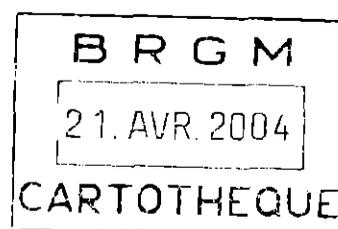


**Programme de recherche et
d'exploitation des eaux souterraines à
Mayotte – Campagne 2001-2003**
Forage de Gouloué 2 (1230-7X-0053)

BRGM/RP-52551-FR
décembre 2003

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 03 EAU C45

J. Bonnier, O. Jossot, P. Lachassagne et R. Mouron
en collaboration avec J-P. Rançon



Mots clés : Archipel des Comores, Aquifères volcaniques, Eaux souterraines, Exploitation, Forage, Géologie, Hydrogéologie, Mayotte, Pompage d'essai, Reconnaissance.

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

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

© BRGM, 2003. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le forage de Gouloué 2 (BSS 1230-7X-0053), réalisé dans le cadre de la campagne 2001-2003 du programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte (financement : Collectivité Départementale de Mayotte et BRGM, sur crédits de Service Public) atteint une profondeur de 88 m et a été équipé pour l'exploitation d'eau potable. Il a été implanté à la suite de reconnaissances géologiques, hydrogéologiques, et géophysiques effectuées par le BRGM début 2003. Il est situé à l'ouest du village de Passamainti (commune de Mamoudzou), dans la vallée de la rivière Gouloué, à une altitude de 55 m NGM environ. L'ensemble des travaux (foration, pompages d'essai, réception, etc.) a été mis en œuvre sur la période du 17/05/03 au 18/08/03.

L'ouvrage a été réalisé au marteau fond de trou $\Phi 15$ pouces de 0 à 84 m/sol, puis au tricône $\Phi 12^{3/4}$ pouces jusqu'au fond du puits. Il est équipé de tubages PVC $\Phi 10$ pouces, crépinés de 51,25 à 80 m de profondeur par rapport au niveau du sol.

Le forage recoupe une série de coulées de lave massives à olivine et pyroxène, d'épaisseur décimétrique à pluri-décimétrique, interstratifiée de tufs pyroclastiques et d'alluvions, elles même issues majoritairement de pyroclastites remaniées. Les laves sont allérées en sub-surface sur une dizaine de mètres d'épaisseur.

Les principales venues d'eau ont été identifiées au sein de niveaux de scories inter-coulées. La nappe est captive. La cote du niveau piézométrique est d'environ 45 m NGM.

Un essai de puits (pompage d'essai par paliers de débit), un essai de nappe (pompage à un débit de 25 puis 32 m³/h pendant 72 h), et un essai de pompage simultané sur les ouvrages de Gouloué 1 et Gouloué 2 ont été réalisés. Ce dernier a été effectué à la demande et selon les prescriptions du Maître d'Ouvrage Délégué. Le coefficient de pertes de charges quadratiques du puits (c) est évalué à $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$. Un ajustement satisfaisant de l'essai de nappe est obtenu avec les paramètres suivants (solution analytique de Theis) : transmissivité de $6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, absence de limites.

La conductivité électrique des eaux souterraines a été suivie à l'avancement et lors des pompages. Une diagraphie de fluide (profil de conductivité électrique des eaux au sein du puits) a été réalisée à la réception de l'ouvrage.

Un échantillon d'eau a fait l'objet d'une analyse de certains paramètres physico-chimiques. En ce qui concerne les éléments chimiques, les teneurs en manganèse et en magnésium dépassent le seuil de référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine et justifieront une dilution ou un traitement approprié avant distribution, en plus de la classique désinfection (chloration, par exemple).

Si le Maître d'Ouvrage juge économiquement intéressant de mettre en exploitation ce forage, il est préconisé de l'exploiter, soit seul à un débit de 14,5 m³/h, soit en simultané avec le forage de Gouloué 1, à un débit de 13 m³/h. Ces débits devront être réévalués en fonction des informations complémentaires qui seront recueillies sur l'aquifère. Cette mise en exploitation devra être précédée et accompagnée de mesures spécifiques, tant techniques que réglementaires, dont le détail est proposé au sein du présent rapport.

Sommaire

Synthèse	3
Sommaire	4
Liste des figures	6
Liste des annexes	7
1. Introduction	8
2. Localisation du forage	9
3. Implantation du forage	12
3.1. Contexte et objectifs du forage	12
3.2. METHODOLOGIE DE LA PROSPECTION	12
3.3. Description des travaux mis en œuvre et des observations réalisées	13
3.3.1. Données antérieures disponibles	15
3.3.2. Analyse morphostructurale.....	15
3.3.3. Observations hydrologiques et hydrogéologiques	18
3.3.4. Observations géologiques de terrain.....	18
3.3.5. Géophysique.....	21
3.4. Synthèse.....	25
3.4.1. Principaux résultats des différentes investigations	25
3.4.2. Eléments d'interprétation et modèle conceptuel envisagé.....	25
3.5. Proposition d'implantation des forages	28
3.5.1. Démarche mise en œuvre pour le choix des cibles de forage	28
3.5.2. Cibles d'implantation de forage et aléas naturels	28
3.5.3. Localisation des cibles de forage et hiérarchisation	29
3.5.4. Cible de forage retenue.....	30
4. Réalisation du forage Gouloué 2	31
4.1. Calendrier des travaux	31
4.2. Equipement du forage.....	32
5. Résultats	33
5.1. Géologie	33
5.1.1. Coupe lithostratigraphique du forage	33
5.1.2. Vitesses à l'avancement	36
5.1.3. Confrontation de la lithostratigraphie du forage aux observations géologiques antérieures.....	37
5.1.4. Confrontation de la coupe lithostratigraphique du forage aux données géophysiques.....	37

5.2. Hydrogéologie	38
5.2.1 Venues d'eau à l'avancement	38
5.2.2 Piézométrie.....	38
5.2.3. Pompages d'essai.....	38
5.2.4. Qualité des eaux souterraines	49
6. Evaluation des débits exploitables	52
6.1. Méthodologie	52
6.2. Débit d'exploitation du forage de Gouloué 2.....	55
6.2.1. Solution analytique - Paramètres hydrodynamiques.....	55
6.2.2. Pertes de charges quadratiques au puits	55
6.2.3. Niveau piézométrique d'étiage	55
6.2.4. Profondeur d'installation de la pompe	55
6.2.5. Rabattement maximal admissible sans prise en compte du biseau salé	55
6.2.6. Rabattement maximal admissible avec prise en compte du biseau salé	56
6.2.7. Débits d'exploitation et éléments de dimensionnement de la pompe.....	56
6.2.8. Exploitation simultanée des forages de Gouloué 1 et 2.....	58
7. Conclusions - Recommandations.....	60
Bibliographie.....	62
Annexes.....	63

Liste des figures

Figure 1 :	Forage de Gouloué 2 : (a) localisation géographique.....	10
 (b) schéma simplifié de la tête de puits	11
Figure 2 :	Secteur de la Gouloué. Localisation de la zone prospectée	14
Figure 3 :	Secteur de la vallée de la rivière Gouloué. Visualisation des reliefs en utilisant un effet 3D (logiciel MapInfo).....	16
Figure 4 :	Site de Gouloué. Localisation des linéaments.....	17
Figure 5 :	Site de Gouloué. Carte d'affleurements	20
Figure 6 :	Site de Gouloué. Localisation des panneaux électriques	22
Figure 7 :	Site de Gouloué. Coupes de résistivité interprétées.....	24
Figure 8 :	Site de Gouloué. Carte lithologique interprétative.	27
Figure 9 :	Site de Gouloué. Localisation des cibles d'implantation de forage	30
Figure 10 :	Coupes lithostratigraphique synthétique et technique du forage de Gouloué2 (1230-7X-0053) et localisation des venues d'eau (débits au soufflage à l'avancement).....	35
Figure 11 :	Forage de Gouloué 2 (1230-7X-0053). Vitesses à l'avancement	36
Figure 12 :	Forage de Gouloué 2. Essai par paliers de débit	39
Figure 13 :	Forage de Gouloué 2. Interprétation de l'essai par paliers de débit.....	40
Figure 14 :	Forage de Gouloué 2. Essai de nappe	41
Figure 15 (a) :	Forage de Gouloué 2. Interprétation de l'essai de nappe.....	43
Figure 16 :	Forage de Gouloué 2. Essai de nappe. Mesure des interférences au puits de Gouloué 1.	46
Figure 17 :	Forage de Gouloué 2. Essai de nappe. Mesure des interférences au piézomètre du forage de Gouloué 2.	47
Figure 19 :	Forage de Gouloué 2. Log de conductivité effectué le jour de la réception (18/08/03)	50
Figure 20 :	Forage de Gouloué 2. Synthèse du dimensionnement.....	57

Liste des annexes

Annexe 1 – Comptes-rendus journaliers de chantier (BRGM)

Annexe 2 – Observations géologiques et paramètres acquis au cours du chantier

Annexe 3 – Analyses d'eau du forage de Gouloué 2 réalisées par la SOGEA

Annexe 4 – Pluviométrie dans le secteur du forage durant les travaux et essais

1. Introduction

La Collectivité Départementale de Mayotte, assistée par la Direction de l'Agriculture et de la Forêt, met actuellement en œuvre un programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines sur l'île de Mayotte.

La campagne de forage en cours (2001-2003), suspendue en saison des pluies, a repris fin avril 2003. La note BRGM/DAF portant sur la connaissance et la mise en exploitation des eaux souterraines (Ref : RM/03-029) du 4 février 2003, précise le programme d'actions à mener dans le secteur de la Gouloué. Il y est proposé :

- de différer l'équipement du forage de Gouloué 1 ;
- de réaliser des investigations supplémentaires, afin de rechercher des zones potentiellement plus productives dans ce secteur ;
- le cas échéant d'y réaliser de nouveaux forages.

Dans cette optique, le BRGM a réalisé des reconnaissances géologiques et des prospections géophysiques qui ont permis de définir plusieurs cibles d'implantation de forage sur ce secteur.

L'objet du présent rapport est de **synthétiser les principaux résultats des reconnaissances** effectuées par la BRGM, de **justifier les cibles d'implantation de forage** et de présenter **les résultats obtenus par forage de la cible d'implantation n°4**.

Le forage de Gouloué 2 est ainsi un forage de reconnaissance, profond de 88 m, équipé en forage d'exploitation. Son numéro dans la Banque Nationale de données du Sous-Sol (BSS), gérée par le BRGM, est le suivant : **1230-7X-0053**.

Le chapitre 4 du présent rapport rend compte de l'avancement des travaux concernant ce forage, ainsi que des principaux résultats géologiques et hydrogéologiques issus :

- de la coupe lithostratigraphique du forage établie à partir de l'étude des cuttings, récoltés à l'avancement, tous les mètres, des vitesses à l'avancement, etc. ;
- du suivi des venues d'eau, de l'interprétation des pompages d'essai, de la réalisation de diagrapie de fluides, etc..

2. Localisation du forage

Le forage de Gouloué 2 se situe à l'ouest du village de Passamainti, sur la commune de Mamoudzou, en rive droite du Mro Oua Gouloué (Figure 1). Il a été implanté suite à des reconnaissances géologiques et hydrogéologiques de terrain détaillées au sein du présent rapport. L'accès à la plate-forme de forage se fait à partir de la piste CCD3 Passamainti-Combani. Les coordonnées UTM du forage, en mètres, sont les suivantes :

X : 521 100 m
Y : 8 585 940 m
Z : 55 m NGM

Ces valeurs ont été définies à partir de la carte IGN à 1/25 000. Elles devront être vérifiées/validées par un géomètre-topographe.

Ses coordonnées exprimées en latitude/Longitude, mesurées au moyen d'un GPS (en utilisant le Datum WGS 84), sont les suivantes :

lat : 12,79111°S
Long : 45,19440°E

Figure 1 : Forage de Gouloué 2 :
(a) Localisation géographique

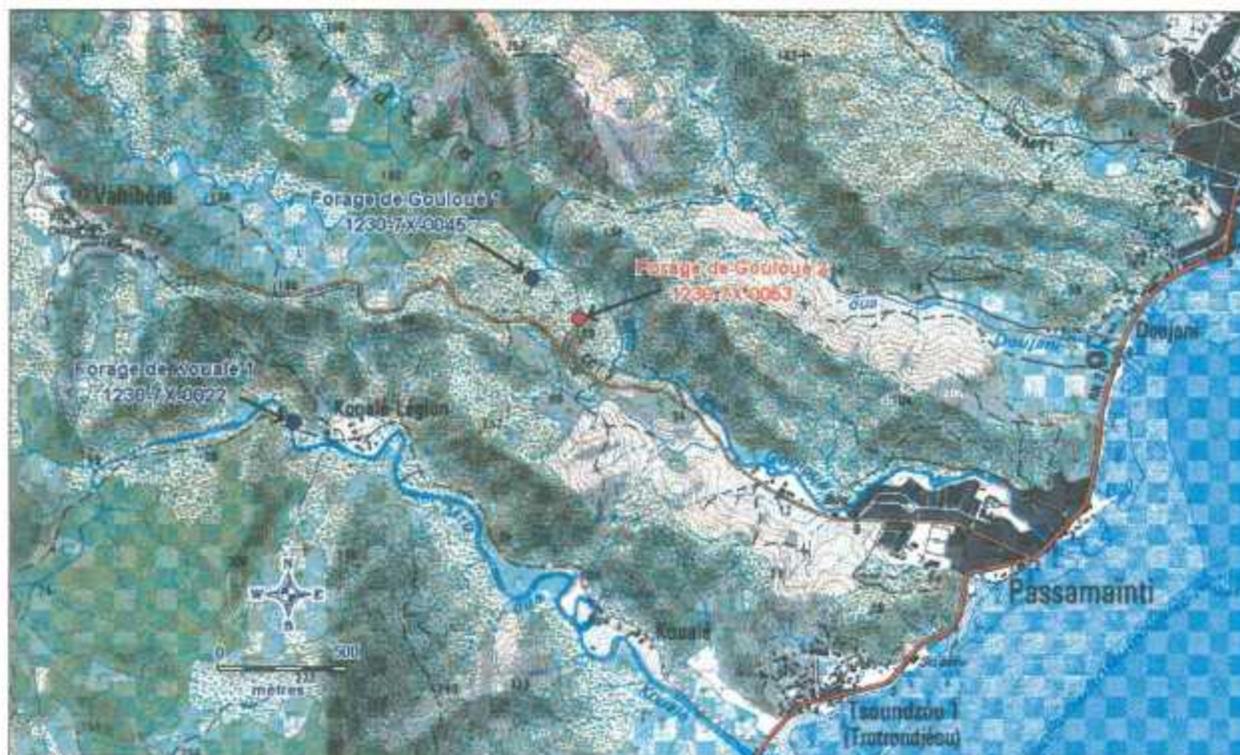
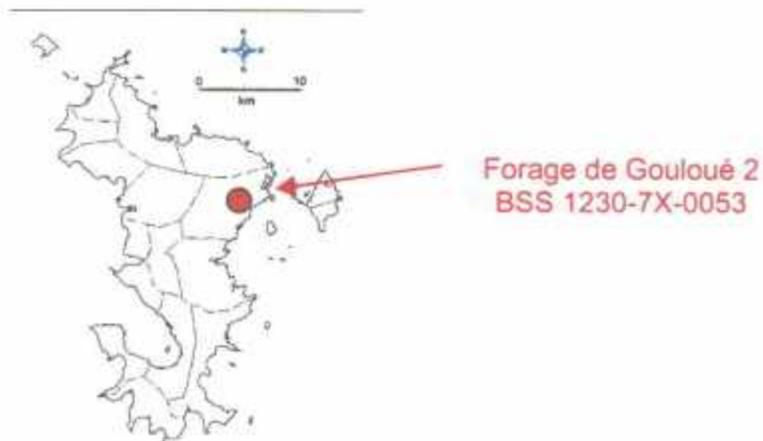
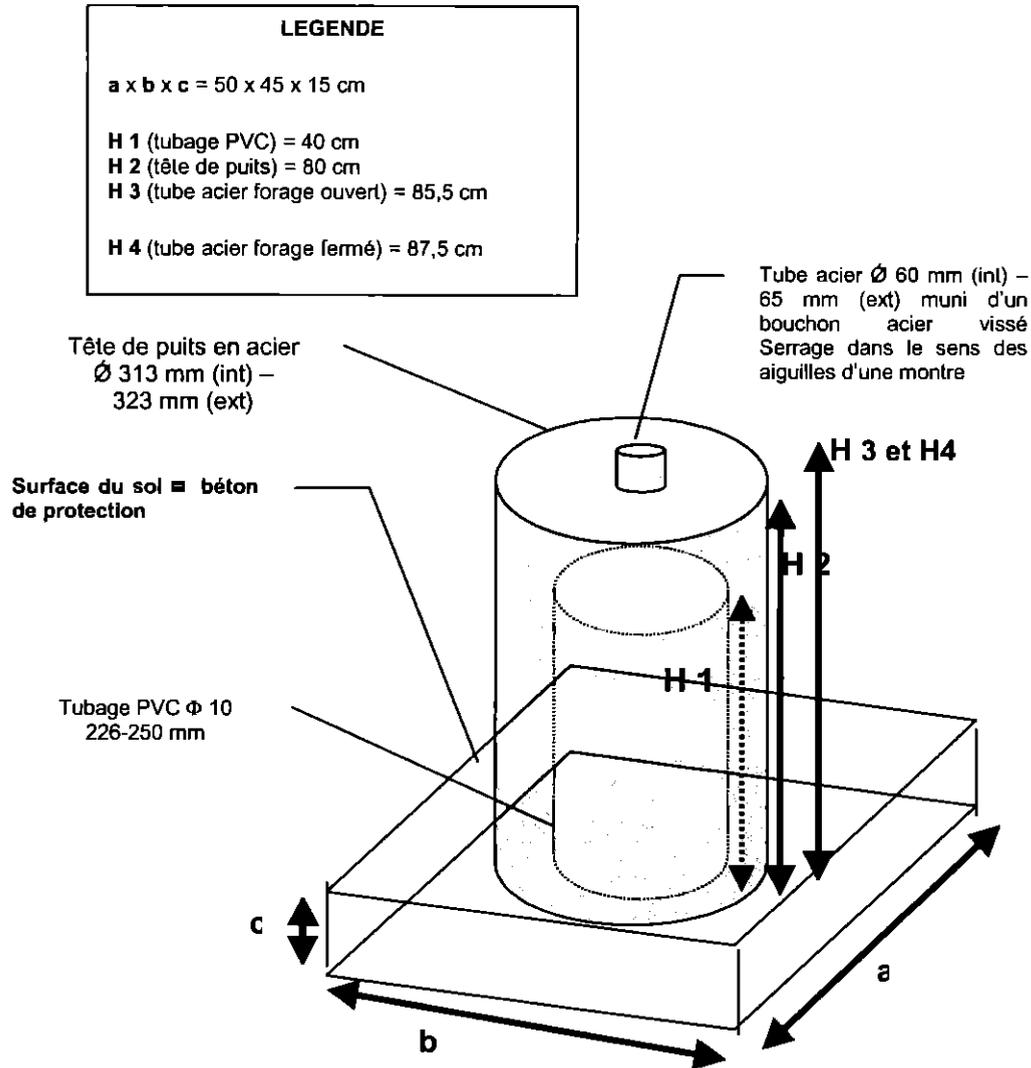


Figure 1 : Forage de Gouloué 2 :

(b) Schéma simplifié de la tête de puits



3. Implantation du forage

3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU FORAGE

Le forage de Gouloué 1, réalisé durant la première phase de la campagne de forage 2001-2003, a été implanté selon les recommandations de l'hydrogéologue de la DAF/SER (cf. rapport BRGM/RP-52035-FR). D'une profondeur totale de 89 m, ce forage recoupe principalement des coulées de lave, altérées sur les 30 premiers mètres, interstratifiées de pyroclastites, et des cendres saines sur les 25 derniers mètres du puits. Le forage a été stoppé à une profondeur de 89 m à la suite de problèmes techniques rencontrés par l'entreprise COFOR. Le débit du forage est de 8 m³/h environ. Les analyses de la qualité de l'eau réalisées après foration, qui portent sur un nombre limité de paramètres, montrent que le magnésium, le manganèse, et le fer présentent des teneurs supérieures à la norme admise pour la consommation d'eau.

La vallée de la Gouloué est parcourue par une canalisation d'eau brute qui relie un captage d'eau de surface, située à 500 m en amont du forage actuel, au réseau de canalisations de la commune de Mamoudzou. Réaliser un autre forage productif dans ce secteur permettrait de raccorder ces 2 ouvrages (ou l'un d'entre eux) à la canalisation et de rentabiliser les investissements effectués dans ce secteur.

Dans ce contexte, l'objectif des investigations menées par le BRGM a été d'avoir une connaissance **hydrogéologique** du secteur en vue de l'implantation de nouvelles **cibles de forages productifs et exploitables**.

3.2. METHODOLOGIE DE LA PROSPECTION

De nouvelles études et investigations de terrain ont donc été conduites par les équipes du BRGM :

- synthèse des informations géologiques et hydrogéologiques disponibles sur le secteur ;
- analyse stéréoscopique **linéamentaire** sur photographies aériennes et utilisation d'outils de visualisation en 3D de la morphologie du secteur (Modèle Numérique de Terrain) ;
- reconnaissances **géologiques** et **hydrogéologiques** de terrain ;
- campagne de **prospection géophysique** par panneaux électriques.

La méthodologie mise en œuvre a consisté à croiser les différentes informations recueillies pour sélectionner des sites d'implantation optimale sur le plan hydrogéologique. La synthèse des résultats et la description du modèle conceptuel envisagé sont présentés dans ce rapport.

Les implantations retenues ont été définies en concertation avec la DAF, afin de tenir compte des contraintes d'accès, des problèmes de maîtrise foncière et de la présence d'infrastructures d'adduction d'eau dans la vallée.

D'une manière générale, la démarche mise en œuvre a consisté à rechercher des formations géologiques :

- 1) présentant des propriétés hydrodynamiques favorables, permettant d'assurer un débit instantané significatif dans les forages. Au sein des formations volcaniques, il s'est agi d'identifier des unités lithologiques dotées d'une perméabilité originelle importante (perméabilité d'interstices ou de fissures) et/ou d'une perméabilité secondaire (perméabilité de fracture). A cet effet, les reconnaissances géologiques de terrain et la géophysique permettent une interprétation préalable de la lithologie des formations susceptibles d'être recoupées par forage ; la photo-interprétation a comme objet, entre autres, de localiser d'éventuelles zones fracturées ;
- 2) situées dans un contexte morphologique permettant, d'une part, la saturation en eau d'un réservoir d'eau souterraine (niveau piézométrique relativement proche de la surface du sol) et autorisant, d'autre part, une bonne alimentation de l'aquifère (lithologie favorisant la recharge de l'aquifère, bassin versant d'alimentation de taille suffisante, etc.). Les observations hydrogéologiques, ainsi que la géophysique doivent aussi apporter des éléments d'information en ce sens.

Les critères environnementaux (vulnérabilité aux pollutions et aléas naturels) et d'accessibilité des sites aux engins de forage ont été également pris en considération dans la sélection des sites d'implantation.

3.3. DESCRIPTION DES TRAVAUX MIS EN ŒUVRE ET DES OBSERVATIONS REALISEES

Les reconnaissances ont principalement porté sur la ravine de la Gouloué et ses affluents, ainsi que sur les flancs de la vallée éponyme (Figure 2).

Dans ce secteur, seule la vallée du Mro Oua Gouloué présente un bassin versant hydrologique d'une taille significative.

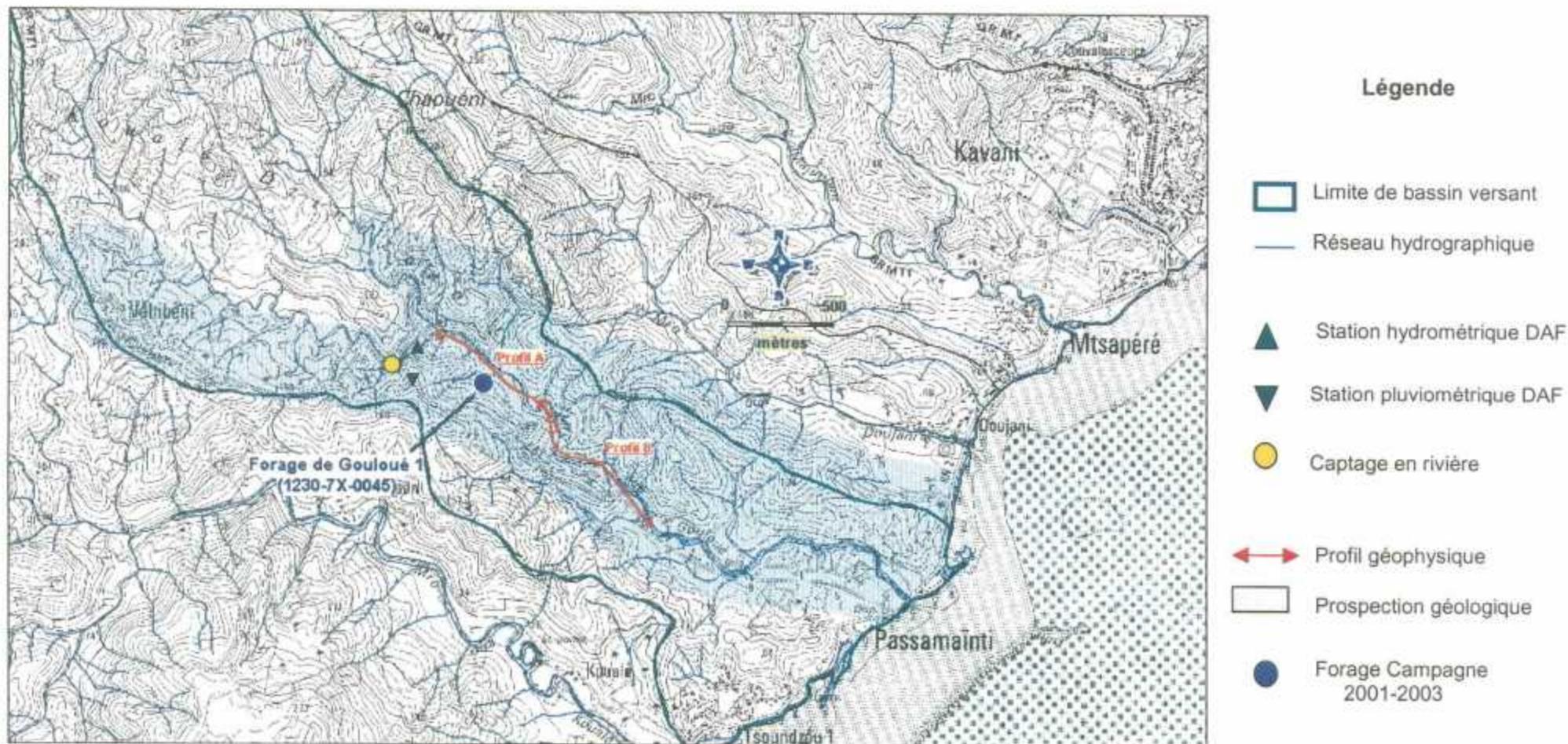


Figure 2 : Secteur de la Gouloué. Localisation de la zone prospectée

3.3.1. Données antérieures disponibles

Les principales informations disponibles sur le secteur de la Gouloué sont l'argumentaire de l'hydrogéologue de la DAF/SER justifiant l'implantation du forage de Gouloué 1, et les données recueillies au cours du forage (rapport BRGM/RP-52035-FR).

La géologie de la zone n'est pas connue précisément à partir des sources documentaires existantes (Carte géologique de Mayotte, L. Stieltjes, 1988).

Toutefois, l'hydrogéologue de la DAF/SER a proposé un modèle stratigraphique sub-horizontale sur la base de la succession lithologique observée dans la ravine et sur les flancs de la vallée de la Gouloué (Annexe 1 du rapport BRGM/RP-52035-FR). De manière synthétique, cette succession consisterait en de haut en bas :

- des coulées de basalte en plaquette ;
- des coulées de basalte prismé à pyroxène et olivine ;
- des horizons pyroclastiques ;
- des coulées de lave ;
- un faciès bréchiqque dont la nature n'a pas été précisé.

En réalisant le forage de Gouloué 1, la DAF souhaitait reconnaître d'une part la succession de laves comprise entre les horizons pyroclastiques au toit et le faciès bréchiqque au mur et, d'autre part, les formations sous-jacentes aux horizons bréchiqques non connues à l'affleurement selon ce modèle.

Situé à une altitude de 63 m NGM environ, le forage de Gouloué 1, d'une profondeur de 89 m, a en fait recoupé, sous 25 m de formations volcaniques altérées, une succession de coulées de lave intercalées de formations pyroclastiques, la proportion de ces dernières par rapport aux coulées de lave augmentant avec la profondeur. Des cendres saines ont été forées sur les 25 derniers mètres du puits.

Des horizons perméables ont été identifiés à 30, 42 et 64 m de profondeur environ, au sein des niveaux scoriacés, interstratifiés dans les coulées de lave.

La nappe est captive et la cote du niveau piézométrique est d'environ 51,5 m en saison sèche.

3.3.2. Analyse morphostructurale

Les éléments d'analyse cartographique apportent des pistes de réflexion qui sont validées ou infirmées par les reconnaissances de terrain. Les Modèles Numériques de Terrain (MNT) facilitent la visualisation des reliefs, néanmoins leur utilisation nécessite quelques précautions.

Premièrement, le code de couleur appliqué en fonction de l'altitude est fixé par l'utilisateur. Les couleurs attribuées en figure 3 accentuent l'amplitude des variations.

Deuxièmement, l'image et les informations que l'on en tire varient avec l'angle de vision et l'intensité de l'éclairage artificiel.

Sur la figure 3 apparaît un changement de direction marqué des axes des vallées actuelles. Ces changements de direction indiquent l'influence soit de structures tectoniques, soit d'une activité volcanique en plusieurs épisodes distincts qui ont façonné le relief actuel. Il semble également que les vallées actuelles soient « comblées » dans leur partie supérieure par des formations volcaniques. Cette impression est confirmée par des indices de terrain puisque des coulées de basalte tardives, forment le relief de la partie amont du bassin versant.

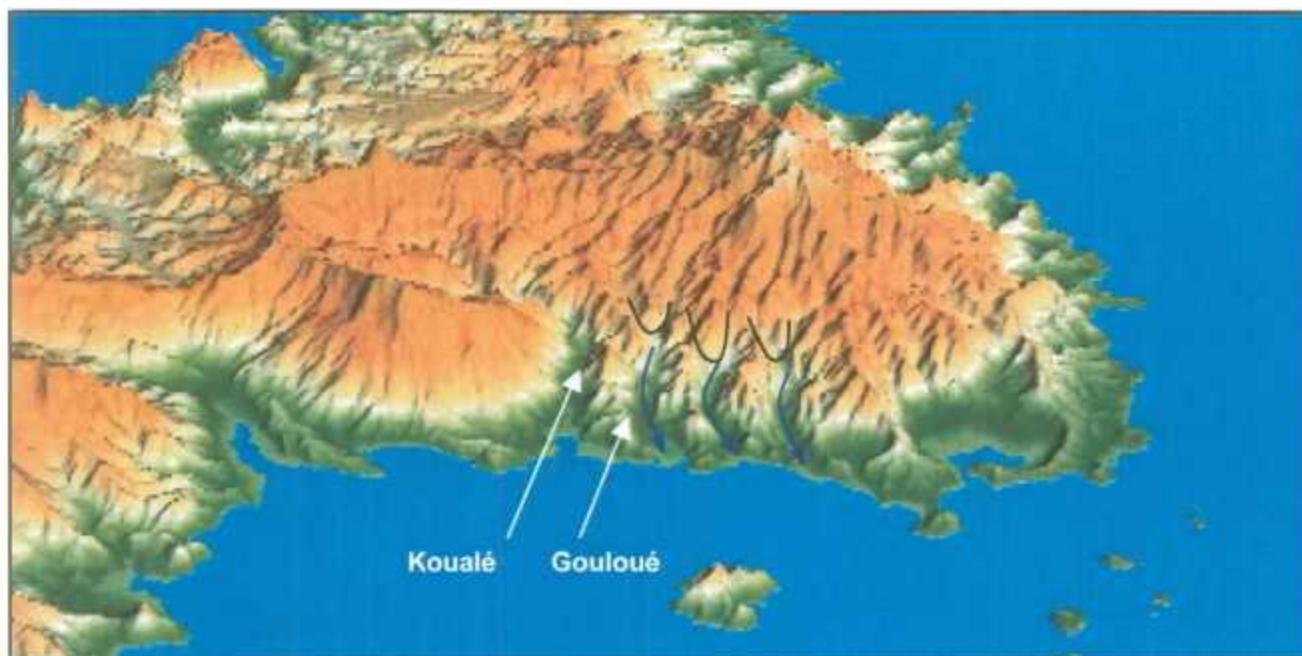


Figure 3 : Secteur de la vallée de la rivière Gouloué. Visualisation des reliefs en utilisant un effet 3D (logiciel MapInfo).

La présence de seuils rocheux, sur les 2 affluents de la rivière Gouloué et sur la rivière Majimbini semble marqué un changement lithologique. En effet aucun relevé de terrain ne milite en faveur de l'hypothèse d'une activité tectonique. Le linéament A peut correspondre à un changement morphologique brusque, du aux variations de lithologie.

Le linéament B correspond à une possible faille repérée à la pointe Mahabo et qui longe le littoral. L'évaluation de l'aléa sismique local sur les remblais de la rocade de Tzoundzou (rapport BRGM/RP-52142-FR) a également mis en évidence, par des méthodes géophysiques, un décrochement des couches géologiques d'environ 15 m. Le compartiment amont Nord-Ouest serait surélevé par rapport au compartiment aval.

Le linéament C est marqué sur le terrain par un décrochement important du relief (route de Vahibeni) et des ruptures de pente très localisées ; il pourrait s'agir d'une faille de moindre importance.

Il est important de remarquer que les structures reportées présentent **des directions parallèles** (Figure 4).

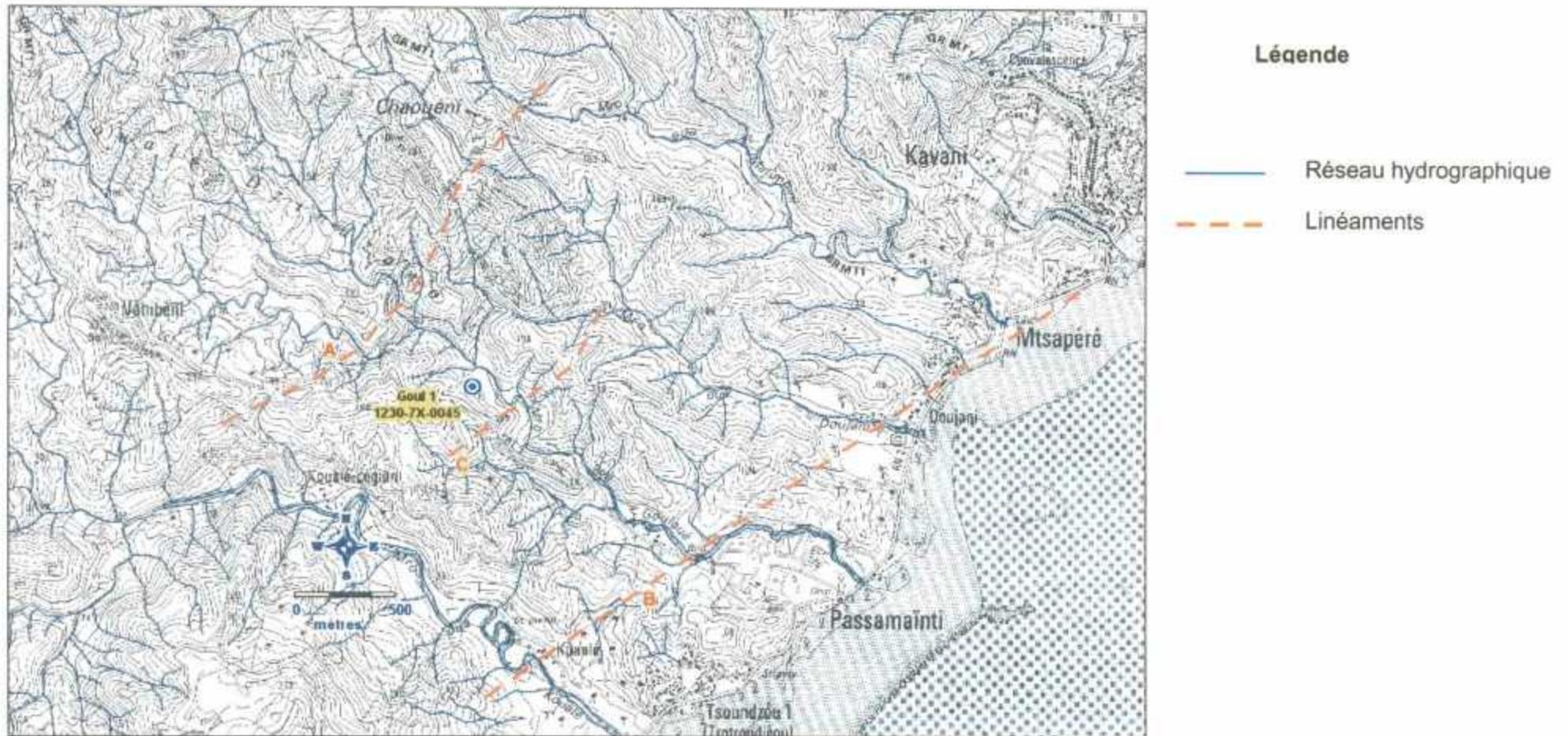


Figure 4 : Site de Gouloué. Localisation des linéaments

3.3.3. Observations hydrologiques et hydrogéologiques

Le bassin versant de la rivière Gouloué possède une superficie de 7,6 km² pour un périmètre de 16,1 km. C'est le neuvième bassin versant de l'île en superficie. La longueur du réseau de drainage est d'environ 45 km (Stieltjes et Rigal, 1982 ; Lapègue, 1999).

D'après l'annuaire hydrométéorologique de la DAF 2001, le débit moyen annuel du Mro Oua Gouloué est de 18,4 l/s au droit du seuil DAF (Figure 2).

Les précipitations moyennes annuelles sur le bassin versant sont de 1180 mm, avec en moyenne 241 mm pour le mois de plus pluvieux (pluviographe DAF de Vahibeni).

Une prise d'eau brute en contrebas du village de Vahibeni est utilisée pour l'alimentation en eau potable de la commune de Mamoudzou. Ce prélèvement en amont de la zone d'étude influence le débit de la rivière.

Par ailleurs, les débits relevés par l'hydrogéologue de la DAF/SER indiquent que la ravine n'est pas pérenne en saison sèche en amont du point 67 NGM, alors que l'exutoire de la Gouloué est toujours en eau. Cette observation suggère que les aquifères contribuent au débit de la ravine et que la prise d'eau observée à l'amont du site influence fortement le débit d'étiage. Des observations complémentaires, réalisées au cours de l'étiage 2003, montrent, en effet, des venues d'eau, tout particulièrement en rive gauche de la rivière Gouloué. Les venues d'eau sont majoritairement issues de la coulée de basalte mésocrate à micro-phénocristaux, à son contact avec les pyroclastites sous-jacentes (Figure 5).

La conductivité électrique des eaux souterraines a été mesurée à l'avancement sur le forage de Gouloué 1. Elle est voisine de 280 µS/cm jusqu'à 60 m de profondeur et s'établit autour de 440 µS/cm à partir de la seconde venue d'eau.

3.3.4. Observations géologiques de terrain

Le secteur de la Gouloué montre une succession de coulées de lave basaltique, de retombées pyroclastiques, de coulées de lave différenciées et d'épais épanchements phonolitiques. Une lithostratigraphie partielle a été établie à partir des affleurements disponibles. Par souci de clarté et de rigueur dans l'interprétation, il est préférable de séparer rive droite et rive gauche de la rivière de la Gouloué. En effet celle-ci coulerait à l'interface entre deux ensembles de coulées d'âges différents (Figures 5 et 8).

Rive droite :

Les formations représentatives de cette rive sont 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 pyroclastiques rencontrées à l'affleurement dans la rivière Gouloué correspondent au « tuf pyroclastique » recoupé en forage. Ces niveaux sont bien stratifiés, subhorizontaux à l'affleurement (pendage de 5 à 10° vers le Nord-Ouest) et présentent une succession de nombreux lits à granulométrie fine (cendres dominants) à grossière (lapilli dominants).

D'un point de vue général, les formations recoupées dans le forage de Gouloué 1 (1230-7X-0045) correspondent bien à celles observées à l'affleurement en rive droite de la ravine, à proximité du site de forage déjà .

D'un point de vue hydrogéologique, dans le secteur du forage déjà réalisé, les horizons les plus intéressants sont les toits de coulée scoriacés. Ces horizons sont, en effet, perméables même si les résultats des essais de pompage suggèrent que les venues d'eau y sont limitées en terme de débit.

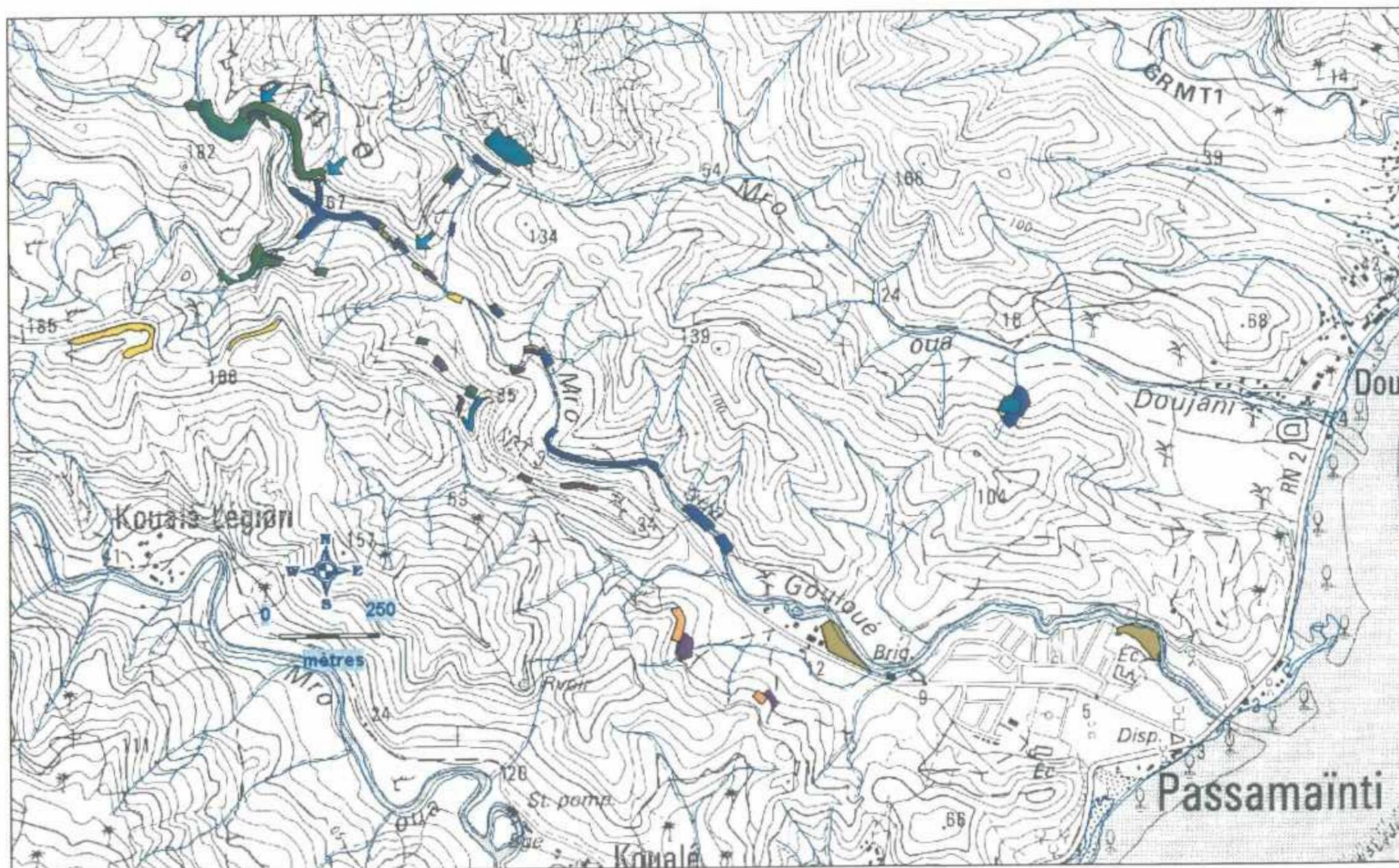
Rive gauche :

Les affleurements observés dans la partie aval de la Gouloué sont ceux d'une coulée puissante de basalte mésocrate, sain, à microphénocristaux de pyroxène et d'olivine, à faciès tacheté et débit en prismes. Cette coulée est peu ou pas hydrothermalisée, mais elle est fissurée.

En amont, à partir du point coté 60 NGM environ, cet ensemble de coulées de lave affleure aussi bien en rive droite qu'en rive gauche de la rivière Gouloué. Au-delà, les 2 affluents formant la rivière Gouloué montrent des cascades à partir de seuils rocheux constitués d'une coulée massive de lave différenciée à baguettes de feldspath, présentant un épais niveau scoriacé à sa base et une partie fissurée dans sa zone superficielle. Cette coulée appartient à un ensemble de coulées qui reposent sur les laves fissurées décrites ci-dessus et forment le relief séparant les vallées de Gouloué et Doujani.

Ces deux coulées (ou ensembles de coulées) décrites ci-dessus appartiennent potentiellement à la même phase éruptive qui est plus jeune que les formations volcaniques observées en rive droite. Le caractère sain, la puissance et la fissuration de l'ensemble de coulées de basalte mésocrate à faciès tacheté en font la formation la plus intéressante d'un point de vue hydrogéologique. Cette formation affleure également dans la vallée de Doujani, formant l'encaissant de la coulée de vallée de phonolite de Doujani aménagée en site géologique remarquable.

Figure 5 : Site de Gouloué. Carte d'affleurements



Légende

-  Principales zones d'émergences et de suintements
-  Dépôts fluviaux et/ou de mangrove
-  Phonolites
-  Laves différenciées à baguettes de feldspath
-  Scories de toit ou de base de coulée de lave
-  Basalte mésocrate sain, à micro-phénocristaux de pyroxène et d'olivine ; fissuration importante et prismation localement marquée
-  Basalte clair, tâché, subaphyrique à micro-phénocristaux de pyroxène, à débit en plaquettes
-  Dépôts pyroclastiques à cendres et lapilli
-  Formations bréchiques de toit de coulée de lave
-  Basalte à olivine et pyroxène, généralement altéré, porphyrique

3.3.5. Géophysique

Les profils géophysiques « A » et « BC » ont été implantés sur le chemin qui longe le cours du Mro Oua Gouloué. Celui-ci a été traversé plusieurs fois de manière à assurer une certaine colinéarité des profils et leur recouvrement (Figure 6).

L'objectif est de caler le profil A sur les résultats de la coupe technique du forage de Gouloué 1 et d'explorer la partie aval du Mro Oua Gouloué où des coulées de basalte saines ont été repérées lors des reconnaissances géologiques.

Les coupes de résistivité inversée sont présentées sur la figure 7. Quelques remarques sont nécessaires avant d'aborder l'interprétation :

1. le procédé d'exploration par panneaux électriques est principalement utilisé dans la recherche d'eau pour différencier les formations géologiques altérées des formations saines ;
2. la relation lithologie - résistivité n'est pas univoque, c'est à dire que deux structures géologiquement semblables peuvent ne pas avoir la même signature, et ainsi donner des valeurs de résistivité différentes. Inversement, deux formations de lithologie différente peuvent donner la même réponse en terme de résistivité ;
3. du point de vue de la détection proprement dite, une structure épaisse et peu profonde avec un faible contraste de résistivité peut ne pas être détectable. A l'inverse, une structure peu épaisse et profonde avec un très fort contraste de résistivité pourra être visualisée.

L'analogie immédiate faite entre les pseudo-coupes de résistivité et la géologie des couches est donc risquée. C'est la raison pour laquelle l'interprétation des profils géophysiques n'est possible qu'après un minimum de calibration.

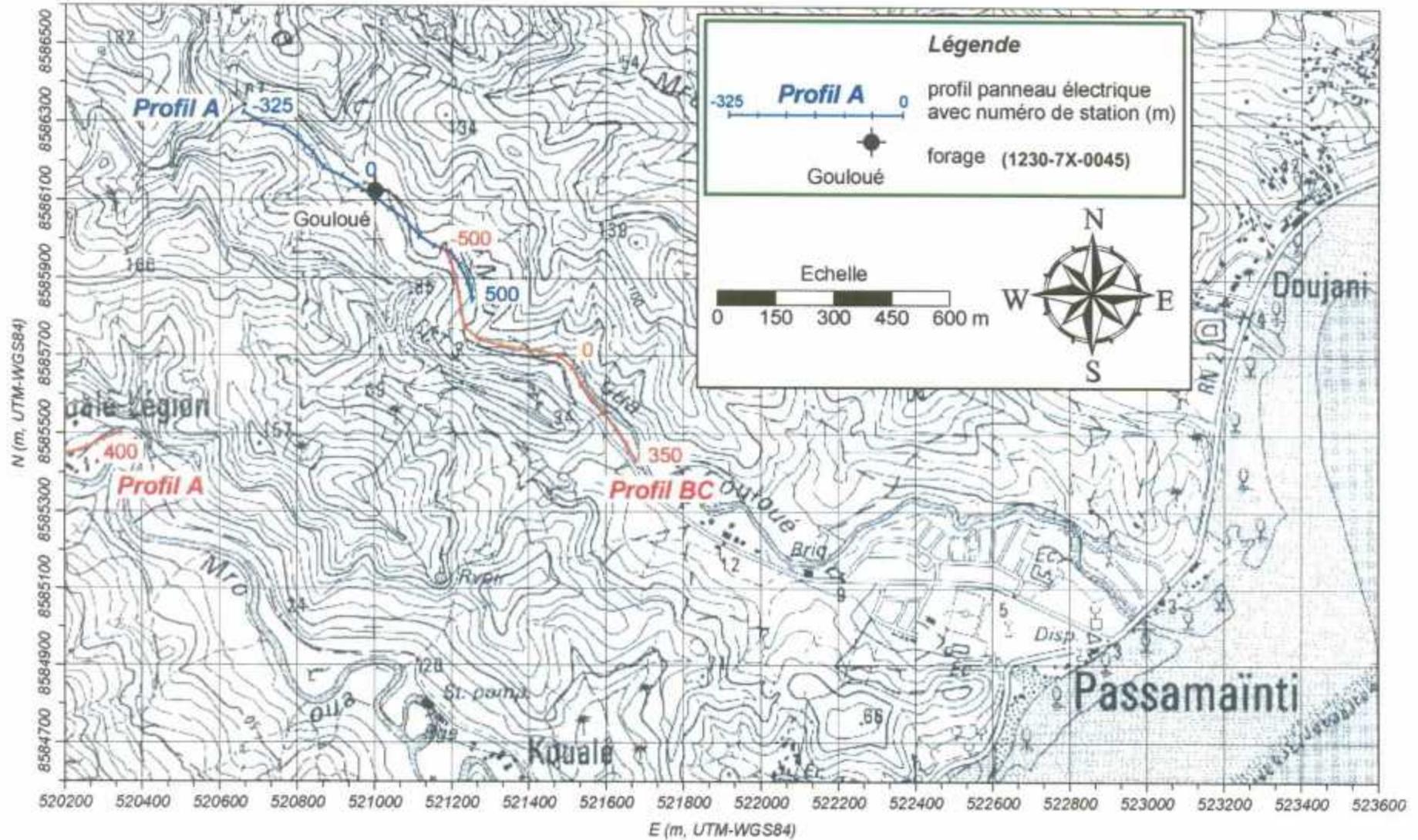


Figure 6 : Site de Gouloué. Localisation des panneaux électriques

Les profils A et BC semblent bien mettre en évidence les deux principaux ensembles géologiques observés au sein de la vallée de la Gouloué : une succession de formations de résistivité variée en rive droite et l'ensemble de coulées de lave saines en rive gauche.

La comparaison du profil A et de la carte d'affleurement suggère, depuis l'amont du forage jusqu'au point 280 du profil A, un empilement de formations pyroclastiques (plus conductrices) intercalées de rares coulées de lave (plus résistantes), à léger pendage apparent vers l'amont dans l'axe du profil A. Ces observations sont cohérentes avec les levés de terrain dans la rivière Gouloué où les formations pyroclastiques montrent un pendage de 5 à 10° vers le Nord-Ouest.

En effet, à l'échelle du profil A, nous pouvons distinguer :

- un ensemble R5 de résistivité moyenne (150 Ohm.m) sur les 20 premiers mètres du forage, correspondant vraisemblablement à la coulée massive de basalte à olivine et pyroxène altérée au droit du forage ;
- un ensemble conducteur C7 de résistivité comprise entre 5 et 40 Ohm.m qui correspondrait au tuf pyroclastique entrecoupé d'horizons de lave de faible épaisseur ;
- un ensemble résistant R6 à la base du forage de Gouloué 1 qui correspondrait à la partie inférieure des formations sus-jacentes et aux cendres saines décrites sur la coupe technique du forage de Gouloué 1.

Le profil A laisse également entrevoir un ensemble conducteur en profondeur qui est trop profond pour être visible à l'affleurement.

La comparaison du profil BC et de la carte d'affleurements suggère que :

- les formations résistantes de résistivité R8 proche de 600 Ohm.m pourraient correspondre à la (ou les) coulée(s) massive(s) de basalte sain, mésocrate, à pyroxène et fissuration importante. Au droit de l'abscisse -300 du profil B, cet ensemble de coulées serait présent sur une épaisseur de 70 m environ ;
- ces formations résistantes reposent sur d'autres formations résistantes R9 de résistivité moyenne 500 Ohm.m qui n'ont pas été identifiées à l'affleurement compte tenu de leur profondeur ;
- dans la partie avale du profil, la coulée de basalte mésocrate saine semble reposer sur un ensemble plus conducteur (résistivité moyenne de 150 Ohm.m), de faible pendage apparent, qui pourrait correspondre à la base de la coulée de basalte à olivine et pyroxène repérée à l'affleurement en rive droite.

Les différences observées au droit de la zone de recouvrement des profils géophysiques (extrémité Nord-Ouest du profil B plus conductrice que l'extrémité Sud-Est du profil A) suggèrent que la rivière Gouloué s'écoule à la limite des deux ensembles qui composent les flancs de la vallée actuelle. De plus, la zone de recouvrement des deux profils se trouve partiellement dans le secteur du linéament C (Figure 4).

Forage de Gouloué 2 (1230-7X-0053)

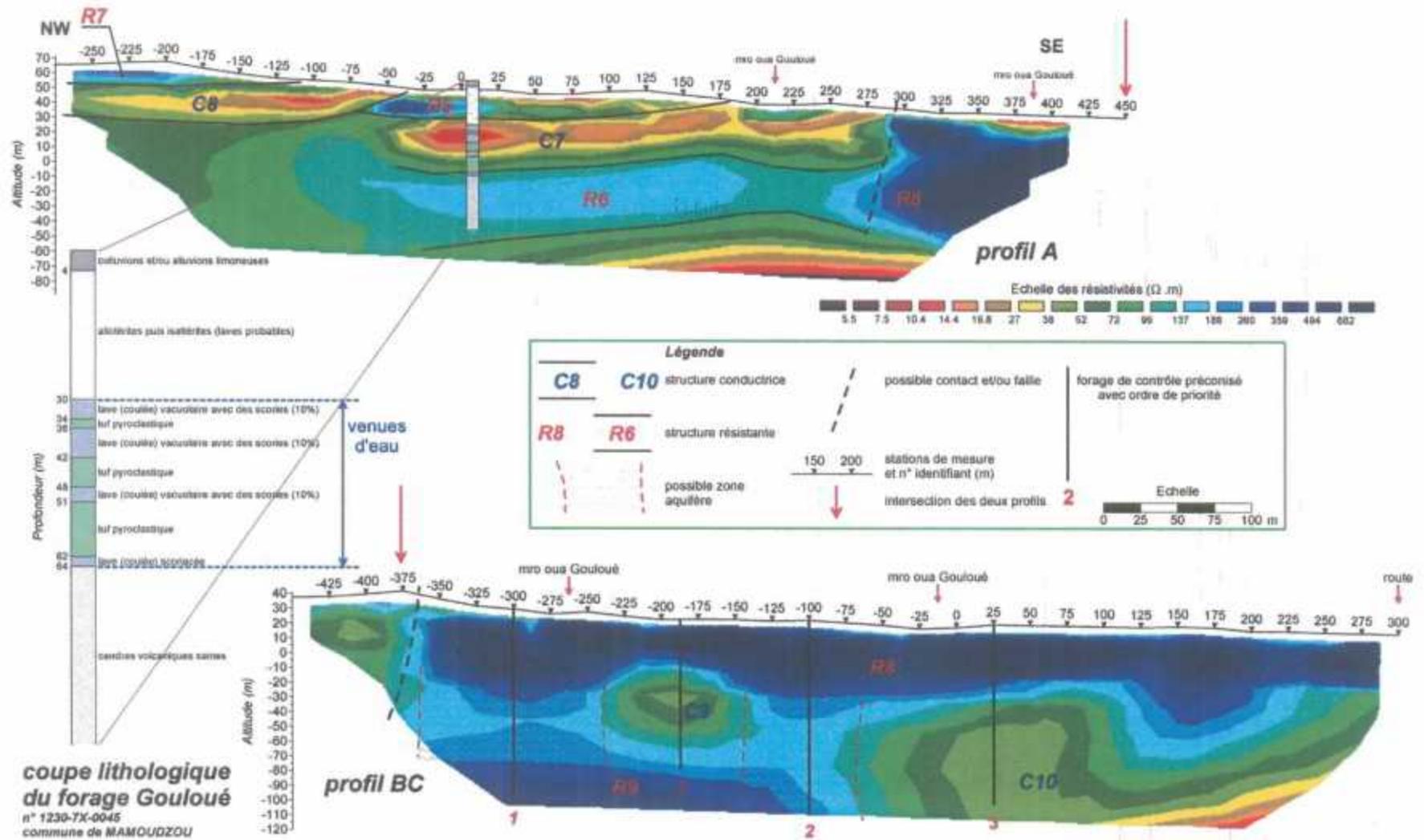


Figure 7 : Site de Gouloué. Coupes de résistivité interprétées

3.4. SYNTHÈSE

3.4.1. Principaux résultats des différentes investigations

Les semelles de coulées de lave scoriacée vues à l'affleurement et recoupées en forage constituent les principales formations aquifères sur le secteur du forage Gouloué 1, en rive droite. Néanmoins, à la vue des résultats modestes de ce forage, ces formations ne peuvent être considérées comme de bonnes formations aquifères.

La coulée de basalte mésocrate, saine et fissurée, constitue la formation la plus susceptible d'être aquifère dans le secteur aval de la Gouloué. Les travaux de géophysique ont confirmé le caractère sain de la roche puisque les résistivités observées sont proches de 600 Ohm.m et ont montré une épaisseur potentielle de 70 m au droit de l'abscisse – 300 du profil B.

Ces remarques suggèrent donc une épaisseur importante de séries basaltiques saines, au sein desquelles on peut espérer recouper des faciès fissurés ou scoriacé.

Sur la base des informations recueillies, les hypothèses suivantes peuvent être émises :

- les formations de basalte affleurant dans la vallée au point coté 67 m NGM et en rive gauche dans la partie aval de la ravine peuvent être rattachées à un même ensemble de coulées de lave qui s'est mis en place tardivement au sein d'une ancienne vallée. Le sens d'écoulement des laves suggère que cette formation provient du massif du M'tsapéré ;
- le relief séparant les deux vallées actuelles de Gouloué et Doujani serait constitué de cet ensemble de coulées de lave comme le suggère la carte d'affleurements (Figure 5) ;
- dans la partie amont du secteur, cette ensemble de coulées tardives est surmontée de laves différenciées qui semblent provenir également du M'tsapéré et d'épanchements phonolitiques ;
- ces deux ensembles de coulées de lave tardives se sont probablement mis en place au sein d'une paléo-vallée de direction Nord-Nord-Ouest – Sud-Sud-Est creusée au sein des coulées de lave altérées et des formations pyroclastiques identifiées en rive droite du Mro Oua Gouloué. L'axe principal de cette paléo-vallée se situerait en rive gauche de la vallée actuelle de la Gouloué (cf. géophysique et indices d'émergences d'eaux souterraines) et s'approfondirait significativement de l'amont vers l'aval.

3.4.2. Eléments d'interprétation et modèle conceptuel envisagé

La vallée actuelle de la Gouloué est un exemple marquant d'inversion de relief puisque les lignes de crête actuelles de part et d'autre de la rivière sont constituées de coulées de laves tardives, différenciées ou non, plus résistantes à l'érosion et qui donc se retrouvent en altitude.

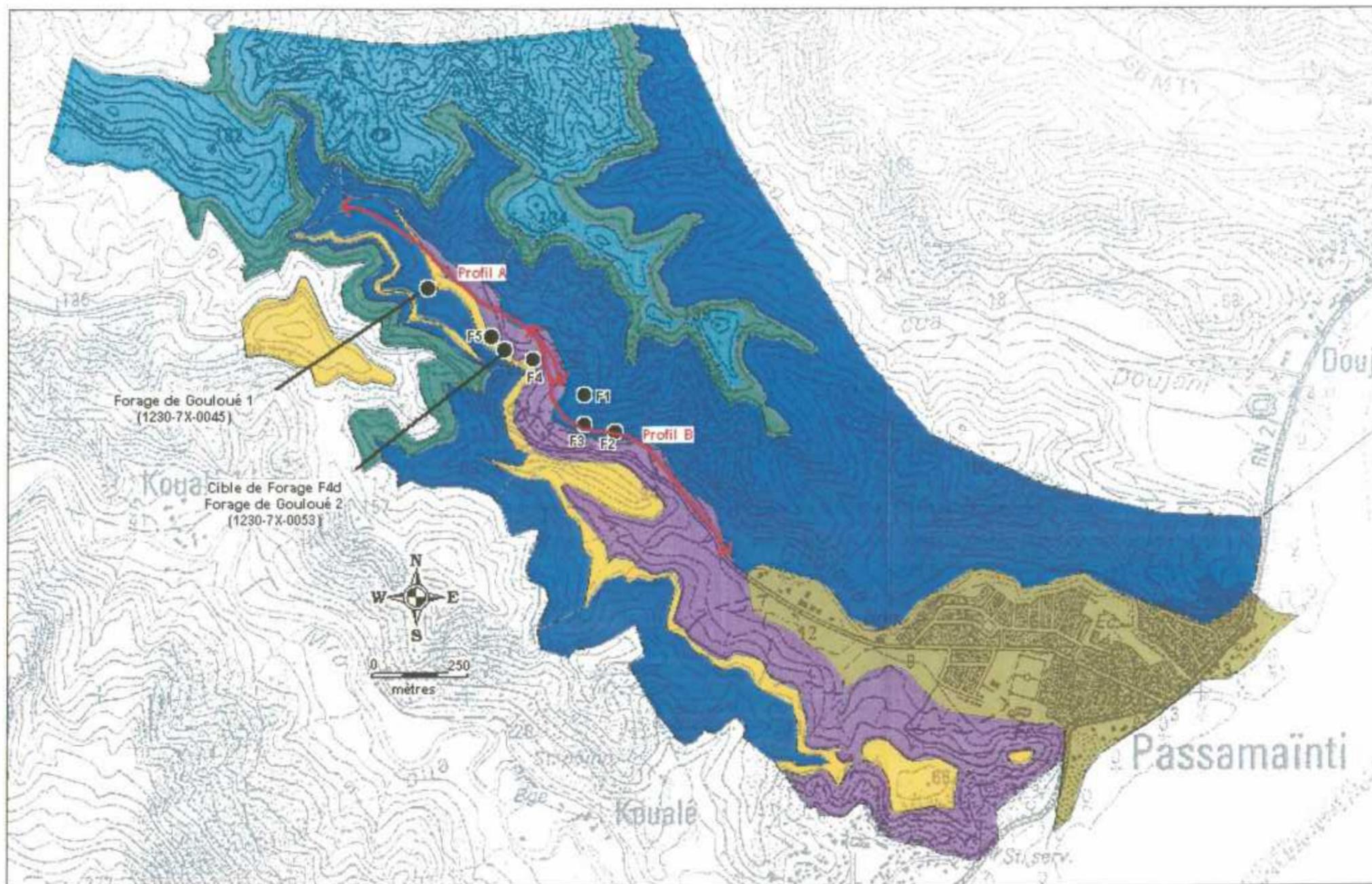
En se basant sur la carte d'affleurements établie à partir des reconnaissances géologiques et en s'appuyant sur les informations d'ensemble que fournit la carte géologique de Mayotte à 1/50 000 (Stieljes, 1988), une carte lithologique interprétative du secteur a été réalisée (Figure 8).

Elle ne constitue qu'une esquisse de carte géologique et ne représente qu'une étape dans le processus d'acquisition de données géologiques et de réflexion. Elle ne doit pas être utilisées sans avoir cela à l'esprit.

La carte lithologique interprétative présentée en figure 8 comporte les hypothèses et les réserves suivantes :

- a. les formations de basalte à faciès tacheté, vues à l'affleurement en rive gauche de la ravine dans sa partie aval et sur la route menant à Vahibéni ont été rattachées au même ensemble éruptif ;
- b. la présence d'affleurements de basalte à olivine et pyroxène sur la piste d'accès au forage, en partie haute du relief séparant la vallée de Gouloué à celle de Koualé nous fait présumer la présence d'une faille dans cette zone. Cette hypothèse est renforcée par les résultats des profils géophysiques et l'analyse cartographique (Figure 4) mais n'est pas confirmée par des indices évidents sur le terrain.

Figure 8 : Site de Gouloué. Carte lithologique interprétative.



Légende

Des formations les plus récentes aux plus anciennes



Principales zones d'émergences et de suintements



Dépôts fluviaux et/ou de mangrove



Phonolites



Laves différenciées à baguettes de feldspath



Basalte mésocrate sain, à micro-phénocristaux de pyroxène et d'olivine ; fissuration importante et prismation localement marquée



Dépôts pyroclastiques à cendres et lapilli



Basalte à olivine et pyroxène, généralement altéré, porphyrique



Profils géophysiques

3.5. PROPOSITION D'IMPLANTATION DES FORAGES

3.5.1. Démarche mise en œuvre pour le choix des cibles de forage

Pour l'implantation d'un forage d'exploration, les critères et la démarche mise en œuvre par le BRGM sont les suivants :

- identification des formations cibles du point de vue hydrogéologique ;
- localisation le long du profil géophysique de l'abscisse des forages potentiels ;
- localisation sur le terrain des sites proposés ;
- prise en compte des aléas naturels (inondations, mouvements de terrain, vulnérabilité aux pollutions) en concertation avec la DAF/SER ;
- définition des contraintes de maîtrise foncière et d'accès en concertation avec la DAF/SER ;
- hiérarchisation des cibles de forage.

Les cibles d'implantation de forage ont été présentées à la DAF sur le terrain le 7 avril, et par lettre officielle le 08 avril 2003 (Ref OJ/03/114).

Ces sites sont classés par ordre de priorité décroissant de F1 à F5 et tiennent compte des risques et contraintes énoncés ci-dessus.

3.5.2. Cibles d'implantation de forage et risques naturels

La cible de forage prioritaire F1 dans ce secteur (Figures 8 et 9) a fait l'objet d'une attention particulière, compte tenu de la survenue possible de mouvements de terrain et d'inondations à proximité de la ravine.

L'objectif fixé est de se prémunir contre les risques d'inondation (crue décennale) et d'assurer une stabilité des terrains suffisantes à la construction d'une station de pompage.

A titre préventif, le forage a été placé à une hauteur d'environ + 8 m par rapport au lit de la rivière et à une distance d'environ 50 m de celui-ci. Dans cette position, le site de forage F1 est dans une zone d'aléa inondation faible, conformément aux recommandations du rapport BRGM/RP-52074-FR " Atlas des risques naturels à Mayotte – Bassin de risques de Mamoudzou, Koungou, Dzaoudzi et Pamandzi".

Suivant les recommandations du rapport précité, le site du forage prioritaire F1 choisi est également dans une zone d'aléa fort en ce qui concerne les mouvements de terrain. C'est la raison pour laquelle un site de forage offrant le minimum de vulnérabilité a été implanté en concertation avec le Maître d'Ouvrage Délégué DAF et le BRGM (visite de terrain le 07/04/03).

Du point de vue de la vulnérabilité aux pollutions, des zones de décharge sauvage de faible ampleur ont été repérées sur la route en direction de Vahibéni, c'est à dire en aval

et sur la rive opposée au site prioritaire F1. Ce site ne présente pas d'expositions particulières à des rejets d'industrie et de produits agricoles. Néanmoins, la relation de l'aquifère à la rivière sera à étudier plus précisément avant une mise en exploitation du forage.

3.5.3. Localisation des cibles de forage et hiérarchisation

La cible F1 (Figures 8 et 9) se trouve au droit de l'abscisse – 300 m du profil B. Le but est de recouper l'ensemble de coulées de laves mésocrates saines ainsi que les formations résistantes sur lesquelles repose cet ensemble effusif. La profondeur prévisionnelle de ce forage est d'environ 130 m. La possibilité d'intrusion d'eau salée est limitée puisque l'on se situe à une altitude approximative de 40 m et à plus de 2 km du rivage.

Localisation du forage F1, coordonnées UTM :

X = 521 325 m

Y = 8 585 820 m

Z ≈ 40 m

Les cibles de forage F2 et F3 (Figure 9) recouperaient ce même ensemble de coulées de lave plus en aval, sur une épaisseur légèrement moins importante mais avec l'objectif d'atteindre une centaine de mètres de profondeur. Le risque de recouper le biseau salé reste faible étant donné la compartimentation possible de l'aquifère et la distance au rivage.

Les cibles d'implantation F4 et F5 ont été définies au cas où l'accessibilité à la rive gauche de la Gouloué serait remise en cause. Ces cibles de forage recouperaient *a priori* les mêmes formations que le forage de Gouloué 1, avec toutefois la possibilité d'atteindre une profondeur plus importante et ainsi de recouper un linéaire plus important d'éventuelles formations géologiques perméables. Cependant, comme le montre l'ordre de priorité ainsi établi, ces cibles d'implantation ne seront choisies que si les contraintes à l'implantation des cibles F1 à F3 sont insurmontables.



Figure 9 : Site de Gouloué. Localisation des cibles d'implantation de forage

3.5.4. Cible de forage retenue

Pour des problèmes de maîtrise foncière (F1), et d'accès (F2 & F3), le site de forage retenu par le maître d'ouvrage est la **cible F4**.

Cette cible a fait l'objet d'une implantation définitive sur le terrain **F4d** (Figure 8 et 9), par le BRGM et en présence du Maître d'Ouvrage délégué.

Après travaux de foration, et compte tenu de l'historique des travaux de forage dans cette vallée, ce forage a été nommé **Gouloué 2 (1230-7X-0053)**.

4. Réalisation du forage Gouloué 2

Les travaux de foration ont été réalisés par l'entreprise COFOR du 17/05/03 au 18/08/2003 (date de la réception de l'ouvrage) selon un poste de 10 heures par jour, six jours par semaine (Annexe 1).

4.1. CALENDRIER DES TRAVAUX

- du 17/05/03 au 18/05/03 :
 - amenée et installation du matériel.
- du 18/05/03 au 28/05/03 :
 - foration au MFT Φ 15 pouces (381 mm) à l'air (avec adjonction temporaire de mousse) jusqu'à 23 m/sol, avec tubage à l'avancement 16 pouces ; puis foration au MFT Φ 14 pouces, avec tubage à l'avancement 14 pouces jusqu'à 55 m/sol ;
 - suite à des incidents de foration, la colonne de tubage 14 pouces s'est cassée et 3 tubes n'ont pu être récupérés. Le trou a donc été abandonné.
- du 03/06/03 au 12/06/03, réalisation d'un nouveau forage à 3 m au Sud-Est du trou abandonné :
 - foration au MFT Φ 15 pouces (381 mm) à l'air (avec adjonction temporaire de mousse) jusqu'à 82 m/sol, avec tubage à l'avancement 16 pouces sur les 29 premiers mètres ;
 - foration au tricône Φ 12^{3/4} pouces jusqu'à 88 m/sol ;
 - la foration a été arrêtée par décision du Maître d'Ouvrage Délégué en raison des risques de perte de l'ouvrage si la foration se poursuivait et compte tenu des résultats satisfaisants obtenus.
- le 13/06/03 :
 - équipement du forage : tubage et pose du massif de graviers.
- du 14/06/03 au 15/06/03 :
 - nettoyage et développement durant 5 heures de soufflage effectif à des débits compris entre 20 et 45 m³/h. Au bout de 4 h de pompage, à un débit au soufflage de l'ordre de 30 m³/h, l'eau est claire et ne montre plus de matières en suspension.
- du 17/06/03 au 18/06/03 :
 - compléments de graviers, mise en place du bouchon argileux et cimentation ;
 - descente de la pompe 8 pouces.
- du 19/06/03 au 02/07/03 :
 - essai de puits (essai par paliers de débits) ;
 - essai de nappe (pompage d'une durée de 72 heures) ;

- essai de pompage simultané sur les forages de Gouloué 1 et Gouloué 2 selon des prescriptions du Maître d'ouvrage Délégué : pompage d'une heure sur le forage de Gouloué 1 puis pompage de 48 h en simultané sur les forages de Gouloué 1 et Gouloué 2.
- Le 18/08/2003 :
 - diagraphie de fluides (conductivité électrique) ;
 - réception du forage.

4.2. EQUIPEMENT DU FORAGE

L'ouvrage de Gouloué 2 est équipé en forage d'exploitation de la façon suivante (Figure 10 et Annexe 3) :

- comblement du fond du trou par des terrains éboulés et du gravier (88 m/sol à 82 m/sol) ;
- PVC plein Ø 10 pouces (226 - 250 mm) de + 0.5 à 51.25 m/sol, et de 80 à 82 m/sol (bouchon de pied situé à l'extrémité du tubage et constitué d'un tube de 30 cm environ de hauteur, rempli de 20 cm de ciment) ;
- crépine PVC Ø 10 pouces (226 – 250 mm), 13% de vide, fentes horizontales de 2 mm, de 51.25 à 80 m/sol ;
- gravier basaltique concassé Ø 6 - 10 mm de 31 à 82 m/sol et de 11 à 20 m/sol ;
- bouchons argileux (Expangel SP7) de 10 à 11 m/sol et de 30 à 31 m/sol ;
- cimentation de 0.5 à 10 m/sol et de 20 à 30 m/sol.

Le forage est fermé à l'aide d'une tête de puits en acier, prolongée par un tube acier de plus petit diamètre et muni d'un bouchon vissé (Figure 1b). Cette tête de puits est scellée au sein d'un dé de béton. Lorsque le forage sera instrumenté, il devra être doté d'un dispositif de mise à la pression atmosphérique.

Le premier forage, abandonné sur incident à 55 m de profondeur, situé à 3 m au NW du forage de Gouloué 2, a été équipé sommairement en piézomètre au moyen d'un tubage PVC :

- de diamètre 50 mm ;
- descendant jusqu'à 55 m de profondeur ;
- crépiné à la scie de 30 m à 50 m ;
- protégé en surface par une tête de puits en tube PVC de diamètre 226-250 mm.

Son numéro dans la Banque Nationale de données du Sous-Sol est : 1230-7X-0054

5. Résultats

5.1. GEOLOGIE

5.1.1. Coupe lithostratigraphique du forage

La coupe lithostratigraphique synthétique du forage de Gouloué 2 est présentée en Figure 10. Elle a été établie (i) à partir de l'observation des cuttings prélevés tous les mètres (Annexe 2) et en s'appuyant entre autres, sur (ii) les vitesses à l'avancement (Figure 12) et (iii) sur la localisation des venues d'eau (Figure 11).

Les formations géologiques recoupées par le forage sont les suivantes :

0 – 11 m/sol : altérites

Un profil d'altération s'est développé aux dépens d'une formation qui semble composée presque totalement de coulées de lave. Il renferme des éléments de lave mésocrate, vacuolaire, saine à peu altérée, à pyroxène et olivine. Ces éléments résultent probablement d'une altération en boules de coulées basaltiques. La base de ces formations est atteinte à 11 m/sol.

11 – 15 m/sol : coulée de basalte à pyroxène et olivine

Une coulée de lave mésocrate, altérée, ferruginisée, à phénocristaux de pyroxène et d'olivine, à texture microlitique vitreuse a été recoupée.

15 - 23 m/sol : Formation pyroclastique

Il s'agit d'un tuf pyroclastique contenant des éléments de basalte à phénocristaux d'olivine et de pyroxène, associé à des éléments anguleux de basalte parfois vacuolaire à phénocristaux de pyroxène, emballés dans une matrice à cendres et lapilli.

23 – 82 m/sol : coulées de basalte à olivine et pyroxène

Dans cette tranche de terrain, sont présentes des coulées de laves mésocrates saines à peu altérées, à microphénocristaux d'olivine abondants et pyroxène, à texture microlitique. Au sein de ce qui est considéré comme un empilement de coulées de lave, on peut clairement identifier :

- de 56 à 65 m : un niveau scoriacé avec des éléments de lave sont altérés (ferruginisés) ;
- de 65 à 82 m : l'apparition de chlorite dont l'abondance croît avec la profondeur.

Les laves ne montrent pas d'indices de fissuration. On a probablement affaire à deux coulées de vallée, d'épaisseur décamétrique, le niveau scoriacé correspondant à la transition entre les deux coulées (scories de toit et base de coulée confondues).

82 à 86 m/sol : dépôts alluvionnaires

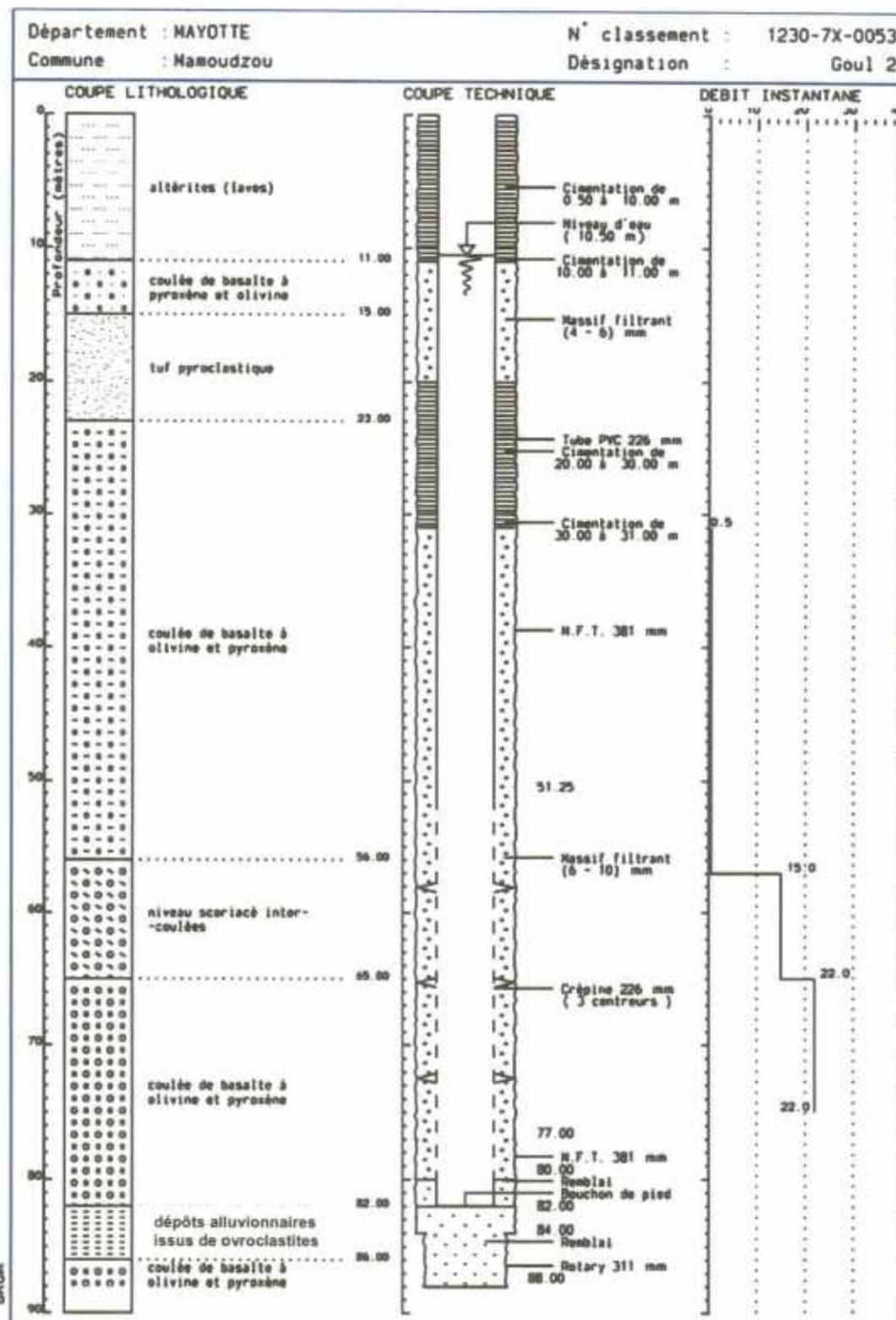
Il s'agit d'alluvions composées de sable grossier, de fragments millimétriques de cristaux d'olivine et de pyroxène, et d'éléments de lave ferruginisée. Ces dépôts ont subi un faible transport ; ils sont certainement issus du remaniement de pyroclastites à cendres et lapilli.

86 à 88 m/sol : coulée de basalte à olivine et pyroxène

Dans cette horizon une coulée de lave mésocrate, saine à peu altérée, à microphénocristaux d'olivine et de pyroxène, et à chlorite abondantes, a été recoupée.

Le forage recoupe donc une série de coulées de lave massives, interstratifiées de pyroclastites et de dépôts alluvionnaires (issus du remaniement de pyroclastites) peu épais.

Figure 10 : Coupes lithostratigraphique synthétique et technique du forage de Gouloué2 (1230-7X-0053) et localisation des venues d'eau (débits au soufflage à l'avancement)

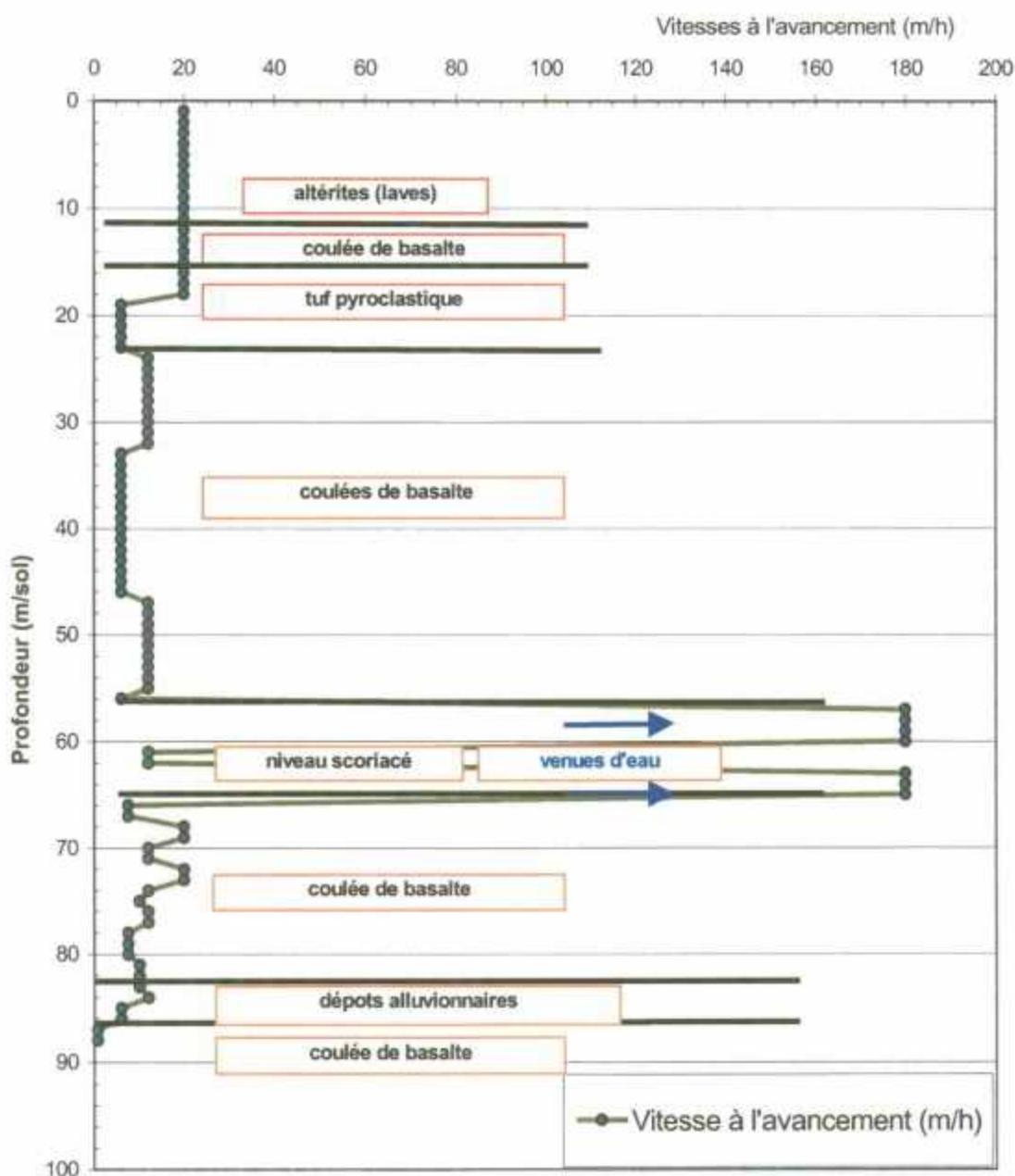


5.1.2. Vitesses à l'avancement

Les vitesses à l'avancement (Figure 11) permettent de distinguer :

- les altérites de surface, de 0 à 11 m de profondeur par rapport au sol, avec des vitesses à l'avancement voisines de 20 m/h ;
- les coulées de lave saine à peu altérée, de 23 à 56 m et de 65 à 82 m de profondeur, avec des vitesses à l'avancement voisines de 10 m/h ;
- les niveaux scoriacés de 56 à 65 m de profondeur qui montrent une très forte variabilité des vitesses à l'avancement (de 20 à 180 m/h).

Figure 11 : Forage de Gouloué 2 (1230-7X-0053). Vitesses à l'avancement



5.1.3. Confrontation de la lithostratigraphie du forage aux observations géologiques antérieures.

La lithologie des laves recoupées sur l'ensemble du forage suggère qu'il s'agit de l'ensemble de coulées de lave à olivine et pyroxène recoupée par le forage de Gouloué 1 et observées en rive droite de la rivière.

Par ailleurs, les tufs pyroclastiques recoupés en forage montrent une forte similitude de faciès avec les affleurements observés dans la rivière, au droit du forage Gouloué 1 (tuf pyroclastique à cendres et lapilli).

Ces observations suggèrent que les 2 forages recoupent la même séquence de formations volcaniques constitués d'une alternance de formations pyroclastiques (localement remaniées en alluvions) et de coulées de lave. Ces formations semblent s'être mises en place dans une structure de type paléovallée. Elles montrent de fortes variations latérales de faciès.

5.1.4. Confrontation de la coupe lithostratigraphique du forage aux données géophysiques

Le forage de Gouloué 2 (1230-7X-0053) se situe à environ 75 m au Sud-Ouest du profil A, au niveau de l'abscisse + 280. La confrontation de la coupe lithostratigraphique du forage avec les données géophysiques (Figure 7) permet les constatations suivantes :

- les pyroclastites recoupées entre 15 et 23 m de profondeur correspondrait à la couche conductrice C7, de résistivité moyenne 30 Ohm.m (Figure 8) ;
- les coulées de basalte sain à olivine recoupées en forage de 23 à 82 m de profondeur peuvent correspondre à la prolongation vers le SE de l'ensemble résistant noté R6, de résistivité comprise entre 70 et 180 Ohm.m au droit du forage de Gouloué 2 ;
- il est important de noter que ces formations reposent sur un ensemble très conducteur de résistivité proche de 10 Ohm.m qui n'a pas été atteint en forage.

5.2. HYDROGEOLOGIE

5.2.1 Venues d'eau à l'avancement

Les principales venues d'eau ont été rencontrées à l'avancement au sein du niveau scoriacé inter-coulée situé de 56 à 65 m de profondeur par rapport au niveau du sol.

Les venues d'eau les plus importantes se situent à environ 57 et 64 m/sol.

Des venues d'eau de très faible débit ($< 1 \text{ m}^3/\text{h}$) ont été observées à 27, 31, et 33 m/sol au sein des laves saines.

5.2.2. Piézométrie

Le niveau piézométrique, mesuré à partir de 56 m de profondeur, est resté relativement stable au fur et à mesure de l'approfondissement du forage, variant de 10,6 à 11,9 m/sol. Après équipement et développement du puits, le niveau piézométrique s'est stabilisé vers 10 m/sol. A la réception du forage, le 18/08/03, la piézométrie était de 9,95 m/sol, soit une cote de 45 m NGM environ.

Les niveaux perméables recoupés sont donc de type captif ou semi captif. Même s'ils ne sont pas en relation directe avec le Mro oua Gouloué au droit du forage, leur charge est proche de l'altitude de celui-ci (40 à 45 m NGM environ).

5.2.3. Pompages d'essai

Le forage de Gouloué 2 a fait l'objet d'un essai de puits (pompage d'essai par paliers de débit), d'un essai de nappe d'une durée de 72 h et d'un essai de pompage simultanés sur les forages de Gouloué 1 (1230-7X-0045) et Gouloué 2 (1230-7X-0053), selon des prescriptions définies par le Maître d'Ouvrage Délégué (DAF/SER). Ces essais ont été réalisés avec une pompe $\varnothing 8''$ PLEUGER QN 83/3, d'une hauteur de 1,5 m, dont la partie basse (aspiration) a été positionnée à 72 m/sol.

Les données des pompages d'essai sont présentées en Annexe 2. Les enregistrements piézométriques ont été réalisés manuellement et automatiquement au moyen d'enregistreurs de type "Diver" (pas de temps de 1 mn) durant les pompages.

Les enregistrements piézométriques réalisés à l'occasion des pompages d'essai ne montrent aucune influence perceptible des précipitations et/ou d'éventuels effets de marée.

Les précipitations quotidiennes au poste de Combani village pendant la période des travaux et des essais de pompage sont faibles à nulles (Annexe 4).

5.2.3.1 Essai de puits

L'essai de puits a comporté 4 paliers non enchaînés (Figures 12 et 13). Le couple de valeurs obtenues à l'issue de la première heure de pompage lors de l'essai de nappe (rabattement 19,19 m, débit 24,85 m³/h) a été utilisé comme donnée complémentaire.

Les mesures de débit ont été suivies au débitmètre automatique et vérifiées au fût de 200 l. Les valeurs sont bien corrélées, le débitmètre automatique surestimant légèrement les débits (+ 0,2 m³/h). Pour chaque couple de valeurs rabattement-débit, le débit a été estimé sur la base des mesures réalisées au fût durant les 40 dernières minutes de chaque palier.

La courbe caractéristique du forage obtenue à partir des 4 paliers de débit montre un bon ajustement. Le couple de valeurs obtenu lors de la première heure de l'essai de nappe suggère que cette interprétation est légèrement pessimiste.

Les coefficients de la courbe caractéristique du forage, de type $s = bQ + cQ^2$ (Figure 13), sont :

- coefficient de pertes de charge linéaire : $b = 0,71 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})$ (2560 m/(m³/s)) ;
- coefficient de pertes de charge quadratiques : $c = 2,80 \cdot 10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$ (36 300 s²/m⁵).

Figure 12 : Forage de Gouloué 2. Essai par paliers de débit

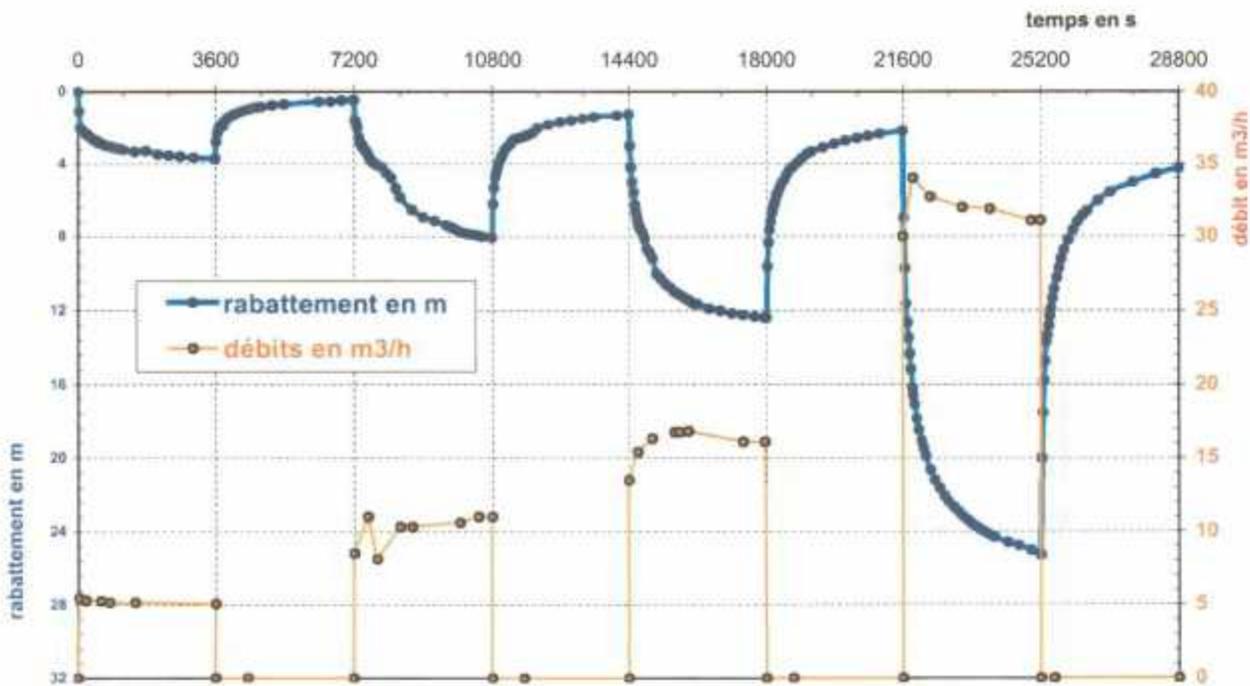


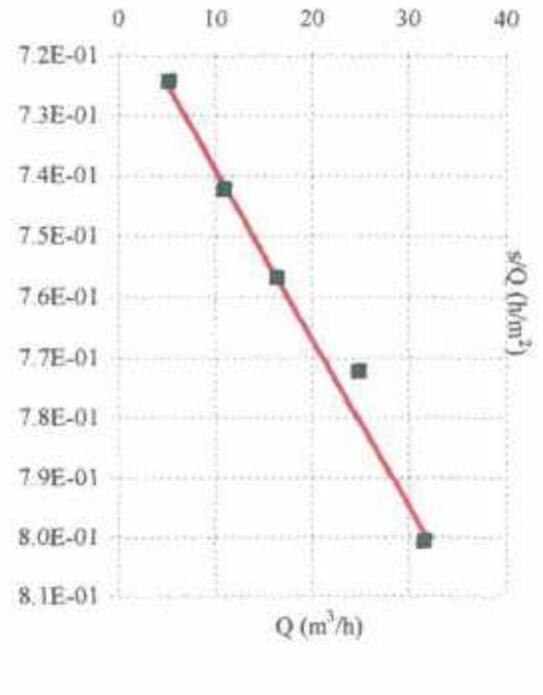
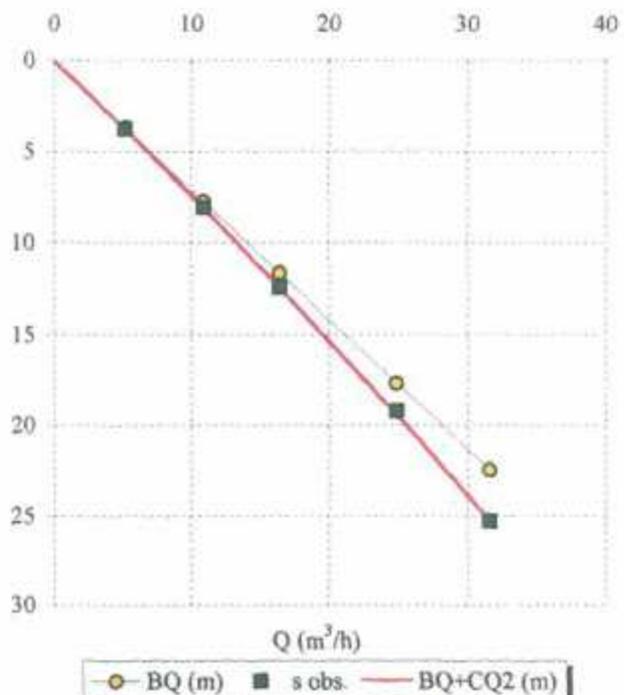
Figure 13 : Forage de Gouloué 2. Interprétation de l'essai par paliers de débit

	Affaire	Campagne de forages 2001-2003	POMPAGE PAR PALIERS Gouloué 2
	Client	Collectivité Départementale de Mayotte	

CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES DU PUIS DE POMPAGE

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Localité	Passamainti	Opérateur	BRGM
Forage	Gouloué 2	Date de début de pompage	18/06/03
Essai de puits		Limites hydrauliques d'exploitation	
Niveau statique initial	10.02	N.S. étiage (m)	
Prof. pompe (m)	78	Fluctuations saisonnières	
Type pompe	8 pouces	Débit d'exploitation (m ³ /h)	
Diamètre forage (mm)	226	P. d. C. linéaires (m)	0
Position crépine (m)	51.25 m/sol	P. d. C. quadratiques (m)	0
Type crépine	pvc avec 13% de vide	N.D. à l'étiage (m)	0
Massif filtrant	gravier concassé 6-10 mm	Profondeur mini pompe (m)	



Coef. pertes de charge linéaires (B) = 0.71 m/(m³/h) = 2559 m/(m³/s)
 Coef. pertes de charge quadratiques (C) = 2.80E-03 m/(m³/h)² = 36280 m/(m³/s)²

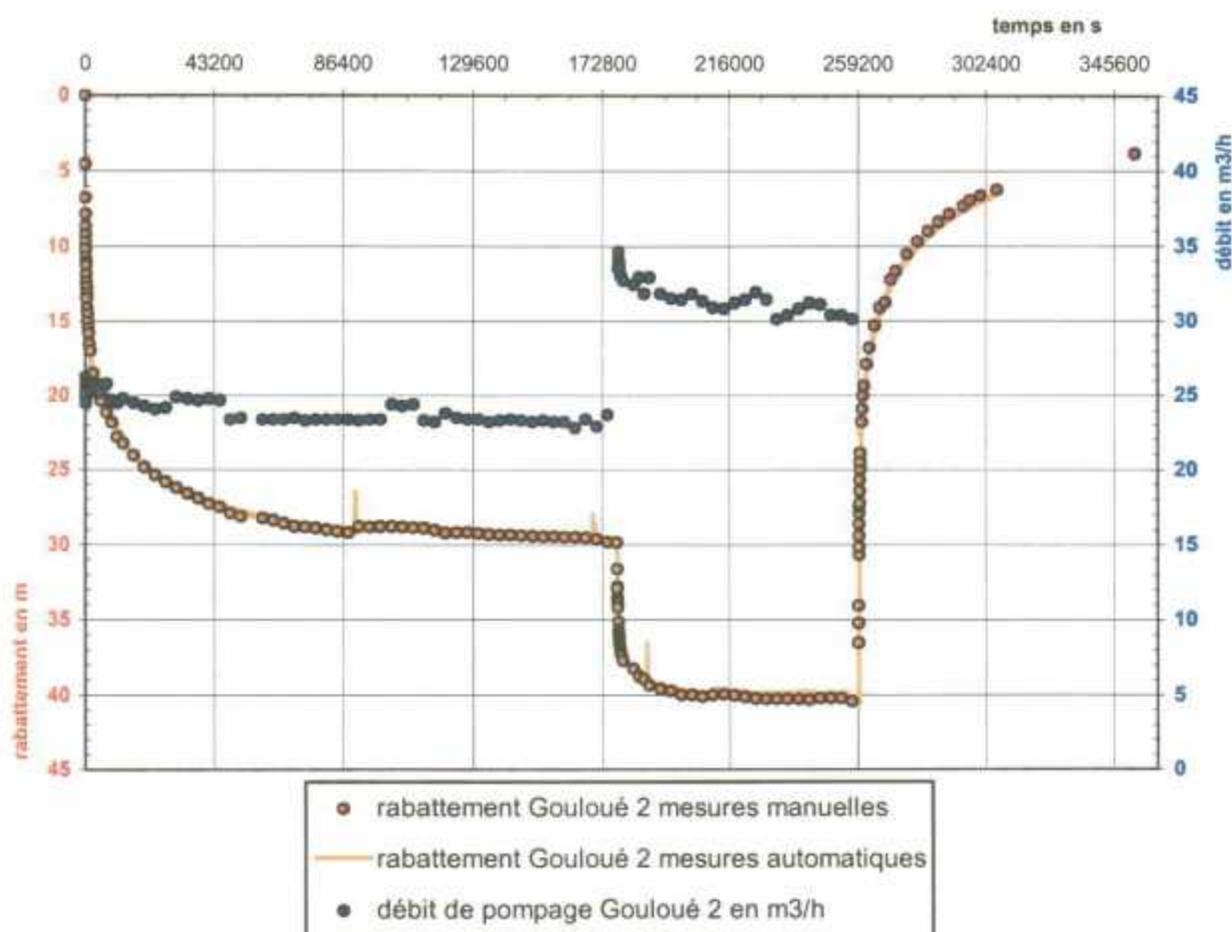
	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4	Palier 5
Q (m ³ /h)	5.15	10.90	16.40	31.60	24.85
Temps de pompage (h)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Temps de remontée (h)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Q/s calculé (m ² /h)	1.38	1.35	1.32	1.25	1.28
Q/s observé (m ² /h)	1.38	1.35	1.32	1.25	1.29
Ecart Q/s cal. - Q/s obs. (m ² /h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Rabatement observé (m)	3.73	8.09	12.41	25.30	19.19
Rabatement calculé (m)	3.73	8.08	12.41	25.25	19.39
Ecart Scal-Sobs (m)	0.00	-0.01	0.00	-0.05	0.20

5.2.3.2. Essai de nappe

L'essai de nappe a été mis en œuvre pendant une durée de 72 h (Figure 14). Le pompage s'est déroulé de la manière suivante :

1. pompage pendant 48 heures à un débit proche de 25 m³/h, suivi particulier de la première heure de pompage utilisée comme palier complémentaire ;
2. pompage pendant 24 heures à un débit proche de 32 m³/h ;
3. suivi de la remontée pendant 12 h.

Figure 14 : Forage de Gouloué 2. Essai de nappe



Au puits de Gouloué 2, un ajustement satisfaisant de l'essai de nappe, tant pour la descente que pour la remontée, est obtenu à l'aide de la solution analytique de Theis (Figure 15) avec les paramètres suivants :

- transmissivité $T = 1,65.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$;
- absence d'effet de capacité du puits et de limites ;
- pertes de charges quadratiques égales à celles obtenues lors de l'essai de puits ($36\,280 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$).

Le modèle ne reproduit cependant pas fidèlement l'augmentation des rabattements observée entre 400 et 3000 minutes environ, ainsi qu'au cours du pompage à $32 \text{ m}^3/\text{h}$. Cette différence entre données observées et courbe calculée suggère que l'aquifère présente à la fois un certain compartimentage (augmentation du rabattement) et une certaine alimentation (tendance à la stabilisation).

Un ajustement mieux calé sur cette partie de la courbe peut ainsi être obtenu en introduisant :

- **1 limite étanche** présentant 1 temps d'influence de **150 minutes** et une **limite alimentée** présentant un temps d'influence de **400 minutes**.

Il en résulte néanmoins une sous-estimation significative des rabattements lors de la remontée.

Un autre ajustement, assez proche du premier proposé, mais calant un peu mieux l'anomalie observée lors de la descente et la remontée peut être obtenu avec une solution analytique de Hantusch et Jacob et les paramètres suivants :

- transmissivité $T = 1,65.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$;
- épente d'épaisseur **1 m** et de perméabilité 5.10^{-7} m/s .

Ces observations suggèrent un certain **compartimentage de l'aquifère** mais aussi, à la période des essais au moins (plus de 2,5 mois après la fin de la saison des pluies), une **"alimentation" significative de l'aquifère** qui pourrait expliquer la tendance à la stabilisation observée.

Figure 15 (a) : Forage de Gouloué 2. Interprétation de l'essai de nappe.



Affaire
Client

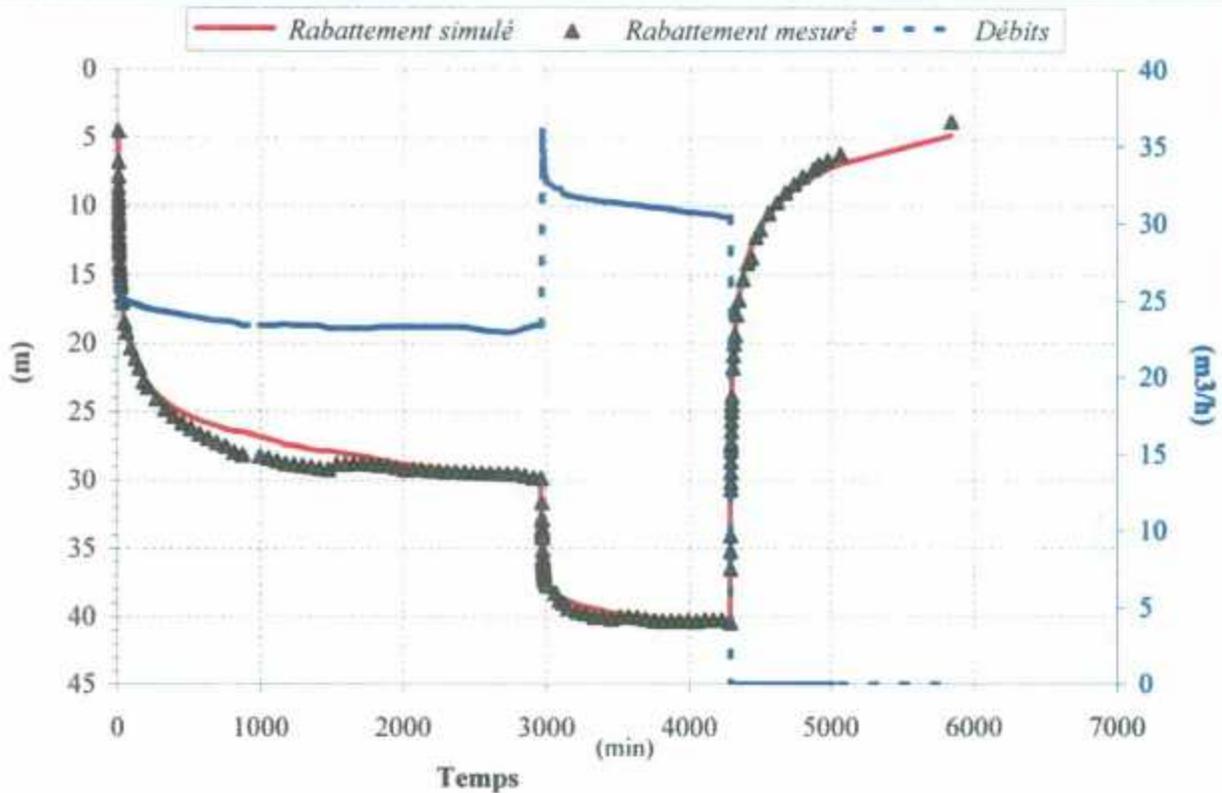
Campagne de forages 2001-2003
Collectivité Départementale de Mayotte

POMPAGE D'ESSAI
Gouloué 2

Logiciel ISAPE - Version 6.1

INFORMATIONS GENERALES

Fichier traité	GOULLD-1.ISA	Date de début de pompage	23-juin-03
Numéro de pompage	1230 7X 0053	Niveau hydrostatique initial	11.3 m
Aquifère testé		Rabatement Maximum	40.42 m
Nom du forage	Gouloué 2	Diamètre du forage	226 mm.



PARAMETRES DE L'AJUSTEMENT

Méthode d'interprétation : THEIS

Transmissivité (m ² /s)	Coefficient d'emmagasinement	Rayon d'observation (m)	Coefficient de P.d.C quadratiques (s ² /m ⁵)	Skin
1.65E-04	6.00E-01	1.10E-01	3.6E+04	

Effet de vidange : Non

Effet de capacité : Non

LIMITE L1

LIMITE L2

Figure 15 (b): Forage de Gouloué 2. Interprétation de l'essai de nappe.



Affaire
Client

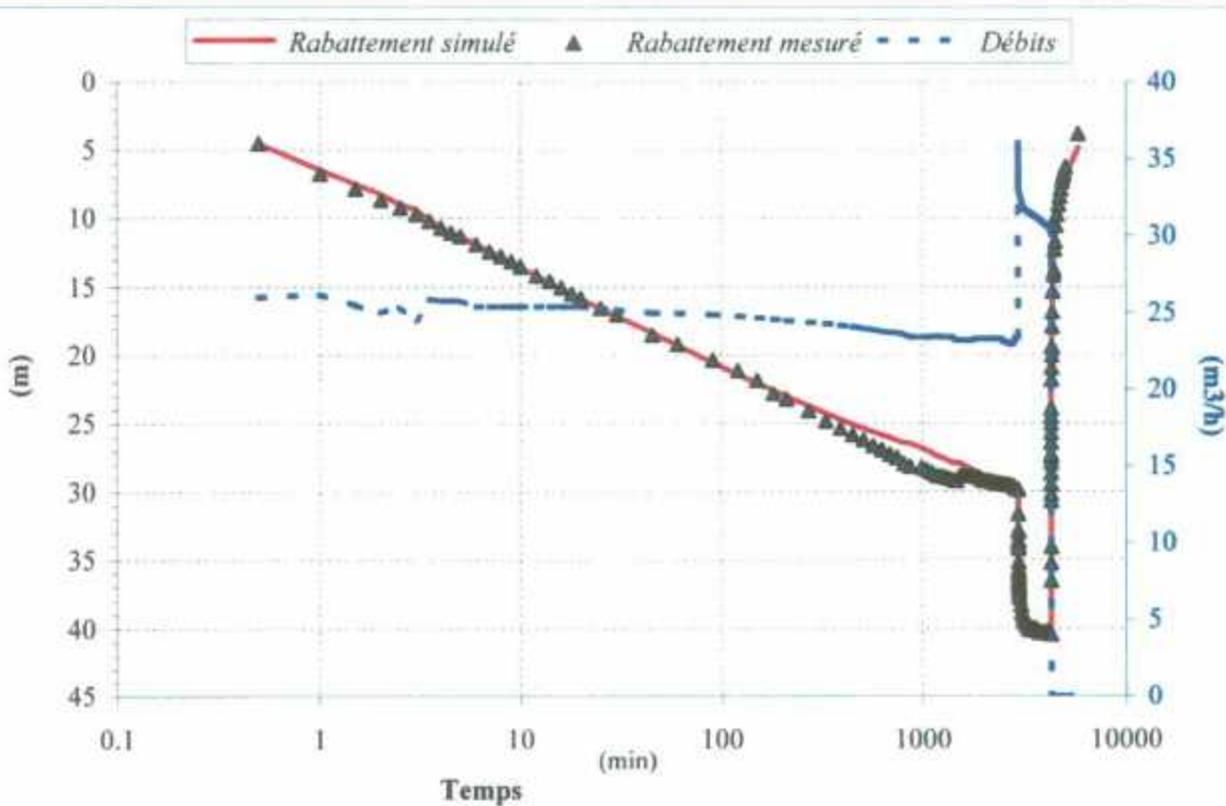
Campagne de forages 2001-2003
Collectivité Départementale de Mayotte

POMPAGE D'ESSAI
Gouloué 2

Logiciel IDAPE Version 6.1

INFORMATIONS GENERALES

Fichier traité	GOULLD-1.ISA	Date de début de pompage	23-juin-03
Numéro de pompage	1230 7X 0053	Niveau hydrostatique initial	11.3 m
Aquifère testé		Rabattement Maximum	40.42 m
Nom du forage	Gouloué 2	Diamètre du forage	226 mm.



PARAMETRES DE L'AJUSTEMENT

Méthode d'interprétation : THEIS

Transmissivité (m ² /s)	Coefficient d'emmagasinement	Rayon d'observation (m)	Coefficient de P.d.C quadratiques (s ² /m ⁵)	Skin
1.65E-04	6.00E-01	1.10E-01	3.6E+04	

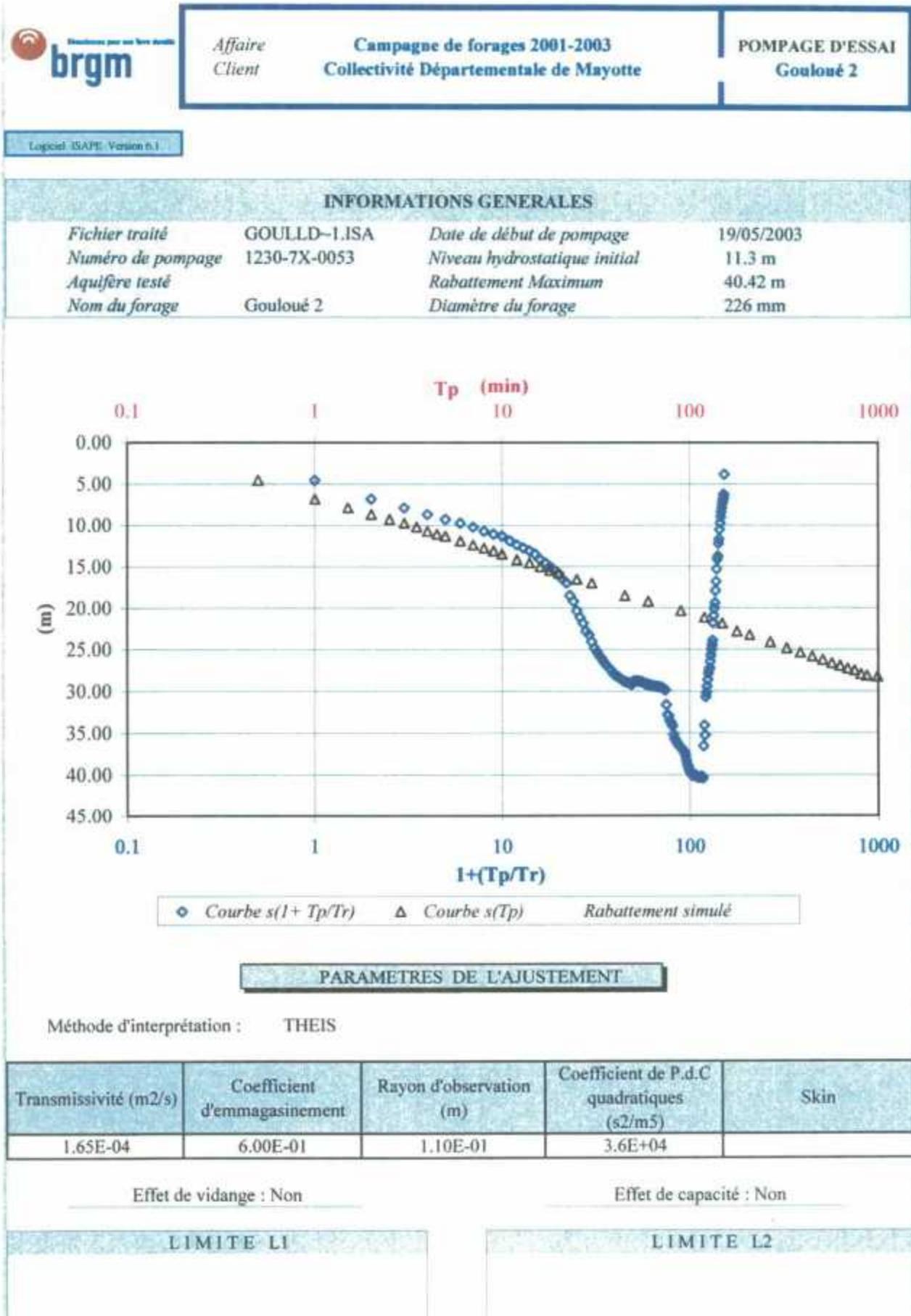
Effet de vidange : Non

Effet de capacité : Non

LIMITE L1

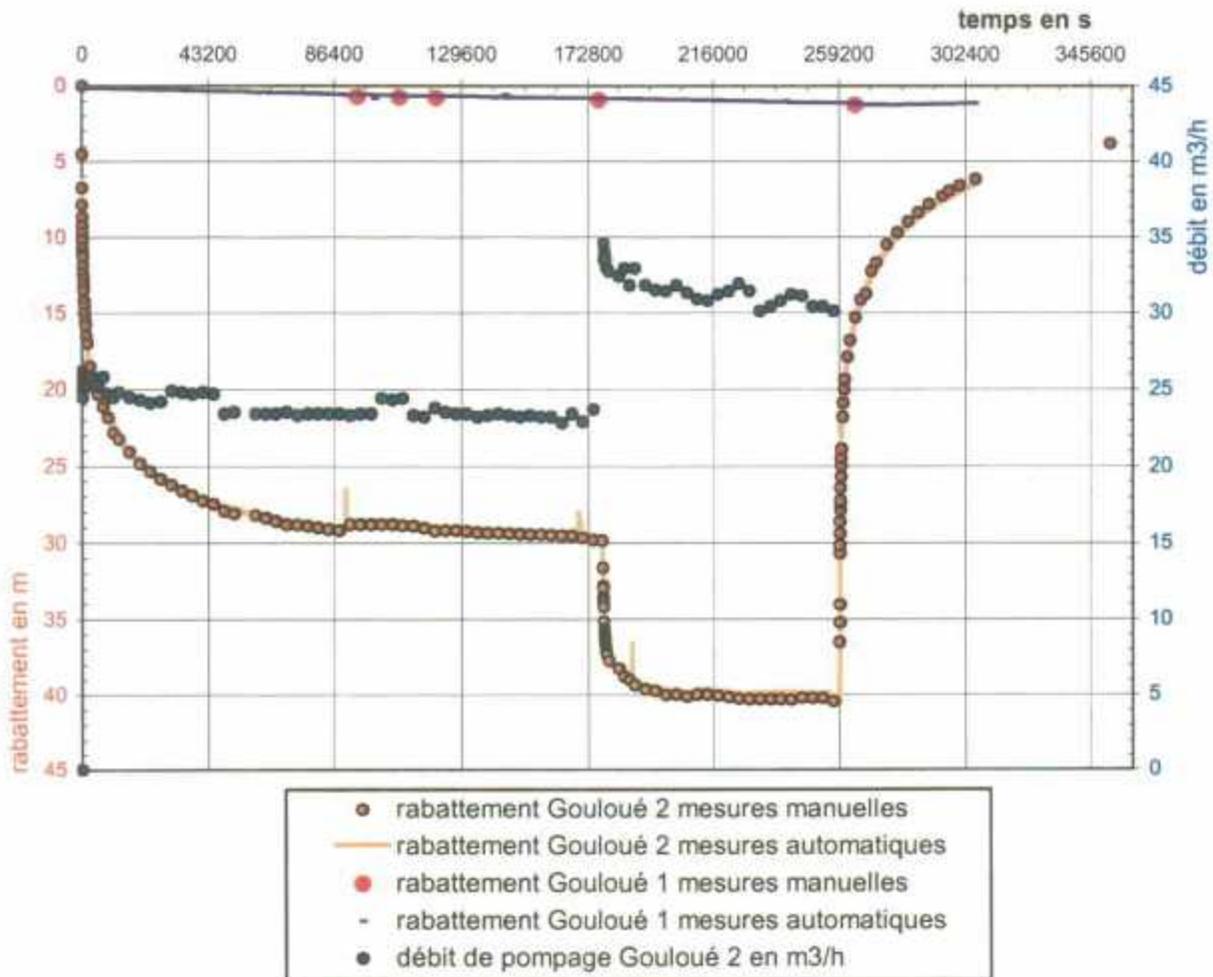
LIMITE L2

Figure 15 (c): Forage de Gouloué 2. Interprétation de l'essai de nappe.



Le suivi, au cours du pompage d'essai en Gouloué 2, des niveaux piézométriques au forage de Gouloué 1 (n° BSS :1230-7X-0045) permet d'envisager de caractériser les interférences éventuelles entre les 2 forages.

Figure 16 : Forage de Gouloué 2. Essai de nappe. Mesure des interférences au puits de Gouloué 1.



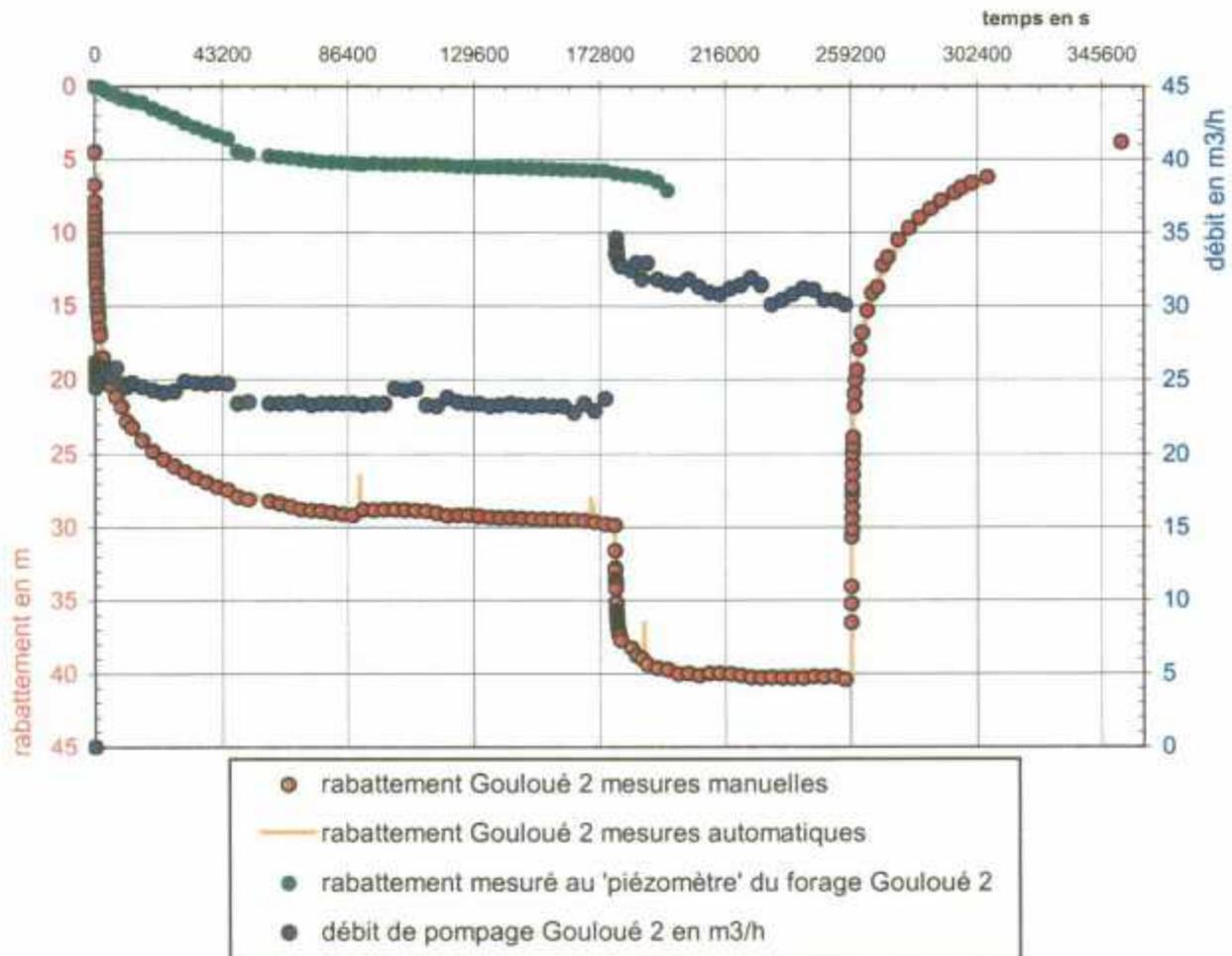
Un ajustement satisfaisant (pente de la descente, déphasage entre l'arrêt du pompage et le début de la remontée en Gouloué 1) est obtenu avec une solution analytique de Theis et les paramètres suivants :

- transmissivité $T = 6.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$;
- coefficient d'emmagasinement $S = 2,8.10^{-3}$;

Même si, compte tenu de la nature des aquifères sollicités, ces paramètres ne peuvent pas réellement être considérés comme représentatifs de l'aquifère pompé, cet ajustement peut être utilisé pour évaluer les interférences en Gouloué 1 des pompages mis en œuvre en Gouloué 2.

Les variations piézométriques mesurées au "piézomètre" (n° BSS :1230-7X-0054) du forage de Gouloué 2 (puits sec abandonné à 55 m de profondeur et équipé) sont présentées en figure 17.

Figure 17 : Forage de Gouloué 2. Essai de nappe. Mesure des interférences au piézomètre du forage de Gouloué 2.



5.2.3.3. Essai de pompage simultané sur les forages de Gouloué 1 & 2

Un essai de pompage de 48 h a été réalisé, à la demande du Maître d'Ouvrage Délégué et selon ses prescriptions, sur les forages de Gouloué 1 & 2, suivant le protocole suivant :

- pompage au forage de Gouloué 1 à un débit de 15 m³/h pendant 1 heure ;
- mise en route du pompage au forage de Gouloué 2 à un débit de 25 m³/h et pompage simultané en Gouloué 1 et Gouloué 2 pendant 48 h ;
- modification du débit de pompage en Gouloué 1 (13 m³/h) au bout de 23 h 30 ;
- modification du débit de pompage en Gouloué 2 (30 m³/h) au bout de 25 h.

Compte tenu de la faible durée de la première partie de l'essai (1 heure de pompage au forage de Gouloué 1, seul), il n'a pas pu être mesuré de baisse significative du niveau piézométrique au forage de Gouloué 2. Il n'a donc pas pu être réalisé de mesure directe de l'influence du pompage en Gouloué 1 sur le forage Gouloué 2.

L'interférence, en Gouloué 2, liée au pompage du forage Gouloué 1, a donc été évaluée en interprétant cet essai simultané au moyen de la solution analytique (Theis sans limite) et des paramètres hydrodynamiques tirés de l'essai de nappe de 72 h (pompage de Gouloué 2, seul). L'éventuelle différence apparaissant entre les rabattements observés et ceux calculés par le modèle devrait alors correspondre à l'impact du pompage en Gouloué 1 (Figure 18).

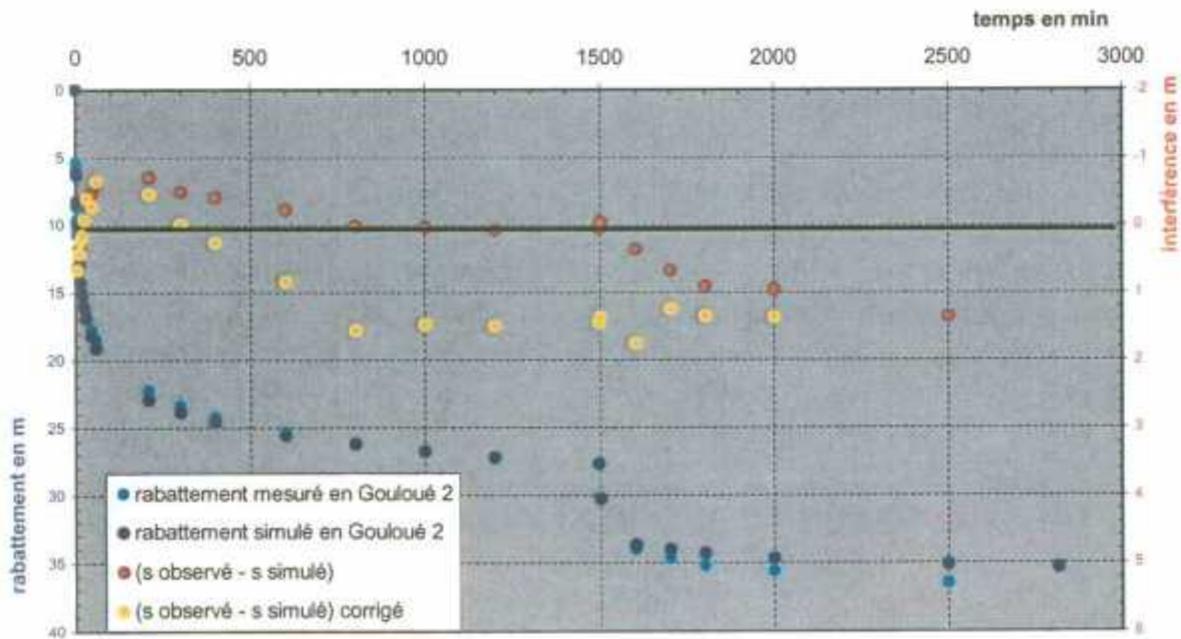


Figure 18 : Comparaison des rabattements observés aux résultats simulés au forage de Gouloué 2 pendant le pompage d'essai simultané

L'utilisation de cette solution analytique conduit à un calage satisfaisant de la première partie de l'essai (jusqu'à 100 minutes environ). Le décalage observé ensuite peut être attribué à l'influence du pompage en Gouloué 1 (environ 1,3 m au bout de 42 h de pompage).

La solution analytique de Theis intégrant une limite étanche et une limite alimentée ne conduit pas à des résultats satisfaisants en raison de la surestimation des rabattements dès le début de l'essai.

La solution analytique de Hantuch et Jacob évoquée paragraphe 5.2.3.2 ne conduit pas non plus à des résultats acceptables pour les mêmes raisons que ci-dessus (surestimation des rabattements au cours des 24 premières heures de pompage).

Il a été tenté de quantifier l'évolution temporelle de l'influence du pompage en Gouloué 1 sur le forage Gouloué 2 en procédant à :

- la soustraction des rabattements observés aux rabattements calculés (figure 18) ;
- une correction de cette différence (la solution analytique utilisée ne rendant pas bien compte de la partie de la descente comprise entre 300 et 500 minutes) permet de supprimer certaines valeurs négatives aberrantes (Figure 18). Elle ne permet cependant pas de constituer une série de données sur la base de laquelle puissent être réalisées des extrapolations précises voire une interprétation quantitative de l'interférence.

-

5.2.4. Qualité des eaux souterraines

5.2.4.1. Conductivité électrique des eaux souterraines

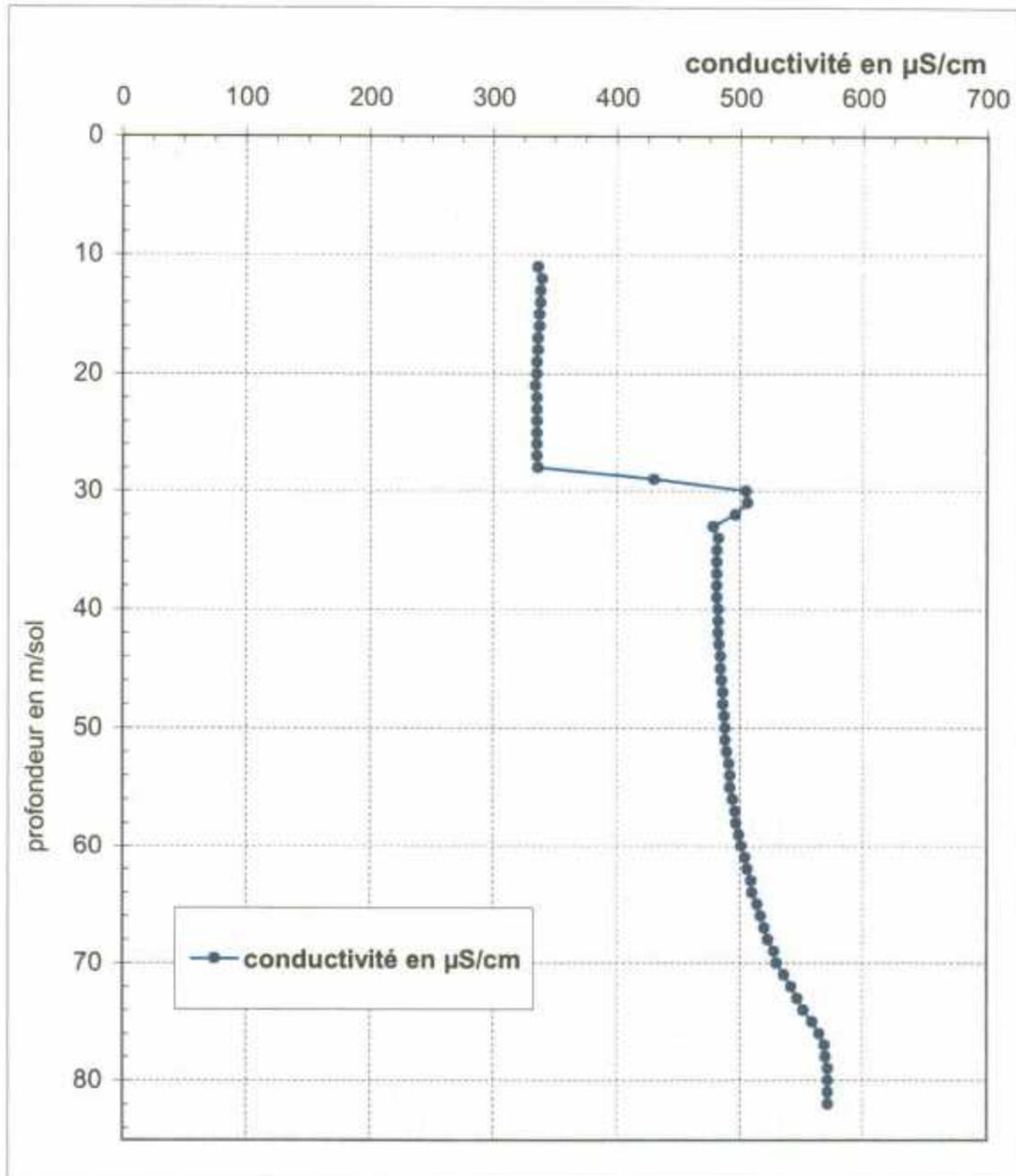
La conductivité électrique des eaux souterraines a été suivie à l'avancement à partir de 78 m de profondeur (Annexe 2). Elle est voisine de 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Au cours du développement et des pompages d'essai (Annexe 2), la conductivité électrique des eaux d'exhaure a montré les évolutions suivantes :

- nettoyage du puits : augmentation progressive de 440 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- développement : augmentation progressive de 425 à 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- essai de puits : conductivité stable comprise entre 470 et 477 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- essai de nappe : conductivité stable à 485 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Un log de conductivité a été effectué après les pompages d'essai, le jour de la réception du forage (Figure 19). Une variation significative de la conductivité est notable à partir de 30 m de profondeur. La conductivité est ensuite stable à environ 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de 30 à 55 m de profondeur. Elle croît ensuite régulièrement jusqu'à 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au fond du puits, ces dernières valeurs étant certainement peu représentatives du fait de l'augmentation de la turbidité des eaux à l'approche du piège à sédiment.

Figure 19 : Forage de Gouloué 2. Log de conductivité effectué le jour de la réception (18/08/03)



5.2.4.2. Analyses

Un prélèvement a été réalisé par le BRGM (aucun représentant de la SOGEA n'ayant pu se déplacer), en accord avec le Maître d'Ouvrage Délégué, le 25/06/2003 à 9 h 00, après 48 h de pompage. Les paramètres analysés, tous au laboratoire, sont les suivants (Annexe 3) :

- paramètres organoleptiques : odeur, couleur, turbidité et matières en suspension ;
- paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, TAC, THca, Thtotal, résidus sec, matières dissoutes) et quelques éléments majeurs (Ca, Mg, SO₄, Al, Cl, K) ;
- nitrates, nitrites, amonium ;
- Fe, Mn, PO₄, Zn, Cu.

Les paramètres suivants sont en dehors des limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Annexe 1, §I-1, au décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles) :

- **matières en suspension** : 2 mg/l. La norme recommande une absence de matières en suspension. Ce paramètre devra être surveillé lors de la mise en exploitation du forage. Néanmoins, compte tenu de la nature des formations captées (laves), la présence de MES devrait s'atténuer rapidement lors de l'exploitation du forage dans la gamme de débit préconisés.

Les paramètres suivants sont en dehors des références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine « témoins du fonctionnement des installations de production et de distribution d'eau » (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) :

- **manganèse** : 0,12 mg/l, alors que la référence de qualité se situe à 0,05 mg/l. Des excès en manganèse sont fréquemment observés au sein des aquifères volcaniques, en particulier lorsqu'ils sont captifs, et ont déjà été mis en évidence à Mayotte. Le traitement peut se faire par dilution ou par oxydation, par exemple.
- **magnésium** : teneur de 94,5 mg/l, alors que la référence de qualité se situe à 50 mg/l. Des teneurs élevées en magnésium ne sont pas exceptionnelles au sein des formations volcaniques, en particulier lorsqu'elles sont altérées. Le forage de Gouloué 1, situé dans le même contexte géologique, montraient lui aussi une teneur en magnésium dépassant la référence de qualité (50 mg/l). Le traitement peut lui aussi se faire par dilution.

Les paramètres bactériologiques n'ont pas été mesurés par la SOGEA, compte tenu de l'impossibilité de stériliser les installations avant prise d'échantillon.

6. Evaluation des débits exploitables

6.1. METHODOLOGIE

Une première évaluation des débits exploitables au forage de Gouloué 2 est proposée sur la base des mêmes hypothèses de travail que celles retenues, en concertation avec l'hydrogéologue de la DAF/SER, dans le rapport BRGM RP-51603-FR¹ :

1. **positionnement de la pompe permettant de maximiser le rabattement** : pompe pouvant même, dans des cas exceptionnels, être mise en place au sein de la partie crépinée du forage. Dans ces cas exceptionnels, sur demande du Maître d'Ouvrage, il a été choisi de proposer la mise en place de la pompe en regard des formations laviques, dont la nature est peu propice à l'entraînement de matières en suspension (MES). Par contre, il n'a pas été préconisé le positionnement de la pompe au droit de formations alluviales ou de formations volcaniques pyroclastiques ou altérées. L'objectif est de donner les moyens à l'exploitant, en cas de nécessité (période d'étiage marquée, besoin ponctuel important, etc.) de disposer d'une productivité maximale au forage, tant en terme de débit instantané que sur le long terme ;
2. **rabattement ne dénoyant pas les venues d'eau les plus significatives**, le dénoiement de celles-ci entraînant, en théorie, une réponse non linéaire de cette partie de l'aquifère, le débit produit n'étant alors plus proportionnel aux pertes de charge générées par le pompage. D'un point de vue pratique, le dénoiement d'une venue d'eau importante se traduit en général par une forte augmentation des rabattements, donc de l'énergie nécessaire au pompage (et des coûts de fonctionnement associés), pour un gain en terme de débit très faible, voire nul ;

et à partir :

3. **des résultats des pompages d'essai** (essai de puits et essai de nappe). Des contraintes plus pessimistes quant à la structure de l'aquifère (introduction de limites étanches et/ou suppression des limites alimentées), allant dans le sens de la sécurité, sont également prises en compte. Elles sont choisies en fonction du contexte hydrogéologique local ;
4. **de niveaux piézométriques d'étiage** estimés sur la base des mesures réalisées au cours des travaux et de l'expérience des fluctuations piézométriques naturelles inter-annuelles connues à Mayotte (de l'ordre de 1 à 3 m en général).

¹ LACHASSAGNE P., LADOUCHE B., PETIT V., JOURDAIN T., MOURON R. (2002).- Protection et optimisation de la ressource en eau souterraine à Mayotte. Réévaluation des débits d'exploitation des forages de 1999-2000, sur la base d'observations complémentaires réalisées en 2000-2001.- Rap. BRGM/RP-51603-FR, 89 p., 31 fig., 4 tab.

Cette évaluation fournit des éléments sur :

- la **profondeur préconisée d'installation de la pompe** ;
- la **hauteur manométrique, le débit maximal de pompage** et un débit minimum, dans une gamme de variation de 40%, classiquement autorisée par les fabricants, qui permettent un dimensionnement de la pompe ;
- le **débit maximal admissible** au sein du forage ;
- ainsi que des **recommandations** quant aux modalités de mise en exploitation de l'ouvrage et de gestion de l'aquifère.

Le « débit maximal de pompage » a été déterminé sur la base du **rabattement maximal admissible** :

- au bout d'un an de pompage ininterrompu (24h/24, 365 j par an). Ce paramètre **diffère sensiblement de celui utilisé dans le cadre du rapport BRGM/RP-51603-FR** (3 ans). Le choix d'une échéance à un an permet, en effet, de dimensionner l'équipement de pompage dans l'optique de la mise en œuvre d'une simulation d'exploitation du puits sur un cycle hydrologique, telle que préconisée au sein du présent rapport ainsi que dans le rapport BRGM/RP-51603-FR ;
- en considérant que le niveau d'eau dans le forage ne doit pas s'abaisser en dessous de la profondeur de la pompe + 5 m (longueur estimée de la pompe + marge de sécurité).

Le « débit maximal de pompage » devra donc être ajusté à l'issue du suivi de la phase probatoire de simulation d'exploitation, telle que définie au sein du présent rapport.

Le principe de dimensionnement proposé repose sur une exploitation en continu des forages ; si les besoins en eau sont moins importants, les forages peuvent, bien entendu, être exploités de manière discontinue.

Le mode d'exploitation en continu a été préféré, en concertation avec la DAF, pour des raisons de gestion du réseau de distribution, à une exploitation discontinue qui aurait permis une plus grande souplesse en terme de dimensionnement des pompes : les pompes auraient pu être dimensionnées pour des débits beaucoup plus forts, permettant de maximiser temporairement l'exploitation (plusieurs jours, plusieurs semaines ou lors de la ou des premières années de pompage) sachant, qu'en routine, la limitation du nombre d'heures de pompage quotidien aurait permis de réguler les volumes prélevés.

Ce type de rationalisation de l'exploitation pourra vraisemblablement être envisagé à terme lorsque le réseau de distribution sera équipé d'un dispositif de télégestion.

Le **rabattement maximal** est défini en sommant les pertes de charges quadratiques, qui s'établissent au sein de la partie captante du forage et dans son environnement immédiat, telles que déterminées à partir des paramètres calculés lors de l'interprétation de l'essai de puits, et les pertes de charge linéaires liées à l'écoulement au sein de l'aquifère. Ces dernières sont évaluées au moyen de la solution analytique ayant servi à l'interprétation de l'essai de nappe.

Ce calcul permet d'évaluer le débit exploitable au forage. Il convient néanmoins de conserver à l'esprit qu'il s'agit d'une **évaluation préliminaire** qui ne pourra être confirmée et/ou validée que dans le cadre d'une simulation d'exploitation de longue durée et/ou d'un suivi de la mise en exploitation du forage (voir chapitre 4).

En effet, les règles de l'art préconisent de ne pas dépasser, lors d'une extrapolation à partir des résultats d'un pompage d'essai, une durée supérieure à 10 fois celle de l'essai, ce qui correspondrait à 30 jours dans le cas du présent forage. Le suivi de ces prescriptions, s'il peut éventuellement être assoupli pour des milieux poreux homogènes, au sein desquels il est assez aisé de déterminer la présence d'éventuelles limites géologiques, est tout particulièrement important dans des milieux hétérogènes et compartimentés tels que les aquifères reconnus à Mayotte.

Des dimensionnements avec d'autres hypothèses que celles retenues et présentées au sein de ce rapport pourront être réalisés à la demande du Maître d'Ouvrage.

6.2. DEBIT D'EXPLOITATION DU FORAGE DE GOULOUE 2

6.2.1. Solution analytique - Paramètres hydrodynamiques

La solution analytique utilisée pour l'extrapolation des résultats du pompage d'essai est la solution analytique de Theis, avec une transmissivité $T = 1,65.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (cf. § 5.2.3.2).

Trois hypothèses concernant la structure de l'aquifère ont été considérées :

- H1 : absence de limite ;
- H2 : présence d'une limite étanche aux caractéristiques similaires à celles déduites du pompage d'essai (temps d'influence de 150 min) ;
- H3 : apparition du seconde limite étanche au bout de 72 h 30 de pompage, qui n'aurait pas pu être mise en évidence lors du pompage d'essai, celui-ci ayant duré 72 h.

6.2.2. Pertes de charges quadratiques au puits

Coefficient « c » déduit du pompage d'essai par paliers de débit ($c = 2,8.10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$).

6.2.3. Niveau piézométrique d'étiage

Sur la base d'une cote sol estimée à 55 m NGM au forage, la cote du niveau piézométrique a été mesurée à 45 m NGM le 18/08/03. Cette valeur est significative d'une période de début d'étiage.

Dans le cadre des estimations réalisées ci-dessous, il est proposé de considérer une cote piézométrique d'« étiage sévère » de **43,5 m NGM**.

6.2.4. Profondeur d'installation de la pompe

Compte tenu des éléments suivants :

- la première venue d'eau captée se situe à 57 m de profondeur (-2 m NGM) ;
- la base du tubage plein se trouve à 51,25 m de profondeur (3,25 m NGM).

Il est proposé de placer la pompe (base de la pompe ou bouche d'aspiration) à **66 m** de profondeur par rapport au niveau du sol, soit **-11 m NGM**.

La pompe se situe ainsi au sein des laves, dans une zone où n'ont pas été identifiées de venues d'eau.

6.2.5. Rabattement maximal admissible sans prise en compte du biseau salé

Avec l'objectif de ne pas dénoyer les crépines situées à 3,25 m NGM environ et la première venue d'eau située à -2 m NGM, le rabattement maximal admissible au forage de Gouloué 2 est de **40,25 m** (Figure 20).

6.2.6. Rabattement maximal admissible avec prise en compte du biseau salé

La prise en compte d'un critère de sécurité forte vis à vis du biseau salé (sur la base de l'hypothèse de Ghyben-Herzberg : niveau piézométrique ne devant pas descendre au sein de l'aquifère, en dessous de +0.5 m NGM compte tenu de la cote de la venue d'eau la plus profonde captée par le forage : - 9 m NGM), conduit à un rabattement maximal admissible de **43 m**. Le rabattement maximal autorisé par les caractéristiques de l'ouvrage étant de 40,25 m (cf 5.2.5), **le calcul sans biseau salé répond donc aux exigences de sécurité vis à vis du risque d'intrusion saline.**

De plus, plusieurs autres facteurs vont dans le sens de la sécurité du point de vue du risque d'intrusion saline :

- l'aquifère présente très vraisemblablement une forte anisotropie de perméabilité (perméabilité horizontale > perméabilité verticale), le risque de salinisation par upconing, tel qu'envisagé dans le cas de l'hypothèse de Ghyben-Herzberg, est donc très limité ;
- les aquifères sont relativement compartimentés latéralement à Mayotte.

6.2.7. Débits d'exploitation et éléments de dimensionnement de la pompe

Compte tenu du développement auquel le puits a été soumis (45 m³/h), il ne doit **pas faire l'objet d'un pompage à un débit instantané supérieur à 40 m³/h** environ (risque de venues de matières en suspension et de colmatage). Une exploitation à un débit plus élevé nécessiterait un développement complémentaire.

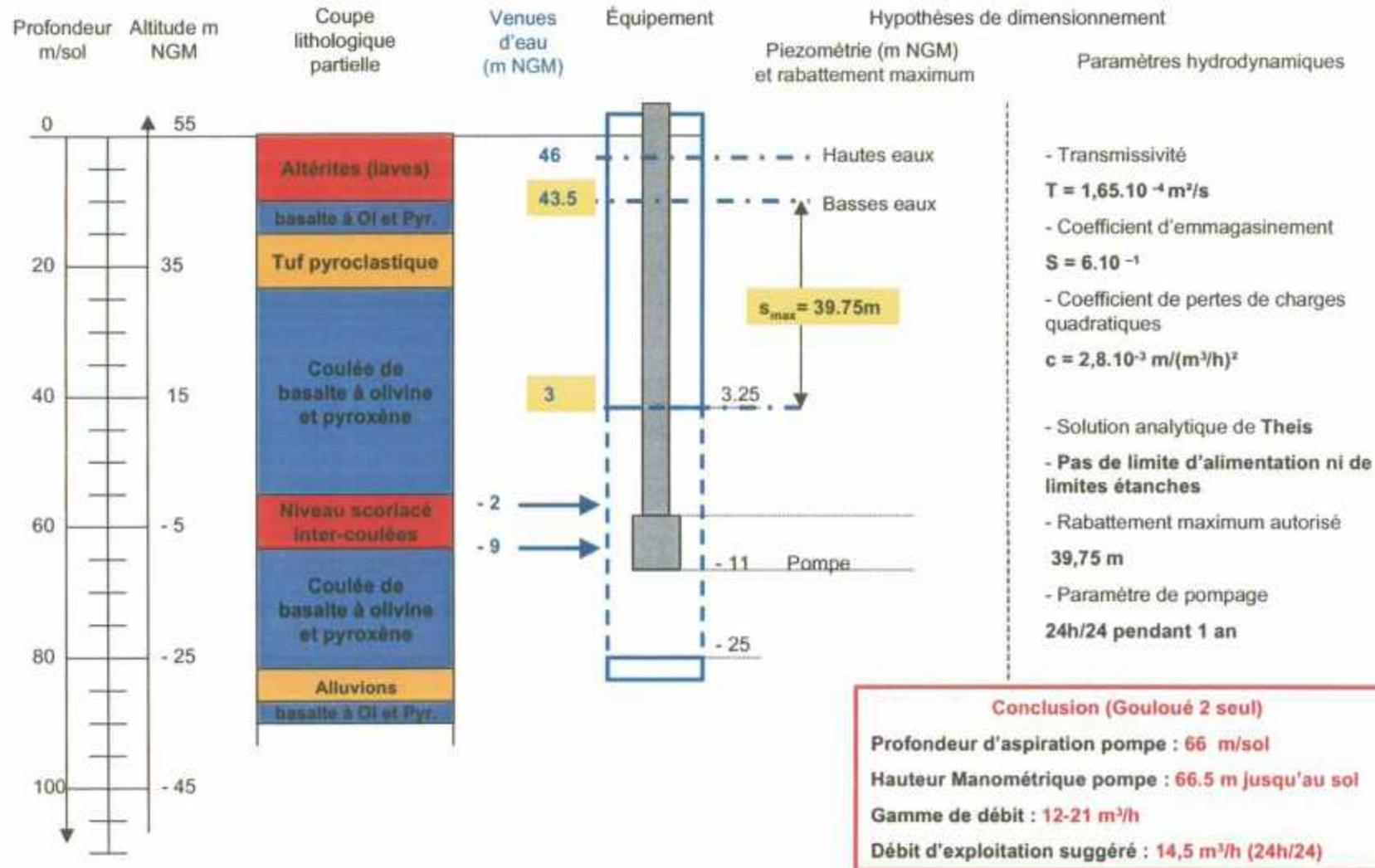
Les débits exploitables calculés en utilisant les conditions définies plus haut sont les suivants, pour les hypothèses H1 à H3 :

	Rabattement calculé (m)	Débit (m ³ /h)
H1	39,7	20
H2	39,9	14,5
H3	40,1	6

Sur cette base, les **éléments de dimensionnement de la pompe** pourraient être les suivants :

- pompe capable de produire dans une **gamme de débit de 12 à 21 m³/h**, pour une **hauteur manométrique maximale de 66 m** (jusqu'au sol). Il conviendra d'ajouter à cette valeur le dénivelé jusqu'au point de rejet, ainsi que les pertes de charge singulières au sein du dispositif d'exhaure et d'adduction) ;
- il serait souhaitable d'équiper la pompe d'un **variateur automatique au démarrage** pour limiter les risques d'entraînement de matières en suspension. Néanmoins, compte tenu des formations captées ce risque est faible.

Figure 20 : Forage de Gouloué 2. Synthèse du dimensionnement



6.2.8. Exploitation simultanée des forages de Gouloué 1 et 2

L'interférence en Gouloué 1, du pompage en Gouloué 2, est estimée à l'aide de la solution analytique tirée du suivi piezométrique en Gouloué 1 du pompage de longue durée en Gouloué 2 (cf. paragraphe 5.2.3.3).

Pour une transmissivité de l'aquifère de 6.10^{-4} m²/s et un débit de pompage de 15 m³/h au forage de Gouloué 2, l'interférence en Gouloué 1 (distant de 250 m) est de l'ordre de 3,1 m au bout d'un an de pompage.

En prenant les mêmes paramètres et un débit de pompage de 10 m³/h au forage de Gouloué 1, l'interférence en Gouloué 2 (distant de 250 m) est de l'ordre de 2,1 m au bout d'un an de pompage.

Dans ces conditions, l'évaluation des débits d'exploitation des forages de Gouloué 1 et 2 exploités simultanément nécessite **la prise en compte d'un rabattement supplémentaire égal aux interférences** calculées ci-dessus.

Gouloué 1

	sans interférence s max = 30 m		avec interférence (pompage à Gouloué 2 à 15 m ³ /h) s max = 26.9 m	
	Rabattement calculé (m)	Débit (m ³ /h)	Rabattement calculé (m)	Débit (m ³ /h)
H1	29	11	25.9	9.8
H2	28.5	8	25.9	7.3
H3	42	<2	39	-

La perte de débit au forage de Gouloué 1 due à la mise en exploitation du forage de Gouloué 2 à un débit de 15 m³/h est de l'ordre de **10%**.

Gouloué 2

	sans interférence s max = 40,25 m		avec interférence (pompage à Gouloué 1 à 10 m ³ /h) s max = 37,7 m	
	Rabattement calculé (m)	Débit (m ³ /h)	Débit (m ³ /h)	Rabattement calculé (m)
H1	39.9	20	37.9	19
H2	39.9	14.5	37.75	13
H3	40.1	6	37	5.75

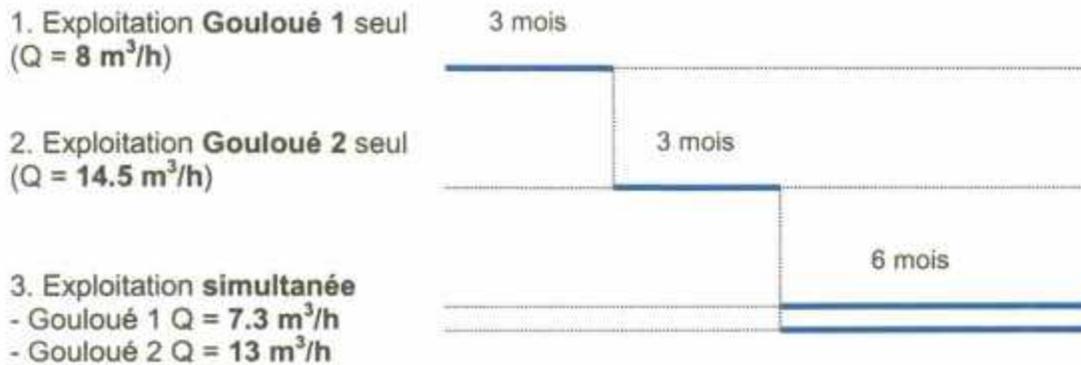
La perte de débit au forage de Gouloué 2 due à la mise en exploitation simultanée du forage de Gouloué 1 à 10 m³/h environ est de l'ordre de **5 %**.

Sur la base de l'**hypothèse H2**, la ressource en eau souterraine mobilisable dans la vallée de la Gouloué est :

	Débit d'exploitation m ³ /h	Débit total mobilisé m ³ /h
Gouloué 1 seul	8	8
Gouloué 2 seul	14.5	14.5
Gouloué 1 & Gouloué 2	7.3 13	20.3

Le débit mobilisable en exploitant simultanément les 2 forages est de l'ordre de **20.3 m³/h**, ce qui représente une baisse de 10% par rapport à la somme des potentialités des forages pris séparément.

Dans le cas d'une exploitation simultanée des 2 forages, il est suggéré de réaliser une mise en exploitation progressive des 2 puits au cours de la première année :



Cette procédure de mise en exploitation permettrait de préciser les caractéristiques de l'aquifère et en particulier les interférences entre les 2 forages et ainsi de préciser l'hypothèse la plus fiable concernant chaque forage (H1, H2 ou H3).

7. Conclusions - Recommandations

Sur la base des données acquises par l'intermédiaire du forage de Gouloué 2, il est préconisé :

1. d'équiper le forage pour son **suivi piézométrique**, à un pas de temps rapproché (inférieur à 1h), dès que possible, dans l'attente de la mise en place des équipements de pompage ;
2. de réaliser dès que possible des analyses chimiques complètes répondant à la réglementation en vigueur, la faisabilité d'exploitation de ce forage dépendant aussi de la qualité de ses eaux. Une attention particulière devra être portée vis-à-vis du manganèse et du magnésium, éléments d'ores et déjà identifiés comme pouvant justifier une dilution ou un traitement des eaux du forage avant distribution. Si un traitement des eaux du forage s'avérait nécessaire, une étude de traitabilité des eaux devrait être réalisée ;
3. d'équiper le forage d'une **pompe placée à 66 m de profondeur** et capable de produire dans une **gamme de débit de 12 à 21 m³/h**, pour une **hauteur manométrique maximale de 66.5 m** (jusqu'au sol) ; de doter le puits d'un tube guide crépiné, relié à un orifice situé au sein de la tête de puits permettant au moins la réalisation de mesures piézométriques de contrôle à la sonde électrique et, si possible, l'introduction au sein du forage d'une sonde de conductivité électrique destinée à la réalisation de profils de conductivité (dans ce dernier cas, il serait souhaitable que le tube-guide se prolonge jusqu'au fond du puits) ;
4. lors de la première année hydrologique d'exploitation (saison sèche – saison des pluies), de solliciter l'aquifère à un débit de **14.5 m³/h, 24h /24**, tout en assurant un suivi très détaillé des effets de cette exploitation. Ceci permettra de préciser les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère à long terme, ses modalités de recharge, de définir l'impact éventuel du forage sur le biseau salé, les relations eaux de surface / eaux souterraines (cours d'eau voisin du site), les interférences réciproques avec les autres forages (en particulier Gouloué 1 et Koualé), etc... Le suivi réalisé permettra, si nécessaire, de réviser le débit de pompage en cours d'année ;
5. bien que ce forage ne semble pas très exposé au risque d'intrusion saline, il est préconisé de réaliser un suivi qui intègre (outre les paramètres d'exploitation du forage (cf § 4.) la conductivité des eaux du forage.

Il serait également prudent de procéder à une métrologie indirecte du biseau salé par méthode géophysique électrique (sondages électriques calibrés sur le panneau électrique déjà réalisé), selon une périodicité bi-annuelle, par exemple, au cours des premières années d'exploitation ;

6. sur la base des observations réalisées, en particulier les modalités de recharge en saison des pluies, de **réviser le cas échéant, en fin de saison des pluies, les présentes préconisations** ;

7. de poursuivre un suivi allégé les années suivantes, afin d'ajuster les modalités d'exploitation de l'aquifère, en particulier sur la base des relations pluviométrie – recharge de l'aquifère.
8. si le Maître d'Ouvrage juge nécessaire et économiquement avantageux de mettre en exploitation simultanément les forages de Gouloué 1 & 2, il est recommandé de tester alternativement les 2 forages pendant 3 mois afin de confirmer les débits d'exploitation de chaque forage isolément et les interférences, de tester l'exploitation simultanée de 2 forages en pompant à **7 m³/h, 24h /24 au forage de Gouloué 1, et à 13 m³/h, 24h /24 au forage de Gouloué 2.**

La mise en œuvre de cette méthodologie permettra de définir les conditions d'exploitation durable des forages de Gouloué 1 et Gouloué 2.

Il est également recommandé, en préalable à l'alimentation en eau potable du public, de **procéder à la mise en œuvre des procédures réglementaires** : caractérisation de la qualité des eaux souterraines selon les normes en vigueur, procédures de demande d'autorisation d'exploiter, définition des périmètres de protection, etc.

Enfin, le site potentiellement le plus intéressant de la vallée de la Gouloué sur le plan des potentialités en eau souterraine (F1) n'a pas été foré et mériterait de l'être dès que possible afin de prendre en compte cette éventuelle ressource dans le plan d'investissement concernant cette vallée (adductions en particulier).

Bibliographie

- Audru J-C., Bitri A., Desprats J-F, Mathon C., Maurillon N., Sabourault P., Terrier-Sedan M., Sedan O., et Stollsteiner P. avec la collaboration de Rançon J-P. (2003) – Atlas des risques naturels à Mayotte – Bassin de risques de Mamoudzou, Koungou, Dzaoudzi et Pamandzi. Rapport BRGM/RP-52074-FR.
- Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte (DAF) – Annuaire hydrométéorologiques (2001 et 2002).
- Lachassagne P., Ladouche B., Petit V., Jourdain Th., Mouron R. (2002).- Protection et optimisation de la ressource en eau souterraine à Mayotte. Réévaluation des débits d'exploitation des forages de 1999-2000, sur la base d'observations complémentaires réalisées en 2000-2001.– Rap. BRGM/RP-51603-FR.
- Lachassagne P., Maurillon N. et Mouron R. (2002) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à 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.
- Lapègue J. (1999) – Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte – La ressource hydrique, l'assainissement pluvial et l'érosion. Thèse de Doctorat, Université de la Réunion.
- Sabourault P., Nédellec J.L. et Lebrun B. avec la coll. de Audru J.C. (2003) – Aménagement du remblai de Mlaspéré, commune de Mamoudzou, Mayotte. Évaluation de l'aléa sismique local. Rapport BRGM/RC-51142-FR.
- Stieltjes L, Cantagrel J.M, Nougier J., Vatin-Perignon N., Watelet P. (1988) – Carte géologique de Mayotte (Archipel des Comores). Echelle : 1/50 000, Collectivité Territoriale de Mayotte. BRGM, Orléans.

Annexes

Annexe 1 – Comptes-rendus journaliers de chantier (BRGM)

Rapport de chantier N° 157 du 03/06/03

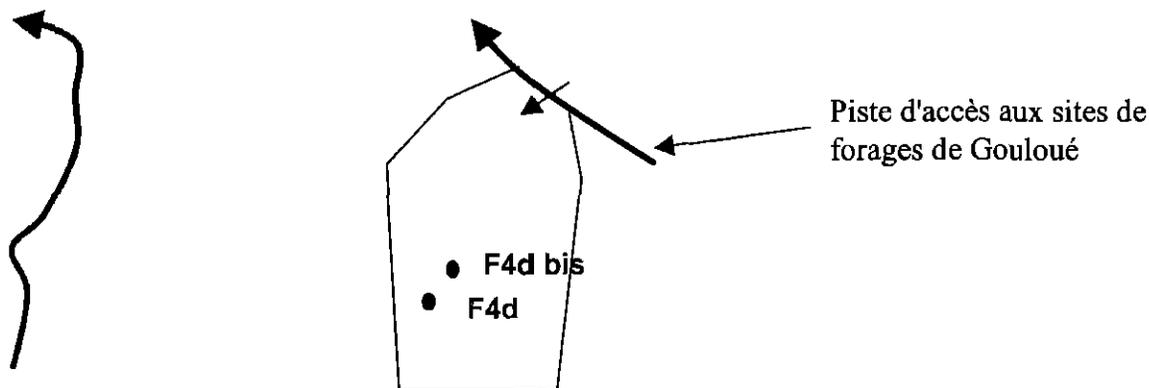
Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Localisation du forage F4d bis :



Rivière de la Gouloué

Plate forme de sondage

Les forages sont distants de 3 m environ. La localisation du forage F4d par rapport aux profils géophysiques (cf rapport de chantier 145) reste donc identique.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Température de l'air : 26.9 °C

Température de l'eau de la rivière Gouloué : 23.5 °C

Conductivité de l'eau de la rivière Gouloué : 205 µS/cm

Début de chantier : 07h30

Début de foration : 8h00

Profondeur TAV 16" : 18 m

Profondeur atteinte : 19.5 m

Métré foré le 30.04.2003 : 12 m

Métré foré le 03.05.2003 : 6.5 m

Fin de foration : 11h30

Venues d'eau :

Aucune venue d'eau n'a été constatée jusqu'à présent. L'entreprise injecte donc de la mousse pour faciliter l'extraction des cuttings.

Cuttings:

Les échantillons recueillis entre 12 et 18 m sont constituées de lave mésocrate, saine à altérée, à phénocristaux de pyroxène et d'olivine. Le caractère sain et anguleux des cuttings 12 et 13 contraste fortement avec le caractère isaltéritique et argileux des autres cuttings (13 à 18 m), même si la nature de la lave les constituant semble identique.

Indications Incidents:

L'entreprise dispose sur le site de 16 tube 14", soit un total de 96 m de tubage à l'avancement potentiel (avec le tubage 16") ; elle dispose si nécessaire de 16 m supplémentaires au port de Longoni.

Le piézomètre a été réalisée conformément aux recommandations du Maître d'Ouvrage Délégué. Compte tenu de la proximité du forage F4d bis (3 m) l'entreprise n'a pas terminé l'équipement du piézomètre (cimentation de surface).

La foration de 0 à 12 m a été réalisée par l'entreprise **sans que le BRGM en soit informé**, le 30.04.2003, les cuttings correspondant n'ont pas été pris par l'entreprise.

L'entreprise COFOR, suite à la réunion du 28.05.2003 et en accord avec le MOD a implanté le site F4d bis à 3 m du forage précédent malgré les résultats peu encourageants du forage précédent et les remarques du BRGM concernant l'hydrothermalisation poussée des formations rencontrées sur le forage F4d bis (cf Rapport de chantier 153).

La foration de 12 à 18 m s'est poursuivie le 03.05.2003 en présence du BRGM, les échantillons ont été prélevé par l'entreprise conformément au DCE.

La foration a été poursuivie 1.5 m en dessous du tubage 16", jusqu'à 19.5 m de profondeur par rapport au sol, de manière à faciliter la mise en place du tubage 14".

Dans la mesure ou le tubage 14" sera descendu des que le nouveau taillant élargisseur sera disponible, le BRGM et l'entreprise sont d'accord pour **arrêter le tubage 16" à 18 m**, comme sur le forage F4d.

Le chantier est arrêté jusqu'à réception du nouveau taillant par l'entreprise, sans facturation spécifique de la part de l'entreprise au client..

L'entreprise mettra à profit le temps disponible pour préparer les tubes 14" et effectuer quelques petites réparations sur la machine.

Fin du chantier : 14h00

Rapport de chantier N° 158 du 06/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Compte rendu de la réunion du 28/05/03 :

Personnes présentes:

Maître d'Ouvrage Délégué : - M.L. Giorgi, hydrogéologue DAF/SER
Maître d'œuvre: - M. R. Mouron, directeur de l'antenne BRGM Mayotte
- M. O. Jossot, VCAT, hydrogéologue BRGM Mayotte
- M. J. Bonnier, stagiaire BRGM
Entreprise COFOR: - M. D. Latecoere, chef sondeur de COFOR

La réunion s'est tenue dans les locaux du BRGM Mayotte, de 10h00 à 11h00.

Relevé de décision concernant le forage F4d bis

Le taillant qui devait arriver le 06.06.2003 est bloqué à la Réunion pour une durée indéterminée en raison des grèves du personnel des douanes (informations COFOR).

Dans ces conditions l'entreprise propose au Maître d'œuvre et au Maître d'ouvrage de :

- poursuivre la foration et le tubage 16" jusqu'à 30 m ;
- utiliser l'outil 15 pouces en trou nu et forer le plus profondément qu'il le permet ;
- passer à la méthode de forage Rotary, avec « boue », en cas de besoin.

Le Maître d'œuvre et le Maître d'ouvrage acceptent ces propositions si l'entreprise assure :

- un prélèvement des cuttings régulier (conforme au DCE) ;
- un espace annulaire suffisant pour équiper le forage en tube 10" et disposer un massif de graviers de 2" d'épaisseur de part et d'autre du tube ;
- prendre l'entière responsabilité de tout problème technique liée à la foration sans tubage.

Le BRGM a demandé à l'entreprise de préciser sa position si des problèmes techniques limitaient la profondeur d'exploration à moins de 100 m, sachant que l'objectif principal de ce forage, pour le Maître d'Ouvrage Délégué, est de forer suffisamment profond pour reconnaître le substratum des formations cendreuse recoupées au forage de Gouloué1.

De même, le BRGM demandera à l'entreprise des précisions sur le polymère utilisé pour la foration en rotary et surtout sur les moyens dont dispose l'entreprise pour casser cette boue et enlever le cake (développement particulier, produit chimique spécifique...).

Le BRGM rappelle aussi qu'en forant au rotary, il est très délicat de détecter les venues d'eau de faible importance. L'identification de la perméabilité des formations recoupées et donc de la productivité potentielle du forage se fera donc essentiellement sur la base de la description lithologique des cuttings.

Rapport de chantier N° 159 du 07/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Température de l'air : 28.5°C à 10h00

Température de l'eau de la rivière Gouloué : 23.6 °C à 10h10

Conductivité de l'eau de la rivière Gouloué : 202 µS/cm à 10h15

Débit de la rivière Gouloué : non mesuré

Début de chantier : 07h30

Profondeur TAV 16" : 18 m

Profondeur atteinte : 19.5 m

Indications Incidents:

L'entreprise a procédé à la mise en place et à la soudure du 4^e tubage 16" conformément aux décisions prises lors de la réunion du 06.06.2003 (cf. CR 158).

Néanmoins, **il n'a pas été possible de forer aujourd'hui en raison d'un problème technique.** En effet, le marteau 15" est bouché, l'air injecté à haute pression ne sortant pas du tuyau d'exhaure.

Après de nombreuses tentatives infructueuses, l'entreprise a décidé de remonter l'ensemble des tiges de foration et le marteau. Après démontage l'entreprise a constaté que le marteau était bel et bien bouché par des débris fins de laves pris dans une masse argileuse qui a probablement séché durant l'arrêt du chantier.

La cause la plus probable est un mauvais nettoyage du marteau après foration.

L'entreprise a remis en place le marteau, les tiges de foration, et a soudé le 4^e tube 16". La foration reprendra lundi 9 Juin, en l'absence du BRGM pour des raisons d'assurance (le Maître d'œuvre délégué en a été informé au cours de la réunion du 06.06.2003).

Fin du chantier : 16h00

Rapport de chantier N° 160 du 10/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Température de l'air : 28.5°C à 10h00

Température de l'eau de la rivière Gouloué : 23.8 °C à 10h30

Conductivité de l'eau de la rivière Gouloué : 209 µS/cm à 10h30

Débit de la rivière Gouloué : non mesuré

Début de chantier : 07h30

Profondeur TAV 16" : 30 m

Profondeur atteinte : 70 m

Métré foré : 40 m

Venues d'eau :

Des venues d'eau non mesurables (<1 m³/h) ont été repérées à 27, 31 et 33 m de profondeur.

Une venue d'eau significative a été observée à 57 m de profondeur, le débit au soufflage est estimé à 13 m³/h avec 20 % de perte environ (soit un total d'environ 15 m³/h).

Une seconde venue d'eau significative a été repérée à 64 m de profondeur, le débit au soufflage (cumulé) est estimé à 18 m³/h avec 20 % de perte (soit un total d'environ 22 m³/h).

Un troisième débit au soufflage de 18 m³/h avec 20 % de perte a été mesuré à 70 m de profondeur, en fin de chantier de foration.

Compte tenu de la forte charge de ces eaux, aucune mesure de conductivité n'a pu être réalisée.

Vitesse d'avancement :

- de 24 m à 32 m de profondeur : 1 m en 5 minutes
- de 32 m à 46 m de profondeur : 1 m en 10 minutes

CAMPAGNE 2001-2003 DE FORAGES POUR L'EXPLORATION DES EAUX SOUTERRAINES A MAYOTTE

- de 46 m à 55 m de profondeur : 1 m en 5 minutes
- de 55 m à 56 m de profondeur : 1 m en 10 minutes
- de 56 m à 60 m de profondeur : 1 m en 20 secondes
- de 60 m à 62 m de profondeur : 1 m en 5 minutes
- de 62 m à 65 m de profondeur : 1 m en 20 secondes
- de 65 m à 67m de profondeur : 1 m en 8 minutes
- de 67 m à 70 m de profondeur : 1 m en 3 minutes

Cuttings :

L'analyse des cuttings montre l'alternance d'un ensemble de coulées, potentiellement interstratifiées de cendres indurées, de 24 m à 56 m de profondeur. Ensuite, de 56 m à 70 m de profondeur, l'ouvrage semble recouper des coulées de lave saines d'épaisseur plurimétrique avec des venues d'eau localisées au sein des niveaux scoriacés.

Indications Incidents:

L'entreprise a consacré les journées du 08/06/03 et du 09/06/03 à la descente des quatrième et cinquième tubages à l'avancement 16 pouces.

La foration simple s'est poursuivie sans incident jusqu'à la profondeur de 70 m. De la mousse a été utilisée pour faciliter la remontée des cuttings.

Faute de bac de décantation, de la boue se déverse dans la rivière Gouloué et rend l'eau turbide sur 200 m en aval. Le risque sanitaire est limité puisqu' aucun captage d'eau brute n'est présent en aval du forage, néanmoins l'eau est utilisée par la population de Passamainti pour laver le linge. Le BRGM avait déjà demandé à l'entreprise la réalisation d'un bac à décantation au début des travaux de foration, bac qui n'avait pas été réalisé par COFOR en raison de la superficie limitée de la plate-forme et de l'absence de venues d'eau constatées.

A la fin du chantier, l'entreprise a remonté le train de tige au niveau de la base du tubage à l'avancement 16 pouces.

Compte tenu de l'objectif du forage (reconnaissance profonde) et des venues d'eau observées, le BRGM préconise la poursuite de la foration en conformité avec le relevé de décision de la réunion du mercredi 28.05.2003.

Fin du chantier : 16h00



Rapport de chantier N° 161 du 11/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Température de l'air : 26.5°C à 08h45

Température de l'eau de la rivière Gouloué : 23.9 °C à 10h30

Conductivité de l'eau de la rivière Gouloué : 206 µS/cm à 10h30

Débit de la rivière Gouloué : non mesuré

Piézométrie :

La piézométrie mesurée le matin par l'entreprise COFOR est de **10.60 m** par rapport au sol.

Début de chantier : 07h30

Profondeur TAV 16" : 30 m

Profondeur atteinte : 82 m

Métré foré : 12 m

Venues d'eau :

Pas de venue d'eau observée lors de la foration de ce métré.

Les mesures de débit au soufflage sont :

- 34 m³/h à 78m de profondeur par rapport au sol sans perte majeure ;
- et 27 m³/h à 82 m de profondeur par rapport au sol sans perte majeure, après un soufflage prolongé visant à nettoyer l'ouvrage de la mousse et débloquer l'outil.

La conductivité de l'eau du forage est de 504 µS/cm, sa température de 28.4 °C.

Vitesse d'avancement :

Les vitesses à l'avancement ont varié entre 7.5 et 20 m par heure.

Cuttings :

L'analyse des cuttings montre des faciès scoriacés en alternance avec des niveaux de laves saines, les niveaux scoriacés recoupés vers 57 et 64 m de profondeur assurant l'essentiel de la productivité du puits.

Indications Incidents:

L'entreprise COFOR a mis en place une bâche en dessous du siphon évacuateur pour protéger le sol de l'érosion et stabiliser la plate forme.

La foration simple s'est poursuivie sans incident jusqu'à 82 m. A cette profondeur, l'outil s'est bloqué a deux reprise avant que le foreur ne réussisse à remonter totalement le train de tige.

De la mousse a été utilisée pour faciliter la remontée des cuttings.

Après concertation entre l'entrepreneur, le Maître d'Oeuvre et le Maître d'Ouvrage Délégué, il a été décidé de poursuivre la foration au tricône 12 pouces $\frac{3}{4}$.

Compte rendu de la réunion sur le site de forage :

Personnes présentes:

Maître d'Ouvrage Délégué : - M.L. Giorgi, hydrogéologue DAF/SER

Maître d'œuvre : - M. O. Jossot, VCAT, hydrogéologue BRGM Mayotte

- M. J. Bonnier, stagiaire BRGM

Entreprise COFOR : - M. D. Latecoere, chef sondeur de COFOR

La réunion s'est tenue sur le chantier du forage de Gouloué F4d, de 13h30 à 14h00.

Relevé de décision concernant le forage F4d bis

Position de l'entreprise COFOR :

Etant donné les blocages répétés du marteau fond de trou 15", respectivement à 78 et à 84 m de profondeur, le foreur ne souhaite pas descendre plus profond avec cet outil.

Néanmoins, le foreur dispose sur Mayotte d'un outil de type tricône 12"^{1/4} et d'un tricône 14"^{3/4}. Cette méthode de forage est réalisable à l'air et permet de récupérer des cuttings et de procéder à des mesures de débit à l'avancement. De plus, il est envisageable de forer au tricône 12"^{1/4} et, si besoin est, d'aléser ultérieurement le trou de manière à équiper le forage en tube 10".

Position du Maître d'œuvre BRGM :

D'un point de vue hydrogéologique, il est **intéressant de poursuivre la foration** d'une part dans un objectif de production d'eau, afin de mettre en valeur tout le potentiel des formations laviques saines en cours de foration (57 à 82 m de profondeur par rapport au sol), dont la base n'a pas été atteinte, et d'autre part pour reconnaître la nature du substratum de ces formations et leur éventuel potentiel hydrogéologique.

Le remblai au fond du trou est peu important (4 m ce matin), les formations recoupées sont des coulées de lave saines, le risque de blocage de l'outil est donc modéré.

Néanmoins, l'utilisation du MFT 15" sur ce forage sans lubage à l'avancement est de la responsabilité du foreur (cf. CR 158) et la décision d'arrêter le forage pour raison technique est de son ressort. S'il décide de continuer sans attendre l'arrivée de l'outil élargisseur permettant la pose de tubages 14", il prendra l'entière responsabilité de la décision.

Position du Maître d'Ouvrage Délégué DAF:

M. L. Giorgi a demandé au BRGM quel était le débit minimum obtenu au soufflage depuis 70 m de profondeur : 27 m³/h mesuré après un soufflage d'une heure suite au blocage de l'outil à 82

**CAMPAGNE 2001-2003 DE FORAGES POUR L'EXPLORATION DES EAUX SOUTERRAINES A MAYOTTE**

m/sol . M. L. Giorgi a également rappelé que les débits au soufflage réels obtenus à Gouloué 1 étaient de l'ordre de 17-18 m³/h, pour un débit d'exploitation d'environ 8 m³/h. Le présent forage pourrait donc présenter d'ores et déjà un potentiel sensiblement supérieur à 10 m³/h.

Sur cette vallée la DAF optimisera ses investissements **si le débit exploitable est de 20 m³/h en exploitant simultanément les deux forages**. En effet, compte tenu des enjeux en matière d'alimentation en eau potable sur l'île de Mayotte, la stratégie de la DAF est exploiter également les forages dont le débit d'exploitation est compris entre 10 et 30 m³/h.

M. L. Giorgi rappelle également les enjeux en terme d'exploration géologique, à ce titre M. L. Giorgi demande au foreur de descendre une à deux tiges en utilisant le tricône 12^{n°1/4} de manière à poursuivre la reconnaissance.

En conclusion le chantier reprendra demain matin, une tige (ou deux suivant les cuttings observés) seront forées au tricône 12^{n°1/4}. Un point sera fait en compagnie du maître d'ouvrage délégué après cette reconnaissance pour décider de l'éventuelle poursuite du forage.

Essais par pompage:

M. L. Giorgi a demandé au BRGM de réaliser un essai de nappe en pompant simultanément dans les deux forages de manière à simuler leur exploitation.

Le BRGM a rappelé que, conformément au DCE, l'essai de nappe de 72 heures prévu au marché pour chaque forage sera réalisé sur le forage de Gouloué F4d bis sans pompage sur Gouloué 1. L'influence de ce pompage au forage de Gouloué 1 fera l'objet d'une attention particulière (mesures piézométriques régulières, dès avant la mise en œuvre du pompage d'essai et mise en place d'un Diver si possible). Une fois le pompage d'essai sur F4d bis terminé et les niveaux piézométriques retournés à leur état initial aux deux forages, un pompage d'essai sur le forage de Gouloué 1, avec suivi en F4bis, pourrait être mis en œuvre.

Les résultats obtenus permettant, si les 2 essais présentent une durée suffisante, **de préciser les interférences entre les deux forages**. Il semble par contre hasardeux, en terme de difficulté d'interprétation des essais, de vouloir mettre en œuvre les deux essais de manière simultanée, sauf si une réelle stabilisation des niveaux piézométriques était observée au forage F4bis.

Le Maître d'ouvrage délégué a réitéré sa demande de réaliser, sur le même marché, **des essais par pompage complémentaires sur les sites de Bandré et de Bouyouni-Méresse**.

Equipement du puits:

Suite aux constatations effectuées à la remontée des crépines sur d'autres sites de forage (crépines partiellement bouchées par des éléments de graviers fins 4-6 mm), le Maître d'Ouvrage Délégué a demandé que l'entreprise mette en place des graviers de plus grosse taille.

L'entreprise a fait remarquer qu'il existait des graviers de taille 6-10 mm.

Le BRGM n'y voit pas d'inconvénients, en particulier sur ce site où les formations aquifères sont des laves. Cette décision devra éventuellement être revue sur des sites où d'autres formations seraient captées (pyroclastites par exemple).

Fin du chantier : 15h00

Rapport de chantier N° 162 du 12/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Débit de la rivière Gouloué : non mesuré

Température de l'air : 27 °C à 11h30

Température de l'eau de la rivière Gouloué : 23° C à 11h30

Conductivité de la rivière Gouloué : 201 µS/cm à 11h45

Piezométrie :

Le niveau piézométrique a été mesuré à **11.85 m** par rapport au sol à 8 h00.

Début de chantier : 07h30

Début de foration : 9 h 15

Fin de foration : 11 h 30

Métré foré : 4 m

Profondeur atteinte : 88 m

Vitesse à l'avancement :

La vitesse à l'avancement est élevée au sein de l'horizon meuble (cendres ?) recoupé de 83 à 86.5 m : vitesse moyenne de 10 m/h.

Au sein de la lave saine recoupée à partir de 86.5 m de profondeur, la vitesse chute à 0.75 m/h. L'outil a alors beaucoup de difficulté à avancer au sein de cette formation, ce qui est logique (rotary).

Cuttings:

L'analyse des cuttings de 83 à 86.5 m montre un changement de lithologie. Sous réserve d'analyse plus poussée il s'agirait de cendres.

De 86.5 à 88 m, la formation rencontrée est une coulée de lave saine, à olivine et pyroxène, ou l'on distingue des débris verdâtres.

Indications Incidents:

L'entreprise a procédé à la mise en place du train de tige et du tricône 12"1/4.

La foration s'est déroulée sans incident jusqu'à 87 m. Une formation de lave dure et saine a été recoupée à partir de cette profondeur. Cette formation est très difficile à forer avec le tricône 12"1/4 (inadaptation de l'outil au terrain). En effet la vitesse de foration est voisine de 0.5 m/h.

Au cours du soufflage, des bulles d'air sortent du massif de gravier mis en place autour du piézomètre réalisé sur le trou F4d.

Le foreur est préoccupé par l'horizon plus meuble rencontré de 83 à 86.5 m. En effet, des mesures de la hauteur de remblais montrent que cette formation comble le trou très rapidement après foration (1.5 m de remblais constaté dès l'arrêt de la foration).

D'un point de vue hydrogéologique, la coulée de lave saine rencontrée à partir de 86,5 m de profondeur par rapport au sol est potentiellement intéressante en terme d'exploitation d'eau potable (venues d'eau possibles plus profondément au sein de faciès perméables de ce type de formation). Le BRGM recommande donc, sur ces seuls critères hydrogéologiques, de continuer la foration.

Le Maître d'Ouvrage Délégué, présent sur le chantier durant l'ensemble des travaux de foration aujourd'hui, **décide d'arrêter le chantier à cette profondeur et d'équiper le forage**. Les arguments sont d'une part les risques d'éboulement, de perte de l'outil et, potentiellement, de perte du puits si l'on décide de poursuivre la foration, compte tenu des outils et du matériel à disposition de l'entreprise de forage (cf. compte rendus précédents). Cette solution permet de préserver un forage dont les résultats sont encourageants (10-15 m³/h environ) qui pourrait être mis en exploitation en parallèle du forage existant de Gouloué 1 (débit d'exploitation d'environ 8 m³/h) et raccordés à la conduite d'adduction existant au sein de la vallée.

Le forage est donc arrêté à une profondeur de 88 m sous réserve de remblais éventuel. Les 4 derniers mètres ont été réalisés au diamètre 12"1/4. Ces derniers mètres ne seront pas allésés dans la mesure où aucune venue d'eau n'y a été mise en évidence.

Le matériel nécessaire à l'équipement du forage sera convoyé dans l'après midi.

L'équipement du forage débutera demain matin selon le schéma proposé en annexe au présent document.



Rapport de chantier N° 163 du 13/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Débit de la rivière Gouloué : non mesuré

Température de l'air : 30.1°C à 12h00

Température de l'eau de la rivière Gouloué : 23.5 °C à 11h30

Conductivité de l'eau de la rivière Gouloué : 203 µS/cm à 11h45

Début de chantier : 07h00

Piézométrie :

La piézométrie a été mesurée à 8h00 : **11.50 m** par rapport au sol, ainsi qu'après la mise en place des tubes à 16 h 00: **11.66 m** par rapport au sol. Le niveau est conforme aux mesures réalisées au cours des travaux de foration.

Indications Incidents:

La profondeur du trou mesurée à la sonde est de 85.5 m. Il y a donc 2.5 m de remblais, comme la veille.

L'équipement partiel du puits a été réalisé comme suit :

- de 80 à 81.88 m de profondeur : tube plein et bouchon de ciment ;
- de 51.25 à 80 m de profondeur : 5 tubes crépinés pour une longueur totale de 28.75 m ;
- de 51.25 de profondeur / sol à +0.5 m au dessus du sol : 9 tubes pleins pour une longueur totale de 51.75 m.

L'ensemble des tubes a été vissé (1 à 4 vis par filetage). Des centreurs ont été posés à chaque filetage à partir de 24 m de profondeur, le foreur ne préférant pas mettre de centreur au sein des 20 premiers mètres de TAV pour limiter les risques d'arrachement lors de l'enlèvement du TAV et pour faciliter le passage de la sonde à gravier.

Le fond du trou a été comblé avec du gravier de 85.5 m à 82 m de profondeur / sol.

L'annulaire a été rempli avec du **gravier 6 – 10 mm** conformément aux décisions prises (cf rapports précédents) de 82 m à 43 m de profondeur (mesuré à la sonde).

Le volume théorique de graviers à mettre en place est de 4300 litres soit environ 235 seaux. En pratique il a été mis en place 250 seaux.

CAMPAGNE 2001-2003 DE FORAGES POUR L'EXPLORATION DES EAUX SOUTERRAINES A MAYOTTE

Le développement à l'air lift aura lieu demain suivant la même procédure que sur le site de Bouyouni-Méresse.

Des compléments de graviers seront ajoutés pour atteindre la profondeur de la cimentation intermédiaire et du bouchon d'argile (de 20 à 31 m de profondeur/sol).

Fin de chantier : 16h30

Rapport de chantier N° 164 du 14/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Débit de la rivière Gouloué : non mesuré

Température de l'air : 27.5°C à 8h00

Température de l'eau de la rivière Gouloué : 22.1 °C à 8h05

Conductivité de l'eau de la rivière Gouloué : 200 µS/cm à 8h15

Début de chantier : 07h00

Piezométrie :

La piezométrie a été mesurée à 7h15 : **11.60 m**

Indications Incidents:

L'entreprise ne travaillant que jusqu'à 12h00 le nettoyage / développement du puits n'a pas pu être terminé dans la demi journée de travail.

Le nettoyage du puits a été réalisé à l'air lift en face des crépines de 48.5 à 79 m de profondeur par rapport au sol. Le temps soufflage complet (en comptant les arrêts pour changement de tige) est de 3h40. Le temps de soufflage effectif est de **2h32 min**.

L'eau de sortie est brune grisâtre en début de soufflage sur chaque tige et devient de plus en plus claire, sans toutefois devenir limpide.

De très peu nombreux débris de lave sont remontés lors du développement, preuve que le développement est efficace. De la poussière provenant du massif de gravier mis en place la veille a également été observé dans l'eau de sortie. En fin de nettoyage le massif de graviers n'a pratiquement pas bougé (1 m de baisse).

Les débits obtenus au soufflage sous 10 bar de pression augmentent avec la profondeur et le nettoyage du puits, de **36 m³/h** à 54 m de profondeur /sol jusqu'à **45m³/h** à 73 et 79 m de profondeur /sol. La conductivité mesurée est relativement stable de **460 à 500 µS/cm**.

Compte tenu du faible temps de soufflage réalisé, du bon comportement du puits vis à vis du nettoyage et du développement et surtout du fait que ces opérations ne sont pas terminées, le BRGM a demandé à l'entreprise de poursuivre le développement lundi matin, à l'air-lift de pompage.

Le changement de méthode n'a pas de répercussion financière puisque cela reste considéré comme des heures de soufflage.

Fin de chantier : 12h00

Rapport de chantier N° 165 du 16/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée

Température de l'air : 28.6 °C

Conductivité de la rivière de la Gouloué : 205 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 10 h00

Température de la rivière de la Gouloué : 22.9°C à 10h00

Débit de la rivière de la Gouloué : non mesuré

Début de chantier : 07h30

Piezométrie :

La piezométrie a été mesurée à 7h30 à **10.4 m** par rapport au sol.

Indications Incidents:

L'entreprise a procédé à la mise en place du système d'air lift de 8h00 à 11h00. Le soufflage a été réalisé en face de toutes les crépines, de 49 m à 77.9 m de profondeur par rapport au sol. L'injection d'air est réalisée 7 m au dessus de la limite inférieure du dispositif d'air lift.

Ce système a permis de souffler en face des crépines à une pression de 12-14 bar au lieu de 10 bar samedi.

Le temps de soufflage effectif réalisé est de **2 h 15**. Le temps de soufflage total est de 9 h (en comptant les temps d'arrêt de pose et de démontage des tubes).

Quelques rares débris jaunes rouges de taille infra millimétrique et de la mousse ont été observés en début de soufflage.

En fin de développement l'eau de sortie est limpide, la conductivité mesurée s'échelonne de **426 à 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$** .

Les débits mesurés au fut augmentent avec la profondeur.

Le débit maximum mesuré au fut de 200l est de : **35 m³/h** (soufflage à 71 m de profondeur /sol).

Le débit minimum mesuré au fut de 200l est de : **28 m³/h** (soufflage à 50 m de profondeur/sol).

**CAMPAGNE 2001-2003 DE FORAGES POUR L'EXPLORATION DES EAUX SOUTERRAINES A MAYOTTE**

Le système utilisé permet de suivre le niveau piézométrique en cours de soufflage, réalisé à 70 m/sol sur une durée totale de 30 min pour un débit mesuré de 35 m³/h :

Piezométrie (m/sol)	34.55	36.05	36.3	36.85	37.35	37.47
Temps de soufflage (min)	10	12	15	20	26	29

Le rabattement est de l'ordre de 27,5 m. Dans ces conditions, la première venue d'eau, située à 54 m par rapport au sol n'est pas dénoyée.

La mise en place du complément de gravier et de la cimentation partielle sera réalisée demain (cf. plan d'équipement joint).

Fin des travaux de chantier : 16 h00

Rapport de chantier N° 166 du 17/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Température de l'air :

Débit de la rivière Gouloué : non mesuré

Conductivité de la rivière Gouloué :

Température de la rivière Gouloué :

Début de chantier : 07h00

Piezométrie :

Le niveau piézométrique a été mesuré à **10.5 m/sol** à 7h30.

Indications Incidents:

Le niveau des graviers a été mesuré à 43 m/sol après le développement. Le massif de gravier a baissé de 1 m durant le développement.

L'entreprise a mis en place le complément de massif de graviers de 43 à 33 m, soit un volume théorique de 60 seaux. En pratique l'entreprise a mis en place 57 seaux de graviers 6-10 mm ainsi que 6 seaux (soit 1 m environ) de sable pour éviter de potentielles circulations de ciment à travers le massif de gravier.

Le **bouchon d'argile** a été mis en place entre 30 et 31,5 m. L'annulaire a été cimenté de 20 à 30 m de profondeur /sol, ce qui correspond à un volume théorique de 37 sacs de ciment et à un volume d'eau de 0.5 m³. En pratique, suite à des problèmes de flexible bouchés, 47 sacs de ciments ont été utilisés et une partie du ciment fabriqué perdue. La densité du ciment injecté a été mesurée à 1,7.

L'équipement du puits sera finalisé demain.

Le chef sondeur s'est absenté pour aller sur le site de Poroani. La piste a été réalisée et la plateforme de forage est en cours de réalisation par l'entreprise Tétrama.

Rapport de chantier N° 167 du 18/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée

Début de chantier : 07h00

Piezométrie :

La piezométrie a été mesurée à 10h30, après cimentation finale, à **10.4 m** par rapport au sol.

Indications Incidents:

L'échantillon de ciment prélevé la veille a bien pris. **Le top du ciment est à 23 m de profondeur** par rapport au sol. **Le fond du trou a été mesuré** à 81.55 m au lieu de 81.88 m prévu dans le plan d'équipement (20 cm de bouchon de fond, 5 cm de décalage par rapport au plan, potentiellement 5 cm de sédiments en fond de trou).

L'entreprise a comblé l'annulaire par du **gravier** jusqu'à 11 m de profondeur par rapport au sol, puis par un **bouchon d'argile** sur 1 m, et enfin par **du ciment** de 11 m à 0.5 m de profondeur par rapport au sol. L'entreprise a ajouté du gravier pour arriver jusqu'à la surface. 36 sacs de ciment ont été utilisés pour cette cimentation. Etant donné les difficultés rencontrées la veille (problèmes d'aspiration de la pompe et de bouchage des flexibles, le ciment a été préparé dans un fut de 200 l et versé dans le trou.

L'entreprise a ensuite procédé au déménagement du chantier sur le site de Poroani.

L'essai de pompage par paliers de débit sera réalisé demain ou après demain suivant le temps nécessaire à l'entreprise pour mettre le système de pompage en place. En accord avec le foreur, la pompe 8" sera placée en fond du trou (profondeur d'aspiration prévue 79 m). Les paliers seront non enchaînés et exploreront les gammes de débit suivantes :

- 5 - 8 m³/h pendant une heure, puis une heure de remontée ;
- 10 - 14 m³/h pendant une heure puis une heure de remontée ;
- 15 - 19 m³/h pendant une heure puis une heure de remontée ;
- 25 m³/h ou plus ou moins suivant la réponse du puits aux paliers précédents sans toutefois dénoyer la première venue d'eau (57 m de profondeur)

Le forage de Gouloué 1 fera l'objet d'un suivi durant l'ensemble des essais (essai de puits, essai de nappe).

Fin des travaux de chantier : 16 h00

Rapport de chantier N° 168 du 19/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée
Conductivité de la rivière Gouloué : 202 $\mu\text{S/cm}$
Température de la rivière Gouloué : 22.2 °.C
Température de l'air : 26.2 à 9h50

Début de chantier : 07h00

Piezométrie :

La piezométrie a été mesurée à 7h30, avant les essais par paliers, à 10.02 m par rapport au sol.

Indications Incidents:

L'échantillon de ciment prélevé la veille a bien pris.

L'essai de pompage, par paliers de débit non enchaînés d'une heure chacun, s'est déroulé conformément aux recommandations du BRGM (cf. rapport 167). L'exploitation provisoire des résultats est synthétisée dans le tableau suivant :

	S	Q	s/Q
Palier 1	3,75	5,2	0,72
Palier 2	8,09	10,75	0,75
Palier 3	12,41	16,25	0,76
Palier 4	25,3	31,9	0,79

Coefficient de pertes de charges linéaires : **b = 0.73 m/(m³/h)**
Coefficient de pertes de charges quadratiques : **c = 0.002 (m/m³/h)²**

La conductivité a été suivie durant l'essai de pompage et ne montre pas de variation significative ; les valeurs mesurées sont comprises entre 470 et 477 $\mu\text{S/cm}$.

L'est de sortie est parfaitement transparente, sans aucune matière en suspension significative, mais avec encore un peu de mousse.

CAMPAGNE 2001-2003 DE FORAGES POUR L'EXPLORATION DES EAUX SOUTERRAINES A MAYOTTE

Le système de suivi des débits au fût est satisfaisant et permet de vérifier les données lues au débit-mètre instantané. Dans l'ensemble celui-ci surestime les faibles valeurs de débits.

La pompe installée ayant une gamme de débits nominaux élevée, le réglage des 2 premiers paliers de débit a été délicat.

Les divers installés dans les forages de Gouloué 1 et Gouloué F4D bis ont donné des résultats satisfaisants. Il est intéressant de noter une légère interférence dans le forage de Gouloué 1 (10 à 20 cm lors du développement). Les divers ont été réinstallés dans les 2 forages et programmés pour commencer l'acquisition de données lundi matin.

L'entreprise installe le matériel de forage sur le chantier de Poroani dans la journée du 20.06.2003.

L'essai de pompage longue durée débutera le lundi 23.06.2003, à un **débit de 25 m³/h**.

Fin des travaux de chantier : 16 h00

Rapport de chantier N° 169 du 23/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute le matin, nuageux à pluvieux l'après midi

Début de chantier : 07h00

Piezométrie :

La piézométrie a été mesurée à 7h30, avant l'essai par pompage longue durée, à **9.96 m** par rapport au sol.

Indications Incidents:

L'essai de pompage longue durée à débuté à **7h30** à un débit de pompage de **25 m3/h**.

Le niveau piézométrique dans le forage F4d bis est suivi manuellement et automatiquement (Diver).

Le piézomètre installé à proximité du forage (forage F4d) est suivi manuellement.

Le forage Gouloué 1 situé en amont de la zone fait l'objet d'un suivi automatique grâce à une Diver.

A 17 h le niveau piézométrique est de **36.18 m/sol** et le débit est proche de **24 m3/h**.

Rapport de chantier N° 172 du 25/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Indications Incidents:

Le débit de pompage de l'essai longue durée a été portée à 35m³/h à 8h55.

En fin de journée le débit de pompage est de **32 m³/h** et le niveau piézométrique se stabilise autour de **51.5 m/sol**.

Le haut des crépines devrait être légèrement dénoyé pendant quelques heures, ce qui ne pose pas de problème tant que cela reste de courte durée.

Aucun représentant de la SOGEA ne pouvant se déplacer, le BRGM a procédé (avec l'accord verbal du maître d'ouvrage délégué et de la SOGEA) au prélèvement d'un échantillon pour analyse de la qualité chimique et bactériologique de l'eau.

L'échantillon prélevé a été apportée dans l'heure au laboratoire d'analyse.

Le pompage sera arrêté demain matin, la remontée sera suivie au cours de la journée de chantier.

Rapport de chantier N° 174 du 26/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Indications Incidents:

Le pompage de longue durée a été arrêté à 7h30, soit une durée totale de 72h conforme aux recommandations du DCE.

La remontée a été suivie pendant une durée de 8 h30, jusqu'à 16h.

A 16h30 les divers n'avaient toujours pas été retirés.

Le BRGM et l'entreprise COFOR se sont rendus sur le site de Combani-Kahani pour localiser le site de forage. Le BRGM a demandé à l'entreprise d'attendre la réunion avec le maître d'ouvrage délégué prévue pour le 27.06.2003.

Rapport de chantier N° 175 du 27/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Actes de décisions de la réunion du 27.06.2003:

Les principaux éléments du relevé de décision de la réunion du 27.06.2003 (locaux de la DAF/SER) relatif à la poursuite de la campagne de forage 2001-2003 sont :

- prochain site de forage: Combani-Kahani, cible F1 BRGM ;
- essais de pompages complémentaires ou autre forage si les ressources financières le permettent.

Les problèmes fonciers pour la réalisation du forage Gouloué F1 ne sont pas levés.

Selon le maître d'ouvrage délégué, la réalisation d'un autre forage à proximité du forage de Koualé n'est pour le moment pas possible.

Début du travail de chantier : 7h30

Indications Incidents:

L'entreprise a procédé à la mise en place de la pompe 6" dans le forage de Gouloué 1 en vue de l'essai par pompage simultané dans les deux forages (Gouloué 1, Gouloué F4dbis) demandé par le maître d'ouvrage délégué.

Le BRGM a procédé à des mesures de piezométrie complémentaires de la remontée du niveau dans le forage F4d bis.

Les données manuelles et les données relevées par les Divier sont bien calées, comme l'atteste le document ci-joint.

Fin du travail de chantier : 16h00

CAMPAGNE 2001-2003 DE FORAGES POUR L'EXPLORATION DES EAUX SOUTERRAINES A MAYOTTE

Concernant le site de Combani, l'entreprise Tétrama réhabilite la piste et réalise la plate-forme de forage dans la journée.

En raison des évènements, l'accès au site de Poroani était toujours impossible par camion le matin.

Fin du travail de chantier : 17h00

Rapport de chantier N° 177 du 30/06/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps nuageux à pluvieux, averse de faible intensité à 11h00.

Début du travail de chantier : 8h30

Indications Incidents:

Le dispositif de pompage disposé sur le forage de Gouloué F4bis restant en place, l'entreprise a placé la pompe 6" dans le forage de Gouloué 1 à une profondeur de 70 m environ, dans les mêmes conditions que l'essai par pompage de longue durée réalisé l'année passée.

En présence du Maître d'ouvrage délégué, du BRGM et de l'entreprise COFOR, l'essai par pompage simultané dans les 2 forages de la Gouloué a commencé à 9h30, suivant la méthodologie suivante, définie par la DAF:

- pompage au forage de Gouloué 1 à un débit de 15 m³/h pendant 1 heure pour atteindre une « stabilisation » des rabattements (en fait un état où les rabattements augmentent moins qu'en tout début d'essai) ; suivi piézométrique dans le forage F4dbis ;
- à l'issue de cette première heure de pompage, mise en route du forage de Gouloué F4d bis à un débit de 25 m³/h, en maintenant le pompage en Gouloué 1; suivi piézométrique dans les 2 forages.

Les 2 forages ont fait l'objet de contrôle manuel du débit et du niveau piézométrique au repos et durant la première heure de descente. Le niveau piézométrique est ensuite suivi manuellement par l'entreprise, en parallèle avec des mesures automatiques effectuées par les "diver" placés dans les 2 forages.

La durée totale de l'essai, qui sera définie par la DAF, dépendra des mesures et de la stabilisation observée (si stabilisation des niveaux il y a). En fin de journée, le débit sur le forage de Gouloué 1 était de 12.6 m³/h pour un rabattement de 30.85 m et sur le forage de Gouloué F4d bis de 22.4 m de rabattement pour 24.6 m³/h (voir fichier joint).

Le BRGM a signalé au Maître d'ouvrage délégué que de telles conditions de pompage sur le site de Gouloué 1 dénoient la première (et principale) venue d'eau (42 m de profondeur par rapport au sol) et sont susceptibles d'induire un comportement non linéaire du puits.

La distance entre les 2 puits a été mesurée au topofil à 246 m (+/- 5%). Cependant, compte tenu du caractère accidenté du terrain, la précision est évaluée à 5% environ.

Rapport de chantier N° 178 du 01/07/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps nuageux.

Début du travail de chantier : 8h30

Indications Incidents:

A la demande du Maître d'ouvrage délégué, l'entreprise a augmenté le débit du forage de Gouloué F1 à 15m³/h, à 10h00.

Etant donné le rabattement observé (>50 m) la pompe ne peut délivrer qu'un débit proche de 13 m³/h.

A 11h00, l'entreprise a augmenté le débit au forage F4d bis jusqu'à 30 m³/h selon les recommandations du Maître d'ouvrage délégué, présent sur le chantier.

En fin de journée de chantier, le niveau piézométrique dans le forage de Gouloué 1 est de 53.54 m/repère pour un débit de 12.6 m³/h; le forage de Gouloué F4d bis donnant 30 m³/h.

Le Maître d'ouvrage a demandé à ce que le pompage sur le forage de Gouloué F4d bis soit arrêté demain matin à 10h30, et que le pompage sur le forage de Gouloué 1 soit arrêté à 11h30.

Fin du travail de chantier : 17h00

Rapport de chantier N° 180 du 02/07/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Environnement et météorologie :

Temps ensoleillé et sec toute la journée.

Début du travail de chantier : 8h30

Indications Incidents:

Les pompages réalisés sur les forages F4d bis et Gouloué 1 ont respectivement été stoppés par le maître d'œuvre, selon les prescriptions du maître d'ouvrage délégué, à 10h30 et à 11h30.

Les remontées ont été suivies par l'entreprise COFOR, sous la direction du maître d'ouvrage délégué.

Fin du travail de chantier : 17h00

Rapport de chantier N° 207 du 18/08/03

Forage de :

Gouloué F4d bis

Altitude de l'ouvrage :

Z = 52 m NGM environ.

Indications / Incidents :

Le forage a été réceptionné par le Maître d'œuvre en présence du Maître d'Ouvrage Délégué.

Le niveau piézométrique est de 10.58 m/repère, soit 9.95 m/sol.

Une diagraphie de fluides (log de conductivité) a été réalisée.

La conductivité est constante à 335 $\mu\text{S/cm}$ environ jusqu'à 29 m de profondeur par rapport au sol.

A partir de 29 m/sol jusqu'au fond du forage (82 m/sol) la conductivité croit régulièrement de 430 à 572 $\mu\text{S/cm}$.

Annexe 2 – Observations géologiques et paramètres acquis au cours du chantier

Forage de Gouloubé 2 - observations géologiques et hydrogéologiques visuelles sur la foration, réalisées à l'avancement

Profondeur / Sol (m) (Exemple : 1 => Intervalle 0-1m)	Description des cuttings	Petrographies / Minéralogie	Interprétation	Vitesse à l'avancement en m/h (P = 16-17 bars et V = 25 l/mn)	Verues d'eau	diamètre de foration	tubage	Type	conductivité (µS/cm)	débit au sourillage m3/h
1	Cuttings non prélevés par l'entreprise. Par analogie au forage arrêté pour raison technique, nous pouvons donner la description suivante : éléments de basalte mésocrate, vacuolaire, saine à peu altéré qui résultent probablement d'une altération en boules.	Eléments de basalte mésocrate à pyroxène et olivine	profil d'altération d'une coulée de basalte à Olivine et pyroxène	20			16" (Tube N°1)	1		
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12	Eléments de basalte mésocrate, de taille centimétrique, sain à peu altérés	Eléments de basalte à phénocristaux de pyroxènes et d'olivines altérés, mésostase microlitique, vitreuse et ferruginisée.	coulée de basalte à olivine et pyroxène				16" (Tube N°2)	2		
13	Eléments de basalte mésocrate, de taille centimétrique, altérés									
14										
15	Eléments de basalte à phénocristaux d'olivine et de pyroxène, mésostase vitreuse et ferruginisée, associé à des éléments anguleux de basalte parfois vacuolaires (vacuoles parfois lapissées de minéraux hydrothermaux) à phénocristaux de pyroxène emballés dans une matrice à cendres et lapillis (y compris cristaux de lapillis 2 à 64 mm).	tuf pyroclastique	6			16" (Tube N°3)	3			
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24	Eléments anguleux de basalte sombre, de taille centimétrique, associé à de l'argile marron	éléments de basalte sain à pyroxène et olivine, mésostase vitreuse et microlitique.		12		X	16" (Tube N°4)	4		
25										
26										
27	Eléments anguleux de basalte, infracentimétriques	éléments de basalte sain à microphénocristaux d'olivine abondants, mésostase vitreuse et microlitique.		6		X	16" (Tube N°5)	5	trop turbide	< 1m3/h
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38	Eléments anguleux de basalte sain, de taille inférieure à 2 mm	éléments homogènes de basalte sain à olivine et pyroxène, mésostase vitreuse et microlitique.	coulée de basalte à olivine et pyroxène	6			15"	6		
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										

52		3120	10320	19.34	17.94	7.92	11			
54		3240	10440	19.38	17.98	7.96	11.1	11		
56		3360	10560	19.43	18.03	8.01				
60		3600	10800	19.51	18.11	8.09		11		
0		0	10800	19.51	18.11	8.09				
0	30	30	10830	17.66	16.26	6.24				
1		60	10860	16.76	15.36	5.34				
1	30	90	10890	16.22	14.82	4.9				
2		120	10920	15.93	14.53	4.51				
2	30	150	10950	15.69	14.29	4.27				
3		180	10980	15.46	14.06	4.04				
3	30	210	11010	15.3	13.9	3.88				
4		240	11040	15.14	13.74	3.72				
4	30	270	11070	14.99	13.59	3.57				
5		300	11100	14.88	13.48	3.46				
6		360	11160	14.66	13.26	3.24				
7		420	11220	14.48	13.08	3.06				
8		480	11280	14.38	12.98	2.96				
9		540	11340	14.18	12.78	2.76				
10		600	11400	14.07	12.67	2.65				
12		720	11520	14.02	12.62	2.6				
14		840	11640	13.94	12.54	2.52				
16		960	11760	13.84	12.44	2.42				
18		1080	11880	13.73	12.33	2.31				
20		1200	12000	13.48	12.08	2.06				
25		1500	12300	13.26	11.86	1.84				
30		1800	12600	13.12	11.72	1.7				
35		2100	12900	13.04	11.64	1.62				
40		2400	13200	12.92	11.52	1.5				
45		2700	13500	12.84	11.44	1.42				
55		3300	14100	12.74	11.34	1.32				
60		3600	14400							
0		0	14400	12.69	11.29	1.27	13.8			Mise en route pompe
0	30	30	14430	14.45	13.05	3.03	11.7			Ouv Vanne
1		60	14460	15.63	14.23	4.21	11.7			
1	30	90	14490	16.45	15.05	5.03	13.3			Ouv Vanne
2		120	14520	17.02	15.62	5.6	15.6			
2	30	150	14550	17.69	16.29	6.27	15.2			Ouv Vanne
3		180	14580	18.06	16.66	6.64	15.5			
3	30	210	14610	18.35	16.95	6.93	15.2			
4		240	14640	18.67	17.27	7.25	15.5	15.4		
4	30	270	14670	18.87	17.47	7.45	15.5			
5		300	14700	19.03	17.63	7.61	14.5			Ouv Vanne
6		360	14760	19.27	17.87	7.85	14.9			
7		420	14820	19.55	18.15	8.13	14.9			Ouv Vanne
8		480	14880	20.1	18.7	8.68	16.5			
9		540	14940	20.3	18.9	8.88	15.7			
10	9	609	15009	20.62	19.22	9.2	16.2	16.3		
12		720	15120	21.45	20.05	10.03	17.4			
14		840	15240	21.73	20.33	10.31	17.4			
16		960	15360	22.01	20.61	10.59	16.9			
18		1080	15480	22.22	20.82	10.8	16.8			
20		1200	15600	22.45	21.05	11.03	16.9	16.75		
22		1320	15720	22.6	21.2	11.18	16.9	16.75		
24		1440	15840	22.73	21.33	11.31	16.7			
26		1560	15960	22.88	21.48	11.46	16.9	16.81		
28		1680	16080	23.06	21.66	11.64	17.1			
30		1800	16200	23.12	21.72	11.7	17.1			
35		2100	16500	23.33	21.93	11.91	16.7			
40		2400	16800	23.46	22.06	12.04	16.4			
45		2700	17100	23.6	22.2	12.18	16.3			
50		3000	17400	23.68	22.28	12.26	16.3	16.1		
55		3300	17700	23.77	22.37	12.35	16.3			
59	20	3560	17960	23.83	22.43	12.41	16.3	16.1		
0		0	18000	23.83	22.43	12.41				
0	30	30	18030	21.05	19.65	9.63				
1		60	18060	19.77	18.37	8.35				
1	30	90	18090	19.06	17.66	7.64				
2		120	18120	18.61	17.21	7.19				
2	40	160	18160	18.14	16.74	6.72				
3		180	18180	17.95	16.55	6.53				
3	30	210	18210	17.66	16.26	6.24				
4		240	18240	17.49	16.09	6.07				
4	30	270	18270	17.127	15.727	5.707				
5		300	18300	17.09	15.69	5.67				
6		360	18360	16.77	15.37	5.35				
7		420	18420	16.48	15.08	5.06				
8		480	18480	16.31	14.91	4.89				
9		540	18540	16.07	14.67	4.65				
10		600	18600	15.8	14.4	4.38				
12		720	18720	15.57	14.17	4.15				
14		840	18840	15.34	13.94	3.92				
16		960	18960	15.1	13.7	3.68				
18		1080	19080	14.88	13.48	3.46				
20		1200	19200	14.78	13.38	3.36				
25		1500	19500	14.55	13.15	3.13				
30		1800	19800	14.32	12.92	2.9				
35		2100	20100	14.15	12.75	2.73				
40		2400	20400	14.02	12.62	2.6				
45		2700	20700	13.9	12.5	2.48				
50		3000	21000	13.8	12.4	2.38				
60		3600	21600	13.62	12.22	2.2				
0		0	21600	13.62	12.22	2.2				Mise en route pompe
0	30	30	21630	18.4	17	6.98	30.2			
1		60	21660	21.16	19.76	9.74				Ouv Vanne

1	30	90	21690	23.07	21.67	11.65	29.2		
2		120	21720	24.1	22.7	12.66	33		
2	30	150	21750	24.93	23.53	13.51	32.1		
3		180	21780	25.79	24.39	14.37	30		
3	30	210	21810	26.63	25.23	15.21	34.4		
4	10	250	21850	27.64	26.24	16.22	34.1		
4	30	270	21870	28.04	26.64	16.62	34	34	
5		300	21900	28.54	27.14	17.12	33.8		
6		360	21960	29.3	27.9	17.66	33.6		
7		420	22020	29.93	28.53	18.51	33.4		
8	7	487	22087	30.48	29.08	19.06	33.3		
9	2	542	22142	30.91	29.51	19.49	33.1		
10		600	22200	31.33	29.93	19.91	33.2		
12		720	22320	32.07	30.67	20.65	33.2	32.7	
14		840	22440	32.63	31.23	21.21	32.2		
16		960	22560	33.07	31.67	21.65	32.2		
18		1080	22680	33.48	32.08	22.06	32.4		
20		1200	22800	33.8	32.4	22.36	32.3		
22	10	1330	22930	34.1	32.7	22.66	31.8		
24	18	1458	23058	34.37	32.97	22.95	32.1		
26		1560	23160	34.6	33.2	23.16	31.8	32	
28		1680	23280	34.79	33.39	23.37	31.8		
30		1800	23400	34.99	33.59	23.57	31.8		
32		1920	23520	35.17	33.77	23.75	31.8		
34		2040	23640	35.34	33.94	23.92	31.6		
36		2160	23760	35.49	34.09	24.07	31.6		
38		2280	23880	35.63	34.23	24.21	31.5	31.9	
40		2400	24000	35.74	34.34	24.32	31.4		
46		2760	24360	36.02	34.62	24.6	31.4		
50	31	3031	24631	36.22	34.82	24.8	31.2		
56		3360	24960	36.48	35.08	25.06	31.2	31.1	
60		3600	25200	36.72	35.32	25.3	31.2	31.1	
0		0	25200	36.72	35.32	25.3			
0	30	30	25230	31.45	30.05	20.03			
1		60	25260	28.98	27.58	17.56			
1	30	90	25290	27.26	25.66	15.64			
2		120	25320	26.2	24.8	14.78			
2	30	150	25350	25.15	23.75	13.73			
3		180	25380	24.78	23.38	13.36			
3	30	210	25410	24.25	22.85	12.83			
4		240	25440	23.75	22.35	12.33			
4	32	272	25472	23.33	21.93	11.91			
5	12	312	25512	22.8	21.4	11.38			
6		360	25560	22.26	20.86	10.84			
7		420	25620	21.67	20.27	10.25			
8		480	25680	21.15	19.75	9.73			
9		540	25740	20.66	19.26	9.24			
10		600	25800	20.15	18.75	8.73			
12		720	25920	19.62	18.22	8.2			
14		840	26040	19.08	17.68	7.66			
16		960	26160	18.64	17.24	7.22			
18		1080	26280	18.3	16.9	6.88			
20		1200	26400	18.04	16.64	6.62			
25		1500	26700	17.44	16.04	6.02			
30		1800	27000	16.99	15.59	5.57			
40		2400	27600	16.44	15.04	5.02			
50		3000	28200	15.99	14.59	4.57			
60		3600	28800	15.65	14.25	4.23			

31.6

477
Eau limpide,
pas de débris
observés, un
pue de mousse
en fin de
pompage

Débit stabilisés, fut
et débitm
s'accordent

0

Forage de Gouloué F4d - Essai de nappe

Heures	Temps			Profondeur (m)	Débit (m³/min)	Débit (m³/h)	Débit (l/s)	Pression (bar)	Pression (MPa)	Pression (kg/cm²)	Pression (psi)	Pression (m.c.a.)	Pression (m.c.g.)	Pression (m.c.t.)	
	Heures	Minutes	Secondes												
7h30	0	0	0	0	11.36	9.96	0					25			Mise en route
	0	0	30	30	15.88	14.48	4.52					26			Augmentation du débit
	0	1	0	60	18.13	16.73	6.77					26.2			
	0	1	30	90	19.22	17.82	7.86					25.5			
	0	2	0	120	20.03	18.63	8.67					25			
	0	2	30	150	20.6	19.2	9.24					25.4			
	0	3	0	180	21.07	19.67	9.71					24.5			Augmentation du débit
	0	3	30	210	21.56	20.16	10.2					25.9			
	0	4	0	240	22.07	20.67	10.71					25.8			
	0	4	30	270	22.42	21.02	11.06					25.8			
	0	5	0	300	22.66	21.26	11.3					25.8			
	0	6	0	360	23.25	21.85	11.89					25.4			
	0	7	0	420	23.75	22.35	12.39					25.3			
	0	8	0	480	24.11	22.71	12.75					25.4			
	0	9	0	540	24.48	23.08	13.12					25.4			
	0	10	0	600	24.85	23.45	13.49					25.5			
	0	12	0	720	25.52	24.12	14.16					25.2			
	0	14	0	840	25.9	24.5	14.54					25.5			
	0	16	0	960	26.38	24.98	15.02				1953B	25.3		24.85	
	0	18	0	1080	26.83	25.43	15.47					25.8			
	0	20	0	1200	27.18	25.78	15.82					25.5			
	0	25	0	1500	27.88	26.48	16.52					25.4			
	0	30	0	1800	28.35	26.95	16.99				19547(8h08)	25.2			
	0	45	0	2700	28.85	27.45	17.49					25.7			
8h30	0	60	0	3600	30.55	29.15	19.10				19558 (8h30)	25.4		24.85	
9h00	1	30	0	5400	31.7	30.3	20.34				19570	25.2			
9h30	1	60	0	7200	32.49	31.09	21.13					25.8			
10h00	2	30	0	9000	33.19	31.79	21.83					24.7			
10h30	2	60	0	10800	34.17	32.77	22.81					24.5			
11h	3	30	0	12600	34.59	33.19	23.23					24.8			
12h	4	30	0	16200	35.43	34.03	24.07					24.5			
13h	5	30	0	19800	36.18	34.78	24.82					24.3			
14h	6	30	0	23400	36.71	35.31	25.35					24.1			
15h	7	30	0	27000	37.19	35.79	25.83				19715	24.2			
16h	8	30	0	30600	37.58	36.18	26.22				19740	24.9			
17h	9	30	0	34200	37.98	36.58	26.62				19763	24.8			
18h	10	30	0	37800	38.28	36.88	26.92				19787	24.7			
19h	11	30	0	41400	38.62	37.22	27.26				19811	24.8			
20h	12	30	0	45000	38.85	37.45	27.49				19832	24.7			
21h	13	30	0	48600	39.29	37.89	27.93				19850	23.4			
22h	14	30	0	52200	39.48	38.08	28.12				19923	23.5			
24h	16	30	0	59400	39.58	38.18	28.22				19931	23.4			
1h	17	30	0	63000	39.75	38.35	28.39				19954	23.4			
2h	18	30	0	66600	39.95	38.55	28.59				19963	23.4			
3h	19	30	0	70200	40.15	38.75	28.79				20006	23.5			
4h	20	30	0	73800	40.21	38.81	28.85				20036	23.3			
5h	21	30	0	77400	40.28	38.88	28.92				20062	23.4			
6h	22	30	0	81000	40.38	38.96	29				20078	23.4			
7h00	23	30	0	84600	40.47	39.07	29.11				20093	23.4			
8h00	24	30	0	88200	40.56	39.16	29.2			486	20116	23.4			
9h00	25	30	0	91800	40.17	38.77	28.81				20141	23.3			
10h00	26	30	0	95400	40.16	38.78	28.82				20161	23.4			
11h00	27	30	0	99000	40.15	38.75	28.79				20182	23.4			
12h00	28	30	0	102600	40.15	38.75	28.79				20207	24.4			
13h00	29	30	0	106200	40.19	38.78	28.82				20231	24.3			
14h00	30	30	0	109800	40.24	38.84	28.88				20252	24.4			
15h00	31	30	0	113400	40.28	38.88	28.92				20276	23.3			
16h00	32	30	0	117000	40.41	39.01	29.05				20300	23.2			
17h00	33	30	0	120600	40.57	39.17	29.21			486	20325	23.9			
18h00	34	30	0	124200	40.55	39.15	29.19				20346	23.5			
19h00	35	30	0	127800	40.55	39.15	29.19				20361	23.4			
20h00	36	30	0	131400	40.63	39.23	29.27				20394	23.4			
21h00	37	30	0	135000	40.68	39.28	29.32				20417	23.2			
22h00	38	30	0	138600	40.73	39.33	29.37				20438	23.3			
23h00	39	30	0	142200	40.73	39.33	29.37				20462	23.4			
24h00	40	30	0	145800	40.77	39.37	29.41				20488	23.3			
01h00	41	30	0	149400	40.8	39.4	29.44				20510	23.2			
02h00	42	30	0	153000	40.82	39.42	29.46				20536	23.3			
03h00	43	30	0	156600	40.84	39.44	29.48				20549	23.2			
04h00	44	30	0	160200	40.86	39.46	29.5				20611	23.2			
05h00	45	30	0	163800	40.88	39.48	29.52				20612	22.9			
06h00	46	30	0	167400	40.89	39.49	29.53				20623	23.4			
07h00	47	30	0	171000	41.02	39.62	29.66				20638	22.9			
08h00	48	30	0	174600	41.17	39.77	29.81				20668	23.7			
08h53	48	53	0	177780	41.22	39.82	29.86								
08h54	48	54	0	177840											
08h55	48	55	0	177900											
08h56	48	56	0	177960	42.99	41.59	31.63				20690				
08h57	48	57	0	178020	44.17	42.77	32.81								
08h57m10	48	57	10	178030	44.3	42.9	32.94								
08h58m10	48	58	10	178090	44.9	43.5	33.54								
08h58m30	48	58	30	178110	45.07	43.67	33.71								
08h59	48	59	0	178140	45.28	43.88	33.92								
08h00	49	30	0	178200	45.56	44.16	34.2					33.5			
09h01m46	49	31	46	178306	46.53	45.13	35.17					34.6			
09h03	49	33	0	178380	47.05	45.65	35.69					34.1			
09h04	49	34	0	178440	47.26	45.86	35.9								
09h05m05	49	35	5	178505	47.45	46.05	36.09				20696	33.9			
09h06m20	49	36	20	178580	47.66	46.26	36.3					33.7			
09h07m10	49	37	10	178630	47.8	46.4	36.44					33.7			
09h08m36	49	38	36	178716	47.98	46.58	36.62								
09h09m02	49	39	2	178742	48.04	46.64	36.68					33.5			
09h10	49	40	0	178800	48.13	46.73	36.77								
09h12	49	42	0	178920	48.31	46.91	36.95								
09h14	49	44	0	179040	48.44	47.04	37.08								
09h16	49	46	0	179160	48.6	47.2	37.24					33			
09h20	49	50	0	179400	48.78	47.38	37.42					32.9			
09h30	49	60	0	180000	49.11	47.71	37.75				20710	32.7			
10h00	50	30	0	181800											
10h30	50	60	0	183600	49.65	48.25	38.29				20727	32.4		32.55	

11h00	51	30	0	185400	50.15	48.75	38.79			32.9	32.9		
11h30	51	60	0	187200	50.36	48.96	39			31.8	32.9		
12h00	52	30	0	189000	50.73	49.33	39.37		20791		32.9	31.8	
13h00	53	30	0	192600	50.99	49.59	39.63		20823		31.8	31.5	
14h00	54	30	0	196200	51.11	49.71	39.75	486	20850		31.5		
15h00	55	30	0	199800	51.38	49.98	40.02		20883		31.4		
16h00	56	30	0	203400	51.38	49.98	40		20915		31.8		
17h00	57	30	0	207000	51.49	50.09	40.13		20950		31.3		
18h00	58	30	0	210600	51.36	49.96	40		20978		30.9		
19h00	59	30	0	214200	51.34	49.94	39.98		21075		30.8		
20h00	60	30	0	217800	51.4	50	40.04		21041		31.2		
21h00	61	30	0	221400	51.51	50.11	40.15		21072		31.4		
22h00	62	30	0	225000	51.63	50.23	40.27		21117		31.9		
23h00	63	30	0	228600	51.66	50.26	40.3		21124		31.4		
24h00	64	30	0	232200	51.65	50.25	40.29		21117		30.1		
01h00	65	30	0	235800	51.66	50.26	40.3		21115		30.4		
02h00	66	30	0	239400	51.67	50.27	40.31		21228		30.8		
03h00	67	30	0	243000	51.69	50.29	40.33				31.2		
04h00	68	30	0	246600	51.57	50.17	40.21				31.1		
05h00	69	30	0	250200	51.58	50.19	40.23				30.4		
06h00	70	30	0	253800	51.58	50.18	40.22				30.4		
07h00	71	30	0	257400	51.78	50.38	40.42				30.1		
07h34	(72	4	0	#VALEURI	(52.18	#VALEURI	#VALEURI		21393				
07h34	(72	4	0	#VALEURI	(52.18	#VALEURI	#VALEURI						
	72	4	30	259470	47.9	46.5	36.54						
7h35	72	5	0	259500	45.43	44.03	34.07						
	72	5	30	259530	46.61	45.21	35.25						
7h36	72	6	0	259560	42.04	40.84	30.68						
	72	6	30	259590	41.51	40.11	30.15						
7h37	72	7	0	259620	40.77	39.37	29.41						
	72	7	30	259650	39.88	38.58	28.62						
7h38	72	8	0	259680	38.22	37.82	27.86						
	72	8	30	259710	38.8	37.4	27.44						
7h39	72	9	0	259740	38.6	37.2	27.24						
7h40	72	10	0	259800	37.79	36.38	26.42						
7h41	72	11	0	259860	37.05	35.65	25.69						
7h42	72	12	0	259920	36.35	34.95	24.99						
7h43	72	13	0	259980	35.84	34.44	24.48						
7h44	72	14	0	260040	35.27	33.87	23.91						
7h52	72	22	0	260520	33.16	31.76	21.8						
7h54	72	24	0	260640	32.27	30.87	20.91						
7h59	72	29	0	260940	31.39	29.99	20.03						
8h04	72	34	0	261240	30.72	29.32	19.36						
8h19	72	49	0	262140	29.27	27.87	17.91						
8h34	73	4	0	263040	28.17	26.77	16.81						
9h04	73	34	0	264840	26.67	25.27	15.31						
9h34	74	4	0	266640	25.49	24.09	14.13						
10h04	74	34	0	268440	25.11	23.71	13.75						
10h34	75	4	0	270240	23.61	22.21	12.25						
11h04	75	34	0	272040	23.05	21.65	11.69						
12h04	76	34	0	275640	21.89	20.49	10.53						
13h04	77	34	0	279240	21.07	19.67	9.71						
14h04	78	34	0	282840	20.36	18.96	9						
15h04	79	34	0	286440	19.76	18.36	8.4						
16h04	80	34	0	290040	19.21	17.81	7.85						
17h20	81	50	0	294600	18.67	17.27	7.31						
18h00	82	30	0	297000	18.31	16.91	6.95						
19h00	83	30	0	300600	17.99	16.59	6.63						
20h30	85	0	0	306000	17.57	16.17	6.21						
9h29	97	53	0	352380	15.18	13.78	3.82			0			

Forage de Gouloué 2 - observations au cours du nettoyage et du développement

Gouloué 2

Annexe au rapport de chantier 165 du 16/06/2003

Nettoyage du puits et développement le 14.06.2003

Profondeur de soufflage (m/sol)	Paramètres de soufflage	Temps de soufflage	Debit m ³ /h	Conductivité µS/cm	Turbidité	Piezométrie m/sol	Remarques
Etat initial						8h00 : 11.60 m/sol	
Tige n° 9 de 48.5 à 54.6 m/sol ramonages	Montée progressive 10 Bar, vitesse de rotation variable de 1500 à 2500 tr/min	30 min	Stable 36 à 38 m ³ /h	Croît de 437 à 466	Eau turbide grisâtre, chargée en MES Peu de matériau remué, quelques débris de lave <1mm et de la poussière	après 14 min 30s de remontée : 18 m/sol	Sortie de mousse abondante, en fin de soufflage sur cette tige, toujours de la mousse et eau turbide. Le massif de gravier a bougé de 20 cm
Tige n° 10 de 54.6 à 60.7 m/sol Ramonages et ac-coups	Montée progressive 10 Bar, vitesse de rotation variable de 1500 à 2500 tr/min	37 min	Stable 40 m ³ /h	croît de 458 à 470	Eau turbide grisâtre et brune, après 10 min, l'eau est déjà plus claire mais toujours grisâtre après décantation, quelques débris infra-millimétriques	après 12 min de remontée : 21.6 m/sol	Eau turbide de couleur brune grisâtre, à chaque augmentation de pression, l'eau en fin de soufflage l'eau est plus claire mais toujours turbide, un peu de mousse.
Tige n° 11 de 60.7 à 66.8 m/sol Ramonage tige Ac-coups	Montée progressive 10 Bar, vitesse de rotation variable de 1500 à 2500 tr/min	25 min	Stable 45 m ³ /h	croît de 479 à 489	Eau turbide, couleur grisâtre en début de soufflage, très peu de débris	après 7 min de remontée 24 m/sol	Améliorations durant le soufflage; l'eau en fin de tige n'est pas limpide mais est claire. Encore un peu de mousse en surface, le massif de gravier a un peu bougé (-0.7 m)
Tige n° 12 de 66.8 à 72.9 m/sol ramonage tige Ac-coups	Montée progressive 10 Bar, vitesse de rotation variable de 1500 à 2500 tr/min	20 min	Stable 45 m ³ /h	Croît de 479 à 496	Eau légèrement turbide, grisâtre, absence de débris constatés, très peu de mousse en surface	après 10 min de remontée 23.6 m/sol	Améliorations sensibles de la qualité de l'eau pompée, l'eau n'est pas encore limpide mais est très claire. Le massif de graviers a un peu bougé (-1 m)
Tige n° 13 de 72.9 à 79 m/sol ramonage tige ac-coups à 79 m	Montée progressive 10 Bar, vitesse de rotation variable de 1500 à 2500 tr/min 10 Bar et 2500 tr/min	20 min 25 min	45 m ³ /h 45 m ³ /h	Stable à 501	Eau claire, légèrement turbide en début de soufflage Eau claire, très claire après décantation, pas encore limpide		Amélioration sensible de la qualité de l'eau durant le soufflage

Temps de soufflage effectif	2 h 37
Temps de soufflage total	5 h

Nettoyage du puits et développement le 16.06.2003

Tubes d'exhaure de longueur unitaire 4.10 m

Dispositif de soufflage connecté à 7 m au dessus de la base des tubes

Profondeur de soufflage (m/sol)	Paramètres de soufflage	Temps de soufflage	Débit m ³ /h	Conductivité µS/cm	Turbidité	Piezométrie m/sol	Remarques		
Etat initial						10.4			
Tube 14 de 53.3 à 57.4 m	10 bar, 1500 à 2500 tr/min	20 min	28	426	Légère coloration brune grisâtre en début de soufflage, quelques débris infra-millimétriques de lave et éléments	26 m/sol (après 15 min de soufflage)	Mousse en début de soufflage, amélioration sensible de la qualité de l'eau, transparente en fin de soufflage		
Ramonage			29	425					
Arrêt									
Tube 15 de 57.4 à 61.5 m	12 bar, 1600 tr/min	60 min		453	Légère coloration brune grisâtre en début de soufflage, quelques débris infra-millimétriques de lave et éléments		Mousse en début de soufflage, amélioration sensible de la qualité de l'eau, transparente en fin de soufflage		
Ramonage									
Arrêt			15 min						
Tube 16 de 61.5 à 65.6 m	12 bar, 1600 tr/min	10 min	30	470	Légère coloration brune grisâtre en début de soufflage, quelques débris infra-millimétriques de lave et éléments		Mousse en début de soufflage, amélioration sensible de la qualité de l'eau, transparente en fin de soufflage		
Ramonage									
Arrêt								18 min	
Tube 17 de 65.6 à 69.7 m	12 bar, 1700 tr/min	5 min	30	489	Eau claire, quelques débris rouges oranges		Mousse en début de soufflage, amélioration sensible de la qualité de l'eau, transparente en fin de soufflage		
Ramonage				469					
Arrêt				10 min					
Tube 18 de 69.7 à 73.8 m	12 à 14 bar, 1600 tr/min	10 min	32	459	Eau très claire, limpide		Mousse en début de soufflage, amélioration sensible de la qualité de l'eau, transparente en fin de soufflage		
Ramonage									
Arrêt								9 min	
Tube 19 de 73.8 à 77.9 m	14 bar 1700 tr/min	30 min	35	464	Eau très claire limpide, même après variations de P		Mousse en début de soufflage, amélioration sensible de la qualité de l'eau, transparente en fin de soufflage		
Ramonage									

Temps de soufflage effectif	2 h 15
Temps de soufflage total (arrêt et installation)	9 h

Temps de soufflage effectif total	4 h 52
Temps de soufflage total	14 h

**Annexe 3 – Analyses d'eau du forage de Gouloué
2 réalisées par la SOGEA**

RAPPORT D'ANALYSE

Rapport d'analyse : N° 15 / DAF.GOULOUE
 Heure de prélèvement : 8h45
 Nom du préleveur : Olivier du BRGM
 Chimiste chargée d'analyses : MOHAMED Siti

Forage de GOULOUE Passamanty
 25-juin-03

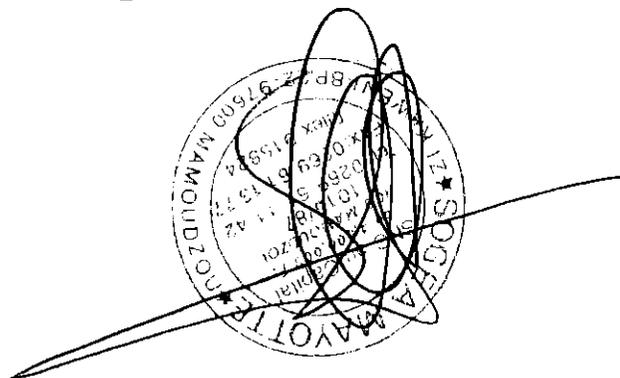
№ Fouloé 2 (1230-7X-0053)

CMA

Code	BOUY250603	
Odeur	aucune	aucune
Couleur	< 15	15 mg/l Pt/Co
Turbidité en NTU	0,54	< 2

pH	7,7	6,5 - 9
Conductivité en µS/cm	502	180-1000
TAC en °f	34,5	3
THca en °f	7,4	
THtotal en °f	46	15
Calcium en mg/l	29,6	100
Magnésium en mg/l	94,5	50
Sulfates en mg/l	9,0	250
Aluminium en mg/l	Traces	0,2
Chlorures en mg/l	19,5	200
Potassium en mg/l	3,9	

Nitrates en mg/l	0,396	50
Nitrites en mg/l	Traces	0,1
Ammonium en mg/l	0,039	0,5
Fer en mg/l	0,04	0,2
Manganèse en mg/l	0,12	0,05
Phosphates en mg/l	0,25	5
Zinc en mg/l	Traces	5
Cuivre en mg/l	Traces	1
Matières en suspension en mg/l	2	absence



Annexe 4 – Pluviométrie dans le secteur du forage durant les travaux et essais

**Pluviométrie sur la zone du forage
Données Météo-France**

DATE	Combani Village Pluie (mm)	Descriptif des travaux
17/05/2003	1	amenée et installation du matériel
18/05/2003	0.1	
19/05/2003	-	Foration / abandon du trou suite à des problèmes techniques
20/05/2003	-	
21/05/2003	-	
22/05/2003	0.5	
23/05/2003	0.3	
24/05/2003	-	
25/05/2003	-	
26/05/2003	-	
27/05/2003	-	
28/05/2003	-	
29/05/2003	-	
30/05/2003	-	Foration
31/05/2003	-	
01/06/2003	-	
02/06/2003	-	
03/06/2003	6	
04/06/2003	11.5	
05/06/2003	-	
06/06/2003	-	
07/06/2003	11.5	
08/06/2003	-	
09/06/2003	-	
10/06/2003	-	
11/06/2003	-	
12/06/2003	1	Equipement
13/06/2003	-	
14/06/2003	-	nettoyage et développement
15/06/2003	1.5	
16/06/2003	-	Fin de l'équipement
17/06/2003	-	
18/06/2003	-	Essai de pompage par palier de débit, essai de nappe et essai simultané
19/06/2003	-	
20/06/2003	-	
21/06/2003	-	
22/06/2003	-	
23/06/2003	-	
24/06/2003	-	
25/06/2003	-	
26/06/2003	-	
27/06/2003	-	
28/06/2003	-	
29/06/2003	-	
30/06/2003	-	
01/07/2003	-	
02/07/2003	-	