

Document public

**Programme de recherche et  
d'exploitation des eaux souterraines à  
Mayotte – Campagne 2001-2003**  
Forage de Combani-Kahani (1230-6X-0047)

**BRGM/RP-52721-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, Ile de 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) en collaboration avec J.-P. Rançon – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte (Campagne 2001-2003) – Forage de Combani - Kahani (1230-6X-0047). Rapport BRGM/RP-52721-FR, 53 p., 16 fig., 4 ann.

## Synthèse

Le forage de Combani-Kahani (BSS 1230-6X-0047), 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) est **un forage de reconnaissance de 120 m de profondeur** 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'Est du village de Kahani, sur la commune de Ouangani, en rive droite d'un affluent du Mro Oua Gomeni, à une altitude de 170 m NGM environ. L'ensemble des travaux (foration, pompages d'essai, réception, etc.) a été mis en œuvre sur la période du 07/07/03 au 18/08/03.

L'ouvrage a été réalisé au marteau fond de trou  $\Phi 15$  pouces de 0 à 68 m/sol, puis au marteau fond de trou  $\Phi 14$  pouces de 68 à 85 m/sol, et enfin au tricône  $\Phi 12^{3/4}$  pouces jusqu'au fond du puits. Il est équipé de tubage PVC  $\Phi 10$  pouces, crépinés de 60,75 à 66 m/sol, de 83,75 à 89,25 m/sol et de 101 à 118,25 m/sol.

Le forage recoupe un ensemble de coulées de laves altérées sur les 40 premiers mètres, 11 m d'alluvions, puis une coulée de basalte saine et massive de 51 à 120 m de profondeur par rapport au sol.

La principale venue d'eau a été identifiées au sein d'une zone fissurée et/ou fracturée dans une coulée de lave saine, à 85 m/sol. La nappe est captive. La cote du niveau piézométrique est d'environ 140 m NGM.

Un essai de puits (pompage d'essai par paliers de débit) et un essai de nappe (pompage à un débit moyen de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  pendant 72 h) ont été réalisés. Le coefficient de pertes de charges quadratiques du puits (c) est évalué à  $70\,000 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$ . Un ajustement satisfaisant de l'essai de nappe est obtenu avec les paramètres suivants (solution analytique de Theis) : transmissivité de  $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , 1 limite élanche (temps d'influence de 60 min) et une limite alimentée (temps d'influence de 1 000 min).

La conductivité électrique des eaux souterraines a été suivie à l'avancement et lors des pompages, elle est restée relativement stable, à  $240 \mu\text{S}/\text{cm}$ . 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. Parmi ceux-ci, le manganèse dépasse la norme de qualité des eaux destinées à la consommation humaine et justifiera 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 à un débit de  $13 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ce débit devra être réévalué 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

<b>Synthèse</b> .....	<b>3</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>4</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>6</b>
<b>Liste des annexes</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Localisation du forage</b> .....	<b>9</b>
<b>3. Implantation du forage</b> .....	<b>12</b>
3.1. Contexte et objectifs du forage .....	12
3.2. Méthodologie de la prospection .....	12
3.3. Description des travaux mis en œuvre et des observations réalisées .....	13
3.2.1. Données antérieures disponibles .....	15
3.2.2. Analyse morphostructurale.....	15
3.2.3. Observations hydrologiques et hydrogéologiques .....	16
3.2.4. Observations géologiques de terrain .....	17
3.2.5. Géophysique.....	20
3.3. Synthèse des résultats des investigations .....	24
3.4. Proposition d'implantation des forages .....	24
3.4.1. Démarche mise en œuvre pour le choix des cibles de forage .....	24
3.4.2. Cibles d'implantation de forage et aléas naturels .....	25
3.4.3. Localisation des cibles de forage et hiérarchisation .....	25
3.4.4. Cible de forage retenue.....	25
<b>4. Travaux réalisés</b> .....	<b>27</b>
4.1. Travaux de réalisation du forage .....	27
4.1.1. Calendrier des travaux .....	27
4.1.2. Equipement du forage.....	28
<b>5. Résultats</b> .....	<b>29</b>
5.1. Géologie .....	29
5.1.1. Coupe lithostratigraphique du forage .....	29
5.1.2. Vitesses à l'avancement .....	31
5.1.3. Confrontation de la lithostratigraphie du forage aux observations géologiques de surface .....	32
5.1.4. Confrontation de la coupe lithostratigraphique du forage aux données géophysiques.....	32
5.2. Hydrogéologie .....	32
5.2.1. Venues d'eau à l'avancement .....	32

5.2.2. Piézométrie.....	33
5.2.3. Pompages d'essai.....	33
5.2.4. Qualité des eaux souterraines .....	38
<b>6. Evaluation des débits exploitables .....</b>	<b>44</b>
6.1. Méthodologie .....	44
6.2. Débit d'exploitation du forage de Combani-Kahani.....	46
6.2.1. Solution analytique - Paramètres hydrodynamiques.....	46
6.2.2. Pertes de charges quadratiques au puits .....	46
6.2.3. Niveau piézométrique d'étiage .....	46
6.2.4. Profondeur d'installation de la pompe .....	46
6.2.5. Rabattement maximal admissible sans prise en compte du biseau salé	47
6.2.6. Rabattement maximal admissible avec prise en compte du biseau salé	47
6.2.7. Débits d'exploitation et éléments de dimensionnement de la pompe.....	47
<b>7. Conclusions - Recommandations.....</b>	<b>50</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>51</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>52</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b>	Forage de Combani-Kahani : (a) Localisation géographique .....	10
	(b) Schéma simplifié de la tête de puits..	11
<b>Figure 2 :</b>	Secteur de Combani. Localisation de la zone prospectée .....	14
<b>Figure 3 :</b>	Secteur de Combani. Visualisation des reliefs en utilisant un effet 3D (logiciel MapInfo). .....	16
<b>Figure 4 :</b>	Site de Combani. Localisation des linéaments ( <i>source fond topographique SIG inter-administratif de Mayotte</i> ) .....	17
<b>Figure 5 :</b>	Site de Combani-Kahani. Carte d'affleurements lithologiques .....	19
<b>Figure 6 :</b>	Site de Combani-Kahani. Localisation des panneaux électriques.....	21
<b>Figure 7 :</b>	Site de Combani-Kahani. Coupes de résistivité interprétées .....	23
<b>Figure 8 :</b>	Site de Combani. Localisation des cibles possibles d'implantation de forage.....	26
<b>Figure 9 :</b>	Coupe lithostratigraphique synthétique et technique du forage de Combani-Kahani (1230-6X-0047) et localisation des venues d'eau (débits au soufflage à l'avancement) .....	30
<b>Figure 10 :</b>	Forage de Combani-Kahani (1230-6X-0047). Vitesses à l'avancement. ....	31
<b>Figure 11 :</b>	Forage de Combani-Kahani. Essai par paliers de débit.....	35
<b>Figure 12 :</b>	Forage de Combani-Kahani. Interprétation de l'essai par paliers de débit.....	36
<b>Figure 13 :</b>	Forage de Combani-Kahani. Essai de nappe. ....	37
<b>Figure 14 :</b>	Forage de Combani-Kahani. Interprétation de l'essai de nappe. ....	39
<b>Figure 15 :</b>	Forage de Combani-Kahani. Log de conductivité effectué le jour de la réception (18/08/03) .....	42
<b>Figure 16 :</b>	Forage de Combani-Kahani. Synthèse du dimensionnement.....	49

## **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 Combani-Kahani 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 (financement : Collectivité Départementale de Mayotte et BRGM, sur crédits de Service Public).

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

- de différer l'équipement du forage de Combani (1230-6X-0038) ;
- 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 lors de la reconnaissance de la cible d'implantation n°1**.

Le forage de Combani - Kahani est un forage de reconnaissance, profond de 120 m, équipé en forage d'exploitation. Son numéro dans la Banque nationale de données du Sous-Sol (BSS), gérée par le BRGM, est le : **1230-6X-0047**.

Le chapitre 5 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 diagraphies de fluides, etc..



## 2. Localisation du forage

Le forage de Combani-Kahani se situe au Nord-Est du village de Kahani, sur la commune de Ouangani, en rive droite d'un affluent du Mro Oua Gomeni (Figure 1). Il a été implanté suite à des reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géophysiques détaillées au sein du présent rapport. L'accès à la plate-forme de forage se fait à partir d'une piste qui part du village de Kahani. Les coordonnées UTM du forage, en mètres, sont les suivantes :

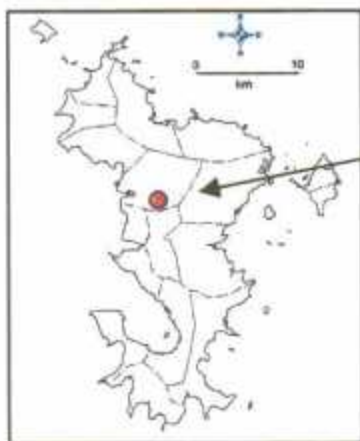
X : 515 610 m  
Y : 8 584 250 m  
Z : 170 m NGM

Ces valeurs ont été définies à partir de la carte IGN 4410 Nord à 1/25 000 de 1993. Elles devront être vérifiées/validées par un géomètre-topographe.

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

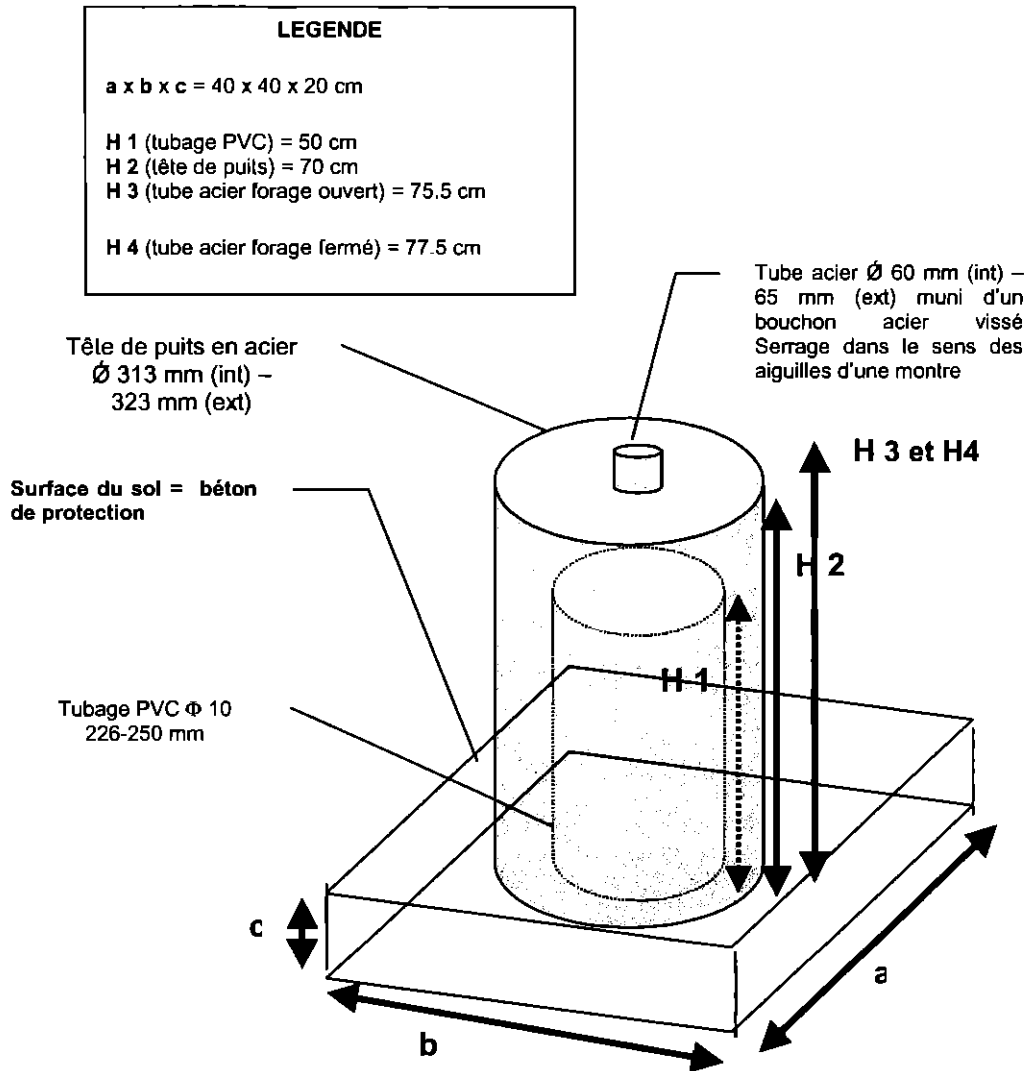
lat : 12.806420°S  
Long : 45.143850°E

**Figure 1 :** Forage de Combani-Kahani :  
(a) Localisation géographique



Forage de Combani-Kahani  
(1230-6X-0047)

**Figure 1 :** Forage de Combani-Kahani :  
(b) Schéma simplifié de la tête de puits



## 3. Implantation du forage

### 3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU FORAGE

Le forage de Combani (n° BSS 1230-6X-0038 ; cf. Figure 1), réalisé durant la première phase de la campagne de forages 2001-2003, a été implanté selon les recommandations de l'hydrogéologue de la DAF/SER (cf. rapport BRGM/RP-52054-FR). D'une profondeur totale de 89 m, ce forage recoupe, sous 32 m de formations volcaniques altérées, une succession de coulées de lave mélanocrate, altérées à saines, intercalées de formations pyroclastiques. La base de la colonne lithostratigraphique est formée d'alluvions, observées jusqu'au fond 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 m<sup>3</sup>/h environ. Les analyses sommaires de la qualité de l'eau, réalisées après foration, montrent que le manganèse présente des teneurs supérieures à la norme en vigueur pour la consommation humaine.

La plaine de Combani est parcourue par une canalisation d'eau brute qui relie des captages d'eau de surface à la station de traitement de l'Ouroveni. Réaliser un ou plusieurs autres forages productifs dans ce secteur permettrait d'assurer leur adduction à moindre coût. La Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte a réalisé un autre forage dans le secteur (n° BSS 1230-6X-0048), sous sa maîtrise d'œuvre propre. Les données de ce forage ne sont pas encore disponibles, le rapport étant en cours de rédaction par la DAF.

L'objectif des investigations menées par le BRGM est d'assurer une **compréhension hydrogéologique** suffisante du secteur, en vue de l'implantation de nouvelles **cibles de forages productifs et exploitables** immédiatement.

### 3.2. METHODOLOGIE DE LA PROSPECTION

De nouvelles études et investigations de terrain ont donc été conduites par les équipes du BRGM début 2003 :

- synthèse des informations géologiques et hydrogéologiques disponibles sur le secteur ;
- analyse stéréoscopique **linéamentaire** sur photographies aériennes et utilisation d'outils de visualisations en 3D de la topographie du secteur étudié (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 pour sélectionner des sites d'implantation optimale sur le plan hydrogéologique. La synthèse

des résultats et la description du modèle conceptuel envisagé sont présentées dans ce rapport.

Les implantations proposées ont été retenues 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 ont pour objet l'interprétation de la lithologie des formations qui seront recoupées par forage ; la photo-interprétation est destinée à localiser d'éventuelles zones fracturées ;
- 2) situées dans un contexte morphologique permettant, d'une part, la saturation en eau d'un réservoir d'eaux souterraines (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 de terrain ainsi que la géophysique doivent 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 qui a été faite des sites d'implantation.

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

Les reconnaissances ont principalement porté sur les vallées affluentes du Mro oua Ouroveni et du Mro Oua Gomeni, ainsi que sur les flancs du mont Combani (Figure 2).

Dans ce secteur, outre le bassin versant de l'Ouroveni exploré par les forages de Combani (1230-6X-0038 et 1230-6X-0048), le bassin versant du Mro Oua Gomeni présente un bassin versant hydrologique d'une taille significative.

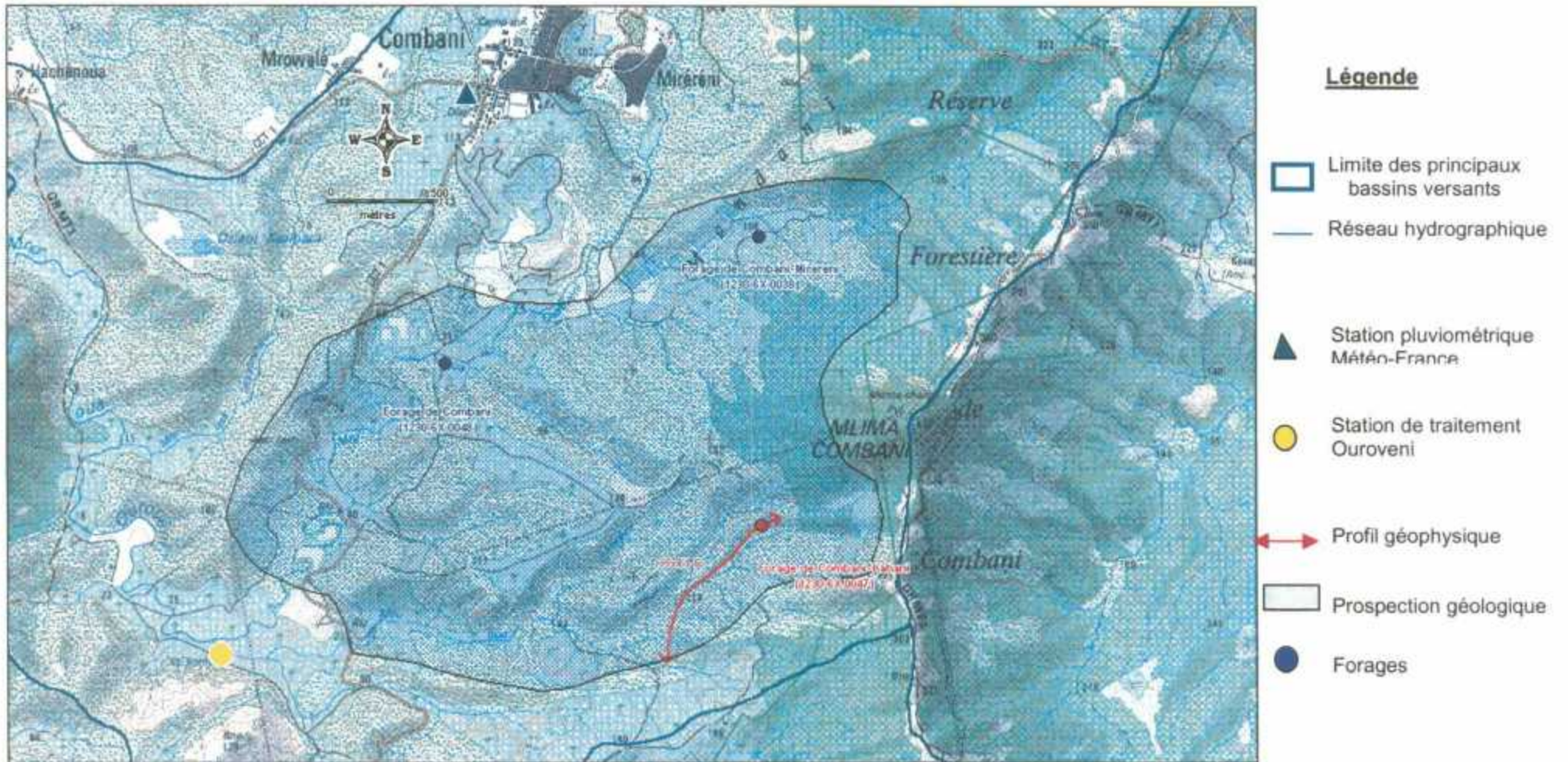


Figure 2 : Secteur de Combani. Localisation de la zone prospectée

### 3.2.1. Données antérieures disponibles

Les informations disponibles sur le secteur de la Combani sont la carte géologique à 1/50 000 de Mayotte (Stieltjes et al, 1988) et les compte-rendus des travaux de forage réalisés dans le secteur de Combani en 1990 et 2002 (Rapports BRGM/RP-52054-FR et R35165 REU 4S 92) .

Situé à une altitude de 109 m NGM environ, le forage de Combani-Kahani (1230-6X-0038), d'une profondeur de 89 m, recoupe sous 32 m de formations volcaniques altérées, une succession de coulées de lave mélanocrates, altérées à saines, intercalées de formations pyroclastiques. La base de la colonne lithostratigraphique est formée d'alluvions, observées jusqu'au fond du puits.

Des horizons perméables ont été identifiés à 25, 27, 33 et 69 m de profondeur environ, au sein des niveaux situés au toit ou à la base de chaque coulée de lave saine. La nappe est captive et la cote du niveau piézométrique est d'environ 106 m en saison sèche.

Le forage de Kahani 1 (1231-2X-0030) d'une profondeur de 45 m environ, recoupe une épaisseur de 16 m d'argiles d'altération puis une coulée de basalte saine et fracturée. Le niveau piézométrique est d'environ 107 m NGM.

Le forage de Kahani 2 (1231-2X-0031) d'une profondeur de 45 m environ recoupe un niveau d'argile d'altération sur 16 m puis une série de coulées de basalte saines. Le niveau piézométrique est d'environ 70 m NGM.

Compte tenu de la méthode de foration employée à l'époque, ces deux derniers forages n'ont pas pu faire l'objet d'une caractérisation hydrodynamique appropriée.

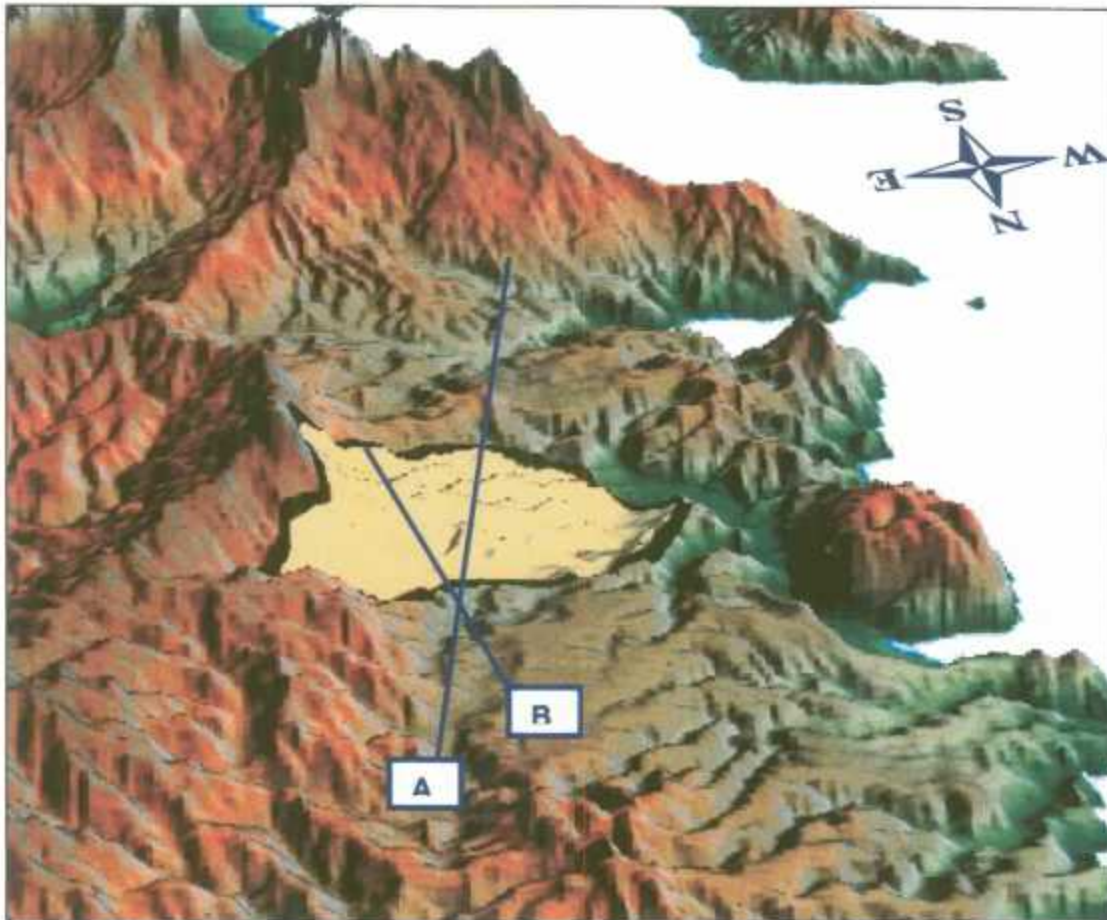
### 3.2.2. Analyse morphostructurale

Les éléments d'analyse cartographique apportent des pistes de réflexion qui sont vérifiées par les reconnaissances de terrain. Les Modèles Numériques de Terrain 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 sur la 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.

Le secteur de Combani est marqué par la présence de l'axe des hauts reliefs des monts Combani et M'tsapere et par l'absence de reliefs de taille intermédiaire. La figure 3 donne l'impression d'une plaine, peu disséquée par l'érosion, bien individualisée par rapport aux reliefs. Le linéament A (Figure 3) matérialise le tracé d'une possible faille importante, de direction Sud-Ouest – Nord-Est ; cette hypothèse n'est à l'heure actuelle pas confirmée par des relevés de terrain. L'impression d'absence de relief est sans doute à mettre en relation avec les projections pyroclastiques et/ou retombées de cendres qui sont venues napper le relief (Figure 5).



**Figure 3 :** Secteur de Combani. Visualisation des reliefs en utilisant un effet 3D (logiciel MapInfo).

Le linéament B est d'ampleur plus réduite et marque la transition entre la partie haute du secteur de Combani et la plaine.

Les structures mises en évidence ont été reportées sur le fond topographique de la figure 4.

### **3.2.3. Observations hydrologiques et hydrogéologiques**

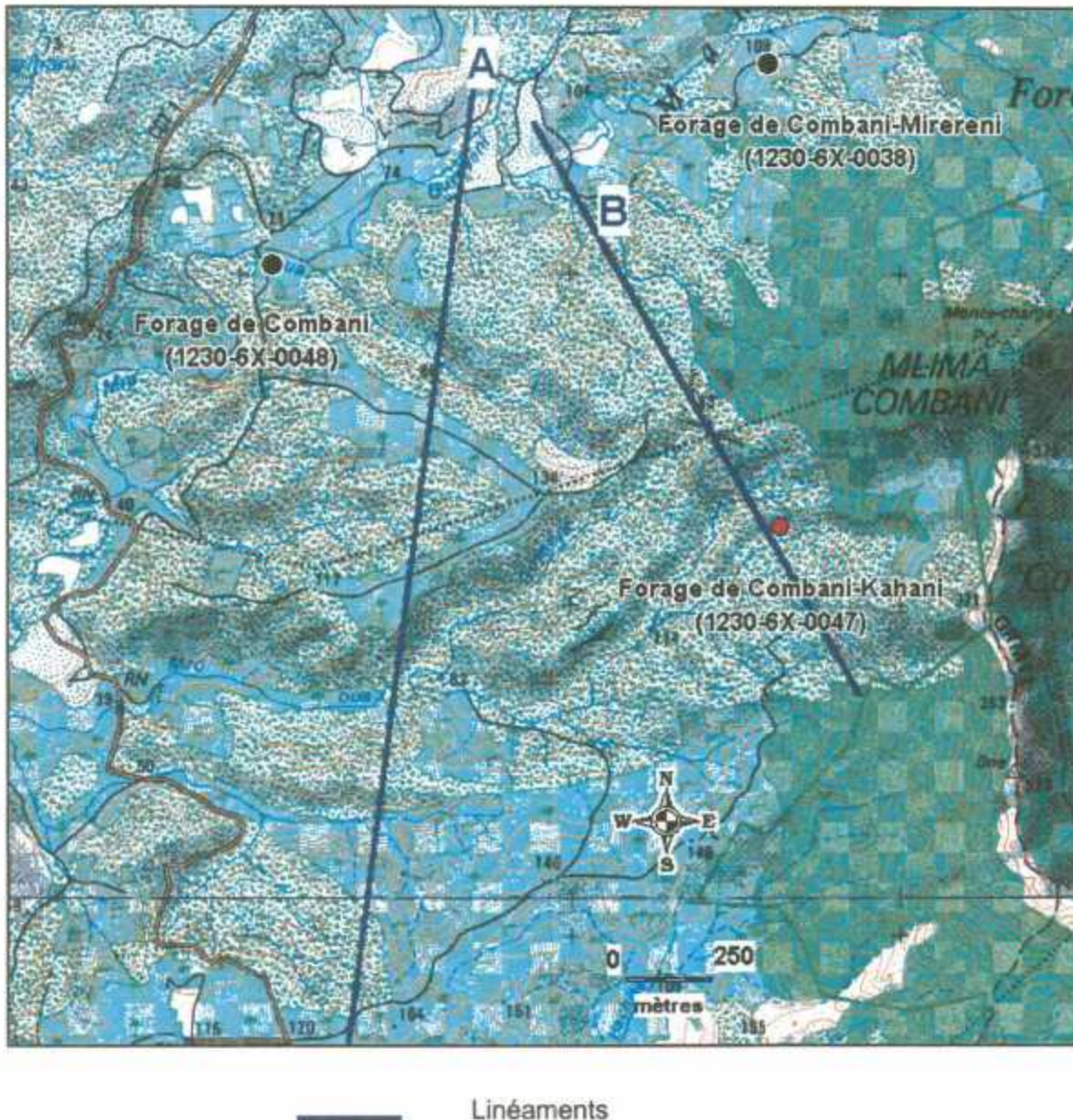
Le bassin versant de la rivière Mro oua Gomeni possède une superficie de 2,2 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 7,5 km.

Les précipitations moyennes annuelles sur le bassin versant sont de 1 800 mm, avec en moyenne 280 mm pour le mois le plus pluvieux (pluviomètre Météo-France de Combani-village).

La rivière du Mro Oua Gomeni n'est pas exploitée pour l'Alimentation en Eau Potable et ne dispose pas de station hydrométrique de suivi de son débit.



**Figure 4 :** Site de Combani. Localisation des linéaments  
(source fond topographique SIG inter-administratif de Mayotte)



La conductivité électrique des eaux souterraines au forage de Combani (1230-6X-0038) a été suivie à l'avancement à partir de 35 m de profondeur et au cours des essais de pompage. Elle est restée relativement stable, autour de 420  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.2.4. Observations géologiques de terrain

Les explorations géologiques menées dans le secteur du forage de Combani-Mirérèni (1230-6X-0038) sont en bonne corrélation avec les observations réalisées au cours de la

foration (Figure 5). Dans ce secteur, les formations les plus représentées sont des tufs pyroclastiques à mégacristaux de pyroxène.

Cette formation est à mettre en relation avec les pyroclastites recoupées en forage dont la description au sein du rapport de forage BRGM/RP-52054-FR fait état de cristaux libres de pyroxènes et de calcite, de fragments de lave mélanocrate vacuolaires et d'éléments laviques scoriacés.

Dans la rivière, ces tufs sont surmontés d'une coulée de basalte très riche en pyroxène et lattes de plagioclases, altérée en masse et en boules. Le degré d'altération très avancé de ces laves permet de les associer aux formations géologiques recoupées en forage sur les premiers mètres, décrites comme étant des altérites de lave mélanocrate à phénocristaux de pyroxène.

Les tufs précédemment cités surmontent une coulée de basalte mésocrate, frais subaphyrique, avec quelques cristaux d'olivine, de pyroxène et plagioclase. Cette formation correspond probablement à l'ensemble de coulées de lave recoupées en forage entre 32 et 54 m de profondeur.

L'exploration de cette vallée confirme les observations réalisées par l'intermédiaire du forage de Combani (1230-6X-0038), dans la mesure où l'on observe des coulées de lave intercalées de tufs pyroclastiques épais.

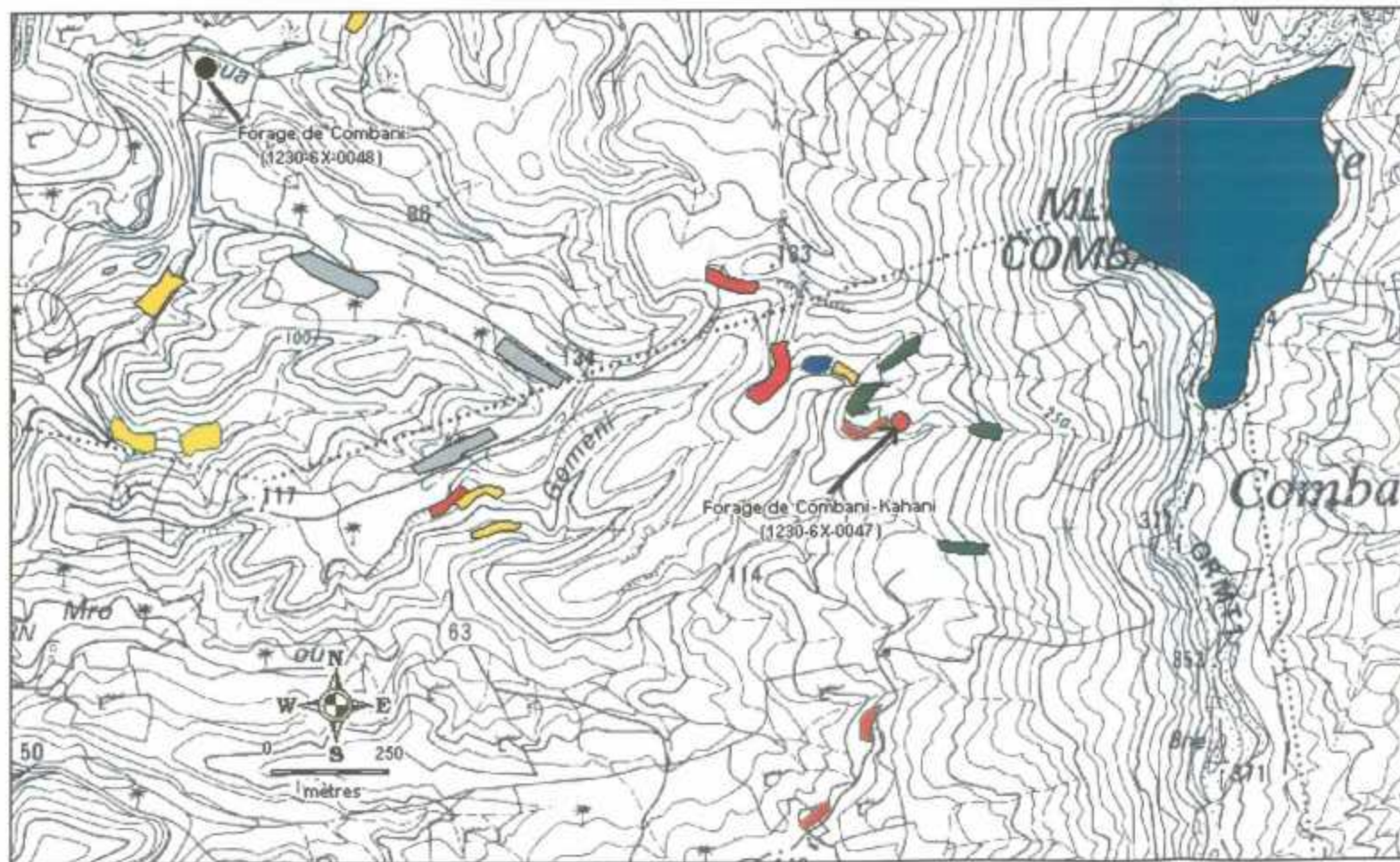
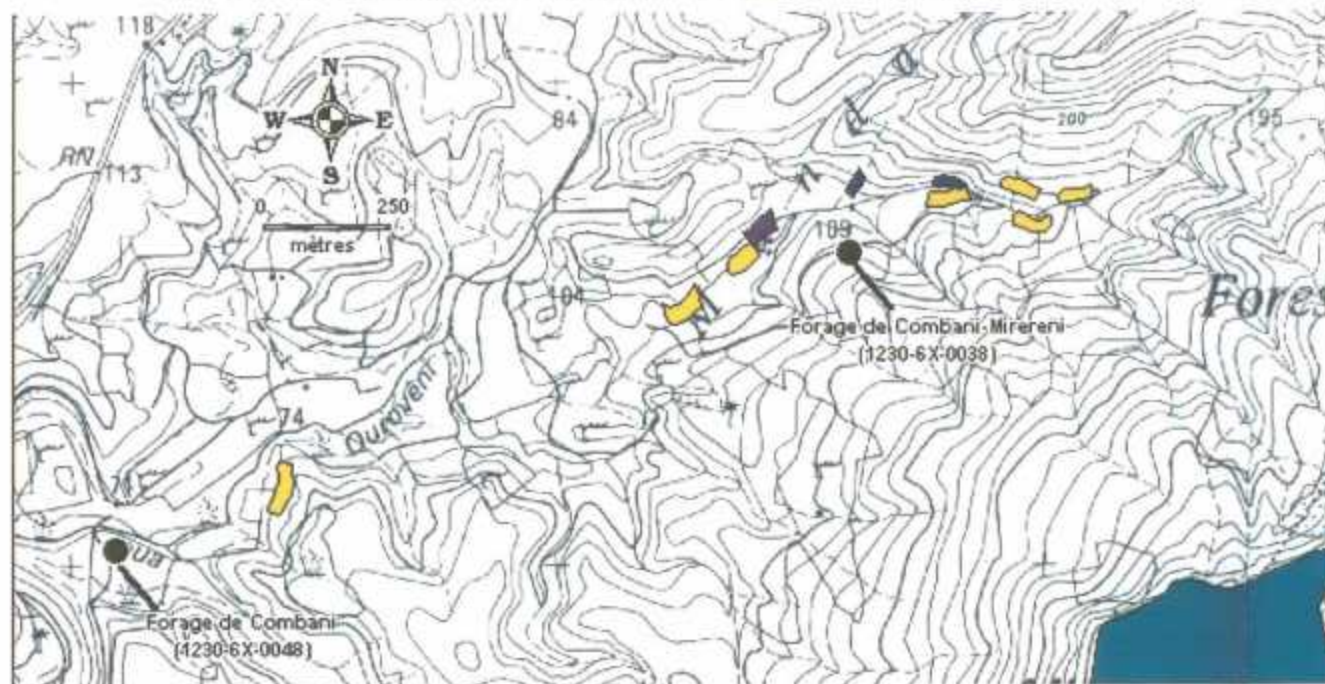
Dans la partie Sud-Est de la carte de la figure 4, les principaux affleurements repérés sont des altérites en terrain de couverture d'épaisseur variable (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres), de cendres et de tufs pyroclastiques qui ont nappé les reliefs (Figure 5).

Au pied du mont Combani, les formations géologiques suivantes ont été reconnues du plus ancien au plus récent :

- un cône de scories avec une coulée de basalte massive, porphyrique, altérée en masse ;
- une coulée de basalte porphyrique et fissurée, à phénocristaux de feldspath ;
- des retombées pyroclastiques qui ont recouvert l'ensemble de ces formations.

Le secteur du mont Combani serait donc caractérisé par la présence de coulées de basalte, présentant des indices de fissuration, localement surmontées de pyroclastites et d'altérites.

Figure 5 : Site de Combani-Kahani. Carte d'affleurements lithologiques



- Forage de Combani-Mireréri et Combani
- Forage de Combani-Kahani
- Altérites
- Formations volcaniques différenciées**
- Phonolites
- Formations volcaniques pyroclastiques plus ou moins remaniées**
- Tufs pyroclastiques riches en mégacristaux de pyroxène
- Retombées de cendres
- Laves basaltiques**
- Coulée de basalte massive, porphyrique, à pyroxène et olivine, altérée en masse.
- Basalte très riche en cristaux de pyroxènes et lattes de plagioclases, altérée en masse et en boules.
- Coulée massive de basalte porphyrique à plagioclase et pyroxène, localement fissurée.
- Basalte mésocrate, subaphyrique, contenant quelques cristaux d'olivine, pyroxène et plagioclase, altéré en boules.

### 3.2.5. Géophysique

Le profil géophysique « B » a été implanté sur le chemin qui longe un affluent du Mro Oua Gomeni (Figure 6).

L'objectif est d'explorer en profondeur la géométrie des coulées de lave observées à l'affleurement dans la partie haute du profil.

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

1. la technique d'exploration par panneaux électriques est principalement utilisée 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 ;
4. 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 ;
5. la présence de formations très conductrices en surface (particulièrement les altérites) peut engendrer une diminution des valeurs de résistivité observées en profondeur, les horizons superficiels ayant tendance à capter l'essentiel des lignes de courant.

Une analogie immédiate entre les pseudo-coupes de résistivité et la géologie des couches de terrains traversées est donc risquée. C'est la raison pour laquelle l'interprétation des profils géophysiques n'est possible qu'après des reconnaissances géologiques de surface et/ou par forage.

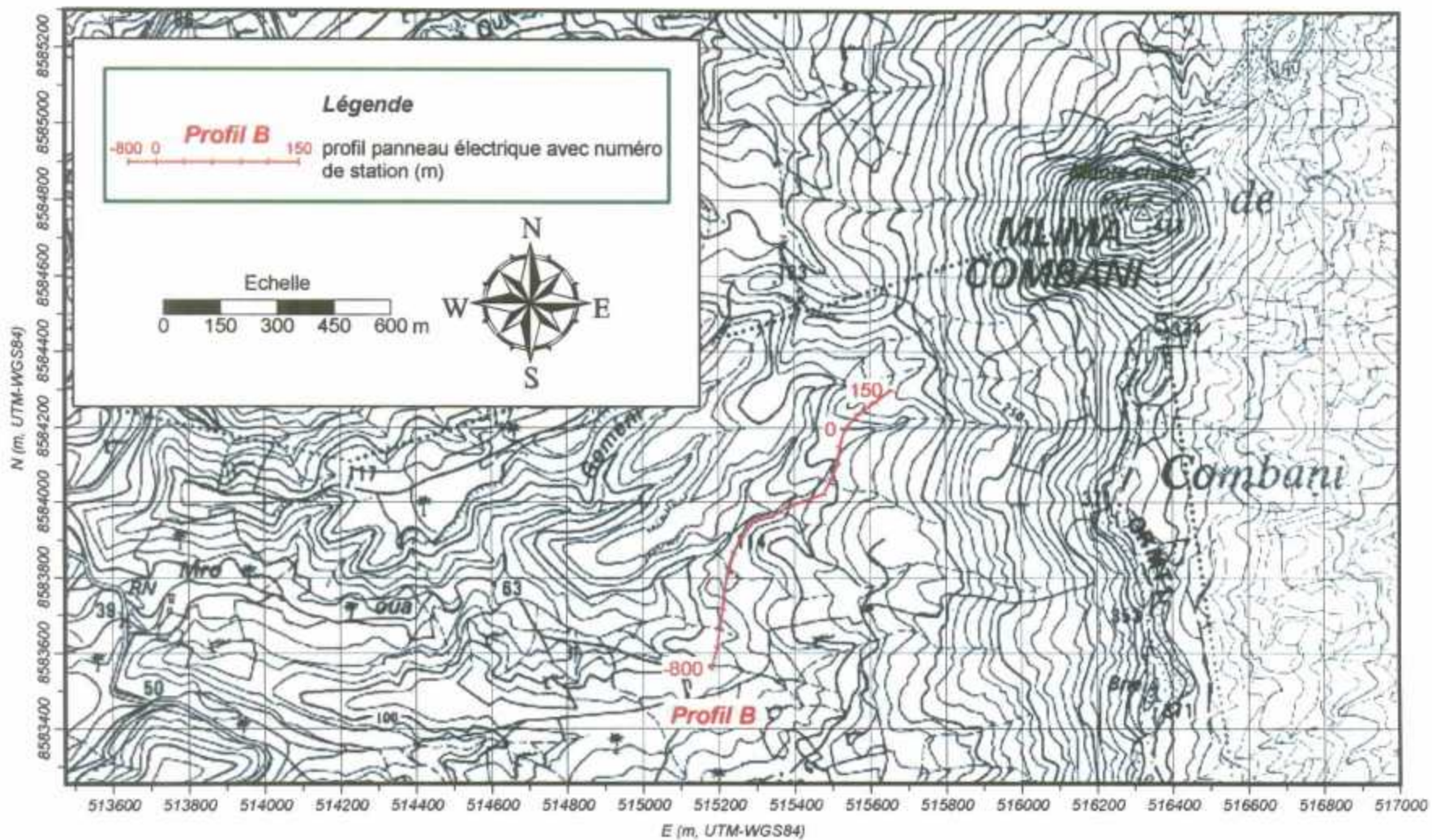


Figure 6 : Site de Combari-Kahani. Localisation des panneaux électriques

Le profil B met en évidence, dans sa partie aval :

- un ensemble C5 très conducteur, de - 75 à -725 m sur le profil, et dont la résistivité moyenne est de l'ordre de 7,5 Ohm.m. Cet ensemble semble former les terrains superficiels situés entre l'abscisse -175 et - 325 et peut correspondre à des épaisseurs d'altérites et/ou de pyroclastites, généralement très conductrices ;
- un ensemble résistant R5, situé entre les abscisses -200 et -600, à environ 80 m de profondeur, et dont la résistivité moyenne est de l'ordre de 100 Ohm.m ;

dans la partie amont du profil :

- un ensemble faiblement résistant en surface R6, sur les 40 premiers mètres ;
- un ensemble plus résistant « profond » R7, de résistivité moyenne 200 Ohm.m, dont le pendage présente une valeur supérieure à la pente topographique ;
- un horizon conducteur, de faible épaisseur sépare ces deux ensembles.

On observe une discontinuité significative entre les ensembles R5 et R6/R7 au droit de l'abscisse - 150. Cette discontinuité est marquée par la présence d'un ensemble conducteur C6 en profondeur (80 m/sol).

Cette discontinuité peut correspondre à une faille ou à un contact lithologique majeur masqué par l'ensemble conducteur. Sa localisation correspond à la trace du linéament B repéré sur les figures 3 et 4 et à une limite morphologique très nette dans le paysage.

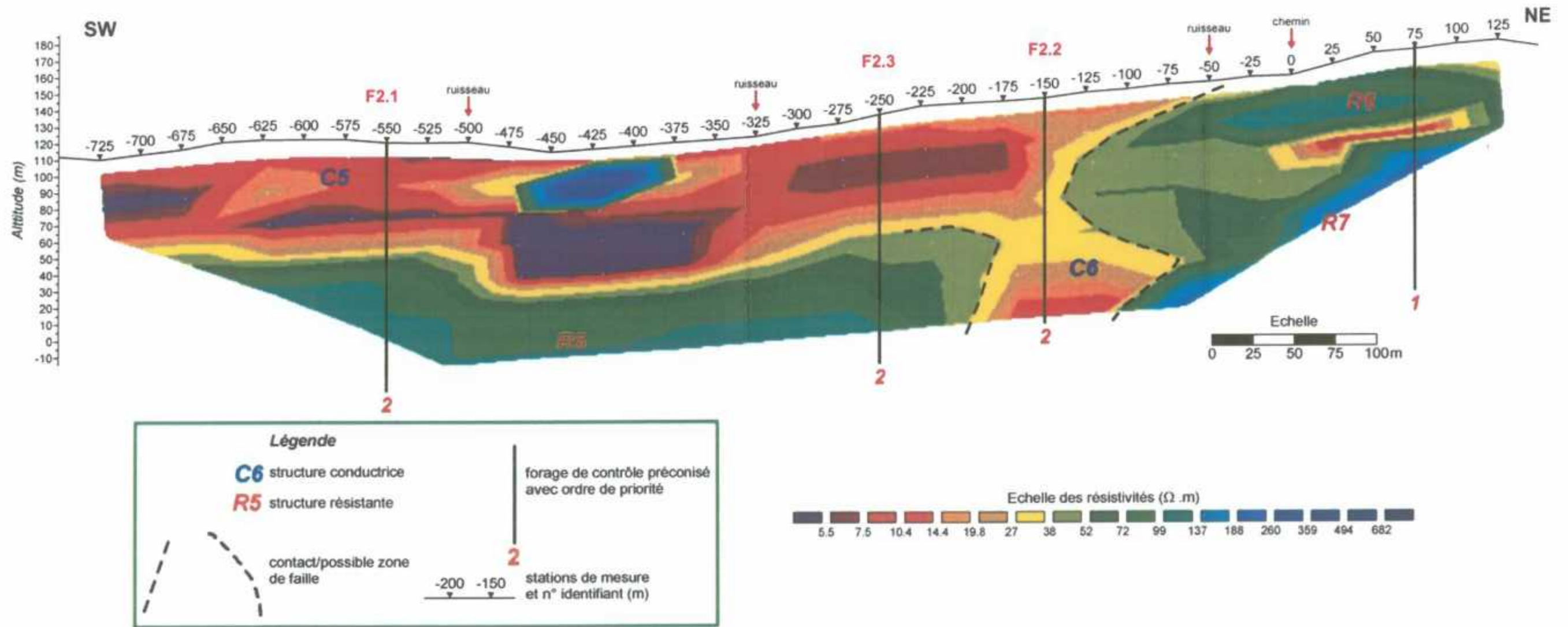


Figure 7 : Site de Combani-Kahani. Coupes de résistivité interprétées

### **3.3. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS**

Dans la partie Nord-Est de la zone explorée, les formations pyroclastiques (cendres et/ou tufs pyroclastiques) nappent l'ensemble du relief sur des épaisseurs de l'ordre de 30 à 40 m.

Dans la partie basse du secteur de Combani-Kahani, ces dépôts pyroclastiques sont également présentes sur des épaisseurs de l'ordre de 30 m.

La zone du forage (1230-6X-038) ne présente pas un intérêt hydrogéologique fort dans la mesure où les formations laviques intercalées de pyroclastites peu perméables susceptibles d'être aquifères ont été recoupées en forage, et ne semblent pas, à la vue des essais effectués à ce jour présenter des potentialités importantes (transmissivité faible de l'ordre de  $6.10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s).

La partie amont de la zone d'étude, au pied du mont Combani offre des caractéristiques plus intéressantes sur la base des prospections réalisées :

- coulées de lave de nature basaltique repérées à l'affleurement et présentant des indices de fissuration ;
- caractère sain de ces formations laviques repéré en profondeur à partir de la géophysique ;
- présence de linéaments importants pouvant être interprétés comme des indices de fracturation dans la partie amont du secteur.

### **3.4. PROPOSITION D'IMPLANTATION DES FORAGES**

#### **3.4.1. Démarche mise en œuvre pour le choix des cibles de forage**

Pour l'implantation de forage d'exploration, les critères et la démarche mis 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 ;
- définition des contraintes de maîtrise foncière et d'accessibilité 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. BRGM OJ/03/114).



Les sites sont classés par ordre de priorité décroissant de F1 à F2 (F2.1, F2.2, F2.3) et tiennent compte des risques et contraintes énoncées ci-dessus et ci-dessous.

### 3.4.2. Cibles d'implantation de forage et aléas naturels

La cible de forage prioritaire F1 dans ce secteur ne présente pas de risque d'aléa inondation. Il a été implanté par le BRGM au cours d'une visite de terrain, au plus proche du profil géophysique, en présence des représentants du Maître d'Ouvrage Délégué.

Du point de vue de la vulnérabilité aux pollutions, ce site n'est pas particulièrement exposé à des rejets d'industrie et de produits agricoles.

### 3.4.3. Localisation des cibles de forage et hiérarchisation

La cible F1 se trouve au droit de l'abscisse 75 m. Le but est de recouper les ensembles résistants R6 et R7 susceptibles d'être les laves repérées à l'affleurement dans le secteur. La profondeur prévisionnelle de ce forage est d'environ 120 m. Le risque d'intrusion d'eau salée est puisque l'on se situe à une altitude approximative de 170 m et à plus de 4 km du rivage.

#### Localisation du forage F1, coordonnées UTM :

**X = 515 630 m**

**Y = 8 584 235 m**

**Z ≈ 170 m**

Les cibles de forage F2.1 et F2.3 (Figures 7 et 9) recouperaient l'ensemble résistant R5 repéré sur le panneau électrique (Figure 7) sur au moins 40 m d'épaisseur. Compte tenu d'une profondeur prévisionnelle de l'ordre de 120 m, le risque de rencontrer le biseau salé reste très faible étant donnée la compartimentation possible de l'aquifère et la distance au rivage.

La cible de forage F2.2 viserait à reconnaître la possible zone fracturée que constituerait l'ensemble conducteur C2, la profondeur prévisionnelle de ce forage serait d'environ 120 m.

### 3.4.4. Cible de forage retenue

Le site de forage retenu par le maître d'ouvrage est la **cible F1**.

Cette cible a fait l'objet d'une implantation définitive sur le terrain, 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 **Combani-Kahani (1230-6X-0047)**.

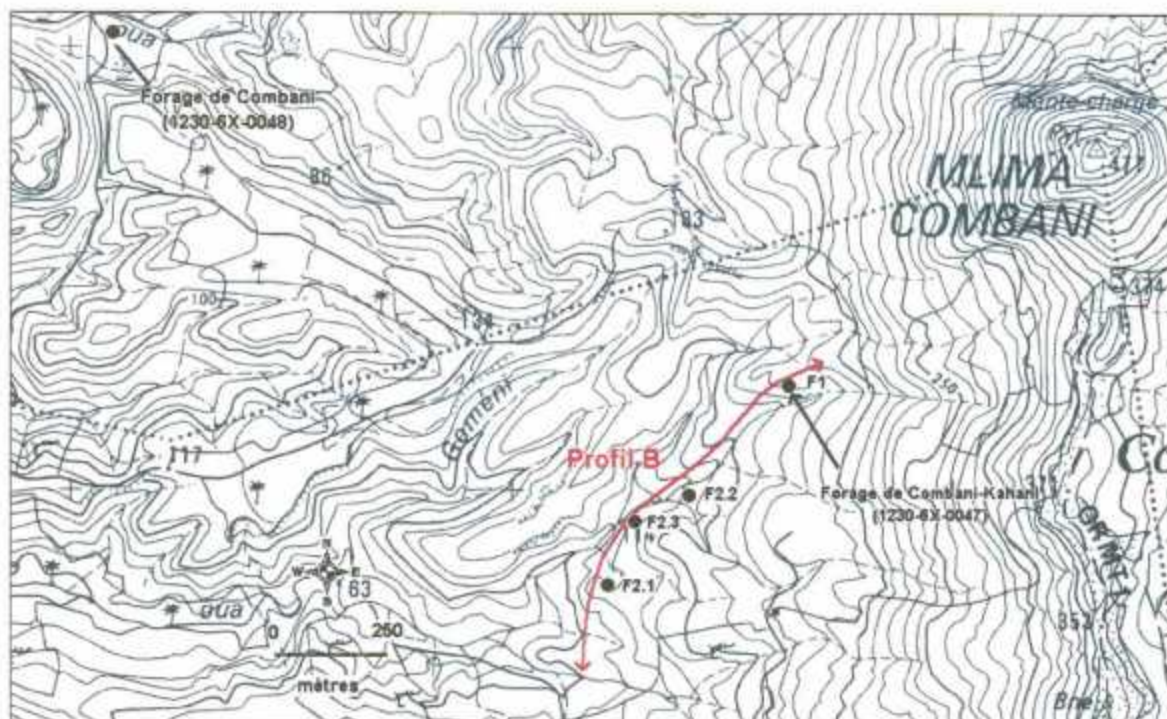


Figure 8 : Site de Combani. Localisation des cibles possibles d'implantation de forage

## 4. Travaux réalisés

### 4.1. TRAVAUX DE REALISATION DU FORAGE

Les travaux de foration ont été réalisés par l'entreprise COFOR du 07/07/03 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).

#### 4.1.1. Calendrier des travaux

- le 07/07/03 :
  - amenée et installation du matériel ;
- du 08/07/03 au 01/08/03 :
  - foration au MFT Ø 15 pouce (381 mm) à l'air (avec adjonction temporaire de mousse) jusqu'à 68 m/sol, avec tubage à l'avancement 16 pouces sur les 46 premiers mètres et télescopage (tubages 14 pouces) jusqu'à 52 m/sol ; puis foration au MFT Ø 14 pouce jusqu'à 85 m/sol ; et enfin foration au tricône Ø 12<sup>3/4</sup> pouce jusqu'à 120 m/sol ;
- le 02/08/03 et le 03/08/03 :
  - équipement du forage : tubage et pose du massif de graviers ;
- le 04/08/03 et le 05/08/03 :
  - nettoyage et développement durant 13 heures à des débits compris entre 30 et 45 m<sup>3</sup>/h. A la fin de l'opération, à un débit au soufflage de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/h, l'eau est claire et ne montre plus de matières en suspension ;
- du 06/08/03 au 08/08/03 :
  - compléments de graviers, mise en place du bouchon argileux et cimentation ;
  - descente de la pompe 8 pouces ;
- du 09/08/03 au 14/08/03 :
  - essai de puits (essai par paliers de débits) ;
  - essai de nappe (pompage d'une durée de 72 heures et suivi de la remontée pendant 12 heures) ;
- le 18/08/2003 :
  - diagraphie de fluides (conductivité électrique) ;
  - réception du forage.

#### 4.1.2. Equipement du forage

L'ouvrage de Combani-Kahani est équipé en forage d'exploitation de la façon suivante (Figure 9 et Annexe 2) :

- comblement du fond du trou par des terrains éboulés (120 m/sol à 119,75 m/sol) ;
- PVC plein Ø 10 pouces (226 - 250 mm) de + 0,5 à 60,75 m/sol, de 66,5 à 83,75 m/sol, de 95,25 à 101 m/sol, et de 118,25 à 119,75 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 60,75 à 66,5 m/sol, de 83,75 à 95,25 m/sol, et de 101 à 118,25 m/sol ;
- gravier basaltique concassé Ø 4 - 6 mm de 53 à 119,75 m/sol, et de 11 à 42 m/sol ;
- bouchons argileux (Expangel SP7) de 52 à 53 m/sol ;
- cimentation de 0 à 10 m/sol et de 42 à 52 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.

## 5. Résultats

### 5.1. GEOLOGIE

#### 5.1.1. Coupe lithostratigraphique du forage

La coupe lithostratigraphique synthétique du forage de Combani-Kahani est présentée en Figure 11. 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 10) et (iii) sur la localisation des venues d'eau (Figure 9).

Les formations géologiques recoupées par le forage sont les suivantes :

#### **0 – 40 m/sol : coulées de basalte altéré.**

Un profil d'altération s'est développé aux dépens d'un ensemble de coulées de basalte à pyroxène, interstratifiées de niveaux scoriacés (toit et semelles de coulées). Dans les cuttings les éléments lavique sont majoritairement inframillimétriques et millimétriques (4/5 mm maximum), avec quelques uns centimétriques (1 à 2 cm). Ils sont altérés à très altérés avec la présence de minéraux d'altération de couleur orangée rouge. On note la présence d'éléments de lave vacuolaire de 16 à 22 m/sol et de 30 à 40 m/sol, dont les vacuoles sont tapissées de minéraux blancs d'origine hydrothermale.

#### **40 – 51 m/sol : alluvions argileuses.**

Cette formation remaniée et altérée contient :

- des éléments émoussés et altérés de basalte, de taille infracentimétrique, vacuolaires, à microphénocristaux de pyroxène ;
- des éléments émoussés de lave de couleur rouge et des éléments argileux de couleur marron ;

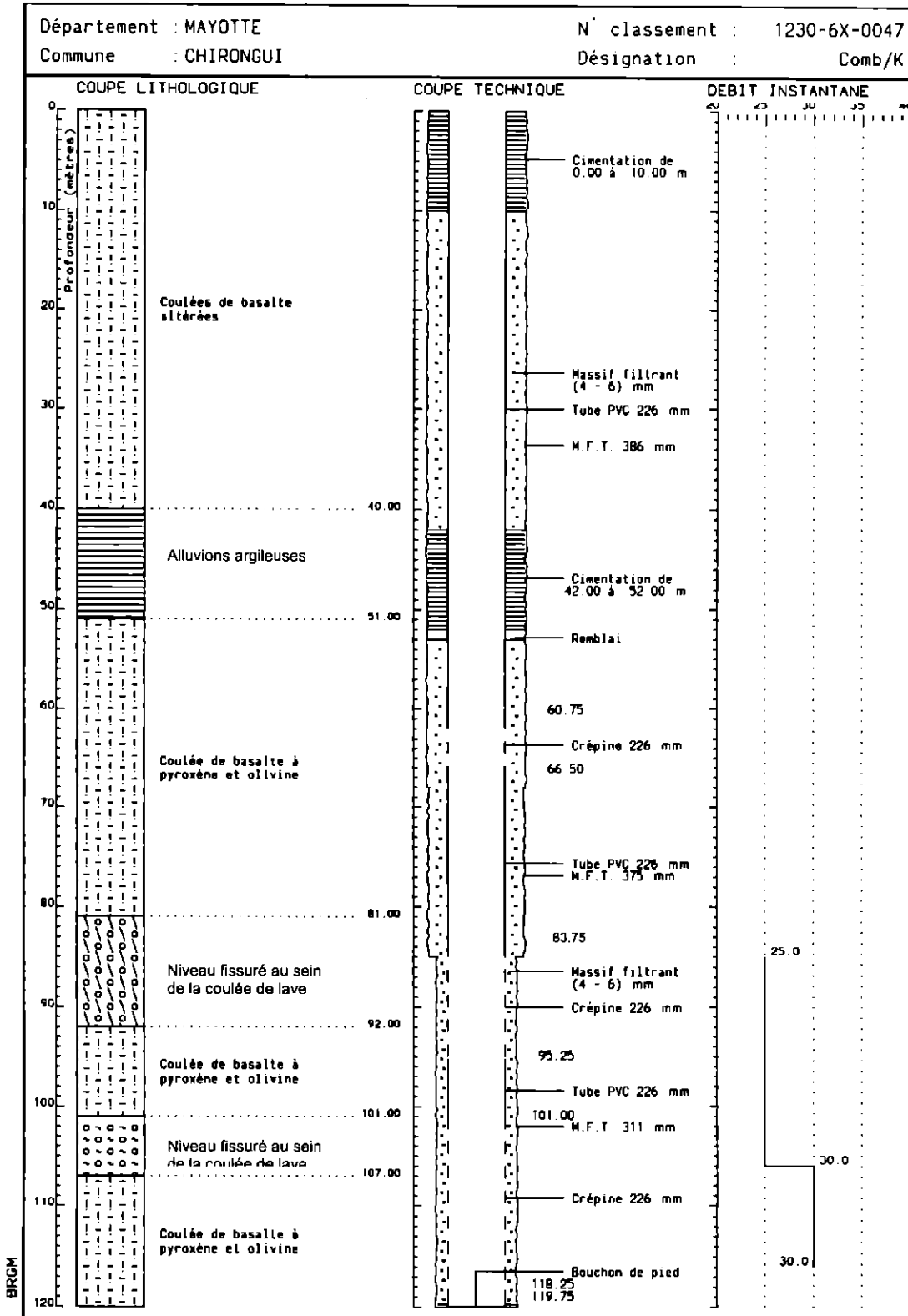
#### **51 - 120 m/sol : coulée de basalte à olivine et pyroxène.**

Cette formation est constituée d'un ensemble homogène sur le plan lithologique, de basalte mésocrate à microphénocristaux de pyroxène et d'olivine. On note la présence quasi permanente de minéraux hydrothermaux et d'oxydation. Au sein de cette coulée de lave saine et massive, on distingue :

- de 81 à 92 m/sol : un horizon fissuré/fracturé avec présence de minéraux rouges, blancs et verdâtres en plaquettes (minéraux d'altération hydrothermaux en plaquage dans des fissures) ;
- de 101 à 107 m/sol : un horizon fissuré, avec quelques minéraux d'altération hydrothermaux en plaquage dans des fissures ;

Le forage recoupe donc un ensemble de coulées de lave, altérées sur les 40 premiers mètres, et une coulée de lave saine, massive et localement fissurée/fracturée de 51 à 120 m/sol. Ces 2 ensembles sont séparés par des dépôts alluvionnaires. L'ensemble inférieur est très probablement une coulée de vallée dont la base n'a pas été atteinte.

**Figure 9 :** Coupe lithostratigraphique synthétique et technique du forage de Combani-Kahani (1230-6X-0047) et localisation des venues d'eau (débits au soufflage à l'avancement)

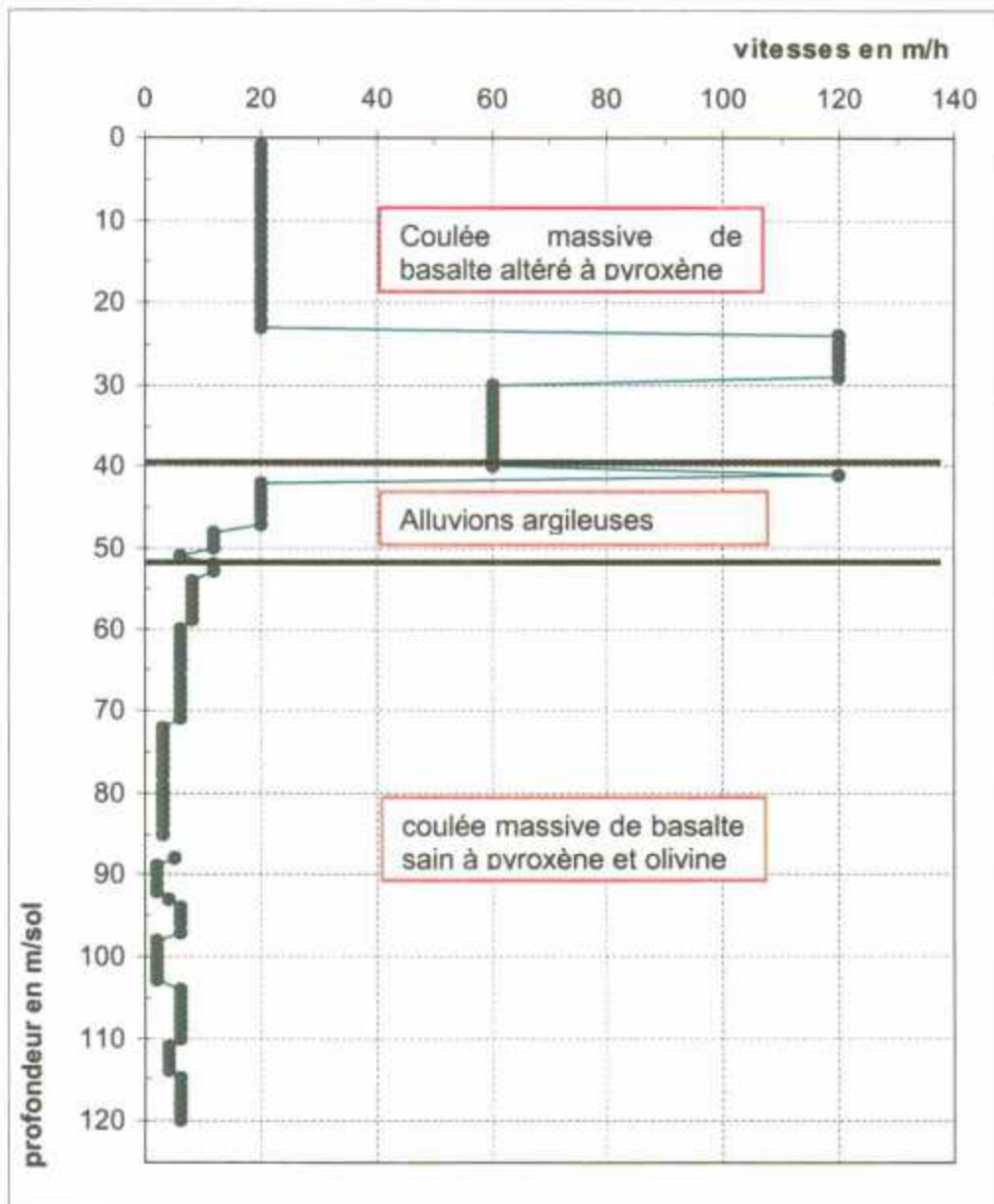


### 5.1.2. Vitesses à l'avancement

Les vitesses à l'avancement (Figure 10) permettent de distinguer :

- La succession de coulées de basalte altéré, avec des vitesses à l'avancement élevées (20 m/h) à très élevées dans les horizons vacuolaires des toits et bases des coulées (120 m/h entre 25 et 30 m/sol) ;
- la coulée de basalte massif, sain, localement fissuré et/ou fracturé, à pyroxène et olivine, où les vitesses à l'avancement sont faibles, de l'ordre 8 à 10 m/h.

Figure 10 : Forage de Combani-Kahani (1230-6X-0047). Vitesses à l'avancement.



### **5.1.3. Confrontation de la lithostratigraphie du forage aux observations géologiques de surface**

Le forage a recoupé, sur les 40 premiers mètres de profondeur un ensemble de coulées de basalte altéré à très altéré. La couverture altéritique vue à l'affleurement en aval du forage et le long de la piste peut correspondre à ces coulées altérées dont des faciès plus sains (coulée massive de basalte porphyrique à plagioclase et pyroxène, localement fissurée) affleurent dans la ravine à une centaine de mètres du forage.

Les laves saines sous-jacentes n'ont pas été observées à l'affleurement. Leur toit se situant vers 120 m NGM, il ne peut être exclu que ces formations massives soient à l'origine des replats morphologiques d'altitude similaire et des falaises mentionnées sur la carte topographique à l'Ouest du site. Néanmoins, la discontinuité géophysique observée à l'ouest du forage ne milite guère en faveur de cette hypothèse.

Ces hypothèses mériteraient d'être vérifiées par des observations de terrain complémentaires.

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

La confrontation de la coupe lithostratigraphique du forage aux données géophysiques (Figure 7) permet de faire les constatations suivantes :

- les formations faiblement résistantes (ensemble R6), de résistivité comprise entre 40 et 100 Ohm.m, mises en évidence par panneaux électriques jusqu'à 40 m, coïncident bien avec les coulées de lave altérées recoupées en forage ;
- les formations conductrices sous-jacentes, comprises entre 10 et 40 Ohm.m, correspondent sans ambiguïté à l'épaisseur d'alluvions recoupée en forage de 40 à 51 m de profondeur ;
- l'ensemble résistant sous-jacent R7, de résistivité comprise entre 80 et 160 Ohm.m, mis en évidence par panneau électrique de 50 à 70 m/sol et pressenti comme étant beaucoup plus épais, coïncide avec la coulée de basalte sain, localement fissuré/fracturé, à pyroxène et olivine.

## **5.2. HYDROGEOLOGIE**

### **5.2.1. Venues d'eau à l'avancement**

La principale venue d'eau recoupée, a été observée au sein de la partie fissurée et ou fracturée de la coulée de basalte à olivine et pyroxène, située entre 81 et 92 m de profondeur par rapport au sol.

La venue d'eau la plus importante se situe à environ 85 m/sol.



Des venues d'eau ont probablement eu lieu au sein de la partie fissurée de la coulée de basalte à olivine et pyroxène, située entre 102 et 108 m de profondeur, mais elles n'ont pas été confirmées par une augmentation significative du débit au soufflage (Annexe 2).

### 5.2.2. Piézométrie

Le niveau piézométrique mesuré à partir de 71 m de profondeur, a diminué au fur et à mesure de l'approfondissement du forage, passant de 25,6 m/sol à 71 m de profondeur à 30 m/sol en fin de foration. Après équipement et développement du puits, le niveau piézométrique reste voisin de 30 m/sol. A la réception du forage, le 18/08/03, la piézométrie était aussi de 30 m/sol, soit une cote de 140 m NGM environ.

Les niveaux perméables recoupés sont donc de type captif ou semi-captif. Même s'il ne sont pas en relation directe avec la rivière à proximité du forage, leur charge hydraulique est similaire à l'altitude de celle-ci (140 à 150 m NGM environ).

### 5.2.3. Pompages d'essai

Le forage de Combani-Kahani a fait l'objet d'un essai de puits (pompage d'essai par paliers de débit) et d'un essai de nappe d'une durée de 72 h. Ces essais ont été réalisés avec une pompe Ø 8" PLEUGER QN 83/3, d'une hauteur de 1,5 m, dont la partie basse (aspiration) a été positionnée à 96 m/sol.

Les données des pompages d'essai sont présentées en Annexe 2. Les enregistrements piézométriques ont été réalisés manuellement et aussi, automatiquement, au moyen d'enregistreurs de type "Diver" (pas de temps 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 foration et les essais de pompage sont très faibles (Annexe 4).

#### 5.2.3.1. Essai de puits

L'essai de puits a comporté 4 paliers non enchaînés (Figures 11 et 12). Le couple de valeurs obtenu à l'issue de la première heure de pompage lors de l'essai de nappe (rabattement 29,63 m, débit 31,5 m<sup>3</sup>/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. On note toutefois la sensibilité du débitmètre automatique à des variations de débit qui ne sont pas toutes vérifiées par des mesures de débit au fût. Pour chaque couple de valeurs rabattement-débit, le débit a été estimé sur la base des mesures réalisées au débitmètre durant les 40 dernières minutes de chaque palier.

La courbe caractéristique du forage, obtenue à partir des 3 premiers paliers de débit montre un bon ajustement. Les valeurs du 4<sup>em</sup> palier et le couple de valeurs obtenu lors de la première heure de l'essai de nappe suggèrent un certain développement de la formation. En effet, on constate une forte diminution du rabattement spécifique

correspondant à ces deux dernières valeurs (1,03 et 0,94 m/m<sup>3</sup>/h) contre 1,10 pour le 3<sup>em</sup> palier.

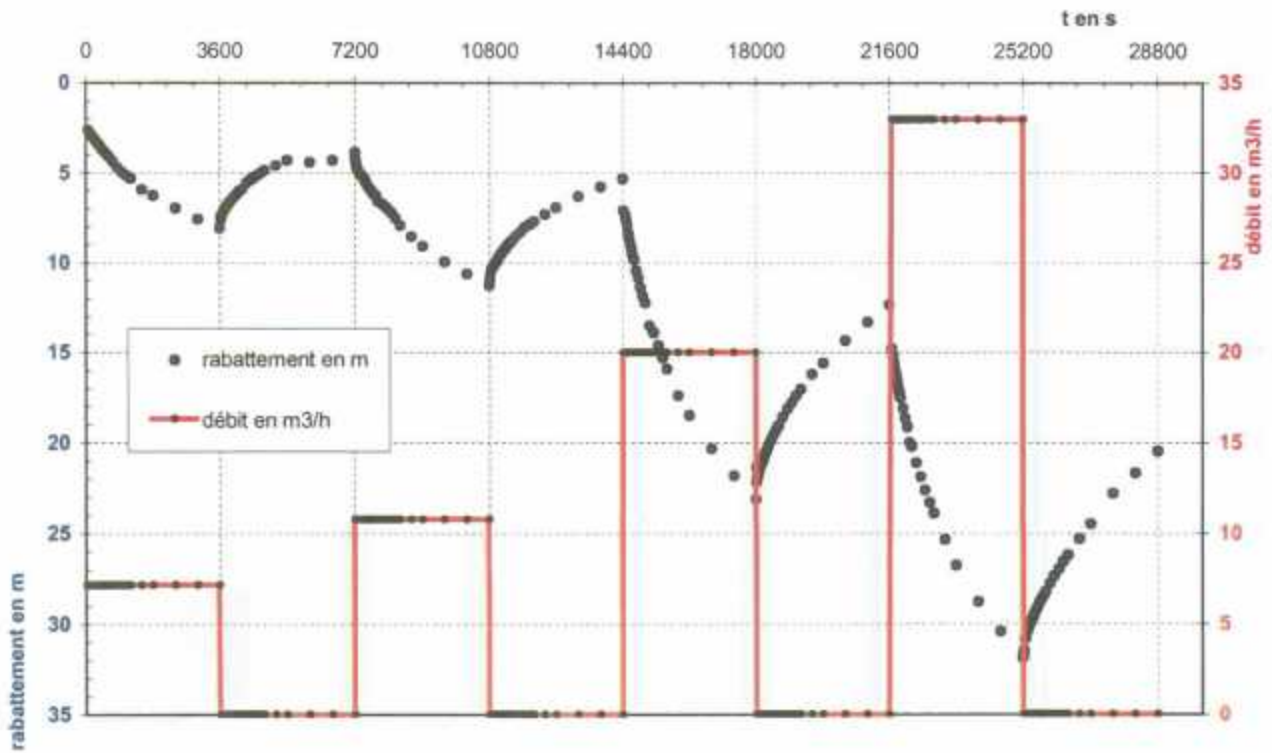
	rabattement (m)	débit (m <sup>3</sup> /h)	rabattement spécifique (m/ m <sup>3</sup> /h)
palier 1	8.07	7.5	1.08
palier 2	11.26	10.4	1.08
palier 3	23.12	21	1.10
palier 4	31.87	31	1.03
palier complémentaire	29.63	31.5	0.94

Les coefficients de la courbe caractéristique du forage, de type  $s = bQ + c Q^2$  (Figure 12), obtenus en se basant sur les valeurs des 3 premiers paliers uniquement, sont :

- coefficient de pertes de charge linéaire :  $b = 1,07 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})$  (3855 m/(m<sup>3</sup>/s)) ;
- coefficient de pertes de charge quadratiques :  $c = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$  (13 043 s<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>).

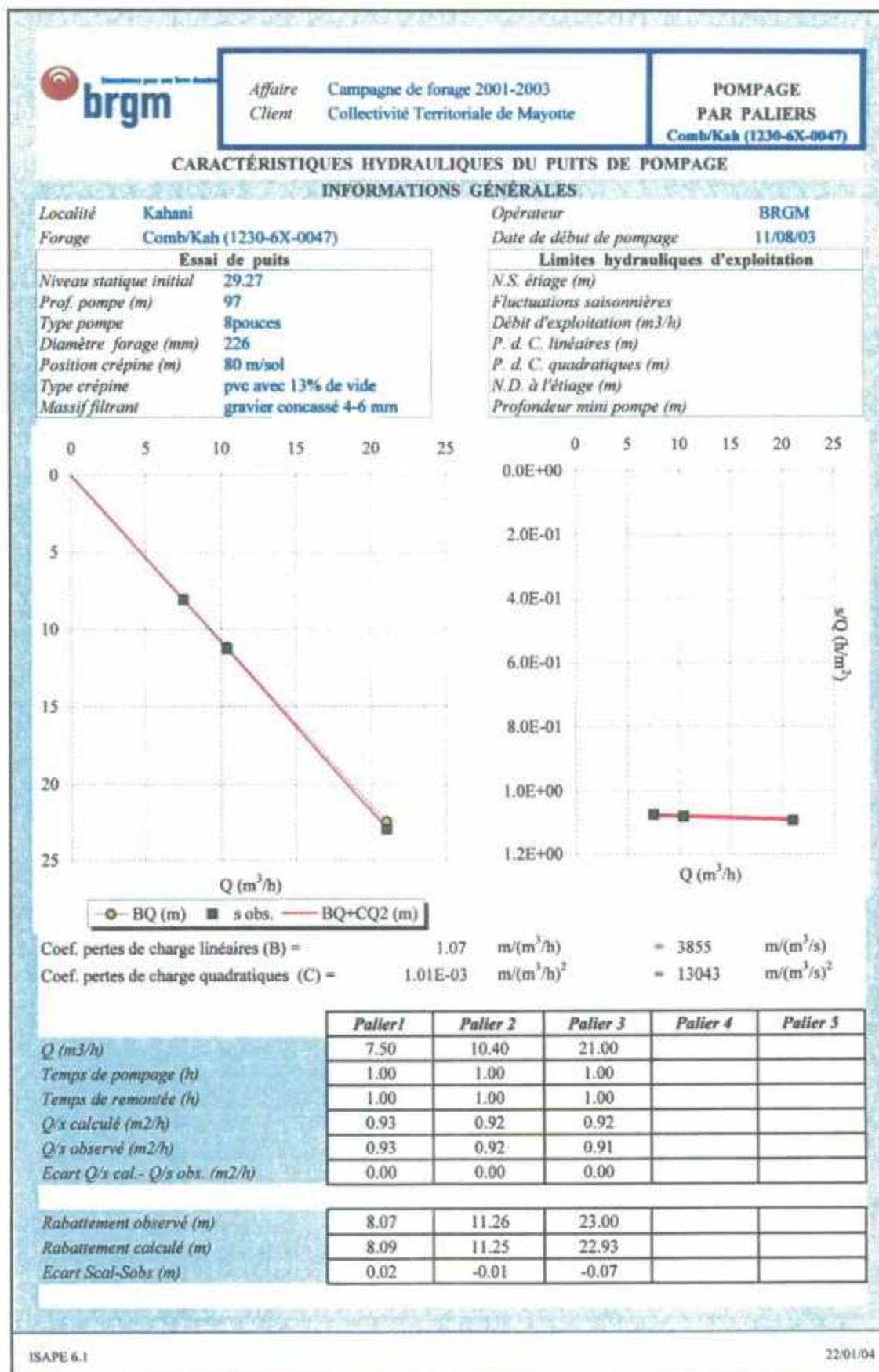
Ces valeurs ne sont *a priori* pas représentatives des caractéristiques du puits à l'issu de l'essai de nappe. Compte tenu de cet état de fait, le Maître d'Ouvrage Délégué a été sollicité pour qu'un nouvel essai de puits soit réalisé à l'issu de l'essai de nappe (cf. Annexe 1). Cet essai de puits n'a pas été réalisé.

Figure 11 : Forage de Combani-Kahani. Essai par paliers de débit



Les valeurs de débit présentées sur la figure 11 sont des valeurs moyennes sur chaque heure de pompage, les mesures ayant été effectuées au fût de 200 l.

Figure 12 : Forage de Combani-Kahani. Interprétation de l'essai par paliers de débit

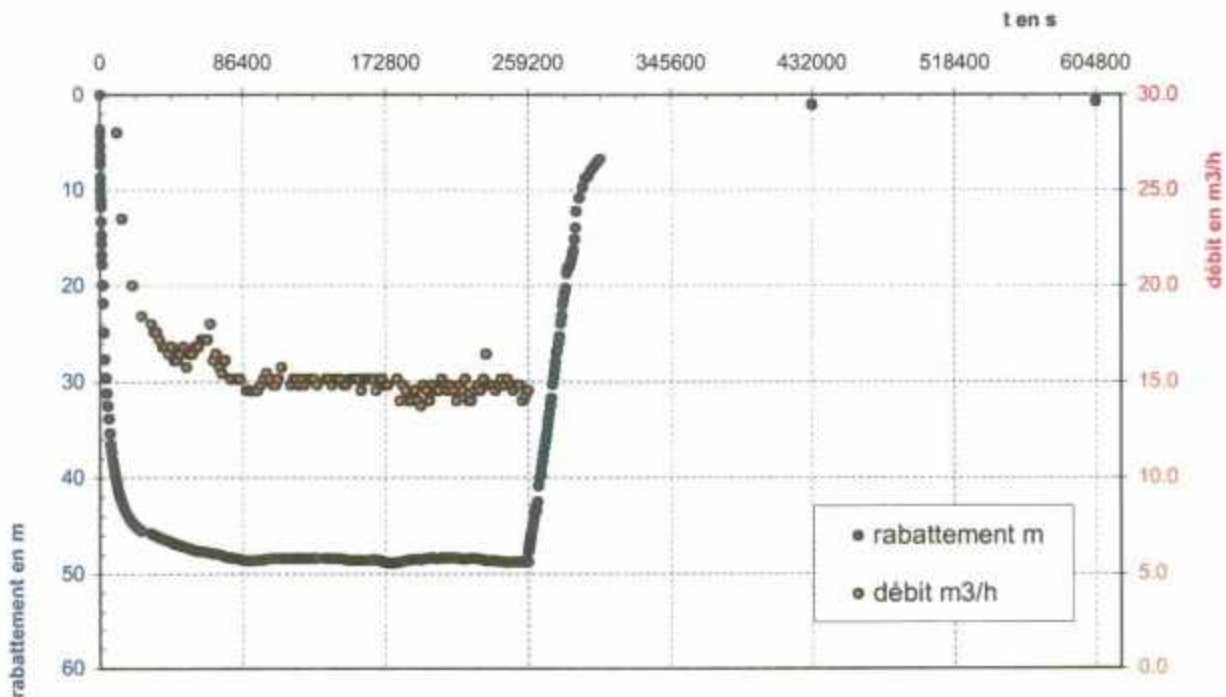


### 5.2.3.2. Essai de nappe

L'essai de nappe a été mis en œuvre pendant une durée de 72 h (Figure 13). Le pompage s'est déroulé de la manière suivante :

1. pompage pendant 72 heures à un débit, initialement réglé à environ 26 m<sup>3</sup>/h et stabilisé aux alentours de 15 m<sup>3</sup>/h pendant la majeure partie de l'essai ; suivi particulier de la première heure de pompage, utilisée comme palier complémentaire ;
2. suivi détaillé de la remontée pendant 12 heures et données complémentaires recueillies 48 h et 95 h après.

Figure 13 : Forage de Combani-Kahani. Essai de nappe.



Au puits de Combani-Kahani, un ajustement relativement satisfaisant de l'essai de nappe, tant à la descente qu'à la remontée, est obtenu à l'aide de la solution analytique de Theis (Figure 17) avec les paramètres suivants :

- transmissivité  $T = 5.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ;
- pertes de charges quadratiques de  $20\,000 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$ , qui permettent essentiellement de caler la première partie de l'essai. Cette estimation différente de celle déduite de l'essai de puits, confirme la faible représentativité des résultats de ce dernier ;
- effet de capacité au puits ;
- 1 limite étanche présentant un temps d'influence de 70 min environ. Cette limite permet de rendre compte assez grossièrement de la poursuite de l'augmentation des rabattements au delà de 70 minutes environ, alors que les débits se réduisent significativement du fait de l'augmentation de la hauteur manométrique,
- 1 limite alimentée présentant un temps d'influence de 1000 minutes. Cette limite permet d'expliquer la stabilisation des rabattements observée en fin d'essai.

La prise en compte de ces deux limites permet de reproduire de manière assez fidèle la descente, mais aussi et surtout, l'allure générale de la remontée, ce qui constitue un critère de calage significatif.

Dans la mesure où il est peu probable que la coulée de lave captée par le forage affleure et soit en relation avec une ravine (cf. § 4.1.2 ;), il ne peut être exclu que cette stabilisation des niveaux piézométriques soit liée à des effets de drainance.

A titre de comparaison, des ajustements ont été réalisées sur la base des essais par paliers. Les valeurs de transmissivité obtenues sont comprises entre  $4.10^{-5}$  et  $5,6.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , ce qui est en accord avec la valeur déduite de l'essai de nappe.

## 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 90 m de profondeur (Annexe 2). La conductivité est stable à  $230 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Au cours du pompage d'essai de longue durée (Annexe 2), la conductivité électrique des eaux d'exhaure a légèrement augmenté, passant de  $240$  à  $260 \mu\text{S}/\text{cm}$  entre le début et la fin de l'essai.

Un log de conductivité a été effectué après les pompages d'essai, le jour de la réception du forage, le 18/08/2003 (Figure 15). La conductivité était stable de 60 à 115 m de profondeur à  $265 \mu\text{S}/\text{cm}$  environ. Un pic de conductivité est observé à 51-52 m de profondeur (passage de  $300$  à  $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Il est notable que ce pic se situe en face de la partie cimentée du puits (42-52 m). Bien que les limites des tubes pleins se situent *a priori* à 49,25 et 55 m de profondeur, il ne peut être exclu que cette anomalie soit liée à une communication entre l'extrados du tubage (annulaire cimenté) et le puits (à 55 m de profondeur en tenant compte de la remontée piézométrique consécutive aux essais ?).

Figure 14 : Forage de Combani-Kahani. Interprétation de l'essai de nappe.

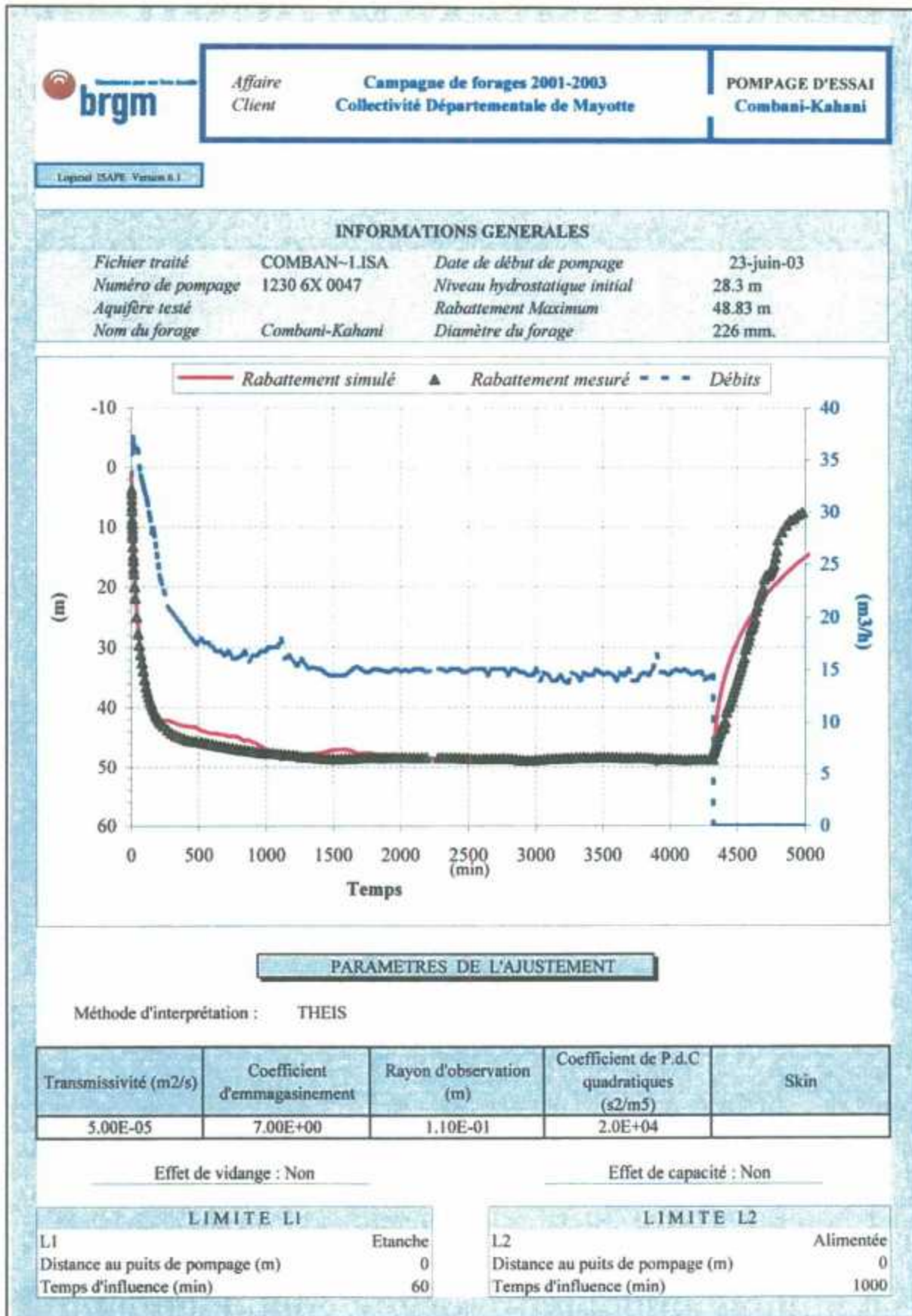


Figure 14 : Forage de Combani-Kahani. Interprétation de l'essai de nappe (suite).

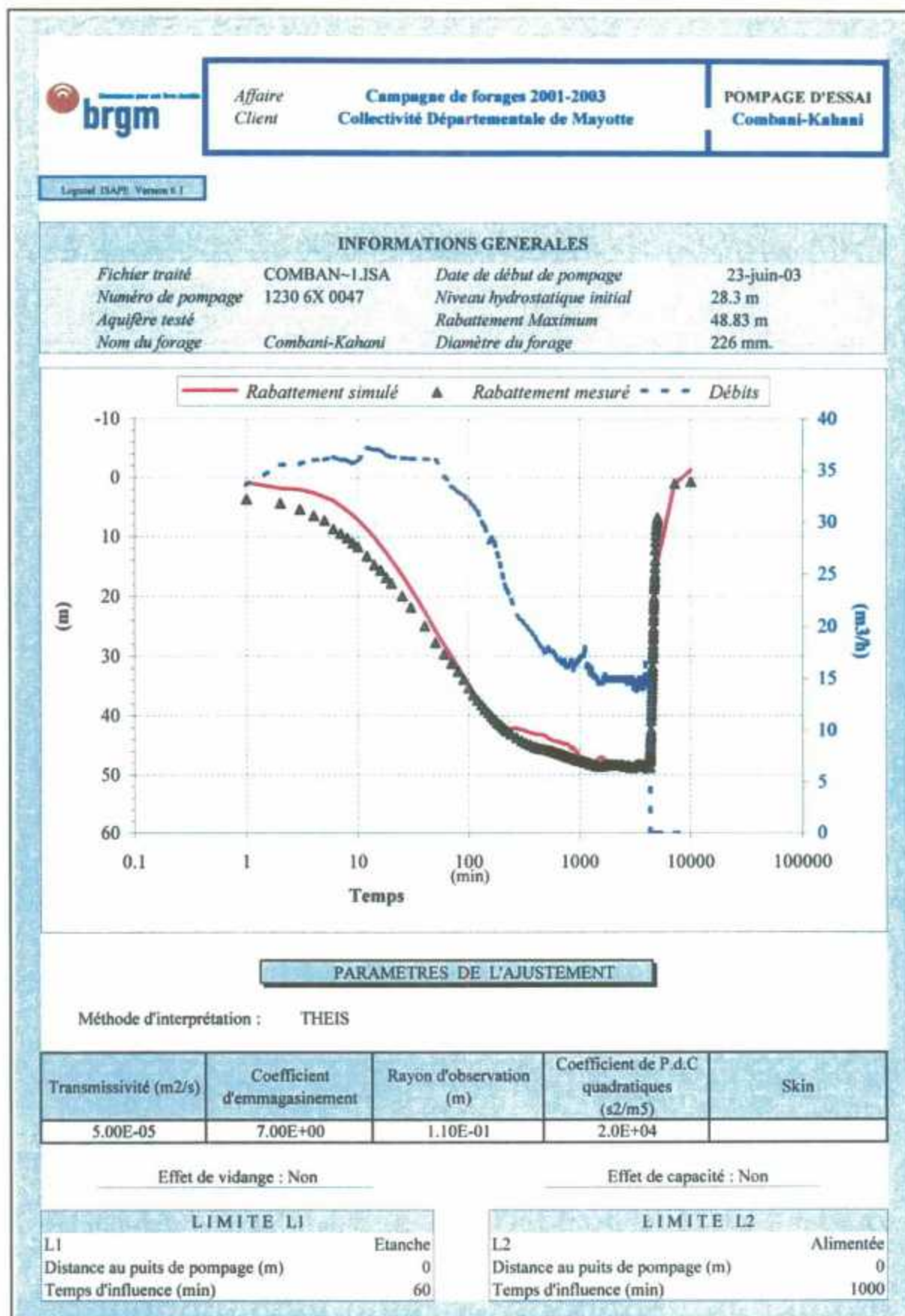




Figure 14 : Forage de Combani-Kahani. Interprétation de l'essai de nappe (suite).

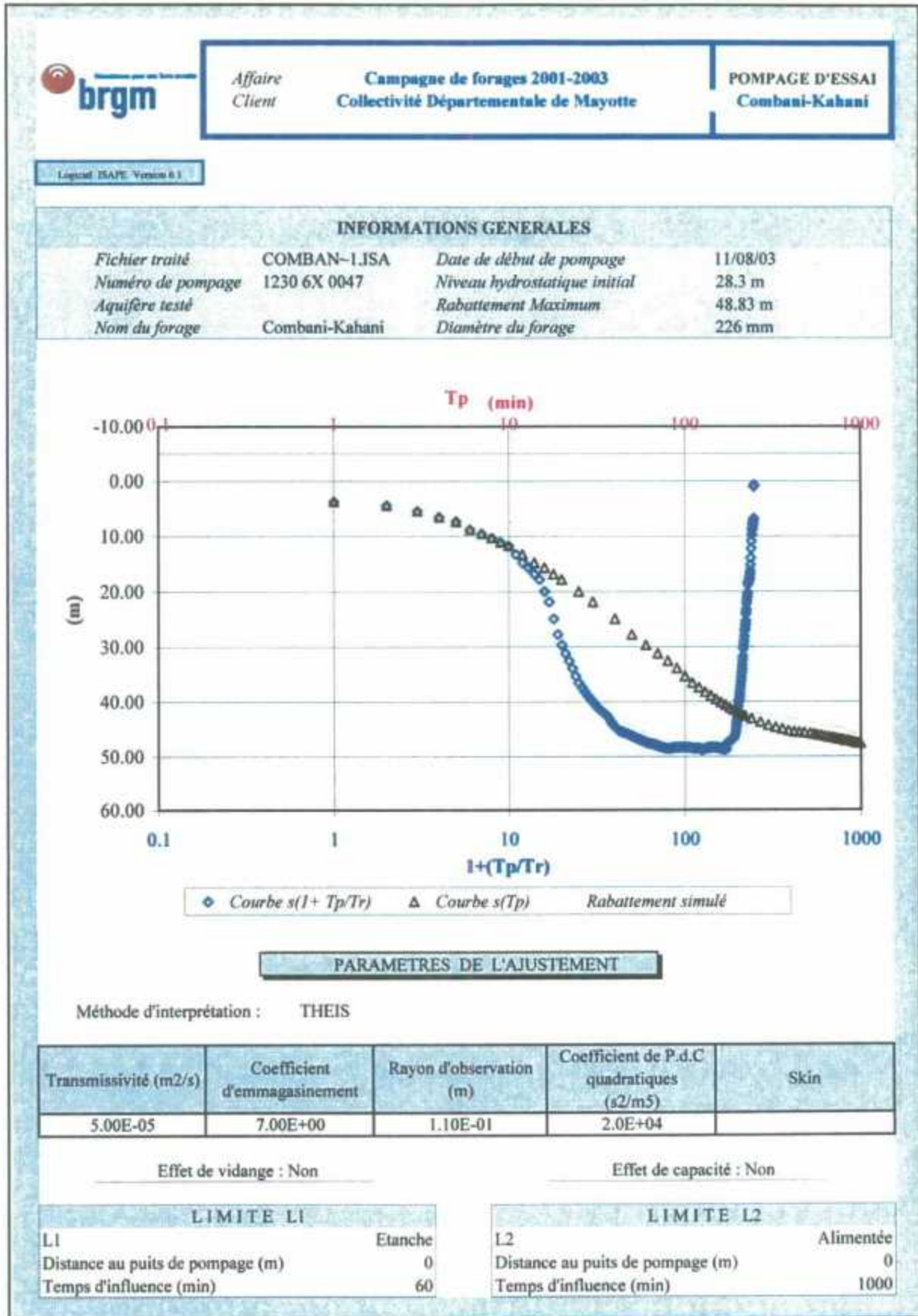
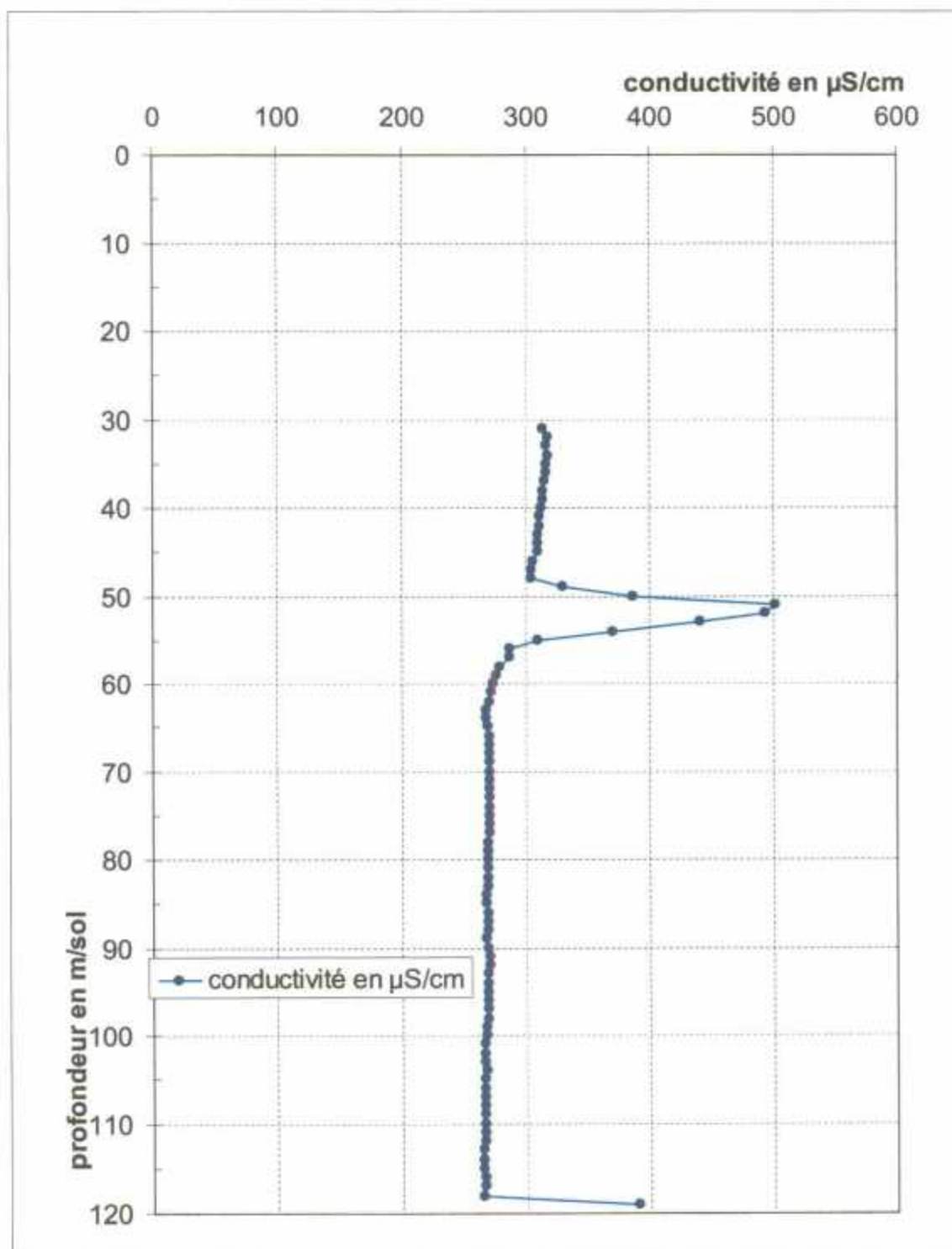


Figure 15 : Forage de Combani-Kahani. Log de conductivité effectué le jour de la réception (18/08/03)



#### 5.2.4.2. Analyses

Un prélèvement a été réalisé par le BRGM (aucun représentant de la SOGEA ne pouvant 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, SO<sub>4</sub>, Al, Cl, K) ;
- nitrates, nitrites, ammonium ;
- Fe, Mn, PO<sub>4</sub>, Zn, Cu.

La teneur en manganèse est 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) :

- **la teneur en manganèse** a été mesurée à : **0,10 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 ceci a déjà été mis en évidence à plusieurs reprises à Mayotte. Le traitement peut se faire par dilution ou par oxydation par exemple.

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 Combani-Kahani est proposée sur la base des mêmes hypothèses de travail que celles retenues, en concertation avec l'hydrogéologue de la DAF/SER, au sein du rapport BRGM/RP-51603-FR<sup>1</sup> :

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 coulées de lave, dont la structure géologique est peu propice à l'entraînement de matières en suspension. 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).

---

<sup>1</sup> 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- Rapport. 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, 365j 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 6).

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 COMBANI-KAHANI**

### **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  $T = 5.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (cf. § 4.2.3.2).

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

- H1 : présence d'une limite étanche et d'une limite alimentée aux caractéristiques similaires à celles déduites du pompage d'essai (temps d'influence de 60 et 1000 minutes) ;
- H2 : suppression de la limite alimentée à 1000 min (tous autres paramètres restant identiques).

### **6.2.2. Pertes de charges quadratiques au puits**

Coefficient « c » utilisé lors de l'interprétation du pompage d'essai de longue durée (  $c = 20\ 000 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$  ).

### **6.2.3. Niveau piézométrique d'étéage**

Sur la base d'une cote sol estimée à 170 m NGM au forage, la cote du niveau piézométrique a été mesurée à 30 m/sol, soit 140 m NGM le 18/08/03. Cette valeur est significative d'une période sèche de milieu d'étéage.

Dans le cadre des estimations réalisées ci-dessous, il est proposé de considérer une cote piézométrique d'« étéage sévère » de **138 m NGM**.

### **6.2.4. Profondeur d'installation de la pompe**

Compte tenu des éléments suivants :

- la première venue d'eau importante captée se situe à 85 m de profondeur (85 m NGM) ;
- un tube plein se trouve entre 95,25 et 101 m/sol ;

il est proposé de placer la pompe (base de la pompe ou bouche d'aspiration) vers **98 m** de profondeur par rapport au sol, soit **72 m NGM** environ.

La pompe se situe ainsi au milieu d'un tube plein, au sein des laves, et 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 captant la principale venue d'eau située à 85 m NGM, et débutant vers 86,25 m NGM environ, le rabattement maximal admissible au forage de Combani-Kahani est de **51,75 m** (Figure 16).

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

Sur la base de l'hypothèse de Ghyben-Herzberg et, compte tenu de la position de l'ouvrage situé à 170 NGM, à 4 km environ du rivage, le risque d'intrusion saline sur ce forage est nul.

Dans ces conditions le rabattement maximal admissible sur ce forage est de **51,25 m**.

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

Compte tenu du développement auquel le puits a été soumis ( $45 \text{ m}^3/\text{h}$ ), il ne doit **pas faire l'objet d'un pompage à un débit instantané supérieur à  $40 \text{ m}^3/\text{h}$**  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 et H2 :

	Rabattement calculé (m)	Débit ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
H1	51,5	15,5
H2	51,6	6,4

La prise en compte d'une limite étanche et d'une limite alimentée (Hypothèse H1) dont les caractéristiques sont identiques à celle déduite de l'essai de puits (temps d'influence de 60 et 1000 min) conduit à une estimation très optimiste de débit exploitable de l'ordre de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  environ.

La prise en compte d'une limite étanche seule (Hypothèse H2) dégrade significativement la productivité du puits (débit de l'ordre de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Dans le cadre du pompage d'essai de 72 h réalisé, cette hypothèse est relativement pessimiste.

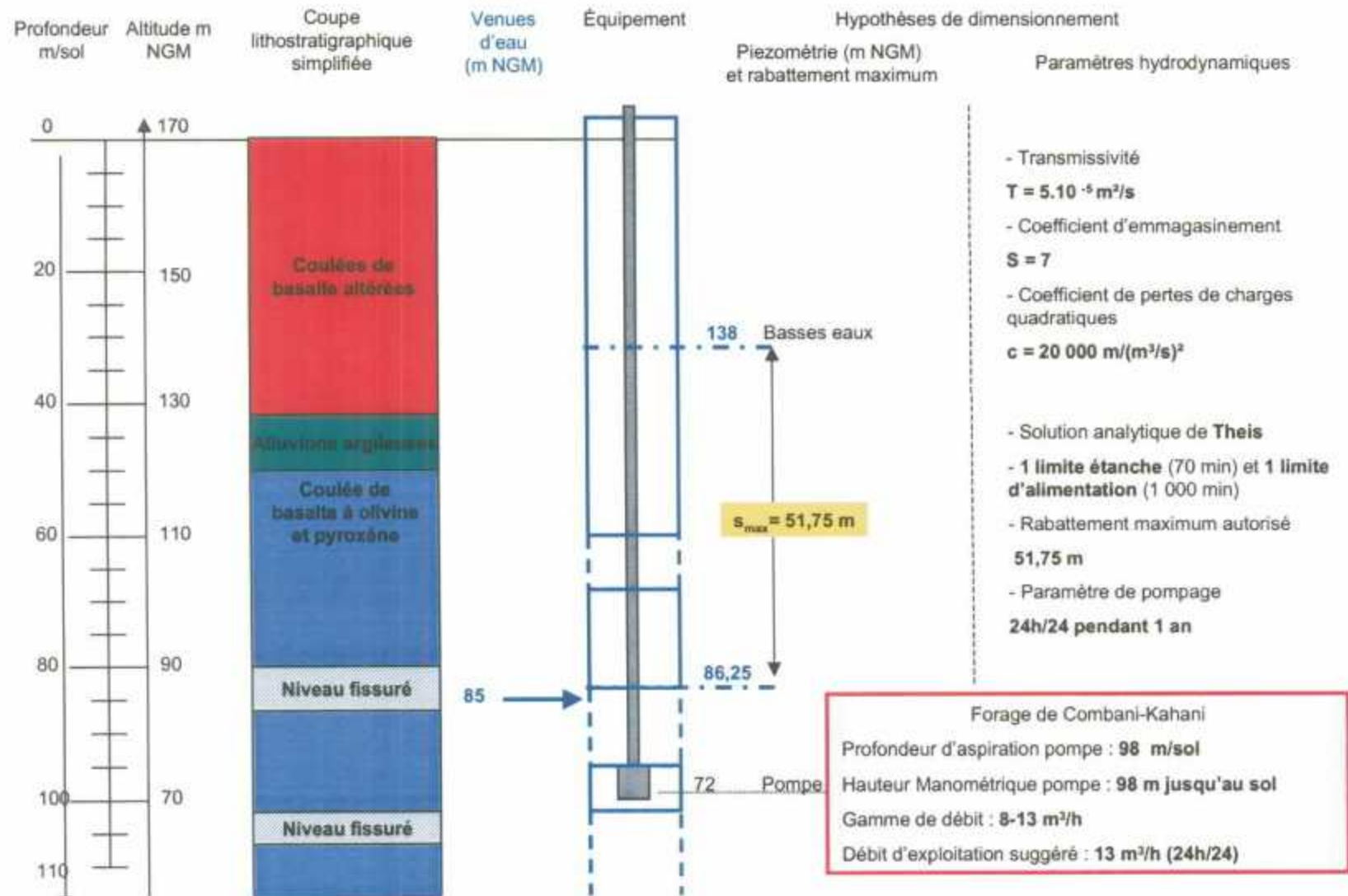
Une exploitation saisonnière du forage (sur une période de 3 mois par exemple) n'est pas intéressante dans le cas présent puisque le débit exploitable, sur la base de l'hypothèse H2, ne serait que de  $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$  environ.

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

- pompe capable de produire dans une **gamme de débit de 8 à 13 m<sup>3</sup>/h**, pour une **hauteur manométrique maximale de 98 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 16 : Forage de Combani-Kahani. Synthèse du dimensionnement



## 7. Conclusions - Recommandations

Sur la base des données acquises sur le forage de Combani-Kahani, 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, paramètre d'ores et déjà identifié 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 98 m de profondeur** et capable de produire dans une **gamme de débits de 8 à 13 m<sup>3</sup>/h**, pour une **hauteur manométrique maximale de 98 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 **13 m<sup>3</sup>/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, les relations eaux de surface / eaux souterraines (ravines voisines du site), les interférences éventuelles et réciproques avec les autres forages (en particulier, les forages Combani BSS 1230-6X-0038 et BSS 1230-6X-0048), etc... Le suivi réalisé permettra, si nécessaire, de réviser le débit de pompage en cours d'année ;
5. bien que ce forage ne soit pas 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.
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 le cas échéant, 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.

La mise en œuvre de cette méthodologie permettra de définir les conditions d'exploitation durable du forage de Combani-Kahani. 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...

## **Bibliographie**

Direction de l'agriculture et de la Forêt de Mayotte (DAF) – Annales hydrométéorologiques (2000 et 2001).

Lachassagne P., Maurillon N. et Mouron R. (2002) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte (campagne 2001-2003) – Forage de Combani (1230-6X-0038). Compte rendu des travaux – Principaux résultats géologiques et hydrogéologiques. Rapport BRGM/RP-52035-FR- Mayotte, 29 p., 8 fig., 5 ann.

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

# **Annexes**

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

## Rapport de chantier N° 206 du 18/08/03

---

**Forage de :**

**Combani-Kahani**

**Altitude de l'ouvrage :**

Z = 175 m NGM environ<sup>\*1</sup>

**Indications Incidents:**

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

Le niveau piézométrique est de 31.22 m/repère, soit 29.97 m/sol.

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

La conductivité est sensiblement constante à 265  $\mu\text{S}/\text{cm}$  environ, mis à part un pic de conductivité à 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aux environs de 50 m de profondeur par rapport au sol (au sein des tubes pleins).

---

<sup>1</sup> Au cours des travaux, les comptes rendu de chantier mentionnent une altitude de 140 m/sol. Après vérification, le forage se situerait aux environs de 175 m NGM. Le Maître d'ouvrage Délégué a fait part de futurs travaux de topographie dans le secteur qui permettront de disposer d'une altitude vérifiée par un géomètre.

## Rapport de chantier N° 205 du 14/08/03

-----

18/08/2003

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

### Indications Incidents:

Le pompage de longue durée a été arrêté à 7h30, après 72 heures de pompage. Un échantillon d'eau a été prélevé pour analyse de la qualité chimique juste avant l'arrêt de la pompe.

La remontée a ensuite été suivie pendant 12 h.

Une réunion de chantier s'est tenue sur le site de forage. Etaient présents :

- M. L. Giorgi représentant le Maître d'Ouvrage Délégué (DAF/SER) ;
- M. O. Jossot représentant le Maître d'œuvre (BRGM) ;
- M. Yves Lefrançois représentant l'entreprise de forage (COFOR).

Les points abordés sont :

- la proposition du BRGM relative à la poursuite des essais par pompage sur le site de Combani-Kahani (prolongement du suivi de la remontée et essai par paliers complémentaire cf. rapport de chantier 200, le premier essai ne pouvant a priori plus être utilisé pour la détermination des débits d'exploitation, compte tenu du développement intervenu depuis lors)
- modalités de réalisation d'un pompage d'essai complémentaire sur le forage de Bandrelé-Dagoni voulu par le Maître d'Ouvrage Délégué.

### Relevés de décision :

Concernant le forage de Combani-Kahani, le Maître d'Ouvrage Délégué a pris la décision, compte tenu, selon lui, des potentialités moyennes du forage en terme d'exploitation en eau potable, de :

- ne suivre la remontée du niveau piézométrique que pendant 12 h ;
- finaliser l'équipement du forage sans réaliser d'essais par pompage complémentaire sur ce site.

Concernant le pompage d'essai de Bandrelé et compte tenu des ressources financières disponibles au marché, le Maître d'Ouvrage Délégué a demandé que soit réalisé :

- dans un premier temps un essai par pompage dans les conditions similaires à celui réalisé le 11.12.2002 (en termes de positionnement de la pompe, de débit, durée, etc.),
- dans un second temps et si le BRGM le juge utile, de passer au débit recommandé par le rapport BRGM.

Giorgi  
DAF/SER  
Lefrançois COF.  
AL

## **Rapport de chantier N° 204 du 13/08/03**

-----

### **Forage de :**

**Combani-Kahani**

### **Altitude de l'ouvrage :**

Z = 140 m NGM environ.

### **Environnement :**

Débit dans la ravine : quelques litres par seconde

### **Indications Incidents:**

Le pompage d'essai de longue durée débuté lundi matin se poursuit.

En fin de journée le rabattement était de l'ordre de 77.65 m pour un débit voisin de 14.5 m<sup>3</sup>/h, la conductivité semble stable à 256 µs/cm. Les rabattements montrent une pseudo stabilisation à environ 48,5 m pour un débit voisin de 14,5 m<sup>3</sup>/h.

Le pompage d'essai se terminera demain matin à 7h15.

La remontée sera suivie pendant 48 h.

Si après ces 48 heures de repos le niveau piézométrique est proche du niveau observé avant pompage d'essai ou ne montre pas une évolution trop importante, le pompage d'essai par paliers de débit aura lieu samedi.



## Rapport de chantier N° 203 du 12/08/03

---

### Forage de :

**Combari-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 28.4°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 173  $\mu\text{S/cm}$

Température de l'eau de la ravine : 21.5°C mesurée à 15h00

Débit de la ravine : quelques l/s

L'estimation précise du débit de la ravine est impossible, l'influence du pompage sur le débit du cours d'eau n'est pas quantifiable. De manière générale, le filet d'eau qui coulait avant pompage coule toujours.

Les eaux d'exhaure sont rejetées à une soixantaine de mètre du forage, en aval de celui-ci, la différence d'altitude entre le forage et la ravine étant d'une vingtaine de mètres.

### Indications Incidents:

Le pompage d'essai de longue durée débuté lundi matin se poursuit.

A mi journée le débit était stable à 14.6 m<sup>3</sup>/h pour un niveau piézométrique de 77.85 m, la conductivité est voisine de 250  $\mu\text{S/cm}$  (cf. fichier joint). En fin de journée le débit oscille autour de 15 m<sup>3</sup>/h pour un rabattement de 77.60 m, la conductivité est voisine de 260  $\mu\text{S/cm}$ . La diminution de la dérivée des rabattements amorcée hier (au bout de 4 h de pompage) se poursuit (droite en coordonnées semi logarithmiques de pente 3 m par cycle log environ). Sur cette base, les rabattements devraient être de l'ordre de 51 m en fin d'essai, ce qui devrait permettre de ne pas avoir à modifier le débit de pompage.

Il a été décidé avec le foreur de prendre un échantillon pour analyse de la qualité de l'eau jeudi matin en fin de pompage, comme réalisé pour les forages précédents.

Le BRGM a demandé au foreur de lui faire une proposition financière pour le suivi de la remontée pendant 48 heures et la réalisation d'un nouvel essai par paliers comme proposé par la BRGM (cf. CR 201).

Joint par téléphone, le Maître d'ouvrage Délégué n'a pas donné de contreordre à la réalisation d'un nouvel essai par paliers de débits.

M. Gérardin nous a communiqué sa proposition en fin d'après midi : 55 Euros par heure de suivi de la remontée, sachant que les 12 premières heures sont comptées dans le bordereau des prix.



## Rapport de chantier N° 202 du 11/08/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 28.4°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 173  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.5°C mesurée à 15h00

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été prise :

- 29.26 m/sol à 7h00

### Début de chantier : 7h00

### Indications Incidents:

Le pompage d'essai de longue durée a débuté à 7h10 à un débit proche de 35 m<sup>3</sup>/h comme recommandé par le BRGM. Des indices de développement (turbidité) ont été notés en tout début d'essai.

L'essai s'est déroulé sans problème, le débit, la conductivité et la piézométrie ont été suivis au cours du pompage. En fin de journée, le niveau piézométrique a atteint 74 m/sol environ et le débit 17 m<sup>3</sup>/h environ, l'eau est claire et sans débris, la conductivité est de l'ordre de 240  $\mu$ S/cm. L'augmentation des rabattements (hauteur manométrique) a induit une diminution progressive du débit. La première phase du pompage (entre 20 minutes et 3 heures environ de pompage) a montré une évolution importante des rabattements (26 m par cycle log environ, sans prise en compte de la diminution des débits). L'évolution des rabattements a ensuite notablement diminué (environ 4 m par cycle log à partir de 6h de pompage environ, alors que la diminution du débit est quasiment terminée). Ceci suggère que les conditions de pompage (16 m<sup>3</sup>/h environ) pourraient être maintenues en l'état durant tout l'essai.

O. Jossot, du BRGM, s'est rendu à la SOGEA (station du Baobab) pour prendre le flacon nécessaire à la prise d'échantillon pour analyse de la qualité chimique de l'eau. Ce prélèvement aura lieu demain dans l'après midi, en présence ou non d'un représentant de la SOGEA suivant leur disponibilité.

### Fin du travail de chantier: 17h00

## Rapport de chantier N° 201 du 09/08/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 27.4°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 172  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.6°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été prise :

- 28.10 m/sol à 7h30

### Début de chantier : 7h00

### Profondeur atteinte : 120 m

### Indications Incidents:

L'entreprise a mis en place 98.7 m de tube PVC 1" pour les mesures du niveau piézométrique.

Le pompage d'essai par palier s'est déroulé aux quatre débits suivants :

- 8 m<sup>3</sup>/h (rabattement : 8.07 m) ;
- 11 m<sup>3</sup>/h (rabattement : 11.26 m) ;
- 21 m<sup>3</sup>/h (rabattement : 23 m) ;
- 33 m<sup>3</sup>/h (rabattement : 31.87 m).

L'interprétation préliminaire du pompage d'essai suggère une poursuite significative du développement du forage en cours de pompage, en particulier lors du palier à 33 m<sup>3</sup>/h. Les trois premiers paliers permettent en effet de déterminer avec une précision acceptable les paramètres b et c de la courbe caractéristique du forage  $s = b.Q + c.Q^2$  à ce moment là :

- $b = 0.95 \text{ m/m}^3/\text{h}$
- $c = 7.10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$ .

Par contre, le quatrième palier montre une forte diminution du rabattement spécifique (0,97 m/m<sup>3</sup>/h), contre 1.09 m/m<sup>3</sup>/h lors du troisième palier, ce qui constitue un indice significatif de développement du forage.

Par ailleurs, les courbes rabattement = f(t) montrent une allure en « droites brisées » qui suggère un certain compartimentage de l'aquifère.

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

Il est prévu que le pompage d'essai de longue durée débute le lundi 11/08/03.

Compte tenu des éléments ci-dessus, nous préconisons :

1. la mise en œuvre du pompage d'essai de longue durée dès le 11/08,
2. un suivi de la remontée de 48h si possible,
3. la mise en œuvre d'un nouveau pompage d'essai par paliers de débit afin de définir la courbe caractéristique du forage une fois que le pompage d'essai de longue durée aura permis la poursuite de son développement (débits des paliers : environ 10, 20, 30, 40 m<sup>3</sup>/h). On pourra juger à l'issue de ces investigations si le forage justifie le besoin d'une poursuite du développement.

Le pompage d'essai de longue durée sera mis en œuvre à un débit de 35 m<sup>3</sup>/h, afin de poursuivre un éventuel développement du forage. Une attention particulière devra être portée à la turbidité des eaux d'exhaure, en particulier en début d'essai, afin de suivre les conditions de ce développement.

L'extrapolation des données de la dernière ligne brisée enregistrée lors du 4<sup>ème</sup> palier suggère que les rabattements devraient être de l'ordre de 53 m au bout de 72h de pompage. Il est donc possible que le débit de pompage doive être réduit en cours de pompage afin de ne pas dénoyer la première venue d'eau significative observée vers 85 m de profondeur.

**Fin du travail de chantier: 17h00**

## Rapport de chantier N° 200 du 08/08/03

-----

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps nuageux avec des éclaircies

Température de l'air : 27.4°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 172  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.6°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été prise :

- 30.28 m/sol à 8h30

### Début de chantier : 7h00

### Profondeur atteinte : 120 m

### Indications Incidents:

L'injection d'eau depuis la surface a permis de faire descendre le bouchon de remblai. Un complément a donc pu être rajouté pour atteindre la profondeur de 10 m/sol.

L'injection par gravité des 780 litres de laitier de densité 1.8 s'est déroulée sans problème et un échantillon a été prélevé. Le top du ciment est visible à environ 20 cm de la surface.

L'après midi sera consacrée à la descente de la pompe à 96 m/sol de profondeur.

Le pompage d'essai par palier débutera demain matin. Le BRGM propose les quatre paliers suivant ;

- 7-8 m<sup>3</sup>/h ;
- 15 m<sup>3</sup>/h ;
- 22-25 m<sup>3</sup>/h ;
- 30 m<sup>3</sup>/h.

### Fin du travail de chantier: 17h00

## Rapport de chantier N° 199 du 07/08/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 28.3°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 169 µS/cm

Température de l'eau de la ravine : 22.3°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Deux mesures de la piézométrie ont été effectuées :

- 30.47 m/sol à 10h00 ;
- 30.40 m/sol à 16h15.

Début de chantier : 7h00

Profondeur TAV : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 120 m

### Indications Incidents:

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

L'ensemble du tubage à l'avancement 16 pouces a été retiré sans problème.

Le toit de la première cimentation se trouve à 39 m/sol, soit trois mètres au-dessus de la profondeur prévue dans l'équipement.

L'entreprise a procédé à la mise en place du remblai jusqu'à 13 m/sol sans incident.

Ensuite, du matériel n'est pas descendu correctement pour finalement resté bloquer à 5 m/sol de profondeur. Toutefois, l'intégralité de l'espace annulaire n'étant pas bouché (ce qui a permis de confirmer la profondeur du toit de remblai), le chef sondeur propose, en accord avec le BRGM, d'injecter la quantité de ciment prévue au départ (780 litres) dont le poids fera descendre le remblai.

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

Cette méthode demandera une cimentation de 13 m de hauteur au lieu des 10 m prévu dans le plan d'équipement.

Cette opération sera réalisée demain et sera suivie par la mise en place de la pompe 8 pouces dont l'aspiration sera placée à 96 m de profondeur, dans un tube plein.

**Fin du travail de chantier: 17h00**



## Rapport de chantier N° 198 du 06/08/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 27.6°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 178  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 22.9°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Début de chantier : 7h00

### Profondeur TAV : 52 m/sol

### Profondeur atteinte : 120 m

### Indications Incidents:

L'entreprise a retiré l'intégralité des tubages à l'avancement 14 pouces et un tubage 16 pouces.

Ensuite, le bouchon d'argile a été mis en place (1m) puis la cimentation a été réalisée en mélangeant 500 litres d'eau avec 42 sacs de ciment de 25 kg pour finalement obtenir 780 litres de laitier, soit 10 m de cimentation dans du 16 pouces. L'injection du laitier s'est faite à 52 m/sol de profondeur grâce à des tubes en acier de 2 pouces.

La densité a été contrôlée à 1.8 avec une balance baroïde. Un échantillon de laitier a été prélevé afin de vérifier la bonne prise du ciment.

Demain, l'entreprise procédera au retrait de la totalité des tubages 16 pouces et poursuivra l'équipement du forage (remblais et nouvelle cimentation).

### Fin du travail de chantier: 17h00



## Rapport de chantier N° 197 du 05/08/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 27.2°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 172 µS/cm

Température de l'eau de la ravine : 22.6°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Plusieurs mesures de la piézométrie ont été effectuées :

- 29 m/sol à 8h00 ;
- 56.8 m/sol à 14h40 ;
- 48.95 m/sol à 16h20 ;
- 47.85 m/sol à 16h50.

**Début de chantier : 7h00**

**Profondeur TAV : 52 m/sol**

**Profondeur atteinte : 120 m**

### Indications Incidents:

La profondeur du massif de gravier est de 54 m/sol.

50 cm de remblais ont été mesurés dans l'équipement.

Le développement du forage s'est poursuivi à 98 m/sol de profondeur pendant **1h45min**, à partir de 10h00. L'eau est rapidement devenue claire (en 22 minutes) mais il a fallu continuer le soufflage pour nettoyer l'ouvrage des éléments du massif de gravier passés dans l'équipement. Plusieurs mesures de débit, de conductivité et de température ont été prises :

Temps écoulé	Débits en m3/h	Conductivité en µS/cm	Température en °C
15 minutes	38 (10% pertes)	241	26.2
25 minutes	33 (10% pertes)	249	26.4
1h05min	33 (10% pertes)	254	26.3
1h35min	45 (10% pertes)	254	26.4

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

Le développement s'est poursuivi à 119 m de profondeur et a commencé à 12h15. Pendant 15 minutes, l'eau est sortie chargée en particules fines, puis elle est restée claire avec quand même des éléments du massif de gravier. Ceux-ci ont rapidement disparu mais le soufflage a été continué pendant **une heure** ce qui a permis de suivre l'évolution des précédents paramètres :

Temps écoulé	Débits en m <sup>3</sup> /h	Conductivité en $\mu$ S/cm	Température en °C
15 minutes	40 (10% pertes)	255	26.5
30 minutes	31 (10% pertes)	260	26.8
1h00	31 (10% pertes)	258	26.8

L'entreprise a procédé à la remonté du train de tige en effectuant un dernier soufflage à 68 m/sol de profondeur, pendant **20 minutes** (de 14h35 à 14h55), afin de bien finir le nettoyage de l'ouvrage. L'eau de sortie est parfaitement claire dès le début de l'opération.

Le toit du massif de gravier a été mesuré à 63 m de profondeur, soit un tassement de 9 m ; il a été nécessaire de le compléter jusqu'à s'approcher le plus possible de la cote voulue (53 m/sol) sans prendre le risque de combler une partie du tubage à l'avancement 14 pouces. Pour cela, 648 litres de graviers ont été nécessaire pour atteindre 54.7 m/sol de profondeur. Aucun remblai (< à 20 cm) n'a été mesuré dans l'équipement.

Deux mesures de piézométrie ont été relevées en fin de chantier :

- 48.95 m/sol de profondeur à 16h20 ;
- 47.85 m/sol de profondeur à 16h50.

En ajoutant les temps de manipulation du dispositif de soufflage aux temps effectifs de soufflage, sur les journées du 04/08/03 et 05/08/03, le temps total de soufflage est de 11 heures.

L'entreprise procédera demain à l'enlèvement des tubages à l'avancement 14 pouces et 16 pouces. Il est probable que la première cimentation ne pourra pas avoir lieu demain compte tenu du nombre élevé de tubage.

**Fin du travail de chantier: 17h00**



## **Rapport de chantier N° 196 du 04/08/03**

---

### **Forage de :**

**Combani-Kahani**

### **Altitude de l'ouvrage :**

Z = 140 m NGM environ.

### **Environnement :**

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 27.2°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 172 µS/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.7°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### **Piézométrie:**

Une mesure de la piézométrie a été effectuée à 8h00 : 29 m/sol.

### **Début de chantier : 7h00**

### **Profondeur TAV : 52 m/sol**

### **Profondeur atteinte : 120 m**

### **Indications Incidents:**

Le gravier descendant mal (mesure à 56 m de profondeur au lieu de 75 m), le foreur a soufflé (au total) **1 h 30** pour que celui ci se pose bien à la profondeur voulue.

Après 172 sceaux, le toit du massif de gravier est à 85 m de profondeur par rapport au sol au lieu des 72 m prévus. Ceci s'explique certainement par des pertes au niveau de la fracture rencontrée à 85 m de profondeur.

La mise en place du reste du massif filtrant s'est bien déroulée, en accord avec les quantités calculées avec "Le manuel du foreur", jusqu'à la cote de 56.5 m/sol, c'est à dire à 3 m au-dessus de la première crépine.

Au total, 4.6 m<sup>3</sup> de gravier ont été nécessaire au lieu des 3.6 m<sup>3</sup> prévus, ce qui représente une différence de 1 m<sup>3</sup>.

L'entreprise a ensuite procédé au développement d'une partie de l'ouvrage par un soufflage de **15 minutes** à 54 m de profondeur puis un soufflage de **25 minutes** à 68 m de profondeur. L'eau est sortie chargée de particules fines au début, puis elle s'est peu à peu éclaircie jusqu'à devenir parfaitement claire à la fin de l'opération.

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

Le développement air lift continuera demain. Il sera suivi par la mise en place du complément de gravier ainsi que par l'ajout de l'argile et de la première cimentation.

Le chef sondeur refuse de souffler devant les crépines car il craint de les détériorer.

Le BRGM a demandé à l'entreprise de remettre en état le système d'évacuation de l'eau afin de pouvoir prendre des mesures de débit. Ceci sera fait dans la journée de demain.

**Fin du travail de chantier: 17h00**



## Rapport de chantier N° 195 du 02/08/03

---

**Forage de :**

**Combani-Kahani**

**Altitude de l'ouvrage :**

Z = 140 m NGM environ.

**Environnement :**

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 22.6°C à 8h00

Conductivité de l'eau de la ravine : 172  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 22.1°C

Débit de la ravine : quelques l/s

**Début de chantier : 7h00**

**Profondeur TAV : 52 m/sol**

**Profondeur atteinte : 120 m**

**Indications Incidents:**

Le chantier a débuté par la remontée de la totalité du train de tige.

La descente de l'équipement s'est déroulée sans incident, la colonne repose à 120 m ce qui montre l'absence de remblais. Par conséquent, l'équipement prévu initialement se retrouve à 0 m/sol. Un tube plein supplémentaire de 2.5 m a donc été rajouté puis coupé à 1.20 m/sol.

Le massif de gravier a été mis en place jusqu'à 88 m/sol. Ensuite, le sondeur a rajouté 50 sceaux de gravier, ce qui correspond en théorie à 12.5 m en plus dans l'espace annulaire 14 pouces (soit 75 m environ de profondeur).

L'entreprise procédera le 04/08/03 à la mise en place du reste du massif filtrant et à la suite de l'équipement.

**Fin du travail de chantier: 17h30**



## Rapport de chantier N° 194 du 01/08/03

---

### Forage de :

## Combani-Kahani

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 23.3°C à 9h00

Conductivité de l'eau de la ravine : 172  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Température de l'eau de la ravine : 22.1°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été effectuée en début de chantier : 45.60 m/sol. Ce qui représente une diminution de 4.6 m par rapport au niveau de la veille.

Début de chantier : 7h00

Début de foration : 08h50

Profondeur TAV : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 120 m

Métré foré : 10 m

### Venues d'eau :

La conductivité a été mesurée à 239  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  au début du chantier.

Plusieurs mesures de débits au soufflage ont été réalisées :

- à 112 m de profondeur : 48 m<sup>3</sup>/h, ce qui constitue une augmentation notable par rapport à la veille.
- à 115 m de profondeur : 40 m<sup>3</sup>/h

A 120 m, après 1 heure de soufflage, l'eau est claire et sans élément millimétrique et/ou centimétrique. La conductivité moyenne est de 276  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Le débit moyen, au soufflage, est de 17 m<sup>3</sup>/h avec 10 % de perte, liés à la rupture du flexible.

La foration terminée, ces paramètres ont été suivis en continu au cours d'un soufflage d'une heure, l'outil étant placé à 86 m de profondeur. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Temps écoulé depuis le début du soufflage, en minutes	Débits en m <sup>3</sup> /h (10 % de pertes)	Conductivité en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
30	40	252
35	48	248

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

45	29	246
55	18	249

**Vitesse à l'avancement :**

De 111 m à 114 m de profondeur, les vitesses à l'avancement sont de l'ordre de **4 m/h**. De 115 m à 120 m, elles sont de l'ordre de **6 m/h**.

**Cuttings:**

L'analyse des cuttings montre que le forage recoupe toujours la même coulée de lave qui présente des indices de fissuration jusqu'à 120 m de profondeur.

**Indications Incidents:**

Au début du chantier, 2 m de remblais ont été mesuré.

La foration s'est déroulée sans incident de 110 m à 120 m de profondeur, excepté la rupture du flexible à 120 de profondeur.

A la reprise du soufflage suivant la mise en place de la 20<sup>ème</sup> tige de foration, l'eau a mis 10 minutes avant de ressortir par le siphon évacuateur.

A 120 m de profondeur, la décision a été prise par le BRGM, en accord avec le foreur, de stopper la foration étant donnée la difficulté avec laquelle l'eau et les cuttings sont remontés (limite de puissance du dispositif de forage).

Un soufflage d'une heure a été réalisé, à la demande du BRGM, dans le but d'évacuer la plus grande quantité possible de cuttings et de procéder à un nettoyage approfondi du forage.

Le marteau fond de trou a ensuite été placé à 86 m de profondeur où un deuxième soufflage d'une heure a été réalisé. Il faut noter que l'eau a mis 15 minutes avant d'atteindre la surface et il a fallu attendre 30 minutes avant que le débit montre une tendance à la stabilisation.

L'équipement du forage débutera demain suivant le plan d'équipement ci-joint proposé par le BRGM. Pour cela, l'entreprise dispose déjà, sur le site de :

- 14 tubes pleins 5.75 m et 2 tubes pleins 2.5 m ;
- 7 crépines 5.75 m et 2 crépines 2.5 m ;
- 7 tonnes de graviers de diamètre 4/6 mm.

**Fin du travail de chantier: 17h00**

## Rapport de chantier N° 193 du 31/07/03

-----

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps pluvieux le matin, ensoleillé et sec à partir de 9h00.

Température de l'air : 27.4°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 170 µS/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.8°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été effectuée en début de chantier : 41 m/sol. Ce qui représente une diminution de 14 m par rapport au niveau de la veille au matin.

Début de chantier : 7h00

Début de foration : 10h45

Profondeur TAV : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 110 m

Métré foré : 12 m

### Venues d'eau :

Plusieurs mesures de débit au soufflage ont été réalisées. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Profondeur en m	Débit en m3/h
98	30
103	24
104	30
108.5	24
109	30

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont de l'ordre de 2 m/h jusqu'à 103 m de profondeur. Elles restent ensuite constantes à 6 m/h jusqu'à 110 m de profondeur.





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

**Cuttings:**

L'analyse des cuttings montre que le forage recoupe toujours la même coulée de lave qui est cependant plus massive et ne présente aucune trace ni d'hydrothermalisation ni de fissuration de 99 m à 101 m de profondeur. La coulée est de nouveau fissurée de 102 à 108 m de profondeur, sans pour autant montrer de venue d'eau significative, pour finalement redevenir massive de 109 m de profondeur au fond du trou.

**Indications Incidents:**

Au début du chantier, 3 m de remblais ont été mesuré.

Après la mesure de débit réalisée à 98 m de profondeur, après 30 minutes de soufflage, sur la demande du maître d'ouvrage délégué, le siphon évacuateur s'est décroché, ce qui a nécessité une réparation avant le début de la foration.

La variation des débits au soufflage peut s'expliquer par plusieurs hypothèses. L'entreprise utilise un seul compresseur ; d'autre part le rabattement de l'aquifère induit par la foration et le soufflage peut réduire le débit et les venues d'eau peuvent être temporairement colmatées par les cuttings.

Après le rajout de la nouvelle tige et la reprise du soufflage, l'eau met environ 10 minutes pour arriver à la surface. Elle reste boueuse et chargée en éléments plus grossiers pendant une dizaine de minutes.

En fin de chantier, l'entreprise a procédé au nettoyage du forage et à la remontée de quatre tiges afin de minimiser le problème du remblais.

Le foreur a fait remarquer qu'il faudrait prévoir environ 3 m de remblais dans le plan d'équipement de l'ouvrage.

Le BRGM préconise la poursuite de la foration dans une limite de 120 m de profondeur environ (d'après le foreur, au delà de 120 m, le compresseur ne sera plus assez puissant pour assurer une bonne évacuation de l'eau et des cuttings) et de réviser éventuellement cette proposition demain soir sur la base des informations qui seront recueillies. En effet :

- compte tenu des éléments communiqués par le foreur, le risque d'incident grave sur le forage ne semble pas très important. En outre, la productivité potentielle actuelle du puits reste modeste (de l'ordre de 10 à 20 m<sup>3</sup>/h si l'on considère que les venues d'eau ne sont pas *significativement colmatées par des cuttings*). Il ne semble donc pas plus justifié aujourd'hui que les jours précédents d'arrêter la foration sur la base de la forte « valeur » du puits en terme de productivité,
- la poursuite de la foration permet d'une part (objectif d'exploitation) d'envisager d'augmenter la productivité du puits, sachant que la formation forée (laves, saines, localement fissurées et/ou fracturées, non hydrothermalisées) présente des potentialités significatives et que la probabilité de recouper de nouvelles venues d'eau est donc significative. D'autre part, elle permet aussi de répondre à l'objectif d'exploration de la campagne en réalisant une reconnaissance significative de ces formations, pour un surcoût modeste, et en évitant d'avoir à réaliser, dans les années à venir, de nouveaux forages dans ce secteur, si un doute quant à la productivité potentielle de cet ensemble volcanique subsistait.

**Fin du travail de chantier: 17h00**

## Rapport de chantier N° 192 du 30/07/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 27.2°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 174  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.9°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été effectuée à 8h00 : 27 m/sol.

Début de chantier : 7h00

Début de foration : 9h25

Profondeur TAV : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 98 m

Métré foré : 11 m

### Venues d'eau :

Les venues d'eau observées ont été estimées par un débit au soufflage en début du chantier, la valeur obtenue est 30 m<sup>3</sup>/h. Une nouvelle mesure a été faite en fin de chantier, après un soufflage de 20 minutes, la valeur obtenue est de 19 m<sup>3</sup>/h. Il ne semble donc pas que le forage ait recoupé d'autre venue d'eau que celle observée vers 85 m de profondeur.

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont de l'ordre de 2 m/h jusqu'à 92 m de profondeur. A 94 m de profondeur, une légère augmentation à 4 m/h est observée. Ensuite, les vitesses se stabilisent à 6 m/h de 95 m à 98 m de profondeur.

### Cuttings:

L'analyse des cuttings montre que le forage recoupe toujours la même coulée de lave fissurée à pyroxène et olivine jusqu'à 93 m de profondeur. La minéralogie ne change pas jusqu'à 98 m de profondeur, cependant, dans cet intervalle, aucun indice de fissuration/fracturation n'est visible.

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

**Indications Incidents:**

Le foreur a canalisé l'écoulement en sortie de siphon (limitation de l'érosion de la plate forme). Ensuite, il a procédé à un soufflage prolongé de 20 minutes.

Dès le début de la foration, à 9 h 25, l'outil a été bloqué puis rapidement débloqué ce qui a amené 3 m de remblais au fond de l'ouvrage.

De 87m à 90 m de profondeur, la foration était fréquemment interrompue par de petits éboulements, ensuite, elle s'est poursuivie quasi en continu jusqu'à 98 m de profondeur.

Afin de se faire une idée précise du débit au soufflage, le maître d'ouvrage délégué préconise un soufflage de 30 minutes au cours duquel plusieurs mesures seront effectuées. Cette opération sera réalisé demain, le 31/07/03.

**Fin du travail de chantier: 16h30**

## Rapport de chantier N° 191 du 29/07/03

-----

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 27.2°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 170 µS/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.2°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Aucune mesure de la piézométrie n'a pu être effectuée.

Début de chantier : 7h00

Profondeur TAV : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 87.3 m

### Indications Incidents:

Suite aux problèmes rencontrés sur le site de forage le 25/07/03, le marteau fond de trou 14 pouces a été débloqué le 28/07/03, entraînant la détérioration de deux tiges de foration ainsi qu'un déplacement du camion-foreur par rapport à l'axe du forage.

Compte tenu de cet aléa, l'entreprise poursuivra la foration au marteau fond de trou 12<sup>3/4</sup> pouces. Compte tenu de la nature des formations recoupées (laves), la diminution de l'espace annulaire, qui va réduire d'autant le volume de massif de gravier, n'est pas significativement préjudiciable.

Le 29/07/03, le stabilisateur du marteau fond de trou a été retiré du train de tige, étant donné que son diamètre est supérieur à celui du nouvel outil. Ensuite, l'entreprise a centré le camion-foreur au dessus du trou afin d'assurer la verticalité de l'ouvrage (le BRGM a tout particulièrement attiré l'attention de l'entreprise sur ce respect de la verticalité du trou et de son caractère linéaire afin de permettre la mise en place ultérieure, dans de bonnes conditions, des tubages et crépines du puits). Ceci a demandé plusieurs étapes intermédiaires (démontage des mâchoires de la table de tubage, mise à niveau de la poutre d'appui métallique du camion, etc.). Enfin, l'ensemble du train de tige a été remis en place à 87,3 m de profondeur afin que la foration reprenne dès demain. Aucun remblais n'a été observé.

Le chef foreur Mr Didier Latecoere a été remplacé par Mr Yves Lefrançois.

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

**Fin du travail de chantier: 15h30**



## Rapport de chantier N° 190 du 25/07/03

-----

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé et sec

Température de l'air : 27.2°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 174  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.5°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été effectuée à 7h30 : 28.2 m/sol

Début de chantier : 7h00

Début de foration : 7h30

Profondeur TAV : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 87.3 m

Métré foré : 2.2 m

### Venues d'eau :

L'eau de sortie est claire.

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont de l'ordre de 2 m/h.

### Cuttings:

L'analyse des cuttings montre que le forage recoupe toujours la même coulée de lave à pyroxène et olivine. Les derniers mètres recoupés sont probablement fortement fissurés et/ou fracturés.

### Indications Incidents:

Le foreur a procédé à une mesure du fond du trou à 7h30, il y a **0.5 m de remblais** au fond du trou.

La foration s'est bien passée jusqu'à 87m

## Rapport de chantier N° 189 du 24/07/03

-----

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé avec quelques passages nuageux

Température de l'air : 27.7°C

Conductivité de l'eau de la ravine : 173 µS/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.3°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie:

Une mesure de la piézométrie a été effectuée à 7h30 : 28.2 m/sol

Début de chantier : 7h00

Début de foration : 7h30

Profondeur TAV : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 85.5 m

Métré foré : 11.5 m

### Venues d'eau :

Une venue d'eau significative a été repérée à 85 m/sol. L'eau est de couleur grisâtre. Le débit à l'avancement a été mesuré à 27 m<sup>3</sup>/h environ.

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont de l'ordre de 2-3 m/h sur l'ensemble du métré foré aujourd'hui.

### Cuttings:

L'analyse des cuttings montre que le forage recoupe toujours la même coulée de lave à pyroxène et olivine, montrant un faciès en gratons à son toit, des indices de fissuration entre 53 et 71 m de profondeur environ, sans venue d'eau cependant. Aucun indice spécifique de fissuration/fracturation n'a été repéré sur les cuttings à 85 m de profondeur (ce point sera vérifié à la poursuite de la foration : base de coulée ?).

### Indications Incidents:

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

Le foreur a procédé à une mesure du fond du trou à 7h30, il y a **3 m de remblais** constitué d'éléments de basalte fins.

En l'absence d'eau, le foreur utilise toujours de la mousse en abondance.

A 10 h 30, la foration a été interrompue durant 1heure pour remplacer un tuyau flexible au niveau du compresseur.

A la reprise de la foration, on constate que les cuttings sont essentiellement composés de fragments anguleux de taille centimétrique mais aussi d'éléments de lave plus fins, qui sont soit des retombées provenant des mètres précédemment forés, soit des matériaux qui n'ont pas été évacués à la fin de la tige précédente (cf. remblais de la nuit).

L'outil s'est bloqué légèrement à 84.75 m/sol, juste avant de constater la venue d'eau. Malgré l'absence d'indice au sein des cuttings (cf. ci-dessus), il est envisageable que le marteau se soit coincé au niveau d'une fracture ou d'une fissure. Le foreur a réussi à forer lentement jusqu'à 85.5 m/sol.

Devant la quantité d'eau sortant du trou en foration et lors des essais au soufflage ( $Q > 25 \text{ m}^3/\text{h}$  à **85 m/sol**), le foreur, en accord avec le BRGM, a remonté le train de tige et a **sécurisé le chantier**. Une bâche plastique a été mise en place pour faciliter l'évacuation de l'eau vers la ravine. La plate-forme sur son extrémité avale est constituée de matériaux meubles, une mauvaise évacuation de l'eau pourrait entraîner des risques de ravinement et de glissements de terrain.

Une mesure du niveau piézométrique a été prise 30 min après l'arrêt de la foration : **42 m/sol**.

La foration se poursuivra demain matin.

**Fin du travail de chantier: 16h30**



## Rapport de chantier N° 188 du 23/07/03

-----

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Temps ensoleillé avec quelques passages nuageux

Conductivité de l'eau de la ravine : 169  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.1°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Piézométrie :

Une mesure de la piézométrie a été effectuée à 14 h00, avant la reprise de la foration. Ce niveau, non influencé par les travaux depuis plus de 24h00 a été mesuré à 25.10 m/sol.

En l'absence de venues d'eau le niveau piézométrique mesuré correspond vraisemblablement à l'eau libérée par les argiles humides recoupées en début de forage.

Début de chantier : 7h00

Début de foration : 15h00

Profondeur TAV 16" : 46 m/sol

Profondeur TAV 14" : 52 m/sol

Profondeur atteinte : 74 m

Métré foré : 6 m

### Venues d'eau :

Aucune venue d'eau n'a été constatée.

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont de l'ordre de 4 m/h jusqu'à 71 m de profondeur/sol. Par la suite et jusqu'à 74 m/sol, la vitesse à l'avancement est relativement constante à une valeur de 2-3 m/h.

### Cuttings:

L'analyse des cuttings montre que le forage recoupe toujours de 68 à 74 m la même coulée saine à pyroxène et olivine atteinte à 51 m de profondeur.

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

**Indications Incidents:**

Le foreur n'a pas constaté de remblais au fond du puits.

La mise en place des tubages 14" a été entamée hier et terminée aujourd'hui pour atteindre 52 m de profondeur et ainsi couvrir la formation argilisée potentiellement instable (50-52 m/sol environ).

Le trou étant déjà foré au MFT 15", la colonne de tubage 14" est descendue sans problème, malgré les mises en garde du foreur à l'égard de cette pratique.

Après mise en place des tubes 14", la foration s'est poursuivie en trou nu.

En l'absence de venue d'eau significative, le foreur utilise de la mousse pour faire sortir les cuttings.

Le foreur utilise un outil dont le taillant élargisseur 14" est neuf.

La foration reprendra demain.

**Fin du travail de chantier: 17h00**

## Rapport de chantier N° 187 du 21/07/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Localisation sur le profil géophysique : + 75 m, décalage de 7 m vers le Sud

Temps ensoleillé avec quelques passages nuageux

Conductivité de l'eau de la ravine : 170  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.5°C

Débit de la ravine : quelques l/s

### Début de chantier : 7h00

### Début de foration : 7h30

### Profondeur TAV : 48 m/sol

### Profondeur atteinte : 68 m

### Métré foré : 10 m

### Venues d'eau :

Aucune venue d'eau n'a été constatée.

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont relativement constantes à 6 m/h.

### Cuttings:

L'analyse des cuttings révèle que l'ouvrage recoupe une coulée saine et fissurée de basalte mésocrate.

### Log stratigraphique synthétique :

Depuis le début de la foration, la succession des formations recoupées est la suivante :

- de 01 m à 29 m : argiles rouge ;
- de 29 m à 40 m : même type d'argiles très hydratées : profil d'altération développé aux dépens de laves;
- de 40 m à 45 m : alluvions ;
- de 46 m à 50 m : alluvions très argileuses ;
- 50 à 51 m : niveau d'argile associé à des débris de lave infra millimétriques ;

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

- de 51 m à 68 m : coulée saine de basalte mésocrate à microphénocristaux de pyroxènes et d'olivines. Indices de fissuration à 60 et 61 m de profondeur.

**Indications Incidents:**

En début de chantier, le foreur a mesuré 4 m de remblais au fond du trou.

Arrivé à 64 m de profondeur, le foreur a remarqué que des blocs venaient gêner la rotation de l'outil. Après un soufflage d'une heure, il a décidé de poursuivre la foration sur une tige pour juger de l'amélioration ou non de la tenue des parois de l'ouvrage. A 68 m de profondeur, avant la fin de la deuxième tige, l'outil s'est bloqué à la suite d'un éboulement plus important.

Après avoir débloqué le train de tige, le foreur a remonté le marteau fond de trou à l'intérieur du tubage 16 pouces.

Compte tenu d'une part de l'objectif de ce forage qui est de reconnaître les formations profondes saines identifiées par géophysique et d'autre part de l'intérêt potentiel des formations en cours de foration (laves), le maître d'œuvre, en accord avec le foreur, a décidé de télescoper le tubage 14 pouces afin de stabiliser le niveau d'argile rencontré à 51 m de profondeur et de le descendre le plus bas possible dans la coulée de basalte.

En fin de matinée, le maître d'ouvrage délégué, M. L.Giorgi, est venu sur le chantier.

La mise en place du tubage à l'avancement 14 pouces sera terminée le 22/07/03 en début d'après midi.

**Fin du travail de chantier: 13h30**

## Rapport de chantier N° 186 du 19/07/03

---

**Forage de :**

**Combani-Kahani**

**Altitude de l'ouvrage :**

Z = 140 m NGM environ.

**Environnement :**

Localisation sur le profil géophysique : + 75 m, décalage de 7 m vers le Sud

Temps ensoleillé

Conductivité de l'eau de la ravine : 170  $\mu$ S/cm

Température de l'eau de la ravine : 21.5°C

Débit de la ravine : quelques l/s

**Début de chantier : 7h00**

**Début de chantier : 9h10**

**Profondeur TAV : 46 m/sol**

**Profondeur atteinte : 58 m**

**Métré foré hier : 6m**

**Métré foré : 18 m**

**Venues d'eau :**

Aucune venue d'eau n'a été constatée.

**Vitesse à l'avancement :**

Les vitesses à l'avancement sont de 20 m/h jusqu'à 47 m de profondeur. Elles diminuent ensuite à 6 m/h en moyenne sur la fin de la foration.

**Cuttings:**

Jusqu'à 40 m de profondeur, les cuttings révèlent toujours des niveaux altérés d'argiles ferrugineux et très liquide, qui renferment des petits éléments de lave très altérés. Ensuite, l'ouvrage a recoupé une épaisseur d'alluvion posée sur coulée de lave basaltique saine.

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

**Indications Incidents:**

Les 2 roulements de la tête de rotation sont arrivés le 18/07/03 et ont été remplacés. Le foreur a ensuite décidé de forer une tige avec le 7<sup>ème</sup> tubage à l'avancement.

Aujourd'hui, le 19/07/03, le chantier a débuté par la soudure du 8<sup>ème</sup> tubage à l'avancement 16 pouces. La foration s'est déroulée sans problème.

En raison de la nature des terrains rencontrés à la base du 8<sup>ème</sup> tubage 16 pouces, la décision a été prise par le maître d'œuvre de poursuivre la foration en trou nu, sans tubage à l'avancement. Le train de tige a été remonté pour nettoyer le marteau fond de trou. La foration s'est poursuivie sans incident jusqu'à 58 m de profondeur.

Il faut cependant préciser qu'un niveau argileux de 4 m d'épaisseur se trouve de 48 à 51 m de profondeur, en dessous du tubage à l'avancement 16 pouces. Sa présence pourrait, dans le cas où le forage serait productif ou si beaucoup de remblais se trouve lundis dans l'ouvrage, remettre en cause la poursuite de la foration en trou nu et demander le télescopage du tubage à l'avancement 14 pouces. Celui-ci est déjà en place sur le chantier.

**Fin du travail de chantier: 12h30**

## Rapport de chantier N° 185 du 09/07/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Localisation sur le profil géophysique : + 75 m, décalage de 7 m vers le Sud

Temps nuageux avec des éclaircies par la suite

Conductivité de l'eau de la ravine : 168  $\mu\text{S/cm}$

Température de l'eau de la ravine : 21.7°C

Débit de la ravine : quelques l/s

Début de chantier: 7h00

Profondeur TAV : 35 m/sol

Profondeur atteinte : 35.5 m

Métré foré : 6 m

### Venues d'eau :

Aucune venue d'eau n'a été constatée.

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont homogènes sur toute la longueur de la tige, forée en 6 minutes.

Ceci représente une vitesse de 60 m/h.

### Cuttings:

Les cuttings révèlent toujours des niveaux altérés d'argiles ferrugineux, qui renferment des petits éléments de lave très altérées et qui sont cependant nettement plus fluide que ceux recoupés précédemment.

### Indications Incidents:

Conformément à la décision prise la veille, la foration en tubage à l'avancement 16 pouces a repris. La 6<sup>ème</sup> tige a été foré sans incidents.

Un problème est survenu pendant le montage de la 7<sup>ème</sup> tige et du 7<sup>ème</sup> tubage 16 pouces. La tête de rotation ne tourne plus, certainement à cause d'une casse au niveau des roulements à bille. Ceci empêche la poursuite des travaux et demande l'arrêt du chantier pour une réparation.

Fin du travail de chantier: 9h30



## Rapport de chantier N° 184 du 08/07/03

---

### Forage de :

**Combani-Kahani**

### Altitude de l'ouvrage :

Z = 140 m NGM environ.

### Environnement :

Localisation sur le profil géophysique : + 75 m, décalage de 7 m vers le Sud  
Temps pluvieux de 7h00 à 8h00, temps nuageux avec éclaircies par la suite  
Conductivité de l'eau de la ravine : 168  $\mu$ S/cm  
Température de l'eau de la ravine : 21.9°C  
Débit de la ravine : quelques l/s

**Début de chantier: 7h00**

**Profondeur TYAV : 29 m/sol**

**Profondeur atteinte : 29.5 m**

**Métré foré : 29.5 m**

### Venues d'eau :

Aucune venue d'eau n'a été constatée jusqu' à 29.5 m de profondeur/sol.

### Vitesse à l'avancement :

Les vitesses à l'avancement sont élevées de l'ordre de 20 m/h sur les 23 premiers mètres forés.  
La vitesse à l'avancement observée sur le dernière tige (de 23 à 29 m/sol) est très élevée, de l'ordre de 120 m/h.

### Cuttings:

L'analyse des cuttings montre que le forage recoupe essentiellement une forte épaisseur de niveaux altérés plus ou moins ferrugineux.

### Indications Incidents:

De passage sur le chantier, le Maître d'Ouvrage Délégué a signalé au BRGM que l'autorisation de forer sur le site Gouloué F1 avait été signée dans la matinée.

La plate-forme de forage est petite, le bac de décantation demandé par le BRGM est également de petite taille. Le chantier est signalisé par un panneau mais n'est pas balisé.



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

La plate-forme de forage étant de dimensions réduites, une partie du matériel de l'entreprise est stockée sur les bas côtés de la piste.

L'entreprise fore avec le marteau 15" pouces et met en place le tubage à l'avancement 16" sur les premiers mètres forés conformément aux recommandations du BRGM.

L'entreprise a prélevé les premiers mètres de cuttings.

Après foration de la 4<sup>e</sup> tige, l'entreprise a procédé à un soufflage prolongé et a remonté les tiges de foration et l'outil pour enlever l'argile amassée au niveau des filetages et du taillant de l'outil.

Après mise en place du 5<sup>e</sup> tube 16", le BRGM a proposé à l'entreprise, compte tenu de la nature des terrains et du profil géophysique, de passer en tubage 14" afin de permettre la poursuite du tubage à l'avancement. Le foreur est en total désaccord et veut continuer en 16".

Devant la faible différence de coût engendrée par le télescopage de 18 m supplémentaire (environ 1700 Euros soit 2 % du prix total d'un forage), et la volonté du foreur de poursuivre en 16", le BRGM a accepté de poursuivre en 16", l'entreprise prenant la responsabilité de l'option choisie.

**Fin du travail de chantier: 17h00**

## **Rapport de chantier N° 183 du 07/07/03**

-----

**Forage de :**

**Combani-Kahani**

**Indications Incidents:**

L'entreprise a informé le BRGM que la plate-forme de forage a été finalisée par Tétrama, à 14h00 le 07.07.2003.

Dans ces conditions les travaux de forage proprement dite débuteront le Mardi 8 Juillet 2003, en fin de matinée.

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

**Forage de Comban-Kahani - observations géologiques et hydrogéologiques visuelles sur la foration, réalisées à l'avancement**

profondeur / Sol (m) (Exemple : 1 => Intervalle 0-1m)	Description des cuttings	Pétrographies / Minéralogie	Interprétation	Vitesse à l'avancement sous 10-17 bars de pression et 25 l/min en ml/h	Venues d'eau	diamètre de foration	tubage	Tiges	conductivité des venues d'eau (µS/cm)	débit au soufflage m <sup>3</sup> /h				
1	Eléments arrondis et aplatis argileux, de couleur rougeâtre, de taille millimétrique à centimétrique. Présence de quelques éléments altérés de couleur grise.	minéraux arrondis de couleur orangée/rose pâle, altérés.	profil d'altération de coulées de basalte à pyroxène interstratifiée de niveaux scoriacés.	20			16"	1						
2														
3														
4														
5	idem 4, les éléments grossiers sont plus abondants.													
6														
7														
8														
9														
10														
11	Eléments arrondis et aplatis argileux, de couleur rougeâtre, de taille millimétrique à centimétrique. Présence de quelques éléments altérés de couleur grise.													
12														
13														
14	Eléments présents sous la forme de gros amas argileux, composés de granules de lave de teinte maron rouge, vacuolaires, de taille millimétrique à centimétrique, friables.							3						
15														
16	Eléments de basalte scoriacé, de couleur rouge, de taille millimétrique à centimétrique associé à éléments de basalte mésocrate légèrement vacuolaire et altéré	Les vacuoles sont tapissées de minéraux blancs hydrothermaux												
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23	idem 21/22, les débris de basalte mésocrate	Eléments de basalte mésocrate												
24														
25														

26	altérés sont plus représentés.	altérés à pyroxènes.		120	
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33	Eléments de basalte scoriacé prédominants, de couleur rouge, de taille millimétrique à centimétrique associé à quelques éléments de basalte mésocrate légèrement vacuolaire et altéré.	Les éléments scoriacés sont de couleur rouge (ferruginisation), on remarque la présence de pyroxène libres.		60	
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41	éléments émoussés de basalte vacuolaire, de taille infracentimétrique, présentant plusieurs degrés d'altération.	traces de ferruginisation sur les éléments laviques.		120	
42	idem, associés à des éléments de basalte émoussés à roulés, de taille 3 à 4 centimètres, et à de l'argile marron.			20	
43					
44	Eléments de lave sombre, de taille centimétrique (4/6 cm) associé à des éléments émoussés rouges.				
45					
46					
47	Eléments anguleux de lave sombre, peu altérés, de taille infracentimétrique.			12	
48					
49					
50					
51	argile marron, fluide, renfermant de petit éléments de lave.			6	
52	éléments anguleux de lave sombre, de taille comprise entre 0.5 et 1 cm, présentant de rares signes d'altération.	basalte mésocrate à microphénocristaux de pyroxènes +/- sains et rares olivines idingstilisées, mésostase microlitique. Minéraux d'hydrothermalisation.		12	
53					
54					
55					
56		idem, avec des traces de ferruginisation en plaquage.		8	
57					
58					
59					

15"

	5		
	6		
	7		
	8		
14"			
	9		
	10		

60										
61	débris monogéniques de lave sombre, anguleux, sains, de taille 3/8 mm essentiellement avec quelques débris plus gros (1 cm).	idem, plaquages allant de la surface vers le centre du débris, témoin de l'interaction avec un fluide.	couleur de	6	14"	Trou nu	11			
62										
63										
64		basalte mésocrate à microphénocristaux de pyroxène et d'olivine altérées.								
65										
66										
67	idem, il faut l'apparition d'éléments vert, anguleux parfois émoussés.	basalte mésocrate à microphénocristaux de pyroxènes +/- sains et rares olivines idingstitées, mésostase microlitique. Minéraux d'hydrothermalisation et plaquages de couleur verdâtre et rouge.								
68										
69										
70	débris de lave sombre, anguleux et sain, de taille millimétrique (6/7) et centimétrique (1). Présence de petits débris altérés, en plaquette.									
71										
72										
73										
74	éléments de lave sombre, anguleux et sain, de taille 1/2 mm majoritairement.									
75										
76	débris de présentant sous la granulométrie d'un sable, on y trouve essentiellement des éléments de basalte, des minéraux libres d'olivine sains et des minéraux blancs.									
77										
78										
79										
80										
81	débris de lave sombre, anguleux, aplatis. Présence de minéraux libres d'olivine. Les tailles sont comprises entre 1 mm et 1 cm avec majoritairement des 4/5 mm.									
82										
83										
84										
				3			13			
							14			



## Forage de Combani-Kahani - Essai par paliers de débits

temps en sec	débits	piézométrie/épave	piézométrie/sol	rabattement	débit fût m <sup>3</sup> /h	Remarques
0	Q = 7.5 m <sup>3</sup> /h	29	28.1			Vannages/Difficultés de réglage de la pompe aux faibles débits
10						
20						
30						
60		31.63	30.73	2.63		
90		31.71	30.81	2.71		
120		31.83	30.93	2.83		
150		31.93	31.03	2.93		
180		32	31.1	3		
210		32.09	31.19	3.09		
240		32.17	31.27	3.17		
270		32.26	31.36	3.26		
300		32.34	31.44	3.34		
360		32.48	31.58	3.48		
420		32.66	31.76	3.66		
480		32.8	31.9	3.8		
540		32.95	32.05	3.95		
600		33.07	32.17	4.07	8	
720		33.36	32.46	4.36		
840		33.71	32.81	4.71		
960		33.95	33.05	4.95		
1080		34.12	33.22	5.12		
1200		34.3	33.4	5.3		
1500		34.94	34.04	5.94		
1800		35.25	34.35	6.25		
2400		35.97	35.07	6.97		
3000		36.58	35.68	7.58		
3600		37.07	36.17	8.07	7.2	
3620		Q = 0	36.6	35.7	7.6	
3630			36.45	35.55	7.45	
3660			36.27	35.37	7.27	
3690			36.16	35.26	7.16	
3720			36.03	35.13	7.03	
3750			35.95	35.05	6.95	
3780			35.83	34.93	6.83	
3810			35.77	34.87	6.77	
3840	35.69		34.79	6.69		
3870	35.62		34.72	6.62		
3900	35.55		34.65	6.55		
3960	35.38		34.48	6.38		
4020	35.25		34.35	6.25		
4080	35.12		34.22	6.12		
4140	34.98		34.08	5.98		
4200	34.92		34.02	5.92		
4320	34.55		33.65	5.55		
4440	34.37		33.47	5.37		
4560	34.22		33.32	5.22		
4680	34.03		33.13	5.03		
4800	33.87		32.97	4.87		
5100	33.6		32.7	4.6		
5400	33.31		32.41	4.31		
6000	33.41		32.51	4.41		
6600	33.31	32.41	4.31			
7200	33.21	32.31	4.21			
7210	32.85	31.95	3.85		Eau claire	
7220	33.3	32.4	4.3			
7230	33.6	32.7	4.6			
7260	33.72	32.82	4.72			
7290	33.94	33.04	4.94			
7320	34	33.1	5			
7350	34.1	33.2	5.1			
7380	34.2	33.3	5.2			
7410	34.23	33.33	5.23			
7440	34.31	33.41	5.31			
7470	34.5	33.6	5.5			



7500	Q = 10.4 m3/h	34.59	33.69	5.59			
7560		34.81	33.91	5.81			
7620		34.95	34.05	5.95			
7680		35.12	34.22	6.12			
7740		35.25	34.35	6.25			
7800		35.57	34.67	6.57			
7920		35.71	34.81	6.71			
8040		35.93	35.03	6.93			
8160		36.18	35.28	7.18			
8280		36.53	35.63	7.53			
8400		36.92	36.02	7.92			
8700		37.55	36.65	8.55			
9000		38.07	37.17	9.07			
9600		38.95	38.05	9.95	10		
10200		39.61	38.71	10.61			
10800		40.26	39.36	11.26	10.8		
10810		Q = 0	39.95	39.05	10.95		
10830			39.62	38.72	10.62		
10860			39.35	38.45	10.35		
10890			39.25	38.35	10.25		
10920	39.13		38.23	10.13			
10950	39.02		38.12	10.02			
10980	38.98		38.08	9.98			
11010	38.82		37.92	9.82			
11040	38.72		37.82	9.72			
11070	38.64		37.74	9.64			
11100	38.55		37.65	9.55			
11160	38.38		37.48	9.38			
11220	38.22		37.32	9.22			
11280	38.02		37.12	9.02			
11340	37.92		37.02	8.92			
11400	37.78		36.88	8.78			
11520	37.53		36.63	8.53			
11640	37.29		36.39	8.29			
11760	37.03		36.13	8.03			
11880	36.86		35.96	7.86			
12000	36.7	35.8	7.7				
12300	36.3	35.4	7.3				
12600	35.94	35.04	6.94				
13200	35.31	34.41	6.31				
13800	34.77	33.87	5.77				
14400	34.33	33.43	5.33				
14420	Q = 21 m3/h	36.1	35.2	7.1			
14460		36.3	35.4	7.3			
14490		36.59	35.69	7.59			
14520		36.91	36.01	7.91			
14550		37.34	36.44	8.34			
14580		37.68	36.78	8.68			
14610		37.95	37.05	8.95			
14640		38.23	37.33	9.23			
14670		38.54	37.64	9.54			
14700		38.83	37.93	9.83			
14760		39.43	38.53	10.43			
14820		39.84	38.94	10.84			
14880		40.37	39.47	11.37			
14940		40.86	39.96	11.86			
15000		41.25	40.35	12.25			
15120		42.54	41.64	13.54			
15240		42.93	42.03	13.93			
15360		43.63	42.73	14.63			
15480		44.31	43.41	15.31			
15600		44.93	44.03	15.93	23.2		
15900	46.41	45.51	17.41	23.1			
16200	47.5	46.6	18.5	21.3	27.5		
16800	49.33	48.43	20.33	19			
17400	50.81	49.91	21.81				
18000	52.12	51.22	23.12	21			
18010	Q = 21 m3/h	50.34	49.44	21.34			
18020		51.18	50.28	22.18			
18030		50.94	50.04	21.94			
18060		50.77	49.87	21.77			

18090		50.49	49.59	21.49		
18120		50.3	49.4	21.3		
18150		50.15	49.25	21.15		
18180		49.98	49.08	20.98		
18210		49.76	48.86	20.76		
18240		49.62	48.72	20.62		
18270		49.47	48.57	20.47		
18300		49.33	48.43	20.33		
18360		49.03	48.13	20.03		
18420	Q = 0	48.77	47.87	19.77		
18480		48.5	47.6	19.5		
18540		48.26	47.36	19.26		
18600		48.04	47.14	19.04		
18720		47.58	46.68	18.58		
18840		47.14	46.24	18.14		
18960		46.78	45.88	17.78		
19080		46.39	45.49	17.39		
19200		46.04	45.14	17.04		
19500		45.23	44.33	16.23		
19800		44.6	43.7	15.6		
20400		43.37	42.47	14.37		
21000		42.32	41.42	13.32		
21600		41.35	40.45	12.35		
21660		43.8	42.9	14.8		
21690		44.24	43.34	15.24		
21720		44.6	43.7	15.6		
21750		44.99	44.09	15.99		
21780		45.3	44.4	16.3		
21810		45.64	44.74	16.64		
21840		45.99	45.09	16.99		
21870		46.23	45.33	17.23		
21900		46.52	45.62	17.52		
21960		47.09	46.19	18.09		
22020		47.65	46.75	18.65		
22080	Q = 31.5 m3/h	48.15	47.25	19.15		
22140		48.98	48.08	19.98		
22200		49.19	48.29	20.19		
22320		50.1	49.2	21.1	33	
22440		50.89	49.99	21.89		
22560		51.62	50.72	22.62	33	
22680		52.3	51.4	23.3		
22800		52.88	51.98	23.88	34.3	
23100		54.33	53.43	25.33		26.9
23400		55.74	54.84	26.74	33	
24000		57.75	56.85	28.75		
24600		59.39	58.49	30.39	33	
25200		60.87	59.97	31.87	30	
25220		60.6	59.7	31.6		
25230		60.43	59.53	31.43		
25260		59.81	58.91	30.81		
25290		59.5	58.6	30.5		
25320		59.39	58.49	30.39		
25350		59.21	58.31	30.21		
25380		59.05	58.15	30.05		
25410		58.9	58	29.9		
25440		58.7	57.8	29.7		
25470		58.6	57.7	29.6		
25500		58.44	57.54	29.44		
25560		58.17	57.27	29.17		
25620		57.92	57.02	28.92		
25680	Q = 0	57.67	56.77	28.67		
25740		57.43	56.53	28.43		
25800		57.21	56.31	28.21		
25920		56.75	55.85	27.75		
26040		56.32	55.42	27.32		
26160		55.96	55.06	26.96		
26280		55.54	54.64	26.54		
26400		55.18	54.28	26.18		
26700		54.29	53.39	25.29		
27000		53.46	52.56	24.46		
27600		51.8	50.9	22.8		

28200	50.67	49.77	21.67		
28800	49.47	48.57	20.47		





	72	40	0	261600	75.12	74.22	44.96	2380		
	72	50	0	262200	74.52	73.62	44.36	2980		
	73	0	0	262800	73.95	73.05	43.79	3580		
	73	10	0	263400	73.25	72.35	43.09	4180		
	73	20	0	264000	73.59	72.69	43.43	4780		
	73	30	0	264600	72.64	71.74	42.48	5380		
	73	40	0	265200	71	70.1	40.84	5980		
	73	50	0	265800	70.16	69.26	40	6580		
	74	0	0	266400	69.56	68.66	39.7	7180		
	74	10	0	267000	69.17	68.27	39.01	7780		
2h20	74	20	0	267600	68.48	67.58	38.32	8380		
2h30	74	30	0	268200	67.71	66.81	37.55	8980		
	74	40	0	268800	67.05	66.15	36.89	9580		
	74	50	0	269400	66.34	65.44	36.18	10180		
3h00	75	0	0	270000	65.62	64.72	35.46	10780		
	75	10	0	270600	64.86	63.96	34.7	11380		
	75	20	0	271200	64.2	63.3	34.04	11980		
	75	30	0	271800	63.45	62.55	33.29	12580		
	75	40	0	272400	62.64	61.74	32.48	13180		
	75	50	0	273000	61.91	61.01	31.75	13780		
4h	76	0	0	273600	60.48	59.58	30.32	14380		
4h10	76	10	0	274200	59.73	58.83	29.57	14980		
	76	20	0	274800	59.02	58.12	28.86	15580		
4h30	76	30	0	275400	58.21	57.31	28.05	16180		
	76	40	0	276000	57.22	56.32	27.06	16780		
	76	50	0	276600	56.83	55.93	26.67	17380		
5h	77	0	0	277200	56.11	55.21	25.95	17980		
5h10	77	10	0	277800	55.45	54.55	25.29	18580		
	77	20	0	278400	54.15	53.25	23.99	19180		
	77	30	0	279000	53.36	52.46	23.2	19780		
	77	40	0	279600	52.25	51.35	22.09	20380		
	77	50	0	280200	51.66	50.76	21.5	20980		
6h	78	0	0	280800	51.03	50.13	20.87	21580		
6h10	78	10	0	281400	50.43	49.53	20.27	22180		
	78	20	0	282000	48.9	48	18.74	22780		
	78	30	0	282600	48.35	47.45	18.19	23380		
	78	40	0	283200	48.3	47.4	18.14	23980		
	78	50	0	283800	48.28	47.38	18.12	24580		
7h00	79	0	0	284400	47.89	46.99	17.73	25180		
	79	10	0	285000	47.52	46.62	17.36	25780		
	79	20	0	285600	46.94	46.04	16.78	26380		
	79	30	0	286200	46.43	45.53	16.27	26980		
	79	40	0	286800	45.34	44.44	15.18	27580		
	79	50	0	287400	44.12	43.22	13.96	28180		
8h00	80	0	0	288000	42.99	41.49	12.23	28780		
8h30	80	30	0	289800	41.01	40.11	10.85	30580		
9h00	81	0	0	291600	39.87	38.97	9.71	32380		
9h30	81	30	0	293400	39.02	38.12	8.86	34180		
10h00	82	0	0	295200	38.73	37.83	8.57	35980		
10h30	82	30	0	297000	38.09	37.19	7.93	37780		
11h00	83	0	0	298800	37.72	36.82	7.56	39580		
11h30	83	30	0	300600	37.34	36.44	7.18	41380		
12h00	84	0	0	302400	36.95	36.05	6.79	43180		
48h	120	0	0	432000	31.19	30.29	1.03	172780		
96h	168	0	0	604800	30.87	29.97	0.71	345580		

## **Annexe 3 – Analyses d'eau du forage de Combani-Kahani réalisées par la SOGEA**

## RAPPORT D'ANALYSE

Rapport d'analyse : N° 16 / DAF.Combani-Kahani  
 Heure de prélèvement : 7h30  
 Nom du préleveur : Olivier du BRGM  
 Chimiste chargée d'analyses : MOHAMED SHI

Forage de COMBANI-KAHANI 15-août-03	Echantillon prélevé après 72h de pompage Débit de pompage 15 m <sup>3</sup> /h
--	---

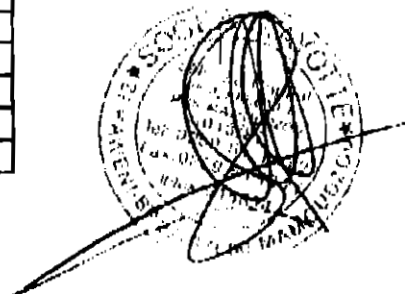
### CMA

Code	COMB150803	
Odeur	aucune	aucune
Couleur	< 15	15 mg/l Pt/Co
Turbidité en NTU	0,15	< 2

### Paramètres Physico - Chimie

pH au laboratoire	7,9	8,5 - 9
Conductivité en µS/cm	264	180-1000
TAC en °T	12,8	3
THa en °T	6,1	
THtotal en °T	11	15
Calcium en mg/l	24,4	100
Magnésium en mg/l	11,99	50
Sodium	5,5	
Sulfates en mg/l	3,0	250
Aluminium en mg/l	traces	0,2
Chlorures en mg/l	8,2	200
Potassium en mg/l	4,9	

Nitrates en mg/l	0,484	50
Nitrites en mg/l	traces	0,1
Ammonium en mg/l	0,142	0,5
Fer en mg/l	0,03	0,2
Manganèse en mg/l	0,10	0,05
Phosphates en mg/l	0,09	5
Zinc en mg/l	traces	5
Cuivre en mg/l	traces	1
Matières en suspension en mg/l	0	absence





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

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

<b>DATE</b>	<b>Combani Village Pluie (mm)</b>	<b>Descriptif des travaux</b>
07/07/2003	11.5	amenée et installation du matériel
08/07/2003	-	Foralion
09/07/2003	-	
10/07/2003	-	
11/07/2003	-	
12/07/2003	-	
13/07/2003	-	
14/07/2003	-	
15/07/2003	-	
16/07/2003	-	
17/07/2003	-	
18/07/2003	-	
19/07/2003	-	
20/07/2003	-	
21/07/2003	-	
22/07/2003	-	
23/07/2003	-	
24/07/2003	-	
25/07/2003	-	
26/07/2003	-	
27/07/2003	-	
28/07/2003	-	
29/07/2003	-	
30/07/2003	-	
31/07/2003	4.5	
01/08/2003	-	
02/08/2003	-	Equipement
03/08/2003	-	
04/08/2003	-	nettoyage et développement
05/08/2003	-	
06/08/2003	-	Fin de l'équipement
07/08/2003	-	
08/08/2003	-	
09/08/2003	-	Essai de pompage par palier de débit, essai de nappe et essai simultané
10/08/2003	-	
11/08/2003	-	
12/08/2003	-	
13/08/2003	-	
14/08/2003	-	