/m soit 11 %.

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

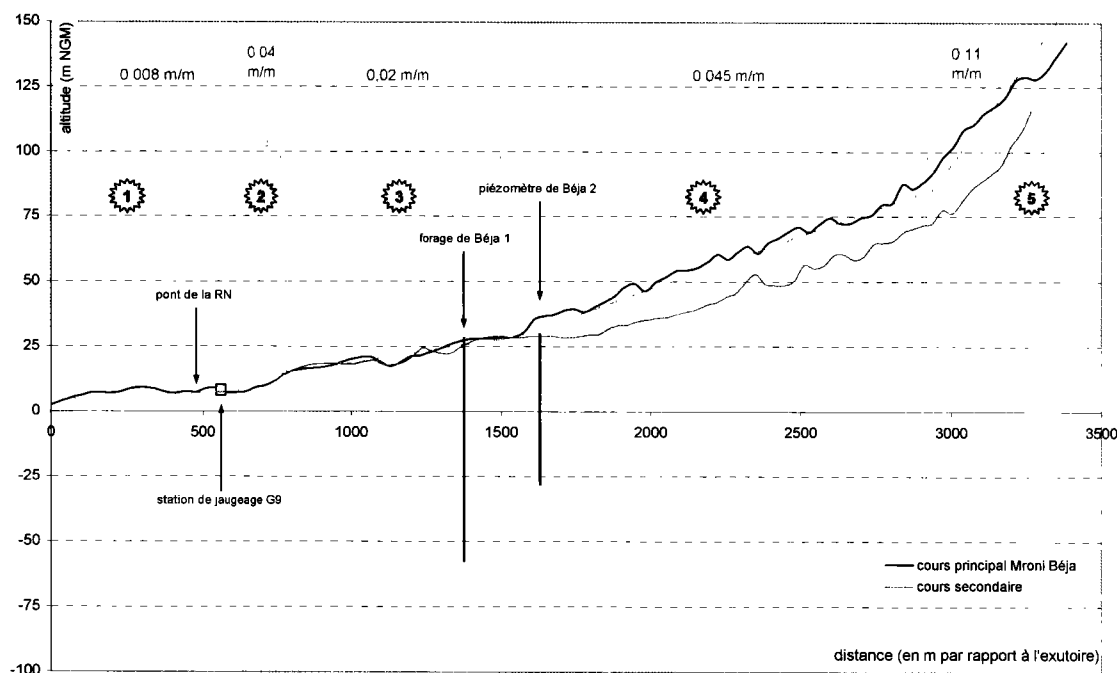


Illustration 5. Profil en long du Mroni Béja entre l'exutoire du bassin versant et les reliefs amont. Sur le graphique sont figurées les différentes sections du cours d'eau principal et secondaire. Les forages de Béja et la station de jaugeage sont projetés le long du cours secondaire.

En associant les informations géologiques, il est possible de rattacher les sections 3 & 4 aux formations volcaniques Pléistocène différenciées du Mlima Digo. L'aspect relativement discontinu de ces deux sections est la conséquence de l'hétérogénéité des faciès volcaniques (cendres, brèches explosives, coulées de basaltes, etc.). Au dessus, le redressement de la pente (section 5) marque les formations de pyroclastes qui assurent le recouvrement des unités basaltiques récentes sous-jacentes.

Le décrochement de la section 2 marque probablement le front de coulée et recouvre des unités plus anciennes qu'il est délicat de raccrocher au bouclier ancien septentrional ou aux unités Pléistocène plus anciennes du massif de Digo.

2.4.3. Hydrologie

Les débits du Mroni Béja sont suivis par la DAF au niveau de la station de jaugeage de Bandrazia G9 et les données présentées ci-dessous retracent la chronique entre mai 1995 et décembre 2002. La méthode de mesure est le micro-moulinet.

Le seuil en V est inutilisable car la partie en rive gauche s'est effondrée. Les écoulements peuvent passer au-dessus, en-dessous et à côté du seuil. L'écoulement observé le 17 septembre - très faible – ne passe pas au dessus du seuil.

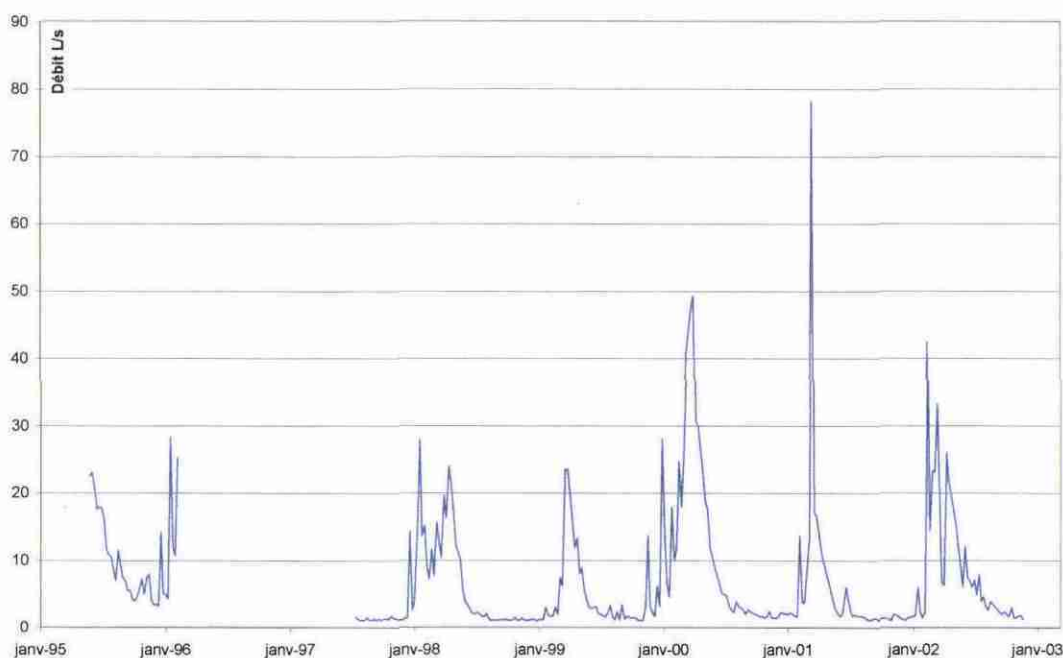


Illustration 6. Débits du Mroni Béja enregistrés au niveau de la station de jaugeage 12306X0039/G9 (données DAF de 1995 à 2003). Noter la lacune de données entre février 1996 et juillet 1997.

La courbe montre des fluctuations annuelles de débit entre saison sèche (étiage de juin à janvier) et saison des pluies (hautes eaux de janvier à juin).

Les débits du Mroni Béja s'échelonnent entre moins de 1 L/s à l'étiage à près de 80 L/s en hautes eaux.

Les débits en saison de hautes eaux sont relativement différents d'une année sur l'autre que ce soit en termes d'amplitude du signal (24 L/s en 1999 contre 42 L/s en 2002 ou 79 L/s en 2001) ou en termes de durée des écoulements. A ce stade, il convient de souligner l'incertitude de la mesure en hautes eaux :

- le pas de temps des mesures (hebdomadaire) ne permet pas de rendre compte de la variabilité des débits en hautes eaux ;
- les débits de crue ne sont pas mesurés.

En basses eaux, les débits sont mesurés entre 1 et 2 L/s sur toute la période. Ces mesures sont en accord avec les observations réalisées lors de la reconnaissance de terrain du 17 septembre 2009 (1,5 L/s).

Ainsi, si l'incertitude peut être considérée comme élevée en hautes eaux en raison (i) du protocole de mesure, (ii) du pas de temps et (iii) des limites matérielles ; en basses eaux, les mesures peuvent être considérées comme plus précises en raison :

- d'une moindre variabilité des débits
- de l'absence de crue comme en hautes eaux

La reconnaissance de terrain du 17 septembre 2009 (Illustration 7) a permis de mesurer quelques valeurs de conductivité. Il s'avère que la conductivité du cours d'eau au niveau du forage de Béja 1 (point 2) est de $170 \mu\text{S}/\text{cm}$. L'eau est relativement turbide et stagnante (pente faible) et le débit est faible.

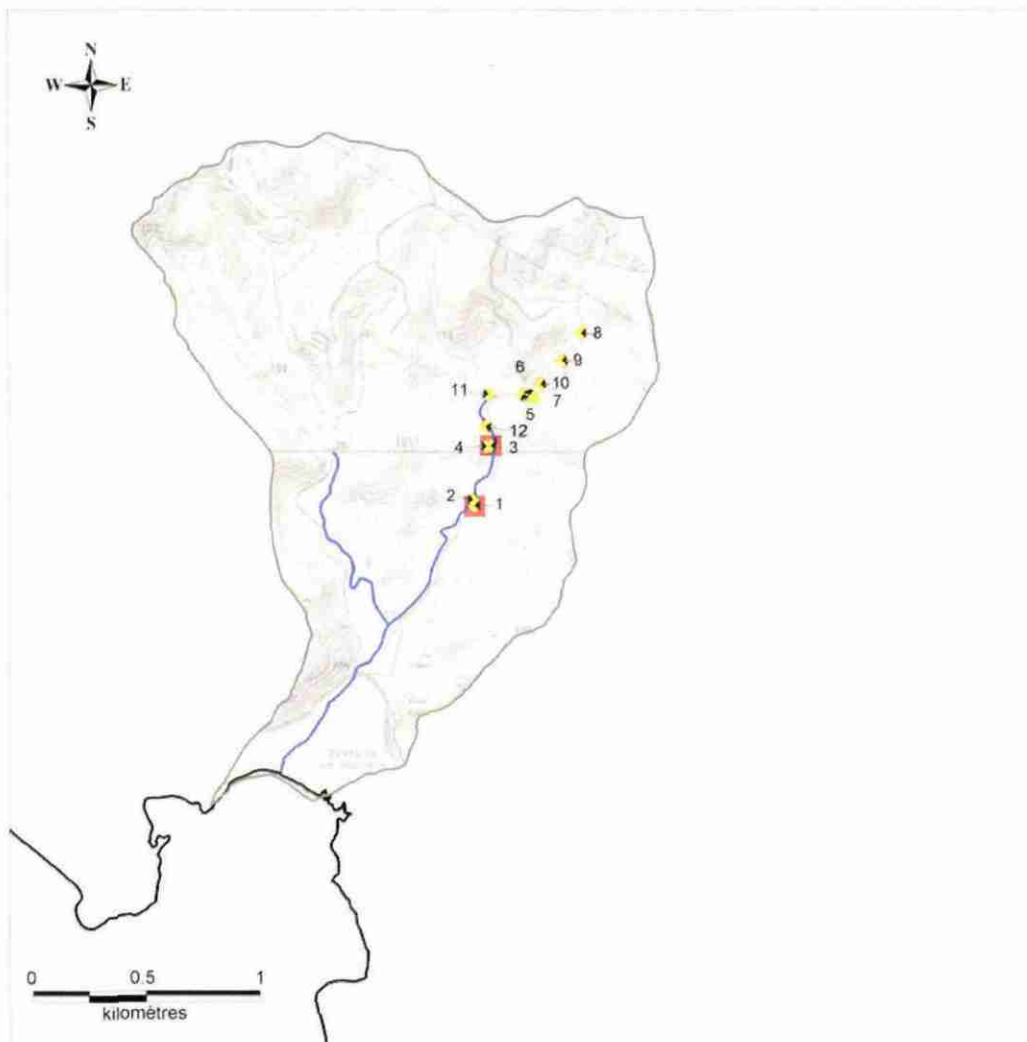


Illustration 7. Principales observations réalisées lors de la reconnaissance de terrain du 17 septembre 2009

En amont de la confluence (35 m NGM, point 11) l'affluent principal à l'Est est plus minéralisé - les valeurs s'étendent de $183 \mu\text{S}/\text{cm}$ en aval (point 5) à $163 \mu\text{S}/\text{cm}$ en amont (point 8). Ces observations - corrélées avec l'augmentation progressive du débit – montrent visiblement un enrichissement des eaux par contribution des eaux

souterraines. Les zones d'exsurgence n'ont pas été démontrées mais sont fortement soupçonnées sous forme de suintement.

Une ancienne prise d'eau – non fonctionnelle – réalisée par la DAF dans les années 80 (1986 ou 1988 ?) a été identifiée à l'altitude de 45 m NGM environ (point 7). Il s'agirait d'une ancienne alimentation en eau potable. Les tuyaux en fonte sont encore visibles et la retenue est aujourd'hui ensablée.



Brgm©

Illustration 8. Ancienne prise d'eau de surface du Mroni Béja. Cette prise, réalisée par la DAF dans les années 80 n'est plus utilisée aujourd'hui (reconnaissance du 17 septembre 2009)

A priori, la présence de cette retenue suggère que le régime hydrologique du cours d'eau est permanent. Cette prise est en aval des zones où les exsurgences sont suspectées (c'est-à-dire entre les points 7 et 8). En aval (au niveau du piézomètre de Béja 2) le débit a été mesuré à 1,5 L/s.

2.5. GEOLOGIE DU BASSIN ET IMPLICATIONS HYDROGEOLOGIQUES

Il existe très peu d'informations relatives à la caractérisation géologique du bassin versant du Mroni Béja. A l'exception de la carte géologique de Stieljes et al. (1988), il n'existe aucun support géologique.

Les campagnes de reconnaissance préalables à l'implantation des forages de Béja (Cruchet et al 2000, rapport BRGM/RP-50386-FR) ont permis de procéder à quelques observations de terrain ainsi qu'à la réalisation de profils géo-électriques et de prospection radon. Le manque d'affleurement dans le bassin rend délicate la cartographie géologique. De plus, dans le cadre des études géologiques et hydrogéologiques des ensembles volcaniques de Grande terre (Jourdain et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR), certaines formations ont été précisées dans le bassin.

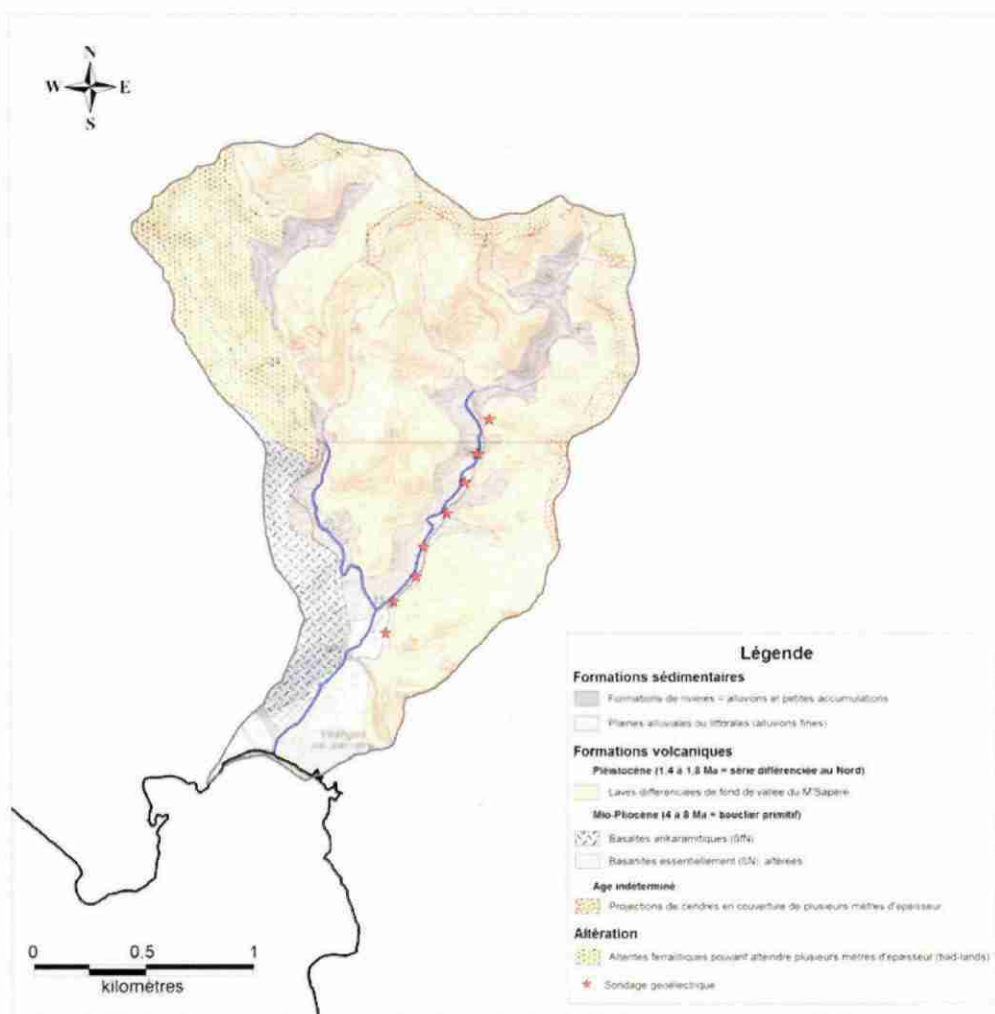


Illustration 9. Géologie du bassin versant du Mroni Béja (Stieljes et al. 1988)

Les résultats des observations antérieures et les informations de la carte géologique de Stieljes et al. (1988) (Illustration 9) montrent que le bassin du Mroni Béja se développe au contact de deux édifices volcaniques majeurs : (i) à l'ouest, les basaltes ankaramitiques du bouclier ancien septentrional sont les formations les plus anciennes du bassin (Mio Pliocène) et sont souvent altérées en boules, (ii) au centre et à l'est, les basaltes des séries basaltiques différenciés du Mlima Digo forment les reliefs de Bandranzia. Ces formations plus récentes (datées du Pléistocène, entre -1,4 et -1,5 Ma) viennent très certainement recouvrir à l'ouest les laves anciennes du bouclier septentrional. Les observations réalisées lors de l'étude géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande terre (Jourdain et al. 2002, BRGM/RP-51498-FR) confirment la présence de coulées de lave saine au niveau de l'ancienne carrière d'extraction, à la base du bassin.

Surmontant ces formations, des dépôts pyroclastiques de l'activité volcanique récente (tardi-Pléistocène) et composés essentiellement de cendres et de pyroclastites viennent en recouvrement et arment la majorité des reliefs du secteur. Ces dépôts sont aussi observés localement dans le fond de vallée, autour des forages de Béja 1 & 2. Le profil géo-électrique réalisé en 2000 (Cruchet et al 2000, rapport BRGM/RP-50386-FR) suivait la piste en fond de vallée entre 10 et 40 m NGM (cf. Illustration 9). Les informations apportées par ces profils suggèrent la présence quasi généralisée de formations à dominante argileuse, qui peuvent être interprétées sur l'illustration 9 comme des formations cendreuses remaniées et argilisées voire des formations d'altération des séries basaltiques du substratum. Ces formations sont *a priori* considérées comme imperméables.

En ce qui concerne les reliefs, aucune investigation antérieure n'a pu apporter de précisions sur la nature, la géométrie des formations et leur degré d'altération. Le rapport BRGM/RP-50386-FR mentionne que les formations volcaniques sont relativement bien préservées en apparence et donc favorables au développement d'unités aquifères en profondeur.

La sortie de reconnaissance du 17 septembre 2009 a permis de vérifier et de préciser certains points de géologie. Il y a peu d'affleurements sur le bassin et les formations alluvionnaires qui tapissent les fonds de vallées sont relativement développées. Des formations basaltiques affleurant en rivière dès l'altitude de 40 m NGM ont été identifiées comme des basaltes mélanocrates avec feldspaths et quelques pyroxènes. Ces formations sont rattachées aux laves différenciées du massif de Digo, sur la base des informations de la carte géologique.

En amont, au niveau de la confluence vers 60 m NGM, les formations encaissantes ont été identifiées comme étant des basaltes entièrement altérés – faciès argileux – dans lesquels il est impossible de distinguer la cristallisation. Ces formations viennent visiblement en recouvrement des basaltes mélanocrates sous-jacents. En amont de cette confluence, les débits des deux drains sont faibles voire nuls. C'est pour cette raison que les formations de basaltes mélanocrates sont vraisemblablement des formations aquifères qui assurent le soutien du cours d'eau en saison sèche par suintement sur une portion importante du linéaire entre l'ancienne prise d'eau et la confluence à 60 m NGM.

2.6. MORPHOPEDOLOGIE

L'examen des horizons pédologiques superficiels est réalisé sur la base de la carte morphopédologique du CIRAD (Latrille – 1981). D'après l'illustration 10, cinq formations superficielles majoritaires occupent le bassin versant.

Au niveau des reliefs marquant les bordures Est et Nord du bassin versant se développent des sols de type altérites ferralitiques faiblement remaniées couvrant des morphologies de type planèzes à faible pente. Les processus d'accumulation sont plus faibles qu'en ce qui concerne les sols bruns.

Au niveau du relief central (point culminant à 101 m NGM) et le long de la bordure Sud-ouest du bassin versant se développent des formations superficielles altéritiques ferralitiques remaniées qui tapissent les planèzes et versants à pentes moins prononcées, notamment sur le flanc des anciennes séries basaltiques du bouclier septentrional. Ces formations sont relativement développées en épaisseur.

Le coin Nord-ouest montre des formations altérées en place de type padzas¹¹. Ces formations sont toutes aussi développées en épaisseur que les formations remaniées précédentes.

Restent les formations de fond de vallées et littorales assimilées à des dépôts de colluvions et alluvions.

Globalement, la couverture pédologique du bassin versant du Mroni Béja montre **des faciès relativement développés en épaisseur et souvent peu perméables** (à l'inverse des sols bruns remaniés par exemple qui recouvrent le bassin versant du Mro Ou Gouloué).

¹¹ Equivalent de bad-lands, terrain où la faible végétation et le ruissellement important ont contribué à la formation de profondes ravines et à une érosion accélérée des sols. A Mayotte les padzas regroupe communément les terres rouges ou brunes dévégétalisées.

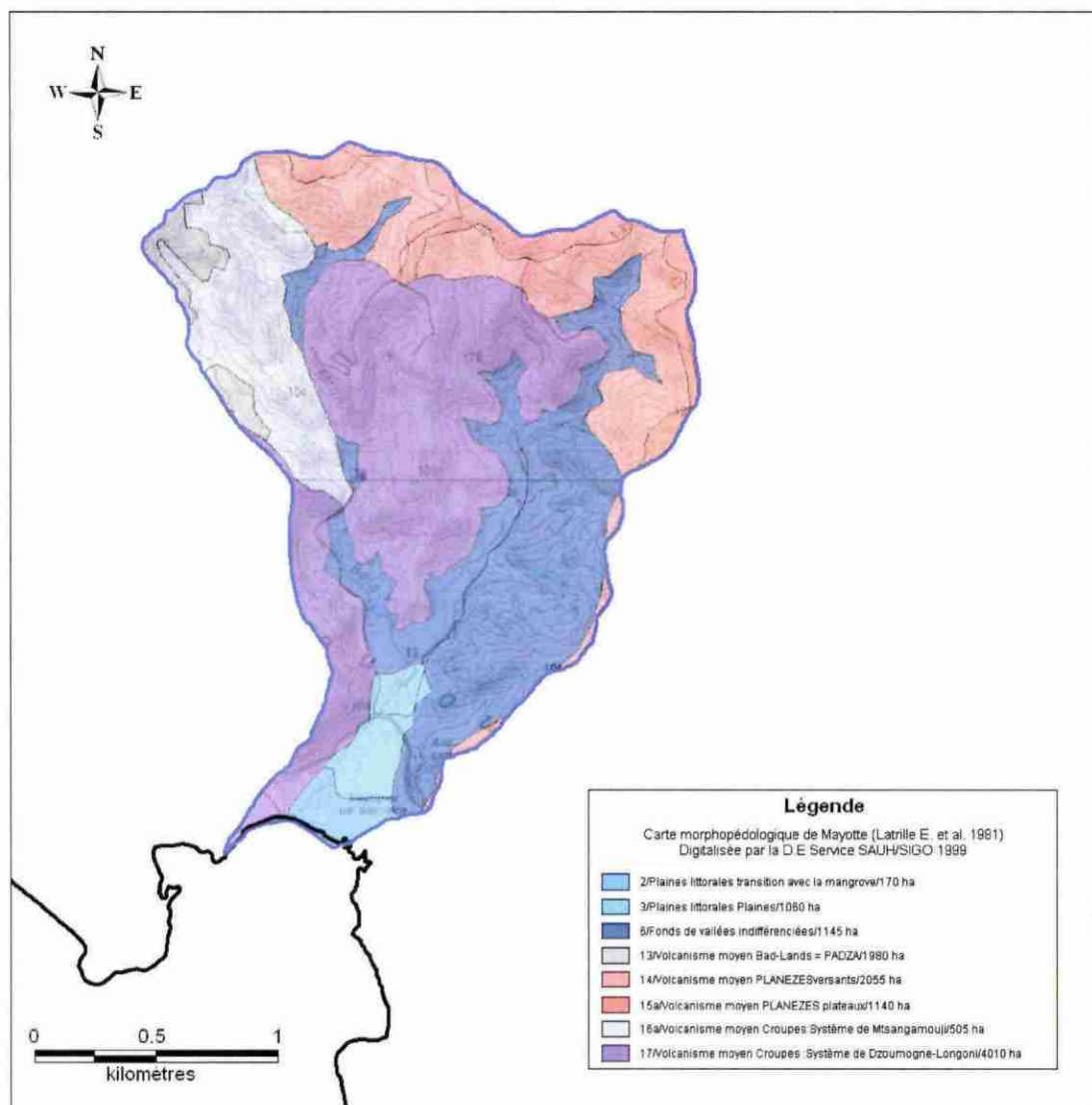


Illustration 10. Formations pédologiques superficielles du bassin versant du Mroni Béja au 1/50 000 (Latrille 1981).

3. Délimitation du bassin d'alimentation du forage de Béja 1

3.1. LE FORAGE DE BEJA 1 ET LE PIEZOMETRE DE BEJA 2

Comme expliqué en introduction et dans les chapitres précédents, la caractérisation du bassin d'alimentation de captage du forage de Béja 1 nécessite la prise en considération des informations géologiques, piézométriques et hydrogéologiques du piézomètre de Béja 2, pour les deux raisons suivantes :

- il s'agit des deux seuls ouvrages d'eau du bassin versant ;
- leur proximité (moins de 300 m entre les 2 ouvrages et moins de 10 m d'écart en altitude) permet des rapprochements d'ordre géologique et hydrogéologique.

3.1.1. Le forage de Béja 1

Cet ouvrage a été réalisé en mars 2000 jusqu'à la profondeur de 85 m puis remblayé jusqu'à 58 m. L'ouvrage est situé en bordure ouest de la piste, à une trentaine de mètres du cours d'eau. La coupe technique de l'ouvrage est disponible en Annexe 1 et les informations essentielles sont reprises dans le Tableau 5.

Lors des travaux, les lithologies rencontrées se présentent de la manière suivante :

- les 11 premiers mètres se composent de cendres et de brèches cendreuses localement argileuses. Cet horizon est considéré comme peu perméable ;
- suivent 2 à 3 m de basalte gris vacuolaire, puis des cendres passant à -18 m à sables grossiers et graviers et progressivement à des galets roulés dans une matrice sableuse jusqu'à la profondeur de 33 m ;
- se développe ensuite une coulée de basalte gris entre 33 et 45 m reposant sur un niveau d'alluvions entre 45 et 52 m composées de galets et de blocs encaissés dans une matrice sableuse ;
- se développent sous les basaltes 8 m de cendres fines reposant elles aussi – entre 60 et 65 m de profondeur - sur un niveau alluvionnaire composé de galets et graviers encaissés dans une matrice limoneuse ;
- viennent enfin entre 65 et 85 m de profondeur des sables fluviaux.

Manifestement, l'aquifère est composite : le rôle capacitif est joué par les formations alluviales entre 18 m et 33 m et la coulée de basalte entre 33 et 45 m de profondeur assure le rôle transmissif (c'est-à-dire sous l'altitude des 9 m NGM). Les formations rencontrées sous 58 m de profondeur ne se révélant pas productives, seuls les horizons entre 23 et 58 m ont été crépinés en vue de l'exploitation. Compte-tenu d'un niveau piézométrique mesuré entre 1,5 et 3 m de profondeur (c'est-à-dire entre 21 et

22,5 m NGM, cf. Illustration 12) la nappe est considéré comme **captive** sous les formations imperméables de surface (à savoir les 18 m de cendres et brèches cendreuses, formations localement argilisées). Le rapport de Lachassagne et al. 2000, (rapport BRGM/RP-50428-FR) indique que la vulnérabilité de l'aquifère est faible en raison de l'importance de cette couverture argileuse.

Nom	Forage de Béja 1
Code Commune	98513
Commune	M'TSANGAMOUJI
Section	AM
Titre	403
Parcelle	85
Coord X_{RGM04}	511 668 m
Coord Y_{RGM04}	8 589 951 m
Coord Z_{NGM}	24,5 m (MNT IGN© 2009) ¹²
Code BSS	12306X0014/BEJA1
Chronique prélèvement	Septembre 2000 à juin 2007
Date de création	2000
Remarque	Non encore exploité. Attente des commandes de télégestion avant mise en service.

Tableau 5. Informations relatives au forage de Béja 1

¹² L'ouvrage n'a jamais été précisément nivelé.



Brgm©

Illustration 11. Forage de Béja 1 (reconnaissance du 17 septembre 2009). Absence de pressions immédiates autour de l'ouvrage. Ce dernier est bien clôturé et aucune pression significative n'a été relevée à proximité.

L'essai de nappe réalisé en 2000 a permis d'établir une valeur de transmissivité de $1,5.10^{-3}$ m²/s entre 23 et 51 m de profondeur (soit une perméabilité estimée à $5,4.10^{-5}$ m/s) ; valeur relativement élevée pour les aquifères de Mayotte. Ainsi des débits d'exploitation compris entre 50 et 60 m³/h 20h/24 peuvent être envisagés. Les études de réévaluation des débits d'exploitation des forages de la campagne de 1999-2000 (cf. Lachassagne et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR) donnent un débit préconisé en 2002 de 63 m³/h 24h/24.

Une limite alimentée a été mise en évidence lors de ces essais de nappe. Il s'agirait soit d'une alimentation en provenance du cours d'eau (hypothèse 1), soit d'une alimentation par drainage des formations supérieures (à savoir les cendres et brèches cendreuses peu perméables mais potentiellement capacitatives, hypothèse 2). En se basant sur les observations et études des mécanismes hydrogéologiques à Mayotte, l'hypothèse 1 semble la plus vraisemblable. Ainsi, **une part des alimentations de l'aquifère proviendrait du cours d'eau, plus ou moins directement**. Ainsi, le caractère captif et protégé de l'aquifère ne pourrait avoir qu'une valeur locale, c'est-à-dire à proximité du forage.

En attendant sa mise en service, le forage a été suivi par la DAF entre 2000 et 2006. La chronique correspondante est présentée en Illustration 12.

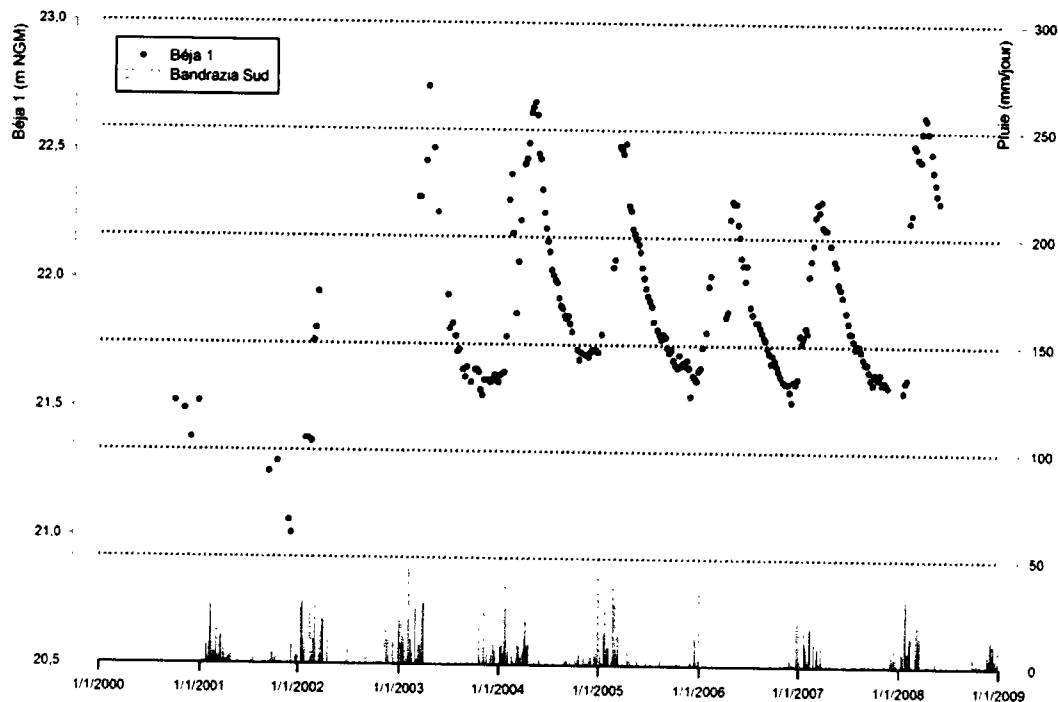


Illustration 12. Variations piézométriques du forage de Béja 1 entre septembre 2000 et mai 2008. En surimposition apparaît la pluviométrie journalière enregistrée à hauteur de la station de Bandrazia sud, 40 m NGM (données DAF).

L'acquisition des données piézométriques est aléatoire entre septembre 2000 et février 2002. Entre février 2002 et février 2003 la piézométrie n'a pas été enregistrée. Depuis février 2003, les données sont hebdomadaires.

Entre 2000 et 2008, les niveaux piézométriques varient entre 21 et 23 m NGM environ, bien que les valeurs anté 2003 soient très aléatoires et probablement empreintes d'une incertitude importante. Les niveaux moyens de l'aquifère se situent autour de 22 m NGM. Comme indiqué dans le rapport Guilbert et al. 2008, BRGM/RP-56438-FR, l'analyse des fluctuations montre :

- un **tarissement** de type exponentiel, qui débute généralement entre le mois d'avril et le mois de mai et qui se termine au mois de novembre, décembre. Le tarissement s'effectue en saison sèche. Il est rapide au début (pente forte) entre les mois d'avril, mai et d'août, puis plus lent d'août à novembre, décembre (pente plus faible). L'amplitude de fluctuation entre les périodes de très hautes eaux et de très basses eaux est faible. Elle est comprise entre 1 et 1,30 m, valeurs moyennes sur l'île ;
- que la **recharge** de l'aquifère 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. En période de recharge, il est intéressant de remarquer que les courbes piézométriques sont entrecoupées de brefs épisodes de

stagnation voire de tarissement. Ces évolutions montrent la réactivité de la nappe à l'irrégularité des pluies en saison humide.

La mise en relation des niveaux piézométriques avec le signal des pluies enregistrées quotidiennement à la station de Bandrazia montre que ces deux signaux sont relativement bien corrélés. La hausse des niveaux piézométriques s'effectue au moment des plus fortes précipitations (Illustration 13).

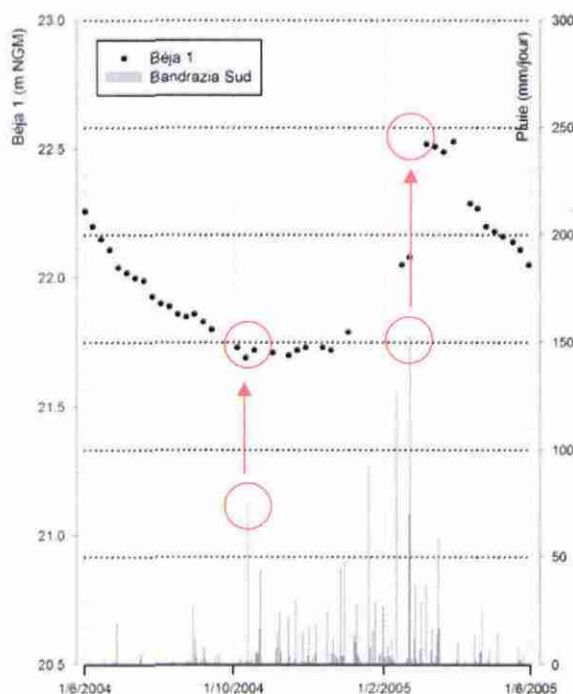


Illustration 13. Evolution du signal piézométrique du forage de Béja 1 en fonction des précipitations enregistrées à la station de Bandrazia Sud – période de juin 2004 à juin 2005.

Les 1^{ères} précipitations de novembre 2004 et les fortes précipitations de février et mars 2005 ont un impact très rapide sur la nappe, de l'ordre de quelques jours seulement. Par conséquent, les précipitations sont bien les principales alimentations de la nappe et ces mécanismes sont relativement rapides (zone d'alimentation proche ou vitesses de transfert rapides).

De 2004 à 2007, on observe une légère tendance à la baisse du niveau des hautes eaux mais aussi des basses eaux. En 2003 le niveau des hautes eaux est le plus élevé jamais mesuré (+22,75 m NGM) alors qu'en 2007 il n'atteint que 22,3 m NGM soit 0,45 m de moins. En ce qui concerne les basses eaux, en 2004, le niveau le plus bas annuel était de 21,7 m NGM et en 2006, il atteint 21,5 m NGM pour remonter ensuite en 2007 à 22,6 m NGM.

Manifestement, la recharge de la saison des pluies 2008 a été très élevée (équivalente à 2004, soit +22,63 m NGM). Cette observation est cohérente avec les valeurs de précipitations enregistrées à la station de Bandrazia Sud (cf. Tableau 2) et sous-entend que la nappe possède une capacité de recharge assez réactive qui lui permet, en l'espace d'une saison des pluies, de rehausser des niveaux en baisse depuis 4 cycles saisonniers.

3.1.2. Le piézomètre de Béja 2

D'une profondeur de 57 mètres, cet ouvrage a été réalisé en 2000 sur le bassin versant du Mroni Béja en amont du forage de Béja 1. Le compte rendu des travaux est consigné dans le rapport de Lachassagne et al. 2000, BRGM/RP-50428-FR.

Nom	Piézomètre de Béja 2
Code Commune	98513
Commune	M'TSANGAMOUJI
Section	AM
Titre	1337
Parcelle	17
Propriétaire	Collectivité Départementale de Mayotte
Coord X_{RGM04}	511 560 m
Coord Y_{RGM04}	8 590 480 m
Coord Z_{NGM}	28,4 m (MNT IGN© 2009) ¹³
Code BSS	12306X0015/BEJA2
Chronique piézométrique	2000 à 2009
Date de création	2000
Remarque	Piézomètre suivi DAF

Tableau 6. Informations relatives au piézomètre de Béja 2.

Les lithologies recoupées lors des travaux de forage se répartissent comme suit :

- les 11 premiers mètres sont composés essentiellement de cendres et brèches cendreuses reposant sur 3 m d'alluvions argileuses. Ces formations ont été

¹³ L'ouvrage n'a jamais été précisément nivelé. L'altitude considérée jusqu'alors était de 30 m NGM établie très probablement sur la base des informations de la carte IGN© 1/25 000. Ces incertitudes quant à l'altitude des points de référence est souvent un frein dans le traitement systématique des données piézométriques.

reconnues comme très imperméables et assurent une relative protection des eaux souterraines dans l'environnement proche du forage ;

- suivent 10 m de basaltes gris vacuolaires reconnus comme une zone productive à la base de laquelle le forage recoupe une série de cendres et brèches cendreuses de 4 à 5 m d'épaisseur reposant sur 5 m d'alluvions argileuses ;
- sous cet horizon apparaissent 8 m de basaltes gris massifs mais en partie scoriacés sur le top de la série. Ce niveau (entre -38 et -45 m) est aussi reconnu comme productif ;
- la poursuite de la foration montre une douzaine de mètres de série cendreuse très imperméable. Les travaux de forage ont été stoppés dans cet horizon.

Ainsi, il semblerait que les venues d'eau soient doubles (i) les basaltes vacuolaires et (ii) la partie scoriacée de la série basaltique inférieure, et séparées par un horizon imperméable d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Sans parler d'aquifère multicouches, il est très probable que deux horizons aquifères soient ici mélangés.



*Illustration 14. Le piézomètre de Béja 2
(reconnaissance du 17 septembre 2009)*

La succession des lithologies et leur épaisseurs respectives entre le forage de Béja 1 et le piézomètre de Béja 2 est relativement comparable – du moins en ce qui concerne :

- la nature et l'épaisseur de la formation superficielle de cendres et brèches cendreuses localement argileuses (environ 11 m) ;
- la série de basalte gris vacuolaire (3 m d'épaisseur au forage de Béja 1 et près de 15 m au niveau du piézomètre de Béja 2). Cette observation suggère que le piézomètre de Béja 2 est plus proche du centre de la paléocoulée que ne l'est le forage de Béja 1 ;
- la présence de brèches explosives et d'alluvions encaissées dans une matrice sablo-argileuse ;

- la présence d'une série basaltique entre -10 et -20 m NGM (identifiée comme scoriacée au niveau du forage de Béja 1 mais avec une partie massive au piézomètre de Béja 2) ;
- l'épaisseur importante de cendres fines beiges (plus de 10 m d'épaisseur au niveau du piézomètre de Béja 2)

Il est possible de retracer l'évolution géologique du secteur, marqué par le comblement d'une paléovallée par deux séries basaltiques (-20 à -10 m NGM et entre 3 et 15 m NGM), entrecoupé de remplissages alluviaux et de dépôts de pyroclastes et de cendres, marqueurs d'une activité volcanique explosive (à rattacher au volcanisme Pléistocène du Mlima Digo, Stieljes et al. (1988)).

Le niveau aquifère principal du secteur est la coulée de basalte identifiée au niveau du piézomètre de Béja 2 à partir de -7 m NGM et du forage de Béja 1 à partir de -10 m NGM (pendage de la coulée inférieur à 1 % vers le SSW, ce qui ne correspond pas obligatoirement au pendage maximal et donc au sens de propagation de la paléocoulée de basalte).

La chronique piézométrique entre septembre 2000 et septembre 2009 est présentée en Illustration 15.

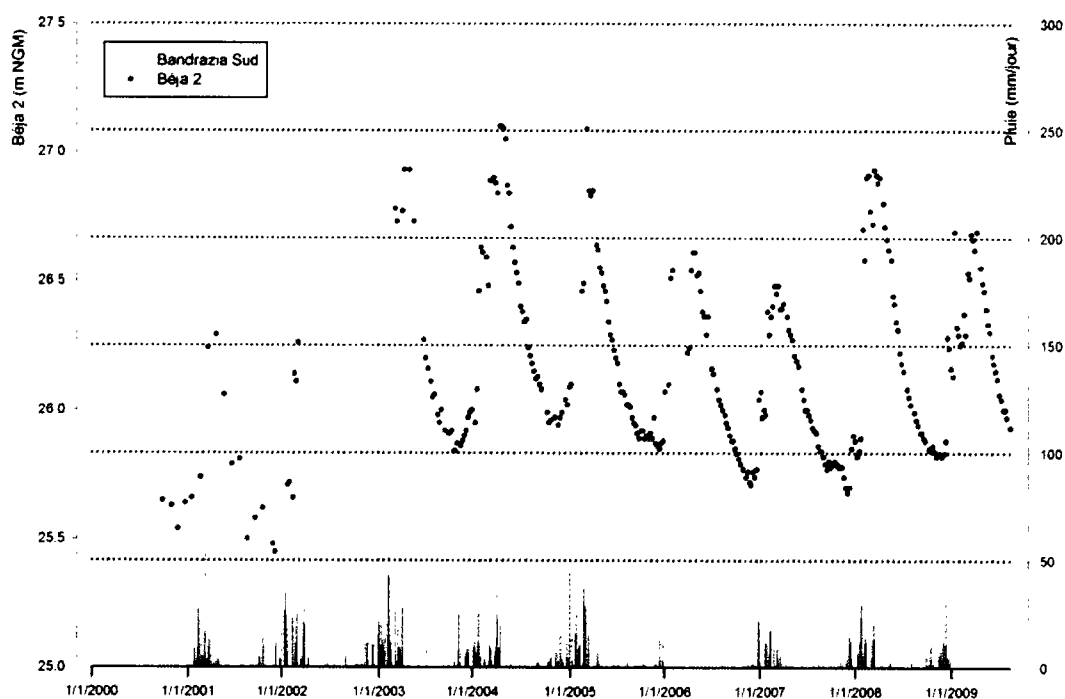


Illustration 15. Chronique piézométrique du piézomètre de Béja 2 entre septembre 2000 et septembre 2009 (données DAF)

Le niveau piézométrique enregistré au piézomètre de Béja 2 à la fin des travaux de forage est de 2,5 m/sol (en mars, c'est-à-dire en hautes eaux) soit 26 m NGM. L'ouvrage est utilisé comme piézomètre par la DAF de Mayotte à hauteur de deux mesures par mois entre 2000 et 2003 et d'une mesure par semaine depuis 2003 – à l'exception des lacunes de données pour des raisons indépendantes.

Les niveaux piézométriques montrent une cyclicité annuelle et fluctuent entre 25,50 m NGM (attention à l'incertitude) et 27 m NGM. Le battement annuel de la nappe est d'environ 2 m à 2,5 m. Dans le détail des fluctuations, les tendances sont très proches de celles observées au niveau du forage de Béja 1 et les mécanismes de la nappe seront décrits plus bas (cf. Illustration 17).

En ce qui concerne la réponse de la nappe au signal des pluies (Illustration 16) les mêmes observations qu'au niveau de l'ouvrage de Béja 1 peuvent être réalisées.

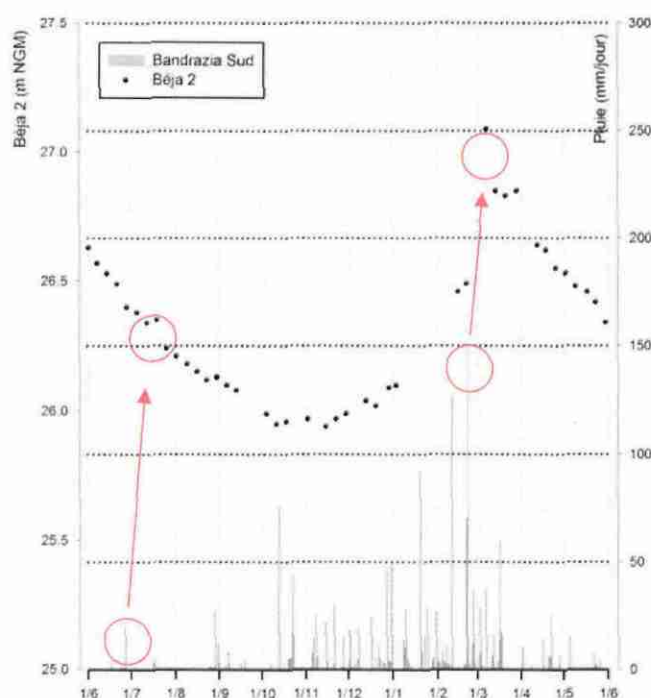


Illustration 16. Evolution du signal piézométrique du piézomètre de Béja 2 en fonction des précipitations enregistrées à la station de Bandrazia Sud – période de juin 2004 à juin 2005.

De même qu'au forage de Béja 1, les précipitations impactent rapidement la nappe. Le délai de réaction est de l'ordre de quelques jours seulement. Les mêmes conclusions qu'au niveau du forage de Béja 1 peuvent être formulées.

Compte-tenu de la productivité jugée médiocre, les pompages d'essais réalisés dans l'ouvrage de Béja 2 n'ont pas été menés à termes. Par conséquent, les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (entre autres la transmissivité et la possible influence d'un forage sur l'autre) n'ont pas été calculés.

Le niveau piézométrique est plus élevé au niveau de Béja 2 que de Béja 1 (un écart de 4,5 m en hautes eaux). Dans l'hypothèse d'une continuité aquifère entre les deux ouvrages et considérant un écartement de 289 m, le calcul du gradient hydraulique donne 0,016 m/m. Cette valeur plutôt faible est très proche de la pente topographique entre les deux ouvrages (0,02 m/m) et témoigne (i) dans le cas d'une continuité hydraulique (hypothèse probable), d'une relative perméabilité horizontale des

aquifères, (ii) dans le cas de deux aquifères compartimentés, d'un étagement peu marqué.

La mise en relation des données piézométriques entre les forages de Béja 1 & 2 (Illustration 17).

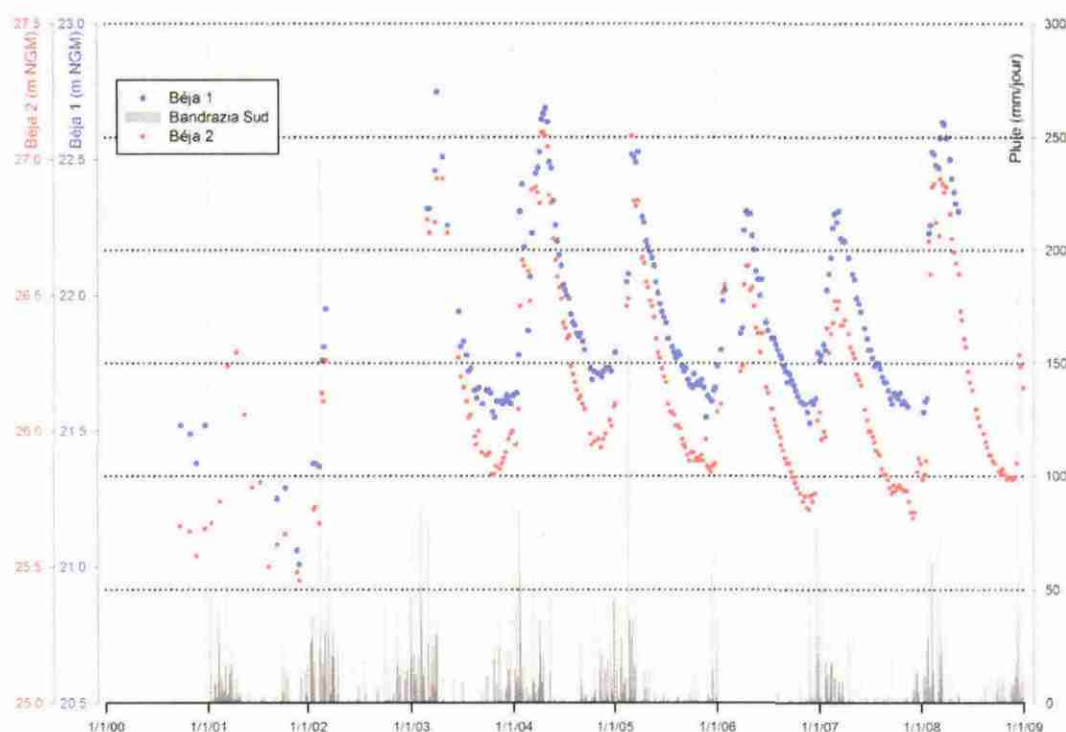


Illustration 17. Mise en relation des données piézométriques des forages de Béja 1 & 2 entre septembre 2000 et mai 2008 (données DAF)

La superposition des signaux piézométriques des ouvrages de Béja 1 et 2 est relativement bien corrélée, surtout sur la période 2003/2008, où les signaux montrent la même évolution mais décalés en altitude de 4,5 m environ.

Les battements de la nappe au niveau de Béja 2 sont plus importants en amplitude (près de 1,20 m) que ceux de Béja 1 (environ 1 m) et les pentes de tarissement plus fortes. Ces observations suggèrent que les mécanismes de stockage sont moins importants au niveau de Béja 2, et vraisemblablement les transits sont plus rapides. Ainsi le gradient entre les deux ouvrages est plus élevé en hautes eaux qu'en basses eaux. Il est aussi intéressant de remarquer que les amplitudes des battements du piézomètre de Béja 2 sont plus fortes depuis 2004 et réduisent l'écart avec les battements du forage de Béja 1 (dont l'amplitude des battements augmente aussi mais moins rapidement). Par conséquent, il y a diminution du gradient hydraulique entre les deux ouvrages (0,015 m/m en hautes eaux pour 4,50 m de différence entre les deux

ouvrages contre 0,014 m/m en basses eaux pour 4,10 m de différence en moyenne¹⁴) et probablement une baisse des vitesses de transit en souterrain qui traduit (hypothèse 1), la présence d'une limite aval forte, (hypothèse 2) un évasement de la structure aquifère.

Ainsi, même si la continuité hydraulique n'est pas avérée – nécessité d'un essai de nappe de longue durée au forage de Béja 1 ou d'un traçage entre les deux ouvrages - la connexion des niveaux aquifères entre Béja 1 & 2 est fortement soupçonnée. Béja 2 étant considéré en amont du forage de Béja 1, il sera inscrit dans la délimitation du bassin d'alimentation du forage de Béja 1.

En termes de recommandation, il est important de poursuivre la mesure des niveaux piézométriques au niveau de l'ouvrage de Béja 2 afin de surveiller la progression (ou plutôt la régression dans le cas qui concerne la période 2004 et 2009) des niveaux piézométriques

¹⁴ Les deux ouvrages n'ayant jamais été nivelés, la référence altimétrique considérée est le MNT de l'IGN 2009 dont la précision verticale est estimée à +/- 20 cm. Ainsi, l'incertitude sur le gradient piézométrique est importante mais la comparaison relative des fluctuations piézométriques reste valable.

3.2. QUALITE DES EAUX

Les données relatives à la qualité des eaux souterraines du bassin versant sont relativement rares et incomplètes.

Les premières analyses des forages de Béja 1 & 2 ont été réalisées en février 2008 (analyses en Annexe 2). Les résultats sont sensiblement différents d'un ouvrage à l'autre bien que les analyses aient été effectuées le même jour.

Ainsi, la conductivité mesurée au forage de Béja 1 est de 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 288 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au forage de Béja 2. Ces valeurs sont plus faibles que les valeurs moyennes mesurées sur les eaux souterraines de l'île (autour de 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et témoignent d'une minéralisation assez faible.

En ce qui concerne le forage de Béja 1, un log de conductivité a été réalisé en janvier et février 2002 jusqu'à 58 m de profondeur (Lachassagne et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR). Le profil montre une augmentation des conductivités avec la profondeur (de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en surface, en accord avec les résultats précédents, à près de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à partir de 35 m de profondeur). Cette évolution témoigne visiblement de la non participation des niveaux inférieurs dans l'alimentation du forage (= eaux connées). Les niveaux les plus productifs sont visiblement localisés entre 20 et 40 mètres.

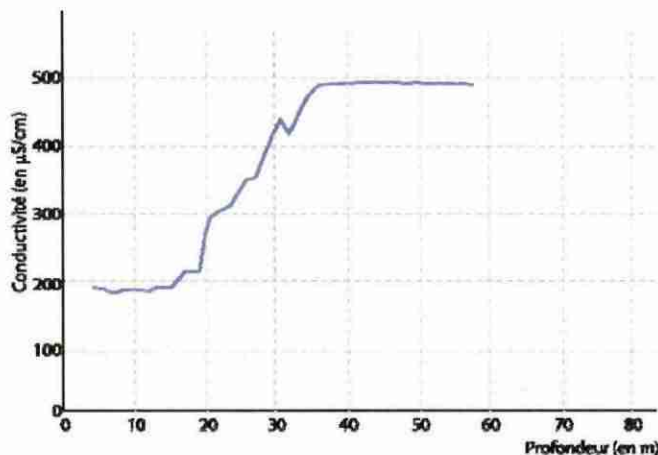


Illustration 18. Profil de conductivité du forage de Béja 1 (février 2002, extrait de Lachassagne et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR)

Les teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et Cl^- sont communes aux deux ouvrages et se situent respectivement autour de 13,5 mg/L, 11 mg/L, 13 mg/L et 18 mg/L. Ces valeurs sont plus faibles que les valeurs moyennes qu'il est courant de rencontrer dans les eaux souterraines de Mayotte (cf. Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR).

En ce qui concerne les paramètres tels que le Bore et le nickel, les teneurs sont très similaires entre les deux ouvrages (respectivement 0,017 mg/L et 0,006 mg/L en moyenne) et relativement caractéristiques des aquifères volcaniques car associées à la composition minéralogique de l'olivine présente dans les basaltes.

En revanche, le fer et le manganèse montrent des valeurs sensiblement élevées au regard des concentrations maximales admises (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). Les analyses réalisées au niveau du forage de Béja 1 font état de 8,8 mg/L pour le fer et 0,8 mg/L pour le manganèse, soient des valeurs impropres à la consommation sans traitement préalable. L'analyse de la concentration en fer est absente du piézomètre de Béja 2 et la concentration en manganèse de 0,011 mg/L, c'est-à-dire beaucoup plus faible que celle mesurée au forage de Béja 1.

Ces différences peuvent s'expliquer par le confinement plus important des eaux souterraines au niveau du forage de Béja 1 (appel d'eaux plus profondes et donc plus réduites et favorables à la solubilisation du fer et du manganèse). Néanmoins, le nombre d'analyses à notre disposition ne nous permet pas de vérifier cette hypothèse. Par ailleurs, les concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} ne montrent pas de différence entre les deux ouvrages alors que dans le cas d'un confinement plus important au forage de Béja 1, ces valeurs devraient augmenter significativement.

Il est donc essentiel de procéder à de nouvelles séries d'analyses dans ces deux ouvrages afin de préciser la qualité des eaux et de vérifier ou d'infirmer ces différentes hypothèses.

Les paramètres bactériologiques n'ont jamais été mesurés sur les deux ouvrages mais ne peuvent pas être présumés absents. L'information relative à la contamination bactériologique de la nappe à proximité des ouvrages est donc inexistante, bien qu'elle constitue une aide précieuse dans la caractérisation du degré de vulnérabilité des eaux souterraines.

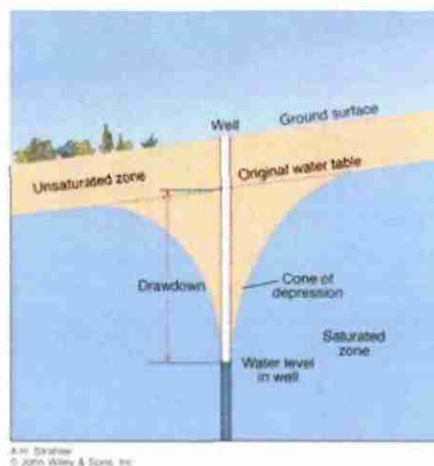
3.3. DELIMITATION DU BAC

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

L'existence du piézomètre de Béja 2 permet – après approche des altitudes respectives des ouvrages au moyen du MNT IGN© 2009 – de déterminer une valeur de gradient hydraulique entre le forage de Béja 1 et le piézomètre de Béja 2 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 Béja 1 en pompage (pour un débit préconisé)¹⁵.

En aval, le calcul du rayon d'influence du forage de Béja 1 en exploitation donne une courbe enveloppe de probabilité maximale de non dépassement. Cette courbe enveloppe est calculée sur la base des paramètres suivants et présentée en Illustration 20.

Illustration 19. Principe du rayon d'influence de la zone saturée d'un forage en exploitation
(www.wellmanager.com)



	Transmissivité (m ² /s)	Gradient hydraulique (m/m)	Angle d'écoulement (en °/horizontale)	Débit d'exploitation (m ³ /h)
Béja 1	1,5.10 ⁻³	0,014 < x < 0,015	60	63

Tableau 7. Paramètres du calcul de la zone d'appel du forage de Béja 1.

La valeur des paramètres retenue est la plus handicapante afin d'obtenir la courbe enveloppe la plus sécuritaire.

¹⁵ Ce chapitre n'a pas été développé au sein du rapport méthodologique de délimitation des BAC, Malard et al. 2009, rapport BRGM RP-57299-FR. un chapitre plus détaillé sur la méthode de réalisation est décrit dans Wuilleumier et al. 2009, rapport BRGM/RP-57620-FR.

La valeur de la transmissivité retenue est de $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ calculée lors de l'essai de nappe du 13 mars 2000.

Le débit d'exploitation retenu est la valeur maximale identifiée en 2002 lors de la réévaluation des débits d'exploitation des forages de la campagne 1999-2000 (Lachassagne et al. 2002, 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.

Ainsi, la délimitation du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 débute dans le lit du Mroni Béja 190 m en aval du forage. Cette limite remonte à l'Ouest vers le sommet coté 101 m NGM en suivant directement la ligne de crête et se poursuit le long de ligne de crête vers le Nord jusqu'à l'extrémité de la piste carrossable, à l'altitude de 140 m NGM. De ce point, la limite du BAC épouse les contours du bassin versant du Mroni Béja jusqu'à la route CCD2 et se prolonge ensuite vers le Sud parallèlement à la route en passant par les points cotés 127, 127, 131 et 113 m NGM. Elle redescend ensuite vers le lit du Mro Oua Béja en suivant la ligne de crête et rejoint le cours d'eau par la rive gauche 190 m en aval du forage.

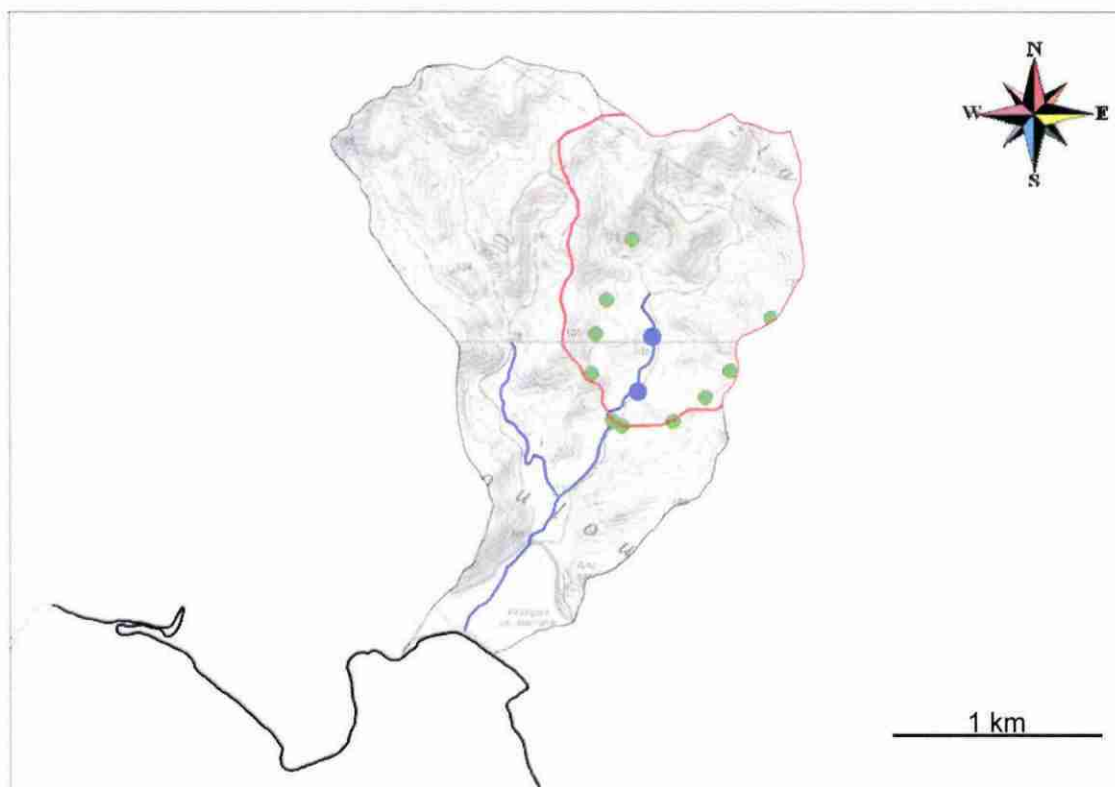


Illustration 20. Carte de délimitation du bassin d'alimentation de captage du forage de Béja 1 (en rouge). Le rayon d'influence du forage est symbolisé par les ronds verts.

La surface du BAC ainsi délimitée est de 1,4 km² pour un périmètre de 4,9 km, ce qui correspond à environ 36 % de la superficie totale du bassin versant.

4. Caractérisation de la vulnérabilité

Les études précédentes écartent le risque d'intrusion marine dans les niveaux aquifères compte tenu de l'éloignement du forage par rapport à la côte et de l'altitude assez élevée des niveaux piézométriques (entre 22 et 23 m NGM au niveau du forage de Béja 1).

Par ailleurs, la présence de couches superficielles relativement imperméables au droit des forages maintient la nappe captive, limite les échanges directs avec la surface et assure par conséquent une relative protection de la ressource.

L'application de la méthode IDPR & Indice de rugosité sur le bassin d'alimentation de captage permet d'obtenir les résultats suivants (Illustration 21) directement interprétables en termes de vulnérabilité.

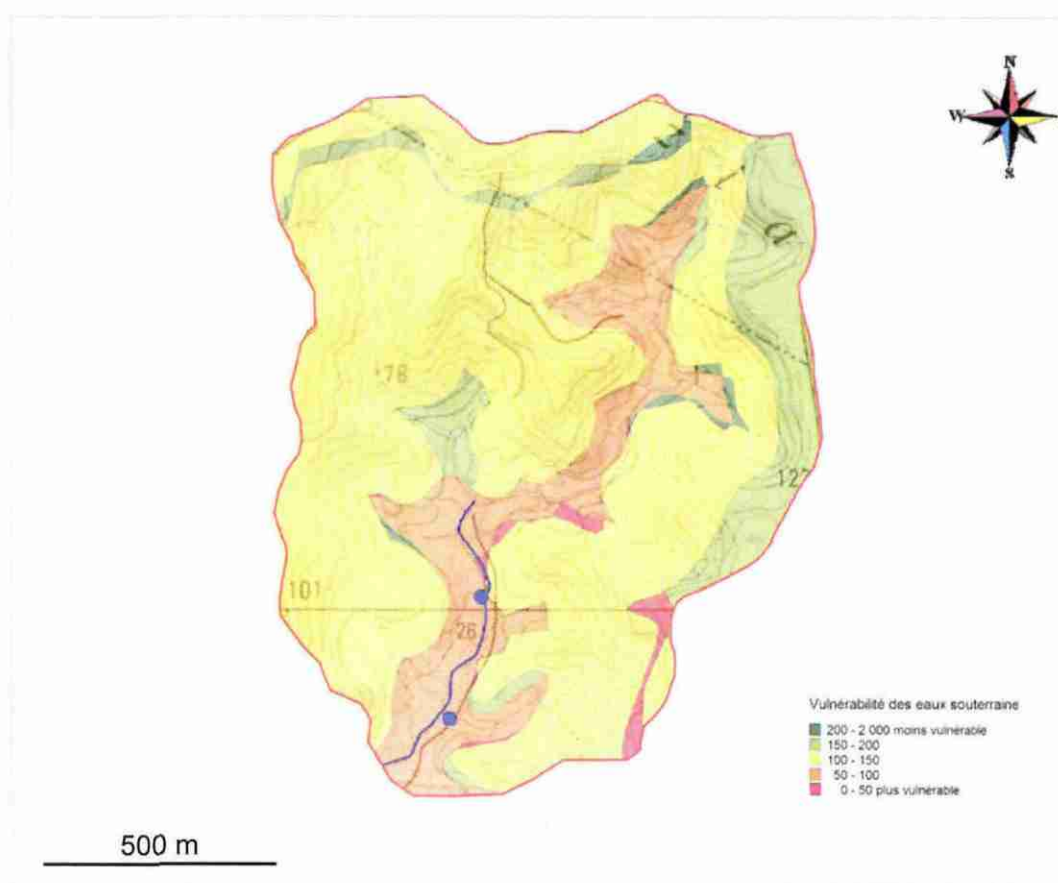


Illustration 21. Carte de vulnérabilité du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 obtenue sur la base des résultats de l'IDPR & de l'indice de rugosité (cf. Malard et al. 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR).

La majorité des versants du BAC affichent des valeurs de vulnérabilité moyennes, tandis que les crêtes et notamment les crêtes Est affichent des valeurs faibles. Ces valeurs confirment les observations réalisées au § 2.5 : les reliefs sont armés de cendres et pyroclastites indurées peu perméables donc peu vulnérables vis-à-vis des eaux souterraines et les versants ont une nature lithologique assez altérée et une pente relativement homogène qui ne favorisent que moyennement les infiltrations.

En revanche, le fond de vallée - qui remonte jusqu'à l'altitude de 100 m NGM environ – affiche une valeur de vulnérabilité élevée. Les observations de terrain (sortie de reconnaissance du 17 septembre 2009) montrent qu'il existe effectivement des interactions de type nappe/rivière dans le lit du cours d'eau. Elles ont été mises en évidence entre 40 et 60 m NGM.

Par conséquent, la vulnérabilité la plus forte vis-à-vis des eaux souterraines peut être observée au niveau du cours d'eau et particulièrement au dessus de 40 m NGM mais reste tout de même modérée à l'échelle de l'île de Mayotte.

5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS

En accord avec les paragraphes précédents, l'inventaire des pressions exercées sur le bassin est faible. Il n'existe pas de pressions fortes. La cartographie de ces pressions montre que la superficie majeure du bassin versant est de pression modérée, à l'exception de quelques parcelles cultivées considérées comme pressions moyennes. Ces surfaces cultivées occupent notamment la partie aval du bassin versant (sous 10 m NGM) et quelques versants.

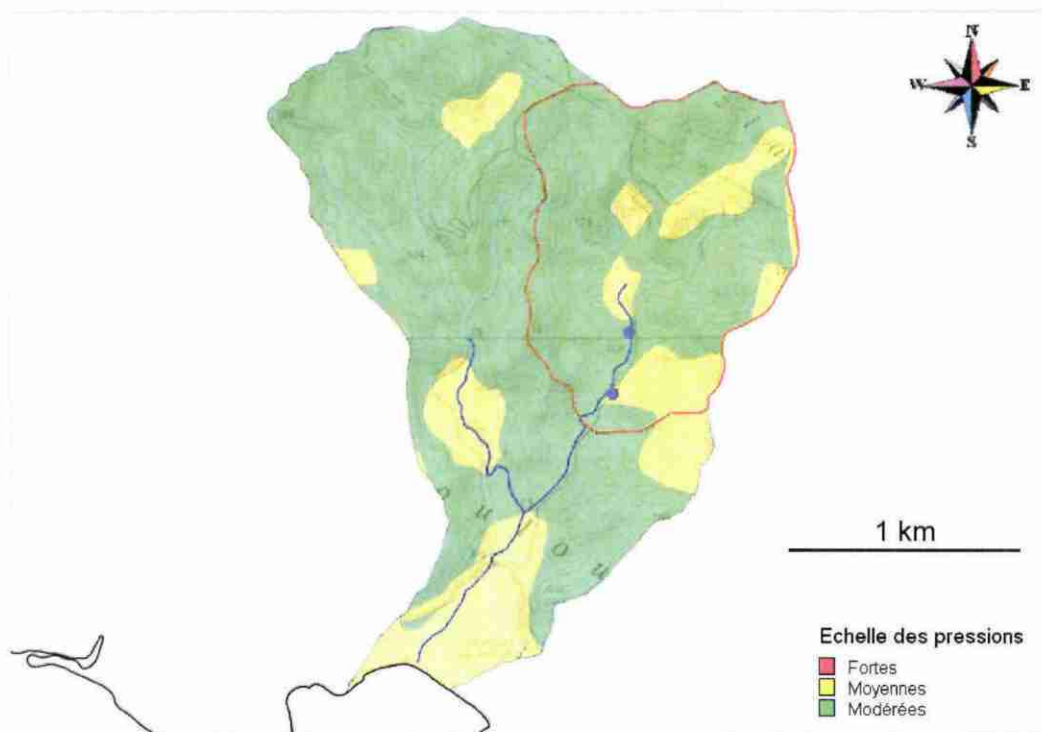


Illustration 22. Carte des pressions exercées sur le bassin versant du Mroni Béja. Les limites du bassin d'alimentation du forage de Béja sont représentées ici en rouge.

Dans l'enceinte du BAC, des observations similaires peuvent être réalisées. L'essentiel de la superficie du BAC est de pression modérée à l'exception de quelques fonds de vallée et versants cultivés.

5. Caractérisation des pressions

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

Le bassin versant du Mroni Béja est essentiellement rural et ne fait pour l'instant pas l'objet d'une intensification de son occupation. Les pressions sont inventoriées et hiérarchisées ici sur la base des principes méthodologiques retenus dans le rapport BRGM/RP-57299-FR.

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

Il n'existe pas de zone urbanisée dans l'enceinte du BAC ni même du bassin versant du Mroni Béja. Le village le plus proche est celui de M'tsangamouji situé 1,5 km à l'Ouest. La seule infrastructure présente dans le bassin versant est la route nationale et le pont traversant le cours d'eau à l'altitude de 9 m NGM, c'est-à-dire en aval du bassin d'alimentation de captage. La route nationale se poursuit ensuite le long des crêtes Est du bassin versant mais verse davantage dans le bassin versant voisin. Elle ne constitue donc pas une pression significative pour le BAC du forage de Béja 1.

Quelques pistes d'accès, difficilement carrossables, pénètrent dans le bassin. En amont de la confluence principale, deux pistes remontent chacun des cours d'eau jusqu'à l'altitude de 40 m NGM environ.

Une piste d'accès longe la crête nord du bassin versant et mène à différentes sentes qui redescendent dans les fonds de vallée.

Ainsi même si l'occupation du bassin demeure faible, plusieurs accès existent et permettent aux riverains de traverser.

Le bassin n'étant pas occupé, aucune structure d'assainissement n'a été recensée (carte des systèmes d'assainissement collectifs et semi-collectifs de Mayotte, DAF – 2008).

En ce qui concerne les pratiques à risque (pour rappel : les pratiques à risques entendent les décharges sauvages, les lessives et lavages de véhicule en rivières), peu sont à dénombrer dans l'enceinte du bassin versant, et aucune significative dans l'enceinte du bassin d'alimentation de captage.

5.1.2. Pressions agricoles

A défaut d'occupation, d'infrastructures et/ou de sites industriels, le bassin versant du Mroni Béja abrite quelques activités agricoles. La carte d'occupation des sols (DAF –

2002) montre la présence de polycultures intensives vivrières à hauteur de 0,8 km² soit 20 % de la surface totale du bassin. Ces parcelles sont éparses et concernent aussi bien les versants que les fonds de vallées. Nombre d'entre elles sont inscrites dans le bassin d'alimentation de captage du forage de Béja 1.

La reconnaissance du 17 septembre 2009 a permis de préciser cette activité. En aval du forage de Béja 1, les cultures d'ylang-ylang sont omniprésentes dans le fond de vallée et sur les versants. En remontant la piste carrossable vers son extrémité, les ylang-ylang disparaissent peu à peu et sont remplacés par des petites parcelles de maraichage (salades) et des plantations de maniocs et bananes.

Comme indiqué dans le rapport méthodologique (Malard et al. 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR), les activités agricoles de type polycultures vivrières et/ou maraichères sont considérées comme pressions moyennes (utilisation de quelques engrais et pesticides), le reste de la couverture représentant une pression faible ou modérée en raison de l'absence d'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires.

5.1.3. Pressions industrielles

Il n'existe pas de site industriel en fonctionnement dans le bassin versant.

L'ancienne carrière de Soulou d'extraction de blocs de laves (Mouron 2002, rapport BRGM/RP-51723-FR) est aujourd'hui abandonnée mais non réhabilitée. Cette carrière se situait en partie aval du bassin versant et ne concerne donc pas le bassin d'alimentation de captage.

Par ailleurs, une ancienne raffinerie de sucre dont l'activité a cessé est située aussi en aval du bassin versant, en contrebas de la RN (cf. Frissant et al. 2004, rapport BRGM/RP-52906-FR). Il n'existe pas d'étude relative à l'impact de la raffinerie sur le site, ni même d'étude de réhabilitation de site. Cette raffinerie étant en dehors des limites du BAC, elle ne sera pas considérée comme pression à l'adresse des ressources en eau souterraine.

5.1.4. Risques naturels

A la lecture des informations figurant sur l'atlas des risques réalisé par le BRGM et relatif à la commune de M'tsangamouji (Audru et al. 2004, rapport BRGM/RP-53194-FR), l'exposition aux aléas naturels du bassin d'alimentation de captage du forage de Béja 1 est plutôt modérée à moyenne.

En ce qui concerne les aléas de type mouvement de terrain, l'exposition du captage est considérée comme moyenne. Il n'y pas de risques particuliers de chutes de blocs non plus.

En ce qui concerne l'aléa inondation, le risque d'inondation de l'ouvrage est évalué comme moyen. La reconnaissance de terrain du 17 septembre confirme qu'en cas de débordement du cours d'eau, les risques de dégradation du forage de Béja sont faibles.

6. Evaluation du risque de pollution des eaux souterraines du bassin d'alimentation du forage de Béja 1

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

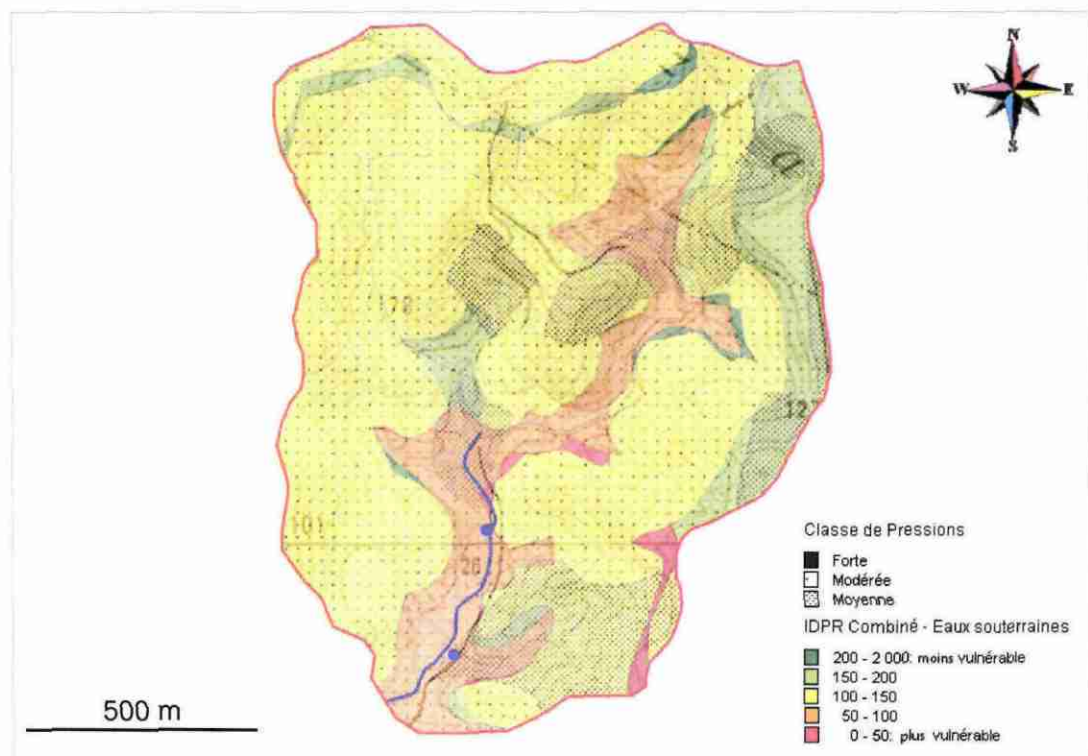


Illustration 23. Carte de croisement des informations de vulnérabilité et de pressions du bassin d'alimentation du forage de Béja 1.

Le croisement des informations ne met pas en exergue de secteurs particuliers sur lesquels des pressions significatives se superposent à des indices de forte vulnérabilité. A l'exception du fond de vallée directement en amont du piézomètre de Béja 2 (dans la limite des 200 m amont) où la zone de polyculture vivrière est identifiée sur un secteur de vulnérabilité moyenne à élevée - mais qui ne représente somme toute qu'un risque modéré - **il n'existe pas de zones à risque sur l'ensemble du bassin d'alimentation de captage.**

7. Recommandations

Les résultats de l'étude ont montré que la ressource en eau souterraine du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 se caractérise par un faible degré de vulnérabilité et peu de pressions significatives à proximité. Ainsi il n'existe pas de risques particuliers de pollution des eaux souterraines et la ressource peut être considérée comme relativement bien protégée comparativement à nombre de captages à Mayotte. Néanmoins, dans la continuité des programmes d'action à initier à Mayotte dans le domaine de la protection de la ressource, quelques recommandations peuvent être apportées au cas du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 :

- il est absolument nécessaire de renforcer le suivi de la qualité des eaux souterraines, notamment les substances phytosanitaires (dont il est difficile de dire aujourd'hui si ces molécules sont présentes dans les eaux de surface et souterraines à Mayotte et – dans l'affirmative - en quelle quantité) et les paramètres bactériologiques, révélateurs des dégradations environnementales et qui apportent des informations substantielles en termes de vulnérabilité des eaux, de temps de résidence, etc. A l'heure actuelle, l'absence d'analyses régulières et complètes est un réel handicap dans la caractérisation de la qualité des eaux et la mise en évidence de pollution chroniques ou diffuses ;
- dès la mise en exploitation du forage de Béja 1, il est nécessaire de procéder à la mesure exacte des prélèvements en tête de captage (mesure en cours par la SOGEA sur les autres captages de l'île). Dans un futur proche, tous les prélèvements d'eau brute en tête de captage seront comptabilisés ;
- il est indispensable de continuer le suivi régulier des niveaux piézométriques du piézomètre de Béja 2. Ce piézomètre est inscrit dans le BAC et capte les mêmes niveaux aquifères que le forage, c'est donc un marqueur privilégié de l'état de la nappe et de son évolution future lors de la mise en exploitation du forage. A ce titre, il est conseillé de procéder rapidement au nivellement précis de l'ouvrage (il est rappelé que de fortes incertitudes ont été pointées sur le niveau altimétrique de l'ouvrage que l'on considérait jusqu'alors comme valeur de référence) ;
- bien que les pressions exercées sur le BAC soient aujourd'hui considérées comme faibles, il ne faut pas qu'à l'avenir – compte tenu des évolutions très rapides dont Mayotte est l'objet, que ce soit en termes de démographie, d'urbanisation, d'industrialisation, etc. – des activités non contrôlées se développent sur le BAC et puissent présenter un risque pour la qualité de la ressource captée. Il est essentiel, dès à présent, de surveiller les pratiques agricoles et les pratiques d'élevage dans l'enceinte du BAC et de faire appliquer les réglementations en vigueur. Ce constat est large et s'applique à la majorité voire à la totalité des BAC de Mayotte.

La finalité de la présente 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 alors aboutir à des recommandations plus complètes et plus spécifiques.

8. Conclusion

Dans le cadre de la convention R&D SIEAM/BRGM du 24 avril 2009, la délimitation et la caractérisation du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 (BSS 12306X0014/BEJA1) ont été établies sur la base des principes méthodologiques (Malard et al. 2009b, rapport BRGM/RP-57299-FR). Ce forage réalisé en 2000 n'est - à l'heure actuelle - pas encore exploité.

Le bassin d'alimentation du forage englobe l'intégralité du bassin versant de surface en amont et se prolonge en aval au-delà du rayon d'influence calculé sur la base d'une exploitation au régime de 63 m³/h 24h/24. Sur la base des données pluviométriques disponibles, le calcul de la pluie efficace moyenne annuelle sur le bassin versant a pu être réalisé sur la base d'un pas de temps mensuel en prenant une valeur de RFU de 50 mm. La pluie efficace annuelle a pu être estimée à 491 mm soit environ 36 % des précipitations annuelles tombant sur le bassin.

Les résultats des calculs IDPR montrent que le bassin d'alimentation de captage présente des faciès moyennement infiltrants sur les versants en raison d'une lithologie assez imperméable et d'un développement pédologique assez épais mais davantage infiltrants en fond de vallée, là où sont soupçonnés de s'opérer les mécanismes de recharge de la nappe par infiltration du cours d'eau. De fait, la vulnérabilité du BAC peut être considérée comme moyenne à faible au niveau des versants et plus importante au niveau du lit du cours d'eau.

En ce qui concerne l'inventaire et la caractérisation des pressions s'exerçant sur le bassin, aucune pression forte n'est à signaler. Le bassin ne fait pas l'objet d'urbanisation et n'abrite aucune activité industrielle. Les seules pressions identifiées comme moyennes sont les activités culturelles : culture de bananes, maniocs et quelques cultures vivrières. Les sites de pratique de lessive ont été identifiés qu'au niveau de la RN, c.à.d. à l'exutoire du bassin versant du Mroni Béja. Ainsi, les pressions exercées sur le bassin peuvent être considérées dans l'ensemble comme peu significatives.

Par ailleurs, l'inventaire des aléas naturels susceptibles de nuire à l'ouvrage ne mentionne pas de risques particuliers, que ce soit de type mouvements de terrain accompagnés ou non de chutes de blocs, ou de type inondations.

Au final, le croisement des informations de vulnérabilité et de pressions ne met pas en exergue de risques significatifs de pollution de la ressource en eau. Néanmoins, comme rappelé en synthèse, ces résultats encourageants en termes de protection ne doivent pas éclipser le fait qu'il est nécessaire de surveiller attentivement la ressource en eau du BAC.

Les recommandations portent à la fois (i) sur la surveillance de la ressource, c.à.d. le renforcement du suivi de la qualité des eaux, de la quantité des prélèvements (mesure

des prélèvements), et du suivi régulier et précis des niveaux du piézomètre de Béja 2 et (ii) sur la surveillance et la réglementation des pratiques en vigueur sur le BAC, à savoir les pratiques agricoles, brulis, élevages vagabonds, lessives, décharges sauvages, etc.

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

9. Références bibliographiques

Annexe 1, §I-2, au décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles.

Audru J-C., Auber B., Desprats J-F., Eucher G., Jossot O., Mathon C., Nédellec J.L., 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 M'tsambo, Acoua et M'tsangamouji. Rapport BRGM/RP-53194-FR, 98 p., 78 figures ou photos, 3 tableaux, 36 cartes et 8 annexes.

Cruchet M., Daessle M., Gerard A., Lachassagne P. (2000) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte - Synthèse des résultats des reconnaissances géologiques, hydrogéologiques, géophysiques, et émanométriques radon - Propositions d'implantation des sondages de reconnaissance - Rap. BRGM/RP-50386-FR - 2000 SGR/MAY 30, 54 p., 17 fig., 3 ann.

DAF de Mayotte (2009) – données hydrologiques, piézométriques et pluviométriques. Cellule hydrométéorologie.

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

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

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

Guilbert M., Dewandel B., Lachassagne P., en collaboration avec Malard A. (2008) – Protection et optimisation de la ressource en eau souterraine à Mayotte. Année 4 – BRGM/RP-56438-FR, 105 p., 38 ill., 10 tab., 6 ann.

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., Daessle M., Lebon D. (2000) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Campagne prioritaire d'étude et de forages de reconnaissance - 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. avec la collaboration de 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. BRGM/RP-51603-FR, 89 p., 31fig.

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

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

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

Malard A. avec la collaboration de B. Aunay, J.F. Vernoux et V. Mardhel (2009b) – Définition d'une méthodologie commune aux études des bassins d'alimentation de captages à Mayotte. Principes de délimitation des bassins et de caractérisation de la vulnérabilité des captages – BRGM/RP-57299-FR, 146 p., 34 ill., 12 tab., 5 eq, 6 ann.

Malard A. avec la collaboration de B. Aunay, J.F. Vernoux et V. Mardhel (2009c) - Etude des bassins d'alimentation des 3 captages du bassin versant du Mro Oua Gouloué – Mayotte (délimitation, vulnérabilité, pressions) – BRGM/RP-57109-FR, 94 p., 19 ill., 10 tab., 4 ann.

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

Mouron R. (2002) - Schéma des carrières de Mayotte._ Rap BRGM/RP 51723-FR 2002 MAYOTTE 02, 63 p, 4 fig, 17 tab, 2, ann .

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

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

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

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

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

Annexe 1

Coupes techniques des forages de Béja 1 & 2 (BSS 12306X0014/BEJA1 & 12306X0015/BEJA2)

Département : C. T. DE MAYOTTE

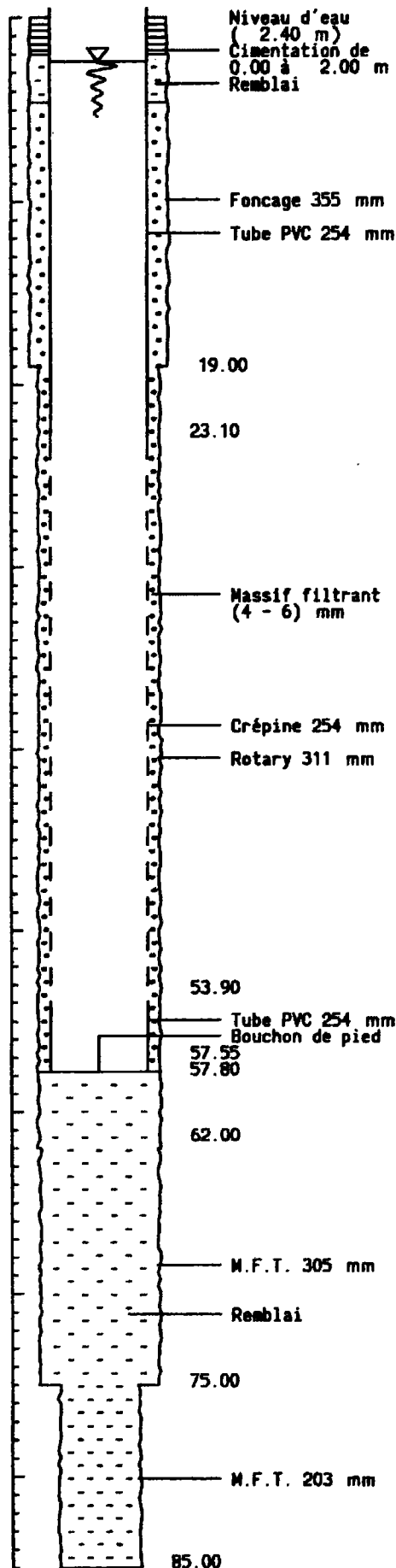
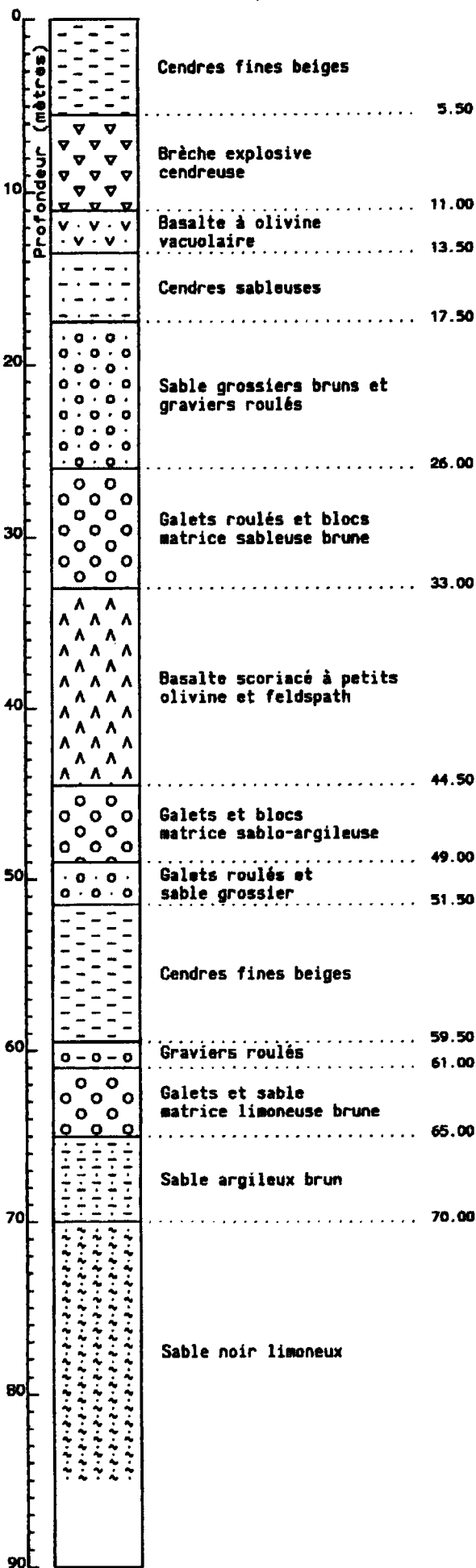
Commune : MTSANGAMOUJI

N° classement : 1230-6X-0014

Désignation : Béja 1

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 25/02/00

Fin : 15/03/00

LOCALISATION

X : 511.440 km

Y : 8590.220 km

Z sol : 24.00 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 2.40 m

Rep/sol : 0.50 m

Z rep. : 24.50 m

Cote : 21.60 m piézo

POMPAGE D'ESSAI

Date : 13/03/00

Durée : 12.0 h

Débit : 52.0 m³/h

Rabat. : 8.98 m

Département : C. T. DE MAYOTTE

Commune : MTSANGAMOUJI

N° classement : 1230-6X-0015

Désignation : Béja 2

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE

DATE(S) D'EXECUTION

Début : 14/03/00

Fin : 22/03/00

LOCALISATION

X : 511.560 km

Y : 8590.481 km

Z sol : 30.00 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 2.50 m

Rep/sol : 0.50 m

Z rep. : 30.50 m

Cote : 27.50 m
piézo

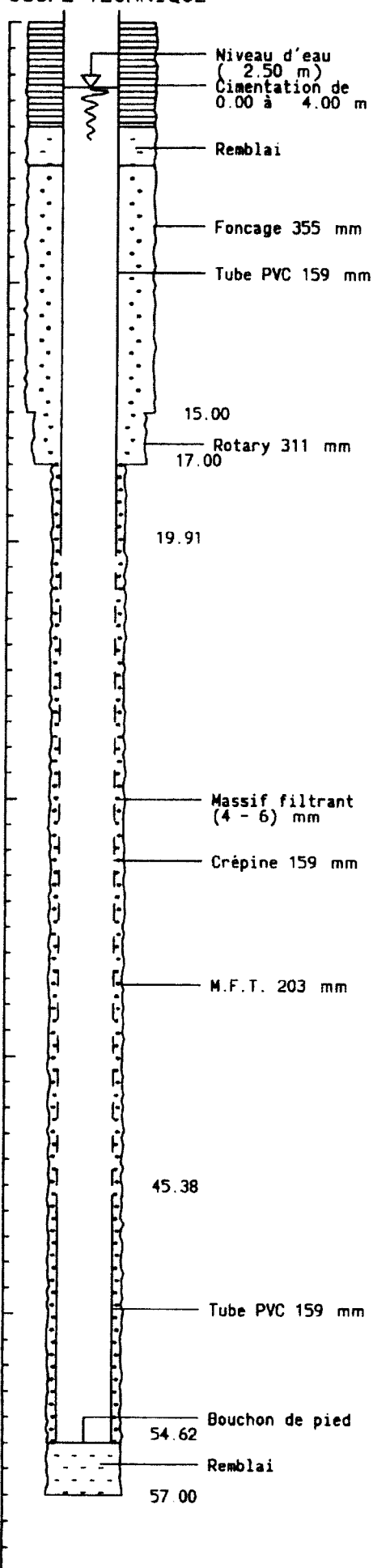
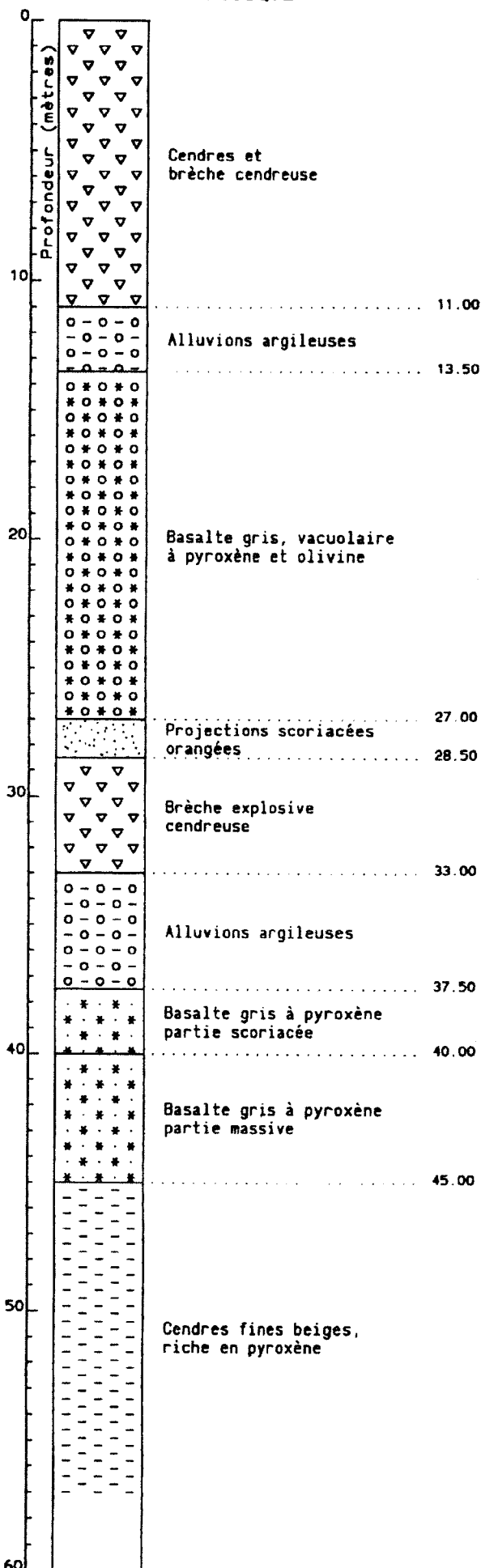
POMPAGE D'ESSAI

Date : 20/03/00

Durée : 1.0 h

Débit : 9.0 m³/h

Rabat. : 10.67 m



Annexe 2

Analyses physico-chimiques des eaux souterraines du bassin du Mroni Béja

[illegible]

[illegible]



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

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

Service géologique régional de Mayotte

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