

Etude des bassins d'alimentation des 3 captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni – Mayotte (délimitation, vulnérabilité, pressions)

Rapport final

BRGM/RP-57108-FR

Août 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public 2009 du BRGM

A. MALARD

Avec la collaboration de

B. AUNAY, J.F VERNOUX et V. MARDHEL

Vérificateur :

Nom : B. Vittecoq

Date : 20/08/2009

Signature :

Approbateur :

Nom : P. Puvilland

Date : 24/08/2009

Signature :

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

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

Mots clés : bassin d'alimentation de captage, BAC, aire d'alimentation de captage, aquifères, forages, prise d'eau de surface, vulnérabilité, pressions, Mro Oua Bouyouni, Mayotte, Comores, France

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Malard A., avec la collaboration de Aunay B., Vernoux J.F. et Mardhel V. (2009) - Etude des bassins d'alimentation des 3 captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni – Mayotte (délimitation, vulnérabilité, pressions) – BRGM/RP-57108-FR, 100 p., 19 ill., 9 tab., 4 ann.

© BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

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. L'étude de ces bassins d'alimentation doit ensuite orienter les travaux vers la mise en place des périmètres de protection des captages ; démarche capitale qui s'inscrit dans une logique de gestion durable des ressources en eaux à Mayotte.

Lors du comité permanent de la MISEEN¹ du 03/03/08, il a été convenu – en application de la loi sur l'Eau - que toutes les prises d'eau et tous les forages d'alimentation en eau potable de Mayotte devaient être protégés. Le précédent comité du 08/11/07 avait proposé d'initier les études de protection de cinq captages prioritaires (inscrits en tant que captages Grenelle sur les listes ministérielles) ainsi que des autres ouvrages d'eau (prises d'eau en rivière ou en retenue, forages d'eau souterraine et sources captées) destinés à l'alimentation et implantés sur le même bassin versant. Ces captages étudiés dans le cadre de la convention de recherche et développement partagés DAF/BRGM signée le 18 août 2008, sont les suivants :

- la prise d'eau de l'Ourovéni (BDAEP 14C1 et BSS 12306X0051), la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani ainsi que le drain de Mréréni (12306X0008/HY), les forages de Combani-Mréréni (12306X0038/COMB), d'Ourovéni 1 (12306X0048/OURO01) et de Combani-Kahani (12306X0047/COMB) – cf. rapport BRGM/RP-57111-FR ;
- La prise d'eau de la Gouloué (BDAEP 11C1 et BSS 12307X0143) ainsi que les forages de Gouloué 1 (12307X0045/GOUL) et de Gouloué 2 (12307X0053/GOUF4D) – cf. rapport BRGM/RP-57109-FR ;
- **Les prises d'eau de Bouyouni Bas (BDAEP 2C6 et BSS 12306X0049) et de Bouyouni Haut (BDAEP 2C5 BSS 12306X0052), ainsi que le forage de Bouyouni Bouyouni (12306X0024/BOUY) qui font l'objet du présent rapport ;**
- La prise d'eau de Méresse (BDAEP 2C3 et BSS 12306X0050) ainsi que le forage de Bouyouni Méresse (12306X0046/BOUY) – cf. rapport BRGM/RP-57110-FR ;
- Et la prise d'eau en mer pour l'usine de dessalement de Petite Terre (BSS 12308X0087) - cf. rapport BRGM/RP-57112-FR.

Le présent rapport synthétise les résultats de l'étude de caractérisation des BAC menée sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni. 3 BAC ont été déterminés : les 2 BAC de surface des prises d'eau de Bouyouni haut et bas et le BAC souterrain du

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

forage de Bouyouni Bouyouni, tous inscrits dans les limites du bassin versant du Mro Oua Bouyouni.

En ce qui concerne les BAC de surface, il s'avère que le BAC de Bouyouni bas occupe près de 90 % de la superficie du bassin versant et intègre l'intégralité du BAC de Bouyouni haut, dont les dimensions sont plus faibles (à peine 55 % de la superficie du bassin versant). L'estimation de la vulnérabilité intrinsèque et des pressions exercées a montré que :

- le BAC de Bouyouni haut est caractérisé par une vulnérabilité modérée compte tenu du caractère relativement infiltrant des unités fonctionnelles en amont du captage (faciès lithologiques récents et formations pédologiques peu développées) ;
- le BAC de Bouyouni bas est caractérisé par une vulnérabilité modérée dans sa partie haute (qui correspond en réalité à l'emprise du BAC de Bouyouni haut) mais beaucoup plus vulnérable en partie basse (c'est-à-dire au niveau de la vallée perchée du Mro Oua Bouyouni) en raison du tapissage assez imperméable du fond de la vallée (unités lithologiques et géologiques plutôt orientée vers des dépôts alluvionnaires fins et des sols plus épais).

Les pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni sont faibles – en comparaison avec ce qu'il est possible de recenser sur l'île. Les secteurs identifiés comme les pressions les plus fortes sont essentiellement les radiers présents dans la vallée intermédiaire (du fait des lessives et des lavages de voiture qui y sont pratiqués). Il existe aussi quelques cultures identifiées comme pressions moyennes mais qui finalement ne couvrent qu'une surface limitée. A noter que le BAC de Bouyouni haut est – vraisemblablement - exempt de toute pression et donc – à l'heure actuelle - de tout risque de pollution. Compte tenu de la vulnérabilité du captage de Bouyouni bas dans sa partie basse et de la concentration des pressions au même endroit, il est nécessaire de surveiller attentivement cette ressource stratégique (le captage de Bouyouni bas est un des captages les plus importants de l'île et assure près de 10 % de l'alimentation) dont le risque de pollution n'est pas à écarter (des accidents ayant déjà été mis en évidence par le passé).

Le calcul des vitesses du cours d'eau mettent en évidence des temps de transfert relativement rapides sur le BAC de Bouyouni haut (moins d'une heure en hautes eaux pour parcourir la distance entre les hauts du bassin et le captage) d'où des délais d'intervention assez faibles en cas de pollution accidentelle au niveau du cours d'eau. Concernant le BAC de Bouyouni bas, les vitesses de circulation sont plus faibles en raison de l'adoucissement des pentes et de l'élargissement de la section du cours d'eau. Ainsi, les temps d'atteinte sont environ de 2 heures entre le premier radier et le captage en basses eaux et de moins de 2 heures entre le second radier et le captage en hautes eaux, ce qui permet des délais d'intervention suffisants pour fermer le captage et pourvoir aux ressources de substitution.

Il est ainsi nécessaire de suivre régulièrement la qualité des eaux et de poursuivre rapidement le programme d'étude qui doit aboutir à l'instauration des périmètres de protection et aux plans d'action adaptées à la protection de la ressource, surtout au

niveau du linéaire du cours d'eau directement en amont de la prise d'eau de Bouyouni bas, considérée comme la ressource la plus exposée du bassin.

Concernant le forage de Bouyouni Bouyouni, la surface du BAC délimité couvre près de 60 % du bassin versant et intègre le BAC de Bouyouni haut ainsi qu'une part importante du BAC de Bouyouni bas. Les résultats d'approche de la vulnérabilité du captage montrent que cette dernière est plutôt réduite notamment vis-à-vis des pollutions diffuses. La faiblesse des pressions enregistrées sur le bassin étayent la conclusion selon laquelle – à l'heure actuelle - le risque de pollution du forage est relativement limité.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation du Bassin Versant.....	15
2.1. TOPOGRAPHIE	15
2.2. OUVRAGES D'EAU.....	16
2.3. PLUVIOMETRIE	17
2.4. RESEAU HYDROGRAPHIQUE, HYDROLOGIE ET MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU	18
2.4.1. Description du réseau hydrographique.....	18
2.4.2. Morphologie du cours d'eau	18
2.4.3. Hydrologie	21
2.5. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET IMPLICATIONS MORPHOLOGIQUES	24
2.6. MORPHOPEDOLOGIE.....	28
3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage	31
3.1. LES PRISES D'EAU DE SURFACE DE BOUYOUNI BAS (BDAEP 2C6 ET BSS 12306X0049) ET HAUT (BDAEP 2C5 ET BSS 12306X0052).....	31
3.1.1. Le captage de Bouyouni bas – BDAEP 2C6 et BSS 12306X0049.....	31
3.1.2. Le captage de Bouyouni haut – BDAEP 2C5 et BSS 12306X0052	36
3.2. LE FORAGE DE BOUYOUNI BOUYOUNI (BSS 12306X0024/BOUY)	40
3.2.1. Présentation	40
3.2.2. Qualité des eaux.....	43
3.2.3. Délimitation du bassin d'alimentation de captage	44
3.3. CARTE DU DECOUPAGE DES BASSINS D'ALIMENTATION DE CAPTAGE DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA OUROVENI	47
4. Caractérisation de la vulnérabilité	49
4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU FORAGE DE BOUYOUNI BOUYOUNI : APPLICATION DE LA METHODE IDPR.	49
4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES PRISES D'EAU EN RIVIERE DE BOUYOUNI HAUT ET BAS : APPLICATION DE LA METHODE IDPR.	51

4.3. CALCUL DES TEMPS D'ATTEINTE DU MRO OUA BOUYOUNI EN AMONT DE LA PRISE D'EAU	53
4.3.1. En condition de hautes eaux : application de la formule de Manning Strickler.	54
4.3.2. En condition d'étiage : mesure des débits - vitesses in-situ.....	54
4.4. SYNTHESE SUR LA VULNERABILITE DES BASSINS D'ALIMENTATION DES CAPTAGES DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA BOUYOUNI	58
5. Caractérisation des pressions	59
5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN VERSANT DU MRO OUA BOUYOUNI	59
5.1.1. Urbanisation et aménagement	59
5.1.2. Activités rurales et agricoles	59
5.1.3. Sites industriels, sites et pratiques à risques	60
5.1.4. Risques naturels	61
5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA BOUYOUNI	62
6. Evaluation du risque de pollution des bassins d'alimentation de captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni.....	63
6.1. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DES BAC DE SURFACE	63
6.2. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DU BAC SOUTERRAIN	65
7. Recommandations	67
8. Conclusion.....	69
9. Références bibliographiques	73

Liste des illustrations

Illustration 1. Découpage du bassin versant topographique du Mro Oua Bouyouni et localisation des ouvrages d'eau	15
Illustration 2. Profil en long du Mro Oua Bouyouni ; du cours principal remontant au Mlima M'tsapéré et de l'affluent principal en rive droite en amont du captage haut.....	19
Illustration 3. Chronique des débits de la rivière Bouyouni enregistrés au seuil A5 (section aval) entre 1995 et 2008 (données DAF). Le pic de mars 2004 s'élève à 2,13 m ³ /s, celui de février 2005 à 7,68 m ³ /s et celui de janvier 2008 à 12,4 m ³ /s. En l'absence de toute archive méthodologique sur les modalités de mesure des débits, il convient de garder une certaine réserve sur la pertinence des données anté 2003.....	21
Illustration 4. Détail des débits d'étiage. Noter la lacune de mesures au 1er semestre 2003	22
Illustration 5. Géologie du bassin versant du Mro Oua Bouyouni (Stieljes – 1988).....	25
Illustration 6. Carte lithologique interprétative du secteur de Bouyouni / Mitsoni (BRGM/RP-51498-FR).....	26
Illustration 7. Formations pédologiques superficielles du bassin versant du Mro Oua Bouyouni 1/50 000 (Latrille et al – 1981)	30
Illustration 8. Captage de Bouyouni bas. Les feuilles viennent fréquemment obstruer la grille (photographie du 4 février 2009)	31
Illustration 9. Régime de production hebdomadaire des ouvrages d'eau du bassin du Mro Oua Bouyouni de 2006 à septembre 2008 (données SOGEA). On remarque que la tendance moyenne des prélèvements est en hausse depuis 2006.....	33
Illustration 10. Captage de Bouyouni haut. Le débit est plus faible qu'au captage de Bouyouni bas (photographie du 4 février 2009).....	37
Illustration 11. Forage de Bouyouni Bouyouni (photographie du 4 février 2009)	41
Illustration 12. Chronique piézométrique du forage de Bouyouni Bouyouni en m NGM entre janvier 2003 et juin 2006 (données DAF, extrait du rapport BRGM/RP-56438-FR)	42
Illustration 13. Découpage des bassins d'alimentation de captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni. En orange, les captages de surface de Bouyouni haut et bas et leurs bassins d'alimentation respectifs, en bleu le forage de Bouyouni Bouyouni.	47
Illustration 14. Carte de vulnérabilité du bassin d'alimentation de captage souterrain de Bouyouni Bouyouni (limites du BAC et localisation du forage en bleu).....	49
Illustration 15. Carte de vulnérabilité des bassins d'alimentation des 2 captages de surface (Bouyouni haut et bas, respectivement en bas et en haut de la carte, en rose)	52
Illustration 16. Découpage du Mro Oua Bouyouni en amont des prises d'eau et localisation des jaugeages du 02/06/2009. Les caractéristiques des zones sont compilées dans le Tableau 6.	53
Illustration 17. Carte des pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni	62
Illustration 18. Carte de croisement des informations de vulnérabilité vis-à-vis des BAC des captages de surface du bassin versant du Mro Oua Bouyouni (délimitation bleue	

pour le captage de Bouyouni haut et délimitation rose pour Bouyouni bas, se reporter à la carte de délimitation en Illustration 13). En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 2 h en hautes eaux (en gris) et basses eaux (en marron) pour le captage de Bouyouni bas et inférieur à 1 h en hautes eaux (en gris) et basses eaux (en marron) pour le captage de Bouyouni haut	64
Illustration 19. Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain du forage de Bouyouni Bouyouni – bassin versant du Mro Oua Bouyouni.....	65

Liste des tableaux

Tableau 1. Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Bandrazia Nord M6 entre 1996 et 2008.....	17
Tableau 2. Informations relatives au captage de Bouyouni bas	32
Tableau 3. Informations relatives au captage de Bouyouni haut	36
Tableau 4. Informations relatives au forage de Bouyouni Bouyouni.....	40
Tableau 5. Estimation de la surface théorique du BAC du forage de Bouyouni Bouyouni. Les paramètres du calcul sont ceux définis dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR.....	45
Tableau 6. Caractéristiques des zones de découpage du Mro Oua Bouyouni en amont des captages bas et haut pour détermination des vitesses de transfert.	54
Tableau 7. Points de mesure des débits du 2 juin 2009.	55
Tableau 8. Vitesses de transfert du cours d'eau par zone et temps d'atteinte maximum aux captages de Bouyouni bas et haut.	56
Tableau 9. Population du village de Bouyouni (chiffres INSEE 2007). Ce chiffre représente moins de 1 % de la population totale de Mayotte.	59

Liste des annexes

Annexe 1 Analyses physico-chimiques des eaux souterraines et de surface du bassin du Mro Oua Bouyouni.....	77
Annexe 2 Coupe technique du forage de Bouyouni Bouyouni (12306X0024/BOUY)	81
Annexe 3 Jaugeages au sel du 02 juin 2009	85
Annexe 4 Détails des calculs d'application de la formule de Manning Strickler au Mro Oua Bouyouni	93

1. Introduction

A l'heure actuelle, l'île de Mayotte est pourvue de 37 ouvrages de production d'eau potable en fonctionnement (20 forages ou drains d'eaux souterraines, 16 captages en rivière et une usine de dessalement) qui assurent - ou assureront prochainement - 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'avère urgent de mettre en place les pratiques réglementaires de protection des ressources en eau.

Dans le présent rapport, le BRGM - en partenariat avec la DAF - s'est engagé à mener en 2009 les études relatives à la délimitation et à la caractérisation des Bassins d'Alimentation de Captages (BAC) sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni qui compte 3 ouvrages d'eau en exploitation ou en instance de l'être.

- Le forage de Bouyouni Bouyouni (BSS 12306X0024/BOUY) réalisé en 2002 dans le cadre du programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines de Mayotte. Cet ouvrage, d'un potentiel d'exploitation de 20 m³/h est en instance de mise en service ;
- La prise d'eau de Bouyouni haut (BDAEP 2C5 et BSS 12306X0052) construite en 1994 et exploitée depuis ;
- La prise d'eau de Bouyouni bas (BDAEP 2C6 et BSS 12306X0049) construite en 2003 et exploitée depuis.

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.

En ce qui concerne la définition de la méthodologie d'étude, le BRGM a travaillé sur l'élaboration d'une méthodologie nationale relative aux eaux souterraines (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

¹ A 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.

délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré (de type massif alpin) par l'élaboration d'une méthodologie plus spécifique appelée DISCO.

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

L'étude des bassins d'alimentation de captage des eaux souterraines et de surface à Mayotte comporte trois volets qui seront développés dans l'étude du bassin versant du Mro Oua Bouyouni :

- **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 captage de surface ou souterrain et donc susceptibles de représenter un vecteur de pollution prépondérant en cas de pollution exercée sur la surface du BAC. L'estimation de la vulnérabilité des captages de surface et souterrains est basée sur le ratio infiltration / ruissellement déterminé par calcul de l'IDPR² adapté à Mayotte - c.à.d. en contexte volcanique insulaire sous climat tropical. En ce qui concerne les eaux de surface, la vulnérabilité se verra complétée par l'étude des temps et modalités de transfert des eaux (et par extension d'éventuels polluants en amont des captages) par jaugeages en basses eaux et application des formules de Manning Strickler en hautes eaux.

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.

² Indice de Persistance des Réseaux. Méthode qui qualifie l'aptitude du milieu à laisser ruisseler ou s'infiltrer la lame d'eau météoritique

- **le recensement et l'évaluation des pressions exercées sur la surface du bassin d'alimentation** : l'inventaire des types de pression réalisé à l'échelle de l'île permet de hiérarchiser ces dernières en fonction de leur incidence sur la ressource utilisée à des fins d'eau potable. Sur la surface de chaque BAC, seront identifiées les pollutions potentielles (en nature et volume) auxquelles le captage est exposé.

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 2010).

2. Présentation du Bassin Versant

2.1. TOPOGRAPHIE

Le bassin versant du Mro Oua Bouyouni (commune de Bandraboua) s'étend du massif de M'tsapéré jusqu'au village de Bouyouni au nord en passant par le sommet du Mlima Digo. Le cours d'eau se jette dans le lagon après avoir traversé une mince étendue de mangrove qui se développe en aval du village (Illustration 1).

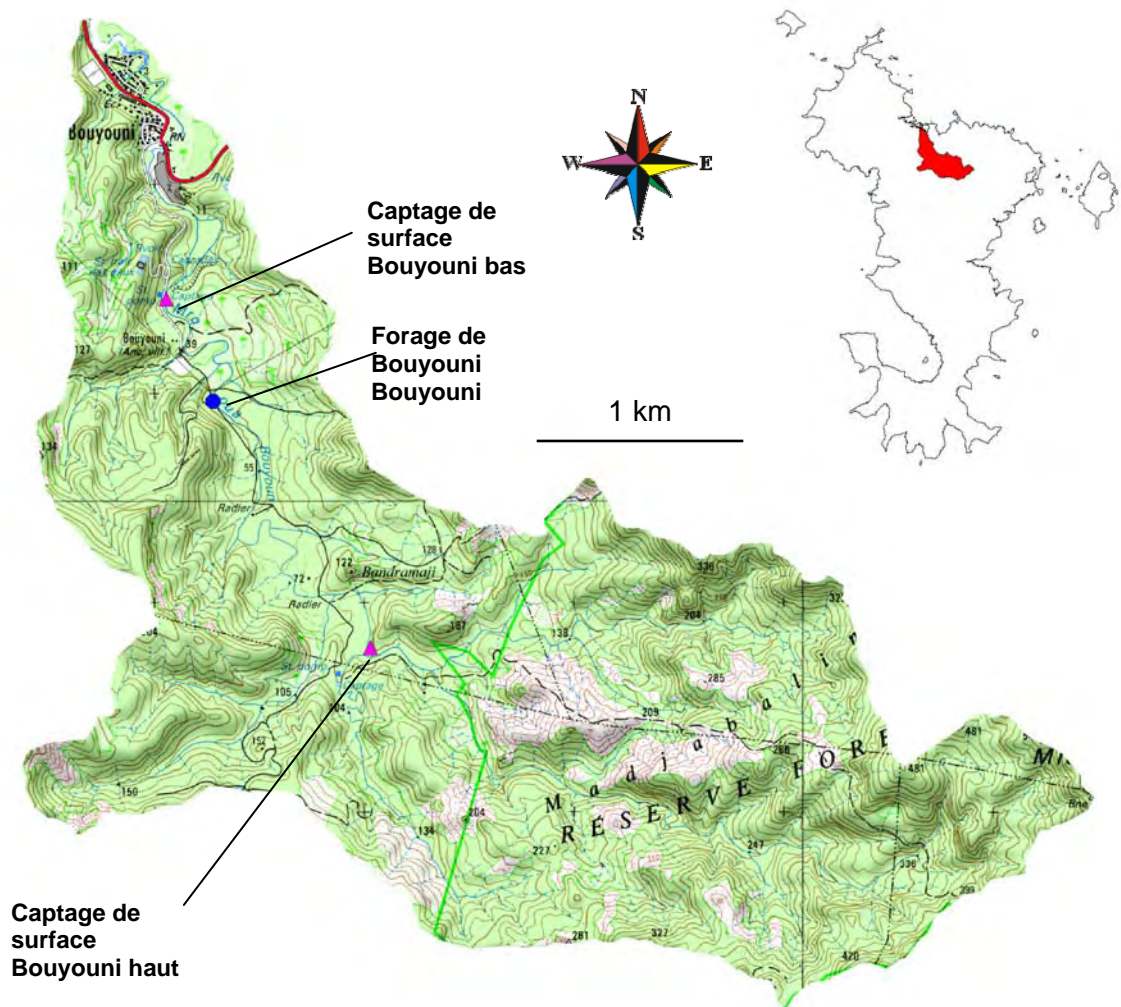


Illustration 1. Découpage du bassin versant topographique du Mro Oua Bouyouni et localisation des ouvrages d'eau

Au sens de la police de l'eau¹ et sur la base des critères hydrologiques, le bassin versant du Mro Oua Bouyouni englobe le bassin versant du Mro Oua Méresse (considéré comme un affluent) en tant que sous-bassin (cf. BRGM/RP-53495-FR). Dans le cas de cette étude, le bassin versant de la Bouyouni est considéré comme le bassin versant en amont de la confluence avec le Mro Oua Méresse (cette confluence située dans la mangrove en aval du terrain de foot n'est pas notée sur la carte).

De forme allongée, le bassin a une surface de 9,7 km², un périmètre 19,5 km pour une longueur de 6 km et une largeur de 2 km. L'indice de compacité de Gravelius² du bassin est de 1,8. La distance entre l'extrême amont du cours d'eau et l'embouchure est de 10 km.

Le bassin versant du Mro Oua Bouyouni abrite au niveau de son exutoire un village du même nom. Il s'agit surtout d'habitats ruraux, l'activité industrielle y est rare. Les parties amont du bassin sont peu occupées - si ce n'est la présence d'habitations clandestines disséminées - et sont de fait très peu aménagées. L'essentiel de l'activité du bassin est rurale, culture de bananiers, maniocs, etc. et est détaillée dans le chapitre 5.

2.2. OUVRAGES D'EAU

Le bassin versant de la Bouyouni abrite 3 ouvrages d'eau : le captage de Bouyouni haut (BDAEP 2C5 et BSS 12306X0052), le captage de Bouyouni bas (BDAEP 2C6 et BSS 12306X0049) et le forage de Bouyouni Bouyouni (BSS 12306X0024/BOUY).

Au premier trimestre 2009 le forage n'est pas encore exploité pour l'alimentation, seuls les captages de Bouyouni bas et haut sont en activité.

Les volumes prélevés sur ces captages sont comptabilisés à pas de temps hebdomadaire et représentés sur l'illustration 9.

¹ Selon la nomenclature locale (A.P. 133/DAF/2003) à la demande de la DAF.

² L'indice de compacité de Gravelius est le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface

2.3. PLUVIOMETRIE

Il n'existe pas de pluviomètre sur le bassin du Mro Oua Bouyouni, les précipitations les plus proches sont enregistrées dans le bassin versant attenant du Mro Oua Méresse (pluviomètre DAF de Bandrazia Nord, code M6) situé à l'ouest, à une distance de 2 km environ. Les coordonnées du pluviomètre sont les suivantes :

$X_{\text{comb50}} = 520\,543 \text{ m}$, $Y_{\text{Cmb50}} = 8\,586\,097 \text{ m}$ et $Z = 140 \text{ m NGM}$

La chronique des précipitations enregistrées entre 1996 et 2008 est présentée dans le Tableau 1.

Années	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cumul annuel (mm)	1350	1216	1324	1601	1650	1078	988	1353	2257	1790	1598	1485	1955
Moyenne (mm)	1511												

Tableau 1. Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Bandrazia Nord M6 entre 1996 et 2008.

Entre 2001 et 2008, les précipitations moyennes approchées sur le bassin sont de 1563 mm sur l'année avec une variabilité de 988 à 2257 mm pour les années respectivement les plus sèches et les plus pluvieuses et avec plus de 500 mm les mois les plus pluvieux (janvier 2004 et janvier 2008). Cette valeur moyenne fait partie des valeurs hautes annuelles qu'il est possible d'enregistrer à Mayotte.

La pluviométrie est donc importante sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni.

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

2.4.1. Description du réseau hydrographique

La rivière de la Bouyouni prend sa source sur les versants ouest du massif de M'tsapéré et comporte plusieurs affluents significatifs qui confluent au niveau de la plaine alluviale entre 30 et 80 m d'altitude. En aval, le développement de la plaine alluviale s'arrête sur un rétrécissement du profil du cours d'eau (défilé) et sur un décrochement (marqué par une cascade d'une trentaine de mètres). La section aval du cours d'eau se marque en sortie du défilé par le développement d'une seconde plaine alluviale à l'altitude 0-5 m NGM au niveau du village de Bouyouni. Le développement du réseau hydrographique du bassin montre : une densité de drainage D_d de 2,9 km/km² et une densité hydrographique F de 2,3 canaux/km² environ. La densité de drainage du bassin est sensiblement supérieure à la valeur moyenne de l'île (2,4 km/km², voir rapport BRGM/RP-57299-FR) et idem pour F , ce qui semble suggérer des capacités d'infiltration moindres à l'échelle du bassin versant ainsi qu'un régime hydrologique fort (rattaché à une pluviométrie importante).

2.4.2. Morphologie du cours d'eau

Les profils en long du cours d'eau et de l'affluent principal du Mro Oua Bouyouni en rive droite sont présentés en Illustration 2. D'amont en aval, il est possible de distinguer 3 sections à profil distincts :

- Une première section amont, entre les altitudes 573 et 38 m NGM. Il s'agit de la section majeure du cours d'eau, qui s'étale en amont du captage de Bouyouni bas. Cette section se marque par un profil de type hyperbole de pente prononcée en amont de 23 % s'amortissant en aval à 1 % vers 40 m NGM. Il est intéressant de noter que l'allure est identique entre l'affluent et le cours principal, ce qui sous entend une géologie et pédologie similaire ;
- Une seconde section directement en aval du captage bas, entre 40 et 20 m NGM est marqué par la succession de deux cascades. La pente du profil est relativement prononcée, de 10 % en moyenne. Ces deux cascades peuvent être rattachées à l'unité de basalte à pyroxène et olivine, identifiée comme une roche dure (et probablement imperméable comme indiqué ci-dessous) ;
- Une dernière section aval, au profil linéaire et à la pente adoucie de 1 % entre 20 et 0 m NGM.

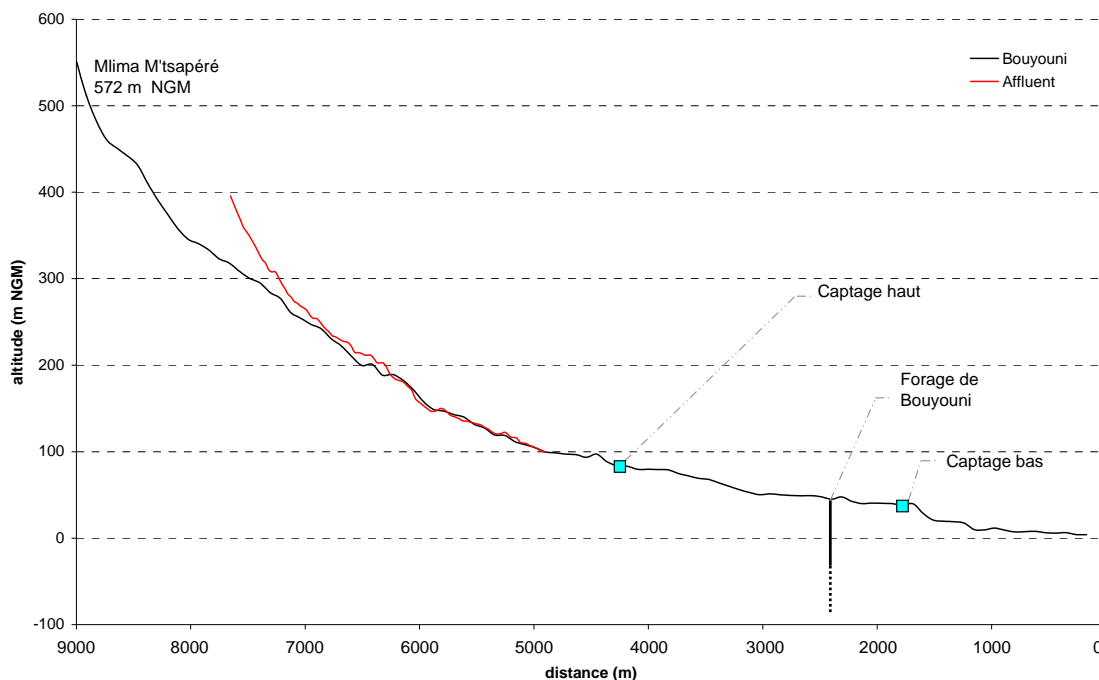


Illustration 2. Profil en long du Mro Oua Bouyouni ; du cours principal remontant au Mlima M'tsapéré et de l'affluent principal en rive droite en amont du captage haut.

Ces sections marquent des changements lithologiques, qu'il est possible de rattacher :

- Pour la section amont aux formations volcaniques récentes du Mlima M'tsapéré dont la cartographie de détail n'est pas encore disponible (majoritairement des phonolithes et produits associés entre 400 et 572 m NGM, puis des coulées de basaltes du bouclier primitif septentrional et produits associés, altérites et colluvions entre 400 et 150 m NGM). Sous l'altitude des 150 m NGM, l'adoucissement du profil marque les dépôts alluviaux ou fluviatiles tapissant le fond de vallée (cf. Illustration 5).
- Pour la section intermédiaire, la rupture de pente correspondant aux cascades marque l'empreinte de la formation de basaltes riches en pyroxène et olivine, structurés en orgues (probable structuration en colonnades à la base de la coulée puis en entablement sur le top de la coulée). La hauteur cumulée des deux cascades est estimée à 20 m environ. La vitesse apparente du cours d'eau augmente sur cette section.
- La section aval et son profil linéaire adouci témoigne des remplissages fluviatiles et de mangrove de plaine alluviale côtière. A la base de la cascade, la lithologie change à nouveau, le profil de la rivière s'aplanit, formant méandres et berges surcreusées. La vitesse apparente du cours d'eau diminue.

Quelques points concernant la morphologie et le fonctionnement du cours d'eau sont à signaler (observations du 4 février et du 2 juin 2009) :

- la rivière à proximité du forage - au niveau du radier - sinue sur un substratum composé de sables argileux surmontant des formations de pyroclastites altérées et argiles d'altération. La présence attestée de camaron ou « écrevisse d'eau douce » peut être interprétée comme un témoin de la qualité chimique des eaux du Mro Oua Bouyouni (les travaux relatifs à la qualité écologique des cours d'eau, ARDA 2008, ont relevé la présence de nombreux camarons en amont et en aval du Mro Oua Bouyouni). La rivière est méandrique, et il est important de noter la grande quantité de galet (décimétriques à métriques pour les plus gros) qui témoignent d'une compétence assez importante en période de fort régime hydrique. Le lit mineur est estimé à 10 m de large environ, les berges entaillées sur 0,5 à 1 m en rive convexe. En rive concave, les berges sont souvent plus entaillées (entre 2 et 3 m).
- en amont, vers le point coté 55 m NGM, une zone humide d'une taille voisine de 25 à 30 m de diamètre et d'une profondeur estimée à 50 cm au centre a été observée en février. Cette zone humide - et hydrauliquement plus élevée que la rivière à proximité située à moins de 50 m - a disparu lors des reconnaissances en saison sèche (juin 2009). Ces observations montrent que cette partie du bassin se met en charge en saison des pluies, créant ainsi des marais temporaire que les faibles capacités de drainage des sols ne permettent pas d'infiltrer rapidement. Ces observations confirment l'imperméabilité relative des formations tapissant le fond de vallée du Mro Oua Bouyouni.
- la rivière en contrebas de la zone humide présente un lit mineur relativement profond (supérieur à 1 m) et large de 8 m environ. Les berges sont relativement abruptes en rive droite (entre 4 et 5 m) et sont composées de produits de type colluvions/alluvions avec une proportion plus importante de blocs.
- au niveau du radier traversant le Mro Oua Bouyouni (altitude 60 m NGM) la conductivité mesurée est sensiblement plus faible que celle mesurée en aval (145 contre 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval) ce qui s'explique soit par une minéralisation progressive des eaux (peu probable étant donnés les temps de transfert rapides) soit un enrichissement par apport des eaux souterraines (absence d'affluent significatif entre les deux points). La lithologie du substratum se compose vraisemblablement de brèches polygéniques hyper-altérées. Les berges de chaque côté du lit mineur, en aval du radier sont entaillées sur 2 m environ et composées d'alluvions et notamment de blocs métriques à plurimétriques pour les plus importants. Les alluvions ont une origine polygénique : blocs de phonolithes, brèches indurées remaniées, etc.

2.4.3. Hydrologie

En ce qui concerne les régimes hydrologiques du Mro Oua Bouyouni, A5 est le seuil enregistreur DAF¹ sur la rivière de la Bouyouni aval (à proximité du forage de Bouyouni Bouyouni) équipé d'un enregistreur automatique depuis novembre 2002. A5H est le seuil correspondant pour les mesures hydrométriques de la Bouyouni amont enregistrées depuis 1998. Seules les chroniques de débit du seuil A5 sont présentées (Illustration 3) car représentatives du fonctionnement hydrologique global du bassin versant.

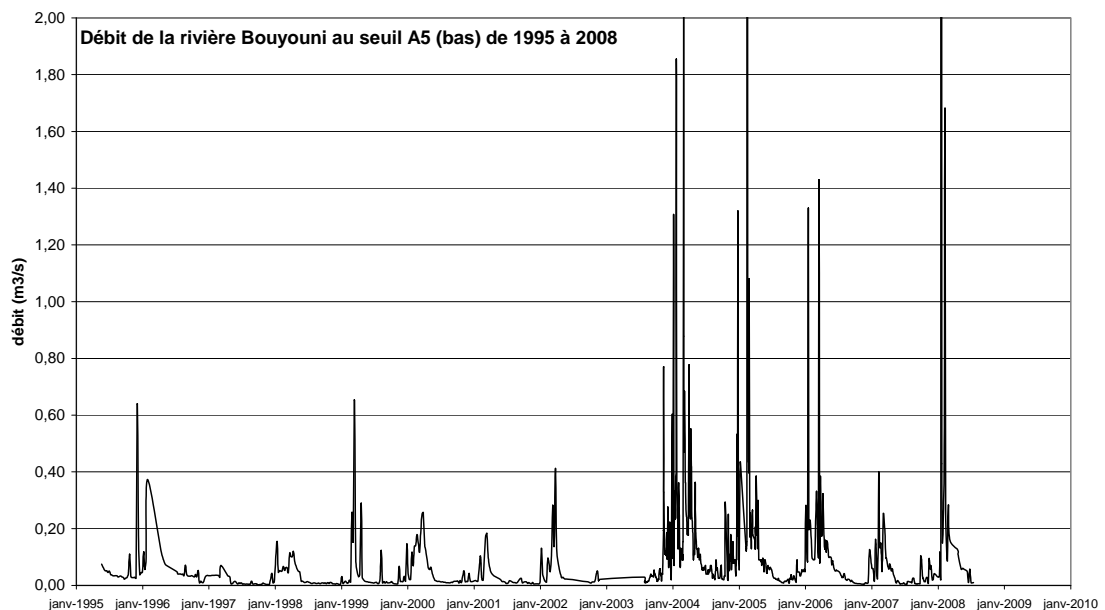


Illustration 3. Chronique des débits de la rivière Bouyouni enregistrés au seuil A5 (section aval) entre 1995 et 2008 (données DAF). Le pic de mars 2004 s'élève à 2,13 m³/s, celui de février 2005 à 7,68 m³/s et celui de janvier 2008 à 12,4 m³/s. En l'absence de toute archive méthodologique sur les modalités de mesure des débits, il convient de garder une certaine réserve sur la pertinence des données anté 2003.

¹ Les principaux cours d'eau de Mayotte font l'objet d'un suivi de débits orchestré par la DAF. Ces mesures concernent une grande partie des cours d'eau permanents de Mayotte. Les mesures de débit sont réalisées au moyen d'un micro-moulinet 1 à 2 fois par semaine.

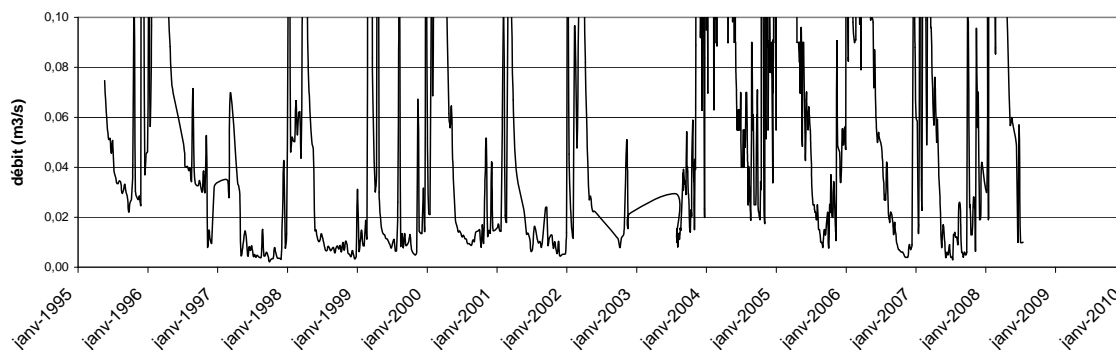


Illustration 4. Détail des débits d'étiage. Noter la lacune de mesures au 1er semestre 2003

Au regard de l'Illustration 3, les variations saisonnières de débit du Mro Oua Bouyouni sont très fortes et au sein d'une même saison le débit enregistré est très irrégulier.

- En étiage (de juin à novembre, cf. Illustration 4 pour plus de détails), le débit moyen de la rivière est souvent inférieur à 20 L/s. Il semblerait que depuis 2003/2004, les débits d'étiage soient plus élevés que sur la période 1997/2003 et les épisodes d'étiage raccourcis.
- En saison des pluies (de novembre à juin), le débit, très irrégulier, est de l'ordre de 500 L/s à 1 m³/s - valeur qu'il est difficile de confirmer car en période de hautes eaux les débits ne peuvent être mesurés pour des motifs de sécurité ainsi que pour des raisons techniques (débordement du seuil de mesure, usage impossible du micro-moulinet, etc.). Des valeurs beaucoup plus fortes de débits (supérieurs à 5 m³/s) ont néanmoins été enregistrées.

La disparité des débits entre régime d'étiage et régime moyen en saison des pluies est de l'ordre d'un facteur 1 à 100 voire 1 à 200 pour des débits journaliers (cf. observations sur les régimes hydrologiques dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR).

La rivière de la Bouyouni a fait l'objet d'une étude hydrologique en vue du dimensionnement des aménagements de lutte et de prévention des risques d'inondations et d'érosion des berges au niveau du village (cf. rapport BRGM/RC-52516-FR). Les résultats de l'étude ont mis en évidence les paramètres hydrologiques suivant d'après les données recueillies au seuil de Bouyouni bas.

Débit de pointe décennal	95 m ³ /s
Débit de pointe centennal	214 m ³ /s

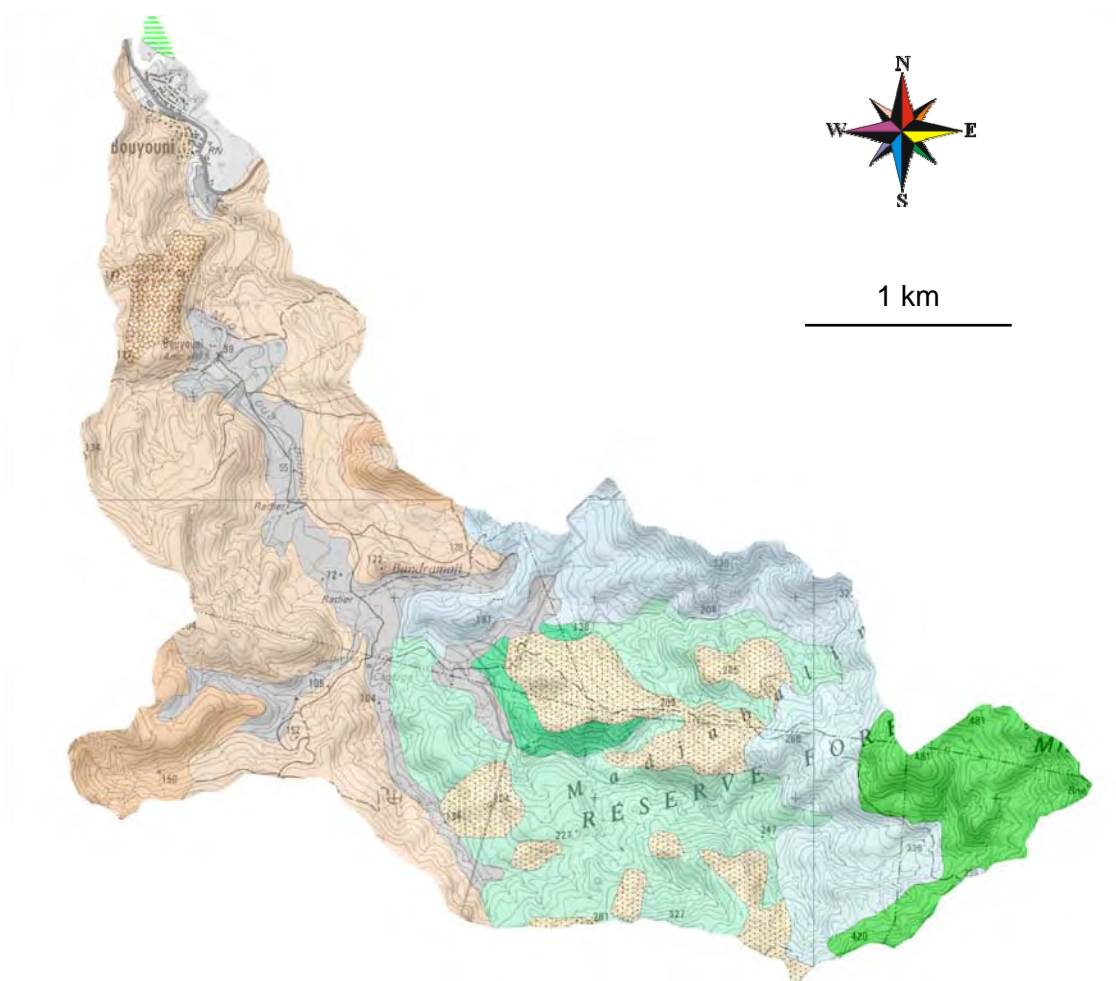
Les travaux de Lapègue (Lapègue – 1999) sur l'étude des débits spécifiques du bassin versant du Mro Oua Bouyouni montrent qu'en amont du seuil de jaugeage A5 (altitude 50 m NGM) les débits caractéristiques de tarissement sont de 22 L/s (moyen) pour un bassin versant de 6,35 km² de surface en amont du seuil. Par conséquent le débit

spécifique annuel calculé à hauteur du seuil est de l'ordre de 3,5 L/s/km², ce qui suppose ou suggère des phénomènes importants de restitution des eaux souterraines dans les eaux de surface en étiage (pour information, à Mayotte, la moyenne des débits spécifiques est de 2 L/s/km² en étiage pour les cours d'eau permanent). La part des eaux souterraines restituées au BAC de surface est donc significative comparativement à l'emprise du bassin versant de surface et cette observation doit être prise en compte lors de la caractérisation des bassins d'alimentation de captage.

- A hauteur du second radier traversant le Mro Oua Bouyouni (altitude 80 m NGM). Le lit mineur de la rivière est plus étroit (entre 6 et 7 m) et de chaque côté les berges sont entaillées sur 1 à 2 m au maximum. Le cours d'eau est plus rapide et traduit une pente plus importante qu'en aval (régime plus torrentiel dans cette partie).
- En remontant le cours d'eau au dessus du captage, deux affluents sont identifiés et contribuent tous les deux au débit du Mro Oua Bouyouni. Les mesures de conductivité montrent des signatures similaires entre les deux affluents (environ 130 µS/cm). En revanche, tandis que l'affluent rive droite se développe sur des formations similaires au Mro Oua Bouyouni, l'affluent rive gauche se développe dans une coulée de basalte, très altérée sur le top mais en place, il est possible d'identifier sa structuration. De débit moindre, cet affluent montre un lit mineur peu large de 2 m environ et très encaissé (3 à 4 m par endroit). Le débit de cet affluent est relativement significatif - compte tenu de la petite taille du lit mineur – il semble que ce débit soit conservatif, ce qui se traduit par un potentiel d'infiltration très faible.
- A hauteur du piézomètre de Digo (réalisé en septembre 2009, BSS 12306X0053/PZ5, cf. rapport BRGM/RP-56781-FR) le débit de l'affluent au Mro Oua Bouyouni est significatif compte tenu de la taille du lit mineur. Les mesures de conductivité montrent des eaux visiblement aussi minéralisées qu'à hauteur du captage de Bouyouni haut (130 µS/cm).

2.5. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET IMPLICATIONS MORPHOLOGIQUES

Géologiquement, le bassin du Mro Oua Bouyouni appartient à la formation volcanique du M'tsapéré dont les unités volcaniques récentes sont d'âge Pléistocène (-1,8 à -1,4 Ma¹) reposent à cheval sur le bouclier ancien méridional daté du Mio-Pliocène (-8 à -4 Ma) au sud et le bouclier ancien septentrional au nord du même âge (Stieljes – 1988, illustration ci-dessous).



¹ Ma = millions d'années



Illustration 5. Géologie du bassin versant du Mro Oua Bouyouni (Stieljes – 1988).

La campagne de reconnaissance géologique et géophysique de 2001-2002 préalable à l'implantation du forage de Bouyouni a permis de compléter la connaissance géologique du bassin. Les reconnaissances de terrain ont fait état de 5 principaux ensembles géologiques dans la partie aval du bassin versant du Mro Oua Bouyouni (BRGM/RP-51498-FR).

Les formations, des plus anciennes au plus récentes, s'étagent comme suit et sont représentées en Illustration 5 :

- i. Une unité de basalte riche en olivine affleure dans la partie basse du bassin sous 30 m NGM. Cette formation volcanique hétérogène est localement interstratifiée de cendres indurées, brèches, colluvions et matériaux pyroclastiques. Il semblerait que cette formation ait été recoupée par le forage de Bouyouni Bouyouni à l'altitude de -20 m NGM sous un faciès majoritairement pyroclastique.
- ii. En recouvrement de cette unité se développe une formation de basalte à pyroxène et olivine à pendage nord comblant des paléovallées. Cette formation quoique très altérée sera reconnue plus bas comme étant la formation aquifère captée par le forage de Bouyouni Bouyouni.
- iii. Un ensemble de coulées de basalte à amphibole recouvre dans la partie ouest du bassin la formation précédente de basalte à pyroxène et olivine et arme les reliefs au sud de l'ancien village de Bouyouni. Cette formation présente un

faciès d'altération en boule et localement une épaisseur significative d'altérites de plusieurs mètres qui masque les coulées.

- iv. Des dépôts pyroclastiques viennent localement en recouvrement de ces formations basaltiques et témoignent davantage d'une activité volcanique phréatomagmatique.
- v. Des formations alluviales et colluviales viennent tapisser le fond du bassin – en amont de la cascade principalement - sur plusieurs mètres d'épaisseurs par endroit. La composition de ce remplissage est dominé par une phase argilo-limoneuse et conglomératique.

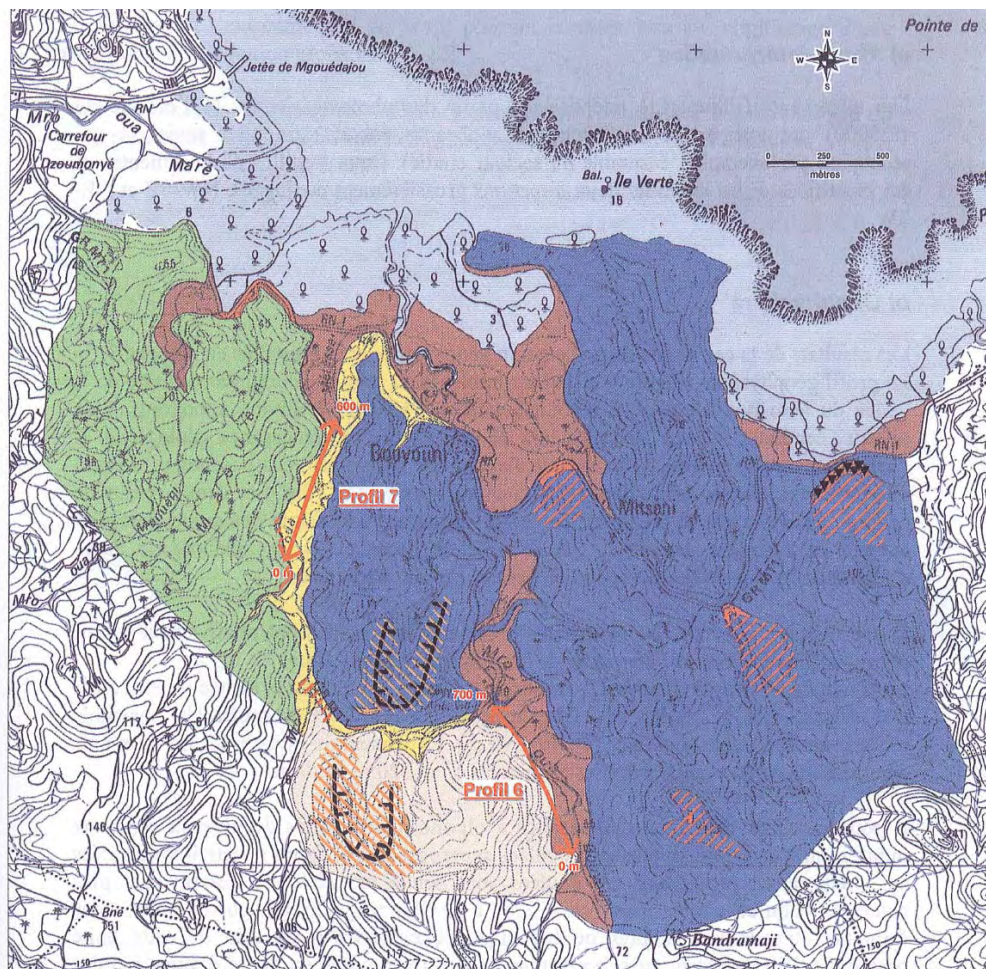
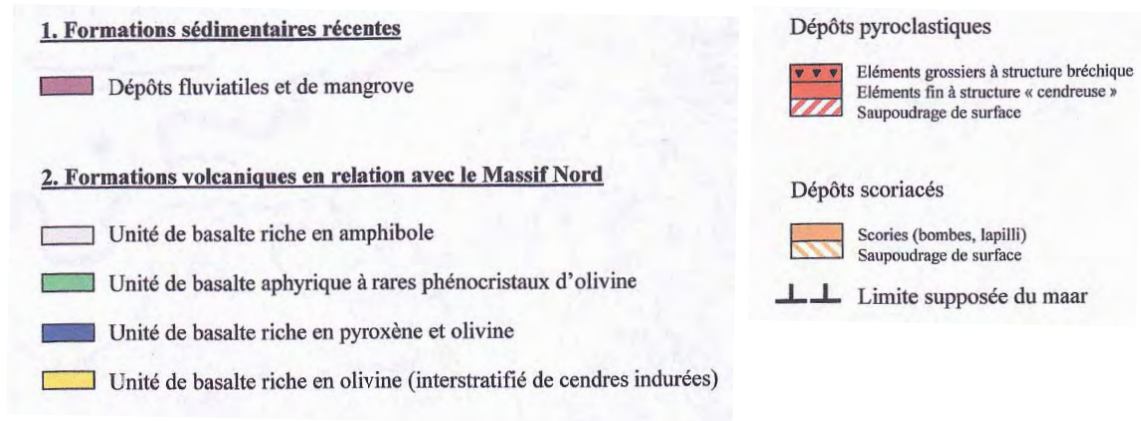


Illustration 6. Carte lithologique interprétative du secteur de Bouyouni / Mitsoni (BRGM/RP-51498-FR)



Le profil d'altération des laves superficielles est relativement développé sur l'ensemble du bassin, favorisant ainsi le développement de couvertures d'altérites d'épaisseur souvent conséquente.

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, l'estimation de la vulnérabilité des captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni est conditionnée par les données géologiques et pédologiques et par la distribution du réseau hydrographique. La carte lithologique interprétative précédente ne couvrant pas la totalité du bassin versant, la cartographie géologique retenue comme paramètre du calcul de la vulnérabilité des BAC dans les paragraphes suivants est celle réalisée par Stieljes (Stieljes – 1988) qui s'avère sensiblement moins précise localement mais qui donne néanmoins la tendance géologique générale à l'échelle du bassin versant.

A ce stade, il est important de noter que le bassin versant du Mro Oua Bouyouni fait partie des bassins les plus investigués géologiquement et hydrogéologiquement parlant (reconnaitances géologiques, piézomètre d'exploration réalisé en 2009, profils géophysiques, etc.). Les connaissances compilées sur le bassin apportent une réelle plus-value à l'étude des BAC des 3 captages.

2.6. MORPHOPÉDOLOGIE

Les travaux d'identification des formations pédologiques (carte morphopédologique de Latrille et al - CIRAD – 1981, cf. Illustration 7) ont permis de relever 4 formations superficielles principales et 3 formations secondaires.

La moitié supérieure du bassin versant est recouverte par des formations altéritiques ferralitiques remaniées en surface qui tapissent les versants à pente forte (en jaune). Ces formations sont classées sous le style pédologique des sols bruns, jeunes et peu développés, attribués à la dégradation des structures volcaniques récentes du M'tsapéré et du Mlima Digo. Ces formations occupent aussi les reliefs situés à l'ouest du bassin versant.

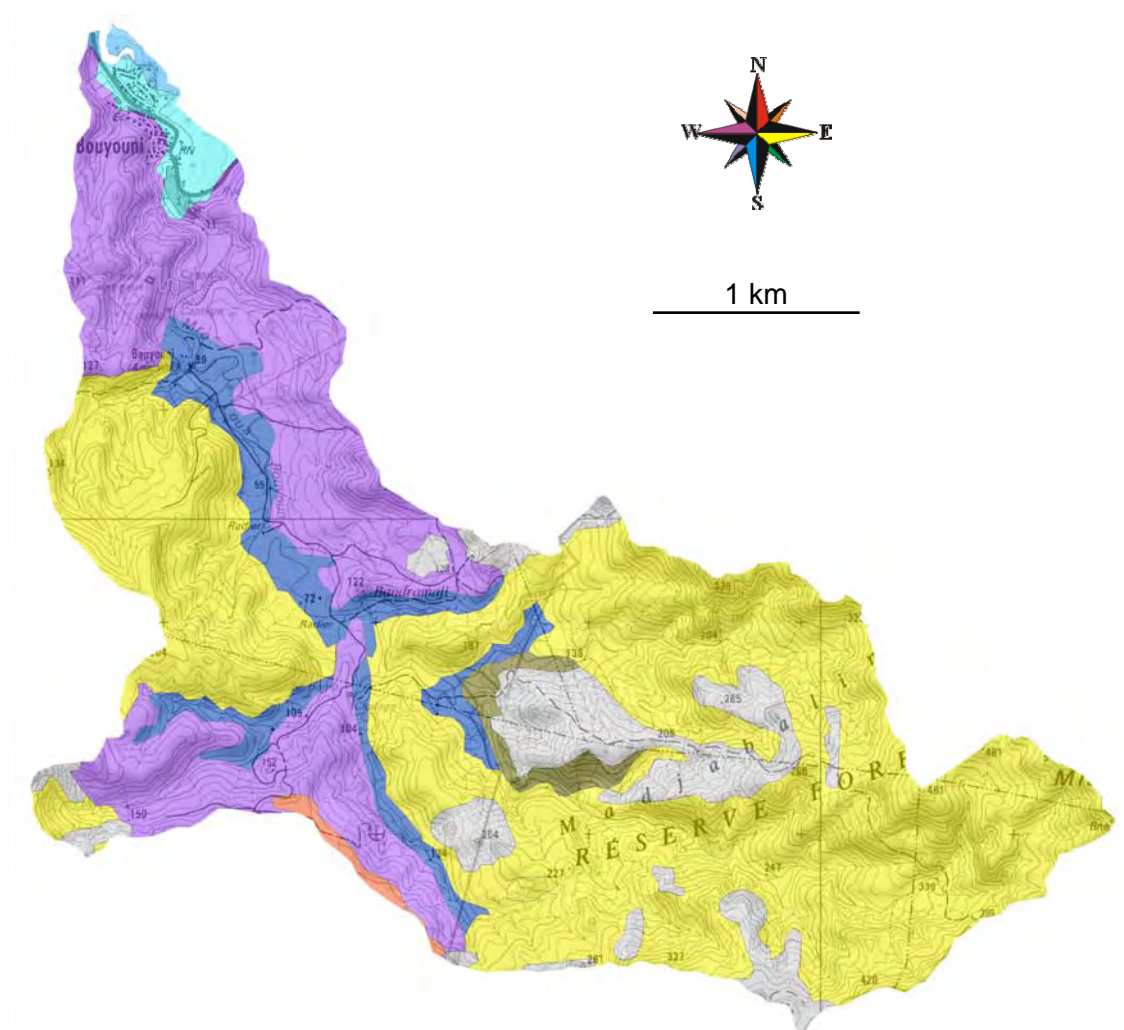
En ce qui concerne la moitié aval du bassin versant, les formations superficielles les plus fréquentes sont des formations altéritiques ferralitiques remaniées qui tapissent les planèzes et versant à pentes moins prononcées (en violet). Ces formations sont souvent plus développées en épaisseur que les sols bruns et sont - de la même manière - attribuées au volcanisme récent du M'tsapéré et du Mlima Digo.

Les crêtes délimitant le bassin versant ainsi que la crête du relief central montrent des formations pédologiques de type sols ferralitiques en place (en gris). Il s'agit essentiellement de modelé de type padza¹, qui montrent une épaisseur de développement relativement élevée. Ces formations reposent au niveau de la crête du relief central sur un affleurement de phonolite, considéré comme roche mère en place et donc synonyme d'absence de sol au sens pédologique du terme.

Les fonds de vallée, à savoir la vallée intermédiaire du Mro Oua Bouyouni (> 30 m NGM) ainsi que quelques affluents rive droite ou rive gauche montrent un remplissage alluvial et colluvial épais et indifférencié (en bleu) manifestement peu favorable aux infiltrations.

Parmi les formations secondaires (en termes de proportion), il faut noter l'affleurement de phonolite, le dépôt de cendres récentes sur la bordure sud du bassin versant (> 180 m NGM) et les formations de plaine alluviale visible à l'altitude du village de Bouyouni.

¹ 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 regroupent communément les terres rouges ou brunes dévégétalisées.



LEGENDE

- 1/ Mangrove/ 645 ha
- 10a/ Cônes volcaniques phase récente/70 ha
- 10b/Cônes volcaniques phase recente/80 ha
- 10c/Cônes volcaniques phase recente/140 ha
- 10d/Cônes volcaniques phase recente/410 ha
- 11/Cônes volcaniques phase moyenne/70 ha
- 12a/Reliefs résiduels du volcanisme intrusif ancien/50 ha
- 12b/Reliefs résiduels du volcanisme intrusif ancien/290 ha
- 13/Volcanisme moyen Bad-Lands = PADZA/1980 ha
- 14/Volcanisme moyen PLANEZES versants/2055 ha
- 15a/Volcanisme moyen PLANEZES plateaux/1140 ha
- 15b/Volcanisme moyen PLANEZES plateaux/200 ha
- 16a/Volcanisme moyen Croupes: Système de Mtsangamouji/505 ha
- 16b/Volcanisme moyen Croupes :Système de Koungou-Kangani/830 ha
- 17/Volcanisme moyen Croupes :Système de Dzoumogne-Longoni/4010 ha
- 18/Volcanisme moyen Crêtes.Pentes<60%/4510 ha,Pentes>60%/390 ha
- 19a/Volcanisme ancien:versants a coulées boueuses décapées/2225 ha
- 19b/Volcanisme ancien:versants a coulées boueuses décapées/150 ha
- 2/Plaines littorales transition avec la mangrove/170 ha
- 20a/Volcanisme ancien:versants à coulées boueuses très décapées/10755 ha-125 ha
- 20b/Volcanisme ancien versants à coulées boueuses très décapéesP.>60%/125 ha
- 21a/Volcanisme ancien versants à coulées boueuses peu décapées/925 ha
- 21b/Volcanisme ancien versants à coulées boueuses peu décapées/340 ha
- 22/Volcanisme ancien Crêtes Pentes<60%/1410 ha Pentes>60%/1400 ha
- 3/Plaines littorales/1060 ha
- 4a/Plaines Intérieures/300 ha.4b non cartographié
- 5/Glacié d'épandage/180 ha
- 6/Fonds de vallées indifférenciées/1145 ha
- 7a/Nappes de matériel pyro-clastique à tuf de ponces /220 ha
- 7b/Nappes de matériel pyro-clastique à tuf de ponces/30 ha
- 8a/Nappes de matériel pyro-clastique à tuf de lapili/220 ha
- 8b/Nappes de matériel pyro-clastique à tuf de lapili/45 ha

*Illustration 7. Formations pédologiques superficielles du bassin versant du Mro Oua Bouyouni
1/50 000 (Latrille et al – 1981)*

Il est intéressant de noter que la distribution des formations pédologiques est le symétrique de la distribution des unités lithologiques (comparaison avec l'illustration 2). Cependant, les différentes lithologies composant la moitié amont du bassin versant se voient tapissées d'une formation superficielle uniforme correspondant aux sols bruns, c.à.d. des sols peu épais et peu développés plutôt favorables aux infiltrations. Il en est de même pour le relief à l'ouest du bassin dont l'unité lithologique est encore différente.

Les padzas sont identifiés de la même manière sur les deux cartes.

Les secteurs les plus propices à l'infiltration et contribuant donc à la recharge des principaux réservoirs aquifères se situeraient dans la partie amont du bassin versant alors que les parties aval caractérisées par un adoucissement de la pente du cours d'eau et une couverture alluvial et colluvial épaisse et imperméable joueraient davantage le rôle d'écran vis-à-vis des infiltrations.

3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage

3.1. LES PRISES D'EAU DE SURFACE DE BOUYOUNI BAS (BDAEP 2C6 ET BSS 12306X0049) ET HAUT (BDAEP 2C5 ET BSS 12306X0052)

Les captages de Bouyouni haut et bas sont des prises d'eau en rivière composées d'un seuil en béton qui barre l'ensemble du lit du cours d'eau (à noter : l'absence de passe à poissons dont la conception et le fonctionnement restent délicats). Une grille placée au milieu du seuil permet le prélèvement des eaux qui vont rejoindre la station de traitement des eaux de Bouyouni avant d'être injectées dans le réseau de distribution. La prise d'eau de Bouyouni bas représente la majorité voire souvent l'essentiel des prélèvements en eau du bassin (ressource stratégique).

3.1.1. Le captage de Bouyouni bas – BDAEP 2C6 et BSS 12306X0049

1) Présentation

L'état général de la prise d'eau est moyen, l'ouvrage n'est plus très étanche et des infiltrations s'opèrent à la base du seuil fragilisant l'ensemble de la structure.



Illustration 8. Captage de Bouyouni bas. Les feuilles viennent fréquemment obstruer la grille (photographie du 4 février 2009)

Le captage de Bouyouni bas est situé en aval de la première plaine alluviale, au niveau du défilé, peu avant le décrochement à une altitude d'environ 35 m NGM.

Nom	Bouyouni Bas
Code Commune	98502
Commune	BANDRABOUA
Section	BM
Titre	T1690
Parcelle	3
Propriétaire	Collectivité départementale de Mayotte
Coord X_{RGM04}	515 280 m
Coord Y_{RGM04}	8 591 181 m
Coord Z_{NGM}	35 m
Code BDAEP	2C6
Code BSS	12306X0049
Chronique prélèvement	Comptabilisé avec l'eau du captage de Bouyouni haut au niveau de la station de Bouyouni
Date de création	2003
Mode exploitation	pompage
Remarque	Ouvrage en bon état

Tableau 2. Informations relatives au captage de Bouyouni bas

L'examen du seuil de Bouyouni bas montre que les berges sont consolidées en amont de la prise d'eau, entre 1 et 2 m de hauteur avec un talus assez raide. En aval du seuil, le lit de la rivière est argileux et des galets imbriqués montrent une épaisseur importante d'alluvions au niveau des berges avec surcreusement postérieur (cf. Illustration 8). En aval de l'ouvrage, les berges montrent des signes d'instabilité. L'érosion des berges est accentuée par la présence de l'ouvrage qui induit un brassage plus important. Des loupes d'arrachement sont visibles en rive gauche et des surcreusements de berges en rive droite.

Les laisses de crue sur les marches basses de l'escalier d'accès indiquent qu'en hautes eaux, le niveau d'eau dépasse fréquemment le seuil d'environ 1 m. En très

hautes, le niveau peut même atteindre le bâtiment d'exploitation (laisses de crue visible).

2) Prélèvements

En ce qui concerne les prélèvements de surface destinés à l'alimentation, la mesure des volumes est réalisée à l'entrée de l'usine de Bouyouni et correspond à la somme des prélèvements réalisés sur le captage de Bouyouni haut et bas. Dans le détail il n'est donc pas possible de distinguer la part des prélèvements de chaque captage.

L'observation de l'illustration 9 indique que l'ensemble des captages Bouyouni bas et haut sont exploités au rythme moyen de 14 300 m³/semaine entre 2006 et mi-2007, soit environ 40 m³/h par captage, valeur qu'il est difficile de préciser car le captage de Bouyouni bas est très certainement plus productif que le haut. A partir de juillet 2007, le régime d'exploitation a été augmenté. Il est en moyenne de 17 800 m³/semaine. Par ailleurs, l'exploitation n'est pas régulière en fonction du temps ; il existe des périodes pendant lesquelles les prélèvements sont augmentés, soit en raison d'une hausse de la demande soit en période de pluie ou la ressource est plus abondante (30 000 m³/semaine en avril 2006, en novembre 2007 et en juillet 2008 ; 2 000 m³/semaine en juillet 2006 ; etc.). A l'inverse, lorsque la turbidité des eaux de surface devient trop forte - suite à un épisode pluvieux intense par exemple – les prélèvements sont suspendus.

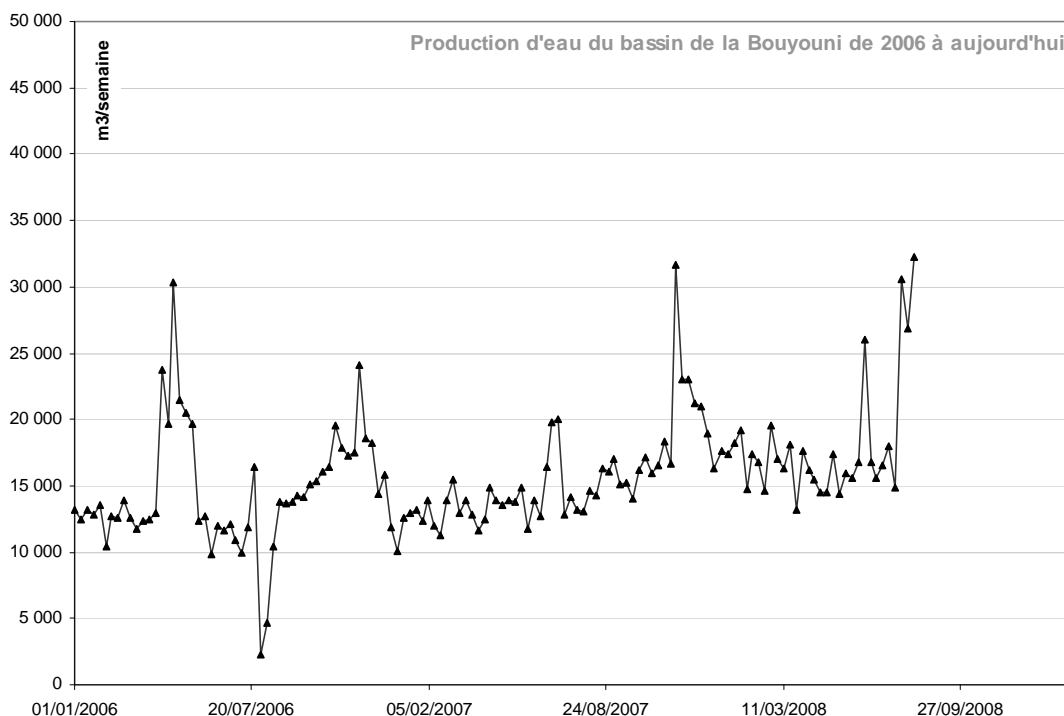


Illustration 9. Régime de production hebdomadaire des ouvrages d'eau du bassin du Mro Oua Bouyouni de 2006 à septembre 2008 (données SOGEA). On remarque que la tendance moyenne des prélèvements est en hausse depuis 2006

La pratique des prélèvements en rivière provoquent souvent de sévères étiages sur la majorité des rivières captées. Dans le meilleur des cas, à l'échelle de l'île, les débits d'exploitation des captages ne sont suivis que depuis quelques années par la pose de débitmètres en tête d'ouvrage.

3) *Qualité des eaux*

Quatre analyses de la qualité physico-chimique des eaux de rivière au niveau du captage de Bouyouni bas ont été réalisées, la 1^{ère} en novembre 1994, la seconde en mars 2005, la 3^{ème} juillet 2007 et enfin la quatrième en juillet 2008.

Les résultats de ces analyses (consignés en Annexe 1) font état de concentrations élevées en fer (0,25 mg/L le 04/11/1994, 0,62 mg/L le 01/03/2005), manganèse (0,061 mg/L le 01/03/2005), aluminium (0,196 mg/L le 01/03/2005) qui peuvent s'expliquer par un lessivage important en saison des pluies des abords du cours d'eau. Ces concentrations sont souvent supérieures aux concentrations maximales admissibles pour l'eau potable (0,2 mg/L pour le fer et 0,05 mg/L pour le manganèse, 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). Ces analyses montrent aussi des valeurs de turbidité très élevées en période de hautes eaux, valeurs qui conduisent souvent à l'arrêt de la production pendant un laps de temps plus ou moins long (à l'heure actuelle, les épisodes de turbidité élevés sont les principaux soucis rencontrés par la SOGEA).

A l'inverse le couple $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ de l'analyse de 2005 est en concentration plus faible que les analyses de 2007 et de 2008 qui – elles - ont été réalisées en juillet, c'est-à-dire en saison sèche. Les concentrations plus élevées en saison sèche de ces paramètres militent en faveur de l'hypothèse selon laquelle l'alimentation du cours d'eau est assurée en grande partie par des eaux d'origine souterraine (en termes de proportion). En effet, la mise en solution du couple $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ est de cinétique relativement lente et s'opère préférentiellement après transit prolongé au contact de l'encaissant, c.à.d. dans la nappe. Les valeurs de conductivité vont dans ce sens, elles sont plus élevées en saison sèche (2007 et 2008) qu'en saison des pluies et supposent une alimentation du cours d'eau par les nappes plus chargée. Les concentrations en fluor sont plus élevées en saison sèche et traduisent une alimentation potentielle par les nappes plus importante.

L'analyse des paramètres bactériologiques traduit une pollution très importante des eaux du Mro Oua Bouyouni par des matières fécales, et ce quelque soit la saison.

Des analyses de produits phytosanitaires réalisées sur le cours d'eau au niveau du captage ont mis en évidence les pollutions suivantes :

- la présence d'un organochloré (lindane) le 20 novembre 1992 (0,8 µg/l mesuré) ;
- des traces de Fénitrothion identifiés dans le captage en mars 2006 et en janvier 2007, manifestation consécutives à des actions ponctuelles de démoustication à proximité des ouvrages d'eau. Dans les deux cas, ces concentrations ont été jugées

assez importantes pour décider de l'arrêt de la production pendant plusieurs heures).

Par ailleurs, la campagne d'analyse des produits phytosanitaires dans les rivières de Mayotte en novembre 2008 (DAF 2009) n'a fait état de la présence d'aucun polluant à deux sections du cours d'eau : en aval du pont de la RN, soit sous le village de Bouyouni, et plus en amont au niveau de l'ancien village.

Il existe donc des épisodes de pollution au niveau du captage de Bouyouni bas qui ne sont pas permanents et dont les substances peuvent varier.

Dans le cadre du programme de surveillance DCE des eaux de surface (convention ONEMA/BRGM 2008-2009, cf. rapport BRGM/RP-56774-FR), les eaux de surface au niveau de la prise d'eau de Bouyouni bas seront analysés à raison d'un prélèvement par an à compter d'octobre 2009. Comme préconisé par la *Circulaire DCE 2006/16*, 41 substances prioritaires seront analysées auxquelles s'ajouteront l'analyse de substances complémentaires. Ces données viendront en complément des analyses de routine AEP réalisées plusieurs fois par an sur les eaux brutes.

En conclusion sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux, quatre traits importants quant à l'étude des bassins d'alimentation de captages sont à souligner.

- i. la mise en évidence de phénomènes importants de lessivage en saison des pluies qui augmentent la teneur en éléments indésirables (fer, manganèse, etc.) ;
- ii. la mise en évidence de la participation plus importante des nappes dans l'alimentation du cours d'eau en saison sèche ;
- iii. une pollution bactériologique diffuse très au-delà des normes de potabilité et qu'il convient de traiter ;
- iv. l'existence de pollutions chroniques dans le captage par des produits phytosanitaires (pesticides, insecticides, etc.)

4) Délimitation du bassin d'alimentation de captage

En respectant les considérations inscrites au sein du rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, les limites du BAC de Bouyouni bas suivent ; dans la partie ouest, la ligne de crêtes jusqu'au point coté 127 m NGM, puis les limites du bassin versant de surface du cours d'eau principal, limites qui passent par les sommets du Mlima Digo, du M'Tsapéré, du point coté 481, 481, 325, 336, 241, 183 et 113. A partir du sommet 113, les limites du BAC rejoignent le captage en passant par la ligne de crêtes, de façon à exclure le petit affluent qui rejoint la cascade et qui ne participe pas à l'alimentation du captage.

Cette délimitation est présentée en Illustration 13.

Ainsi, la surface retenue pour le BAC du captage de Bouyouni Bas est de 8,7 km², soit 90 % de la surface totale du bassin versant du Mro Oua Bouyouni. Le périmètre associé au BAC est de 16,1 km.

3.1.2. Le captage de Bouyouni haut – BDAEP 2C5 et BSS 12306X0052

1) *Présentation*

Le captage de Bouyouni haut est situé dans la partie amont du bassin versant et capte le Mro Oua Bouyouni quelques mètres seulement en aval de la confluence des deux principaux affluents vers l'altitude de 85 m NGM (cf. Illustration 10).

Nom	Bouyouni haut
Code Commune	98502
Commune	BANDRABOUA
Section	BP
Titre	T1724
Parcelle	23
Coord X_{RGM04}	516 200 m
Coord Y_{RGM04}	8 589 506 m
Coord Z_{NGM}	85 m
Code BDAEP	2C5
Code BSS	12306X0052
Chronique prélèvement	Comptabilisé avec l'eau du captage de Bouyouni bas au niveau de la station de Bouyouni
Date de création	1994
Mode exploitation	gravitaire
Remarque	Etat de l'ouvrage moyen

Tableau 3. Informations relatives au captage de Bouyouni haut

Il est important de souligner que le positionnement du captage donné sur la carte IGN au 1/25 000 est faux. Cette erreur est en partie imputable à la mauvaise qualité du

tracé du cours d'eau. En réalité le captage est situé 150 m en aval du pointage IGN et 20 m plus bas en altitude.

L'observation au niveau du captage montre une réduction du lit mineur (entre 6 et 7 m au maximum) et les berges sont plus entaillées, entre 2 et 3 m de haut. Le débit observé au niveau de la prise d'eau semble plus faible qu'au niveau du radier situé en aval direct. Il est probable qu'un affluent en rive droite vienne grossir le débit entre ces deux sections. Le captage de Bouyouni haut ne fonctionne pas en permanence.



Illustration 10. Captage de Bouyouni haut. Le débit est plus faible qu'au captage de Bouyouni bas (photographie du 4 février 2009)

En complément à cette alimentation, il est nécessaire de rajouter la participation du réservoir de crête (pt GPS 515 404 m / 8 589 103 m, entre le bassin versant du Mro Oua Oourovéni et le bassin versant du Mro Oua Bouyouni, localisation en Illustration 13). En effet, ce réservoir - alimenté par la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani - est directement dirigé vers la prise d'eau amont qui assure le prélèvement des eaux et l'acheminement direct vers l'usine de traitement de Bouyouni. Ainsi, la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani participe à l'alimentation de la prise d'eau de Bouyouni haut.

Il y'a donc un transfert d'eau du bassin versant du Mro Oua Oourovéni en direction du bassin versant du Mro Oua Bouyouni par l'intermédiaire de la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani et du réservoir de crête. Cette alimentation épisodique est déclenchée en cas de production insuffisante sur l'usine de traitement de Bouyouni.

Il est nécessaire de considérer la participation de la prise d'eau de la retenue dans l'alimentation de la prise d'eau de Bouyouni haut mais pas dans l'alimentation du captage de Bouyouni bas.

La prise d'eau de la retenue collinaire appartenant au bassin versant de l'Oourovéni, son bassin d'alimentation de captage sera traité au sein du rapport BRGM/RP-57111-FR.

2) Qualité des eaux

Le captage de Bouyouni haut a fait l'objet de 3 analyses aux mêmes dates que celles de Bouyouni bas (à l'exception de novembre 1994, soit en mars 2005, juillet 2007 et 2008, cf. recueil des analyses en Annexe 1).

Les résultats sont assez analogues à ceux discutés au chapitre précédent.

Les teneurs en fer et manganèse sont plus élevées pendant la saison des pluies et traduisent des phénomènes importants de lessivage (bien que le manganèse n'ait été analysé qu'en mars 2005), des conductivités ainsi que des concentrations du couple $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ et en fluor plus élevées en saison sèche suggèrent un apport significatif des eaux souterraines dans l'alimentation du cours d'eau.

La présence d'une pollution bactériologique importante est mise en évidence quelque soit la saison bien que les concentrations semblent cependant sensiblement plus importantes en saison sèche.

En revanche il n'y a pas de pollutions de nature phytosanitaire enregistrée sur le captage de Bouyouni haut, ce qui témoigne soit d'un épandage de produits phytosanitaires moins conséquent que sur le tronçon aval du bassin versant, soit un suivi moins efficace du captage (les analyses de type phytosanitaires sont plus fréquentes sur le captage aval).

En conclusion, les caractéristiques physico-chimiques des eaux du captage de Bouyouni haut sont très proches de celles de Bouyouni Bas. Les traits suivants sont importants à souligner :

- i. la mise en évidence de phénomènes importants de lessivage en saison des pluies qui augmentent la teneur en éléments indésirables (fer, manganèse, etc.) ;
- ii. la mise en évidence de la participation plus importante des nappes dans l'alimentation du cours d'eau en saison sèche ;
- iii. une pollution bactériologique diffuse très au-delà des normes de potabilité ;
- iv. l'absence de pollutions chroniques dans le captage par des produits phytosanitaires (pesticides, insecticides, etc.) comme déjà signalé en aval.

3) Délimitation du bassin d'alimentation de captage

Le bassin d'alimentation du captage de Bouyouni haut correspond au bassin versant de surface de l'affluent capté en amont du point 100 m NGM. Les limites du BAC sont : dans la partie sud-ouest, les limites du bassin versant du cours d'eau principal jusqu'au point coté 327 m NGM, dans la partie nord-est, la ligne de crêtes qui séparent le bassin capté du bassin situé immédiatement à l'est.

Cette délimitation est présentée en Illustration 13.

La surface du BAC est de 5,4 km² et le périmètre de 11 km, ce qui représente près de 55 % de la superficie totale du bassin versant du Mro Oua Bouyouni.

A cette délimitation, il est nécessaire de rajouter le BAC de la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani qui participe – épisodiquement - à l'alimentation du captage de Bouyouni haut. Comme expliqué précédemment, la prise d'eau de la retenue collinaire appartenant au bassin versant de l'Ourovéni, son bassin d'alimentation de captage est traité au sein du rapport BRGM/RP-57111-FR.

3.2. LE FORAGE DE BOUYOUNI BOUYOUNI (BSS 12306X0024/BOUY)

3.2.1. Présentation

Le forage de Bouyouni Bouyouni a été réalisé dans le cadre de la campagne de recherche en eau 2001/2003 (cf. rapport BRGM/RP-51969-FR). Compte tenu de ses propriétés hydrodynamiques et de la qualité des eaux, ce forage a été considéré productif pour l'alimentation en eau potable. Il sera mis en exploitation fin 2009 ou courant 2010 et raccordé à l'usine de traitement de Bouyouni.

Nom	Forage de Bouyouni Bouyouni
Code BSS	12306X0024/BOUY
Code Commune	98502
Commune	BANDRABOUA
Section	BN
Titre	T1846
Parcelle	6
Propriétaire	SIEAM
Coord X_{RGM04}	515 504 m
Coord Y_{RGM04}	8 590 692 m
Coord Z_{NGM}	48 m
Date de création	2002
Date exploitation	Non encore exploité
Remarque	Très bon état général

Tableau 4. Informations relatives au forage de Bouyouni Bouyouni

Foré entre le 6 septembre et le 24 octobre 2002 et d'une profondeur de 124 m, le forage de Bouyouni Bouyouni est actuellement l'ouvrage le plus profond de l'île (la coupe technique du forage est donnée en Annexe 2).

L'ouvrage de béton est en bon état, une clôture délimite une aire d'enceinte qui pourrait être considérée comme un périmètre de protection immédiat. L'ouvrage est

surélevé par rapport à la rivière et à plus de 50 m de cette dernière - donc visiblement peu sujet aux inondations par débordement (cf. § 5.1.4) – et peu exposé aux aléas glissement et mouvement de terrains.



Illustration 11. Forage de Bouyouni Bouyouni (photographie du 4 février 2009)

Géologiquement, le forage recoupe entre 0 et 6 m de profondeur des colluvions/alluvions, entre 6 et 60 m des coulées de lave saines à très altérées imperméables, entre 60 et 75 m une coulée de lave mésocrate saine et de 75 à 124 m des horizons de tuf pyroclastiques indurés.

Les niveaux perméables du forage ont été identifiés principalement au sein du niveau scoriacé à la base de la coulée saine à 75 m de profondeur et au sein des pyroclastites remaniées à 99, 102 et 109 m de profondeur. Le niveau piézométrique à la réception des travaux se situait vers 29,5 m de profondeur, soit à une altitude de 18,5 m NGM. Aucune relation hydraulique n'est décelable entre la nappe et le Mro Oua Bouyouni dont la surface libre au droit du forage est à l'altitude de 40-45 m NGM, soit plus de 20 m supérieure à celle de la nappe. L'aquifère capté par le forage de Bouyouni Bouyouni est semi-captif à captif, la couverture de l'aquifère étant assurée par les 60 m de profils d'altération de faible perméabilité. Cette observation appuie celle du § 2.6 selon laquelle les infiltrations de ce secteur sont limitées et ne contribuent pas (en proportion) à la recharge de la nappe.

Les pompages d'essai réalisés sur le forage de Bouyouni Bouyouni ont mis en évidence les paramètres suivants : une transmissivité de 9.10^{-4} m²/s soit une valeur élevée qu'il est possible de rencontrer dans les aquifères volcaniques captifs et la présence d'une limite alimentée dont la nature serait de type effets de drainance des unités hydrogéologiques supérieures, c'est-à-dire une participation supposée de la zone non saturée et non une alimentation par un cours d'eau superficiel.

Le régime d'exploitation préconisé pour cet ouvrage est de 21 m³/h en raison de la susceptibilité potentielle vis-à-vis d'une intrusion du biseau salé (non prouvée). Le rabattement maximal autorisé est de 15,5 m afin de ne pas dénoyer l'aquifère en dessous de 1,6 m NGM (application de l'hypothèse Ghyben-Herzberg des équilibres hydrostatiques).

Le forage de Bouyouni Bouyouni fait l'objet d'un suivi du niveau piézométrique par la DAF depuis sa création jusqu'en juin 2006 (cf. Illustration 12).

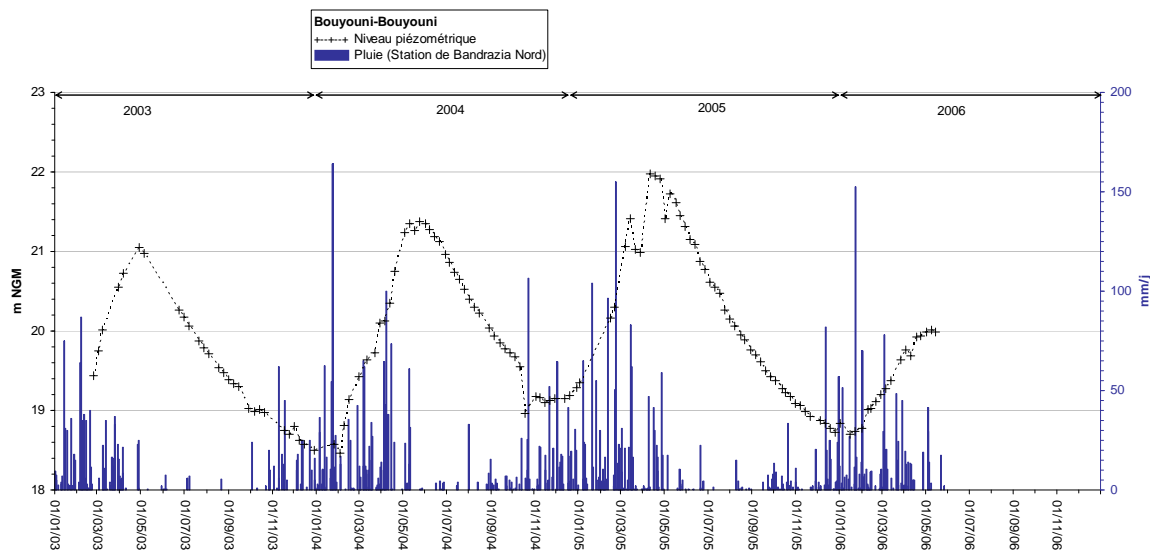


Illustration 12. Chronique piézométrique du forage de Bouyouni Bouyouni en m NGM entre janvier 2003 et juin 2006 (données DAF, extrait du rapport BRGM/RP-56438-FR)

L'analyse de la chronique piézométrique du forage de Bouyouni Bouyouni a fait l'objet d'un chapitre du rapport BRGM/RP-56438-FR. Les conclusions du chapitre mettaient en évidence les traits hydrogéologiques suivants :

- L'amplitude des variations annuelles du niveau piézométrique est comprise entre 2 et 3 m, ce qui la place dans la moyenne des amplitudes annuelles rencontrées sur la majorité des forages de Mayotte.
- un **tarissement** quasiment linéaire : de l'ordre de 1,4 cm/j pour les deux premiers tarissements et de 1,7 cm/j pour le tarissement 2005. Il débute généralement au mois d'avril, mai et se termine en décembre. Le tarissement de l'été 2004 est interrompu par une baisse significative (octobre). La baisse du niveau piézométrique est de l'ordre de 2,5 m à 3 m ;
- la **recharge** s'effectue en saison des pluies mais est légèrement retardée (entre 2 et 3 mois d'écart entre le barycentre des précipitations et le pic piézométrique). Elle montre deux phases successives :
 - elle débute en général vers le mois d'octobre-novembre par des périodes de faible et temporaire remontée piézométrique ;
 - la remontée franche des niveaux piézométriques se produit de manière différée à partir du mois de février et se prolonge généralement jusqu'en juin ;

Les pentes de recharge et de tarissement sont très proches et la courbe présente une allure assez lissée. La courbe n'est pas aussi sensible aux irrégularités des pluies que d'autres ouvrages présents à Mayotte (cf. BRGM/RP-56438-FR). Ce qui laisse supposer que les mécanismes d'alimentation et de tarissement ne sont pas aussi

rapides que sur ces autres ouvrages ou que des volumes d'eau importants participent à l'atténuation et au retard du signal. Les informations relatives au forage suggèrent que la nappe est semi-captive à captive dans ce secteur et que les alimentations sont assurées par la drainance des unités hydrogéologiques amont et non par infiltration directe (ce qui confirme les arguments avancés plus haut).

Les niveaux piézométriques maximum mesurés sont croissants de 2003 à 2005. En 2005, le niveau maximum mesuré est supérieur de 1 m au niveau maximum mesuré en 2003. Ceci peut s'expliquer par une pluviométrie plus efficace au cours de la saison des pluies 2005 (confirmé au § 2.2). En revanche, début 2006 la recharge s'avère moindre que les années précédentes.

3.2.2. Qualité des eaux

La qualité physico chimique des eaux du forage de Bouyouni a été analysée à trois reprises, le 3 octobre 2002, le 14 octobre et 3 novembre 2004 (cf. tableau des analyses qualité en Annexe 1). Bien que l'historique des analyses ne soit pas assez conséquent pour prétendre estimer la tendance évolutive de la qualité des eaux, les résultats laissent apparaître une forte concentration des paramètres suivants :

- la turbidité enregistrée en octobre 2002 était légèrement supérieure aux normes de potabilité (1,12 NFU¹ contre 1 pour la norme). Etant donné que les deux analyses en 2004 ont montré une turbidité inférieure à 1 NFU, Cette valeur initiale élevée pourrait être la conséquence des travaux de forage et d'équipement de l'ouvrage et n'engageraient pas le fonctionnement général de l'aquifère
- le manganèse initialement mesuré à 3,29 mg/L est très au dessus des normes de potabilité (0,50 mg/L), il s'agit même d'une des valeurs les plus élevées mesurées au sein d'aquifères à Mayotte. Ces teneurs élevées sont fréquentes dans les aquifères volcaniques captifs et dues au caractère réducteur du milieu. Toutefois, les analyses suivantes n'ont décelé aucune trace de manganèse. Cette absence peut s'expliquer soit par un défaut d'analyse de l'échantillon (paramètre non pris en charge par exemple) soit par le fait que le milieu initialement réducteur s'est oxydé favorisant ainsi la précipitation du manganèse (l'absence du bordereau d'analyse ne nous permet pas de vérifier). Initialement, cette concentration en manganèse témoigne du caractère confiné de l'aquifère et des temps de transit élevés des eaux.
- Le paramètre bactériologie dépasse aussi les normes de potabilité. La présence de 14 entérocoques/100 ml lors de la 1^{ère} analyse peut être une contamination de surface imputée aux travaux de réalisation du forage étant donné que les analyses ultérieures n'ont pas mis en évidence de substances bactériologiques. Cette information – si la contamination du premier échantillon est avéré - penche en faveur d'un transit des eaux dans l'aquifère relativement long.

¹ FNU (Formazine Néphélométric Unit), ou NFU utilisé dans le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 (= anciennement NTU). 1 NTU = 1 NFU

En conclusion, sur le fonctionnement hydrogéologique de l'unité aquifère exploitée par le forage de Bouyouni Bouyouni il est possible d'avancer les arguments suivants, qui nous permettront de préciser à la fois la délimitation du BAC mais aussi le degré de vulnérabilité de la ressource captée :

- i. L'aquifère est relativement bien développé en termes de fonctionnement comme en témoigne l'allure lissée de la courbe caractéristique d'un aquifère captif tamponné.
- ii. L'alimentation de l'aquifère est opérée bien en amont de la zone de captage comme en témoigne (i) la profondeur des formations aquifères (ii) l'imperméabilité relative des unités géologiques situées directement au droit du forage (iii) le retard des recharges saisonnières, (iv) la différence de charge avec le cours d'eau situé quasiment au droit du forage, (v) la présence de manganèse et l'absence ou du moins la concentration probablement très faible des paramètres microbiologiques (information à vérifier).

3.2.3. Délimitation du bassin d'alimentation de captage

A la lumière des informations précédentes et en s'appuyant sur les résultats d'estimation de sa surface théorique (cf. Tableau 5), il est possible de délimiter les contours du bassin d'alimentation du forage de Bouyouni Bouyouni et d'en définir les caractéristiques comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR. Cette délimitation est présentée en Illustration 13.

- i. L'environnement géologique direct du captage, c'est-à-dire le vallon situé au droit ainsi que les versants Est et Ouest semblent relativement imperméables et ne semblent pas contribuer à l'alimentation de la formation aquifère en raison du degré d'altération avancé des unités. Ces arguments sont en accord avec les caractéristiques de l'aquifère détaillées ci-dessus qui n'abondent pas dans le sens d'une alimentation principale à proximité relative de l'ouvrage (comme indiqué au § 2.6).
- ii. La présence de linéaments majoritairement orientés SO-NE peut s'interpréter comme un faisceau de failles de décontraction du massif, probablement la combinaison des gonflements/dégonflements du massif lors des éruptions et des mécanismes de décontraction par refroidissement des coulées. Comme expliqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, les failles, en raison de l'imperméabilité des matériaux les remplissant, constitueront davantage des barrières hydrauliques que des drains et ont pour conséquence à la fois de compartimenter les unités aquifères mais aussi de maintenir un certain étagement de la charge hydraulique et contribuent à maintenir un gradient hydraulique fort.
- iii. La continuité géologique de l'ensemble des coulées de lave aquifères montre un pendage en direction du Nord. Bien qu'il soit délicat de mesurer un gradient piézométrique en l'absence de carte piézométrique de la zone, il est très probable que les écoulements souterrains suivent les gradients

topographiques. Dans ce cas, les alimentations de la formation aquifère sont à chercher au Sud, à l'affleurement des unités saines (du moins à degré d'altération moindre) et fracturées permettant une infiltration préférentielle des eaux de surface dans la nappe.

Les limites du BAC débutent en aval du forage (vers l'altitude de 45 m NGM) et se poursuivent vers l'Est le long de la ligne de crête du relief jusqu'à l'altitude de 120 m NGM environ. Les limites se superposent ensuite aux limites du bassin versant jusqu'à remonter au point le plus haut du bassin (aux environs de 572 m NGM) et reviennent vers l'ouest en suivant (1) la ligne de crête qui sépare les bassins versants du Mro Oua Bouyouni et du Mro Oua Orovéni en amont de la retenue collinaire de Combani et (2) à partir du Mlima Digo, la ligne de crête qui sépare les bassins du Mro Oua Bouyouni et du Mro Oua Méresse, jusqu'au point coté 204 m NGM où elle redescend boucler le périmètre sous le forage de Bouyouni Bouyouni (cf. Illustration 13).

	Précipitations	infiltration	Prélèvement	Part exploitable	Surface théorique	Surface réelle
Bouyouni Bouyouni	1511 mm	14 %	35 m ³ /h	25 %	5,80 km ²	7,71 km ²

Tableau 5. Estimation de la surface théorique du BAC du forage de Bouyouni Bouyouni. Les paramètres du calcul sont ceux définis dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR.

A la lecture du tableau précédent, la surface théorique calculée est sensiblement inférieure à la surface délimitée sur le bassin (d'environ 25 %). Pour expliquer cette différence, il est possible d'invoquer plusieurs raisons :

- comme énoncé au §. 4.1 suivant, les zones de recharge de l'aquifère sont principalement en amont du bassin et manifestement pas ou peu dans les zones aval. Cette observation concorde avec le fait que la surface délimitée est plus grande que la surface nécessaire à l'alimentation du captage.
- le choix des valeurs de pluviométrie (prises dans le bassin versant voisin du Mro Oua Méresse) peut être remis en cause. Si les infiltrations sont vraiment diffuses sur toute la surface du BAC et qu'il s'avère par exemple que les précipitations « moyennes » annuelles du bassin versant sont plus faibles que celles enregistrées dans le bassin versant du Mro Oua Méresse, la valeur de la surface théorique devrait croître.

Quoiqu'il en soit, l'ordre de grandeur de la surface théorique d'alimentation est respecté dans la délimitation du BAC souterrain. L'estimation de la vulnérabilité du BAC devrait apporter des éclairages supplémentaires en termes de zonage de l'alimentation.

A ce bassin d'alimentation « naturel », il faut rajouter la participation du réservoir de crête (Illustration 13). Comme énoncé au §. 3.1.1, le réservoir de tête permet de transférer les prélèvements de la retenue collinaire de Combani à l'usine de traitement

de Bouyouni *via* le captage de Bouyouni bas. Par conséquent, ces eaux transitent dans le Mro Oua Bouyouni avant d'atteindre le captage et participent aussi à l'alimentation du forage par infiltration.

La prise d'eau de la retenue collinaire appartenant au bassin versant de l'Ourovéni, son bassin d'alimentation de captage sera traité au sein du rapport BRGM/RP-57111-FR.

3.3. CARTE DU DECOUPAGE DES BASSINS D'ALIMENTATION DE CAPTAGE DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA OUROVENI

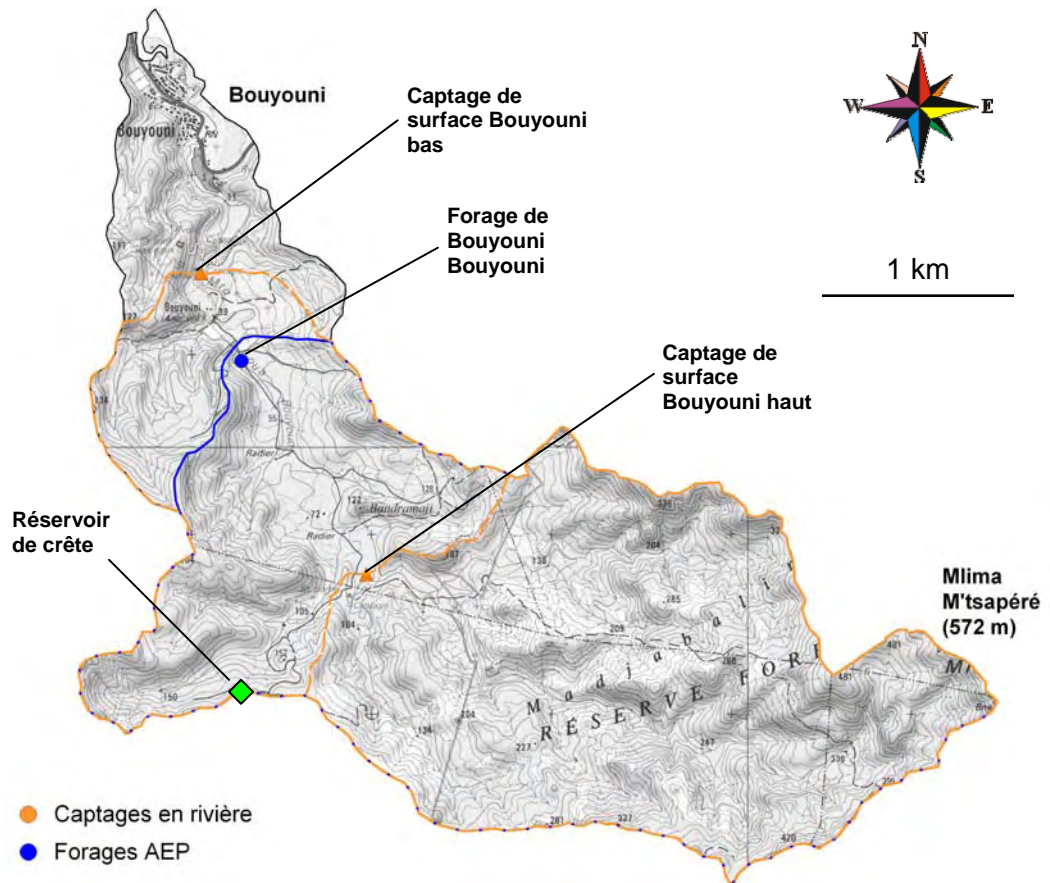


Illustration 13. Découpage des bassins d'alimentation de captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni. En orange, les captages de surface de Bouyouni haut et bas et leurs bassins d'alimentation respectifs, en bleu le forage de Bouyouni Bouyouni.

A cette carte, il est essentiel d'ajouter la participation du réservoir de crête qui transfère les prélèvements de la retenue de Combani (bassin versant du Mro Oua Ourovéni) à l'usine de Bouyouni via le captage de surface de Bouyouni bas mais aussi - dans une moindre proportion - via le forage de Bouyouni Bouyouni (cf. rapport BRGM/RP-57111-FR).

4. Caractérisation de la vulnérabilité

4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU FORAGE DE BOUYOUNI BOUYOUNI : APPLICATION DE LA METHODE IDPR.

La démarche retenue à Mayotte relative à la caractérisation de la vulnérabilité des BAC est présentée dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR : il s'agit de la méthode IDPR¹ & indice de rugosité. Les résultats du calcul appliqués au BAC du forage de Bouyouni Bouyouni sont présentés dans l'illustration ci-dessous.

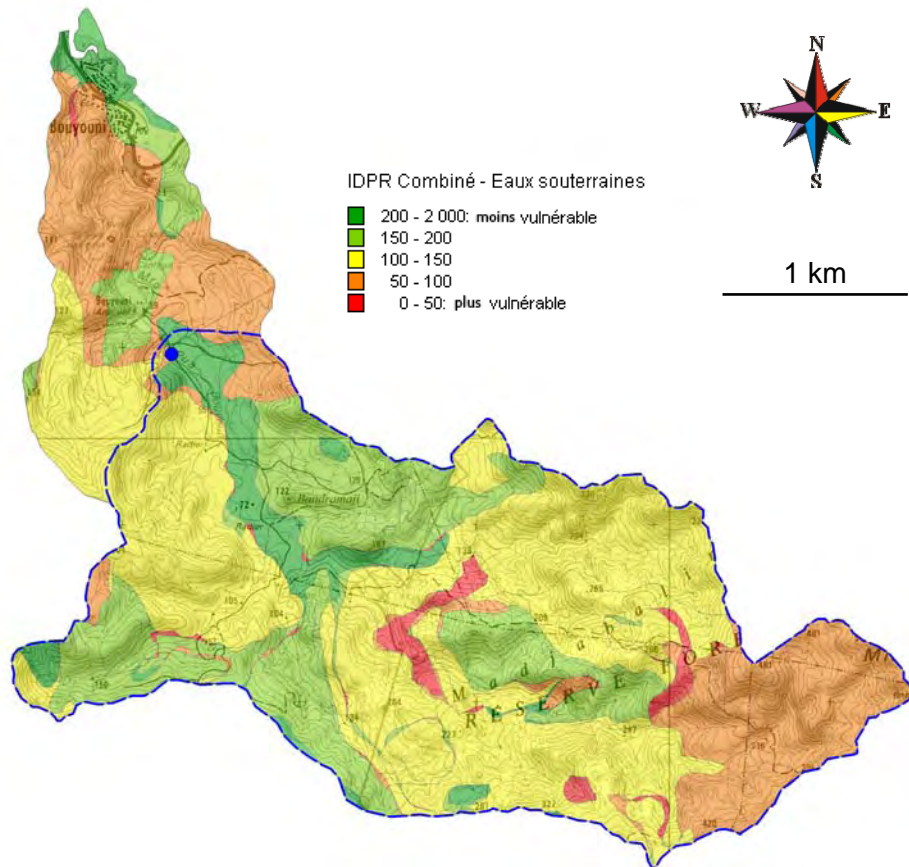


Illustration 14. Carte de vulnérabilité du bassin d'alimentation de captage souterrain de Bouyouni Bouyouni (limites du BAC et localisation du forage en bleu).

¹ Indice de Persistance et de Développement des Réseaux

L'application du calcul IDPR sur l'ensemble du bassin versant du Mro Oua Bouyouni fait ressortir 5 secteurs majeurs à comportement différents (il est intéressant – à titre de comparaison avec les autres bassins – de se reporter au rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR). Ainsi, en progressant le long du Mro Oua Bouyouni, d'amont en aval les secteurs suivants sont traversés :

- L'étage supérieur, du sommet du M'tsapéré (572 m NGM) à 300 m NGM ressort comme étant un secteur assez vulnérable, c.à.d. où les infiltrations relatives semblent les plus importantes. Ce comportement peut être expliqué par le caractère « jeune » de cette partie du relief dont le degré d'équilibre des cours d'eau (couplage pente et orientation) n'est pas atteint. Ce constat augmente alors l'indice de rugosité qui est synonyme d'une disposition supplémentaire à l'érosion et à l'infiltration (à mettre en relation avec le profil longitudinal du cours d'eau, § 2.5 et le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR Illustration 21).
- L'étage composé par la réserve forestière de Madjabalini, de 300 m NGM à 120 m NGM est visiblement balancé en termes d'infiltration/ruissèlement Il en est de même pour le versant Ouest qui sépare le bassin du bassin du Mro Oua Méresse.
- Le fond de la vallée intermédiaire - en amont du captage, de 100 m à 30 m NGM - est visiblement tapissé de formations peu infiltrantes. Cette observation corrobore les analyses précédentes sur le caractère captif de la nappe à proximité du forage (cf. § 3.2), sur le fait que (i) le niveau piézométrique n'égalait pas celui du Mro Oua Bouyouni serpentant au droit du forage (il est courant à Mayotte que les niveaux piézométriques au sein des forages soient très proches de la surface libre du cours d'eau circulant à proximité ce qui témoigne des échanges hydrauliques développés entre la rivière et la nappe) et (ii) les variations piézométriques sont retardés par rapport aux événements de surface. Vraisemblablement, les connexions hydrauliques entre la nappe exploitée au forage (niveaux perméables à plus de 75 m de profondeur) et le cours d'eau sont très faibles. Par ailleurs les versants de Bandramaji et du Sud montrent aussi des affinités plus fortes pour le ruissèlement.

Concrètement, d'après les informations de vulnérabilité des aquifères du bassin versant du Mro Oua Bouyouni, il semblerait que les secteurs les plus vulnérables - et par conséquent les plus contributifs à l'alimentation du captage – se situent dans les amonts du bassin versant (réserve forestière de Madjabalini et versants du M'tsapéré). Ces observations sont concordantes avec les travaux, analyses et suivis réalisés au niveau du forage (cf. § 3.2) mais n'excluent en aucune manière des alimentations diffuses voire retardées en provenance d'autres secteurs du bassin dont l'importance est très certainement moindre.

4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES PRISES D'EAU EN RIVIERE DE BOUYOUNI HAUT ET BAS : APPLICATION DE LA METHODE IDPR.

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, les résultats du calcul de l'IDPR sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni dans l'objectif de caractériser la vulnérabilité du forage de Bouyouni Bouyouni peuvent être étendus à la caractérisation de la vulnérabilité des captages de surface en mettant en exergue les secteurs à ruissellement dominant contre les secteurs à infiltration préférentielle. Ainsi, par inversion stricte des classes de résultats de la méthode IDPR & indice de rugosité, la carte de vulnérabilité des BAC de surface proposée est la suivante.

L'examen de la carte de vulnérabilité ci-dessous montre :

- En ce qui concerne le captage de Bouyouni haut : en amont, les versants du Mt M'tsapéré et de la réserve forestière de Madjabalini sont identifiés comme peu vulnérables car relativement moins enclins au ruissellement qu'à l'infiltration. En revanche, il s'avère que les versants de Bandramaji et celui situé au Sud du captage sont vraisemblablement très contributifs au captage et - par la même - sont considérés comme des secteurs vulnérables.
- En ce qui concerne le captage de Bouyouni bas : les observations conditionnant la vulnérabilité du captage de Bouyouni haut sont valables pour le bassin d'alimentation du captage de Bouyouni bas dans la partie amont. En ce qui concerne la partie aval, il est important de noter que le fond de la vallée intermédiaire (entre 30 et 100 m NGM) constitue le secteur le vulnérable vis-à-vis des captages de surface car vraisemblablement imperméable.

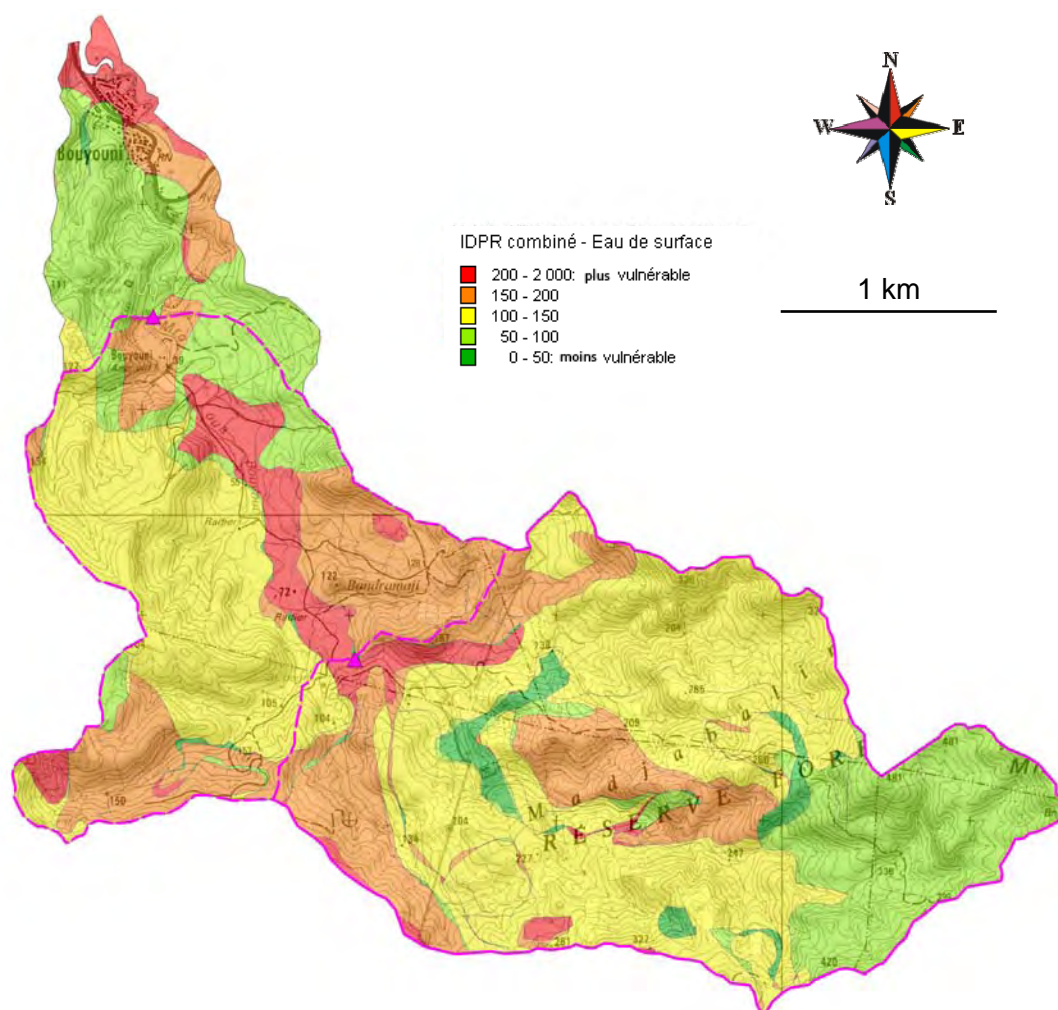


Illustration 15. Carte de vulnérabilité des bassins d'alimentation des 2 captages de surface (Bouyouni haut et bas, respectivement en bas et en haut de la carte, en rose)

Il est important de remarquer qu'à l'échelle du bassin versant, il semblerait que les secteurs médians, composés des versants de Bandramaji, du sud et du fond de vallée intermédiaire soient les secteurs les plus vulnérables vis-à-vis des ruissellements de surface et par conséquent vis-à-vis des captages de surface. Ces observations montrent que le captage de Bouyouni bas est plus exposé à la vulnérabilité par ruissellement que le captage de Bouyouni haut. Lors de l'évaluation des risques, il conviendra de rajouter la dimension des vitesses de transfert en rivière afin de compléter l'évaluation.

4.3. CALCUL DES TEMPS D'ATTEINTE DU MRO OUA BOUYOUNI EN AMONT DE LA PRISE D'EAU

Le Mro Oua Bouyouni en amont du captage de Bouyouni bas est découpé en 6 zones selon l'étagement du cours d'eau. De plus, l'affluent en amont du captage haut est lui-même découpé en 2 autres zones (cf. Illustration 16). Les caractéristiques de chaque zone sont données dans le Tableau 6. A noter : la largeur du lit zone/zone est estimée sur toute la longueur comme progressive de 1 à 8 m en moyenne et a été vérifiée sur le terrain en certains points seulement (reconnaitances du 04/02/2009 et du 02/06/2009). Les zones 1 et 2 sont situées entre le captage haut et le captage bas. Il a été reconnu sur le terrain que l'activité hydrologique permanente (écoulements en saison sèche) remontait au moins jusqu'à la zone 4 et concernait aussi l'affluent – du moins la zone affluent 1.

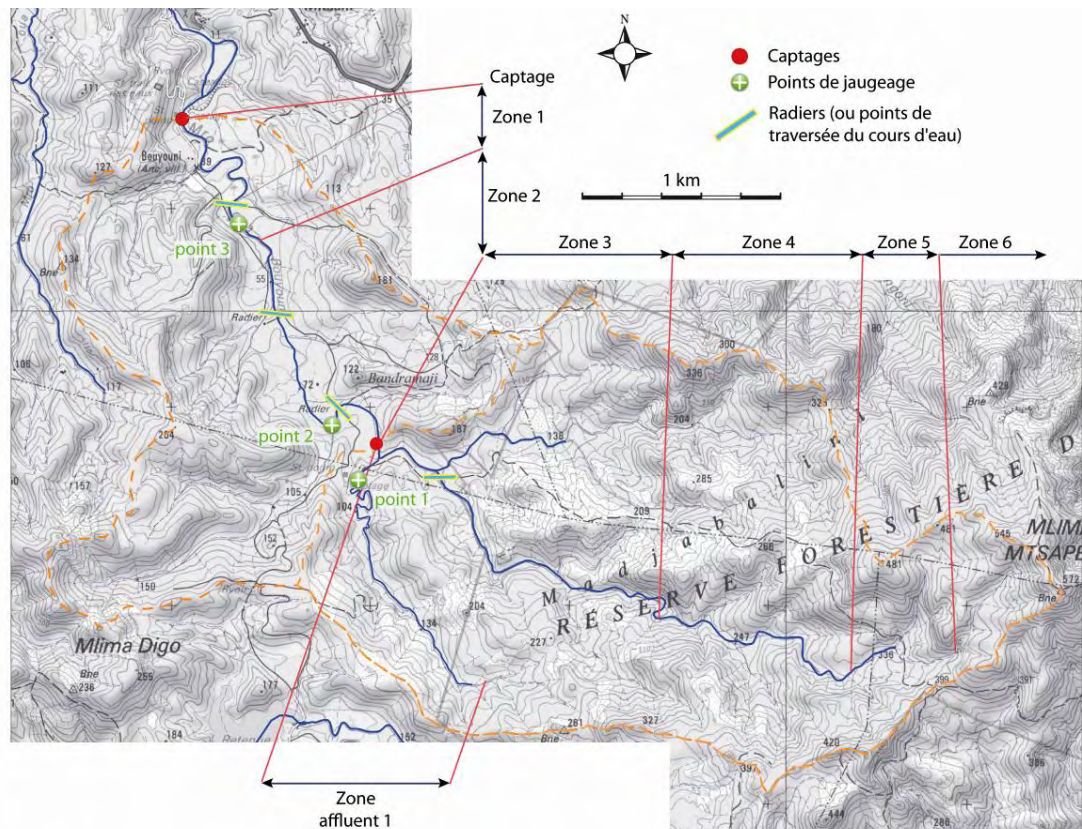


Illustration 16. Découpage du Mro Oua Bouyouni en amont des prises d'eau et localisation des jaugeages du 02/06/2009. Les caractéristiques des zones sont compilées dans le Tableau 6.

	Longueur cumulée / captage (m)	Altitude de base (m NGM)	Largeur du lit (m)
Zone 1	1755	19	8
Zone 2	3556 (bas) / 0 (haut)	51	6
Zone 3	4980 (bas) / 1424 (haut)	103	4
Zone 4	5998 (bas) / 2442 (haut)	200	3
Zone 5	7003 (bas) / 3447 (haut)	325	2
Zone 6	7634 (bas) / 4078 (haut)	400	1
Zone affluent 1	4977 (bas) / 2277 (haut)	94	2

Tableau 6. Caractéristiques des zones de découpage du Mro Oua Bouyouni en amont des captages bas et haut pour détermination des vitesses de transfert.

4.3.1. En condition de hautes eaux : application de la formule de Manning Strickler.

L'application de la formule de Manning Strickler au cas du Mro Oua Bouyouni se limite aux conditions de hautes eaux (HE) pour des questions de domaine de validité de l'équation (cf. rapport BRGM/RP-57299-FR). Le détail des calculs est donné en Annexe 4 et les résultats sont présentés en Tableau 8, encadrés par des coefficients de Manning Strickler de 25 à 40 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$. La valeur de la tranche d'eau en hautes eaux est prise égale à 1 m (valeurs variables sur le terrain en différents points, entre 0,6 et 1,5 m par l'observation fréquente de laisses de crue au dessus de la surface libre du cours d'eau).

4.3.2. En condition d'étiage : mesure des débits - vitesses in-situ.

Des mesures de débit ont été réalisées le 02/06/2009 dans le lit du Mro Oua Bouyouni en amont des prises d'eau, en 3 points précis et considérés comme représentatifs du profil moyen du cours d'eau (détail en Annexe 3). A l'exception d'un très faible épisode pluvieux survenu dans la journée et sans grande conséquence sur le régime hydrologique moyen, les conditions météorologiques sèches depuis plusieurs semaines permettent de considérer que ce même régime hydrologique est à l'étiage (BE). La localisation des points de jaugeages et les résultats des mesures sont donnés en Tableau 7.

	Zone	Coord X_{RGM04}	Coord Y_{RGM04}	Débit (L/s)	Vitesse de pointe (m/h)
Point 1	Zone affluent 1	516 157	8 589 397	9,9	290
Point 2	Zone 2	515 977	8 589 676	18,4	370
Point 3	Zone 1	515 549	8 590 658	37,1	320

Tableau 7. Points de mesure des débits du 2 juin 2009.

Le point 1 a été choisi car il se situe en amont de la prise d'eau amont et s'avère être un des seuls points accessibles pour le jaugeage. Par ailleurs, l'affluent représente une part significative des écoulements du cours d'eau (au regard des mesures du point 2).

Le point 2 a été choisi car il se situe en zone 2, non loin et en aval d'un radier carrossable, idéal pour la réalisation de mesures.

Le point 3 a été choisi car il se situe en zone 1, a proximité d'un radier carrossable et d'habitats clandestins. Sur la portion s'étalant entre les deux radiers (pt 2 et 3), le cours d'eau présente un profil relativement uniforme (succession de petits rapides). Ces observations renforcent la pertinence du point 3.

En raison de la configuration du cours d'eau (zones de fonds très allongés) il n'a pas été possible de réaliser de jaugeages dans les zones proches en amont de la prise d'eau où les vitesses sont faibles et les dilutions fortes.

Finalement, les résultats des calculs et mesures de vitesse en hautes et basses eaux et les temps d'atteinte aux captages de Bouyouni haut et bas sont rassemblés dans le tableau suivant.

		Coefficient de Manning Strickler ($m^{1/3}/s$)	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone affluent 1
Vitesses de transfert (km/h)	HE	25	0,76	2,0	3,2	6,0	2,1	2,1	2,6
		40	0,47	1,3	2,0	3,7	1,3	1,3	1,6
	BE		0,3	0,37	/	/	/	/	0,3
Temps max d'atteinte du captage (h)	HE	25	2,3 (bas)	3,2 (bas)	3,6 (bas)	3,8 (bas)	4,3 (bas)	4,6 (bas)	3,1 (bas)
					0,4 (haut)	0,6 (haut)	1,1 (haut)	1,4 (haut)	0,8 (haut)
		40	3,7 (bas)	5,1 (bas)	5,8 (bas)	6,1 (bas)	6,9 (bas)	7,3 (bas)	6,4 (bas)
					0,7 (haut)	1,0 (haut)	1,8 (haut)	2,2 (haut)	1,3 (haut)
	BE		5,5 (bas)	10,4 (bas)	/	/	/	/	15,3 (bas)
									4,9 (haut)

Tableau 8. Vitesses de transfert du cours d'eau par zone et temps d'atteinte maximum aux captages de Bouyouni bas et haut.

Les résultats du Tableau 8 sont les suivants :

- En ce qui concerne le captage de Bouyouni bas :
 - en hautes eaux, les résultats de l'équation de Manning Strickler montrent que les temps d'atteinte entre le point haut du BAC et le captage sont au minimum compris entre 4,6 et 7,3 heures. Dans un souci de protection maximale seront retenues les valeurs de hautes eaux pour un coefficient de Manning Strickler de $25 m^{1/3}/s$. Ainsi la limite des 2 heures de temps d'atteinte est inscrite dans la zone 1 (cf. rapport BRGM/RP-57299-FR) ;
 - en basses eaux, les temps d'atteinte sont quasiment doublés – du moins en zones 1 et 2 – par rapport aux résultats de hautes eaux. La limite des 2 heures se matérialise donc par une section linéaire plus courte qu'en hautes eaux et reste inscrite en zone 1.
- En ce qui concerne le captage de Bouyouni haut :

- en hautes eaux, les résultats des jaugeages et mesures de vitesse de transfert du cours d'eau montrent que les temps d'atteinte entre l'amont du BAC et le captage sont relativement courts (entre 2h15 et 1h30 dans le cas le plus pessimiste). La morphologie du cours d'eau en amont du captage (très encaissée et à forte pente, cf. descriptions au § 2.5) explique ces vitesses élevées.
- en basses eaux, les temps d'atteinte (calculés uniquement sur la zone affluent 1) montrent des valeurs 3 fois plus élevées qu'en hautes eaux, ce qui s'explique notamment par la faiblesse des débits et la présence de nombreuses vasques qui ralentissent les écoulements.

Comme indiqué dans le rapport BRGM/RP-57299-FR, dans le cas des bassins d'alimentation dont la surface est supérieure à 6 km², un délai d'atteinte au captage égal à 2 heures sera considéré. C'est le cas du captage de Bouyouni bas. En revanche, en ce qui concerne les BAC de surface inférieure à 6 km², le temps d'atteinte considéré est réduit à 1 heure, c'est le cas du captage de Bouyouni haut. Les limites de temps d'atteinte sont portées sur l'illustration 18.

4.4. SYNTHESE SUR LA VULNERABILITE DES BASSINS D'ALIMENTATION DES CAPTAGES DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA BOUYOUNI

En ce qui concerne le bassin d'alimentation du forage de Bouyouni Bouyouni :

- i. les résultats sur le fonctionnement de l'unité aquifère captée par le forage de Bouyouni Bouyouni (§ 3.2.1) montrent que le degré de protection de la ressource en eau souterraine semble important (couverture imperméable importante, aquifère profond, semi captif à très captif et de réactivité modérée) et que les zones d'alimentation de l'aquifère seraient situées relativement en amont du site de forage, quasiment en amont du bassin.
- ii. les résultats du calcul IDPR s'accordent avec les observations précédentes et montrent que le BAC souterrain est plus vulnérable dans sa partie amont que dans sa partie aval. Les zones identifiées comme vulnérables vis-à-vis des eaux souterraines se situent principalement au-delà de 100 m NGM.

Ces résultats montrent que la ressource en eau souterraine du BAC est relativement bien protégée à proximité du forage. De plus, les temps de circulation des eaux souterraines relativement important entre les zones supposées de recharge (en amont du BAC) et le forage sont aussi garant d'une certaine protection de la ressource.

En ce qui concerne les bassins d'alimentation de surface des captages de Bouyouni haut et bas :

- i. Les résultats du calcul IDPR montrent, qu'à l'inverse des eaux souterraines, les eaux de surface sont plus vulnérables et particulièrement le captage de Bouyouni bas. Le captage de Bouyouni haut est – quant à lui – moins exposé car la part des infiltrations est importante en amont du captage.
- ii. En ce qui concerne le calcul des temps d'atteinte, il est important de remarquer que dans le cas du captage de Bouyouni haut, les délais de réaction en cas d'accident de pollution sont très courts (quasiment inférieurs ou égaux à 1 heure en hautes eaux sur une majeure partie du linéaire). Dans le cas du captage de Bouyouni bas, les temps d'atteinte (fixés à 2 heures en basses et hautes eaux) semblent suffisants pour disposer d'un temps de réaction en cas d'accident de pollution, notamment au niveau des radiers les plus en aval et donc les plus proches du captage.

5. Caractérisation des pressions

5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN VERSANT DU MRO OUA BOUYOUNI.

5.1.1. Urbanisation et aménagement

Bouyouni est le seul village du bassin et son évolution démographique depuis 1997 est retracé dans le Tableau 9 (source INSEE 2007). Quelques habitats épars sont ensuite répartis sur le bassin mais ne représentent pas une part significative de population (au niveau de l'ancien village par exemple, les habitations sont principalement distribuées le long du cours d'eau). A noter aussi qu'il existe un village clandestin dans la partie haute du bassin versant, sur les contreforts menant à la retenue collinaire de Combani.

Village	1997	2002	2007
Bouyouni	725	978	1 275

Tableau 9. Population du village de Bouyouni (chiffres INSEE 2007). Ce chiffre représente moins de 1 % de la population totale de Mayotte.

En revanche, la pression urbaine est grandissante dans ce secteur à l'image du développement de la côte nord de Mayotte (port de Longoni, centrale thermique, etc.).

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, la zone urbaine de Bouyouni sera cartographiée en pression moyenne, en raison de l'insuffisance de systèmes d'assainissement et des pratiques de rejets des déchets ménagers autour des habitations. En outre, les systèmes d'assainissement présents mais non fonctionnels sont considérés comme pressions fortes. Les abords de la rivière (particulièrement à proximité du village) sont employés comme lieu d'aisance pour les commodités – observations de février 2009.

5.1.2. Activités rurales et agricoles

D'après les informations de la carte d'occupation des sols (DAF, actualisation 2002), la majorité de la surface du bassin est couverte par la forêt dégradée: association de parcelles de cultures et de lambeaux de forêt. Les fonds de vallée sont localement utilisés à des fins de polyculture intensive vivrière¹ et quelques versants sont réservés aux monocultures de bananes, maniocs et d'Ylang-ylang. Les hauteurs du bassin - à partir de 150-200 m d'altitude - sont couvertes par la forêt dense de la réserve

¹ Il est caractéristique à Mayotte d'alterner les cultures sur parcelle selon les saisons, si bien que l'identification précise des cultures n'est pas toujours d'actualité.

forestière de Majimbini au sein de laquelle aucune activité significative (agricole, ou d'élevage autre que vagabond) n'est à signalée.

5.1.3. Sites industriels, sites et pratiques à risques

De manière générale, le bassin versant du Mro Oua Bouyouni est peu urbanisé et les infrastructures d'aménagement ou industrielles y sont rares. L'infrastructure la plus significative du bassin est sans aucun doute la route nationale qui coupe au nord le village de Bouyouni ainsi que l'ouvrage hydraulique qui traverse la rivière (réhabilité en 2009). Ces aménagements sont tous en aval des bassins d'alimentation de captage. En revanche, il est important de mentionner qu'une piste relie – depuis plusieurs années déjà – le village de Bouyouni à la retenue collinaire de Combani et au village du même nom. Cette piste – bien que difficilement carrossable – est emprunté régulièrement par des véhicules. Le développement de cette piste n'est pour l'instant pas envisagé.

A la lecture de l'inventaire des sites industriels et activités potentiellement polluantes répertoriés en 2004 (cf. rapport BRGM/RP-52906-FR), il apparaît que le bassin versant du Mro Oua Bouyouni n'accueille aucune industrie ni activité potentiellement polluante dont les effets pourraient être significatifs et dégrader la qualité des eaux.

Les observations réalisées lors des visites de terrain n'ont pas démontré l'existence de sites industriels qui auraient émergé depuis l'inventaire et particulièrement en amont des zones de captages. Le bassin versant du Mro Oua Bouyouni reste très rural et peu occupé.

Bien que des radiers soient présents à de nombreuses reprises pour permettre la traversée de la rivière, les traces de lessive sont peu fréquentes comparativement aux autres bassins versants. Il semblerait que l'éloignement du village et sa faible population soit une cause suffisante pour expliquer cette absence. Les sites de lessive se situent plus fréquemment dans la partie aval du Mro Oua Bouyouni, c.à.d. directement dans ou sous la zone de captage (observations de février 2009). La reconnaissance de terrain du 02/06/2009 a permis de relever quelques habitations clandestines le long des berges entre 40 et 70 m NGM, quelques mètres seulement en amont du captage. Il est évident que les rejets de ces habitations sont directement versés dans le cours d'eau (en plus de l'utilisation des berges comme lieu d'aisance).

Les radiers situés en face du forage de Bouyouni Bouyouni et à l'altitude 60 m NGM sont plus exposés à des pressions de type lavage de voiture, voire épisodiquement de lessive, car peu éloignés et très faciles d'accès.

Ces radiers seront cartographiés comme des pressions fortes, au même titre que défini dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR.

5.1.4. Risques naturels

Au regard des informations figurant sur l'atlas des risques du BRGM de la commune de Bandraboua (rapport BRGM/RP-53116-FR), les expositions aux aléas naturels des bassins d'alimentation des captages de Bouyouni haut et bas et du forage de Bouyouni Bouyouni sont les suivantes :

- Le captage de Bouyouni bas est situé en zone d'aléas moyen de type glissements accompagnés de chutes de blocs.
- Le captage de Bouyouni haut est situé en zone d'aléas faible, les risques de type glissement de terrain peuvent être écartés.
- En ce qui concerne le forage de Bouyouni Bouyouni, le site est classé en aléa moyen glissement de terrain. accompagnés de chutes de blocs.
- Concernant l'aléa inondation, les prises d'eau de Bouyouni haut et bas, positionnées au cœur du lit mineur sont exposées à un risque fort. Le forage de Bouyouni Bouyouni est quant à lui épargné en raison de son positionnement assez excentré par rapport au cours d'eau.

Le risque de destruction des prises d'eau de Bouyouni haut et bas par un glissement de terrain ou de chute de blocs, voire lors d'une inondation n'est pas à écarter (débâcles dont les dégradations sur l'ouvrage peuvent être importantes et provoquer sa fermeture un certain laps de temps, sans compter que les obstructions des prises d'eau par les boues et matériaux type feuilles et autres déchets verts sont fréquentes et nuisent continuellement à son fonctionnement). Ces risques sont connus et acceptés. En ce qui concerne le forage de Bouyouni Bouyouni et compte tenu du positionnement, le risque de destruction des installations - ou du moins de nuisance est plutôt faible.

5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA BOUYOUNI

La carte des pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni - et par conséquent portant atteinte aux bassins d'alimentation de captages existant - est présentée ci-dessous. Les informations portées sur la carte sont issues des observations relevées dans les chapitres précédents et hiérarchisées selon les principes méthodologiques du rapport BRGM/RP-57299-FR.

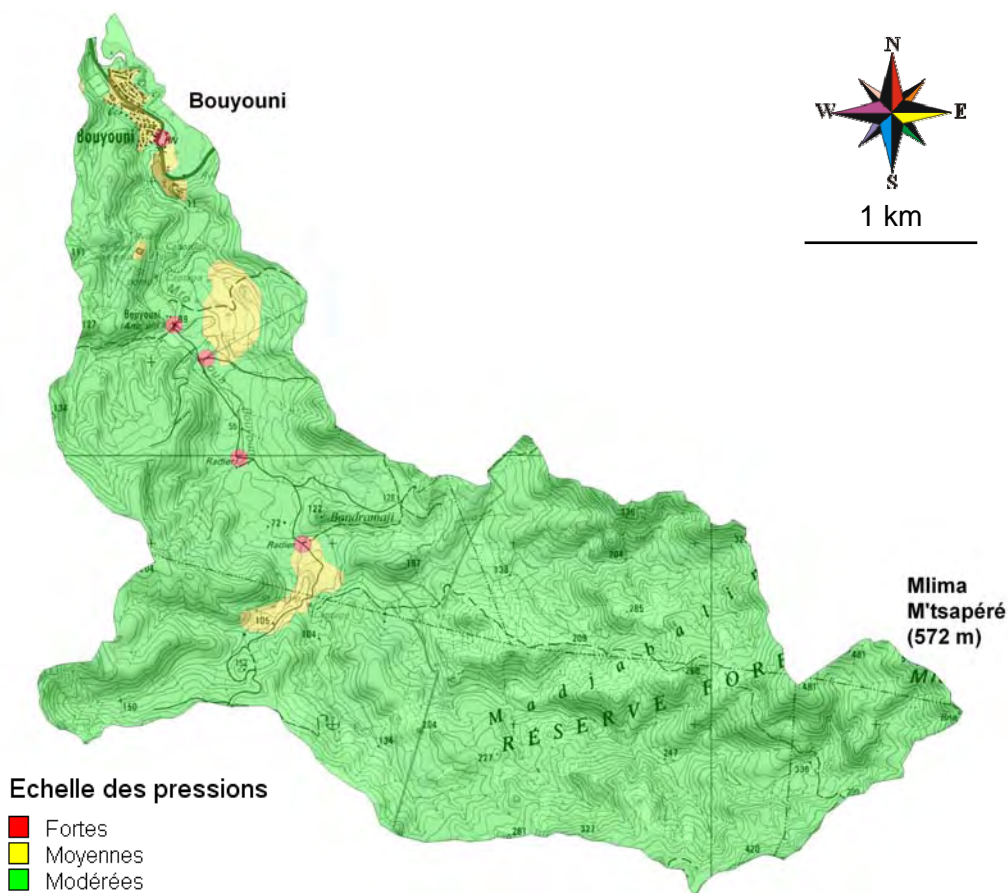


Illustration 17. Carte des pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Bouyouni

L'examen de la carte ci-dessus révèle que l'éventail et le volume des pressions est relativement faible sur l'ensemble du bassin comparativement aux pressions (mais toutefois limitées) qu'il est possible de rencontrer sur d'autres bassins versants. Les pressions considérées comme les plus fortes sont essentiellement les radiers qui traversent à plusieurs reprises le cours d'eau et où il est fréquent de trouver des activités de lessive ou de lavage de voiture. Près de 90 % de la surface du bassin versant affiche des pressions nulles ou faibles.

6. Evaluation du risque de pollution des bassins d'alimentation de captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni

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

6.1. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DES BAC DE SURFACE

Dans le cas du captage de Bouyouni bas, les zones les plus vulnérables – à savoir le fond de vallée intermédiaire – coïncident avec la plus forte concentration de radiers. Il est même important de remarquer que deux radiers sont situés dans la zone de temps d'atteinte de moins de 2 h en hautes eaux, dont un dans la zone des temps d'atteinte de moins de 2 h en basses eaux. Ces résultats montrent que le captage de Bouyouni bas est relativement exposé en termes de risques à une dégradation de ces eaux par conjonction d'une vulnérabilité forte, de pressions existantes et de délais de réactions courts. Cela explique par exemple l'existence par le passé d'événements type pollutions ponctuelles comme relaté au § 3.1.

Dans le cas du captage de Bouyouni haut, l'absence de pression et la moindre vulnérabilité impliquent que le captage est finalement peu exposé en termes de risques à une dégradation des eaux. En revanche, il est important de noter que les vitesses de transfert du cours d'eau en amont sont très rapides réduisant ainsi énormément les délais de réactions en cas d'accidents de pollution.

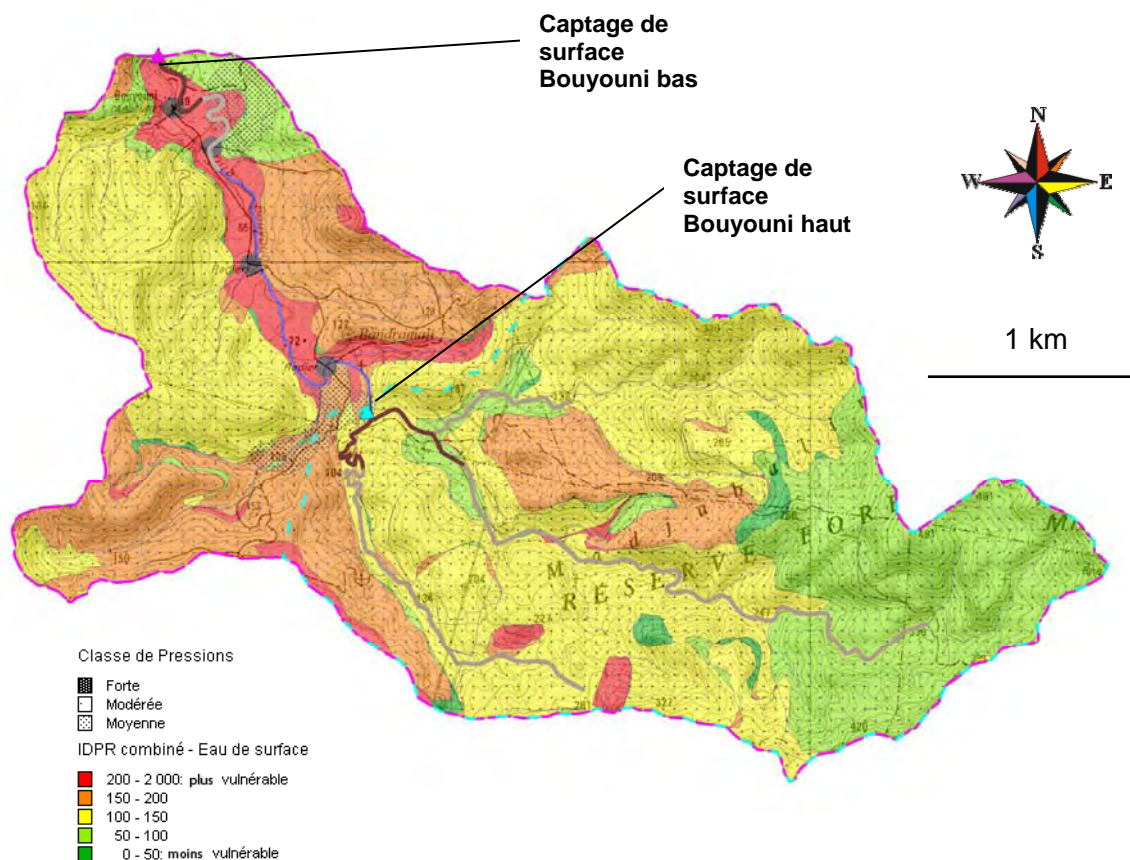


Illustration 18. Carte de croisement des informations de vulnérabilité vis-à-vis des BAC des captages de surface du bassin versant du Mro Oua Bouyouni (délimitation bleue pour le captage de Bouyouni haut et délimitation rose pour Bouyouni bas, se reporter à la carte de délimitation en Illustration 13). En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 2 h en hautes eaux (en gris) et basses eaux (en marron) pour le captage de Bouyouni bas et inférieur à 1 h en hautes eaux (en gris) et basses eaux (en marron) pour le captage de Bouyouni haut

6.2. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DU BAC SOUTERRAIN

La conjonction des informations de vulnérabilité des eaux souterraines et de pressions exercées sur le BAC du forage de Bouyouni Bouyouni (Illustration 19) montre que l'essentiel des pressions importantes - c.à.d. essentiellement les radiers de la vallée intermédiaire - se situent dans les zones de faible vulnérabilité. En amont, où sont suspectées les zones principales de recharge, aucune pression significative particulière n'est à signaler.

Comme indiqué au §. 3.2, il est probable que la zone aval (c.à.d. le fond de la vallée intermédiaire) ne participe que très peu à l'alimentation du captage (en proportion). Il est néanmoins nécessaire de conserver cette zone dans la délimitation car cette surface participe aussi à la vulnérabilité du captage et il n'est pas impossible que localement des transferts vers la nappe y soient plus rapides.

Par conséquent le risque de dégradation de la ressource en eau souterraine par pollution est relativement faible comparativement à d'autres BAC sur l'île (comme le BAC souterrain des forages de Gouloué 1 & 2 par exemple, cf. rapport BRGM/RP-57109-FR).

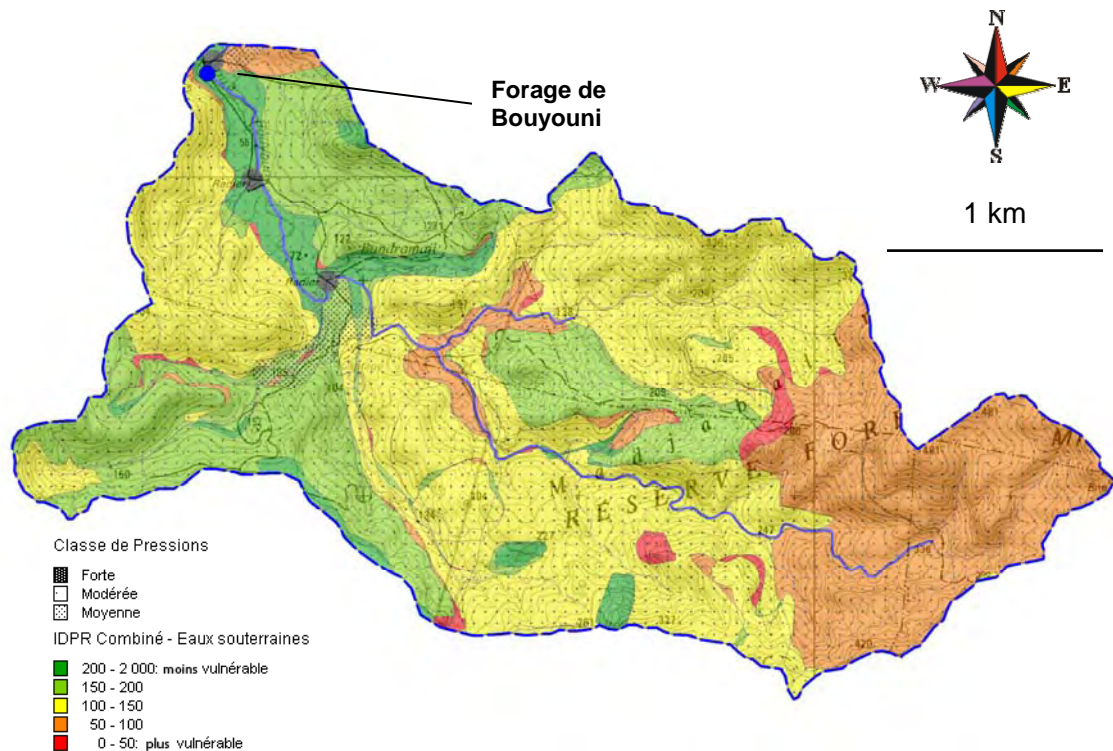


Illustration 19. Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain du forage de Bouyouni Bouyouni – bassin versant du Mro Oua Bouyouni.

7. Recommandations

Les résultats de la présente étude ont mis en évidence la nécessité d'actions à mener dans le cadre de la préservation de la ressource en eau souterraine et de surface des 3 BAC du bassin versant du Mro Oua Bouyouni.

Un premier type de recommandations portant sur l'ensemble des BAC du bassin versant du Mro Oua Bouyouni mais aussi de Mayotte dont les points essentiels sont :

- la nécessité absolue de renforcer le suivi de la qualité des eaux, notamment les substances phytosanitaires (AMPA en particulier) révélatrices des dégradations environnementales. A l'heure actuelle, l'absence de données qualité régulières et complètes est un réel handicap dans la caractérisation de la qualité des eaux, la mise en évidence de pollution chroniques ou diffuses (ces données seront indispensables dans les réflexions futures relatives à la protection de ces ressources, notamment à travers la mise en place des plans d'action qui accompagneront les futurs périmètres de protection). Dans le cadre du programme de surveillance DCE de la qualité des eaux de surface (convention ONEMA/BRGM 2008-2009, cf. rapport BRGM/RP-56774-FR), il est prévu d'analyser régulièrement les eaux de surface au niveau de la prise d'eau de Bouyouni bas - à raison d'un prélèvement par an à compter d'octobre 2009. Comme préconisé par la *Circulaire DCE 2006/16*, 41 substances prioritaires seront analysées auxquelles s'ajouteront l'analyse de substances complémentaires. Ces données viendront en complément des analyses de routine AEP réalisées plusieurs fois par an sur les eaux brutes.
- la mise en place de systèmes de mesure efficace des prélèvements en tête de captage (mesure en cours par la SOGEA). Par ailleurs, toujours dans le souci de la restauration de la ressource, la mise en place des débits minimum biologiques¹ et des passes à poissons au niveau des deux prises en rivière devraient contribuer au maintien de la qualité écologique du cours d'eau, notamment en amont de la prise de Bouyouni haut. La question porte à l'heure actuelle sur la faisabilité de tels ouvrages, notamment leur fonctionnement en régime hydrologique d'étiage.
- Le suivi du piézomètre de Digo (BSS 12306X0053/PZ5, cf. rapport BRGM/RP-56781-FR) situé en amont du bassin versant du Mro Oua Bouyouni est inscrit dans le programme de surveillance DCE de la quantité des eaux souterraines (rapport BRGM/RP-56772-FR). Ces données, recueillies et valorisées par le BRGM sont essentielles pour le suivi de l'évolution de la ressource en eau souterraine en amont de la nappe exploitée.

¹ La notion de débit réservé est apparue dans la loi « pêche » du 29 juin 1984. Celle-ci spécifie qu'à l'aval de tout prélèvement ou dérivation, un débit minimum garantissant la reproduction et la vie du poisson, doit être laissé. Ce débit ne peut être inférieur au dixième du débit moyen interannuel (module) pour les ouvrages nouveaux et quarantième du module pour les ouvrages antérieurs. A Mayotte, les études relatives au Débits Minimums Biologiques ont été délivrées à la DAF au second semestre 2009.

- La réalisation d'études hydrogéologiques complémentaires portant sur des tests de perméabilité couplés avec des traçages permettraient de rattacher des valeurs physiques d'infiltrabilité aux indices IDPR & rugosité, et ce en fonction des formations lithologiques et/ou pédologiques présentes dans le bassin. Les traçages permettraient d'apprécier les vitesses de transfert des eaux souterraines au niveau du forage de Bouyouni Bouyouni, données essentielles dans la bonne détermination des périmètres de protection. Par ailleurs, des traçages réalisés en rivières permettraient de vérifier les vitesses de transfert de polluant d'une section donnée au captage considéré.

Compte tenu du fait que le captage considéré comme le plus « à risque » du bassin est la prise d'eau de Bouyouni bas, des recommandations plus spécifiques doivent être apportées au niveau du BAC concerné. Ces recommandations consistent notamment à réglementer (ou appliquer la réglementation existante) et surveiller les pratiques : assainissement, agriculture, lessives, lieux d'aisance, lavage de véhicule au niveau des radiers, en amont direct du captage. Il est essentiel de trouver rapidement les moyens de réduire les nuisances liées aux lessives polluantes.

Par ailleurs, l'alimentation qualifiée d'« artificielle » du captage de Bouyouni haut par le réservoir de crête (qui assure le transfert les prélèvements réalisés dans la retenue de Combani à l'usine de Bouyouni) implique que la qualité des eaux prélevées dans la retenue collinaire – donc à l'extérieur du bassin versant du Mro Oua Bouyouni – a un impact sur la qualité des eaux prélevées au niveau du captage de Bouyouni haut (mais sans conséquence sur les autres captages car l'eau prélevée au niveau du captage de Bouyouni haut est directement dirigée vers l'usine de traitement de Bouyouni). De fait, les mesures de protection des BAC du bassin versant du Mro Oua Bouyouni ne sont efficaces que si elles s'accompagnent des mêmes mesures dans le bassin versant du Mro Oua Orovéni.

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

8. Conclusion

Dans le cadre de la convention de R&D partagés DAF/BRGM du 18 août 2008, la délimitation des bassins d'alimentation des captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni - à savoir les prises d'eau de Bouyouni haut et bas et le forage de Bouyouni Bouyouni – a été établie sur la base des principes méthodologiques du rapport BRGM/RP-57299-FR. Le bassin d'alimentation de la prise d'eau de Bouyouni haut englobe l'intégralité du bassin versant de surface en amont de la prise ainsi que le BAC de la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani (par transfert épisodique des eaux entre les deux bassins versants, cf. rapport BRGM/RP-57111-FR) et celui de Bouyouni bas occupe près de 90 % de la surface du bassin versant et intègre le BAC de Bouyouni haut (mais pas celui de la retenue collinaire de Combani).

Le BAC du forage de Bouyouni Bouyouni occupe aussi une partie conséquente du bassin versant en recoupant près de 90 % de la surface du BAC de la prise d'eau de Bouyouni bas.

En ce qui concerne la vulnérabilité des captages, les résultats des calculs IDPR montrent que, globalement le bassin versant du Mro Oua Bouyouni possède un réseau de drainage assez élevé comparativement aux autres bassins versant de Mayotte, soit une disposition au ruissellement sensiblement plus élevée - et particulièrement dans la partie basse (sous l'altitude de 100 m NGM). De fait, la vulnérabilité des captages de surface (en particulier Bouyouni bas) est qualitativement plus élevée que nombre de captages de surface dans les autres bassins versants - et les eaux souterraines sont par extension moins vulnérables. La vulnérabilité du forage de Bouyouni Bouyouni est plutôt faible, compte tenu d'un indice IDPR fort synonyme d'infiltrations réduites à proximité de l'ouvrage. Il semblerait que les zones d'alimentation du forage soient repoussées en amont du bassin versant, assurant ainsi une relative protection des eaux souterraines.

La détermination des temps d'atteinte aux captages d'un éventuel polluant en amont montre que la vitesse de transfert du cours d'eau en amont de la prise de Bouyouni haut est très rapide (moins de 1 h en hautes eaux pour parcourir la quasi intégralité du bassin versant) et ne permet pas de disposer de délais de réaction suffisants. Pour le captage de Bouyouni bas, les temps d'atteinte sont plus longs, du mois supérieurs à 1 h en hautes eaux entre les zones de pressions fortes (radiers) et le captage, ce qui peut être considéré comme suffisant pour intervenir en cas d'accident de pollution.

En ce qui concerne l'inventaire et la caractérisation des pressions s'exerçant sur les captages, il s'avère que l'éventail des pressions est très faible compte tenu de l'urbanisation faible et de l'activité agricole limitée. Les pressions les plus importantes demeurent : les radiers propices au lavage de voiture aux lessives manuelles avec l'utilisation de produits détergents directement dans le cours d'eau et la mobilisation des sols conséquemment aux aménagements et pratiques agricoles (pressions très diffuses et responsables des fortes turbidités des eaux). Les différentes analyses à

disposition montrent que l'eau du Mro Oua Bouyouni n'est pas particulièrement polluée mais les données historiques font état de plusieurs pollutions chroniques qui ont perturbé le fonctionnement de ou des prise(s) d'eau et contre lesquelles il est essentiel d'agir.

L'inventaire des aléas naturels susceptibles de nuire aux installations montrent que les captages en rivière sont exposés au risque d'inondation par débordement, donc aux débâcles dont les dégradations sur les ouvrages peuvent être importantes et provoquer leur fermeture un certain laps de temps (sans compter que les obstructions des prises d'eau par les boues et matériaux type feuilles et autres déchets verts sont fréquentes et nuisent continuellement à leur fonctionnement). Le captage de Bouyouni bas est fortement exposé à l'aléa mouvement de terrain accompagné de chute de blocs, risque à considérer. Le forage de Bouyouni Bouyouni est - quant à lui - situé en zone de faibles aléas.

Ainsi, en l'absence de pressions importantes, le bassin versant du Mro Ou Bouyouni ne présente pas de risques majeurs de dégradation de ses eaux (de surface ou souterraines), même si la vulnérabilité des eaux de surface est plus élevée que sur la majorité des bassins versant de l'île. Néanmoins, comme rappelé au dessus, des épisodes de pollutions ponctuelles ont pu être mis en évidence par le passé.

En termes de recommandations, il est absolument nécessaire d'être vigilant vis-à-vis de la ressource en eau de surface et de renforcer le suivi de la qualité des eaux, notamment les substances phytosanitaires (insecticides, AMPA) et particulièrement au niveau du captage de Bouyouni bas. L'absence de données qualité régulières et complètes est un réel handicap dans la caractérisation de la qualité des eaux, la mise en évidence de pollution chroniques ou diffuses et surtout la réflexion quant à la protection de ces ressources (notamment à travers la mise en place des plans d'action qui accompagneront les futurs périmètres de protection). Le développement des moyens de protection de la ressource devra aussi accompagner la mise en place de systèmes de mesure efficace des prélèvements en tête de captage (mesure en cours par la SOGEA).

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) se sont engagés dans une démarche consensuelle et souhaitent à l'avenir étendre ces études et les procédures réglementaires à l'ensemble des captages AEP de l'île ainsi qu'aux forages prochainement mis en exploitation¹. La réalisation de l'ensemble des BAC de l'île permettra de mettre en place rapidement les périmètres de protection de captages au

¹ Courant 2009, la signature de la convention SIEAM / BRGM du 24 avril 2009 prévoit le lancement des études BAC sur 5 autres bassins versant exploités par des captages d'eau de surface et/ou des captages d'eau souterraine. La signature de la convention ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009 prévoit la réalisation des études BAC sur les 4 bassins versants restant. Fin 2009, les études BAC devront être abouties sur tous les captages en service ou en instance de mise en service de Mayotte.

sens administratif, d'instruire les dossiers de Déclaration d'Utilité Publique¹ et de mettre en application les plans d'action de protection des ressources. 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, à savoir un programme envisagé sur les années 2010/2011.

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

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.

Caractéristiques physiques et chimiques de cinq rivières et de leurs bassins versant sur Grande Terre, île de Mayotte – établissement d'un état des lieux vis-à-vis des facteurs de pollution. Rapport BRGM/RC-50355-FR – 2001 MAY 05,68 p., 40 fig, 20 tab., 4 annexes

Circulaire DCE 2006/16 : document de cadrage pour la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance (contrôle de surveillance, contrôles opérationnels, contrôles d'enquête et contrôles additionnels) pour les eaux douces de surface (cours d'eau, canaux et plans d'eau). Circulaire du Ministère de l'écologie et de l'environnement durable du 13 juin 2006.

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

DAF de Mayotte (2009) - Analyses de pesticides. Campagne de prélèvement 2008. Eau des rivières.

Eucher G., Denis L., Tourlière B. (2004) – Définition des limites géographiques des cours d'eau au sens de la police de l'eau à Mayotte – Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte – BRGM/RP-53495-FR, 70 p., 14 ill., 9 ann.

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.

J-C. Audru, B. Auber, J-F. Desprats, O. Jossot, C. Mathon, D. Moiriat, J.L Nédellec, O. Sedan et N. Zornette, avec la collaboration de S. Guillobez (CIRAD), de P. Daniel et de B. Haie (Météo-France) : Atlas des aléas naturels à Mayotte, Communes de Bandraboua et Tsingoni. Rapport BRGM/RP-53116-FR, 90 p., 65 figures ou photos, 4 tableaux, 30 cartes et 8 annexes.

Jossot O., Mouron R., Pouget R. – Etude hydrologique et hydraulique de la rivière Bouyouni, commune de Bandraboua (Mayotte). Rapport BRGM/RC-52516-FR, 25 p., 2 fig., 6 tab., 4 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., Maurillon N. et Mouron R. (2002) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines de Mayotte (Campagne 2001-2003) – Forage de Bouyouni Bouyouni (1230-6X-0024). Compte rendu des travaux – Principaux résultats géologiques et hydrogéologiques.- Rapport BRGM/RP-51969-FR – 2002 MAYOTTE 07, 30 p., 7 fig., 5 ann.

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

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

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

Malard A., avec la collaboration de Aunay B., Vernoux J.F. et Mardhel V. (2009) - Etude des bassins d'alimentation de 6 captages du bassin versant du Mro Oua Orovéni – Mayotte (délimitation, vulnérabilité, pressions) – BRGM/RP-57111-FR.

Malard A. (2008) – Définition du réseau DCE de surveillance qualitative des eaux souterraines de Mayotte - BRGM/RP-56772-FR. 92 p., 22 Ill, 5 ann.

Malard A. (2009) - Programme de surveillance des eaux souterraines de Mayotte - Campagne 2008/2009 – piézomètre 12306X0053/PZ5 (Digo). BRGM/RP-56781-FR.

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.

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

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

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

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

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

Annexe 1

Analyses physico-chimiques des eaux souterraines et de surface du bassin du Mro Oua Bouyouni

[illegible]

[illegible]

Annexe 2

Coupe technique du forage de Bouyouni Bouyouni (12306X0024/BOUY)

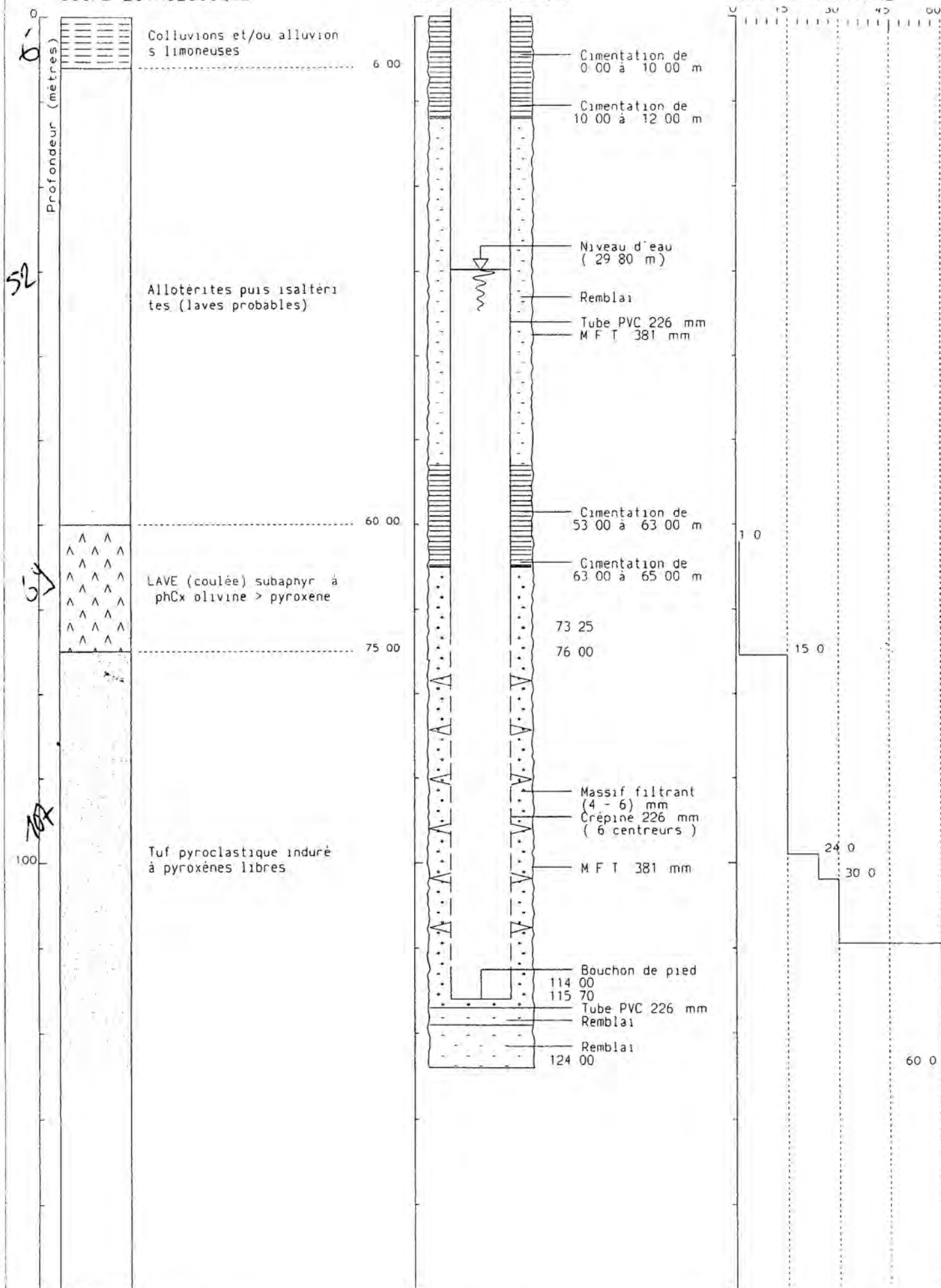
Département MAYOTTE
Commune BANDRABOUA

N° classement 1230-6X-0024
Designation BOUYBI

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE

DEBIT INSTANTANE



Annexe 3

Jaugeages au sel du 02 juin 2009

Le 2 juin 2009, sous conditions météorologiques stables – si ce n'est une ondée de quelques minutes en fin de matinée mais de très faible intensité - un jaugeage est effectué sur l'affluent de rive gauche de la Bouyouni, avant le captage amont, et deux autres sur la rivière Bouyouni.

Jaugeage 1 – Affluent Bouyouni haut

Ce jaugeage est réalisé à 10h36, au point de coordonnées UTM_{RG04} (X= 516 157 m, Y= 8 589 397 m et Z= 127 m) sur une longueur linéaire de 35,4 m. La conductivité moyenne mesurée est de 144 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la masse de sel injectée est de 3 830 g. Le lit mineur creusé dans le basalte présente une largeur d'environ 1 m. Le débit est estimé visuellement à 20 L/s et la vitesse dans cette section du cours d'eau demeure quasiment uniforme.

On observe d'autre part une succession de petits rapides, surtout dans les virages. Des laisses de crue apparaissent 50 à 60 cm au-dessus de la surface libre.

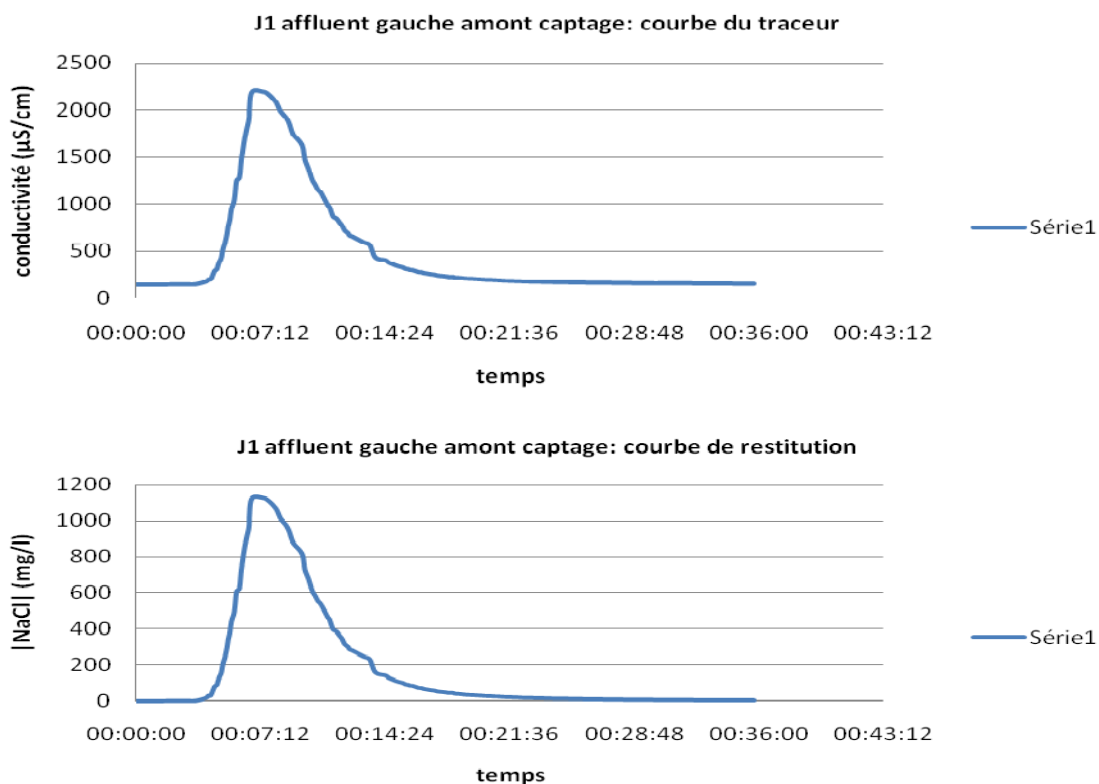


Figure 1 : courbes de restitution du sel – Mro Oua Bouyouni affluent amont

masse sel injecté (g)	3 830
coefficient k de conversion ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{L}$)	1,82
% de restitution estimé	90 à 95
Débit (L/s)	9,9 (+/- 0,7)
Vitesse de pointe du panache (m/h)	290

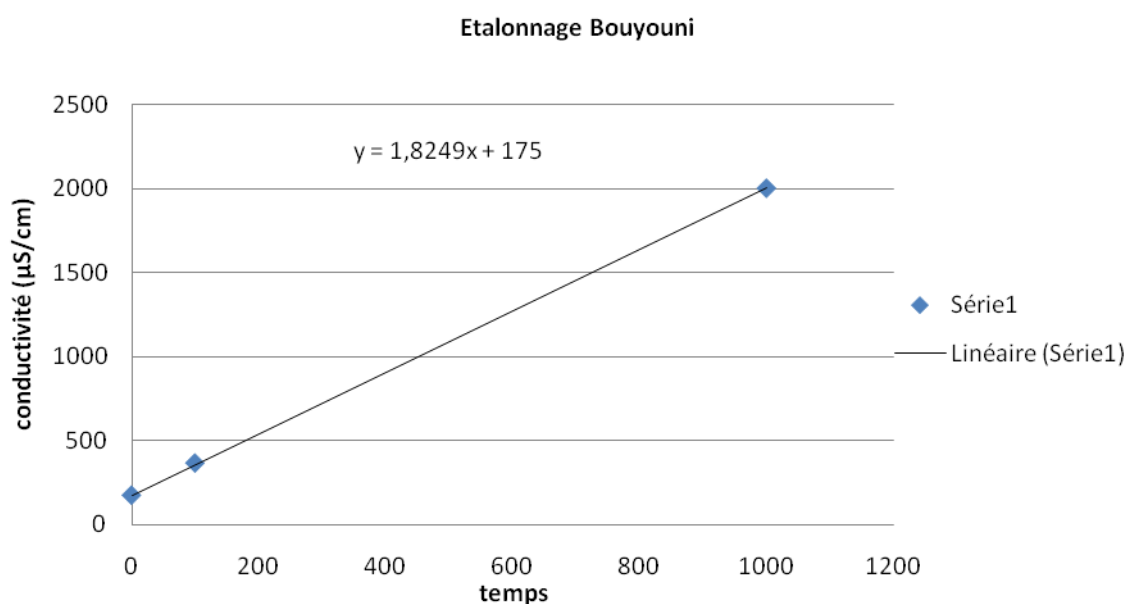


Figure 2 : Courbe de calibration Conductivité =f([NaCl]) du Mro Oua Bouyouni

Jaugeage 2 – Bouyouni intermédiaire

Le deuxième jaugeage a lieu sur la section intermédiaire du Mro Oua Bouyouni, à 11h44, au point de coordonnées UTM_{RGM04} (X= 515 977 m, Y= 8 589 676 m, Z= 89 m), sur une longueur linéaire de 30,5 m. A cet endroit, le cours d'eau est une succession de petits rapides et de petits bassins sur plusieurs dizaines de mètres de long.. Une faible pluie intervient en début de jaugeage. Le lit mineur présente une largeur moyenne de 6 m, la conductivité moyenne s'élève à 167 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le débit est estimé visuellement à 40 L/s et la masse de sel injectée est de 4 859 g. Les laisses de crue atteignent 60 cm au dessus de la surface libre ce qui témoigne d'une tranche d'eau assez conséquente en épisode de crue.

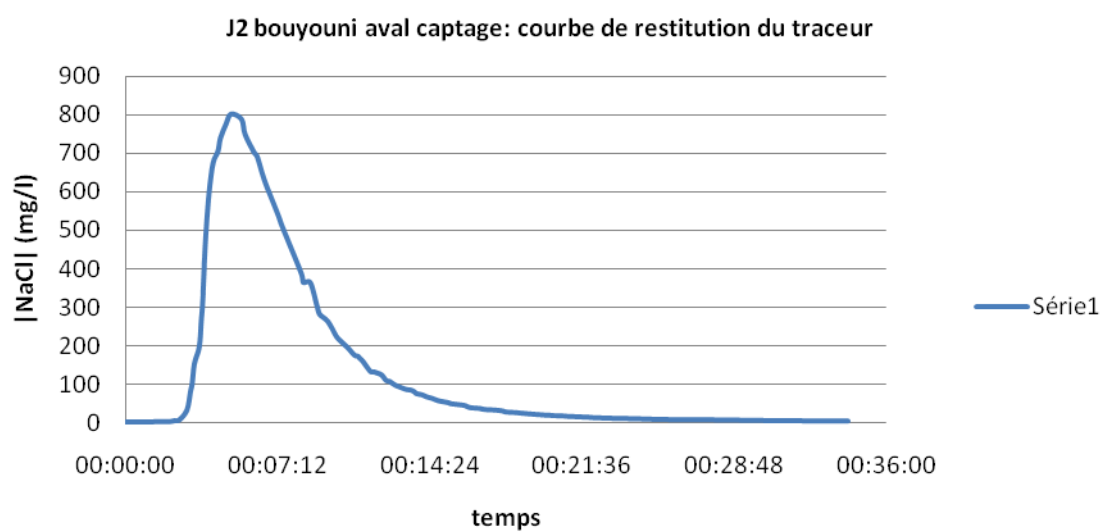
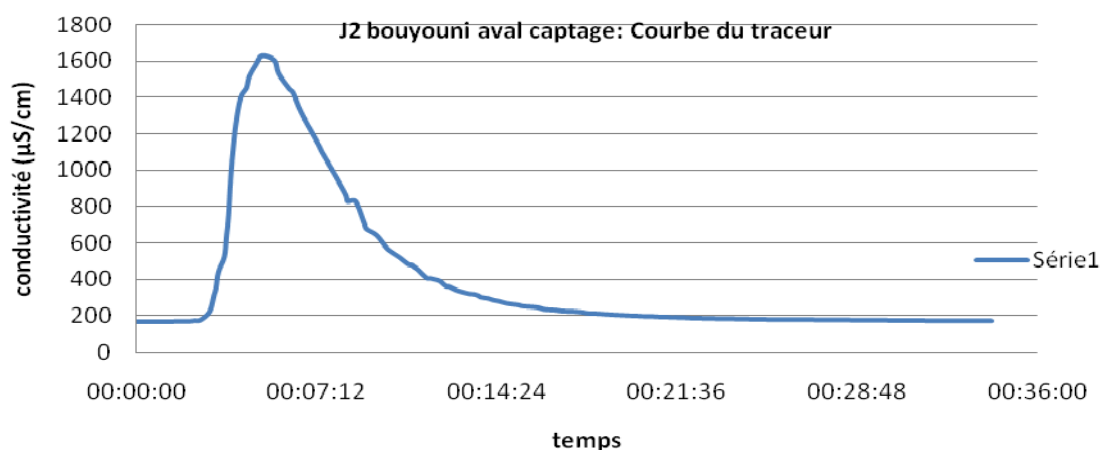


Figure 3 : Courbes de restitution du sel – Mro Oua Bouyouni intermédiaire

masse sel injecté (g)	4 859
coefficient k de conversion ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{mg}^{-1}.\text{L}$)	1,82
% de restitution estimé	90 à 95
Débit (L/s)	18,4 (+/- 1,5)
Vitesse de pointe du panache (m/h)	370

Jaugeage 3 – Bouyouni aval, ancien village

Ce jaugeage se déroule à 13h17, au point repéré par les coordonnées UTM_{RGM04} (X= 515 549 m, Y= 8 590 658 m et Z= 84 m), sur une longueur linéaire de 32,5 m. La largeur du lit mineur est de 8 m en moyenne, la hauteur de la tranche d'eau avoisine les 20 cm, la conductivité moyenne prise comme signal de base est de 175 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le débit est estimé visuellement à 60 L/s et la masse de sel injectée est de 4 109g.

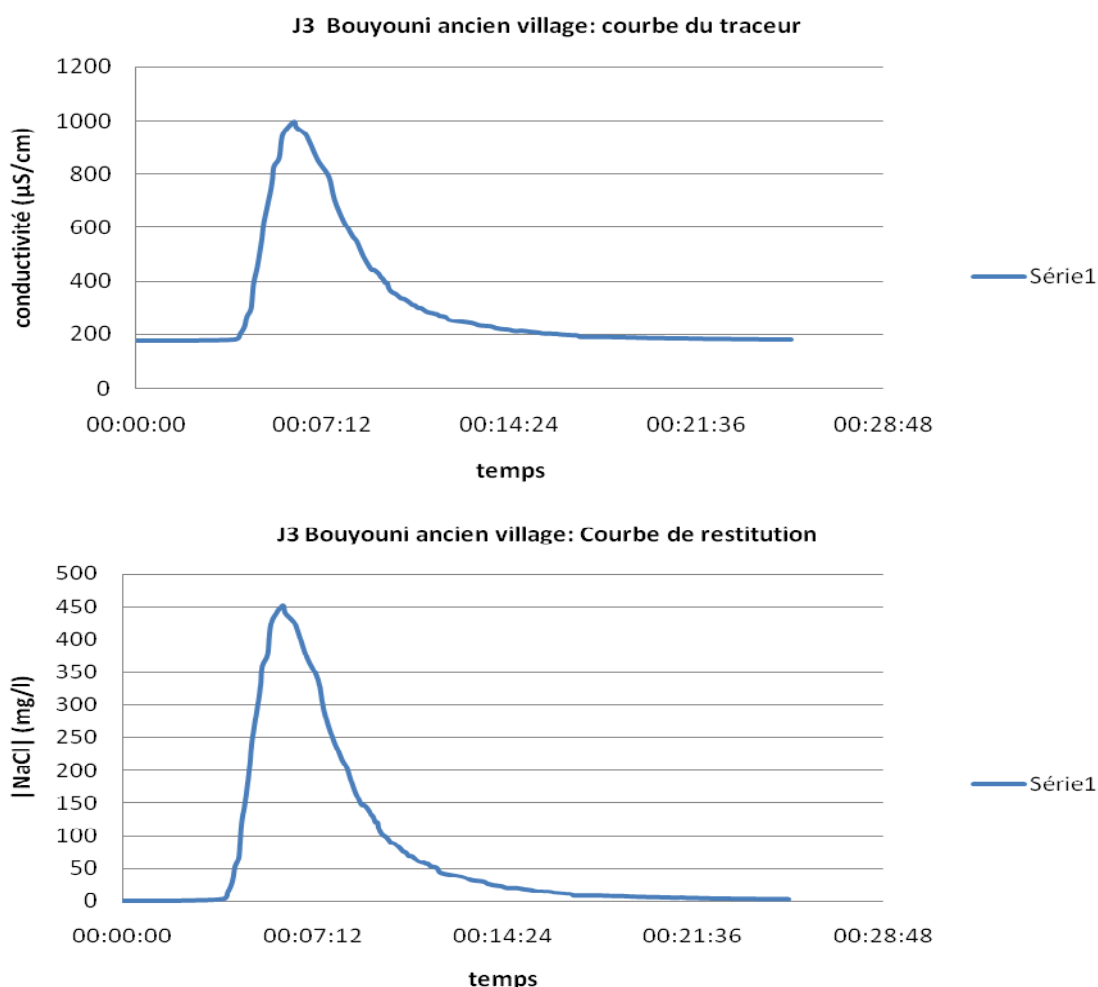


Figure 4 : Courbes de restitution du sel – Mro Oua Bouyouni aval, ancien village

masse sel injecté (g)	4109
coefficient k de conversion ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{mg}^{-1}.\text{L}$)	1,82
% de restitution estimé	90 à 95
Débit (L/s)	37,1 (+/- 3)
Vitesse de pointe du panache (m/h)	320

Annexe 4

Détails des calculs d'application de la formule de Manning Strickler au Mro Oua Bouyouni



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