





# Etude et délimitation des bassins d'alimentation des 4 captages du bassin versant du Mro Oua Andrianabé - Mayotte

Rapport final

**BRGM/RP-57618-FR**  
Décembre 2009

Étude réalisée dans le cadre de  
la convention R&D SIEAM/BRGM du 24 avril 2009  
et des projets de Service public du BRGM 2009 EAU K75

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

**Vérificateur :**

Nom : A. DUMON

Date : 10/11/2009

Signature :



**Approbateur :**

Nom : P. PUVILLAND

Date : 16/11/2009

Signature :



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

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

**Mots clés** : bassin d'alimentation de captage, BAC, aire d'alimentation de captage, eau potable, eau de surface, eau souterraine, aquifères volcaniques, forage, prise d'eau, hydrogéologie, vulnérabilité, pressions, Mro Oua Andrianabé, Mayotte, Comores, France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Mougin B., Malard A., avec la collaboration de Brugeron A. et Wuilleumier A. (2009) - Etude et délimitation des bassins d'alimentation des 4 captages du bassin versant du Mro Oua Andrianabé – Mayotte – BRGM/RP-57618-FR. 116 p., 33 ill., 13 tab., 4 ann.

## Synthèse

Au vu de la vulnérabilité des ressources en eau de l'île de Mayotte et de l'intérêt pour les services de l'Etat de disposer d'outils de réglementation indispensables à l'application de la loi sur l'eau de 1992, de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30/12/2006, et aux exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'eau, il s'est avéré urgent de définir les Bassins d'Alimentation de Captages (dits « BAC » par la suite) destinés à l'alimentation en eau potable, et de caractériser leur vulnérabilité aux pressions exercées sur la surface du bassin. L'étude de ces bassins d'alimentation doit ensuite initier les travaux vers la mise en place des périmètres de protection de ces captages ; cette démarche capitale s'inscrit dans une obligation réglementaire et une logique de gestion durable des ressources en eaux à Mayotte.

Lors des comités permanents de la MISEEN<sup>1</sup> du 08/11/2007 et du 03/03/2008, il a été convenu que toutes les prises d'eau et tous les forages d'alimentation en eau potable de Mayotte devaient être protégés (soit 14 BAC en tout). Cinq de ces BAC ont été définis comme prioritaires (inscrits en tant que captages Grenelle sur les listes ministérielles) ; ils sont composés d'un ou plusieurs ouvrages d'eau de type : 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. L'étude de délimitation des BAC pour ces 5 captages prioritaires est en cours (convention de recherche et développement partagés DAF<sup>2</sup>/BRGM du 18 août 2008).

Suite au Comité Régional de Programmation des opérations de Service Public du BRGM du 03/10/2008 et à la réunion de travail SIEAM/BRGM du 26/12/2008, le SIEAM (Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte) a souhaité poursuivre les études de délimitation des BAC pour les 9 bassins versants restants (14 moins 5 prioritaires), concernés par un ou plusieurs captage(s) d'eau souterraine et/ou de surface.

Ces 9 bassins sont divisés en 2 lots de 5 et 4 bassins, en raison (i) des critères de priorité, (ii) du nombre et de la nature des ouvrages d'eau présents, (iii) des connaissances géologiques et hydrogéologiques disponibles et (iv) de l'importance stratégique de la ressource. Cette répartition conditionne la nature et l'ordre du déroulement des études.

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

---

<sup>1</sup> Mission Inter Service de l'Eau et de l'ENvironnement

<sup>2</sup> DAF : Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte

- Les deux prises d'eau de surface du Mro Oua Kwalé (Kwalé haut 12307X0145/KWALHA et Kwalé bas 12307X0146/KWALHA) ainsi que les forages de Kwalé 1 (Indice national: 12307X0022/Koual1) et de Kwalé 3 (12303X0100/Kwalé3), rapport BRGM/RP-57621-FR ;
- Les forages de Kawéni F1 (12307X0013/F1), F2 (12307X0014/F2), et 3 10'' (12307X0021/Kaoué3), rapport BRGM/RP-57620-FR.
- **La prise d'eau du Mro Oua Andrianabé (12306X0054/AMPCAP), le drain de M'tsangamouji (12306X0055/AMPDRA) et les forages de M'tsangamouji 1 (12306X0017/Mtsan1) et 2 (12306X0016/Mtsan2), qui font l'objet du présent rapport ;**
- Le forage de Béja 1 (12306X0014/BEJA1), rapport BRGM/RP-57619-FR ;
- Les prises d'eau du Mro Oua Maré (prises d'eau de Mjihari 12302X0028/CAP\_MJ, Mapouéra 12302X0030/CAP\_MP et Mahojani 12302X0029/CAP\_MA) et du Mro Oua Mouhogoni (12302X0027/CAP\_MO) ainsi que le forage de Mohogoni (12302X0025/Mohog), rapport BRGM/RP-57622-FR.

Les 4 bassins restants sont étudiés dans le cadre de la convention nationale ONEMA/BRGM 2009<sup>1</sup> avec la participation de la DAF et la DASS<sup>2</sup> de Mayotte.

Les résultats de l'étude montrent que les forages de M'tsangamouji 1 et 2 appartiennent à un seul et même BAC souterrain qui couvre près de 73 % de la surface du bassin versant du Mro Oua Andrianabé. L'estimation de la vulnérabilité du BAC et des pressions exercées a démontré que le BAC est relativement vulnérable dans un rayon de 400 mètres autour des forages compte tenu du fort caractère infiltrant des unités fonctionnelles qui le composent (faciès lithologiques et pédologiques). Ainsi, dans ce secteur, le degré d'exposition de la ressource en eau souterraine est assez important. La présence du village haut de M'tsangamouji (assainissement, lessives) dans l'enceinte du BAC ainsi que les sites à proximité du village (radier, décharge, route et cultures) sont les pressions les plus significatives susceptibles d'impacter la ressource en eau.

En ce qui concerne la prise d'eau de surface d'Ampouriagna haut, il s'avère que le BAC intègre à peu près la moitié du bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé au Nord du point de prélèvement. Les résultats d'approche de la vulnérabilité du captage montrent que cette dernière est moyenne à assez forte par rapport à d'autres captages de surface à Mayotte (comparativement à d'autres bassins versants : Gouloué, Kwalé...). Comme les pressions sont modérées (réserve forestière et forêt dégradée avec plusieurs parcelles de cultures), le risque provient du caractère ruisselant de l'amont du BAC. Comme le ruissellement intervient surtout de décembre

---

<sup>1</sup> La signature de la convention ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009 prévoit la réalisation des études BAC sur les 4 bassins versants restants. Fin 2009, les études BAC devront être abouties sur tous les captages en service ou en instance de mise en service de Mayotte.

<sup>2</sup> Direction des Affaires Sanitaires et Sociales

à mars, la vulnérabilité de la prise d'eau de surface est loin d'être négligeable en hautes eaux. De plus, l'inventaire des aléas naturels susceptibles de nuire aux installations montrent que la prise d'eau d'Ampouriagna haut est située en zones d'aléas forts de type : (i) mouvement de terrain accompagné de chutes de blocs et (ii) inondation.

En ce qui concerne le drain de M'tsangamouji, le BAC intègre tout le bassin versant en amont du point de prélèvement - environ 73 % du bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé. Les résultats d'approche de la vulnérabilité du captage montrent que cette dernière existe mais qu'elle est nuancée entre l'amont du BAC assez vulnérable (pentes fortes) et l'aval assez peu vulnérable (pentes faibles). Les calculs de vitesse du débit du cours d'eau mettent en évidence des temps de transfert relativement courts entre les zones de pressions (radier, décharge, route et cultures) et le captage, donc des délais d'intervention très restreints en cas de pollution accidentelle du cours d'eau (déversement malencontreux d'un produit toxique en quantité significative). La prise d'eau du drain de M'tsangamouji est donc exposée aux pressions existantes sur le bassin versant.

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

La Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales (DASS) de Mayotte et le 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 exploitation. La réalisation de l'ensemble des BAC de l'île permettra de mettre en place rapidement les périmètres de protection de captages au sens administratif, d'instruire les dossiers de Déclaration d'Utilité Publique<sup>1</sup> et de mettre en application les plans d'action de protection des ressources.

---

<sup>1</sup> Comme prévu par (i) loi sur l'eau du 16 décembre 1964, (ii) la loi relative à la protection de la santé publique de 1902, article 10, qui impose pour tous captages la réalisation d'une Déclaration d'Utilité Publique qui déterminera - si nécessaire – un périmètre de protection contre la pollution de l'ouvrage, (iii) la loi sur l'eau de 1992 qui impose à tous les captages la délimitation des périmètres de protection. Cette loi, rétroactive, s'applique aussi bien aux captages en création qu'aux captages antérieurs et (iv) le Plan National Santé Environnement qui fixe comme objectif que l'ensemble des captages soient protégés en 2010.





## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Présentation du bassin versant</b> .....	<b>17</b>
2.1. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT ET DES CAPTAGES .....	17
2.2. TOPOGRAPHIE .....	19
2.2.1. Altitude .....	19
2.2.2. Pentes .....	21
2.3. PLUVIOMETRIE .....	23
2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET RECONNAISSANCES DE TERRAIN	25
2.5. MORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE DU COURS D'EAU .....	32
2.6. MORPHOPEDOLOGIE .....	38
<b>3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage</b> .....	<b>41</b>
3.1. LA PRISE D'EAU DE SURFACE - BSS 12306X0054/AMPCAP .....	41
3.1.1. Présentation .....	41
3.1.2. Qualité des eaux .....	44
3.1.3. Délimitation du BAC .....	46
3.2. LE DRAIN - BSS 12306X0055/AMPDRA .....	48
3.2.1. Présentation .....	48
3.2.2. Qualité des eaux .....	49
3.2.3. Délimitation du BAC .....	50
3.3. LES FORAGES DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA ANDRIANABE .....	51
3.3.1. Le forage de M'tsangamouji 1 - BSS 12306X0017/Mtsan1 .....	51
3.3.2. Le forage de M'tsangamouji 2 - BSS 12306X0016/Mtsan2 .....	54
3.3.3. Délimitation du BAC des forages de M'tsangamouji 1 et 2 .....	60
<b>4. Caractérisation de la vulnérabilité</b> .....	<b>63</b>
4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES FORAGES DE M'TSANGAMOUI 1 ET 2 : APPLICATION DE LA METHODE IDPR .....	63

4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES PRISES D'EAU EN RIVIERE D'ANDRIANABE : APPLICATION DE LA METHODE IDPR .....	65
4.3. CALCUL DES TEMPS D'ATTEINTE DU MRO OUA ANDRIANABE EN AMONT DES PRISES D'EAU .....	67
4.3.1. Calcul des temps d'atteinte en amont du drain .....	69
4.3.2. Calcul des temps d'atteinte en amont de la prise d'eau.....	71
4.3.3. Synthèse .....	72
<b>5. Caractérisation des pressions .....</b>	<b>75</b>
5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN DU MRO OUA ANDRIANABE .....	75
5.1.1. Urbanisation, aménagement et assainissement des eaux usées .....	75
5.1.2. Activités rurales et agricoles .....	75
5.1.3. Sites industriels, sites et pratiques domestiques à risques (lessives, décharges sauvages).....	76
5.1.4. Risques naturels .....	76
5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS .....	77
<b>6. Evaluation du risque de pollution des bassins d'alimentation de captages ....</b>	<b>79</b>
6.1. CARTES DE CROISEMENT VULNERABILITES / PRESSIONS DES BAC DE SURFACE .....	79
6.2. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DU BAC SOUTERRAIN.....	82
6.3. CONCLUSION SUR LES RISQUES DE POLLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA ANDRIANABE .....	84
6.3.1. BAC de surface .....	84
6.3.2. BAC souterrain.....	84
<b>7. Recommandations .....</b>	<b>87</b>
<b>8. Conclusion.....</b>	<b>89</b>
<b>9. Références bibliographiques .....</b>	<b>91</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 - Découpage du bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé et localisation des ouvrages d'eau ainsi que du pluviomètre de Bandrazia Sud (support scan 25 IGN© 1/25 000) .....	18
Illustration 2 - Carte des altitudes rencontrées dans le bassin versant du Mro Oua Andrianabé (support MNT IGN© au pas de 25 m) .....	20
Illustration 3 - Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant de la rivière Andrianabé (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m) .....	21
Illustration 4 - Carte des pentes rencontrées dans le bassin versant du Mro Oua Andrianabé (support MNT IGN© au pas de 25 m) .....	22
Illustration 5 - Géologie du bassin versant du Mro Oua Andrianabé (Stieltjes – 1988). Le cadre rouge correspond au secteur investigué dans le cadre de la synthèse hydrogéologique du site de M'tsangamouji (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR), présentée sur l'illustration suivante. La coupe géologique AB est présentée sur l'illustration 7 Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-52193-FR.....	26
Illustration 6 - Carte lithologique interprétative du site de M'tsangamouji (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR).....	27
Illustration 7 - Coupe géologique interprétative M'tsangamouji-Andrianabé (massif volcanique de M'tsamoro) (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-52193-FR).....	29
Illustration 8 - Mesures de conductivité (valeurs en mS/cm) et prise d'échantillons de roches sur le Mro Oua Andrianabé .....	30
Illustration 9 - Profil en long du Mro Oua Andrianabé (les annotations correspondent aux limites de la carte géologique). Le développement en profondeur des limites est indicatif. La localisation du profil est donnée en Illustration 10.....	33
Illustration 10. Localisation du profil en long du Mro Oua Andrianabé représenté en illustration 9. Les affluents ne sont pas notés.....	34
Illustration 11 - Jaugeage du Mro Oua Andrianabé au seuil G12H (photographie DAF de Mayotte antérieure à 2008).....	34
Illustration 12 - Chronique des débits du Mro Oua Andrianabé enregistrés au seuil G12H entre 1994 et 2003 (données DAF de Mayotte) .....	36
Illustration 13 - Formations pédologiques du bassin versant du Mro Oua Andrianabé 1/50 000 (Latrille E. et al. 1981).....	39
Illustration 14 - La prise d'eau de surface du Mro Oua Andrianabé (photographies BRGM du 17 septembre 2009) .....	42
Illustration 15 - Schéma du mode de fonctionnement des captages d'eau potable sur le bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé (source : SOGEA) .....	43
Illustration 16 - Volumes prélevés par semaine pour l'eau potable sur le Mro Oua Andrianabé (données SOGEA).....	44
Illustration 17 - Localisation des points de prélèvements ayant fait l'objet d'analyses sur le Mro Oua Andrianabé (les points rouges concernent les eaux souterraines et les points bleus les eaux de surface) .....	45

Illustration 18 - Découpage des bassins d'alimentation de captage du bassin versant du Mro Oua Andrianabé. En orange les BAC de la prise d'eau de surface et du drain et en bleu le BAC des forages de M'tsangamouji 1 et 2 .....	47
Illustration 19 - Le drain de M'tsangamouji (photographie BRGM du 17 septembre 2009). La flèche bleue peinte sur le bloc indique la position du drain.....	49
Illustration 20 - Forage de M'tsangamouji 1 (photographie BRGM du 17 septembre 2009).....	52
Illustration 21 - Forage de M'tsangamouji 2 (photographie BRGM du 17 septembre 2009).....	55
Illustration 22 - Chronique piézométrique du forage de M'tsangamouji 8" en m NGM entre 1999 et 2008 (données DAF). En surimposition sont figurées les précipitations efficaces calculées à la station pluviométrique de Brandrazia Sud sur la même période. ....	59
Illustration 23 - Limites des courbes enveloppes des zones d'appels des forages M'tsangamouji 1 et 2 (source : BRGM) .....	61
Illustration 24 - Résultats du calcul IDPR et rugosité du bassin d'alimentation des forages de M'tsangamouji 1 et 2 (ici en bleu). Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives (source : BRGM). ....	63
Illustration 25 - Carte de vulnérabilité des bassins d'alimentation des captages de surface du Mro Oua Andrianabé (ici délimité par des tiretés roses) .....	65
Illustration 26 - Découpage du Mro Oua Andrianabé en amont des prises d'eau et localisation des jaugeages (losanges jaunes). Les caractéristiques de chaque zone sont compilées dans les tableaux 7 et 10. ....	68
Illustration 27 - Cartographie des pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Andrianabé (source : BRGM) .....	77
Illustration 28 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC de la prise d'eau de surface Ampouriagna haut du bassin versant du Mro Oua Andrianabé (délimitation rose, se reporter à la carte de délimitation en illustration 18. En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 1 h en hautes eaux (en bleu foncé) et basses eaux (en bleu clair).....	80
Illustration 29 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC de la prise d'eau du drain de M'tsangamouji (délimitation rose, se reporter à la carte de délimitation en illustration 18. En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 1 h en hautes eaux (en bleu foncé) et basses eaux (en bleu clair).....	81
Illustration 30 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain des forages de M'tsangamouji 1 et 2 - bassin versant du Mro Oua Andrianabé .....	82
Illustration 31 - Courbes de restitution du sel – Andrianabé / zone 1.....	106
Illustration 32 - Courbe de calibration Conductivité =f([NaCl]) de la rivière Andrianabé .....	106
Illustration 33 - courbes de restitution du sel – Andrianabé / Zone 4.....	107

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Bandrazia sud M05 entre 1996 et 2008 (les années incomplètes sont entre parenthèses et les années reconstituées sont soulignées).....	23
Tableau 2 - Informations relatives à la prise d'eau d'Andrianabé (sources : SIEAM et BRGM) .....	41
Tableau 3 - Informations relatives au drain de M'tsangamouji (sources : SIEAM et BRGM) .....	48
Tableau 4 - Informations relatives au forage de M'tsangamouji 1 (sources : SIEAM et BRGM) .....	51
Tableau 5 - Informations relatives au forage de M'tsangamouji 2 (sources : SIEAM et BRGM) .....	55
Tableau 6 - Estimation de la surface théorique du BAC des forages de M'tsangamouji 1 et 2 .....	62
Tableau 7 - Caractéristiques des 3 zones de découpage du Mro Andrianabé en amont du drain pour détermination des vitesses de transfert .....	69
Tableau 8 - Point de mesure du débit d'étiage du 8 octobre 2009, en amont du drain.....	69
Tableau 9 - Vitesses de transfert du cours d'eau et temps d'atteinte au drain du Mro Oua Andrianabé. La valeur de BE est donnée pour le débit d'étiage du tableau précédent .....	70
Tableau 10 - Caractéristiques des 3 zones de découpage du Mro Andrianabé en amont de la prise d'eau pour détermination des vitesses de transfert. ....	71
Tableau 11 - Point de mesure du débit d'étiage du 8 octobre 2009, en amont de la prise d'eau.....	71
Tableau 12 - Vitesses de transfert du cours d'eau et temps d'atteinte au captage du Mro Oua Andrianabé. La valeur de BE est donnée pour le débit d'étiage du tableau précédent .....	72
Tableau 13 - Population du village de M'tsangamouji (chiffres INSEE 2007) .....	75

## Liste des annexes

Annexe 1 Coupes techniques des forages de M'tsangamouji 1 (12306X0017/Mtsan1), M'tsangamouji 2 (12306X0016/Mtsan2) et M'tsangamouji 8'' (12306X0011/Tsan1) .....	93
Annexe 2 Analyses physico-chimiques des captages du bassin versant du Mro Oua Andrianabé .....	99
Annexe 3 Jaugeages au sel du 8 octobre 2009 .....	103
Annexe 4 Détails des calculs d'application de la formule de Manning Strickler au Mro Oua Andrianabé .....	109



# 1. Introduction

En 2009, l'île de Mayotte est pourvue de 37 ouvrages d'eau destinés à la consommation humaine en fonctionnement (20 forages ou drains d'eaux souterraines, 16 captages en rivière et une usine de dessalement) qui assurent l'alimentation de 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 1992<sup>1</sup>.

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

Le BRGM, pour le compte du SIEAM (Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte) s'est engagé à mener en 2009 les études relatives à la délimitation et à la caractérisation des Bassins d'Alimentation de Captages destinés à l'alimentation en eau potable sur le bassin versant du Mro Oua Andrianabé qui compte 4 ouvrages d'eau en fonctionnement :

- le captage Ampouriagna haut (prise d'eau de surface du Mro Oua Andrianabé, code BSS<sup>2</sup> 12306X0054/AMPCAP) construite en 1992 et en fonctionnement ;
- le drain de M'tsangamouji (appelé aussi Ampouriagna drain, code BSS 12306X0055/AMPDRA) : drain PVC mis en service en 1992 ;
- les forages de M'tsangamouji 1 (code BSS 12306X0017/Mtsan1) et M'tsangamouji 2 (12306X0016/Mtsan2) réalisés en 2000 et en fonctionnement depuis 2004.

Les forages de M'tsangamouji 1 et 2 sont tous deux issus de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines 2001-2003 encadrée par la Collectivité Départementale de Mayotte.

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

---

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

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

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 (Vernoux J.F. et al. 2007-2008 : rapports BRGM/RP-55332-FR, RP-55874-FR et RP-55875-FR) qui peut être adaptée aux milieux poreux, aux aquifères karstiques ainsi qu'aux aquifères fissurés de socle et/ou - dans une certaine mesure – volcaniques. En complément, l'Office Fédéral Suisse de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP) a apporté sa contribution à la délimitation des zones de protection des eaux souterraines 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 (Malard A. et al. 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 2009<sup>1</sup>.

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

- **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'IDPR adapté à Mayotte - c.à.d. en contexte

---

<sup>1</sup> 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.



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.

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



## **2. Présentation du bassin versant**

### **2.1. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT ET DES CAPTAGES**

Le bassin versant du Mro Oua Andrianabé est situé au Nord-Ouest de Mayotte sur la commune de M'tsangamouji et il recoupe au Nord la commune d'Acoua. Le cours d'eau s'écoule du Nord au Sud et longe le village de M'tsangamouji avant de rejoindre le lagon dans la baie de Soulou (cf. illustration 1).

Le bassin du Mro Oua Andrianabé accueille 4 ouvrages d'exploitation en eau (cf. illustration 1) : la prise d'eau de surface d'Andrianabé (captage Ampouriagna haut, BSS : 12306X0054/AMPCAP), le drain de M'tsangamouji (appelé aussi Ampouriagna drain, 12306X0055/AMPDRA) et les deux forages de M'tsangamouji 1 (12306X0017/Mtsan1) et 2 (12306X0016/Mtsan2).

A l'heure actuelle (septembre 2009) ces 4 ouvrages sont fonctionnels. Au niveau du captage de surface et des forages, les débits prélevés sont comptabilisés (via un débitmètre pour le captage Ampouriagna haut, et sans doute via des compteurs pour les forages). Le drain est exploité en saison sèche mais les prélèvements ne sont pas comptabilisés.

Différentes stations de mesure existent : un pluviomètre nommé Bandrazia Sud (code DAF M05) et une station de jaugeage à M'tsangamouji (code DAF G12H et code BSS 12306X0060/G12H).

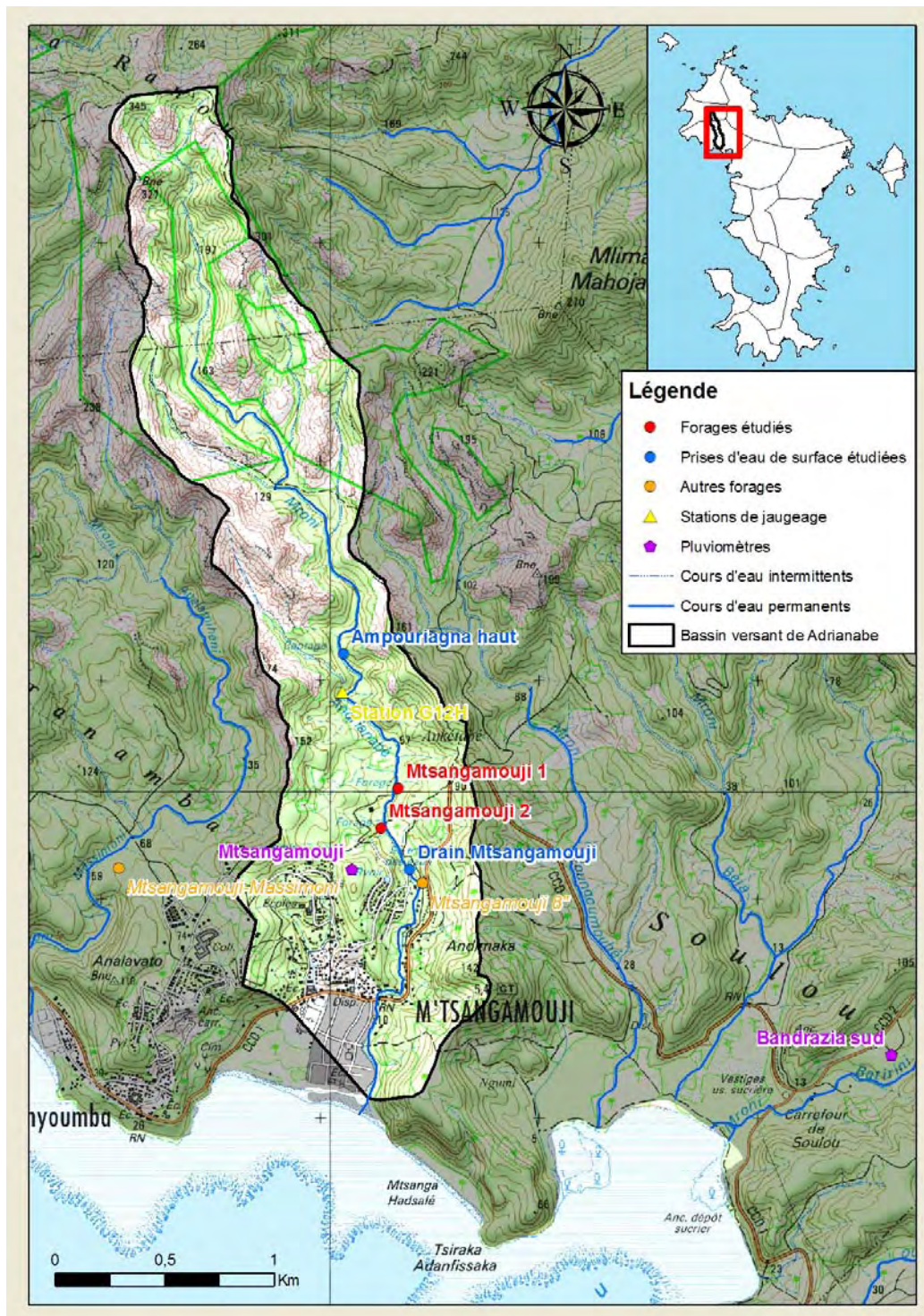


Illustration 1 - Découpage du bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé et localisation des ouvrages d'eau ainsi que du pluviomètre de Bandrazia Sud (support scan 25 IGN© 1/25 000)

## 2.2. TOPOGRAPHIE

La topographie du bassin versant du Mro Oua Andrianabé a déjà fait l'objet d'une description lors de l'étude des caractéristiques physiques et chimiques de cinq rivières (BRGM 2000, rapport BRGM/RC-50355-FR). Les traits principaux du bassin versant sont retracés ci-après.

Le bassin s'étend des Crêtes du Nord (sommet du Maéva Ranou qui en constitue le point haut) jusqu'à la plage de M'tsangamouji où son exutoire se situe au niveau de la mer. La surface du bassin versant est de 3.5 km<sup>2</sup>, le périmètre de 11.5 km pour une longueur de 5.6 km et une largeur de 1.1 km en moyenne. L'indice de compacité de Gravelius<sup>1</sup> du bassin versant est de 1.73, ce qui souligne une forme allongée (Malard A. et al. 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR).

Il s'agit d'un bassin versant de taille moyenne sur l'île (superficie moyenne de 3.75 km<sup>2</sup> sur 67 bassins), la longueur du réseau de drainage - qui correspond à la somme du développement linéaire des cours d'eau pérennes et temporaires - est estimée à 19.2 km avec pas moins de 30 affluents présents sur le bassin. Le Mro Oua Andrianabé est le cours d'eau principal et son écoulement est permanent jusqu'à environ 310 m d'altitude.

La distance entre l'extrême amont du cours d'eau et l'embouchure est de 5.1 km.

### 2.2.1. Altitude

Le bassin versant culmine à 345 m au sommet du Maéva Ranou et près de 80 % de la surface du bassin versant est comprise entre 0 et 200 m d'altitude (cf. illustrations 2 et 3) (BRGM 2000, rapport BRGM/RC-50355-FR).

---

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

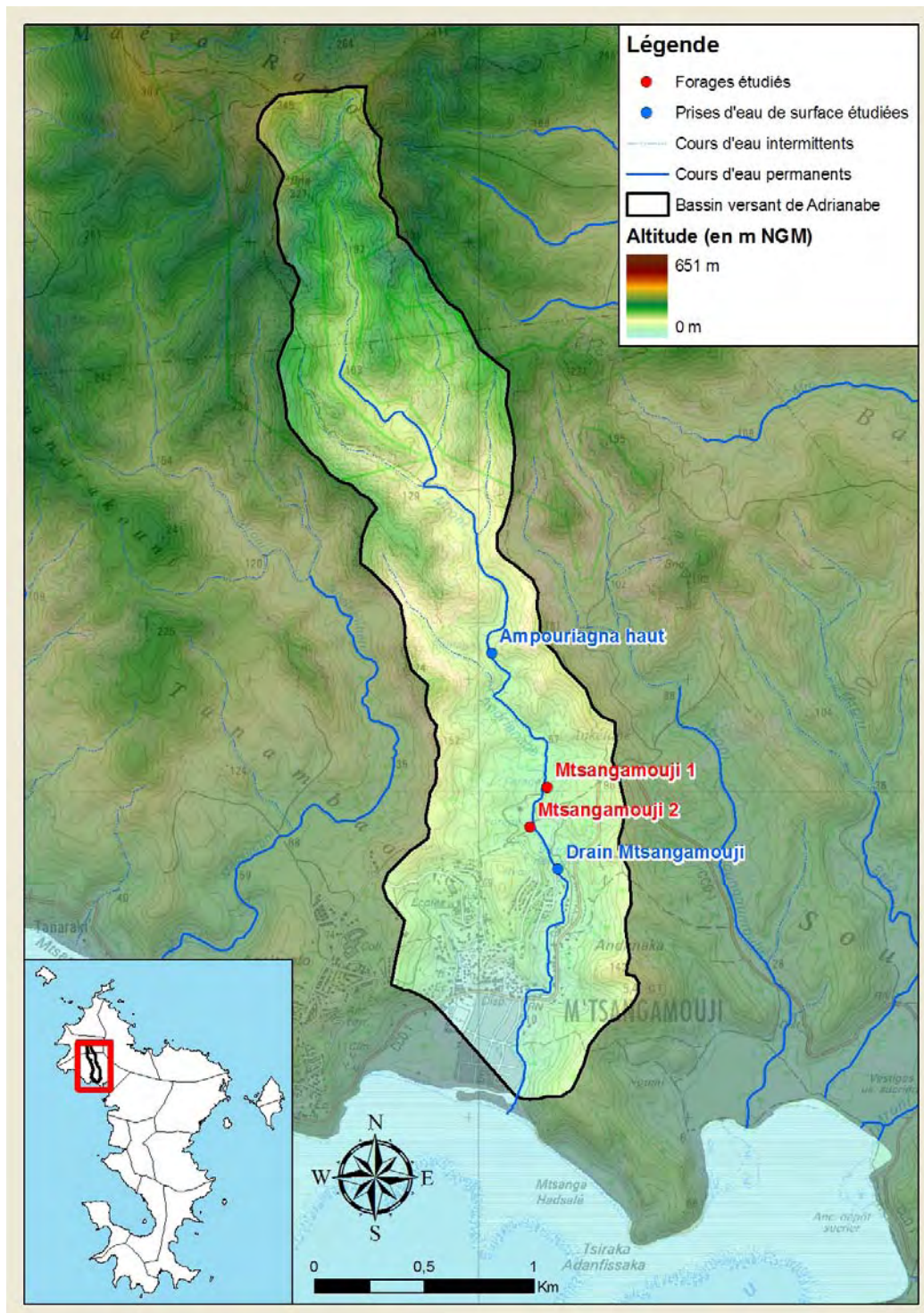


Illustration 2 - Carte des altitudes rencontrées dans le bassin versant du Mro Oua Andrianabé (support MNT IGN© au pas de 25 m)

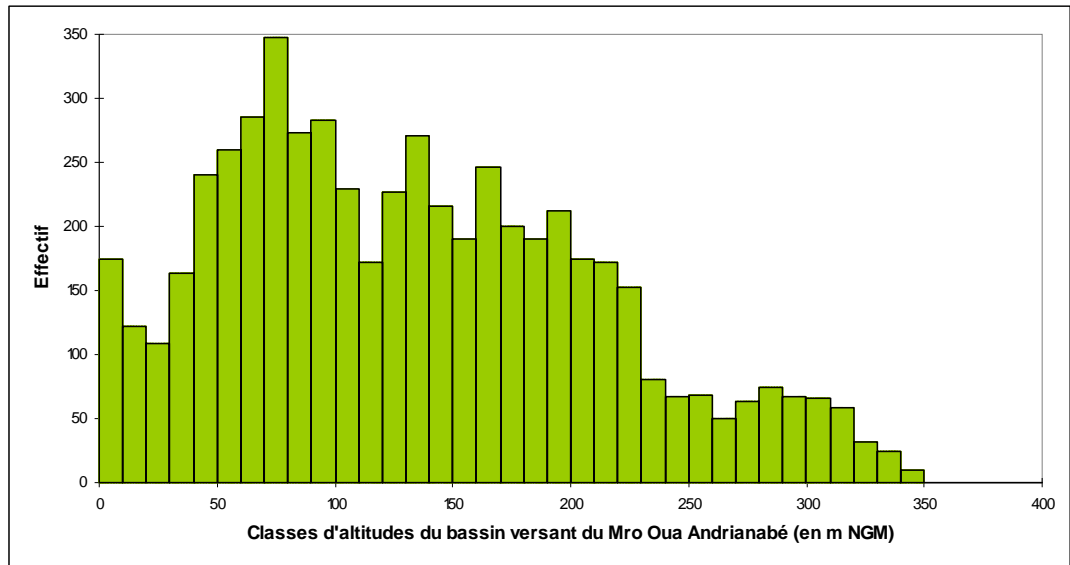


Illustration 3 - Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant de la rivière Andrianabé (d'après le MNT IGN© au pas de 25 m)

Comme évoqué ci-dessus les altitudes supérieures à 230 m NGM sont en faible nombre sur le bassin (rupture de pente des histogrammes).

### 2.2.2. Pentes

La carte des pentes est présentée sur l'illustration ci-après.

Le fond de la vallée du Mro Oua Andrianabé est relativement plat, et seule la partie amont présente des pentes plus élevées.

Les zones de fortes pentes sont localisées principalement en amont du bassin versant topographique et en rive gauche du cours d'eau.

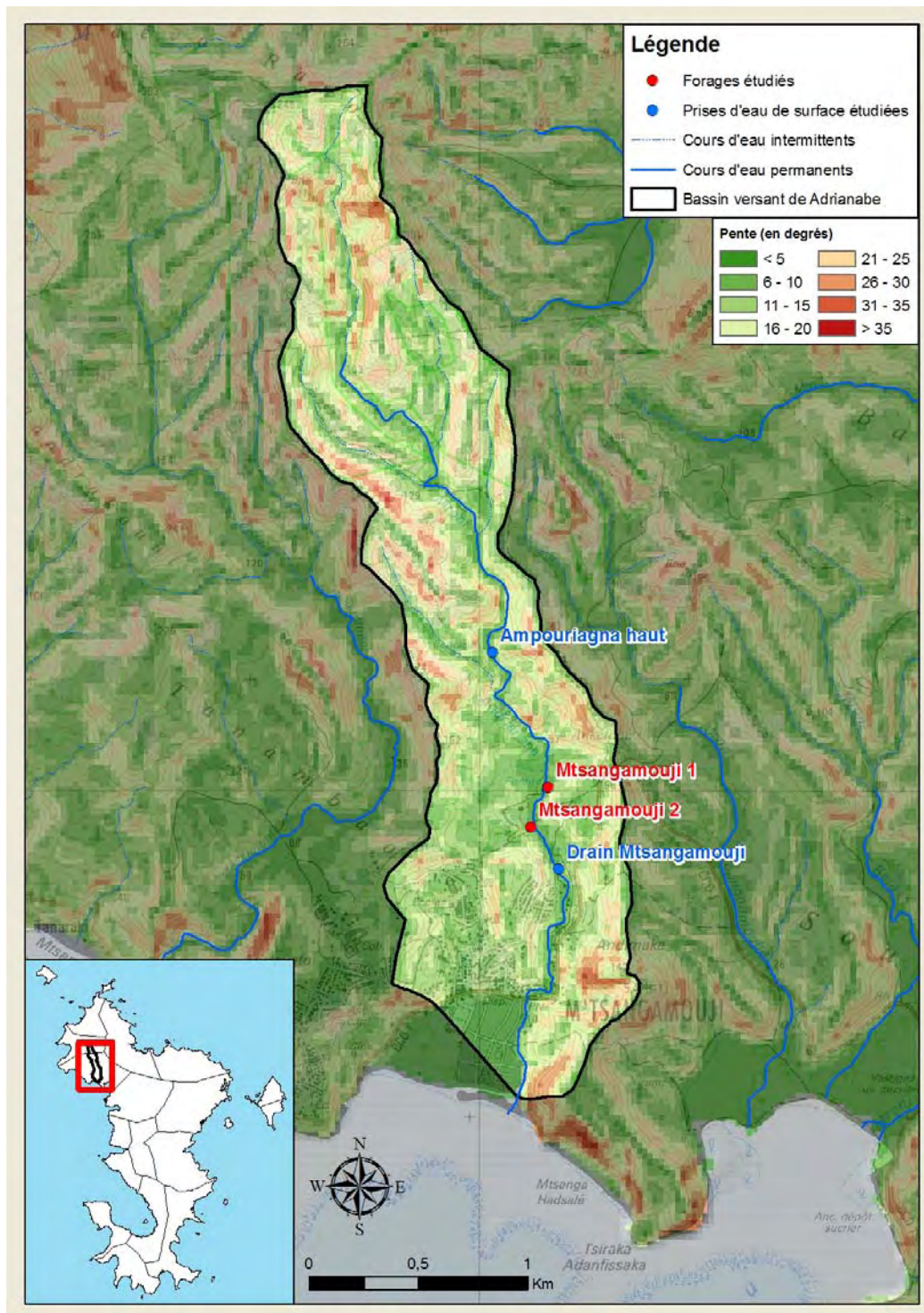


Illustration 4 - Carte des pentes rencontrées dans le bassin versant du Mro Oua Andrianabé (support MNT IGN© au pas de 25 m)



### 2.3. PLUVIOMETRIE

Les précipitations s'abatant sur le bassin du Mro Oua Andrianabé sont enregistrées par la DAF au niveau de 2 stations météorologiques appelées M'tsangamouji (code DAF M4 puis A13, le « M » signifie pluviomètre mécanique et le « A » automatique) et Bandrazia Sud (code DAF M05, initialement mécanique mais automatisé depuis 2004). Le pluviomètre de M'tsangamouji est localisé à 170 m du réservoir communal, et celui de Bandrazia Sud est implanté à côté de la route CCD2 à proximité du carrefour de Soulou (cf. illustration 1).

Le pluviomètre de M'tsangamouji, suivi entre 1994 et 2003, ne pourra pas être utilisé au niveau de cette étude. En effet, plusieurs d'années sont incomplètes (1994-1996-2002-2003) et les précipitations moyennes inter-annuelles (calculées sur 6 ans) fournissent une valeur de 836 mm, très inférieure aux isohyètes de pluies inter-annuelles (environ 1500 mm, Malard A. et al. 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR).

Les coordonnées de Bandrazia Sud dans le système en vigueur sont les suivantes :

$$X_{RGM04} = 511\,608 \text{ m} \quad Y_{RGM04} = 8\,589\,282 \text{ m} \quad \text{et} \quad Z = 40 \text{ m NGM}$$

La chronique des précipitations est enregistrée depuis 1995 et présentée dans le tableau 1. L'analyse des données compilées par la DAF entre 1996 et 2008 montre que plusieurs années sont soit incomplètes (1997 et 2006, cumul annuel indiqués entre parenthèses dans le tableau 1) soit comportent des valeurs reconstituées (années dont le cumul annuel est souligné). Les précipitations moyennes inter-annuelles ont été calculées de trois façons : en prenant toutes les années (moyenne entre parenthèses), en enlevant les années incomplètes (moyenne soulignée), en enlevant les années reconstituées et incomplètes. Compte-tenu de ces remarques et de façon à avoir une moyenne sur au moins 10 années, la valeur de 1340 mm est retenue.

Années	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cumul annuel (mm)	1158	(708)	1155	1520.5	1551	1005	1649.1	<u>1371</u>	1633	<u>1322.5</u>	(349)	<u>812.8</u>	1565
Moyenne de 1996 à 2008 (mm)	(1215.4)	13 ans											
	<u>1340.3</u>	11 ans											
	1404.6	8 ans											

*Tableau 1 - Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Bandrazia sud M05 entre 1996 et 2008 (les années incomplètes sont entre parenthèses et les années reconstituées sont soulignées)*

Comme ce pluviomètre est assez bas en altitude (40 m NGM), la valeur moyenne des précipitations de 1340 mm sera considérée comme valeur basse pour les estimations

de taille des bassins d'alimentation de captages souterrains. En effet, l'altitude moyenne du bassin versant est de 134 m NGM. Par ailleurs, on peut noter que cette valeur moyenne inter-annuelle à Bandrazia Sud est en-dessous de la valeur fournie par les isohyètes de pluies inter-annuelles (environ 1650 mm, Malard A. et al. 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR).

Un calcul des pluies efficaces tombant sur le bassin versant du Mro Oua Andrianabé a été réalisé à partir de cette station pluviométrique (Bandrazia Sud) et des valeurs d'ETP moyennes mensuelles calculées sur la période 1935-1974 à Dzoumogné (Lapègue J. 1999, code P3 et altitude de 20 m NGM).

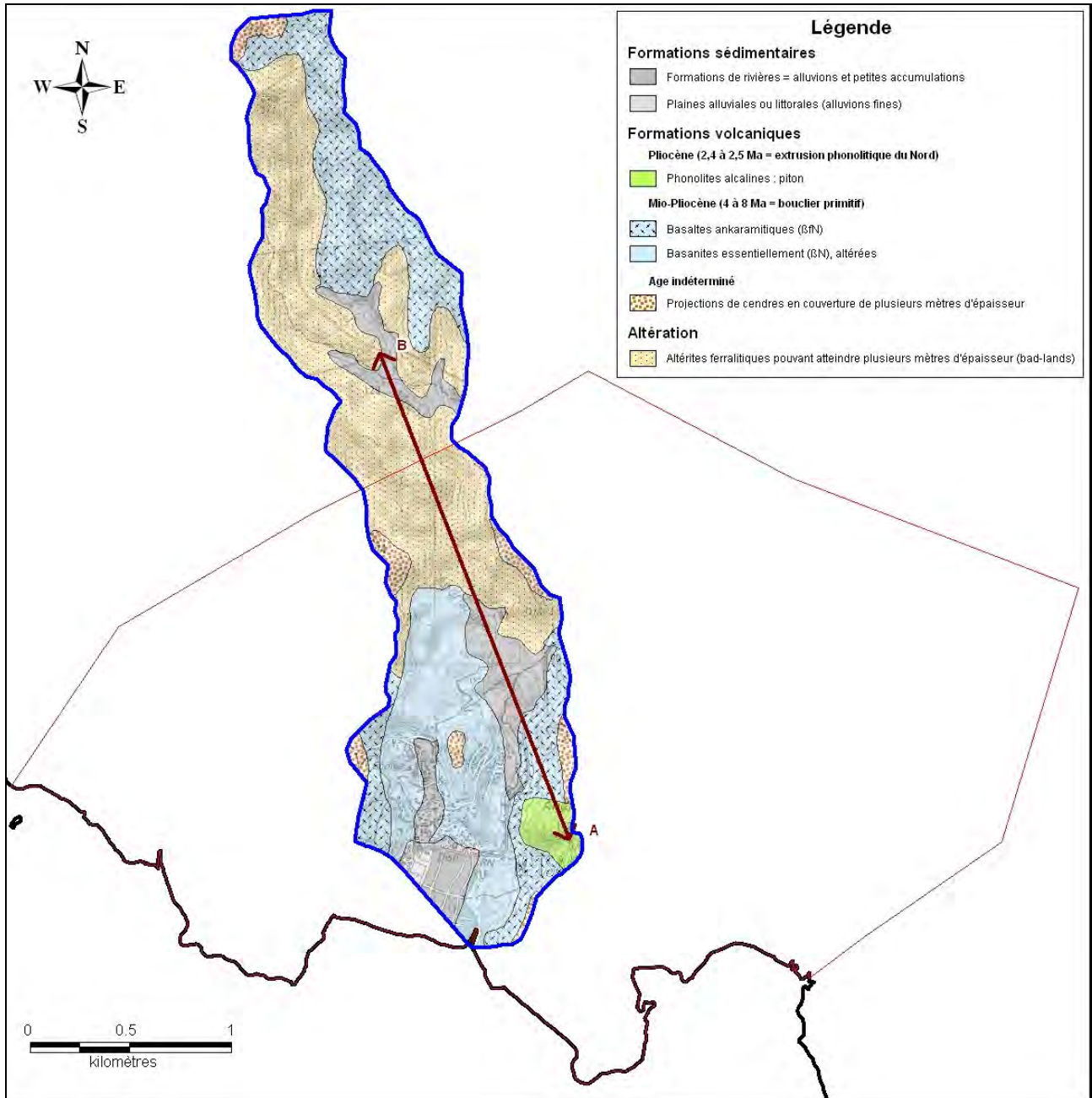
Le calcul montre que 34 % des pluies sont des pluies efficaces.

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

## **2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET RECONNAISSANCES DE TERRAIN**

D'après les informations de la carte géologique au 1/50 000 (Stieltjes L. et al. 1988, cf. illustration 5), le bassin de l'Andrianabé est rattaché à l'édifice volcanique Mio-Pliocène du bouclier ancien septentrional (-8 à -4 Ma), basaltique et basanitique du Nord-Ouest. Ces unités récentes ont été en partie érodées et les produits de cette érosion (altérites) constituent la partie amont du bassin.

Le bassin versant est constitué principalement de basaltes et de basanites, dont les plus sains se situent dans sa partie amont et aval, et des faciès d'altération ferralitiques pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur (bad-lands, ou padzas en shimahorais). Quelques dépôts alluvionnaires sont présents sur les berges de la rivière et le village de M'tsangamouji est positionné sur une plaine alluviale. Sur les crêtes du bassin versant, des projections de cendres affleurent. Le piton d'Andimaka est constitué de phonolites.



*Illustration 5 - Géologie du bassin versant du Mro Oua Andrianabé (Stieltjes – 1988). Le cadre rouge correspond au secteur investigué dans le cadre de la synthèse hydrogéologique du site de M'tsangamouji (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR), présentée sur l'illustration suivante. La coupe géologique AB est présentée sur l'illustration 7 Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-52193-FR.*

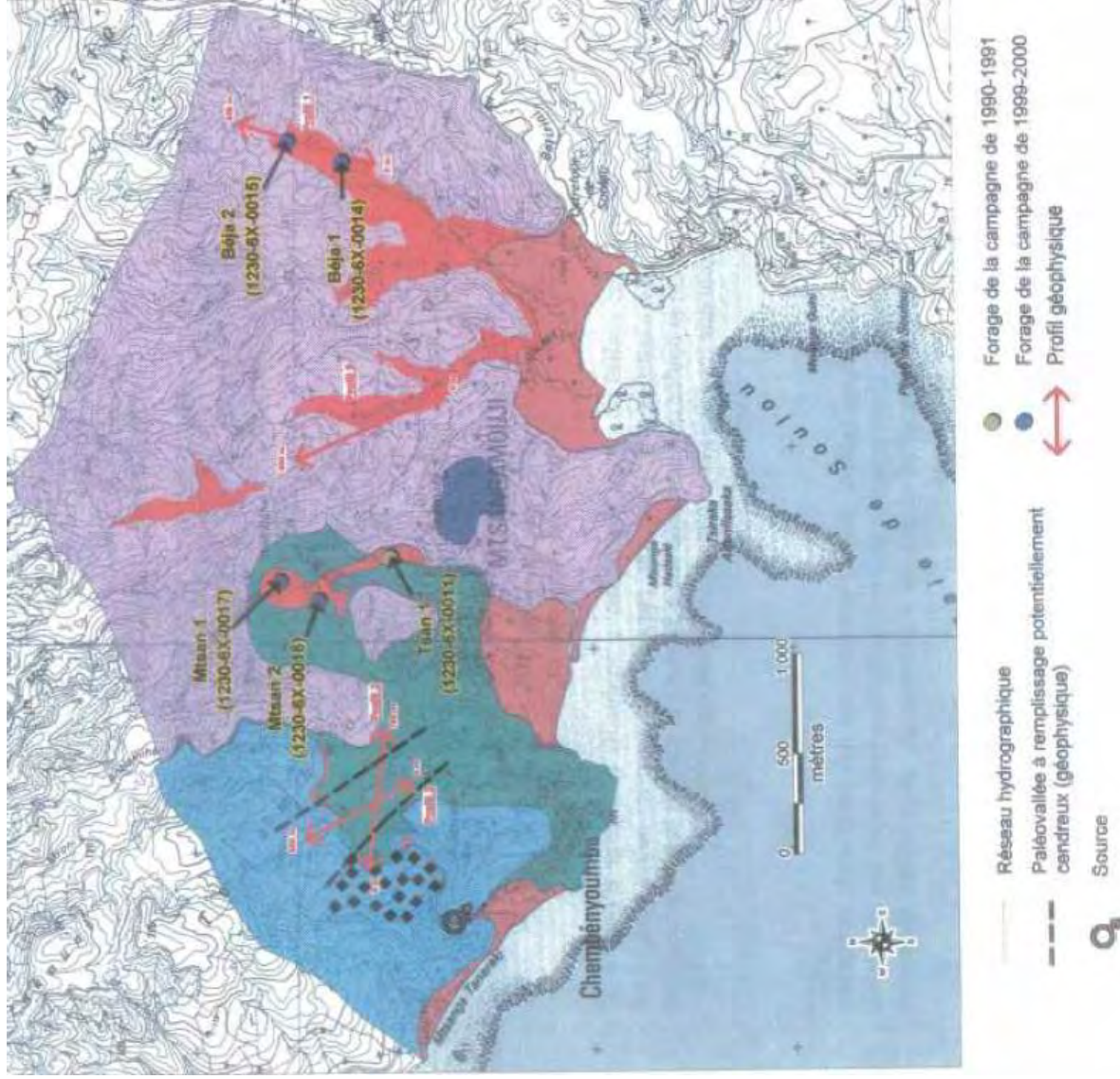


Illustration 6 - Carte lithologique interprétative du site de M'itsangamouji (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR)

En complément de la carte géologique, la carte lithologique détaillée en page précédente montre cinq principaux ensembles géologiques (cf. illustration 6). Des formations les plus anciennes vers les plus récentes, il s'agit :

- d'une unité basaltique riche en olivine avec quelques pyroxènes. Les coulées sont constituées de basalte gris avec un faciès d'altération en boule et semblent s'être mises en place selon une morphologie relativement tabulaire. Le forage M'tsangamouji 2 (12306X0016) recoupe cet ensemble. La fin de cet épisode semble marqué par une certaine incision des vallées et leur remplissage par des coulées plus épaisses (coulée de vallée du forage M'tsangamouji 1 (12306X0017/Mtsan1) à olivine et feldspaths), rattachées au même ensemble ;
- d'une unité basaltique dont la roche mère est riche en pyroxène et olivine formant les reliefs du Nord de Chembényoumba. A l'affleurement, ce basalte se présente sous la forme de blocs fissurés de taille métrique à plurimétrique ;
- d'une série différenciée de basaltes grenus à pyroxène, olivines et feldspaths interstratifiée de niveaux pyroclastiques. Ces laves montrent un faciès d'altération en boule ainsi que des altérites au niveau des reliefs. De plus, un niveau cendreux semble napper de manière quasiment continue le paléorelief du substratum de basaltes à olivine (dans la vallée d'Andrianabé, plus de 20 m d'épaisseur au forage M'tsangamouji 1). Cet épisode cendreux particulièrement puissant se trouve au contact entre le basalte à olivine et la série différenciée sous jacente ;
- d'un dôme de phonolite intrusif au niveau du sommet d'Andimaka ;
- de formations sédimentaires récentes (alluvions de remplissage des incisions quaternaires) limitées dans la partie aval de la vallée.

La coupe géologique suivante (cf. illustration 7) part du piton Andimaka (point noté A) et remonte ensuite le lit du cours d'eau vers sa source au Nord-Ouest (point B). Elle suggère l'existence d'une paléo-surface montrant un pendage apparent vers le Sud-Est et disséquée par l'érosion (certaines ravines actuelles la recoupent et atteignent les laves saines) (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-52193-FR).

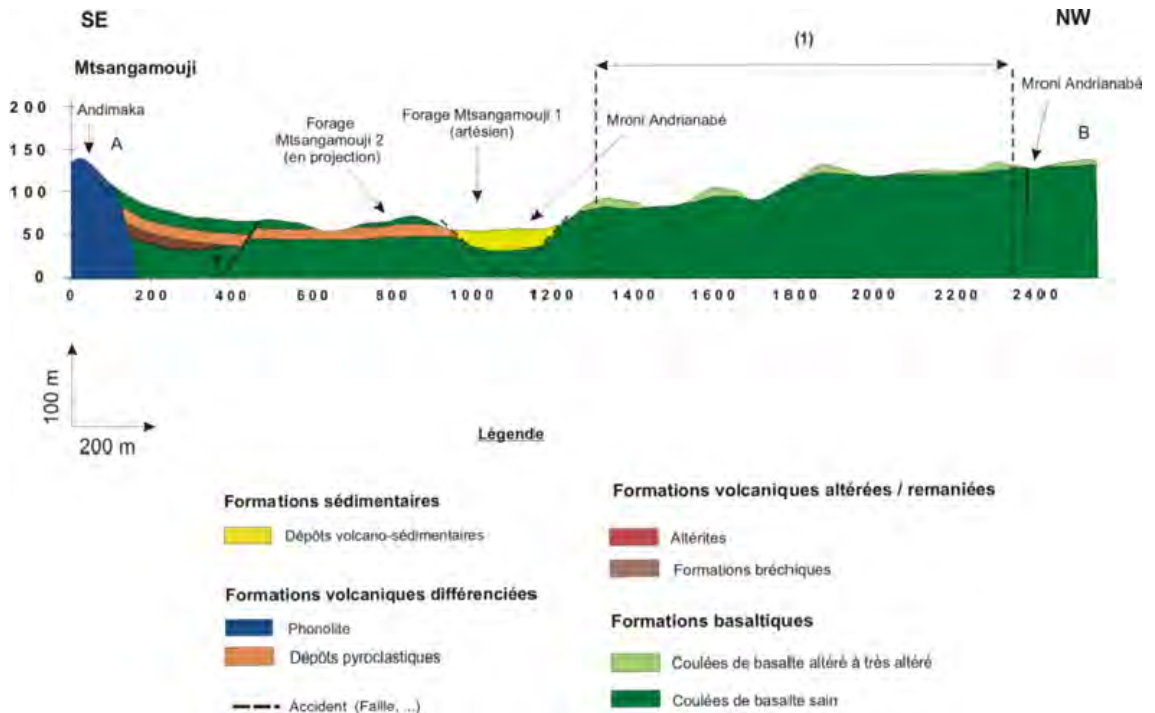


Illustration 7 - Coupe géologique interprétative M'tsangamouji-Andrianabé (massif volcanique de M'tsamboro) (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-52193-FR)

En remontant le cours d'eau depuis la station de traitement des eaux jusqu'à l'altitude 110 m NGM (campagne de terrain du 17 septembre 2009), on note que le substratum de la rivière est formé par différentes formations : cendres et scories à l'aval (entre le forage M'tsangamouji 2 et la côte 57 m NGM), des phonolites (entre la station de jaugeage et la prise d'eau d'Ampouriagna haut), des coulées de basaltes très fissurés à minéraux distinguables (bel affleurement 250 m en amont du captage). Il s'agit du substratum géologique local attribué au volcanisme du bouclier ancien méridional. Les levés de terrain permettent de préciser la carte géologique de L. Stieltjes.

Sur toute la longueur du cours d'eau, la rive gauche apparaît plus encaissée que la rive droite. C'est au niveau de cette rive gauche que la majorité des affleurements ont été recensés.

La rivière en contrebas de la station de traitement des eaux s'écoule au milieu des alluvions-colluvions et sa conductivité est de 225  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (cf. illustration 8).

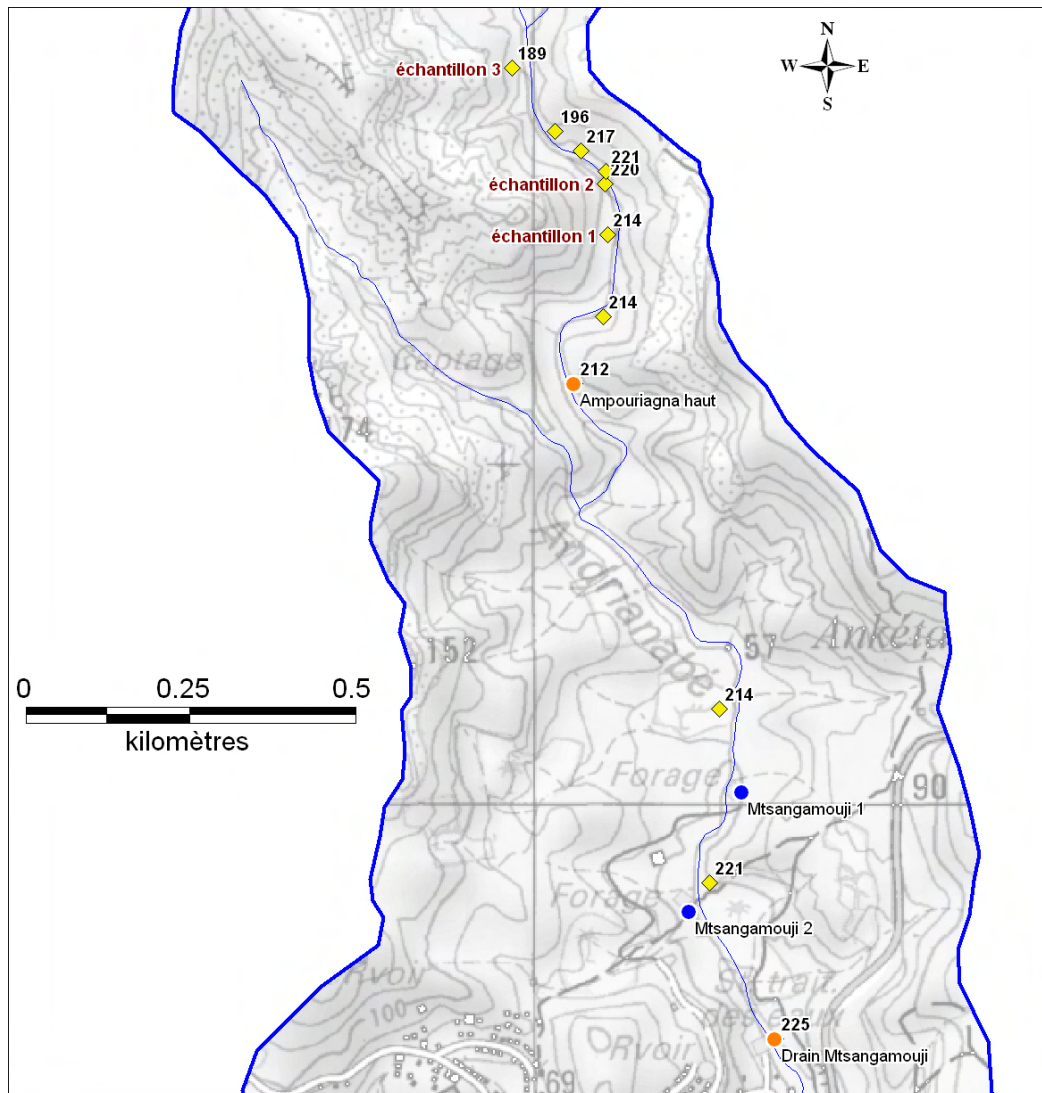


Illustration 8 - Mesures de conductivité (valeurs en mS/cm) et prise d'échantillons de roches sur le Mro Oua Andrianabé

Les formations pyroclastites rencontrées à l'affleurement dans la rivière Andrianabé, dans le secteur des forages M'tsangamouji 1 et 2, correspondent aux cendres et scories recoupées par le forage M'tsangamouji 1. Dans le lit de la rivière, la conductivité de l'eau est entre 214 et 221  $\mu\text{S/cm}$  (respectivement 130 m à l'amont du forage 1 et 55 m à l'amont du forage 2).

La cascade en aval du captage (vers la côte 60 m NGM) marque la rupture entre deux formations basaltiques. La hauteur de chute, estimée à 10 m environ, donne la taille de la coulée de basalte sous-jacente.



Plus haut, au niveau de la prise d'eau de surface d'Andrianabé (captage Ampouriagna haut), le lit mineur est large de 3,5 mètres et les berges sont peu entaillées (conductivité à 212  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , cf. illustration 8).

Des suintements puis des griffons<sup>1</sup> apparaissent en rive gauche au sein des basaltes fissurés vers la côte 100 m NGM. Les mesures de conductivité confirment leur origine souterraine (221  $\mu\text{S}/\text{cm}$  contre 214  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans le lit du ruisseau, cf. illustration 8). Le débit cumulé de ces griffons est estimé à environ 0,12 L/s sur une surface émergente de 6 m<sup>2</sup>. L'observation lithologique semble montrer que cette unité possède une perméabilité supérieure aux formations voisines (basaltes sous-jacents et cendres). Cette coulée de basalte très fissurée est composée d'une roche mélanocrate avec des feldsaphs dont des plagioclases, et beaucoup de verre amorphe (cf. échantillons 1 et 2 sur l'illustration 8).

En remontant la rivière, la conductivité diminue vers 196 puis 189  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (respectivement 100 m et 210 m en amont des griffons, cf. illustration 8). La fissuration des basaltes est nettement moins franche puisqu'on atteint une coulée différente avec des feldsaphs plagioclases, des amphiboles et des olivines altérées (cf. échantillon 3 sur l'illustration 8).

Comme indiqué au sein du rapport BRGM/RP-57299-FR, l'estimation de la vulnérabilité des captages du bassin versant du Mro Oua Andrianabé est en partie conditionnée par la donnée géologique. La carte lithologique présentée en illustration 6 est peu détaillée sur le bassin versant, la cartographie géologique retenue comme paramètre de calcul est celle réalisée par Stieltjes (Stieltjes – 1988). Bien que cette cartographie s'avère sensiblement moins précise et moins à jour localement, elle donne néanmoins la tendance géologique générale à l'échelle de l'ensemble du bassin versant.

---

<sup>1</sup> Orifice de sortie visible et localisé d'une source

## 2.5. MORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE DU COURS D'EAU

La rivière d'Andrianabé est globalement orientée Nord Sud et son parcours est relativement encaissé en amont du cours d'eau. Le cours d'eau est pérenne jusqu'à l'altitude d'environ 310 m NGM.

Le cours d'eau est composé de quatre affluents principaux : 3 à l'amont et 1 au milieu du bassin versant topographique. C'est non loin de ce dernier affluent que se trouve la prise d'eau de surface appelée « Ampouriagna haut ». La confluence entre cet affluent capté et le cours d'eau principal se situe quasiment au contact géologique entre les altérites ferrallitiques et les basanites altérées.

Le développement du réseau hydrographique du bassin montre une densité de drainage ( $D_d$ ) de 2,7 km/km<sup>2</sup> et une densité hydrographique (F) de 2,6 canaux/km<sup>2</sup> environ. On peut noter que la densité de drainage est supérieure à la moyenne calculée sur l'ensemble de l'île (2,44 km/km<sup>2</sup>), idem pour la densité hydrographique (1,96 canaux/km<sup>2</sup>). Ceci est sans doute lié au fait que le bassin est situé dans la partie Nord de l'île, c.à.d. soumis à un régime de précipitations parmi les plus importants. Ces densités de drainage  $D_d$  et hydrographique F sont significatives d'un bassin qui serait propice au ruissellement. L'illustration 1 montre que le réseau hydrographique est surtout développé dans la moitié amont du bassin versant topographique. Ces fortes densités peuvent aussi s'expliquer par de l'exfiltration (émergences de nappes qui alimentent directement la rivière) ce qui conduit à relativiser le caractère ruisselant du bassin.

Entre 15 m et 205 m d'altitude, le profil en long du cours d'eau (cf. illustration 9) montre une très bonne régularité de la pente (BRGM 2000, rapport BRGM/RC-50355-FR). Au-dessus de 205 m la pente est plus forte et en-dessous de 15 m la pente est plus faible au niveau du village de M'tsangamouji. A part dans sa partie la plus amont, aucun accident majeur (cascades et chutes) ne marque son cours. Sa partie basse doit être soumise à l'influence des marées. Ces dernières, lorsqu'elles sont hautes, peuvent remonter à l'intérieur des terres et inonder les parties basses du village.

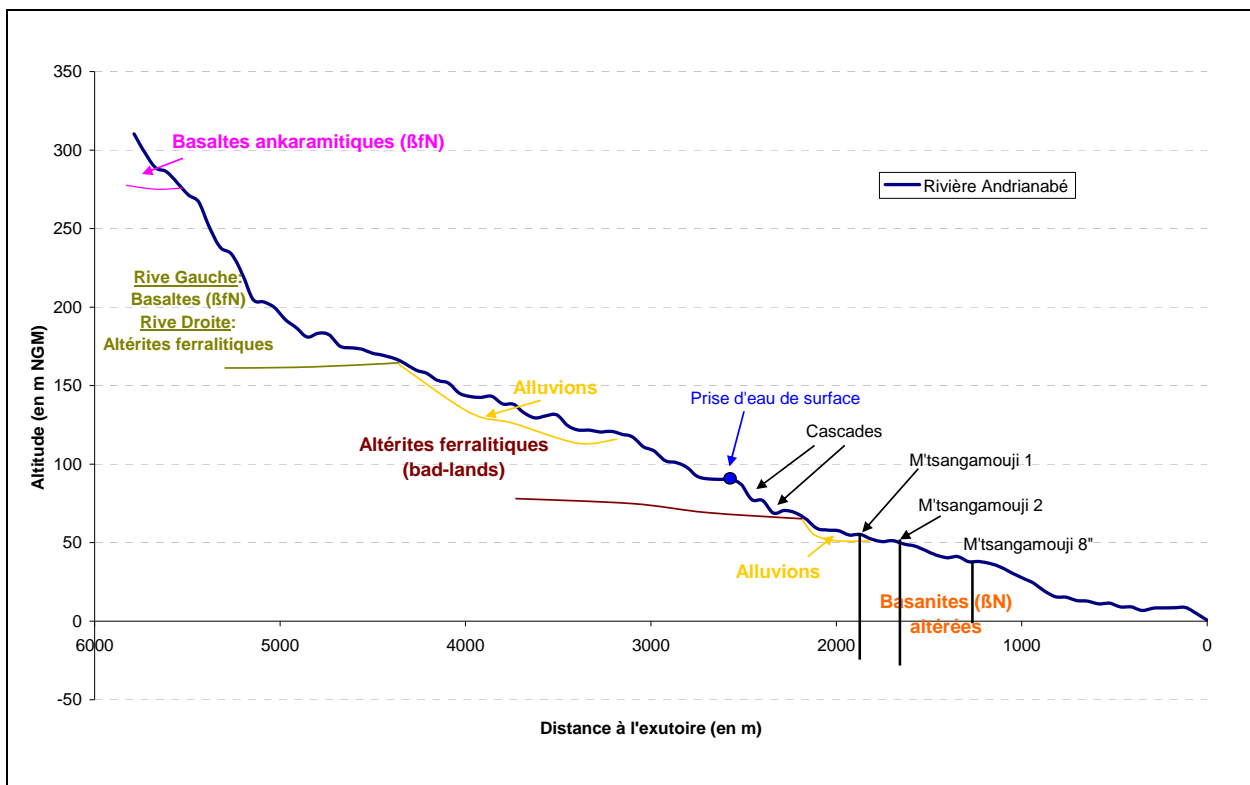
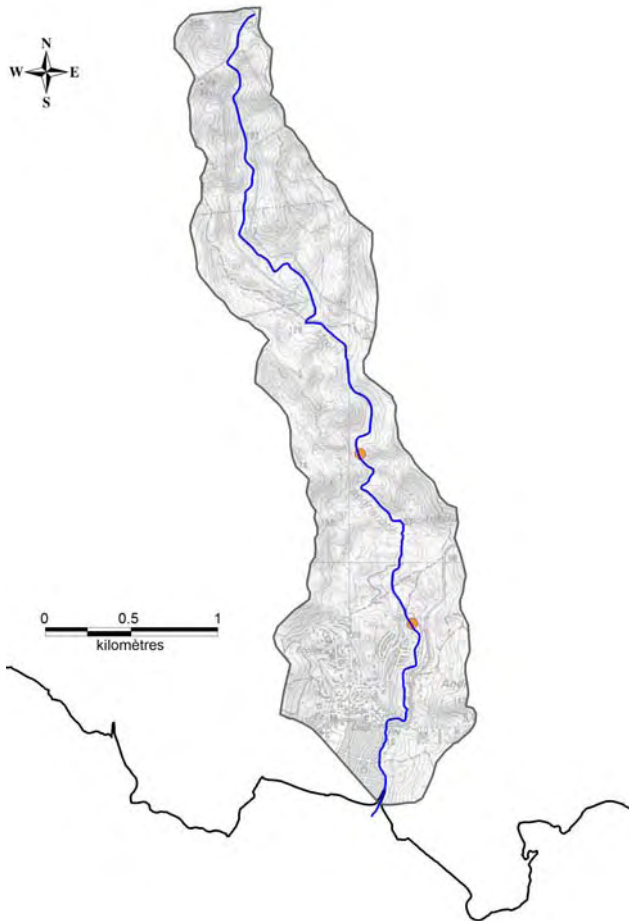


Illustration 9 - Profil en long du Mro Oua Andrianabé (les annotations correspondent aux limites de la carte géologique). Le développement en profondeur des limites est indicatif. La localisation du profil est donnée en Illustration 10.

Le bassin versant du Mro Oua Andrianabé présente un profil en long singulier qu'il est possible de diviser en 3 parties :

- une section amont entre 310 et 205 m NGM à pente forte (environ 16 %) dont l'allure s'approche d'une droite ;
- une section intermédiaire entre 205 et 15 m NGM marqué par un profil quasi linéaire comportant des dépôts alluvionnaires (cf. illustration 9). La pente moyenne est de l'ordre de 4 % sur cette section ;
- une section aval entre 15 et 0 m NGM à pente très faible, correspondant au développement méandrique dans la plaine alluviale de faible extension, plus précisément au niveau du village de M'tsangamouji. La pente est de l'ordre de 2 %.

De même que les autres principaux cours d'eau de Mayotte, le Mro Oua Andrianabé fait l'objet d'un suivi de débits opéré par la DAF. Les mesures de débit sont réalisées au micromoulinet jusqu'à 1 à 2 fois par semaine (cf. illustration 11).



*Illustration 10. Localisation du profil en long du Mro Oua Andrianabé représenté en illustration 9. Les affluents ne sont pas notés.*

*Illustration 11 - Jaugeage du Mro Oua Andrianabé au seuil G12H (photographie DAF de Mayotte antérieure à 2008)*



Les débits du Mro Oua Andrianabé sont mesurés à l'aval de la prise d'eau (cf. illustration 1) après la confluence avec un affluent rive droite (lèvre en amont du tuyau en fonte 150), c.à.d. uniquement dans la moitié amont du bassin versant topographique (station codée G12H dans les annuaires de la DAF et la thèse de J. Lapègue, 1999<sup>1</sup> - altitude 69 m NGM). Le code BSS 12306X0060/G12H a été attribué à cette station en 2009. L'illustration 12 renseigne la chronique des débits. Selon la DAF, la superficie de bassin versant contrôlée par cette station est de 2.01 km<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> La codification des stations de jaugeage sera révisée lors de la mise en place de la BD CARTHAGE à Mayotte.

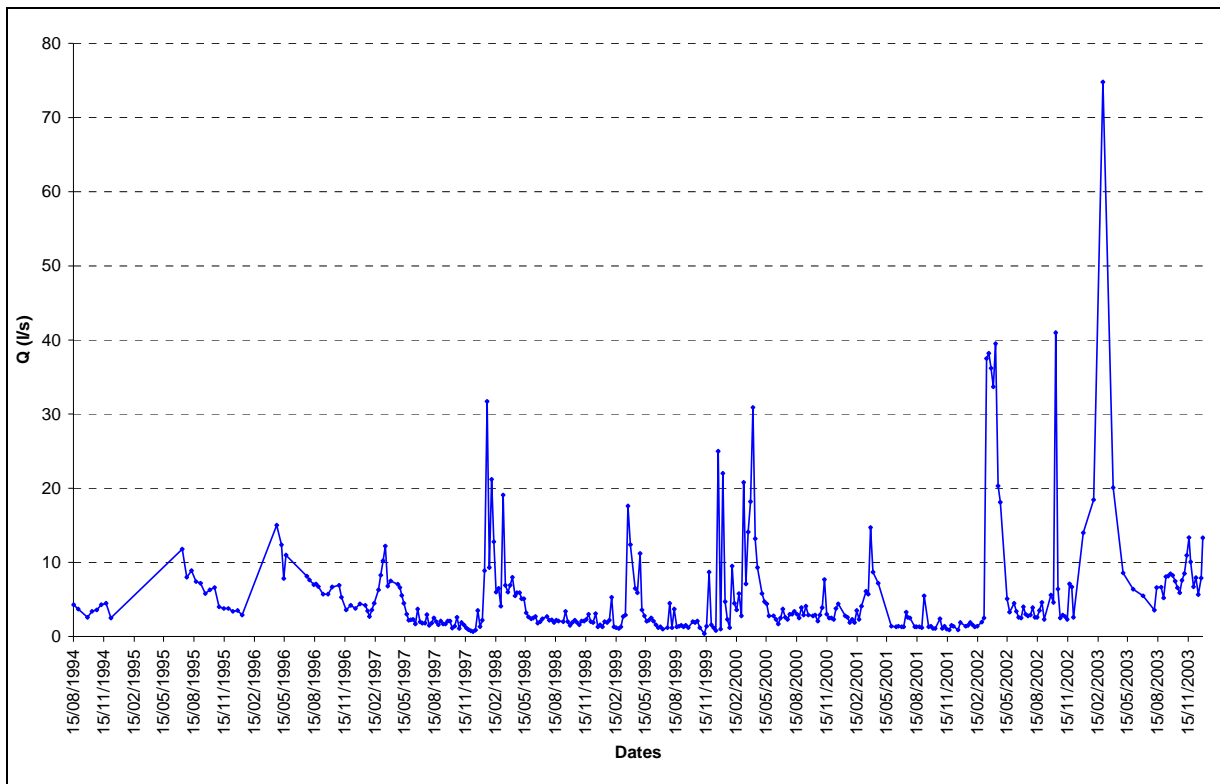


Illustration 12 - Chronique des débits du Mro Oua Andrianabé enregistrés au seuil G12H entre 1994 et 2003 (données DAF de Mayotte)

En l'absence de toute archive méthodologique sur les modalités de mesure des débits, il convient de garder une certaine réserve sur la pertinence de ces données. La DAF procède à l'heure actuelle à une validation des données couvrant la période 2003-2009.

En observant la station de jaugeage lors de la sortie de reconnaissance du 17 septembre 2009, des fuites d'eau passant sous le seuil ont été observées à droite du tuyau d'évacuation en fonte. La mesure effectuée n'englobe donc pas tout le débit.

D'après l'annuaire de la DAF de 2001, le débit moyen de la rivière Mro Oua Andrianabé à la prise d'eau est de 4,8 L/s. D'après les travaux de Jean Lapègue, les débits caractéristiques de tarissement sont de 5,4 L/s (moyen) et 1,4 à 2,5 L/s (minimum) lors des saisons sèches de 1993, 1995 et 1997 (au regard de l'illustration 12, les débits d'étiage entre juin et décembre sont couramment sous la barre des 5 L/s). Le débit spécifique annuel calculé à hauteur de la station (superficie de 2.01 km<sup>2</sup>) est compris entre 0,7 et 1,2 L/s/km<sup>2</sup>, ce qui témoigne d'une faible restitution des eaux souterraines dans les eaux de surface (pour information, à Mayotte, la moyenne des débits spécifiques de 1993 est de 2 L/s/km<sup>2</sup> pour 10 cours d'eau permanents, source : J. Lapègue, 1999). La part des eaux souterraines

restituées au BAC de surface apparaît donc faible comparativement à l'emprise du bassin versant de surface.

Cette conclusion doit être nuancée car le débit de la rivière est vraisemblablement sous-estimé (méthode de prise de la mesure, pas de temps irrégulier) et influencé (captage d'Ampouriagna haut situé en amont de la station de jaugeage). De plus, les griffons, observés lors de la sortie de reconnaissance du 17 septembre 2009, montrent que les eaux souterraines soutiennent l'écoulement de la rivière à l'étiage.

La partie du bassin située en amont de la station de jaugeage favorise donc à la fois l'infiltration, l'exfiltration et le ruissellement de surface. Ceci entraîne une densité hydrographique assez importante sur le bassin versant du Mro Oua Andrianabé et une prise d'eau de surface toujours en eau.

Quelques éléments concernant la morphologie et le fonctionnement du cours d'eau sont également à signaler.

- i. Hydrologiquement, la présence en amont du drain de M'tsangamouji de laisses de crue à 1,5 m de hauteur par rapport au niveau d'étiage du cours d'eau témoigne d'épisodes de crue important - non sans effet sur le profil de la rivière et sur les matériaux charriés lors de ces épisodes.
- ii. La présence de camarons (écrevisses) dans la portion du cours d'eau en amont de la prise d'eau d'Andrianabé (captage Ampouriagna haut) est un indice de la bonne qualité chimique des eaux.

En conclusion, il ressort de ces observations que le bassin versant du Mro Oua Andrianabé montre un profil avec des pentes assez variées, indice d'une composition géologique différente. Les débits spécifiques d'étiage semblent faibles (en se basant sur les débits mesurés assez critiquables) malgré une pluviométrie élevée, ce qui montrerait que le bassin est infiltrant. La forte densité hydrographique et les émergences observées sur le terrain indiquent que le bassin est également soumis aux phénomènes de ruissellement et exfiltration. Ces informations ont leur importance en termes de vulnérabilité des eaux souterraines.

## 2.6. MORPHOPEDOLOGIE

Le bassin versant topographique est de forme très allongée et de nombreux padzas s'y développent. Situés sur les flancs de la partie amont du bassin, ils représentent environ 35 % de sa surface (BRGM 2000, rapport BRGM/RC-50355-FR). Ils ne sont pas tous au même stade d'évolution : certains sont en cours de formation et possèdent une végétation herbacées, d'autres en sont à leur stade ultime (complètement à nu) et en expansion.

Les informations apportées par la carte morphopédologique du CIRAD (Latrille E. et al. 1981, et illustration 13) montrent que les formations pédologiques superficielles du bassin versant du Mro Oua Andrianabé se découpent selon cinq formations principales qui sont décrites ci-dessous.

D'amont en aval, les premières formations rencontrées sont des sols de type altérites ferralitiques remaniés en surface qui couvrent les fonds de vallées et les versants à compter de 50 m NGM.

Les crêtes bordant le bassin versant (au-delà de 150 m NGM) sont identifiées comme des formations de bad-lands (ou « padzas » en shimahorais) qui correspondent à des altérites en place, non remaniées et relativement développées en profondeur. Ces formations se caractérisent par une perméabilité verticale élevée dans les premiers mètres mais très imperméables en profondeur (Lapègue J. 1999).

La partie aval du bassin versant (versants et sommets sous 150 m NGM environ) se caractérise par le développement d'altérites ferralitiques par remaniement des sols anciens. Ces formations, très proches en composition des formations altéritiques remaniées supérieures ont un comportement assez similaire en termes de susceptibilité à l'infiltration (sols classés génériquement sous le faciès des sols ferralitiques remaniés).

Localement, les fonds de vallée sont tapissées de formations colluvionnaires et alluvionnaires ; formations composites d'accumulation. La perméabilité de ces formations est très variable d'un bassin à l'autre.

En aval, au niveau du village de M'tsangamouji, se développent des formations superficielles de type alluvionnaires en environnement proxy-littoral. Ces formations se caractérisent par l'accumulation des produits d'érosion des versants (fractions fines et argiles vasardes) et les sables et argiles littoraux.



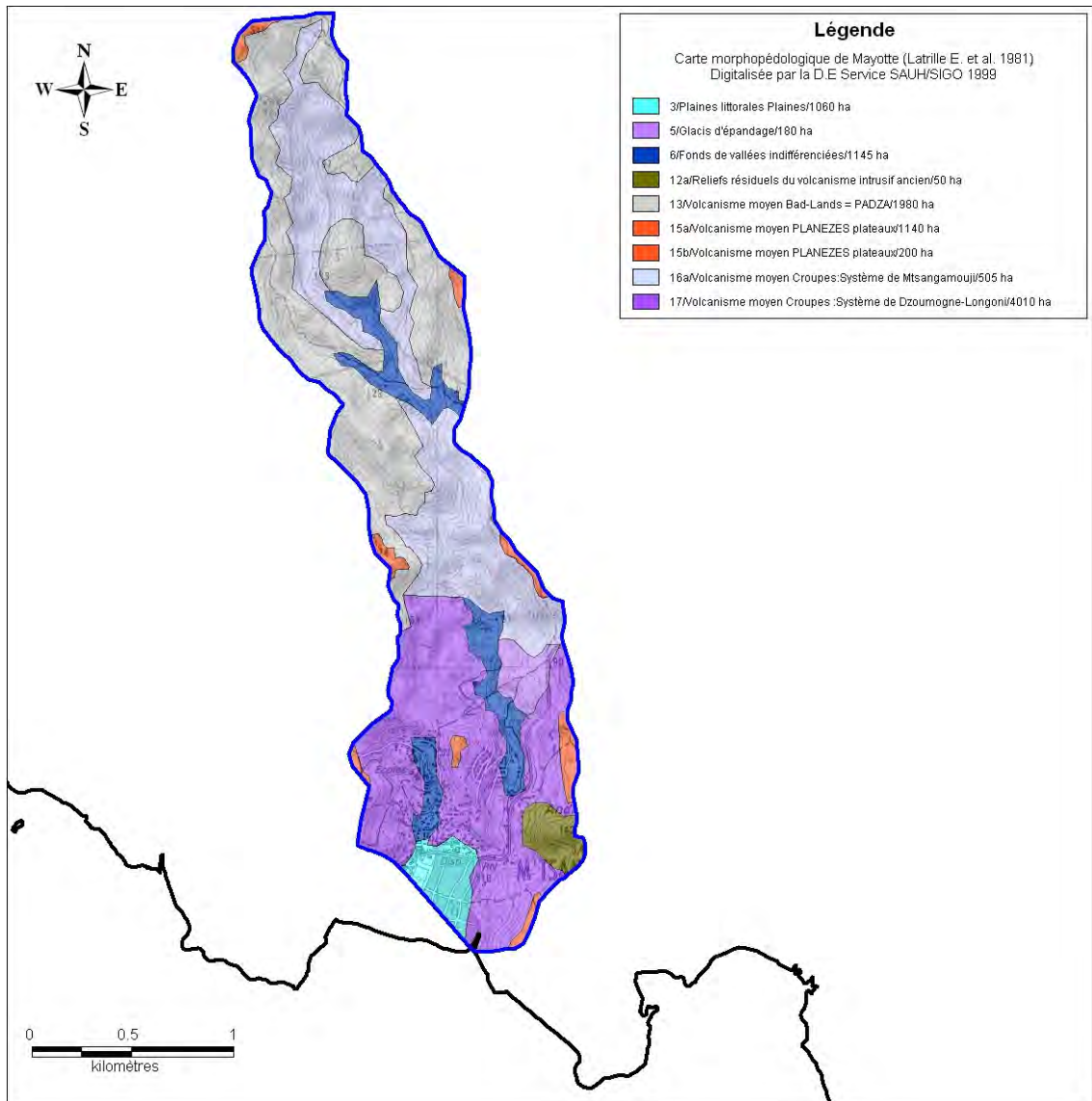


Illustration 13 - Formations pédologiques du bassin versant du Mro Oua Andrianabé 1/50 000 (Latrille E. et al. 1981)



### 3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage

#### 3.1. LA PRISE D'EAU DE SURFACE - BSS 12306X0054/AMPCAP

##### 3.1.1. Présentation

La prise d'eau de surface d'Andrianabé (appelée aussi captage Ampouriagna haut) est placée sur le cours d'eau principal en milieu de bassin versant à une altitude de 98 m NGM. Les informations relatives au captage sont compilées dans le tableau 2.

<b>Nom</b>	Prise d'eau d'Andrianabé (captage Ampouriagna haut)
<b>Code Commune</b>	98513
<b>Commune</b>	MTSANGAMOUI
<b>Section</b>	AI
<b>Titre</b>	R9252
<b>Parcelle</b>	63
<b>Coord X<sub>RG04</sub></b>	509 335 m
<b>Coord Y<sub>RG04</sub></b>	8 590 851 m
<b>Coord Z<sub>NGM</sub></b>	98 m
<b>Code BDAEP</b>	/
<b>Code BSS</b>	12306X0054/AMPCAP
<b>Chronique prélèvement</b>	Débitmètre
<b>Date de création</b>	1992
<b>Mode exploitation</b>	Dérivation cours d'eau puis écoulement gravitaire
<b>Remarque</b>	Bon état de l'ouvrage

Tableau 2 - Informations relatives à la prise d'eau d'Andrianabé (sources : SIEAM et BRGM)

Un seuil en béton barre le lit principal du cours d'eau de la rivière d'Andrianabé (à noter : l'absence de passe à poissons). Une partie de l'eau retenue suit un circuit en dérivation (cf. illustration 14). L'eau passe à travers deux grilles puis est ensuite prélevée au niveau d'une crépine d'un diamètre d'environ 180 mm. L'état général de l'ouvrage est bon et la dérivation refoule une partie des débits dans le cours d'eau.

Via un écoulement gravitaire au moyen d'une conduite apparente située en rive droite de la rivière, les prélèvements effectués à cette prise d'eau sont dirigés vers la station de traitement des eaux de M'tsangamouji. L'eau traitée rejoint ensuite les réservoirs de M'tsangamouji et Chembényoumba (cf. illustration 15). Lors de la reconnaissance de terrain du 17 septembre 2009, des fuites conséquentes ont été observées à deux endroits de la canalisation : 100 m après le début du sentier qui mène à la prise d'eau à environ 60 m NGM (fuite tout autour d'un raccord de tuyau) et 30 m en aval du seuil de jaugeage à environ 70 m NGM (geyser de 1,5 m de haut).

La pratique des prélèvements en rivière n'est régulée que par les besoins en eaux des villages de la commune de M'tsangamouji et alentours (cette information est vérifiable sur tous les captages en rivière de l'île). Les débits nominaux d'exploitation du captage ne sont pas soumis à la notion de débit réservé. Ces prélèvements, permanents durant l'année, sont connus et enregistrés depuis mars 2007 grâce à un débitmètre posé en tête d'ouvrage. Le débit moyen exploité par la SOGEA, entre mars 2007 et août 2009, est de 2 099 m<sup>3</sup>/semaine (cf. illustration 16). Durant la première année d'exploitation, les prélèvements ont diminué et depuis ils semblent stables.

A noter qu'on accède à l'ouvrage après 15 minutes de marche à coté de la rivière en partant d'une piste carrossable.



*Illustration 14 - La prise d'eau de surface du Mro Oua Andrianabé (photographies BRGM du 17 septembre 2009)*

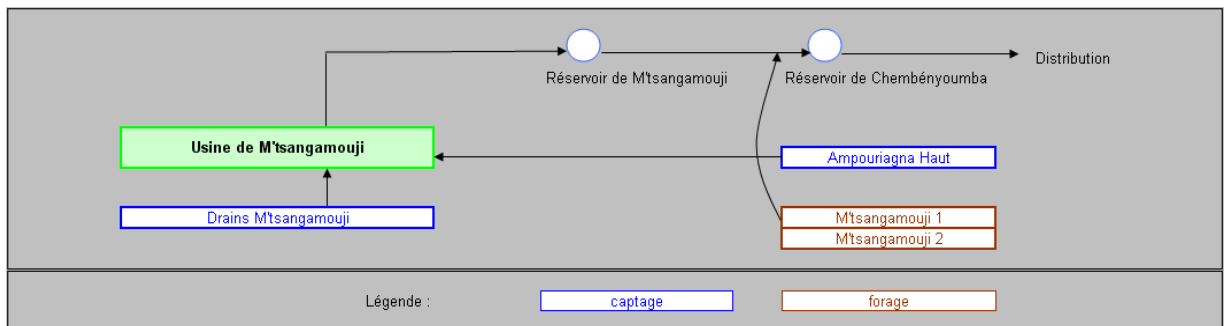
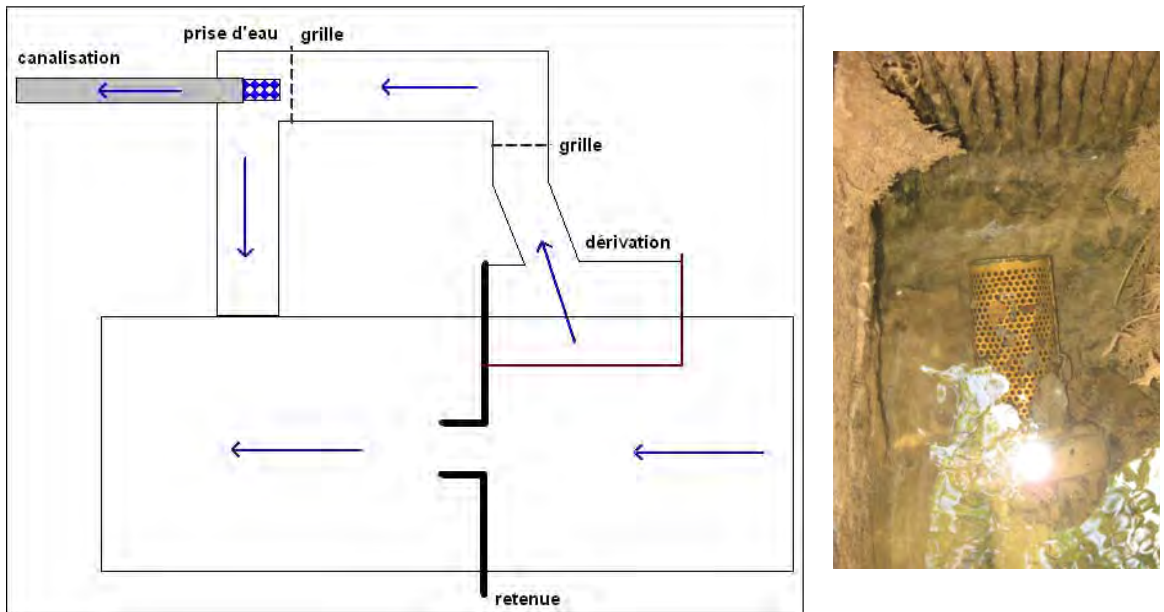


Illustration 15 - Schéma du mode de fonctionnement des captages d'eau potable sur le bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé (source : SOGEA)

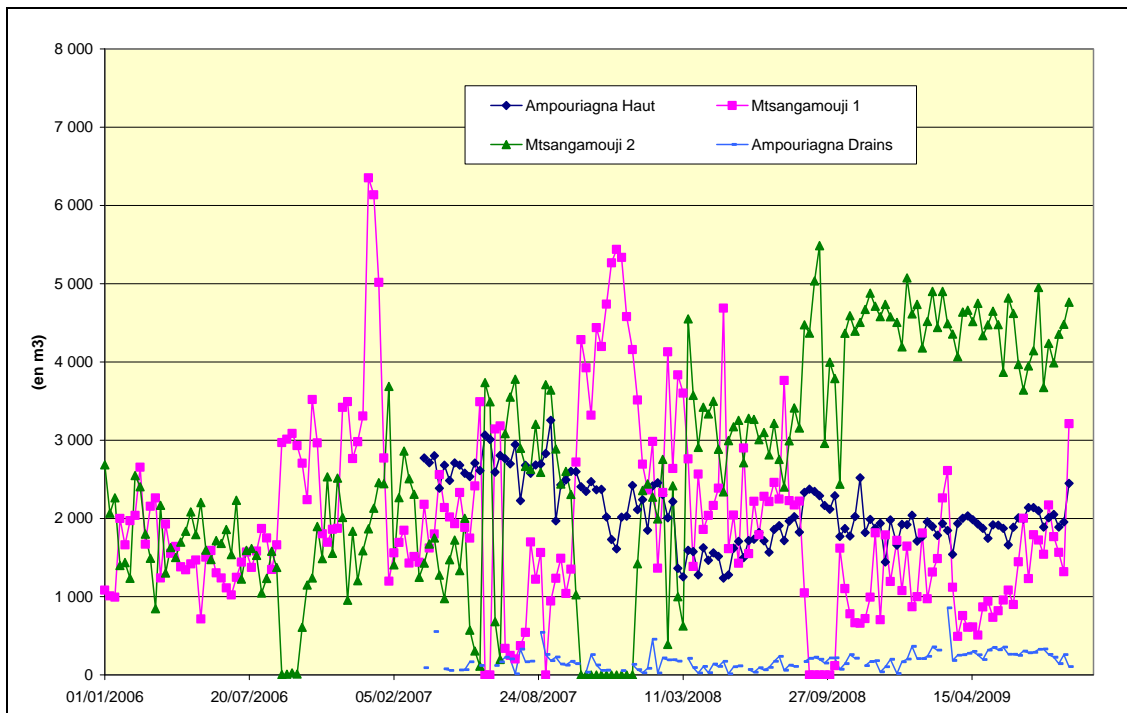


Illustration 16 - Volumes prélevés par semaine pour l'eau potable sur le Mro Oua Andrianabé (données SOGEA)

### 3.1.2. Qualité des eaux

En ce qui concerne la qualité des eaux brutes prélevées dans le Mro Oua Andrianabé, le recensement de 2008 (A. Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR) indique que 21 analyses existent et sont réparties de la façon suivante (cf. illustration 17) :

- 1 analyse de la DASS a été faite en 2009 sur le captage M'tsangamouji (Ampouriagna haut) ;
- 4 analyses ont été réalisées entre 2000 et 2007 au niveau du point « Mro Andrianabé Amont » (X=509 426 m et Y=8 590 056 m) ;
- 16 analyses concernent le point « Mro Andrianabé Aval » (X=509 196 m et Y=8 589 313 m) entre 1993 et 2005. Les résultats des analyses ainsi que la source des données sont reportés en annexe 2. Ce point semble être le lieu le plus analysé de Mayotte (A. Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR).

Ces deux derniers points de prélèvements sont localisés à l'aval du Mro Oua Andrianabé et très à l'aval du captage Ampouriagna haut.



Illustration 17 - Localisation des points de prélèvements ayant fait l'objet d'analyses sur le Mro Oua Andrianabé (les points rouges concernent les eaux souterraines et les points bleus les eaux de surface)

Bien qu'il faille apporter quelques réserves quant à la validité des analyses, l'examen des résultats témoigne d'une variabilité importante des paramètres :

- Les pics de turbidité (jusqu'à 17 NTU) - représentative de la quantité de transport solide dans la rivière conséquemment au lessivage et à l'érosion des sols entraînés par les aménagements et les pratiques agricoles – conduisent bien souvent à la fermeture du captage, notamment en période de hautes eaux lorsque les régimes hydrologiques sont forts (cf. observations inscrites dans le rapport BRGM/RP-57299-FR). Les pics sont visibles sur le point « Mro Andrianabé Aval ». A l'heure actuelle ces pics de turbidité sont les nuisances les plus importantes exercées sur les eaux de surface (informations SOGEA).
- Les concentrations en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  (assimilées) semblent être plus importantes en saison sèche qu'en saison des pluies (respectivement 24 et 17,1 mg/L en octobre-novembre et 9,6 et 9,2 mg/L en février-mars). Ces variations témoignent 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. Les valeurs de conductivité vont dans ce sens, elles sont un peu plus élevées en saison sèche (autour de 235  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en juin-juillet contre 205  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en février-mars) qu'en saison des pluies et supposent une alimentation du cours d'eau par les nappes plus chargées.

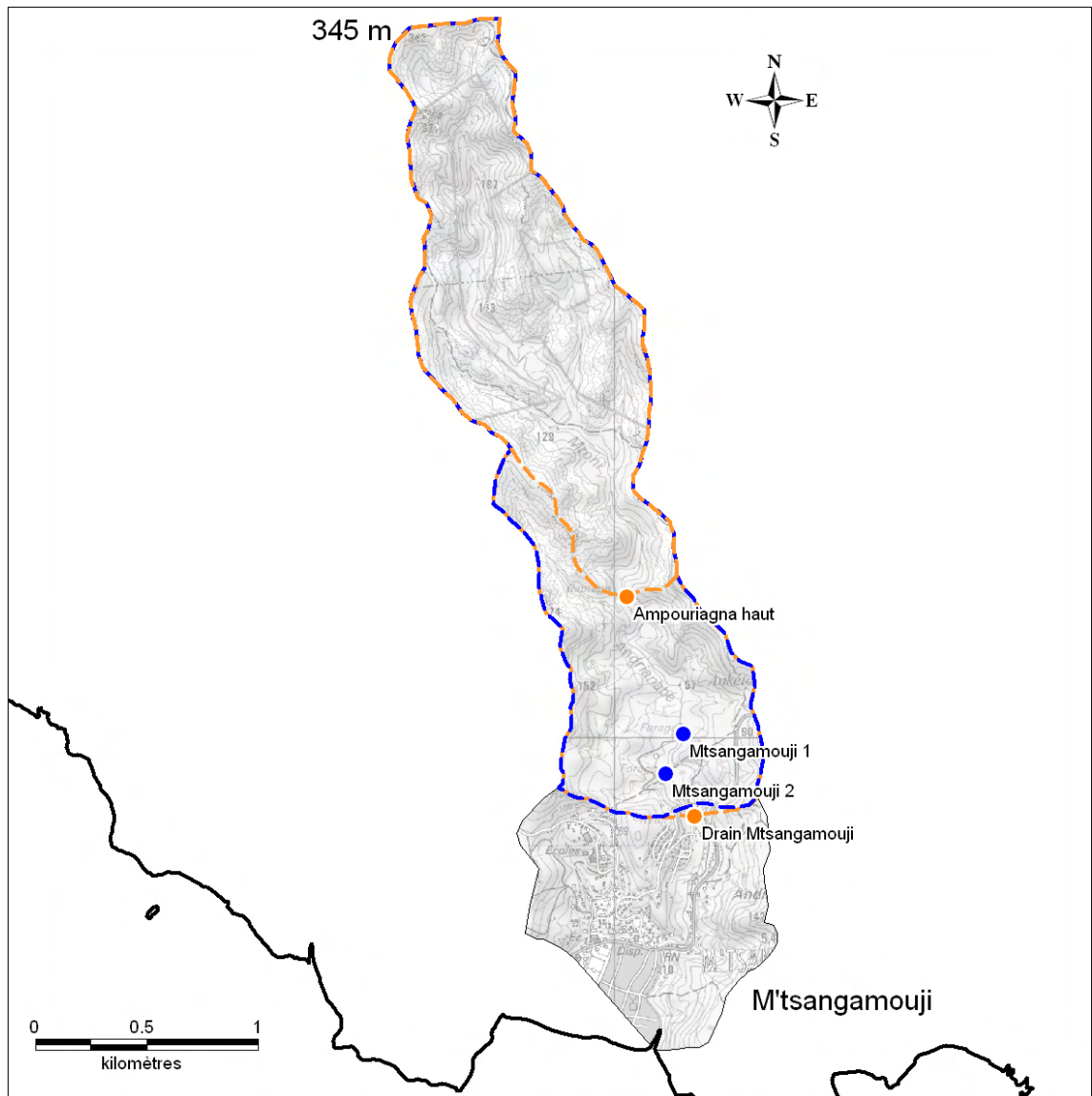
- Les concentrations en Fer mesurées oscillent entre 0 et 0,41 mg/L. 4 analyses (3 sur le point « Mro Andrianabé Aval » et 1 sur le point « Mro Andrianabé Amont ») ont des valeurs légèrement supérieures aux concentrations maximales admissibles pour l'eau potable (0,2 mg/L) qui peuvent s'expliquer par le fond géochimique (basaltes avec amphiboles et olivines). Ces points sont situés à l'aval des captages AEP dont l'eau n'est à priori pas traitée pour éliminer l'excès de fer.
- Des éléments indésirables (Baryum et Bore) et toxiques (Nickel) ont été mesurés aux points « Mro Andrianabé Amont » et « Mro Andrianabé Aval ». Ces teneurs sont néanmoins inférieures aux concentrations maximales admissibles pour l'eau potable.
- De nombreux germes ont été dénombrés dans les analyses (aux points « Mro Andrianabé Amont » et « Aval ») : streptocoques, coliformes, germes aérobies et spores, signes d'une activité bactériologique très forte.

### 3.1.3. Délimitation du BAC

Par conséquent, en ce qui concerne la délimitation du BAC de surface du captage d'Ampouriagna haut, elle correspond au bassin versant de surface du Mro Oua Andrianabé en amont de 98 m NGM (cf. illustration 18). Au départ du captage, la limite du BAC se poursuit à l'Est jusqu'au point coté 161 m NGM, puis remonte vers le Nord en passant par plusieurs padzas dont celui situé à 301 m NGM. Depuis le point le plus au Nord du BAC, la limite part vers l'Ouest en direction du sommet du bassin versant topographique à 345 m NGM. Elle redescend ensuite direction Sud en épousant la frontière du bassin versant du Mro Oua Andrianabé jusqu'à une crête à 210 m NGM. De ce point, la limite redescend au captage par la ligne de plus grande pente en direction du Sud-est.

La surface du BAC mesurée est de 1,65 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 6,7 km, ce qui correspond à 47 % du bassin versant total de l'ensemble du Mro Oua Andrianabé.





*Illustration 18 - Découpage des bassins d'alimentation de captage du bassin versant du Mro Oua Andrianabé. En orange les BAC de la prise d'eau de surface et du drain et en bleu le BAC des forages de M'tsangamouji 1 et 2*

### 3.2. LE DRAIN - BSS 12306X0055/AMPDRA

#### 3.2.1. Présentation

Le drain de M'tsangamouji (appelé aussi Ampouriagna drain) est positionné à l'aval du cours d'eau Andrianabé, à côté et en contrebas de la station de traitement des eaux de M'tsangamouji, à une altitude de 36 m NGM (ce qui correspond à une partie basse du bassin). Les informations relatives au captage sont compilées ci-dessous.

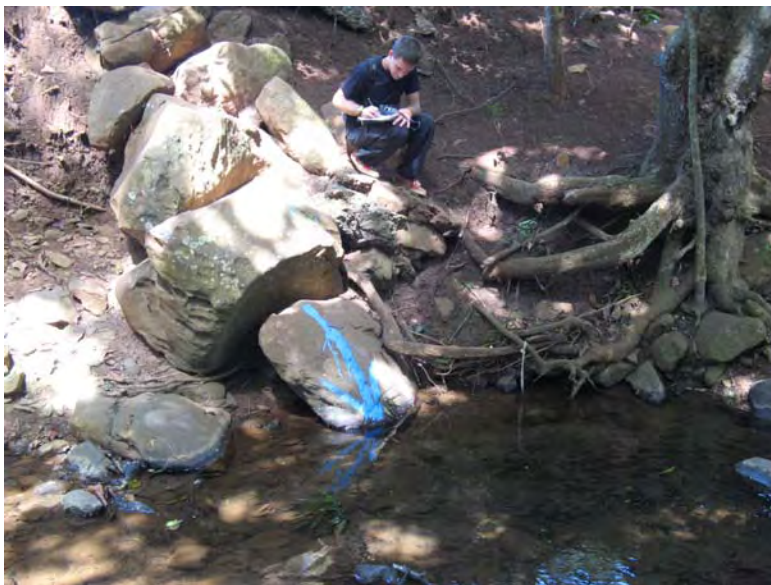
<b>Nom</b>	Drain de M'tsangamouji (Ampouriagna drain)
<b>Code Commune</b>	98513
<b>Commune</b>	MTSANGAMOUI
<b>Section</b>	AN
<b>Titre</b>	/
<b>Parcelle</b>	112
<b>Coord X<sub>RGM04</sub></b>	509 637 m
<b>Coord Y<sub>RGM04</sub></b>	8 589 864 m
<b>Coord Z<sub>NGM</sub></b>	36 m (MNT IGN 2009)
<b>Code BDAEP</b>	/
<b>Code BSS</b>	12306X0055 / AMPDRA
<b>Chronique prélèvement</b>	Non comptabilisé
<b>Date de création</b>	1992
<b>Mode exploitation</b>	gravitaire, en saison sèche
<b>Remarque</b>	Drain PVC bas qui verse dans un réservoir de la station de traitement des eaux

Tableau 3 - Informations relatives au drain de M'tsangamouji (sources : SIEAM et BRGM)

Le prélèvement du drain est effectué en aval de la rivière d'Andrianabé. Le drain de M'tsangamouji est composé d'un tube PVC d'un diamètre d'environ 180 mm qui est cassé à son extrémité.

Les prélèvements sont effectués uniquement en saison sèche. Ils ne sont pas comptabilisés en sortie d'ouvrage mais ils peuvent être estimés à partir de la différence entre le débit de production de la station de traitement de M'tsangamouji et celui prélevé à la prise d'eau de surface d'Andrianabé (appelée aussi captage Ampouriagna haut), puisque ce sont ces deux captages qui alimentent la station (cf. illustration 15). Le débit moyen exploité par la SOGEA, entre mars 2007 et août 2009, serait de 187 m<sup>3</sup>/semaine (cf. illustration 16). Les prélèvements semblent stables et faibles par rapport aux 3 autres ouvrages.

L'accès à l'ouvrage se fait en descendant de la station de traitement en passant par une porte grillagée et cadennassée. Une flèche bleue dessinée à la peinture sur un rocher indique l'emplacement du drain (cf. illustration 19).



*Illustration 19 - Le drain de M'tsangamouji (photographie BRGM du 17 septembre 2009). La flèche bleue peinte sur le bloc indique la position du drain*

Les prélèvements effectués au niveau de ces drains sont dirigés vers la station de traitement des eaux de M'tsangamouji, puis vers les réservoirs de M'tsangamouji et Chembényoumba (cf. illustration 15).

A noter que lors de la visite sur le terrain le 17 septembre 2009, plusieurs bouénis<sup>1</sup> faisaient leurs lessives à une dizaine de mètres du drain.

### **3.2.2. Qualité des eaux**

Aucune analyse d'eau n'est recensée sur le drain de M'tsangamouji.

---

<sup>1</sup> « Femmes » en shimahorais.

### **3.2.3. Délimitation du BAC**

La délimitation du BAC de surface du drain de M'tsangamouji correspond au bassin versant de surface du Mro Oua Andrianabé en amont de 36 m NGM (cf. illustration 18). Au départ du captage, la limite du BAC se poursuit à l'Est jusqu'au point coté 113 m NGM, puis remonte vers le Nord en passant par la ligne de crête jusqu'à la limite du BAC d'Ampouriagna haut. A partir du point coté 161 m NGM, les limites des deux BAC sont identiques sur toute la partie amont du bassin versant. Les limites se séparent au haut topographique du bassin versant de l'affluent droit du Mro Oua Andrianabé (environ 210 m NGM). La limite se dirige vers le Sud en passant par les points cotés 174 et 152 m NGM jusqu'à proximité du réservoir de Chembényoumba. De ce point, la limite redescend au drain par la ligne de plus grande pente en direction de l'Est en passant un peu au Nord du réservoir de M'tsangamouji.

La surface du BAC mesurée est de 2,57 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 9,3 km, ce qui correspond à 73 % du bassin versant total de l'ensemble du Mro Oua Andrianabé.

### 3.3. LES FORAGES DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA ANDRIANABE

L'exploitation des forages a débuté en 2004. Les études réalisées pendant les travaux des ouvrages de M'tsangamouji 1 et de M'tsangamouji 2 montrent que la partie aval du bassin d'Andrianabé a un potentiel hydrogéologique significatif (aquifère montrant une très bonne aptitude à la gestion active, perméabilité élevée, réserves significatives).

#### 3.3.1. Le forage de M'tsangamouji 1 - BSS 12306X0017/Mtsan1

##### 1) Présentation

Le forage de M'tsangamouji 1 a été réalisé dans le cadre de la première campagne de recherche des eaux souterraines de Mayotte (1999/2000). Il s'agit d'un forage de reconnaissance transformé en forage d'exploitation de 81 mètres de profondeur, mis en place entre le 28 juin et le 21 juillet 2000 (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR). Les informations relatives à ce forage sont consignées dans le tableau 4.

<b>Nom</b>	Forage de M'tsangamouji 1
<b>Code BSS</b>	12306X0017/Mtsan1
<b>Code Commune</b>	98513
<b>Commune</b>	MTSANGAMOUI
<b>Section</b>	AI
<b>Titre</b>	/
<b>Parcelle</b>	111
<b>Coord X<sub>RG04</sub></b>	509 588 m
<b>Coord Y<sub>RG04</sub></b>	8 590 301 m
<b>Coord Z<sub>NGM</sub></b>	50 m
<b>Date de création</b>	2000
<b>Date exploitation</b>	2004

Tableau 4 - Informations relatives au forage de M'tsangamouji 1 (sources : SIEAM et BRGM)

Le débit moyen exploité par la SOGEA, entre janvier 2006 et août 2009, est de 1 943 m<sup>3</sup>/semaine (cf. illustration 16). Les prélèvements sont très variables dans le

temps et on note parfois une exploitation plus élevée en saison sèche. Des informations récentes fournies par la SOGEA (23/09/2009) indiquent que le forage est exploité durant 2 à 5 heures par jour à des débits allant de 61,5 à 62,1 m<sup>3</sup>/h.

Les prélèvements sont dirigés vers le réservoir de Chembényoumba sans passage par la station de traitement des eaux de M'tsangamouji.

L'installation est en bon état, rehaussée par rapport au sol (cf. illustration 20). La clôture d'enceinte est présente et le portail est cadenassé. La piste d'accès est praticable en véhicule : on traverse la rivière sur un radier en béton et le forage se trouve en rive gauche. Le forage (comme celui de M'tsangamouji 2) est alimenté par EDM<sup>1</sup> et un groupe électrogène – à l'abri dans un local séparé - assure l'alimentation du forage en cas de secours.

Lors de la visite sur le terrain le 17 septembre 2009, plusieurs cultures ont été recensées à proximité du forage (bananes, maniocs, papayes), ainsi que quelques zébus.



*Illustration 20 - Forage de M'tsangamouji 1 (photographie BRGM du 17 septembre 2009)*

Géologiquement, l'ouvrage recoupe 32 mètres de formations volcano-détritiques (dépôt pyroclastique), puis une succession de coulées de laves basaltiques souvent fissurées (45 mètres d'épaisseur). Les 4 derniers mètres sont composés d'un substratum basaltique plus ancien et altéré. La coupe technique de l'ouvrage figure en annexe 1 du rapport.

Les niveaux perméables composant l'aquifère local ont été identifiés aux profondeurs de 32-39, 41-45, 59-63 et 66-70 m, essentiellement sous les cendres au niveau des

---

<sup>1</sup> Electricité De Mayotte

basaltes fissurés. La principale venue d'eau, entre 66 et 70 m, se situe au sein des laves, au niveau d'une zone fissurée et très probablement fracturée (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR). La fissuration des basaltes est probablement d'origine lithologique (liée au refroidissement de la lave) et la zone fissurée mise en évidence vers 68 m pourrait être d'origine tectonique, en raison de l'importance des dépôts hydrothermaux et du découpage de la roche en dièdres décimétriques (Jourdain T. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51498-FR).

Le forage de M'tsangamouji 1 est apparu artésien lors de sa réalisation (l'aquifère est captif) ; la charge hydraulique a été estimée à 2 m au dessus du sol, soit à l'altitude 52 m NGM. Même si les niveaux perméables ne sont pas en relation hydraulique directe avec le Mro Oua Andrianabé qui s'écoule à côté du forage (distance d'environ 18 m), leur charge hydraulique est à une altitude comparable à celle de la surface libre du cours d'eau. Ces observations permettent d'envisager des échanges de type nappe / rivière dont les modalités ne sont pas encore réellement connues. On peut cependant supposer que ces échanges se déroulent surtout aux endroits où les basaltes fissurés affleurent dans la rivière.

L'interprétation des essais de pompage a mis en évidence une transmissivité de l'aquifère de l'ordre de  $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR) et la présence supposée d'une limite étanche qui compartimente l'aquifère (faille ou formation imperméable ?). Le rabattement maximal a été fixé à 30 m de manière à ne pas dénoyer la première venue d'eau. En considérant ce facteur ainsi que la présence de limite étanche, il a été préconisé d'exploiter ce forage :

- dans le cas le plus pessimiste au régime de  $13 \text{ m}^3/\text{h}$  (24h/24) tout au long de l'année ;
- dans le cas retenu comme le plus réaliste au régime de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  (20h/24) en exploitation chronique.

Soit une très forte variabilité. On peut noter que le régime actuel de pompage de l'ouvrage par la SOGEA se situe en deçà de ces préconisations ( $62,1 \text{ m}^3/\text{h}$  5h/j). Le niveau piézométrique le plus bas est mesuré à 43 m par rapport au sol, ce qui ne dénoie pas la principale venue d'eau (66-70 m).

Le forage de M'tsangamouji 1 a fait l'objet d'un suivi épisodique du niveau piézométrique par la DAF d'octobre 2000 à mars 2001. En faisant confiance aux quelques mesures réalisées (6 en tout), les niveaux varient entre 3 m de profondeur et 2 m au dessus du sol. Il est tout à fait vraisemblable que l'artésianisme de l'ouvrage empêche tout suivi piézométrique exploitable sauf aménagement spécifique.

Ce forage présente un artésianisme permanent contrairement à celui de M'tsangamouji 2 (cf. chapitre 3.3.2.).

Lors des essais de pompage (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR), aucune arrivée d'eau notable ne s'est produite à partir des niveaux volcano-détritiques, confirmant ainsi le caractère peu perméable de ces formations. Les deux forages de M'tsangamouji ne présentent pas les mêmes caractéristiques

hydrodynamiques. La forte différence de charge observée de l'un à l'autre impose l'existence d'une discontinuité hydrogéologique entre eux. En conséquence, cet aquifère ne peut être que limité spatialement.

## **2) Qualité des eaux**

La qualité des eaux du forage de M'tsangamouji 1 a été analysée à 22 reprises : entre mai 2003 et août 2009 (les analyses sont présentées en annexe 2). A l'heure actuelle, les analyses ne montrent pas de dégradation de la qualité de l'eau du Mro Oua Andrianabé en amont du captage. Cette eau se singularise par :

- Une conductivité moyenne pour les eaux souterraines qui semble être un peu plus élevée en saison sèche (entre 224 et 355  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ; la moyenne à Mayotte est de 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).
- Un seul dépassement du seuil de potabilité des teneurs en fer (norme de potabilisation à 0,2 mg/l ; Annexe 1, §I-2, au décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles) : 0,37 mg/l en mai 2004. Bien que rare (1 analyse sur 22), cette teneur provient sans doute du fond géochimique naturel (basaltes avec amphiboles et olivines).
- Des pH assez élevés de 7,2 à 8,9 (moyenne 8,4).
- Des teneurs en sodium et en chlore qui signent une eau de pluie marine ayant un temps de résidence prolongé dans des roches volcaniques (l'eau a un faciès assez bicarbonaté sodique).
- Aucun paramètre bactériologique n'a été observé (sur 2 analyses).

On peut signaler que le forage de M'tsangamouji 1 a été retenu comme point de suivi du réseau de surveillance DCE de la qualité des eaux souterraines de Mayotte (A. Malard et al. 2008, rapport BRGM/RP-56774-FR). Ce choix a été guidé par : l'exploitation de l'ouvrage (eau renouvelée), l'historique des analyses, la stabilité des teneurs, la capacité de la ressource (forage artésien), et environnement favorable (bord de rivière en zone peu urbanisée).

### **3.3.2. Le forage de M'tsangamouji 2 - BSS 12306X0016/Mtsan2**

#### **1) Présentation**

Le forage de M'tsangamouji 2 a été réalisé dans le même cadre que M'tsangamouji 1 et en est distant de 200 m environ (forage de reconnaissance transformé en forage d'exploitation). La foration a été mise en œuvre entre le 21 juillet et le 30 août 2000 (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR). L'installation ressemble à celle du forage de M'tsangamouji 1 sans le local du groupe électrogène (illustration 21 et tableau 5).





*Illustration 21 - Forage de M'tsangamouji 2 (photographie BRGM du 17 septembre 2009)*

<b>Nom</b>	Forage de M'tsangamouji 2
<b>Code BSS</b>	12306X0016/Mtsan2
<b>Code Commune</b>	98513
<b>Commune</b>	MTSANGAMOUI
<b>Section</b>	AI
<b>Titre</b>	/
<b>Parcelle</b>	111
<b>Coord X<sub>RG04</sub></b>	509 498 m
<b>Coord Y<sub>RG04</sub></b>	8 590 111 m
<b>Coord Z<sub>NGM</sub></b>	48 m
<b>Date de création</b>	2000
<b>Date exploitation</b>	2004

*Tableau 5 - Informations relatives au forage de M'tsangamouji 2 (sources : SIEAM et BRGM)*

Le débit moyen exploité par la SOGEA, entre janvier 2006 et août 2009, est de 2 485 m<sup>3</sup>/semaine (cf. illustration 16). Les prélèvements sont en augmentation depuis juin 2007. Des informations récentes fournies par la SOGEA (23/09/2009) indiquent que le forage est exploité durant 17 à 20 heures par jour à des débits allant de 31,8 à 33,1 m<sup>3</sup>/h.

Les prélèvements sont dirigés vers le réservoir de Chembényoumba sans passage par la station de traitement des eaux de M'tsangamouji.

Concernant l'installation, il faut souligner :

- la présence de clôture en bon état autour de la cabane de forage (équivalent à un périmètre de protection immédiat) et un portail cadenassé ;
- que la piste d'accès est praticable en véhicule et le forage se trouve en rive droite ;
- l'absence de pressions significatives autour du forage.

La profondeur finale du forage est de 80 m (la coupe technique est figurée en annexe 1). Le forage de M'tsangamouji 2, pourtant proche de M'tsangamouji 1, ne traverse pas les mêmes formations géologiques. Il recoupe des formations cendreuseuses et des basaltes vacuolaires (23 m d'épaisseur) au-dessus de basaltes pauvres en olivine (jusqu'à 74,5 m). Une coulée plus massive est recoupée en fin de foration.

Les venues d'eau sont exclusivement situées au sein des coulées identifiées entre 23 et 74,5 m de profondeur. Un seul horizon producteur a été mis en évidence : il se situe entre 66 et 74,5 m de profondeur ; ceci est confirmé par un profil de conductivité, réalisé en février 2002, qui montre des valeurs très stables (Lachassagne P. et al. 2002, rapport BRGM/RP-51603-FR). Comme pour le forage de M'tsangamouji 1, la nappe est semi-captive à captive avec un niveau piézométrique à 35 m de profondeur en fin de foration - soit une cote de 13 m NGM environ. Ce forage ne présente pas un artésianisme permanent contrairement à celui de M'tsangamouji 1. Même si les niveaux perméables ne sont pas en relation hydraulique directe avec le Mro Oua Andrianabé qui s'écoule à côté du forage (distance d'environ 17 m), la charge hydraulique est à une altitude inférieure à celle de la surface libre du cours d'eau (48 m NGM environ). Ces observations permettent d'envisager des échanges de la rivière vers la nappe.

Les pompages d'essai ont mis en évidence : un paramètre de transmissivité local de l'aquifère proche de  $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et une limite étanche supposée qui suggère le compartimentage significatif de l'aquifère (Lachassagne P. et al. 2000, rapport BRGM/RP-50428-FR). Aucune influence des pompages du forage de M'tsangamouji 2 sur le forage de M'tsangamouji 1 n'a été mise en évidence lors des essais de nappe d'août 2000. L'exploitation des deux forages en simultanée semble donc possible.

Le rabattement maximal préconisé au niveau du forage de M'tsangamouji 2 est de 50 m afin de ne pas vider la chambre de pompage. Il a été préconisé d'exploiter ce forage :

- dans l'hypothèse la plus pessimiste, au régime de 10 m<sup>3</sup>/h (24h/24) ;

- dans l'hypothèse retenue comme la plus réaliste, au régime de 60 m<sup>3</sup>/h (20h/24).en exploitation chronique.

Ce qui démontre une fois encore la variabilité des potentiels hydrogéologiques du bassin. On peut noter que le régime actuel de pompage de l'ouvrage par la SOGEA se situe en deçà de ces préconisations (33,1 m<sup>3</sup>/h 20h/j). Le niveau piézométrique le plus bas est mesuré à 48 m par rapport au sol, ce qui ne dénoie pas ni la chambre de pompage, ni la principale venue d'eau (66-74.5 m).

Le forage de M'tsangamouji 2 a fait l'objet d'un suivi épisodique du niveau piézométrique par la DAF d'octobre 2000 à mars 2002. En faisant confiance aux mesures réalisées (22 en tout), les niveaux varient entre 35,45 et 36.6 m de profondeur. Il est possible que l'amplitude du battement annuel soit égale ou supérieure à 1,15 m.

Une étude BRGM de 2008 (Guilbert M. et al. 2008, rapport BRGM/RP-56438-FR) a utilisé des données SOGEA journalières mesurées entre décembre 2005 à fin novembre 2007 : niveaux piézométriques au forage d'exploitation M'tsangamouji 2, débit moyen exploité, pluviométrie à Brandrazia Sud, insolation à Pamandzi et températures à Vahibé (pour le calcul de l'ETP et des pluies efficaces). L'analyse des informations disponibles sur le site du forage de M'tsangamouji 2 (piézométrie, pluie, débit souterrain prélevé) a permis de réaliser des modélisations avec le logiciel BRGM Gardénia<sup>®</sup>. Le niveau piézométrique « naturel », reconstitué en supprimant le pompage, montre des amplitudes annuelles de 2 à 4 m et un cycle annuel de recharge-vidange.

Les conclusions du rapport (Guilbert M. et al. 2008, rapport BRGM/RP-56438-FR) mettent en évidence les traits hydrogéologiques suivants :

- aquifère fermé, d'une superficie utile de l'ordre de 1.7 km<sup>2</sup> ; l'aspect « réservoir clos » avait déjà été suggéré lors de l'essai de nappe de 2000 (une limite étanche au moins ; Lachassagne P. et al. 2000 rapport BRGM/RP-50428-FR),
- aquifère soumis à un régime de recharge par les précipitations efficaces (16 % des pluies s'infiltrent<sup>1</sup>),
- soumis, a priori, à une infiltration en provenance du cours d'eau situé à proximité du puits de pompage, du moins lorsqu'il est pompé,
- et présentant une surverse par débordement, au moins en conditions de fonctionnement naturel.

Malgré l'absence apparente d'influence des pompages du forage de M'tsangamouji 2 sur le forage de M'tsangamouji 1<sup>1</sup> (due à des essais de nappe d'août 2000 de trop

---

<sup>1</sup> Le bilan hydrologique, modélisé avec Gardénia<sup>®</sup> (logiciel BRGM) entre 2005 et 2007, montre que 53 % des pluies sont des pluies efficaces et que 16 % des pluies s'infiltrent.

courte durée – 12 h perturbés par un ajustement de débit - et au caractère artésien du forage 1) et en raison de leur proximité (200 m), on considérera que les aquifères des deux ouvrages sont en communication et un seul BAC sera délimité. On peut imaginer que la limite étanche supposée entre les deux forages est utilisée comme paramètre de calage lors de l'interprétation des pompages d'essai.

## **2) Utilisation des données du forage de M'tsangamouji 8''**

Afin d'analyser les variations piézométriques des aquifères du secteur l'ouvrage M'tsangamouji 8'' (12306X0011/Tsan1, Z= 39,29 m NGM) sera utilisé car il est suivi par la DAF depuis 1992<sup>2</sup> (cf. illustration 22). Le forage a été réalisé en novembre 1990 et il se situe à l'aval du bassin versant à côté de la station de traitement des eaux. Il fait 40,5 m de profondeur et a traversé des basaltes à olivine plus ou moins altérés et fissurés (cf. coupe en annexe 1). Les variations piézométriques mettent en évidence les traits hydrogéologiques suivants :

- Les amplitudes interannuelles observées entre 1999 et 2008 sont faibles, souvent inférieures à 1,5 m.
- Des périodes de tarissement à tendance exponentielle peu marquée. En général, le tarissement s'effectue entre les mois d'avril et de décembre. Dans l'ensemble la pente de tarissement est faible. La vitesse de vidange de l'aquifère est lente, de l'ordre de 2 mm/jour.
- La recharge de l'aquifère s'effectue en deux phases successives. Elle débute assez tardivement, au mois de décembre, janvier par des périodes de faible remontée piézométrique. La remontée franche des niveaux se produit de manière différée à partir du mois de février. Les périodes de recharge sont fréquemment ponctuées d'événements courts de pulse piézométrique conséquemment à des fortes précipitations (exemple des pluies de janvier 2003 et de décembre 2006) ainsi que par des épisodes brusques de baisse de niveau (délicats à expliquer, la qualité des mesures et l'espacement du pas de temps peut être en cause).
- De 2000 à 2005, il est intéressant de remarquer que la tendance des niveaux moyens est à la hausse, en accord avec des pluviométries croissantes sur cette période. Une baisse suit de 2005 à 2008.
- Sur les 9 cycles hydrologiques présentés ici, le fonctionnement de la nappe d'Andrianabé montre une régularité certaine dans le profil des fluctuations (montée, descente lente puis descente plus lente).
- La réactivité des niveaux piézométriques en réponse aux précipitations est très rapide, ce qui sous entend soit une infiltration rapide dans les zones fissurées et/ou fracturées soit des connexions privilégiées avec les eaux de surface.

---

<sup>1</sup> Le rapport BRGM RP-50428-FR (Lachassagne P. et al. 2000) conseillait fortement de précéder toute exploitation de l'ouvrage par un pompage d'essai de longue durée.

<sup>2</sup> En raison de l'absence de validité des données (étonnante remontée du niveau piézométrique de 6 m en 6 ans, perturbation par des pompages d'essai), la chronique est utilisée à partir de 1999.

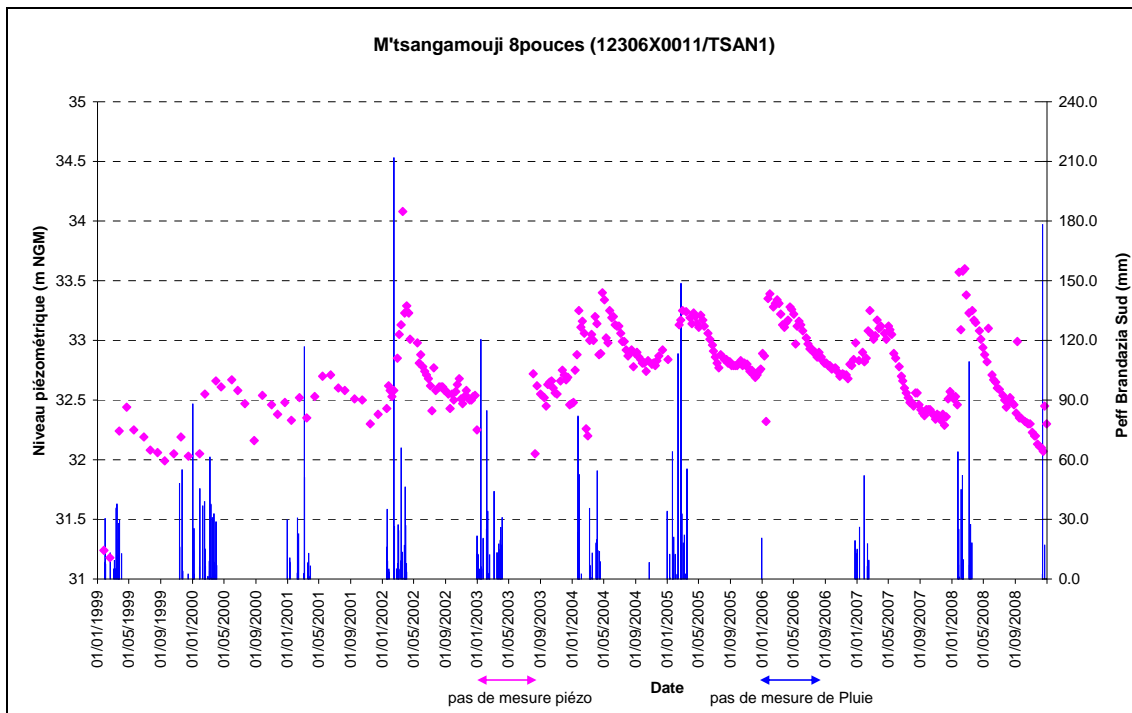


Illustration 22 - Chronique piézométrique du forage de M'tsangamouji 8" en m NGM entre 1999 et 2008 (données DAF). En surimposition sont figurées les précipitations efficaces calculées à la station pluviométrique de Brandrazia Sud sur la même période.

### 3) Qualité des eaux

Les eaux du forage de M'tsangamouji 2 ont été analysées 19 fois entre juillet 2002 et juin 2009 (les analyses sont présentées en annexe 2). La qualité des eaux du forage de M'tsangamouji 2 est très comparable à celle de M'tsangamouji 1 : conductivité moyenne (environ 340  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH assez élevé (moyenne 8,0), teneurs en sodium et en chlore élevées (mélange eau-roche : eau de pluie marine et roches volcaniques).

Par contre, quelques paramètres bactériologiques ont été observés : flore hétérotrophe et coliformes (sur 2 analyses). Les eaux souterraines semblent cependant peu affectées puisqu'une autre analyse note l'absence de contamination bactériologique.

Par conséquent, ces caractéristiques physico-chimiques très proches des eaux du forage M'tsangamouji 1 traduisent des mécanismes identiques en termes d'aire de recharge, de temps de transfert, etc. Ces similitudes laissent croire que les bassins d'alimentation de ces deux captages se chevauchent fortement voire sont identiques. Cette dernière option sera celle retenue dans la délimitation.

### 3.3.3. Délimitation du BAC des forages de M'tsangamouji 1 et 2

Comme expliqué précédemment, en raison (i) de la proximité des forages, à savoir environ 200 mètres, (ii) des caractéristiques proches des horizons aquifères captés (transmissivité identique), (iii) des natures physico-chimiques des eaux souterraines proches et (iv) de l'influence possible d'un pompage longue durée du forage M'tsangamouji 2 sur le forage M'tsangamouji 1, un seul et même BAC sera proposé pour les deux forages.

Compte tenu de la participation du Mro Oua Andrianabé dans l'alimentation des nappes par infiltration (mis en évidence sur le forage M'tsangamouji 2), le BAC des forages prendra en considération l'intégralité du bassin versant de surface du cours d'eau en amont de l'altitude du niveau piézométrique<sup>1</sup>.

Une délimitation des zones d'appel des pompages aux voisinages des forages M'tsangamouji 1 et 2 a été effectuée à l'aide d'un outil développé sous Excel (cf. Vernoux J-F. et al., 2007, rapport BRGM/RP-55874-FR). Cette délimitation repose sur des hypothèses simplificatrices, que l'on peut considérer comme valides localement : l'écoulement est uniforme et unidirectionnel, et la nappe est supposée captive. Compte tenu de ces hypothèses, le calcul n'est valable qu'au voisinage des forages, dans le bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé.

Les paramètres considérés pour le calcul sont les suivants :

- une transmissivité de  $1,4 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (variation de +/- 10) ;
- un gradient piézométrique compris entre 3,2 et 4,0 % (estimé entre les forages M'tsangamouji 1 et M'tsangamouji 8'' ) ;
- des débits de pompage de 62,1 m<sup>3</sup>/h pour M'tsangamouji 1 et 33,1 m<sup>3</sup>/h pour M'tsangamouji 2 (débits maximums exploités par la SOGEA) ;
- angle fait par l'écoulement par rapport à un axe Est-Ouest : -100° en utilisant comme référence le sens inverse des aiguilles d'une montre. L'écoulement se fait vers le Sud Sud-Est.

Le choix des gammes de valeurs est effectué sur la base de la connaissance locale (cf. chapitre 3.3.).

Une délimitation des courbes enveloppes de la zone d'appel (cf. illustration 23) est obtenue avec une certaine probabilité de non dépassement selon les paramètres pris en compte. On obtient donc plusieurs délimitations. Pour des raisons de sécurité optimum de protection de l'eau souterraine des forages, la courbe enveloppe la plus large est retenue.

---

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

Au vu de l'illustration 23, il apparaît que le forage M'tsangamouji 1 est situé à l'intérieur de la zone d'appel du forage M'tsangamouji 2 (le même phénomène apparaît avec une transmissivité fixe, sans variation de +/- 10). Cela confirme l'influence d'un pompage du forage M'tsangamouji 2 sur le forage M'tsangamouji 1 et donc le choix de délimiter un seul BAC pour les deux forages.

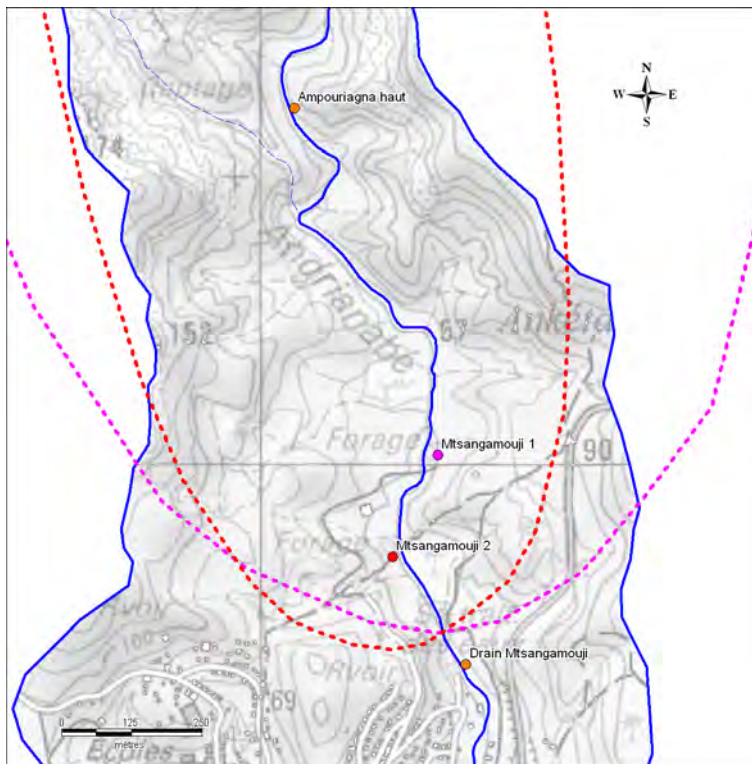


Illustration 23 - Limites des courbes enveloppes des zones d'appels des forages M'tsangamouji 1 et 2 (source : BRGM)

Compte tenu des zones d'appels des pompages des forages M'tsangamouji 1 et 2, le BAC sera tracé à compter de l'intersection du Mro Oua Andrianabé avec la courbe altimétrique de 39 m NGM (cf. illustration 18).

A partir du point de rivière à 39 m NGM, la limite se poursuit direction Est jusqu'au point côté 113 m NGM et intègre le BAC de la prise d'eau du drain de M'tsangamouji (cf. § 3.2.3.). Depuis ce sommet, les limites des deux BAC sont identiques sur toute la partie amont du bassin versant. Les limites sont identiques et ne diffèrent qu'à proximité du cours d'eau. Le BAC a une superficie de 2,56 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 9,3 km et couvre près de 73 % de la surface du bassin versant.

Les caractéristiques du BAC ainsi tracé sont comparées aux résultats du tableau 6 où la surface du BAC est approchée par un calcul théorique (Malard A. et al. 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR, équation n°4 pour retrouver les paramètres de calcul).

La pluie moyenne interannuelle mesurée à Brandrazia Sud à 40 m NGM (1340 mm) a été corrigée en fonction de l'altitude. L'altitude moyenne du bassin versant est de 134 m NGM. La régression fournie dans le rapport BRGM/RP-57620-FR (Mro Oua Kaouénilajoli) montre une augmentation de 1,23 mm de pluie par mètre NGM.

Le pourcentage des eaux de pluies qui s'infiltreront a été fixé à 16 % en cohérence avec le résultat du bilan hydrologique, modélisé avec Gardénia<sup>®</sup> entre 2005 et 2007 (cf. chapitre 3.3.2., Guilbert M. et al. 2008, rapport BRGM/RP-56438-FR).

Les volumes moyens prélevés par semaine pour l'eau potable à partir des forages (chiffres de la SOGEA) ont été convertis en prélèvement AEP moyen en m<sup>3</sup>/h.

La part exploitée des aquifères par les forages est estimée à 30 % des flux transitant annuellement par l'aquifère (recharge). Cette hypothèse semble réaliste puisque la surface théorique calculée d'alimentation du forage M'tsangamouji 2 (1,88 km<sup>2</sup>) est en cohérence avec les résultats mentionnés au chapitre 3.3.2., à savoir un aquifère d'une superficie utile de l'ordre de 1.7 km<sup>2</sup> (Guilbert M. et al. 2008, rapport BRGM/RP-56438-FR).

	Précipitations corrigées	Infiltration	Prélèvement AEP moyen	Part exploitable	Surface théorique	Surface réelle
M'tsangamouji 1	1456 mm	16 %	12 m <sup>3</sup> /h	30 %	1,50 km <sup>2</sup>	2.56 km <sup>2</sup>
M'tsangamouji 2	1456 mm	16 %	15 m <sup>3</sup> /h	30 %	1,88 km <sup>2</sup>	

Tableau 6 - Estimation de la surface théorique du BAC des forages de M'tsangamouji 1 et 2

Les résultats du tableau montrent que la surface réelle du BAC tracé est dans les mêmes gammes de grandeur que la somme des deux surfaces d'alimentation théoriques calculées (1,50 + 1,88 = 3,38 / 2,56 km<sup>2</sup>). La surface du BAC souterrain ainsi tracé semble à peu près juste dans ses proportions. L'intégration de l'ensemble du bassin versant de surface au sein du BAC paraît justifiée.



## 4. Caractérisation de la vulnérabilité

### 4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES FORAGES DE M'TSANGAMOUI 1 ET 2 : APPLICATION DE LA METHODE IDPR

La démarche retenue à Mayotte pour la caractérisation de la vulnérabilité des BAC est présentée dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR (Malard A. et al. 2009) : il s'agit de l'application de la méthode IDPR<sup>1</sup> et indice de rugosité (appelée par la suite méthode IDPR combiné). Les résultats du calcul appliqués au BAC souterrain de M'tsangamouji 1 et 2 sont présentés dans l'illustration 24.

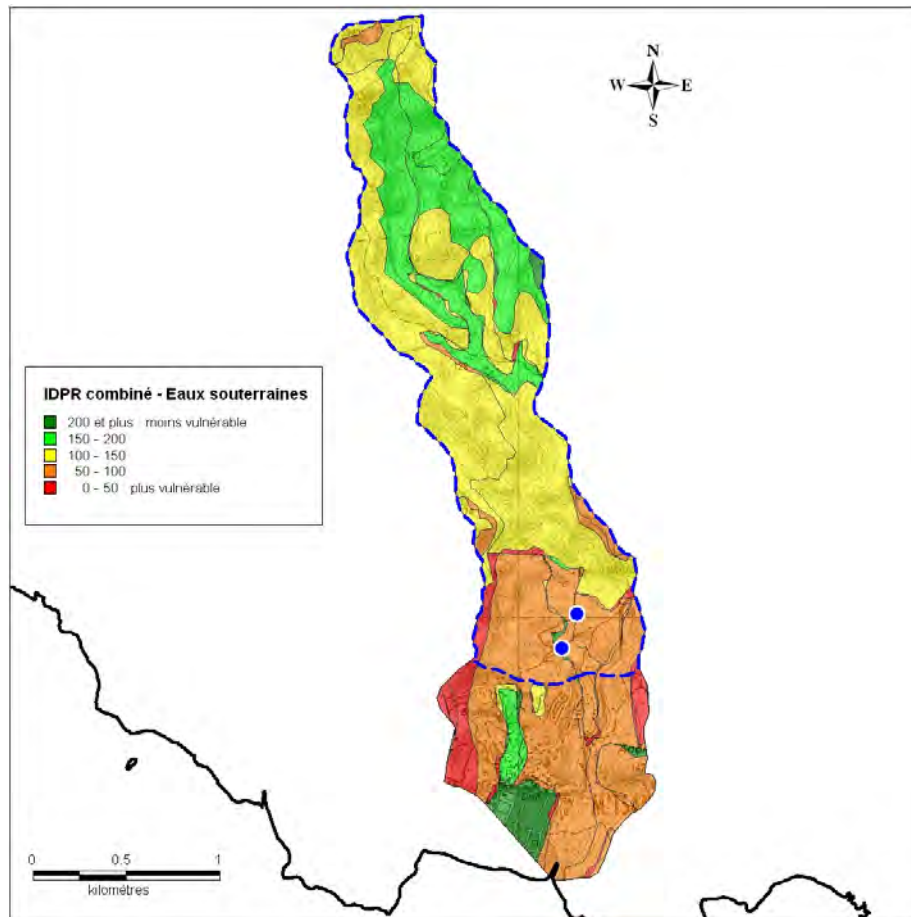


Illustration 24 - Résultats du calcul IDPR et rugosité du bassin d'alimentation des forages de M'tsangamouji 1 et 2 (ici en bleu). Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives (source : BRGM).

<sup>1</sup> Indice de Développement et de Persistance des Réseaux

Comparativement aux autres bassins versants de Mayotte, les résultats obtenus pour l'IDPR combiné placent le bassin d'alimentation des forages M'tsangamouji 1 et 2 dans une situation globalement moyennement vulnérable. Dans le détail la situation est contrastée d'amont en aval : les terrains amont figurent en vert clair et sont assez peu vulnérables, le milieu du BAC a une situation intermédiaire (couleur jaune) et la partie aval est assez vulnérable (couleur orange).

Le développement du réseau hydrographique du bassin montre une densité de drainage et une densité hydrographique significatives (cf. chapitre 2.5.). Le réseau hydrographique est surtout développé dans la moitié amont du bassin versant topographique, lieu où l'IDPR montre des unités fonctionnelles (géologiques et pédologiques) à caractère ruisselant. On peut noter que c'est un secteur présentant de fortes pentes. La reconnaissance de terrain du 17 septembre 2009 permet de dire que ce caractère ruisselant s'exprime localement par des exfiltrations (suintements, émergences d'eaux souterraines).

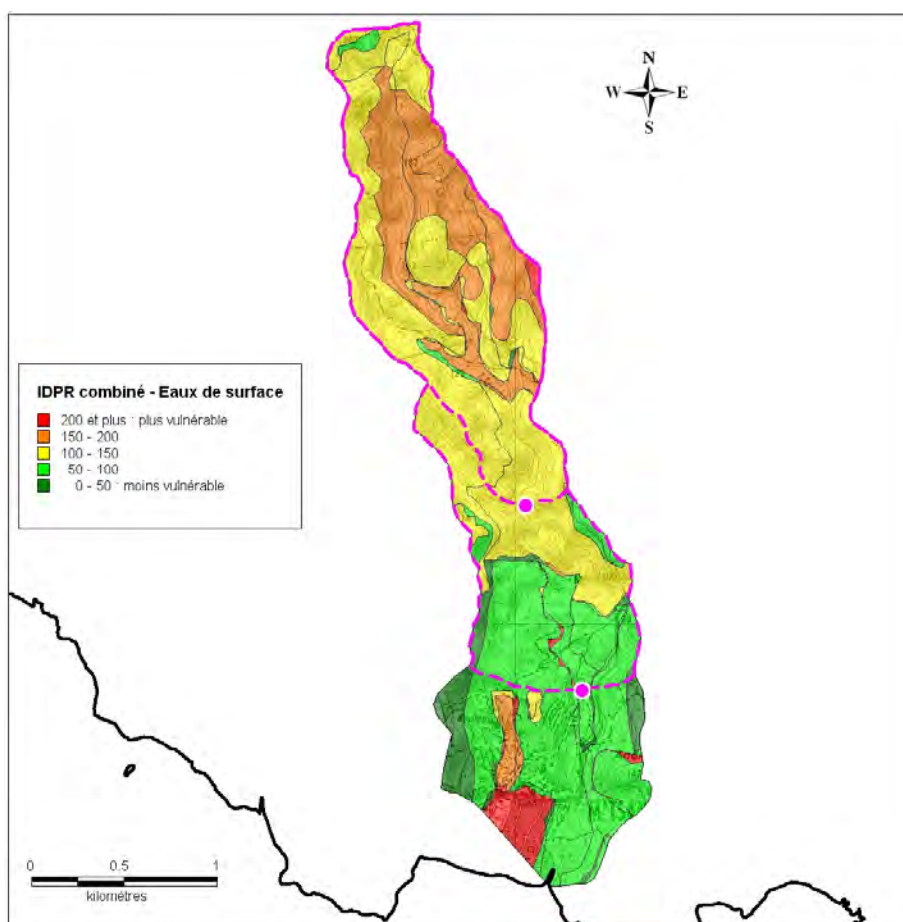
Les informations acquises sur le terrain montrent que les secteurs infiltrants se trouvent dans les secteurs les moins pentus du bassin, sur une lithologie basaltique (avec des nappages pyroclastiques locaux) et alluvionnaire, tandis que le secteur intermédiaire est situé dans des basaltes fissurés et altérés. Les basaltes du secteur infiltrant proviendraient ainsi d'une coulée plus perméable.

Par conséquent, la vulnérabilité la plus élevée vis-à-vis des eaux souterraines peut être observée dans un rayon de 400 m autour des forages.

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

#### 4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES PRISES D'EAU EN RIVIERE D'ANDRIANABE : APPLICATION DE LA METHODE IDPR

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, les résultats du calcul de l'IDPR combiné sur le bassin versant du Mro Oua Andrianabé, dont l'objectif était de caractériser la vulnérabilité des captages souterrains, peuvent être également utilisés pour caractériser la vulnérabilité des prises d'eau de surface : il s'avère alors que la carte de vulnérabilité des captages de surface est l'antisymétrique de la carte de vulnérabilité des captages souterrains présentée en illustration 24. Cette carte est présentée ci-dessous.



*Illustration 25 - Carte de vulnérabilité des bassins d'alimentation des captages de surface du Mro Oua Andrianabé (ici délimité par des tirets roses)*

L'illustration ci-dessus montre que les valeurs de vulnérabilité sont globalement moyennes à assez fortes sur la superficie du BAC de surface du captage Ampouriagna haut. Le BAC du drain de M'tsangamouji a une situation plus nuancée entre l'amont assez vulnérable et l'aval assez peu vulnérable.

Compte tenu des observations faites au §. 4.1, ainsi qu'en début de rapport (cf. § 2.5), les unités fonctionnelles (unités géologiques et pédologiques, Malard A. et al. 2009, rapport BRGM/RP-57299-FR) à l'amont du bassin versant topographique sont plus ruisselantes qu'infiltrantes, comparativement à d'autres bassins versants. Le captage de surface d'Ampouriagna haut est donc plus vulnérable que d'autres captages de surface localisés dans d'autres bassins versants de Mayotte, et notamment que celui du drain de M'tsangamouji.

Le caractère plus nuancé du BAC du drain de M'tsangamouji (vulnérable/peu vulnérable) peut s'expliquer par un bassin favorisant à la fois l'infiltration, l'exfiltration et le ruissellement de surface (cf. chapitre 2.5.).

Ainsi, comme pour les forages, la présence d'une ou de plusieurs zone(s) de pression au sein du BAC conditionnera le degré de risques encourus par le captage.

Comme indiqué précédemment, des recommandations d'études relatives à la réalisation de tests de perméabilité permettraient de chiffrer plus précisément l'infiltrabilité et le ruissellement des formations.

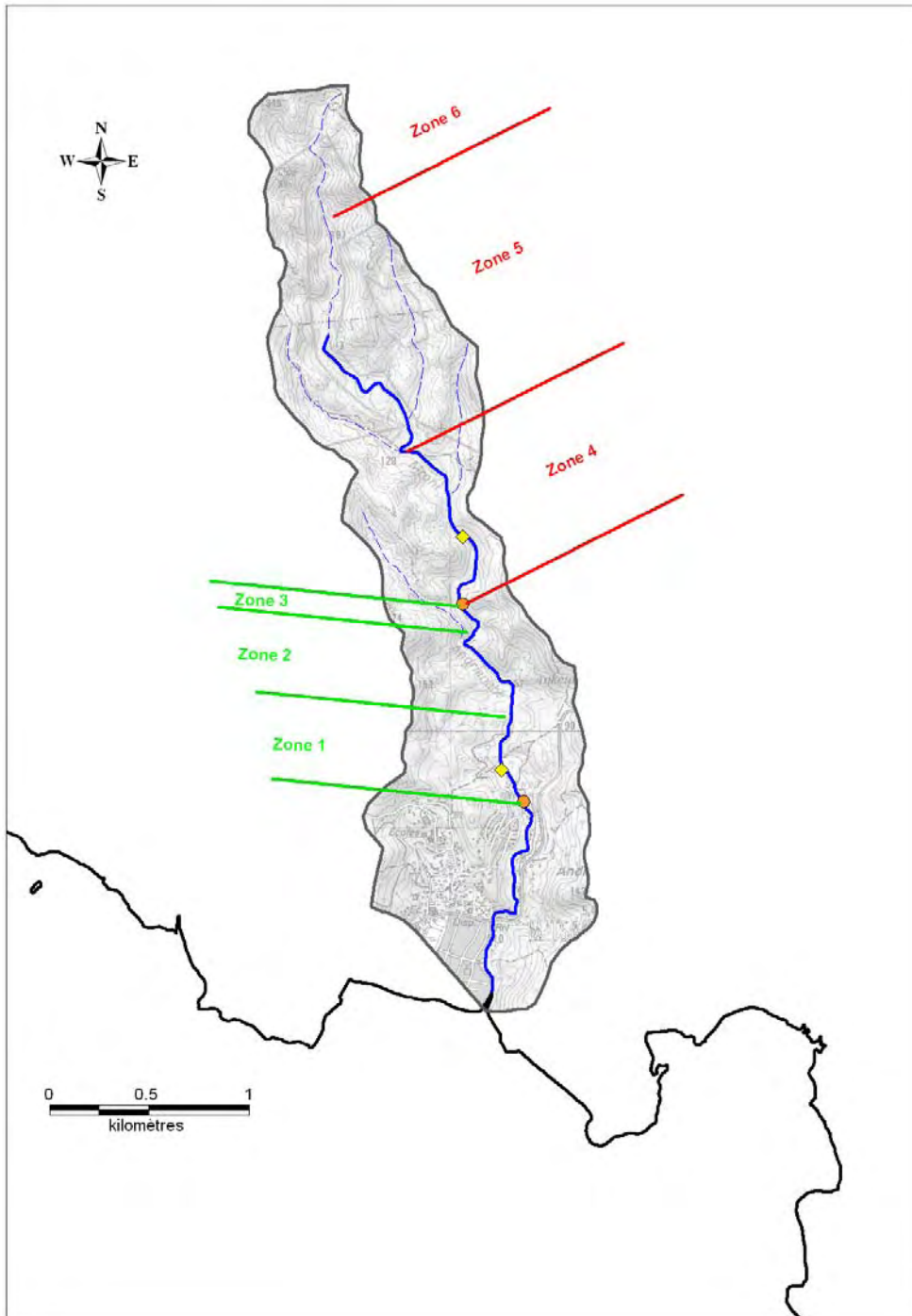
### **4.3. CALCUL DES TEMPS D'ATTEINTE DU MRO OUA ANDRIANABE EN AMONT DES PRISES D'EAU**

La détermination du temps d'atteinte au captage et au drain d'Andrianabé permet de fixer une limite en amont de ces captages en aval de laquelle le temps de transfert des masses d'eau est inférieur à 1. Le cours d'eau principal du Mro Oua Andrianabé est découpé en 3 zones, respectivement en amont du captage et en amont du drain. Ce découpage est opéré sur la base des critères d'étagement du cours d'eau et la longueur respective des linéaires. Aucun affluent du cours principal n'a été considéré dans les calculs car leur contribution respective est minoritaire par rapport au cours principal.

Le découpage de chaque zone est présenté en illustration 26.

L'estimation des vitesses de transfert en hautes eaux est obtenue par l'application de la formule de Manning Strickler. L'application de cette formule au cas du Mro Oua Andrianabé 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 dans les tableaux 9 et 12 encadrés par des coefficients de Manning Strickler de 25 à 40  $m^{1/3}/s$ . La valeur de la tranche d'eau en hautes eaux est de 1 m (confirmée sur le terrain le 17 septembre 2009 par l'observation fréquente de laisses de crue 1 m au dessus de la surface libre du cours d'eau).

En condition d'étiage (basses eaux BE), l'application de la formule de Manning Strickler n'étant pas possible car hors du domaine de validité, des mesures de débits et de vitesses *in-situ* réalisées le 8 octobre 2009 permettent d'apprécier les temps de transfert du cours d'eau en fonction du débit. Le détail des calculs est présenté en annexe 3.



*Illustration 26 - Découpage du Mro Oua Andrianabé en amont des prises d'eau et localisation des jaugeages (losanges jaunes). Les caractéristiques de chaque zone sont compilées dans les tableaux 7 et 10.*

### 4.3.1. Calcul des temps d'atteinte en amont du drain

Le découpage du cours d'eau en amont du drain débute au niveau du drain et s'arrête à la limite du captage haut, car tout accident opéré en amont de cette limite atteindra en priorité le captage haut. Les caractéristiques des 3 zones sont données dans le tableau 7.

	Longueur cumulée / captage (m)	Altitude de base (m NGM)	Largeur du lit (m)
Zone1	445	40	5
Zone 2	990	51	4
Zone 3	1722	69	3

Tableau 7 - Caractéristiques des 3 zones de découpage du Mro Andrianabé en amont du drain pour détermination des vitesses de transfert

La zone 1 sépare le drain du radier - radier qui permet l'accès au forage de M'tsangamouji 1 - vers 50 m NGM. La zone 2 remonte jusqu'à 70 m NGM environ et la zone 3 s'étale de 70 m NGM au captage haut.

La largeur du lit mineur a été mesurée lors des reconnaissances de terrain et malgré une relative hétérogénéité des sections du lit mineur, elle est considérée décroissante de 5 à 3 mètres entre le drain et le captage haut.

	Zone	Coord X <sub>RGM04</sub>	Coord Y <sub>RGM04</sub>	Débit (L/s)	Vitesse de pointe (m/h)
Point 1	Zone 1	509 527	8 590 019	16.8	418

Tableau 8 - Point de mesure du débit d'étiage du 8 octobre 2009, en amont du drain

		Coefficient de Manning Strickler (m <sup>1/3</sup> /s)	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Vitesses de transfert (km/h)	HE	25	1,2	1,7	2,5
		40	0,8	1,1	1,5
	BE	0,42			
	Temps max d'atteinte du captage (h)	HE	25	20 min	40 min
40			35 min	1 h 10	1 h 30
BE		1 h 05			

Tableau 9 - Vitesses de transfert du cours d'eau et temps d'atteinte au drain du Mro Oua Andrianabé. La valeur de BE est donnée pour le débit d'étiage du tableau précédent

Les vitesses de transfert calculées en hautes eaux sont moyennement élevées (cf. pour comparaison l'exemple du Mro Oua Longoni). Les vitesses augmentent d'aval en amont, de 1,2 à 2,5 km/h. Selon le coefficient de Manning Strickler considéré, la limite de temps d'atteinte fixée à 1 h est positionnée soit entre les zones 1 et 2 (coefficient de 40 m<sup>1/3</sup>/s) soit au bout de la zone 3 (coefficient de 25 m<sup>1/3</sup>/s). Dans l'illustration 29, on considèrera les conditions les plus pénalisantes en terme d'approche sécuritaire, soit donc une limite remontant jusqu'au captage haut.

La vitesse de transfert mesurée en BE est 2 à 3 fois plus faible que celle mesurée en HE. En étiage, la limite de temps d'atteinte fixée à 1 h est positionnée un peu en aval du point de jaugeage.



### 4.3.2. Calcul des temps d'atteinte en amont de la prise d'eau

Les caractéristiques des 3 zones sont données dans le tableau 10.

	Longueur cumulée / drain (m)	Altitude de base (m NGM)	Largeur du lit (m)
Zone 4	1022	90	3
Zone 5	2520	132	Entre 2 et 3
Zone 6	2985	203	Entre 1 et 2

*Tableau 10 - Caractéristiques des 3 zones de découpage du Mro Andrianabé en amont de la prise d'eau pour détermination des vitesses de transfert.*

La zone 4 sépare le captage de la confluence majeure, les zones 5 et 6 remontent respectivement jusqu'aux altitudes de 132 m NGM et 203 m NGM.

La largeur du lit mineur a été reconnue jusqu'à l'altitude de 110 m NGM et est considérée comme se réduisant proportionnellement d'aval en amont. Le lit du Mro Oua Andrianabé est relativement encaissé à ces altitudes, ce qui confirme dans une certaine mesure ces observations.

	Zone	Coord $X_{\text{COMB50}}$	Coord $Y_{\text{COMB50}}$	Débit (L/s)	Vitesse de pointe (m/h)
Point 2	Zone 4	509 331	8 591 186	6.9	845

*Tableau 11 - Point de mesure du débit d'étiage du 8 octobre 2009, en amont de la prise d'eau*

		Coefficient de Manning Strickler (m <sup>1/3</sup> /s)	Zone 4	Zone 5	Zone 6
Vitesses de transfert (km/h)	HE	25	1,5	1,8	2,2
		40	1	1,1	1,4
	BE		0,85		
Temps max d'attente du captage (h)	HE	25	40 min	1 h 30	1 h 40
		40	1 h 05	2 h 20	2 h 40
	BE		1 h 15		

Tableau 12 - Vitesses de transfert du cours d'eau et temps d'atteinte au captage du Mro Oua Andrianabé. La valeur de BE est donnée pour le débit d'étiage du tableau précédent

Les vitesses de transfert calculées en hautes eaux sont moyennement élevées et augmentent toujours d'aval en amont (de 1 à 2,2 km/h), c'est-à-dire de la zone 4 à la zone 6. Selon le coefficient de Manning Strickler considéré, la limite de temps d'attente fixée à 1 h est positionnée soit quasiment au bout de la zone 4 (coefficient de 40 m<sup>1/3</sup>/s) soit entre les zones 4 et 5 (coefficient de 25 m<sup>1/3</sup>/s). Dans l'illustration 28, on considèrera les conditions les plus pénalisantes en terme d'approche sécuritaire, soit donc une limite remontant entre les zones 4 et 5.

La vitesse de transfert mesurée en BE est 1 à 2 fois plus faible que celle mesurée en HE. En étiage, la limite de temps d'attente fixée à 1 h est positionnée un peu en aval du point de jaugeage.

#### 4.3.3. Synthèse

Comme indiqué dans le rapport BRGM/RP-57299-FR, la caractérisation de la vulnérabilité du cours d'eau (et donc du captage) est complétée par le calcul ou la mesure des temps d'attente aux captages. Dans le cas des bassins d'alimentation de captages inférieurs à 6 km<sup>2</sup>, les temps d'attente maximums au captage sont de 1 h, aussi bien en hautes eaux qu'en basses eaux.

Les distances parcourues par le cours d'eau en moins d'une heure, calculée sur la base des vitesses caractéristiques en hautes et basses eaux sont présentées en illustrations 28 et 29.

Le bassin versant semble relativement bien réactif et comme les distances entre l'amont du Mro Oua Andrianabé et l'exutoire sont assez courtes (environ 5 km), les limites correspondant au temps d'atteinte d'une heure remontent assez haut. Par exemple, pour le drain en HE, la limite remonte jusqu'au captage haut ; ce qui veut dire qu'une pollution déclarée juste en aval de la prise d'eau mettrait environ 1 heure à atteindre le drain de M'tsangamouji. Ces temps courts en hautes eaux nécessitent des délais de réaction assez brefs en cas d'accident.

Il est important de noter à ce stade que la réalisation de traçages en rivières permettrait de préciser la gamme des vitesses de transfert et par conséquent la gamme des délais de réaction en cas de pollution en un point du cours d'eau. Ces données sont essentielles dans l'instauration de périmètres de protection judicieux.



## 5. Caractérisation des pressions

### 5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN DU MRO OUA ANDRIANABE

#### 5.1.1. Urbanisation, aménagement et assainissement des eaux usées

Le bassin versant du Mro Oua Andrianabé accueille le village de M'tsangamouji à l'exutoire du bassin versant. L'évolution de la population de ce village est donnée dans le tableau 13. Il représente 2 % de la population de l'île.

Village	1997	2002	2007
M'tsangamouji	3 679	4 002	3 724

Tableau 13 - Population du village de M'tsangamouji (chiffres INSEE 2007)

Le village couvre environ 10 % de la surface du bassin versant topographique. Il n'a pas d'activités industrielles particulières, il s'agit essentiellement d'habitats ruraux.

Deux minis stations d'épuration ont été mises en place à M'tsangamouji : la première est à côté de l'école et la seconde à côté du dispensaire. En mars 2008, la DAF a procédé à l'inventaire général de ces stations. En fonction du mode de fonctionnement, la pression est jugée moyenne à forte (respectivement dispensaire et école).

#### 5.1.2. Activités rurales et agricoles

La majeure partie des activités agricoles enregistrées sur le bassin est de type agriculture maraîchère dispersée. La nature des produits cultivés est très aléatoire d'une saison sur l'autre mais reste limitée aux productions suivantes : bananes, maniocs, ananas, papayes et avocats. Ces cultures sont au Nord du village de M'tsangamouji, vers 60 m NGM à proximité de la route CCD1 (accès facilité), majoritairement en rive gauche du cours d'eau.

Deux parcelles d'Ylang-ylang sont également positionnées au Nord du village en rive droite de la rivière (surface de 5,8 et 3,1 ha). Ces parcelles sont accessibles par un sentier.

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

A noter que la partie amont du bassin versant est protégée par une réserve forestière.

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

Aucun site industriel n'est recensé sur le bassin versant topographique du Mro Oua Andrianabé. L'industrie la plus proche était située à Chembényoumba mais elle n'est plus en activité (ancienne carrière COLAS, code NAF CB14).

Les pratiques à risque les plus importantes à mentionner sont les sites de lessive. Lors de la reconnaissance de terrain du 17/09/2009, un site de lessive a pu être observé le long du cours d'eau à proximité de la prise d'eau du drain de M'tsangamouji. Selon les témoignages, chaque section du cours d'eau qui se prête au lavage (accès, présence de rapides, place suffisante pour le séchage du linge) est occupée. L'occupation des sites est quotidienne, ce qui implique que - compte tenu des temps de transfert de plusieurs heures à plusieurs dizaines d'heure - la pollution a un caractère diffus et non simplement chronique.

Des analyses d'eau ont été réalisées à l'amont et à l'aval du village (cf. illustration 17), en avril et juin 2000 (respectivement saison humide et saison sèche). Les résultats figurent en annexe 2. Le rapport d'étude (BRGM 2000, rapport BRGM/RC-50355-FR) signalait que la partie amont du cours d'eau semblait dépourvue de toute source de pollution significative contrairement à la partie qui traverse le village où les analyses mettent en évidence des rejets d'effluents domestiques et une forte activité de lessive (orthophosphates). Par ailleurs, les teneurs en MES, faibles à l'amont, augmentent sensiblement à l'aval (2-13 mg/l amont / 10-30 mg/l aval) : cela met en évidence des apports anthropiques, visibles aussi avec les valeurs de DBO5.

Un début de décharge sauvage a été observé à proximité de la route CCD1 (reconnaissance de terrain du 17/09/2009) : il s'agit d'un dépôt de blocs de béton et de briques. A partir de ce sentier en descendant vers la rivière, on note un escalier composé d'une soixantaine de pneus de voiture.

### **5.1.4. Risques naturels**

Au regard des informations figurant sur l'atlas des risques réalisé par le BRGM relatif à la commune de M'tsangamouji (rapport BRGM/RP-53194-FR, J-C. Audru et al. 2004), l'exposition aux aléas naturels des bassins d'alimentation de captage des forages de M'tsangamouji 1 et 2, de la prise d'eau d'Ampouriagna haut et du drain de M'tsangamouji est la suivante :

- la prise d'eau d'Ampouriagna haut est située en zone d'aléa fort glissements de terrain accompagnés de chutes de blocs ;
- le drain de M'tsangamouji et les forages M'tsangamouji 1 et 2 sont situés en zone d'aléa moyen glissements de terrain accompagnés de chutes de blocs ;
- les forages 1 et 2 sont situés en zone d'aléa faible à nul vis-à-vis de l'aléa inondation, quant aux prises d'eau positionnées au cœur du lit mineur, l'aléa inondation se révèle fort.

Le risque de destruction de la prise d'eau d'Ampouriagna haut par un glissement de terrain ou de chute de blocs lors ou indépendamment d'événements pluvieux est à considérer. En ce qui concerne les forages M'tsangamouji 1 et 2, compte tenu de la configuration du site sur lequel ils sont implantés, le risque de destruction des installations - ou du moins de nuisance - par mouvement de terrain est limité.

## 5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS

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

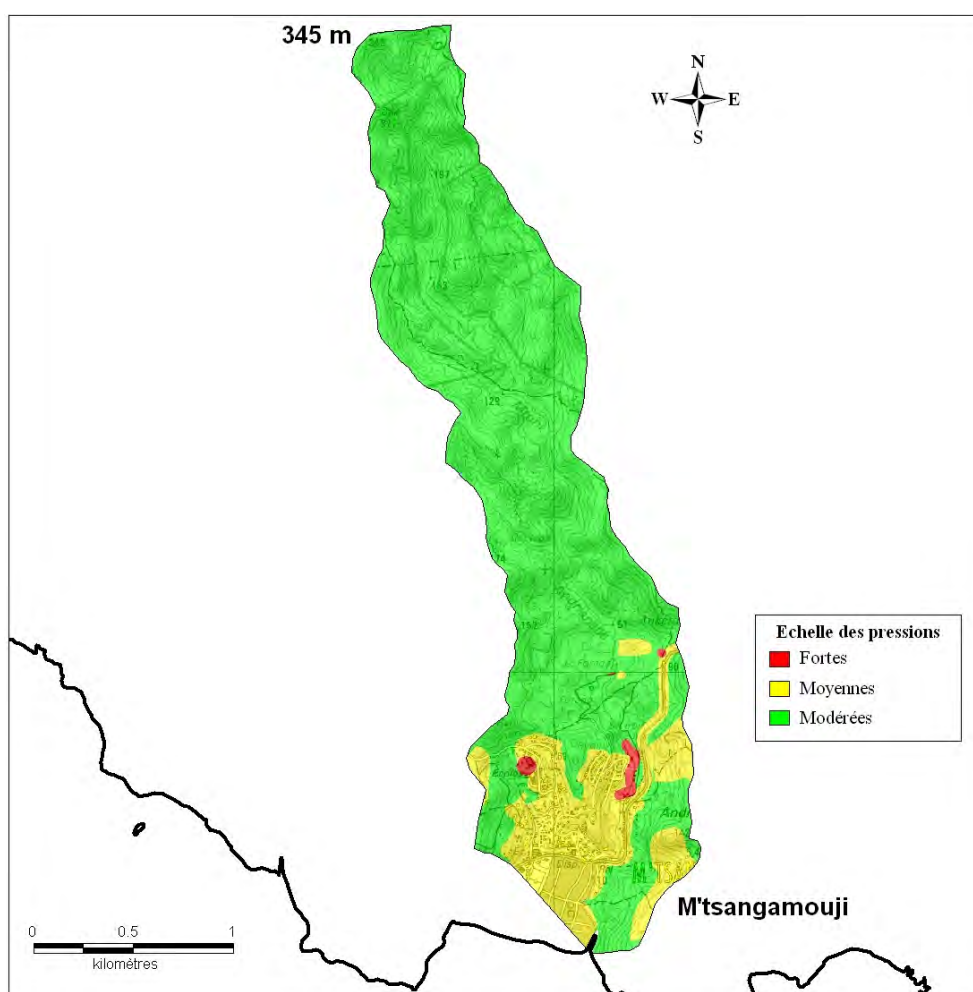


Illustration 27 - Cartographie des pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Andrianabé (source : BRGM)

A la lecture de la carte, il apparaît que les pressions identifiées sur le bassin versant se concentrent majoritairement dans le village de M'tsangamouji, mais également à proximité avec des cultures et la route CCD1.

Les pressions semblent donc relativement faibles à l'échelle du bassin versant, à part : les pratiques de lessive en rivière, la STEP en mauvais fonctionnement, le radier menant au forage M'tsangamouji 1 et le début de décharge sauvage.



## 6. Evaluation du risque de pollution des bassins d'alimentation de captages

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. CARTES DE CROISEMENT VULNERABILITES / PRESSIONS DES BAC DE SURFACE

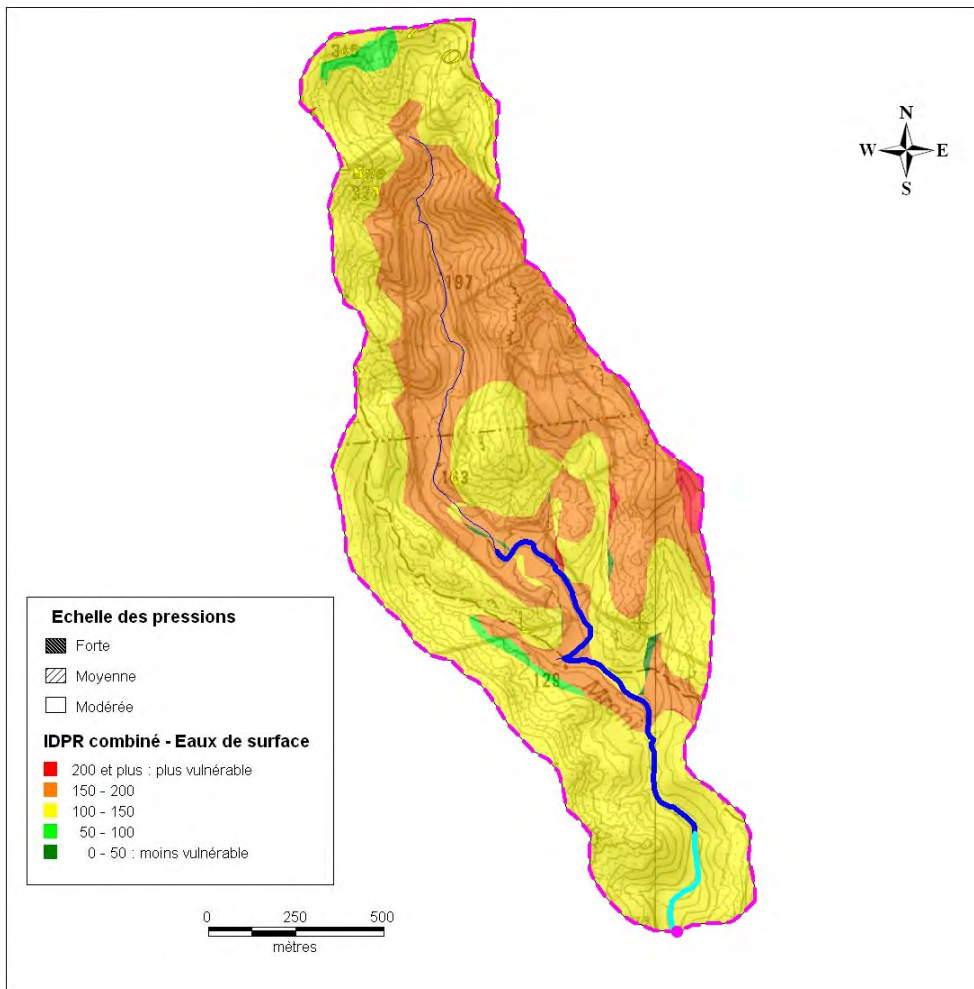
Outre les informations relatives à la caractérisation de la vulnérabilité du BAC et des pressions associées, les limites de temps d'atteinte inférieures à 1 heure en hautes et basses eaux sont figurées sur les illustrations ci-dessous. La surimposition de ces informations permettra d'apprécier plus précisément le degré d'exposition du captage considéré et surtout – dans les études à venir – de décider des mesures de protection à mettre en place vis-à-vis des prises d'eau.

Il ressort de la carte du BAC du captage Ampouriagna haut (illustration 28) que bien que la vulnérabilité soit moyenne à assez forte, les pressions associées sont modérées (réserve forestière et forêt dégradée avec association de parcelles de cultures).

La vulnérabilité est liée au caractère ruisselant de l'amont du bassin. Elle peut être relativisée car durant 8 mois de l'année (saison sèche et intermédiaire, tandis que le ruissellement intervient de décembre à mars) le linéaire de rivières est très faible et est alimenté par les eaux souterraines plus protégées.

En basses eaux la limite « temps de transfert inférieur à une heure » reste dans la zone à vulnérabilité moyenne, tandis qu'en hautes eaux elle remonte jusqu'aux zones à vulnérabilité assez forte.

**La vulnérabilité de la prise d'eau de surface est donc loin d'être négligeable en hautes eaux (de décembre à mars).**

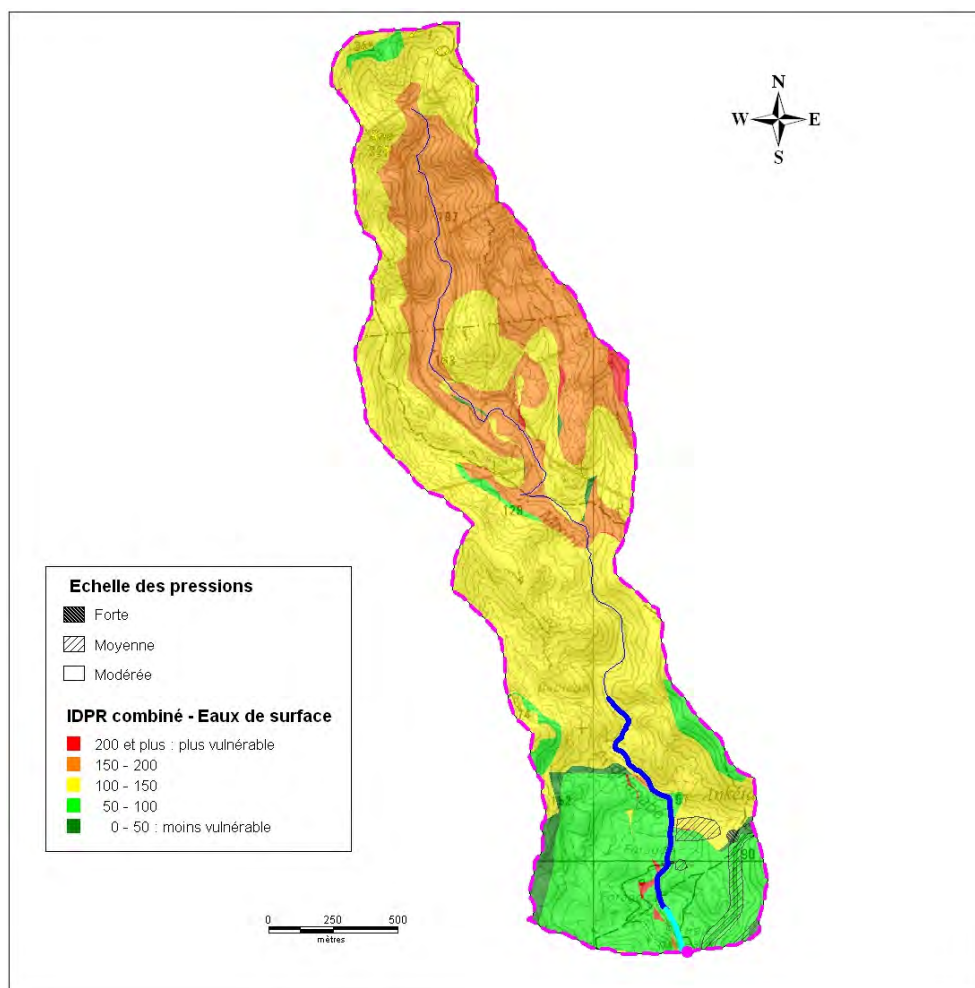


*Illustration 28 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC de la prise d'eau de surface Ampouriagna haut du bassin versant du Mro Oua Andrianabé (délimitation rose, se reporter à la carte de délimitation en illustration 18. En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 1 h en hautes eaux (en bleu foncé) et basses eaux (en bleu clair).*

Au niveau du BAC du drain de M'tsangamouji, l'illustration 29 précise que les pressions moyennes (route et cultures) et fortes (radier, décharge) sont localisées dans les zones à vulnérabilité moyenne et assez faible.

En basses eaux la limite « temps de transfert inférieur à une heure » reste dans la zone à vulnérabilité assez faible, tandis qu'en hautes eaux elle remonte jusqu'à la zone à vulnérabilité moyenne et au-dessus des zones de pressions. **La vulnérabilité du captage d'eau de surface est donc loin d'être négligeable en hautes eaux.**

Le temps de réaction avant la fermeture du captage en cas de pollution significative dans le secteur des pressions moyennes à fortes - et la mise en route des ressources de substitution - est donc largement inférieure à une heure.



*Illustration 29 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC de la prise d'eau du drain de M'tsangamouji (délimitation rose, se reporter à la carte de délimitation en illustration 18. En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 1 h en hautes eaux (en bleu foncé) et basses eaux (en bleu clair).*

## 6.2. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DU BAC SOUTERRAIN

En croisant les informations des cartes de vulnérabilité des eaux souterraines (§ 4.1) et de pressions (§ 5.2), il est possible d'établir la carte suivante.

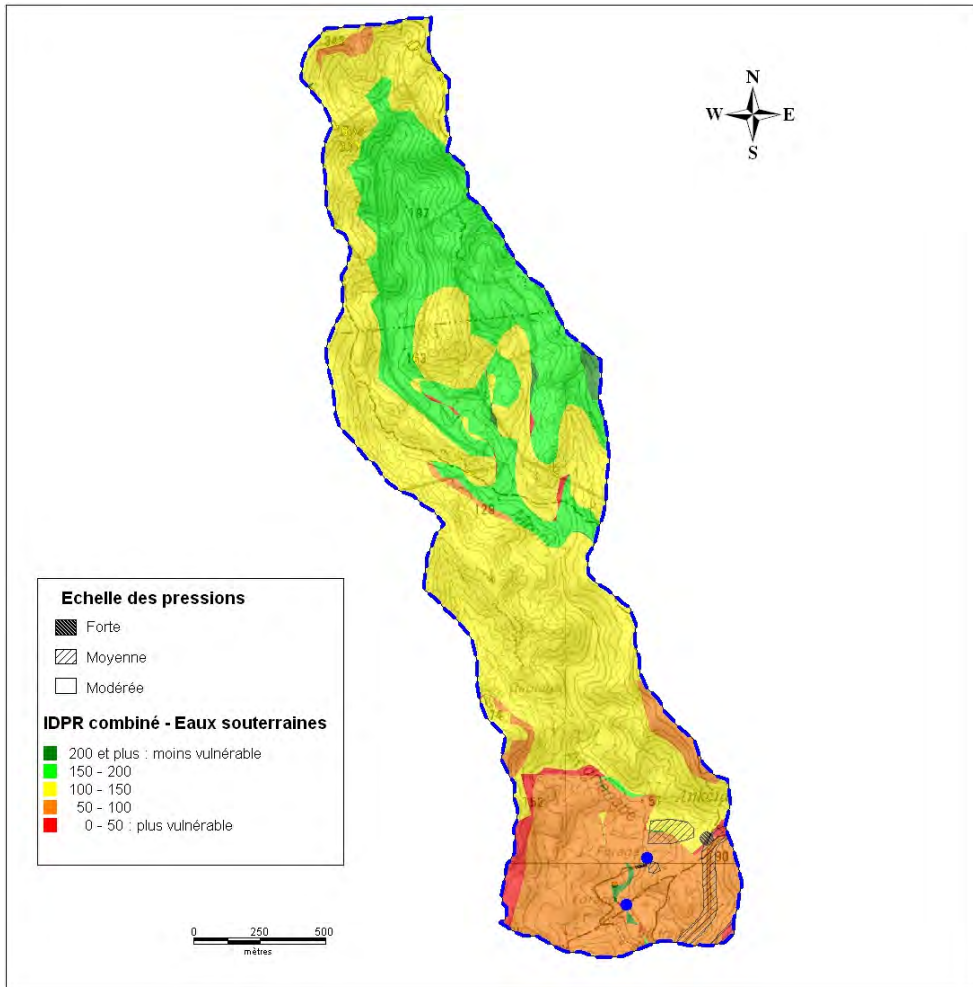


Illustration 30 - Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain des forages de M'tsangamouji 1 et 2 - bassin versant du Mro Oua Andrianabé

L'illustration montre que le croisement des informations de vulnérabilité et de pressions dans l'enceinte du BAC souterrain des forages de M'tsangamouji aboutit à la superposition de pressions identifiées comme fortes (radier, décharge) et moyennes (route et cultures) sur des zones identifiées comme assez vulnérables.

De plus, ces pressions semblent se trouver dans les zones d'influence des pompages sur les ouvrages M'tsangamouji 1 et 2 (zones d'appel). Cependant, il est possible qu'un recouvrement de cendres épaisses et de coulées altérées forment localement

une couverture constituant une bonne protection des eaux souterraines (comme au niveau du forage M'tsangamouji 1).

**Le degré d'exposition de la ressource en eau souterraine est donc plus élevé dans un rayon de 400 m autour des forages.** Dans la partie amont du BAC, cette ressource semble moins menacée.

### **6.3. CONCLUSION SUR LES RISQUES DE POLLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA ANDRIANABE**

Les travaux réalisés sur le bassin du Mro Oua Andrianabé, relatifs à la caractérisation de la vulnérabilité des ressources en eau (1 BAC souterrain et 2 BAC de surface) et aux pressions ont permis les interprétations suivantes en termes de risques de dégradation des eaux. Il s'avère que les eaux souterraines et la prise d'eau Ampouriagna haut sont visiblement les plus menacées en termes de dégradation par pollution diffuses et/ou chroniques opérées sur le bassin. Les conclusions du rapport apporteront un set de recommandations concernant la surveillance de ces ressources.

#### **6.3.1. BAC de surface**

Comme toute prise d'eau de surface, la vulnérabilité des BAC des prises d'eau est importante (celle d'Ampouriagna haut semble plus forte que celle du drain de M'tsangamouji) et semble similaire aux autres bassins versants de Mayotte (Mrowalé, Kwalé...). De fortes pressions localisées sont existantes et augmentent les risques de pollution du captage. Les pressions d'Ampouriagna haut sont modérées tandis que celles du drain de M'tsangamouji sont fortes à moyennes. Néanmoins, compte tenu de l'importance des infiltrations juste en amont du drain, ce risque pourrait être en partie atténué – toujours en comparaison avec d'autres bassins versants.

Comme précisé ci-dessus (chapitre 6.1.), la vulnérabilité de la prise d'eau d'Ampouriagna haut est loin d'être négligeable en hautes eaux (de décembre à mars). Par ailleurs pour le drain, en hautes eaux, la limite « temps d'atteinte de 1 h » remonte au-dessus des zones identifiées comme à fortes et moyennes pressions (radier, décharge, lessives, route et cultures), ce qui renforce le degré d'exposition du captage à un éventuel accident de pollution au niveau du cours d'eau à cet endroit en réduisant les délais d'intervention à moins d'1 h. Pour les deux captages, le risque de pollution des eaux de surface est donc plus fort en hautes eaux qu'en basses eaux.

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, l'alimentation de la prise d'eau de surface est continue toute l'année alors que la recharge des aquifères ne se produit que quelques mois dans l'année, le reste étant consacré au soutien des rivières par les nappes donc plutôt aux phénomènes d'exfiltration. Ce qui suggère qu'un polluant déversé sur la surface du BAC atteindra le captage de surface toute l'année alors qu'il devra attendre les épisodes de recharge pour contaminer la nappe. Cette information est importante car elle conditionne la vulnérabilité relative des captages de surface par rapport aux captages souterrains.

#### **6.3.2. BAC souterrain**

La vulnérabilité du BAC des forages de M'tsangamouji 1 et 2 est relativement importante dans un rayon de 400 m autour des ouvrages, en raison des formations géologiques et horizons pédologiques le constituant (et d'autant plus en comparaison

avec les degrés de vulnérabilité qu'il est d'usage de rencontrer sur d'autres BAC de Mayotte, cf. rapport BRGM/RP-57299-FR). Celui-ci est aussi fortement exposé aux pressions identifiées en surface.

De même que pour le BAC de surface, les zones de pressions, situées à proximité du village de M'tsangamouji sont identifiées comme les plus susceptibles d'avoir une incidence sur la qualité des eaux souterraines car ces secteurs coïncident avec les secteurs à vulnérabilité assez élevée.





## 7. Recommandations

Les résultats de l'étude ont mis en évidence la nécessité d'un programme d'action à mettre en place dans le souci de la restauration et de la préservation de la ressource en eau souterraine et de surface des 3 BAC du bassin versant du Mro Oua Andrianabé. Compte tenu de la vulnérabilité intrinsèque de chacun des BAC, il est nécessaire de limiter au maximum le volume et la nature des pressions s'exerçant en surface. Les recommandations sont les suivantes :

- il est absolument nécessaire de renforcer le suivi de la qualité des eaux, notamment la bactériologie et le fer. 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 pollutions 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). Le rapport mentionne une seule analyse DASS à la prise d'eau de surface et 4 à proximité du drain ;
- ces mesures devront s'accompagner de 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 biologiques<sup>1</sup> et des passes à poissons au niveau des captages en rivière devraient contribuer à la restauration de la qualité écologique du cours d'eau ;
- suivre, au moins de façon journalière, les niveaux piézométriques des deux forages pompés (avec une précision au centimètre, si possible) ;
- valider les anciennes mesures de débit effectuées sur la rivière (mesure en cours par la DAF) et continuer le suivi à un pas de temps adapté à la rivière en réalisant une mesure fiable. Ceci permettrait d'établir un bilan hydrologique ;
- des études hydrogéologiques complémentaires portant sur :
  - la réalisation d'un pompage d'essai longue durée (au moins 3 jours) sur le forage M'tsangamouji 1 (actuellement exploité au plus fort débit) avec suivi des niveaux piézométriques sur le forage M'tsangamouji 2, et inversement. Ceci permettra de mieux caractériser la compartimentation et/ou les interactions entre ces deux ouvrages ;
  - des tests de perméabilité couplés avec des traçages permettraient de rattacher des valeurs physiques d'infiltrabilité aux indices IDPR et rugosité, et ce en fonction

---

<sup>1</sup> 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.

des formations lithologiques et/ou pédologiques concernées. Les traçages permettraient d'apprécier les vitesses de transfert des eaux souterraines vers les forages, données essentielles dans la bonne détermination des périmètres de protection. Des traçages en rivières permettraient de vérifier les vitesses de transfert de polluant d'une section donnée au captage ;

- une modélisation pluie-débit-niveau piézométrique sur le bassin versant, de manière à analyser les relations nappe-rivière et appréhender le taux de participation des eaux souterraines au débit de la rivière ;
- il sera nécessaire de réglementer et surveiller les pratiques (assainissement, agriculture, lessives) dans la partie basse du bassin versant du Mro Oua Andrianabé, notamment à proximité du village de M'tsangamouji ;
- plus largement - et ce constat sera applicable à l'ensemble des bassins versants de Mayotte lors de l'instauration des périmètres de protection – il sera nécessaire de mettre en place des plans d'actions spécifiques portant sur des fondamentaux comme : l'information et la sensibilisation de la population riveraine à la protection de la ressource, le développement de mesures agro-environnementales, l'alternative à la lessive en rivière, les moyens de surveillance de la ressource et des pratiques, etc.

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

## 8. Conclusion

Dans le cadre de la convention de recherche et développement à coûts partagés SIEAM/BRGM du 24 avril 2009, les délimitations des bassins d'alimentation des captages du bassin versant du Mro Oua Andrianabé, à savoir les deux forages de M'tsangamouji 1 et 2 (BSS 12306X0017 et 12306X0016), la prise d'eau de surface Ampouriagna haut (12306X0054/AMPCAP) et le drain de M'tsangamouji (12306X0055/AMPDRA) ont été établies sur la base des principes méthodologiques du rapport BRGM/RP-57299-FR.

Les bassins d'alimentation des prises d'eau englobent l'intégralité du bassin versant de surface en amont des captages tandis que les forages - du fait de leur proximité - ont un bassin d'alimentation commun qui intègre l'ensemble du bassin versant en amont du forage le plus aval. Il existe donc à l'heure actuelle trois bassins d'alimentation de captages inscrits dans le bassin versant du Mro Oua Andrianabé.

Les résultats des calculs « IDPR combiné » montrent que l'aval du bassin versant du Mro Oua Andrianabé possède un réseau de drainage déficitaire soit une capacité infiltrante, et que son amont est assez drainé soit une capacité ruisselante (voire exfiltrante d'après la reconnaissance de terrain). De fait, la vulnérabilité des captages souterrains implantés à l'aval de ce bassin versant dans la zone infiltrante est assez élevée. En ce qui concerne les prises d'eau de surface, leurs vulnérabilités - toujours importantes dans le cas des eaux de surface - sont moyennes à assez fortes.

La détermination des temps d'atteinte au captage d'un polluant en amont des prises d'eau montre que la propagation d'un éventuel polluant est très rapide et d'autant plus en hautes eaux, ce qui réduit les délais de réaction (inférieurs ou égaux à une heure en cas de hautes eaux).

En ce qui concerne l'inventaire et la caractérisation des pressions s'exerçant sur les captages, les pressions identifiées comme les plus importantes sont : un radier à 400 mètres en amont de la prise d'eau aval, un début de décharge sauvage, les lessives manuelles avec l'utilisation de produits détergents directement dans le cours d'eau, la route CCD1, et la mobilisation des sols conséquemment aux aménagements et pratiques agricoles (responsables des fortes turbidités des eaux).

Mis à part les paramètres bactériologiques, l'eau du Mro Oua Andrianabé en amont des zones de captages n'est pas considérée comme réellement polluée étant donnée l'absence de substances organiques indésirables dépassant les limites de qualité AEP, constat qui n'écarte pas les pollutions accidentelles et dont les constituants, teneurs ou effets n'ont jamais été réellement mesurés (notamment en raison du nombre trop faible d'analyses réalisées).

Par ailleurs, l'inventaire des aléas naturels susceptibles de nuire aux installations montrent que la prise d'eau d'Ampouriagna haut est située en zone d'aléa fort de type mouvement de terrain accompagnés de chutes de blocs.

Les prises d'eau en rivière (captage et drain) – comme l'ensemble de celles existant à Mayotte – sont très exposées aux risques de type inondation accompagnée de débâcles pouvant entraîner des dégradations importantes sur les ouvrages 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 leurs fonctionnements). Ces risques sont connus et acceptés.

Finalement, le risque s'exerçant sur les 3 bassins d'alimentation de captage est suffisamment élevé pour ne pas garantir la sécurité de la ressource vis-à-vis des pressions extérieures existantes. Le développement de l'urbanisation, mais surtout celui des pratiques agricoles, des aménagements et la non réglementation des lessives en rivière sont les facteurs essentiels pouvant conduire, à l'avenir, à une dégradation consécutive de la ressource.

Les recommandations portent à la fois (i) sur la surveillance de la ressource, c'est-à-dire le renforcement du suivi de la qualité des eaux, du débit de la rivière, des niveaux piézométriques et de la quantité des prélèvements, (ii) sur la surveillance et la réglementation des pratiques en vigueur sur les BAC (pratiques agricoles, lessives, assainissement...) et (iii) sur la mise en place de plans d'actions portant sur la sensibilisation des riverains à propos de la protection de la ressource en eau, le développement de mesures agro-environnementales et de mesures alternatives à la lessive en rivière. Ces recommandations doivent être observées sur l'ensemble des BAC et plus particulièrement dans le secteur du village de M'tsangamouji et 600 mètres en amont où les pressions sont les plus importantes.

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.

## 9. Références bibliographiques

J-C. Audru, B. Auber, J-F. Desprats, G. Eucher, O. Jossot, C. Mathon, J-L. Nédellec, O. Sedan et N. Zornette, avec la collaboration de S. Guillobez (Cirad), de P. Daniel et de B. Haie (Météo-France), 2004 – Atlas des aléas naturels à Mayotte, communes de Mtsamboro, Acoua et Matsangamouji. Rapport BRGM/RP-53194-FR, 98 p., 78 figures ou photos, 3 tableaux, 36 cartes et 8 annexes.

BRGM (2000) - Caractéristiques physiques et chimiques de cinq rivières et de leurs bassins versants sur Grande Terre, île de Mayotte – Etablissement d'un état des lieux vis à vis des facteurs de pollution. Rapport BRGM/RC-50355-FR – 2000 SGR/MAY 27, 59 p., 40 fig., 10 tab., 5 annexes.

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

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

Jourdain T., Maurillon N. et Mouron R. (2002) – Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre (Ile de Mayotte). Rap. BRGM/RP-52193-FR – 2002 MAYOTTE 04, 80 p., 17 fig., 8 tab., 5 ann.

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

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

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

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

Malard A. 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., 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.

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

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

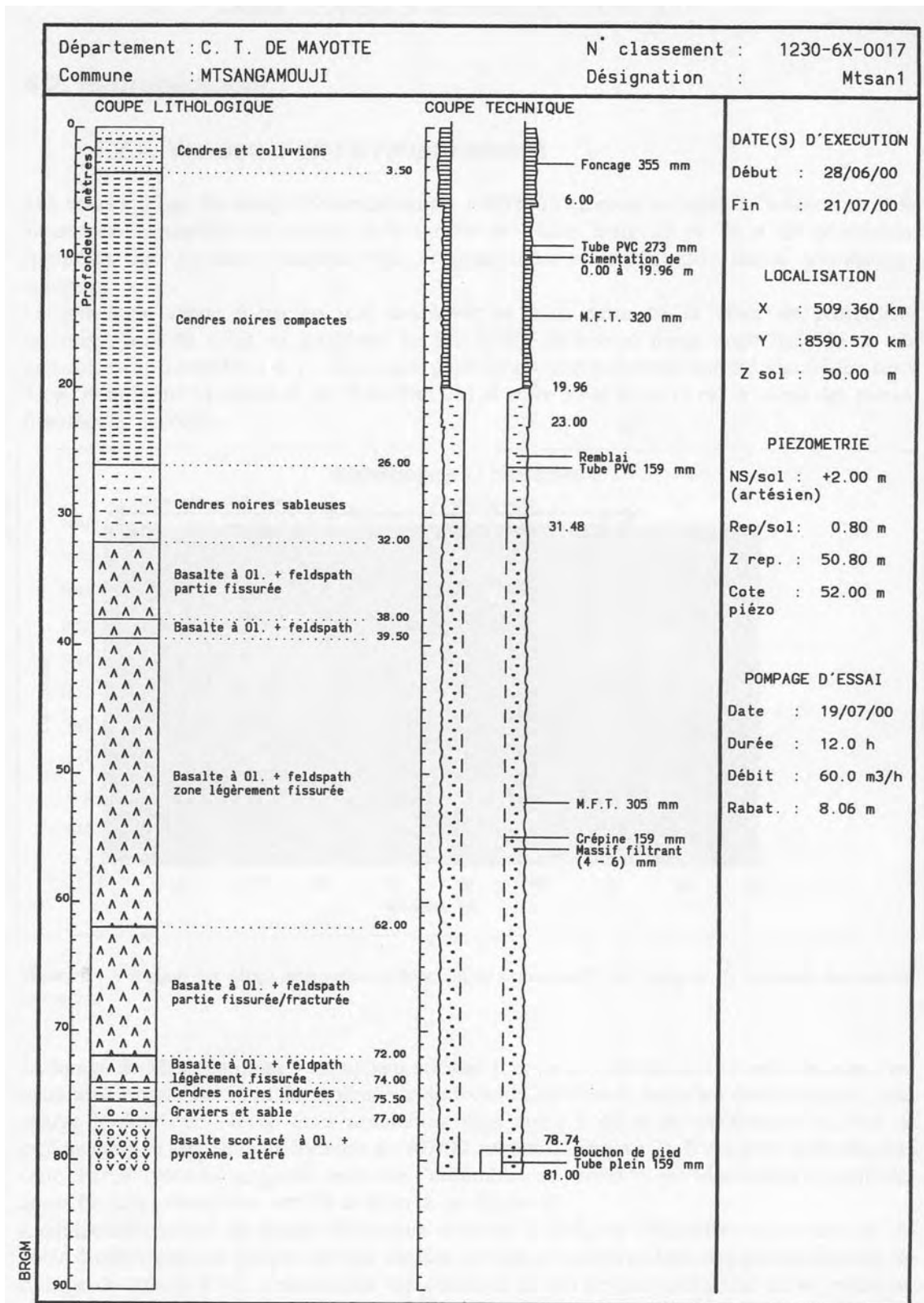
Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2008) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Application du guide méthodologique sur des bassins test, rapport BRGM/RP-55875-FR, 172 pages, 113 illustrations, 7 annexes.

## **Annexe 1**

### **Coupes techniques des forages de M'tsangamouji 1 (12306X0017/Mtsan1), M'tsangamouji 2 (12306X0016/Mtsan2) et M'tsangamouji 8'' (12306X0011/Tsan1)**







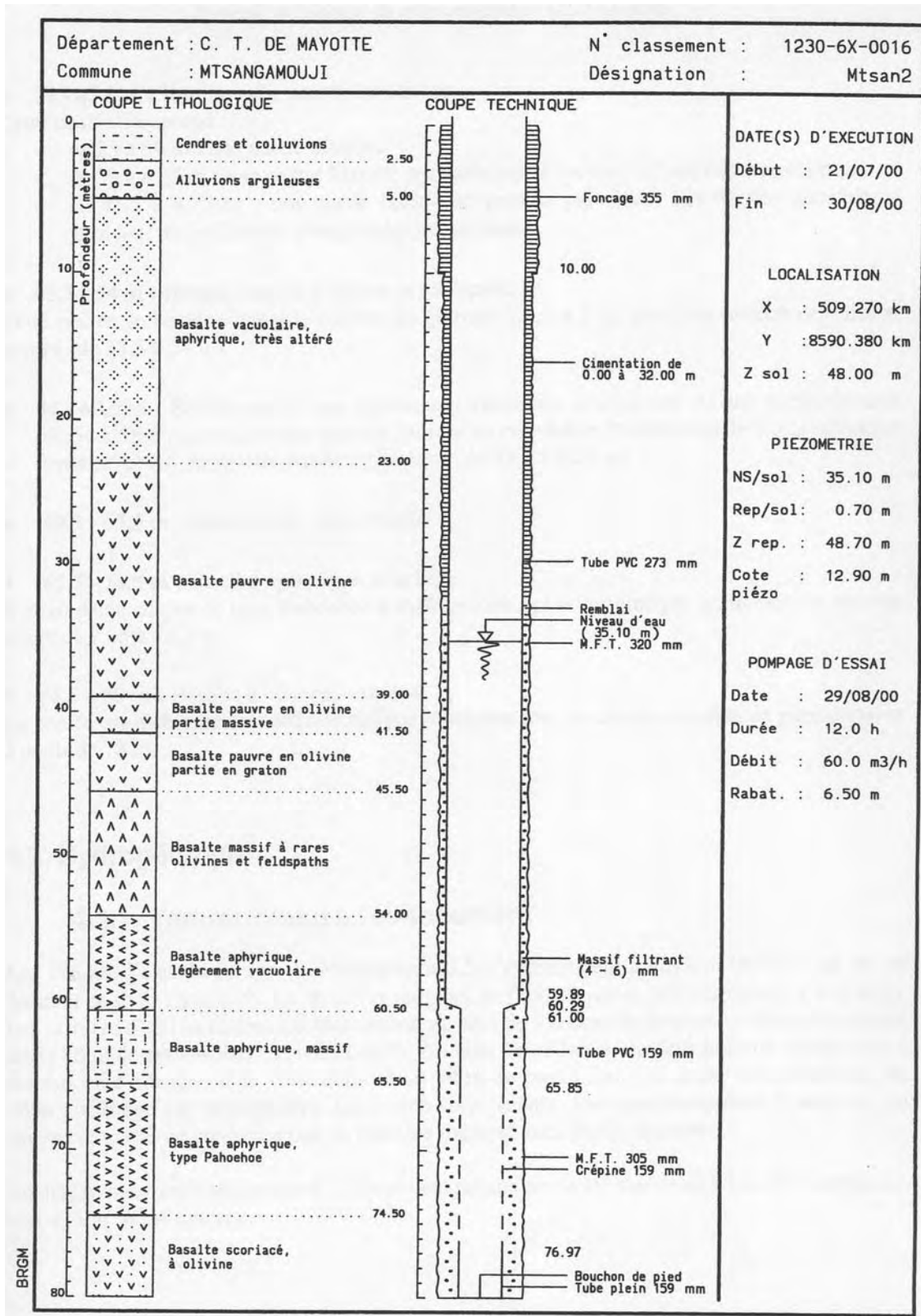
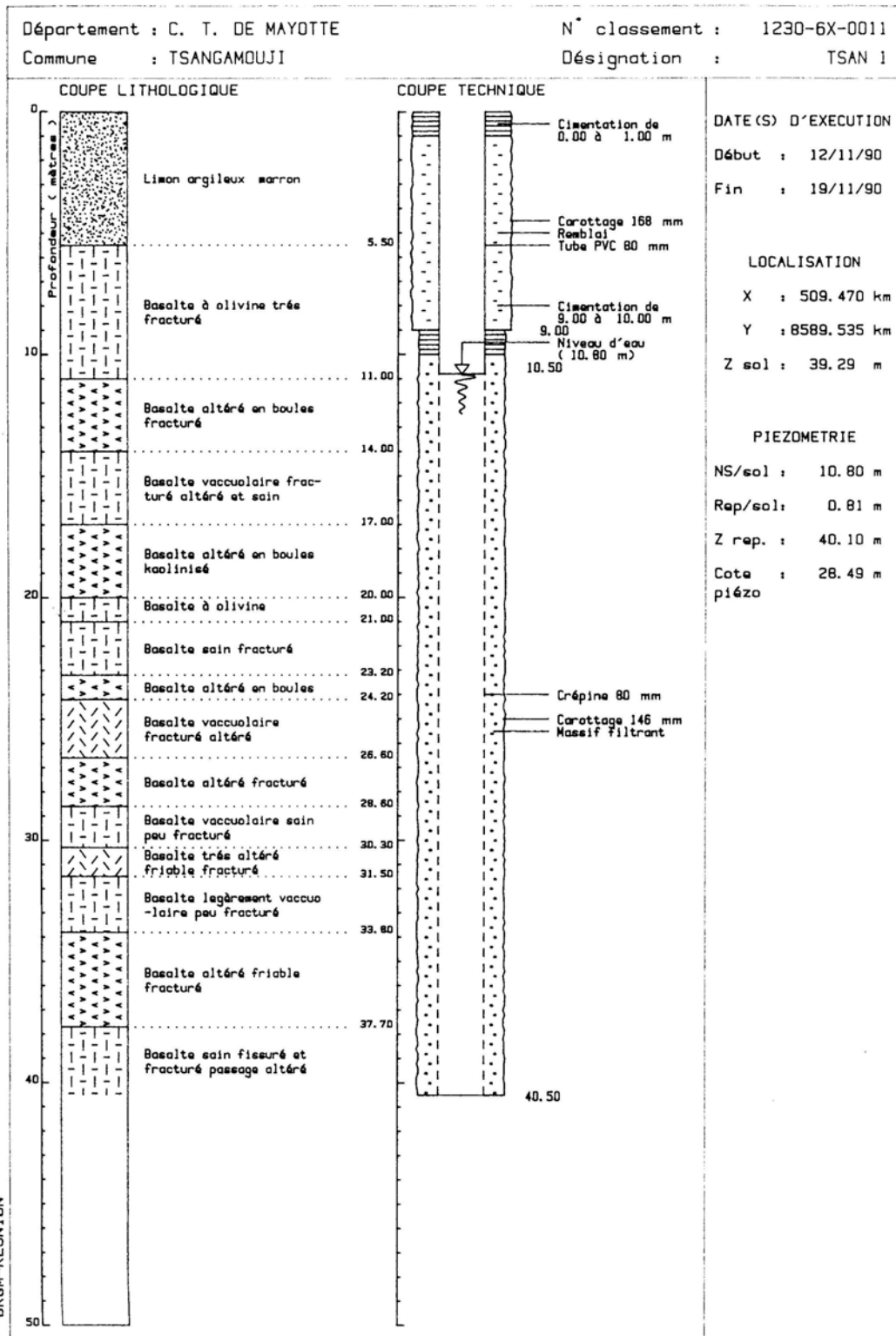


FIGURE 26





## **Annexe 2**

### **Analyses physico-chimiques des captages du bassin versant du Mro Oua Andrianabé**









## **Annexe 3**

### **Jaugeages au sel du 8 octobre 2009**



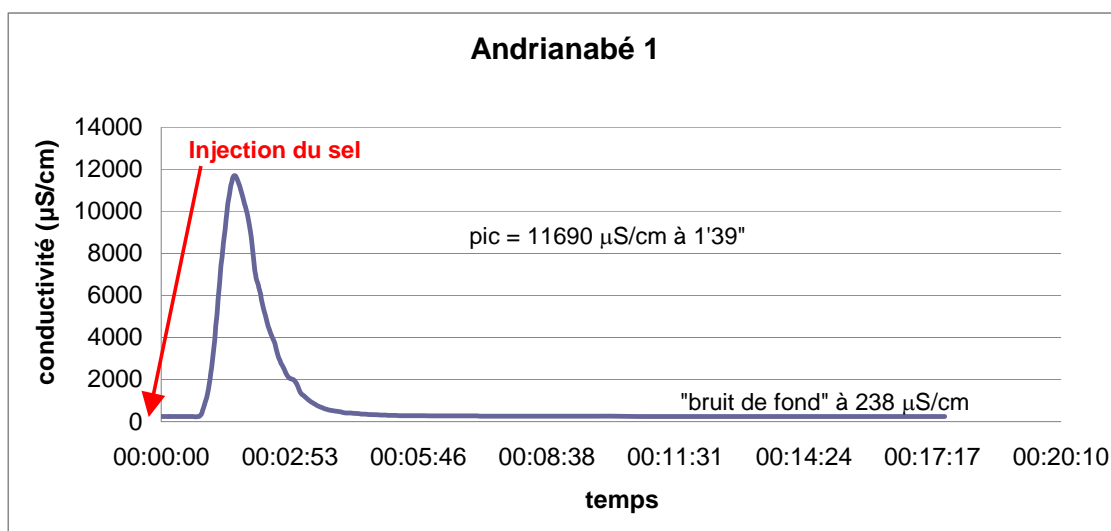
## Jaugeage 1 – Andrianabé / Zone 1

Le premier jaugeage est réalisé sur la rivière Andrianabé au point de coordonnées UTM<sub>COMBANI50</sub> (X=509 299 m, Y=8 590 289 m et Z=45 m NGM), à 13h00.

Sur la section jaugée, la largeur du lit mineur est d'environ 5 m et le débit est estimé visuellement entre 10 et 20 l/s. La longueur linéaire du cours d'eau, c.à.d. la distance entre le point d'injection du sel et le point de prise des mesures est de 11.5 m. La masse de sel injecté est de 6 928 g. Le débit étant mesuré dans les rapides, la vitesse calculée sera une vitesse maximale (cf. rapport BGRM/RP-57299-FR).

La faible compétence du cours au niveau de cette section et notamment au niveau des fonds ne favorise pas la mise en solution instantanée du sel. Une certaine quantité de sel estimée à 10 % de la quantité totale est restée sur le fond.

La conductivité du cours d'eau à cet endroit est de 238  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (valeur prise comme signal de base dans les calculs suivants).



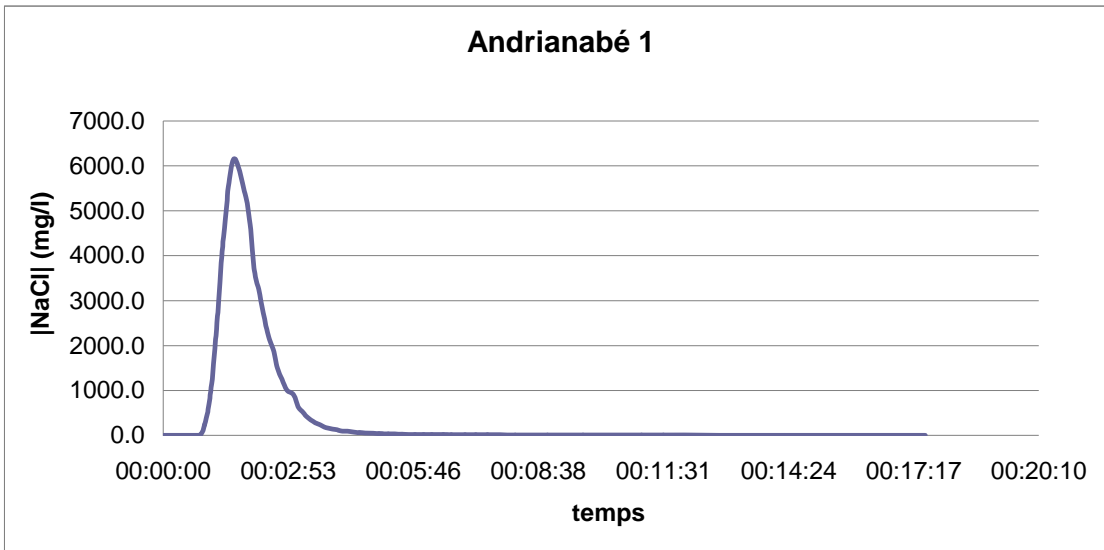


Illustration 31 - Courbes de restitution du sel – Andrianabé / zone 1

masse sel injecté (g)	6 928
coefficient k de conversion ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{L}$ )	1,86
% de restitution estimé	90
Débit (L/s)	17
Vitesse de pointe du panache (m/h)	418

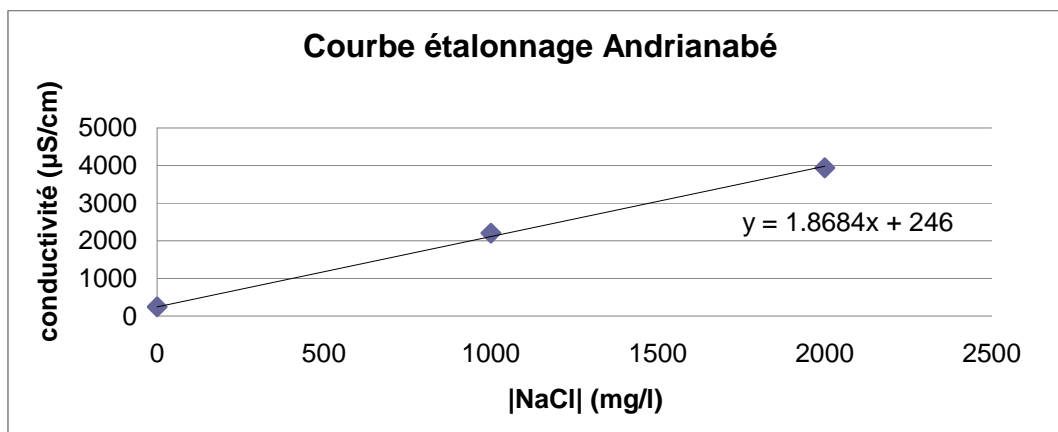


Illustration 32 - Courbe de calibration Conductivité =f([NaCl]) de la rivière Andrianabé

## Jaugeage 2 – Andrianabé / Zone 4

Le deuxième jaugeage est réalisé en amont du premier – à environ 1.5 kilomètre de distance - à 14h25, au point de coordonnées UTM<sub>COMBANI50</sub> (X= 509 103 m, Y= 8 591 455 m et Z=100 m NGM), sur une longueur linéaire de 11.5 m. Au niveau de cette section, la largeur du lit mineur est de 3 m. La conductivité de base est de 229  $\mu\text{S/cm}$ , soit un signal quasi identique à celui mesuré en aval. Compte tenu d'un débit plus faible à celui en aval, la masse de sel injectée pour le jaugeage est moins élevée : 4 155 g.

Néanmoins, la faible compétence du cours d'eau au niveau de cette section et notamment au niveau des fonds ne favorise pas la mise en solution instantanée du sel. Une certaine quantité de sel estimée à 10 % de la quantité totale est restée sur le fond.

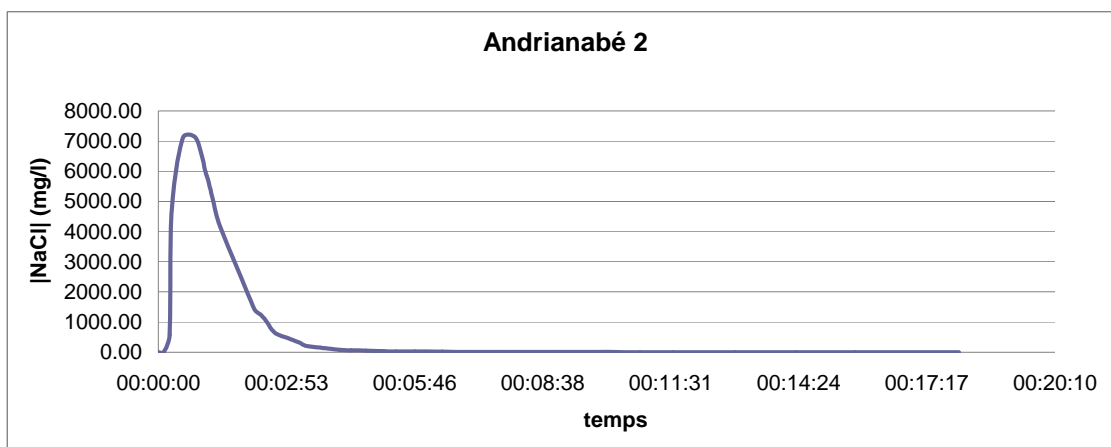
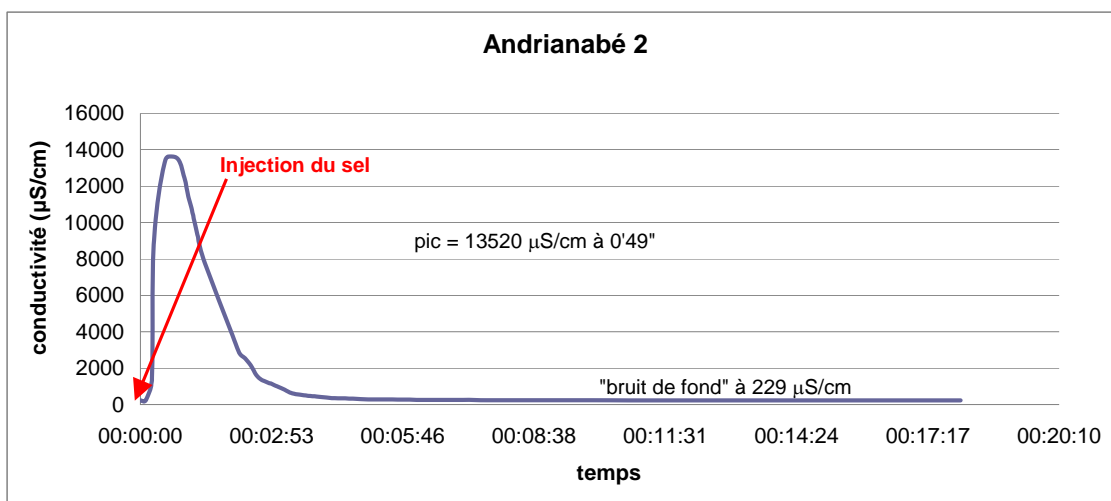


Illustration 33 - courbes de restitution du sel – Andrianabé / Zone 4

masse sel injecté (g)	4 155
coefficient k de conversion ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{L}$ )	1,86
% de restitution estimé	90
Débit (L/s)	7
Vitesse de pointe du panache (m/h)	845

## **Annexe 4**

### **Détails des calculs d'application de la formule de Manning Strickler au Mro Oua Andrianabé**





Bassins d'alimentation de captage de Mayotte – Cas du bassin versant du Mro Oua Andrianabé

M'tsangomouji haut		longueur cumulée depuis captage (m)		ordre de Strahler	ALTIUDE min (m NGM)	ALTIUDE max (m NGM)	petite S largeur lit (m)	R (tranche R (tranche 0.1 m) 0,1 m)	V (tranche 0.1) en m/s	V (tranche 1) en m/s	1) moy V (tranche 0.1) en m/s	ips max captage (h) (tranche 0.1)	ips max captage (h) (tranche 1)						
144,798	271	0,214	1	0,167	0,667	0,040	0,025	0,040	0,025	0,040	0,025	62	100	1360	2177	97,5	60,9	2,7	1,7
66,487	228	240	0,139	1,0167	0,667	0,025	0,040	89	143	0,40	0,63	1427	2384						
63,654	228	240	0,139	1,0167	0,667	0,016	0,026	58	92	0,26	0,41	925	1480						
170,124	203	222	0,112	2,0182	1,000	0,013	0,021	47	75	0,39	0,63	1414	2352						
127,116	203	222	0,112	2,0182	1,000	0,015	0,025	55	89	0,47	0,74	1875	2690						
77,117	184	203	0,149	2,0182	1,000	0,021	0,033	74	119	0,62	1,00	2242	3697						
265,559	176	180	0,045	3,0188	2,000	0,007	0,011	26	41	0,22	0,35	778	1245						
566,516	151	176	0,038	3,0188	2,000	0,005	0,005	20	32	0,23	0,36	810	1366						
103,575	140	154	0,136	3,0188	2,000	0,020	0,032	72	115	0,62	1,31	2948	4717						
145,578	136	145	0,027	3,0188	2,000	0,004	0,006	14	23	0,19	0,36	493	957						
192,747	132	136	0,021	3,0188	2,000	0,003	0,005	11	18	0,12	0,20	448	717						
376,959	121	132	0,029	3,0188	2,000	0,004	0,007	15	25	0,16	0,30	532	1011						
111,995	117	121	0,036	3,0188	2,000	0,005	0,006	19	30	0,21	0,34	772	1235						
457,707	95	95	0,046	3,0188	2,000	0,007	0,011	25	41	0,29	0,46	1036	1661						
75,940	90	95	0,086	3,0188	2,000	0,010	0,015	35	56	0,40	0,63	1422	2275						
ZONE 4																			
ZONE 5																			
ZONE 6																			
ZONE 2																			
ZONE 3																			
ZONE 1																			
ZONE 1																			
ZONE 2																			
ZONE 3																			
ZONE 4																			
ZONE 5																			
ZONE 6																			

$V = R \cdot 2/3 \cdot S^{1/2} / n$

Colonne A -> longueur indépendante des tronçons  
 Colonne B -> longueur cumulée du cours d'eau à partir du captage  
 Colonne D et E -> Altitude minimale et maximale du tronçon  
 Colonne F -> calcul de la pente du tronçon  
 Colonne G -> D'après les observations, la largeur du lit mineur (en moyenne) est de 1 m (e=228 m NGM), 2 m (entre 176 et 228 m NGM), 3 m (entre 88 et 176 m NGM), 4 m (entre 56 et 69 m NGM) et 5 m (<56 m NGM).  
 Colonne H et I -> périmètre mouillé. La tranche correspond aux réajustements hydro (BE=0,1 m et HE = 1 m) et fonction de la colonne L.  
 Colonne J,K,N et O -> V en m/s fonction de coefficient de Manning Strickler est pris à 0,025 et 0,04  
 Colonne L,M,P et Q -> pareil mais en m/h  
 Colonne R,S,T et U -> moyenne des vitesses en m/h par classe d'altitude (40/60, 60/70, 70/120, 120/130, 130/200, 200/280) soit 6 zones  
 Colonne V,W,X et Y -> temps maximal d'arrivée au captage par l'eau (fonction des 2 Coef de Strickler et des 2 tranches d'eau considérées, soit 4 combinaisons)







**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
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