

Document public

Délimitation des aires d'alimentation des captages de la 5^{ème} campagne de forages de Mayotte

Rapport final

BRGM/RP-64712-FR
Février 2015

T. VALOIS

Vérificateur :

Nom : L. Ducreux

Fonction : Hydrogéologue
régionale Guadeloupe

Date : 20/07/2015

Signature :



Approbateur :

Nom : P. Puvilland

Fonction : Directeur BRGM
Mayotte

Date : 20/08/2015

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : AAC, Aire d'alimentation de captage, Forage, Eau potable, 5^{ème} campagne de forages, Hydrogéologie, Hydrologie, Bassin versant, Mayotte, Géophysique héliportée, TDEM, PNAC.

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

VALOIS T. (2015) – Délimitation des aires d'alimentation des captages de la 5^{ème} campagne de forages de Mayotte. Rapport final. BRGM/RP-64712-FR, 105 p., 58 ill., 3 ann.

Synthèse

Au vu de la vulnérabilité des ressources en eau de l'île de Mayotte et de l'intérêt pour les services de l'Etat de disposer d'outils de réglementation indispensables à l'application de la loi sur l'eau (LEMA, 2006) et aux exigences de la directive cadre sur l'eau (DCE, 2000), il s'avère essentiel de définir les Aires d'Alimentation des Captages (AAC) destinées à l'alimentation en eau potable.

L'objectif de cette étude, qui rentre dans le cadre de la convention cadre SIEAM/BRGM 2012-2016, est de délimiter les AAC de 5 des 8 forages réalisés lors de la 5^{ème} campagne de forages menée sur l'île entre 2012 et 2013. Ces forages ont été sélectionnés par le SIEAM (Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte) en vue de l'équipement et de l'exploitation de ces derniers ; il s'agit plus particulièrement des ouvrages suivants :

- Acoua F1 - 12301X0097,
- Mohogoni F2 - 12302X0101,
- Oouveni F3 - 12306X0183,
- Gouloué F3 - 12307X0568,
- Dapani F1 - 12317X0058.

La méthodologie suivie est conforme aux travaux réalisés en 2012 pour l'actualisation de la méthodologie de délimitation des aires d'alimentation de captage de Mayotte (BRGM/RP-62709-FR). Cette actualisation vise à intégrer à la méthodologie précédemment existante (BRGM/RP-57299-FR), les données et les connaissances acquises par le biais du projet GéoMayotte (carte géologique, levés géophysiques héliportés) et des projets de caractérisation hydrogéologique du Nord-Est (BRGM/RP-56600-FR), du Nord-Ouest (BRGM/RP-59550-FR) et du Centre-Sud (BRGM/RP-61757-FR) de Mayotte.

Bien qu'une corrélation significative existe entre les données géophysiques électromagnétiques (TDEM) et les informations géologiques disponibles (carte géologique et coupes de forage), seules deux aires d'alimentation de captage sur les cinq ont pu être délimitées à partir de l'interprétation des données TDEM : Acoua F1 – 12301X0097 et Oouveni F2 – 12306X0183.

Les aires d'alimentation ainsi délimitées prennent en compte la portion de nappe alimentant le captage (PNAC), ainsi que le bassin versant topographique du forage et de la PNAC. En effet, les formations superficielles à Mayotte étant dominées par des altérites (allotérites, isaltérites), une participation par ruissellement des versants peu perméables est à considérer lors de la délimitation des AAC.

Les aires d'alimentation des 3 autres captages (Dapani F1 – 12317X0058, Mohogoni F2 – 12302X0101, et Gouloué F3 – 12307X0568), quant à elles, n'ont pu être délimitées en se basant sur l'interprétation des données géophysiques. L'absence de forts contrastes géo-électriques n'a pas permis d'isoler les entités hydrogéologiques identifiées et les limites des AAC suivent les limites des bassins versants topographiques au droit des forages concernés.

Le tableau ci-dessous reprend les principaux résultats de ce rapport (

Illustration 1) :

Numéro BSS	Nom du forage	Q_{exploitation} (m³/h)	Temps de pompage	TDEM	Surface BV topo (km²)	Surface AAC (km²)	Périmètre AAC (km)
12301X0097	Acoua F1	45	20h/24	Oui	0,37	1,3	5,8
12317X0058	Dapani F1	13	20h/24	Non	4,1	4,2	8,8
12302X0101	Mohogoni F2	60	15h/24	Non	18,2	19,1	18,2
12306X0183	Ourovéni F3	15	15h/24	Oui	14,5	16,8	20,75
12307X0568	Gouloué F3	8	20h/24	Non	5,97	13,27	5,97

Illustration 1 : Principaux résultats obtenus dans le présent rapport.

Sommaire

1. Introduction	12
2. Contexte	13
3. Méthodologie de délimitation d'AAC	17
3.1. PHASE 1	17
3.2. PHASE 2	20
3.3. PHASE 3	23
4. Délimitation de l'AAC du forage d'ACOUA F1 – 12301X0097	25
4.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT	25
4.1.1. Contexte géographique et géologique du captage.....	25
4.1.2. Contexte hydrogéologique du captage	28
4.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC.....	29
4.2.1. De la résistivité à la formation.....	29
4.2.2. De la formation à la PNAC.....	35
4.2.3. De la PNAC à l'AAC	38
4.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE 40	
5. Délimitation de l'AAC du forage de Mohogoni F2 – 12302X0101	42
5.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT	42
5.1.1. Contexte géographique et géologique du captage.....	42
5.1.2. Contexte hydrogéologique du captage	44
5.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC.....	46
5.2.1. De la résistivité à la formation.....	46
5.2.2. De la formation à la PNAC.....	50
5.2.3. De la PNAC à l'AAC	51
5.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE 53	
6. Délimitation de l'AAC du forage d'OUROVENI F3 – 12306X0183	55
6.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT	55
6.1.1. Contexte géographique et géologique du captage.....	55

6.1.2. Contexte hydrogéologique du captage.....	57
6.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC	59
6.2.1. De la résistivité à la formation	59
6.2.2. De la formation à la PNAC	65
6.2.3. De la PNAC à l'AAC.....	67
6.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE 71	
7. Délimitation de l'AAC du forage de Gouloué F3 – 12307X0568.....	73
7.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT	73
7.1.1. Contexte géographique et géologique du captage	73
7.2. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA GOULOUE	75
7.2.1. Contexte hydrogéologique du captage.....	76
7.3. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC	78
7.3.1. De la résistivité à la formation	78
7.3.2. De la formation à la PNAC	84
7.3.3. De la PNAC à l'AAC.....	85
7.4. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE 87	
8. Délimitation de l'AAC du forage de DAPANI F1 – 12317X0058	89
8.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT	89
8.1.1. Contexte géographique et géologique du captage	89
8.1.2. Contexte hydrogéologique du captage.....	91
8.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC	92
8.2.1. De la résistivité à la formation	92
8.2.2. De la formation à la PNAC	97
8.2.3. De la PNAC à l'AAC.....	98
8.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE 101	
9. Conclusion.....	103
10. Bibliographie	105

Liste des illustrations

Illustration 1 : Principaux résultats obtenus dans le présent rapport.....	4
Illustration 2 : Localisation des forages de la 5 ^{ème} campagne de forage réalisée en 2011. Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008.....	14
Illustration 3 : Tableau synthétique des caractéristiques des forages de la 5 ^{ème} campagne de forages	15
Illustration 4 : Tableau de description de la phase 1 de délimitation d'AAC.....	18
Illustration 5 : Logigramme expliquant comment utiliser les données TDEM dans une démarche de délimitation d'AAC (source : BRGM/RP-62709-FR, modifié).	21
Illustration 6 : Carte de localisation du forage d'Acoua F1 (12301X0097). Fond de carte : carte IGN – Scan 25 ©, 2008	26
Illustration 7 : Carte de situation géologique du forage d'Acoua F1 (12301X0097). Fond de carte : carte géologique de Mayotte, Lacquement et al. 2013.....	27
Illustration 8 : Récapitulatif du bilan hydrologique pour le pluviomètre de Mtsamboro Genda ...	28
Illustration 9 : Comparaison entre le sondage le plus proche du forage (4 m), la coupe géologique et le débit au soufflage du forage d'Acoua F1(12301X0097)	30
Illustration 10 : Interprétation des données TDEM au niveau du forage d'Acoua F1 (12301X0097) : a) Coupes TDEM interprétées ; b) vue des coupes TDEM et des sondages disponibles sur le secteur d'étude ; c) localisation des coupes TDEM (fond : carte géologique Lacquement et al., 2013).....	31
Illustration 11 : Vue du secteur d'Acoua (échelle verticale exagérée : 2 fois l'échelle horizontale)	32
Illustration 12 : Formations de résistivités comprises entre 60 et 100 ohm.m et de profondeur d'investigation comprise en 10 et 200 m dans le secteur d'Acoua (échelle verticale exagérée : 2 fois l'échelle horizontale)	33
Illustration 13 : Formation de résistivité comprise entre 60 et 100 ohm.m et de profondeur d'investigation comprise entre 10 et 200 m captée par le forage d'Acoua (échelle verticale exagérée : 2 fois l'échelle horizontale)	34
Illustration 14 : Localisation de la formation résistante identifiée dans le secteur d'Acoua (Fond cartographique : Carte IGN Scan 25 ©, 2008).....	34
Illustration 15 : Délimitation de la PNAC d'Acoua F1 en considérant que l'écoulement se fait en fonction de la plus grande pente et qu'il y a une continuité hydraulique. (Echelle verticale = 2 fois échelle horizontale).....	37
Illustration 16: Projection en surface de la portion de nappe alimentant Acoua F1 (112302X0097). Fond de carte : Carte IGN de Mayotte, Scan 25©, 2008.....	38
Illustration 17 : Aire d'alimentation de captage du forage d'Acoua F1 (12301X0097). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008	39
Illustration 18 : Localisation du forage Mohogoni F2 (12302X0101). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008	43
Illustration 19 : Contexte géologique du forage Mohogoni F2 (12302X0101). Fond de carte : Lacquement et al. 2013	44
Illustration 20 : Récapitulatif du bilan hydrologique de la station pluviométrique de Dzoumogné	44
Illustration 21 : Calcul de la PNAC des forages Mohogoni F1 et F2	45
Illustration 22 : Comparaison entre le sondage TDEM le plus proche du forage (30 mètres) et la coupe géologique du forage Mohogoni F2 (12302X0101)	47
Illustration 23 : Coupes TDEM passant par le forage de Mohogoni F2 (12302X0101)	48

Illustration 24 : Secteur de la zone d'étude (Echelle verticale = 2 fois échelle horizontale)	49
Illustration 25 : Formation de résistivités comprises entre 15 et 55 ohm.m de d'altitude supérieure à - 40 m NGM dans le secteur étudié (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)50	
Illustration 26 : Aire d'Alimentation de Captage de Mogogoni F2 (12302X0101). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008.....	52
Illustration 27 : Localisation du forage d'Ourovéni F3 (12306X0183). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25©, 2008.	55
Illustration 28 : Contexte géologique du secteur du forage Ourovéni F3 (12306X0183). Fond de carte : Carte géologique de Mayotte (Lacquement et al., 2013)	56
Illustration 29 : Tableau récapitulatif du bilan hydrologique du pluviomètre de Coconi	57
Illustration 30 : Comparaison entre le sondage TDEM le plus proche du forage (44 mètres) et la coupe géologique du forage Ourovéni F3 (12306X0183)	60
Illustration 31 : Localisaion des coupes géophysiques TDEM, des sources et des forages sur le secteur de Combani-kahani (BRGM/RP-61757-FR, 2013)	61
Illustration 32 : Coupes TDEM illustrant la zone étudiée (BRGM/RP-61757-FR, 2013).....	62
Illustration 33 : Modélisation 3D de la zone d'étude (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)	63
Illustration 34 : Formation de résistivités de 0 à 12 ohm.m au droit du forage Ourovéni F3 (12306X0183) (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale).....	64
Illustration 35: Extension de la formation de résistivité comprise entre 0 et 12 ohm.m sur le secteur étudié (Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008)	65
Illustration 36 : Délimitation de la PNAC d'Ourovéni F3 (12306X0183) à partir de la formation isolée de résistivité comprise entre 0 et 12 ohm.m	66
Illustration 37 : Portion de Nappe Alimentant le Captage d'Ourovéni F3 (12306X0183). Fond de carte : Carte IGN, Scan 25 ©, 2008.....	67
Illustration 38 : Aire d'Alimentation de Captage d'Ourovéni F3 (12306X0183).Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008.....	70
Illustration 39 : Carte de localisation du forage de Gouloué F3 (12307X0568). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008.....	74
Illustration 40 - Extrait de la carte géologique (Lacquetmet et al., 2013) pour le bassin versant de la rivière Gouloué ; en turquoise : le forage de Gouloué F3 (12307X0568).....	76
Illustration 41 : Tableau récapitulatif du bilan hydrologique de la station pluviométrique de Gouloué	76
Illustration 42 : Calcul de la PNAC de Gouloué F3 en tenant compte des forages qui exploitent le même aquifère.	77
Illustration 43 : Comparaison entre la coupe géologique du forage de Gouloué F3 (12307X0568) et la résistivité des formations	79
Illustration 44 : Coupe de résistivité TDEM longitudinale interprétée.....	80
Illustration 45 : Vue 3D des coupes TDEM transversales et longitudinales passant par le forage de Gouloué F3	82
Illustration 46 : Vue du secteur de Gouloué pour une résistivité comprise entre 12 et 120 ohm.m et une profondeur d'investigation de 10 à 200 mètres	83
Illustration 47 : Vue du secteur de Gouloué pour une résistivité comprise entre 70 et 100 ohm.m et une profondeur d'investigation de 10 à 200 mètres	84

Illustration 48 : Délimitation de l'aire d'alimentation du captage de Gouloué F3 (12307X0568). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25©, 2008.....	86
Illustration 49 : Localisation du forage Dapani F1 (12317X0058) et délimitation du bassin versant de la Mroni Bé. Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©,2008	89
Illustration 50 : Localisation du forage et situation géologique du forage de Dapani F1(12317X0058) (Fond de carte : Carte géologique de Mayotte, Lacquement et al. 2013)	90
Illustration 51 : Récapitulatif du bilan hydrologique de la station de Mzouazia	91
Illustration 52 : Comparaison entre le sondage TDEM le plus proche du forage (77 m) et la coupe géologique du forage Dapani F1 (12317X0058).....	93
Illustration 53 : Coupes TDEM passant par le forage de Dapani F1(12317X0058)	94
Illustration 54 : Coupe TDEM SSW-NNE passant par le forage Dapani F1(12317X0058).....	95
Illustration 55 : Coupe TDEM W-E passant par le forage Dapani F1(12317X0058).....	95
Illustration 56 : Modélisation du secteur de Dapani dans son ensemble (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)	96
Illustration 57 : Formation de résistivités comprises entre 20 et 50 ohm.m (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)	97
Illustration 58 : Aire d'Alimentation de Captage de Dapani F1 (12317X0058), Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008.....	100

Liste des annexes

Annexe 1 Légende de la carte géologique de Mayotte (Lacquement et al. 2013).....	108
Annexe 2 Coupes géologiques des forages de la présente étude.....	111
Annexe 3 Carte des isohyètes, Lachassagne et al. 2000	117

1. Introduction

Le présent rapport a pour objet la délimitation des aires d'alimentation de captages (AAC) de 5 des 8 forages réalisés à Mayotte sur la période 2011 - 2013 par le SIEAM dans le cadre de la 5^{ème} campagne de recherche et d'exploitation des ressources en eau souterraine. A l'issue de cette campagne, 6 forages ont présenté des résultats satisfaisants pour une éventuelle mise en exploitation.

A la demande du SIEAM, la délimitation d'AAC concerne les ouvrages suivants :

- Acoua F1 - 12301X0097,
- Mohogoni F2 - 12302X0101,
- Oouveni F3 - 12306X0183,
- Gouloué F3 - 12307X0568,
- Dapani F1 - 12317X0058.

Il est d'ores et déjà prévu par le SIEAM que les ouvrages Acoua F1, Dapani F1, Mohogoni F2 et Oouveni F3 soient équipés et raccordés au réseau d'adduction d'eau potable dès 2015.

La méthodologie suivie pour la délimitation de ces AAC est conforme aux travaux réalisés en 2012 pour l'actualisation de la méthodologie de délimitation des aires d'alimentation de captage de Mayotte (C. Castillo et al., 2013, BRGM/RP-62709-FR.). Cette actualisation vise à intégrer à la méthodologie précédemment existante (Malard *et al.*, 2009, BRGM/RP-57299-FR), les données et les connaissances acquises par le biais du projet GéoMayotte (carte géologique, levés géophysiques héliportés) et des projets de caractérisation hydrogéologique du Nord-Est (BRGM/RP-56600-FR, 2008), du Nord-Ouest (BRGM/RP-59550-FR, 2012) et du Centre-Sud (BRGM/RP-61757-FR, 2013) de Mayotte. De plus, les prospections réalisées lors de la 5^{ème} campagne de forages de l'île permettent de compléter les informations et données disponibles.

Pour chacun des forages concernés, la délimitation de l'AAC comprend 3 phases :

- **Phase 1 : étude géologique et hydrogéologique du captage et de son bassin versant.** Cette étude apportera une meilleure connaissance du secteur du captage, et permettra d'approcher théoriquement l'aire en surface contributive à l'alimentation de ce dernier ;
- **Phase 2 : délimitation de l'AAC** (prenant en compte les données et les connaissances acquises par le biais du projet GéoMayotte et des projets de caractérisation hydrogéologique). Dans le cas où les données TDEM apportent des informations supplémentaires concernant la formation encaissante, elles serviront à la délimitation de l'AAC. Dans le cas contraire, l'AAC sera égale au bassin versant hydrologique du forage ;
- **Phase 3 : vérification de la cohérence de l'AAC délimitée avec les caractéristiques d'exploitation du forage.**

2. Contexte

Département français depuis 2011, l'île de Mayotte connaît une croissance démographique forte et un développement important. Avec 570 habitants par km², c'est le département français le plus densément peuplé après ceux de l'Île-de-France. Il est marqué, depuis plusieurs décennies, par une augmentation régulière et importante du nombre d'habitants (212 600 habitants en 2012), sa population ayant triplé depuis 1987.

L'alimentation en eau potable représente la principale pression sur les ressources en eau. Aucune industrie consommatrice d'eau n'est présente sur l'île et les pratiques agricoles, essentiellement vivrières, sont exclusivement extensives. La production actuelle est de 8,7 millions de m³ par an, ce qui correspond à une consommation d'environ 105 l/j/hab. en 2013, dont 77% est apporté par les eaux superficielles, 19,5% par les eaux souterraines et 3,5% par le dessalement de l'eau de mer (Rapport Annuel du Délégué, 2013, SOGEA Mayotte).

L'augmentation de la consommation en eau est vouée à se poursuivre dans les années à venir de par la forte croissance démographique (natalité et immigration) et l'accession de la population à un niveau de vie plus élevé, mais aussi par la modification des pratiques agricoles liées à la professionnalisation de la filière au détriment des pratiques vivrières traditionnelles.

En contexte insulaire tropical avec une saisonnalité très marquée, cette pression sur une ressource en eau souterraine fragile tend à s'accroître rapidement. La délimitation des aires d'alimentation des captages destinés à l'alimentation en eau potable participe à la mise en place de bonnes pratiques de gestion et de protection de la ressource.

Au vu de la vulnérabilité des ressources en eau de l'île de Mayotte et de l'intérêt pour les services de l'Etat de disposer d'outils de réglementation indispensables à l'application de la loi sur l'eau (LEMA, 2006) et aux exigences de la directive cadre sur l'eau (DCE, 2000), il s'avère essentiel de définir les aires d'alimentation de captage (AAC) destinés à l'alimentation en eau potable.

L'Aire d'Alimentation de Captage (AAC) est un dispositif de protection de la ressource en eau mis en œuvre en réponse aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau Européenne et né de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques du 30 décembre 2006. Cet outil vise à protéger les captages d'eau potable contre les pollutions diffuses. Il vient en complément des périmètres de protection des captages d'eau potable, dont la vocation première est de lutter contre les pollutions chroniques et accidentelles.

En 2008 et 2009, le BRGM avait proposé une méthodologie adaptée en fonction des connaissances hydrogéologiques existantes puis en avait assuré la mise en application sur les captages AEP existants. Depuis, de nouvelles données et connaissances ont été acquises par le biais du projet GéoMayotte (carte géologique, levés géophysiques héliportés), des projets de caractérisation hydrogéologique du Nord-Est, du Nord-Ouest et du Centre-Sud de Mayotte. Pour intégrer les connaissances acquises depuis 2009 une actualisation de la méthodologie a été réalisée en 2012 dans le cadre de la convention cadre SIEAM / BRGM.

L'étude réalisée pour la 5^{ème} campagne de forages de Mayotte a, elle aussi, permis d'acquérir des nouvelles connaissances concernant les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères captés. Au cours de cette campagne, 8 forages ont été réalisés (Illustration 2 et Illustration 3).

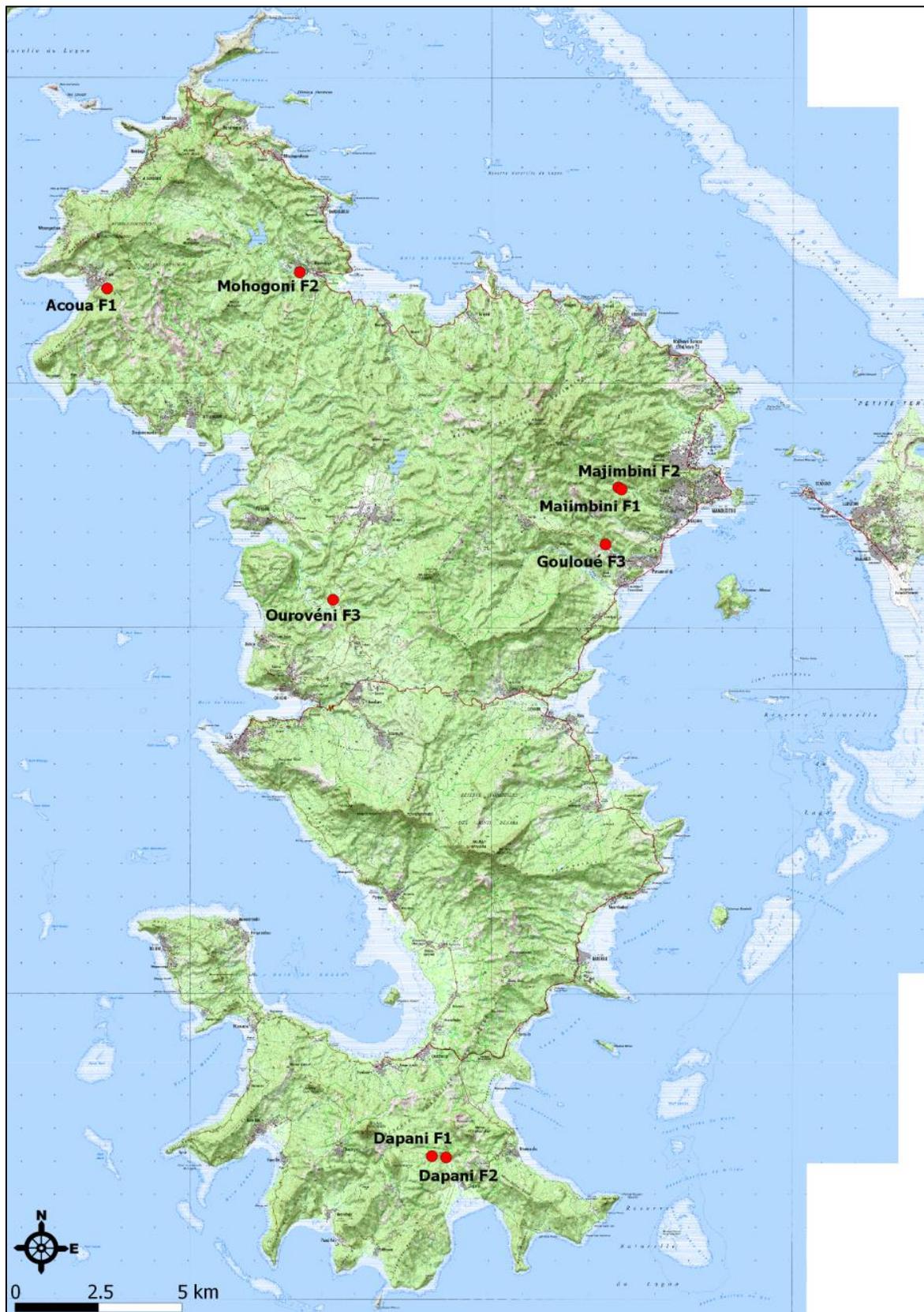


Illustration 2 : Localisation des forages de la 5^e campagne de forage réalisée en 2011. Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008

Site	N° BSS	Localisation			Profondeur totale (m)	Piézométrie (m NGM)	Débit d'exploitation (m ³ /h)	temps pompage (h)	profondeur pompe (m/sol)	Transmissivité (m ² /s)
		X (m RGM04)	Y (m RGM04)	Z (m NGM)						
Gouloué F3	12307X0568	521743	858355	29	71	artésien (> 29)	8	20/24	40 - 43	2E-04
Majimbini F1	12307X0625	522223	8587012	62	80	25	n/a	n/a	n/a	-
Majimbini F2	12307X0626	522128	8587074	68	80	27	15	20/24	60 - 65	1,1E-03
Acoua F1	12301X0097	506809	8593080	50	116,5	10	45	20/24	55 - 60	1,8E-02
Mohogoni F2	12302X0101	512582	8593564	10	80	10	60	15/24	20	6,0E-03
Ouroveni F3	12306X0183	513578	8583683	35	77	34	15	15/24	65	1,0E-03
Dapani F1	12317X0058	516966	8566852	17	102	8	13	20/24	30 - 35	9,4E-04
Dapani F2	12316X0190	516541	8566892	84	121	41	< 9	n/a	95	1.1E-02

Illustration 3 : Tableau synthétique des caractéristiques des forages de la 5^{ème} campagne de forages

Parmi les 8 forages réalisés, 5 forages font l'objet de ce rapport :

- Acoua F1
- Dapani F1
- Mohogoni F2
- Ouroveni F3
- Gouloué F3

3. Méthodologie de délimitation d'AAC

Les éléments de ce chapitre sont repris du rapport de méthodologie BRGM/RP-62709-FR (C. Castillo et al., 2013). Le lecteur pourra s'y référer pour plus de détails.

La démarche proposée pour délimiter les AAC de Mayotte est schématisée comme suit :

Phase 1 : Etude géologique et hydrogéologique du captage et de son bassin versant

Phase 2 : Délimitation de l'AAC

Phase 3 : Vérification de la cohérence de l'AAC avec le débit prélevé

3.1. PHASE 1

La phase 1 sert de base à la délimitation de l'AAC. C'est lors de cette étude que les données nécessaires nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'aquifère capté sont acquises (

Illustration 4).

Dans le détail, cette étude préalable doit permettre de répondre aux questions suivantes :

- Où se situe le captage ? Dans quel secteur de l'île (Nord, Sud...) ? Quelles sont les limites de son BV hydrologique ? S'agit-il d'un BV plutôt infiltrant ou ruisselant ? Quelles sont les différentes formations géologiques en présence ? Comment se structurent-elles ? Quelles sont les ressources en eau potentielles (bilan hydrologique) ?
- Quel est l'état du captage (problème de conception, de colmatage, etc.) ?
- Quel est le niveau aquifère capté ? Est-il libre, semi-captif ou captif ? Quelles sont ces propriétés hydrodynamiques (T, S, débit prélevable, ...) ? Quelles sont les propriétés hydrodynamiques des autres formations recoupées ? Des phénomènes de drainance peuvent-ils se produire et alimenter l'aquifère capté ?
- En cas de présence d'un ou plusieurs autres ouvrage(s) (piézomètre et puits), existe-t-il des relations hydrauliques entre ce ou ces ouvrage(s) et le puits capté ? (continuité hydraulique).
- En cas de présence d'un cours d'eau permanent ou temporaire, quelle est la nature de la relation entre ce cours d'eau et l'aquifère capté ? (alimentation réciproque ?).

	Objectif	Tâche à réaliser Données à utiliser (à minima)
Contexte géographique et géologique du captage	Etablir le cadre géographique du captage	Carte IGN MNT (altitude, pente,...)
	Etablir le contexte géologique du bassin hydrologique	Carte géologique (lithologie, structure)
		Informations géologiques issues des reconnaissances de terrain
		Données de forages et de sondages (BSS)
Contexte hydrogéologique du captage	Estimer la ressource en eau souterraine du bassin hydrologique	Bilan hydrologique Pluie, ETP, RU et % ruissellement
		Inventaires des captages, des sources et des cours d'eau Données BSS, informations issues d'essais de pompage, données d'exploitation (débit prélevé), données hydrométriques (mesurées par les stations et/ou lors des reconnaissances de terrain)
	Définir les caractéristiques de l'aquifère capté (lithologie, type, paramètres hydrodynamiques, limites etc.)	Inventaires des venues d'eau à l'avancement Coupe géologique du forage Résultats de pompage d'essai Informations issues des diagnostics menés sur le captage (but : savoir notamment si les propriétés hydrodynamiques issues des essais menés sur le captage sont bien caractéristiques de l'aquifère exploité) Informations issues des campagnes de géophysiques sols et TDEM (structure et résistivité de l'aquifère)
	Définir les conditions de recharge de la nappe captée	Etude des fluctuations piézométriques (dynamique HE/BE) (informations à croiser avec les données pluviométriques) Etude des relations nappe-rivière (croiser les informations piézométriques avec les données hydrométriques et les informations issues des campagnes hydrogéochimiques)

Illustration 4 : Tableau de description de la phase 1 de délimitation d'AAC.

Le bilan hydrologique, calculé au cours de la phase 1 des délimitations d'AAC, permet, entre autres, d'estimer la surface de la zone d'alimentation de captage grâce au calcul suivant :

$$S_{Alimentation\ Captage} = \frac{Q_{annuel\ capté}}{I}$$

S = Surface de la zone d'alimentation du captage,

Q = Débit annuel capté

I = Infiltration estimée sur le bassin versant du captage

L'importance des lacunes concernant les données météorologiques sur l'île de Mayotte entraîne la nécessité de réaliser les bilans hydrologiques à partir de plusieurs estimations et hypothèses :

- **Pluviométrie**

Dans chaque cas, plusieurs données de pluviométrie sont disponibles :

- i. Les stations pluviométriques à proximité ;
- ii. La carte des isohyètes réalisée en 2000 par Lachassagne et al. ;
- iii. L'estimation faite à partir de la corrélation linéaire établie à Mayotte entre l'altitude et la pluviométrie $P_{moy} = 1229 + 3.45 * Alt$.

Dans ce rapport, la donnée de la station pluviométrique la plus proche du point d'eau considéré sera prise en compte si la valeur obtenue sur ce pluviomètre est dans le même ordre de grandeur que les valeurs estimées grâce à la carte et au calcul.

- **Evapotranspiration**

Les valeurs d'ETP utilisées correspondent aux valeurs des stations prises en compte pour la pluviométrie.

- **Réserve utile**

Aucune information n'est actuellement disponible sur la réserve utile du sol de Mayotte. Toutefois, d'après Riquier (1965), la valeur communément utilisée pour la réserve utile d'un sol tropical humide est de 100 mm. C'est cette valeur qui sera prise comme référence dans ce rapport.

- **Pluie efficace, ruissellement et infiltration**

La pluie efficace se répartie entre infiltration et ruissellement. La part d'eau participant au ruissellement est estimée, d'après Lapègue (1999), à 70% en moyenne sur l'ensemble de l'île (donc 30% d'infiltration).

Les données de pluie efficace utilisées dans ce rapport ont été calculées pour le rapport BRGM/RP-61757-FR (Caractérisation hydrogéologique de Mayotte – Secteur Centre et Sud, 2013). Ces données sont calculées à un pas de temps journalier (un pas de temps mensuel entraîne une mauvaise estimation de la pluie efficace).

3.2. PHASE 2

La phase 2 est l'étape de délimitation à proprement parler. La démarche proposée repose sur la bonne exploitation des récentes acquisitions géophysiques TDEM dont le principal intérêt est d'offrir une image continue en 3D de la résistivité du sous-sol et de permettre, ainsi, de mieux contraindre la géométrie des unités géologiques (aquifères ou non) à l'échelle de l'île. Le logigramme suivant intitulé « Utilisation des acquisitions TDEM dans le cadre d'une délimitation d'AAC » donne la démarche à suivre, les questions à se poser et les opérations minimales à réaliser pour pouvoir utiliser au mieux les données géophysiques TDEM dans le cadre d'une délimitation d'AAC (Illustration 5).

Présentation générale du logigramme

Ce logigramme (Illustration 5) :

- indique en titre, l'objectif principal
- puis décline :
 - sous forme de carré **bleu** avec coins arrondis, les principales questions binaires (« oui » ou « non ») permettant d'enchaîner le déroulement logique de la démarche,
 - sous forme de carré **bleu pâle**, la dénomination de l'étape à réaliser,
 - sous forme de carré **rouge**, des conseils ou remarques sur l'étape en cours.

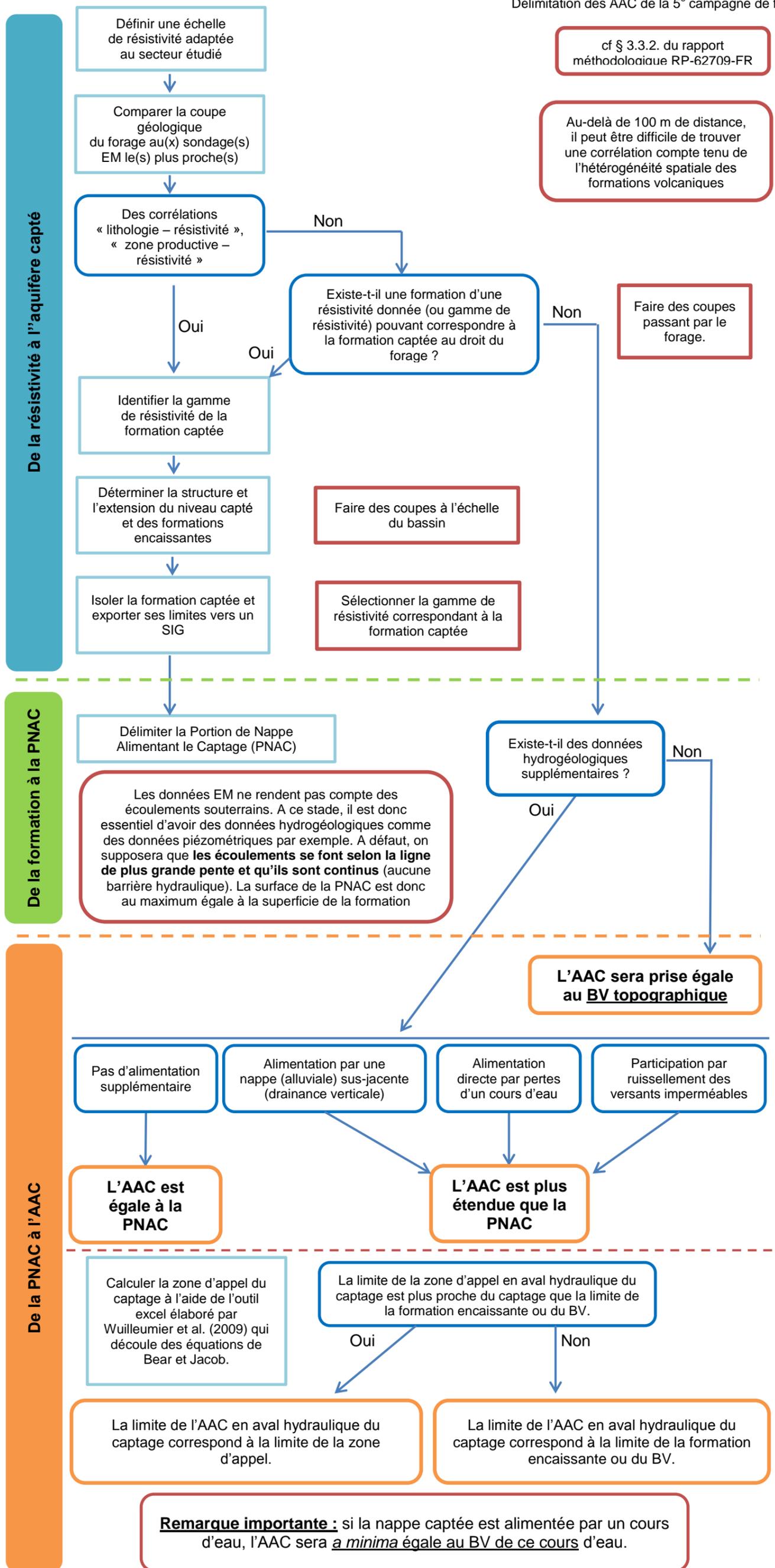


Illustration 5 : Logigramme expliquant comment utiliser les données TDEM dans une démarche de délimitation d'AAC (source : BRGM/RP-62709-FR, modifié).

3.3. PHASE 3

La phase 3 est une phase de vérification lors de laquelle la superficie de l'AAC est approchée à l'aide d'un calcul de bilan hydrologique. Dans le détail, comme indiqué précédemment, cette superficie théorique est déterminée par le rapport du débit annuel du captage Q_{annuel} (en m³/an) par la lame d'eau infiltrée I (en m/an), soit : $S = Q_{\text{annuel}}/I$.

Il s'agit donc simplement de la surface participant à l'alimentation du captage par infiltration directe des précipitations, soit d'une superficie « minimale » d'alimentation. Quoiqu'il en soit, la proposition de délimitation d'une AAC ne sera validée que si sa surface est supposée suffisante pour subvenir à l'alimentation du captage. La superficie obtenue sera donc comparée avec la superficie théorique de l'AAC dont le calcul est donné ci-dessus.

4. Délimitation de l'AAC du forage d'ACOUA F1 – 12301X0097

4.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT

4.1.1. Contexte géographique et géologique du captage

Contexte géographique

Le forage d'Acoua F1 (12301X0097) est situé sur la commune d'Acoua (Illustration 6) dans l'enceinte de l'école primaire, dans une partie désaffectée de l'établissement. L'amont du forage est occupé par des champs cultivés sur de fortes pentes (environ 20°). Au Nord, une ravine borde la parcelle. Les travaux pour sa mise en exploitation à 45 m³/h pour l'alimentation en eau potable sont actuellement en cours.

Coordonnées géographiques du forage d'Acoua F1 :

- X (RGM04) : 506809 m
- Y (RGM04) : 8593080 m
- Z : 50 m NGM

Au Nord et à l'Ouest du bassin du captage se dessinent les crêtes du Nord dont l'altitude maximum s'élève à 496 mNGM (au nord) et 363 mNGM (à l'ouest).

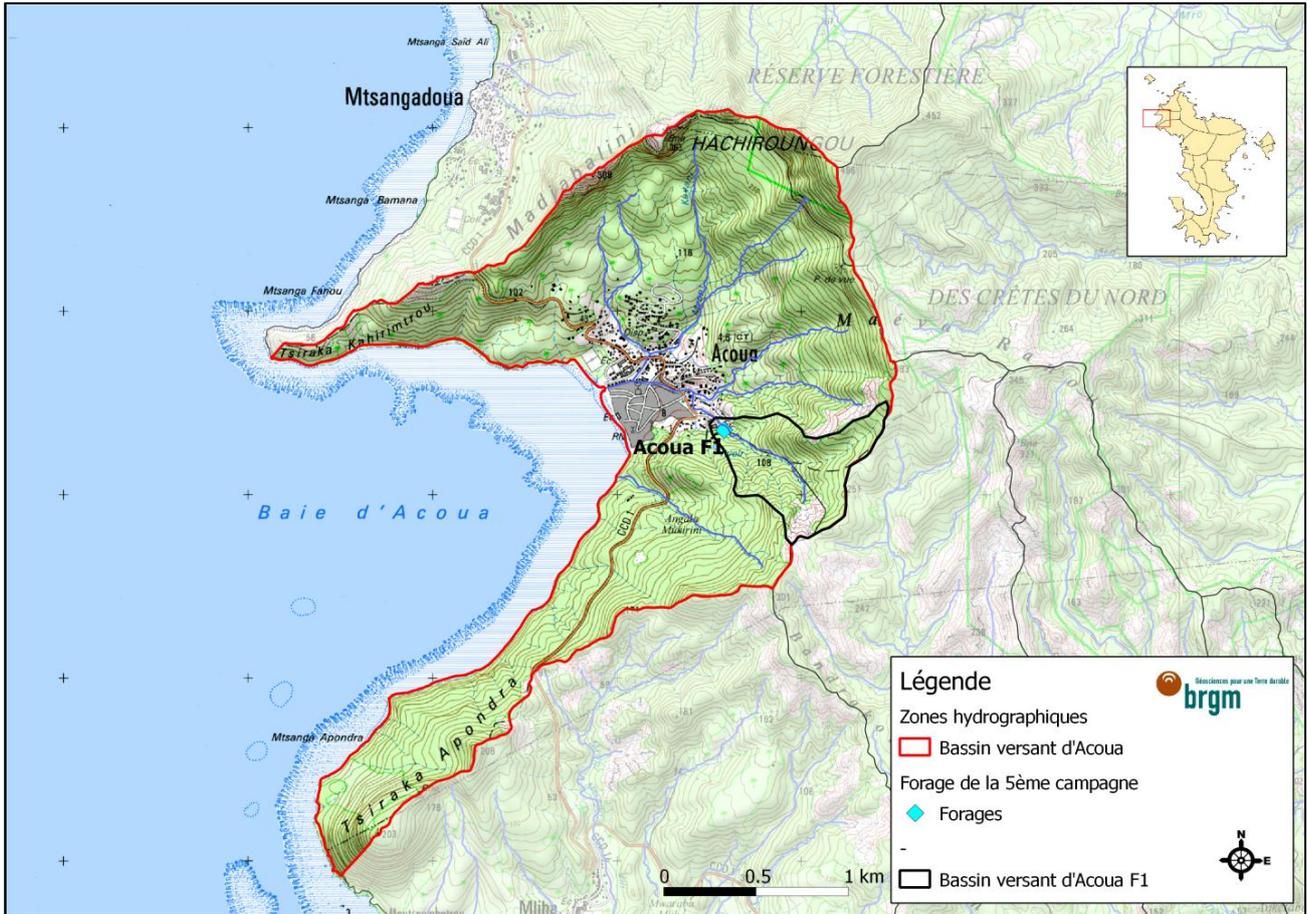


Illustration 6 : Carte de localisation du forage d'Acoua F1 (12301X0097). Fond de carte : carte IGN – Scan 25 ©, 2008

Contexte géologique

Les éléments suivants sont tirés du rapport de caractérisation hydrogéologique secteur nord-ouest de Mayotte (Jaouen *et al.*, 2012 ; BRGM-RP-59550-FR).

Le massif des crêtes du Nord correspond aux pentes externes de l'ancien édifice volcanique du Nord daté de 5,0 à 3,6 Ma dont le centre éruptif se situait au Nord-Ouest de l'îlot Mtsamboro. Il est constitué en majeure partie de formations volcaniques inter-stratifiées composées de laves, de volcanoclastites et de formations volcano-sédimentaires, aux dépens desquelles des profils d'altérations ont pu se développer. Le secteur Nord-Ouest s'organise autour de trois morphologies :

- les planèzes de Mtsangamouji orientées Sud-Sud-Est et caractérisées par un réseau hydrographique peu digité composé de cours d'eau rectilignes profonds séparés par des crêtes étroites ;
- les crêtes côtières du Nord-Ouest composées de coulées de basaltes et d'intrusions phonolitiques et délimitant côté mer d'étroits bassins versant tels que celui d'Acoua ;
- les bassins versants en forme de cirque comme celui de la Maré.

Au niveau d'Acoua, le sous-sol est composé d'un ensemble de coulées basaltiques métriques en « aa »¹ reconnues du niveau de la mer jusqu'à la cote 250 m NGM au niveau des crêtes surplombant le village. Ces formations ont été recoupées en forage de 36 (+14 m NGM) à 116,5 mètres (-66,5 m NGM). Les filons d'alimentation du volcanisme sont abondants dans le secteur Nord-Ouest de l'île, fournissant des orientations moyennes N140 correspondant à l'axe de l'archipel des Comores.

Comme pour le reste de l'île, les formations superficielles (Illustration 7) sont dominées par des altérites se déclinant sous la forme d'allotérites (désargilisées, lessivées) et d'isaltérites (altération argileuse de la roche en place) jusqu'à la roche mère faiblement fissurée. Une trentaine de mètres d'isaltérites a été recoupée au niveau du forage d'Acoua F1 (12301X0097).

Le fond du bassin hydrographique d'Acoua est découpé par plusieurs loupes d'arrachement sans qu'aucun bloc basculé ou coulée de débris ne soit mentionné sur la carte géologique.

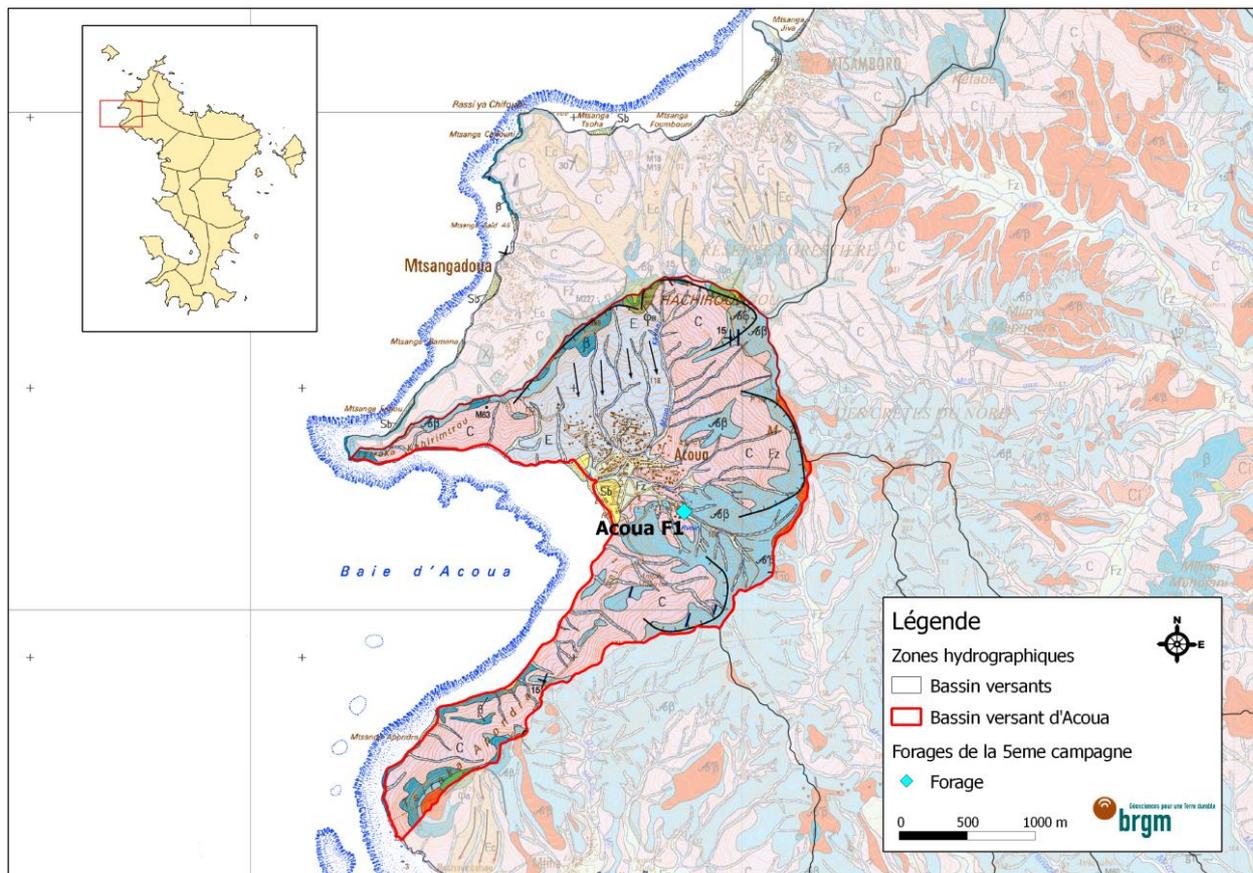


Illustration 7 : Carte de situation géologique du forage d'Acoua F1 (12301X0097). Fond de carte : carte géologique de Mayotte, Lacquement et al. 2013.

La légende de la carte géologique est présentée en Annexe 1.

D'après la coupe géologique (Annexe 2) du forage, ce dernier recoupe :

¹ Aa : coulée de lave dont la surface s'est solidifiée et brisée pendant sa descente, est déchetée et scoriacée (Foucault et Raoult, 1995).

- De 0 à 5 m/TN (terrain naturel) : des alluvions,
- De 5 à 36 m/TN : des altérites,
- De 36 à 116,5 m/TN : des coulées de lave en craton « aa » et pyroxènes, elle mêmes séparées à 59 m et 79 m par de fines couches d'altérites.

4.1.2. Contexte hydrogéologique du captage

Ressources en eau souterraine du bassin hydrologique

Afin de délimiter les Aires d’Alimentation de Captage, il est important, dans un premier temps, de réaliser une estimation de la surface de la zone alimentant le captage. Pour ce faire le calcul du **bilan hydrologique** est nécessaire.

Le tableau ci-dessous (Illustration 8

Illustration 8) présente le bilan hydrologique calculé pour le bassin versant d’Acoua, à partir de l’ensemble des estimations et hypothèses énumérées dans la partie méthodologie.

Station pluviométrique	Pluviométrie (mm/an)	ETR (mm/an)	RU (mm/an)	Peff (mm/an)	Ruissellement (mm/an)	Infiltration (mm/an)
Mtsamboro Genda	1476	977	100	399	279,3	119,7

Illustration 8 : Récapitulatif du bilan hydrologique pour le pluviomètre de Mtsamboro Genda

Surface de la zone alimentant le captage

Cette surface se calcule en fonction du débit d’exploitation du forage et de l’infiltration au droit du bassin versant.

Les essais par pompage réalisés sur le forage d’Acoua F1 (BRGM/RP-62867-FR) ont révélé la possibilité d’une exploitation du forage à un débit de **45 m³/h, 20h/24**.

$$S_{km^2} = \frac{45 * 20 * 365.25}{119.7 * 10^{-3}} * 10^{-6}$$

$$S = 2,75 km^2$$

La surface de la zone d’alimentation du captage d’Acoua F1 est donc estimée à 2,8 km². La surface ainsi calculée correspond à l’aire minimale de l’Aire d’Alimentation de Captage qui sera définie.

Inventaire des captages, sources et cours d’eau

L’hydrographie de surface au niveau du bassin versant d’Acoua se limite à quelques ravines intermittentes se rejoignant pour former le Mroni Kavani, non pérenne. A contrario, plusieurs cours d’eau pérennes ont des bassins versants adjacents à celui d’Acoua comme la Mapouéra (affluent de la Maré) ou l’Analamihéni (affluent de la Massimoni). Le village d’Acoua possède également quelques sources côtières et quelques puits utilisés traditionnellement pour l’alimentation en eau.

Définition des caractéristiques de l'aquifère capté

Comme indiqué précédemment, le forage d'Acoua F1 recoupe des coulées de lave en craton « aa » à partir de 36 mètres. C'est cette formation qui est aquifère.

L'aquifère capté par le forage d'Acoua F1 présente les caractéristiques suivantes :

- nappe **libre** ;
- formations à **porosité d'interstice** (porosité matricielle des horizons scoriacés) largement dominante sans incidence de la porosité de fracture (coulées massive), dont la contribution dans l'écoulement des eaux souterraines est certainement marginale ;
- secteur **homogène** à grande échelle ;
- transmissivité moyenne de **$1,8.10^2 \text{ m}^2/\text{s}$** mesurée au droit de l'ouvrage ;
- présence de **limites étanches** pouvant correspondre à la présence de réseaux filoniens de l'ancien centre d'émission ;
- emmagasinement mesuré de l'ordre de **10^{-1}** .

Une alimentation de cet aquifère par les parties amont formant les crêtes du Nord est supposée. Ces crêtes alimentent en partie les cours d'eau pérennes prenant leur source à l'Est du secteur d'Acoua.

En l'absence d'autres ouvrages sur la zone, et compte tenu du contexte volcanique de Mayotte, il est difficile de s'avancer davantage dans la représentation des écoulements souterrains et sur les éventuelles relations nappes-rivières.

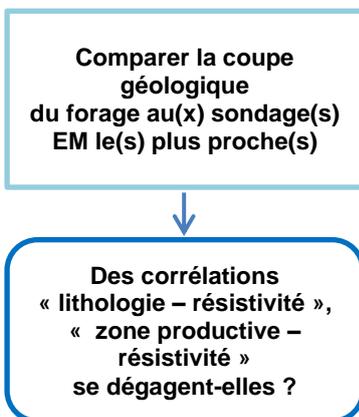
4.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC

4.2.1. De la résistivité à la formation

Définir une échelle de résistivité adaptée au secteur étudié

Le forage d'Acoua F1 se situe au Nord-Ouest de l'île de Mayotte. L'échelle de résistivité utilisée pour ce secteur est une échelle logarithmique pour laquelle les formations de résistivité supérieures à 100 ohm.m sont figurées en bleu foncé.

Afin d'imager au mieux les formations argilisées et les intrusions salines éventuelles, la borne inférieure de cette échelle a été prise à 3 ohm.m.



La coupe géologique du forage a été comparée avec le sondage TDEM le plus proche, distant de 4 m. D'après l'illustration 9, il existe une corrélation entre la coupe géologique, le profil de résistivité et les coupes TDEM au niveau du forage d'Acoua F1.

Au sein de l'horizon altéré, les résistivités varient de 10 à 30 ohm.m. Variation qui pourrait s'expliquer par une teneur en argile importante (plus la teneur est importante, plus la résistivité diminue). Au sein des coulées de lave, la résistivité atteint 100 ohm.m.

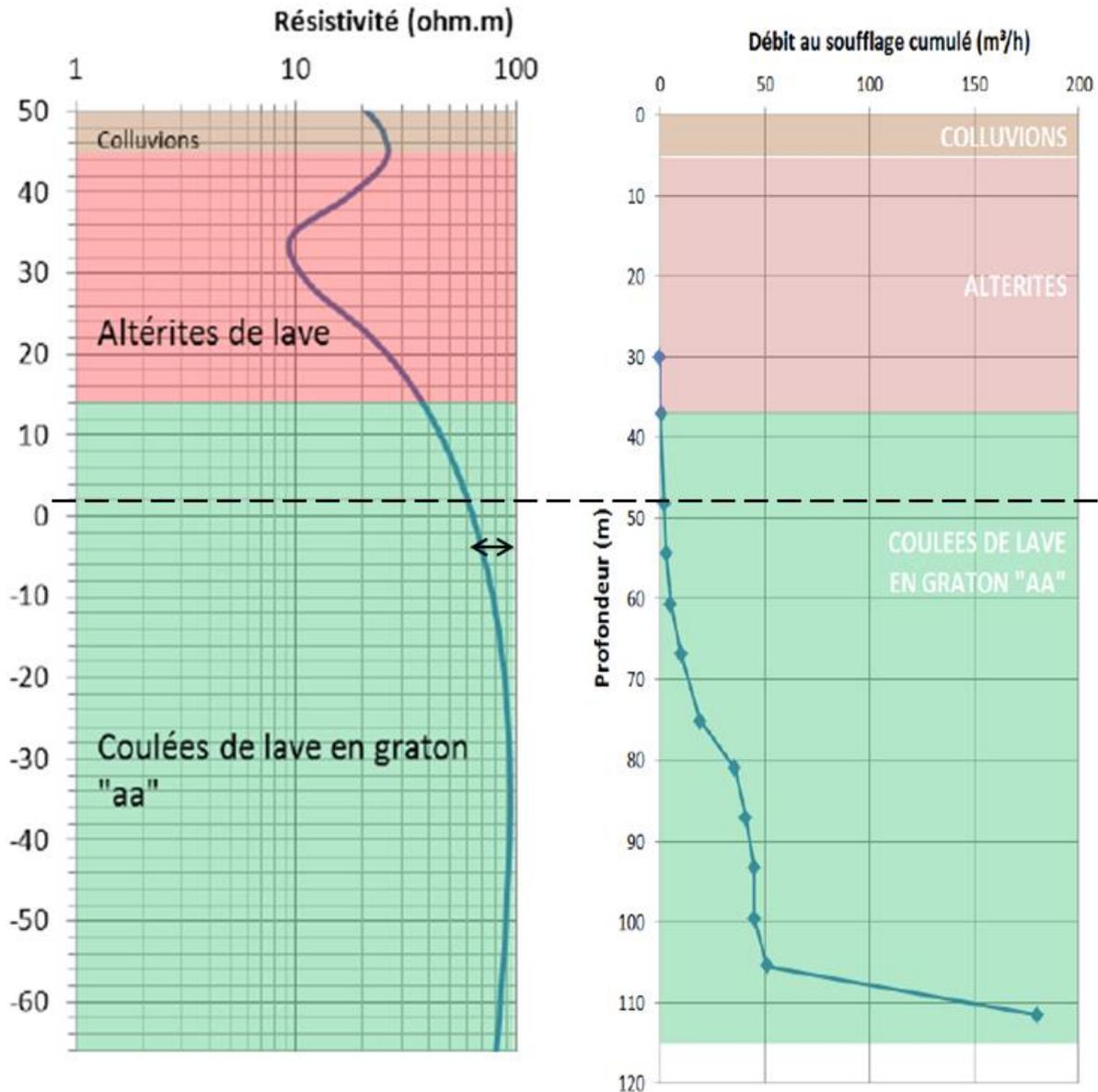


Illustration 9 : Comparaison entre le sondage le plus proche du forage (4 m), la coupe géologique et le débit au soufflage du forage d'Acoua F1(12301X0097)

Identifier la gamme de résistivité de la formation captée

D'après les données hydrogéologiques obtenues sur le forage d'Acoua F1, une première arrivée d'eau est perçue à une profondeur de 37 m, suivie par une augmentation continue et linéaire du débit au soufflage entre 48,4 et 111,6 m de profondeur (de 2m³/h à plus de 180m³/h (Illustration 9). **L'horizon capté correspond donc aux niveaux de coulées de lave en graton « aa », possédant une gamme de résistivités de 60 à 100 ohm.m.**

Déterminer la structure et l'extension du niveau capté et des formations encaissantes

Deux coupes ont été réalisées à l'échelle du bassin versant (Illustration 10), autour du forage et mettant en évidence la structure et l'extension des horizons résistants observés et notamment de l'horizon aquifère.

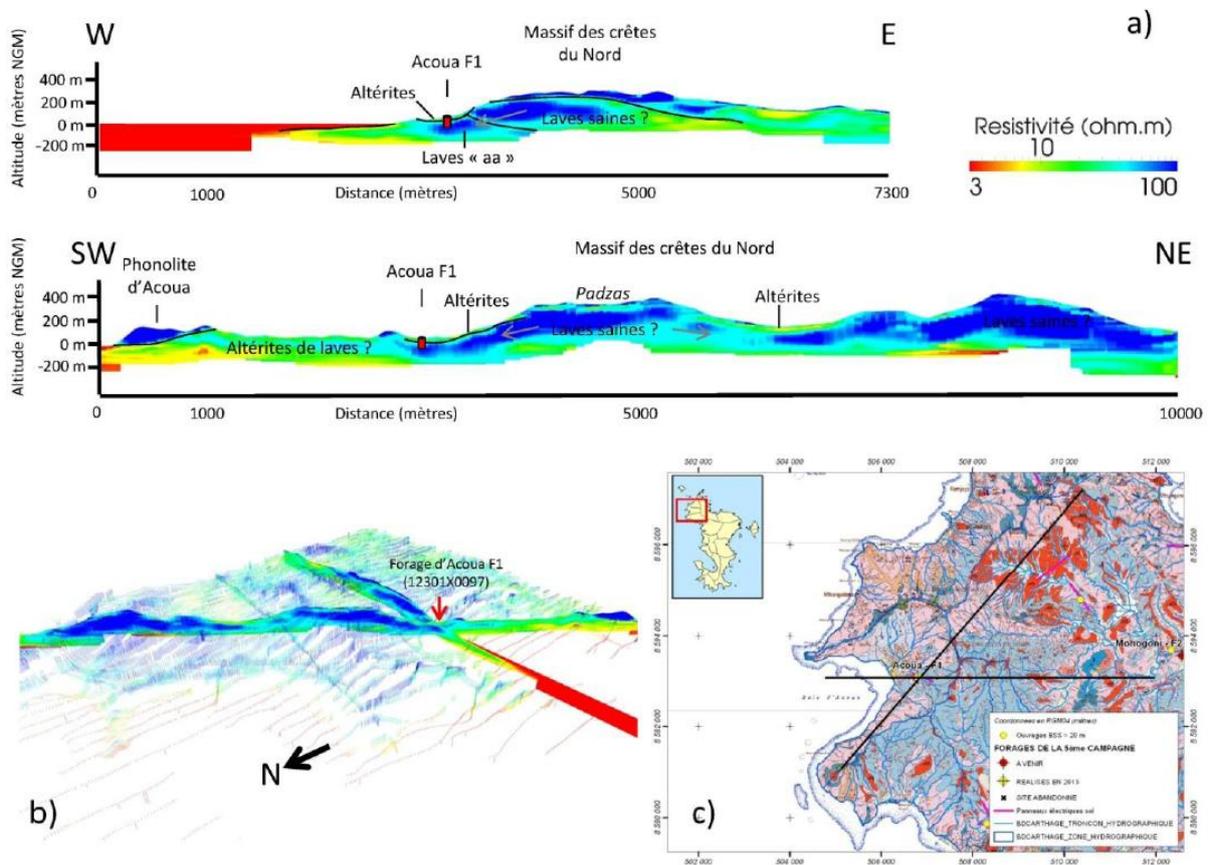


Illustration 10 : Interprétation des données TDEM au niveau du forage d'Acoua F1 (12301X0097) : a) Coupes TDEM interprétées ; b) vue des coupes TDEM et des sondages disponibles sur le secteur d'étude ; c) localisation des coupes TDEM (fond : carte géologique Lacquement et al., 2013)

D'après les coupes réalisées, les formations géologiques se démarquent par leurs variations de résistivités caractéristiques. Notamment les laves saines du massif des crêtes du nord dont les résistivités varient entre 60 et 100 ohm.m, recoupées par le forage d'Acoua F1 et qui correspondraient à la formation captée. La formation identifiée présente une structure de paléovallée (en forme d'auge ou de fond de bateau) et s'étend de l'amont (massif des crêtes du Nord) vers la côte.

**Isoler la formation captée
et exporter ses limites vers
un SIG**

Afin de déterminer la structure et l'extension de la formation captée, les données TDEM ont été exploitées et traitées à l'aide du logiciel Paraview.

Dans un premier temps, l'illustration 11 permet de visualiser la géomorphologie du secteur d'Acoua dans son ensemble.

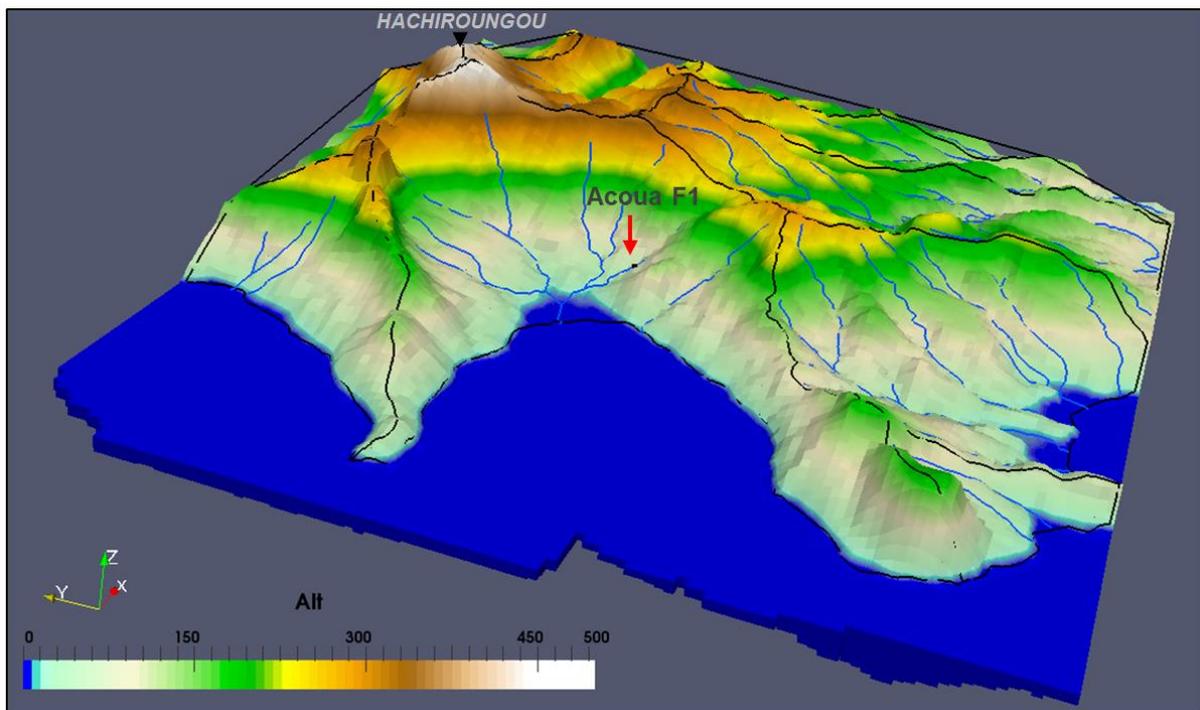


Illustration 11 : Vue du secteur d'Acoua (échelle verticale exagérée : 2 fois l'échelle horizontale)

Dans un deuxième temps, l'illustration 12 permet de visualiser les formations de résistivité comprise entre 60 et 100 ohm.m pour des profondeurs d'investigation de 10 à 200 mètres, en fonction de l'altitude.

Comme sur la majeure partie de l'île, la formation géologique superficielle de ce secteur est principalement composée d'altérites, ne correspondant pas à un horizon potentiellement aquifère. C'est pour cette raison que la formation a été isolée pour des profondeurs d'investigation de 10 à 200 mètres.

Cette étape montre la complexité du secteur et met en évidence la multitude de zones ayant la même résistivité.

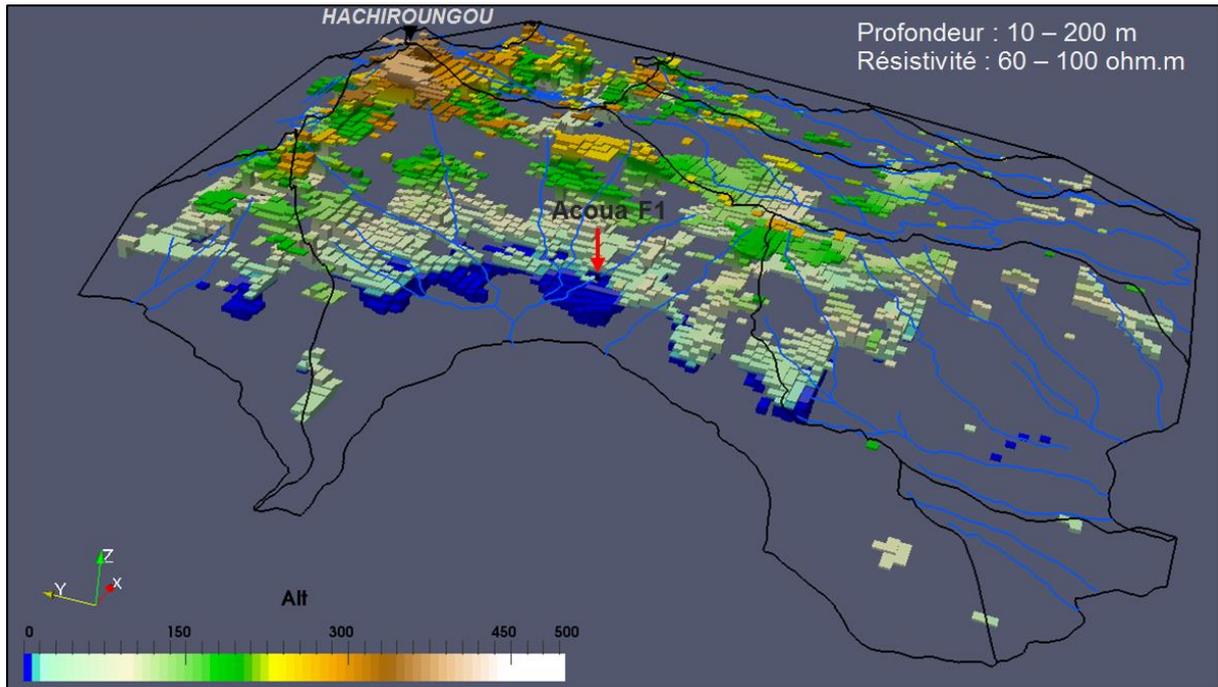


Illustration 12 : Formations de résistivités comprises entre 60 et 100 ohm.m et de profondeur d'investigation comprise en 10 et 200 m dans le secteur d'Acoua (échelle verticale exagérée : 2 fois l'échelle horizontale)

De manière générale à Mayotte, il est considéré que l'écoulement suit l'orientation générale de la pente, les zones d'altitude inférieure à l'altitude du fond du forage (-61,6 m NGM) sont donc à exclure également.

L'illustration 13 représente la formation identifiée comme étant la formation captée par Acoua F1 dont les caractéristiques sont les suivantes :

- résistivité comprise entre 60 et 100 ohm.m ;
- profondeur d'investigation de 10 à 200 m/TN ;
- altitude supérieure à -61,6 mNGM.

L'illustration 14, quant à elle, est une projection, en surface, de l'étendue de la formation considérée productive.

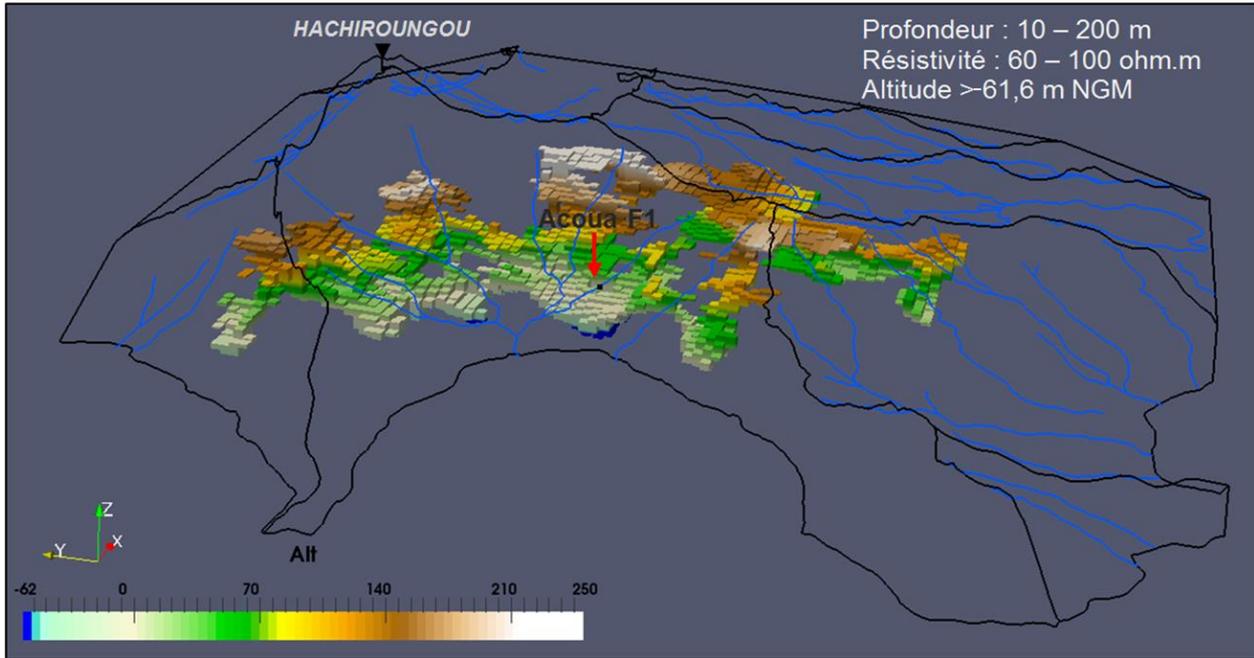


Illustration 13 : Formation de résistivité comprise entre 60 et 100 ohm.m et de profondeur d'investigation comprise entre 10 et 200 m captée par le forage d'Acoua (échelle verticale exagérée : 2 fois l'échelle horizontale)

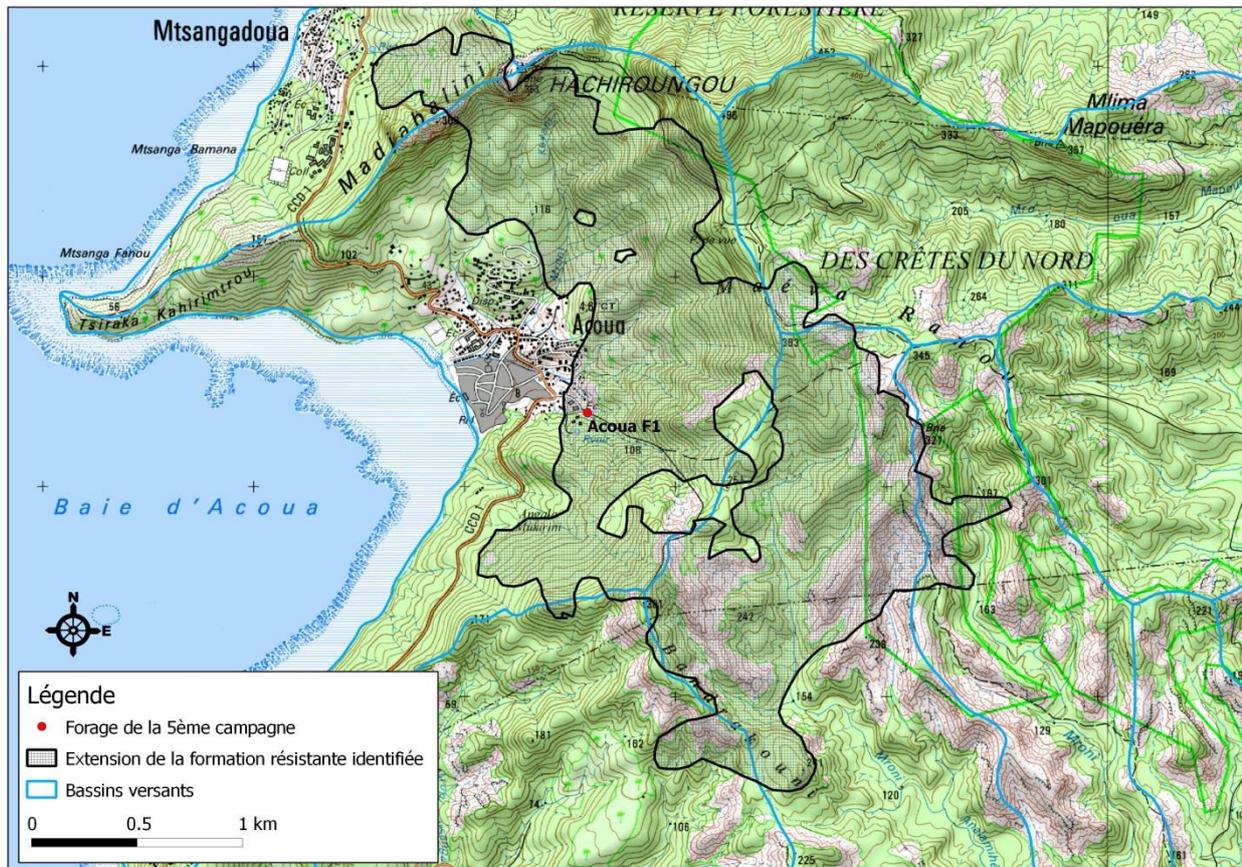


Illustration 14 : Localisation de la formation résistante identifiée dans le secteur d'Acoua (Fond cartographique : Carte IGN Scan 25 ©, 2008)

La paléovallée identifiée précédemment s'étend sur 3,9 km². Elle recouvre plusieurs bassins versants de surface (principalement sur la baie d'Acoua et le BV du Mroni Analamihéni).

4.2.2. De la formation à la PNAC

Comme son nom l'indique, la Portion de Nappe Alimentant le Captage (PNAC) correspond au volume de l'aquifère qui peut être capté par le forage. Elle peut être inférieure à la formation isolée précédemment.



La paléovallée identifiée précédemment est un axe d'écoulement préférentiel. Il est ainsi convenu que la direction et le sens des écoulements souterrains sont contrôlés sur le secteur étudié par la géométrie des paléovallées en présence, depuis les reliefs vers les points bas. Ce schéma d'écoulement général « dans le sens des plus grandes pentes » n'est pas remis en cause ici car il manque encore d'éléments de connaissance permettant d'envisager des écoulements selon des directions différentes.

La continuité des niveaux piézométriques n'est pas certaine le long des coulées en paléovallée. Celle-ci peut d'ailleurs être remise en cause en raison de la forte hétérogénéité spatiale des formations volcaniques en présence. Toutefois, ne disposant pas d'information permettant d'infirmer l'hypothèse, la continuité hydraulique est supposée le long de la paléovallée identifiée.

L'

Illustration 15, ci-dessous, représente la méthode de délimitation de la portion de nappe alimentant le forage d'Acoua F1 (en rouge). Cette délimitation prend en compte les conditions énumérées précédemment, soit : **l'écoulement souterrain se fait dans le sens des plus grandes pentes et la continuité hydraulique est supposée.**

Sur l'illustration 15, (a) et (b) illustrent la manière dont les limites de la PNAC ont été définies : selon les lignes de crêtes piézométriques. (c) et (d) représentent la PNAC dans son ensemble, rendant compte de son étendue en surface (d). De plus, l'illustration (d) illustre la différence observée entre les crêtes topographiques (en noir) et piézométriques (en rouge).

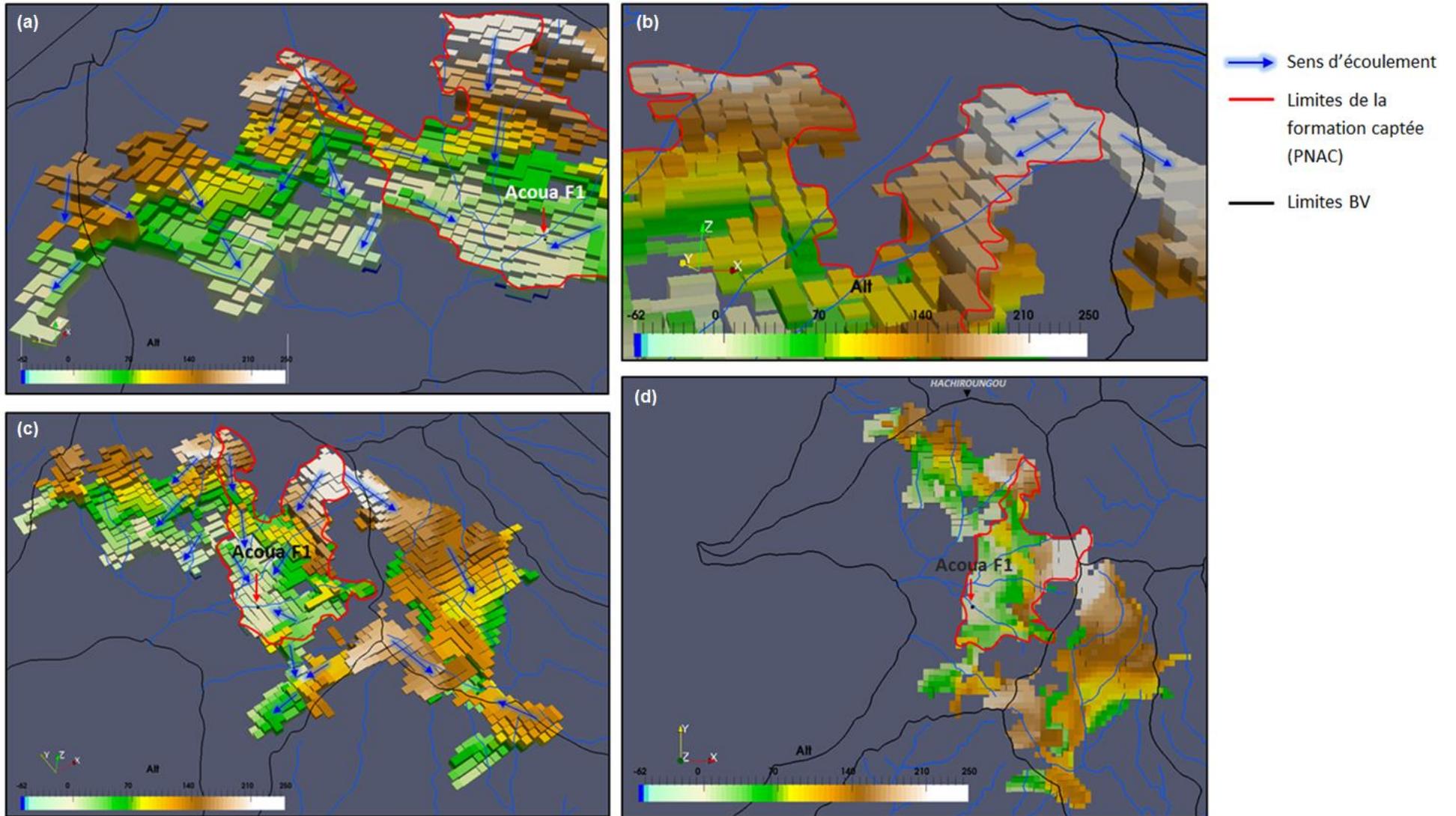


Illustration 15 : Délimitation de la PNAC d'Acoua F1 en considérant que l'écoulement se fait en fonction de la plus grande pente et qu'il y a continuité hydraulique au sein de la formation. (Echelle verticale = 2 fois échelle horizontale)

L'illustration 16, quant à elle, est une projection en surface de la PNAC délimitée précédemment.

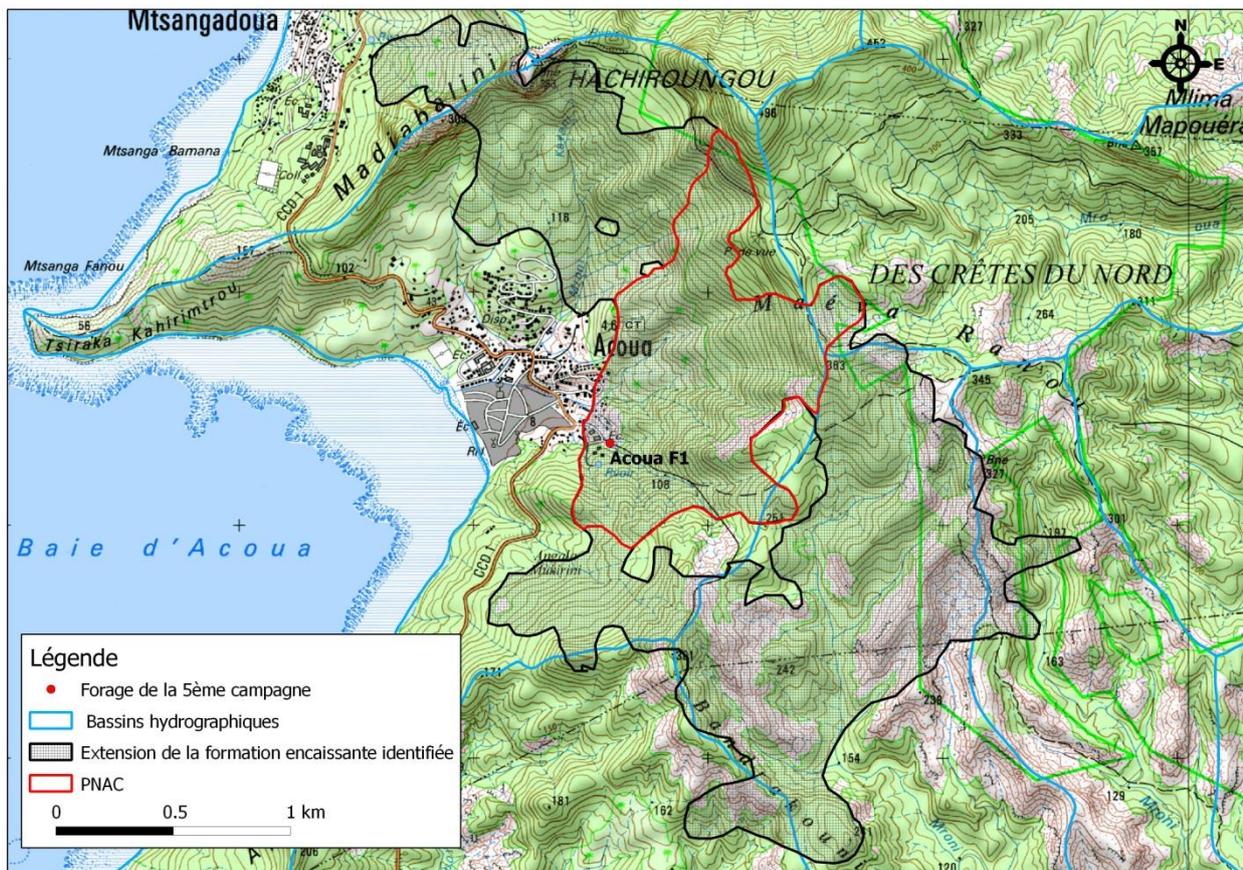


Illustration 16: Projection en surface de la portion de nappe alimentant Acoua F1 (112302X0097). Fond de carte : Carte IGN de Mayotte, Scan 25©, 2008.

D'après la délimitation réalisée grâce au logiciel ParaView, **la surface de la PNAC d'Acoua F1 est égale à 1,05 km².**

4.2.3. De la PNAC à l'AAC

Compte tenu du manque d'informations concernant le fonctionnement hydrologique à l'échelle de l'île, ainsi que du complexe volcanique complexe de Mayotte, il est difficile de représenter les écoulements souterrains ainsi que les éventuelles relations nappes-rivières.

Cependant, les formations superficielles (Illustration 7) étant dominées par des altérites se déclinant sous la forme d'allotérites (désargilisées, lessivées) et d'isaltérites (altération argileuse de la roche en place), une participation par ruissellement des versants imperméables est à considérer. De ce fait, afin de délimiter l'AAC d'Acoua F1 ; la participation du ruissellement sera pris en compte : les zones alimentant par ruissellement la PNAC seront considérées dans la délimitation de l'AAC (Illustration 17).

La limite de l'AAC en aval hydraulique du captage correspond à la limite de la formation encaissante. La surface de l'AAC ainsi délimitée est égale à 1,3 km² pour un périmètre de 5,8 km, soit, une surface 3,5 fois supérieure à la surface du bassin versant topographique du forage (0,37 km²).

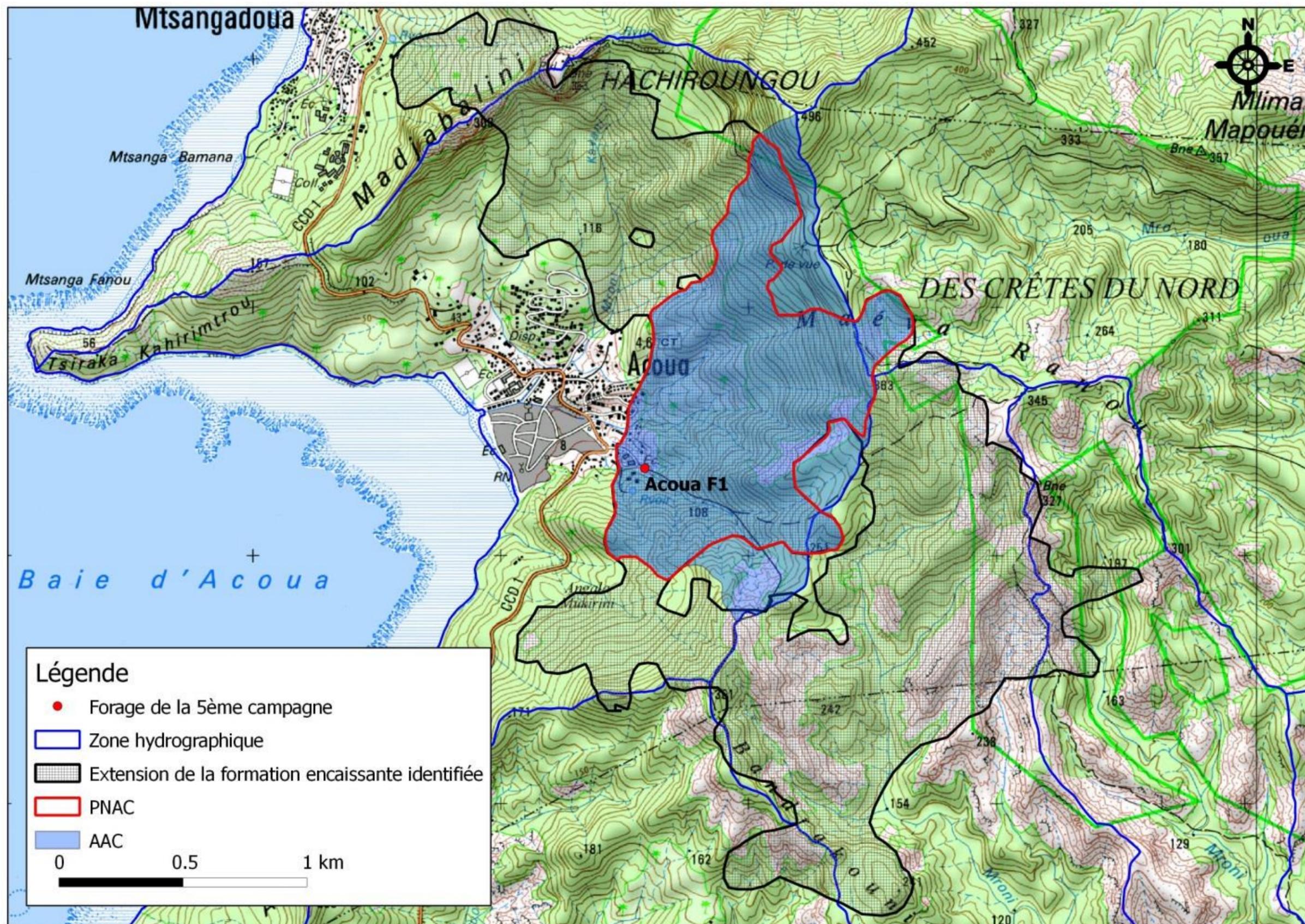


Illustration 17 : Aire d'alimentation de captage du forage d'Acoua F1 (12301X0097). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008

4.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE

D'après le rapport de fin de travaux et de demande de prélèvement pour le forage d'Acoua F1 (BRGM/RP-62867-FR), le captage peut être exploité à un débit de 45 m³/h pendant une durée de 20 heures sur 24.

En considérant que l'infiltration représente 30% de la pluie efficace (Lapègue, 1999), soit 119,7 mm par an sur cette zone, on obtient une surface minimum d'alimentation du captage de 2,8 km² ; surface, 2 fois supérieure à la surface d'AAC délimitée à l'aide du logiciel Paraview. Ce calcul est réalisé à partir d'un grand nombre d'hypothèses et d'estimations (infiltration, pluviométrie, ETP, etc.). L'erreur induite par ces hypothèses et estimations permet de justifier l'écart entre la valeur calculée et la valeur obtenue par la délimitation de l'AAC à l'aide des données TDEM.

D'après l'ensemble des données étudiées, l'Aire d'Alimentation du Captage d'Acoua F1 représente une surface de 1.3 km² et un périmètre de 5.8 km. Elle s'étend des crêtes de la baie d'Acoua (nord, est et sud) vers le forage. La limite avale de l'AAC est contrainte par le contact entre la formation captée par le forage et une formation plus altérée et moins résistante, considérée peu transmissive.

5. Délimitation de l'AAC du forage de Mohogoni F2 – 12302X0101

5.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT

5.1.1. Contexte géographique et géologique du captage

Cadre géographique

Le forage de Mohogoni F2 (12302X0101) est situé sur la commune de Bandraboua, 200 m à l'ouest du lycée professionnel de Dzoumogné, à 300 m du forage AEP de Mohogoni F1 (1232X0025) et à 50 m en rive droite de la rivière Mjihari (Illustration 18).

Coordonnées géographiques du forage Mohogoni F2 :

- X (RGM04) : 512582 m
- Y (RGM04) : 8593564 m
- Z : 10 m NGM

Le bassin versant de la Mro Oua Maré est délimité par le massif du Dziani Bolé et le Kétabé au Nord, les crêtes du Nord à l'Ouest et le massif du Mlima Mahojina au Sud, qui alimentent les affluents de la Mro Oua Maré.



Illustration 18 : Localisation du forage Mohogoni F2 (12302X0101). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008

Cadre géologique

Les éléments suivants sont tirés du rapport de caractérisation hydrogéologique secteur nord-ouest de Mayotte (Jaouen *et al.*, 2012 ; BRGM-RP-59550-FR).

Sur le bassin versant de la Mro Oua Maré, trois principales formations géologiques peuvent être observées à l’affleurement (

Illustration 19) :

- des basaltes sains dans l’extrémité amont du bassin versant, au niveau des crêtes du Mlima Dziani Bolé et du Kétabé ;
- localement, des basaltes sains aphyriques à sud-aphyriques, observés dans le lit des cours d’eau, notamment en aval de la retenue collinaire et à l’intersection entre le GR et le Mro Oua Bandrani, en allant vers le Dziani Bolé ;
- des altérites (saprolites, allotérites, latérites et padza) sur la quasi-totalité du secteur, masquant les formations sous-jacentes.

D’après la coupe géologique réalisée au droit du forage lors de la 5^{ème} campagne de forage, Mohogoni F2 recoupe les formations suivantes :

- de 0 à 8 m/TN : des colluvions ;
- de 8 à 25 m/TN : des alluvions d’alternances argileuses et gravelo-sableuses ;

- de 25 à 33 m/TN : des altérites basaltiques plus ou moins argileuses selon la profondeur ;
- de 33 à 79,70 m/TN (fond du forage) : des laves massives.

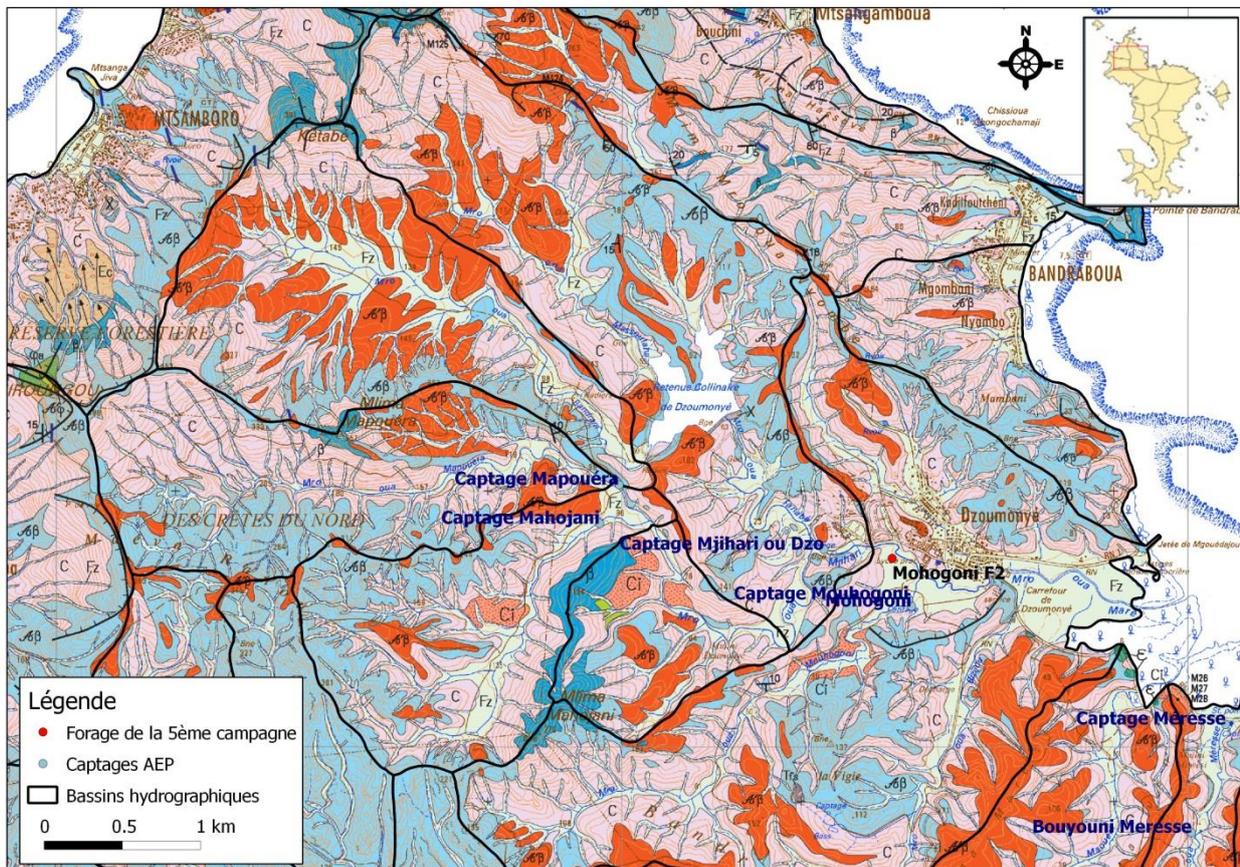


Illustration 19 : Contexte géologique du forage Mohogoni F2 (12302X0101). Fond de carte : Lacquement et al. 2013

La légende de la carte géologique est présentée en Annexe 1.

5.1.2. Contexte hydrogéologique du captage

Ressources en eau souterraine du bassin hydrologique

Le tableau ci-dessous (Illustration 20) présente le bilan hydrologique calculé pour le bassin versant de Mohogoni, à partir de l'ensemble des estimations et hypothèses énumérées dans la partie méthodologie.

Station pluvio.	Pluviométrie (mm/an)	ETR (mm/an)	RU (mm/an)	Peff (mm/an)	Ruissellement (mm/an)	Infiltration (mm/an)
Dzoumogné	1752	1065	100	587	410,9	176,1

Illustration 20 : Récapitulatif du bilan hydrologique de la station pluviométrique de Dzoumogné

Surface de la zone d'alimentation du captage

Cette surface se calcule en fonction du débit d'exploitation du forage et de l'infiltration au droit du bassin versant.

Les essais par pompage réalisés sur le forage de Mohogoni F2 ont révélé la possibilité d'une exploitation du forage à un **débit de 60 m³/h pendant une durée de 15h/24**. De plus, le rapport de fin de travaux et de demande de prélèvement BRGM/RP-63351-FR du forage a mis en évidence la continuité hydraulique entre Mohogoni F2 et Mohogoni (12302X0025). Il est pris comme hypothèse que ces deux ouvrages exploitent un même aquifère et que les surfaces contribuant à l'alimentation des forages se cumulent (Illustration 21).

Forage	l (m)	Q _{exp} (m ³ /h - h/j)	Q _{annuel} (m ³ /an)	Surface PNAC (km ²)
Mohogoni F2	0,176	60 m ³ /h 15h/24	328 725	1,87
Mohogoni F1	0,176	35 m ³ /h 15h/24	191 756	1,09
Mohogoni F1 et F2	0,176	-	520 481	2,96

Illustration 21 : Calcul de la PNAC des forages Mohogoni F1 et F2

La surface de la zone d'alimentation du captage (PNAC) de Mohogoni F2 est donc estimée à 2,96 km², correspondant à l'aire minimale de l'Aire d'Alimentation de Captage qui sera définie par la suite.

Inventaire des captages, sources et cours d'eau

Le bassin versant de la Mro oua Maré a été aménagé pour la création de la retenue collinaire de Dzoumogné ; les eaux des Mro oua Mapouéra et Mahojani sont dérivées pour alimenter le lac de barrage. Deux captages en rivière pour l'alimentation en eau potable sont positionnés en partie aval sur les Mro oua Maré et Mjihari.

Un forage de reconnaissance (Dzoumogné 1 – 12302X0017) a été réalisé lors de la campagne 1990-1991 puis suivi par la DAAF entre 1992 et 2005 révélant l'arrêt des cycles hydrologiques lors de la construction de la retenue. En effet, l'alimentation des aquifères par la retenue collinaire peut se faire au droit du lac de barrage et/ou en aval hydraulique, dans le lit de la rivière (via le maintien d'un débit d'étiage par la retenue).

Plus récemment, deux autres forages ont été réalisés :

- Mohogoni (12302X0025), situé à quelques dizaines de mètres de la rivière, à proximité de la prise d'eau de la Mro oua Mohogoni, exploité à un débit de 35 m³/h ;
- Dzoumogné 2 (12302X0026), situé en amont de la retenue collinaire, utilisé comme piézomètre par le BRGM.

Les reconnaissances de terrain réalisées dans le cadre des BAC (Malard et al., 2009, BRGM/RP-57622-FR) ont permis de mettre en évidence la circulation d'eau au sein des formations basaltiques altérées formant la base du bassin versant.

Définition des caractéristiques de l'aquifère capté

D'après le rapport de fin de travaux forage, l'aquifère capté par le forage de Mohogoni F2 présente les caractéristiques suivantes :

- nappe **artésienne** ;
- gradient hydraulique est de l'ordre de **1,7%** ;
- formations à **porosité de fracture** (coulées de basalte altérées et fissurées) ;
- secteur considéré comme **homogène à grande échelle** ;
- transmissivité moyenne de l'ordre de **$6,0.10^{-3}m^2/s$** ;
- **absence de limite étanche** comme alimentée (bonne productivité de l'ouvrage sur le long terme et absence de connexion avec la Mro Oua Mjihari) ;
- **Aucune intrusion saline nette** sur la frange littorale observée dans le secteur de Mohogoni.

5.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC

5.2.1. De la résistivité à la formation

Définir une échelle
de résistivité adaptée
au secteur étudié

Le forage de Mohogoni F2 se situe dans les massifs du nord de l'île. L'échelle de résistivité utilisée pour ce secteur est une échelle logarithmique pour laquelle les formations de résistivités supérieures à 100 ohm.m sont figurées en bleu foncé. La borne inférieure de cette échelle a été prise à 5 ohm.m.

Comparer la coupe
géologique
du forage au(x) sondage(s)
EM le(s) plus proche(s)



Des corrélations
« lithologie – résistivité »,
« zone productive –
résistivité »
se dégagent-elles ?

La coupe géologique de Mohogoni F2 a été comparée au sondage TDEM le plus proche, à une distance de 30 m (Illustration 22).

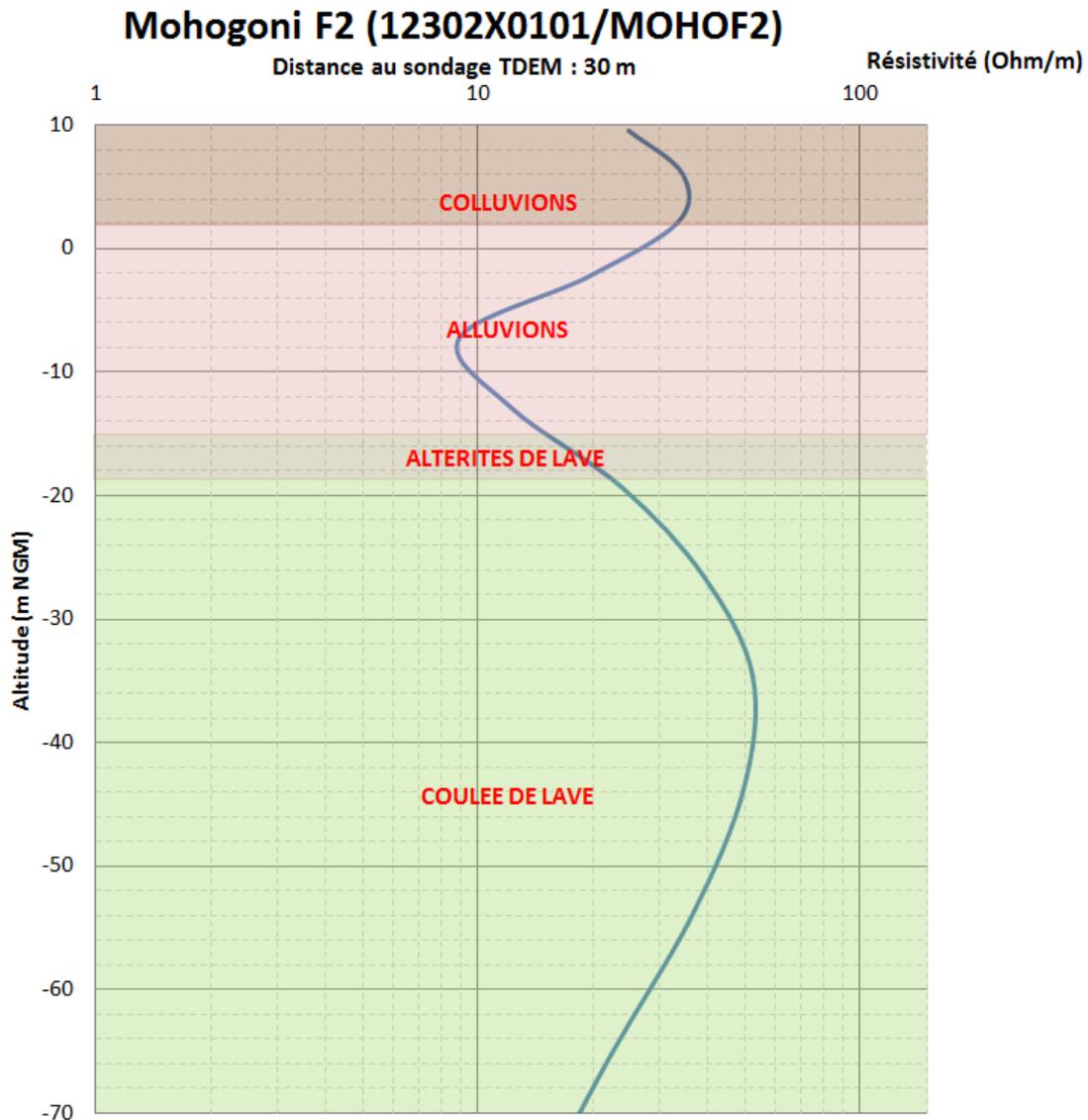


Illustration 22 : Comparaison entre le sondage TDEM le plus proche du forage (30 mètres) et la coupe géologique du forage Mohogoni F2 (12302X0101)

Cette comparaison permet de mettre en évidence une corrélation entre les formations géologiques recoupées et la résistivité mesurée :

- au sein des colluvions les résistivités fluctuent entre 25 et 35 ohm.m ;
- les alluvions présentent des résistivités moins importantes et varient entre 8 et 20 ohm.m ;
- enfin, les formations laviques saines (entre -19 et -70 mNGM) possèdent une résistivité atteignant 55 ohm.m.

Identifier la gamme de résistivité de la formation captée

D'après les données hydrogéologiques obtenues sur le forage de Mohogoni F2, une première arrivée d'eau est perçue à une profondeur de 30 mètres, et d'autres arrivées d'eau ont été notées jusqu'à environ 50 mètres de profondeur. L'horizon capté semble correspondre au niveau de coulées de lave, de résistivités comprises entre 20 et 55 ohm.m.

Deux coupes ont été réalisées à l'échelle du BV (

Illustration 23), autour du forage, mettant en évidence la structure et l'extension des horizons résistants observés, notamment de l'horizon aquifère.

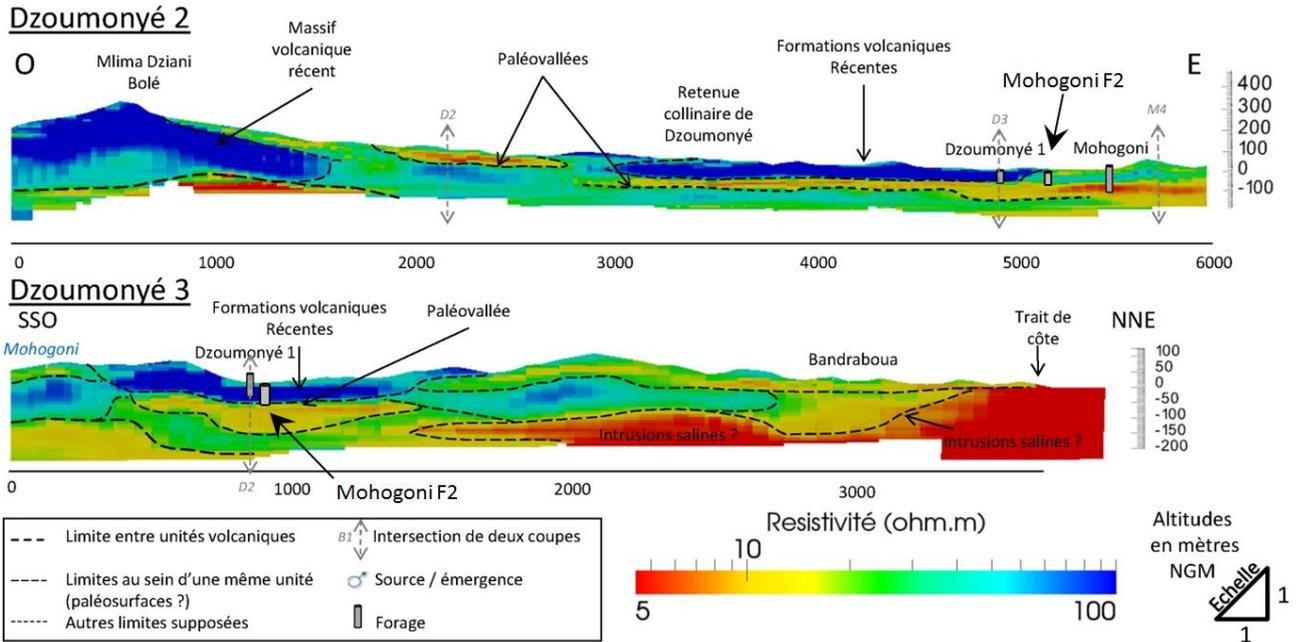


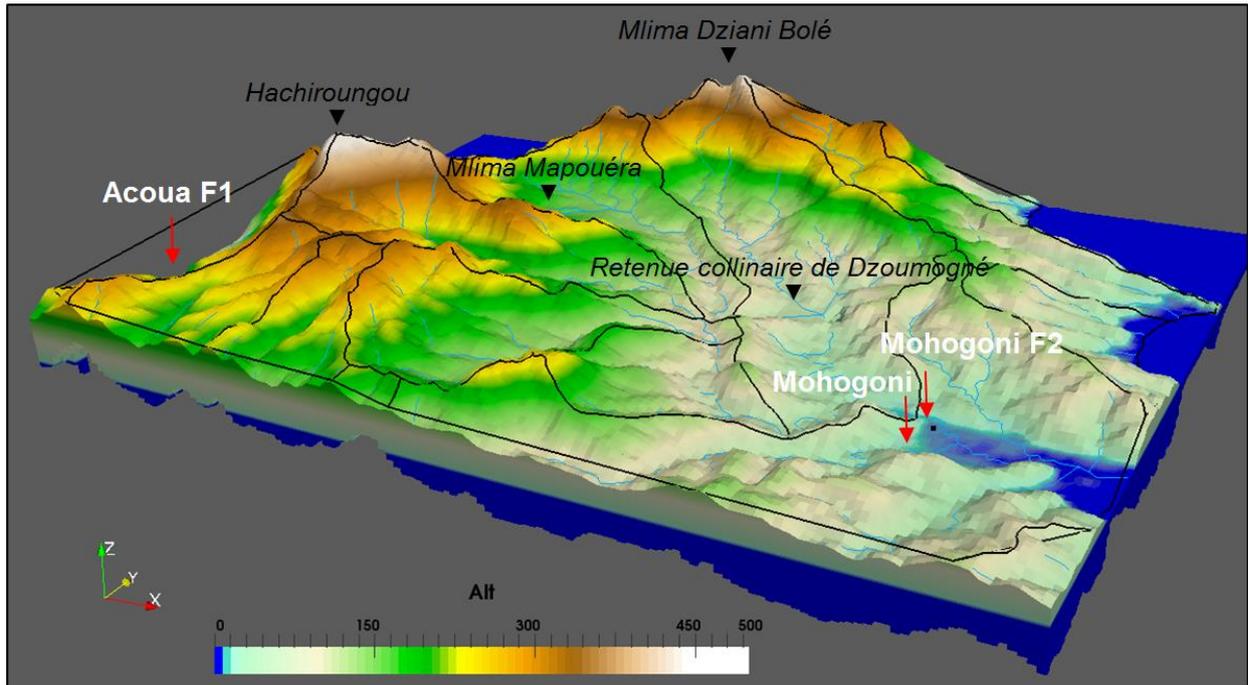
Illustration 23 : Coupes TDEM passant par le forage de Mohogoni F2 (12302X0101)

D'après ces coupes, il semblerait que **la formation alimentant le captage correspondre à une formation volcanique récente, passant également par le forage de Dzoumonyé 1 et dont la résistivité varie de 15 à 55 ohm.m.**



A l'aide du logiciel Paraview, la géomorphologie de la zone dans laquelle se trouve le forage Mohogoni F2 a, dans un premier temps, été modélisée (

Illustration 24).



*Illustration 24 : Secteur de la zone d'étude (Echelle verticale = 2 fois échelle horizontale)
 Dans un deuxième temps, la formation répondant à la gamme de résistivité déterminée a été isolée
 isolée (Illustration 25)*

Illustration 25).

A défaut de données hydrogéologiques supplémentaires, on suppose que les écoulements se font selon la ligne de plus grande pente et qu'ils sont continus. De plus, sur une majeure partie de l'île, la formation superficielle est une formation altérée peu perméable. A partir de ces hypothèses et des observations faites précédemment, les caractéristiques prises en compte pour isoler la formation encaissante sont les suivantes :

- résistivité de 15 à 55 ohm.m ;
- altitude supérieure à -40 mNGM ;
- profondeur d'investigation de 10 à 200 m/TN.

Une couche d'isaltérites entre l'épaisseur de colluvions et la formation encaissante (laves massives) limite la drainance verticale.

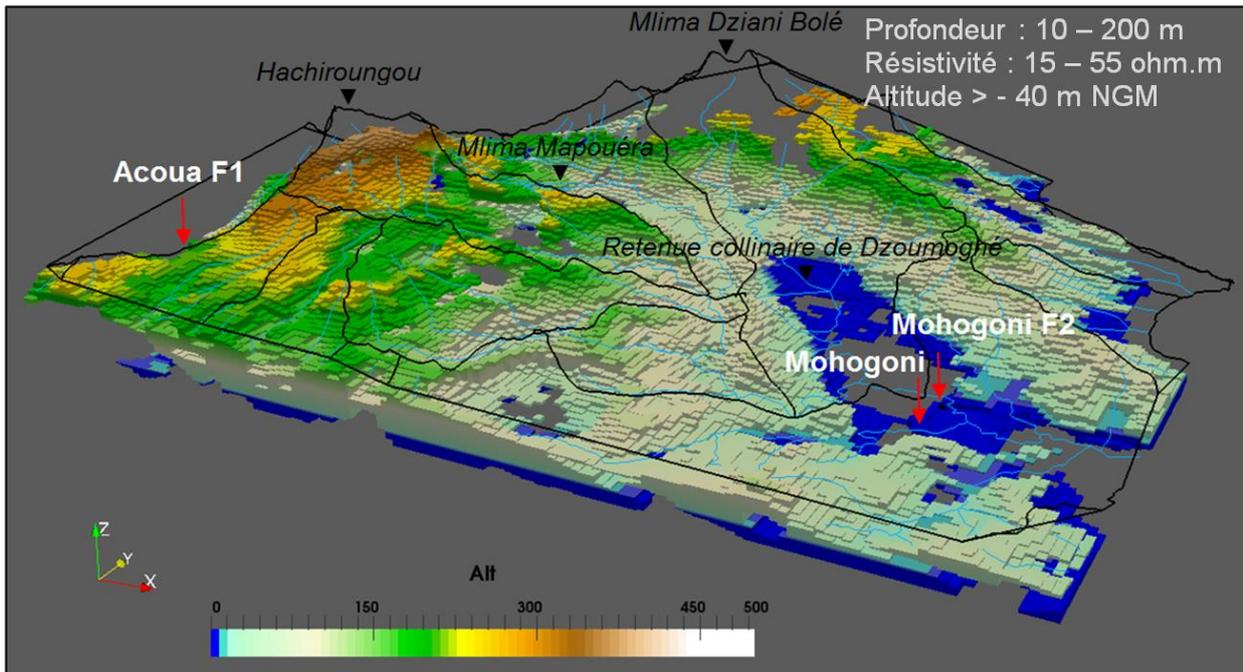


Illustration 25 : Formation de résistivités comprises entre 15 et 55 ohm.m de d'altitude supérieure à -40 m NGM dans le secteur étudié (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)

Il existe bien une corrélation entre la géologie et la géophysique mais il est difficile d'isoler la formation identifiée comme productive. Le contact avec les formations adjacentes et sous-jacentes n'est pas marqué en TDEM. Les hétérogénéités observées à l'échelle de l'affleurement ne se traduisent pas par des fluctuations géo-électriques de grande amplitude. De plus les propriétés hydrodynamiques de ces hétérogénéités lithologiques sont fluctuantes en fonction de la nature du matériau, de son degré d'altération, de la géométrie, etc.

Dans le cas de la délimitation de l'Air d'Alimentation de Captage du forage de Mohogoni F2, les données TDEM n'ont donc pas la précision nécessaire pour apporter les informations complémentaires voulues quant à la connectivité présente entre les différentes formations encaissantes.

5.2.2. De la formation à la PNAC

Dans le cas où les données TDEM ne permettent pas d'isoler la formation captée et de délimiter la PNAC, d'autres données hydrogéologiques peuvent être utilisées à cet effet.

Existe-t-il des données hydrogéologiques supplémentaires ?

Comme indiqué précédemment, au cours du pompage longue durée de 72 heures sur Mohogoni F2, un pompage a eu lieu sur le captage Mohogoni (12302X0025) mettant en évidence la continuité hydraulique entre ces deux ouvrages.

Cette information ne permet pas de délimiter la PNAC de Mohogoni F2 mais permet cependant de supposer que ces deux ouvrages exploitent le même aquifère et que leur PNAC se cumulent.

5.2.3. De la PNAC à l'AAC

**L'AAC sera prise égale
au BV topographique**

En l'absence de données hydrogéologique permettant la délimitation de la PNAC, **l'AAC prise sera égale au BV topographique du forage.**

Comme indiqué précédemment, il y a une continuité hydraulique entre Mohogoni F1 et F2. L'AAC délimitée prendra donc en compte les BV topographiques des deux ouvrages. L'AAC de Mohogoni avait été délimitée en 2012 (rapport BRGM/RP-57622-FR) et sera entièrement incluse dans l'AAC délimitée dans ce rapport (Illustration 26).

La limite avale sera déterminée à partir de la zone d'appel du forage, en utilisant l'outil développé sous Excel pour Vernoux et al. 2007 et utilisé par Wuillemier et al. (2009), et à partir des paramètres suivants, déterminés dans le rapport de fin de travaux et demande de prélèvement BRGM/RP-63351-FR du forage de Mohogoni F2 :

- transmissivité : $T = 6,0.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- gradient : 1,7 % ;
- débit de pompage : 60 m³/h ;
- angle que fait l'écoulement par rapport à l'axe Est/Ouest : 160°.

Cet outil nécessite de poser les hypothèses suivantes : l'écoulement est uniforme et unidirectionnel, et la nappe est supposée captive.

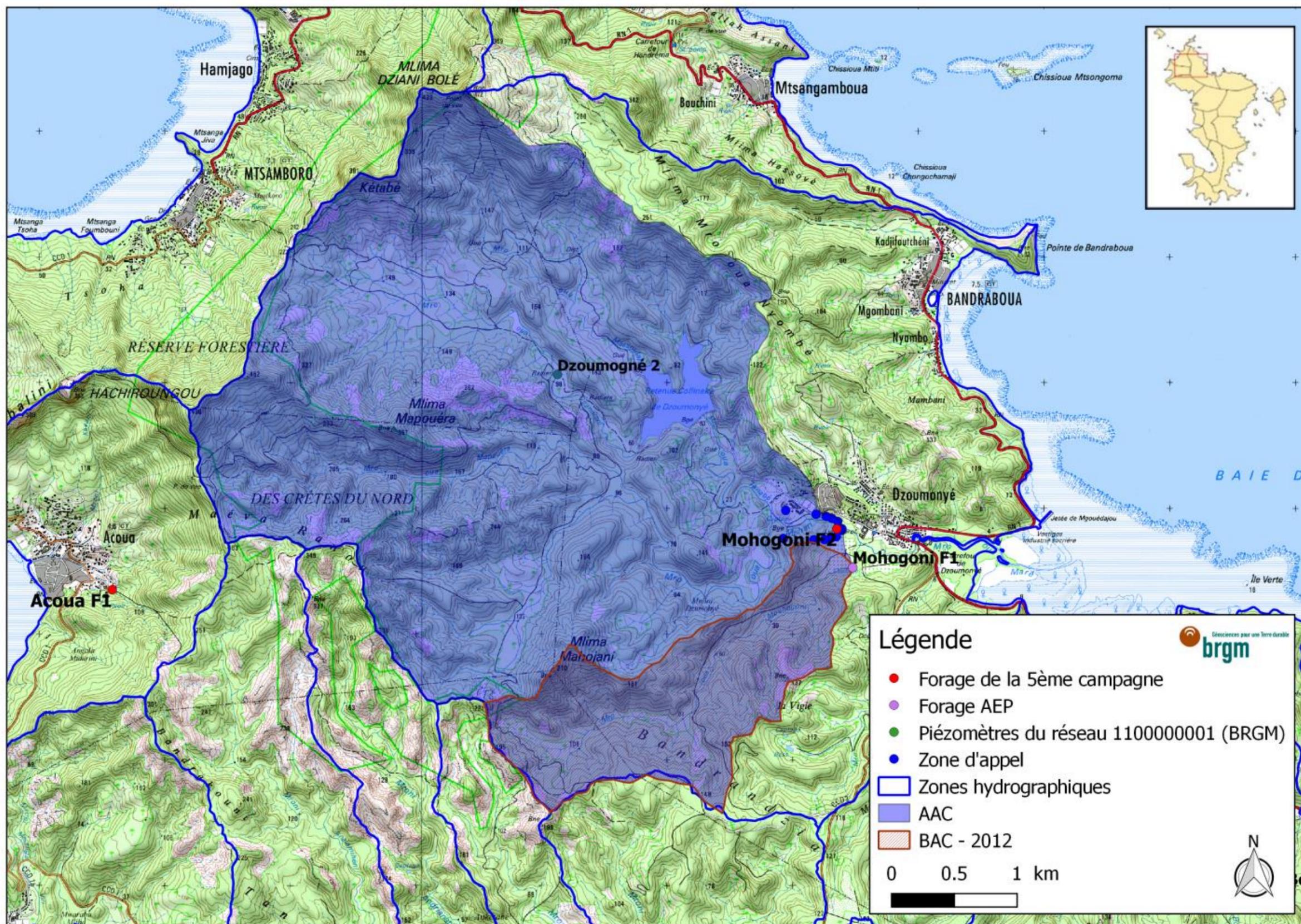


Illustration 26 : Aire d'Alimentation de Captage de Mogogoni F2 (12302X0101). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008

L'aire d'alimentation du forage de Mohogoni F2 (12302X0101) représente une surface de 18,2 km² pour un périmètre de 19,4 km (Illustration 26).

Les AAC de Mohogoni F2 et d'Acoua F1 se chevauchent sur une surface de 0,06 km². D'après le rapport BRGM/RP-62709-FR de Méthodologie de détermination des AAC à Mayotte, « Le Bassin d'Alimentation d'un Captage (BAC) – ou AAC dans notre cas – est le lieu des points de la surface du sol qui contribuent à l'alimentation du captage. Dans les cas simples, le bassin d'alimentation concerne un seul aquifère et correspond à la projection en surface de la portion de nappe alimentant le captage, en considérant la surface située entre la crête topographique et la crête piézométrique comme parfaitement infiltrante (100% de la pluie efficace s'infiltrer). Si cette surface était parfaitement imperméable (100% de la pluie efficace ruisselle), le bassin d'alimentation du captage serait plus réduit et à l'inverse le bassin d'alimentation de la source serait plus étendue. Dans la pratique une surface étant rarement totalement ruisselante ou infiltrante, **la zone située entre la crête topographique et la crête piézométrique devrait être prise en compte pour les deux bassins, les deux BAC ayant alors une partie commune** ».

5.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE

D'après le rapport BRGM/RP-63351-FR, le forage de Mohogoni F2 peut être mis en exploitation à un débit de 15 m³/h pendant une durée de 25h/24. Cette productivité, associée à l'exploitation de Mohogoni F1, correspond à une surface de PNAC de 2,96 km², surface minimum de l'AAC. L'ensemble du bassin hydrographique alimentant le captage représente une surface très étendue, de 18,2 km², 6,5 fois supérieure à la surface de PNAC calculée.

Les formations superficielles à Mayotte sont dominées par des altérites (allotérites, isaltérites) ce qui implique une participation importante des versants peu perméables par ruissellement. L'AAC ainsi délimitée prend en compte la portion de nappe alimentant le captage (PNAC) ainsi que le bassin versant topographique du forage, expliquant l'écart important entre la surface de PNAC obtenue par le calcul et la surface d'AAC obtenue à l'aide des données TDEM.

La superficie déterminée est donc supposée suffisante pour subvenir à l'alimentation du captage et la proposition de l'AAC peut être validée.

L'Aire d'Alimentation de Captage de Mohogoni F2 représente donc une surface de 18,2 km² incluant la retenue collinaire de Dzoumogné et les bassins versants de la Mro Oua Bandrani, Mro Oua Mapouéra, Mro Oua Mjihari, Mro Oua Tanabé et Mro Oua Massoulaha, ainsi que l'AAC de Mohogoni délimitée en 2012. Elle chevauche l'AAC d'Acoua F1 sur une surface de 0,06 km².

6. Délimitation de l'AAC du forage d'OUROVENI F3 – 12306X0183

6.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT

6.1.1. Contexte géographique et géologique du captage

Contexte géographique

Le forage Ouroveni F3 (12306X0183) est situé sur la commune de Ouangani, 30 mètres à l'est de la de la rivière Ouroveni, en aval du village de Combani. Il se situe à 636 mètres au sud-ouest du piézomètre Ouroveni 2 (12306X0012) (

Illustration 27).

Coordonnées du forage Ourovéni F3 :

- X (RGM04) : 513 578 m ;
- Y (RGM04) : 8 583 683 m ;
- Z : 35 m NGM.

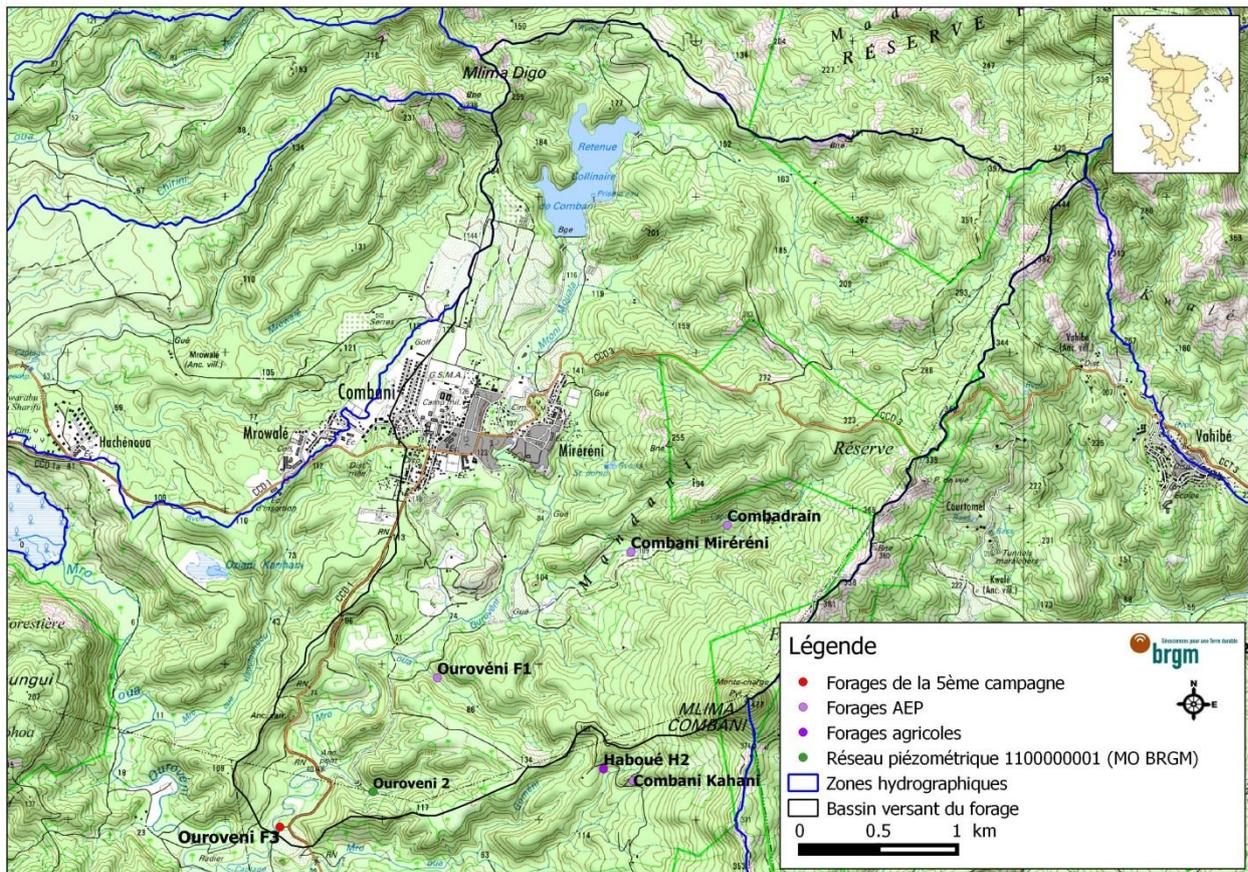


Illustration 27 : Localisation du forage d'Ourovéni F3 (12306X0183). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25©, 2008.

Contexte géologique

Les éléments suivants sont tirés du rapport de caractérisation hydrogéologique centre et sud de Mayotte (Jaouen *et al.*, 2013 ; BRGM-RP-61757-FR).

Le secteur de Combani-Kahani (Illustration 28) appartient au complexe du Nord-Est (de 4,4 Ma à l'actuel). Le complexe du Nord-Est est marqué par des reliefs jeunes délimitant deux massifs, le Digo et le Mtsapéré. Il représente la phase post-érosionnelle du volcanisme septentrional et comporte des basaltes, des basanites et majoritairement des téphrites et des phonolites qui définissent, avec les laves du Nord, une seconde lignée évolutive, moyennement sous-saturée en silice.

Le secteur de Combani-Kahani est composé de planèzes incisées par les rivières Ourovéni au nord et Coconi au sud et leurs affluents. Ces planèzes sont bordées au nord par le Massif du Digo et au nord-est par celui du Mtsapéré qui se poursuit vers le sud par les crêtes de Combani-Songoro Mbili jusqu'au Massif du Bénara qui forme sa bordure sud. A l'ouest, un massif phonolitique d'axe nord-sud composé des Mlima Tsingoni, Choungui Sohoa et Chiconi forme une barrière entre ce plateau et la mer. La rivière Ourovéni dont tous les affluents proviennent des massifs situés à l'est, marque la zone de coalescence entre les planèzes à pendage ouest et ceux à pendage est. Le secteur de Combani-Kahani est interprété comme le comblement d'une dépression par des formations volcaniques et volcano-détritiques.

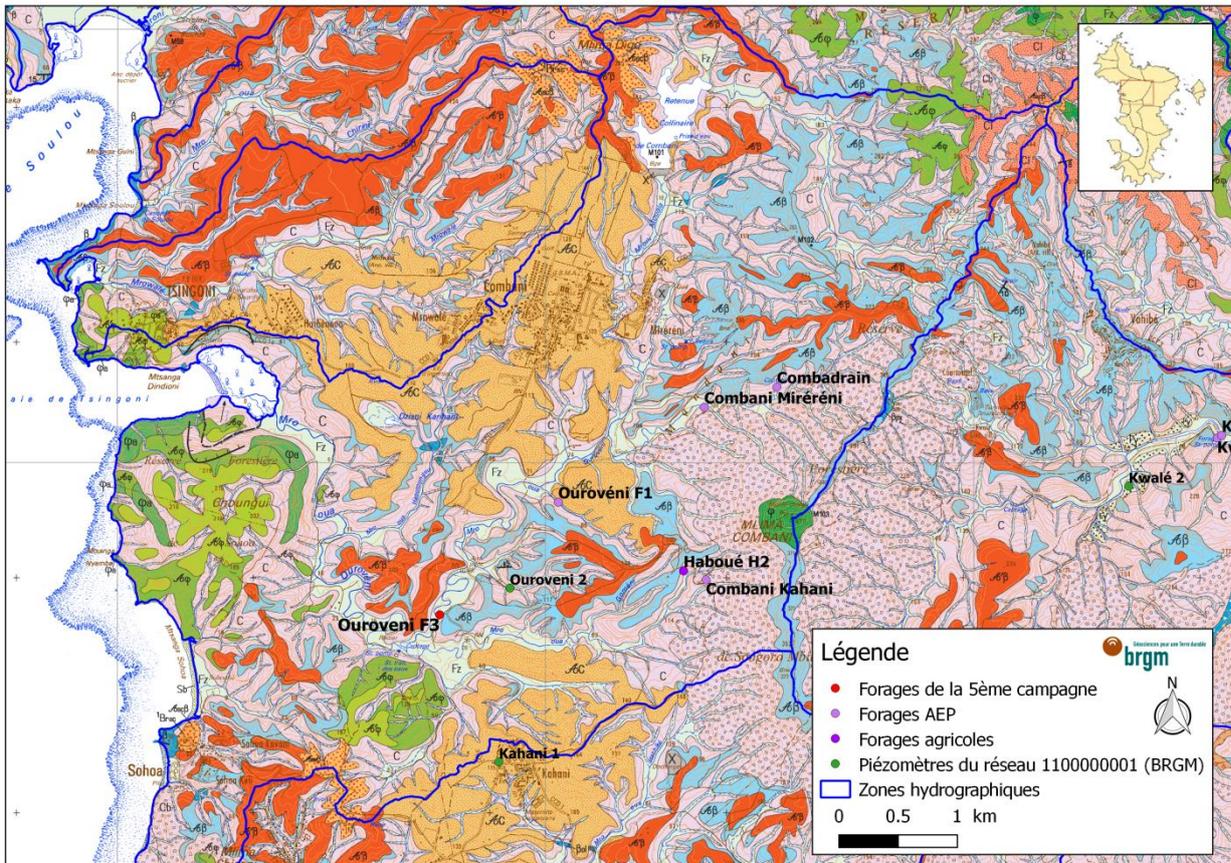


Illustration 28 : Contexte géologique du secteur du forage Orouvéni F3 (12306X0183). Fond de carte : Carte géologique de Mayotte (Lacquement et al., 2013)

La légende de la carte géologique est présentée en Annexe 1.

D'après la coupe géologique (Annexe 2) réalisée au droit d'Orouvéni F3, les formations géologiques recoupées s'organisent de la manière suivante :

- de 0 à 10 m/TN : alternance de formations laviques altérées ;
- de 10 à 29 m/TN : coulées de lave peu altérées à saines et fissurées ;
- de 29 à 59 m/TN : formations laviques très altérées ;
- de 59 à 76 m/TN : coulées basaltiques ;
- de 76 à 83 m/TN : formations cendreuses ;
- de 83 à 86 m/TN (fond du forage) : basaltes vacuolaires altérés en boules.

6.1.2. Contexte hydrogéologique du captage

Ressources en eau souterraine du bassin hydrologique

Le tableau ci-dessous (

Illustration 29) présente le bilan hydrologique calculé pour le bassin versant de l'Orouvéni, à partir de l'ensemble des estimations et hypothèses énumérées dans la partie méthodologie.

Station pluvio.	Pluviométrie (mm/an)	ETR (mm/an)	RU (mm/an)	Peff (mm/an)	Ruissellement (mm/an)	Infiltration (mm/an)
-----------------	----------------------	-------------	------------	--------------	-----------------------	----------------------

Coconi	1680	1056	100	524	366,8	157,2
---------------	------	------	-----	-----	-------	-------

Illustration 29 : Tableau récapitulatif du bilan hydrologique du pluviomètre de Coconi

Surface de la zone d'alimentation du captage

Les essais par pompage réalisés sur le forage Ourovéni F3 ont révélés la possibilité d'une exploitation du forage à un **débit de 15 m³/h pendant une durée de 15h/24**.

$$S_{km^2} = \frac{15 * 15 * 365.25}{157.2 * 10^3} * 10^{-6}$$

$$S = 0.52 km^2$$

La surface de la zone d'alimentation du captage est donc estimée à 0,5 km² (aire minimale de l'Aire d'Alimentation de Captage définie par la suite).

Inventaire des captages, sources et cours d'eau

Entre 1990 et 2004, 9 forages ont été réalisés dans le secteur :

- les forages de Tsingoni 1 (12306X0013), Combani 1 (12306X0009), Combani 2 (12306X0010), Kahani 1 (12312X0030), Kahani 2 (12312X0031) ont été forés durant la campagne 1990-91(Mauroux et al., 1992, BRGM/RP-31615-FR). Ces forages ont recoupé des altérites résistantes (> 70 ohm.m) sur 20 à 30 mètres puis des altérites de formations laviques moins résistantes (10-50 ohm.m) sur 20 à 40 mètres environ. Aucun de ces forages ne s'est avéré suffisamment productif pour être mis en exploitation ;
- Le forage de Combani-Kahani (12306X0047) a recoupé essentiellement des formations basaltiques au sein desquelles s'intercalent des dépôts alluvionnaires. Les principales venues d'eau dont la conductivité avoisinait 230 µS/cm (max. 300-500 µS/cm) ont été recoupées au sein de basaltes entre 51 et 120 mètres de profondeur. Les essais ont permis d'évaluer une transmissivité de l'ordre de 5.10⁻⁵ m²/s et un débit d'exploitation de 8 à 13 m³/h. Ce forage est actuellement exploité pour l'alimentation en eau potable ;
- Le forage de Combani-Mréréni (12306X0038) a recoupé des laves, des pyroclastites et des alluvions. Au soufflage, les venues d'eau diffuses provenant des coulées saines de basalte ont permis d'obtenir un débit d'environ 30 m³/h avec des eaux à une conductivité mesurée entre 390 et 450 µS/cm. La transmissivité des formations aquifères est estimée à 8,4 10⁻⁵ m²/s. Ce forage est actuellement exploité pour l'alimentation en eau potable à un débit d'exploitation compris entre 6 et 10 m³/h ;
- les forages d'Ourovéni 1 (12306X0048) et d'Ourovéni 2 (12306X0012) ont respectivement été réalisés lors des campagnes de 2003 et 2004. Ces deux forages ont recoupé des horizons similaires typiques d'un remplissage de vallée par des alternances de formations volcaniques (laves, pyroclastites) et alluviales (argiles, graviers, etc.). Aujourd'hui, le premier est utilisé pour l'alimentation en eau potable au débit de 20 m³/h (venues d'eau de 6 à 24 mètres). Le second a montré une bonne transmissivité de l'ordre de 1.10⁻³ m²/s mais un très faible coefficient d'emmagasinement ne permettant une exploitation qu'à des débits inférieurs à 5 m³/h. Il a donc été aménagé comme piézomètre.

Deux sites ont également fait l'objet d'une attention particulière :

- la source captée par drains horizontaux de Combadrain (12306X0008), située 500 mètres à l'est du forage de Combani-Mréréni (12306X0038), est remarquable par le débit qu'elle produit, environ 30 m³/h, et par la dimension réduite du bassin versant topographique associé, environ 4,5 ha. La longueur et la direction des drains ne sont pas connues ;
- le Dziani Karihani (Lac Karihani) qui est le seul plan d'eau douce naturel de Mayotte se situe également sur ce secteur. Cet espace naturel abritant une importante faune aviaire est géré depuis 2006 par le Conservatoire du Littoral. Il s'agit d'un petit bassin qualifié d'endoréique même s'il existe un petit exutoire dans sa partie Sud-Est fonctionnant par surverse lors des forts épisodes pluvieux. La nappe doit y être subaffleurante.

Définition des caractéristiques de l'aquifère capté

Le rapport de fin de travaux et de déclaration de prélèvements du forage Orovéni F3 présente les caractéristiques de l'aquifère capté.

Les pompages d'essais réalisés au droit du forage ont permis de définir les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté, qui sont les suivants :

- transmissivité : $T = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- coefficient d'emmagasinement : $S = 4,0 \cdot 10^{-4}$;

L'ensemble des venues d'eau provient des niveaux basaltiques fissurés et altérés. La principale venue d'eau étant localisée au fond du forage, au niveau des basaltes altérés. Une venue d'eau de moindre importance a également été recoupée à l'interface de basaltes altérés et de basaltes plus sains.

L'aquifère capté par le forage d'Orovéni F3 présente les caractéristiques suivantes :

- un caractère **captif** : le forage traverse des niveaux aquifères confinés sous des formations plus ou moins altérées et argilisées. La principale venue d'eau du forage se révèle même être artésienne de quelques centimètres au-dessus du niveau du sol ;
- des formations à **porosité de fracture** (laves) ;
- une **forte variabilité latérale et verticale** liée à l'alternance de dépôts laviques, volcanoclastiques et volcanosédimentaires, à l'origine de la **variabilité des caractéristiques hydrodynamiques** du milieu engendrent un compartimentage des réservoirs ;
- des venues d'eau situées au niveau de transitions lithologiques ;
- une minéralisation importante pouvant être le fait d'un temps de résidence important des eaux de cet aquifère ;
- une **intrusion saline limitée** à la frange littorale.

Une alimentation de cet aquifère par le nord-ouest et le sud-est est supposée.

En milieu volcanique altéré, il est délicat de s'avancer davantage dans la représentation/ la conceptualisation des écoulements souterrains.

6.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC

6.2.1. De la résistivité à la formation

Définir une échelle
de résistivité adaptée
au secteur étudié

Le forage d'Ourovéni F3 se situe dans le centre de l'île. L'échelle de résistivité utilisée pour ce secteur est une échelle logarithmique pour laquelle les formations de résistivités supérieures à 100 Ohm.m sont figurées sur les illustrations suivantes, en bleu foncé. La borne inférieure de cette échelle a été prise à 2 ohm.m.

Comparer la coupe
géologique
du forage au(x) sondage(s)
EM le(s) plus proche(s)



Des corrélations
« lithologie – résistivité »,
« zone productive –
résistivité »
se dégagent-elles ?

Une comparaison entre la coupe de forage et le sondage TDEM le plus proche (44 m) a été réalisée (

Illustration 30).

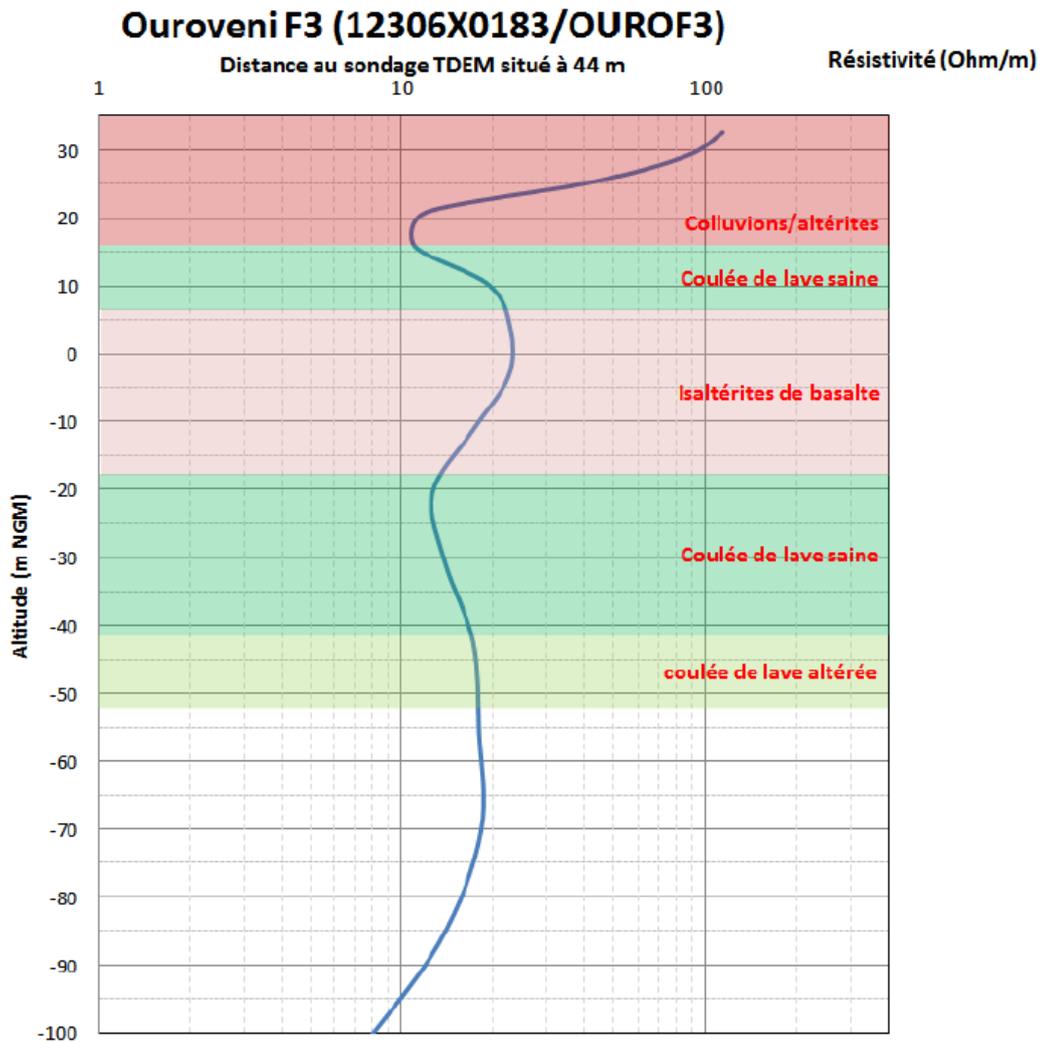


Illustration 30 : Comparaison entre le sondage TDEM le plus proche du forage (44 mètres) et la coupe géologique du forage Ourovéni F3 (12306X0183)

D'après cette comparaison, les variations de résistivité corrént avec les changements de lithologie. Plus le degré d'altération est élevé plus la résistivité est élevée.

Identifier la gamme de résistivité de la formation captée

La principale arrivée d'eau a été perçue à 83 m/TN, jusqu'à 86 m/TN (fond du forage), soit dans la formation de coulée de lave altérée. D'après le sondage TDEM le plus proche, la résistivité de cet horizon est comprise entre 15 et 20 ohm.m.

Des coupes TDEM ont été réalisées dans ce secteur dans le cadre de la Caractérisation Hydrogéologique Centre et Sud de Mayotte (BRGM/RP-61757-FR, 2013) permettant de visualiser la structure et l'extension de l'horizon aquifère recoupé par le forage (

Illustration 31 et

Illustration 32).

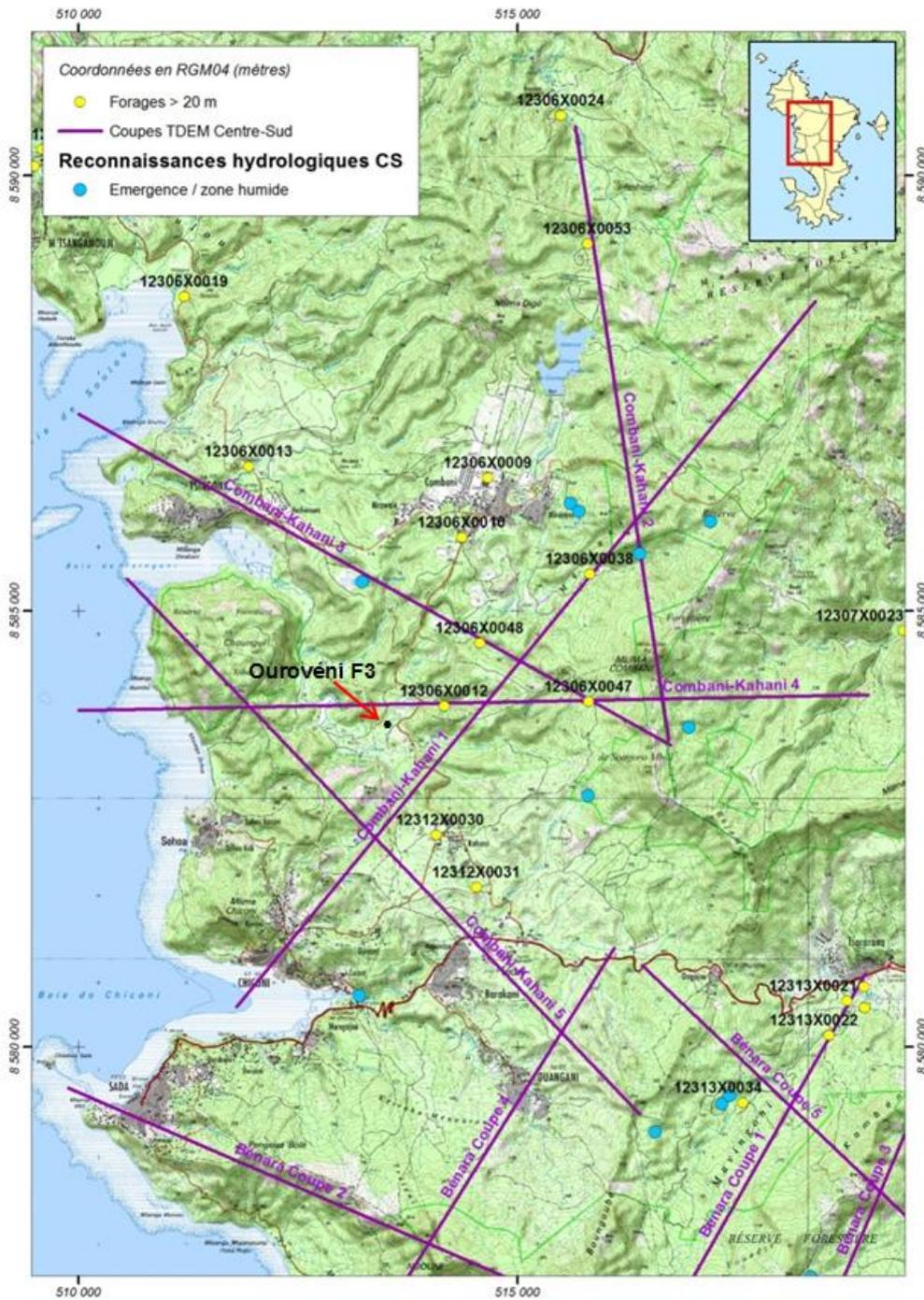
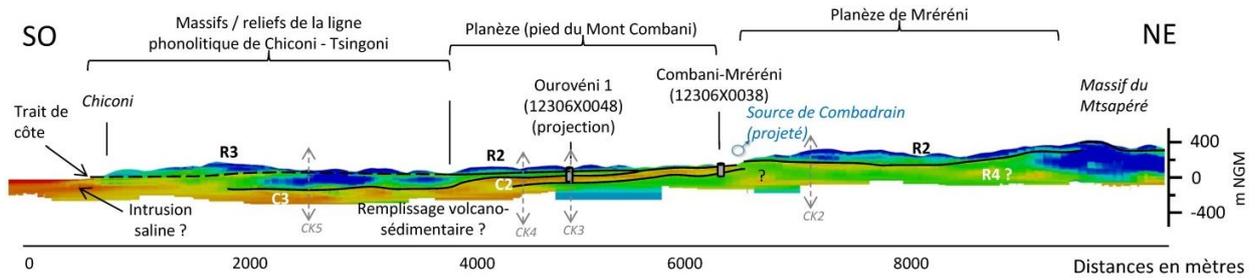


Illustration 31 : Localisation des coupes géophysiques TDEM, des sources et des forages sur le secteur de Combani-kahani (BRGM/RP-61757-FR, 2013)

Combani-Kahani 1



Combani-Kahani 4

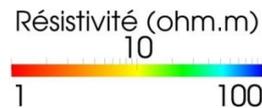
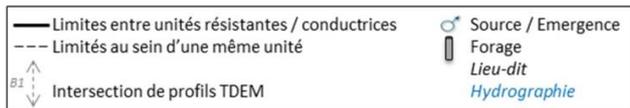
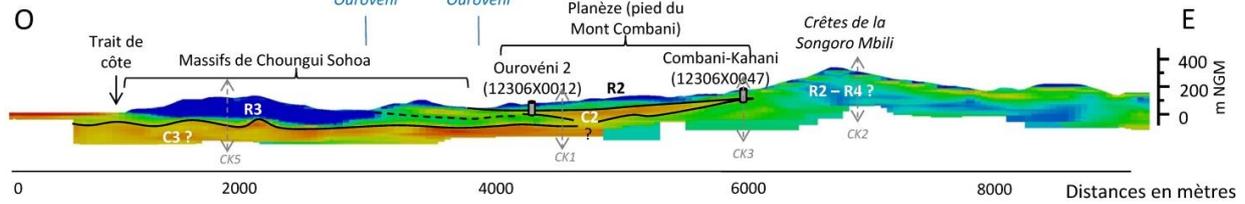


Illustration 32 : Coupes TDEM illustrant la zone étudiée (BRGM/RP-61757-FR, 2013)

D'après les coupes réalisées, les formations géologiques se démarquent par leur variation de résistivité caractéristique. L'entité initialement identifiée comme productrice, recoupée par le forage au-delà de 80 m/TN (C2 sur la coupe), comblerait une paléo-dépression comprise entre un substratum local (non visible sur cette coupe) et l'entité résistante (R3). Les deux entités conductrices (à savoir C2 et C3) semblent continues.

D'après le rapport de caractérisation hydrogéologique Centre-Sud (BRGM/RP-61757-FR), l'horizon C2 correspondant au remplissage volcano-sédimentaire d'une paléo-dépression, a été qualifiée d'aquitard. C'est cette entité qui a été visée lors de la foration d'Orouvéni F3.

La gamme de valeur correspondant à la formation géologique recherchée sera comprise entre 0 et 12 ohm.m.



Dans un premier temps, le logiciel Paraview permet de modéliser la géomorphologie de la zone étudiée (

Illustration 33).

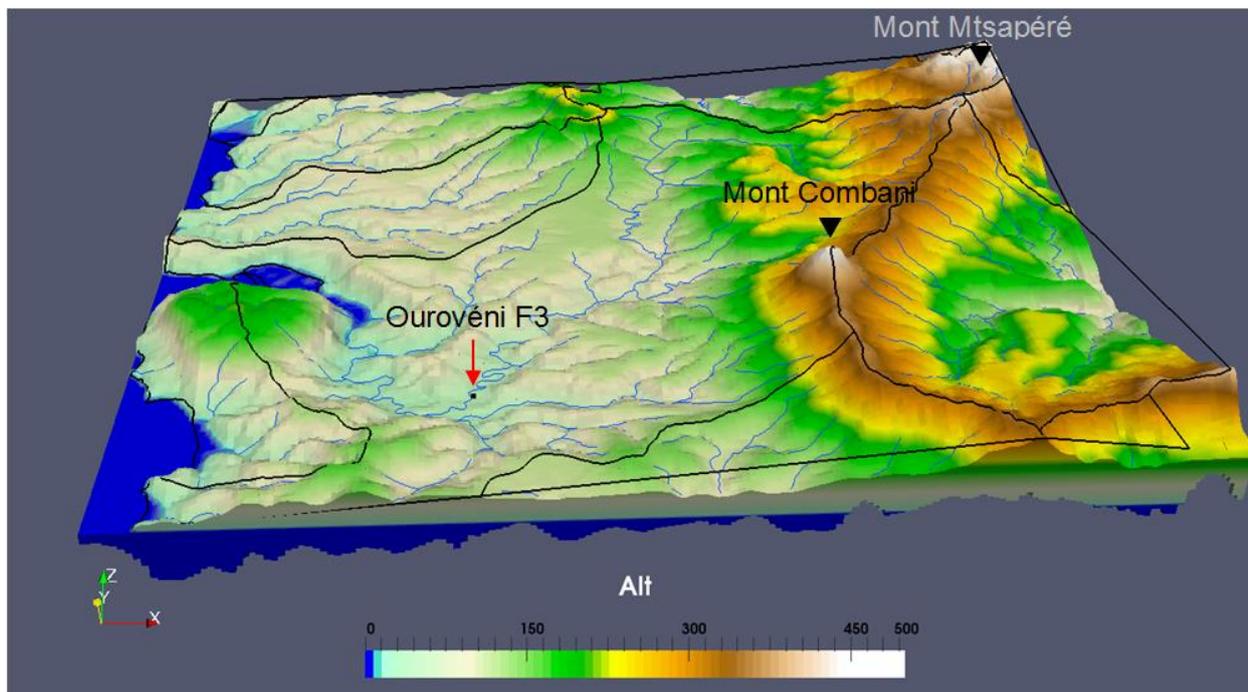


Illustration 33 : Modélisation 3D de la zone d'étude (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)

Dans un deuxième temps, l'illustration 34

Illustration 34 représente, quant à elle, les formations dont les caractéristiques sont les suivantes :

résistivité comprise entre 0 et 12 ohm.m (formation C2 sur l'

- Illustration 32) ;
- profondeurs d'investigation de 10 à 200 m/TN ;
- altitude supérieure à -86 m NGM (l'arrivée d'eau étant entre -83 et -86 mNGM).

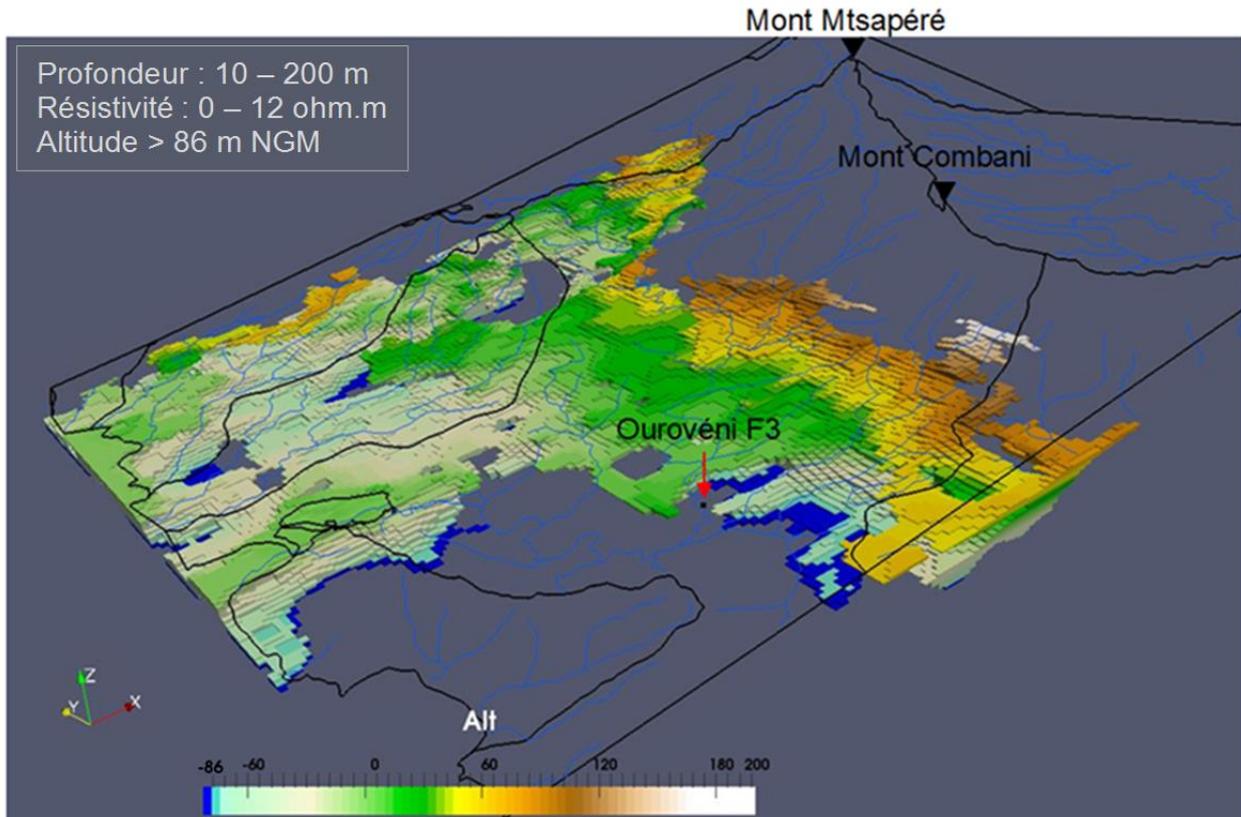


Illustration 34 : Formation de résistivités de 0 à 12 ohm.m au droit du forage Ourovéni F3 (12306X0183) (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)

D'après la figure ci-dessus, le forage n'appartient pas à la zone isolée, cependant il est important de comprendre la lecture des données TDEM. Les acquisitions géophysiques ont été réalisées à Mayotte avec un espacement des lignes de vols de 200 à 400 m en fonction de l'intérêt de la zone. Un modèle 3D de résistivité a pu ensuite être réalisé en mettant bout à bout les sondages le long des lignes de vol et en interpolant entre celles-ci. Le modèle de résistivité est soumis à des règles d'équivalence et de suppression en fonction de la profondeur (analogue à celles connues pour l'électrique) ce qui fait qu'une inversion n'est jamais unique et réclame souvent une connaissance a priori sur la profondeur ou la résistivité des terrains qui peuvent être connus par une autre méthode. De ce fait, la précision de l'interpolation peut être mise en doute, et à partir des observations faites sur les coupes géologiques et coupes TDEM les plus proches, il semblerait qu'Ourovéni F3 capte bien la formation isolée.

L'illustration 34 permet donc d'appréhender la formation recherchée sur l'ensemble du secteur. Contrairement aux observations faites dans le rapport de caractérisation hydrogéologique Centre-Sud (BRGM/RP-61757-FR), la formation isolée ne semble pas correspondre à un comblement volcano-détritique mais plutôt à une zone de planèze dont la faible résistivité s'expliquerait par le degré d'altération élevé de la coulée de lave. Cette observation est en corrélation avec la coupe géologique du forage qui indique que l'arrivée d'eau est bien au niveau d'une coulée de lave altérée de faible résistivité.

L'

Illustration 35 représente l'extension de la formation isolée sur le secteur étudié.

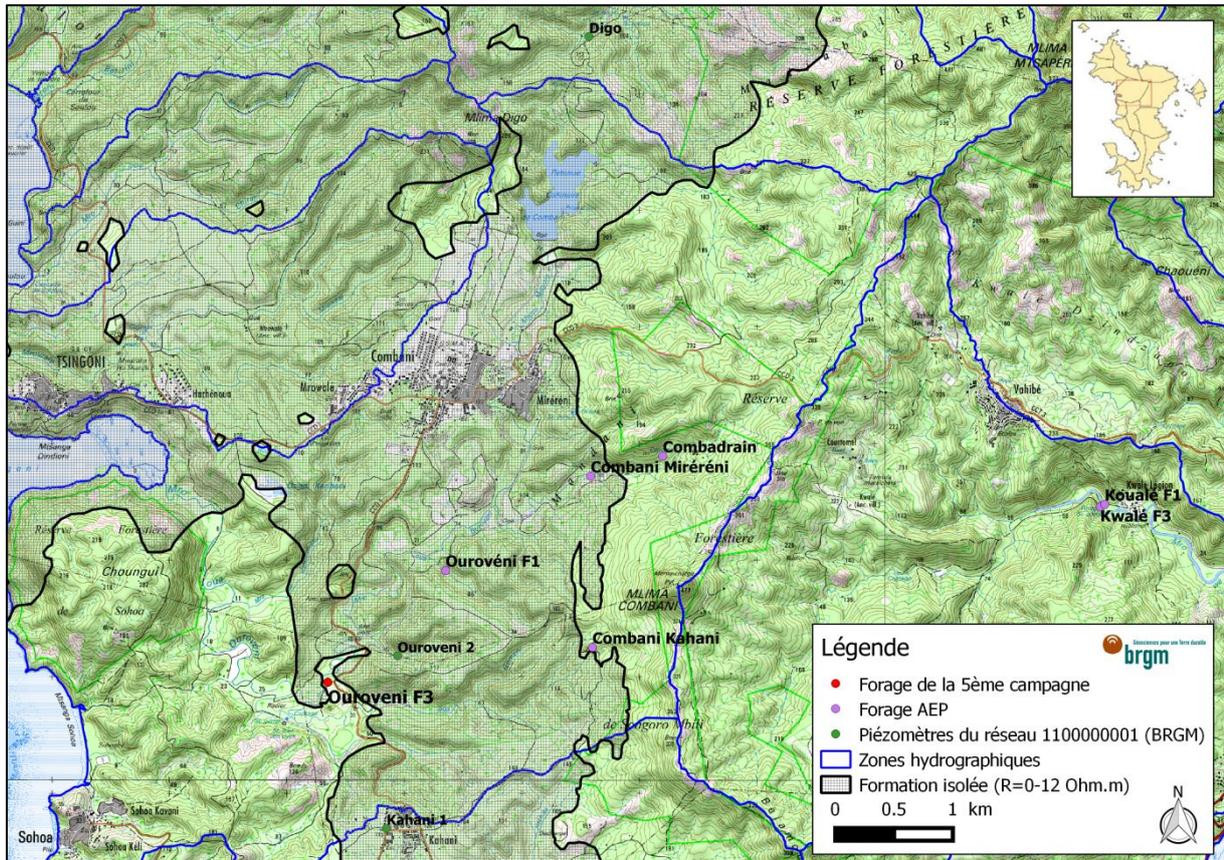


Illustration 35: Extension de la formation de résistivité comprise entre 0 et 12 ohm.m sur le secteur étudié (Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008)

6.2.2. De la formation à la PNAC

Existe-t-il des données hydrogéologiques supplémentaires ?

Au cours du pompage d'essais, le piézomètre du réseau piézométrique 1100000001 (sous MO BRGM) 12306X0012/OURO02 situé à 636 m au nord-est (dont les caractéristiques sont rapportées dans le rapport BRGM-RP-53472-FR), a été suivi au pas de temps horaire. Pendant les 72 heures d'essai, ce piézomètre n'a révélé aucune variation piézométrique en rapport avec le pompage.

Afin de délimiter la PNAC d'Ourovéni F3, les hypothèses suivantes ont été posées :

- l'écoulement se fait dans le sens des plus grandes pentes ;
- la continuité hydraulique est supposée le long de la paléovallée identifiée.

L'illustration 36, représente la méthode de délimitation de la portion de nappe alimentant le forage d'Ourovéni F3 (en rouge). (A) illustre la manière dont les limites de la PNAC ont été définies : selon les lignes de crêtes piézométriques. (B) représente la PNAC dans son ensemble, rendant compte de sa faible étendue en surface.

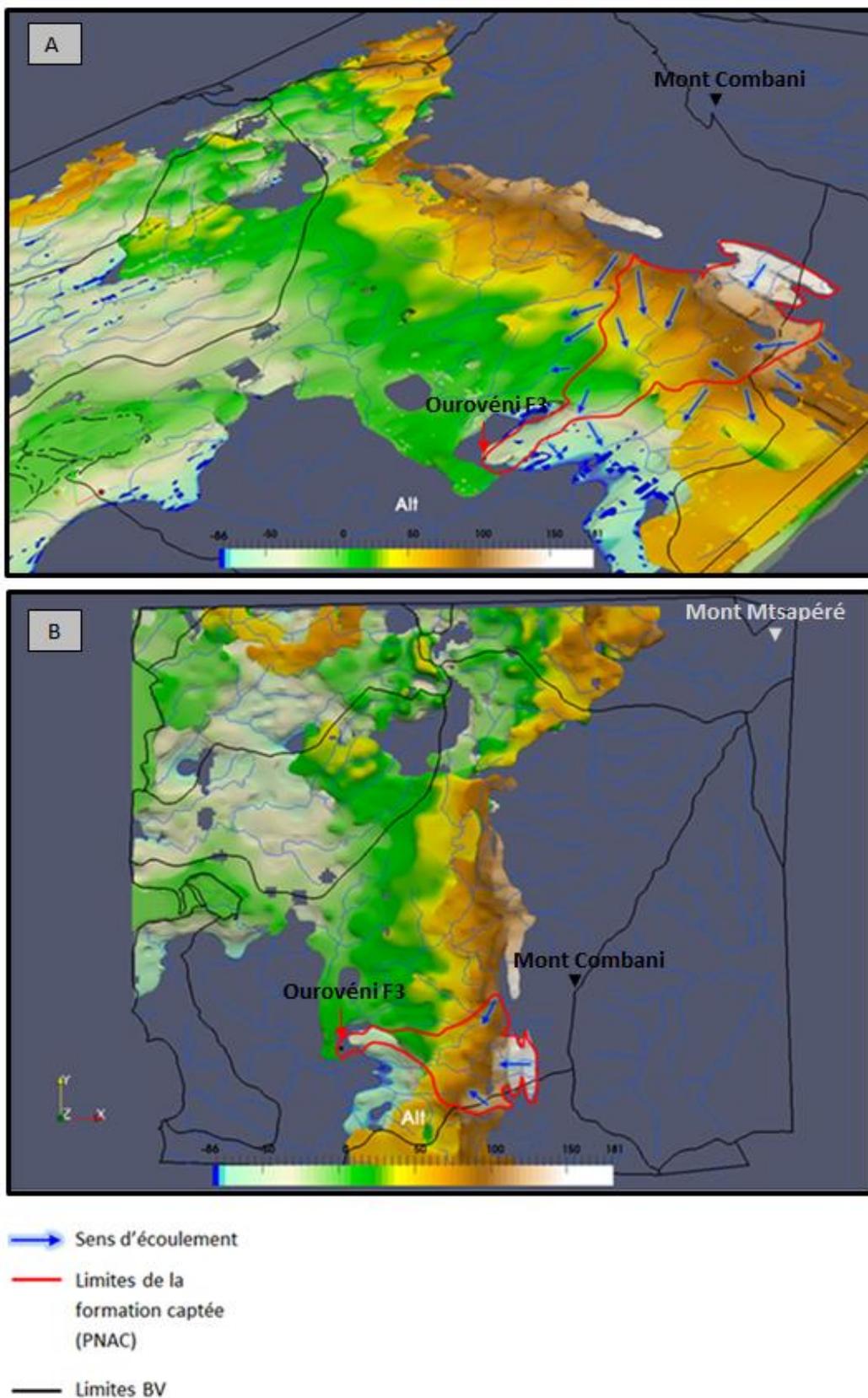


Illustration 36 : Délimitation de la PNAC d'Ourovéni F3 (12306X0183) à partir de la formation isolée de résistivité comprise entre 0 et 12 ohm.m.

L'

Illustration 37, est une projection en surface de la PNAC d'Ourovéni F3 (en rouge). Le forage appartient au BV topographique de l'Ourovéni, pourtant, la portion de nappe qui l'alimente correspond à la zone sous-jacente au BV de la Goméni. La PNAC d'Ourovéni F3 a une surface de 1,78 km².

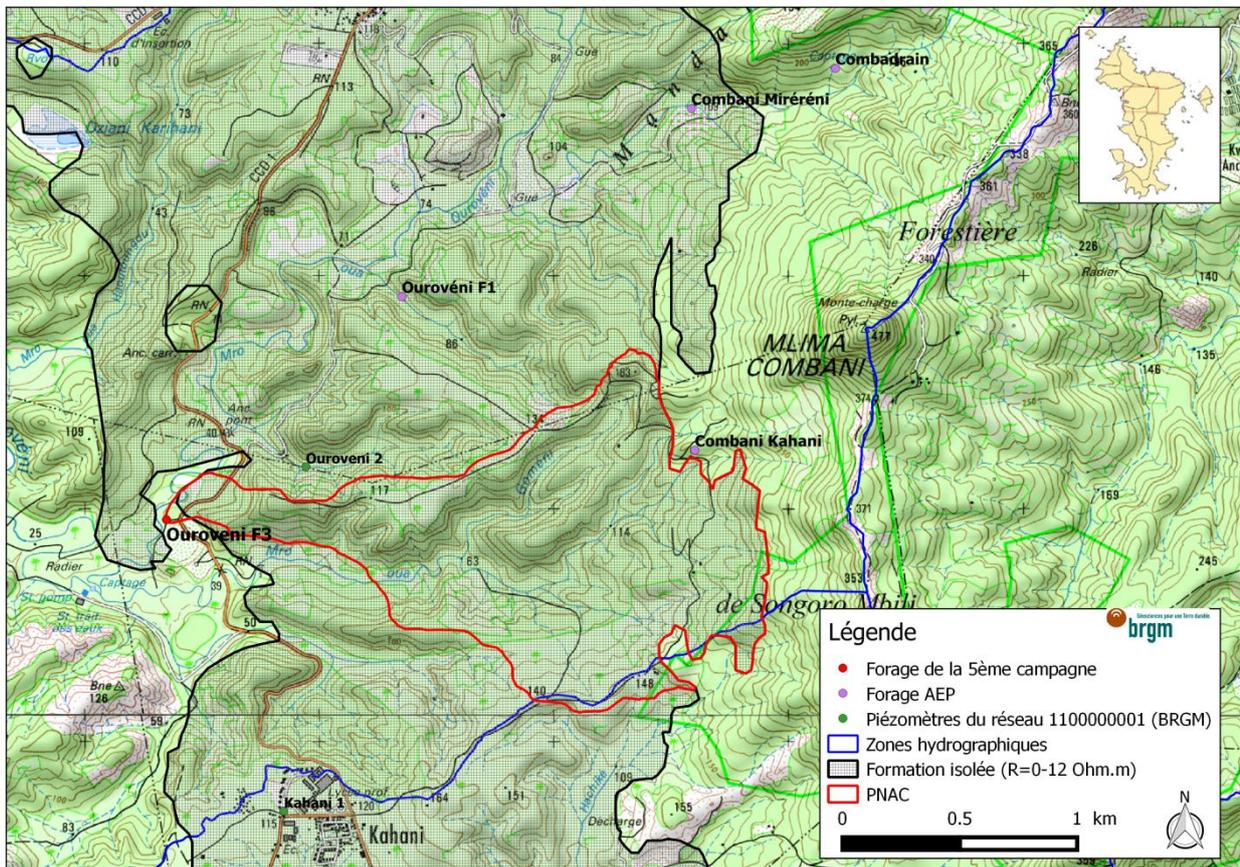


Illustration 37 : Portion de Nappe Alimentant le Captage d'Ourovéni F3 (12306X0183). Fond de carte : Carte IGN, Scan 25 ©, 2008.

6.2.3. De la PNAC à l'AAC

L'Aire d'Alimentation de Captage d'Ourovéni F3 (Illustration 38) a donc été délimitée en se basant, d'une part sur la projection en surface de la PNAC et sur la participation par ruissellement des versants donnant sur la surface de celle-ci, d'autre part sur les limites du bassin versant du forage, différentes des limites de la PNAC.

Prendre en compte le bassin versant du forage dans le cas présent semble approprié, en effet, même si la PNAC n'est pas alimentée par ce bassin versant, celui-ci drainent l'ensemble des eaux de surface vers le forage. Les formations superficielles à Mayotte étant dominées par des altérites se déclinant sous la forme d'allotérites et d'isaltérites, une participation par ruissellement des versants peu perméables est à considérer. Cette approche semble donc être la plus sécuritaire et la plus pertinente compte tenu des données disponibles et du nombre de forages et captages présents dans cette zone.

La limite en aval hydraulique du forage est déterminée à partir de la zone d'appel du forage, en prenant en compte les paramètres suivants :

- transmissivité : $T = 1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- gradient : 0,24 % ;
- débit de pompage : $Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}$;
- angle que fait l'écoulement par rapport à l'axe Est/Ouest : 45.

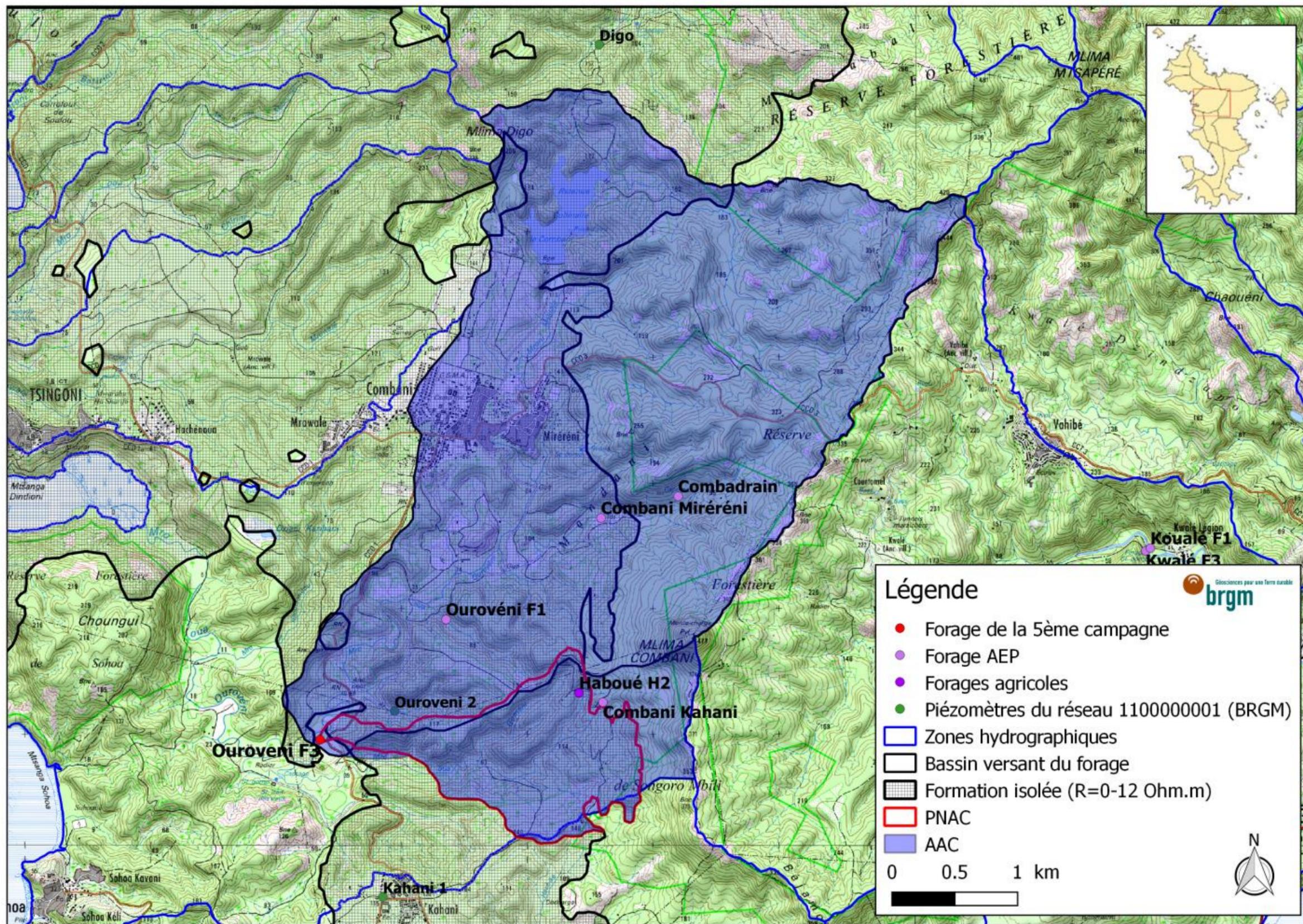


Illustration 38 : Aire d'Alimentation de Captage d'Ourovéni F3 (12306X0183).Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008.

La surface de l'AAC ainsi délimitée est égale à 16,8 km², pour un périmètre de 20,75km. Sans les données TDEM, la quasi-totalité de la PNAC n'aurait pas été prise en compte et l'AAC déterminée aurait été égale au bassin versant topographique du forage d'une surface de 14,5 km².

6.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE

D'après le rapport BRGM/RP-63418-FR, le forage Oourovéni F3 peut être exploité à un débit de 15 m³/h pendant une durée de 15h/24. Cette productivité correspond à une surface de PNAC de 1,8 km². Le bassin versant de l'Oourovéni fait une surface de 16,8 km², largement supérieure à la surface minimum de l'AAC déterminée précédemment. La surface délimitée est donc supposée suffisante pour subvenir à l'alimentation du captage et la proposition de l'AAC peut être validée.

Comme expliqué précédemment, l'écart important constaté entre la surface de PNAC calculée et la surface d'AAC obtenue à l'aide des données TDEM est dû à la nécessité de prendre en compte le bassin versant topographique du forage en plus de la PNAC dans la délimitation en surface de l'AAC, de par l'implication par ruissellement des versants peu perméables.

L'Aire d'Alimentation de Captage d'Oourovéni F3 (Illustration 38) correspond au bassin versant de l'Oourovéni (au droit du captage) auquel s'ajoute la projection en surface de la PNAC ainsi qu'une partie du BV de la Goméni. La surface de l'AAC d'Oourovéni F3 est égale à 16,8 km² pour un périmètre de 20,75 km.

7. Délimitation de l'AAC du forage de Gouloué F3 – 12307X0568

Les éléments suivants sont tirés du rapport de délimitation de l'aire d'alimentation du captage de Gouloué F3 (Castillo C., 2013 ; BRGM-RP-62826-FR).

7.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT

7.1.1. Contexte géographique et géologique du captage

Contexte géographique

Le forage de Gouloué F3 (12307X0568) se situe au Nord-Est de l'île, sur la commune de Mamoudzou et Mamoudzou et en amont du village de Passamainty, au bord de la rivière Gouloué, à environ 1 450 mètres de la mer. Cet ouvrage est le premier de la 5^{ème} campagne de recherche et d'exploitation d'exploitation des eaux souterraines de Mayotte (2011-2013) (

Illustration 39).

Le secteur d'étude s'étend du littoral Nord-Est, de Mamoudzou à la rivière Kwalé, jusqu'au sommet du massif du Mtsapéré (Illustration 39). Ce secteur englobe les bassins versants, du Nord au Sud, de : la Majimbini, la Doujani, la Gouloué et la Kwalé.

Le village de Passamainty occupe toute la partie littorale du bassin versant de la Gouloué et remonte jusqu'à 300 m en aval du forage. A 860 m au NNW, on note la présence d'une ancienne carrière de lave massive (carrière de phonolite de Chaouéni). Enfin, à 2,2 km à l'WNW, se trouve le village de Vahibé qui occupe la crête séparant les bassins versant de la Gouloué et de la Kwalé. Mis à part ces quelques espaces fortement anthropisés, les secteurs situés en amont du forage de Gouloué F3 jusqu'au Mtsapéré au Nord et jusqu'à la crête de Combani à l'Ouest sont essentiellement des espaces forestiers ou agro-forestiers.

Coordonnées géographiques du forage Gouloué F3 :

- X (RGM04) : 521745 m ;
- Y (RGM04) : 8585367 m ;
- Z : 26 m NGM.

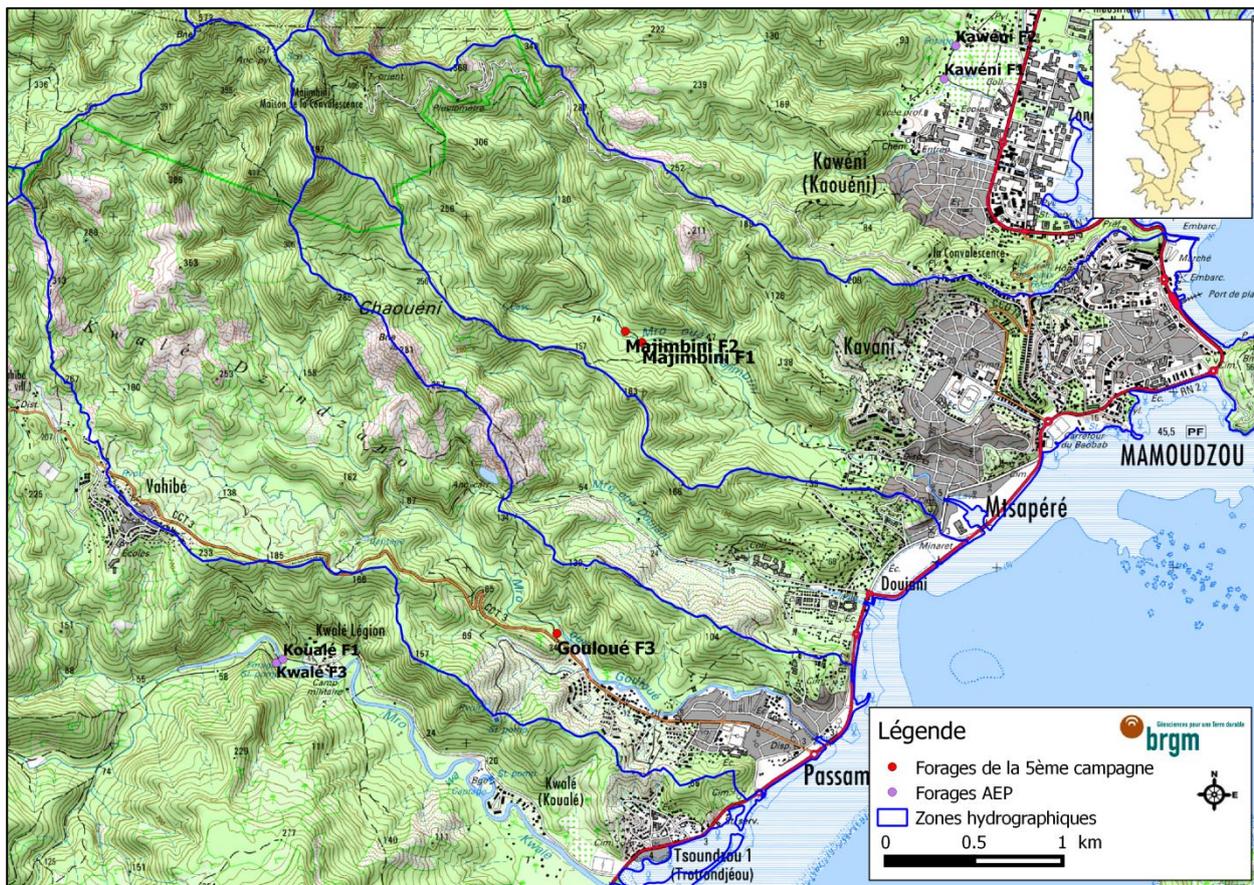


Illustration 39 : Carte de localisation du forage de Gouloué F3 (12307X0568). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008

Contexte géologique

Le massif du Mtsapéré est constitué en majeure partie de formations volcaniques interstratifiées composées de laves, de volcanoclastites et de formations volcano-sédimentaires, aux dépens desquelles des profils d'altérations ont pu se développer. Les contrastes de transmissivité entre ces niveaux sont à l'origine de petites résurgences alimentant les cours d'eau superficiels dans les parties amont, au-dessus de la cote 30 m NGM.

Le Mtsapéré s'est édifié autour de 1,8 Ma avec l'effusion successive de laves basaltiques, trachyandésitiques, téphritiques et de phonolites intrusives (ex. : carrière de Chaouéni) qui reposent sur un substratum très altéré. Ce substratum est composé de coulées essentiellement basaltiques et il a été très intensément altéré. Il affleure de manière généralisée dans les parties basses des vallées de la Kwalé et de la Gouloué et très localement dans la vallée de la Majimbini. Il a été recoupé par les forages de Gouloué 1 (12307X0045) et Kwalé 2 (12307X0023).

Les coulées de basalte d'une dizaine de mètres d'épaisseur ont comblées des paléovallées antérieures creusées dans un substrat ancien. Leur base montre quelquefois des niveaux de scories et de projections pyroclastiques métriques. Ces laves sont le plus souvent saines avec une fissuration subhorizontale et subverticale.

La fin de l'édification du massif volcanique du Mtsapéré est marquée par une phase d'activité phonolitique et par la mise en place de coulées de téphrites. Ces formations visqueuses constituent le dôme-coulée du sommet du mont Mtsapéré. Des extrusions de plus petite dimension se sont aussi mises en place à Doujani (ex. : carrière dite de Dounjani ou Chaouéni), Longoni, mont Combani.

7.2. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA GOULOUE

Les études antérieures (Bonnier et al., 2003, BRGM/RP-52551-FR ; Guilbert et al., 2008, BRGM/RP-BRGM/RP-56600-FR ; Malard et al., 2009, BRGM/RP-57109-FR) et données de forage, les données données géophysiques et la carte géologique (

Illustration 40) permettent de proposer la colonne stratigraphique suivante :

- la base du Mtsapéré est composée d'une succession de basaltes à olivine et pyroxène au sein desquels s'intercalent des niveaux scoriacés et des volcanoclastites (des cinérites aux tuffs à lapillis). Cet ensemble volcanique est profondément altéré et entaillé par des vallées. Les laves et les volcanoclastites formant ce substratum ont été reconnues dans le lit de la rivière Gouloué jusqu'à la cote 67 m NGM et en rive gauche dans la partie avale. Elles ont également été observées dans le lit de la rivière Kwalé, plus au Sud. Le point d'émission de cette entité pourrait se situer plus au Sud du sommet actuel du Mtsapéré en direction de la crête du mont Combani. Les forages de Gouloué 1 , Gouloué 2 et Gouloué F3 ont recoupé cet ensemble sur plus de 90 mètres d'épaisseur. Vers la base de cette série, les volcanoclastites (tuffs à lapillis) sont prépondérantes. Gouloué F3 a reconnu en-dessous de celles-ci, des cotes -60 à 79 m NGM, des formations détritiques argilo-sableuses rougeâtres déjà mises en évidence par la géophysique ;
- les vallées incisant le substratum précédemment décrit ont été comblées par une phase d'activité plus récente du Mtsapéré caractérisée par l'émission de formations laviques plus différenciées (basalte ankaramitiques). Ces laves ont comblé d'anciennes vallées qui forment aujourd'hui les crêtes par inversion de relief. Ces roches ont été reconnues à l'affleurement sur les crêtes et dans le lit de la rivière Gouloué des cotes supérieures à 67 m NGM ;
- en position sommitale sur le massif du Mtsapéré, d'épaisses coulées ou dômes-coulées de phonolites arment les reliefs (par exemple : carrière de Chaouéni). Ces laves massives sont inter-stratifiées de cinérites.

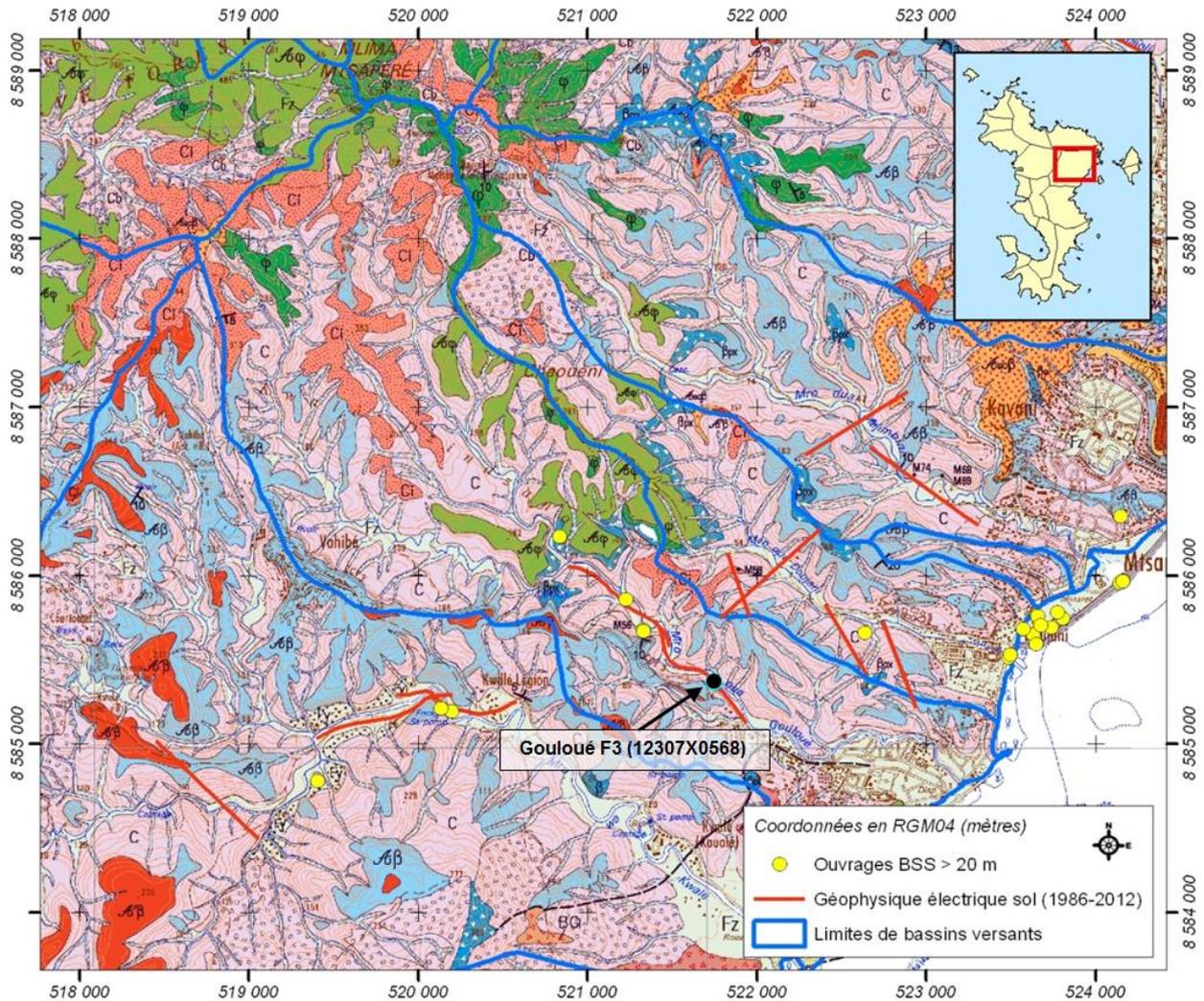


Illustration 40 - Extrait de la carte géologique (Lacquemet et al., 2013) pour le bassin versant de la rivière Gouloué ; en turquoise : le forage de Gouloué F3 (12307X0568)

La légende de la carte géologique est présentée en Annexe 1.

7.2.1. Contexte hydrogéologique du captage

Ressources en eau souterraine du bassin hydrologique

Le tableau ci-dessous (

Illustration 41) présente le bilan hydrologique calculé pour le bassin versant de la Gouloué à partir de l'ensemble des estimations et hypothèses énumérées dans la partie méthodologie.

Station pluviométrique	Pluviométrie (mm/an)	ETR (mm/an)	RU (mm/an)	Peff (mm/an)	Ruissellement (mm/an)	Infiltration (mm/an)
Gouloué	1468	850	100	518	363	155

Illustration 41 : Tableau récapitulatif du bilan hydrologique de la station pluviométrique de Gouloué

Surface de la PNAC

Les essais par pompage réalisés sur le forage de Gouloué F3 ont révélés la possibilité d'une mise en exploitation du forage à un **débit de 8m³/h, 20h/24**.

Les forages de Gouloué ne sont pas encore en fonctionnement. Mais, une continuité hydraulique entre les forages Gouloué 1 et 2 et 3 –, a été mise en évidence. Il est pris comme hypothèse que ces trois ouvrages exploitent un seul et même aquifère et que les surfaces contribuant à l'alimentation des forages se cumulent.

Forage	l (m)	Q _{exp} (m ³ /h - h/j)	Q _{annuel} (m ³ /an)	Surface PNAC (km ²)
Gouloué 1	0,155	11 m ³ /h 24H/24	183 960	1,19
Gouloué 2	0,155	21 m ³ /h 24H/24	96 360	0,62
Gouloué F3	0,155	8 m ³ /h 20H/24	58 440	0,38
Gouloué 1, 2 et F3	0,155	/	353 320	2,19

Illustration 42 : Calcul de la PNAC de Gouloué F3 en tenant compte des forages qui exploitent le même aquifère.

La superficie de la **Portion de Nappe alimentant les Captages (PNAC) est estimée à minima 2,19 km²** environ pour une RU de 100 mm (env. 2 km² pour une RU de 50 mm). Pour rappel, le bassin versant hydrographique de la Gouloué s'étend sur 7,1 km².

Inventaire des captages, sources et cours d'eau

Dans cette vallée, au forage de Gouloué F3, viennent s'ajouter un autre forage AEP et une prise d'eau en rivière :

- Gouloué 1, foré en 2003, sera mis en exploitation prochainement à un débit de 21 m³/h ;
- la prise d'eau de surface de Gouloué amont (12307X0143) dont les prélèvements annuels s'élèvent à 30000 m³.

Définition des caractéristiques de l'aquifère capté

Les formations captées par les forages de Gouloué présentent les caractéristiques suivantes :

- caractère **semi-captif** à **captif** voire **artésien** dans le cas de Gouloué F3 ;
- association de formations à **porosité d'interstice** capacitives (altérites, volcanoclastites, volcano-sédimentaires ou sédimentaires) et des formations à **porosité de fracture** (laves) ;
- **forte variabilité latérale et verticale** liées à l'alternance de dépôts laviques, volcanoclastiques et sédimentaires, à l'origine de la **variabilité des caractéristiques hydrodynamiques** du milieu, et engendrant un compartimentage des réservoirs ainsi que des phénomènes de drainance ;
- **transmissivité moyenne** de l'ordre de **10⁻⁴ m²/s** ;

- venues d'eau situées au niveau de transitions lithologiques (passes vacuolaires ou scoriacées, niveaux de volcanoclastites, etc.).

Une alimentation de cet aquifère par les parties amont est supposée avec une contribution certainement plus modérée des crêtes adjacentes voire des bassins versants adjacents.

En milieu volcanique altéré, il est délicat de s'avancer davantage dans la représentation des écoulements souterrains.

7.3. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC

7.3.1. De la résistivité à la formation

**Définir une échelle
de résistivité adaptée
au secteur étudié**

Le forage de Gouloué F3 se situe au Nord-Est de l'île de Mayotte. L'échelle de résistivité utilisée pour ce secteur est une échelle logarithmique pour laquelle les formations de résistivité supérieure à 100 ohm.m sont figurées en bleu foncé.

Afin d'imager au mieux les formations argilisées et les intrusions salines, la borne inférieure de cette échelle a été prise à 1 ohm.m.

**Comparer la coupe
géologique
du forage au(x) sondage(s)
EM le(s) plus proche(s)**



**Des corrélations
« lithologie – résistivité »,
« zone productive –
résistivité »
se dégagent-elles ?**

L'illustration 43 montre la corrélation entre les coupes géologiques simplifiées du forage de Gouloué F3 et les données du sondage TDEM le plus proche (distance inférieure à 24 m).

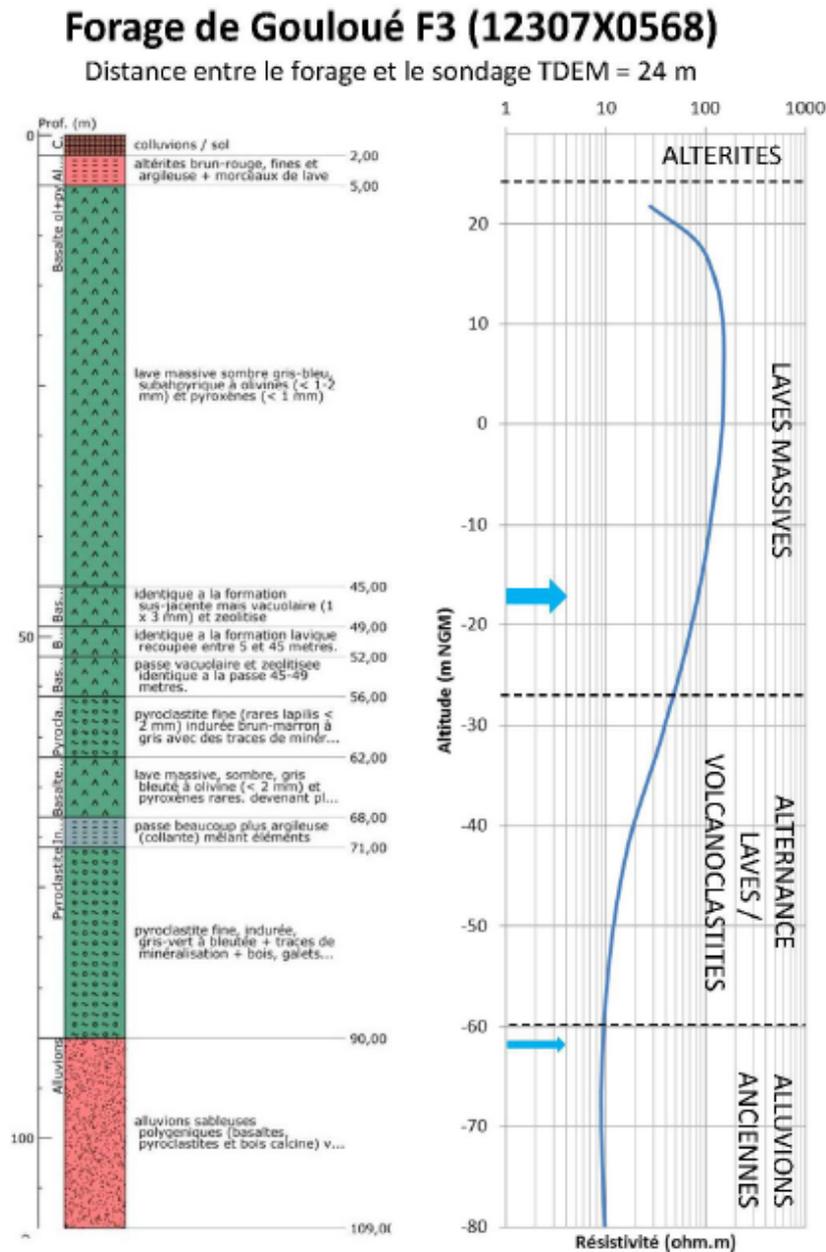
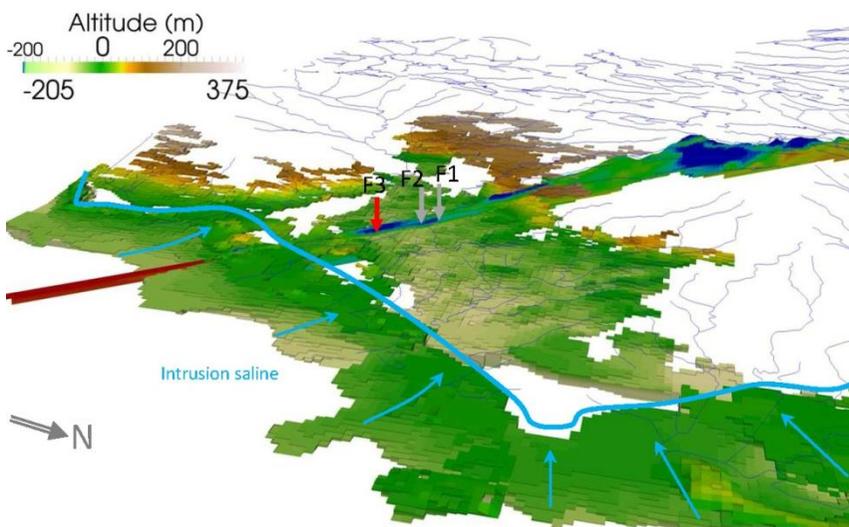
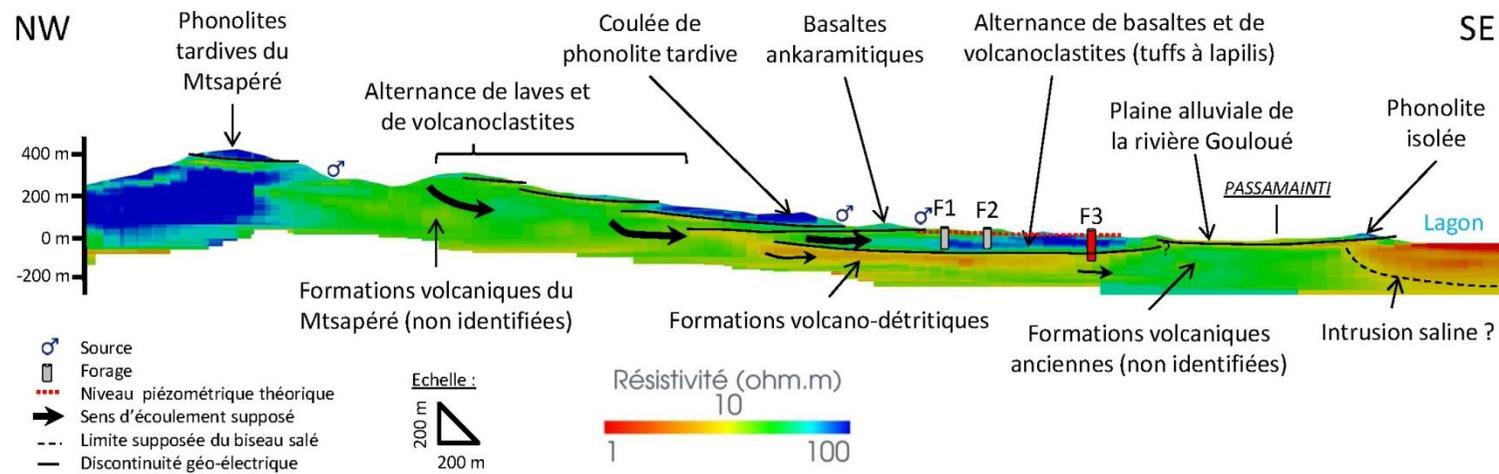


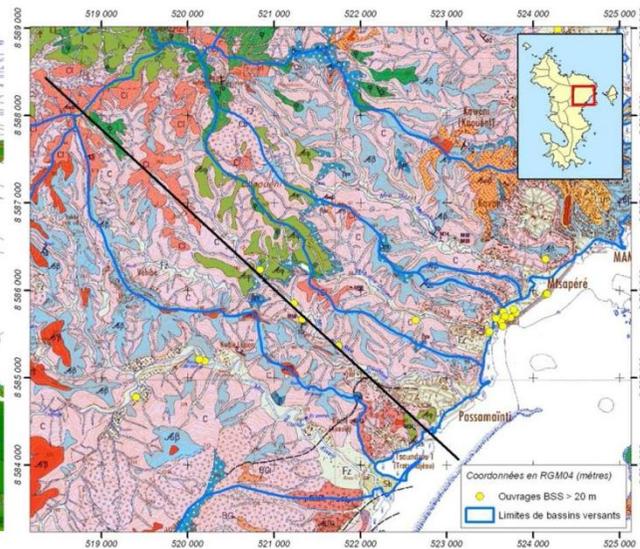
Illustration 43 : Comparaison entre la coupe géologique du forage de Gouloué F3 (12307X0568) et la résistivité des formations
 Les coupes de résistivité réalisées au droit de Gouloué F3 (

Illustration 44 et Illustration 45), permettent également de mettre en évidence la résistivité de la formation productive, afin de l'isoler par la suite.

Délimitation des AAC de la 5^e campagne de forages de Mayotte



Vue des variations d'altitude de l'isorésistivité 3-12 ohm.m, les forages de Gouloué sont indiqués par des flèches verticales et la coupes TDEM de résistivité ci-dessus a été replacé pour information (code couleur : cf. échelle de résistivité).



Localisation de la coupe sur le fond de la carte géologique de Mayotte au 1/30 000 (Lacquement et al., 2013).

Illustration 44 : Coupe de résistivité TDEM longitudinale interprétée

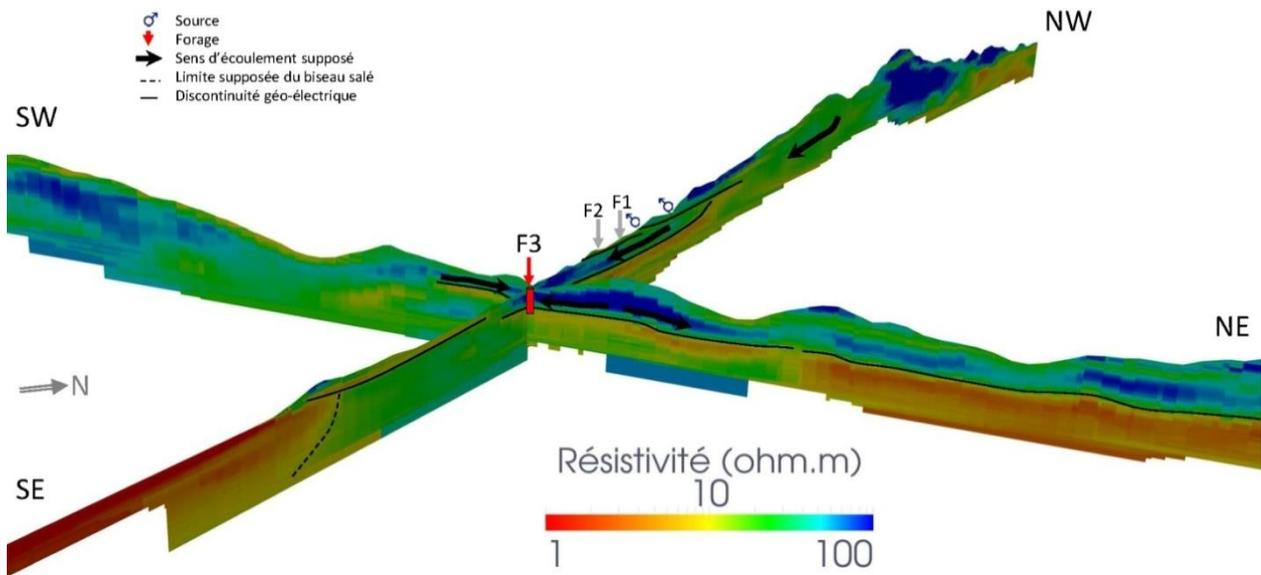


Illustration 45 : Vue 3D des coupes TDEM transversales et longitudinales passant par le forage de Gouloué F3

Existe-t-il une formation d'une résistivité donnée (ou gamme de résistivité) pouvant correspondre à la formation captée au droit du forage ?

Les formations productives recoupées en forage montrent des gammes de résistivité allant de 10 à 120 ohm.m. Cette gamme de résistivité est beaucoup trop étendue pour pouvoir y identifier des géométries particulières (Illustration 46).

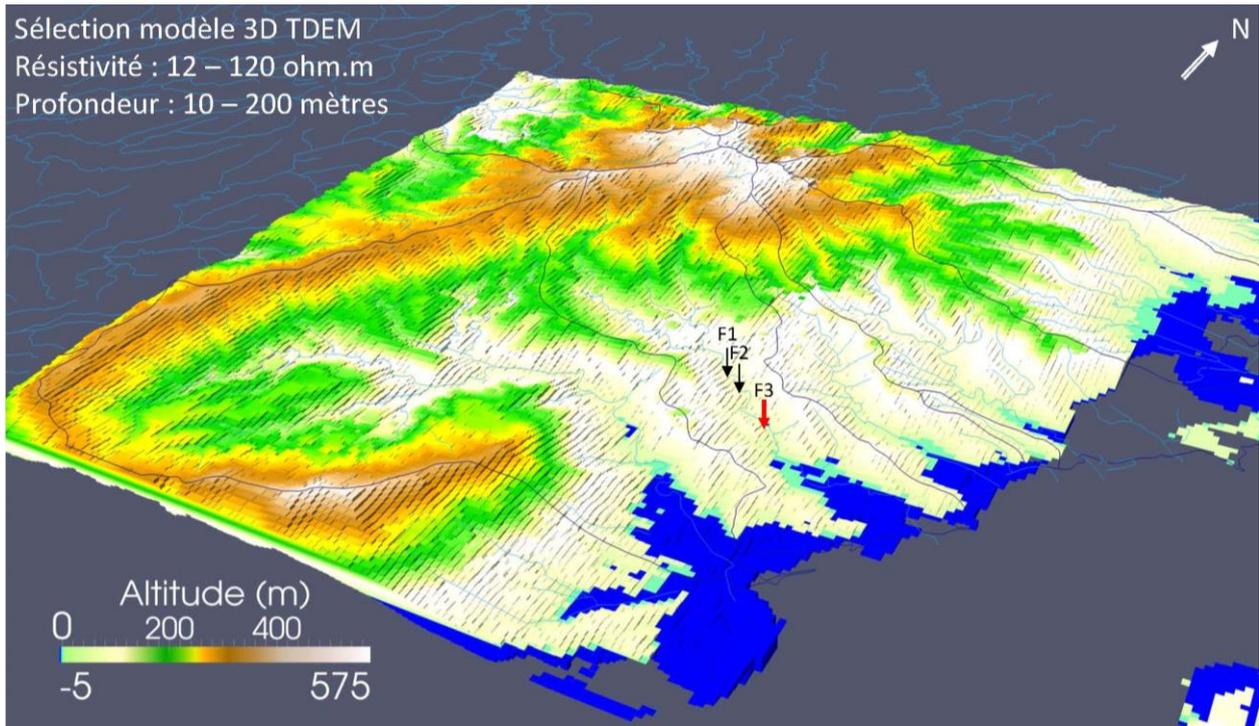


Illustration 46 : Vue du secteur de Gouloué pour une résistivité comprise entre 12 et 120 ohm.m et une profondeur d'investigation de 10 à 200 mètres

En ciblant plus particulièrement des intervalles de résistivités plus restreints, il apparaît que les contrastes de résistivités sont faibles et les variations continues.

L'

Illustration 47 permet de visualiser les formations de résistivité comprise entre 70 et 100 ohm.m pour des profondeurs d'investigation de 10 à 200 mètres. Elle permet de mettre en évidence une apparente discontinuité géo-électrique entre les forages de Gouloué 1, 2 et F3 alors que ceux-ci recoupent la même formation géologique. A l'inverse, elle met en avant une continuité géo-électrique entre les formations recoupées par le forage F3 avec les formations armant les crêtes Nord et Sud du bassin versant.

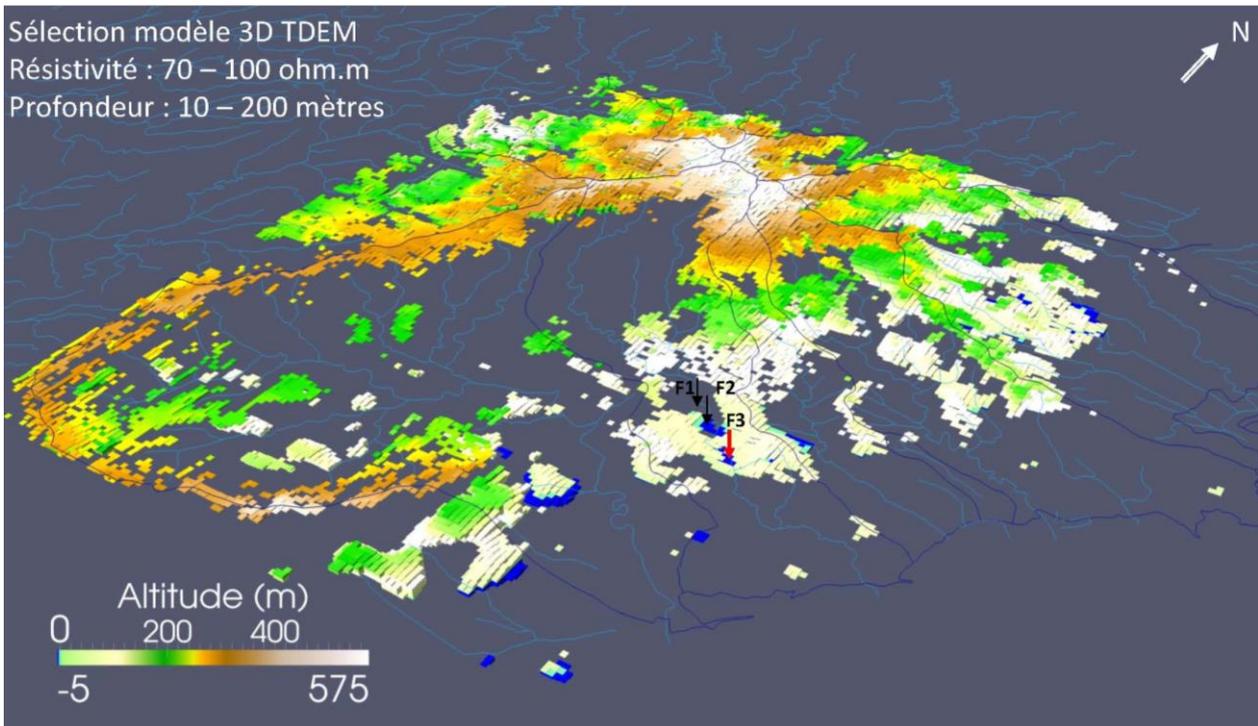


Illustration 47 : Vue du secteur de Gouloué pour une résistivité comprise entre 70 et 100 ohm.m et une profondeur d'investigation de 10 à 200 mètres
D'après l'

Illustration 47, il existe bien une corrélation entre la géologie et les données géophysiques TDEM et une interprétation cohérente avec l'évolution volcanostriucturale de l'île est possible. Cependant, il est difficile d'isoler la formation identifiée comme productive. Si le mur de celle-ci est bien délimité par une entité très résistante, les contacts avec les formations adjacentes et sus-jacentes ne sont pas marqués en géophysique TDEM. Cela est cohérent avec la construction progressive du massif du Mtsapéré depuis 1,8 Ma au sein duquel seules de petites paléosurfaces marquées par des dépôts volcanoclastiques ou des profils d'altération ont été identifiées. Les hétérogénéités observées à l'échelle de l'affleurement ne se traduisent pas par des structures géo-électriques de grande amplitude. De plus, les propriétés hydrodynamiques de ces hétérogénéités lithologiques sont fluctuantes en fonction de la nature du matériau, de son degré d'altération, de la géométrie, etc.

7.3.2. De la formation à la PNAC

Comme son nom l'indique, la Portion de Nappe Alimentant le Captage (PNAC) correspond au volume de l'aquifère qui peut être capté par le forage. Elle peut être inférieure à la formation isolée précédemment.

Existe-t-il des données hydrogéologiques supplémentaires ?

Il n'existe aucune donnée hydrogéologique permettant de préciser les relations nappe-rivière ou les modalités d'écoulement et de recharge de la nappe.

7.3.3. De la PNAC à l'AAC

**L'AAC sera prise égale
au BV topographique**

En soi, l'homogénéité globale du massif du Mtsapéré tend à considérer les caractéristiques hydrogéologiques du secteur de Gouloué comme homogènes. En d'autres termes, cela revient à considérer que :

- tout le secteur d'étude est constitué d'un ensemble multicouche de petits aquifères compartimentés séparés par des épontes moins perméables (paléosol, volcanoclastites, laves massives...);
- les écoulements suivent l'orientation générale de la pente, elle-même très proche de l'orientation structurale du massif du Mtsapéré ;
- les rivières, incisant la topographie actuelle, drainent en partie les écoulements souterrains sans toutefois que des échanges nappe-rivière ne soient avérés ;
- les aquifères s'écoulent en partie vers la mer ;
- les crêtes topographiques constituent également des crêtes piézométriques.

L'Aire d'Alimentation du Captage de Gouloué F3 (Illustration 48) sera donc délimitée en se basant sur le bassin versant topographique. Cette approche paraît être la plus sécuritaire et la plus simple tout en restant pertinente compte tenu des données disponibles. La limite aval sera contrainte par le contact entre les formations anciennes altérées et les formations aquifères recoupées par le forage. En effet, ces formations anciennes n'étant pas affectées par l'intrusion saline, celles-ci sont supposées peu transmissives.

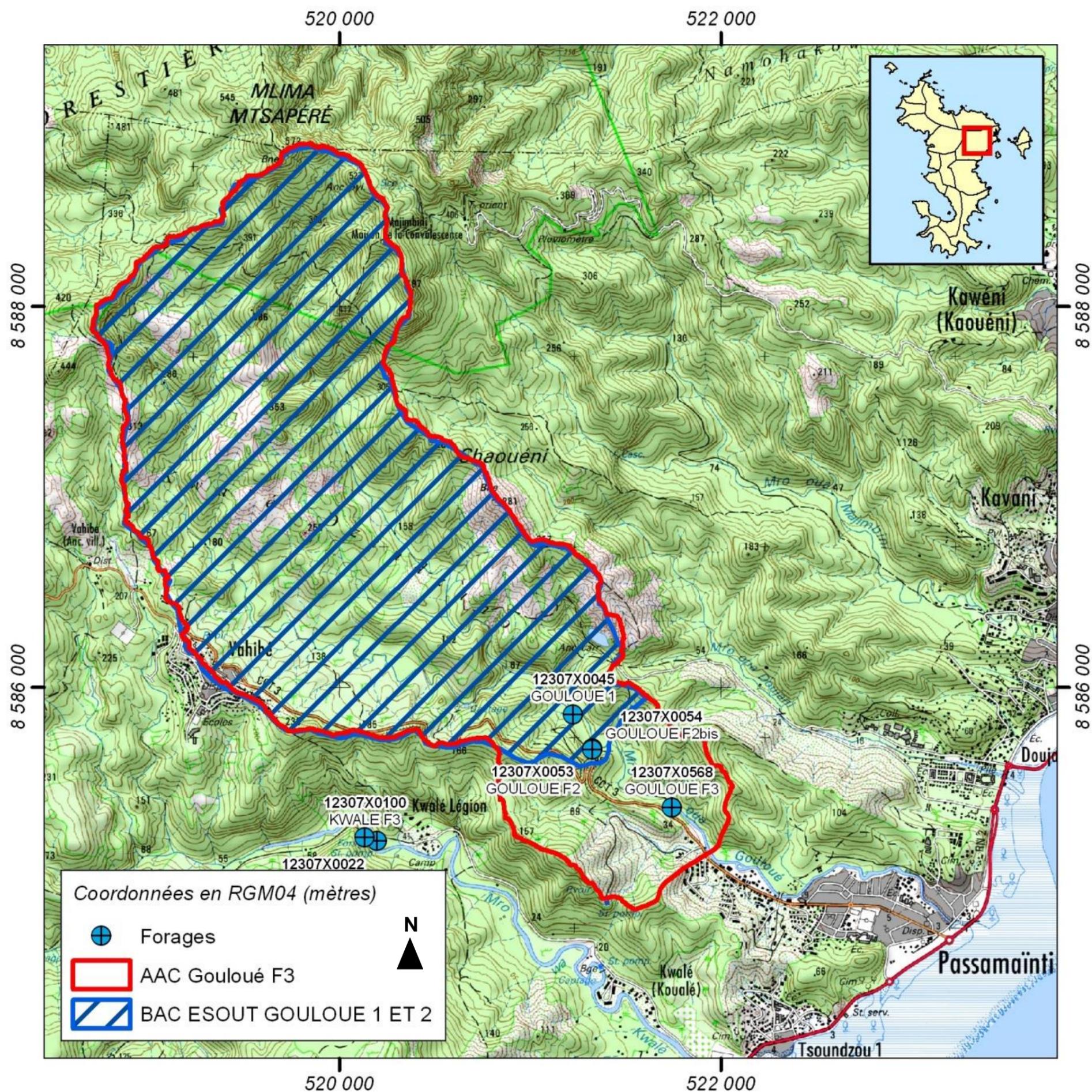


Illustration 48 : Délimitation de l'aire d'alimentation du captage de Gouloué F3 (12307X0568). Fond de carte : Carte IGN – Scan 25©, 2008

7.4. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE

D'après le rapport BRGM/RP-61748-FR, le forage Gouloué F3 peut être exploité à un débit de 8 m³/h pendant une durée de 20h/24. Cette productivité correspond à une surface qui, couplée aux surfaces des PNAC des forages les plus proches (ayant une continuité hydraulique), fait une surface de PNAC de 2,28 km², de ce fait, également la surface minimum de l'AAC.

L'Aire d'Alimentation de Captage d'Ourovéni F3 (12306X0183) correspond donc au bassin versant de la Gouloué (au droit du captage) et fait une surface de 5,97 km² pour un périmètre de 13,27 km, surface supérieure à la PNAC calculée précédemment. La surface délimitée est donc supposée suffisante pour subvenir à l'alimentation du captage.

L'AAC d'Ourovéni F3 s'étend du Mont Mtsapéré vers le nord jusqu'à la limite de Passamainty vers le sud.

8. Délimitation de l'AAC du forage de DAPANI F1 – 12317X0058

8.1. PHASE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU CAPTAGE ET DE SON BASSIN VERSANT

8.1.1. Contexte géographique et géologique du captage

Cadre géographique

Le forage de Dapani F1 (12317X0058) est situé sur la commune de Bandrélé, environ 800 m en amont du village de Dapani, au fond de la vallée, en rive gauche de la Mroni Bé. L'amont du forage est occupé par la réserve forestière des crêtes du sud.

Coordonnées géographiques du forage (Illustration 49

Illustration 49) :

- X (RGM04) : 516966 ;
- Y (RGM04) : 8566852 ;
- Z : 17 m NGM.

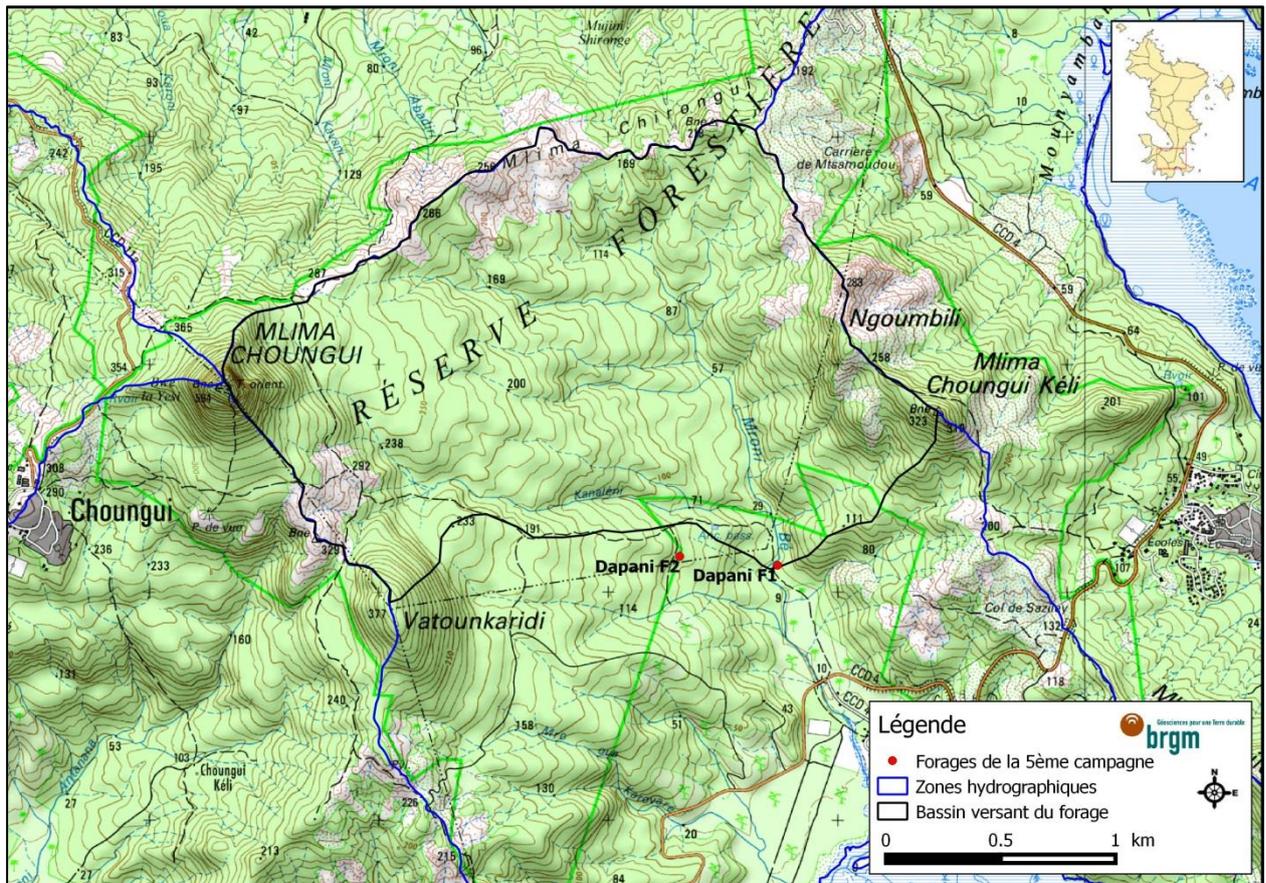


Illustration 49 : Localisation du forage Dapani F1 (12317X0058) et délimitation du bassin versant de la Mroni Bé. Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©,2008

Cadre géologique

Les éléments suivants sont tirés du rapport de caractérisation hydrogéologique centre et sud de Mayotte (Jaouen *et al.*, 2013 ; BRGM-RP-61757-FR).

De nombreuses pointes, appelées « rassi » (anciennes coulées de vallée « en inversion de relief »), marquent la morphologie du secteur sud-est de Mayotte, depuis le Rassi Nguouja (au sud-ouest) jusqu'au Rassi Bambo (au nord-est) formant ce qui est appelé « les doigts du sud ». Ces structures sont caractéristiques d'un relief ancien, où de grandes crêtes (Mlima Kani-Kéli, Tsiraka Bandrakouni, etc.) alternent avec de larges vallées (Mroni Djalimou, Mroni Bé, etc.).

Cinq formations géologiques principales peuvent donc être observées à l'affleurement dans la zone du zone du forage de Dapani F1 (Illustration 50

Illustration 50) :

- des coulées de laves épaisses qui arment les reliefs ;
- des dômes/dômes-coulées/necks/éboulis de phonolites (Mlima Choungui, Mlima Saziley, etc.) ;
- des dépôts pyroclastiques dont certains sont Rassi Nguouja, Rassi Bambo ;
- des altérites ferralitiques, pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et souvent disséquées en « padza », comme sur les hauteurs de Mbouini ;
- des colluvions et des alluvions, souvent ferralitiques.

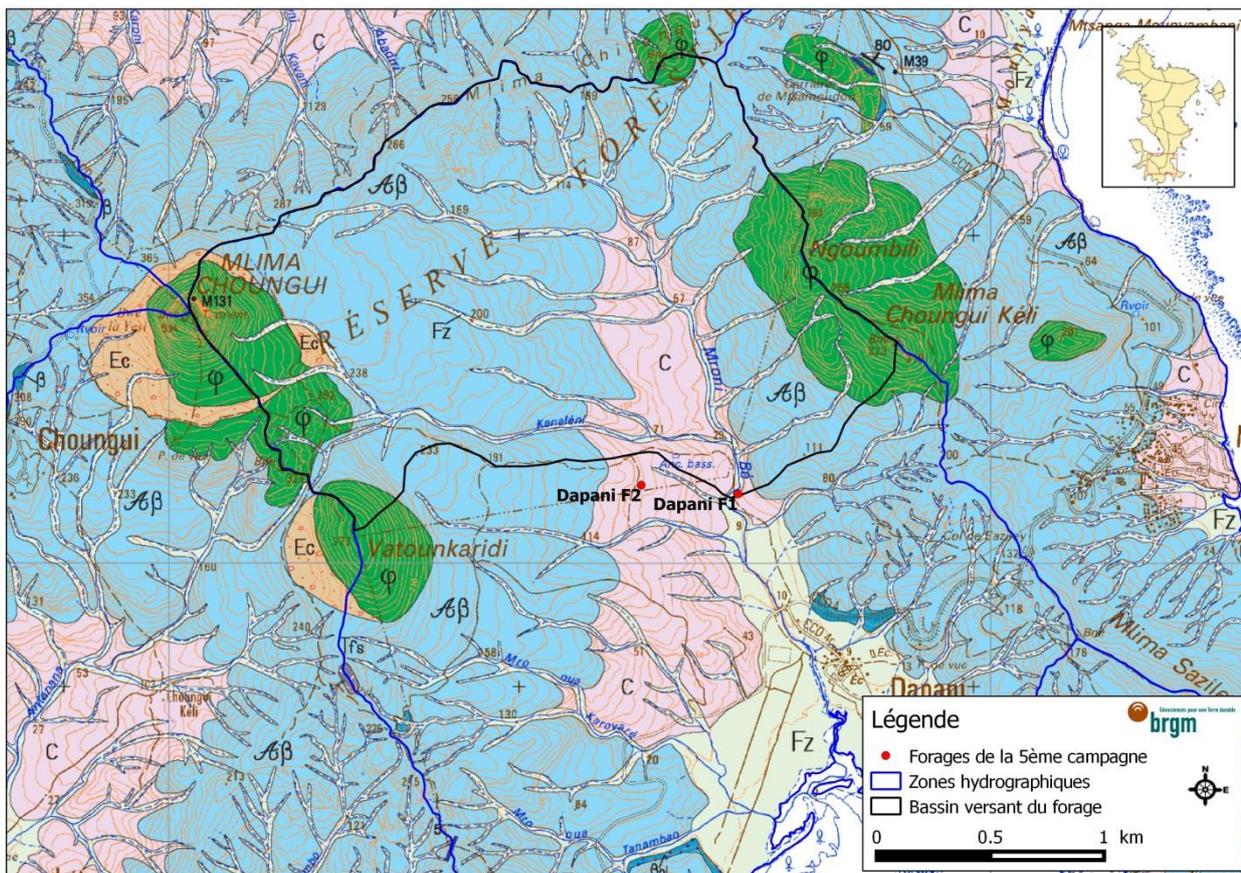


Illustration 50 : Localisation du forage et situation géologique du forage de Dapani F1(12317X0058)
(Fond de carte : Carte géologique de Mayotte, Lacquement *et al.* 2013)

La légende de la carte géologique est présentée en Annexe 1.

Le bassin versant de Dapani F1 est alimenté par des formations phonolitiques à l'est et l'ouest, auxquelles se succèdent des formations d'isaltérites de laves basiques à intermédiaires. Les forages quant à eux se situent dans une zone de colluvions.

D'après la coupe géologique (Annexe 2) réalisée au droit de Dapani F1 lors de la 5^{ème} campagne de forage, les formations géologiques recoupées s'organisent de la manière suivante :

- de 0 à 10 m/TN : colluvions (blocs basaltiques à matrice argileuse brune) ;
- de 10 à 19 m/TN : argiles d'altération rouges, puis ocres ;
- de 19 à 54 m/TN : succession de coulées basaltiques altérées/fissurées ;
- de 55 à 85 m/TN : basaltes sains et zéolitisés recoupés par des argiles d'altération rouge ;
- de 85 à 90 m/TN : argiles d'altération rouge(s) ;
- à partir de 90 m/TN : coulée basaltique altérée et fissurée.

8.1.2. Contexte hydrogéologique du captage

Ressources en eau souterraine du bassin hydrologique

Le tableau ci-dessous (Illustration 51) présente le bilan hydrologique calculé pour le bassin versant de Dapani, à partir de l'ensemble des estimations et hypothèses énumérées dans la partie méthodologie.

Station pluvio.	Pluviométrie (mm/an)	ETR (mm/an)	RU (mm/an)	Pe _{eff} (mm/an)	Ruissellement (mm/an)	Infiltration (mm/an)
Mzouazia	1114	750	100	264	184,8	79,2

Illustration 51 : Récapitulatif du bilan hydrologique de la station de Mzouazia

Surface de la zone d'alimentation du captage

Cette surface se calcule en fonction du débit d'exploitation du forage et de l'infiltration au droit du bassin versant.

Les essais par pompage réalisés sur le forage de Dapani F1 ont révélé la possibilité d'une exploitation du forage à un **débit de 13 m³/h pendant une durée de 20h/24**.

$$S_{km^2} = \frac{13 * 20 * 365.25}{79.2 * 10^{-3}} * 10^{-6}$$

$$S = 1.2 \text{ km}^2$$

La surface de la zone d'alimentation du captage de Dapani F1 est donc estimée à 1,2 km².

La surface ainsi calculée correspond à l'aire minimale de l'Aire d'Alimentation de Captage qui sera définie par la suite.

Inventaire des captages, sources et cours d'eau

Dans le secteur du forage de Dapani F1, 3 rivières pérennes ont été recensées : les Mroni Bé, Djalimou et Antanana. En amont de ces rivières se trouvent 10 émergences qui proviendraient des petits massifs alentours de Djalimou, du Choungui et du Choungui Kéli.

Par le passé, 4 forages ont été réalisés dans le secteur sud-est, à Kani-Kéli et Mronabéja (1990, 2000, 2009). Les forages de Kani-Kéli 1 (12316X0030) et Kani Kéli 2 (12316X0037) recourent uniquement des laves altérées, tandis que les forages de Mronabéja 1 (12316X0031) et Mronabéja 2 (12316X0032) traversent sur environ 30 mètres des laves altérées avant de recouper des laves saines fissurées et aquifères.

Définition des caractéristiques de l'aquifère capté

L'aquifère capté par le forage de Dapani F1 présente les caractéristiques suivantes (BRGM/RP-63394-FR) :

- aquifère **captif** ;
- gradient hydraulique de l'ordre de 0,6% ;
- formations captées à **porosité de fracture** (coulées de basaltes altérées et fissurées), secteur **peu homogène** à grande échelle ;
- transmissivité moyenne de l'aquifère : **$9,4.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** ;
- coefficient d'emmagasinement : **$2,2.10^{-4}$** ;
- débit d'exploitation : **$13\text{m}^3/\text{h}$ (20h/24)**.

L'absence de limite étanche laisse présager une bonne productivité de l'ouvrage au long terme et l'absence de limite alimentée prouve, quant à elle, la non-connexion du forage avec la Mroni Bé.

Enfin, il n'y a pas d'intrusion saline notable sur la frange littorale.

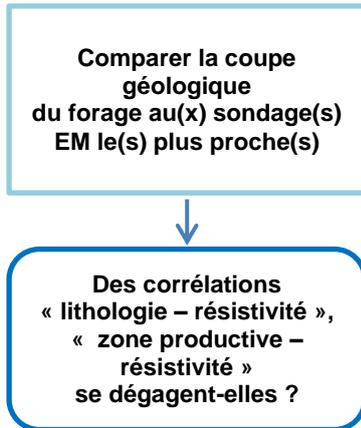
Une alimentation par les versants ouest est supposée (la représentation des écoulements souterrains est complexe en milieu volcanique altéré).

8.2. PHASE 2 : DELIMITATION DE L'AAC

8.2.1. De la résistivité à la formation

Définir une échelle
de résistivité adaptée
au secteur étudié

Le forage de Dapani F1 se situe à l'extrême sud de l'île. L'échelle de résistivité utilisée pour ce secteur est une échelle logarithmique pour laquelle les formations de résistivité supérieures à 50 ohm.m sont figurées en bleu foncé. La borne inférieure de cette échelle a été prise à 1 ohm.m.



La coupe géologique du forage a été comparée avec le sondage TDEM le plus proche, distant de 77 m (de 77 m (

Illustration 52).

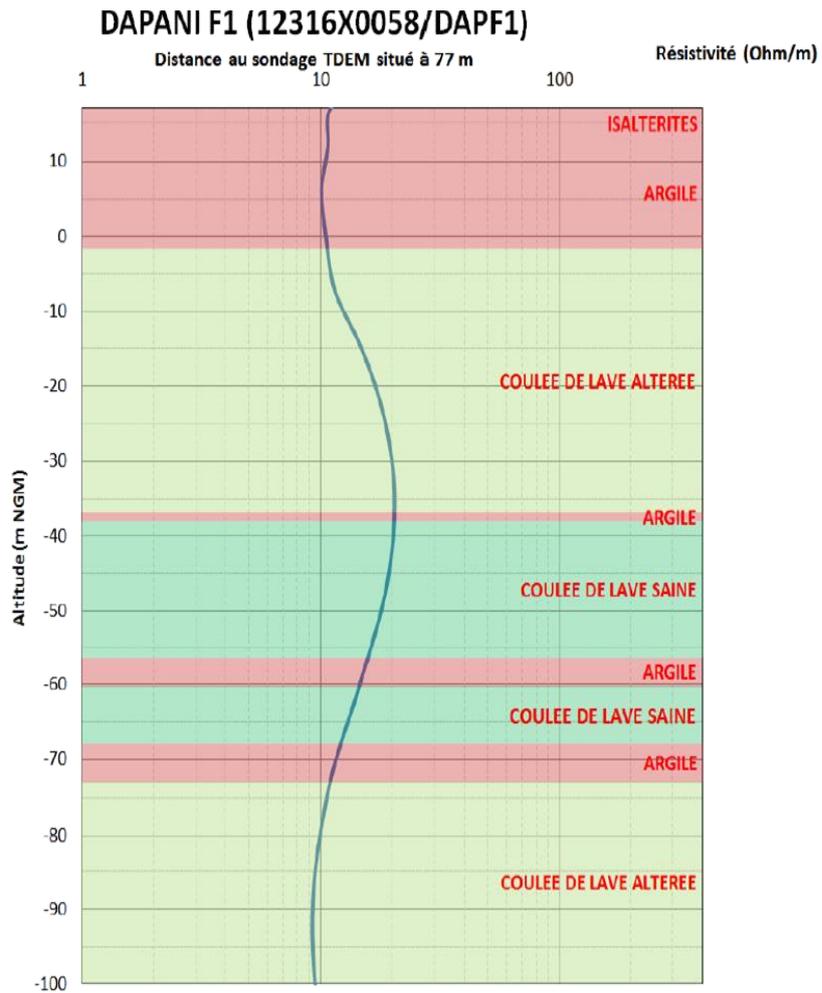


Illustration 52 : Comparaison entre le sondage TDEM le plus proche du forage (77 m) et la coupe géologique du forage Dapani F1 (12317X0058)

Sur le sondage TDEM le plus proche de Dapani F1 les résistivités mesurées varient entre 9 et 20 ohm.m, cependant la comparaison entre la coupe géologique du forage et le sondage TDEM ne permet pas de voir une corrélation nette. Le forage se trouve dans la partie sud de Mayotte, résultant de volcans plus anciens. Les coulées de lave ont subi des altérations plus avancées et les niveaux d'argiles visibles autour de -40, -60 et -70 mNGM sont en fait des niveaux très altérés des coulées basaltiques sous-jacentes.

D'après les données hydrogéologiques obtenues sur le forage de Dapani F1, c'est à 18 m/TN qu'a été rencontrée la principale venue d'eau (débit au soufflage de 15 m³/h). D'après la coupe géologique, la formation productive correspond à la coulée de lave altérée de résistivité atteignant 20 ohm.m. Les formations non productives présentent des résistivités avoisinant 10 ohm.m. La corrélation observée semble donc correspondre à une corrélation fonction de la productivité des formations.

**Identifier la gamme
de résistivité de la
formation captée**

Comme indiqué précédemment, et d'après le sondage TDEM le plus proche du forage, la formation productive captée par le forage de Dapani F1 présente une résistivité d'environ 20 ohm.m.

En complément au sondage TDEM, des coupes ont été réalisées au droit du forage Dapani F1. Elles permettent de mettre en évidence la structure et l'extension des horizons observés et notamment celles de l'horizon aquifère. Ces coupes permettent ainsi de déterminer la gamme de valeur de résistivité de la formation encaissante (

Illustration 53,

Illustration 54 et

Illustration 55 respectivement).

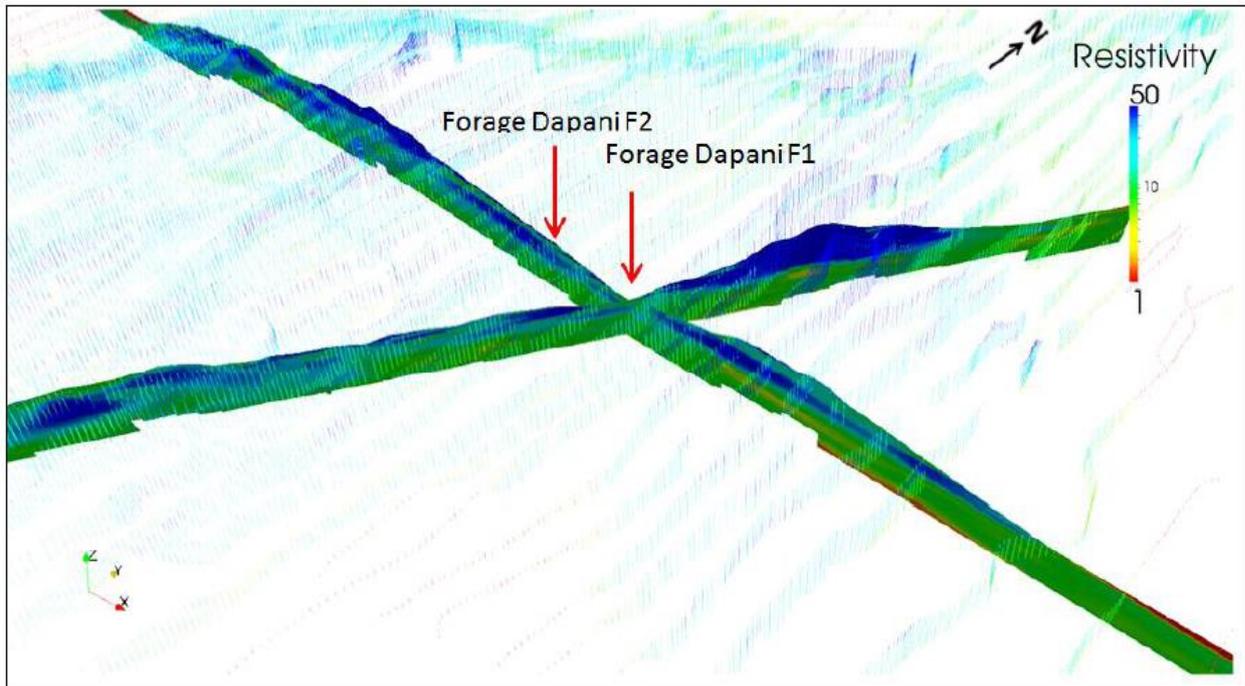


Illustration 53 : Coupes TDEM passant par le forage de Dapani F1(12317X0058)

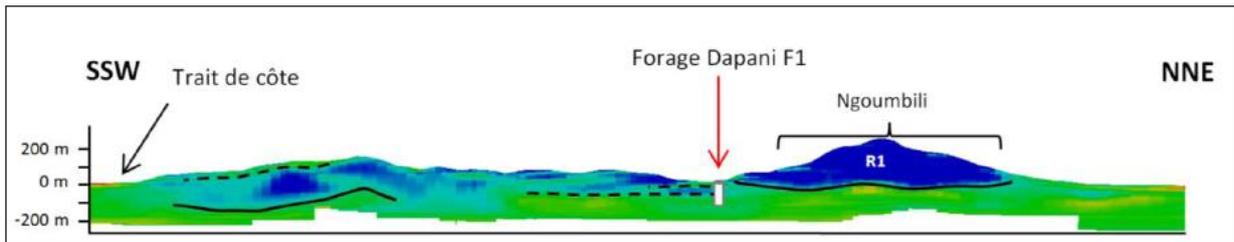


Illustration 54 : Coupe TDEM SSW-NNE passant par le forage Dapani F1(12317X0058)

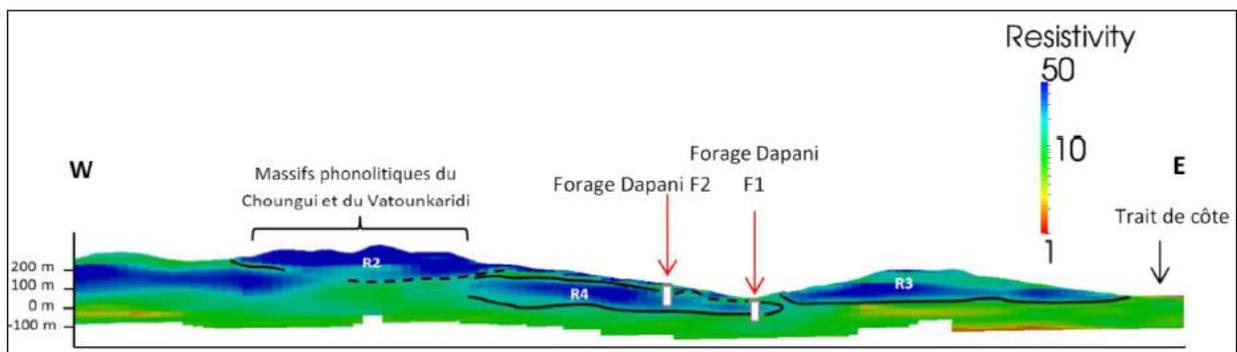
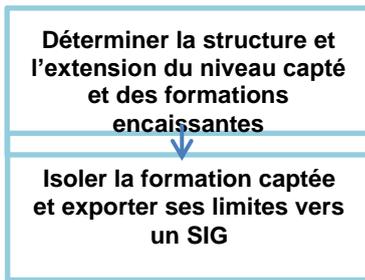


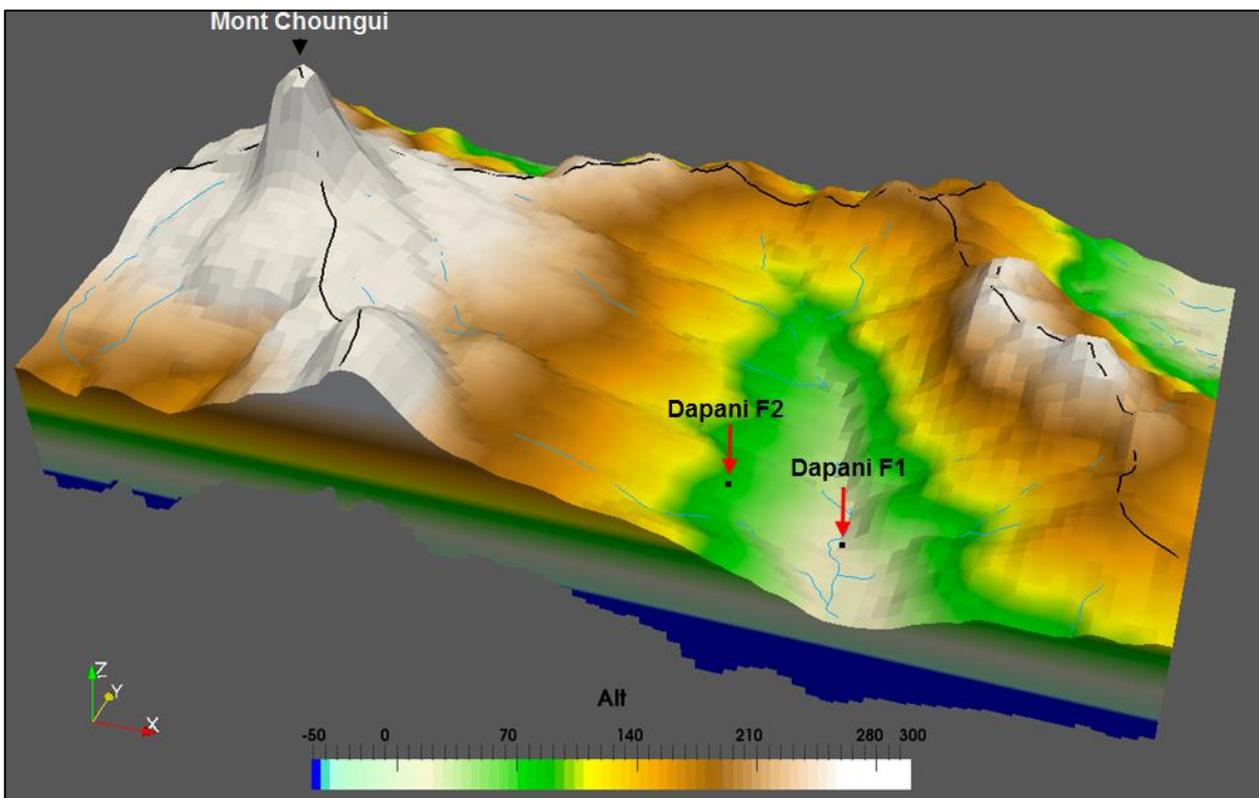
Illustration 55 : Coupe TDEM W-E passant par le forage Dapani F1(12317X0058)

Contrairement au sondage TDEM, les coupes réalisées au droit du forage Dapani F1, ainsi que le rapport d'implantation de forage BRGM/RP-60035-FR semblent indiquer que la **formation captée possède une gamme de résistivité de 20 à 50 ohm.m.**



Afin de déterminer la structure et l'extension du niveau capté et des formations encaissantes, les données TDEM ont été traitées à l'aide du logiciel Paraview.
Dans un premier temps, l'

Illustration 56, ci-dessous, permet de visualiser la géomorphologie du secteur de Dapani dans son ensemble.



*Illustration 56 : Modélisation du secteur de Dapani dans son ensemble (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)
Dans un second temps, l'*

Illustration 57 permet de visualiser les formations de résistivités comprises entre 20 et 50 ohm.m (correspondant aux formations considérées productives), pour des profondeurs de 10 à 200 m et une altitude supérieure à -100 mNGM.

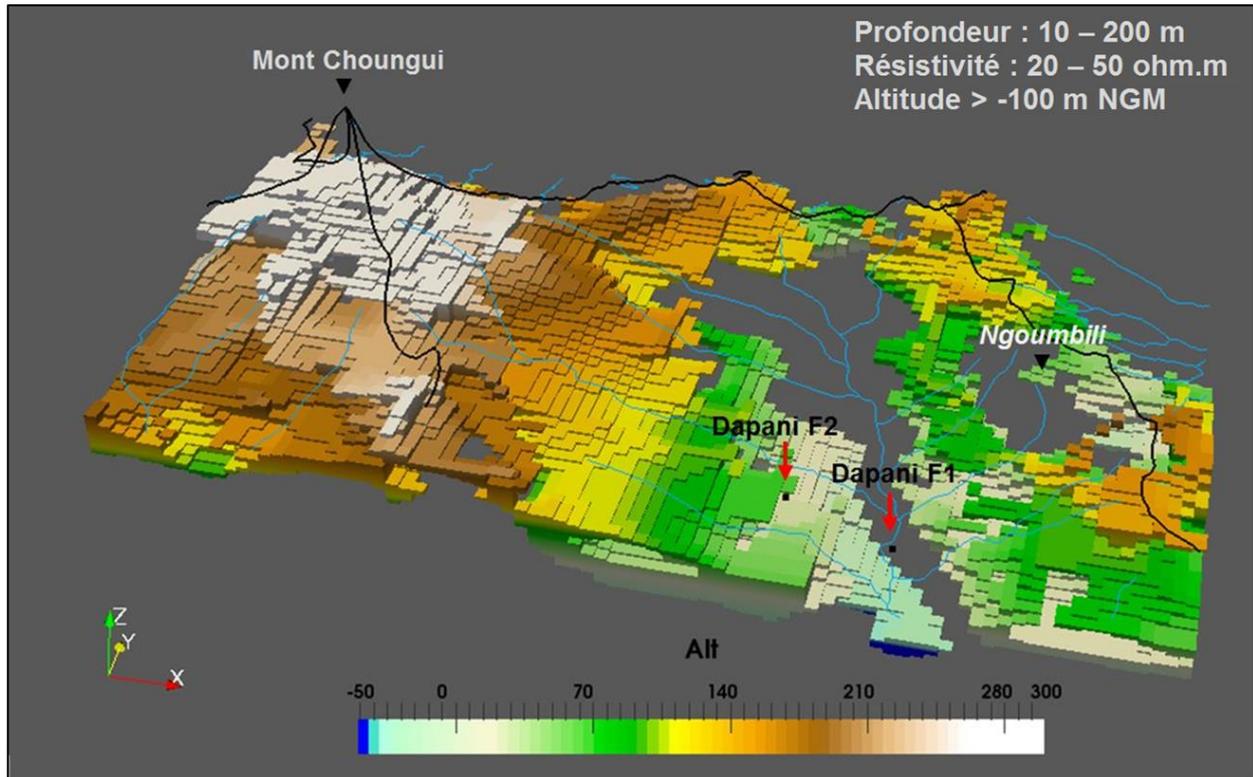


Illustration 57 : Formation de résistivités comprises entre 20 et 50 ohm.m (échelle verticale = 2 fois échelle horizontale)

Il apparait que les formations isolées recouvre quasiment entièrement la zone étudiée.

Dans le cas de la délimitation de l'air d'alimentation de captage du forage de Dapani F1, les données TDEM n'ont pas la précision nécessaire pour apporter les informations complémentaires voulues quant à la connectivité présente entre les différentes formations encaissantes. En effet, il y a bien une corrélation entre la géologie et la géophysique mais il est difficile d'isoler la formation identifiée comme productive. Le contact avec les formations adjacentes et sous-jacentes ne sont pas marquées en TDEM. Les hétérogénéités observées à l'échelle de l'affleurement ne se traduisent pas par des fluctuations géo-électriques de grande amplitude. De plus les propriétés hydrodynamiques de ces hétérogénéités lithologiques sont fluctuantes en fonction de la nature du matériau, de son degré d'altération, de la géométrie, etc.

8.2.2. De la formation à la PNAC

Dans le cas où les données TDEM ne permettent pas d'isoler la formation captée, d'autres données hydrogéologiques peuvent être utilisées à cet effet.

Existe-t-il des données hydrogéologiques supplémentaires ?

Les rapports de fin de travaux des forages Dapani F1 et F2 indiquent qu'il n'y a pas de connexion entre ceux-ci. En effet, au cours du pompage longue durée sur Dapani F2 (12317X0190), un suivi automatique du niveau piézométrique de Dapani F1 a été réalisé. Ce suivi a révélé l'absence de connexion entre les deux forages : le niveau piézométrique de

Dapani F1 n'a cessé d'augmenter durant le pompage longue durée de Dapani F2 alors qu'aucun évènement pluvieux n'est venu perturber l'essai (ce phénomène étant probablement dû au rejet des eaux de pompages sur le BV de Dapani F1).

8.2.3. De la PNAC à l'AAC

**L'AAC sera prise égale
au BV topographique**

En l'absence de données hydrogéologiques supplémentaires, l'AAC sera égale au bassin versant du forage. De plus, de manière générale, à Mayotte, il est considéré que :

- les écoulements suivent l'orientation générale de la pente ;
- les rivières drainent en partie les écoulements souterrains sans toutefois que des échanges nappe-rivière ne soient avérés ;
- les aquifères s'écoulent en partie vers la mer ;
- les crêtes topographiques constituent également des crêtes piézométriques.

L'aire d'alimentation de Dapani F1 (

Illustration 58) sera donc délimitée en se basant sur le **bassin versant topographique du forage**. Cette approche paraît être la plus sécuritaire tout en restant pertinente compte tenu des données disponibles.

L'enveloppe de la limite aval de l'AAC de Dapani F1 correspond à la zone d'appel de celui-ci et a été déterminée grâce à l'outil Excel élaboré par Vernoux et al., 2007 et utilisé par Wuillemier et al. (2009) BRGM/RP-57620-FR.

Les paramètres suivants ont été utilisés :

- transmissivité : $T = 9,4.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
- gradient : 0,6 %
- débit de pompage : $13 \text{ m}^3/\text{h}$
- angle de l'écoulement par rapport à l'axe Est/Ouest : 110°

Dans la mesure où il n'existe que très peu de données concernant Dapani F2, et sachant qu'il est impossible d'exploiter ce forage, il a été décidé de considérer que **la limite de l'AAC de Dapani F1 à proximité du forage de Dapani F2 se ferait selon la crête topographique la plus proche.**

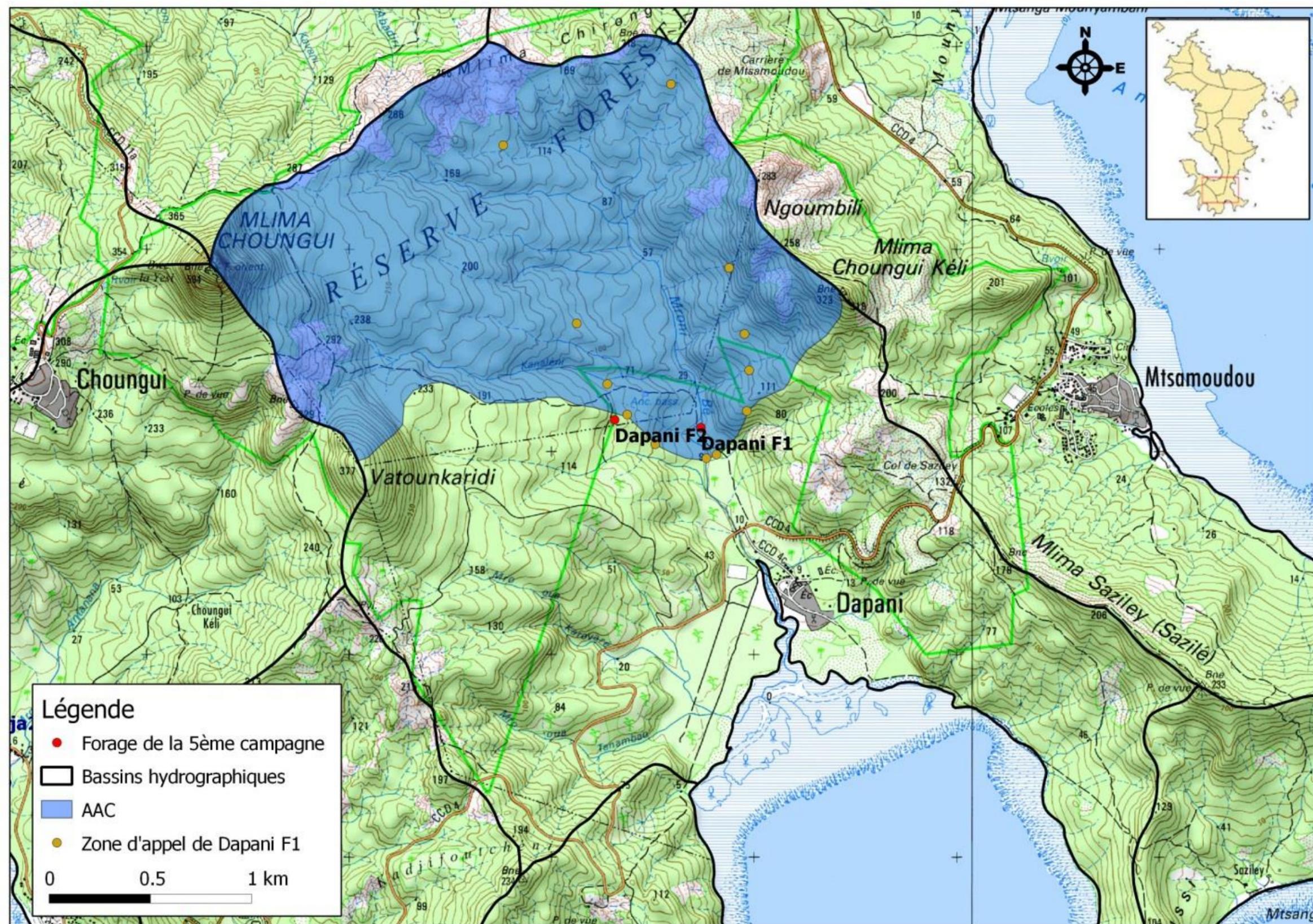


Illustration 58 : Aire d'Alimentation de Captage de Dapani F1 (12317X0058), Fond de carte : Carte IGN – Scan 25 ©, 2008

L'aire d'alimentation du captage de Dapani F1 correspond donc au bassin versant topographique du forage et représente une surface de 4,2 km² et un périmètre de 8,8 km (Illustration 58), elle est légèrement plus grande que le bassin versant du forage (4,1 km²) de par la limite aval déterminée grâce au calcul de la zone d'appel du forage.

8.3. PHASE 3 : VERIFICATION DE LA COHERENCE DE L'AAC AVEC LE DEBIT PRELEVE

D'après le rapport BRGM/RP-63394-FR, le forage de Dapani F1 peut être exploité à un débit de 13 m³/h pendant une durée de 20h/24. Cette productivité correspond à une surface de PNAC de 1,2 km², surface minimum de l'AAC.

L'AAC délimitée à partir du bassin versant alimentant le forage en amont et la zone d'appel du forage en aval, représente une surface totale de 4,2 km², 3 fois et demi supérieure à la surface de la PNAC, et un périmètre de 8,8 km. Elle est délimitée vers le Nord par le Mont Choungui et la réserve forestière des crêtes du sud. La limite aval du forage correspond à la limite de la zone d'appel du captage.

La superficie déterminée est donc supposée suffisante pour subvenir à l'alimentation du captage et la proposition de l'AAC peut être validée.

9. Conclusion

Cette étude, qui rentre dans le cadre de la convention cadre SIEAM/BRGM 2012-2016, avait pour objectif de délimiter les Aires d’Alimentation des Captages (AAC) de 5 des 8 forages réalisés lors de la 5^{ème} campagne de forages menée sur l’île (2012-2013).

La méthodologie suivie, conforme aux travaux réalisés en 2012 pour l’actualisation de la méthodologie de délimitation des aires d’alimentation de captage de Mayotte (Convention Cadre SIEAM-BRGM : Action 5a), visait à intégrer à la méthodologie précédemment existante (Malard *et al.*, 2009, BRGM/RP-57299-FR), les données et les connaissances acquises par le biais du projet GéoMayotte (carte géologique, levés géophysiques héliportés), des projets de caractérisation hydrogéologique du Nord-Est, du Nord-Ouest et du Centre-Sud de Mayotte et de la récente campagne de forage.

Bien qu’une corrélation significative existe entre les données géophysiques TDEM et les informations géologiques disponibles (carte géologique et coupes de forage), seules deux aires d’alimentation sur les cinq ont pu être délimitées à partir de l’interprétation des données TDEM :

- Acoua F1 – 12301X0097
- Ourovéni F2 – 12306X0183)

Les aires d’alimentation ainsi délimitées prennent en compte la portion de nappe alimentant le captage (PNAC), ainsi que le bassin versant topographique du forage et de la PNAC. En effet, les formations superficielles à Mayotte étant dominées par des altérites (allotérites, isaltérites), une participation par ruissellement des versants peu perméables est à considérer lors de la délimitation des AAC.

Les aires d’alimentation des 3 autres forages (Dapani F1 – 12317X0058, Mohogoni F2 – 12302X0101, et Gouloué F3 – 12307X0568), quant à elles, n’ont pu être délimitées en se basant uniquement sur l’interprétation des données géophysiques. L’absence de forts contrastes géo-électriques n’a pas permis d’isoler les entités hydrogéologiques identifiées et les limites des AAC suivent les limites des bassins versants topographiques au droit des forages concernés.

10. Bibliographie

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

Castillo C., Jaouen T., Vernoux JF., (2013) – Actualisation de la méthodologie de délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine de Mayotte. Rapport final. BRGM/RP-62709-FR, 80p., 46 ill., 1 ann.

Castillo C. avec la collaboration de Jaouen T., Vernoux J.F., Vittecoq B et Deparis J. (2013) – Mise à jour de la délimitation de l'aire d'alimentation du captage de Mronabéja 2 (1231-6X-0032/MRONAB). Rapport final. BRGM/RP-62825-FR, 71 p., 40 fig., 6 tabl., 4 ann.

Coulomb R. (2014) – Mise en évidence de nouvelles ressources en eau souterraine à Mayotte. 5^{ème} campagne de forages. Forage de Mohogoni F2 – 12302X0101. Rapport de fin de travaux et demande de prélèvement. Rapport final. BRGM/RP-63351-FR. 106 p., 35 ill., 4 ann.

Coulomb R., Parizot M. (2014) – Mise en évidence de nouvelles ressources en eau souterraine à Mayotte. 5^{ème} campagne de forages. Forage de Dapani F2 – 12316X0190. Rapport de fin de travaux. Rapport final. BRGM/RP-63840-FR, 105 p., 26 ill., 6 tabl., 4 ann.

Coulomb R., Parizot M. (2014) – Mise en évidence de nouvelles ressources en eau souterraine à Mayotte. 5^{ème} campagne de forages. Forage de Dapani F1 – 12317X0058. Rapport de fin de travaux et demande de prélèvement. Rapport final. BRGM/RP-63394-FR, 105 p., 41 ill., 4 ann.

Coulomb R avec la collaboration de V. Petit (2014) – Mise en évidence de nouvelles ressources en eau souterraine à Mayotte. 5^{ème} campagne de forages. Forage d'Ouroveni F3 – 12306X0183. Rapport de fin de travaux et demande de prélèvement. Rapport final. BRGM/RP-63418-FR, 108 p., 38 ill., 5 ann.

Guilbert M., Aunay B., Lachassagne P., Malard A., Mathieu F. (2008) – Synthèse hydrogéologique du Nord-Est de Mayotte. Caractérisation des masses d'eau souterraine des secteurs de Petite-Terre et de Tsoundzou-Koungou. Rapport BRGM/RP-56600-FR, 79 p., 29 ill. et 8 ann.

Jaouën T., Castillo C. (2013) – Délimitation de l'aire d'alimentation du captage de Gouloué F3 (12307X0568). Rapport final. BRGM/RP-62826-FR, 72 p., 42 ill., 3 ann.

Jaouën T., Vittecoq B., Lions J., Castillo C., Deparis J., Baltassat J.M., François B., Pinson S., Gourcy L., Winckel A., et Allier D. (2012) Caractérisation hydrogéologique du potentiel en eau souterraine de Mayotte – Secteur Nord-Ouest. Rapport final BRGM/RP-59550-FR. 424 p., 258 ill., 7 ann.

Jaouën T., Vittecoq B., Castillo C., Deparis J., Lions J. avec la collaboration de Gourcy L., Allier D. et Pinson S. (2013) Caractérisation hydrogéologique du potentiel en eau souterraine de Mayotte – Secteurs Centre et Sud. Rapport final BRGM/RP-61757-FR. 320 p., 148 ill. et 8 ann.

Jaouën T., Coulomb R. (2013) – Mise en évidence de nouvelles ressources en eau souterraine à Mayotte. 5^{ème} campagne de forages. Forage d'Acoua F1 – 12301X0097. Rapport de fin de travaux et demande de prélèvement. Rapport final. BRGM/RP- 62867-FR, 111 p., 39 ill., 4 ann.

Jaouën T. (2014) – Mise en évidence de nouvelles ressources en eau souterraine à Mayotte. 5^{ème} campagne de forages. Forage de Gouloué F3 – 12307X0568. Rapport de fin de travaux et demande de prélèvement. Rapport final. BRGM/RP-61748-FR. 140 p., 46 ill., 6 ann.

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

Lapègue, J. (1999). Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte : la ressource hydrique et l'assainissement pluvial et l'érosion. Thèse de Doctorat. Laboratoire des Sciences de la Terre. Université de la Réunion.

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

Malard A., avec la collaboration de Brugeron A., Mougïn B. et Wuilleumier A. (2009) - Etude du bassin d'alimentation du forage de Béja 1 (12306X0014/BEJA1) - bassin versant du Mroni Béja – Mayotte – BRGM/RP-57619-FR. 72 p., 23 ill., 7 tab. et 2 ann.

Malard A., avec la collaboration de Brugeron A., Mougïn B., Wuilleumier A. (2009) - Etude des bassins d'alimentation des 3 captages du bassin versant du Mro Oua Maré – Mayotte – BRGM/RP-57622-FR. 136 p., 42 ill., 30 tab., 4 ann.

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

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

Riquier J. (1965). Les sols de la zone cacaoyère de Moul. Brazzaville : ORSTOM, 7 p. multigr.

SOGEA, (2013) – Rapport annuel du délégataire, exercice 2013, 208 p.

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

Vittecoq B., Jaouën T., Deparis J. (2011) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines de Mayotte – 5^{ème} campagne de forage à Mayotte. Révision des implantations. BRGM/RP-60035-FR.

Wuilleumier A., Malard A., avec la collaboration de Brugeron A. et Mougin B. (2009) - Etude des bassins d'alimentation des forages de Kawéni - bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli – Mayotte – BRGM/RP-57620-FR. 140 p., 68 ill., 10 tab., 5 ann.

Annexe 1

Légende de la carte géologique de Mayotte (Lacquement et al. 2013)

Formations superficielles

Dépôts anthropiques

X Remblais anthropiques

Formations superficielles allochtones

Formations alluvionnaires

Fz Alluvions indifférenciées

Fy Alluvions anciennes indifférenciées

Formations de pente

C Colluvions

E Éboulis

Ec Dépôts d'éroulements

Cb Colluvions à blocs

BG Brèches et panneaux glissés

Formations de plage

Sb Sables

Formations superficielles autochtones

Allotérites

Aβ Allotérites de laves basiques et intermédiaires

AβPfa Allotérites de laves basiques et intermédiaires à grenailles ferrugineuses

Aφ Allotérites de phonolites

Isaltérites

Aβ Isaltérites de laves basiques et intermédiaires

Aβpx Isaltérites de basaltes à pyroxène

Aφ Isaltérites de phonolites

Ascβ Isaltérites de cônes de scories

Ac Isaltérites de cinérites et alluvions (paléosurface de Combani)

ABG Isaltérites de brèches et panneaux glissés

Formations volcaniques

Formations laviques

β Basalte sl

βol Basalte à olivine

βpx Basalte à pyroxène

βπ Basalte porphyrique faciès ankaramite

βol-px Basalte à olivine et clinopyroxène

ε Téphrite sl

ω Néphéline

ω3 Méililitite

φ Phonolite sl

φa Phonolite aphyrique

Formations volcanoclastiques

tP Projections phréatomagmatiques (maars) de Petite Terre et de Mamoudzou

B²sc Projections scoriacées (cônes stromboliens) de Petite Terre et de Mamoudzou

B¹sc Projections scoriacées (cônes stromboliens)

Bre Brèches riches en cumulats de Bandré, îlot Bambo et de Bambo Ouest

Ts Tufs indifférenciés (projections intercouleées)

Ci Cinérites

Formations hypovolcaniques

Dφ Protrusion de phonolite

Légende technique

 Contour

 Faille

 Faille supposée

 Niche d'arrachement

 Cratère de maar

 Dyke

 Stratification

 Figure d'impact de projection pyroclastique

 Sens de glissement

 Sens d'écoulement

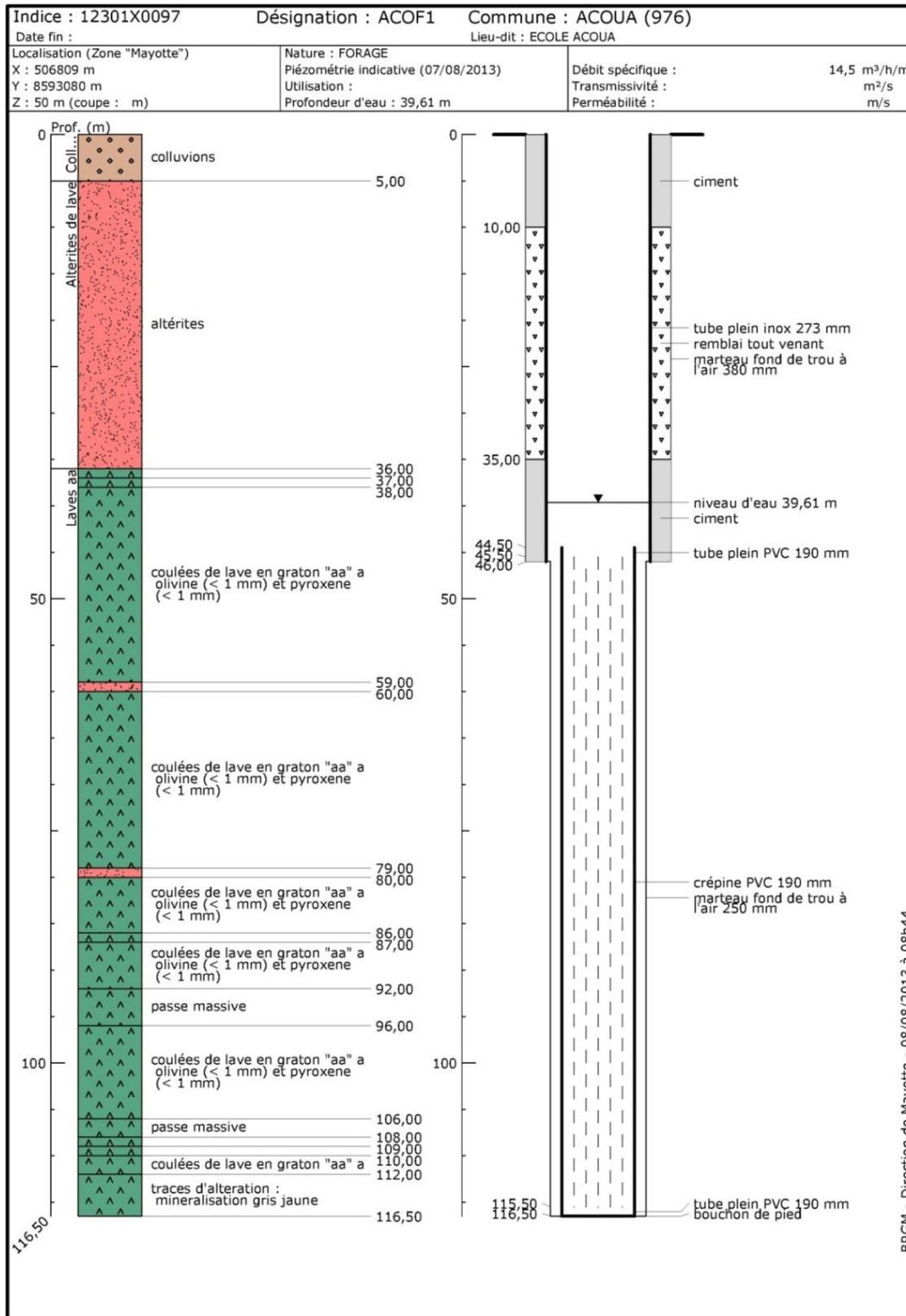
 Bloc

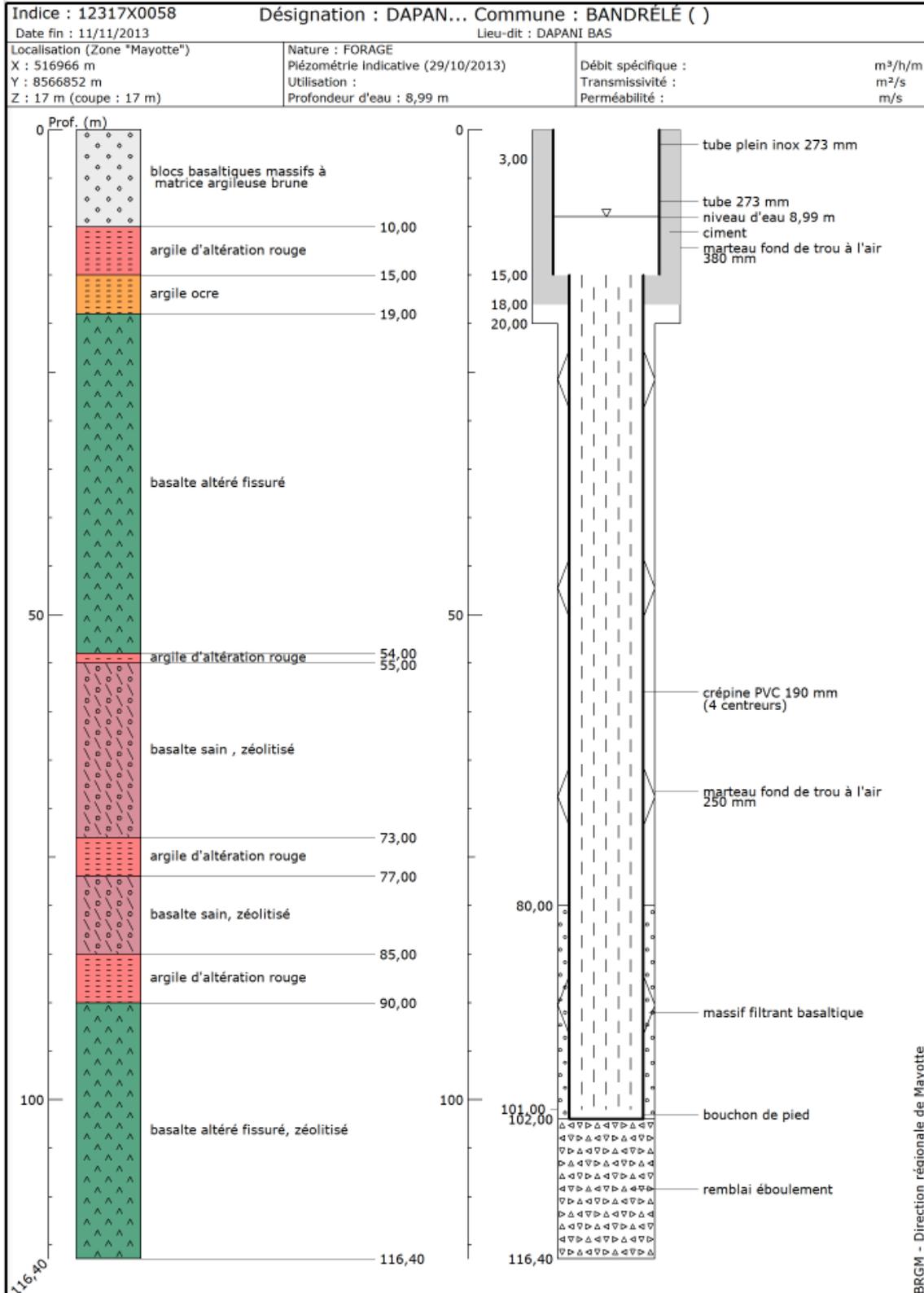
 Point d'analyse géochronologique

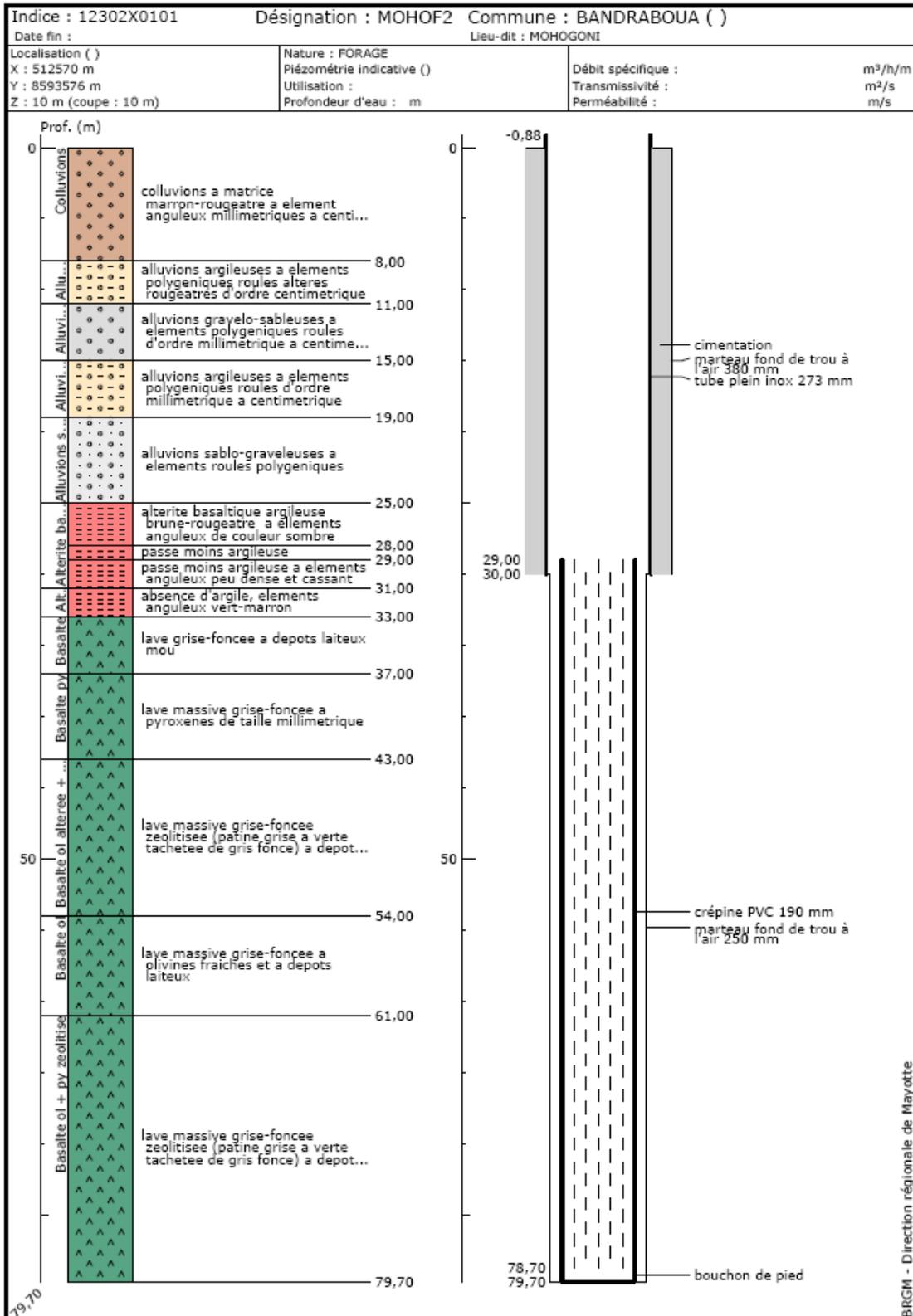
Annexe 2

Coupes géologiques des forages de la présente étude

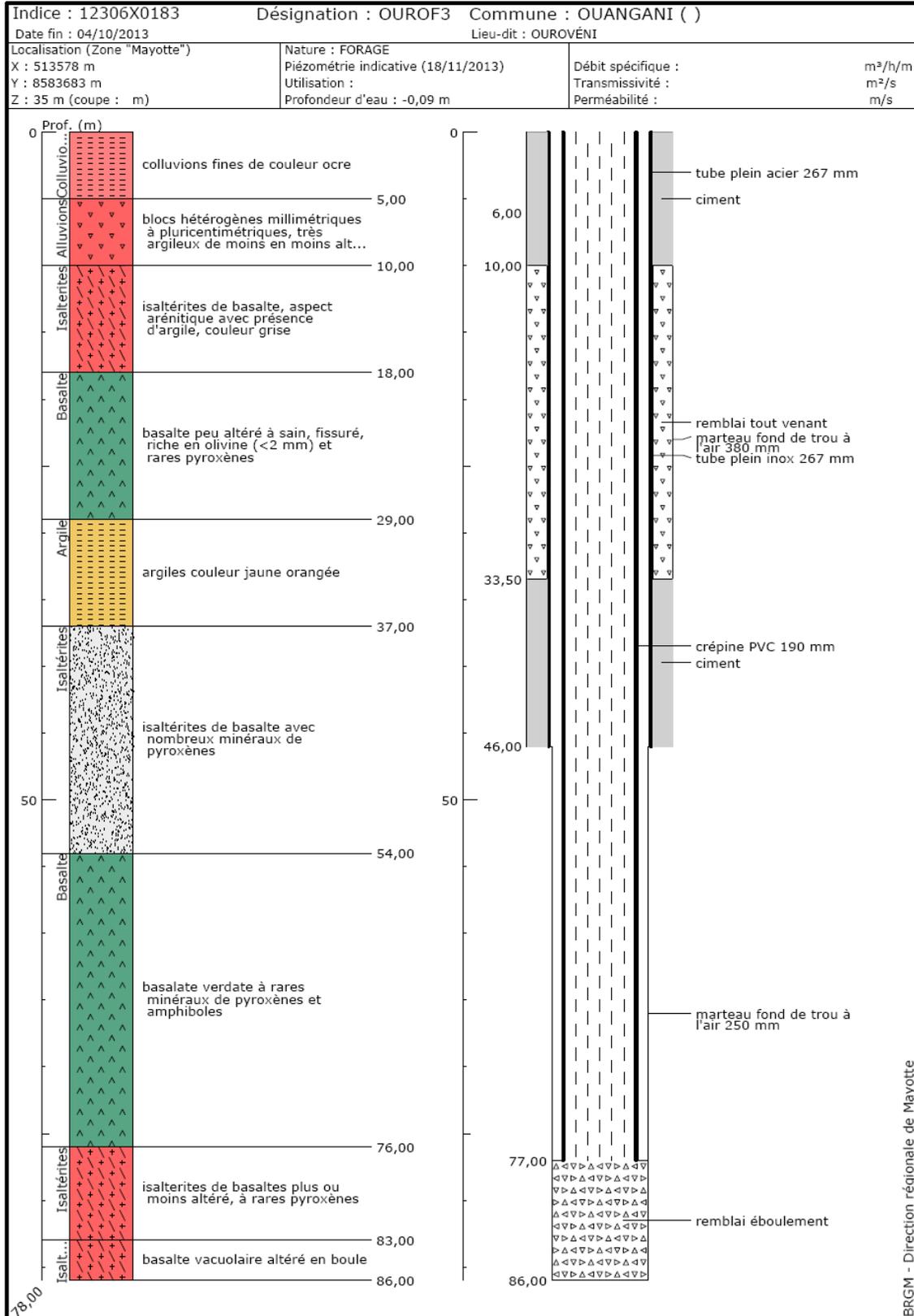
Délimitation des AAC de la 5^e campagne de forages de Mayotte

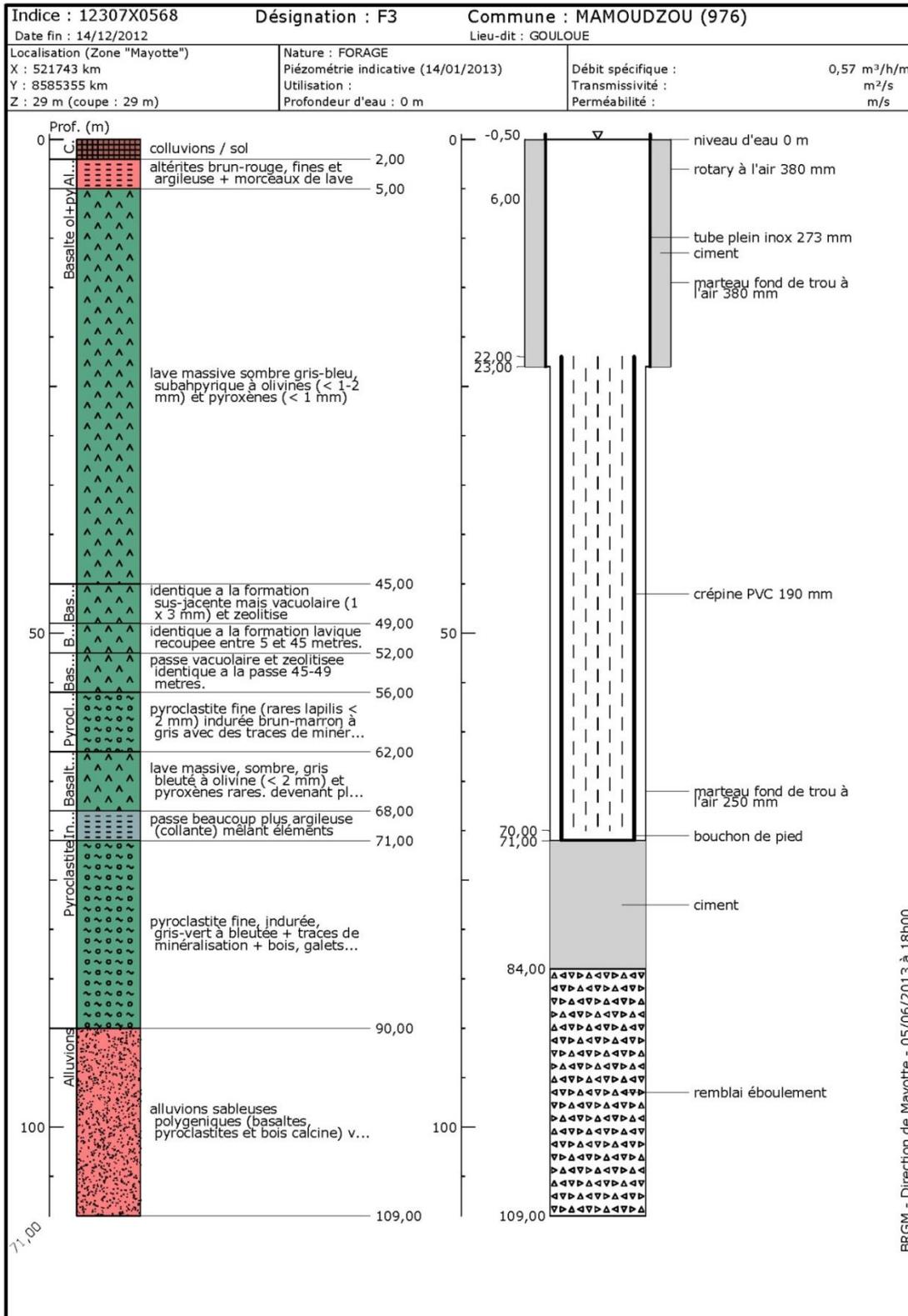






BRGM - Direction régionale de Mayotte





Annexe 3

Carte des isohyètes, Lachassagne et al. 2000

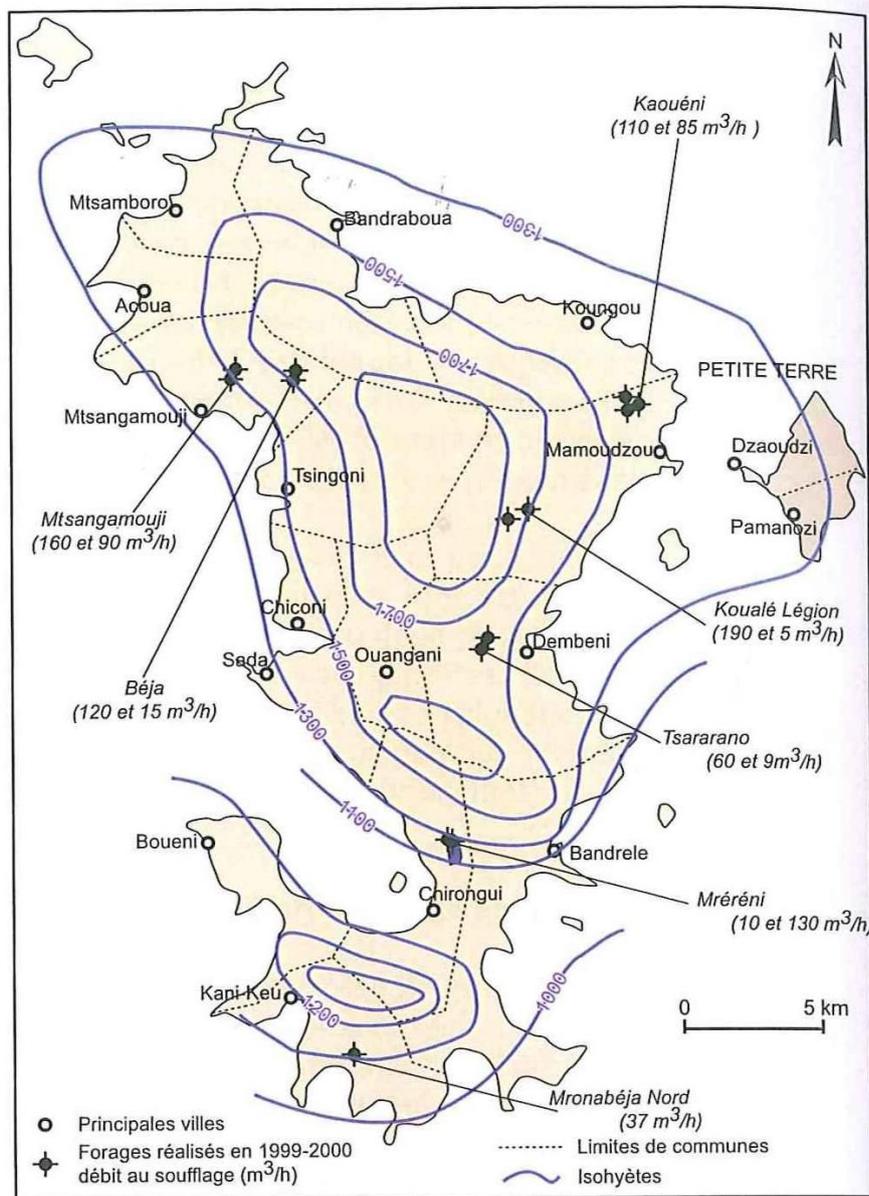


Fig. 3
 Résultats de la campagne de forages 1999-2000 (P. Lachassagne et al., 2000) [10].



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale de Mayotte

Imm. Le Jacaranda n°5, Lot. Les 3 vallées
BP 363 Kawéni

97600 – Mamoudzou – France

Tél. : 02 69 61 28 13