

DIRECTION
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA FORET



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère
de l'Écologie,
de l'Énergie,
du Développement
durable
et de la Mer



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Rapport final

BRGM/RP-57109-FR

Août 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public 2008 du BRGM.

A. Malard

Avec la collaboration de

B. Aunay, J.F Vernoux et V. Mardhel

Vérificateur :

Nom : B. Vittecoq

Date : 10 août 2009

Signature :

Approbateur :

Nom : P. Puvilland

Date : 12 août 2009

Signature :

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

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

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

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

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

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

Synthèse

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

Lors du comité permanent de la MISEEN¹ du 03/03/08, il a été convenu que toutes les prises d'eau et tous les forages d'alimentation en eau potable de Mayotte devaient être protégés. Par ailleurs, le précédent comité du 08/11/07 avait proposé cinq captages comme prioritaires (inscrits en tant que captages Grenelle sur les listes ministérielles) ainsi que les autres 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. Dans le cadre de la convention de recherche et développement partagés DAF/BRGM du 18 août 2008, il s'agit des ouvrages suivants :

- la prise d'eau de l'Ourovéni (BDAEP 14C1 et BSS 12306X0051), la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani ainsi que le drain de Mréréni (12306X0008/HY), les forages de Combani-Mréréni (12306X0038/COMB), d'Ourovéni 1 (12306X0048/OURO01) et de Combani-Kahani (12306X0047/COMB) – cf. rapport BRGM/RP-57111-FR ;
- **La prise d'eau de Gouloué haut (BDAEP 11C1 et BSS 12307X0143) ainsi que les forages de Gouloué 1 (12307X0045/GOUL) et de Gouloué 2 (12307X0053/GOUF4D) qui font l'objet du présent rapport ;**
- Les prises d'eau de Bouyouni bas (BDAEP 2C6 et BSS 12306X0049) et de Bouyouni haut (BDAEP 2C5 BSS 12306X0052), ainsi que le forage de Bouyouni Bouyouni (12306X0024/BOUY) – cf. rapport BRGM/RP-57108-FR ;
- La prise d'eau de Méresse (BDAEP 2C3 et BSS 12306X0050) ainsi que le forage de Bouyouni Méresse (12306X0046/BOUY) – cf. rapport BRGM/RP-57110-FR ;
- Et la prise d'eau en mer pour l'usine de dessalement de Petite Terre (BSS 12308X0087) - cf. rapport BRGM/RP-57112-FR.

Les résultats de l'étude montrent que les forages de Gouloué 1 & 2 appartiennent à un seul et même BAC souterrain qui couvre près de 75 % de la surface du bassin versant du Mro Oua Gouloué. L'estimation de la vulnérabilité du BAC et des pressions

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

exercées a démontré que le BAC est relativement vulnérable compte tenu du fort caractère infiltrant des unités fonctionnelles qui le composent (faciès lithologiques et pédologiques). Ainsi le degré d'exposition de la ressource en eau souterraine est très important. La présence du village de Vahibé (déficit d'assainissement) dans l'enceinte du BAC ainsi que les sites de pratique des lessives en contrebas du village et la présence de la carrière de Doujani (actuellement utilisée comme décharge sauvage) sont les pressions les plus significatives susceptibles d'impacter la ressource en eau.

En ce qui concerne la prise d'eau de surface de Gouloué haut, il s'avère que le BAC intègre tout le bassin versant en amont du point de prélèvement - environ 1/3 du bassin versant de l'ensemble du Mro Oua Gouloué. Les résultats d'approche de la vulnérabilité du captage montrent que cette dernière existe mais qu'elle reste modérée pour un captage de surface à Mayotte – comparativement à d'autres bassins versants. Les calculs de vitesse du cours d'eau mettent en évidence des temps de transfert relativement courts entre les zones de pressions (sites de lessive) 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 de Gouloué haut est donc relativement 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 adaptées 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 exploitation². 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 Publique³ et de mettre en application les plans d'action de protection des ressources.

² Courant 2009, la signature de la convention SIEAM / BRGM du 24 avril 2009 prévoit le lancement des études BAC sur 5 autres bassins versant exploités par des captages d'eau de surface et/ou des captages d'eau souterraine. La signature de la convention ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009 prévoit la réalisation des études BAC sur les 4 bassins versants restant. Fin 2009, les études BAC devront être abouties sur tous les captages en service ou en instance de mise en service de Mayotte.

³ Comme prévu par (i) la loi relative à la protection de la santé publique de 1902, article 10, qui impose pour tous captages la réalisation d'une Déclaration d'Utilité Publique qui déterminera - si nécessaire – un périmètre de protection contre la pollution de l'ouvrage, (ii) la loi sur l'eau de 1992 qui impose à tous les captages la délimitation des périmètres de protection. Cette loi, rétroactive, s'applique aussi bien aux captages en création qu'aux captages antérieurs et (iii) le Plan National Santé Environnement qui fixe comme objectif que l'ensemble des captages soient protégés en 2010.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Présentation du Bassin Versant	13
2.1. TOPOGRAPHIE	13
2.2. PLUVIOMETRIE	14
2.3. OUVRAGES D'EAU.....	15
2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET IMPLICATIONS HYDROGEOLOGIQUES	15
2.5. MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU.....	20
2.6. MORPHOPEDOLOGIE.....	24
3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage	29
3.1. LA PRISE D'EAU DE SURFACE BDAEP 11C1 ET BSS 12307X0143.....	29
3.1.1. Présentation	29
3.1.2. Qualité des eaux.....	30
3.1.3. Délimitation du BAC	32
3.2. LES FORAGES DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA GOULOUE	33
3.2.1. Le forage de Gouloué 1 – BSS 12307X0045/GOUL	33
3.2.2. Le forage de Gouloué 2 - BSS 12307X0053/GOUF4D	37
3.2.3. Délimitation du BAC des forages de Gouloué	41
4. Caractérisation de la Vulnérabilité	45
4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES FORAGES DE GOULOUE 1 & 2 : APPLICATION DE LA METHODE IDPR.	45
4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DE LA PRISE D'EAU EN RIVIERE DE GOULOUE : APPLICATION DE LA METHODE IDPR	47
4.3. CALCUL DES TEMPS D'ATTEINTE DU MRO OUA GOULOUE EN AMONT DE LA PRISE D'EAU	49
4.3.1. En condition de hautes eaux : application de la formule de Manning Strickler.....	50
4.3.2. En condition d'étiage : mesure des débits - vitesses <i>in-situ</i>	50

5. Caractérisation des pressions	53
5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LE BASSIN DU MRO OUA GOULOUE.....	53
5.1.1. Urbanisation et aménagement	53
5.1.2. Activités rurales et agricoles	53
5.1.3. Sites industriels, sites et pratiques à risques	54
5.1.4. Risques naturels	56
5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS	57
6. Evaluation du risque de pollution des bassins d'alimentation de captages du bassin versant du Mro Oua Gouloué.....	59
6.1. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DU BAC DE SURFACE	59
6.2. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DU BAC SOUTERRAIN.....	61
6.3. CONCLUSION SUR LES RISQUES DE POLLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA GOULOUE.	63
6.3.1. BAC de surface	63
6.3.2. BAC souterrain.....	63
7. Recommandations	65
8. Conclusion.....	67
9. Références bibliographiques	69

Liste des illustrations

Illustration 1 : Découpage du bassin versant topographique du Mro Oua Gouloué et localisation des ouvrages d'eau ainsi que du pluviomètre de Gouloué (support IGN© 1/25 000).	14
Illustration 2 : Géologie du bassin versant du Mro Oua Gouloué (Stieljes – 1988). Le cadre rouge correspond au secteur investigué dans le cadre de la synthèse hydrogéologique du Nord-Est de Mayotte (BRGM/RP-56600-FR), présentée en Illustration 3 suivante.	17
Illustration 3 : Carte lithologique de la partie aval du bassin versant du Mro Oua Gouloué (BRGM/RP-56600-FR). En rouge sont retracés les profils géophysiques existants.	18
Illustration 4 : Profil en long du Mro Oua Gouloué, du cours principal remontant au M'tsapéré et du bras alimentant le captage.	21
Illustration 5 : Chronique des débits du Mro Oua Gouloué enregistrés au seuil C3 entre 1995 et 2003 (données DAF). Le pic de mars 1999 s'élève à plus de 200 L/s ; valeur qu'il est très probable de dépasser en cas de fortes crues mais difficile à mesurer. En l'absence de toute archive méthodologique sur les modalités de mesure des débits, il convient de garder une certaine réserve sur la pertinence des données. La DAF procède à l'heure actuelle à une validation des données couvrant la période 2003-2009.	23
Illustration 6 : Formations pédologiques du bassin versant du Mro Oua Gouloué 1/50 000 (Latrille et al – 1981)	26
Illustration 7 : La prise d'eau de surface du Mro Oua Gouloué (photographie du 4 février 2009)	30
Illustration 8 : Le forage de Gouloué 1 (photographie du 4 février 2009)	34
Illustration 9 : Chronique piézométrique du forage de Gouloué 1 en m NGM entre mai 2003 et mai 2007 (données DAF). En surimposition sont figurées les précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Gouloué sur la même période.	35
Illustration 10 : Forage de Gouloué 2 (photographie du 4 février 2009)	38
Illustration 11 : Chronique piézométrique du forage de Gouloué 1 en m NGM entre juin 2003 et juin 2007 (données DAF)	40
Illustration 12 : Découpage des bassins d'alimentation de captage du bassin versant du Mro Oua Gouloué. En orange, le BAC de la prise d'eau de surface et en bleu le BAC des forages de Gouloué 1 & 2.	43
Illustration 13 : Résultats du calcul IDPR & rugosité du bassin d'alimentation des forages de Gouloué 1 & 2 (ici en bleu). Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives.	45
Illustration 14 : Carte de vulnérabilité du bassin d'alimentation du captage de surface du Mro Oua Gouloué (ici délimité par des tiretés roses)	47
Illustration 15 : Découpage du Mro Oua Gouloué en amont de la prise d'eau et localisation des jaugeages. Les caractéristiques de chaque zone sont compilées dans le Tableau 6.	49

Illustration 16 : Plan d'eau occupant la fosse d'exploitation de la carrière de Doujani. La turbidité de l'eau est très élevée	55
Illustration 17 : Cartographie des pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Gouloué.	57
Illustration 18 : Carte de croisement des informations de vulnérabilité vis-à-vis du BAC de la prise d'eau de surface du bassin versant du Mro Oua Gouloué (délimitation orange, se reporter à la carte de délimitation en Illustration 12. En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 1 h en hautes eaux (en rose) et basses eaux (en violet).....	60
Illustration 19 : Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain des forages de Gouloué 1 & 2 – bassin versant du Mro Oua Gouloué	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Gouloué M9 entre 1996 et 2008	15
Tableau 2 : Informations relatives à la prise d'eau de Gouloué haut.	29
Tableau 3 : Informations relatives au forage de Gouloué 1	33
Tableau 4 : Informations relatives au forage de Gouloué 2	38
Tableau 5 : Estimation de la surface théorique du BAC des forages de Gouloué 1 et 2. Les paramètres du calcul sont ceux définis dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR.....	42
Tableau 6 : Caractéristiques des zones de découpage du Mro Oua Gouloué en amont du de la prise d'eau pour détermination des vitesses de transfert.....	50
Tableau 7 : Points de mesure des débits d'étiage du 14 mai 2009.	51
Tableau 8 : Vitesses de transfert du cours d'eau et temps d'atteinte au captage de Gouloué haut. Les valeurs de BE sont données pour les débits d'étiage du Tableau 7.....	51
Tableau 9 : Population des villages de Passamaïnty et Vahibé (chiffres INSEE 2007)	53
Tableau 10 : Sites industrielles et activités potentiellement polluantes du bassin versant du Mro Oua Gouloué (rapport BRGM/RP-52906-FR)	54

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes techniques des forages de Gouloué 1 (12307X0045/GOUL) et Gouloué 2 (12307X0053/GOUF4D)	73
Annexe 2 Analyses physico-chimiques des captages du bassin versant du Mro Oua Gouloué	77
Annexe 3 Jaugeage au sel du 14 mai 2009	81
Annexe 4 Détails des calculs d'application de la formule de Manning Strickler au Mro Oua Gouloué	87

1. Introduction

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

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

Le BRGM, pour le compte de la DAF s'est engagé à mener en 2008/2009 les études relatives à la délimitation et à la caractérisation des Bassins d'Alimentation de Captages sur le bassin versant du Mro Oua Gouloué qui compte 3 ouvrages d'eau en fonctionnement ou en instance de l'être.

- La prise d'eau du Mro Oua Gouloué (code BDAEP 11C1 et BSS 12307X0143) construite en 1987 et en fonctionnement
- Le forage de Gouloué 1 (BSS 12307X0045/GOUL) réalisé en 2002 et en instance de fonctionnement
- Le forage de Gouloué 2 (BSS 12307X0053/GOUF4D) réalisé en 2003 et en instance de fonctionnement

Les forages de Gouloué 1 & 2 sont tout deux issus de la campagne de reconnaissance et d'exploitation des eaux souterraines 2001-2003 encadrée par la Collectivité Départementale de Mayotte et devraient être mis en service très prochainement.

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

En ce qui concerne la définition de la méthodologie d'étude, le BRGM a travaillé sur l'élaboration d'une méthodologie nationale relative aux eaux souterraines (rapports BRGM/RP-55332-FR, RP-55874-FR et RP-55875-FR) qui peut être adaptée aux milieux poreux, aux aquifères karstiques ainsi qu'aux aquifères fissurés de socle et/ou -

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

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

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

- **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 volcanique insulaire sous climat tropical. En ce qui concerne les eaux de surface, la vulnérabilité se verra complétée par l'étude des temps et modalités de transfert des eaux (et par extension d'éventuels polluants en amont des captages) par jaugeages en basses eaux et application des formules de Manning Strickler en hautes eaux.

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

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

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

2. Présentation du Bassin Versant

2.1. TOPOGRAPHIE

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

Le bassin versant du Mro Oua Gouloué s'étend du sommet du Mlima M'tsapéré qui en constitue le point haut (572 m NGM) jusqu'au village de Passamaïnty où il rejoint le lagon (Illustration 1). Le bassin versant du Mro Oua Gouloué se situe dans les limites de la commune de Mamoudzou. La surface du bassin versant est de 7,1 km², le périmètre de 15,1 km pour une longueur de 5,5 km et une largeur de 1,5 km en moyenne. Près de 80 % de la surface du bassin versant est comprise entre 0 et 300 m d'altitude (cf. rapport BRGM/RC-50355-FR). L'indice de compacité de Gravelius¹ du bassin versant est de 1,60 (cf. rapport BRGM/RP-57299-FR).

Il s'agit du neuvième bassin versant de l'île en surface, la longueur du réseau de drainage - qui correspond à la somme du développement linéaire des cours d'eau pérennes et temporaires - est estimé à 45 km avec pas moins de 110 canaux présents sur le bassin.

La distance entre l'extrême amont du cours d'eau et l'embouchure est de 7 km.

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

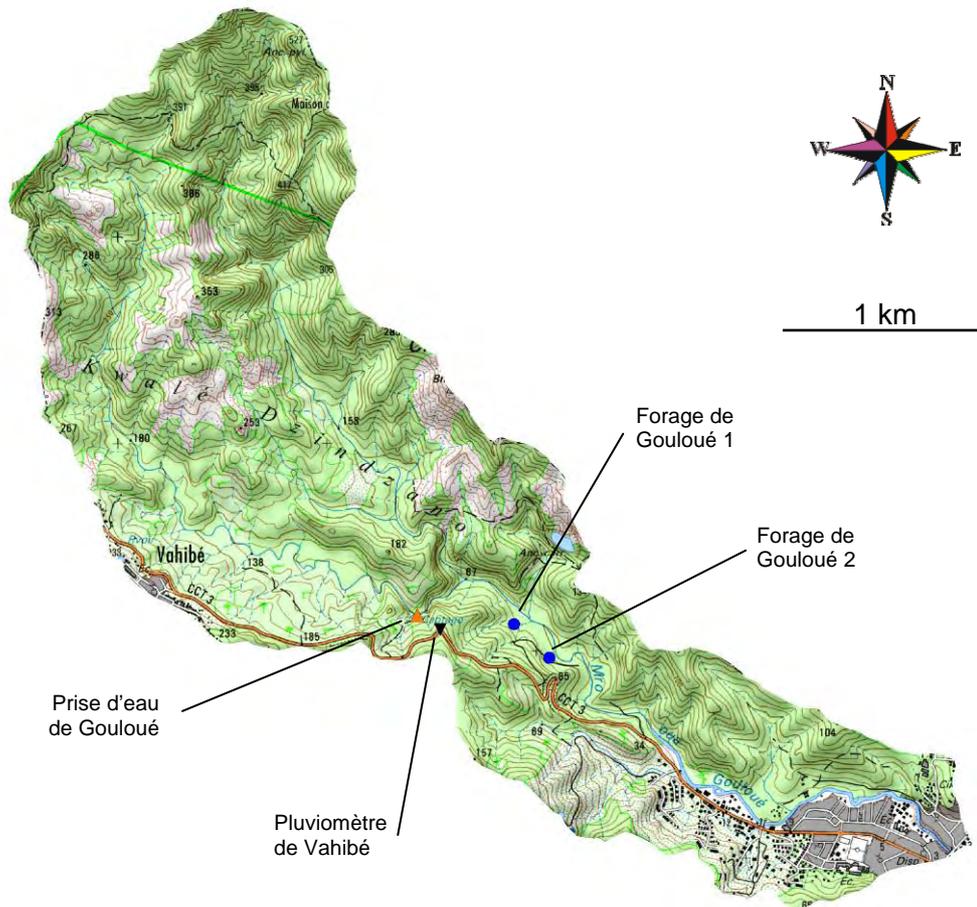


Illustration 1 : Découpage du bassin versant topographique du Mro Oua Gouloué et localisation des ouvrages d'eau ainsi que du pluviomètre de Gouloué (support IGN© 1/25 000).

2.2. PLUVIOMETRIE

Les précipitations s'abatant sur le bassin du Mro Oua Gouloué sont enregistrées par la DAF au niveau de la station météorologique dite de Gouloué (code DAF M9) localisée au niveau d'un virage en angle droit sur la route de Passamaïnty / Vahibé (cf. Illustration 1). Les coordonnées sont les suivantes :

$$X_{RGM04} = 520\ 772\ \text{m} \quad Y_{RGM04} = 8\ 585\ 834\ \text{m} \quad \text{et} \quad Z = 155\ \text{m NGM}$$

La chronique des précipitations est enregistrée depuis 1996 et présentée dans le Tableau 1. L'analyse des données compilées par la DAF entre 1996 et 2008 montre que les précipitations moyennes sur le bassin sont de 1432 mm sur l'année avec une variabilité de 857 à 2458 mm pour les années respectivement les plus sèches et les plus pluvieuses et avec plus de 700 mm pour le mois le plus pluvieux (décembre 2008).

Années	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cumul annuel (mm)	1552	1170	1090	1134	1181	857	1709	1047	1562	1275	2031	1555	2458
Moyenne de 1996 à 2008 (mm)	1432												

Tableau 1 : Cumul annuel et moyenne des précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Gouloué M9 entre 1996 et 2008

La valeur moyenne des précipitations de 1432 mm sera considérée comme valeur de référence pour les estimations de taille des bassins d'alimentation de captage souterrains. Ce choix est conforté par le fait que l'altitude de la station pluviométrique 155 m NGM est l'altitude moyenne du bassin versant et par les arguments généraux relatifs aux précipitations à la distribution des précipitations Mayotte comme énoncés dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR.

2.3. OUVRAGES D'EAU

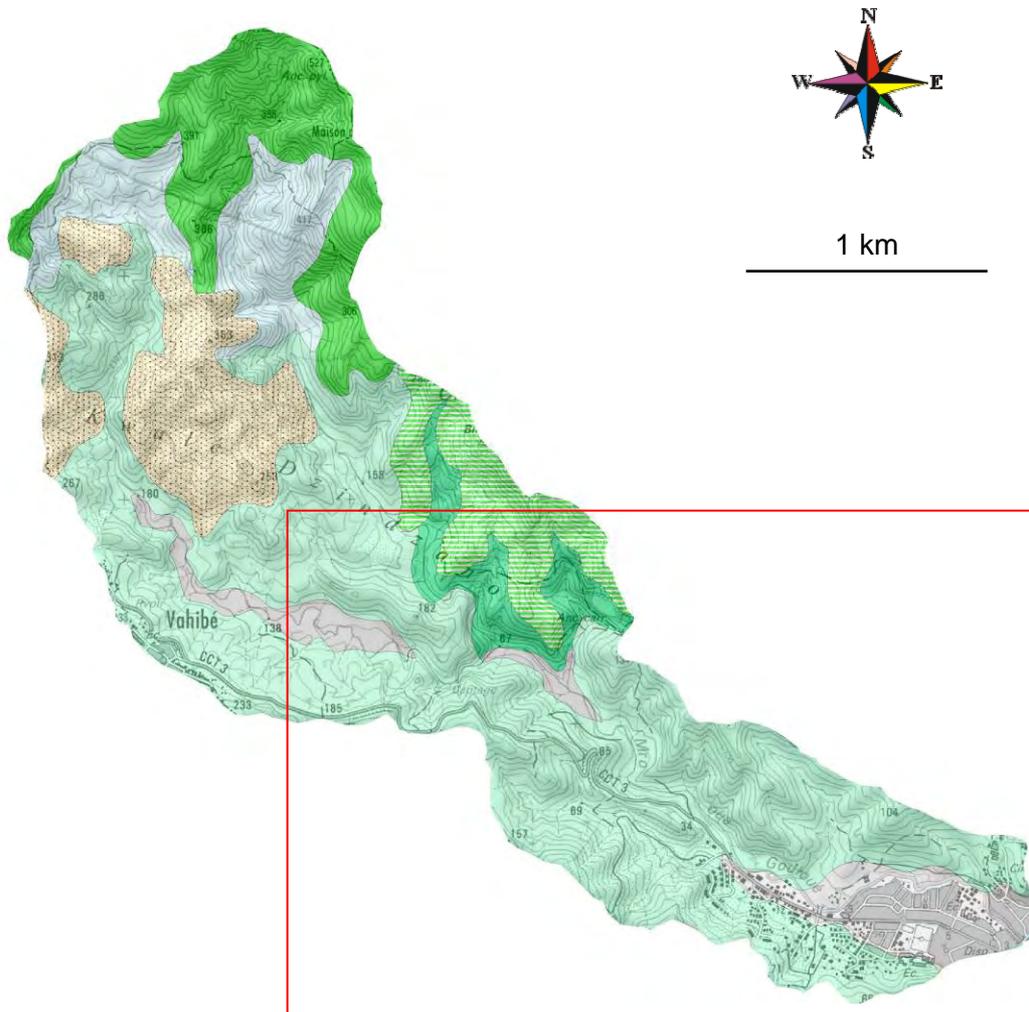
Le bassin de la Gouloué accueille 3 ouvrages d'exploitation en eau (cf. Illustration 1) : la prise d'eau de surface de Gouloué (BDAEP : 11C1) et les deux forages de Gouloué 1 (BSS : 12307X0045/GOUL) et 2 (BSS : 12307X0053/GOUF4D).

A l'heure actuelle (août 2009) seul le captage en rivière est fonctionnel. Bien que les forages de Gouloué soient équipés, les eaux souterraines du bassin ne sont pas encore exploitées et le seront probablement dans le courant de l'année 2009 ou à l'horizon 2010 en fonction de l'équipement des ouvrages et de la disponibilité des puissances électriques requises.

Le captage de surface est en activité, en revanche, les débits prélevés ne sont pas comptabilisés en tête de l'ouvrage. Le comptage des prélèvements s'effectue à l'usine de potabilisation de Mamoudzou et correspond à la somme des prélèvements des captages de Kwalé haut et bas (bassin versant du Mro Oua Kwalé) et du captage de Gouloué.

2.4. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ET IMPLICATIONS HYDROGEOLOGIQUES

D'après les informations de la carte géologique (Stieljes – 1988, cf. Illustration 2), le bassin de la Gouloué est rattaché à l'édifice volcanique Mio-Pliocène du bouclier ancien méridional (-8 à -4 Ma) sur lequel se sont déposés les unités volcaniques Pléistocène du M'tsapéré dans la partie amont. Ces unités récentes ont été en partie érodées et les produits de cette érosion, altérites, colluvions et kaolinites constituent les parties hautes du bassin.



-  Altération fumerolienne
-  Altérites ferralitiques pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur (bad-land)
-  Anneaux de pyroclastiques trachytiques (ash-ring) de Kawéni
-  Anneaux de pyroclastiques trachytiques (ash-ring) de Kawéni + appareil volc et p
-  Basaltes
-  Basaltes + appareil volc et projection
-  Basaltes ankaramitiques et basaltes à hornblende
-  Basaltes ankaramitiques(βfN)
-  Basaltes ankaramitiques(βfS)
-  Basanites essentiellement (βN), altérés
-  Basanites à olivine
-  Caye de sable corallien
-  Cinérites et ponces trachytiques de Pamandzi
-  Cinérites et ponces trachytiques de Pamandzi + appareil volc et projection
-  Colluvions de versants
-  Formations de rivières = alluvions et petites accumulations
-  Gordons littoraux
-  laves indifférenciées de fond vallée du M'Sapéré
-  laves indifférenciées de fond vallée du M'Sapéré + appareil volc et projection
-  Mangrove (limon sableux)
-  Phonolites
-  Phonolites alcalines : piton
-  Phonolites alcalines du sud de l'île: pitons dôme
-  Plaines alluviales ou littorales (alluvions fines)
-  Projections de cendres en couverture de plusieurs mètres d'épaisseur
-  Récif corallien
-  Sables
-  Scories basaltiques prépondérantes
-  Téphrites phonolitiques

Illustration 2 : Géologie du bassin versant du Mro Oua Gouloué (Stieljes – 1988). Le cadre rouge correspond au secteur investigué dans le cadre de la synthèse hydrogéologique du Nord-Est de Mayotte (BRGM/RP-56600-FR), présentée en Illustration 3 suivante.

En complément de la carte géologique, une description géologique de la partie aval du bassin versant du Mro Oua Gouloué a été précisée au sein du rapport de synthèse hydrogéologique du secteur Nord-est de Mayotte (BRGM/RP-56600-FR) et permet les observations suivantes (à mettre en relation avec l'illustration 3). Il est important de noter à ce stade que le bassin versant du Mro Ou Gouloué est probablement un des bassins les plus investigués – géologiquement et hydrogéologiquement parlant – à Mayotte et les travaux réalisés sur le bassin (tests de forages, analyses physico-chimiques, reconnaissances géologiques, mesures de débits, etc.) apportent une réelle plus-value à l'étude des BAC.

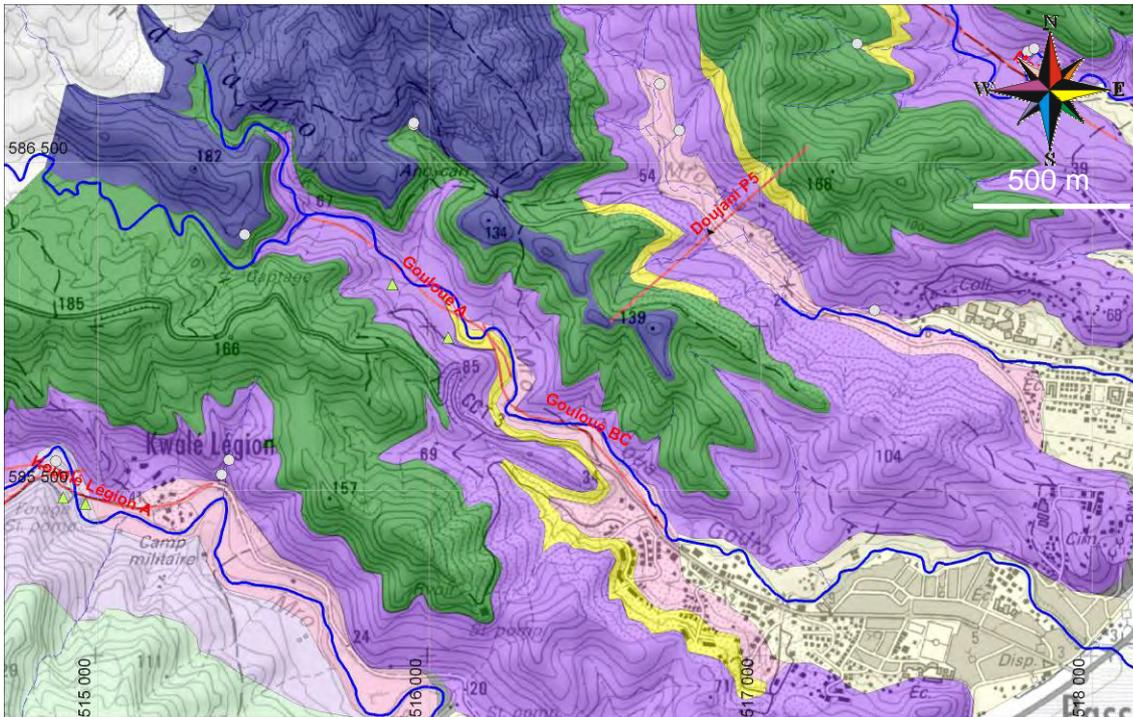


Illustration 3 : Carte lithologique de la partie aval du bassin versant du Mro Oua Gouloué (BRGM/RP-56600-FR). En rouge sont retracés les profils géophysiques existants.

Formations présentes au sein des différentes unités géologiques

-  Brèches
-  Pyroclastites interstratifiées, localement mélangées à des cendres, des ponces et des brèches - remplissage volcano-sédimentaire tardif (maar de Kawéni, etc)
-  Cendres et ponces
-  Cônes et projections scoriacées

Edifice volcanique du M'Tsapéré

-  basaltes récents (faciès Ankaramite)
-  Phonolite
-  Téphrite (faciès Mugéarite)
-  Téphrite phonolitique à néphéline
-  Trachyandésite du M'Tsapéré
-  Basalte à pyroxène β'3
-  Basalte mésocrate à olivine, pyroxène et amphibole du M'Tsapéré (β3)
-  Basalte à phénocristaux de pyroxène du M'Tsapéré (β2)
-  Substratum altéré (probablement commun à l'édifice volcanique du M'Tsapéré et du Maévoidaoni)

La partie aval du bassin est constituée par une plaine alluviale sur laquelle on trouve aujourd'hui le village de Passamaïnty. Au cœur du bassin, des dépôts alluvionnaires récents viennent occuper le lit de la Gouloué sur toute la longueur de son profil (non indiqués sur l'illustration). Le lit mineur de la rivière est large de 12 m environ et jonché de blocs métriques à plurimétriques de phonolites et basaltes à rattacher aux formations hautes du M'tsapéré.

Le substratum, recoupé en profondeur par les forages de Gouloué 1 & 2 (§. suivants) est composé de coulées de basaltes du bouclier ancien méridional entre lesquelles vient se placer un cortège alluvionnaire de pyroclastites remaniées recoupé par les forages 1 et 2 et visible en aval du bassin vers Passamaïnty.

Dans le détail, les résultats des observations géologiques de terrain préalables à l'implantation des forages ont mis en évidence un dimorphisme géologique entre la rive droite et la rive gauche du bassin.

En remontant le cours d'eau jusqu'à l'altitude 50 m NGM, les berges sont plus entaillées au niveau des méandres, de 1 m en rive convexe, à 3 à 4 m en rive concave. Le substratum de la rivière est formé par une coulée de basalte très altérée (altération complète des minéraux constituant). Il s'agit du substratum géologique local attribué au volcanisme du bouclier ancien méridional.

Ce substratum est surmonté en rive droite par une coulée de basalte postérieure, altérée mais de compétence supérieure et à minéraux distinguables. En rive convexe, les berges sont majoritairement composées d'alluvions remaniées déposées directement sur le substratum.

Des griffons apparaissent en rive droite, au contact entre la coulée de basalte et le substratum. Les mesures de conductivité confirment leur origine souterraine (320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 126 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le lit du ruisseau). Le débit cumulé de ces griffons est estimé à environ 0,2 L/s sur une surface émergente de 3 m².

Rive droite ; un ensemble de coulées de basalte à olivine et pyroxène généralement altérées voire très altérées dont le toit est scoriacé et qui sont interstratifiées de pyroclastites. Les formations pyroclastites rencontrées à l'affleurement dans la rivière Gouloué correspondent - comme énoncé plus bas - au tuf recoupé par les forages 1 & 2.

Rive gauche ; dans la partie de la rivière, les formations géologiques sont de type coulées de basalte mésocrate à cristaux de pyroxène et d'olivine. Cette coulée bien que peu hydrothermalisée est fissurée.

En amont, au dessus du point coté 60 m NGM, l'ensemble basaltique affleure au niveau des deux rives. La présence de seuils rocheux sur les 2 affluents de la rivière Gouloué vers 70 m NGM peut se rapporter aux linéaments parallèles observés sur la carte géologique et correspondre la variation brusque de lithologie (BRGM/RP-52551-FR). Ces seuils sont composés d'une coulée de lave massive et fissuré au top reposant sur un niveau scoriacé.

Les coulées observées en rive gauche sont à rattacher à la même phase éruptive, postérieure à celles des formations composant la rive droite. La vallée actuelle de la Gouloué est un exemple classique d'inversion de relief, les coulées postérieures de fond de vallée constituent par érosion différentielle les crêtes d'aujourd'hui. Hydrogéologiquement, il s'agit d'une unité intéressante à investiguer dans le bassin de la Gouloué en même temps que les bases de coulées scoriacées en rive droite.

Plus haut, au niveau du captage de la Gouloué. Le lit mineur est large d'une dizaine de mètres, les berges, entaillées en rive droite sur 4 à 5 m le sont moins en rive gauche (entre 0,5 et 1 m). Sur cette section, il n'y a pas d'indices d'infiltration, au contraire, de petites résurgences en rive gauche et droite apparaissent. Les mesures de conductivité témoignent de valeurs assez faibles (inférieures à la conductivité moyenne de la rivière, 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en moyenne contre 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le lit du ruisseau).

La cascade en aval du captage marque la rupture entre les formations basaltiques type B3 et les formations sous jacentes de type B2. Hauteur de chute estimée à 20 m environ donne la taille de la coulée de basalte. Le contact lithologique avec les basaltes altérés B2 est au pied de la cascade. L'observation lithologique semble montrer que l'unité B3 - considérée comme de perméabilité supérieure aux unités de basalte sous-jacentes - favorise les phénomènes d'exfiltration.

En remontant le cours d'eau amont du captage, vers l'altitude 140 à 150 m la Gouloué se développe de manière méandrique sur une topographie relativement plane. Le lit mineur est large de 3 à 4 m environ et les berges entaillées de 0,5 à 1 m en rive convexe et 2 m en rive concave. Les berges montrent des phénomènes de creusement important, que ce soit en rive droite ou en rive gauche. Localement des griffons sont visibles en rive concave avec écoulement de l'ordre de 0,2 à 0,5 L/s. Ces griffons apparaissent au sein des formations basaltiques altérées qui constituent le lit de la rivière.

En amont de la prise d'eau, au niveau de la vallée perchée, les unités qui composent l'encaissant géologique sont assimilées à des basaltes à néphéline (Stieljes – 1988). Il s'agit plus vraisemblablement de basalte mésocrate à pyroxène de type B3 en rive droite. En rive gauche, la formation phonolitique visible en Illustration 3 (sous le point coté 182 m NGM) n'avait pas été reconnue et cartographiée à l'époque. Il est probable que cette formation phonolitique compose la ligne de crête jusqu'au sommet du M'tsapéré.

Comme indiqué au sein du rapport BRGM/RP-57299-FR, l'estimation de la vulnérabilité des captages du bassin versant du Mro Oua Gouloué est en partie conditionnée par la donnée géologique. La carte lithologique présentée en Illustration 3 ne couvrant pas la totalité du bassin versant, la cartographie géologique retenue comme paramètre de calcul est celle réalisée par Stieljes (Stieljes – 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.

2.5. MORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE DU COURS D'EAU

La rivière de la Gouloué est majoritairement orientée Nord-ouest Sud-est et son parcours est très encaissé, aussi bien en amont qu'en aval. Le cours d'eau est pérenne jusqu'à l'altitude d'environ 300 m NGM (rapport BRGM/RP-50355-FR).

La section amont de la rivière est composée de deux affluents de sous bassins versant relativement proches (en termes de surface, de dénivelé et de direction, orientés

ONO/ESE). L'affluent sud correspond aux écoulements méridionaux du M'tsapéré et passe en contrebas du village de Vahibé où la plaine alluviale intermédiaire s'élargit sensiblement avant de rejoindre le cours principal en sortie de goulet (rétrécissement de la vallée). L'affluent nord correspond aux écoulements de la partie ouest du M'tsapéré, l'amont du bassin versant étant plus élevé que celui de son homologue. Le cours d'eau se développe parallèlement à l'autre affluent mais reste encaissé et rejoint lui aussi le cours principal en sortie de goulet au niveau du contact géologique entre les basaltes B2 et les basaltes B3 sus-jacents, contact marqué par une cascade sur chacun des affluents.

L'activité hydrologique de l'affluent sud est visiblement plus élevée que celle de l'affluent nord et a entraîné vraisemblablement l'implantation du captage à la confluence de cet affluent. Le développement du réseau hydrographique du bassin montre : une densité de drainage de 2,2 km/km² et une densité hydrographique F de 1,1 canaux/km² environs. Il est important de noter que la densité de drainage est inférieure à la moyenne calculée sur l'ensemble de l'île (2,44 km/km²), idem pour la densité hydrographique. Ces valeurs sont d'autant plus singulières 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 faibles densités de drainage D_d et hydrographique F sont significatives d'un bassin propice aux infiltrations.

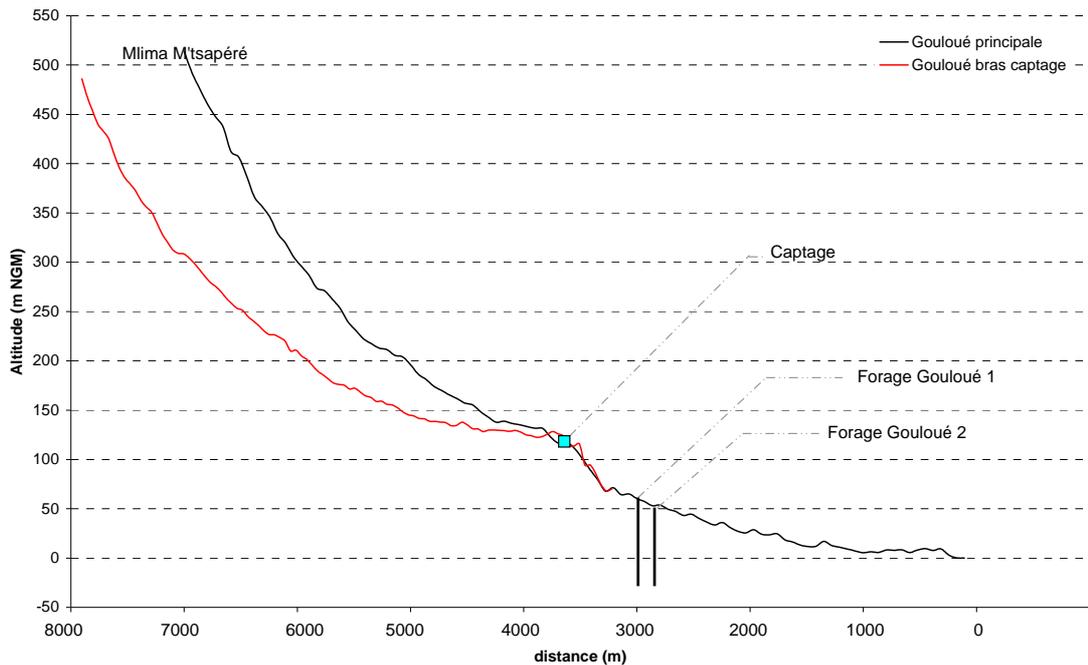


Illustration 4 : Profil en long du Mro Oua Gouloué, du cours principal remontant au M'tsapéré et du bras alimentant le captage.

Le bassin versant du Mro Oua Gouloué – et de l'ensemble des bassins versants de Mayotte (cf. rapport BRGM/RP-50355-FR) – présente un profil en long singulier qu'il est possible de diviser en 4 parties :

- une section amont entre 500 et 120 m NGM à pente forte dont l'allure s'approche d'une hyperbole de 22 % s'amortissant à 4 % vers 150 m NGM. Il est intéressant de noter que l'allure est identique entre l'affluent et le cours principal, mais simplement décalé sur X ;
- une 1^{ère} section intermédiaire entre 120 et 70 m NGM marquée par une rupture de pente forte et qui correspond ici à la présence d'une cascade (observation fréquente à Mayotte à cette tranche d'altitude). La cascade marque la présence de la coulée de basalte B3 (cf. Illustration 3) qui est une roche dure manifestement imperméable. La pente moyenne est de l'ordre de 10 % sur cette section ;
- une 2^{nde} section intermédiaire se développant entre la base de la rupture (cascade) et le débouché dans la plaine alluviale c.à.d. entre les altitudes 70 et 20 m NGM. Le profil de la pente est linéaire, légèrement décroissant de pente comprise entre 3 et 4 % ;
- une section aval entre 20 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 Passamaity. La pente est de l'ordre du pourcent.

La section aval de la Gouloué (inférieure à 70 m NGM) est composée d'un drain unique méandrique qui se développe au contact entre les basaltes B2 et le substratum géologique de la vallée (les deux faciès sont marqués par des basaltes relativement altérés recouvert d'une épaisseur variable de formation pyroclastique) et de nombreux affluents temporaires issus des versants directement attenants à la rivière. Le lit de la rivière s'élargit.

En saison sèche, il est fréquent que le cours d'eau ne soit pas pérenne en amont du point 67 m NGM, c'est-à-dire à la confluence entre les deux principaux affluents. Dans ce cas, soit le captage est responsable de 100 % des prélèvements et assèche le lit en aval, soit le captage est lui-même à sec (cas rare, cf. Illustration 5).

De même que les autres principaux cours d'eau de Mayotte, le Mro Oua Gouloué fait l'objet d'un suivi de débits opéré par la DAF. Les mesures de débit sont réalisées au micromoulinet 1 à 2 fois par semaine. Les débits du Mro Oua Gouloué sont mesurés à hauteur de la prise d'eau (au niveau du seuil de débordement), c.à.d. uniquement dans sa partie amont (station codée C3 dans les annuaires de la DAF et la thèse de Lapègue, 1999¹). L'illustration 5 renseigne la chronique des débits.

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

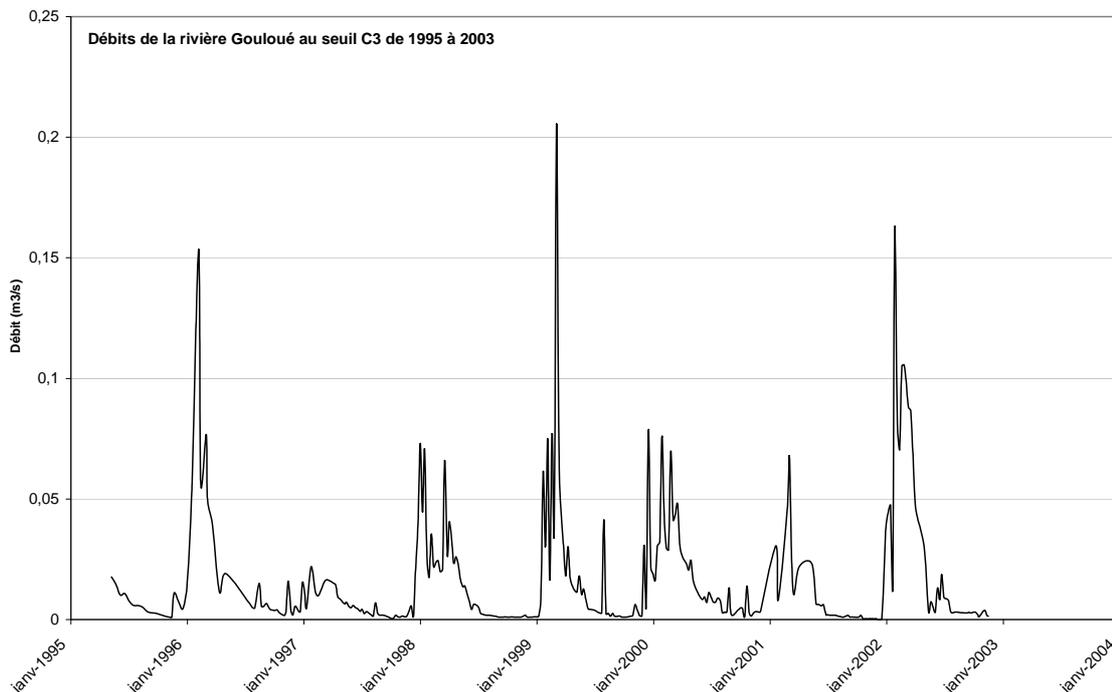


Illustration 5 : Chronique des débits du Mro Oua Gouloué enregistrés au seuil C3 entre 1995 et 2003 (données DAF). Le pic de mars 1999 s'élève à plus de 200 L/s ; valeur qu'il est très probable de dépasser en cas de fortes crues mais difficile à mesurer. En l'absence de toute archive méthodologique sur les modalités de mesure des débits, il convient de garder une certaine réserve sur la pertinence des données. La DAF procède à l'heure actuelle à une validation des données couvrant la période 2003-2009.

D'après l'annuaire de la DAF de 2001, le débit moyen de la rivière Mro Oua Gouloué à la prise d'eau est de 18,4 L/s. D'après les travaux de Lapègue, les débits caractéristiques de tarissement sont de 10,2 L/s (moyen) et 1 à 2 L/s (minimum) lors des saisons sèches de 1993 et 1995 (au regard de l'illustration 5, les débits d'étiage entre juin et décembre sont couramment sous la barre des 5 L/s).

Les travaux de Lapègue (Lapègue – 1999) sur l'étude des débits spécifiques du bassin versant du Mro Oua Gouloué montrent qu'au niveau de la prise d'eau (station de jaugeage DAF C3 – altitude 110 m NGM) les débits caractéristiques de tarissement sont de 10,2 L/s (moyen) et 1 à 2 L/s (minimum) lors des saisons sèches de 1993 et 1995 pour un bassin versant de 2,3 km² de surface en amont de la prise d'eau. Par conséquent le débit spécifique annuel calculé à hauteur de la prise d'eau est compris entre 0,4 et 0,8 L/s/km², ce qui témoigne d'une faible restitution des eaux souterraines dans les eaux de surface (pour information, à Mayotte, la moyenne des débits spécifiques est de 2 L/s/km² pour les cours d'eau permanent). La part des eaux souterraines restituées au BAC de surface est donc négligeable comparativement à l'emprise du bassin versant de surface. Bien au contraire, il est plus que probable que cette partie du bassin versant favorise en règle générale les infiltrations plutôt que les exfiltrations. Ces dernières apparaissent vraisemblablement dans les sections plus en

aval sous forme de griffons (comme repéré sur le terrain lors de la sortie de reconnaissance du 4 février 2009).

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

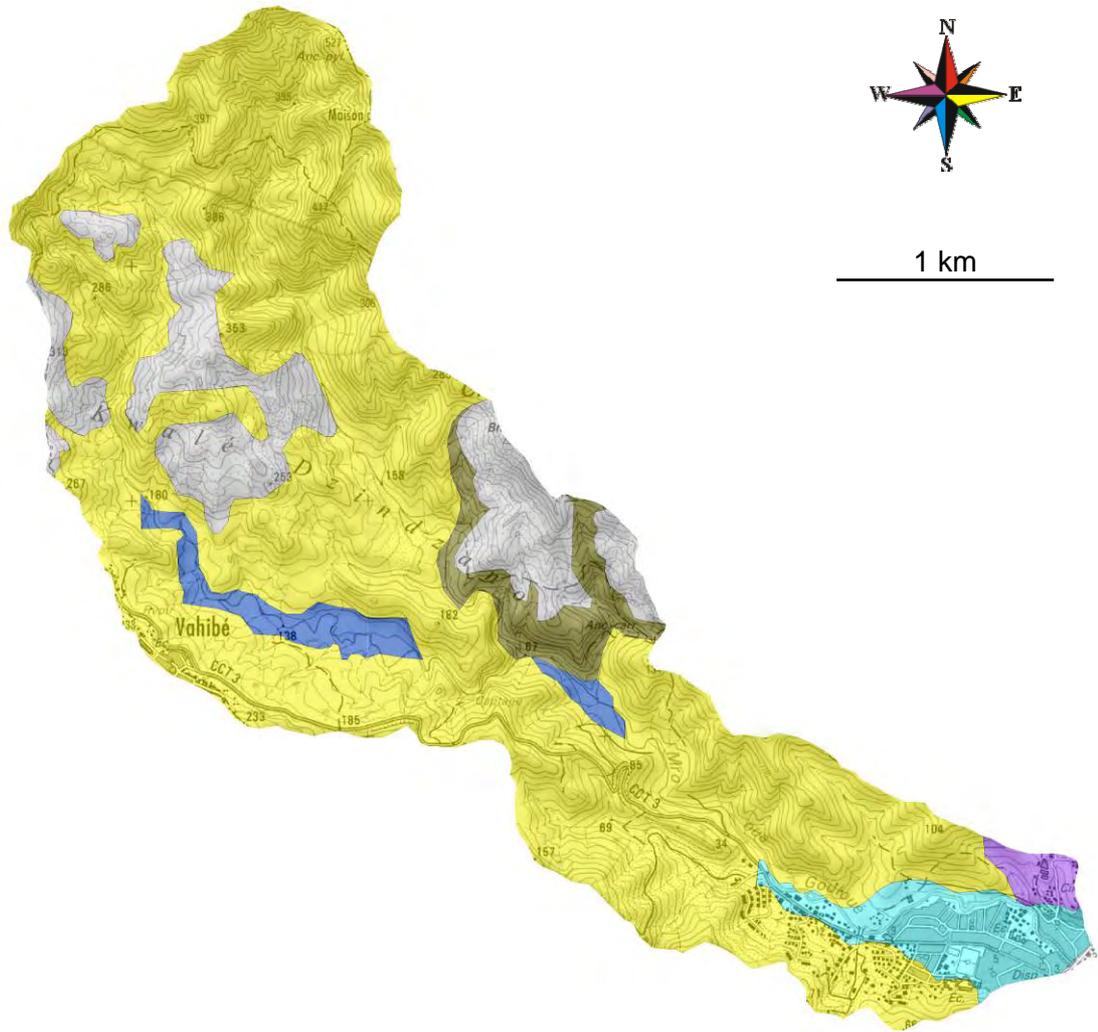
- i. Hydrologiquement, la présence en amont de la prise d'eau de laisses de crue à 1,1 m de hauteur par rapport au niveau d'étiage du cours d'eau témoigne d'épisodes de crue important - non sans effet sur le profil de la rivière et sur les matériaux charriés lors de ces épisodes.
- ii. La présence de camarons (écrevisses) dans la portion du cours d'eau en amont du captage est un indice de la bonne qualité chimique des eaux. La présence de poissons montre d'une part que la continuité hydrologique de l'aval vers l'amont existe (elle pourrait être améliorée par la création de passes à poissons au niveau des seuils) et d'autre part, c'est un argument supplémentaire en faveur de la bonne qualité chimique des eaux.
- iii. Les abords du Mro Oua Gouloué traduisent des mécanismes d'érosion importants, que ce soit en rive convexe ou concave, les berges sont creusées et provoquent directement des effondrements de berges dans la rivière qui perturbent localement la dynamique hydrologique. Il est évident qu'en étiage, la sédimentation s'opère le long du cours d'eau mais lors des fortes précipitations, ces matériaux sont remaniés et continuent leur course plus bas en direction de l'ouvrage ou du lagon et les berges sont érodées.

En conclusion, il ressort de ces observations que le bassin versant du Mro Oua Gouloué montre un profil avec des pentes très variées, indice d'une composition géologique très différente. D'après les études et mesures antérieurs, les débits caractéristiques de tarissement sont faibles comparativement à la taille du bassin versant et surtout à son exposition (la pluviométrie au niveau du bassin compte parmi les plus fortes annuelles enregistrées sur l'île). Cette information a son importance en termes de vulnérabilité des eaux souterraines.

2.6. MORPHOPEDOLOGIE

D'un point de vue pédologique, d'après les travaux du CIRAD (carte morphopédologique de Latrille et al – 1981, cf. Illustration 6) il semblerait que le bassin versant du Mro Oua Gouloué témoigne :

- d'une certaine uniformité dans ses formations superficielles ;
- d'un mimétisme prononcé avec la carte géologique de Stieljes (comparaison avec l'illustration 2). Comme expliqué au sein du rapport BRGM/RP-57299-FR, les faciès géologiques en milieu volcanique sont les facteurs principaux qui conditionnent la nature et la disposition des faciès pédologiques. Par conséquent, le mimétisme géométrique entre les deux cartes est évident.



LEGENDE

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

*Illustration 6 : Formations pédologiques du bassin versant du Mro Oua Gouloué 1/50 000
(Latrille et al – 1981)*

Les formations superficielles dominantes qui tapissent les fortes pentes des versants du bassin sont des altérites ferrallitiques tronqués et remaniés en surface. Ces formations sont attribués à des sols bruns jeunes (cf. rapport BRGM/RP-57299-FR) en raison du caractère tardif de l'activité volcanique du M'tsapéré et se distinguent comme des sols peu évolués et de faible épaisseur, la géologie sous-jacente est souvent affleurante. Ces formations sont majoritairement distribuées sur le bassin versant depuis le sommet du M'tsapéré jusqu'au village de Passamaïnty.

Localement, les crêtes du bassin ainsi que la crête médiane séparant les deux affluents amont du Mro Oua Gouloué montrent des profils d'altération de type padza¹. Le degré d'altération des crêtes est plus important que celui des versants. Ces formations sont apparentées à des sols ferrallitiques en place, contrairement aux

¹ Equivalent de bad-lands, terrain où la faible végétation et le ruissellement important ont contribué à la formation de profondes ravines et à une érosion accélérée des sols. A Mayotte les padzas regroupent communément les terres rouges ou brunes dévégétalisées.

versants remaniés. Dans le secteur de l'ancienne carrière, les reliefs de phonolites sont interprétés comme des affleurements de roche mère et donc absence de sols.

Les fonds de la vallée intermédiaire et de la vallée en aval de la cascade montrent un remplissage indifférencié de colluvions / alluvions.

En aval, le village de Passamaïnty marque la limite entre les sols bruns et la plaine littorale.

3. Délimitation des bassins d'alimentation de captage

3.1. LA PRISE D'EAU DE SURFACE BDAEP 11C1 ET BSS 12307X0143

3.1.1. Présentation

Le captage de surface de Gouloué est placé sur la partie médiane du cours d'eau en amont de la principale confluence du bassin à une altitude de 110 m NGM (ce qui correspond à une partie haute du bassin). Les informations relatives au captage sont compilées dans le Tableau 2.

Nom	Prise d'eau de Gouloué
Code Commune	98511
Commune	MAMOUDZOU
Section	AB
Titre	T1189
Parcelle	42
Coord X_{RGM04}	520 661 m
Coord Y_{RGM04}	8 586 902 m
Coord Z_{NGM}	110 m
Code BDAEP	11C1
Code BSS	12307X0143
Chronique prélèvement	Somme des débits des captages de surface Kwalé Haut et Bas et de Gouloué enregistrés à la station de Mamoudzou
Date de création	1987
Mode exploitation	gravitaire
Remarque	Etat de l'ouvrage moyen

Tableau 2 : Informations relatives à la prise d'eau de Gouloué haut.

Les prélèvements du captage ne concernent que les eaux de l'affluent le plus au sud de la rivière de la Gouloué. Le captage de Gouloué est une prise d'eau en rivière composée d'un seuil en béton qui barre l'ensemble du lit du cours d'eau (à noter : l'absence de passe à poissons). Une grille de 1,8 m de largeur et placée au milieu du seuil permet l'infiltration des eaux qui - par gravité - vont rejoindre la station de potabilisation de Mamoudzou au moyen d'une conduite forcée en rive droite. L'état général de l'ouvrage est moyen et la conduite - visiblement percée - refoule une partie des débits captés dans le cours d'eau.

La pratique des prélèvements en rivière n'est régulée que par les besoins en eaux des villages de la commune de Mamoudzou 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. Selon les besoins, le captage peut exploiter la gamme de 0 à 100 % des débits qui transitent par la prise. Ces prélèvements ne sont pas toujours connus et enregistrés – et dans le meilleur des cas - les débits d'exploitation des captages ne sont suivis que depuis quelques années par la pose de débitmètres en tête d'ouvrage.

A noter que l'accès à l'ouvrage est délicat, la piste peu carrossable et les derniers mètres d'approche très accidentés.



Illustration 7 : La prise d'eau de surface du Mro Oua Gouloué (photographie du 4 février 2009)

Il reste souvent difficile d'approcher les débits prélevés par cours d'eau (par exemple, en ce qui concerne la prise d'eau de la Gouloué, le comptage des débits est la somme des prélèvements du captage de la Gouloué et de la Kwalé supérieure à l'entrée de l'usine de potabilisation de Mamoudzou).

3.1.2. Qualité des eaux

En ce qui concerne la qualité des eaux prélevées, le recensement indique que 8 analyses ont été réalisées au niveau du captage de Gouloué ou à proximité (analyses de Gouloué haut, cf. Annexe 2) entre 1994 et 2008. 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 - 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). 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 Ca^{2+} et Mg^{2+} (assimilées) sont plus importantes en saisons sèches qu'en saison des pluies (respectivement 6,8 et 4,6 mg/L en février-mars et 12 et 9 mg/L en octobre-novembre). 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 plus élevées en saison sèche (autour de 175-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en juin-juillet contre 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en février-mars) qu'en saison des pluies et supposent une alimentation du cours d'eau par les nappes plus chargée. En revanche, les concentrations en fluor ne montrent pas de différences entre saison sèche et saison humide.
- Les concentrations en Fer mesurée oscillent entre 0,2 et 1,4 mg/L, valeurs bien supérieures aux concentrations maximales admissibles pour l'eau potable (0,2 mg/L). Les concentrations en Manganèse, mesurées à 2 reprises font état de la même variabilité (0,03 et 0,13 mg/L) alors que la concentration maximale admissible pour l'eau potable est de 0,5 mg/L. Ces variations ne reflètent pas les saisonnalités hautes eaux / basses eaux comme le couple $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$. Au regard des concentrations en Fer et Manganèse, il est essentiel de procéder à un traitement des eaux lors de l'exploitation.
- De nombreux germes ont été dénombrés dans les analyses : streptocoques, coliformes, entérocoques et spores, signes d'une activité bactériologique très forte.

Six analyses ont été réalisées entre 1983 et 2000 dans la section aval de la Gouloué. Les mêmes observations peuvent être réalisées en ce qui concerne l'évolution des couples $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ et Fe/Mn. La présence de germes est tout aussi avérée.

Par ailleurs, une récente campagne d'analyses réalisée par la DAF de Mayotte en novembre 2008 (DAF 2009) et relative à la recherche de produits phytosanitaires dans les cours d'eau a mis en évidence la présence de 0,124 $\mu\text{g}/\text{L}$ d'AMPA dans un échantillon prélevé sous le pont de la RN, c.à.d. à l'extrême aval du bassin versant. Ces résultats sont intéressants, cette présence d'AMPA pouvant être imputée à la dégradation des lessives ; activité pratiquée en amont de Passamaïnty. Il est bien évidemment délicat d'extrapoler ces résultats en amont pour discuter de la qualité des eaux au niveau du BAC de la prise d'eau de surface.

3.1.3. Délimitation du BAC

Par conséquent, en ce qui concerne la délimitation du BAC de surface du captage de Gouloué haut, elle correspond au bassin versant de surface de l'affluent le plus au Sud de la Gouloué, en amont de 105 m NGM (cf. Illustration 12). Au départ du captage, la limite du BAC se poursuit au Nord en remontant le relief jusqu'au point coté 182 m NGM puis suit direction NO la ligne de crête du relief quasiment jusqu'au sommet du M'tsapéré. La limite redescend ensuite direction Sud en épousant la frontière du bassin versant du Mro Oua Bouyouni jusqu'au sommet non coté mais d'altitude 450 m NGM (point triple à la frontière des bassins versants du Mro Oua Orovéni, Gouloué et Bouyouni). La limite se prolonge ensuite en direction SE vers Vahibé qu'elle traverse et longe la ligne de crête bordant la route départementale CCT3 jusqu'au petit relief non coté mais d'altitude 180 m NGM. De ce point, la limite redescend au captage par la ligne de plus grande pente.

La surface du BAC mesurée est de 2,3 km² pour un périmètre de 9,2 km, ce qui correspond à 32 % du bassin versant total de l'ensemble du Mro Oua Gouloué.

3.2. LES FORAGES DU BASSIN VERSANT DU MRO OUA GOULOUE

L'exploitation des forages devrait débuter fin 2009 ou courant 2010. Les études réalisées pendant les travaux des ouvrages de Gouloué 1 et de Gouloué 2 montrent que la partie aval du bassin de la Gouloué a un potentiel hydrogéologique significatif – bien qu'inférieur au bassin voisin de la Kwalé – mais possède un comportement comparable à ce dernier du point de vue hydrogéologique (aquifère montrant une très bonne aptitude à la gestion active ; perméabilité élevée, réserves significatives, etc.)

3.2.1. Le forage de Gouloué 1 – BSS 12307X0045/GOUL

1) Présentation

Le forage de Gouloué 1 a été réalisé dans le cadre de la 3^{ème} campagne de recherche des eaux souterraines de Mayotte. Il s'agit d'un forage de reconnaissance de 89 m de profondeur, mis en place entre le 1^{er} octobre et le 10 décembre 2002 (cf. rapport BRGM/RP-52035-FR).

Nom	Forage de Gouloué 1
Code BSS	12307X0045/GOUL
Code Commune	98511
Commune	MAMOUDZOU
Section	BO
Titre	T229
Parcelle	62
Coord X_{RGM04}	521 124 m
Coord Y_{RGM04}	8 585 860 m
Coord Z_{NGM}	55 m
Date de création	2002
Date exploitation	Non encore exploité

Tableau 3 : Informations relatives au forage de Gouloué 1

L'installation est en bon état, rehaussée par rapport au sol. La clôture d'enceinte est absente et favorise par conséquent le développement de culture directement à proximité (maïs, manioc, etc.). Depuis une première visite en 2008, il semblerait que des habitats sommaires aient été construits - presque attenants à l'installation. Il est important de noter que la piste d'accès est impraticable en véhicule et il semblerait (aux dires des locaux) que la question de la propriété de la parcelle n'est pas encore réglée.



*Illustration 8 : Le forage de Gouloué 1
(photographie du 4 février 2009)*

Géologiquement, l'ouvrage recoupe 25 m de formations volcaniques altérées, puis une succession de coulées de laves souvent vacuolaires et scoriacées. Les coulées sont fréquemment intercalées de formations pyroclastiques dont la proportion augmente avec la profondeur. Les 25 derniers mètres sont essentiellement composés de cendres volcaniques. 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 30, 42 et 64 m, essentiellement à la base des niveaux scoriacés que l'on trouve entre chaque intercalation de pyroclastites. Le niveau piézométrique est à 11,5 m de profondeur, soit à l'altitude 43,5 m NGM. Même si les niveaux perméables ne sont pas en relation hydraulique directe avec le Mro Oua Gouloué qui serpente au droit du forage, 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.

Les essais de pompage ont mis en évidence une transmissivité de l'aquifère de l'ordre de 1.10^{-4} m²/s et la présence d'une voire deux limites étanches qui compartimentent l'aquifère. Le rabattement maximal a été fixé à 30 m de manière à ne pas dénoyer la venue d'eau principale. En considérant ce facteur ainsi que la présence des limites étanches, il a été préconisé d'exploiter ce forage au régime de 8 m³/h.

Le forage de Gouloué 1 fait l'objet d'un suivi du niveau piézométrique par la DAF de juin 2003 à juin 2006 (cf. Illustration 9).

L'analyse des variations piézométriques du forage de Gouloué 1 a fait l'objet d'un chapitre du rapport BRGM/RP-56438-FR. Les conclusions du chapitre mettaient en évidence les traits hydrogéologiques suivants :

- Les amplitudes interannuelles observées entre mai 2003 et mai 2007 sont faibles, souvent inférieures à 1 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 3 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 peut être en cause).
- De 2003 à 2006, il est intéressant de remarquer que la tendance des niveaux moyens est à la hausse, en accord avec des pluviométries croissantes sur cette période.
- Sur les 3 cycles hydrologiques présentés ici, le fonctionnement de la nappe de Gouloué montre une régularité certaine dans le profil des fluctuations.

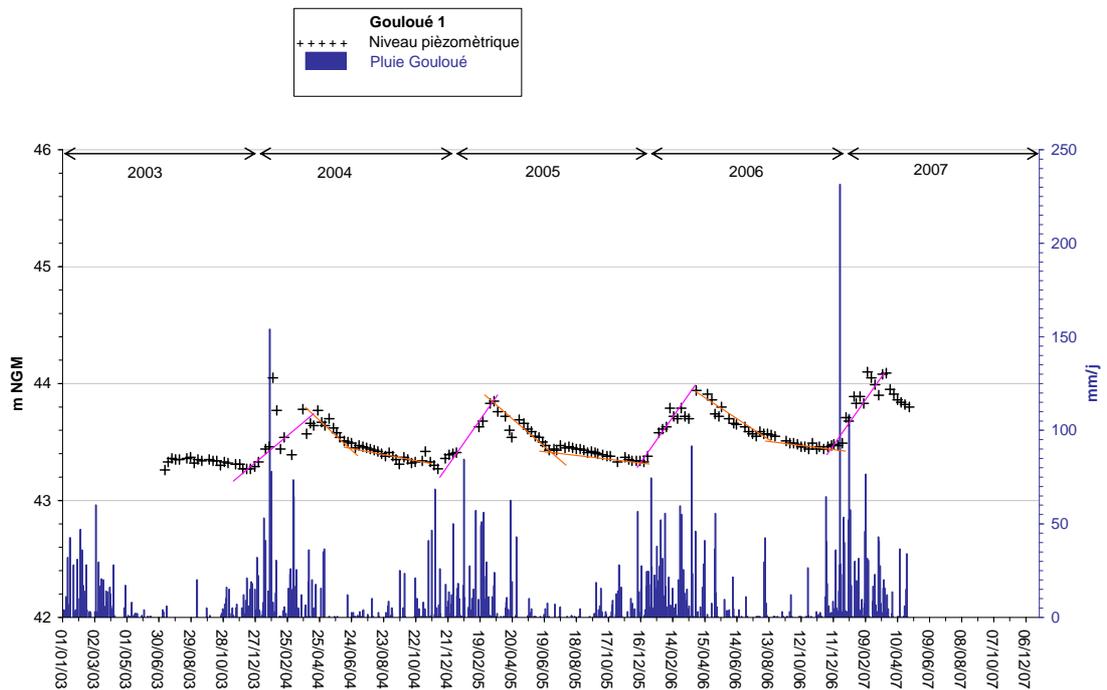


Illustration 9 : Chronique piézométrique du forage de Gouloué 1 en m NGM entre mai 2003 et mai 2007 (données DAF). En surimposition sont figurées les précipitations enregistrées à la station pluviométrique de Gouloué sur la même période.

En conclusion, sur le fonctionnement hydrogéologique de l'unité aquifère prochainement exploitée par le forage de Gouloué 1, il est possible d'avancer les arguments suivants :

- i. L'aquifère témoigne de la régularité des fluctuations inter-saisonniers (entendues comme synonyme de régularité saisonnière des mécanismes d'alimentation/vidange).
- ii. Des alimentations relativement rapides et des phénomènes de vidange plus lents comparativement à la moyenne observée sur d'autres ouvrages de l'île. Cette information et la proximité des niveaux piézométriques du forage et de la surface libre du Mro Oua Gouloué suggèrent la possibilité (très probable) d'échanges nappes/cours d'eau.

2) Qualité des eaux

La qualité des eaux du forage de Gouloué 1 a été analysée à trois reprises : pendant l'essai de nappe de novembre 2002 (2 fois) ainsi qu'en septembre 2003 (les analyses sont présentées en Annexe 2). A l'heure actuelle, les analyses (bien que le nombre ne soit pas assez élevé pour tirer des conclusions fermes) ne montrent pas de dégradation de la qualité de l'eau du Mro Oua Gouloué en amont du captage. Cette eau se singularise par :

- Une conductivité relativement élevée pour les eaux souterraines (entre 400 et 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alors que la moyenne à Mayotte est plutôt en dessous de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A noter que la saisonnalité entre septembre et novembre est très comparable, il s'agit de la fin de la saison sèche. La variabilité des valeurs de conductivité ne peut donc en être une conséquence exclusive.
- La teneur en manganèse supérieure à 1 mg/L en novembre 2002 est bien au dessus des normes de potabilisation (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). Cette teneur *a priori* naturelle s'explique par le caractère captif de l'aquifère : la mise en solution du manganèse est favorisée en milieu réducteur. L'analyse de septembre 2003 affiche une teneur moindre, par conséquent il est probable que les premières analyses aient pu être influencées par les travaux de forage et/ou le développement de la nappe. Paradoxalement la concentration en fer souvent plus importante que celle du manganèse se cantonne finalement à un seuil de 0,05 mg/L et demeure relativement stable.
- Une teneur en magnésium mesurée entre 60 et 80 mg/L - légèrement supérieure à la concentration maximale admissible de 50 mg/L – lors des analyses de novembre 2002. Cette forte concentration est naturellement fréquente en milieu volcanique altéré par solubilisation de carbonates ou d'hydrogénocarbonates. Cette teneur est révélatrice d'un temps de résidence prolongé. Lors des mêmes analyses, la teneur en Ca^{2+} est mesurée à 30 mg/L, c.à.d. inférieure à celle de Mg^{2+} . A noter que l'analyse de septembre 2003 inverse les rapports de concentration ($[\text{Ca}^{2+}] > [\text{Mg}^{2+}]$)

- Le paramètre « bactériologie » dépasse les valeurs de concentrations admissibles. De très nombreux coliformes totaux ainsi qu'une flore hétérotrophe en grande quantité sont les signes manifestes d'une pollution d'origine anthropique.

En conclusion sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux du forage de Gouloué 1, il est important de souligner :

- i. Les fortes concentrations en Mg^{2+} et Mn^{2+} indicatrices : d'un temps de séjour dans l'aquifère prolongé sous conditions plus ou moins réductrices, ou d'une conséquence des travaux de forage ou de développement de la nappe.
- ii. L'importante concentration de germes qui traduit éventuellement la rapidité de transfert des alimentations en provenance de la surface.

Ainsi, les eaux du forage de Gouloué 1 traduisent probablement un mélange entre des eaux d'aquifères à temps de transfert prolongé (source de Mg^{2+} et Mn^{2+}) et des horizons superficielles à infiltration plus rapide (expliquant la hausse des germes bactériologiques).

Néanmoins, il est important d'avoir à l'esprit que la contamination des eaux par les germes peut éventuellement se produire en sortie d'ouvrage, au niveau de la colonne, au niveau du point de prélèvement, voire au niveau du protocole de prélèvement inadapté. Par conséquent, la notion d'infiltration plus rapide peut être nuancée s'il s'avère que les échantillons ont été contaminés lors de leur prélèvement. A l'heure actuelle il est impossible de trancher entre ces deux éventualités.

3.2.2. Le forage de Gouloué 2 - 12307X0053/GOUF4D

1) *Présentation*

Le forage de Gouloué 2 a été réalisé dans le même cadre que Gouloué 1 et en est distant de 250 m environ. La foration a été mise en œuvre entre le 17 mai et le 18 août 2003 (cf. rapport BRGM/RP-52551-FR). L'installation ressemble à celle du forage de Gouloué 1 (Illustration 10).



Illustration 10 : Forage de Gouloué 2
(photographie du 4 février 2009)

Nom	Forage de Gouloué 2
Code BSS	12307X0053/GOUF4D
Code Commune	98511
Commune	MAMOUDZOU
Section	BO
Titre	T229
Parcelle	62
Coord X_{RGM04}	521 292 m
Coord Y_{RGM04}	8 585 698 m
Coord Z_{NGM}	52 m
Date de création	2003
Date exploitation	Non encore exploité

Tableau 4 : Informations relatives au forage de Gouloué 2

Concernant l'installation, il faut souligner :

- l'absence de clôture autour de la cabanne de forage (équivalent à un périmètre de protection immédiat) ;

- la présence d'un piézomètre attenant à la cabanne et non protégé (absence de capot). Ce piézomètre peut éventuellement représenter un risque pour la nappe (absence d'informations) ;*
- le défrichement du versant surplombant l'ouvrage, l'occupation agricole à proximité (maraichère, bananes, manioc) et l'instabilité des terrassements réalisés pour la piste.

La profondeur finale du forage est de 80 m (la coupe technique est figurée en Annexe 1). Géologiquement, le forage recoupe de haut en bas ; une dizaine de mètres d'altérites, une série de coulées de lave massives à olivine est pyroxènes d'épaisseur décimétrique à pluri-décimétrique, entre lesquelles il n'est pas rare de trouver des horizons interstratifiés de tufs pyroclastiques (entre 15 et 23 m de profondeur) et d'alluvions (entre 82 et 86 m) majoritairement issus du remaniement des horizons de pyroclastites.

Les venues d'eau sont essentiellement identifiées au sein des niveaux de scories, c'est-à-dire à la base et au toit des coulées de laves mais n'ont pas été mesurées (absence de mesure d'écoulement au micromoulinet). Comme pour le forage de Gouloué 1, la nappe est semi-captive à captive avec un niveau piézométrique entre 10,5 et 12 m de profondeur - soit une cote de 45 m NGM - et - bien qu'il n'existe pas de relation hydraulique directe avec le Mro Oua Gouloué - le niveau piézométrique du forage est à la même altitude que la surface libre du cours d'eau (40 à 45 m NGM environ).

Les pompages d'essai ont mis en évidence ; un paramètre de transmissivité local de l'aquifère proche de $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ et une limite étanche qui suggère le compartimentage significatif de l'aquifère. L'influence des pompages du forage de Gouloué 2 sur le forage de Gouloué 1 a été mise en évidence lors des essais de nappe de mai 2003 (l'influence inverse n'a pas été testée). Le coefficient d'emmagasinement a pu être calculé lors de ces essais, il est de $2,8 \cdot 10^{-3}$. L'exploitation des deux forages en simultané devra être concordante en terme de sollicitation de la ressource.

Sans considérer l'interférence avec le forage de Gouloué 1, le rabattement maximal préconisé au niveau du forage de Gouloué 2 est de 40 m afin de ne pas dénoyer les premières venues d'eau présentes à -2 m NGM. Le débit d'exploitation recommandé se situe dans la fourchette entre 12 et 21 m^3/h (la valeur retenue pour l'exploitation est plus précisément de 14,5 m^3/h).

En ce qui concerne les variations piézométriques de l'ouvrage de Gouloué 2 (informations issues du rapport BRGM/RP-56438-FR) la chronique de mesures (Illustration 11) est très similaire à celle de Gouloué 1 (cf. § 3.2.1, que ce soit :

- en termes d'allure générale : les niveaux piézométriques sont très comparables (entre 42 et 44 m NGM) et le signal montre une amplitude annuelle inférieure au mètre.
- en termes de variations : les pics hautes eaux et basses eaux sont synchrones, les pentes de recharge et de tarissement sont du même ordre de grandeur.

- la réactivité aux précipitations : sur les deux ouvrages, la réactivité des niveaux piézométriques en réponse aux précipitations est très rapide, ce qui sous entend une fois de plus des connexions privilégiées avec les eaux de surface.

En revanche - et bien que les chroniques ne soient pas des plus documentées - les niveaux de Gouloué 1 sont en légère augmentation, constante depuis le début des enregistrements (+ 10 cm des niveaux d'étiage entre 2003 et 2007) alors que les niveaux de Gouloué 2 semblent stables voire légèrement décliner (niveaux d'étiage en baisse entre 2003 et 2006, ce qui abonde dans le sens de la compartimentation de l'aquifère entre le forage de Gouloué 1 & 2). A cet effet, des études complémentaires peuvent être apportées sur le traitement croisé des chroniques piézométriques des forages de Gouloué 1 & 2. Ces travaux permettraient de mettre réellement en évidence cette compartimentation.

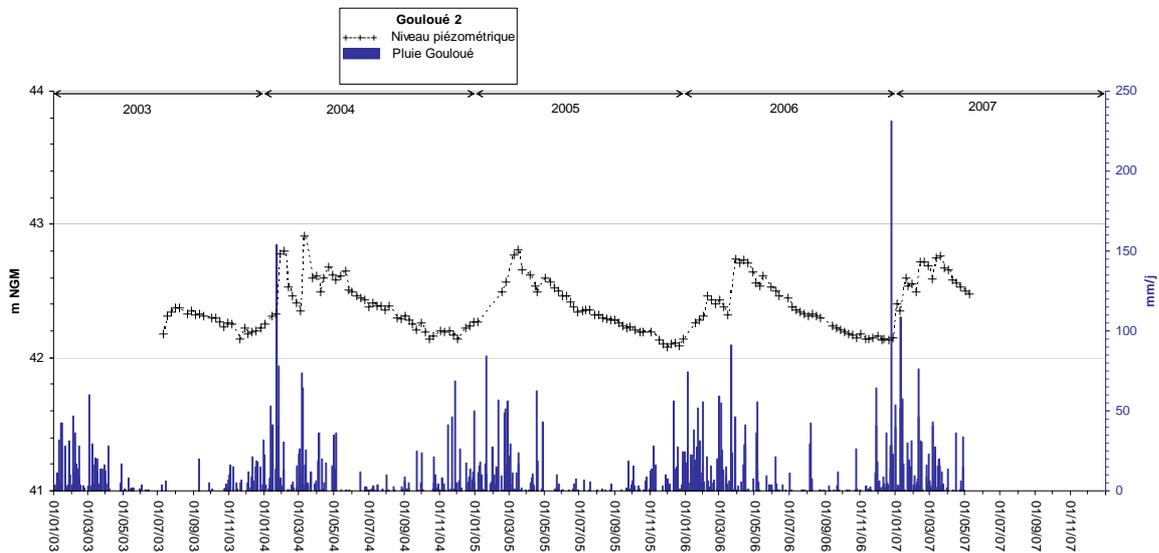


Illustration 11 : Chronique piézométrique du forage de Gouloué 1 en m NGM entre juin 2003 et juin 2007 (données DAF)

2) Qualité des eaux

Les eaux du forage de Gouloué 2 n'ont été analysées qu'une seule fois, lors de l'essai de nappe du 25 juin 2003 (après 48 h de pompage). Bien que nos observations ne se basent que sur un seul échantillon, la qualité des eaux du forage de Gouloué est très comparable à celle de Gouloué 1. A l'exception de la forte teneur en matières en suspension (2 mg/L alors que norme recommande l'absence totale de MES, 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), teneur qui devrait s'atténuer rapidement lors de la mise en exploitation aux débits préconisés, les paramètres suivants sont très supérieurs aux normes de potabilité :

- Le manganèse a été mesuré à une concentration de 0,12 mg/L alors que la norme de potabilité fixe le seuil de 0,05 mg/L. De même qu'au forage de Gouloué 1, il est

important de souligner que de telles concentrations naturelles sont fréquentes dans des aquifères captifs de type volcanique et peuvent éventuellement être liées aux travaux de forage ou de développement de la nappe.

- Le magnésium a été mesuré à 94,5 mg/L, soit bien au dessus des normes de potabilité (50 mg/L). Des teneurs en magnésium de cet ordre ne sont pas rares dans les aquifères volcaniques captifs (voire Gouloué 1).

Le paramètre bactériologique n'a pas été mesuré pour des raisons techniques de conditionnement, mais il est très probable que les valeurs de concentration en coliformes totaux et en flore hétérotrophe dépassent les seuils de référence comme observé précédemment sur le forage de Gouloué 1.

Par conséquent, ces caractéristiques physico-chimiques très proches des eaux du forage Gouloué 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.

3.2.3. Délimitation du BAC des forages de Gouloué

Comme expliqué précédemment, en raison (i) de la proximité des forages, à savoir moins de 250 m, (ii) des caractéristiques très proches des horizons aquifères captés, à savoir un niveau statique identique, des comportements hydrogéologiques et des natures physico-chimiques assez proches et (iii) de l'influence des pompages du forage de Gouloué 2 sur le forage de Gouloué 1, un seul et même BAC sera proposé pour les deux forages.

Compte tenu de la participation du Mro Oua Gouloué dans l'alimentation des nappes par infiltration, 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.

Compte tenu du niveau piézométrique minimum dans les forages de l'ordre de 40 m NGM, le BAC sera tracé à compter de l'intersection du Mro Oua Gouloué avec la courbe altimétrique de 40 m NGM (cf. Illustration 12). De ce point, la limite se poursuit direction NE en remontant le versant jusqu'à la ligne de crête à l'altitude 130 m NGM. La limite se poursuit NO en suivant la ligne de crête (limite du bassin versant du Mro Oua Gouloué, cf. § 2.1) jusqu'au sommet du Mlima M'tsapéré et intègre à partir du sommet le BAC de la prise d'eau de surface (cf. § 3.1.3) jusqu'au relief d'altitude 180 m NGM au SE de Vahibé. De ce point, la limite se poursuit le long de la ligne de crête jusqu'au point coté 85 m NGM (virage en épingle de la CCT 3) et redescend en direction de la rivière en suivant la ligne de plus grande pente. Le BAC a une superficie de 5,194 km² pour un périmètre de 10,49 km et couvre près de 75 % de la surface du bassin versant.

Les caractéristiques du BAC ainsi tracé sont comparées aux résultats du tableau suivant ou la surface du BAC est approchée par un calcul théorique (rapport BRGM/RP-57299-FR, E4) :

	Précipitations	infiltration	Prélèvement AEP envisagé	Part exploitable	Surface théorique	Surface réelle
Gouloué 1	1432 mm	14 %	11 m ³ /h	25 %	3,67 km ²	5,194km ²
Gouloué 2	1432 mm	14 %	21 m ³ /h	25 %	1,92 km ²	

Tableau 5 : Estimation de la surface théorique du BAC des forages de Gouloué 1 et 2. Les paramètres du calcul sont ceux définis dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR.

Les résultats du tableau montrent que la surface réelle du BAC tracé est très proche de la somme des deux surfaces d'alimentation théoriques calculées ($3,37 + 1,92 = 5,29 \sim 5,194 \text{ km}^2$). La proximité de ces résultats montre que la surface du BAC souterrain ainsi tracé est au moins juste dans ses proportions. L'intégration de l'ensemble du bassin versant de surface au sein du BAC paraît évidente.

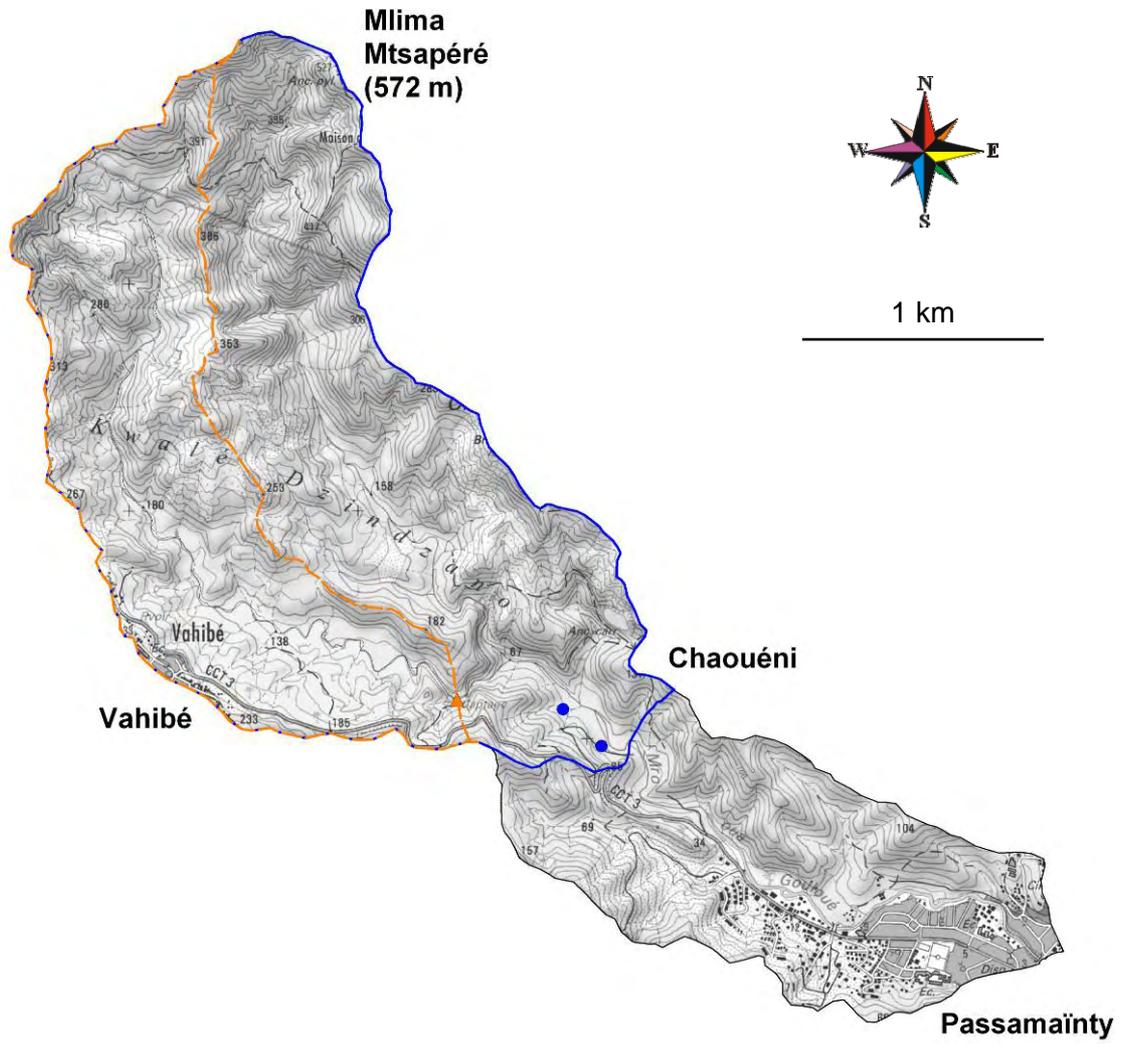


Illustration 12 : Découpage des bassins d'alimentation de captage du bassin versant du Mro Oua Gouloué. En orange, le BAC de la prise d'eau de surface et en bleu le BAC des forages de Gouloué 1 & 2.

4. Caractérisation de la Vulnérabilité

4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES FORAGES DE GOULOUE 1 & 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 : il s'agit de l'application de la méthode IDPR¹ & indice de rugosité.

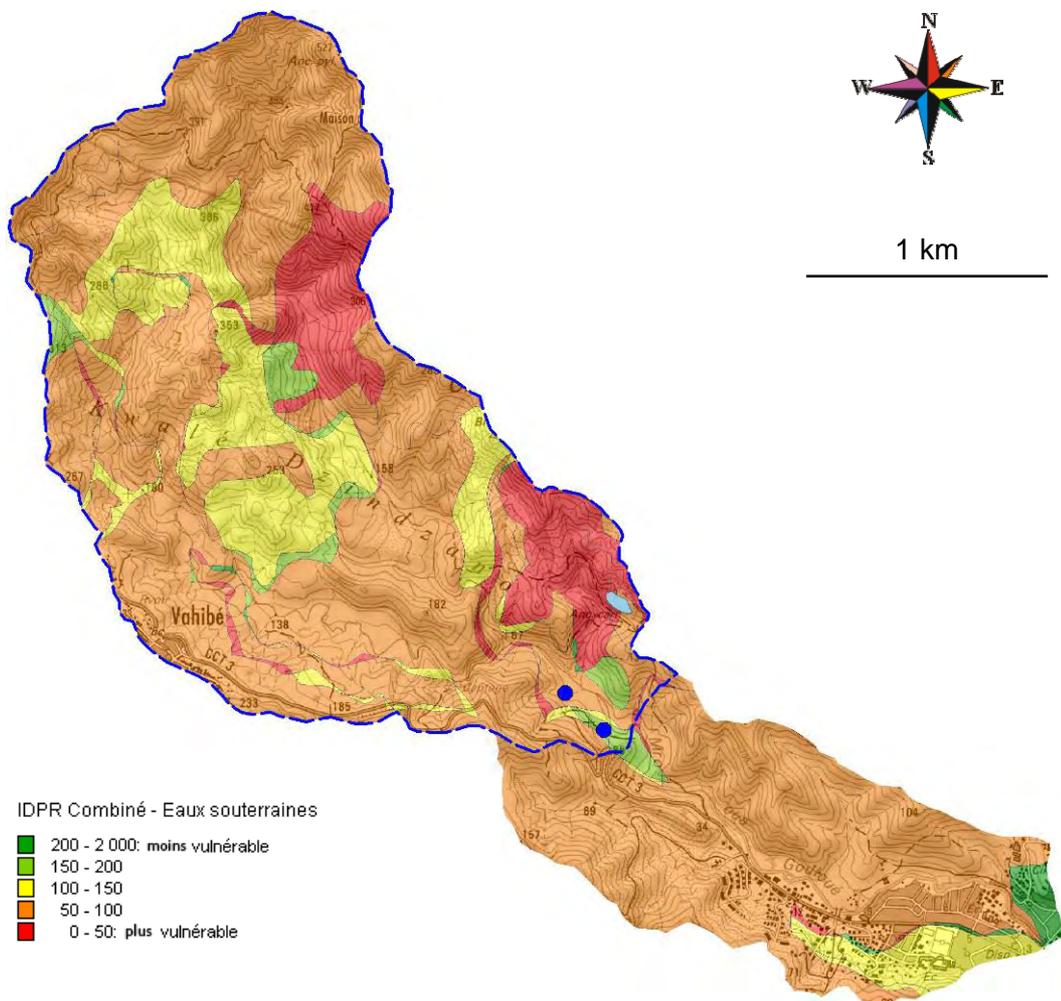


Illustration 13 : Résultats du calcul IDPR & rugosité du bassin d'alimentation des forages de Gouloué 1 & 2 (ici en bleu). Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives.

¹ Indice de Persistance et de Développement des Réseaux

Les résultats du calcul appliqués au BAC souterrain de Gouloué1 & 2 sont présentés dans l'illustration ci-dessus.

Les résultats du calcul appliqué au BAC de Gouloué 1 & 2 montrent que dans l'ensemble, les valeurs IDPR + indice de rugosité sont assez faibles comparativement aux autres bassins versants de Mayotte (à comparer avec la carte de vulnérabilité des eaux souterraines de Mayotte. Association des indices IDPR et de rugosité, rapport BRGM/RP-57299-FR). Ces résultats - synonymes d'un réseau de drainage déficitaire - sous entendent que **le BAC présente davantage d'unités fonctionnelles (géologiques et pédologiques) à caractère infiltrant que d'unités fonctionnelles à caractère ruisselant.**

A l'échelle du bassin versant du Mro Oua Gouloué, ces résultats sont concordants avec les arguments avancés dans le § 2.5 qui indiquaient la faiblesse des débits caractéristiques de tarissement. Manifestement, les formations récentes composant le bassin (coulées de basaltes du M'tsapéré $\beta 2$ et $\beta 3$ en partie aval et phonolite en partie amont) et la faible épaisseur des sols (pour rappel : sols bruns peu évolués) favorisent majoritairement les infiltrations. A cela s'ajoute un indice de rugosité plus élevé que sur l'ensemble du territoire (cf. carte des données du calcul de l'indice de rugosité sur l'ensemble du territoire - BRGM/RP-57299-FR) consécutif au modelage récent des reliefs du M'tsapéré par les coulées « récentes », du moins les plus récentes de Grande terre.

En termes de vulnérabilité pour les eaux souterraines, il est évident que le degré de protection de la couverture dite protectrice que constituent le sol et le sous-sol est parmi les plus faibles rencontrés sur les bassins versants de Mayotte.

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 & 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 DE LA PRISE D'EAU EN RIVIERE DE GOULOUE : APPLICATION DE LA METHODE IDPR

Comme indiqué dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR, les résultats du calcul de l'IDPR sur le bassin versant du Mro Oua Gouloué, dont l'objectif était de caractériser la vulnérabilité des captages souterrains, peuvent être également utilisés pour caractériser la vulnérabilité du captage de surface : il s'avère alors que la carte de vulnérabilité de ce captage de surface est l'antisymétrique de la carte de vulnérabilité des captages souterrains présentée en Illustration 13. Cette carte est présentée ci-dessous.

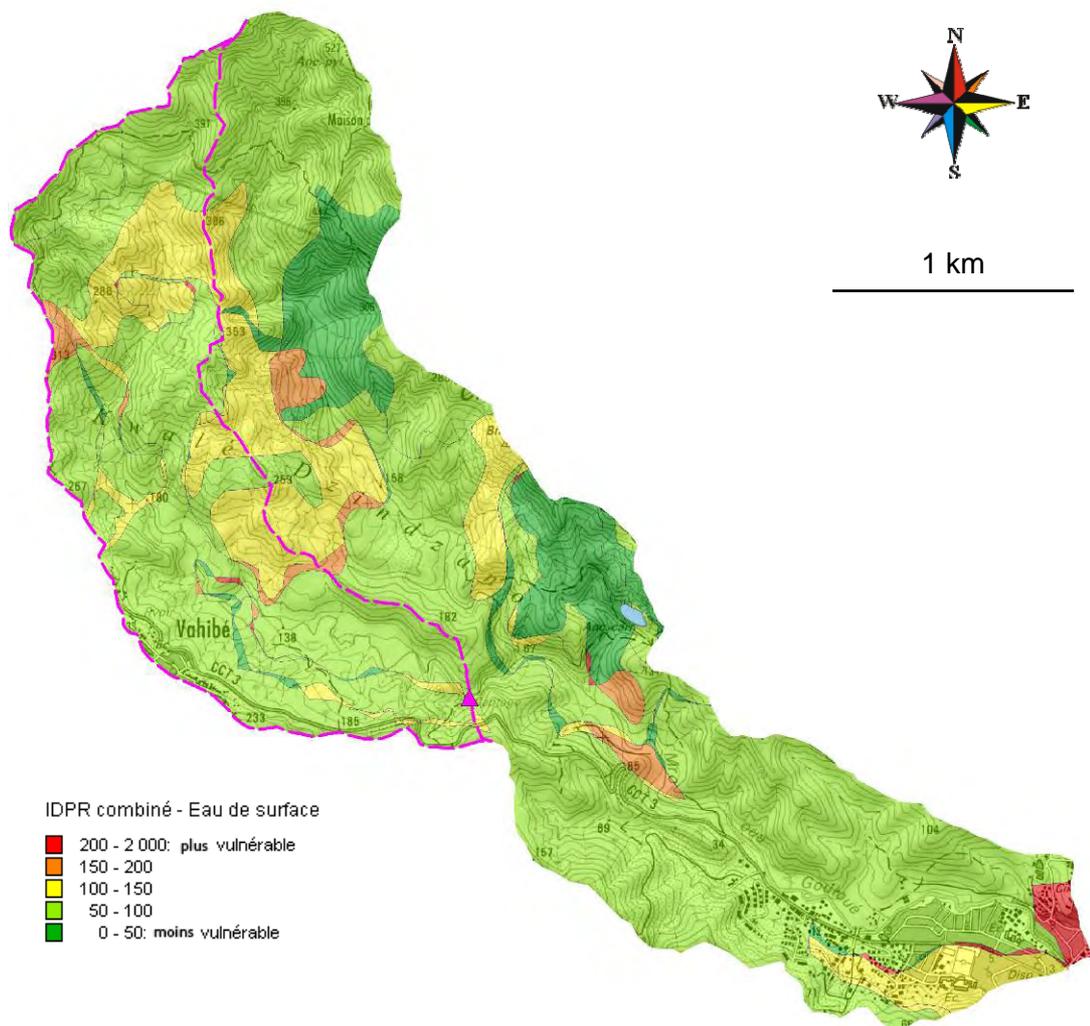


Illustration 14 : Carte de vulnérabilité du bassin d'alimentation du captage de surface du Mro Oua Gouloué (ici délimité par des tirets roses)

L'illustration 14 montre que les valeurs de vulnérabilité sont globalement faibles à moyennes sur la superficie du BAC de surface. Compte tenu des observations faites au §. 4.1, ainsi qu'en début de rapport (cf. § 2.5), les unités fonctionnelles sont plus infiltrantes que ruisselantes, comparativement à d'autres bassins versants. Le captage de surface est donc moins vulnérable que d'autres captages de surface localisés dans d'autres bassins versant de Mayotte – mais dans des proportions somme toute relatives. Ces résultats supposent qu'une pollution diffuse ou accidentelle opérée en un point du BAC ne sera pas intégralement transmise à la prise d'eau. La vulnérabilité du captage n'est pas nulle.

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 GOULOUE EN AMONT DE LA PRISE D'EAU

Le cours d'eau du Mro Oua Gouloué en amont du captage est découpé en 5 zones selon l'étagement du cours d'eau (cf. Illustration 15). Les caractéristiques de chaque zone sont données dans le Tableau 6.

La largeur du lit zone/zone est estimée sur toute la longueur comme progressive de 1 à 4 m en moyenne et vérifiée sur le terrain en certains points seulement (§ 2.5, lors de la reconnaissance du 4 février 2009). Les zones 1, 2 et 3 ont un régime permanent et sont situées sous le village de Vahibé, donc concentrent la majeure parties des activités dont la rivière fait l'objet (lessive, culture sur les berges, etc.). Les zones 4 et 5 n'ont qu'une participation mineure au vu de leur éloignement au captage et de leur régime. Les affluents ont été négligés dans le découpage en raison de leur très faible participation (régimes non permanents, linéaires très courts, etc.).

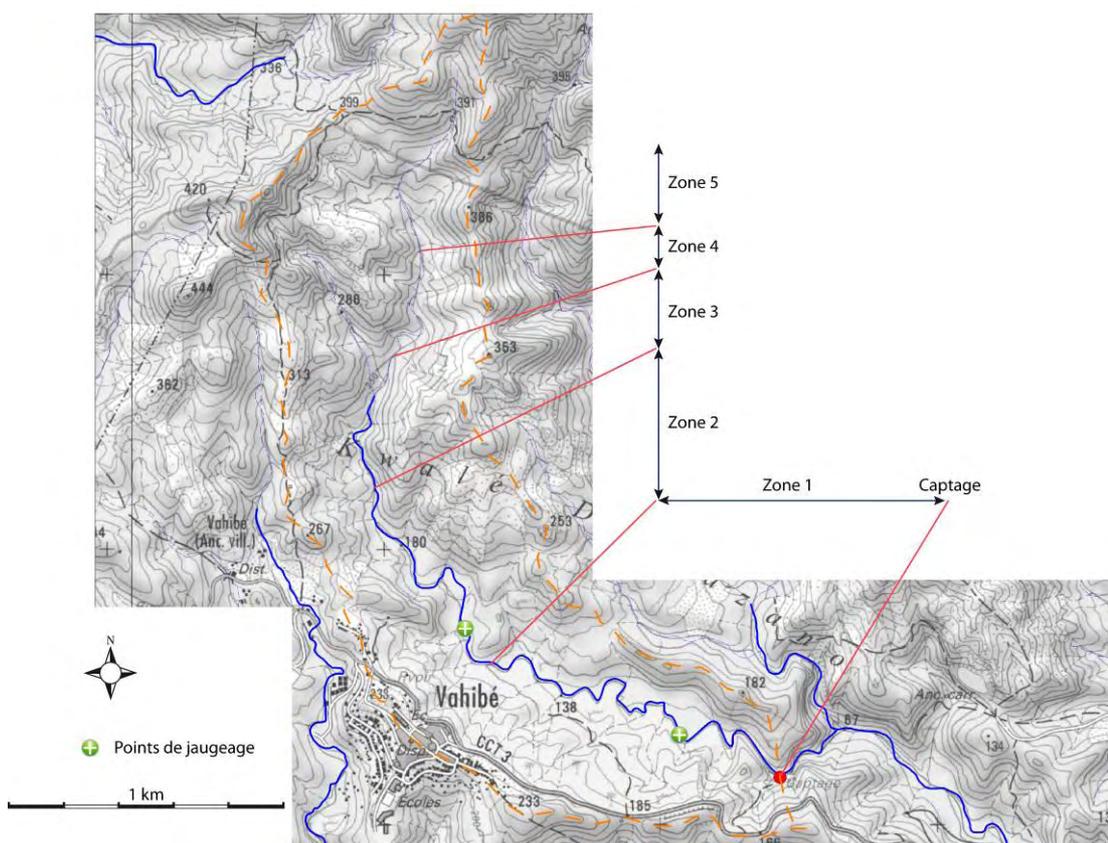


Illustration 15 : Découpage du Mro Oua Gouloué en amont de la prise d'eau et localisation des jaugeages. Les caractéristiques de chaque zone sont compilées dans le Tableau 6.

	Longueur cumulée / captage (m)	Altitude de base (m NGM)	Largeur du lit (m)
Zone 1	1610	110	4
Zone 2	2630	155	4
Zone 3	3239	218	3
Zone 4	3537	278	2
Zone 5	4394	310	1

Tableau 6 : Caractéristiques des zones de découpage du Mro Oua Gouloué en amont du de la prise d'eau pour détermination des vitesses de transfert.

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

L'application de la formule de Manning Strickler au cas du Mro Oua Gouloué se limite aux conditions de hautes eaux (HE) pour des questions de domaine de validité de l'équation (cf. rapport BRGM/RP-57299-FR). Le détail des calculs est donné en Annexe 4 et les résultats sont présentés en Illustration 11 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 par l'observation fréquente de laisses de crue 1 m au dessus de la surface libre du cours d'eau).

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

Des mesures de débit ont été réalisées le 14/05/2009 dans le lit du Mro Oua Gouloué en amont de la prise d'eau, en 2 points précis et considérés comme représentatifs du profil moyen du cours d'eau ; les conditions météorologiques sèches depuis plusieurs semaines ont également permis de considérer que le régime hydrologique du cours d'eau était à l'étiage (BE). La localisation des points de jaugeages et les résultats des mesures sont donnés en Tableau 7 et Tableau 8. Le détail des calculs est présenté en Annexe 3.

	Zone	Coord X _{RGM04}	Coord Y _{RGM04}	Débit	Vitesse de pointe (m/h)
Point 1	Zone 1	520 296	8 586 043	15,3	241
Point 2	Zone 2	519 534	8 586 420	38,4	260

Tableau 7 : Points de mesure des débits d'étiage du 14 mai 2009.

		Coefficient de Manning Strickler	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Vitesses de transfert (km/h)	HE	25	2	3,3	2,5	2,1	2,2
		40	1,2	2,1	1,6	1,3	1,4
	BE		0,24	0,26	/	/	/
Temps max d'atteinte du captage (h)	HE	25	0.8	1.1	1.4	1.5	1.9
		40	1.3	1.8	2.2	2.4	3
	BE		6,5	10,5	/	/	/

Tableau 8 : Vitesses de transfert du cours d'eau et temps d'atteinte au captage de Gouloué haut. Les valeurs de BE sont données pour les débits d'étiage du Tableau 7.

Les vitesses de transfert calculées en HE et mesurés en BE, notamment en ce qui concerne les zones 1 et 2 témoignent d'un écart d'un facteur 5 à 10. Par conséquent, ces zones les plus proches du captage, hydrologiquement actives toute l'année et soumises aux activités du village de Vahibé montrent des temps d'atteinte au captage compris entre 1 et 6 h en hautes et basses eaux pour la zone 1 et entre 1,5 et 11 h en hautes et basses eaux pour la zone 2, soient des temps relativement courts et par conséquent des délais de réaction assez brefs en cas d'accident.

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'atteinte au captage. Dans le cas des bassins d'alimentation de

captages inférieurs à 6 km², les temps d'atteinte 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 Illustration 18.

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 GOULOUE

5.1.1. Urbanisation et aménagement

Le bassin versant du Mro Oua Gouloué accueille deux villages : le village de Vahibé sur la crête sud, à cheval sur le bassin versant de la rivière Kwalé et le village de Passamaïnty à l'exutoire du bassin. Les populations respectives de ces deux villages sont données dans le Tableau 9. Confondues, elles représentent plus d'1/20 de la population de l'île.

Villages	1997	2002	2007
Passamaïnty	5 173	6 008	7 086
Vahibé	2 135	3 236	3 736

Tableau 9 : Population des villages de Passamaïnty et Vahibé (chiffres INSEE 2007)

Ces deux villages n'ont pas d'activités industrielles particulières, il s'agit essentiellement d'habitats ruraux, notamment en ce qui concerne Vahibé. Passamaïnty est devenu une banlieue résidentielle de Mamoudzou et concentre davantage d'activités de services que de pratiques rurales.

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 limité aux productions suivantes : bananes, maniocs, maïs, canne à sucre. Ces cultures sont particulièrement présentes dans la vallée intermédiaire, en contrebas du village de Vahibé, vers 140 m NGM, majoritairement en rive droite du cours d'eau. En raison de sa configuration et de sa proximité, ce bassin se prête très bien à la culture maraîchère mais aussi à la production d'Ylang-ylang.

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.

5.1.3. Sites industriels, sites et pratiques à risques

Les sites industriels et activités potentiellement polluantes répertoriés en 2004 (cf. rapport BRGM/RP-52906-FR) sur le bassin de la Gouloué sont présentés au Tableau 10. Il apparaît que seulement 5 sites sont à dénombrer sur le bassin et parmi eux, seulement 1 en amont des zones de captage (il s'agit de l'industrie extractive de matériaux pour remblaiement de la mangrove au niveau des villages de M'tsapéré et Passamaïnty, site appartenant à ETPC et abandonnée depuis 2005, cf. rapport BRGM/RP-56679-FR).

Id	6444	6451	6449	6450	6445
Commune	Mamoudzou				
Adresse	Doujani	Passamaïnty	Tsoundzou 1	Tsoundzou 1	Vahibé
localisation	En haut	Route de Vahibé	Sur la route	A côté de la station	A la sortie
Nom Entreprise	ETPC		Station de Tsoundzou	Sovidenge	Souliama Houmadi
Type industrie	Industrie extractive	Fabrication de briques (cuites et non cuites)	Station service	Dépôt de liquides inflammables	Fabrication de briques (cuites et non cuites)
Code NAF	CB14	D26.4	G50.5	Z3	D26.4
Groupe	1	3	1	1	3
Actif	non	non	oui	oui	aléatoire
Propriétaire	CDM		Total Mayotte	Sovidenge	Souliama Houmadi
Première activité					1999
remarques et commentaires	la carrière est abandonnée et est devenue une retenue d'eau	Briques en terre compressées (BTC)		Collecte et stockage des huiles de vidange	Briques en terre compressées (BTC)
visible sur 25 000	Oui	oui	oui	non	non
Occupation	non remblayé	en friche			à vérifier
Coord X_{Cmb50}	521135,3	522179,3	522416,4	522463	518722,8
Coord Y_{Cmb50}	8586530,9	8585140,8	8584530,7	8584580	8586703,4
Altitude (m NGM)	135	9	5	5	250
Place dans le BV	sur les flancs du BV, en haut d'une ravine affluente directe du Mro Oua Gouloué à 400 m. Inscrit dans le BAC souterrain des forages	à la base du BV, à moins de 30 m en rive droite de la Gouloué. A l'extérieur des BAC.	à l'extérieur du BV, mais suffisamment proche pour être considéré.	à l'extérieur du BV, mais suffisamment proche pour être considéré.	sur les crêtes, à l'extérieur du BV topographique mais suffisamment proche pour être considéré.

Tableau 10 : Sites industrielles et activités potentiellement polluantes du bassin versant du Mro Oua Gouloué (rapport BRGM/RP-52906-FR)

Lors des reconnaissances de terrain du 4 février et du 15 mai 2009, aucun nouveau site industriel identifié comme pression potentielle n'a été mis en évidence.

Cet inventaire montre que les pressions de type sites industrielles sont quasi absentes des BAC. La carrière ETPC, dont l'activité d'extraction est abandonnée (il s'agit maintenant d'une retenue d'eau qui s'est formée en raison de l'imperméabilité du fond) est en cours de réhabilitation en tant que site de stockage de déchets inertes pour les matériaux de couverture de la future carrière TETRAMA de Doujani (rapport BRGM/RP-54679-FR et TETRAMA - 2007). A l'heure actuelle, le site est utilisé comme décharge sauvage par les particuliers (déchets ménagers, automobiles, etc.). Différentes analyses d'eau réalisées par le BRGM, la SOGEA et TETRAMA (le 01 et 06/12/2005 et le 05/09/2007) font état d'une forte concentration des paramètres bactériologiques et d'une flore hétérotrophe importante (tous deux non dénombrés). Les autres paramètres analysés (liste réduite aux paramètres majeurs) ne montrent pas une contamination particulière des eaux ; à l'exception des concentrations en manganèse et en strontium (respectivement 122 µg/L et 207 µg/L le 01/12/2005). Il serait néanmoins intéressant d'investiguer plus en détail les concentrations en métaux lourds, HAP, PCB et phytosanitaires afin de disposer d'éléments concrets et à jour de la qualité de ces eaux (et de réaliser les mêmes analyses au niveau des forages).



Illustration 16 : Plan d'eau occupant la fosse d'exploitation de la carrière de Doujani. La turbidité de l'eau est très élevée

Dans le dossier de réhabilitation, il est prévu de vidanger le lac par déversement des eaux dans le Mro Oua Gouloué avant d'utiliser la carrière comme site de stockage. Le planning prévisionnel prévoit cette opération d'ici fin 2009. Il est important de suivre au mieux cette opération afin d'impacter au minimum la qualité des eaux de surface et souterraine des BAC.

La carte de répartition des systèmes d'assainissement collectifs ou semi collectifs (DAF-2008) montre la présence de deux stations d'assainissement dans le bassin versant du Mro Oua Gouloué mais en aval hydraulique des zones de captage. L'absence d'infrastructures d'assainissement en amont des captages - notamment dans l'arrondissement de Vahibé - suppose une importante pollution des eaux usées donc un impact avéré sur la qualité des eaux captées : l'analyse des eaux de surface

(Annexe 2) montre l'abondance des germes bactériologiques (streptocoques, coliformes, Escherichia Coli, etc.).

Les pratiques à risque les plus importantes à mentionner sont les sites de lessive. Lors des reconnaissances de terrain du 04/02/2009 et 14/05/2009 de nombreux sites de lessives ont pu être observés tout le long du cours d'eau. Chaque section du cours d'eau qui se prête au lavage (accès, présence de rapides, place suffisante pour le séchage du linge) est occupée. La densité d'occupation le 14/05/2009 témoignait d'une pratique tous les 50 m en moyenne. Selon les témoignages, 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. La majorité des sites sont relevés dans la partie aval du bassin : à proximité de la zone urbaine de Passamaïnty jusqu'à l'altitude 34 m NGM où l'on croise la dernière piste d'accès à la rivière. Les activités recommencent ensuite au dessus de 140 m NGM, c.à.d. en amont de la prise d'eau. Aucun lavage de voiture n'est à signaler en amont de la prise d'eau, et ce du fait de l'absence de piste qui y mène.

Une teneur en AMPA de 0,12 µg/L a été mesurée en novembre 2008 dans le Mro Oua Gouloué en aval du pont de la RN, à proximité du collège, lors de la campagne d'analyse des produits phytosanitaires réalisée par la DAF dans les cours d'eau. Cette teneur est significative d'une pollution chronique imputée probablement à la pratique des lessives dans le cours d'eau (mais l'AMPA est aussi un produit de dégradation des herbicides contenant notamment des glyphosates. Mais la présence de glyphosate n'a pas été démontrée). A noter que la valeur seuil d'AMPA fixée par la DCE pour le bon état écologique des cours d'eau est de 0.1 µg/L. Cette pratique peut donc être considérée comme la plus à risque et commune aux deux bassins d'alimentation de captage.

5.1.4. Risques naturels

Au regard des informations figurant sur l'atlas des risques réalisé par le BRGM relatif à la commune de Mamoudzou (rapport BRGM/RP-53037-FR), l'exposition aux aléas naturels des bassins d'alimentation de captage des forages de Gouloué 1 & 2 et de la prise d'eau de Gouloué est la suivante :

- les forages et la prise d'eau sont situés en zone d'aléa fort glissements de terrain accompagnés de chutes de blocs.
- les forages 1 & 2 ne sont pas situés en zone d'aléa fort vis-à-vis de l'aléa inondation, quant à la prise d'eau positionnée au cœur du lit mineur, l'aléa inondation se révèle fort.

Le risque de destruction de la prise d'eau 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 Gouloué 1 & 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 Gouloué et pondérée par les arguments décrits dans le rapport méthodologique BRGM/RP-57299-FR est présentée ci-dessous.

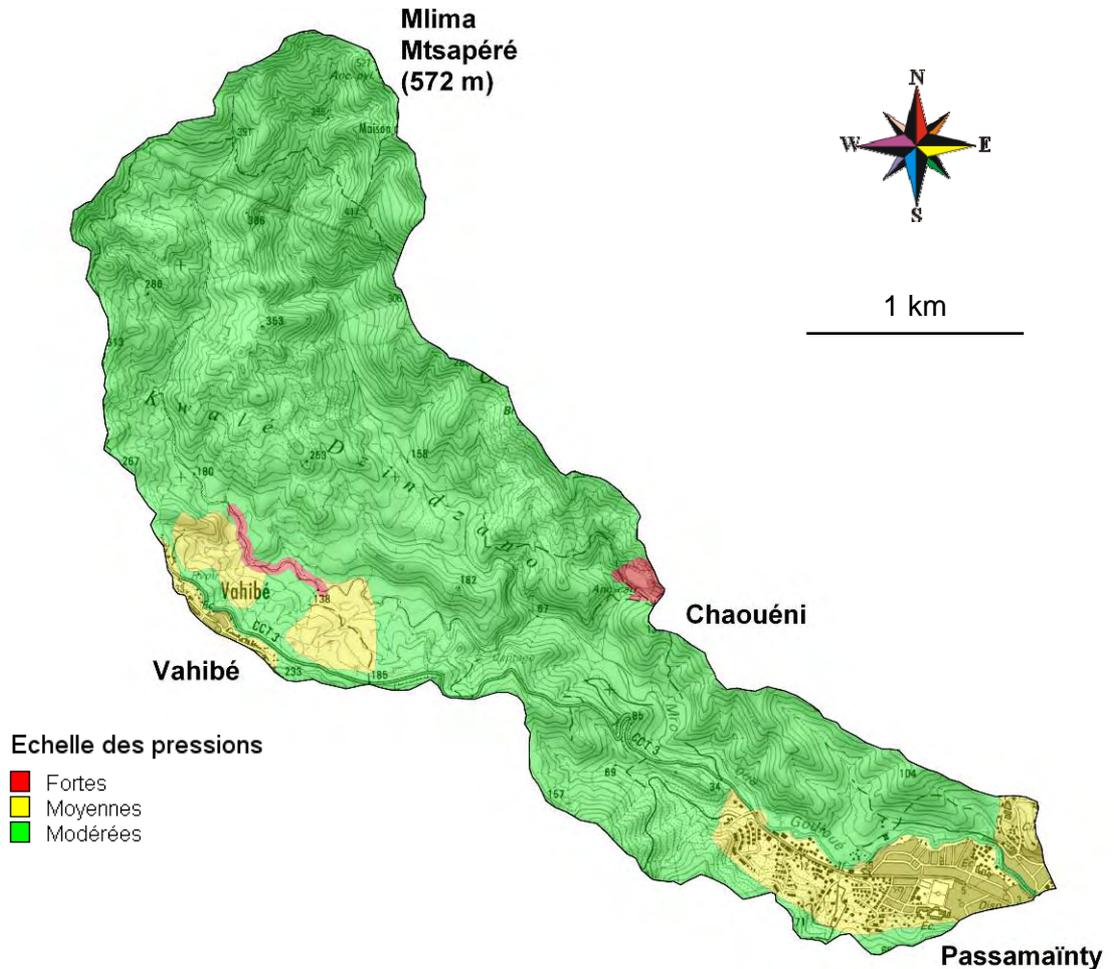


Illustration 17 : Cartographie des pressions exercées sur le bassin versant du Mro Oua Gouloué.

A la lecture de la carte, il apparaît que les pressions identifiées sur le bassin versant se concentrent majoritairement autour des villages de Passamaïnty et de Vahibé, ainsi qu'en contrebas du village de Vahibé, au niveau de la vallée intermédiaire qui abrite l'essentiel des activités agricoles du bassin mais concentre aussi les activités de lessive. La carrière de Doujani est aussi identifiée comme pression forte mais reste située à l'écart du BAC de la prise d'eau de surface.

Les pressions semblent donc relativement faibles à l'échelle du bassin versant, mais cette observation est à nuancer devant les pratiques de lessive en rivière qui sont très

importantes et opérées directement dans le cours d'eau (observations du 04/02/2009 et du 14/05/2009).

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

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

6.1. CARTE DE CROISEMENT VULNERABILITE / PRESSION DU 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 l'illustration 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 de la prise d'eau.

Concrètement, au niveau du BAC, il ressort de cette carte que bien que la vulnérabilité soit limitée, les pressions associées sont souvent fortes, notamment celles concernant les lavages en rivière.

En hautes eaux la limite « temps de transfert inférieur à une heure » remonte jusqu'à la zone de pressions fortes : **la vulnérabilité du captage d'eau de surface est donc forte en hautes eaux** (et plus forte en hautes eaux qu'en basses eaux).

Le temps de réaction avant la fermeture du captage en cas de pollution significative dans ce secteur - et la mise en route des ressources de substitution - est donc d'une heure tout au plus.

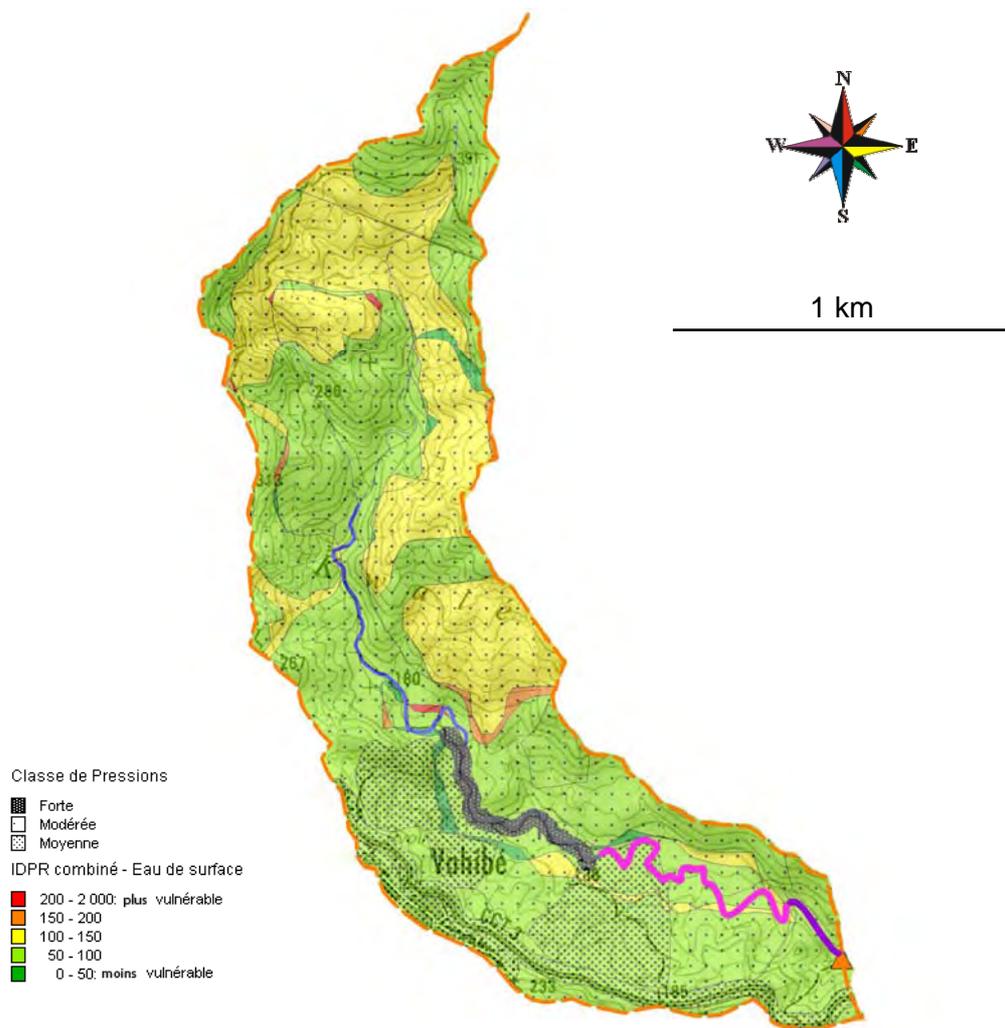


Illustration 18 : Carte de croisement des informations de vulnérabilité vis-à-vis du BAC de la prise d'eau de surface du bassin versant du Mro Oua Gouloué (délimitation orange, se reporter à la carte de délimitation en Illustration 12. En surimposition sont figurés les temps d'atteinte au captage - inférieurs à 1 h en hautes eaux (en rose) et basses eaux (en violet).

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.

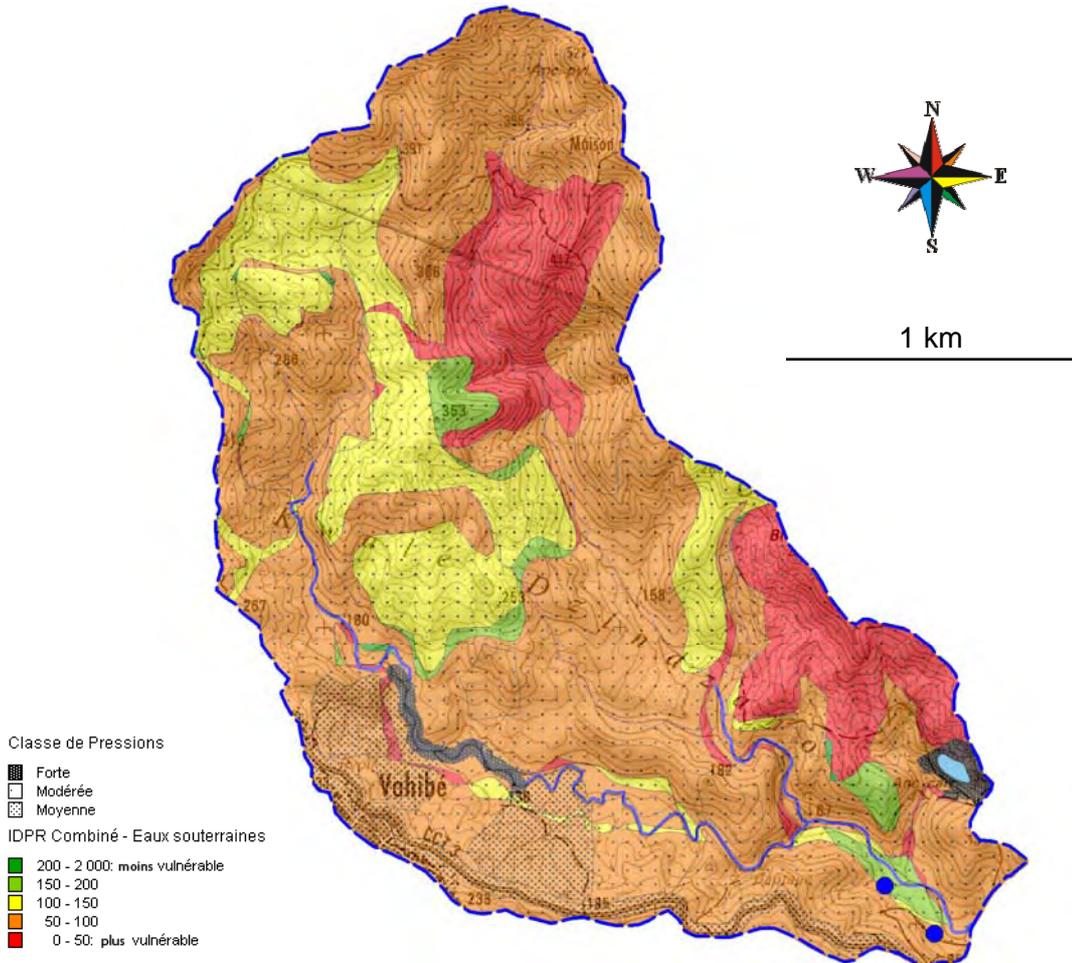


Illustration 19 : Carte de croisement des informations vulnérabilité / pression du BAC souterrain des forages de Gouloué 1 & 2 – bassin versant du Mro Oua Gouloué

L'illustration 19 montre que le croisement des informations de vulnérabilité et de pressions dans l'enceinte du BAC souterrain des forages de Gouloué aboutit à certains endroits à la superposition de pressions identifiées comme fortes sur des zones identifiées comme vulnérables à très vulnérable aussi. C'est le cas au niveau de l'ancienne carrière de Doujani (carrière abandonnée symbolisée par la présence de la retenue d'eau), mais aussi au niveau du village de Vahibé, sur le versant surplombant le Mro Oua Gouloué et le long du linéaire du cours d'eau, là même où se concentrent les activités agricoles et de lessive.

Le degré d'exposition de la ressource en eau souterraine à cet endroit est relativement élevé (par rapport à la carte de croisement générale de Mayotte par exemple, rapport BRGM/RP-57299-FR). En ce qui concerne le drain qui remonte jusqu'au flanc du M'tsapéré (flanc sud), des zones vulnérables à très vulnérables sont notées, mais il n'existe *à priori* pas de pressions notoires. La ressource en eau souterraine semble peu menacée dans ces environnements.

Néanmoins, il convient de préciser que les zones exposées de Vahibé et de la carrière sont situées relativement en amont de la zone de captage (100 m en altitude au dessus de la surface piézométrique de la nappe exploitée). Le fond de la vallée, en aval de la cascade –vers 40 NGM), visiblement moins vulnérable semble exempt de pressions et constitue une couverture probablement intéressante en termes de protection vis-à-vis des eaux captées.

Il est donc possible d'avancer que :

- i. La conjonction « pressions fortes sur sols très vulnérables » au niveau du village de Vahibé et en contrebas mais aussi au niveau de la carrière représente un risque important pour la ressource en eau souterraine (au dessus de 130 m NGM).
- ii. Le second sous bassin versant (au nord de la confluence majeure du Mro Oua Gouloué) qui remonte les flancs du M'tsapéré, bien que vulnérable, ne représente pas un risque important pour les eaux souterraines en l'absence de pressions.
- iii. Les environs de la zone captée, c.à.d. le fond de vallée en aval de la confluence (vers 40 m NGM) semble protégé vis-à-vis des intrusions de surface (vulnérabilité faible).

Au vu des informations ci-dessus, il est important de garder à l'esprit que le BAC des forages souterrains de Gouloué 1 & 2 est soumis à un risque important étant donné les conjonctions fréquentes « pressions fortes sur sols vulnérables ».

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

Les travaux réalisés sur le bassin du Mro Oua Gouloué, relatifs à la caractérisation de la vulnérabilité des ressources en eau (BAC souterrain et 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 (non encore exploitées pour l'eau potable mais en instance de l'être) 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 cette ressource.

6.3.1. BAC de surface

La vulnérabilité du BAC de la prise d'eau est importante – comme toute prise d'eau de surface – mais semble moindre par rapport aux autres bassins versants de Mayotte. De fortes pressions localisées sont néanmoins existantes et augmentent les risques de pollution du captage. Néanmoins, compte tenu de l'importance des infiltrations en amont du captage (dans les environs du village de Vahibé, sur les versants plongeant vers le cours d'eau et surtout le linéaire du cours d'eau entre 140 et 170 m NGM), ce risque pourrait être en partie atténué – toujours en comparaison avec d'autres bassins versants.

Par ailleurs, en hautes eaux, la limite « temps d'atteinte de 1 h » remonte jusqu'au niveau de la zone identifiée comme à forte pression (surtout lessives), 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 1 h. Le risque de pollution du captage d'eau 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 Gouloué 1 et 2 est relativement importante, 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 ainsi fortement exposé aux pressions identifiées en surface.

De même que pour le BAC de surface, les zones de pressions, situées au niveau de Vahibé et en contrebas 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 forte. A ces pressions, communes aux deux BAC, il convient de rajouter l'ex carrière de Doujani utilisée actuellement comme décharge sauvage mais en cours de réhabilitation en tant que site de stockage de matériaux inertes. Il est important de veiller aux bonnes pratiques de réhabilitation du site afin d'impacter au moins les eaux souterraines.

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 Gouloué. 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 les substances phytosanitaires (AMPA) révélatrices des dégradations environnementales. A l'heure actuelle, l'absence de données qualité régulières et complètes est un réel handicap dans la caractérisation de la qualité des eaux, la mise en évidence de pollution chroniques ou diffuses (ces données seront indispensables dans les réflexions futures relatives à la protection de ces ressources, notamment à travers la mise en place des plans d'action qui accompagneront les futurs périmètres de protection).
- 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 biologiques¹ et des passes à poissons au niveau des captages en rivière devraient contribuer à la restauration de la qualité écologique du cours d'eau.
- des études hydrogéologiques complémentaires portant sur :
 - le traitement croisé des chroniques piézométriques des forages de Gouloué 1 & 2. Ces travaux permettraient de mieux caractériser la compartimentation et/ou les interactions entre ces « deux » aquifères ;
 - des tests de perméabilité couplés avec des traçages permettraient de rattacher des valeurs physiques d'infiltrabilité aux indices IDPR & rugosité, et ce en fonction des formations lithologiques et/ou pédologiques 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.
- il sera nécessaire de réglementer et surveiller les pratiques (assainissement, agriculture, lessives) dans les parties hautes du bassin versant du Mro Oua Gouloué, notamment en contrebas du village de Vahibé, parties communes au BAC

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

de surface et souterrain. Il est essentiel de trouver rapidement les moyens de réduire les nuisances liées aux lessives polluantes.

- il sera nécessaire de veiller aux bonnes pratiques de réhabilitation de l'ancienne carrière de Doujani en site de stockage afin d'impacter au moins les eaux souterraines (concertation avec les services de Police de l'Eau).
- 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 agroenvironnementales, 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 partagés DAF/BRGM du 18 août 2008, les délimitations des bassins d'alimentation des captages du bassin versant du Mro Oua Gouloué, à savoir les deux forages de Gouloué 1 & 2 (BSS 12307X0045 et 12307X0053) et la prise d'eau de surface ont été établies sur la base des principes méthodologiques du rapport BRGM/RP-57299-FR.

Le bassin d'alimentation de la prise d'eau englobe l'intégralité du bassin versant de surface en amont de la prise 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 deux bassins d'alimentation de captages inscrits dans le bassin versant du Mro Oua Gouloué.

Les résultats des calculs IDPR montrent que le bassin versant du Mro Oua Gouloué possède un réseau de drainage déficitaire soit une capacité infiltrante sensiblement plus élevée que les autres bassins versant. Cela est probablement conséquent à la relative jeunesse des formations lithologiques en amont (mise en place du massif de M'tsapéré). De fait, la vulnérabilité des captages souterrains de ce bassin versant est qualitativement plus importante que nombre de captages dans les autres bassins versants. En ce qui concerne la prise d'eau de surface, sa vulnérabilité – toujours importante dans le cas des eaux de surface - est modérée par un indice IDPR fort qui favorise l'infiltration et une couverture végétale qui ralentit et/ou retient une partie des écoulements.

La détermination des temps d'atteinte au captage d'un polluant en amont de la prise 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 demeurent : la mobilisation des sols conséquemment aux aménagements et pratiques agricoles (responsables des fortes turbidités des eaux) et les lessives manuelles avec l'utilisation de produits détergents directement dans le cours d'eau.

A l'heure actuelle, l'eau du Mro Oua Gouloué en amont des zones de captages n'est pas considérée comme réellement polluée étant donnée l'absence de substances organiques indésirables en quantité, 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 les forages et le captage sont situés en zone d'aléa fort de type mouvement de terrain accompagnés de chutes de blocs.

La prise d'eau en rivière – comme l'ensemble des prises d'eau en rivière existant à Mayotte – est très exposée aux risques de type inondation accompagnée de débâcles dont les dégradations sur l'ouvrage peuvent être importantes et provoquer sa fermeture un certain laps de temps (sans compter que les obstructions des prises d'eau par les boues et matériaux type feuilles et autres déchets verts sont fréquentes et nuisent continuellement à son fonctionnement). Ces risques sont connus et acceptés.

Finalement, le risque s'exerçant sur les 2 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.à.d. le renforcement du suivi de la qualité des eaux (notamment des substances phytosanitaires comme l'AMPA) et de la quantité des prélèvements (mesure des prélèvements), (ii) sur la surveillance et la réglementation des pratiques en vigueur sur les BAC (pratiques agricoles, lessives, réhabilitation de la carrière de Doujani en site de stockage, etc.) 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 agroenvironnementales 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 Vahibé et dans la vallée intermédiaire du Mro Oua Gouloué 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

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.

Bonnier J., Jossot O., Lachassagne P. et Mouron R. (2003) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines de Mayotte (Campagne 2001-2003) – Forage de Gouloué 2 (1230-7X-0053) - Rapport BRGM/RP-52551-FR, 63 p., 20 fig., 4 ann.

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

Castany G., Margat J. (1977) – Dictionnaire français d'hydrogéologie, BRGM Editions

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

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

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

Guilbert M., Aunay B., Lachassagne P., Malard A., Mathieu F. (2008) – Synthèse hydrogéologique du Nord-Est de Mayotte. Caractérisation des masses d'eau souterraine des secteurs de Petite-Terre et de Tsoundzou-Koungou. Rapport BRGM/RP-56600-FR, 134 p., 29 ill. et 8 ann.

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

J-C. Audru, A. Bitri, J-F. Desprats, C. Mathon, N. Maurillon, J.L Nédellec, O. Jossot, J-P Rançon, P. Sabourault, O. Sedan, M. Terrier-Sedan et N. Zornette, avec la collaboration de P. Stollsteiner (Antéa), de S. Guillobez (CIRAD), de P. Daniel et de B. Haie (Météo-France) : Atlas des aléas naturels à Mayotte, Communes de Mamoudzou, Koungou, Dzaoudzi et Pamandzi. Rapport BRGM/RP-53037-FR, 135p., 65 figures ou photos, 4 tableaux, 72 cartes et 8 annexes.

Lachassagne P., Maurillon N. et Mouron R. (2002) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines de Mayotte (Campagne 2001-2003) – Forage de la Gouloué (1230-7X-0045). Compte rendu des travaux – Principaux résultats

géologiques et hydrogéologiques.- Rapport BRGM/RP-52035-FR – 2002 MAYOTTE 08, 30 p., 8 fig., 6 ann.

Lansiart M., Mouron R.(2006).- Définition d'un projet de réhabilitation de la zone d'emprunt de Doujani par remblaiement avec des matériaux inertes (commune de Mamoudzou, Mayotte).BRGM/RP-54679- FR, 37 p., 14 illustrations, 3 annexes.

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

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

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

Malard A., avec la collaboration de Aunay B., Vernoux J.F. et Mardhel V. (2009) - Etude des bassins d'alimentation des 3 captages du bassin versant du Mro Oua Bouyouni – Mayotte (délimitation, vulnérabilité, pressions) – BRGM/RP-57108-FR, 94 p., 19 ill., 9 tab., 4 ann.

Malard A., avec la collaboration de Aunay B., Vernoux J.F. et Mardhel V. (2009) - Etude des bassins d'alimentation des 2 captages du bassin versant du Mro Oua Méresse – Mayotte (délimitation, vulnérabilité, pressions) – BRGM/RP-57110-FR, 76 p., 18 ill., 6 tab., 4 ann

Malard A., avec la collaboration de Aunay B., Vernoux J.F. et Mardhel V. (2009) - Etude des bassins d'alimentation de 6 captages du bassin versant du Mro Oua Orovéni – Mayotte (délimitation, vulnérabilité, pressions) – BRGM/RP-57111-FR, 114 p., 25 ill., 18 tab. et 4 ann.

Miehe J.M. (2003) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte – Campagne 2001-2003. Recherche de ressources en eau par imagerie électrique sur les secteurs de Koualé, Combani et Gouloué - Mayotte

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

Roux JC. (2006) - Aquifères et eaux souterraines en France. BRGM Editions

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

TETRAMA (2007) – Demande d'autorisation d'exploiter un site de dépôt de matériaux inertes et une plateforme de compostage dans l'ancienne carrière de Doujani. Secteur de Doujani/M'tsapéré. Octobre 2007

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

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

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

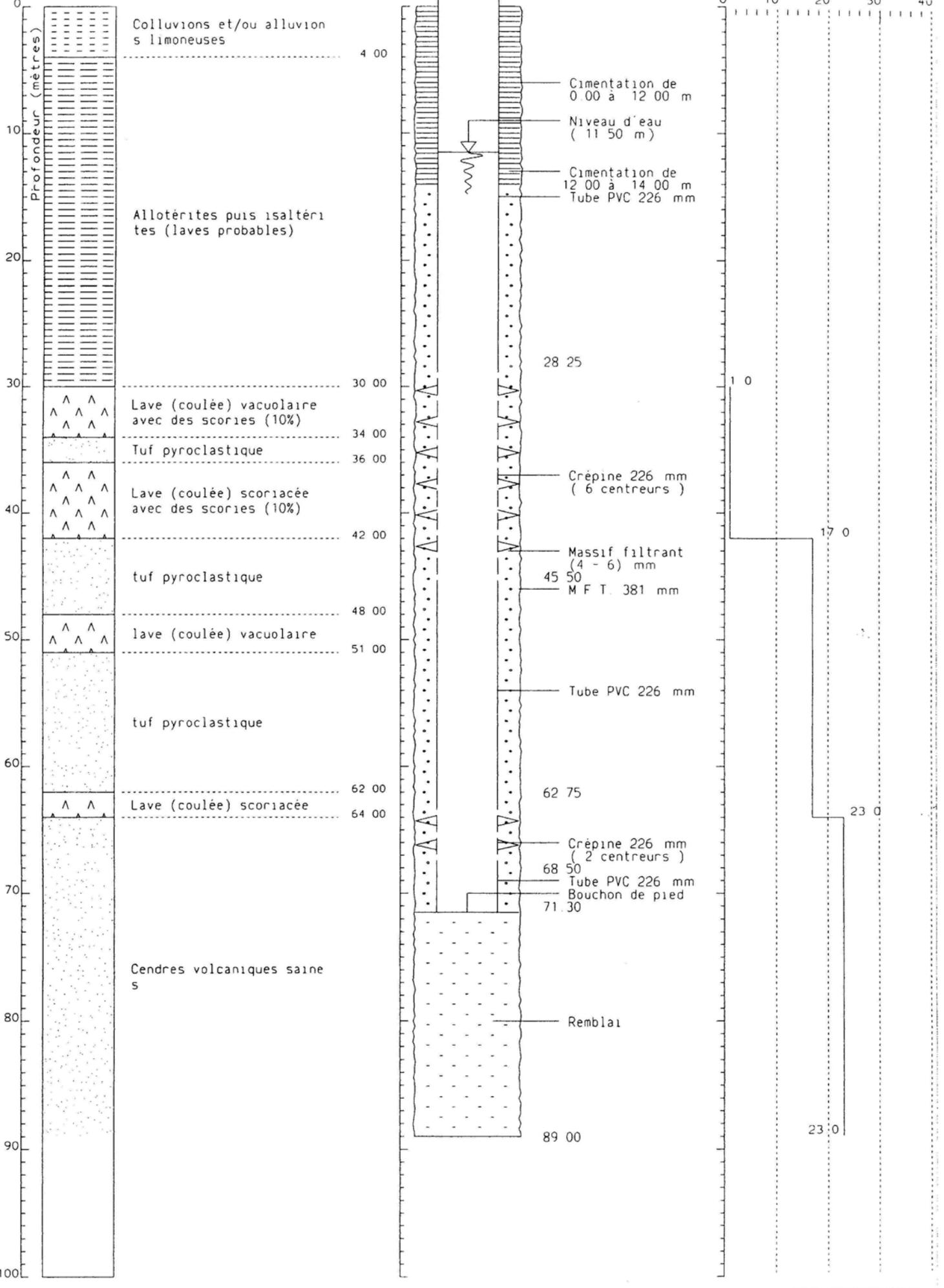
Annexe 1

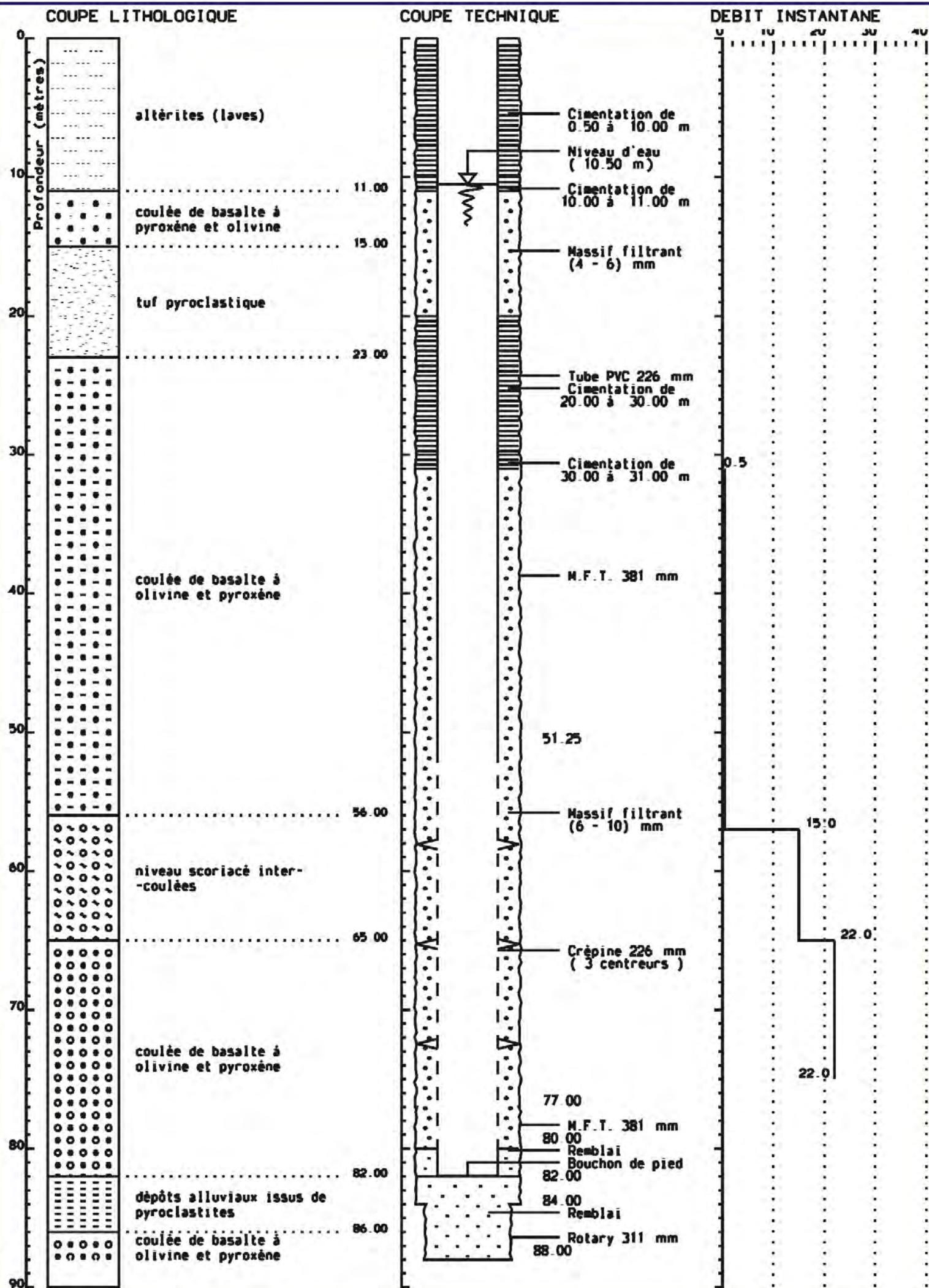
Coupes techniques des forages de Gouloué 1 (12307X0045/GOUL) et Gouloué 2 (12307X0053/GOUF4D)

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE

DEBIT INSTANTANE





Annexe 2

Analyses physico-chimiques des captages du bassin versant du Mro Oua Gouloué

Annexe 3

Jaugeages au sel du 14 mai 2009

Jaugeage 1 – Gouloué haut

Le premier jaugeage est réalisé sur le Mro Oua Gouloué au point de coordonnées UTM_{RGM04} (X=519 534 m, Y=8 586 420 m et Z=165 m), à 10h28.

Sur la section jaugée, la largeur du lit mineur est d'environ 4,5 m et le débit est estimé visuellement entre 20 et 30 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 21 m. La masse de sel injecté est de 1 575 g. Le débit étant mesuré dans les rapides, la vitesse calculée sera une vitesse maximale (cf. rapport BGRM/RP-57299-FR).

Les conditions de réalisation des jaugeages sont optimales. Le seul bémol à apporter est que cette zone est très appréciée des dames qui viennent y laver leur linge en utilisant lessives et détergents.

Des mesures de conductivité effectuée en amont et en aval des sites de lessive laissent penser que les produits couramment utilisés n'influencent pas significativement la conductivité moyenne du cours d'eau, qui est de 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (valeur prise comme signal de base dans les calculs suivants).

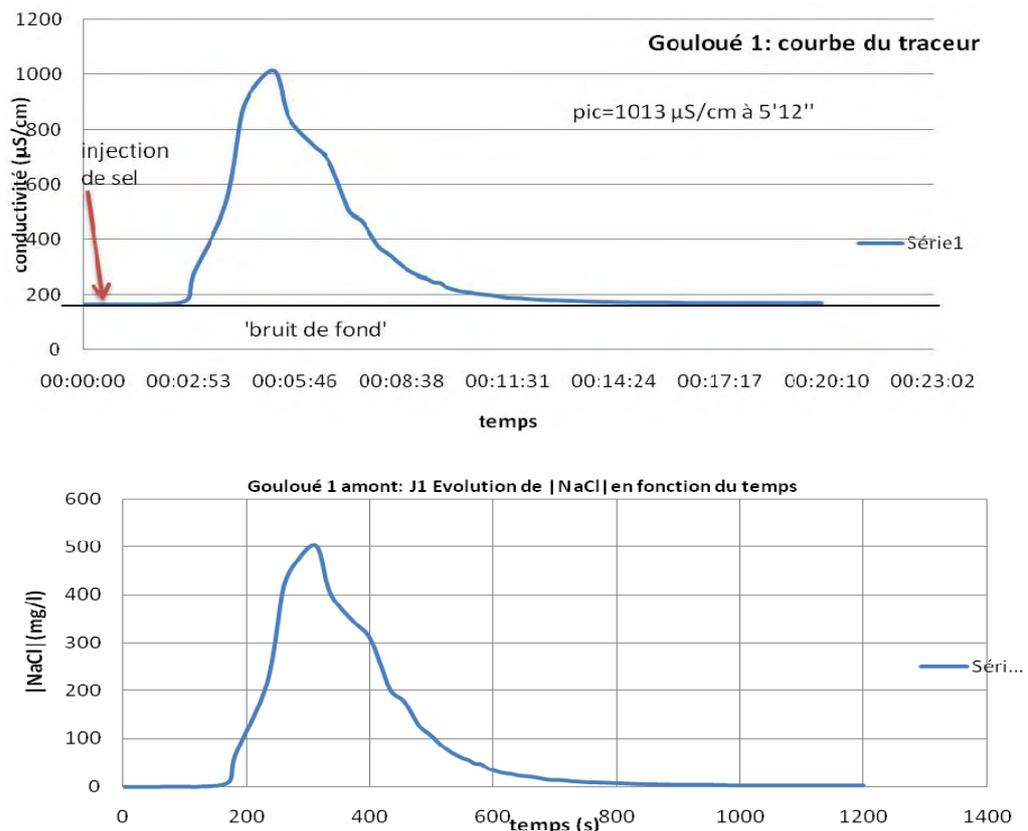


Figure 1 : Courbes de restitution du sel – Mro Oua Gouloué haut

masse sel injecté (g)	1 575
coefficient k de conversion ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{L}$)	1,69
% de restitution estimé	95
Débit (L/s)	15,2 (+/- 0,7)
Vitesse de pointe du panache (m/h)	242

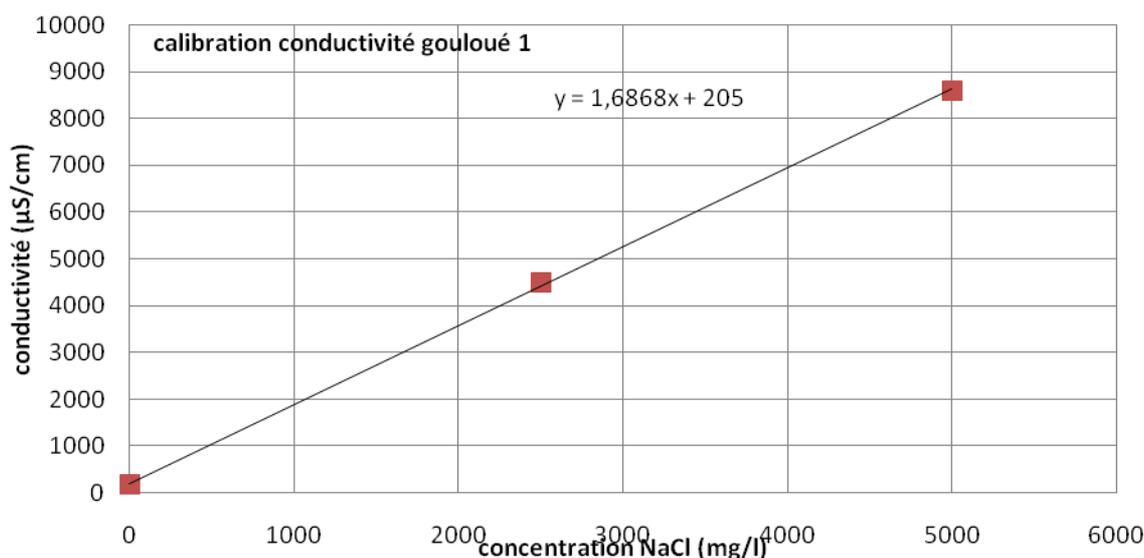


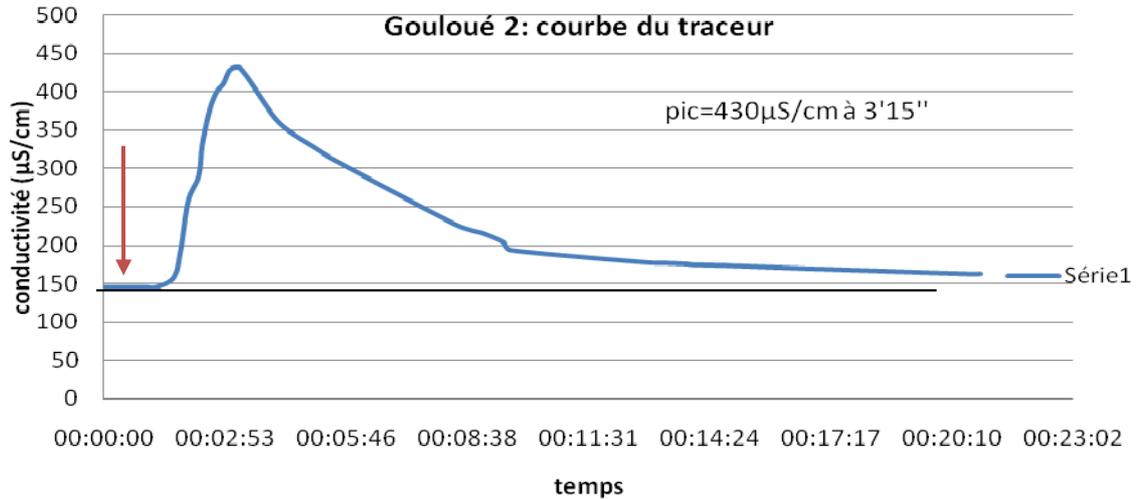
Figure 2 : Courbe de calibration Conductivité = f([NaCl]) du Mro Oua Gouloué

Jaugeage 2 - Gouloué intermédiaire

Le deuxième jaugeage est réalisé en aval du premier – à plus d'un kilomètre de distance - vers 11h30, au point de coordonnées UTM_{RGM04} (X= 520 296 m, Y= 8 586 043 m et Z= 128 m), sur une longueur linéaire de 14,1 m, dont un profond de 2 m environ. Au niveau de cette section, la largeur du lit mineur est d'environ 5 m. Plusieurs troncs d'arbre couchés sur les deux rives témoignent de la compétence des dernières crue. Ces laisses de crue se positionnent entre 1 et 1,5 m au-dessus de la surface libre. La conductivité de base est de 145 $\mu\text{S}/\text{cm}$, soit un signal sensiblement plus faible que celui mesuré en amont. Cette baisse du signal peut s'expliquer par la présence de sources qui résurgent au fond du lit mineur ou sur les rives et dont les eaux sont probablement moins minéralisées, ce qui tend à baisser le signal moyen de la rivière par dilution. Compte tenu d'un débit sensiblement plus important qu'en amont, la masse de sel injectée pour le jaugeage est plus grande : 2 109 g.

Néanmoins, la trop 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 entre 20 et 30 % de la quantité totale est restée sur le fond.



Gouloué 2 aval J2 : Evolution de |NaCl| en fonction du temps (dissolution incomplète)

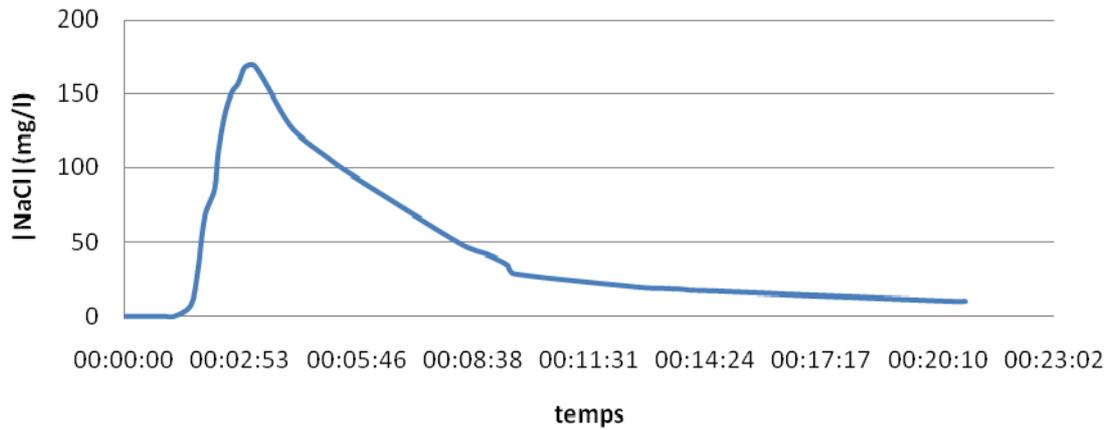


Figure 3 : courbes de restitution du sel – Mro Oua Gouloué intermédiaire

masse sel injecté (g)	2 109
coefficient k de conversion ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{L}$)	1,69
% de restitution estimé	Entre 70 et 80
Débit (L/s)	38,5 (+/- 10)
Vitesse de pointe du panache (m/h)	260

Annexe 4

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

Gouloué

longueur section (m)	longueur cumulée depuis captage (m)	ordre de Strahler	ALTITUDE min (m NGM)	ALTITUDE max (m NGM)	penne S (m/m)	largeur lit (m)	R (tranche 0,1 m)	V (tranche 0,1) en m/s	V (tranche 0,1) en m/h	V (tranche 1) en m/s	V (tranche 1) en m/h	moy V (tranche 0,1) en m/h	moy V (tranche 1) en m/h	tps max captage (h) (tranche 0,1)	tps max captage (h) (tranche 1)
376.919	4394.421	1	0,2484	397	491	0,100	1	0,040	0,025	0,040	0,025	0,040	0,025	0,040	0,025
415.157	4017.502	2	0,1807	397	0,667	0,167	0,667	0,029	0,046	0,040	0,025	85,071	136,113	1361,134	2177,814
65.766	3602.345	1	0,1825	322	0,667	0,167	0,667	0,029	0,034	0,033	0,033	0,541	1216,434	1946,294	1926,982
84.337	3586.573	3	0,0474	310	1,182	1,000	1,000	0,010	0,010	0,198	0,316	711,432	1138,290	106,3	66,4
213.128	3452.242	3	0,1314	278	3,06	0,1314	2	0,182	0,029	0,547	0,876	1970,647	3153,035	106,3	66,4
253.194	3239.114	3	0,1027	278	2,182	1,000	0,014	0,023	0,023	0,428	0,685	1540,321	2464,513	99,6	62,3
105.244	2985.920	3	0,1330	238	2,52	0,1330	2	0,182	0,029	0,554	0,887	1995,363	3192,581	99,6	62,3
250.397	2880.676	3	0,0799	218	2,38	0,0799	2	0,182	0,011	0,333	0,533	1198,097	1916,956	87,9	55,0
125.246	2630.279	3	0,1118	204	2,18	1,1118	4	0,190	0,027	0,628	1,325	2980,800	4769,281	87,9	55,0
99.666	2505.033	3	0,0803	196	2,04	0,0803	4	0,190	0,019	0,628	1,325	2980,800	4769,281	87,9	55,0
210.669	2405.367	3	0,0665	183	1,97	0,0665	4	0,190	0,016	0,595	0,951	2140,483	3424,772	87,9	55,0
25.376	2198.698	3	0,0729	183	1,83	0,0729	4	0,190	0,018	0,492	0,788	1772,132	2835,412	87,9	55,0
120.316	2073.320	3	0,2364	170	1,76	0,2364	4	0,190	0,057	0,540	0,864	1944,404	3111,046	87,9	55,0
261.606	1953.004	3	0,0573	155	1,70	0,0573	4	0,190	0,009	0,425	0,680	1529,017	2446,427	87,9	55,0
81.144	1691.398	3	0,0000	155	1,55	0,0000	4	0,190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	87,9	55,0
23.882	1610.254	3	0,0000	144	1,55	0,0000	4	0,190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	87,9	55,0
36.093	1586.372	3	0,3048	144	1,55	0,3048	4	0,190	0,074	2,258	3,612	8127,153	13003,445	87,9	55,0
170.875	1550.279	3	0,0059	144	1,44	0,0059	4	0,190	0,001	0,043	0,069	156,059	249,695	87,9	55,0
60.162	1379.404	3	0,0499	140	1,43	0,0499	4	0,190	0,012	0,369	0,591	1329,743	2127,589	87,9	55,0
105.147	1319.242	3	0,0285	137	1,40	0,0285	4	0,190	0,007	0,211	0,338	760,840	1217,343	87,9	55,0
290.144	1214.095	3	0,0172	132	1,37	0,0172	4	0,190	0,004	0,128	0,204	459,542	735,267	87,9	55,0
156.468	923.951	3	0,0256	128	1,32	0,0256	4	0,190	0,006	0,189	0,303	681,716	1090,745	87,9	55,0
142.242	767.483	3	0,0000	128	1,28	0,0000	4	0,190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	87,9	55,0
226.542	625.241	3	0,0353	120	1,28	0,0353	4	0,190	0,009	0,262	0,419	941,694	1506,711	87,9	55,0
138.777	398.669	3	0,0072	119	1,20	0,0072	4	0,190	0,002	0,053	0,085	162,155	307,448	87,9	55,0
259.922	259.922	3	0,0346	110	1,19	0,0346	4	0,190	0,008	0,256	0,410	923,354	1477,366	87,9	55,0

ZONE 4

ZONE 5

ZONE 3

ZONE 2

ZONE 1

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

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 --> talus de la pente du tronçon
 Colonne G --> D'après les observations, la largeur du lit mineur (en moyenne) est de 1 m (<300 m NGM), 2 m (entre 200 et 300 m NGM) et 4 m (<200 m NGM).
 Colonne H et I --> périmètre mouillé. La tranche correspond aux régimes hydro (BE=0,1 m et HE=1 m) et fonction de la colonne L
 Colonne J, K et O --> V en m/s fonction de coefficient de Strickler et R. Le coefficient de Manning Strickler est pris à 0,025 et 0,04
 Colonne L, M et Q --> pareil mais en m/h
 Colonne R, S, T et U --> moyenne des vitesses en m/h par classe d'altitude (110/160, 150/220, 220/280, 280/310, 310/500) soit 5 zones
 Colonne V, W, X et Y --> temps maximal d'arrivée au captage par l'eau (fonction des 2 Coeff de Strickler et des 2 tranches d'eau considérées, soit 4 combinaisons)



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

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