

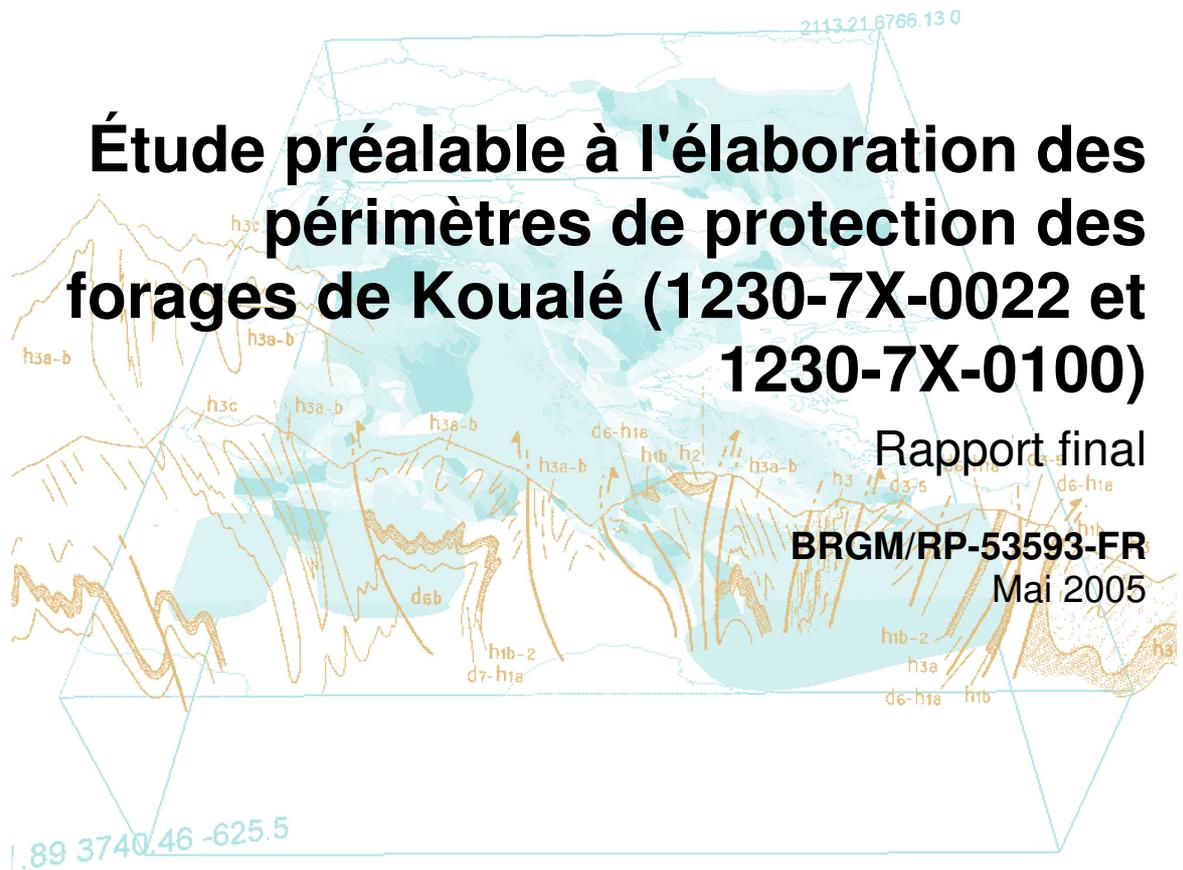


Étude préalable à l'élaboration des périmètres de protection des forages de Koualé (1230-7X-0022 et 1230-7X-0100)

Rapport final

BRGM/RP-53593-FR

Mai 2005



Étude préalable à l'élaboration des périmètres de protection des forages de Koualé (1230-7X-0022 et 1230-7X-0100)

Rapport final

BRGM/RP-53593-FR

Mai 2005

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2004 03EAUE07

V. Petit, G. Eucher

Vérificateur :

Nom : P. Lachassagne

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : R. Mouron

Date :

Signature :

Mots clés : Mayotte, étude préalable, périmètres de protection, milieu volcanique.

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

Petit V., Eucher G. (2005) - Étude préalable à l'élaboration des périmètres de protection des forages de Koualé (1230-7X-0022 et 1230-7X-0100) – BRGM/RP-53193-FR. 38 p., 9 ill., 3 ann.

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre de ses missions de Service Public, le Service Géologique Régional Océan Indien, antenne de Mayotte du BRGM, a réalisé l'étude préalable à la définition des périmètres de protection des deux captages de Koualé (1230-7X-0022 et 1230-7X-0100). Ce rapport est destiné à rassembler tous les éléments nécessaires pour que les différents périmètres de protection et leurs servitudes puissent être définis par l'hydrogéologue agréé.

Les deux forages sont récents, en bon état et ont été réalisés correctement sur le plan de la protection de l'aquifère (cimentation de la partie non aquifère et tête de puits étanche).

Le modèle géologique du secteur a été établi sur la base de la carte lithologique, des reconnaissances de terrain, des coupes géologiques des forages et des investigations géophysiques. Le contexte hydrogéologique permet d'envisager une production comprise entre 530 000 et 1 060 000 m³/an pour l'ensemble des deux forages.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux conviennent pour l'usage prévu de consommation humaine. Les historiques disponibles indiquent une stabilité de ces caractéristiques dans le temps.

L'environnement est globalement favorable sur le plan de la protection de la ressource. Des mesures de protection de la rivière Koualé seront cependant à prendre pour la protéger de toute pollution, car il est vraisemblable qu'elle alimente l'aquifère. Le périmètre de protection immédiate du forage 1230-7X-0100 reste à construire.

En conclusion, la protection des captages de Koualé est faisable.

Cette étude préalable étant la première réalisée à Mayotte, des généralités sur le contenu des études préalables sont indiquées.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Renseignements généraux	9
2.1. Situation géographique.....	9
2.2. Exploitation et distribution.....	13
3. Les captages	17
3.1. Forage 1230-7X-0022 (Koualé 1)	17
3.2. Forage 1230-7X-0100 (koualé 3).....	18
4. Contexte naturel	19
4.1. Contexte géologique	19
4.2. Contexte hydrogéologique	19
4.2.1. Hydrodynamique.....	19
4.2.2. Alimentation de l'aquifère	20
4.2.3. Potentialité	21
4.2.4. Biseau salé	22
4.3. Qualité de l'eau	22
4.4. Vulnérabilité de la ressource	25
4.5. Environnement et Évaluation des risques de pollution.....	26
4.5.1. Environs immédiats des captages.....	27
4.5.2. Environnement rapproché à lointain.....	29
5. Faisabilité de la protection	31
6. Bibliographie	33

Liste des illustrations

Illustration 1 – Situation géographique du site.	10
Illustration 2 – Contexte topographique de la Koualé.....	11
Illustration 3 – Position des forages sur carte IGN.	11
Illustration 4 – Localisation des forages à grande échelle.....	12
Illustration 5 – Références cadastrales des parcelles des forages.	13
Illustration 6 – Réseau d'alimentation à partir des forages de Koualé.	14
Illustration 7 – Contours du bassin d'alimentation.	21
Illustration 8 – Diagramme de Piper.	23
Illustration 9 – Diagramme de Schoëller-Berkaloff.	24
Illustration 10 – Forage de Koualé 1 (1230-7X-0022).	27
Illustration 11 – Forage de Koualé 3.(1230-7X-0100).	28
Illustration 12 – Zonation du POS.....	30

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes lithologiques et techniques	35
Annexe 2 Modèle géologique	39
Annexe 3 Résultats des analyses	59

1. Introduction

Dans le cadre de ses missions de Service Public, le Service Géologique Régional Océan Indien, antenne de Mayotte, a réalisé l'étude préalable à la définition des périmètres de protection des deux captages de Koualé (Koualé 1 : 1230-7X-0022 et Koualé 3 : 1230-7X-0100). Ce rapport est destiné à rassembler tous les éléments nécessaires pour que les différents périmètres de protection et leurs servitudes puissent être définis par l'hydrogéologue agréé. Pour cela, cette étude détaille en premier lieu, la situation géographique, les conditions d'exploitation et de distribution de l'eau. Ensuite, les caractéristiques des deux forages sont décrites. Puis, le contexte naturel est analysé pour les aspects géologiques et hydrogéologiques du secteur aquifère concerné, et tout particulièrement les connaissances actuelles concernant l'alimentation de l'aquifère et les risques liés au biseau salé. La vulnérabilité de la ressource est présentée pour l'environnement immédiat, rapproché et éloigné. En conclusion, la faisabilité de la protection est discutée.

Ce rapport a été réalisé dans le cadre de la fiche de Service Public du BRGM SP 03EAUE07 pour la Collectivité Départementale de Mayotte ; il correspond à la tâche 5 du cahier des charges dont les objectifs principaux sont de permettre la définition des périmètres de protection du forage de Koualé, mais aussi de disposer d'une étude pouvant servir de référence quant à la méthodologie à mettre en œuvre sur les autres forages de Mayotte.

Cette étude préalable étant la première réalisée à Mayotte, des généralités sur le contenu de ces études préalables sont indiquées en début de chaque paragraphe (texte en italique).

2. Renseignements généraux

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Les informations de localisation doivent permettre de situer sans équivoque le point d'eau, les références de sa parcelle, ainsi que celles de son propriétaire.

Le bassin versant du Mro Oua Koualé se situe dans le nord-est de l'île de Mayotte, à environ 5 km au sud de Mamoudzou (Illustration 1 et Illustration 2). Il est entouré par le plateau de Combani à l'ouest, le massif de M'tsapéré au nord et la plaine de Dembéni au sud. En forme de fer à cheval, il est cerné par les reliefs du Mlima Combani et du Mlima Maévadoani. Le bassin versant hydrologique du Mro Oua Koualé occupe une superficie d'environ 15,4 km² pour un périmètre de 19,7 km. Le thalweg principal mesure environ 9 km, alors que la longueur totale du réseau de drainage est de 90,6 km, ce qui en fait un des quatre plus importants bassins versants de l'île.

Le bassin versant culmine à 477 m au Mlima Combani et l'essentiel de la superficie est à une altitude comprise entre 200 et 300 m. Il se caractérise également par de fortes pentes : 40 % des terres ont une pente supérieure à 40 % et seulement 30 % présentent une pente inférieure à 20 % (Georgelin, 1994). En 1994, la surface totale du bassin se répartissait en terres inutilisées (40 %), en réserves forestières (11 %) et en terres cultivées (49 %).

Les débits de crues sont estimés à 142 m³/s (fréquence décennale) et à 321 m³/s (fréquence centennale).

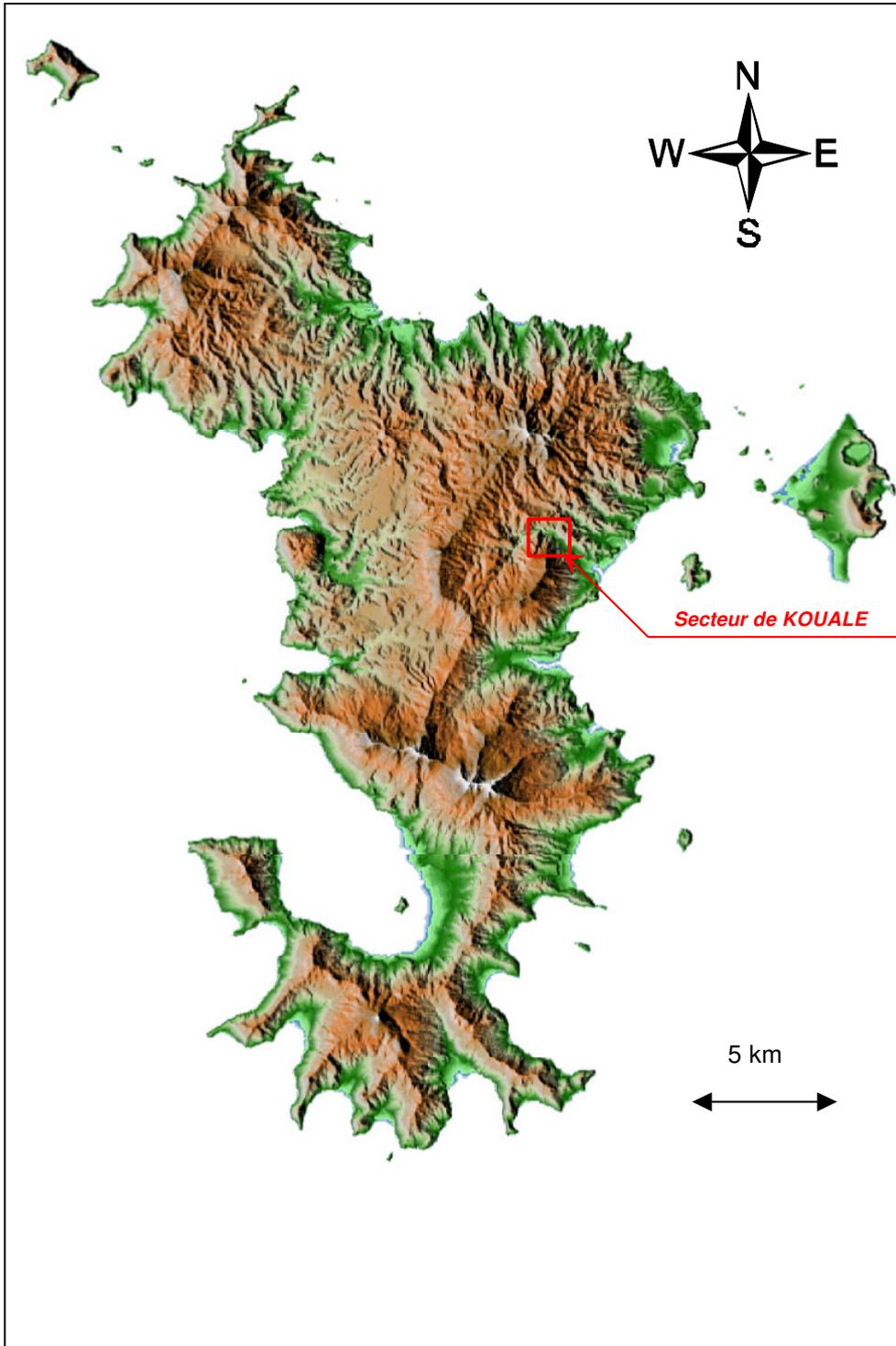


Illustration 1 – Situation géographique du site.

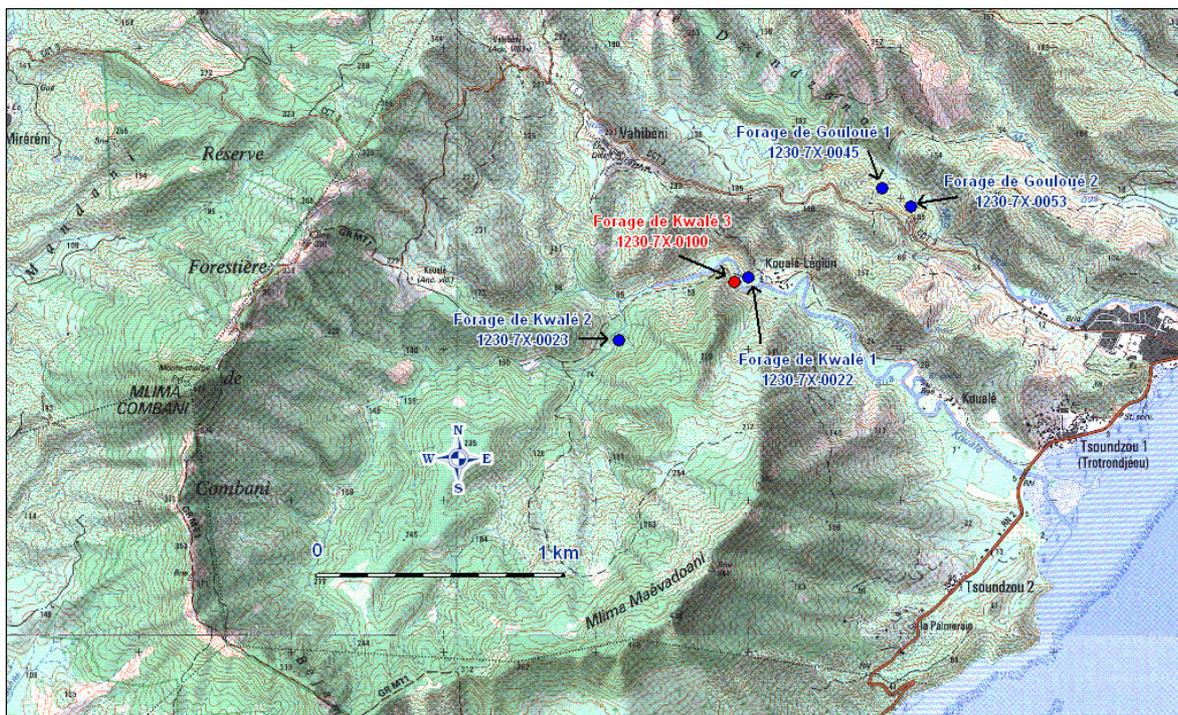


Illustration 2 – Contexte topographique de la Koualé.

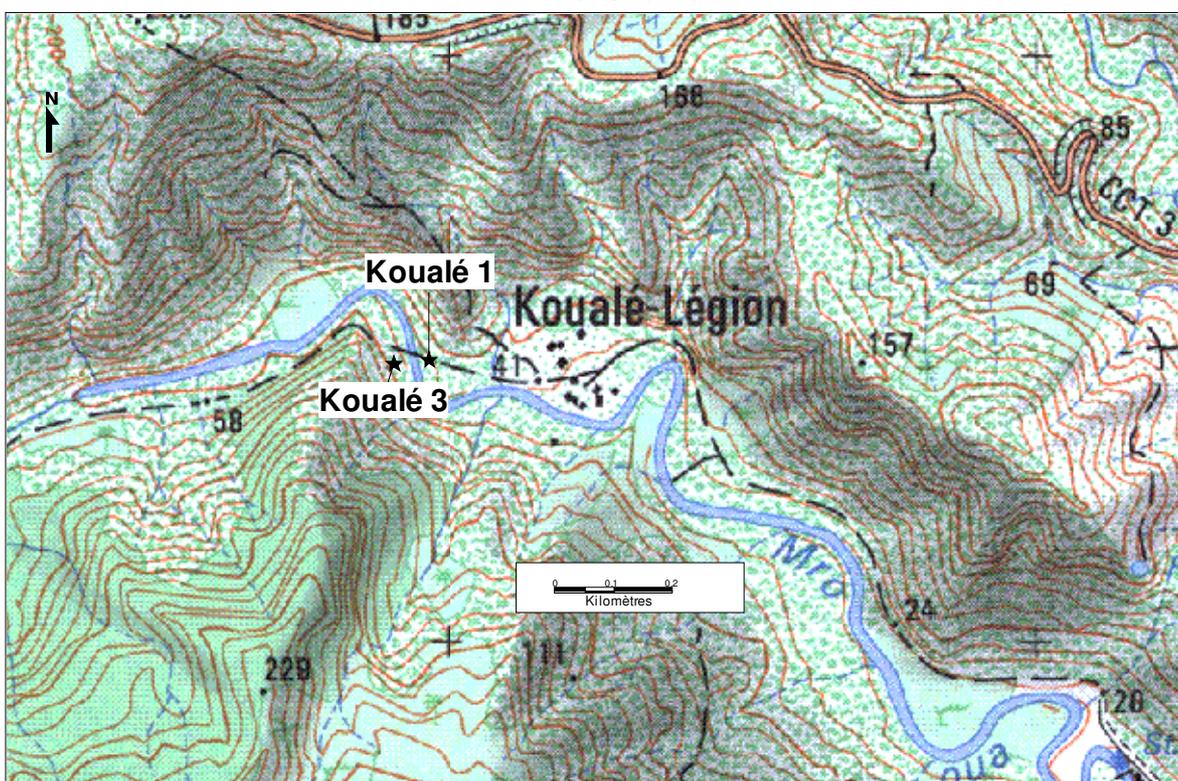


Illustration 3 – Position des forages sur carte IGN.

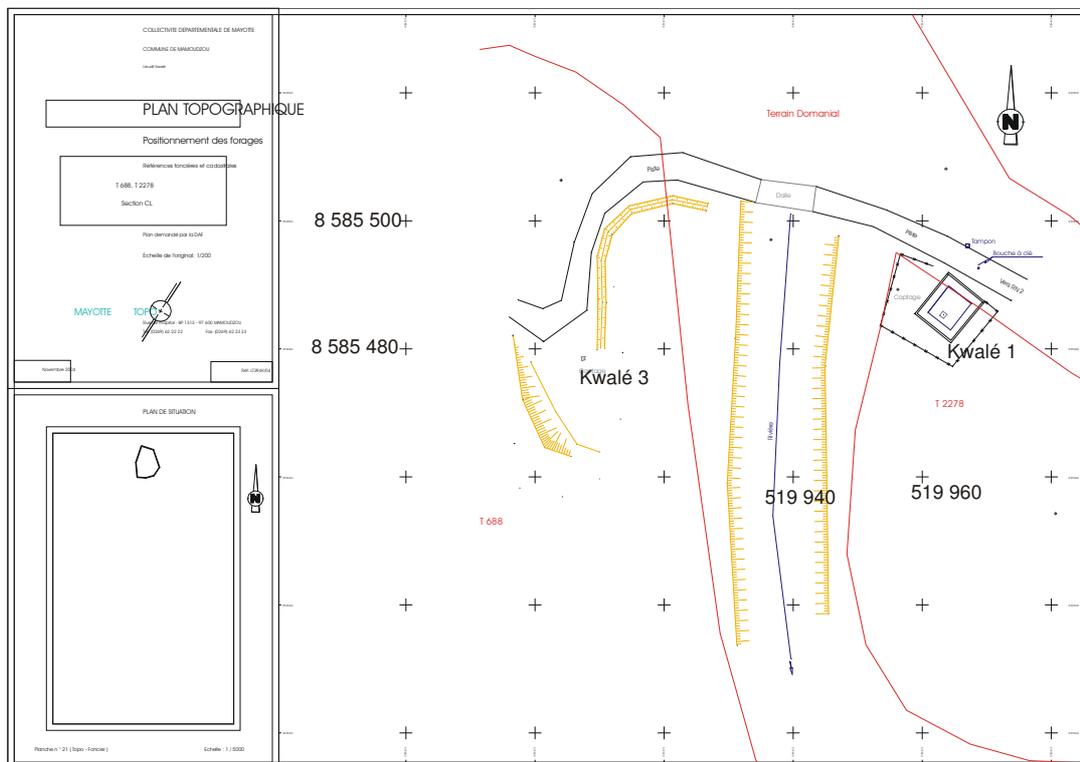


Illustration 4 – Localisation des forages à grande échelle.

Les forages sont situés plus précisément sur l'illustration 3 et l'illustration 4. Leurs coordonnées sont dans le tableau suivant (nivellement par Mayotte Topo). Les parcelles cadastrales de deux forages (Illustration 5) sont en cours d'acquisition par la Collectivité Départementale de Mayotte (à la date du 30 juin 2005).

Désignation	Koualé 1	Koualé 3	
N° BSS	1230-7X-0022	1230-7X-0100	
X	519 964	519 907	m UTM 38
Y	8 585 484	8 585 478	m UTM 38
Z	42.71	46.29	m NGM
Section	CL	CL	
Titre	T2278	T688	
N° parcelle	17	19	
Propriétaire	1527	566	

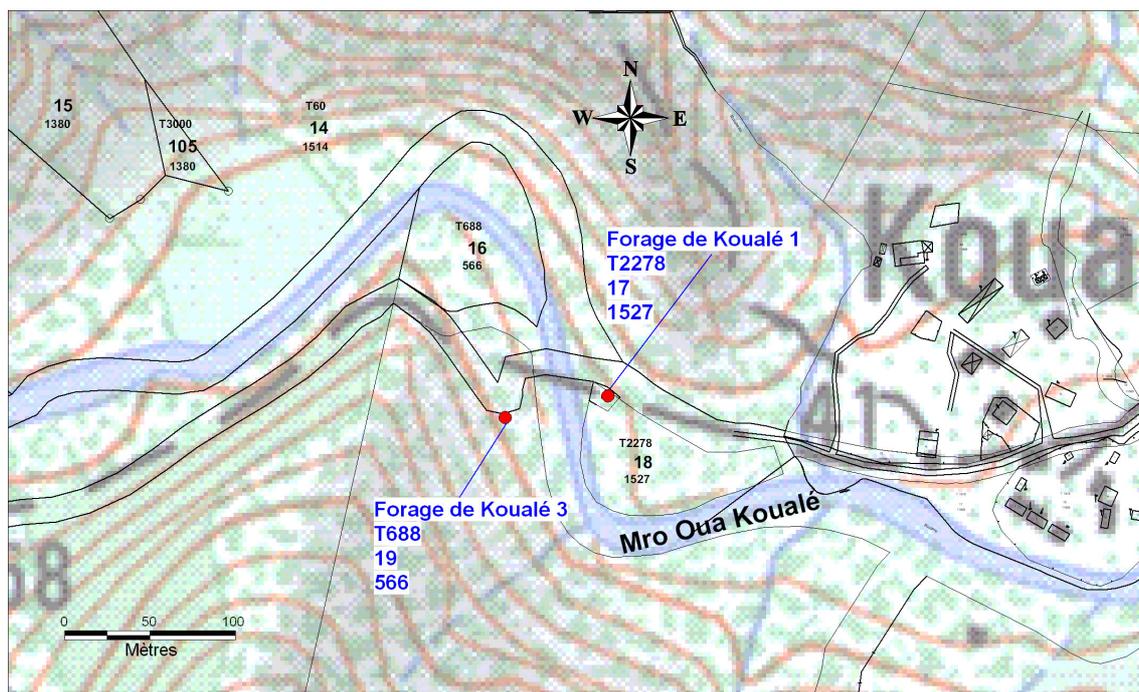


Illustration 5 – Références cadastrales des parcelles des forages.

2.2. EXPLOITATION ET DISTRIBUTION

Les conditions d'exploitation et de distribution de l'eau doivent être présentées avec leurs caractéristiques principales.

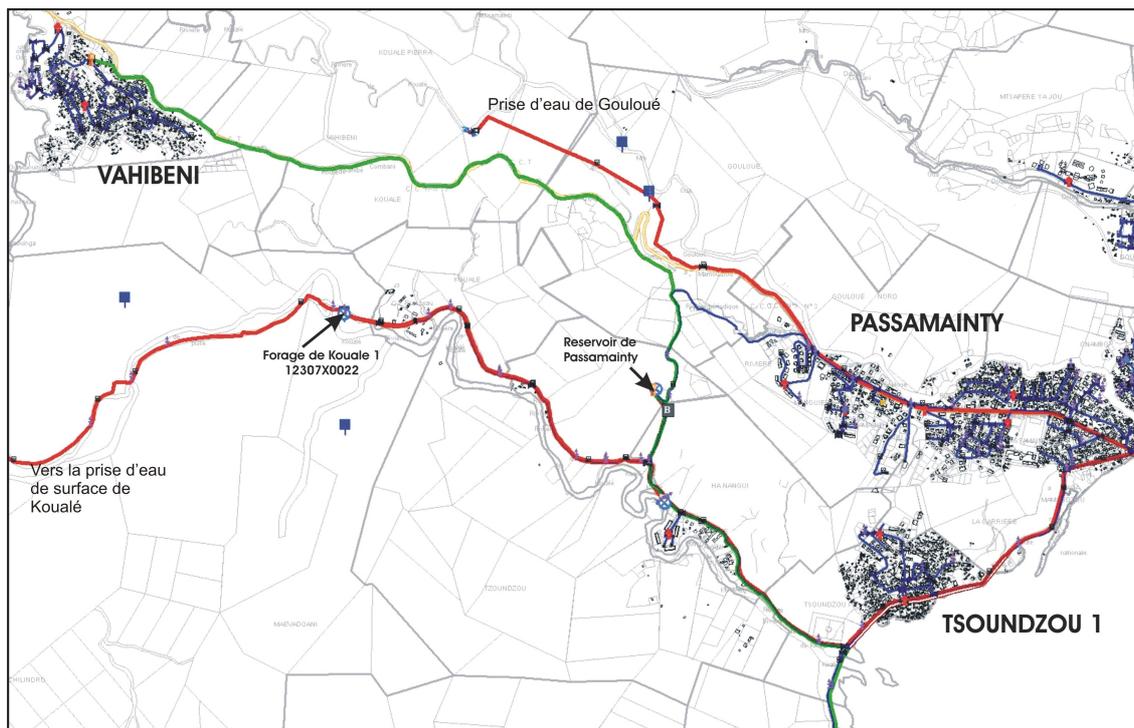


Illustration 6 – Réseau d'alimentation à partir des forages de Koualé.

Forage 1230-7X-0022

Le forage 1230-7X-0022 (Koualé 1) est en exploitation depuis juillet 2001. L'eau produite part directement vers le réservoir de Passamainty (500 m³/h), puis en reprise par pompage vers le réservoir de Vahibéni. Cette eau alimente le village de Vahibéni (3 240 habitants, INSEE 2002), les hauts du village de Passamainty (quartiers « Rivière des manguiers » et « Vétivert ») et le village de Tsoundzou 2 (1 064 habitants, INSEE 2002). Ce forage alimente également le village de Passamainty (6 027 habitants, INSEE 2002) et Tsoundzou 1 (3 064 habitants, INSEE 2002) par une mise en équilibre à l'aide d'un réducteur de pression placé à Koualé et sur la conduite qui descend sur Passamainty (Illustration 6). Les proportions du mélange d'eaux ne peuvent être connues en raison de l'absence de comptage sur le réseau. Cette configuration risque d'être modifiée au moment de la mise en service du forage de Gouloué qui alimentera alors le réservoir de Vahibéni en priorité. Le forage de Koualé sera alors affecté au seul village de Passamainty.

La pompe est équipée d'un démarreur, la commande de mise en route est déclenchée automatiquement par une horloge locale. Deux coffrets de télégestion (SOFREL et RIO) y sont installés. Le SOFREL mesure les échanges avec le réservoir de Passamainty. Le RIO enregistre la **conductivité** et l'**oxygène dissous** (analyseurs Endress). La transmission est faite par radio.

Le réservoir de Passamainty est principalement alimenté par le forage Koualé 1 et, en appoint, par un des forages de l'Ourovéni par l'intermédiaire du réservoir de Chiconi. La chloration de l'eau est effectuée dans ce réservoir. L'eau peut repartir ensuite vers l'usine de Bouyouni.

Prélèvement sur Koualé 1 :

Sur la base du rapport BRGM/RP-53193-FR dans lequel l'exploitation est analysée pour les années 2002-2003, les principales caractéristiques de l'exploitation sont les suivantes : les débits journaliers présentent une variabilité relativement forte qui reflète essentiellement les variations quotidiennes de la durée de pompage. Ramené à un débit équivalent 24h/24, le débit pompé est compris entre 34 et 55 m³/h pour une moyenne légèrement supérieure à 40 m³/h. Annuellement, il a été prélevé 407 000 m³ en 2002. Ce forage produit donc environ **1 000 m³/j**.

Le dispositif présente un système d'alerte lors d'un niveau trop bas de la nappe. La pompe est alors arrêtée. D'autre part, dans le cadre du projet de modernisation du système AEP de Mayotte, lancé au mois de mai 2005, l'ensemble du réseau de l'île, et notamment le forage de Koualé et le réservoir de Passamainty, va être équipé d'un système de télésurveillance et télégestion.

Les prévisions de consommation dans les années à venir sont celles du Schéma Directeur d'AEP, non remises à jour (2002). On note une prévision de déficit de ressource sur le secteur de Mamoudzou (environ 50 % en 2015). Un soutien par l'usine de Bouyouni qui assure le traitement des eaux provenant du nord de l'île et la mise en service des forages de Gouloué pourront apporter la solution.

En cas de problème sur le forage de Koualé, le réservoir de Passamainty peut être alimenté par la station de l'Ourovéni via le réservoir de Ongoujou. Il existe également la possibilité d'alimenter les secteurs bas de Passamainty par la nouvelle canalisation 450 fonte qui part du réservoir de Majicavo haut (elle-même alimentée par l'eau de l'usine de Bouyouni).

3. Les captages

La qualité de la conception et de la réalisation de l'ouvrage de captage sera évaluée à partir de sa description qui comportera une coupe géologique et technique. On s'efforcera de récupérer les informations sur le captage dans la mesure où elles existent. Les ouvrages sur lesquels les informations doivent être recueillies sont les ouvrages d'exploitation et les ouvrages de reconnaissance.

3.1. FORAGE 1230-7X-0022 (KOUALE 1)

a) Caractéristiques

La coupe lithologique et technique est présentée en annexe 1. Des dispositions ont été prises pour éviter une pollution de la ressource par l'intermédiaire du forage : la tête de puits est étanche (cimentation superficielle) et la partie supérieure de l'espace annulaire comprend du remblai jusqu'à 17 m de profondeur puis une cimentation entre 17 et 27 m de profondeur. Un dispositif de prélèvement d'échantillon d'eau (robinet de piquage) est en place. Un bâtiment abrite le puits et les équipements.

b) Conditions de réalisation

L'ouvrage a été réalisé en mars/avril 2000 ; son exploitation depuis cette date ne montre pas de dégradation de son état. Il a été réalisé par la société Solétanche-Bachy avec la technique du marteau fond-de-trou de diamètre 8", alésé en 12". Il est équipé de tubage PVC de diamètre 285 mm, crépiné (12% de vide) entre 31,42 et 62 m de profondeur.

Les venues d'eau ont été essentiellement observées dans la partie supérieure de la coulée basaltique (29-32 m et 37-43 m de profondeur). La nappe est captive. La cote du niveau piézométrique était d'environ 35 m NGM avant la mise en exploitation de l'ouvrage.

Des pompages d'essai par paliers de débit, et par pompage à 100 m³/h pendant 24 h, ont été réalisés. Le coefficient de pertes de charges quadratiques du puits (c) est évalué à 3.54 10⁻⁴ m/(m³/h)². L'interprétation par la solution analytique de Theis conduit à une valeur de transmissivité de 4 10⁻³ m²/s, avec une limite étanche placée à un temps d'influence de 40 mn.

Un rapport de fin de travaux est disponible : BRGM/RP-50428-FR (voir Bibliographie).

3.2. FORAGE 1230-7X-0100 (KOUALE 3)

a) Caractéristiques

La coupe lithologique et technique est présentée en annexe 1. Des dispositions ont été prises pour éviter une pollution de la ressource par l'intermédiaire du forage : la tête de puits est étanche et la partie supérieure de l'espace annulaire est cimentée de la surface du sol jusqu'à 9 m de profondeur. Un bouchon de sobranite placé entre 9 et 10 m de profondeur renforce l'étanchéité de l'ensemble. L'espace annulaire est également cimenté au-dessus des crépines sur 5 m environ.

b) conditions de réalisation

L'ouvrage a été réceptionné le 30/09/04 ; il est neuf et en bon état. Il a été réalisé par la société COFOR avec la technique du marteau fond-de-trou de diamètre 410 mm. Il est équipé de tubage PVC de diamètre 230 mm, crépiné entre 57,25 et 74,50 m de profondeur.

La principale venue d'eau a été identifiée à la base de la coulée vers 62 m de profondeur. La nappe est captive. La cote du niveau piézométrique est d'environ 28 m NGM (17 m de profondeur), le forage de Koualé 1 étant cependant en exploitation à cette date.

Un pompage d'essai par paliers de débit et un pompage à un débit de 95 m³/h pendant 90 h ont été réalisés. Le coefficient de pertes de charges quadratiques du puits (c) est évalué à 1.17 10⁻³ m/(m³/h)². Un ajustement satisfaisant de l'essai de nappe est obtenu avec les paramètres suivants (solution analytique de Theis) : transmissivité de 1.5 10⁻² m²/s, avec deux limites étanches.

Un rapport de fin de travaux est disponible : BRGM/RP-53471-FR (voir Bibliographie).

4. Contexte naturel

La description du contexte géologique, hydrogéologique et celui de la vulnérabilité doit permettre de qualifier au mieux la ressource en terme de quantité, de structure et de fonctionnement hydrologique, de qualité, de protection et d'origine des eaux. L'origine et la référence des documents utilisés seront indiquées.

4.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La description du contexte géologique doit fournir toutes les informations nécessaires à la compréhension du site, en particulier pour les aspects qui influencent le cadre hydrogéologique (structure de l'aquifère : toit, mur, type de perméabilité, nature de l'encaissant,...).

La structure géologique du secteur est présentée dans l'annexe 1.

4.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Le contexte hydrogéologique sert de base à la détermination des périmètres de protection, avec la définition de l'aire d'alimentation et des conditions d'écoulement, avec la proposition d'un modèle conceptuel de la structure et du fonctionnement de l'aquifère. Les caractéristiques à préciser ou à définir seront fonction du type d'aquifère et du contexte précis du captage. Elles pourront concerner : le réservoir aquifère, l'hydrodynamique, les échanges, les paramètres permettant le calcul des isochrones.

4.2.1. Hydrodynamique

La valorisation des données sur les années 2002-2003 a clairement confirmé l'association des remontées piézométriques à la recharge de l'aquifère en période pluvieuse. L'estimation du volume d'eau infiltré est de 250 000 à 270 000 m³ (2001/2002) et de 290 000 à 330 000 m³ (2002/2003). Ces volumes sont proportionnels aux prélèvements de la saison sèche précédente.

Les niveaux piézométriques sont bien connus à Koualé 1 où on dispose d'historiques de mesures. Les principales caractéristiques de la piézométrie, influencée par les pompages, dans ce forage sont les suivantes : le niveau moyen a évolué entre 34 m NGM (juillet 2001) et 23 m NGM (décembre 2001) avant de récupérer le niveau haut en avril 2003 grâce à la recharge de l'aquifère lors de la saison humide. Les fluctuations quotidiennes ont 1,5 à 2 m d'amplitude à cause des pompages.

Les valeurs de transmissivité aux forages sont les suivantes :

	Koualé1 (1230-7X-0022)	Koualé3 (1230-7X-0100)
Transmissivité	$4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Les nappes sont captives au niveau des forages. Les pompages d'essai ont montré que l'aquifère présentait un effet de capacité, que ses limites étaient atteintes rapidement (aquifère compartimenté) mais que néanmoins il renfermait des volumes d'eau importants.

4.2.2. Alimentation de l'aquifère

L'aquifère est basaltique avec un recouvrement pyroclastique, peu perméable a priori. Cette coulée affleure probablement dans l'axe de la vallée de la rivière Koualé à 300 m environ à l'aval des forages.

Les deux forages exploitent la même ressource en eau, mais dans des conditions différentes malgré leur proximité : le niveau producteur est une coulée de basalte qui est aquifère en partie supérieure à Koualé 1, à partir de 30 m de profondeur et sur une hauteur d'une dizaine de mètres ; elle comprend une partie supérieure en graton et une partie fissurée sous-jacente. A Koualé 3, c'est la partie inférieure scoriacée de la coulée qui est productive, à 62 m de profondeur, sur une épaisseur de 5 m au plus.

Le niveau de la nappe au repos est de l'ordre de 35 m NGM. On observe la simultanéité des variations piézométriques sur les deux forages. Compte tenu de ces éléments et des données hydro-chimiques disponibles, il est probable que l'aquifère soit alimenté :

- principalement par la rivière Koualé en aval du forage. Cette alimentation semble se faire principalement en hautes eaux. Les pompages d'essai n'ayant pas indiqué de limite à potentiel imposé, cette alimentation est envisageable par des pertes partielles au travers de la zone non saturée (déconnexion entre le niveau d'eau de la rivière et de la nappe) ;
- au sein des laves appartenant aux systèmes du Maévadoani ou du Mtsapéré.

Les zones d'alimentation ne peuvent pas non plus être très proches des forages : l'aquifère est captif, les venues d'eau sont profondes (à 30 et à 62 m) et en charge ; elles sont protégées par un niveau peu perméable (des lapilli scoriacés pris dans une matrice argileuse).

En approche sécuritaire, on considèrera, en amont des forages, le bassin d'alimentation des forages confondu avec le bassin versant de la Koualé. En aval, le bassin sera étendu de 500 m environ (Illustration 7).

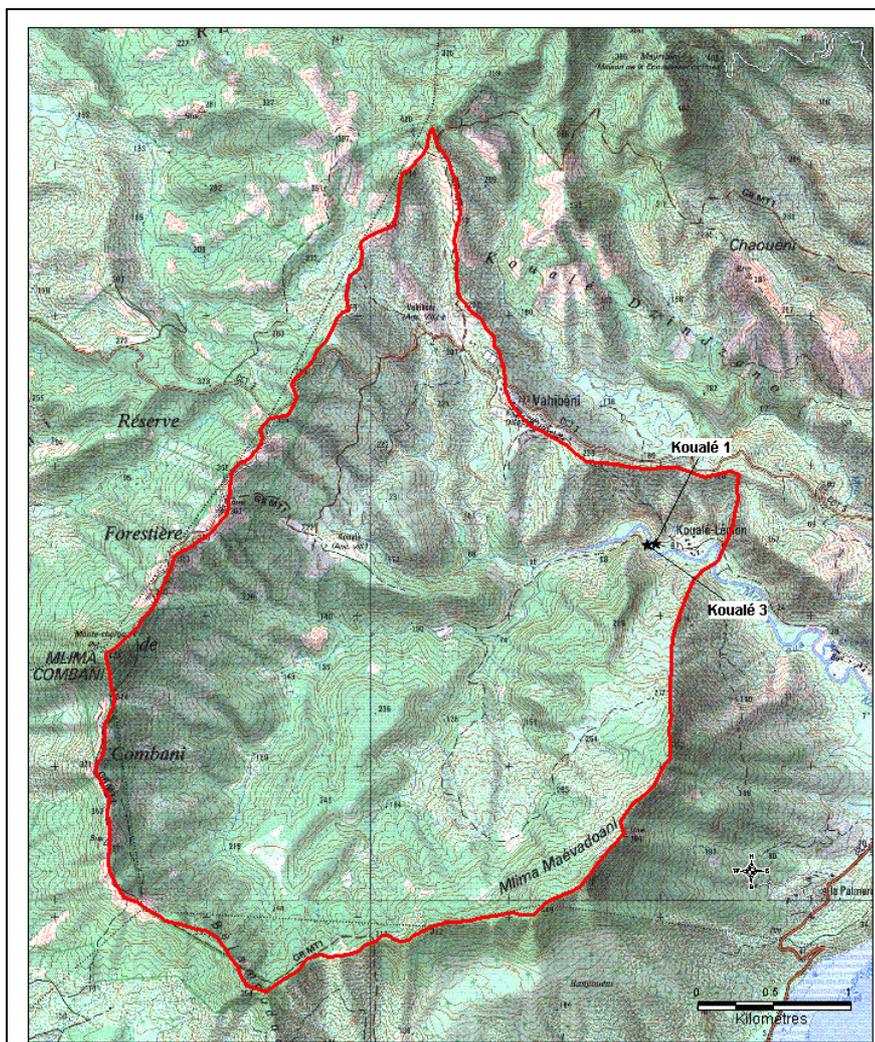


Illustration 7 – Contours du bassin d'alimentation.

4.2.3. Potentialité

Les volumes exploitables de cet aquifère ont été estimés à partir des données d'exploitation de Koualé 1. Compte tenu des incertitudes, deux hypothèses de productivité (en m^3/an et par mètre de rabattement) sont proposées : une estimation haute et une estimation basse. Les valeurs de ces volumes disponibles sont présentées dans le tableau suivant et sont comprises approximativement entre 500 000 et 1 000 000 m^3/an .

Hypothèse productivité de l'aquifère	Production potentielle annuelle de l'aquifère pour 26.5 m de rabattement	Production Koualé 1 avec la position actuelle de la pompe	Solde disponible pour Koualé 3
m ³ /an/m de rabattement	m ³ /an	m ³ /an	m ³ /an
20 000	530 000	180 000	350 000
40 000	1 060 000	360 000	700 000

4.2.4. Biseau salé

Le risque d'intrusion saline semble limité, car plusieurs facteurs vont dans le sens de la sécurité :

- le forage est relativement éloigné de la mer : 2 300 m ;
- l'aquifère présente très vraisemblablement une forte anisotropie de perméabilité (perméabilité horizontale > perméabilité verticale), le risque de salinisation par upconing, tel qu'envisagé dans le cas de l'hypothèse de Ghyben-Herzberg, est donc très limité ;
- les aquifères sont compartimentés latéralement à Mayotte, ce que confirme les pompages d'essai à Koualé.

4.3. QUALITE DE L'EAU

Les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau sont à présenter de manière synthétique et interpréter en fonction du contexte et de l'environnement. En particulier, lorsque le contexte le justifie, l'étude préalable contiendra des graphiques d'évolution et des diagrammes de qualité (par exemple, pour illustrer une tendance dans l'évolution de certains paramètres tels que nitrates ou des pollutions biologiques ponctuelles).

a) Analyses de septembre 2004

La qualité de l'eau a été évaluée à partir de l'analyse d'échantillons d'eau prélevés :

- dans le forage Koualé 3, à la fin du pompage d'essai de longue durée, le 10 septembre 2003 ;
- dans la rivière Koualé et dans le forage Koualé 1 le 16 septembre 2004.

Les analyses ont été réalisées par le BRGM et les résultats sont en annexe 3 et présentés sous forme de graphique (Illustration 8 et Illustration 9).

b) Qualité de l'eau

Les résultats des analyses sont équilibrés pour les forages (balance ionique inférieure ou égale à 1 %). Pour les eaux de rivière, la balance ionique présente un déséquilibre de 8 % qui peut être dû à la présence de matière organique.

Ce sont des eaux à minéralisation peu accentuée (conductivité autour de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), considérées excellentes sur ce plan pour de l'alimentation en eau potable. Les eaux appartiennent au groupe des eaux bicarbonatées, calciques et magnésiennes. Les qualités des eaux des deux forages sont très proches ; même constat pour les eaux de la rivière qui sont, logiquement, un peu moins minéralisées : l'interaction eau-roches a été moins importante pour les eaux de surface.

Les éléments analysés respectent les limites de qualité du décret n° 2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles.

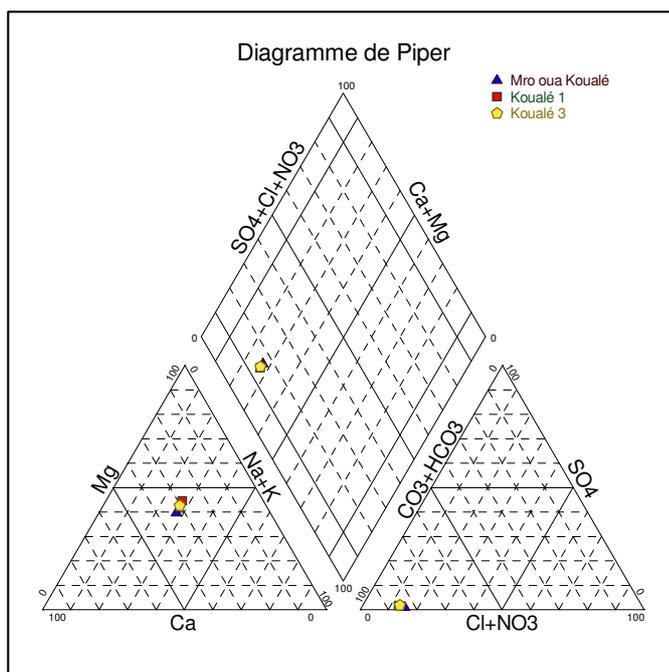


Illustration 8 – Diagramme de Piper.

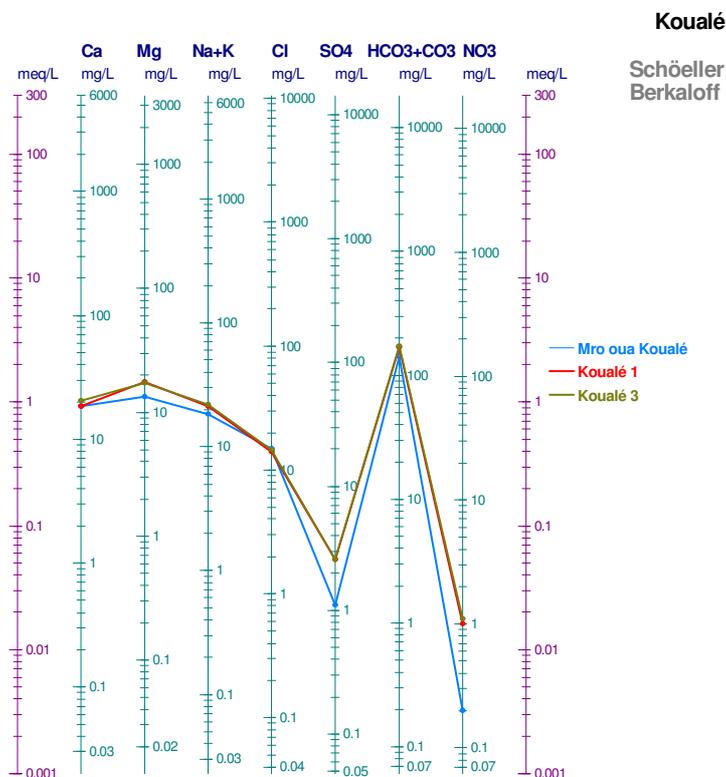


Illustration 9 – Diagramme de Schoëller-Berkaloff.

c) Historique des mesures sur 1230-7X-0022 (Koualé 1)

Des historiques de données physico-chimiques sont disponibles à partir de 2002 sur Koualé 1. Les principaux éléments sont représentés sous forme graphique (Annexe 2). Les concentrations de la plupart des éléments sont stables au cours du temps ce qui indique que l'aquifère est protégé d'influences extérieures directes. La conductivité semble montrer une augmentation significative (environ 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre juillet 2001 et juillet 2003). En soi, cette évolution n'a rien d'inquiétant.

d) Strontium et rubidium

Pour le strontium et le rubidium, les éléments de comparaison sont limités car peu d'analyses en contexte volcanique existent. Les teneurs en strontium dans la rivière et dans les forages sont proches ; elles sont légèrement plus élevées dans Koualé 3 comme le reste de la minéralisation. Par comparaison avec d'autres données bibliographiques existantes, on citera :

- valeur moyenne de 25 échantillons pris dans un bassin du Massif Central de 72 $\mu\text{g}/\text{l}$ et de 5 $\mu\text{g}/\text{l}$ respectivement pour le strontium et pour le rubidium ; ce sont des

valeurs plus faibles, mais la minéralisation globale est aussi plus faible (2,8 et 2,1 mg/l pour le calcium et le chlore)¹ ;

- le fond géochimique (RP51549-FR, volume 5) indique des valeurs dans les gammes observées à Mayotte : sur 10 échantillons, pour le calcium variant entre 8 et 23 mg/l et pour le chlore variant entre 2 et 5 mg/l, est associé le strontium variant entre 13 et 153 µg/l.

e) Analyses isotopiques

	Date du prélèvement	δD ‰ vs SMOW (+/- 0,8 ‰)	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMOW (+/- 0,1 ‰)
Koualé 1	16/09/2004	-16,5	-3,7
Rivière Koualé	16/09/2004	-15,3	-3,3

Les signatures isotopiques de l'eau du forage Koualé 1 et de la rivière sont :

- significativement différentes en ¹⁸O ;
- différentes, mais néanmoins dans la gamme d'incertitude, en deutérium.

Ces points sont proches de la droite mondiale des précipitations. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de signes d'évaporation entre les deux eaux. Il y a confirmation par les teneurs en Cl, identiques sur les 3 échantillons (entre 13,9 et 14,8 mg/l).

Il n'est pas possible à partir de ces deux seules analyses de prouver qu'il y a une recharge de l'aquifère par la rivière.

4.4. VULNERABILITE DE LA RESSOURCE

La vulnérabilité de la nappe est à apprécier en fonction des caractéristiques du modèle conceptuel de l'aquifère, des formations de recouvrement, du mode d'écoulement des eaux, notamment ses relations éventuelles avec les eaux superficielles. L'aptitude des formations superficielles à retenir les matières polluantes sera appréciée.

Le contexte pédologique conditionne le premier niveau de protection de la ressource, principalement dans le cas des nappes libres ; c'est pour cette raison qu'il doit être décrit.

¹ NÉGREL, Ph, DESCHAMPS, P. 1996. Natural and anthropogenic budgets of a small watershed in the Massif Central (France): Chemical and strontium isotopic characterization in water and sediments. *Aquatic Geochemistry*, 2, 1-27.

La nappe captée est naturellement protégée par des écrans géologiques peu perméables : ils sont épais de 27,5 m à Koualé 1 et de 45 m à Koualé 3. Leur faible perméabilité est montrée par la captivité de la nappe au niveau des deux forages. Les sols sont peu épais, mais ce paramètre intervient très peu dans ce contexte. La nappe apparaît donc peu vulnérable au niveau des infiltrations de surface. Par contre, la relation rivière Koualé – nappe étant mal identifiée, des mesures de protection de la qualité de la rivière devront être prises pour protéger les captages de cette vulnérabilité qui reste imprécise.

On examinera donc essentiellement les abords des forages, les environnements proches des zones d'alimentation supposées et de la rivière Koualé susceptibles d'alimenter l'aquifère.

4.5. ENVIRONNEMENT ET ÉVALUATION DES RISQUES DE POLLUTION

L'environnement sera étudié dans les limites de l'aire d'influence ou d'alimentation du captage, en considérant son extension maximale qui résulte de l'incertitude sur les paramètres hydrogéologiques. Pour les sources, les limites seront celles du bassin souterrain ou à défaut, du bassin topographique.

Les risques de pollution, anciens, actuels ou appartenant à des projets connus, seront recensés : inventaire exhaustif des activités économiques du secteur, des rejets et des produits dangereux utilisés. Il est recommandé de recourir à un support cartographique daté.

L'étude d'environnement sera plus ou moins développée suivant que le captage se rapporte à une nappe libre et vulnérable, ou bien à une nappe protégée naturellement par des écrans géologiques. Dans ce deuxième cas, l'étude pourra être très succincte et limitée aux abords du captage et pour certains aspects seulement dans l'environnement plus lointain, proches des zones d'alimentation.

Le développement de cet aspect du dossier trouve toute sa justification dans le cas où la nappe exploitée est une nappe libre et superficielle. Avec l'augmentation de l'épaisseur de la zone non saturée et dans le cas des nappes captives, son intérêt décroît ou disparaît. Une hiérarchisation des risques sera proposée.

4.5.1. Environs immédiats des captages

d) Forage 1230-7X-0022 (Koualé 1)



Illustration 10 – Forage de Koualé 1 (1230-7X-0022).

Le forage est placé à l'intérieur d'un bâtiment, lui-même au sein d'un enclos clôturé et cadenassé, pouvant servir de PPI, qui borde la piste qui remonte la vallée. Il n'y a pas de produits stockés dans cette enceinte.

Les pentes autour de l'enclos sont telles que les ruissellements sont dirigés vers la rivière ou vers l'aval de la route.

Forage 1230-7X-0100 (Koualé 3)



Illustration 11 – Forage de Koualé 3. (1230-7X-0100).

Le périmètre de protection immédiate (PPI) de ce forage est à construire. Il devra respecter les points suivants :

- la route est en léger surplomb. Il faudra mettre en place un dispositif protégeant le PPI de tout ruissellement et de tout déversement susceptible de venir de la route : un dispositif comprenant un fossé et une murette seront suffisants ;
- collecter les eaux de ruissellements en provenance de l'amont, puis les détourner du PPI et les renvoyer vers la rivière ;
- l'intérieur du PPI devra présenter une pente pour éviter la stagnation de toute eau.

e) Risques

Selon l'atlas au 25 000^{ème} réalisé dans le secteur, le forage de Koualé 1 est situé en zone d'aléa moyen, chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements (P2). Le forage de Koualé 3 est situé dans une zone d'aléa moyen, glissements dominants accompagnés de chutes de blocs (G2). Le captage de Koualé 1 est situé dans une zone dont le risque inondation est moyen à fort. Le captage de Koualé 3 est situé dans une zone dont le risque inondation est faible à nul.

4.5.2. Environnement rapproché à lointain

Le bassin versant à l'amont est occupé par de la végétation naturelle (forêt) et des cultures familiales en fond de vallée. Le secteur est classé en zone non constructible (NC : zone de richesses naturelles à protéger) (Illustration 12). Aucune activité à risque, ni source de pollution ne sont recensées dans tout le bassin versant amont : absence d'ICPE (installation classée pour la protection de l'environnement), de produits dangereux, d'élevage industriel, de pollution accidentelle connue, de station d'épuration. La zone, peu habitée, est pour le moment préservée des dépôts sauvages de déchets. A proximité des forages, on trouve des secteurs en ND (zone à protéger en raison de risques naturels, inondations) et NB : zone naturelle desservie partiellement par des équipements qu'il n'est pas prévu de renforcer et dans laquelle des constructions sont déjà édifiées. Elle correspond au hameau de Koualé-Légion.

Le seul village en amont est Vahibéni ; il est situé en position dominante sur la crête à 210 m d'altitude et à 1 km de distance. Ce village ne dispose pas d'un réseau d'assainissement. Il est recommandé de veiller à ce que les réglementations générales à la protection des eaux souterraines et de surface soient appliquées.

A proximité des forages se trouve la caserne de Koualé légion. L'assainissement est assuré par une fosse septique qui devra être mise aux normes si ce n'est pas le cas (dimensionnement, entretien, épandage,...).

Les forages sont longés par une piste qui dessert l'amont de la vallée. Actuellement peu fréquentée, elle pose cependant un problème avec la pratique du lavage des voiture dans la rivière en y autorisant leur accès. La réglementation de l'accès aux seuls riverains devrait être envisagée.

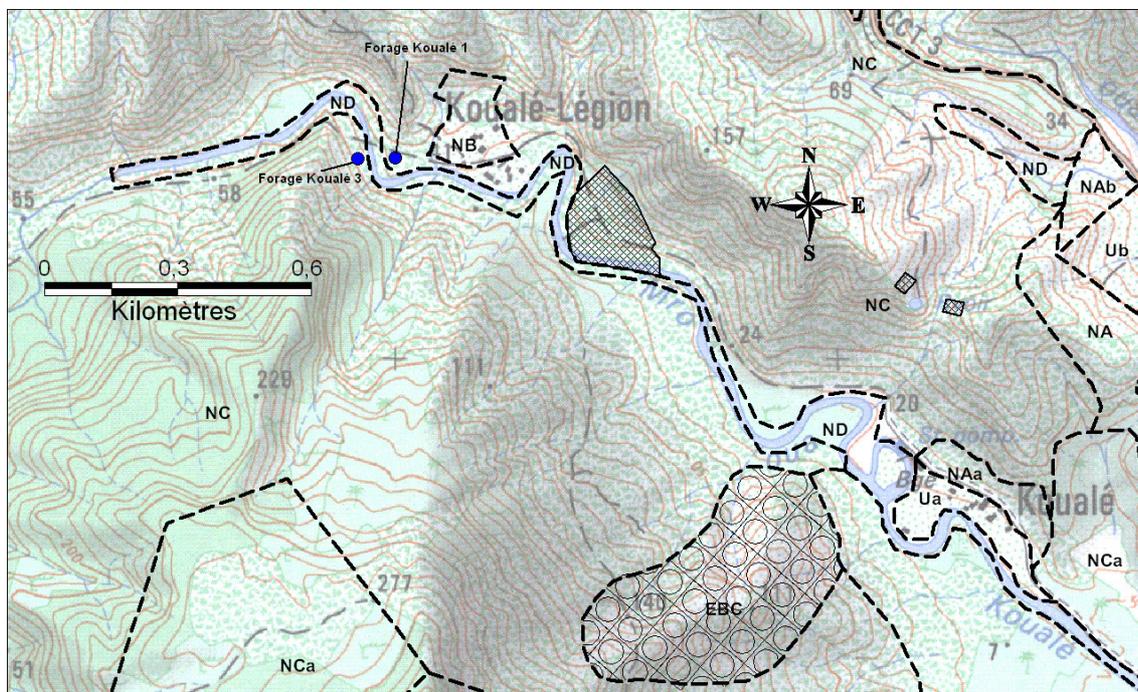


Illustration 12 – Zonation du POS.

5. Faisabilité de la protection

L'aménagement du périmètre de protection immédiate du forage de Koualé 1 est réalisé et ne nécessite pas d'adaptation particulière. Celui de Koualé 3 est à construire. Des recommandations sont proposés dans ce rapport.

Les forages de Koualé exploitent un niveau aquifère lié à la présence d'une coulée de basalte recouverte d'une épaisse couche de scories altérée au niveau des forages.

Cette ressource présente des protections naturelles relativement favorables. Cependant, l'aquifère étant vraisemblablement alimenté en partie par la rivière, les mesures de protection de la rivière devront être prises : application de la réglementation générale dans le périmètre de protection éloignée, renforcée éventuellement dans le périmètre de protection rapprochée par des mesures spécifiques.

Les forages sont en bon état et fournissent une eau de bonne qualité chimique pour l'usage Alimentation en Eau Potable.

La définition des périmètres de protection est faisable. On veillera particulièrement au maintien de la protection de la rivière par une application très stricte de la réglementation générale existante concernant les prélèvements et les rejets. L'interdiction de la pratique actuelle de lavage dans la rivière (en particulier les voitures) devra être appliquée. L'impact de possibles aménagements futurs dans les périmètres de protection devront tenir compte de la présence de ces captages, comme prévu dans les textes de loi.

Sur la base des pompages d'essai et du suivi de l'exploitation de Koualé 1, l'autorisation de prélèvement peut se faire au niveau de 700 000 m³/an (voir le rapport BRGM/RP-53471-FR), soit environ 2 800 m³/j ou encore 130 m³/h.

6. Bibliographie

Jourdain T., Maurillon N., Mouron R. (2002) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Campagne 2001-2003. Forage de la Gouloué (1230-7X-0045). Compte-rendu des travaux- Principaux résultats géologiques et hydrogéologiques. RP-52035-FR.

Petit V., Frissant N., Euchet G. (2004) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte – Campagne 2004 - Forage 1230-7X-0100 (Koualé 3). BRGM/RP-53471- FR.

Lachassagne P., Cruchet M., Daesslé M., Lebon D. (2000) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines de Mayotte. Campagne prioritaire d'études et de forages de reconnaissance / d'exploitation (juin 1999 – octobre 2000). Compte-rendu des travaux et principaux résultats géologiques et hydrogéologiques. BRGM/RP-50428-FR. Annexe 6.

Stieljes L. (1988) - Carte géologique de Mayotte (Archipel des Comores). Échelle 1/50 000 – Édition du BRGM.

Lachassagne P., Noël Y., Jossot O., avec la collaboration de Wuilleumier A. (2004) - Valorisation des données d'exploitation du forage de Kwalé 1 (1230-7X-0022) recueillies en 2002-2003 ; Réévaluation des volumes exploitables. Présentation des données piézométriques recueillies au sein des 4 forages suivis par la DAF - BRGM/RP-53193-FR, 74 p.

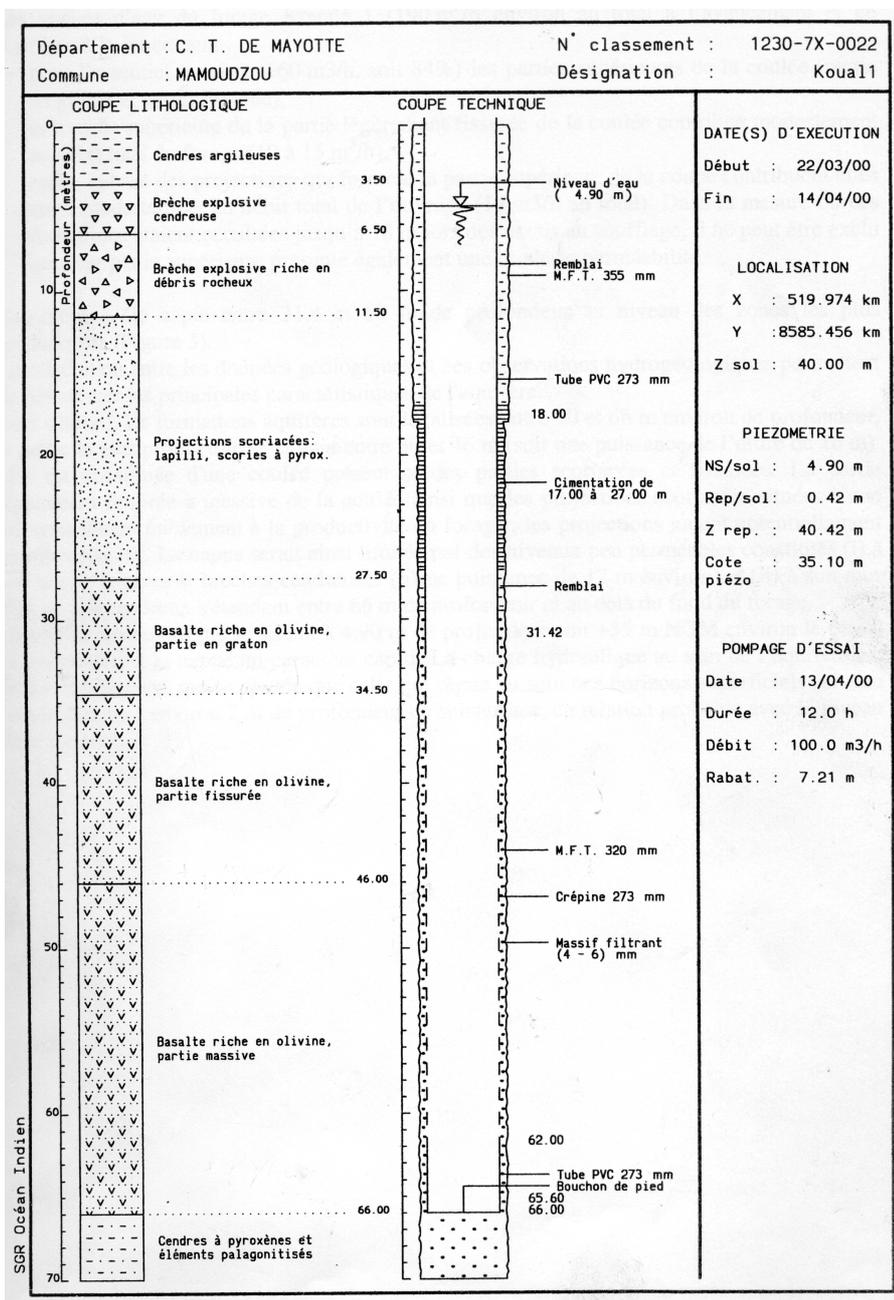
Blum A., Chery L., Barbier J., Baudry D., Petelet-Giraud E., Ruppert N., Seguin JJ., Vigouroux P. (2002) - Contribution à la caractérisation des états de référence géochimique des eaux souterraines. Outils et méthodologie. BRGM/RP-51549-FR, 539 p

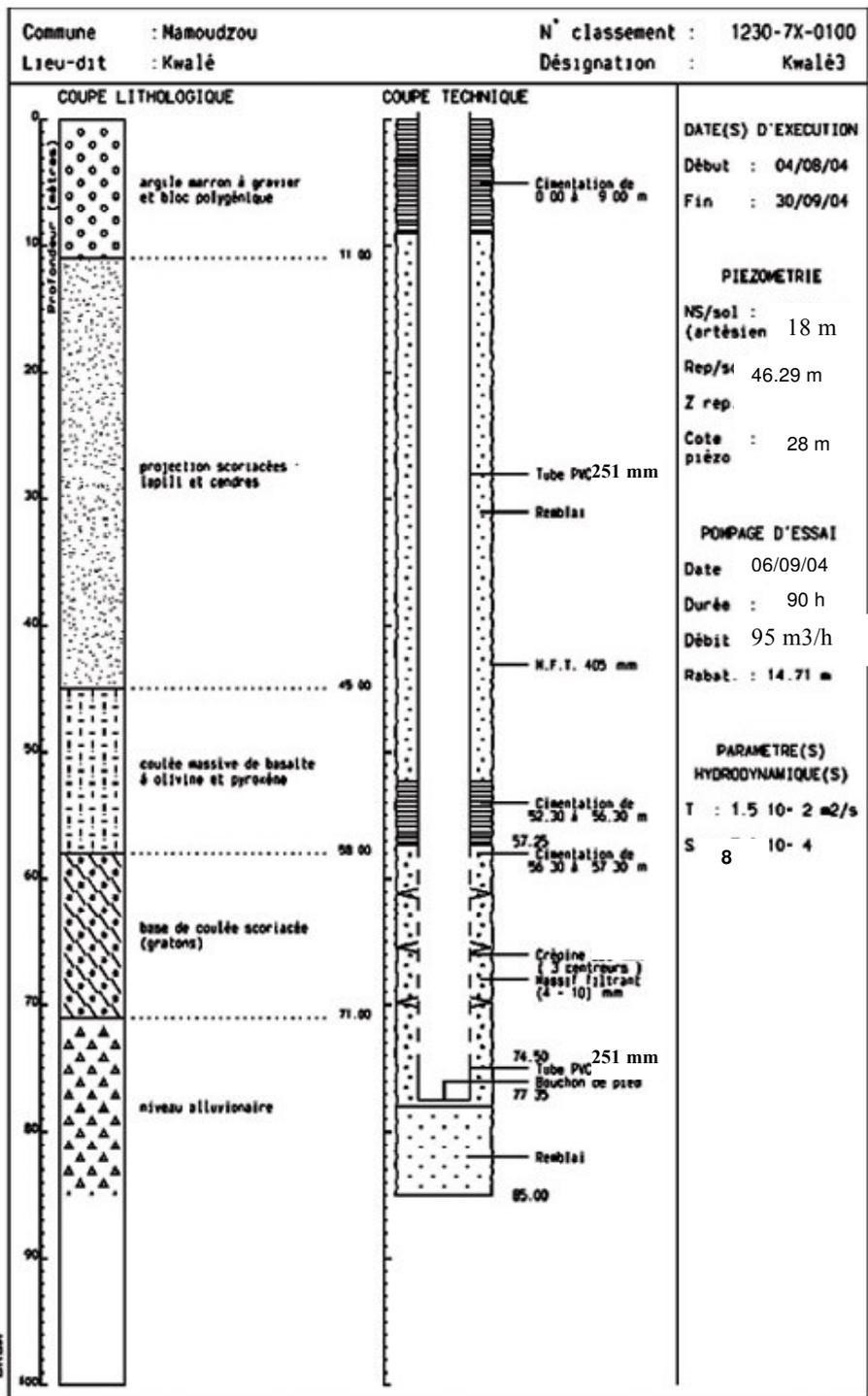
Giorgi L. (2004). Carte des faciès géologiques de Mayotte au 50 000^{ème}. DAF.

Wuilleumier A., Jossot O., Euchet G., Lachassagne P. (2004) - Etude hydrogéologique préalable à l'élaboration des périmètres de protection du forage de Kwalé 1 (1230-7X-0022).

Annexe 1

Coupes lithologiques et techniques





Annexe 2

Modèle géologique

Cette annexe présentant le modèle géologique de Koualé est constituée de deux chapitres : le premier présente les données disponibles et acquises ces dernières années, le second est le modèle géologique du secteur conçu à partir de ces données.

1. Analyse des données disponibles et acquises.....	43
1.1. Forages.....	43
1.2. Carte géologique de L. STIELTJES.....	44
1.3. carte des faciès géologiqueS.....	46
1.4. Carte géologique de Gouloué.....	47
1.5. Prospection géophysique	47
1.6. ReconnaissanceS de terrain.....	48
2. Modèle géologique	53
2.1. synthèse géologique à proximité des forages Koualé 1 et 3	53
2.2. Histoire géologique.....	56

1. Analyse des données disponibles et acquises

1.1 FORAGES

Les forages de Koualé 1 et de Koualé 2 ont été réalisés durant la campagne de forage 1999 – 2000. Leurs positions sont indiquées sur l'illustration 3 du rapport. Koualé 3 a été réalisé en 2004 (cf. rapports BRGM/RP-50428-FR et BRGM/RP-53593-FR). Les principales caractéristiques sont rappelées ci-dessous :

Kwalé 1 :

0-3,5 m : cendres argileuses

3,5-6,5 m : brèche explosive cendreuse sombre contenant de nombreux débris rocheux polygéniques souvent altérés et de taille centimétrique.

6,5-11,5 m : matériel explosif bréchiq ue riche en débris rocheux basaltiques sombres et projections scoriacées lie-de-vin.

11,5-27,5 m : projections scoriacées lie-de-vin (lapilli, graviers scoriacés à pyroxène) provenant vraisemblablement d'un cône de scories dont le point d'émission serait proche du forage.

27,5-66 m : coulée de basalte riche en olivine (30 à 40 %) et pyroxène (15 %) présentant une partie supérieure en graton (type aa, 7 m de puissance), une partie massive à fissures minéralisées (zéolites globuleuses, oxyde de fer jaunâtre) d'une épaisseur de 11,5 m et une partie massive de 20 m de puissance.

66-70 m : niveau cendrex avec une partie supérieure riche en fragments rocheux palagonitisés (mise en place en milieu sous-marin) et pyroxènes libres et une partie inférieure à grain très fin.

Kwalé 2 :

0-1 m : colluvions et cendres.

1-7,5 m : cendres fines litées beiges à fragments rocheux altérés.

7,5-22,5 m : basalte sombre à olivine, feldspath et pyroxène présentant une partie supérieure altérée (5,5 m), un cœur de coulée scoriacé à zéolites et olivine altérée (6,5 m), et une partie inférieure en graton zéolitisée (3 m).

22,5-35,5 m : basalte gris, très riche en pyroxène et olivine (40 % de la roche) comprenant : une partie supérieure en graton (4,5 m), une partie intermédiaire plus compacte, fissurée à placage de zéolites et oxydation brune (2,5 m), et une partie inférieure scoriacée (6 m).

35,5- 46,5 m : basalte gris à pyroxène et olivine (20 à 30 % de la roche) avec une partie supérieure scoriacée à zéolites (5 m), une partie intermédiaire plus massive, fissurée à placage de zéolite, traces d'oxydation et olivine iddingsitisée (4 m), et une partie basale en graton zéolitisée (2 m).

46,5-67,5 m : basalte sombre, riche en pyroxène (50 % de la roche) et olivine. Coulée scoriacée zéolitisée.

67,5-70 m : basalte à pyroxène, olivine et feldspath.

Kwalé 3 :

0 - 11 m : argile marron à blocs et graviers polygéniques. On détecte la présence de traces d'oxydation sur les graviers.

11 - 45 m : lapilli scoriacés pris dans une matrice argileuse.

45 – 58 m : coulée volcanique : lave volcanique mélanocrate massive à très faiblement vacuolaire à phénocristaux d'olivine, de pyroxène et parfois de calcite.

58 – 68 m : présence probable d'un graton. La composition pétrographique est identique à celle du niveau précédent avec un passage de feldspath vers 64 m de profondeur.

68 – 84 m : dépôts alluvionnaires composés de sable et de graviers polygéniques souvent arrondis.

84 – 85 m : sable au grain polygénique arrondi.

1.2 CARTE GEOLOGIQUE DE L. STIELTJES

D'après la carte géologique de Mayotte (Illustration 1) à 1/50 000 (Stieltjes, 1988), les formations géologiques du secteur d'étude sont constituées d'une succession de coulées de lave basaltique issues du bouclier ancien méridional. Il s'agit :

- d'une série de basaltes sensu stricto et basaltes à néphéline altérés ;
- de basaltes ankaramitiques (à phénocristaux de pyroxène et d'olivine) formant l'ossature des reliefs ;
- de projections cendreuses en couverture.

Ce secteur comprend également des formations superficielles correspondant essentiellement à des alluvions de granulométrie variable (grossières à l'amont, plus fines dans la plaine littorale).

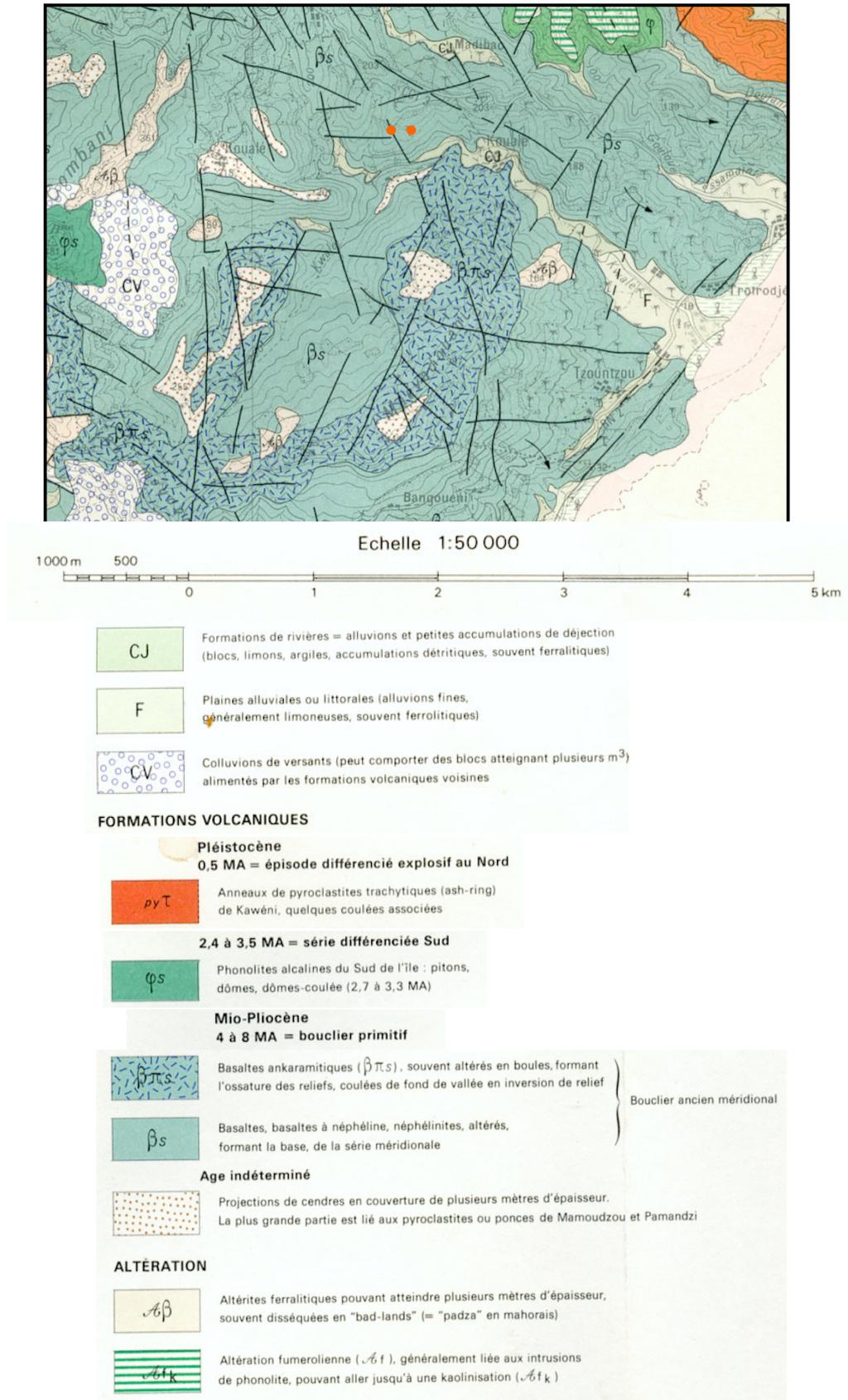


Illustration 1: carte géologique de Mayotte (1988).

1.3 CARTE DES FACIES GEOLOGIQUES

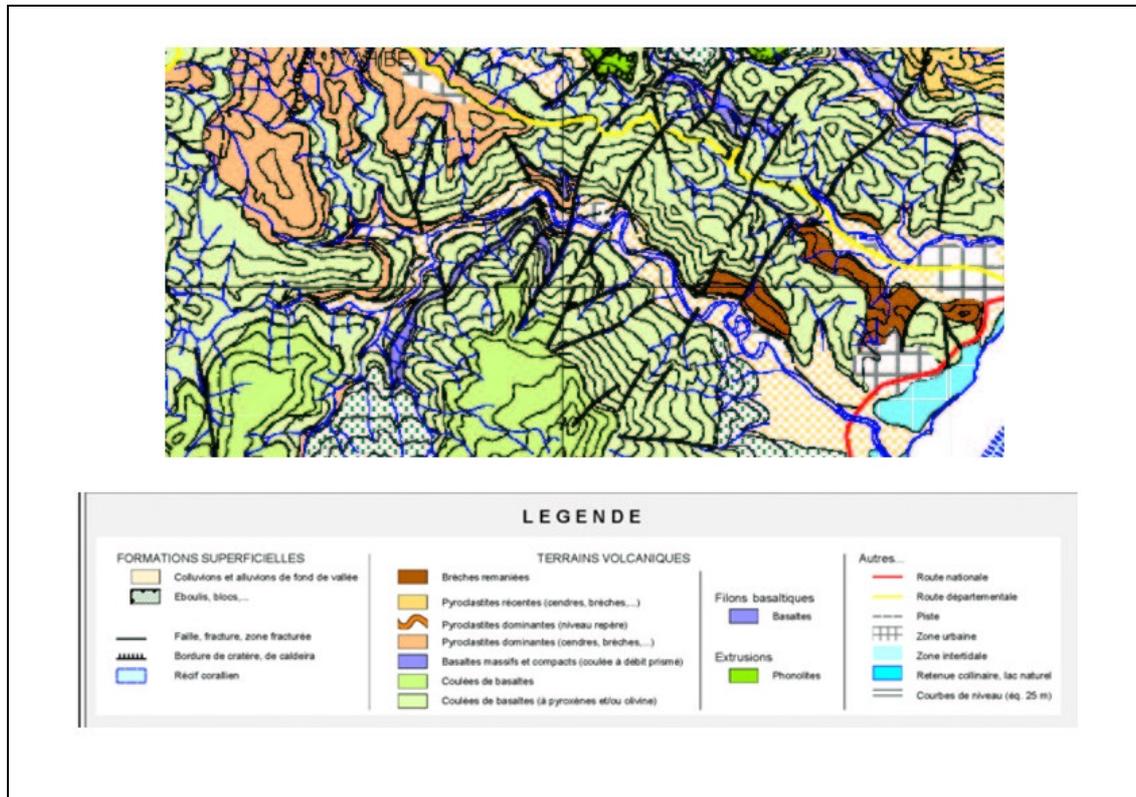


Illustration 2 : carte des faciès géologiques (2004).

D'après la carte des faciès géologiques de Mayotte au 50 000^{ème} (L. Giorgi, DAF, 2004), la vallée de la Koualé présente, du plus ancien au plus récent, les faciès suivants :

- un niveau repère à pyroclastites dominantes situé en fond de vallée ;
- des coulées de basaltes à pyroxène et/ou olivine avec un niveau repère à faciès prismé ;
- des coulées de basaltes dans la partie sud du secteur (rive droite) ;
- des cendres et brèches pyroclastiques dans la partie nord du secteur (rive gauche) ;
- des éboulis, blocs, colluvions et alluvions de fond de vallée.

D'après cette même carte, plusieurs failles ou fractures de direction préférentielle sud-ouest / nord-est affectent la zone d'étude (cf. Illustration 2).

1.4 CARTE GEOLOGIQUE DE GOULOUE

La carte géologique locale du secteur de Gouloué, situé au nord immédiat de Koualé, a été réalisée en 2003. Elle est intégrée à celle réalisée pour la vallée de Koualé (illustration 10).

1.5 PROSPECTION GEOPHYSIQUE

Deux panneaux électriques ont été réalisés dans la vallée en préalable à l'implantation du forage de Koualé 3 (Illustration 4) : le profil A (D=25 et 50 m), destiné à reconnaître l'environnement immédiat du forage afin de délimiter l'aquifère productif, et le profil B (D=50 m), localisé le long de la vallée pour comprendre la mise en place des formations volcaniques dans leur ensemble.

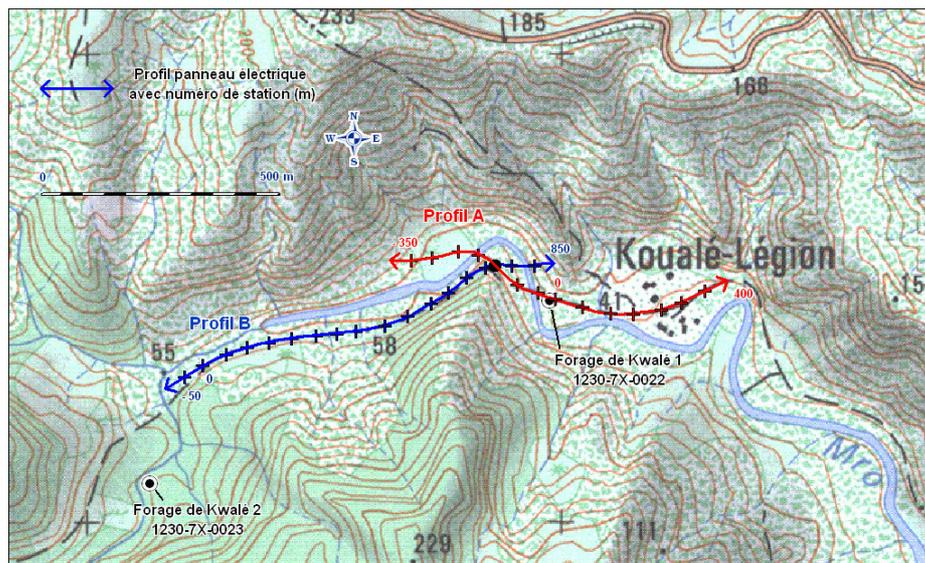


Illustration 3 : localisation des profils géophysiques sur le Scan 25 IGN.

La coupe de résistivité du profil A permet d'identifier trois ensembles géoélectriques. Ainsi, au voisinage du forage de Koualé 1 :

- entre 0 et 28 m de profondeur, un horizon conducteur de résistivité inférieure à 100 ohm.m ;
- entre 28 et 43 m de profondeur, un niveau de résistivité intermédiaire (100 à 200 ohm.m) ;
- au-delà de 43 m, un contexte résistant (>300 ohm.m).

La coupe de résistivité du profil B met en évidence deux structures géoélectriques :

- une structure résistante (200 à 500 ohm.m), épaisse de 30 à 60 m, subaffleurante au niveau de la station +600 et s'approfondissant progressivement vers l'ouest ;
- un contact relativement redressé sur l'extrémité ouest du profil qui marque la présence d'une structure affleurante très conductrice (5 à 40 ohm.m) entre les stations +25 et +150.

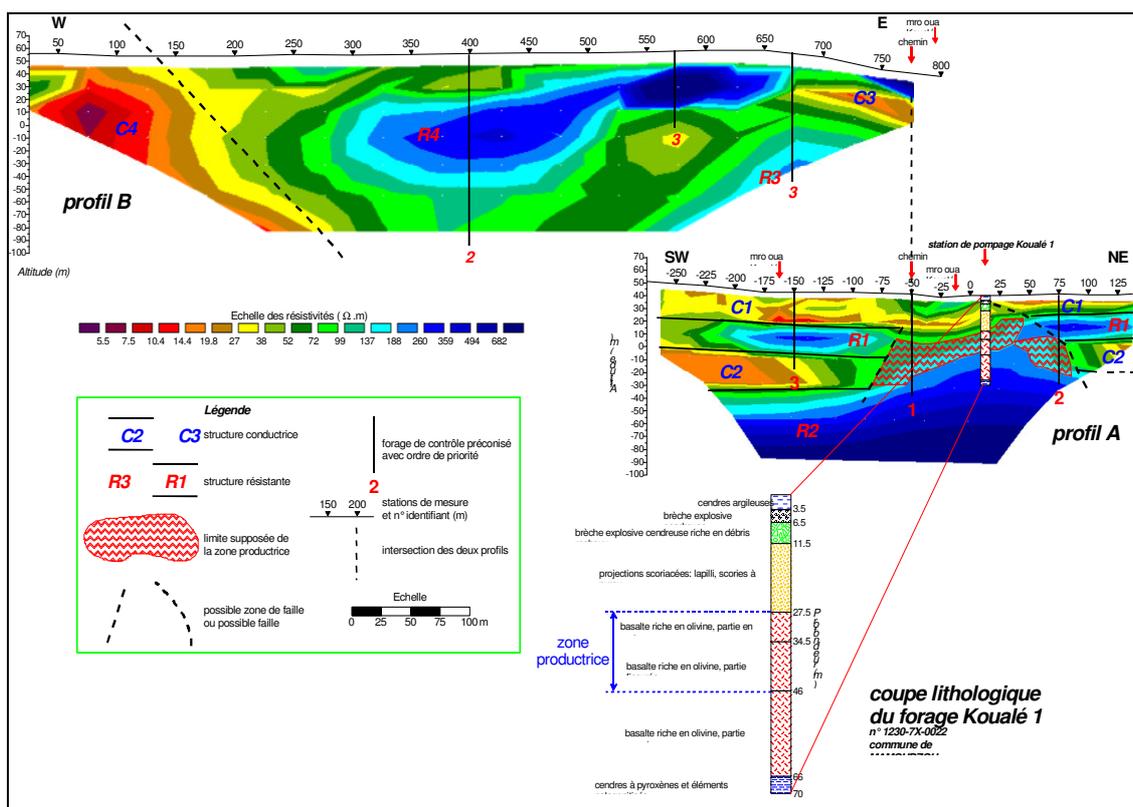


Illustration 4 : coupes géophysiques A et B.

1.6 RECONNAISSANCES DE TERRAIN

Des reconnaissances ont été effectuées par le BRGM afin d'affiner la connaissance géologique du secteur et d'interpréter de façon optimale les résultats de la campagne géophysique. Plusieurs affleurements ont ainsi été identifiés et reportés sur la carte de l'illustration 5. Les affleurements d'une carrière en rive gauche sont détaillés sur l'illustration 613. Du plus ancien au plus récent, les affleurements concernent :

- de basaltes mélanocrates altérés et hydrothermalisés, souvent rencontrés en faciès prismés à l'affleurement. Ces basaltes constituent a priori le substratum des

formations captées à Koualé 1 et à Koualé 3 et ont été rencontrés lors de la réalisation du forage de Kwalé 2 ;

- de projections scoriacées à cendres, lapilli et blocs. Ces dépôts constituent un niveau « repère » facilement identifiable sur le terrain grâce à leur faciès bréchique et leur couleur lie-de-vin. Il s'agit d'un événement volcanique de type explosif que l'on retrouve quasiment sur toute la partie Est de la zone d'étude ;
- de basaltes mélanocrates ankaramitiques (à olivine et pyroxène) légèrement altérés. Ces basaltes retrouvés à l'affleurement sur les deux rives du Mro oua Kwalé proviennent vraisemblablement de deux points d'émission distincts : le massif du M'Tsapéré pour la rive gauche et la crête du Maevadoani pour la rive droite. Ces basaltes se retrouvent toujours en contact avec les projections scoriacées sur le terrain et présentent le plus souvent un faciès en grosses dalles horizontales.

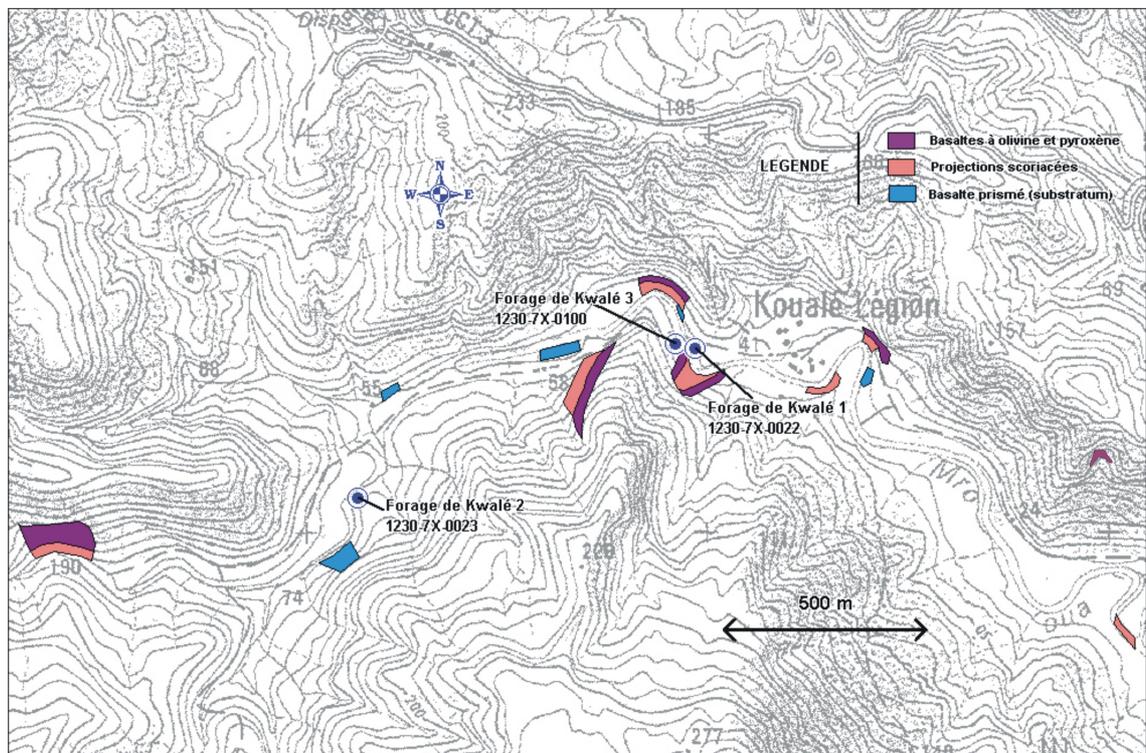


Illustration 5 : carte des affleurements dans la vallée de Koualé.

Une carrière encore saine est visible sur le flanc de la rive gauche de la rivière.



- 4**
- 3**
- 2** **Coulée basaltique massive (10 m)**
- 1** **Partie non visible sur la photographie**

Cet affleurement présente le contact entre deux formations bien distinctes, marqué par un niveau scoriacé et très oxydé. Ce niveau correspond à un paléosol caractérisé par une croûte ferrallitique de puissance supérieure à 20 cm.

4 : Ensemble supérieur
Coulée basaltique massive, sombre, mélanocrate à pyroxène
Débit en plaquettes
Base légèrement prismée

3 : Toit de la coulée scoriacée. Lave très vacuolaire (vacuoles très souvent zéolitisées) et scoriacées couleur lie-de-vin à pyroxène dominant. Le toit de ce niveau est totalement oxydé, formant une croûte ferrallitique massive et indurée (paléosol).

2 : Lave saine, grise, légèrement vacuolaire, à débit en colonne. Phénocristaux de pyroxène (dominant) et olivines iddingsitisées.

1 : Lave saine, grise, légèrement vacuolaire, à débit en blocs prismatiques (fracturation horizontale et verticale). Phénocristaux de pyroxène (dominant) et olivines iddingsitisées.

Vue à la loupe binoculaire d'un échantillon du toit de coulée scoriacée (3). On distingue les nombreuses vacuoles tapissées de zéolite blanche.



Vue à la loupe binoculaire d'un échantillon du toit de coulée scoriacée (3). On distingue les nombreuses vacuoles, quelques baguettes de pyroxène ainsi qu'un phénocristal de pyroxène altéré.

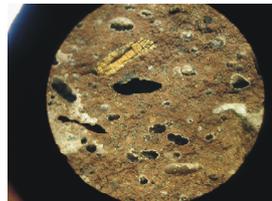


Illustration 613 : description des affleurements d'une carrière en rive gauche.

En aval du forage de Kwalé 1, un affleurement semble constituer un paléorelief scoriacé (Illustration) :

1 : coulée de basalte légèrement altérée à phénocristaux d'olivine et de pyroxène ;

2 : paléorelief puissant scoriacé couleur lie-de vin. Ce paléorelief (cône de scories) pourrait représenter une partie du point d'émission de la phase explosive.

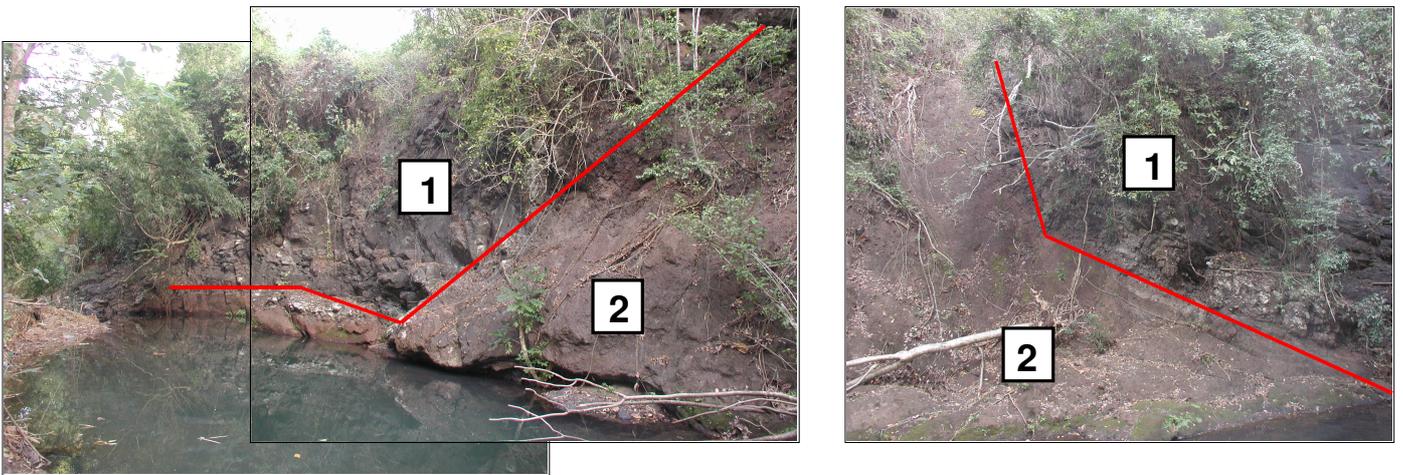


Illustration 7 : affleurement à l'aval de Koualé 1.

2. Modèle géologique

2.1 SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE À PROXIMITÉ DES FORAGES KOUALÉ 1 ET 2

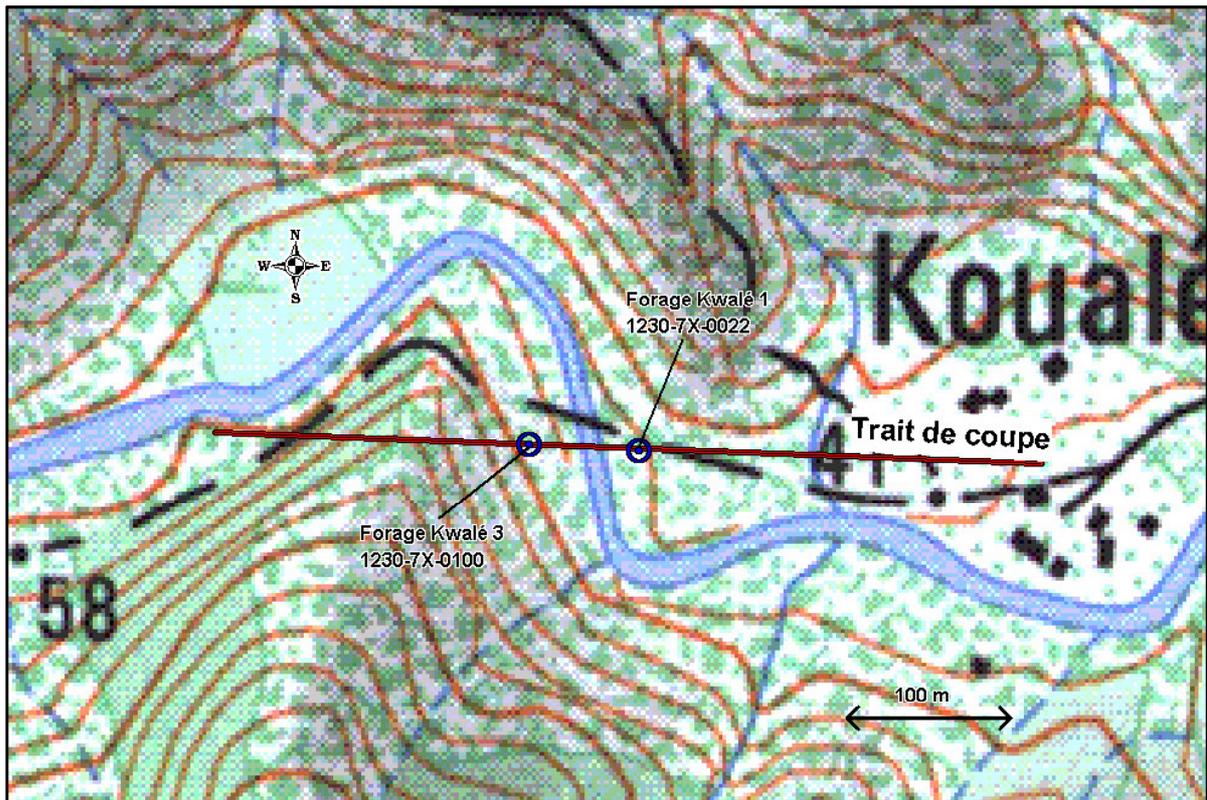


Illustration 8 : localisation de la coupe géologique au niveau des forages Kwalé 1 – Koualé 3.

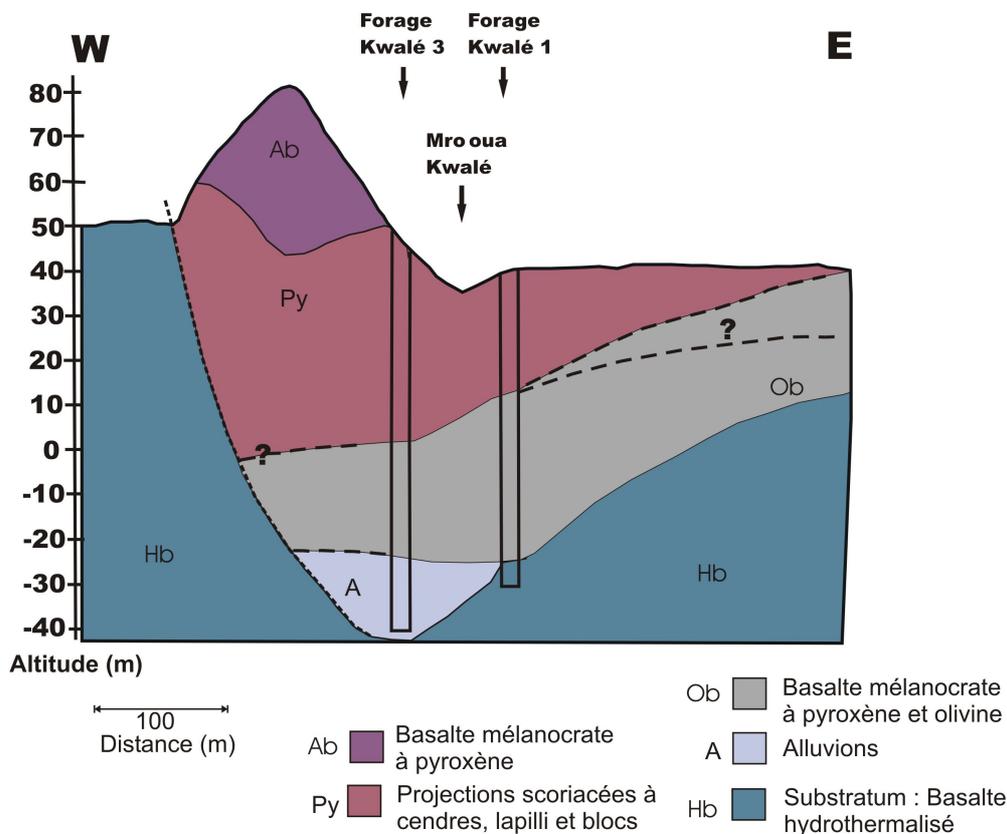


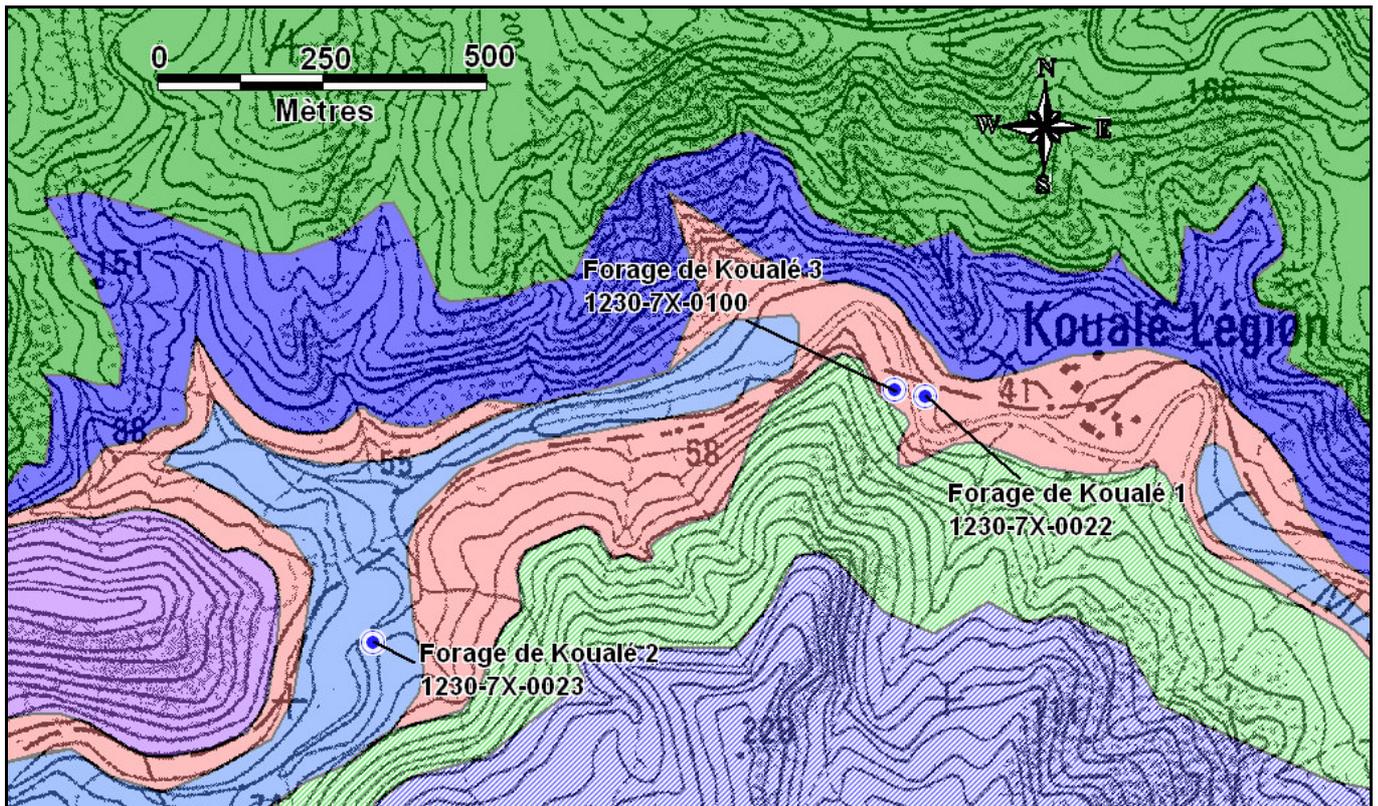
Illustration 9 : coupe géologique au niveau des forages Kwalé 1 – Koualé 3.

L'illustration 9 passant par les deux forages Koualé 1 et 3 a été réalisée.

Cette coupe met en valeur la géométrie des formations dans ce secteur et présente l'hypothèse de la paléovallée :

- le substratum constitué par des basaltes hydrothermalisés forme les rives de cette paléovallée ;
- une formation alluvionnaire identifiée au droit du forage de Koualé 3 constitue le premier dépôt de remplissage de cette vallée ;
- les basaltes mélanocrates à pyroxène et olivine recoupés dans les deux forages viennent recouvrir les dépôts alluvionnaires ;
- une puissante formation volcano-sédimentaire constituée par des projections scoriacées à cendres, lapilli et blocs, bien identifiée à l'affleurement ainsi que dans les deux forages, s'est déposée sur ces coulées ;
- enfin, une série de basalte à pyroxène constitue l'ossature du relief au-dessus du forage de Koualé 3.

La présence d'un fort dénivelé à l'ouest de cette coupe, ainsi que le plaquage de projections scoriacées sur des morceaux de coulées basaltiques laissent supposer un accident tectonique à cet endroit. Cependant, en l'absence de tectoglyphes bien identifiés sur le terrain et de rejet mesurable, cette faille supposée ne peut être validée et doit rester à l'état d'hypothèse.



Légende

- Basaltes clair ankaramitique issu du Mtsapéré
- Basalte mélanocrate à gros pyroxène issus du Mtsapéré
- Basalte mélanocrate ankaramitique
- Basalte mélanocrate à gros pyroxène issus du Maevadoani
- Basalte clair ankaramitique issu du Maevadoani
- Substratum : basaltes très altérés et hydrothermalisés

Illustration 10 : carte géologique localisée autour des forages au regard des données recueillies (coupes de forages, profils géophysiques, étude d'affleurements).

2.2 HISTOIRE GEOLOGIQUE

Sur la base des connaissances, observations, mesures, travaux et interprétations synthétisées dans cette annexe, l'hypothèse suivante est proposée pour la reconstitution de l'histoire géologique de la vallée du Mro oua Koualé (illustrations 9 et 10) :

1. **Mise en place du substratum** : épanchement de basaltes et émission de hyaloclastites. Ce niveau est reconnu en surface dans toute la vallée et dans le forage de Koualé 2. L'altération hydrothermale importante de la masse basaltique, visible sur le terrain et dans le forage Kwalé 2 ainsi que le dépôt de hyaloclastites (forage de Kwalé 3) témoignent de la présence probable de la mer lors de la mise en place de ces formations. Il pourrait s'agir de l'édification du bouclier ancien et le début de son émergence à cet endroit (environ 7 à 8 millions d'années).
2. **Création d'un réseau de vallées emboîtées** (à la faveur d'une jointure entre deux coulées par exemple) de direction globale nord ou nord-est. Ce réseau hydrologique entaille le substratum et dépose des formations argileuses à blocs et graviers issues de son altération (Koualé 3).
3. **Remplissage progressif de ce réseau** par le sud, et par un ou plusieurs événements volcaniques explosifs. L'émission de projections scoriacées à blocs vacuolaires, lapilli et cendres comble progressivement chaque vallée. Cette formation pyroclastique est puissante de plusieurs dizaine de mètres d'épaisseur. Elle constitue un niveau repère facilement repérable sur le terrain, surtout lorsqu'elle est en contact avec les coulées sus-jacentes. Elle est également assez fracturée.
4. **Mise en place des coulées basaltiques** à olivine et/ou pyroxène issues du Maévadoani, situé plus au sud. Ces émissions volcaniques viennent cacheter le réseau de vallées. Certains affleurements montrent le caractère érosif des semelles de coulées au niveau du contact avec les pyroclastites.
5. **Creusement d'une paléo-vallée** d'axe W-E qui traverse le comblement de la vallée précédente.
6. **Mise en place des coulées basaltiques** à olivine et/ou pyroxène issues du massif du Mtsapéré qui viennent combler à nouveau la vallée de la phase précédente.
7. **Création d'une vallée** à la jointure des deux systèmes. Les coulées précédentes se retrouvent dans le lit de la Koualé actuelle sous forme de gros blocs et de prismes plus ou moins arrondis. La rivière a entaillé les coulées jusqu'aux pyroclastites et parfois jusqu'au substratum, visible dans le lit à plusieurs endroits.

Chaque épisode de mise en place a pu être l'objet de phases d'érosion, de sédimentation et de remaniement qui augmentent la complexité du système.

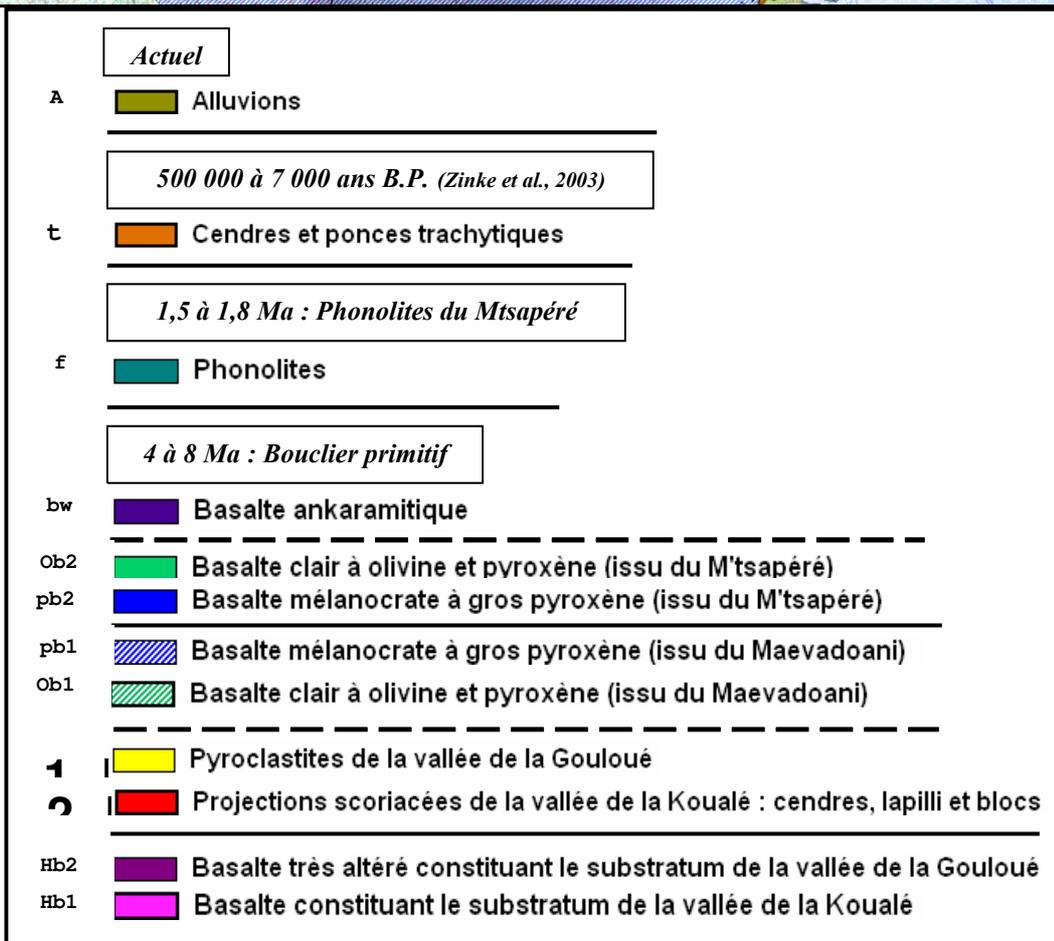
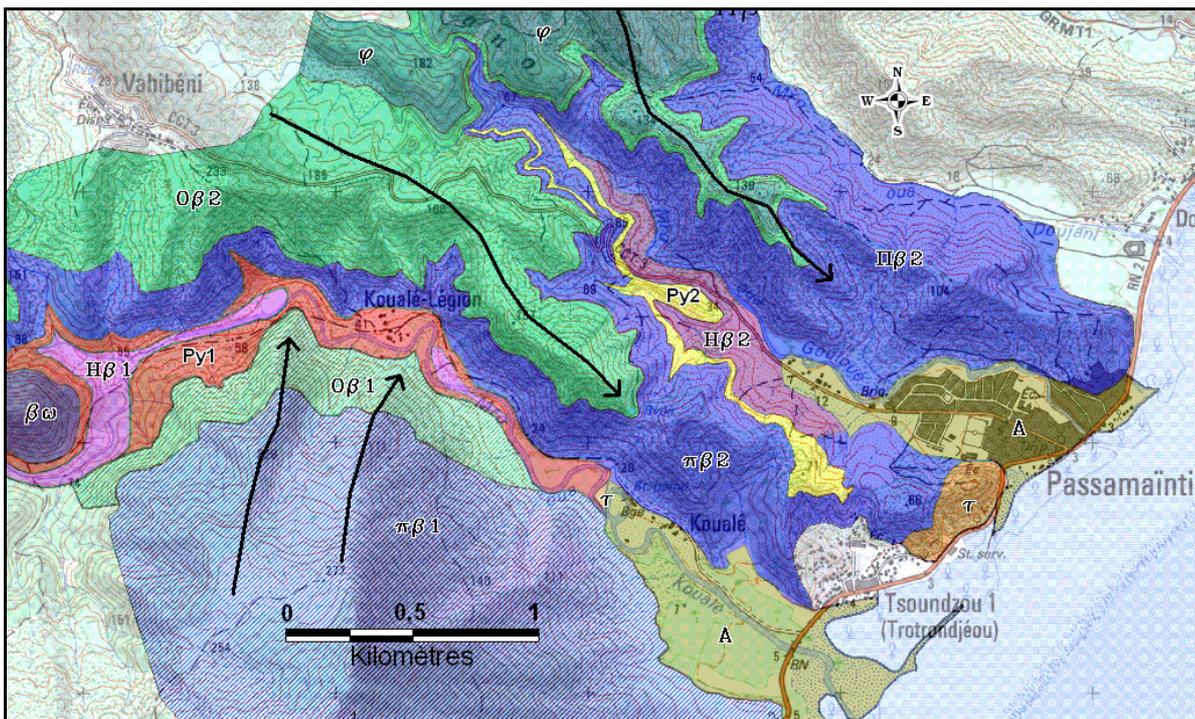


Illustration 11 :carte géologique.

Annexe 3

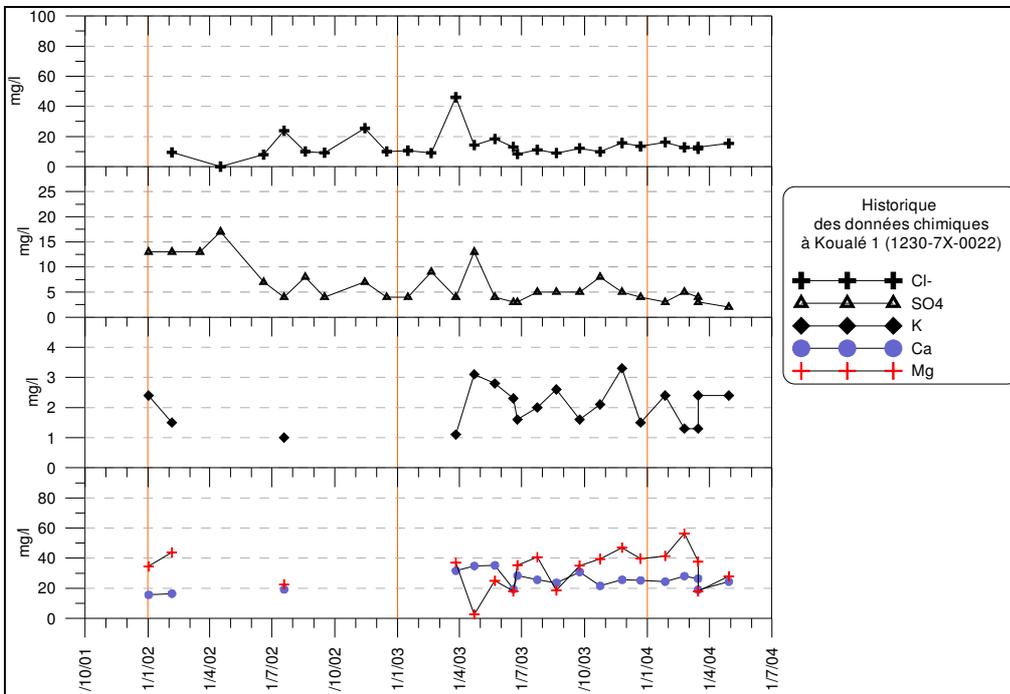
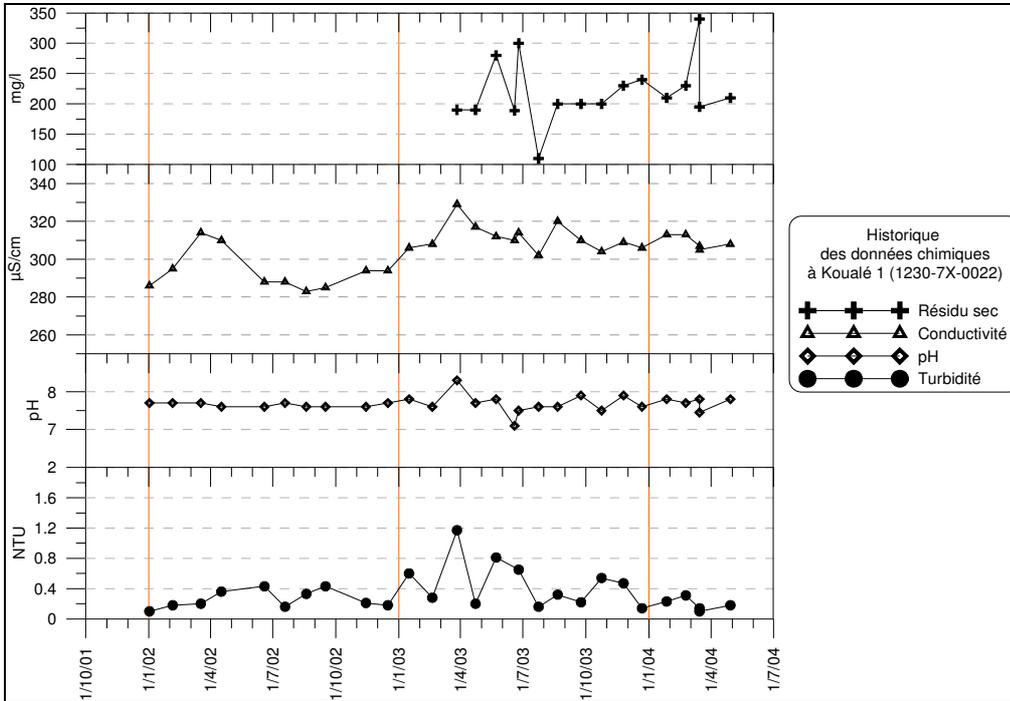
Résultats des analyses

Prélèvements du 10 septembre 2004 (Koualé 3) et du 16 septembre 2004 (Koualé 1 et rivière Koualé).

Elément	LQ	Unité	Teneur Rivière	Teneur Forage Kwalé 1	Teneur Forage Kwalé 3	Méthode
*COND (Conductivité à 25°C)	20	µS/cm	280	311		MO264-NF EN 27888-E
*PH (pH)	3	U	7,5	7,5		MO257-NF T 90-008-E
*Ca (Calcium)	0,1	mg/l	18,4	18,4	20,5	MO229-NF EN ISO 11885-E
*Na (Sodium)	0,1	mg/l	16,1	18,6	19,4	MO229-NF EN ISO 11885-E
*K (Potassium)	0,3	mg/l	2,2	2,5	2,5	MO229-NF EN ISO 11885-E
*Mg (Magnésium)	0,1	mg/l	13,4	17,5	17,4	MO229-NF EN ISO 11885-E
*HCO3 (Bicarbonates)	5	mg/l	141	169	172	MO245-NF EN ISO 9963-1-E
*CO3 (Carbonates)	5	mg/l	< LQ	< LQ	< LQ	MO245-NF EN ISO 9963-1-E
*Cl (Chlorures)	0,1	mg/l	14,8	13,9	14,6	MO028-NF EN ISO 10304-E
*SO4 (Sulfates)	0,1	mg/l	1,1	2,6	2,6	MO028-NF EN ISO 10304-E
*F (Fluorures)	0,1	mg/l	0,2	0,2	0,2	MO018-NF T 90-004-E
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	0,1	mg/l	0,2	1	1,1	MO028-NF EN ISO 10304-E
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	0,01	mg/l	< LQ	< LQ	0,01	MO019-NF EN 26777-E
NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	0,1	mg/l	< LQ	< LQ	< LQ	NF EN ISO 11732-E
*SiO2 (Silice)	0,5	mg/l	28,2	60,7	61,2	MO229-NF EN ISO 11885-E
*Fe (Fer)	0,02	mg/l	0,14	< LQ	< LQ	MO229-NF EN ISO 11885-E
*Mn (Manganèse)	5	µg/l	6	< LQ	< LQ	MO108-E
*Al (Aluminium)	30	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	MO108-E
*As (Arsenic)	10	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	MO108-E
*B (Bore)	20	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	MO108-E
Br (Brome)	0,05	mg/l	< LQ	< LQ	< LQ	MO108-E
*Li (Lithium)	10	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	MO108-E
*Ni (Nickel)	5	µg/l	< LQ	9	< LQ	MO108-E
Rb (Rubidium)	5	µg/l	7	9	8	MO108-E
*Sr (Strontium)	10	µg/l	160	170	191	MO108-E
*Zn (Zinc)	5	µg/l	< LQ	412	< LQ	MO108-E
Rapport isotopique $^{18}O / ^{16}O$	(± 0,1 ‰)	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMO	-3,3			
Rapport isotopique D / H	(± 0,8 ‰)	δ^2H ‰ vs	-15,3			

LQ : Limite de Quantification

Analyses SOGEA





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3 avenue Claude-Guillemain
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Antenne de Mayotte

9, centre Amatoula – Z.I. de Kawéni
BP 1398
97600 – Mamoudzou - Mayotte
Tél. : 02.69.61.28.13