

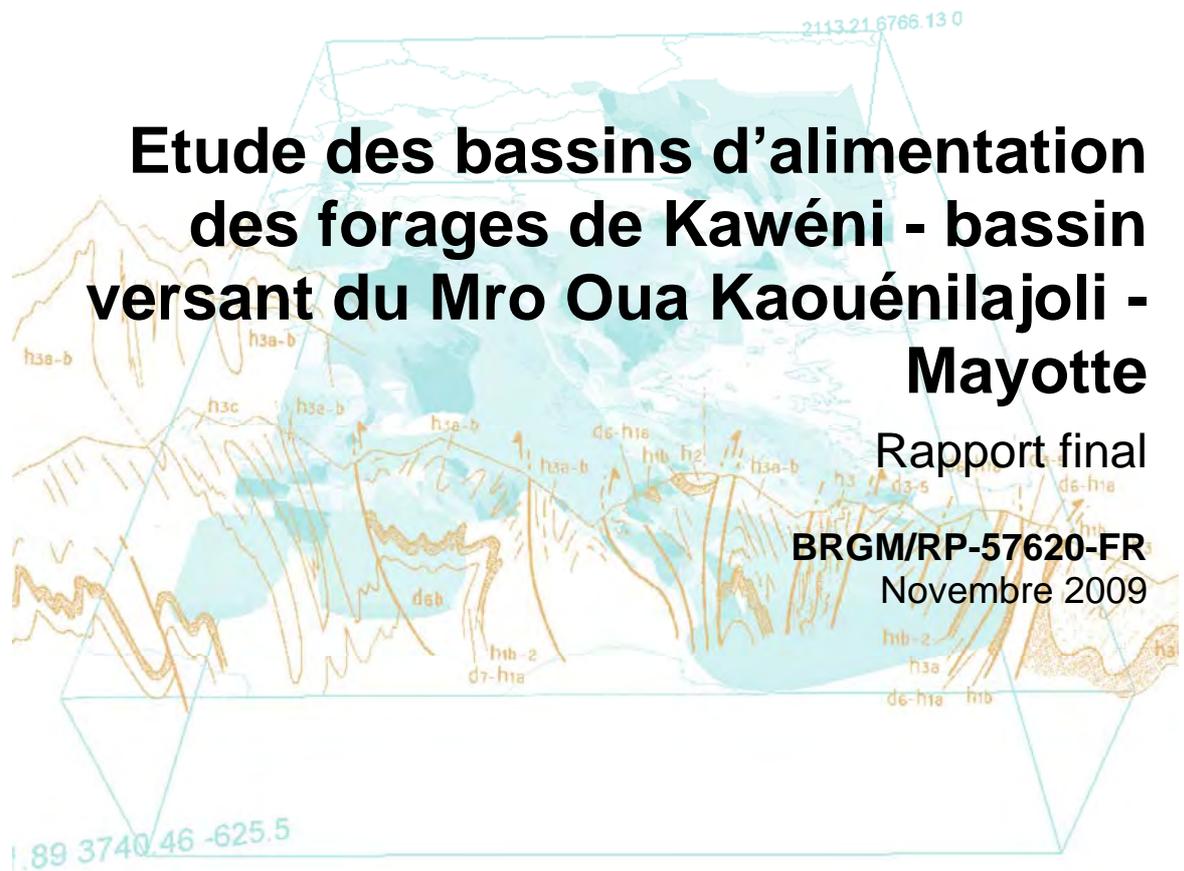


Etude des bassins d'alimentation des forages de Kawéni - bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli - Mayotte

Rapport final

BRGM/RP-57620-FR

Novembre 2009



Etude des bassins d'alimentation des forages de Kawéni - bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli - Mayotte

Rapport final

BRGM/RP-57620-FR
Novembre 2009

Étude réalisée dans le cadre de la convention R&D
SIEAM/BRGM du 24 avril 2009

Wuilleumier A., Malard A.

Avec la collaboration de Brugeron A. et Mouglin B.

Vérificateur :

Nom : H. Machard de Gramont

Date : 30/10/2009

Signature :

Approbateur :

Nom : P. Puvilland

Date : 03/11/2009

Signature :



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

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

Mots clés : bassin d'alimentation de captage, BAC, aire d'alimentation de captage, aquifères, forages, vulnérabilité, pressions, Mro Oua Kaouénilajoli, Kawéni, Mayotte, Comores, France

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

Synthèse

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

Lors des comités permanents de la MISEEN¹ du 08/11/07 et du 03/03/08, il a été convenu que toutes les prises d'eau et tous les forages d'alimentation en eau potable de Mayotte devaient être protégés. Une convention passée entre la DAF et le BRGM (datée du 18 août 2008) a permis de traiter les captages présents dans les bassins :

- de l'Ourovéni, avec notamment la prise d'eau de la retenue collinaire de Combani (cf. rapport BRGM/RP-57111-FR) ;
- de Gouloué (cf. rapport BRGM/RP-57109-FR) ;
- de Bouyouni bas (cf. rapport BRGM/RP-57108-FR) ;
- de Méresse (cf. rapport BRGM/RP-57110-FR) ;
- correspondant à la prise d'eau en mer pour l'usine de dessalement de Petite Terre (cf. rapport BRGM/RP-57112-FR).

sur la base des principes méthodologiques développés spécifiquement pour répondre à l'étude dans le contexte de Mayotte, particulier sur le plan géologique, hydrogéologique, climatique et historique (cf. rapport BRGM/RP-57299-FR).

Suite au Comité Régional de Programmation des opérations de Service Public du BRGM du 03/10/2008 et à la réunion de travail SIEAM/BRGM du 26/12/2008, le SIEAM (Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte) a souhaité poursuivre les études de délimitation des BAC pour les 9 bassins versants restant, concernés par un ou plusieurs captage(s) d'eau souterraine et/ou de surface.

Ces 9 bassins sont divisés en 2 lots de 5 et 4 bassins, en raison (i) des critères de priorité, (ii) du nombre et de la nature des ouvrages d'eau présents, (iii) des connaissances géologiques et hydrogéologiques disponibles et (iv) de l'importance stratégique de la ressource. Cette répartition conditionne en 2009 la nature et l'ordre du déroulement des études.

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

- les deux prises d'eau de surface du Mro Oua Kwalé (Kwalé haut 12307X0145/KWALHA et Kwalé bas 12307X0146/KWALHA) ainsi que les forages de Kwalé 1 (Indice national: 12307X0022/Koual1) et de Kwalé 3 (12303X0100/Kwalé3), rapport BRGM/RP-57621-FR ;
- la prise d'eau du Mro Oua Andrianabé (12306X0054/AMPCAP), le drain de M'tsangamouji (12306X0055/AMPDRA) et les forages de M'tsangamouji 1 (12306X0017/Mtsan1) et 2 (12306X0016/Mtsan2), rapport BRGM/RP-57618-FR ;
- le forage de Béja 2 (12306X0015/BEJA2), rapport BRGM/RP-57619-FR ;
- **les forages de Kawéni F1 (12307X0013/F1), Kawéni F2 (12307X0014/F2), et Kawéni 3 10 pouces (12307X0021/Kaoué3) qui font l'objet du présent rapport.**
- les 4 prises d'eau de surface des Mro Oua Mouhogoni (12302X0027/CAP_MO), Mapouéra (12302X0030/CAP_MP), Mjihari (ou Dzoumognè 12302X0028/CAP_MJ) et Mahojani (12302X0029/CAP_MA) ainsi que le forage de Mohogoni (12302X0025/MOHOG), rapport BRGM/RP-57622-FR.

Soit 7 prises d'eau en rivière, un drain et 9 forages d'eau souterraine.

Deux BAC ont été définis dans la dépression de Kawéni : l'un regroupe les forages Kawéni F1 et Kawéni F2, tandis que l'autre correspond au forage Kawéni 3 10 pouces. Ils s'étendent sur l'ensemble des bassins versants des forages et se prolongent à l'aval par leur zone d'appel. Ces BAC couvrent des superficies de respectivement 1,4 et 3,7 km². L'estimation de la vulnérabilité des BAC a démontré que ceux-ci sont moyennement vulnérables compte tenu du caractère infiltrant des unités fonctionnelles qui le composent (faciès lithologiques et pédologiques). L'inventaire des pressions a montré que l'exposition de la ressource en eau souterraine est très importante dans la partie aval des BAC. La présence non encadrée de puits, puisards et de fosses d'évacuation des eaux usées au voisinage des forages constitue un « point noir » vis-à-vis de la protection des eaux souterraines. La présence du village de Kawéni (déficit d'assainissement, nombreuses décharges sauvages, habitat insalubre, activités non réglementées...) dans l'enceinte du BAC des captages Kawéni F1 et Kawéni F2, celle de casses automobiles et de décharges de matériels professionnels, ainsi que les sites de pratique de lessives identifiés en amont des forages représentent les pressions les plus significatives susceptibles d'impacter la ressource en eau souterraine.

De façon générale, la maîtrise de l'urbanisation au voisinage des forages Kawéni F1, Kawéni F2 et Kawéni 3 10 pouces constitue un enjeu majeur dans l'objectif de préservation de la qualité des eaux captées au niveau des forages.

Indépendamment des pressions inventoriées lors de l'étude, la localisation des forages non loin de la mangrove rend possible le risque de remontée du biseau salé. En recommandation, il est urgent de mettre en place un système d'alerte dans ce domaine, dont les points de contrôle (piézomètres de surveillance) doivent être placés à l'aval des forages en exploitation.

Ces résultats montrent qu'il est nécessaire de surveiller attentivement la ressource en eau des BAC et de poursuivre rapidement le programme d'étude qui doit aboutir à

l'instauration des périmètres de protection et aux plans d'action adaptés à la protection de la ressource.

Cette étude fait partie d'une démarche collective initiée par la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales (DASS) de Mayotte et le Syndicat Intercommunal des Eaux et Assainissement de Mayotte (SIEAM) ¹, le but final étant de mettre en place rapidement les périmètres de protection des captages au sens administratif, d'instruire les dossiers de Déclaration d'Utilité Publique² et de mettre en application les plans d'action de protection des ressources.

¹ Dans le cadre de la convention de recherche et développement partagés DAF/BRGM du 18 août 2008, cinq captages prioritaires (inscrits en tant que captages Grenelle sur les listes ministérielles) ont déjà fait l'objet d'une étude de délimitation de BAC. La signature de la convention ONEMA/DAF/BRGM 2009 du 9 juin 2009 prévoit la réalisation des études BAC sur 4 autres bassins versants. Fin 2009, les études BAC devront être abouties sur tous les captages en service ou en instance de mise en service de Mayotte.

² Comme prévu par (i) la loi relative à la protection de la santé publique de 1902, article 10, qui impose pour tous captages la réalisation d'une Déclaration d'Utilité Publique qui déterminera - si nécessaire - un périmètre de protection contre la pollution de l'ouvrage, (ii) la loi sur l'eau de 1992 qui impose à tous les captages la délimitation des périmètres de protection. Cette loi, rétroactive, s'applique aussi bien aux captages en création qu'aux captages antérieurs et (iii) le Plan National Santé Environnement qui fixe comme objectif que l'ensemble des captages soient protégés en 2010.

Sommaire

1. Introduction	15
2. Localisation des captages d'eau potable et présentation du bassin versant...	19
2.1. LOCALISATION DES CAPTAGES D'EAU POTABLE	19
2.2. TOPOGRAPHIE	21
2.2.1. Altitudes	21
2.2.2. Pentes	25
2.3. CLIMATOLOGIE	27
2.4. GEOLOGIE	29
2.4.1. Contexte géologique du Nord-est de l'île : le massif du M'tsapéré	29
2.4.2. Géologie du bassin versant de la dépression de Kawéni	30
2.5. HYDROGEOLOGIE DE LA DEPRESSION	35
2.5.1. Modèle hydrogéologique de la dépression de Kawéni	35
2.5.2. Piézométrie	36
2.5.3. Qualité des eaux souterraines	40
2.6. RESEAU HYDROGRAPHIQUE, HYDROLOGIE ET MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU	46
2.6.1. Description du réseau hydrographique	46
2.6.2. Morphologie des cours d'eau	46
2.6.3. Hydrologie	50
2.7. MORPHOPEDOLOGIE	56
3. Délimitation des bassins d'alimentation des captages d'eau potable	59
3.1. DESCRIPTION DES CAPTAGES D'EAU POTABLE	59
3.1.1. Forage Kawéni F1 – 12307X0013/F1	59
3.1.2. Forage Kawéni F2 – 12307X0014/F2	64
3.1.3. Forage Kawéni 3 (10 pouces) – 12307X0021/Kaoué3	69
3.2. DELIMITATION DU BAC DES FORAGES KAWENI F1 ET KAWENI F2	74
3.2.1. Estimation de la zone d'appel due au pompage en F1	74
3.2.2. Estimation de la zone d'appel due au pompage en F2	75
3.2.3. Unicité et délimitation du BAC des forages F1 et F2	76

3.3. DELIMITATION DU BAC DU FORAGE KAWENI 3 10 POUCES	78
3.3.1. Estimation de la zone d'appel due au pompage dans le forage Kawéni 3 10 pouces.....	78
3.3.2. Délimitation du BAC du forage Kawéni 3 10 pouces	79
4. Caractérisation de la vulnérabilité.....	81
4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE SUR LE BASSIN D'ALIMENTATION DES FORAGES KAWENI F1 ET KAWENI F2	81
4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE SUR LE BASSIN D'ALIMENTATION DU FORAGE KAWENI 3 10 POUCES.....	83
5. Identification des pressions.....	85
5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LES BASSINS D'ALIMENTATION DELIMITES	85
5.1.1. Urbanisation et aménagement	85
5.1.2. Activités rurales et agricoles	91
5.1.3. Sites industriels	95
5.1.4. Risques naturels	99
5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS	100
6. Evaluation du risque de pollution des bassins d'alimentation des captages de Kawéni.....	103
6.1. CROISEMENT DE LA VULNERABILITE ET DES PRESSIONS SUR LE BAC DES CAPTAGES KAWENI F1 ET KAWENI F2	103
6.2. CROISEMENT DE LA VULNERABILITE ET DES PRESSIONS SUR LE BAC DU CAPTAGE KAWENI 3 10 POUCES.....	105
7. Recommandations	107
8. Conclusion.....	109
9. Bibliographie	113

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation du bassin versant topographique de Kaouénilajoli, des ouvrages d'eau, des autres forages et des pluviomètres présents dans ce secteur (support IGN© 1/25 000).....	19
Illustration 2 : Altitude du bassin versant d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m	21
Illustration 3 : Délimitation des sous-bassins versants étudiés (support IGN© 1/25 000).....	23
Illustration 4 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant de la dépression de Kawéni (d'après le MNT au pas de 25 m). L'effectif comptabilisé est celui des mailles du MNT de l'IGN appartenant à chaque classe d'altitude.	23
Illustration 5 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant de la Mro Oua Kaouénilajoli (d'après le MNT au pas de 25 m).	24
Illustration 6 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant F1 (d'après le MNT au pas de 25 m).	24
Illustration 7 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant F2 (d'après le MNT au pas de 25 m).	25
Illustration 8 : Pentes des terrains dans le bassin versant d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m	26
Illustration 9 : Extrait de la carte géologique de Stieltjes (1988).....	30
Illustration 10 : Localisation des principaux points d'observation de la visite terrain du 21/09/2009 sur les bassins versants F1 et F2	33
Illustration 11 : Affleurement d'une formation scoriacée au niveau du point 757	33
Illustration 12 : Affleurement d'une formation basaltique altérée de type trachyandésite au niveau du point 758.....	34
Illustration 13 : Chronique piézométrique acquise à l'ouvrage Kawéni 1 8 pouces (1992-2009. Données DAF de 1992 à 2007 et données BRGM de 2007 à 2009)	38
Illustration 14 : Décroissance du niveau de basses eaux au piézomètre de Kawéni 1 8 pouces (1992-2009)	39
Illustration 15 : Décroissance du niveau moyen annuel au piézomètre de Kawéni 1 8 pouces (1994-2007)	39
Illustration 16 : Chronique piézométrique acquise à l'ouvrage Kawéni 1 8 pouces et pluie efficace quotidienne estimée à la station pluviométrique de la Convalescence (1996-2009).....	40
Illustration 17 : Diagramme Chlorure/Sodium des eaux souterraines captées dans la dépression de Kawéni (extrait du rapport BRGM/RP-56773-FR).....	42
Illustration 18 : Teneurs en chlorures dans les forages F1, F2 et Kawéni 3 10 pouces (de haut en bas) entre 1992 et 2009 (analyses DASS)	43
Illustration 19 : Conductivité dans les forages F1, F2 et Kawéni 3 10 pouces (de haut en bas) entre 2001 et 2009 (analyses DASS)	45

Illustration 20 : Profil topographique du lit mineur de la rivière Kaouénilajoli. Les différentes sections correspondent à des changements lithologiques, dont la disposition est ici schématique et ne doit pas être interprétée en profondeur	47
Illustration 21 : Profil topographique du thalweg débouchant au niveau du forage F1. Les différentes sections correspondent à des changements lithologiques, dont la disposition est ici schématique et ne doit pas être interprétée en profondeur. On remarque des ruptures régulières dans le profil qui ne sont autres que les fronts de coulée.	49
Illustration 22 : Profil topographique du thalweg débouchant au niveau du forage F2. Les différentes sections correspondent à des changements lithologiques, dont la disposition est ici schématique et ne doit pas être interprétée en profondeur	50
Illustration 23 : Localisation des points d'observation (campagnes des 22/11/08 et 25/11/08).....	52
Illustration 24 : La localisation des zones d'infiltration est dépendante du régime hydrologique de la rivière au moment de la reconnaissance.	52
Illustration 25 : Localisation des principaux points d'observation de la visite terrain du 21/09/2009 sur le bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli.....	53
Illustration 26 : Bassin situé au contact des basaltes $\beta 2$ et $\beta 3$	54
Illustration 27 : Sources ou suintements identifiés dans les bassins versants étudiés. La connaissance en la matière est loin d'être exhaustive.	55
Illustration 28 : Carte morphopédologique du bassin versant de la dépression de Kawéni	56
Illustration 29 : Environnement immédiat du forage Kawéni F1 : la batisse abrite les vannes, la commande de la pompe du forage. Le forage se situe au fond à droite de l'enclos. (photographie BGRM du 21 septembre 2009)	60
Illustration 30 : Environnement immédiat du forage Kawéni F1 : le forage est masqué sous un massif de béton. On note la présence d'un brasier immédiatement à côté de l'ouvrage (photographie BRGM du 21 septembre 2009).....	61
Illustration 31 : Volumes prélevés par semaine dans la dépression de Kawéni : prélèvements F1+F2, Kawéni 3 10 pouces (données SOGEA, 2006-2009)	62
Illustration 32 : Volumes prélevés par semaine dans la dépression de Kawéni : prélèvements F1, F2 et Kawéni 3 10 pouces (origine des données : SOGEA, 2006-2009).....	62
Illustration 33 : Estimation de la pluie, de la pluie efficace et des prélèvements pour les bassins versants F1, F2 et Mro Oua Kaouénilajoli.....	63
Illustration 34 : Environnement immédiat du forage Kawéni F2 : la cabane abrite les vannes, la commande de la pompe du forage. Le forage se situe juste derrière (photographie BRGM du 21 septembre 2009)	65
Illustration 35 : Environnement immédiat du forage Kawéni F2 : le forage est masqué sous un massif de béton. On note la présence d'un brasier dans l'enceinte de l'espace clôturé (photographie BRGM du 21 septembre 2009)	66
Illustration 36 : Décharge située à une quinzaine de mètres du forage Kawéni F2 (photographie BRGM du 21 septembre 2009)	67

Illustration 37 : Environnement immédiat du forage Kawéni 3 10 pouces : la cabane abrite le compteur d'eau, les vannes. (photographie BRGM du 21 septembre 2009)	70
Illustration 38 : Petite ravine reliant le champ de tir à l'enclos du forage Kawéni 3 10 pouces : on y trouve quelques déchets (ferrailles, plastiques...). La cabane du forage apparaît dans le fond. (photographie BRGM du 21 septembre 2009)	71
Illustration 39 : La limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage Kawéni F1 est donnée par les triangles roses : la zone d'appel englobe le forage Kawéni F2	75
Illustration 40 : La limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage Kawéni F2 est donnée par les triangles roses : la zone d'appel englobe le forage Kawéni F1	76
Illustration 41 : Délimitation retenue pour le bassin d'alimentation des captages F1 et F2	77
Illustration 42 : La limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage Kawéni 3 10 pouces est donnée par les triangles roses	79
Illustration 43 : Délimitation retenue pour le bassin d'alimentation du captage Kawéni 3 10 pouces	80
Illustration 44 : Résultats du calcul combinant l'IDPR et la rugosité sur les bassins d'alimentation des captages d'eau potable de la dépression de Kawéni. Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives.....	81
Illustration 45 : Vue aérienne du bassin versant de la dépression de Kawéni (sources : Orthophotoplan de l'IGN, 2008). On note la nette différenciation entre la partie amont à dominante forestière et la partie avale, fortement urbanisée.....	85
Illustration 46 : Rejet d'eaux usées dans la ravine Kawéni collège située à 50 m à l'aval du forage Kawéni F1 : on voit deux tuyaux plastiques sortant du mur situé à droite sur la photo. (photo BRGM du 21 septembre 2009).....	87
Illustration 47 : Décharge dans la ravine « Kawéni collège » située à 50 m à l'aval du forage Kawéni F1, soit à l'intérieur du BAC. il s'agit d'une décharge principalement domestique mais on note aussi la présence de pneus, de ferrailles. Cette décharge est « active » à la date de la visite (photo BRGM du 21 septembre 2009)	87
Illustration 48 : Brûlage des déchets dans la ravine Kawéni collège (photo BRGM du 23 juillet 2009).....	88
Illustration 49 : Site présentant des traces de lessive dans la partie amont de la ravine Kawéni collège (point GPS 756 de l'illustration 10 ; photo BRGM du 21 septembre 2009).....	88
Illustration 50 : Puits localisé à moins de 50 m à l'amont du forage Kawéni F2. On note l'absence d'une margelle de protection et le moyen rudimentaire utilisé pour l'extraction de l'eau : la corde traîne par terre à proximité du puits, là où viennent s'abreuver les zébus (photo BRGM du 21 septembre 2009)	89
Illustration 51 : Puits ou puisard localisé à 275 m à l'amont du forage Kawéni F1. On note l'absence d'une margelle de protection. Des zébus paissent immédiatement à l'amont (photos BRGM du 21 septembre 2009)	90
Illustration 52 : Puits localisé dans la ravine Mro Oua Kaouénilajoli, à moins de 150 m à l'amont du forage Kawéni 3 10 pouces (photo BRGM du 15 juin 2009). La hauteur de la margelle n'empêche pas le déversement d'eaux de surface à l'intérieur lors de la saison humide (objectif qui est peut-être recherché par son concepteur)	90

Illustration 53 : Fosse d'évacuation des eaux usées située à 90 m à l'amont du forage Kawéni F2. Sur la photo de gauche, on aperçoit le tuyau d'évacuation des eaux usées qui part de la construction en tôle (photos BRGM du 21 septembre 2009).	91
Illustration 54 : Bananeraies à proximité immédiate du forage Kawéni F2 à gauche et dans le bassin de la Kaouénilajoli à droite (photo BRGM du 21 septembre 2009).	92
Illustration 55 : Zone de maraichage à proximité du forage Kawéni F1, au niveau du point GPS 745 de l'illustration 10 (photo BRGM du 21 septembre 2009).	92
Illustration 56 : Plantation de manioc dans le bassin versant F1 et défrichage dans le bassin versant F2 (photos BRGM du 21 septembre 2009).	93
Illustration 57 : Culture sur brûlis dans les BAC des captages F1 et F2 à gauche et du captage Kawéni 3 10 pouces à droite (photo BRGM du 21 septembre 2009).	93
Illustration 58 : Vaches au piquet à proximité de bananeraies, à gauche vers le point GPS 750 de l'illustration 10, à droite à proximité du forage F2 (photos BRGM du 21 septembre 2009).	94
Illustration 59 : Utilisation d'une carcasse de réfrigérateur comme abreuvoir pour les zébus (photo BRGM du 21 septembre 2009).	94
Illustration 60 : Casse automobile située à une centaine de mètres du forage F1 (photos BRGM du 21 septembre 2009).	96
Illustration 61 : Site de garage et de casse automobile situé à 225 mètres du forage F1 (photos BRGM du 21 septembre 2009).	96
Illustration 62 : Décharge d'appareils électroménagers située à moins de 95 mètres du forage Kawéni 3 10 pouces (photos BRGM du 21 septembre 2009).	97
Illustration 63 : Casse automobile et zébus situés dans le champ de tir, à moins de 65 mètres du forage Kawéni 3 10 pouces (photos BRGM du 21 septembre 2009).	97
Illustration 64 : Décharge de ferrailles et pot de goudron situés à un peu plus de 50 mètres du forage Kawéni 3 10 pouces (photos BRGM du 21 septembre 2009).	98
Illustration 65 : Cartographie des pressions exercées sur le BAC des captages Kawéni F1 et Kawéni F2.	100
Illustration 66 : Cartographie des pressions exercées sur le BAC du captage Kawéni 3 10 pouces.	101
Illustration 67 : Croisement de la vulnérabilité et des pressions inventoriées sur le BAC des captages Kawéni F1 et Kawéni F2.	103
Illustration 68 : Croisement de la vulnérabilité et des pressions inventoriées sur le BAC du captage Kawéni 3 10 pouces.	105

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales caractéristiques du bassin versant de la dépression de Kawéni et de trois de ses sous bassins versants (d'après le MNT au pas de 25 m)	22
Tableau 2 : Evaluation de la pluie efficace moyenne annuelle (en mm) sur les bassins versants F1, F2 et du Mro Oua Kaouénilajoli et selon trois méthodes différentes	28
Tableau 3 : Formations aquifères rencontrées par les forages de Kawéni	36
Tableau 4 : Nombre de canaux, longueur cumulée du réseau hydrographique et densité de drainage dans les bassins versants de la dépression de Kawéni	46
Tableau 5 : Informations relatives au forage Kawéni F1 (indice BSS : 12307X0013/F1)	59
Tableau 6 : Débit hebdomadaire d'exploitation des forages F1, F2 et Kawéni 3 10 pouces (selon données SOGEA, 2006-2009)	63
Tableau 7 : Informations relatives au forage de Kawéni F2	65
Tableau 8 : Informations relatives au forage de Kawéni 3 10 pouces	69
Tableau 9 : Population de Kawéni (chiffres INSEE 2007)	86
Tableau 10 : Aléas naturels auxquels sont soumis les forages Kawéni F1, Kawéni F2 et Kawéni 3 10 pouces (d'après Audru et al., 2004)	99

Liste des annexes

Annexe 1 Carte lithologique du massif du M'tsapéré (source : Rapport BRGM RP-56660-FR, Guilbert M. et al. – 2008)	117
Annexe 2 Résultats des analyses réalisées sur les eaux brutes de septembre 2008 à juillet 2009 sur les forages exploités de la dépression de Kawéni (F1, F2 et 3 10")	121
Annexe 3 Coupes techniques et lithologiques des forages de Kawéni F1 (12307X0013), Kawéni F2 (12307X0014) et Kawéni 3 (12307X0021)	127
Annexe 4 Localisation des activités anthropiques potentiellement polluantes dans la dépression volcano-sédimentaire de Kawéni (© BRGM, 2009) : inventaire réalisé dans le cadre de l'année 4 de l'étude de l'aquifère de Kawéni	131
Annexe 5 Activités potentiellement polluantes identifiées dans la dépression de Kawéni dans le cadre de l'inventaire réalisé à l'échelle de Mayotte (cf. Frissant et al. 2004).....	135

1. Introduction

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

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

Le BRGM, pour le compte du SIEAM s'est engagé à mener en 2009 les études relatives à la délimitation et à la caractérisation des Bassins d'Alimentation de Captages sur le bassin versant de la dépression de Kawéni qui compte 3 ouvrages d'eau en fonctionnement :

- le forage de Kawéni F1 (BSS 12307X0013/F1) réalisé en 1991 et en fonctionnement depuis cette date ;
- le forage de Kawéni F2 (BSS 12307X0014/F2) réalisé en 1991 et en fonctionnement depuis cette date ;
- le forage de Kawéni 3 10 pouces (BSS 12307X0021/Kaoue3) réalisé en 2000 et en fonctionnement depuis 2004.

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

En ce qui concerne la définition de la méthodologie d'étude, le BRGM a travaillé sur l'élaboration d'une méthodologie nationale relative aux eaux souterraines (rapports BRGM/RP-55332-FR, RP-55874-FR et RP-55875-FR) qui peut être adaptée aux milieux poreux, aux aquifères karstiques ainsi qu'aux aquifères fissurés de socle et/ou - dans une certaine mesure - volcaniques. En complément, l'Office Fédéral Suisse de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP) a apporté sa contribution à la délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré (de type massif alpin) par l'élaboration d'une méthodologie plus spécifique appelée DISCO.

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

Après réflexion, les méthodologies BRGM et OFEFP ne peuvent être appliquées en l'état de manière pertinente sur le sol mahorais en raison des différences de contexte géologique, climatologique, historique, d'occupation des sols, de la diversité des ouvrages d'eau (eau de surface et souterraine) et surtout de connaissance en général. En effet, ces méthodologies nécessitent dans leur application un certain volume de connaissance du milieu et de données qu'il est – à l'heure actuelle – impossible de rassembler à Mayotte. Ces différences contextuelles et le déficit de connaissances et de données nécessitent un travail d'adaptation et l'élaboration de nouveaux protocoles d'étude. Par conséquent, en préambule aux études de caractérisation des bassins d'alimentation de captages de Mayotte, la rédaction d'un rapport méthodologique en août 2009 (BRGM/RP-57299-FR) adapté au contexte a été rédigé et a permis de fixer les modalités de ces études, de sélectionner les outils adéquats de caractérisation des vulnérabilités et surtout de proposer un cadre méthodologique commun applicable à l'ensemble des études BAC à Mayotte réalisées en 2009¹. Un élément essentiel de ce rapport réside par exemple dans l'hypothèse retenue pour l'ensemble des études concernant les eaux souterraines : il a été admis que les aquifères à Mayotte sont inclus dans les bassins versants topographiques.

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

- **la délimitation de la surface d'alimentation** : il s'agit du tracé des limites de la surface participant à l'alimentation du captage. Pour chaque captage, le bassin considéré est la surface sur laquelle toute molécule d'eau précipitée atteindra le captage à plus ou moins brève échéance. En conséquence la délimitation des BAC nécessite de connaître à la fois les comportements hydrologiques des eaux de surface et hydrogéologiques des eaux souterraines.
- **la détermination de la vulnérabilité intrinsèque** : au sein du bassin délimité, il s'agit de déterminer les secteurs les plus contributifs à l'alimentation du captage de surface ou souterrain et donc susceptibles de représenter un danger de pollution prépondérant en cas de pollution exercée sur la surface du BAC. L'estimation de la vulnérabilité des captages de surface et souterrains est basée sur le ratio infiltration / ruissellement déterminé par calcul de l'IDPR adapté à Mayotte - c.à.d. en contexte volcanique insulaire sous climat tropical. En ce qui concerne les eaux de surface, la vulnérabilité se verra complétée par l'étude des temps et modalités de transfert des eaux (et par extension d'éventuels polluants en amont des captages) par jaugeages en basses eaux et application des formules de Manning Strickler en hautes eaux.
- **le recensement et l'évaluation des pressions exercées sur la surface du bassin d'alimentation** : l'inventaire des types de pression réalisé à l'échelle de l'île permet de hiérarchiser ces dernières en fonction de leur incidence sur la ressource

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

utilisée à des fins d'eau potable. Sur la surface de chaque BAC, seront identifiées les pollutions potentielles (en nature et volume) auxquelles le captage est exposé.

L'essentiel de la démonstration repose sur la description physique, géologique, hydrologique et hydrogéologique des BAC, ainsi que sur l'utilisation de l'outil IDPR pour la caractérisation de la vulnérabilité. Au final, le croisement des informations de vulnérabilité et de pressions hiérarchisées permet d'estimer – dans les limites de la surface du bassin d'alimentation – la sensibilité des captages aux pollutions diffuses et/ou chroniques. Sur la base de ces informations, des recommandations seront faites et des vigilances particulières seront à observer sur les zones les plus exposées, c.à.d. là où les secteurs les plus vulnérables coïncident avec les pressions les plus fortes. Ces résultats permettront d'estimer le degré actuel de protection de la ressource captée et surtout d'envisager la nature, le volume et les conditions du travail qui reste à réaliser, portant notamment sur la poursuite des études hydrogéologiques préalables à l'instauration des périmètres de protection de captages (envisagées pour 2010/2011).

2. Localisation des captages d'eau potable et présentation du bassin versant

2.1. LOCALISATION DES CAPTAGES D'EAU POTABLE

Le secteur d'étude se situe en Grande Terre dans le nord-est de l'île de Mayotte (cf. Illustration 1). Le bassin se développe en amont du village de Kawéni dans la commune de Mamoudzou.

Lors du premier semestre 2009, trois ouvrages captent les eaux souterraines dans la zone de Kawéni à des fins d'alimentation en eau potable des populations. Les forages concernés sont localisés (cf. Illustration 1) dans la dépression (cf. chapitre 2.2) pour deux d'entre eux (Kawéni F1, d'indice BSS : 12307X0013/F1 et Kawéni F2, d'indice BSS : 12307X0014/F2), le troisième étant situé à l'embouchure de la ravine de Kaouénilajoli (Kawéni 3 10 pouces, d'indice BSS : 12307X0021/Kaoué3).

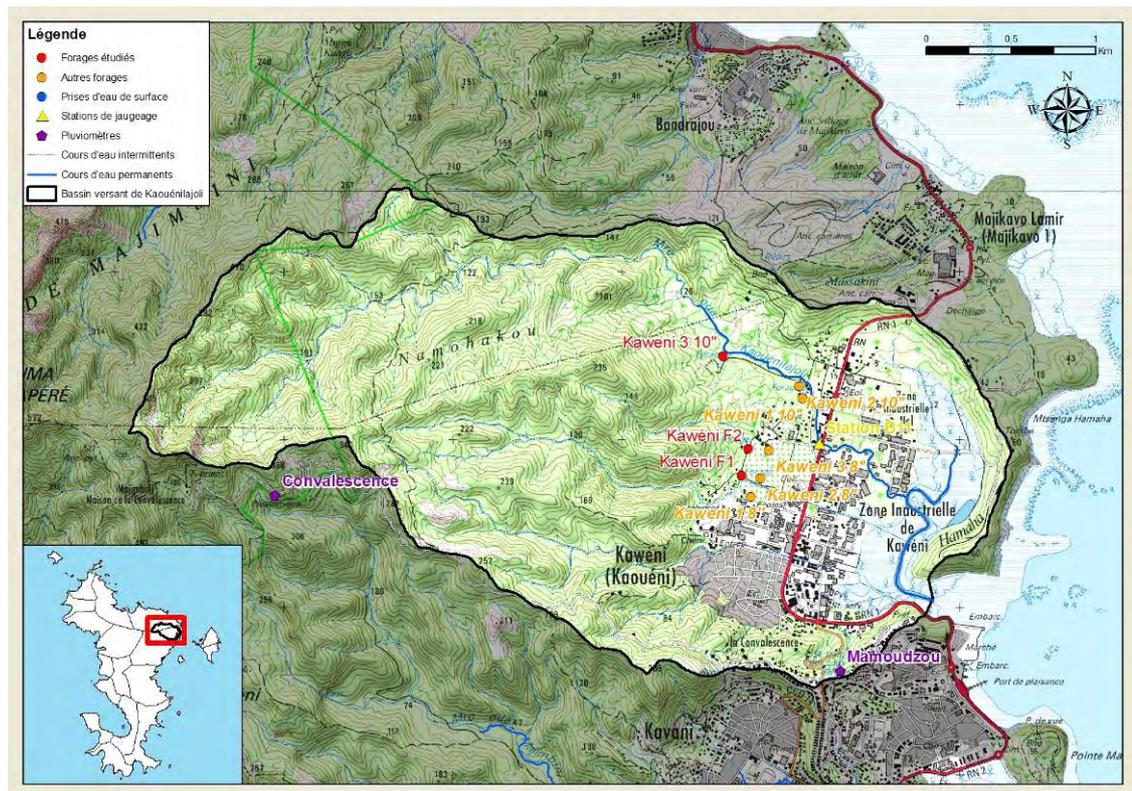


Illustration 1 : Localisation du bassin versant topographique de Kaouénilajoli, des ouvrages d'eau, des autres forages et des pluviomètres présents dans ce secteur (support IGN© 1/25 000).

En plus de ces ouvrages présents dans le bassin, il faut ajouter les suivants :

- les piézomètres de Kawéni 1 8'' (12307X0011/KAWE1) et Kawéni 2 8'' (12307X0012/KAWE2) issus de la 1^{ère} campagne de reconnaissance des eaux souterraines à Mayotte en 1991/1992. Seul le piézomètre de Kawéni 1 8'' est encore fonctionnel, l'autre a été vandalisé ;
- les forages plus récents de Kawéni 1 10'' (12307X0019/Kaoué1) et Kawéni 2 10'' (12307X0020/Kaoué2) de la campagne de 1999/2000 non exploités.

La SOGEA comptabilise les prélèvements cumulés des forages F1 et F2, et de façon indépendante les prélèvements réalisés sur le forage Kawéni 3 10 pouces. Les trois ouvrages sont fonctionnels courant septembre 2009.

La description détaillée des différents forages est effectuée dans la partie 3.

2.2. TOPOGRAPHIE

2.2.1. Altitudes

Le bassin versant de la dépression de Kawéni s'étend d'un relief (513 m NGM¹) situé à l'est du sommet du Mlima M'tsapéré jusqu'à la mangrove de Kawéni où il rejoint le lagon (cf. Illustration 2). Il se situe à cheval sur les communes de Mamoudzou au sud et de Koungou au nord. La surface totale du bassin versant est de 8,8 km² ; son périmètre est de 18,4 km pour une longueur de 4,7 km et pour une largeur maximale de 2,5 km. Environ 93 % de la surface du bassin versant est comprise entre 0 et 300 m d'altitude. L'indice de compacité de Gravelius² du bassin versant est de 1,75.

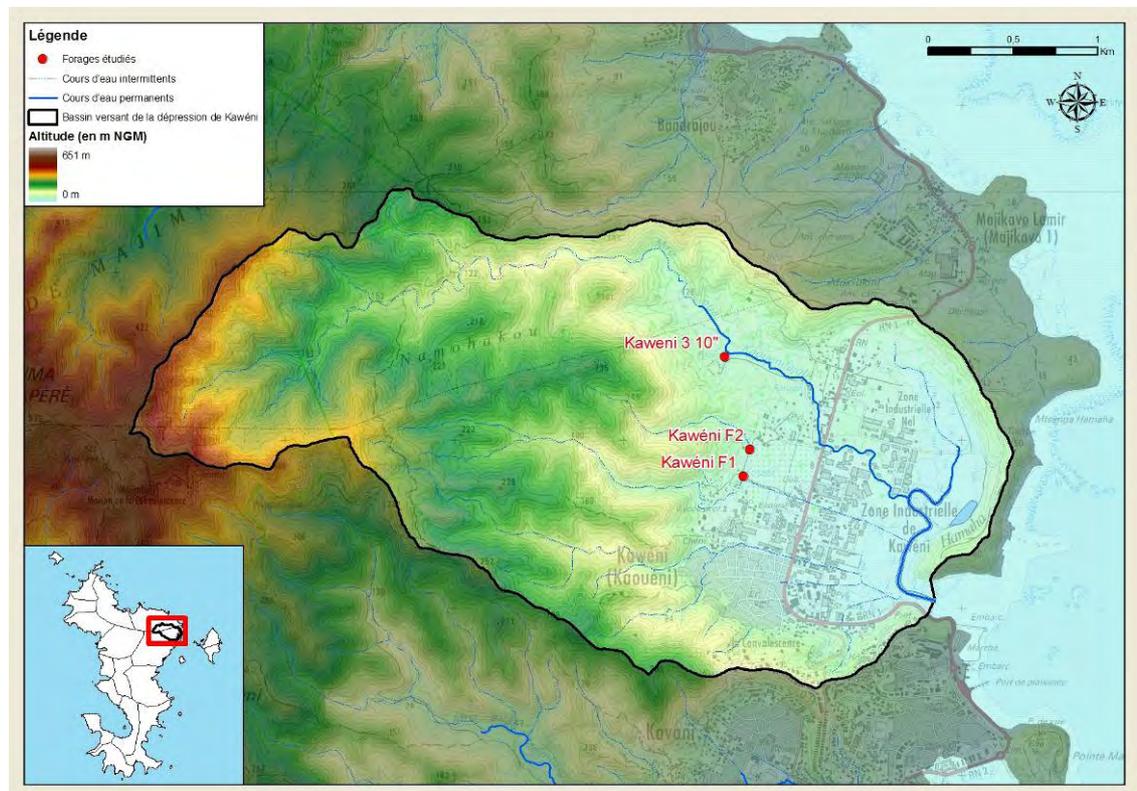


Illustration 2 : Altitude du bassin versant d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m

Le bassin versant de la dépression de Kawéni peut être découpé en cinq sous-bassins versants principaux (cf. « modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de

¹ Nivellement Général de Mayotte

² L'indice de compacité de Gravelius est le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface

Kawéni – année 1 » – 2004), drainés en surface par des cours d'eau intermittents. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons particulièrement à trois d'entre eux, délimités à leur exutoire par la localisation des forages d'exploitation pour l'alimentation en eau potable des populations. Il s'agit des sous bassins versants :

- de la Mro Oua Kaouénilajoli, avec pour limite inférieure le site du forage Kawéni 3 10 pouces ;
- dont l'exutoire se situe au niveau du forage Kawéni F1 et que l'on appellera par la suite sous-bassin F1 ;
- dont l'exutoire se situe au niveau du forage Kawéni F2 et que l'on appellera par la suite sous-bassin F2.

Leurs caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1 (qui reprend aussi les caractéristiques relatives au bassin versant de la dépression de Kawéni) et leur délimitation dans l'illustration 3.

On remarque notamment la bonne cohérence des bassins versants en termes d'indice de compacité de Gravelius, ainsi qu'une présence importante des terrains situés à une altitude comprise entre 200 et 400 m NGM. De façon plus détaillée, les illustrations 4 à 7 présentent l'histogramme de répartition des altitudes pour chacun des bassins.

	BV du forage F1	BV du forage F2	BV du forage Kaweni 3 10"	Dépression de Kaweni
Longueur du bassin versant (km)	2.2	1.1	4.0	4.7
Largeur du bassin versant (km)	0.78	0.35	1.3	2.5
Périmètre du bassin versant (km)	5.35	2.69	9.48	14.06
Surface du bassin versant (km ²)	0.99	0.30	3.65	9.35
Indice de compacité de Gravelius	1.52	1.39	1.40	1.30
Altitude minimale (m)	12	16	18	0
Altitude moyenne (m)	149	112	198	125
Altitude maximale (m)	302	223	513	513
Altitude inférieure à 100 m	23%	45%	17%	45%
Altitude entre 100 et 200 m	43%	49%	36%	30%
Altitude entre 200 et 300 m	34%	7%	31%	18%
Altitude entre 300 et 400 m	0%	-	13%	5%
Altitude supérieure à 400 m	-	-	3%	1%

Tableau 1 : Principales caractéristiques du bassin versant de la dépression de Kawéni et de trois de ses sous bassins versants (d'après le MNT au pas de 25 m)

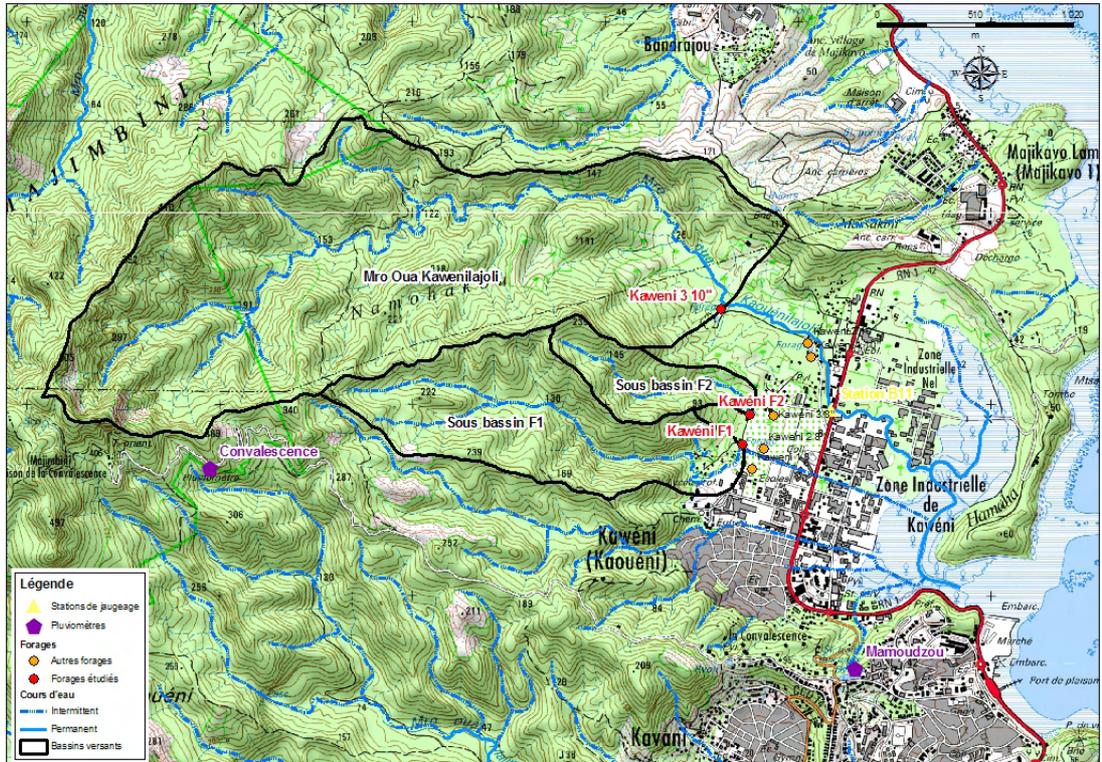


Illustration 3 : Délimitation des sous-bassins versants étudiés (support IGN© 1/25 000).

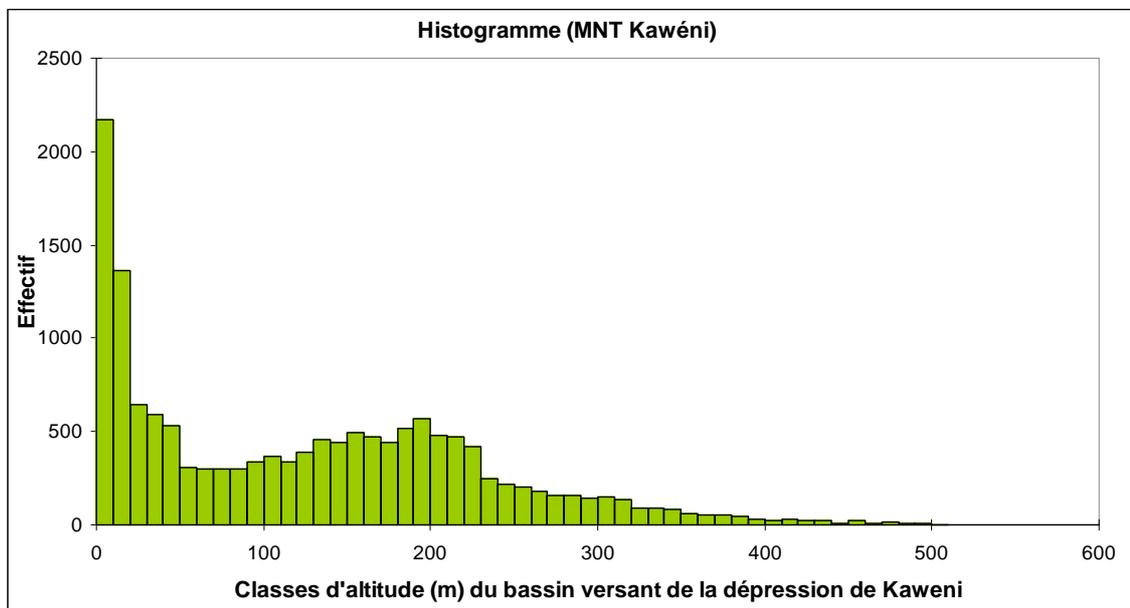


Illustration 4 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant de la dépression de Kawéni (d'après le MNT au pas de 25 m). L'effectif comptabilisé est celui des mailles du MNT de l'IGN appartenant à chaque classe d'altitude.

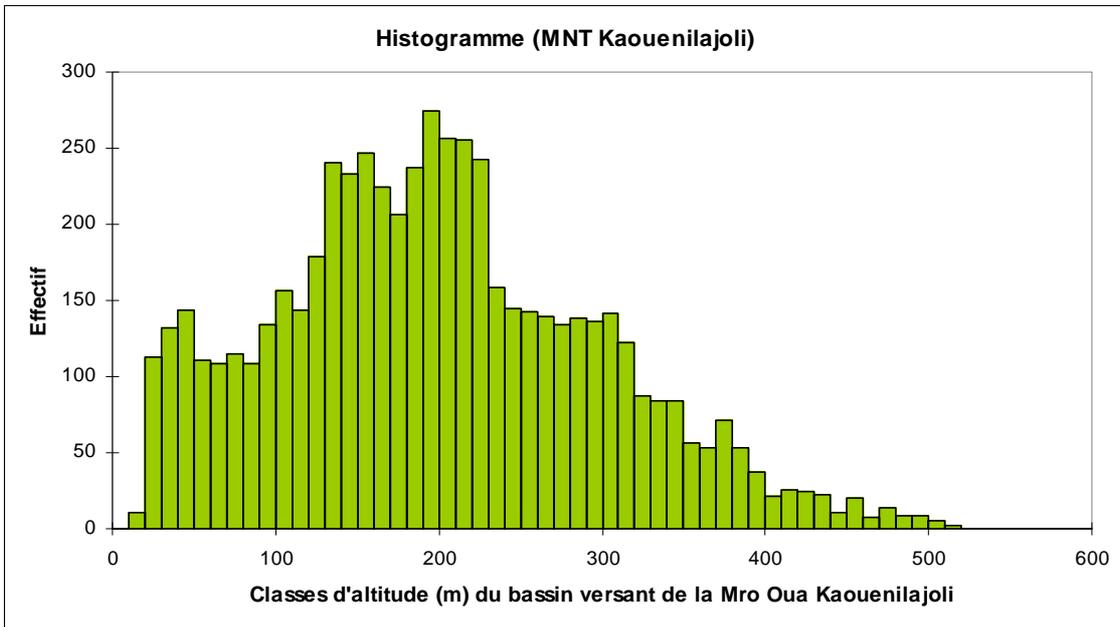


Illustration 5 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant de la Mro Oua Kaouénilajoli (d'après le MNT au pas de 25 m).

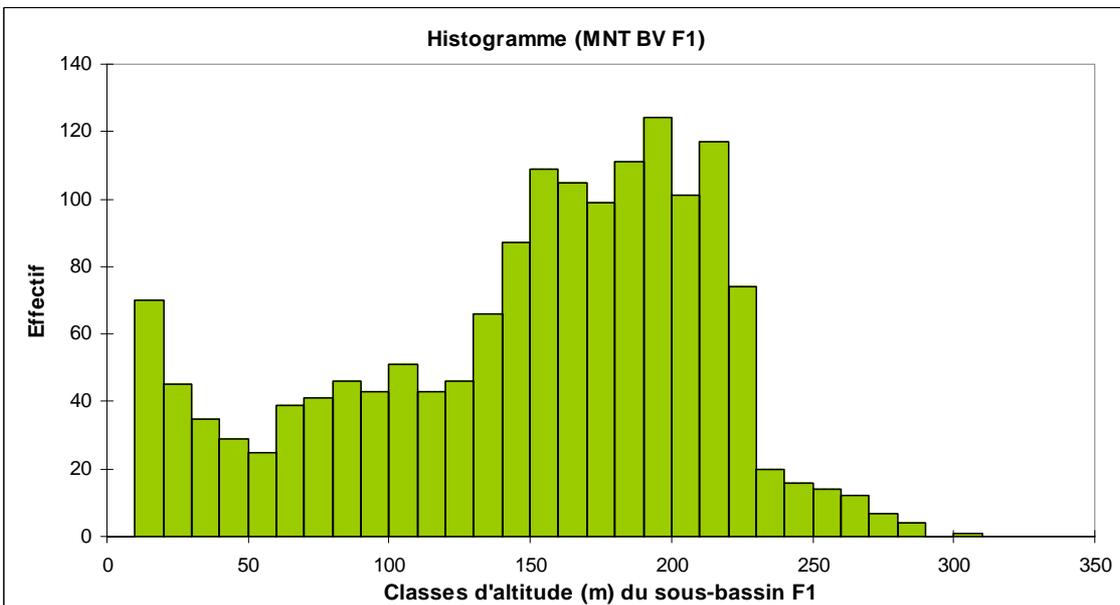


Illustration 6 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant F1 (d'après le MNT au pas de 25 m).

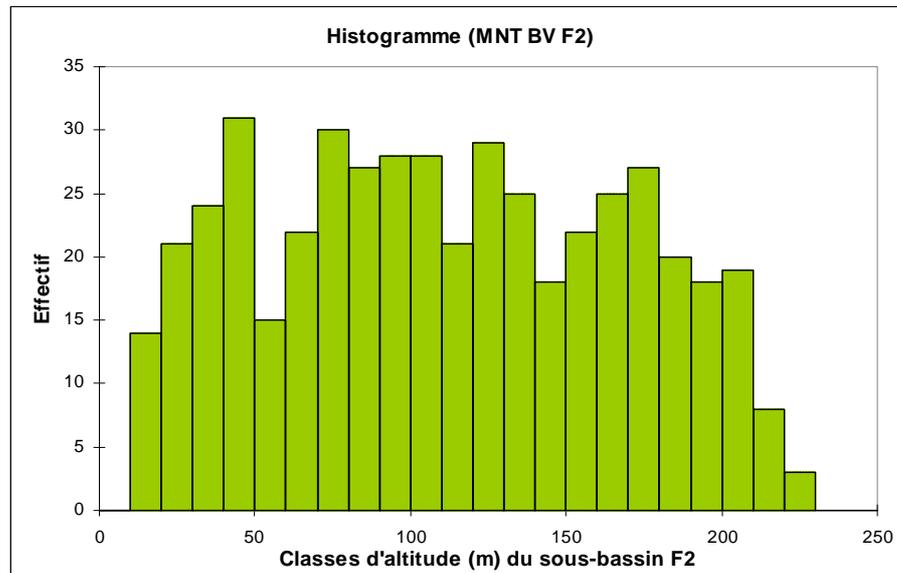


Illustration 7 : Histogramme de répartition des altitudes sur le bassin versant F2 (d'après le MNT au pas de 25 m).

Mis à part pour le bassin versant F2, ces histogrammes montrent l'existence d'une forte présence des altitudes comprises entre environ 130 et 230 m NGM. Ceci correspond à l'existence de faibles pentes sur les terrains présents à cette altitude. On note la rupture nette dans la représentation des altitudes supérieures à 230 m NGM par rapport aux classes d'altitudes précédentes. L'ensemble des histogrammes fait aussi apparaître une sous représentation des altitudes de la classe 50-60 m NGM, ce qui pourrait correspondre à une rupture de pente à cette altitude.

Des propositions d'interprétation géologique de ces observations seront effectuées par la suite.

2.2.2. Pentés

La carte des pentes est présentée en Illustration 8. Cette carte montre tout d'abord le caractère plan du cœur de la dépression de Kawéni. Elle confirme aussi l'existence d'une zone moins accidentée dans la partie centrale du bassin versant, encadrée par deux secteurs à fortes pentes (zone amont et secteurs situés directement à l'amont des captages d'eau potable). On retrouve là la zone identifiée au travers des histogrammes des altitudes.

Les flancs du M'tsapéré ressortent aussi nettement, avec de très fortes pentes, corrélables au massif de phonolites observés par ailleurs dans ce secteur (cf. partie « géologie »).

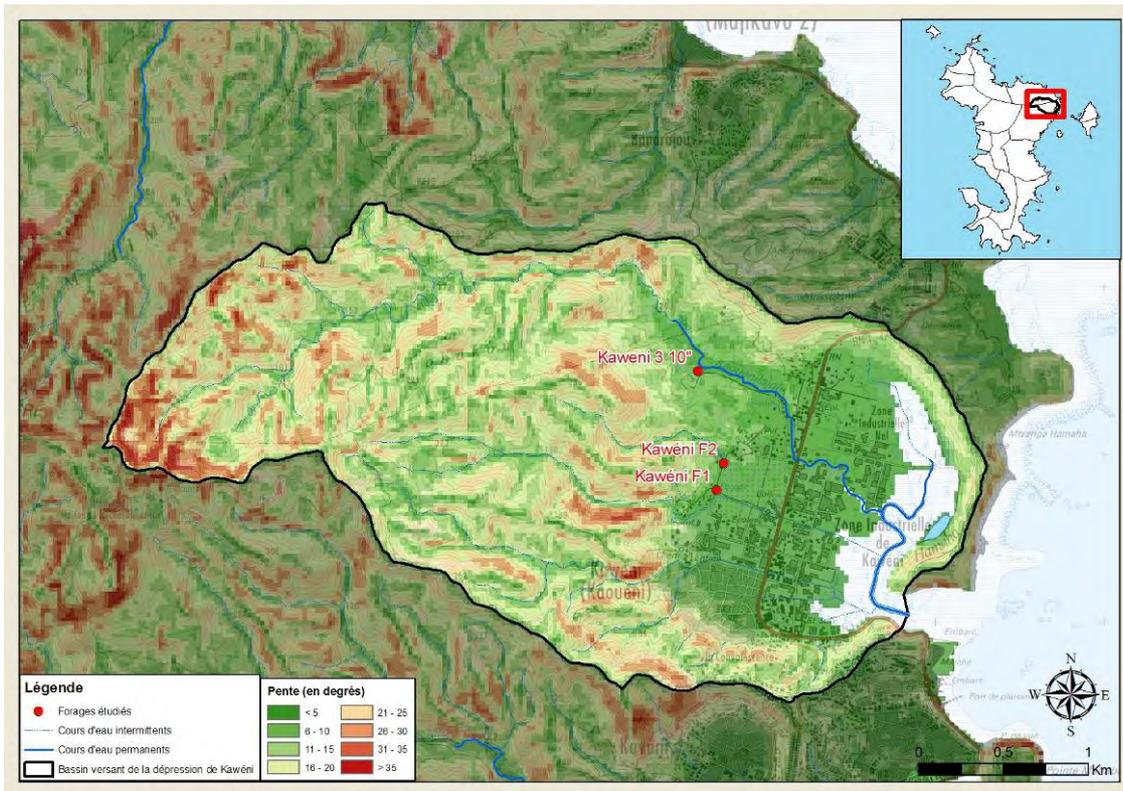


Illustration 8 : Pentés des terrains dans le bassin versant d'après le modèle numérique de terrain au pas de 25 m

2.3. CLIMATOLOGIE

La climatologie du bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli fait l'objet d'une étude détaillée dans le rapport relatif aux modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni Année 4 (cf. rapport BRGM/RP-57385-FR).

Les traits principaux relatifs à la pluviométrie et les calculs de l'ETP et de la pluie efficace sont résumés ci-dessous.

Trois méthodes ont été adoptées pour estimer la pluie efficace du bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli :

- méthode 1 : choix d'un poste pluviométrique considéré comme représentatif de la pluviométrie sur le bassin versant. L'ETP prise en compte est celle de l'altitude du poste pluviométrique (ETP mensuelle reconstituée à partir d'une corrélation linéaire basée sur l'altitude, cf. rapport BRGM/RP-57385-FR). Le calcul de la pluie efficace est effectué à un pas de temps journalier (ETP supposée constante sur un mois). Pour les bassins F1 et F2, le poste pluviométrique retenu est celui de Gouloué, situé à une altitude de 159 m, soit relativement proche de leur altitude moyenne. Pour le bassin du Mro Oua Kaouénilajoli, le poste pluviométrique retenu est celui d'Ongoujou, situé à une altitude de 216 m, soit relativement proche de son altitude moyenne. Ces deux postes font partie de ceux utilisés pour identifier une corrélation linéaire de la pluie en fonction de l'altitude sur le bassin versant de la dépression de Kawéni dont les résultats montrent que la relation $P_z=f(z)$ peut s'écrire $P_z=1.3091z+1205,8$ avec P_z le cumul des précipitations annuelles à l'altitude z . La valeur de RFU considérée est fixée à 100 mm ;
- méthode 2 : la pluviométrie et l'ETP considérées sont celles estimées par les corrélations linéaires à l'altitude moyenne du bassin versant. La pluviométrie et l'ETP sont mensuelles, et le calcul de la pluie efficace est effectué au même pas de temps. Une RFU de 50 mm a été considérée afin de rendre compte du biais introduit par la réalisation du calcul au pas de temps mensuel¹ ;
- méthode 3 : pour chaque cellule de 25 m par 25 m du MNT du bassin versant (MNT au pas de 25 m, cf. illustrations 4 à 7), un calcul de pluie efficace est conduit. La pluie efficace moyenne du bassin versant correspond alors à la moyenne des pluies efficaces calculées pour chaque cellule du MNT. La pluviométrie et l'ETP considérées sont celles estimées par les corrélations linéaires à l'altitude de cette cellule. La pluviométrie et l'ETP sont mensuelles, et le calcul de la pluie efficace est effectué au même pas de temps. Une RFU de 50 mm a été considérée afin de

¹ Cette valeur de 50 mm vise à rendre compte du biais introduit par la réalisation d'un calcul au pas de temps mensuel. Elle a été établie par comparaison des pluies efficaces obtenues par un calcul au pas de temps journalier et par un calcul au pas de temps mensuel pour les stations de la Convalescence et de Gouloué, sur la période 1996-2008. En adoptant cette correction sur la RFU, l'écart obtenu entre les deux méthodes pour le calcul des pluies efficaces moyennes interannuelles des deux postes est de 1%.

rendre compte du biais introduit par la réalisation du calcul au pas de temps mensuel¹.

Pour les trois méthodes, les données pluviométriques utilisées sont celles de la période 1996-2008. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 2 :

	Altitude moyenne (en m)	Pluie efficace M1 (en mm)	Pluie efficace M2 (en mm)	Pluie efficace M3 (en mm)
Kaouenilajoli	198	724	650	653
F1	149	659	576	568
F2	112	659	532	506

Tableau 2 : Evaluation de la pluie efficace moyenne annuelle (en mm) sur les bassins versants F1, F2 et du Mro Oua Kaouénilajoli et selon trois méthodes différentes

Il apparaît que les valeurs obtenues par les méthodes 2 et 3 sont très semblables pour les bassins F1 et de Mro Oua Kaouénilajoli, tandis que l'écart observé pour le bassin F2 demeure faible (4%).

La méthode 1 fournit pour l'ensemble des bassins une valeur majorante de la pluie efficace.

Les pluies efficaces obtenues par les méthodes 2 et 3 représentent environ :

- pour le bassin versant F1, 41% de la pluie moyenne ;
- pour le bassin versant F2, 37% de la pluie moyenne ;
- pour le bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli, 45% de la pluie moyenne.

2.4. GEOLOGIE

2.4.1. Contexte géologique du Nord-est de l'île : le massif du M'taspéré

Afin de replacer la géologie de la dépression de Kawéni dans le contexte de Mayotte, le lecteur pourra se reporter par exemple au rapport de Jourdain et al. (2002) qui propose une synthèse de la géologie mahoraise en pages 13 à 16.

Concernant la géologie du Nord-est de l'île, le secteur du massif du M'taspéré résulte d'une évolution volcanologique en trois phases (Jourdain et al., 2002) :

- début de l'édification du massif volcanique du M'taspéré il y a 1,8 Ma par des effusions successives de laves : alternance de basalte massif, de niveaux scoriacés et d'altérites (paléosols). Les coulées de lave présentent différents degrés d'altération selon leur position géographique et morphologique : argilisées, altérées en boules ou saines. A la base des coulées de lave se trouve un niveau brèche (aspect brèche à conglomératique : gros blocs polygéniques de laves altérées, dont certains sont arrondis, inclus dans une matrice argilisée) ;
- fin de l'édification du massif volcanique de M'taspéré par une phase d'activité phonolithique datée de vers 1,5 Ma. Entre 1,5 Ma et 500 000 ans, des dépôts fluviaux (sables, galets, etc.) ont comblé les paléo-reliefs pendant une période de quiescence volcanique. Ces dépôts peuvent atteindre une trentaine de mètres d'épaisseur environ (forage de Kawéni 2 : 1230-7X-0020) ;
- enfin, un volcanisme explosif mal daté (autour de 500 000 ans mais avec des événements plus jeunes...) a donné lieu à l'émission de pyroclastites (retombées et écoulements) différenciées (trachytes) ou basiques (basaltes) et à la construction de cratères représentés par les « maars » (dynamisme phréato-magmatique) de Cavani et Kawéni. Les dépôts pyroclastiques associés ont été conservés autour de ces deux cratères. Ces épisodes explosifs sont également marqués par la présence de cônes volcaniques stromboliens (ex : hauts de Cavani et pointe Mahabou), composés d'une accumulation de projections scoriacées (blocs, lapilli).

Un extrait de la carte géologique de Stieltjes (1988) est présenté en Illustration 9. Des travaux ultérieurs ayant permis d'améliorer la connaissance géologique de la dépression (voir annexe 1 et chapitre 2.4.2 notamment), elle n'est fournie qu'à titre indicatif.

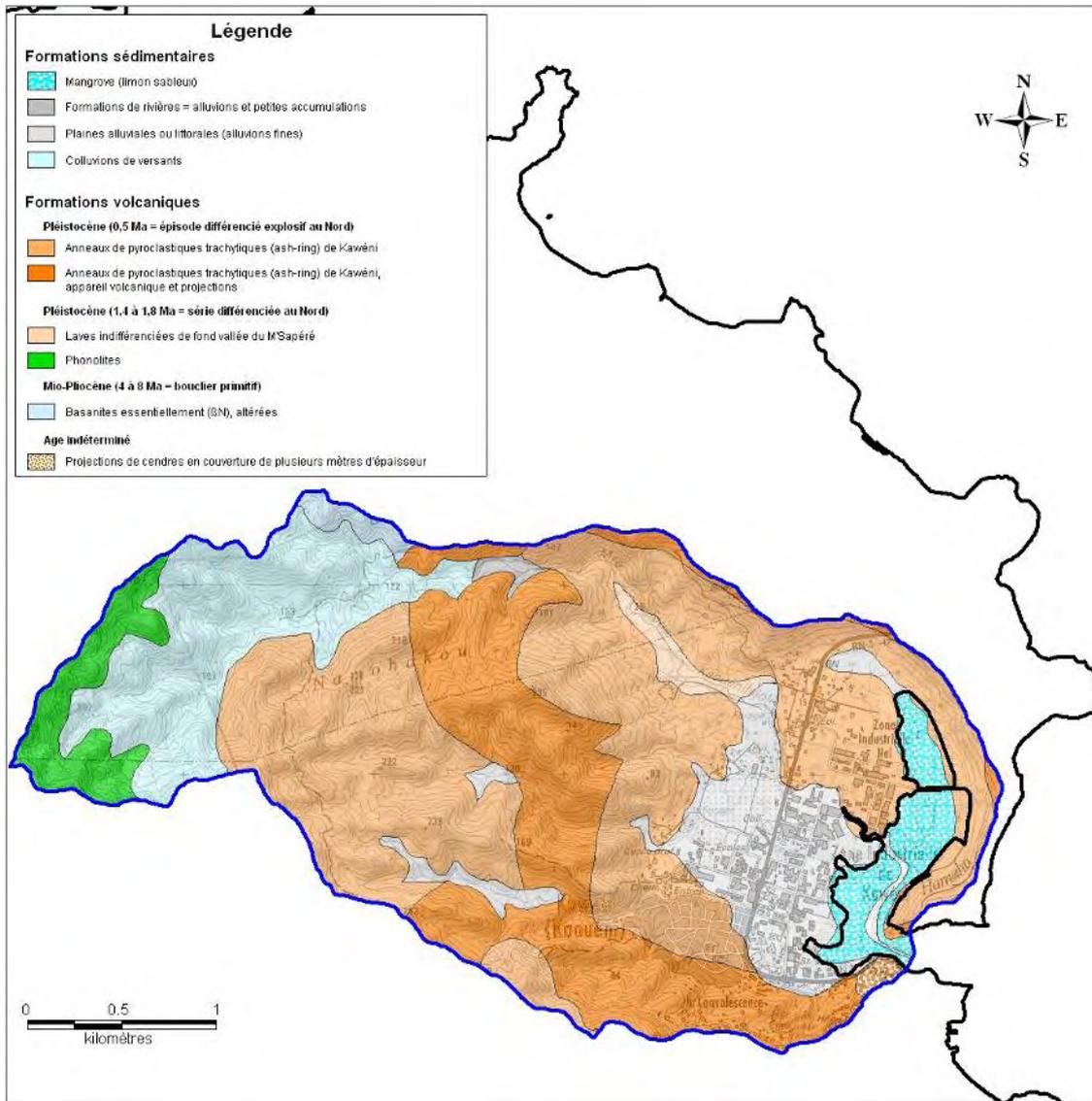


Illustration 9 : Extrait de la carte géologique de Stieltjes (1988)

2.4.2. Géologie du bassin versant de la dépression de Kawéni

Une synthèse de la connaissance géologique du bassin versant de la dépression de Kawéni est proposée dans le rapport d'année 3 relatif à son étude (Malard, 2008). Les éléments présentés ci-dessous sont donc tirés de ce rapport.

A la lecture de la carte lithologique (projet « Synthèse hydrogéologique du Nord-est de Mayotte. Caractérisation des masses d'eau souterraine des secteurs de Petite Terre et de Tsoundzou-Koungou » RP-56600-FR [Guilbert et al., 2008]) présentée en Annexe 1 et réalisée sur la base de résultats géophysiques, de relevés de terrain et de coupes de forages, il est possible d'illustrer les phénomènes géologiques suivants.

- i. Le substratum a été simplement mis en évidence par le biais des profils géophysiques [...] mais n'a jamais été rencontré en surface. Les travaux géologiques précédents semblent rattacher cette formation ancienne à l'édifice volcanique septentrional qui marque le substratum du nord de l'île mais dont on ne sait finalement que peu de choses, si ce n'est que cette formation semble très altérée, ce qui rend sa détermination difficile.
- ii. Les unités surmontant le substratum (socle rocheux sain de forte résistivité) du cratère de Kawéni sont identifiées comme étant des basaltes de faciès β_2 (basalte à phénocristaux de pyroxène du M'tsapéré), rencontrées en amont du cratère, et s'enfonçant progressivement par le jeu des failles bordières (il est important de noter que l'existence de ces dernières est fortement supposée mais non encore réellement démontrée). La nature de ce basalte et sa géométrie n'étant pas encore tout à fait confirmées, il est possible qu'une partie de cette structure soit en réalité formée par des pyroclastites indurées [...].
- iii. En recouvrement de ces unités viennent se déposer des scories, attribuées au volcanisme récent du M'Tsapéré ainsi que des pyroclastites dont l'origine est liée aux explosions phréato-magmatiques violentes responsables de la formation de la dépression circulaire de Kawéni. Ces dépôts se retrouvent dans la dépression de Kawéni (dépôts pyroclastiques en place ou remaniés) ainsi qu'à la périphérie sud mais essentiellement nord et nord-est de la dépression (dépôts pyroclastiques en forme de croissant issus de retombées et de déferlantes qui dévalent les pentes du cratère ainsi formé). Le style géologique du cratère de Kawéni met bien en évidence l'important remplissage volcano-sédimentaire tardif du cratère qui constitue la formation aquifère la plus intéressante du secteur. Cette formation aquifère peut être assimilée à un milieu poreux bien que dans le détail, les horizons soient très hétérogènes.
- iv. En amont de la dépression (dans la partie ouest essentiellement) le style géologique fait apparaître un enchevêtrement de coulées basaltiques comblant des paléo vallées. Le substratum identifié est le basalte de faciès β_2 . Il est entaillé par de profondes paléo vallées qui ont été comblées par des coulées basaltiques de faciès β_3 (basalte mésocrate à olivine, pyroxène et amphibole du M'tsapéré). Par la suite, des coulées de trachy-andésite viennent combler les paléo-vallées entaillées dans les formations sous-jacentes. Jusqu'à présent, ce type de coulée n'a été identifié que dans le secteur amont du cratère de Kawéni. Des coulées de téphrites et de basaltes récents (faciès ankaramites) viennent en recouvrement des formations sous-jacentes.
- v. Le cours d'eau de la Kaouénilajoli entaille l'ensemble des formations et déposent des alluvions plus ou moins hétérogènes.
- vi. Au centre et à l'est de la dépression, des formations sédimentaires de mangrove et de plage se déposent au gré des marées.

Des éléments complémentaires figurent dans ce rapport, comme par exemple des cartes du toit et du mur de certaines formations identifiées au travers des profils

géophysiques (notamment la formation résistante interprétée comme des basaltes ou des pyroclastites indurées).

D'autre part, la reconnaissance des bassins versants effectuée le 21 septembre 2009 a été l'occasion de relever quelques affleurements dans les bassins F1 et F2, confirmant la vision proposée précédemment :

- en rive droite de la ravine principale du bassin F1, au niveau du point 754 (cf. Illustration 10), on identifie un affleurement de basalte sous la forme de blocs métriques, parcouru d'une fissuration subverticale et couvrant une dizaine de mètres de largeur. Observé à la loupe binoculaire, un échantillon prélevé sur le site montre la présence de peu de phénocristaux, une absence de pyroxènes et la présence de petits feldspaths sodiques et d'amphiboles. Ceci correspond à un basalte de type $\beta 3$. Ceci est cohérent avec la carte lithologique du M'tsapéré qui indique pour ce point que l'on est au contact des basaltes $\beta 2$ et $\beta 3$;
- en rive droite de la ravine principale du bassin F1, au niveau du point 757, on identifie un affleurement d'une formation scoriacée, constituant le substratum de la ravine présente en rive droite en ce point. La carte lithologique du massif du M'tsapéré indique bien la présence de scories dans ce secteur ;
- au niveau du point 758, il a été observé une formation basaltique altérée (altération d'un bloc en pelure d'oignons, cf. Illustration 12), présentant une patine grise claire. Un échantillon prélevé sur le site et observé à la loupe binoculaire montre la présence des minéraux suivants : amphibole, feldspaths (plagioclases), néphéline. On note l'absence de cristaux d'olivine et de pyroxènes. Ceci correspond très probablement à un basalte de type trachyandésite (α), ce qui est cohérent avec la carte lithologique du M'tsapéré qui indique pour ce point que l'on est au contact entre la trachyandésite et le basalte $\beta 2$.

Ces observations confortent les résultats des travaux menés en 2008 sur la reconnaissance géologique des versants du cratère de Kawéni.

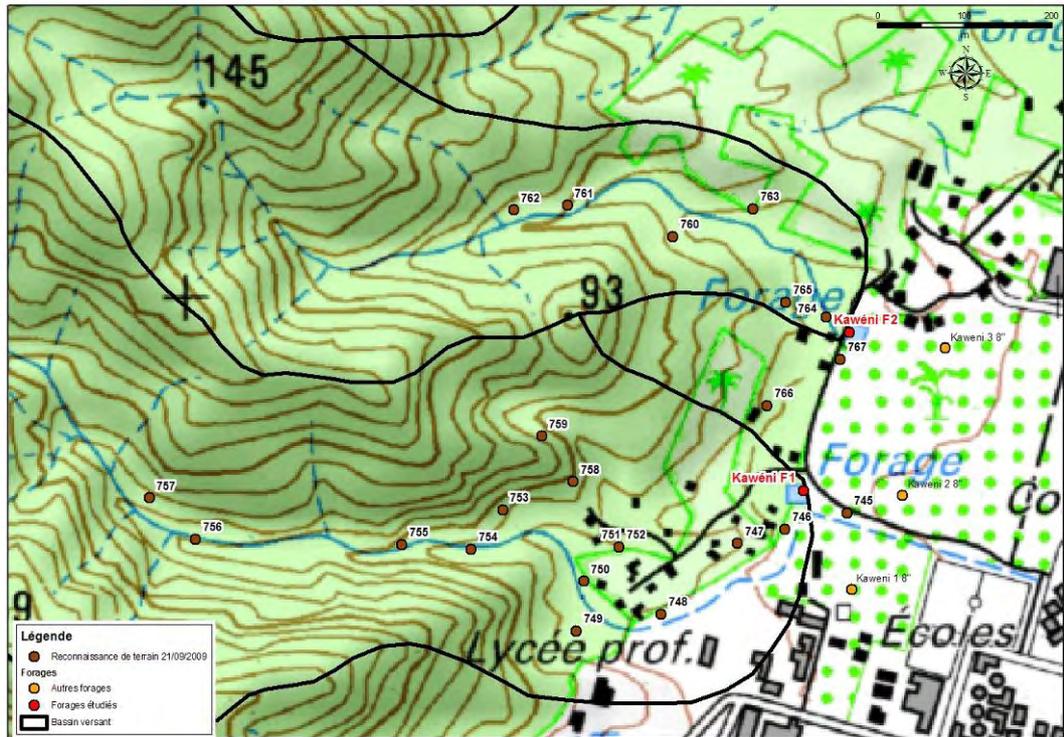


Illustration 10 : Localisation des principaux points d'observation de la visite terrain du 21/09/2009 sur les bassins versants F1 et F2



Illustration 11 : Affleurement d'une formation scoriacée au niveau du point 757

Illustration 12 : Affleurement d'une formation basaltique altérée de type trachyandésite au niveau du point 758



2.5. HYDROGEOLOGIE DE LA DEPRESSION

2.5.1. Modèle hydrogéologique de la dépression de Kawéni

Les éléments ci-dessous sont tirés de l'étude de la dépression de Kawéni, année 3 (Malard, 2008) :

« Au regard des données de forages et des campagnes géophysiques réalisées en années 1 et 2, un modèle relativement simple de la structure hydrogéologique de la dépression de Kawéni peut être établi. La succession des niveaux les plus récents aux plus anciens peut être résumée de la manière suivante :

- i. Formations sédimentaires de type mangrove ou alluvions, recouvrant l'aquifère volcano-sédimentaire sous-jacent, pouvant jouer le rôle de semi-perméable mais pouvant le cas échéant présenter des petites nappes superficielles de maigre intérêt. Les endroits où l'aquifère n'est pas couvert par ces formations sédimentaires auraient manifestement une vulnérabilité plus marquée et sont donc plus sensibles aux éventuels risques de pollution par infiltration directe.
- ii. Aquifères volcano-sédimentaires : sédiments actuels et sédiments plus anciens d'origine pyroclastique qui comblent la dépression. Les transmissivités de ces unités sont de l'ordre de 2 à 7.10^{-3} m²/s, valeurs sensiblement plus élevées que celles rencontrées communément dans les autres aquifères de l'île (de 10^{-4} à 10^{-3} m²/s en moyenne). Le mur de ces formations est situé à une profondeur d'environ 30 mètres à l'ouest de la dépression. Il est bien plus profond au centre de la dépression (50 m de profondeur).
- iii. Aquifère potentiel profond de basaltes ou pyroclastites indurées : une première représentation spatiale du toit de cette unité sous-jacent aux formations volcano-sédimentaires a été réalisée. L'épaisseur de ces formations varie de 30 à plus de 100 mètres. Aucun forage si ce n'est le 12307X0021/Kaoué3 n'a encore recoupé ces formations qui présentent un potentiel aquifère à déterminer. Les arguments géophysiques et la géométrie de cette formation laissent penser que le potentiel hydrogéologique existe, mais tant que la lithologie exacte n'a pas été précisée, il est délicat d'estimer le potentiel au sens de l'exploitation.
- iv. Les formations du « substratum conducteur profond » de nature indéterminée : elles jouent probablement le rôle d'imperméable, sans exclure localement la présence de niveaux perméables en leur sein. La caractérisation de ces formations (paramètres hydrodynamiques et géométrie) ne constitue pas un enjeu majeur dans le cadre de l'exploitation et de la protection de la ressource en eau souterraine de Kawéni dans la mesure où elles semblent se situer à des profondeurs importantes (altitudes inférieures à -100 m NGM, soit une profondeur supérieure à 100 m) en partie aval du système.

Les formations rencontrées par les différents ouvrages (cf. Illustration 1 pour leur localisation) de la dépression de Kawéni sont présentées dans le Tableau 3.

Code BSS	Désignation	Formations aquifères	Perméabilité moyenne (m/s) ou transmissivité (m ² /s)
12307X0013	F1 (42 m)	Aquifère captif : basaltes (de -5 à -12 NGM) et sables gris noir (de -12 à -27 NGM)	Transmissivité évaluée à $2,6 \cdot 10^{-3}$ m ² /s
12307X0014	F2 (40m)	Aquifère captif : crépine de 3 à -22 NGM : limons (de 3 à -13 NGM) et sables limoneux (de -13 à -22 NGM)	Transmissivité évaluée à $2,1 \cdot 10^{-3}$ m ² /s
12307X0011	Kawéni 1 8'' (50 m)	Aquifère captif : basaltes altérés (de -2 à -4,4 NGM) et sables et alluvions (de -6,4 à -37 NGM)	2,05.10 ⁻⁵ (à 27 m) 2,95 10 ⁻⁵ (à 34 m) 4,1.10 ⁻⁵ (à 41 m)
12307X0012	Kawéni 2 8'' (31 m)	Aquifère captif : crépine de 0 à -19,6 NGM ; alluvions (de -3,6 à -6 ,1) et sables (de-6,7 à -19,6 NGM)	2,35.10 ⁻⁵ (à 17 m) 3,9 10 ⁻⁵ (à 21m) 2,7 10 ⁻⁵ (à 31m)
12307X0019	Kawéni 1 10'' Kawéni aval	Alluvions et laves basaltiques scoriacées	Transmissivité évaluée à $6,4 \cdot 10^{-3}$ m ² /s
12307X0020	Kawéni 2 10'' Kawéni aval	Alluvions et pyroclastites (scories et lapillis)	Transmissivité évaluée à $7 \cdot 10^{-3}$ m ² /s
12307X0021	Kawéni 3 10'' Kawéni amont	Pyroclastites (scories et lapillis)	Transmissivité évaluée à $1,4 \cdot 10^{-3}$ m ² /s

Tableau 3 : Formations aquifères rencontrées par les forages de Kawéni

2.5.2. Piézométrie

1) Cartes piézométriques

Il existe plusieurs esquisses de la piézométrie de la nappe dans la dépression de Kawéni. Néanmoins, en l'absence de nivellement des ouvrages sur lesquels les mesures ont été effectuées, une forte incertitude demeure sur les cotes du niveau de la nappe (incertitude de l'ordre du mètre). Seul un ordre de grandeur est donc repris des cartographies existantes. De façon générale, la nappe s'écoule de l'ouest vers l'est, en direction de la mangrove.

Les cartes réalisées par Eberschweiler dans le cadre de sa thèse (1986) l'ont conduit à considérer un gradient moyen de la nappe avoisinant 1,6 %. Les deux cartes piézométriques réalisées ultérieurement lors de l'étude de l'aquifère de la dépression (Wuilleumier, 2004 et Euchet, 2005) donnent une estimation plutôt voisine de 0,4 à 1%, la cartographie suggérant que le gradient diminue en direction de la mangrove (ce

qui est probablement en lien avec la proximité du niveau de base de la nappe, à savoir le niveau moyen de la mer à Mayotte).

A cette occasion, il a été observé une cohérence des mesures entre celles effectuées dans le forage 12307X0011/KAWÉ1 et celles des puits avoisinants (mesures de mars et septembre 2004). Il est donc probable que l'on ait affaire à une seule nappe captée d'un côté par les puits et d'un autre par le forage 12307X0011/KAWÉ1 mais l'absence de nivellement ne permet pas de conclure avec précision. Une telle représentation conduit à considérer un horizon capacitif (c'est à dire capable de contenir des quantités d'eau importantes mais présentant généralement une capacité d'écoulement médiocre) recouvrant un horizon permettant une bonne circulation de l'eau (horizon transmissif) mais probablement moins capacitif.

2) Chroniques piézométriques

Le piézomètre Kawéni 1 8" fait l'objet d'un suivi manuel par la DAF depuis fin 1992 et d'acquisitions automatiques réalisées par le BRGM depuis juin 2008. Les niveaux piézométriques de l'aquifère sont aussi suivi de manière épisodique (difficultés d'accès à la parcelle) par la DAF au niveau du forage de Kawéni 1 10" (1230-7X-0019). La chronique est trop courte et discontinue pour pouvoir être exploitée dans le cadre de cette étude.

Une analyse détaillée de la chronique du piézomètre Kawéni 1 8" figure dans le rapport d'année 3 (Malard, 2008). Elle porte sur une chronique comportant différents modes d'acquisition (cf. Illustration 13) :

- manuellement à hauteur d'une mesure par mois entre 1993 et 2002 ;
- manuellement à hauteur d'une mesure par semaine environ à partir de 2002 ;
- en continu toutes les heures depuis juin 2008. Une mesure manuelle de contrôle est réalisée tous les 3 mois environ.

Les lacunes de données apparaissent quant à elles :

- entre janvier et juin 1996 (6 mois de lacune) ;
- entre décembre et aout 2003 (8 mois de lacune) ;
- entre février 2007 et juin 2008 (15 mois de lacune).

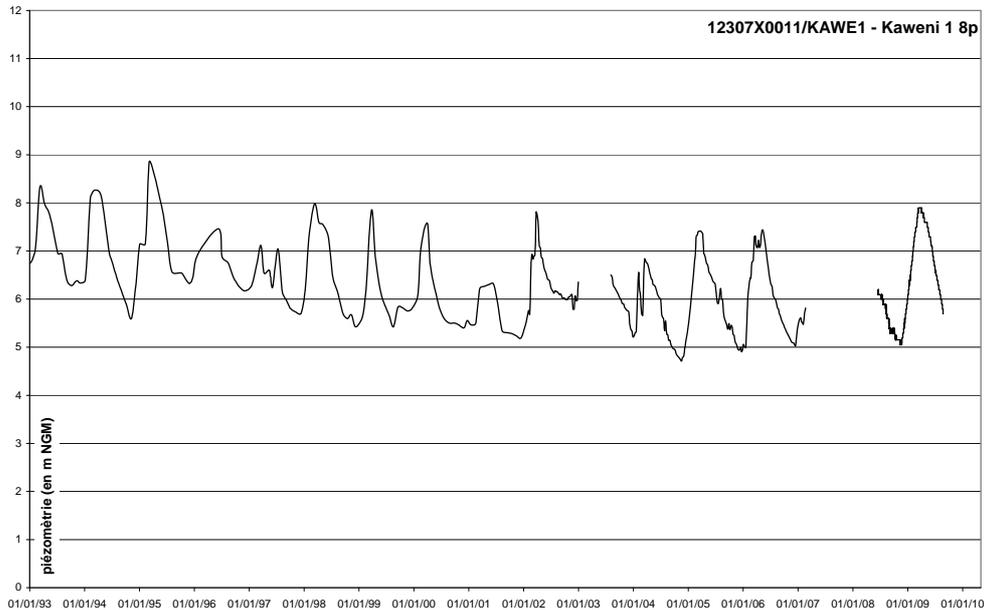


Illustration 13 : Chronique piézométrique acquise à l'ouvrage Kawéni 1 8 pouces (1992-2009. Données DAF de 1992 à 2007 et données BRGM de 2007 à 2009)

L'analyse effectuée montre notamment l'existence d'une décroissance des niveaux moyens, de basses eaux et de hautes eaux annuelles. L'illustration 14 présente la décroissance du niveau de basses eaux mesuré au piézomètre entre 1992 et 2008. Si l'on note une nette tendance à la baisse, la faible valeur du coefficient R^2 (coefficient de corrélation) peut s'expliquer par :

- le changement de pas de temps dans l'acquisition de la donnée : un pas mensuel ne permet pas de cerner précisément la valeur du niveau de basses eaux, bien que la stabilisation du niveau piézométrique en période de basses eaux minimise cette incertitude ;
- des incertitudes éventuelles dans la mesure de la donnée, surtout pour les données les plus anciennes (les « pics » de 1996 ou 2001 semblent par exemple avoir été lissés) ;
- l'impact des prélèvements en nappe par les forages F1, F2 et Kawéni 3 10". Il faut rappeler ici que les prélèvements de la nappe à hauteur de 30 m³/h entre 1990 et 2002 ont été augmentés à 60 m³/h lors de la mise en service du forage de Kawéni 3 10" en 2004 ;
- une baisse du niveau de base liée à la baisse du niveau moyen de la mer à Mayotte (de l'ordre de quelques centimètres ; cf. Malard, 2008) ;
- les variations de pluies efficaces d'une année à l'autre, qu'elles soient dues à un raccourcissement de la période de recharge de l'aquifère ou à une diminution du cumul pluviométrique annuel.

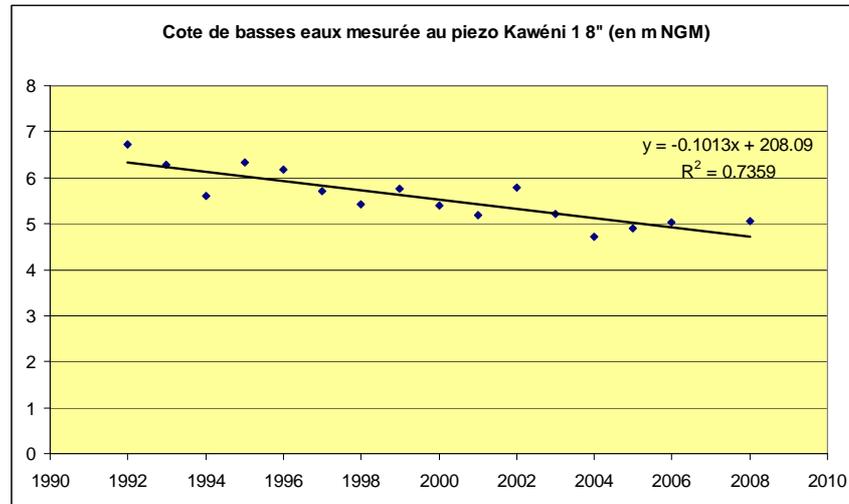


Illustration 14 : Décroissance du niveau de basses eaux au piézomètre de Kawéni 1 8 pouces (1992-2009)

On note que la régression linéaire fournit une valeur indicative d'une décroissance de l'ordre de 10 cm par an du niveau de basses eaux.

Un test similaire effectué sur le niveau piézométrique annuel moyen présente de la même manière – et avec les mêmes incertitudes – une tendance à la baisse (cf. Illustration 15, plusieurs années ne sont pas prises en compte car présentant une chronique incomplète). Le rythme de décroissance est de l'ordre de 9 cm/an.

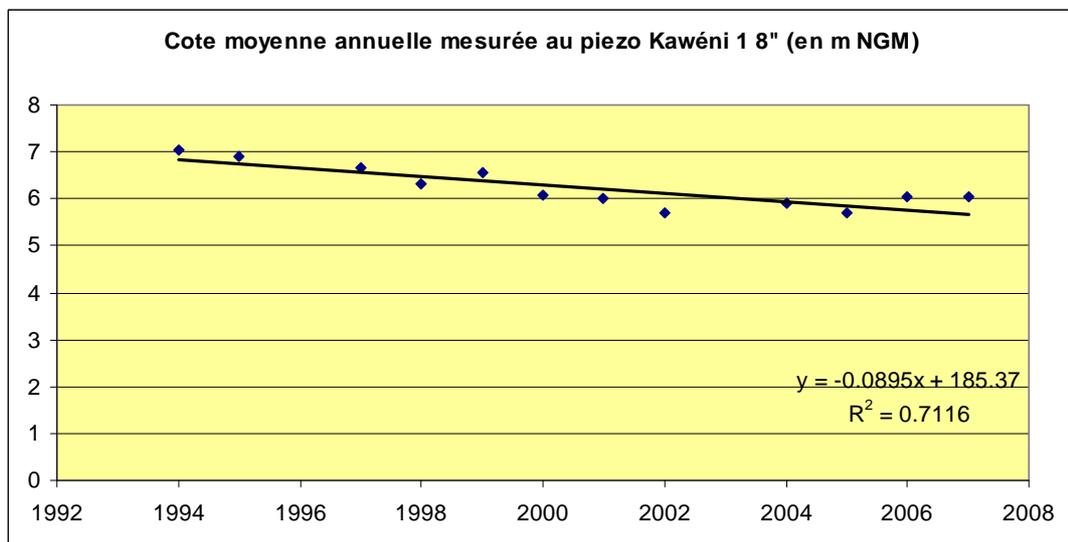


Illustration 15 : Décroissance du niveau moyen annuel au piézomètre de Kawéni 1 8 pouces (1994-2007)

La présentation sur un même graphique de la pluie efficace quotidienne estimée à la station météorologique de la Convalescence et des mesures piézométriques met en évidence le lien existant entre la pluie efficace et la remontée saisonnière du niveau de la nappe (cf. Illustration 16).

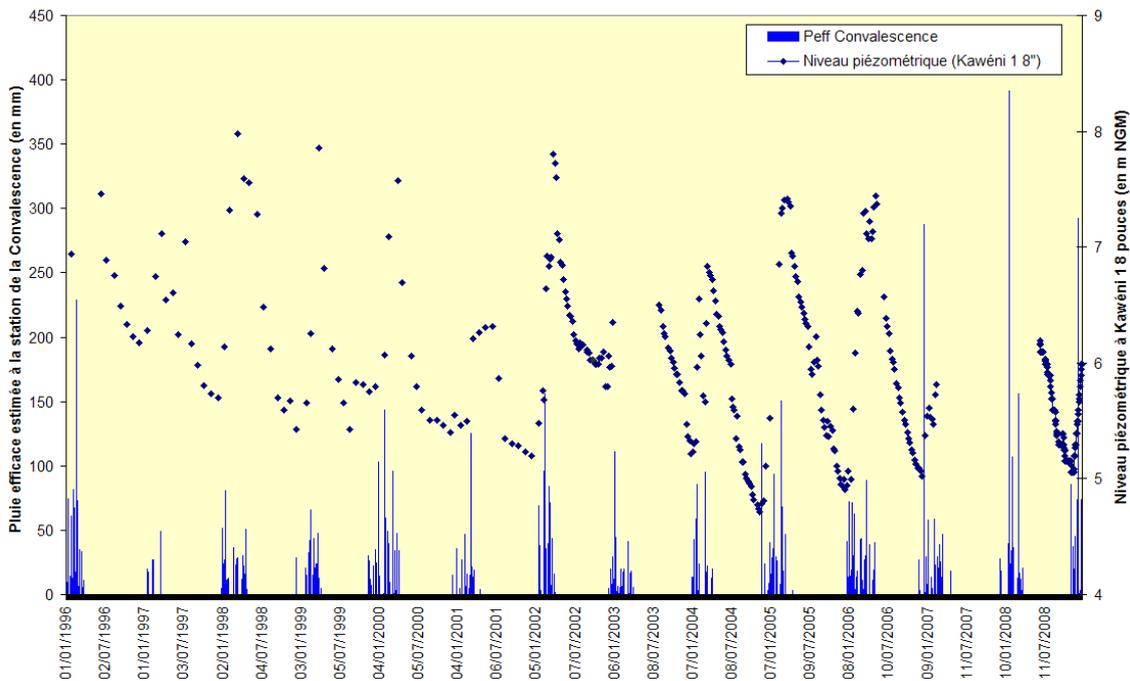


Illustration 16 : Chronique piézométrique acquise à l'ouvrage Kawéni 18 pouces et pluie efficace quotidienne estimée à la station pluviométrique de la Convalescence (1996-2009)

Enfin, les mesures horaires effectuées sur l'ouvrage permettent de mettre en relation les fluctuations de la marée et l'évolution du niveau de la nappe. Ces travaux sont en cours dans le cadre de l'année 4 de l'étude de l'aquifère de Kawéni et les résultats seront donc précisés dans ce cadre.

2.5.3. Qualité des eaux souterraines

1) *Eléments généraux*

Une analyse de la qualité des eaux souterraine a été conduite lors du rapport d'année 3 d'étude de la dépression de Kawéni (Malard, 2008). Les conclusions de cette analyse sont reprises ci-après. Les résultats d'analyses sont consultables en annexe 3 du rapport (Malard et al., 2008, rapport BRGM/RP-56773-FR), sauf les analyses réalisées depuis octobre 2008 qui figurent en annexe 3 du présent rapport.

« L'analyse des données de la qualité des eaux de Kawéni, ainsi que leur interprétation, sur la base des connaissances actuelles, sont assez complexes du fait de la disparité des analyses, tant sur leur origine que sur leur contenu.

Quelques traits ou signatures semblent néanmoins ressortir. D'une manière générale, bien que les points soient relativement proches géographiquement [...], des différences [...] de compositions chimiques sont visibles, même si elles ne sont pas très importantes.

Ainsi, alors que les eaux des forages 3 10" et F1 sont bicarbonatées sodique, celles du forage F2 présentent un faciès sensiblement différent, qui évolue en outre dans le temps entre bicarbonaté calcique sodique magnésien (2002) et bicarbonaté à tendance chlorurée sodique (2003 et 2004).

L'analyse de l'évolution de la conductivité et des éléments majeurs révèle que la composition chimique du forage 3 10" est relativement stable dans le temps, avec souvent des teneurs plus faibles que celles des autres forages. Sur le forage F1, les teneurs de certains éléments varient davantage, tels les sulfates, le calcium ou encore les chlorures. Par ailleurs, les teneurs en chlorures sont les plus élevées sur ce forage, de même que les teneurs en sodium. Enfin, le forage F2 est celui sur lequel la plus grande variabilité est notée, en particulier pour la conductivité, les bicarbonates et le calcium. Ce forage est celui pour lequel les eaux sont les plus riches en nitrates, dont l'origine est probablement domestique et/ou urbaine.

Concernant les éléments indésirables et les éléments toxiques, le forage F2 est le seul qui – visiblement – a présenté à deux reprises des teneurs élevées en fer et en aluminium.

Des hydrocarbures aromatiques polycycliques ont été recherchés sur les 3 forages et certains ont été observés sur les forages F1 et F2, respectivement en 2004 et 2003. La présence de ces éléments met en évidence une certaine vulnérabilité des eaux souterraines du secteur vis-à-vis des pollutions.

Concernant les produits phytosanitaires (herbicides et insecticides), les produits recherchés lors des analyses ne correspondent que partiellement aux produits réellement en circulation à Mayotte. Dans ces conditions, l'absence de produit phytosanitaire constatée dans les analyses ne constitue qu'un résultat partiel.

Au niveau bactériologique, les résultats obtenus sur les forages de Kawéni sont plutôt positifs puisqu'une seule analyse réalisée en 2004 sur le forage F1 a montré la présence de paramètres bactériologiques (coliformes et streptocoques). Néanmoins, seules 7 analyses bactériologiques ont été réalisées. »

La détection de bactéries dans les eaux souterraines est habituellement assez rare, hormis dans des aquifères à circulation rapide, ce qui renforce la nécessité d'une surveillance qualitative des eaux prélevées.

2) Problématique du biseau salé

Les ions chlorure et sodium sont les ions majoritaires dans l'eau de mer. Ils constituent donc des traceurs naturels d'une éventuelle intrusion marine. Diverses causes pouvant

être invoquées pour expliquer la présence de ces ions, la relation entre Na^+ et Cl^- (cf. Illustration 17) est utilisée pour tenter de préciser leur origine.

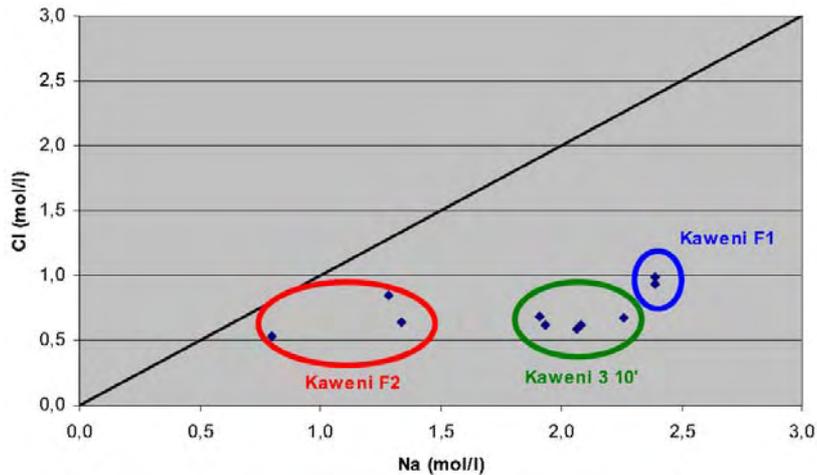


Illustration 17 : Diagramme Chlorure/Sodium des eaux souterraines captées dans la dépression de Kawéni (extrait du rapport BRGM/RP-56773-FR)

« Les eaux des forages de Kawéni présentent toutes un enrichissement plus ou moins important en Na qu'il est possible de relier à des processus d'interaction eau-roche (les roches volcaniques étant riches en sodium). Cet enrichissement semble être relativement faible pour le forage de Kawéni F2 et s'accroître pour le forage 3 10''. Enfin, il est le plus important sur le forage F1.

En revanche, aucun enrichissement net en chlorures n'est visible, un apport anthropique de cet élément peut donc a priori être écarté, ce qui est cohérent avec les faibles teneurs en nitrates observées. En l'absence d'échantillons d'eau de pluie pour l'île de Mayotte (qui se situent en général sur la droite de dilution de l'eau de mer, [de pente égale à 1]), il est difficile de trancher quant à l'origine des ions Na et Cl dans les eaux souterraines entre l'eau de mer et l'eau de pluie. »

L'examen des chroniques de concentration en ions chlorures dans le temps (cf. Illustration 18) montre :

- une forte dispersion des valeurs mesurées, notamment au niveau de l'ouvrage Kawéni F1 ;
- pour les ouvrages Kawéni F2 et Kawéni 3 10 pouces, les trois dernières mesures effectuées correspondent aux valeurs les plus fortes mesurées sur chacun des ouvrages ;
- au niveau de l'ouvrage Kawéni 3 10 pouces, les trois dernières mesures effectuées courant 2009 varient entre 42,6 et 42,8 mg/l, tandis que la gamme de fluctuations connues précédemment pour cet ouvrage se situait entre 15 et 29,4 mg/l (une mesure en 1993 et 15 mesures de 2002 à 2007). De nombreuses hypothèses peuvent être évoquées pour tenter d'expliquer cet écart (erreur de mesure, influence

anthropique – polluant, modification des écoulements dans l'aquifère...) mais seule une étude spécifique permettrait d'en préciser les causes et les processus exacts.

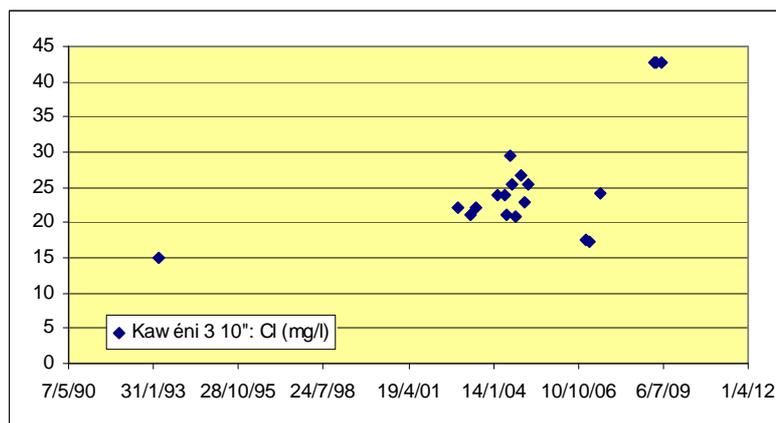
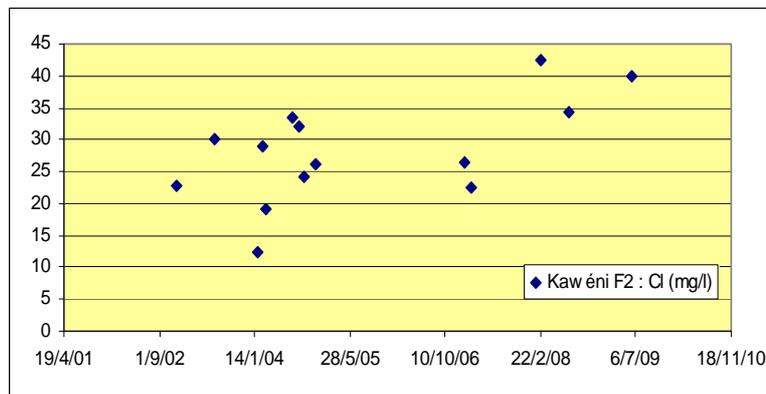
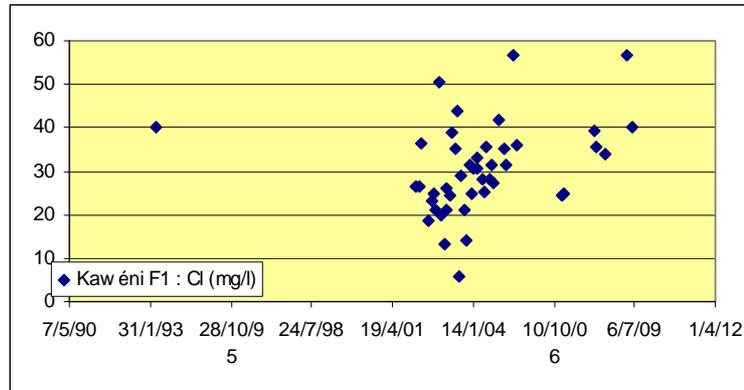


Illustration 18 : Teneurs en chlorures dans les forages F1, F2 et Kaw éni 3 10 pouces (de haut en bas) entre 1992 et 2009 (analyses DASS)

En termes de conductivité, la gamme des mesures enregistrées entre 2001 et 2009 se situe entre 400 et 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les forages Kaw éni F1 et Kaw éni 3 10 pouces (cf.

Illustration 19). Il n'est pas observé de nette tendance à la hausse sur ce paramètre mais plutôt une certaine cyclicité qui semble se dégager notamment sur les dernières années de mesures. Elle est peut-être liée aux épisodes de recharge et de vidange du réservoir souterrain : les valeurs maximales des cycles annuels en 2007 et 2009 ont été observées respectivement en janvier et février (ce qui correspond plutôt à la période de pic moyen de température et aussi à celle des maxima annuels moyens de pluviométrie) mais sont apparues avant la saison des pluies en 2008 (octobre). Il paraît donc encore trop tôt pour tirer des conclusions sur les raisons de cette cyclicité. Si la gamme de fluctuations est plus importante au cours des premières mesures au niveau du forage Kawéni F2, on retrouve cette cyclicité.

En conclusions, si une augmentation de la salinité des eaux captées n'est pas avérée au niveau des captages Kawéni F1, F2 et 3 10 pouces, elle ne peut être considérée comme impossible et **il paraît alors indispensable de poursuivre une surveillance attentive de l'évolution de certains paramètres (au premier rang desquels on peut placer la conductivité)**. Cette surveillance doit être faite à l'aval des forages en exploitation afin de prévenir l'arrivée du phénomène.

Cette remarque nous semble d'autant plus essentielle qu'après échange avec la SOGEA, il nous a été indiqué que les forages 1 10 pouces et 2 10 pouces ne sont pas mis en service compte tenu de la nature saumâtre des eaux qui y sont captées lors de la mise en marche des forages. Il est important de rappeler qu'une fois salinisée, une formation aquifère récupère très difficilement sa qualité initiale (cela peut prendre de nombreuses années).

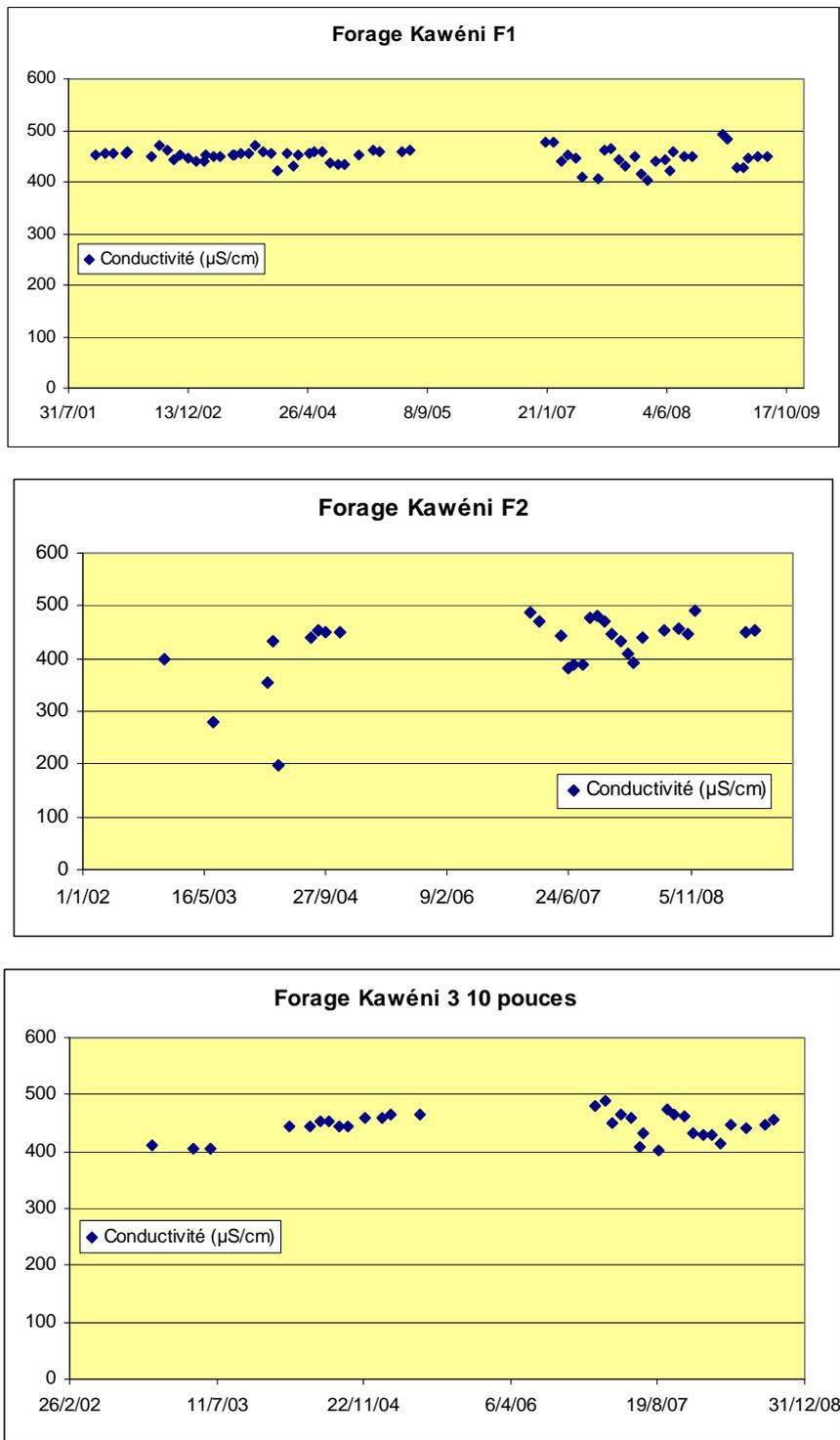


Illustration 19 : Conductivité dans les forages F1, F2 et Kawéni 3 10 pouces (de haut en bas) entre 2001 et 2009 (analyses DASS)

2.6. RESEAU HYDROGRAPHIQUE, HYDROLOGIE ET MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU

2.6.1. Description du réseau hydrographique

Plusieurs cours d'eau alimentent la dépression de Kawéni. Ils sont pour la plupart temporaires, ne s'écoulant que durant la saison des pluies.

Le bassin versant de la dépression de Kawéni se classe parmi les dix plus grands bassins de l'île par la superficie. La longueur cumulée du réseau de drainage – qui correspond à la somme du développement linéaire des cours d'eau pérennes et temporaires – est estimée à 31 km avec un peu plus de 90 canaux présents sur le bassin. Pour les sous bassins versants de la dépression étudiés, les valeurs sont fournies dans le Tableau 4, dans lequel on trouvera aussi – à titre indicatif – leur densité de drainage et densité hydrographique.

	BV du forage F1	BV du forage F2	BV du forage Kaweni 3 10"	Dépression de Kawéni
Nombre de canaux	5	1	11	45
Longueur cumulée du réseau hydrographique (km)	3.1	1.2	7.3	25
Surface du bassin versant (km ²)	0.99	0.30	3.65	8.86
Densité de drainage (km/km ²)	3.1	4.0	2.0	2.8
Densité hydrographique (canaux/km ²)	5.1	3.3	3.0	5.1

Tableau 4 : Nombre de canaux, longueur cumulée du réseau hydrographique et densité de drainage dans les bassins versants de la dépression de Kawéni

La distance entre l'extrême amont du réseau hydrographique (au niveau du mont M'tsapéré) et l'embouchure dans le lagon est de 7,5 km. En s'arrêtant à l'entrée de la mangrove, on obtient une longueur de 6,2 km.

2.6.2. Morphologie des cours d'eau

1) Mro Oua Kaouénilajoli

Le rapport d'année 3 de l'étude portant sur les « modalités de protection et d'exploitation de l'aquifère de Kawéni » (Malard, 2008, rapport BRGM/RP-56773-FR) présente une étude détaillée de la morphologie de la Mro Oua Kaouénilajoli.

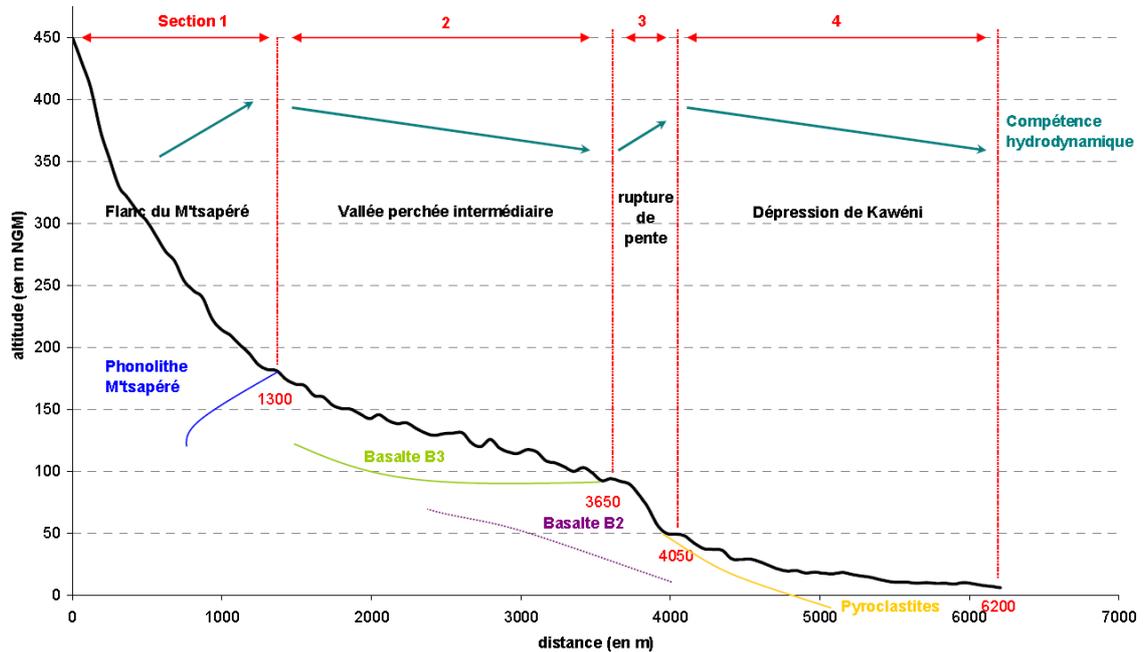


Illustration 20 : Profil topographique du lit mineur de la rivière Kaouénilajoli. Les différentes sections correspondent à des changements lithologiques, dont la disposition est ici schématisée et ne doit pas être interprétée en profondeur

Outre les paramètres généraux du cours d'eau (écoulement non pérenne, régime torrentiel, dénivelé total de 450 m, pente moyenne de 7%), l'étude en présente un profil en long (cf. Illustration 20) conduisant à en proposer un découpage en quatre zones. Ce découpage correspond à des changements lithologiques (les éléments ci-après sont issus du rapport) :

- une section haute (1) à pente raide entre 450 et 180 m NGM qui marque le parcours du cours d'eau sur les flancs du M'tsapéré (pente de 20%). La configuration est de type ravine encaissée dans les phonolithes et téphrites du M'tsapéré, avec écoulement rapide, érosion et transport importants (débit solide fort) ;
- une section médiane (2) entre 180 et 90 m NGM marqué par un adoucissement de la pente vers une valeur autour de 4 %. Le cours d'eau récupère une vallée « perchée » intermédiaire encaissée majoritairement dans des basaltes à olivine de type β_3 et sa compétence diminue (chute des vitesses, stagnation possible localement au sein de coudes, etc.). L'adjonction d'autres affluents (cf. Illustration 3) permet l'augmentation significative des débits ;
- une brève section (3) avec redressement de la pente entre 90 et 50 m NGM (pente de 10 %) qui marque une rupture entre la vallée intermédiaire et la vallée basse ou plaine alluviale de la dépression. Sur l'illustration 3, il est possible de localiser la rupture au niveau du méandre concave en rive droite situé sous le « Mro » de « Mro Oua Kaouénilajoli », c'est-à-dire à l'endroit même où la vallée commence à s'évaser en rejoignant la dépression. Le changement lithologique associé à cette rupture est le passage sur une coulée de basalte altéré à pyroxène de type β_2 . Cette rupture a

pour conséquence l'augmentation significative de la compétence du cours d'eau au travers de cette section (augmentation des vitesses, de l'érosion et du transport solide). De nombreux blocs remplissent le lit du cours d'eau, ils sont pluri-métriques au contact $\beta 2 / \beta 3$ (souvent 5 m de côté) et leur taille diminue au fur et à mesure de la circulation du cours d'eau. Le lit du cours d'eau a un aspect très torrentiel et il est délicat d'identifier des sections canalisantes ;

- une section basse à pente très douce (4) qui marque l'entrée du cours d'eau dans la dépression de Kawéni (pente de 2%). Le cours d'eau s'encaisse dans les formations de pyroclastites (talus entre 1 et 3 m) et sa compétence ralentit une fois de plus par diminution des vitesses et évasement du lit mineur. Au contact $\beta 2 / \beta 3$ pyroclastites, la taille des blocs qui remplissent le lit du cours a très nettement diminué (pluri-décimétriques au maximum). Le forage Kawéni 3 10 pouces se situe à environ 5300 m de l'origine du profil.

On peut noter par ailleurs que le cours d'eau n'est réputé permanent que dans sa partie aval, à partir de 350 m environ à l'amont du forage Kawéni 3 10 pouces, soit après un parcours de 5000 mètres à partir de son origine.

2) Sous-bassin F1

On peut proposer une subdivision du sous-bassin du forage F1 en 5 sections de pentes relativement homogènes (cf. Illustration 21) :

- une section à l'extrémité haute du thalweg (1), couvrant ses 125 premiers mètres avec une pente relativement forte (de l'ordre de 20 %). L'altitude est comprise entre 245 et 220 m. Cette section coïncide avec la zone d'affleurement des basaltes $\beta 3$;
- une section haute (2) d'extension assez importante, couvrant une altitude comprise entre 220 et 135 m environ, et de pente s'adoucisant (10 % environ). Cette section coïncide avec plusieurs formations géologiques (téphrite, projections scoriacées et trachyandésite), ce qui est susceptible d'expliquer la variabilité des pentes rencontrées (cf. Illustration 21). On peut noter que la rupture de pente à l'aval s'observe sur un coude du thalweg, qui s'infléchit vers le sud-est ;
- une section médiane supérieure (3) entre 135 et 80 m NGM marquée par un redressement de la pente autour d'une valeur de 15 %. Cette section correspond à la partie du thalweg orientée NO-SE. D'un point de vue géologique, elle correspond principalement aux trachyandésites ; elle coïncide à l'aval avec la formation des basaltes $\beta 3$;
- une section médiane inférieure (4) entre 80 et 20 m NGM et correspondant aux zones de présence des basaltes $\beta 3$ et $\beta 2$. La pente moyenne sur cette section est de 9% environ.
- une section basse (5) marquant l'entrée du thalweg dans la dépression de Kawéni, à partir d'une altitude de 20 m NGM. La pente y est faible (2 % environ). Le forage F1 est rencontré à environ 2300 m du début du profil.

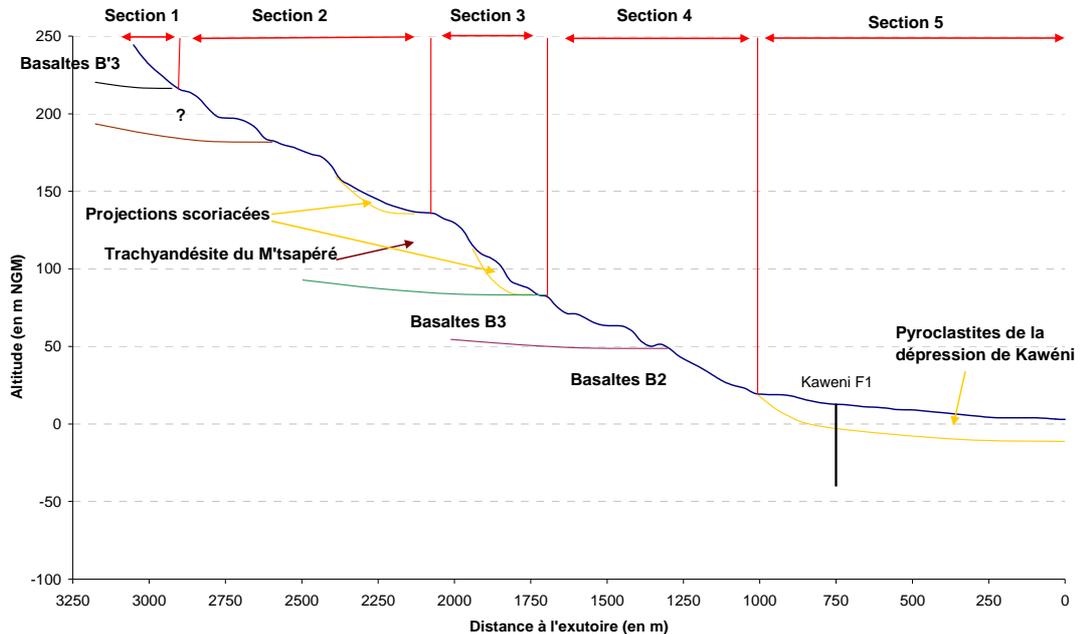


Illustration 21 : Profil topographique du thalweg débouchant au niveau du forage F1. Les différentes sections correspondent à des changements lithologiques, dont la disposition est ici schématique et ne doit pas être interprétée en profondeur. On remarque des ruptures régulières dans le profil qui ne sont autres que les fronts de coulée.

Le cours d'eau est temporaire sur l'ensemble de son profil (observations du 21 septembre 2009).

3) Sous-bassin F2

Le sous-bassin du forage F2 peut être subdivisé en 5 sections de pentes relativement homogènes (cf. Illustration 22) :

- une section à l'extrémité haute du thalweg (1), couvrant ses 100 premiers mètres avec une pente relativement forte (de l'ordre de 25 %). L'altitude est comprise entre 205 et 180 m NGM ;
- une section haute (2) entre 180 et 150 m NGM marquée par un léger adoucissement de la pente autour d'une valeur autour de 13 %. La limite supérieure de cette zone semble correspondre à la limite d'affleurement de la téphrite dans sa partie amont. A l'aval, elle s'interrompt au milieu de cette formation. De même que pour le sous-bassin du forage F1, la rupture de pente à l'aval s'observe sur un coude du thalweg, qui s'infléchit vers le sud-est ;
- une section médiane (3) entre 150 et 70 m NGM marquée par un redressement de la pente autour d'une valeur de 23 %. Cette section correspond à la partie du thalweg orientée NO-SE. Sa limite aval semble coïncider avec la limite d'affleurement aval de la trachyandésite du M'tsapéré. Cette section couvre donc

plusieurs formations géologiques (téphrite, projections scoriacées et trachyandésite), ce qui est susceptible d'expliquer la variabilité des pentes observées ;

- une première section basse à pente moyenne (4) entre 70 et 20 m NGM environ (pente de 10%). Ce tronçon paraît coïncider avec la présence à l'affleurement des basaltes de type $\beta 2$. On note que la pente est similaire à celle observée dans la section (3) de la Mro Oua Kaouénilajoli ;
- une section basse à pente douce (5) qui marque l'entrée du cours d'eau dans la dépression de Kawéni (pente inférieure à 5%).

Ainsi le profil du sous bassin F2 est relativement similaire à celui du sous bassin F1. Le cours d'eau est temporaire sur l'ensemble du sous-bassin (observations du 21 septembre 2009).

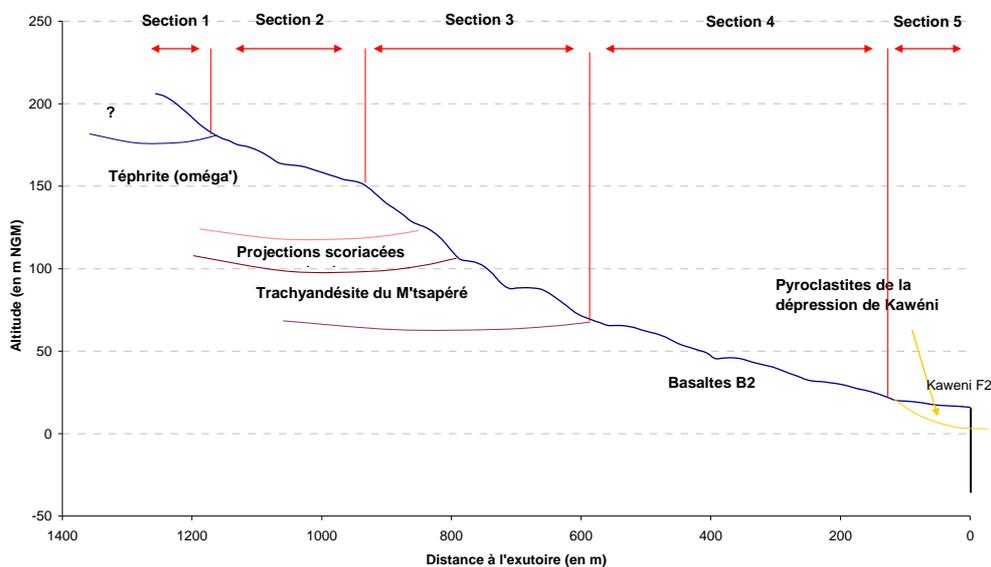


Illustration 22 : Profil topographique du thalweg débouchant au niveau du forage F2. Les différentes sections correspondent à des changements lithologiques, dont la disposition est ici schématique et ne doit pas être interprétée en profondeur

2.6.3. Hydrologie

Il existe une seule station de jaugeage dans le bassin versant de la dépression de Kawéni (sur la Mro Oua Kaouénilajoli). Mais cette station (d'identifiant DAF « B11 » et enregistré dans la BSS sous l'identifiant 12307X0152/B11), située dans la dépression elle-même (cf. Illustration 1), ne dispose pas de chroniques de données, simplement de quelques mesures ponctuelles. Il n'est donc pas possible d'analyser la lame d'eau s'écoulant par ce cours d'eau.

Cependant l'encaissement et l'érosion des ravines suggèrent clairement que des écoulements importants s'y produisent. En se basant sur les chiffres fournis par

Lapègue (1999, voir aussi le rapport méthodologique de Malard, 2009) il est fortement probable que la majeure partie de la pluie efficace s'écoule par les différents thalwegs.

On dispose de très peu d'éléments concernant l'hydrologie des ravines des bassins F1 et F2. La présence de sachets de « Klin » et de marques de lessive au niveau du point GPS 756 dans le bassin F1, ainsi que de marques de lessive au niveau du point GPS 763 dans le bassin F2 (cf. l'illustration 10) atteste de la présence d'eau dans les ravines pendant une partie de l'année.

Dans le cadre des travaux d'année 3 de l'étude portant sur les « modalités de protection et d'exploitation de l'aquifère de Kawéni » (2008), des jaugeages au sel ont été effectués dans la ravine Mro Oua Kaouénilajoli, ainsi qu'un travail de repérage des zones d'écoulement et d'infiltration potentielle (deux campagnes de terrain réalisées fin novembre 2008).

Une des principales conclusions de ces deux campagnes de terrain réside dans l'identification d'une zone de pertes dans le lit du cours d'eau. Celles-ci ont été évaluées à un débit de l'ordre de 10 L/s le jour de la mesure.

La zone de pertes a été localisée sur une section couvrant « au minimum la zone d'infiltration entre le point « 13 » et le point « 17 » [cf. Illustration 23], soit une distance approximative de 350 m. Il convient de nuancer cette distance car elle est difficile à mettre en évidence. Il serait nécessaire de répéter les observations lors de conditions hydrologiques différentes afin de mieux préciser cette extension (Illustration 24). » Cette zone se situe au voisinage du contact entre les basaltes $\beta 2$ et les pyroclastites (environ au point « 13 » de coordonnées $X_{523597} / Y_{8589634}$).

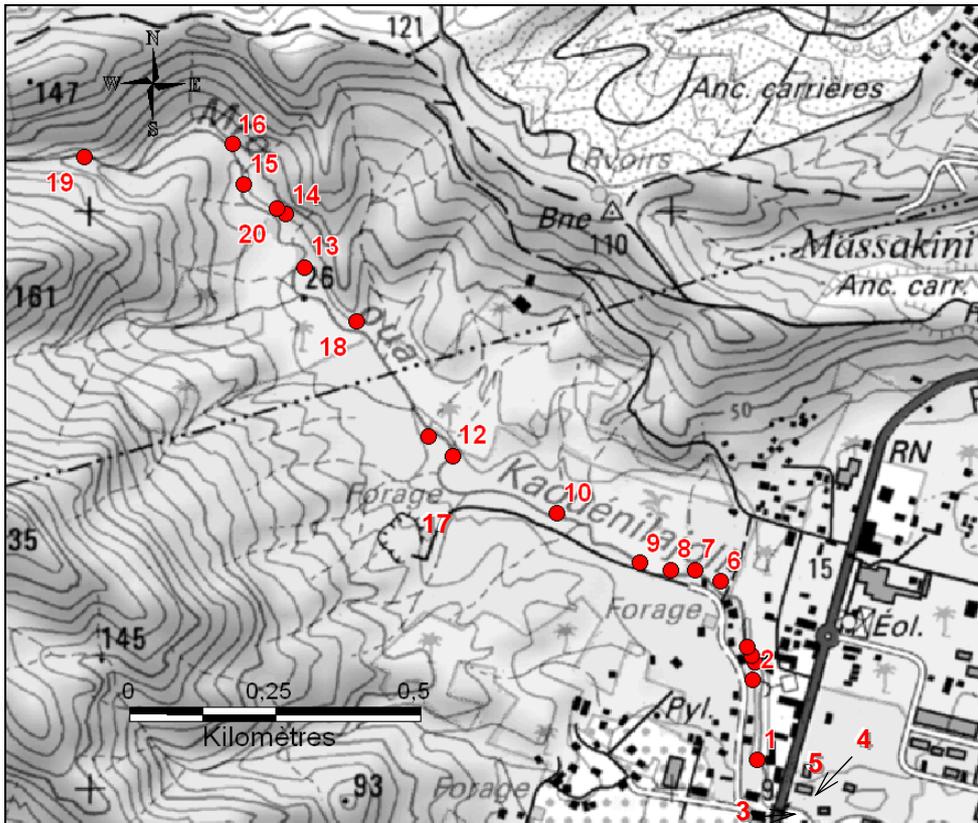


Illustration 23 : Localisation des points d'observation (campagnes des 22/11/08 et 25/11/08)

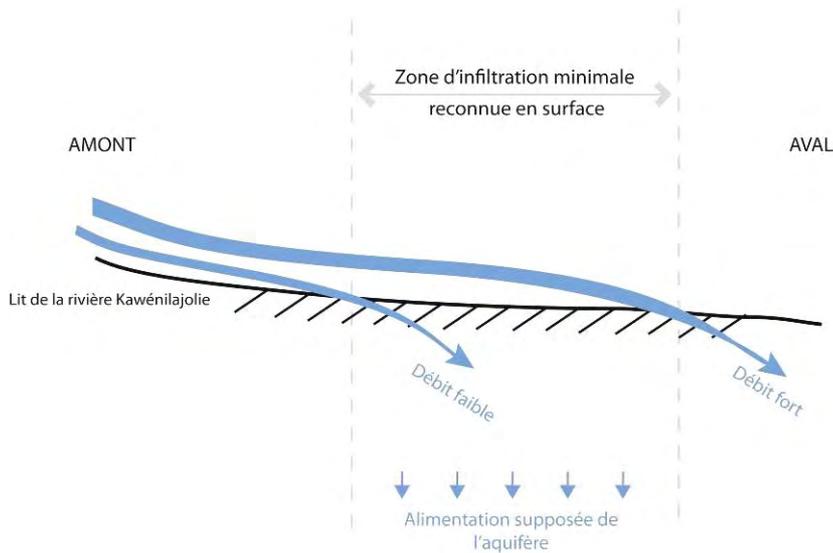


Illustration 24 : La localisation des zones d'infiltration est dépendante du régime hydrologique de la rivière au moment de la reconnaissance.

Trois reconnaissances de terrain effectuées sur le lit de la rivière en période de moyennes et basses eaux (mai, juin et juillet 2008) ont confirmé l'existence d'un écoulement superficiel dans la rivière Kaouénilajoli, directement à l'aval du contact entre les basaltes $\beta 2$ et $\beta 3$. Il a été évalué à 1 L/s en juin 2009. L'écoulement disparaît dans la zone identifiée en novembre 2008, ce qui confirme les premières observations de terrain. La présence d'un écoulement alors que la saison sèche est bien avancée suppose l'existence d'un soutien de la rivière par la nappe.

Ceci a été confirmé lors de ces reconnaissances de terrain : des émergences ont été observées légèrement à l'amont du point 19, au sein des basaltes $\beta 3$ (interface entre des horizons sains et scoriacés). On pourra se reporter au rapport d'année 4 de l'étude de l'aquifère de Kawéni (rapport BRGM/RP-57385-FR).

Lors de la reconnaissance de terrain effectuée le 21 septembre 2009, toutes les ravines étaient à sec sur l'ensemble du linéaire parcouru, y compris la Mro Oua Kaouénilajoli (cf. Illustration 25). Trois vasques ont été observées au niveau du contact entre les basaltes $\beta 2$ et $\beta 3$ (point 19 de l'illustration 23 et 50 m à l'amont). La plus basse en altitude est présentée en Illustration 26. On observe notamment la laisse de crue située à environ un mètre du niveau d'eau.

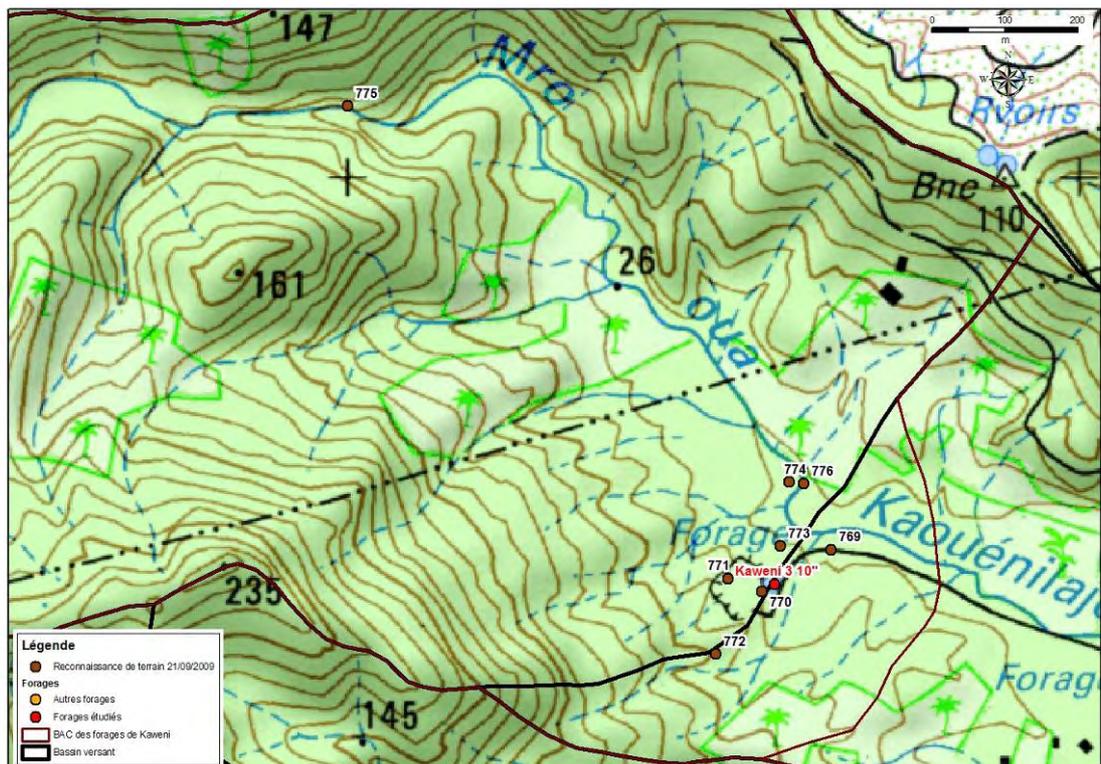


Illustration 25 : Localisation des principaux points d'observation de la visite terrain du 21/09/2009 sur le bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli



Illustration 26 : Bassin situé au contact des basaltes $\beta 2$ et $\beta 3$

Elles sont étagées, séparées par des ruptures de pente d'une hauteur de 3 à 4 mètres environ. Chacune accueille une eau verte à brune, non translucide et ne présentant pas de signe d'écoulement. Leur conductivité varie très peu, autour d'une valeur de $360 \mu\text{S}/\text{cm}$. Il en va de même de la température qui se situe autour de 24 à 25°C . Il n'a pas été observé de suintement ou d'émergences d'eaux souterraines dans ce secteur.

La gamme des valeurs de conductivité est supérieure à celle rencontrée habituellement pour une eau de surface (90% des 128 valeurs mesurées en cours d'eau s'échelonnent entre 107 et $313 \mu\text{S}/\text{cm}$), se rapprochant des valeurs rencontrées dans les eaux souterraines (cf. chapitre 2.5.3). Par ailleurs, les relevés effectués en novembre 2008 entre les points 20 et 19 indiquaient une conductivité voisine de $200 \mu\text{S}/\text{cm}$, en présence d'un écoulement (1 L/s environ le 25/11/2008). L'augmentation de conductivité observée peut s'expliquer par :

- une alimentation par des eaux souterraines, dont la conductivité semble être de l'ordre de 400 à $450 \mu\text{S}/\text{cm}$;
- un enrichissement des eaux de surface lié à l'évaporation.

Il serait nécessaire de disposer d'un suivi du niveau d'eau et de la conductivité de ces bassins afin de pouvoir trancher entre ces deux hypothèses. Cependant, compte tenu notamment de leur situation géographique, les deux bassins amont semblent difficilement pouvoir être alimentés tout au long de l'année par des eaux souterraines.

Enfin, quatre sources ou suintements ont été identifiés sur les bassins versants (cf. Illustration 27) : trois dans celui de la Mro Oua Kaouénilajoli et un dans le bassin versant F1. Trois se situent à une altitude supérieure à 130 m NGM ; la dernière est à

85 m d'altitude environ. Il n'a pas été identifié de sources plus à l'aval. Leur débit n'est pas connu.

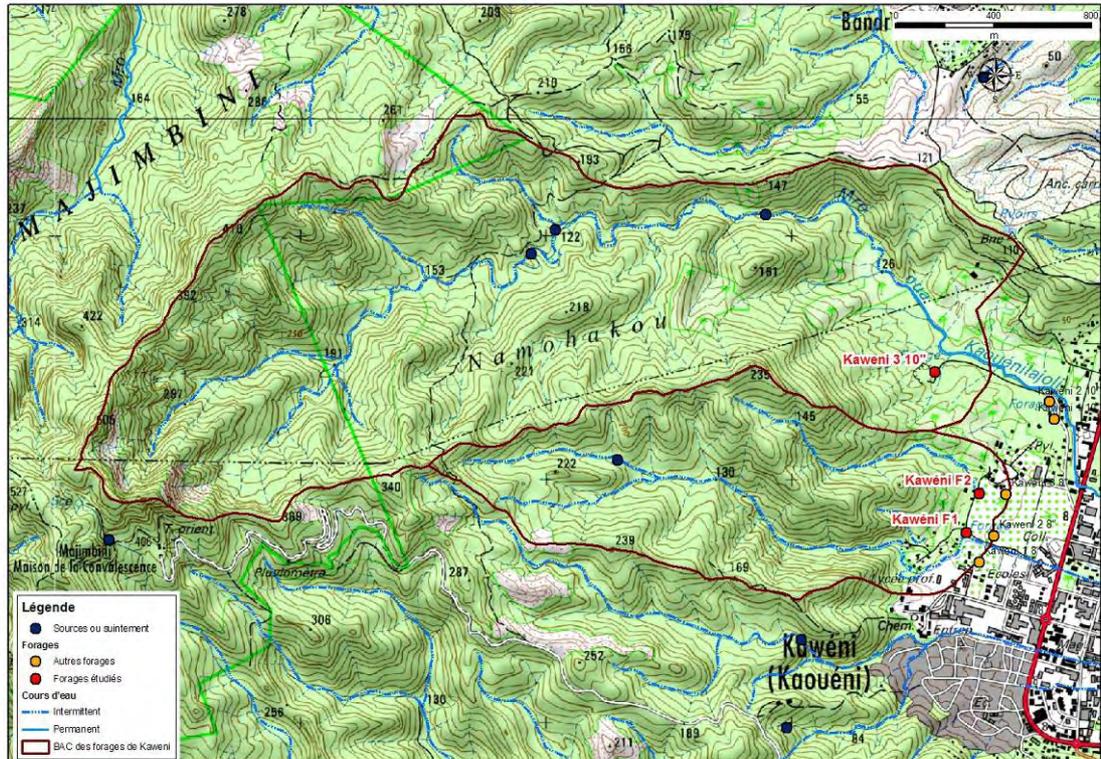


Illustration 27 : Sources ou suintements identifiés dans les bassins versants étudiés. La connaissance en la matière est loin d'être exhaustive.

En conclusion, les informations principales sont :

- l'écoulement du Mro Oua Kaouénilajoli est non pérenne, malgré un bassin versant conséquent (3,4 km²) ;
- une zone d'infiltration a été identifiée juste à l'amont du forage Kawéni 3 10 pouces, couvrant une longueur d'environ 400 mètres. Cette zone contribue à la recharge des réservoirs souterrains ;
- à l'inverse, la nappe alimente – temporairement – la rivière plus à l'amont (cf. Illustration 27), ce qui indique donc l'existence d'une évolution de la relation entre la nappe et la rivière le long du linéaire du cours d'eau. Cette remarque paraît cohérente avec sa morphologie qui présente une forte variabilité (cf. 2.6.2).

2.7. MORPHOPEDOLOGIE

En ce qui concerne les formations superficielles pédologiques du bassin versant du Mro Oua Kouénilajoli, trois formations principales apparaissent (cf. Illustration 28) : les sols bruns jeunes, les sols de matériel pyroclastique et les alluvions de fond de cratère, composites de matériaux pyroclastiques et de produits de dégradation du bassin charriés par le Mro Oua Kaouénilajoli.

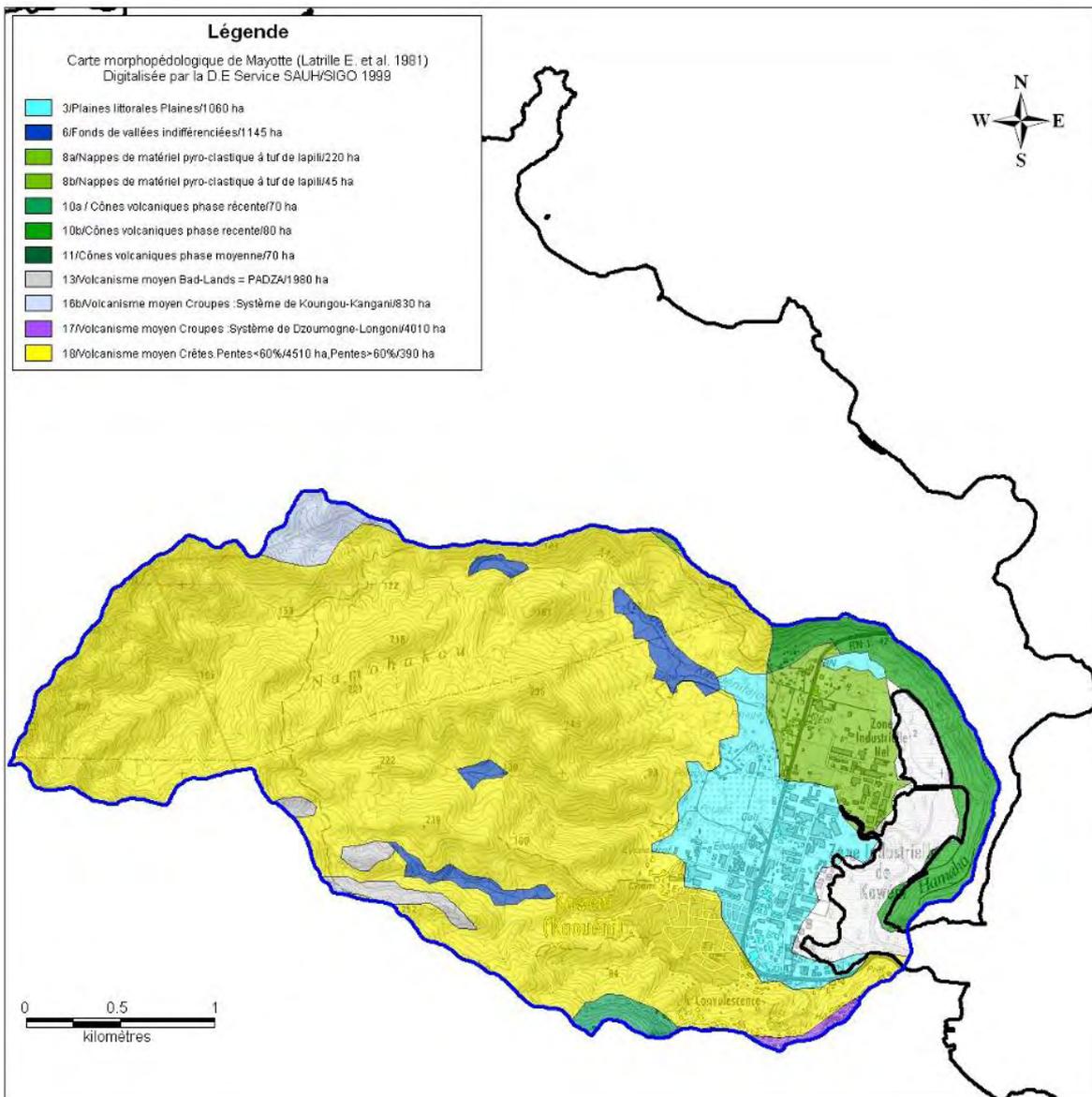


Illustration 28 : Carte morphopédologique du bassin versant de la dépression de Kawéni

En amont, les sols bruns jeunes couvrent plus de 70 % du bassin et sont attribués au volcanisme récent du M'tsapéré (phase Pléistocène). Il s'agit de sols jeunes sur versants à pentes fortes, peu développés et de composition et support variables. Ces sols - peu épais – sont sensibles à l'érosion et relativement perméables par endroit.

Les sols de matériel pyroclastiques situés à l'est du bassin versant, dans les versants aval et notamment le long de la couronne d'Hamaha qui ceinture la zone industrielle de Kawéni, sont des formations particulières. Jeunes (fin Pléistocène), ces formations sont essentiellement construites par l'empilement et la compaction de tufs, de ponces, cendres et débris d'explosion.

Le cratère de Kawéni - entre 0 et 20 m NGM environ – est tapissé de formations alluviales remaniées et de cendres et tufs issus de l'activité phréato-magmatique récente. Ces sols, relativement développés en profondeur montre des susceptibilités particulières à l'infiltration en zones aval (cf. rapport BRGM/RP-56773-FR) et recouvrent les formations aquifères principales.

En amont et localement, les fonds de vallées sont tapissés de colluvions et alluvions indifférenciés, remaniés et dont la perméabilité - relative d'un bassin versant à l'autre - permet ou pas le développement d'une nappe d'accompagnement.

Il est intéressant de remarquer que la formation relativement récente du M'tsapéré (Pléistocène) a contribué au développement des formations superficielles de type sols bruns qui ont très probablement remaniés les sols antérieurs et notamment les formations colluvionnaires et alluvionnaires de fond de vallée.

3. Délimitation des bassins d'alimentation des captages d'eau potable

La localisation des captages d'eau potable du bassin versant de la dépression de Kawéni est présentée en Illustration 1 (ils figurent en rouge sur la carte). Il s'agit uniquement de forages, présents au nombre de 3.

D'après la topographie du bassin versant de la dépression de Kawéni, ces forages se situent chacun au débouché d'un sous-bassin différent (cf. Illustration 3). Il sera donc nécessaire de définir trois bassins d'alimentation de captage d'eau potable, à moins de considérer que deux bassins sont à traiter ensemble si des influences mutuelles sont observées sur des ouvrages (les forages F1 et F2 ne sont distants que de 170 mètres environ). Cet aspect est précisé dans la suite de ce chapitre.

3.1. DESCRIPTION DES CAPTAGES D'EAU POTABLE

3.1.1. Forage Kawéni F1 – 12307X0013/F1

1) Description et environnement immédiat

Le forage Kawéni F1 compte parmi les plus anciens forages de Mayotte. Réalisé du 24 janvier au 2 mars 1991, il est en exploitation depuis cette date. Il présente une profondeur de 39 m. Les principales caractéristiques géographiques et de fonctionnement de cet ouvrage sont présentées dans le Tableau 5.

Nom	Kawéni F1
Code BSS	12307X0013/F1
Code Commune	98511
Commune	MAMOUDZOU
Section	AO
Titre	T 1817
Parcelle	7
Coord X (Combani 1950)	523713
Coord Y (Combani 1950)	8588781
Coord Z_{NGM}	13
Propriétaire	CDM
Chronique prélèvement	Somme des débits pompés au niveau des forages F1 et F2. F1 est utilisé en permanence, F2 assure le complément au-delà de 2250 m ³ /j
date de création	1991
date de mise en service	1991
Mode exploitation	pompage
Remarque	

Tableau 5 : Informations relatives au forage Kawéni F1 (indice BSS : 12307X0013/F1)



*Illustration 29 : Environnement immédiat du forage Kawéni F1 : la bâtisse abrite les vannes, la commande de la pompe du forage. Le forage se situe au fond à droite de l'enclos.
(photographie BGRM du 21 septembre 2009)*

Le forage Kawéni F1 est facilement accessible par une piste. Il se situe dans la dépression de Kawéni, dans une zone fortement urbanisée (cf. Illustration 29). On note la présence de constructions en tôle directement au voisinage de l'ouvrage (moins de 10 m). Le forage dispose d'un environnement clôturé, d'un peu moins de 100 m², fermé par une grille cadénassée. Malgré la clôture, des activités sont conduites au sein de l'espace protégé : le jour de la visite, deux feux brûlaient, chacun à une extrémité de l'enclos (cf. Illustration 30). Les graffitis sur la cabane témoignent aussi du caractère franchissable de l'enclos. Le forage F1 est masqué par un ouvrage en béton : on peut y accéder au travers d'une trappe cadénassée.

On note la présence de déchets dans l'enclos, notamment des bouteilles en plastique ou des objets métalliques (canettes, boîtes de conserve...) probablement jetés depuis l'extérieur de l'enclos.



Illustration 30 : Environnement immédiat du forage Kawéni F1 : le forage est masqué sous un massif de béton. On note la présence d'un brasier immédiatement à côté de l'ouvrage (photographie BRGM du 21 septembre 2009)

2) Débits prélevés

Il n'y a pas de mesure des volumes prélevés directement en sortie du forage F1. Ceux-ci sont cumulés avec les volumes prélevés dans le forage F2. L'analyse de la chronique de débit hebdomadaire (cf. Illustration 31) révèle l'existence de deux modes de fonctionnement :

- autour d'un débit hebdomadaire de 2250 m³/sem., généralement durant les mois les plus humides de l'année (janvier à mars) ;
- autour d'un débit hebdomadaire de 4000 m³/sem., durant les mois les plus secs, soit 1750 m³/sem. de plus par rapport au mode précédent.

On note que, traduites en débit journalier, ces trois valeurs correspondent respectivement à 13,4 m³/h, 23,8 m³/h et 10,4 m³/h, soit pour les deux valeurs les plus faibles des débits très proches de ceux préconisés en 1991 pour l'exploitation des forages F1 (14,4 m³/h) et F2 (10,8 m³/h). Après échange avec la SOGEA, il s'avère que l'on peut considérer les débits inférieurs ou égaux à 2250 m³/sem. comme correspondant au pompage en F1, tandis que tout débit au-delà de cette valeur est à attribuer à F2. Les chroniques de prélèvement des forages F1 et F2 sont donc reconstituées (cf. Illustration 32).

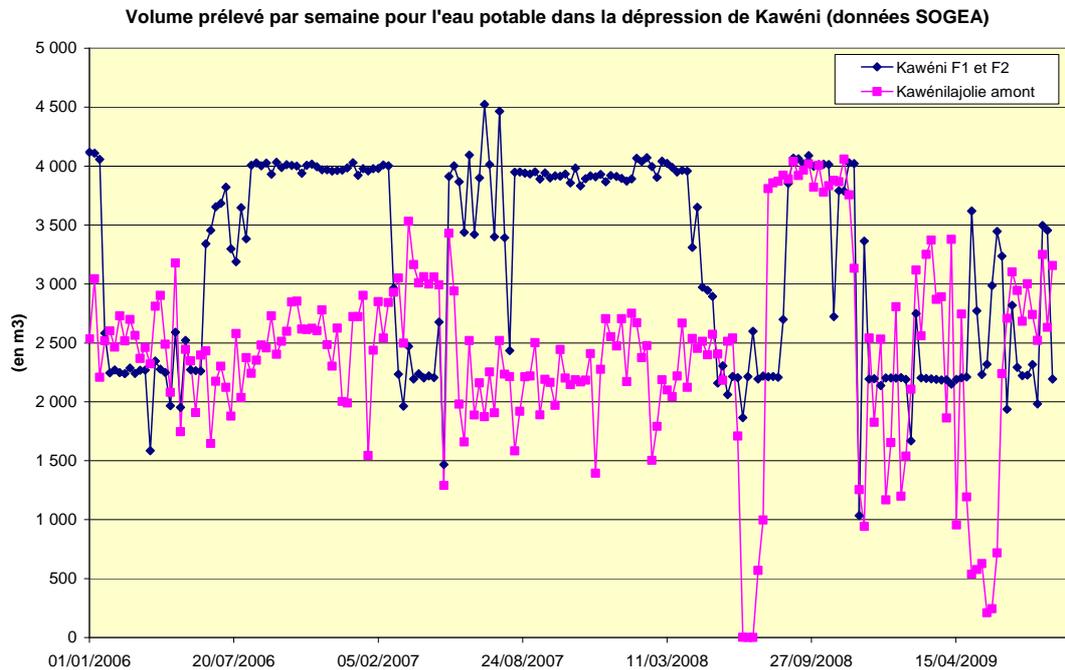


Illustration 31 : Volumes prélevés par semaine dans la dépression de Kawéni : prélèvements F1+F2, Kawéni 3 10 pouces (données SOGEA, 2006-2009)

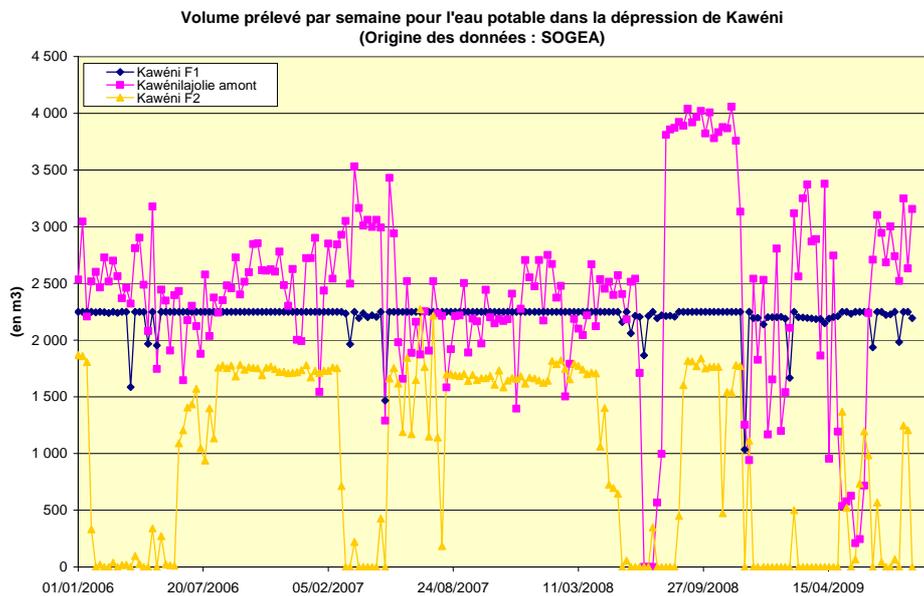


Illustration 32 : Volumes prélevés par semaine dans la dépression de Kawéni : prélèvements F1, F2 et Kawéni 3 10 pouces (origine des données : SOGEA, 2006-2009)

Du 01/01/2006 au 30/08/2009, le forage Kawéni F1 a été exploité en permanence, à un débit moyen horaire de 13,2 m³/h et un débit médian de 13,4 m³/h (cf. Tableau 6).

L'illustration 32 montre que cet ouvrage est prélevé de façon très constante dans le temps.

Données hebdomadaires	Débit min	Débit moyen	Débit médian	Débit max	Nb de semaines sans exploitation
Kawéni F1+F2	1036	3180	3455	4524	0
Kawéni F1	1036	2213	2250	2250	0
Kawéni F2	0	967	1205	2274	53
Kawénilajolie amont	0	2423	2485	4059	3

Tableau 6 : Débit hebdomadaire d'exploitation des forages F1, F2 et Kawéni 3 10 pouces (selon données SOGEA, 2006-2009)

Rapporté à la surface du bassin versant (0,99 km²), un débit de 13,4 m³/h représente un prélèvement de 119 mm. Ceci représente environ 20% de la pluie efficace estimée, et ce, quelle que soit la méthode de calcul de la pluie efficace (cf. § 2.3).

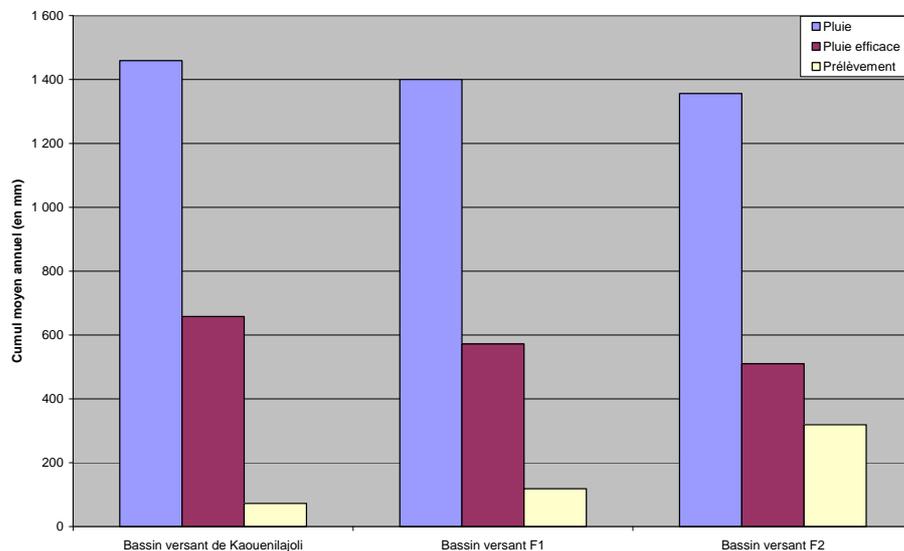


Illustration 33 : Estimation de la pluie, de la pluie efficace et des prélèvements pour les bassins versants F1, F2 et Mro Oua Kaouénilajoli

3) Caractéristiques hydrogéologiques de l'ouvrage

La coupe technique et lithologique du forage figure en annexe 3. Géologiquement, le forage recoupe de haut en bas : un recouvrement important de limons argileux (18 m), surmontant un niveau de basaltes altérés (7 m), puis des formations alluvionnaires de sables gris noir (17 m).

Les venues d'eau ne sont pas identifiées dans le rapport de fin de foration. Néanmoins, la position des crépines fournit une information qualitative quant à leur localisation. Celles-ci sont positionnées en face des basaltes altérés et des sables gris noirs. La nappe est semi-captive sous la formation de limons argileux qui est susceptible de jouer un rôle d'horizon capacitif (cf. chapitre 2.5.2). Il n'y a pas d'écoulement

permanent dans la ravine, ce qui est le signe d'une absence de soutien par la nappe d'un éventuel cours d'eau.

Les pompages d'essai (1991) font apparaître un paramètre de transmissivité local de l'aquifère proche de $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et l'absence de limite étanche ou de limite d'alimentation.

Le rapport de réalisation des forages F1 et F2 (Salesse et al., 1991) précise qu'il a été identifié une interaction entre ces deux forages : le rabattement induit par F1 sur F2 a été estimé à 0,3 m pour un débit de pompage de $14,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Cette influence de F1 sur F2 – relativement faible néanmoins – a été vérifiée lors de la délimitation de la zone d'appel dans la dépression de Kawéni.

En considérant la légère interférence avec le forage de Kawéni F2, le niveau dynamique minimal préconisé au niveau du forage de Kawéni F1 était de 1 m NGM afin de ne pas descendre au-dessous du niveau de la mer et de limiter les risques d'intrusion saline (le haut des crépines se situant à -5,5 m NGM). Le débit d'exploitation recommandé en 1991 était de $14,4 \text{ m}^3/\text{h}$. (la valeur retenue pour l'exploitation est de $13,4 \text{ m}^3/\text{h}$).

Il n'y a pas de suivi piézométrique directement sur l'ouvrage mais un suivi est effectué à environ 130 m à l'aval (Kawéni 1 8 pouces). Le lecteur peut se reporter au chapitre 2.5.2.

Les aspects relatifs à la qualité des eaux captées au niveau de cet ouvrage sont présentés dans le chapitre 2.5.3.

3.1.2. Forage Kawéni F2 – 12307X0014/F2

1) Description et environnement immédiat

Le forage Kawéni F2 compte parmi les plus anciens forages de Mayotte. Réalisé du 5 au 21 février 1991, il est en exploitation depuis cette date. Il présente une profondeur de 40 m. Les principales caractéristiques géographiques et de fonctionnement de cet ouvrage sont présentés dans le Tableau 7.

Le forage Kawéni F2 est facilement accessible par une route goudronnée, en contrebas de laquelle il se situe, dans la dépression de Kawéni mais dans une zone moins urbanisée que le forage F2, puisqu'il est entouré sur trois côtés par une bananeraie (cf. Illustration 34). Le forage dispose d'un environnement clôturé, d'environ 100 m^2 , fermé par une grille cadénassée. Malgré la clôture, des activités sont conduites au sein de l'espace protégé : le jour de la visite, un brasier finissait de se consumer, à proximité de la grille d'entrée (cf. Illustration 35). Cette pratique semble courante puisqu'elle avait déjà été observée le 21/07/2009 lors d'une autre visite.

De même que le forage F1, le forage F2 est masqué par un ouvrage en béton : on peut y accéder au travers d'une trappe cadénassée.

Nom	Kawéni F2
Code BSS	12307X0014/F2
Code Commune	98511
Commune	MAMOUDZOU
Section	AO
Titre	T 1817
Parcelle	7
Coord X (Combani 1950)	523766
Coord Y (Combani 1950)	8588940
Coord Z NGM	15
Propriétaire	CDM
Chronique prélèvement	Somme des débits pompés au niveau des forages F1 et F2. F1 est utilisé en permanence, F2 assure le complément au-delà de 2250 m3/j
date de création	1991
date de mise en service	1991
Mode exploitation	pompage
Remarque	

Tableau 7 : Informations relatives au forage de Kawéni F2

On note la présence de quelques déchets dans l'enclos, comme notamment des bouteilles en plastique ou des objets métalliques (canettes, boîtes de conserve...). Un piézomètre se situe dans l'enceinte clôturée : il a été rebouché et fermé.



Illustration 34 : Environnement immédiat du forage Kawéni F2 : la cabane abrite les vannes, la commande de la pompe du forage. Le forage se situe juste derrière (photographie BRGM du 21 septembre 2009)



Illustration 35 : Environnement immédiat du forage Kawéni F2 : le forage est masqué sous un massif de béton. On note la présence d'un brasier dans l'enceinte de l'espace clôturé (photographie BRGM du 21 septembre 2009)

D'ores et déjà, il convient de signaler la présence d'une décharge à une quinzaine de mètres au sud-sud-est du forage (cf. Illustration 36). On y trouve surtout des ordures ménagères (dont des plastiques) mais aussi quelques pneus, des batteries, et de la ferraille. Une petite canalisation d'évacuation des eaux pluviales sépare la décharge de l'enclos du forage.



Illustration 36 : Décharge située à une quinzaine de mètres du forage Kawéni F2 (photographie BRGM du 21 septembre 2009)

2) Débits prélevés

Les volumes prélevés au niveau de cet ouvrage ne sont pas comptabilisés de façon indépendante : ce qui est mesuré correspond à la somme des débits pompés sur les forages F1 et F2. Après échange avec la SOGEA, il a été possible d'identifier la part correspondant aux prélèvements sur F2 (cf. 3.1.1).

Les volumes prélevés de façon hebdomadaire sont présentés en Illustration 32. Quelques caractéristiques de ces prélèvements figurent dans le Tableau 6. Le prélèvement s'effectue autour d'un débit horaire de $10,4 \text{ m}^3/\text{h}$ (en supposant un fonctionnement 24h/24). On remarque que cet ouvrage ne fonctionne pas en permanence : il n'est pas utilisé pendant les premiers mois de l'année, parfois durant le deuxième semestre également. Il est probable que cet ouvrage soit utilisé comme ressource d'appoint, en fonction des volumes disponibles dans les ressources en eau de surface en dehors du bassin de la dépression de Kawéni.

Rapporté à la surface du bassin versant ($0,30 \text{ km}^2$), un débit de $10,4 \text{ m}^3/\text{h}$ représente un prélèvement de 307 mm environ. Ceci représente entre 50% et 60% de la pluie efficace estimée selon la méthode de calcul de cette dernière (cf. § 2.3, et Illustration 33), **ce qui signifie que ce forage exploite une part très importante des ressources disponibles.**

Cette valeur très élevée suppose l'existence d'une forte infiltration dans ce bassin versant ou pourrait laisser entrevoir l'existence d'une zone d'appel plus étendue vers l'aval, soit en direction de la mangrove et des eaux salées.

3) Caractéristiques hydrogéologiques de l'ouvrage

La coupe technique et lithologique du forage figure en annexe 3. Géologiquement, le forage recoupe de haut en bas : un recouvrement important de limons argileux (26 m), surmontant des alluvions sableuses, limoneuses (11 m), puis des basaltes altérés jusqu'au fond de l'ouvrage.

Les venues d'eau ne sont pas identifiées dans le rapport de fin de foration. Néanmoins, la position des crépines fournit une information qualitative quant à leur localisation. Celles-ci sont positionnées en face des alluvions sableuses et d'une partie des limons sus-jacents. La nappe est semi-captive sous la formation de limons argileux qui est susceptible de jouer un rôle d'horizon capacitif (cf. chapitre 2.5.2). De même que pour Kawéni F1, il n'y a pas d'écoulement permanent dans la ravine, ce qui est le signe d'une absence manifeste de soutien par la nappe d'un éventuel cours d'eau.

Les pompages d'essai (1991) font apparaître un paramètre de transmissivité local de l'aquifère proche de $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et l'absence de limite étanche ou de limite d'alimentation.

Le rapport de réalisation des forages F1 et F2 (Salesse et al., 1991) précise qu'il a été identifié une interaction entre ces deux forages : le rabattement induit par F2 sur F1 a été estimé à 0,2 m pour un débit de pompage de $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Cette influence de F2 sur F1 – relativement faible néanmoins – a été vérifiée lors de la délimitation de la zone d'appel dans la dépression de Kawéni.

En considérant la légère interférence avec le forage de Kawéni F2, le niveau dynamique minimal préconisé au niveau du forage de Kawéni F2 était de 3 m NGM afin de ne pas descendre au-dessous du niveau des crépines (et donc pas au-dessous du niveau de la mer). Le débit d'exploitation recommandé en 1991 était de $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$. (la valeur retenue pour l'exploitation en 2006-09 est de $10,4 \text{ m}^3/\text{h}$).

Il n'y a pas de suivi piézométrique directement sur l'ouvrage mais un suivi est effectué à environ 280 m en direction du Sud (Kawéni 1 8 pouces). Le lecteur peut se reporter au chapitre 2.5.2.

Les aspects relatifs à la qualité des eaux captées au niveau de cet ouvrage sont présentés dans le chapitre 2.5.3.

3.1.3. Forage Kawéni 3 (10 pouces) – 12307X0021/Kaoué3

1) Description et environnement immédiat

Les principales caractéristiques géographiques et de fonctionnement de cet ouvrage sont présentés dans le Tableau 8.

Nom	Kawéni 3
Code BSS	12307X0021/Kaoué3
Code Commune	98511
Commune	MAMOUDZOU
Section	AD
Titre	T 6138
Parcelle	18
Coord X (Combani 1950)	523584
Coord Y (Combani 1950)	8589438
Coord Z_{NGM}	21
Propriétaire	PRIVE
Chronique prélèvement	
date de création	2000
date de mise en service	2004
Mode exploitation	pompage
Remarque	

Tableau 8 : Informations relatives au forage de Kawéni 3 10 pouces

Le forage Kawéni 3 10 pouces est facilement accessible par une piste, qui se termine à peu près à sa hauteur. Il se situe au débouché de la vallée de la Kaouénilajoli, dans une zone non urbanisée (cf. Illustration 37). Le forage dispose d'un environnement clôturé, d'environ 100 m², fermé par une grille cadénassée.

Le fonctionnement de l'ouvrage est commandé à distance.



Illustration 37 : Environnement immédiat du forage Kawéni 3 10 pouces : la cabane abrite le compteur d'eau, les vannes. (photographie BRGM du 21 septembre 2009)

D'ores et déjà, il convient de signaler la présence d'une ravine reliant le champ de tir situé juste à l'amont, à la zone clôturée (cf. Illustration 38). Quelques déchets ont été jetés dans cette ravine : de la ferraille, des plastiques...



*Illustration 38 : Petite ravine reliant le champ de tir à l'enclos du forage Kawéni 3 10 pouces : on y trouve quelques déchets (ferrailles, plastiques...). La cabane du forage apparaît dans le fond.
(photographie BRGM du 21 septembre 2009)*

2) Débits prélevés

Les débits prélevés au niveau du forage sont comptabilisés de façon séparée des autres prélèvements.

Les volumes prélevés de façon hebdomadaire sont présentés en Illustration 32. Quelques caractéristiques de ces prélèvements figurent dans le Tableau 6. Le prélèvement s'effectue autour d'un débit horaire moyen de 14,5 m³/h (en supposant un fonctionnement 24h/24). En fonctionnement maximal, le débit horaire moyen est de 24,2 m³/h. En pratique et après échange avec la SOGEA, il apparaît que cet ouvrage soit utilisé uniquement plusieurs heures par jour à un débit d'exploitation de 30 m³/h. Le forage est utilisé presque toute l'année, à un rythme de prélèvement qui demeure très variable.

Rapporté à la surface du bassin versant (3,64 km²), un débit de 30 m³/h représente un prélèvement de 70 mm environ. Ceci représente environ 10% de la pluie efficace estimée quelle que soit la méthode adoptée pour estimer cette dernière (cf. § 2.3 et Illustration 33). En considérant non plus le débit d'exploitation maximale mais un débit moyen horaire de 14,5 m³/h, les prélèvements représentent environ 5% de la pluie efficace.

L'ouvrage était en fonctionnement le jour de la visite.

3) Caractéristiques hydrogéologiques de l'ouvrage

La coupe technique et lithologique du forage figure en annexe 3. Géologiquement, ce forage de 60 m de profondeur recoupe de haut en bas : un recouvrement important de pyroclastites composées principalement de cendres (20 m), surmontant des coulées basaltiques à olivine présentes jusqu'au fond de l'ouvrage (40 m – dans le détail, on distingue deux coulées).

Le forage de Kawéni 3 10 pouces a fait l'objet de mesures de débit au soufflage à deux stades d'avancement de la foration. Les données obtenues sont les suivantes :

- 55 m³/h en soufflant à 45 m de profondeur avec forage à 50 m ;
- 85 m³/h en soufflant à 45 m de profondeur avec forage à 60 m.

Ces observations montrent que la coulée inférieure contribue très significativement au débit du forage. Il est très probable que les laves sus-jacentes sont également productives. Les pyroclastites superficielles doivent a priori, par analogie avec les formations similaires observées ultérieurement au sein des autres forages réalisés, présenter une perméabilité médiocre. Rappelons que les essais de débit au soufflage surestiment la productivité de l'ouvrage.

Les crépines sont positionnées en face des basaltes, entre 20 et 59 m de profondeur. Le niveau de la nappe se situe au sein de la formation de pyroclastites qui est susceptible de jouer un rôle d'horizon capacitif (cf. chapitre 2.5.2).

De même que pour Kawéni F1 et Kawéni F2, il n'y a pas d'écoulement permanent dans la ravine, ce qui est le signe d'une absence de soutien par la nappe d'un éventuel cours d'eau. A l'inverse, l'interprétation des pompages d'essais réalisés en 2000 avait nécessité la prise en compte d'une limite d'alimentation, sans qu'il soit possible toutefois de préciser si cette limite était naturelle ou un artefact dû à une poursuite du développement du forage durant le pompage d'essais de longue durée. Néanmoins, l'absence d'écoulement dans le cours d'eau et les reconnaissances de terrain réalisées en novembre 2008 suggèrent l'existence d'une infiltration des eaux de surface.

Les pompages d'essai ont été effectués à un débit de 30 puis 45 m³/h. Ils font apparaître un paramètre de transmissivité local de l'aquifère de l'ordre de $1,4 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

Le débit d'exploitation recommandé en 2000 était de 30 m³/h, pour un fonctionnement 6 mois par an (la valeur retenue pour l'exploitation en 2006-09 est de 30 m³/h, avec une utilisation de plusieurs heures par jour uniquement et sur l'ensemble de l'année).

Il n'y a pas de suivi piézométrique directement sur l'ouvrage mais un suivi est effectué au niveau de l'ouvrage Kawéni 1 8 pouces, à 800 m environ vers le SSE. Le lecteur peut se reporter au chapitre 2.5.2.

Les aspects relatifs à la qualité des eaux captées au niveau de cet ouvrage sont présentés dans le chapitre 2.5.3.

3.2. DELIMITATION DU BAC DES FORAGES KAWENI F1 ET KAWENI F2

3.2.1. Estimation de la zone d'appel due au pompage en F1

Une délimitation de la zone d'appel du pompage au voisinage du forage est effectuée à l'aide d'un outil développé sous Excel (cf. Vernoux et al., 2007). Cette délimitation repose sur des hypothèses simplificatrices, que l'on peut considérer comme valides localement : l'écoulement est uniforme et unidirectionnel, et la nappe est supposée captive. Compte tenu de ces hypothèses, le calcul n'est valable qu'au voisinage du forage, dans la dépression de Kawéni.

Les paramètres considérés pour le calcul sont les suivants :

- transmissivité comprise entre 2 et 3 10^{-3} m²/s ;
- gradient compris entre 0,4 et 0,8% ;
- débit de pompage : 13,4 m³/h ;
- angle fait par l'écoulement par rapport à un axe Est-Ouest de référence : -19° en comptant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. L'écoulement se fait en direction du Sud-Est.

Le choix des gammes de valeurs est effectué sur la base de la connaissance locale (cf. chapitres 0 et 3.1.1).

Une délimitation de la courbe enveloppe de la zone d'appel est obtenue avec une certaine probabilité de non dépassement selon les paramètres pris en compte. On obtient donc plusieurs délimitations. Il apparaît néanmoins que seule la courbe enveloppe la plus large permet de rendre compte de l'influence réciproque entre les deux ouvrages. C'est donc cette délimitation qui est retenue (cf. Illustration 39).

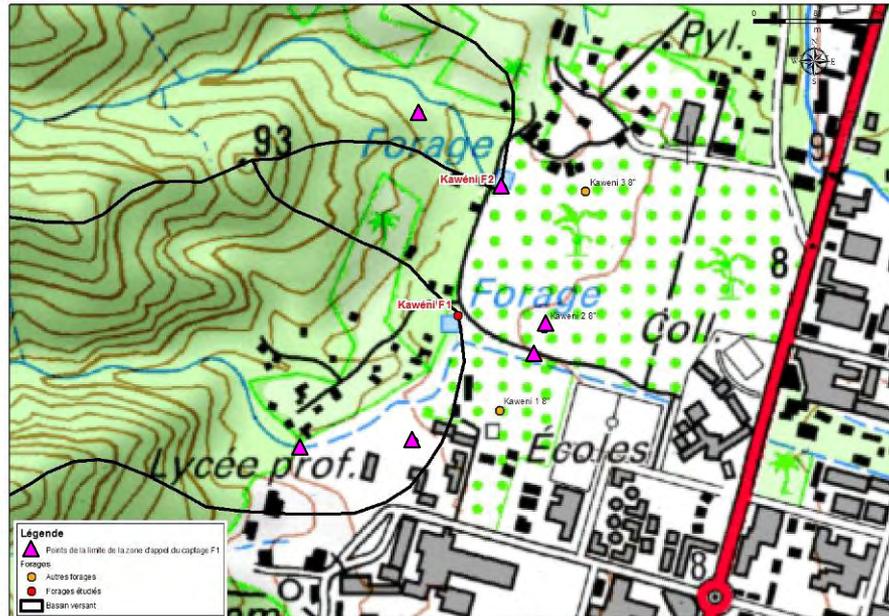


Illustration 39 : La limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage Kawéni F1 est donnée par les triangles roses : la zone d'appel englobe le forage Kawéni F2

3.2.2. Estimation de la zone d'appel due au pompage en F2

Le même outil est utilisé pour obtenir une délimitation de la zone d'appel du pompage en F2. Les mêmes hypothèses simplificatrices sont adoptées : l'écoulement est uniforme et unidirectionnel, et la nappe est supposée captive. Compte tenu de ces hypothèses, le calcul n'est valable qu'au voisinage du forage, dans la dépression de Kawéni.

Les paramètres considérés pour le calcul sont les suivants :

- transmissivité comprise entre $1,5$ et $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- gradient compris entre $0,4$ et $0,8\%$;
- débit de pompage : $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$;
- angle fait par l'écoulement par rapport à un axe Est-Ouest de référence : $- 25^\circ$ en comptant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. L'écoulement se fait en direction du Sud-Est.

De même que pour la délimitation précédente, le choix des gammes de valeurs est effectué sur la base de la connaissance locale (cf. chapitres 0 et 3.1.2).

Une délimitation de la courbe enveloppe de la zone d'appel est obtenue avec une certaine probabilité de non dépassement selon les paramètres pris en compte. On obtient donc plusieurs délimitations. Il apparaît que seule la courbe enveloppe la plus

large permet de rendre compte de l'influence réciproque entre les deux ouvrages. C'est donc cette délimitation qui est retenue (cf. Illustration 40).

Au vu des illustrations 39 et 40, il apparaît que les zones d'appel des deux captages se superposent de façon importante.

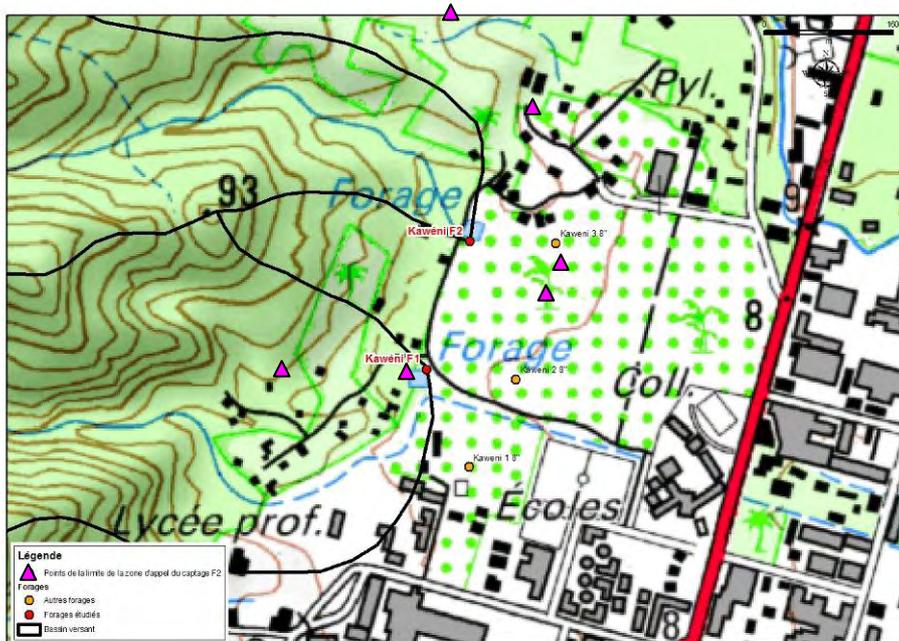


Illustration 40 : La limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage Kawéni F2 est donnée par les triangles roses : la zone d'appel englobe le forage Kawéni F1

3.2.3. Unicité et délimitation du BAC des forages F1 et F2

Un seul BAC est délimité pour les forages de Kawéni F1 et Kawéni F2 afin de tenir compte de l'interaction réciproque entre ces deux ouvrages et de la superposition des deux zones d'appel.

Le BAC est délimité en incluant la zone d'alimentation en surface des zones d'appel des deux ouvrages (ces zones d'appel correspondant à une délimitation souterraine, incluse dans le réservoir aquifère, il est nécessaire de prendre en compte la zone d'alimentation directement sus-jacente). La délimitation retenue pour le bassin d'alimentation du captage est présentée en Illustration 41 : pour la partie amont, elle prend en compte les bassins versants F1 et F2, supposés inclure géographiquement les réservoirs souterrains concernés (cf. guide méthodologique adapté au contexte de Mayotte, rapport BRGM/RP-57299-FR). En effet, la délimitation géographique des aquifères et *a fortiori* de leur zone d'alimentation ne sont pas connues. Une meilleure connaissance de la géométrie des différentes formations à l'échelle du BAC permettrait sans doute d'affiner cette délimitation.

Ceci induit une extension de l'ordre de 110 à 120 m à l'aval des deux forages et ajoute le tout petit bassin versant situé entre les deux bassins F1 et F2. Le BAC ainsi délimité occupe une superficie de 1,37 km² pour un périmètre de 5,6 km.

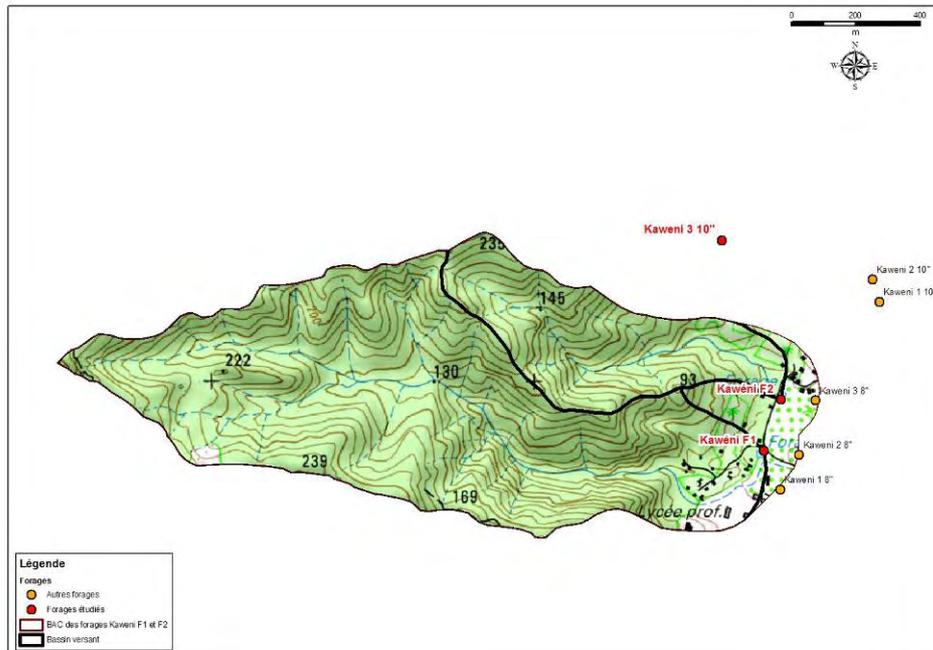


Illustration 41 : Délimitation retenue pour le bassin d'alimentation des captages F1 et F2

3.3. DELIMITATION DU BAC DU FORAGE KAWENI 3 10 POUCES

3.3.1. Estimation de la zone d'appel due au pompage dans le forage Kawéni 3 10 pouces

Une délimitation de la zone d'appel du pompage au voisinage du forage est effectuée à l'aide du même outil développé sous Excel (cf. Vernoux et al., 2007). Cette délimitation repose sur des hypothèses simplificatrices, que l'on peut considérer comme valides localement : l'écoulement est uniforme et unidirectionnel, et la nappe est supposée captive. Compte tenu de ces hypothèses, le calcul n'est valable qu'au voisinage du forage, en sortie de la ravine Kaouénilajoli.

Les paramètres considérés pour le calcul sont les suivants :

- transmissivité comprise entre 1 et $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- gradient compris entre 1 et 1,5% ;
- débit de pompage : $30 \text{ m}^3/\text{h}$;
- angle fait par l'écoulement par rapport à un axe Est-Ouest de référence : $- 25^\circ$ en comptant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. L'écoulement se fait en direction du Sud-Est.

Le choix des gammes de valeurs est effectué sur la base de la connaissance locale (cf. chapitres 0 et 3.1.3).

Une délimitation de la courbe enveloppe de la zone d'appel est obtenue avec une certaine probabilité de non dépassement selon les paramètres pris en compte. On obtient donc plusieurs délimitations. Par analogie avec ce qui a été retenu pour les forages F1 et F2, c'est la courbe enveloppe d'extension la plus large qui est retenue (cf. Illustration 42).

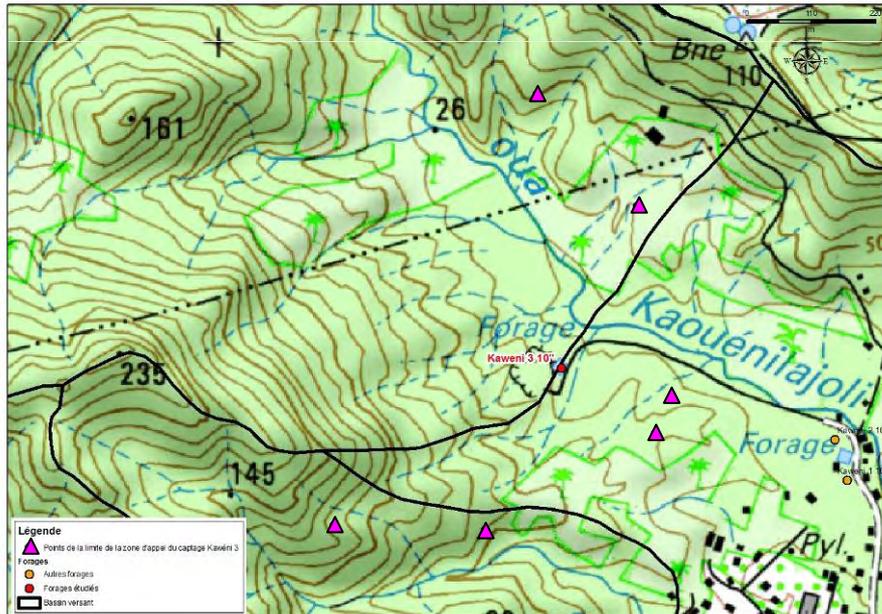


Illustration 42 : La limite de la courbe enveloppe de la zone d'appel du forage Kawéni 3 10 pouces est donnée par les triangles roses

D'après la délimitation obtenue ci-dessus, la zone d'appel intercepterait très partiellement des eaux du bassin F2. Or, ceci est en contradiction avec les principes énoncés dans la méthodologie retenue à Mayotte : le réservoir souterrain alimentant le captage est inclus dans le bassin versant de surface de ce même captage. D'autre part, les hypothèses du calcul ne sont pas respectées dans cette zone (écoulement uniforme et unidirectionnel), ce qui en rend caduque la validité. De fait, la limite de la zone d'appel sera positionnée sur la limite du bassin versant F2.

Ceci conduit à délimiter pour le forage Kawéni 3 10 pouces un bassin d'alimentation différent de celui des forages Kawéni F1 et F2.

3.3.2. Délimitation du BAC du forage Kawéni 3 10 pouces

La délimitation du bassin d'alimentation du forage Kawéni 3 10 pouces (cf. Illustration 43) repose sur :

- les limites du bassin versant de surface délimité à l'aval par la position du forage Kawéni 3 10 pouces. L'ensemble du bassin versant est considéré afin i) d'être en cohérence avec le modèle adopté pour l'extension de l'aquifère qui est supposé inclus dans le bassin versant de surface et ii) de rendre compte de la nature de la relation nappe-rivière, cette dernière alimentant la nappe dans sa partie aval (d'après les observations disponibles, cf. 2.6.3) ;
- les limites du bassin versant de la zone d'appel précédemment délimitée. Cette partie ajoute une superficie d'environ 0,1 km².

Ceci induit une extension de l'ordre de 200 m à l'aval du forage. Le BAC ainsi délimité occupe une superficie de 3,74 km² pour un périmètre de 9,97 km.

De même que pour le BAC des captages F1 et F2, une meilleure connaissance de la géométrie des différentes formations à l'échelle du BAC de Kawéni 3 10 pouces permettrait sans doute d'affiner la délimitation qui est retenue ici.

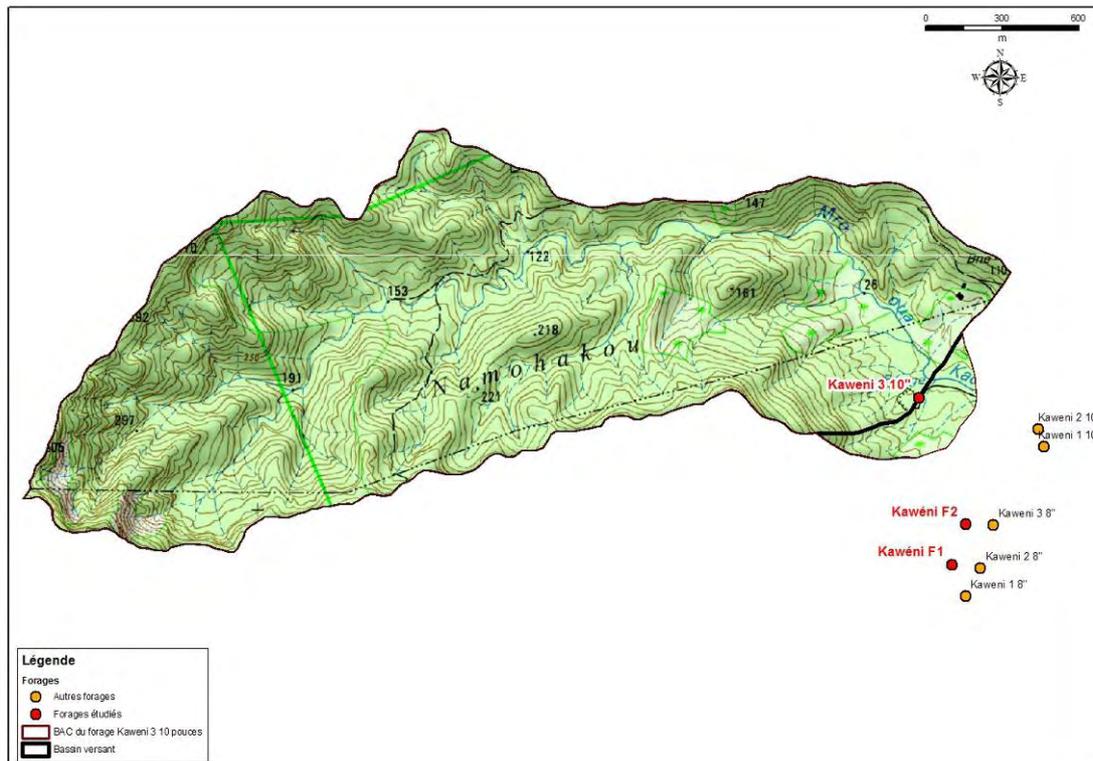


Illustration 43 : Délimitation retenue pour le bassin d'alimentation du captage Kawéni 3 10 pouces

4. Caractérisation de la vulnérabilité

4.1. EVALUATION DE LA VULNERABILITE SUR LE BASSIN D'ALIMENTATION DES FORAGES KAWENI F1 ET KAWENI F2

La démarche retenue à Mayotte pour la caractérisation de la vulnérabilité des BAC est présentée dans le rapport méthodologique (Malard, 2009) : il s'agit de l'application de la méthode combinant l'IDPR¹ et l'indice de rugosité (appelée par la suite méthode IDPR combiné).

L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines au travers de cette méthode est présentée dans l'illustration 44.

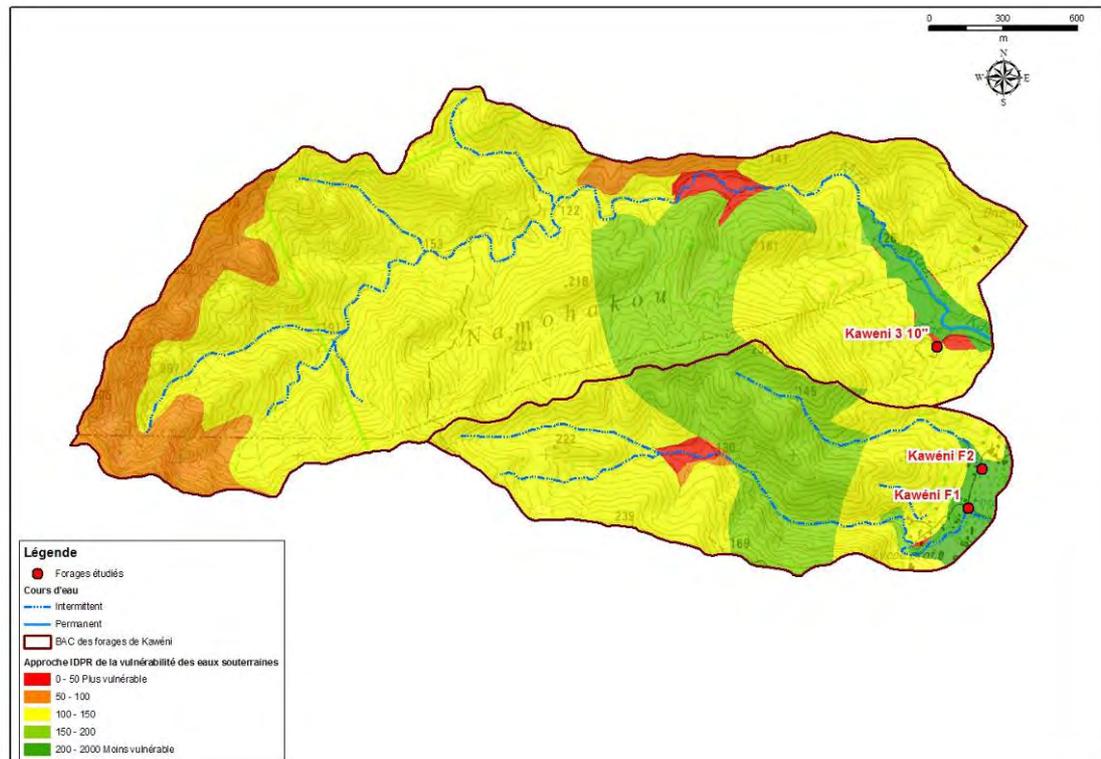


Illustration 44 : Résultats du calcul combinant l'IDPR et la rugosité sur les bassins d'alimentation des captages d'eau potable de la dépression de Kawéni. Les classes de vulnérabilité sont des classes relatives.

¹ Indice de Persistance et de Développement des Réseaux

A l'échelle de Mayotte, les résultats obtenus pour l'IDPR combiné placent le bassin d'alimentation des captages F1 et F2 dans une situation intermédiaire à peu vulnérable sur toute sa partie centrale et vis-à-vis des eaux souterraines.

Les terrains de la dépression de Kawéni figurent en vert foncé : ils sont moins vulnérables, ce qui est cohérent avec les informations acquises concernant leur lithologie (limons, colluvions fines, cendres...) : il s'agit de formations présentant de faibles perméabilités et constituant donc une bonne protection des eaux souterraines.

La partie en vert clair (moins vulnérable vis-à-vis des eaux souterraines) coïncide elle avec une zone dans laquelle les thalwegs sont orientés en direction du Sud-est et présentent de fortes pentes. Cette direction correspond à une direction de fracturation figurant dans la carte géologique de Mayotte (Stieltjes, 1988), qui pourrait avoir conditionnée la mise en place de coulées. Enfin, un nappage de pyroclastites généralement peu perméables, lié à l'explosion du maar de Kawéni, est présent dans ce secteur. De façon générale, ceci semble donc cohérent.

4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE SUR LE BASSIN D'ALIMENTATION DU FORAGE KAWENI 3 10 POUCES

L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines au travers de la méthode de l'IDPR combiné est présentée dans l'illustration 44.

De façon générale, le massif du M'tsapéré se place parmi les plus vulnérables vis-à-vis de la protection naturelle des eaux souterraines. Ceci est cohérent avec l'absence d'écoulement constaté dans le Mro Oua Kaouénilajoli, et ce malgré un bassin versant d'environ 3,5 km².

Dans la partie amont du bassin, les fortes pentes du massif du M'tsapéré sont cartographiées en vulnérables vis-à-vis des eaux souterraines. Ce résultat paraît surprenant mais peut se justifier i) par la jeunesse des formations laviques présentes et ii) par la nature des sols (sols bruns jeunes) dont l'épaisseur est faible, qui sont souvent remaniés et par endroits très décapés.

La zone la plus vulnérable (en rouge sur la carte) située sous le point coté 147 correspond à la présence à l'affleurement des basaltes β_3 , qui sont connus pour être particulièrement sains et fracturés. Ceci paraît donc cohérent. Juste à son aval, on retrouve au début de la zone en jaune le secteur dans lequel des exfiltrations d'eau souterraine ont été observées : le résultat paraît là aussi cohérent.

La partie aval, cartographiée en vert foncé, correspond quant à elle à une zone moins vulnérable. Ceci paraît étonnant compte tenu des observations de terrain effectuées en novembre 2008 : celles-ci avaient montré l'existence d'une zone d'infiltration entre le point coté 26 et la ravine au niveau du forage Kawéni 3 10 pouces. Ceci peut s'expliquer par :

- le caractère non permanent du Mro Oua Kaouénilajoli dans ce secteur, alors qu'il a été considéré comme permanent dans le calcul de l'IDPR. L'absence de sa prise en compte aurait conduit à réviser la cartographie de cette zone en plus vulnérable ;
- l'existence probable d'un écoulement de sub-surface suivant l'axe donné par la ravine et alimentant très vraisemblablement la nappe de la dépression de Kawéni. On rappelle que cette nappe présente un niveau similaire à celui enregistré dans les forages Kawéni F1 et Kawéni F2, ce qui laisse supposer l'existence d'échanges entre la nappe superficielle et les niveaux captés dans les ouvrages.

Compte tenu des observations effectuées sur le terrain, cette zone sera considérée comme vulnérable dans la suite.

5. Identification des pressions

5.1. INVENTAIRE DES PRESSIONS EXISTANTES SUR LES BASSINS D'ALIMENTATION DELIMITES

En première approche, les bassins d'alimentation des captages de Kawéni comportent deux zones bien différenciées :

- une zone aval, fortement urbanisée, essentiellement sur le BAC des captages F1 et F2 ;
- le reste des BAC dispose d'un aménagement rural qui s'amenuise au fur et à mesure de la remontée des bassins versants (cf. Illustration 45). Ainsi, la partie amont des BAC est protégée par une appellation de « réserve forestière » : réserve forestière du Massif du M'tsapéré.



Illustration 45 : Vue aérienne du bassin versant de la dépression de Kawéni (sources : Orthophotoplan de l'IGN, 2008). On note la nette différenciation entre la partie amont à dominante forestière et la partie aval, fortement urbanisée.

5.1.1. Urbanisation et aménagement

Les bassins d'alimentation des captages de Kawéni accueillent une seule zone urbaine et industrielle : celle de Kawéni, qui est située à l'exutoire des bassins. L'évolution de la population dans cette zone est donnée dans le Tableau 9. Ceci représente en 2007

environ 6% de la population de l'île, sans compter les personnes travaillant en semaine dans ce secteur.

Village	1997	2002	2007
Kawéni	6 206	9 604	11 562

Tableau 9 : Population de Kawéni (chiffres INSEE 2007)

Kawéni appartient à la commune de Mamoudzou. Elle en constitue une zone industrielle et d'activité très importante.

Plus précisément, on peut distinguer plusieurs secteurs dans la dépression de Kawéni :

- à l'Est de la route nationale – qui traverse la dépression du SSO vers le NNE, avec les zones industrielles Nel et de Kawéni, dans lesquelles on trouve de nombreuses entreprises et des bureaux ;
- au Sud-ouest de la dépression, une zone d'habitations construite sur les pentes du cratère ;
- à l'Ouest, une zone occupée par des activités maraichères et des établissements de taille importante (école, collège, lycée hôtelier...) ;
- au Nord-ouest, au débouché de la Mro Oua Kaouénilajoli, une zone d'habitations, dont la densité diminue avec l'éloignement à la route nationale.

Les zones industrielles comportent des activités potentiellement polluantes qui seront décrites dans le paragraphe 5.1.3. Les activités agricoles sont décrites dans le paragraphe 5.1.2.

Les zones d'habitations exercent une pression que l'on peut considérer comme principalement liée à l'état de l'assainissement et aux déchets générés, ainsi qu'à certains aménagements. L'imperméabilisation des terrains est faible dans le secteur étudié. Concernant l'assainissement et les déchets, les diverses reconnaissances de terrain effectuées courant 2009 (juin, juillet et septembre) ont notamment mis en évidence l'existence des phénomènes suivants :

- rejet direct des eaux usées, sans traitement, dans la ravine « Kawéni collège » (cf. Illustration 46) ;
- nombreuses décharges sauvages dans les ravines (cf. Illustration 47). La composition de ces déchets est très hétéroclite : ils comportent des éléments ménagers mais aussi des appareils d'électroménager, des batteries et des carcasses de voitures... ;
- brûlage des déchets domestiques (cf. Illustration 48) ;
- nettoyage des habits dans les ravines, dont on peut voir les traces (sachet de lessives « Klin », petites bouteilles jaunes d'eau de javel, traces blanches de lessive sur des blocs de taille décimétrique à métrique ; cf. Illustration 49).



Illustration 46 : Rejet d'eaux usées dans la ravine Kawéni collège située à 50 m à l'aval du forage Kawéni F1 : on voit deux tuyaux plastiques sortant du mur situé à droite sur la photo. (photo BRGM du 21 septembre 2009)



Illustration 47 : Décharge dans la ravine « Kawéni collège » située à 50 m à l'aval du forage Kawéni F1, soit à l'intérieur du BAC. il s'agit d'une décharge principalement domestique mais on note aussi la présence de pneus, de ferrailles. Cette décharge est « active » à la date de la visite (photo BRGM du 21 septembre 2009)



Illustration 48 : Brûlage des déchets dans la ravine Kawéni collège (photo BRGM du 23 juillet 2009).



Illustration 49 : Site présentant des traces de lessive dans la partie amont de la ravine Kawéni collège (point GPS 756 de l'illustration 10 ; photo BRGM du 21 septembre 2009).

En termes d'aménagements, **les puits et les fosses de type puisard engendrent un risque élevé vis-à-vis de la pollution des eaux souterraines** : ces aménagements croisent en effet un aléa fort (le rejet d'eaux usées non traitées ou la concentration d'activités potentiellement polluantes : lessives, abreuvement des zébus...) avec une dégradation notoire de la protection naturelle des eaux souterraines (décapage total – puits – ou partiel – puisard – de la couverture protectrice naturelle de la première nappe rencontrée). Ils constituent une fenêtre donnant directement sur la ressource. Il a été choisi de classer ces ouvrages en pression pour les raisons suivantes :

- on fait l'hypothèse qu'il existe systématiquement une pression polluante dans l'environnement immédiat de l'ouvrage (lessive, zébu, décharge, rejets d'eaux usées...);
- leur classement en « pression » permet de conserver une couche de vulnérabilité indépendante des agissements de l'homme et une couche de pressions liées aux activités anthropiques. Ceci permettra au décideur d'identifier clairement les points sur lesquels il peut agir.

Ces ouvrages sont bien évidemment classés en pression forte.

Plusieurs puits et un puisard ont été identifiés sur les BAC des captages de Kawéni. On note en particulier un puits situé à moins de 50 m directement à l'amont du forage Kawéni F2 (cf. Illustration 50 et Illustration 10 – point GPS 764, profondeur de 10,5 m selon l'usager), un autre apparemment peu profond (2 à 3 m) et dont la fonction demeure à préciser (stockage d'eau de surface, puisard ?) dans la ravine Kawéni collège, à 275 m vers l'amont du forage Kawéni F1 (cf. Illustration 51 et Illustration 10 – point GPS 750) et un dernier dans la ravine Mro Oua Kaouénilajoli, à un peu moins de 150 m vers l'amont du forage Kawéni 3 10 pouces (cf. Illustration 25 Illustration 52 et – point GPS 776).



Illustration 50 : Puits localisé à moins de 50 m à l'amont du forage Kawéni F2. On note l'absence d'une margelle de protection et le moyen rudimentaire utilisé pour l'extraction de l'eau : la corde traîne par terre à proximité du puits, là où viennent s'abreuver les zébus (photo BRGM du 21 septembre 2009)



Illustration 51 : Puits ou puisard localisé à 275 m à l'amont du forage Kawéni F1. On note l'absence d'une margelle de protection. Des zébus paissent immédiatement à l'amont (photos BRGM du 21 septembre 2009)



Illustration 52 : Puits localisé dans la ravine Mro Oua Kaouenliajoli, à moins de 150 m à l'amont du forage Kawéni 3 10 pouces (photo BRGM du 15 juin 2009). La hauteur de la margelle n'empêche pas le déversement d'eaux de surface à l'intérieur lors de la saison humide (objectif qui est peut-être recherché par son concepteur)

La fosse d'évacuation des eaux usées (cf. Illustration 53) est située à 90 m directement à l'amont du forage Kawéni F2 (point GPS 765 sur l'illustration 10). Elle mesure 2 m sur 1 m pour 3 m de profondeur environ. D'après les informations recueillies le jour même auprès d'un riverain, une seconde fosse se situerait à moins de 10 m de la première, en direction du nord-ouest.



Illustration 53 : Fosse d'évacuation des eaux usées située à 90 m à l'amont du forage Kawéni F2. Sur la photo de gauche, on aperçoit le tuyau d'évacuation des eaux usées qui part de la construction en tôle (photos BRGM du 21 septembre 2009).

Lors des inventaires de terrain réalisés au cours des années 1 et 2 de l'étude de l'aquifère de Kawéni (Wuilleumier et al. 2004 et Euchet et al. 2005), de nombreux puits avaient été identifiés (78 dont 17 avec une margelle). Seulement un tiers de ceux qui ne disposaient pas de margelle en année 1 ont été retrouvés en année 2 (7 sur 22). Ceci implique que la plupart d'entre eux ont été remblayés ou sont devenus inaccessibles mais leur condition de remblaiement est totalement inconnue. Compte tenu de la façon dont sont évacués les déchets domestiques, le pire peut être envisagé en la matière. L'absence de suivi du devenir de ses forages et d'un encadrement de leur condition de remblaiement est problématique quant à la qualité future des eaux souterraines dans la dépression de Kawéni.

La délimitation des zones urbaines a été effectuée à l'aide des photos aériennes de l'IGN (2008) et des reconnaissances effectuées sur le terrain courant 2009. Les sites de lessives, les décharges domestiques, les puits et puisards ont été localisés séparément.

5.1.2. Activités rurales et agricoles

Du point de vue culturel, on observe, de l'aval vers l'amont des bassins versants :

- une zone de maraichage dans la dépression de Kawéni, mise en œuvre sur des terrains de faible pente. On y trouve principalement des bananes (cf. Illustration 54) et des légumineux (cf. Illustration 55) mais aussi de façon plus dispersée des cocotiers, manguiers et des jaquiers ;



Illustration 54 : Bananeraies à proximité immédiate du forage Kawéni F2 à gauche et dans le bassin de la Kaouénilajoli à droite (photo BRGM du 21 septembre 2009).



Illustration 55 : Zone de maraichage à proximité du forage Kawéni F1, au niveau du point GPS 745 de l'illustration 10 (photo BRGM du 21 septembre 2009).

- des cultures de bananes et de maniocs (avec parfois des ananas ou des papayers) sur les versants des bassins, dans des terrains à forte pente (bassin versants F1 et F2 notamment) : elles s'accompagnent d'un fort défrichage des terres (cf. Illustration 56), avec une mise à nue temporaire lors de l'arrachage des racines de manioc, ainsi que de brûlis (observés aux points 761 et 772 de l'illustration 10, cf. Illustration 57) ;



Illustration 56 : Plantation de manioc dans le bassin versant F1 et défrichage dans le bassin versant F2 (photos BRGM du 21 septembre 2009).



Illustration 57 : Culture sur brûlis dans les BAC des captages F1 et F2 à gauche et du captage Kawéni 3 10 pouces à droite (photo BRGM du 21 septembre 2009).

- la culture d'ylang-ylang n'a pas été identifiée dans les zones investiguées lors de la visite de terrain du 21/09/2009, ni à l'aide des orthophotoplans de l'IGN (2008). La carte d'occupation des sols (DAF, 2003) ne fait pas non plus état de cette culture dans cette partie de Mayotte ;
- Comme indiqué précédemment, la partie amont du bassin de la Mro Oua Kaouénilajoli est incluse dans la réserve forestière du Massif du M'tsapéré, ce qui suppose l'absence de cultures. La vue aérienne prise en 2008 ne contredit pas cette

hypothèse : elle ne fait pas apparaître de cultures dans cette zone (cf. Illustration 45).

En sus des activités agricoles, on note la présence de zébus dans le bassin versant, souvent attachés à un piquet, seuls ou par deux ou trois. On les trouve souvent à proximité des zones agricoles car ils sont utilisés pour fertiliser la terre (cf. Illustration 58). Au niveau du point GPS 753 de l'illustration 10, 7 têtes de bétail ont été dénombrées dans un champ à forte pente. Une carcasse de réfrigérateur est utilisée comme abreuvoir pour les animaux (cf. Illustration 59). Il est possible que des gaz réfrigérants soient encore présents dans celle-ci.



Illustration 58 : Vaches au piquet à proximité de bananeraies, à gauche vers le point GPS 750 de l'illustration 10, à droite à proximité du forage F2 (photos BRGM du 21 septembre 2009).



Illustration 59 : Utilisation d'une carcasse de réfrigérateur comme abreuvoir pour les zébus (photo BRGM du 21 septembre 2009).

Comme rappelé dans le rapport définissant la méthodologie de caractérisation des BAC à Mayotte (Malard, 2009), l'agriculture à Mayotte n'est pas consommatrice de

grandes quantités d'engrais et de produits phytosanitaires. L'utilisation de zébus pour la fertilisation des terres agricoles confirme cette hypothèse. Les risques liés aux pratiques agricoles concernent surtout la mobilisation des sols, le ravinement et l'accélération de l'érosion des terres arables suite aux aménagements, labours et pratiques de déforestation.

5.1.3. Sites industriels

Les sites industriels et activités potentiellement polluantes répertoriés en 2004 (cf. rapport BRGM/RP-52906-FR) dans la zone de Kawéni sont présentés en annexe 5. Cette zone concentre une part importante des activités industrielles et de services de Mayotte. Lors de cet inventaire, 36 sites ont été identifiés sur le bassin versant, ce qui représente un peu plus de 40% des sites inventoriés sur l'île. Néanmoins, aucun ne se situe à l'intérieur des BAC des captages de Kawéni.

Dans le cadre de l'année 4 de l'étude de l'aquifère de Kawéni (rapport BGRM/RP-57385-FR), un inventaire des sites industriels et potentiellement polluants de la dépression de Kawéni a été conduit. Les principaux sites identifiés figurent dans la planche photo placée en annexe 5. La plupart est située en dehors des BAC des captages de Kawéni. Un site concerne le BAC des forages Kawéni F1 et Kawéni F2 : le site de travail du bois localisé au voisinage du lycée hôtelier, à 120 m environ au sud du forage Kawéni F1. Le code NAF retenu est DD.20.1b car l'activité comporte très probablement une imprégnation du bois avec des produits insecticides (groupe SEI : 1).

Deux sites fréquentés par des poids lourds sont localisés au voisinage des BAC, tout en restant à l'extérieur :

- l'un à 250 m au NE du forage Kawéni F2. En considérant une aire d'influence de 100 m de diamètre – conformément à ce qui a été effectué pour les autres sites industriels – ce site n'impacte pas le BAC ;
- l'autre à 320 m au sud du forage Kawéni F1. En considérant une aire d'influence de 100 m de diamètre, ce site n'impacte pas le BAC.

Lors de la reconnaissance de terrain du 21 septembre 2009, qui s'est concentrée sur une zone plus amont que celle investiguée précédemment, d'autres activités potentiellement polluantes ont été identifiées. Il s'agit :

- de garages et casses automobile, incluant notamment de l'entreposage de véhicules hors d'état de marche et un atelier de carrosserie. Compte tenu de l'activité de casse automobile, le code NAF privilégié est O.90c ou O.90f, qui appartiennent tous les deux au groupe SEI : 1. Le site est à une centaine de mètres au Sud-Ouest de F2, soit légèrement à l'amont (point GPS 766) ;
- de casses automobile, avec de nombreuses voitures hors d'état de marche, des pneus, des batteries, une citerne d'huiles (cf. Illustration 60). Compte tenu de la présence des pneus usagés, d'huiles et des batteries, le site doit être classé dans la catégorie des sites de décharge (code NAF : O90.0c ou O90.0f ; groupe SEI : 1). Certaines voitures paraissant peu âgées, il est probable que le site soit utilisé. Il est

à une centaine de mètres au Sud-Ouest de F1, soit légèrement à l'amont (point GPS 747) ;



Illustration 60 : Casse automobile située à une centaine de mètres du forage F1 (photos BRGM du 21 septembre 2009).

- activité de garage automobile, avec présence potentielle de batteries et d'huiles (cf. Illustration 61 ; code NAF : O90.0d ou O90.0f ; groupe SEI : 1). La présence des véhicules scolaires atteste de l'activité en cours sur ce site. Le site est à 225 mètres à l'OSO du forage F1 (point GPS 751) ;



Illustration 61 : Site de garage et de casse automobile situé à 225 mètres du forage F1 (photos BRGM du 21 septembre 2009).

- décharge d'appareils électroménagers, composés essentiellement de climatiseurs usagés (cf. Illustration 62 code NAF : O.90.0d ou O90.0f ; groupe SEI : 1). Ce site de décharges n'avait pas été observé lors des précédentes visites et les déchets

semblent avoir été déposés récemment. Il est situé à moins de 95 mètres du forage Kawéni 3 10 pouces, vers le nord-est (point GPS 769) ;



Illustration 62 : Décharge d'appareils électroménagers située à moins de 95 mètres du forage Kawéni 3 10 pouces (photos BRGM du 21 septembre 2009).

- casse automobile et site de décharge : on identifie la présence de batteries, de pneus, d'appareils électroménagers, de petites bouteilles de gaz usagées et de gravats (code NAF : O90.0d ou O90.0f ; groupe SEI : 1). La casse s'accompagne de zébus (cf. Illustration 63) et est donc probablement encore utilisée (ce que confirme la présence d'un sac plastique « Score » datant de 2009). Elle est située dans le champ de tir, juste à l'amont du forage Kawéni 3 10 pouces, à un peu moins de 65 mètres vers l'ouest (point GPS 771) ;



Illustration 63 : Casse automobile et zébus situés dans le champ de tir, à moins de 65 mètres du forage Kawéni 3 10 pouces (photos BRGM du 21 septembre 2009).

- décharge constituée principalement de ferrailles (code NAF : O90.0d ou O90.0f ; groupe SEI : 1). On y trouve aussi un pot de goudron (cf. Illustration 64). Ce site de décharges n'avait pas été observé lors des précédentes visites effectuées entre mai et juillet 2009, ce qui laisse supposer que la décharge est active. Elle est située à un peu plus de 50 mètres à l'Est du forage Kawéni 3 10 pouces (point GPS 773).



Illustration 64 : Décharge de ferrailles et pot de goudron situés à un peu plus de 50 mètres du forage Kawéni 3 10 pouces (photos BRGM du 21 septembre 2009).

La reconnaissance de terrain a donc permis de compléter la connaissance des sites « potentiellement polluant » dans les deux BAC des captages d'eau potable de Kawéni : six sites ont été identifiés. Par ailleurs, l'observation des BAC à l'aide des photos aériennes de l'IGN (2008) montre l'existence d'un site industriel situé sur la crête nord du bassin versant du Mro Oua Kaouénilajoli, à 250 m au NO de la carrière de Massakini.

5.1.4. Risques naturels

L'atlas des risques naturels à Mayotte pour les communes de Mamoudzou, Koungou, Dzaoudzi et Pamandzi (Audru et al., 2004) fournit des informations quant aux différents aléas naturels auxquels sont soumis les captages d'eau potable compte tenu de leur localisation. Ces aléas sont récapitulés dans le Tableau 10 :

	Kawéni F1	Kawéni F2	Kawéni 3 10 pouces
Aléa mouvement de terrain	aléa moyen : chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain	aléa moyen : glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs	aléa moyen : glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs
Aléa inondations	Se situe juste en dehors de la zone d'aléa fort (bande de 10 m de part et d'autre de la ravine)	Aléa fort	Aléa faible à nul
Aléa sismique : effets de sites	Aléa fort	Aléa fort	Aléa fort
Aléa sismique : liquéfaction	Susceptibilité moyenne	Susceptibilité moyenne	Susceptibilité faible à nulle

Tableau 10 : Aléas naturels auxquels sont soumis les forages Kawéni F1, Kawéni F2 et Kawéni 3 10 pouces (d'après Audru et al., 2004)

On note l'existence d'un aléa sismique fort lié à un effet de site (dépression de Kawéni), un aléa moyen concernant les mouvements de terrain et un aléa inondation fort sur l'ouvrage Kawéni F2. Néanmoins, le bassin versant situé à l'amont de ce forage est de taille assez réduite, ce qui limite l'aléa.

Concernant le forage Kawéni 3 10 pouces, les observations de terrain (cf. Illustration 38) montrent que l'ouvrage se situe au débouché d'une petite ravine issue du champ de tir. Des chutes de blocs ou de déchets volumineux sont possibles.

5.2. CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS

Les cartes des pressions recensées sur les deux BAC des captages d'eau potable de Kawéni, pondérée par les arguments décrits dans le rapport méthodologique spécifique à Mayotte (Malard, 2009) sont présentées en Illustration 65 et Illustration 66.

Comme attendu d'après la physionomie générale des deux bassins, les pressions se concentrent principalement dans leur partie aval et en fond de vallée. Ce sont les décharges, les casses automobiles, les puits et les puisards, ainsi que les activités de lessive qui constituent les pressions les plus fortes. Les zones les plus étendues coïncident avec les zones urbaines et les zones de polycultures vivrières.

On remarque d'ores et déjà que chacun des forages est placé dans un secteur dans lequel s'exercent des pressions classées comme « fortes ». Ceci est lié :

- pour le forage Kawéni F1, à la zone de décharge dans la ravine de Kawéni collège ;
- pour le forage Kawéni F2, au puits, à la fosse destinée aux eaux usées et au garage situés juste à l'amont, ainsi qu'à la décharge située au sud ;
- pour le forage Kawéni 3 10 pouces, aux décharges présentes à proximité.

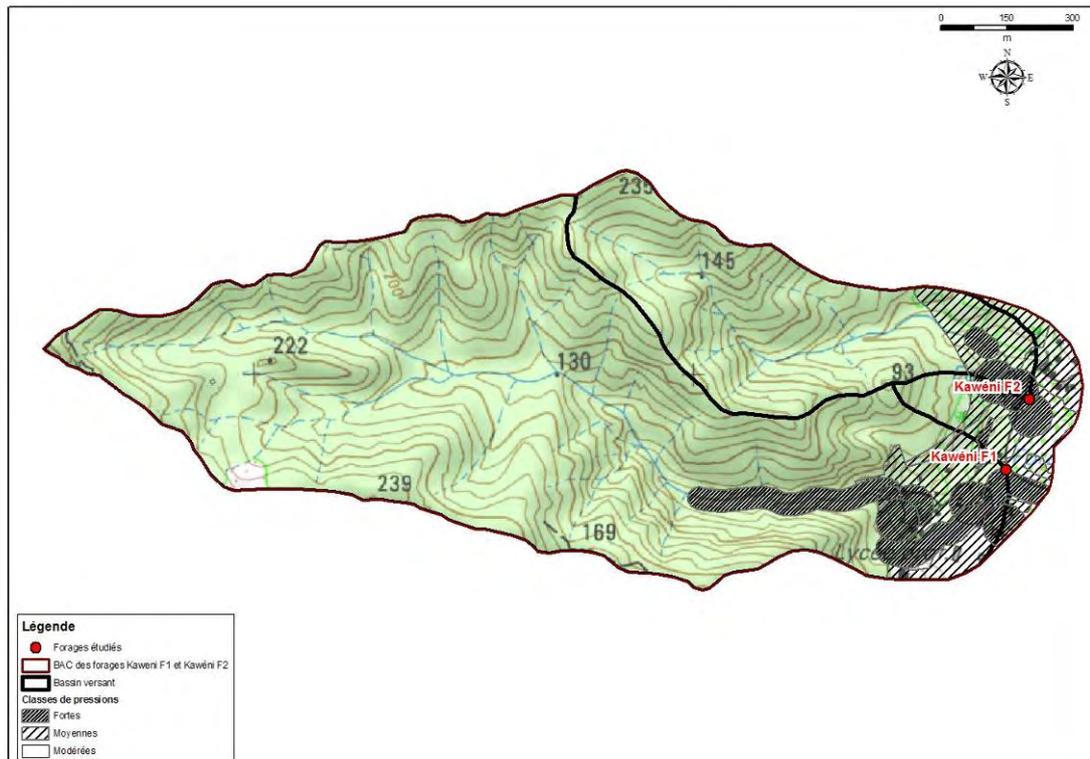


Illustration 65 : Cartographie des pressions exercées sur le BAC des captages Kawéni F1 et Kawéni F2

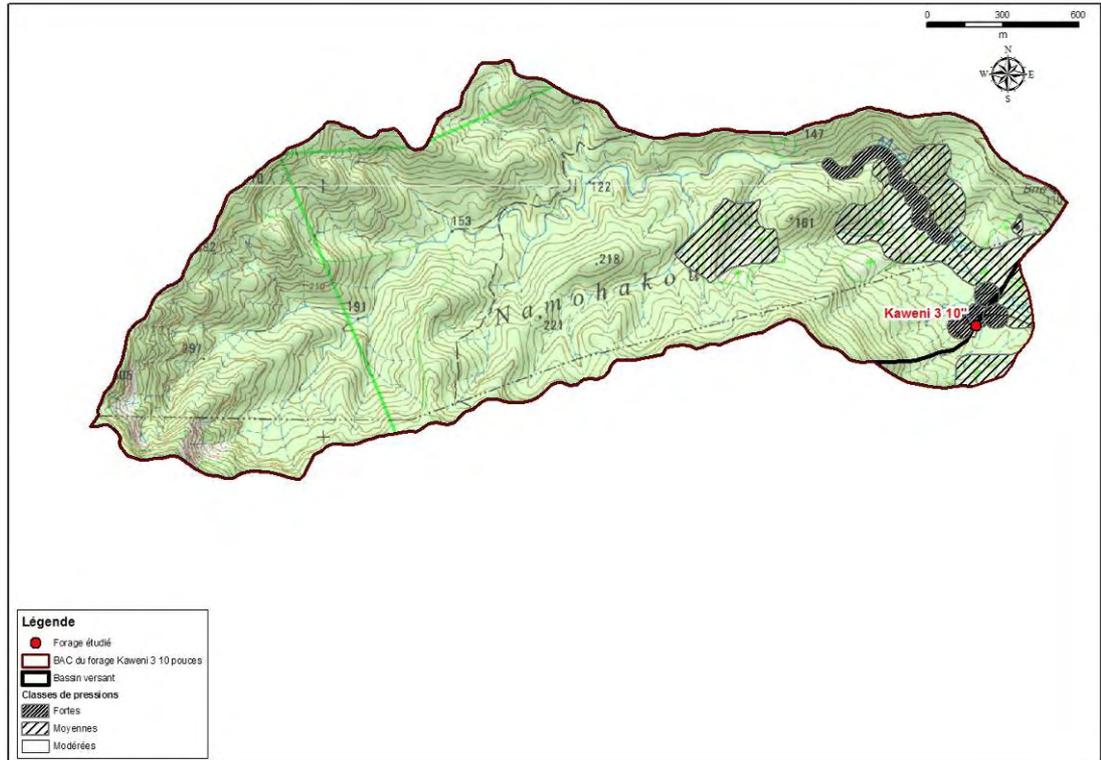


Illustration 66 : Cartographie des pressions exercées sur le BAC du captage Kawéni 3 10 pouces

6. Evaluation du risque de pollution des bassins d'alimentation des captages de Kawéni

Comme indiqué dans le rapport méthodologique dédié à la délimitation des BAC à Mayotte (Malard, 2009), le degré d'exposition des bassins d'alimentation de captage aux polluants est approché par le croisement des informations de vulnérabilité et de pression.

6.1. CROISEMENT DE LA VULNERABILITE ET DES PRESSIONS SUR LE BAC DES CAPTAGES KAWENI F1 ET KAWENI F2

En croisant les cartes de vulnérabilité et de pression, on obtient la carte présentée en Illustration 67.

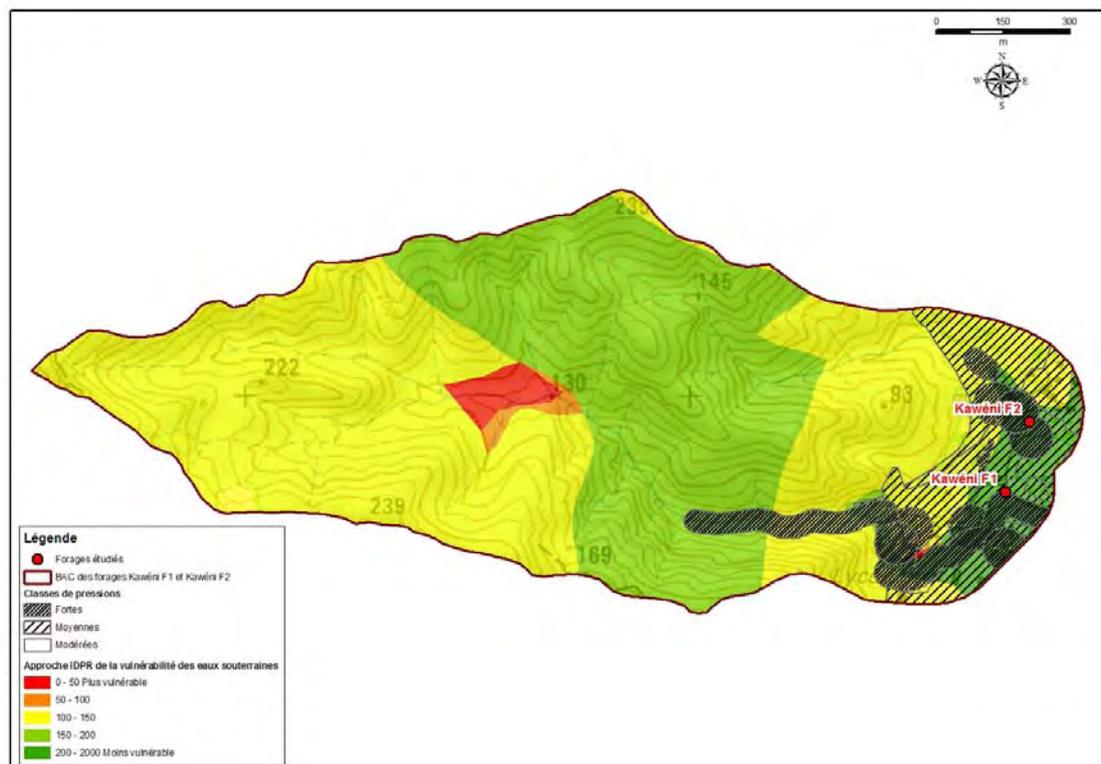


Illustration 67 : Croisement de la vulnérabilité et des pressions inventoriées sur le BAC des captages Kawéni F1 et Kawéni F2

Les pressions les plus fortes localisées au voisinage des deux forages coïncident généralement avec des zones peu vulnérables (peu infiltrantes). C'est le cas au niveau de la zone de décharge de la ravine Kawéni collège, de la menuiserie ou de la casse

automobile située à proximité du forage Kawéni F1 ou de la décharge située à proximité de Kawéni F2.

Les zones de lessive (pressions fortes) coïncident pour partie avec une zone de vulnérabilité intermédiaire. Ces zones sont en théorie celles présentant le risque le plus élevé sur le bassin versant. Il demeure toujours modéré concernant les eaux souterraines, compte tenu du caractère relativement peu infiltrant des formations dans ce secteur.

De façon générale, la confrontation des pressions avec la vulnérabilité des eaux souterraines fait apparaître un risque plutôt modéré sur le bassin d'alimentation des ouvrages.

Cependant, **la concentration en activités potentiellement polluantes au voisinage immédiat des ouvrages est un net facteur de risque vis-à-vis des eaux souterraines, et ce malgré la bonne protection présentée par les formations géologiques.** En effet, il est hautement probable qu'en plus de ceux déjà identifiés, il existe d'autres puits et puisards non identifiés (au sein des zones d'habitations clôturées par exemple) en activité ou partiellement rebouchés. Chacun de ces ouvrages ayant décapé tout ou partie de la couverture protectrice du réservoir souterrain, les polluants sont susceptibles de rejoindre directement la nappe. **La présence des puits et puisards identifiés en amont des forages Kawéni F1 et Kawéni F2 constitue un risque avéré pour la ressource en eaux souterraines** (qui a été confirmé par la présence de produits polluants – HAP – dans les eaux captées au niveau des deux forages).

6.2. CROISEMENT DE LA VULNERABILITE ET DES PRESSIONS SUR LE BAC DU CAPTAGE KAWENI 3 10 POUCES

En croisant les cartes de vulnérabilité et de pression, on obtient la carte présentée en Illustration 68. Les pressions les plus fortes localisées au voisinage du forage coïncident avec des zones peu vulnérables à très vulnérables.

La zone la plus vulnérable coïncide avec le site de décharge de matériel électroménager et partiellement avec celui de décharge de ferrailles. Le site du champ de tir et la décharge qu'elle comporte se situent dans une zone de vulnérabilité intermédiaire, qui est plus est directement à l'amont du forage. **Ces zones de fortes pressions constituent, compte tenu de la vulnérabilité des eaux souterraines, un risque important vis-à-vis des eaux souterraines.**

Le puits, situé dans le lit du cours d'eau, a décapé la protection naturelle de la nappe. Tout polluant transitant par le cours d'eau est donc susceptible d'atteindre directement la nappe. Il constitue donc un point noir vis-à-vis de la qualité des eaux souterraines et ce malgré son implantation dans une zone classée comme peu vulnérable.

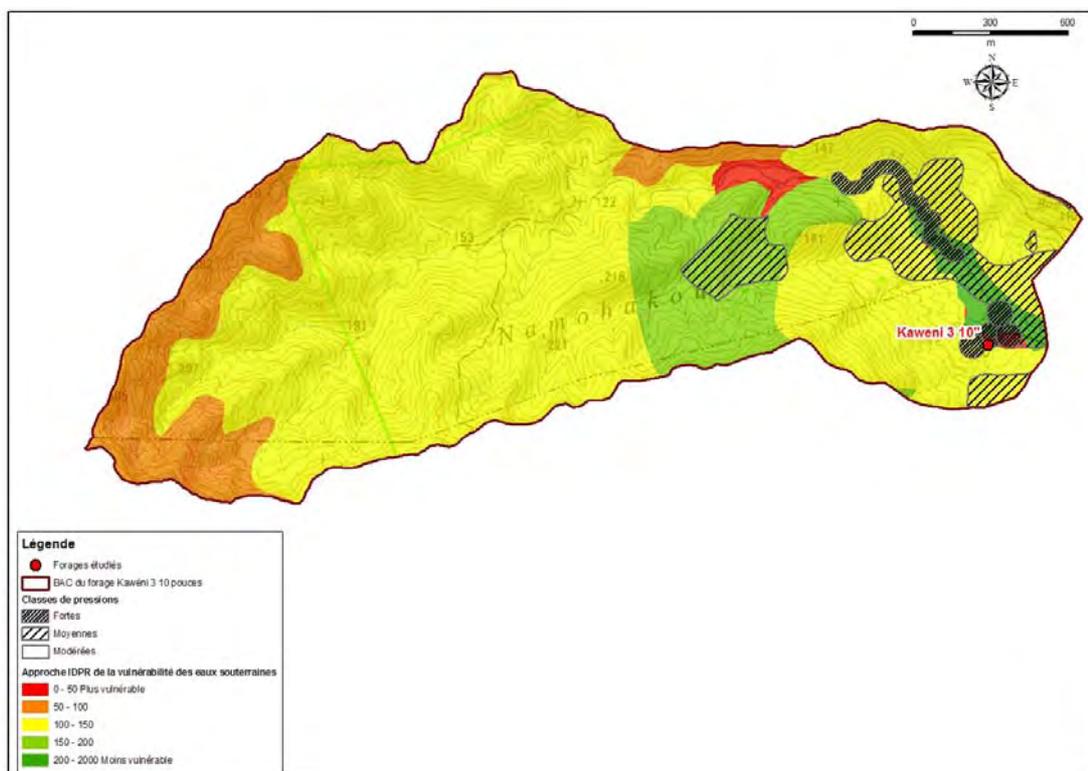


Illustration 68 : Croisement de la vulnérabilité et des pressions inventoriées sur le BAC du captage Kawéni 3 10 pouces

La **zone de lessive** du Mro Oua Kaouénilajoli coïncide avec une zone peu vulnérable et une zone vulnérable. Elle traverse notamment la zone de recharge de la nappe par le cours d'eau. **Cette zone est particulièrement sensible en termes de protection des eaux souterraines. Elle se situe entre le point coté 26 et le lit de la rivière à l'aplomb du forage.**

Les zones de pression moyenne correspondent à des zones de polyculture vivrière intensive. Compte tenu du peu d'engrais utilisés, c'est essentiellement par les phénomènes d'érosion des sols que la pression est prise en compte (cf. 5.1.2). Ces pressions coïncident avec une vulnérabilité faible à moyenne selon les secteurs. Elle est donc moins à risque que les autres activités précédemment citées. Il convient néanmoins de ne pas la perdre de vue, notamment en cas d'évolution des pratiques culturales à Mayotte.

7. Recommandations

Les résultats de l'étude ont mis en évidence la nécessité d'un programme d'action à mettre en place dans le souci de la restauration et/ou de la préservation de la ressource en eau souterraine des deux BAC du bassin versant de la dépression de Kawéni. Compte tenu de la vulnérabilité intrinsèque de chacun des BAC, il est nécessaire de limiter au maximum le volume et la nature des pressions s'exerçant en surface. Les recommandations sont les suivantes :

- **Surveiller l'avancée du biseau salé** à l'aval des forages AEP afin d'être en mesure d'alerter de l'arrivée du phénomène. Il est donc préconisé de mettre en place un dispositif d'alerte, sous la forme d'un réseau de quelques piézomètres répartis dans la dépression de Kawéni. **Cet aspect est capital** compte tenu de la salinisation d'ores et déjà observée sur le forage Kawéni 2 10 pouces d'après les informations recueillies auprès de la SOGEA et les résultats obtenus lors de la comparaison de la pluie efficace moyenne sur les bassins versants F1 et F2 avec les prélèvements sur les forages Kawéni F1 et Kawéni F2 ;
- **Renforcer le suivi de la qualité des eaux**, notamment les substances phytosanitaires révélatrices des dégradations environnementales à travers les analyses d'eau potable. A l'heure actuelle, l'absence de données qualité régulières et complètes est un réel handicap dans la caractérisation de la qualité des eaux, la mise en évidence de pollution chronique ou diffuses (ces données seront indispensables dans les réflexions futures relatives à la protection de ces ressources, notamment à travers la mise en place des plans d'action qui accompagneront les futurs périmètres de protection). Il est essentiel de chercher à faire coïncider la liste des molécules recherchées avec celle des molécules utilisées. Des adaptations peuvent être faites en fonction de la mobilité des différentes molécules, la probabilité de trouver certaines d'entre elles dans les eaux souterraines étant extrêmement faible ;
- **Instrumenter la ravine au voisinage du forage 3 10 pouces** afin de mesurer le débit transitant annuellement en surface. L'acquisition de la donnée est à faire à un pas de temps horaire et on s'attachera à disposer d'un seuil de mesure d'au moins un mètre (hauteur correspondant à la hauteur des laisses de crue au niveau du contact B2-B3). Ceci permettra de comparer au mieux la part d'eau transitant en surface avec la part d'eau prélevée au niveau des prises d'eau de surface et d'évaluer ainsi les conséquences sur la pérennité de la ressource ;
- **Mettre en place des systèmes de mesure individuels des prélèvements en tête de captage** (capteurs de pression et capteurs physico-chimiques) mesure en cours par la SOGEA). L'exemple de la comptabilisation globale des forages Kawéni F1 et Kawéni F2 rend délicate l'estimation du volume prélevé au sein d'un ouvrage unique ;
- **Conduire des tests de perméabilité** permettant de rattacher des valeurs physiques d'infiltrabilité aux indices IDPR & rugosité, et ce en fonction des

formations lithologiques et/ou pédologiques concernées. Ces éléments permettraient d'affiner l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines ;

- **Réglementer et surveiller les pratiques** (assainissement, déchets, lessives) dans les parties basses des BAC. Il est essentiel de trouver rapidement les moyens de réduire les nuisances liées aux lessives polluantes et aux déchets omniprésents dans les ravines ;
- Plus largement – et ce constat sera applicable à l'ensemble des bassins versants de Mayotte lors de l'instauration des périmètres de protection – **mettre en place des plans d'actions spécifiques** portant sur des fondamentaux comme : l'information et la sensibilisation de la population riveraine à la protection de la ressource, le développement de mesures agro-environnementales, l'alternative à la lessive en rivière, les moyens de surveillance de la ressource et des pratiques, le contrôle de l'urbanisation, etc. ;

Concernant les pressions identifiées dans les BAC, on s'attachera notamment :

- au niveau des forages Kawéni F1 et Kawéni F2 : à éliminer les zones de décharge dans leur environnement immédiat, notamment dans les ravines, en commençant par les zones comportant des déchets particulièrement nocifs pour l'environnement : batteries, huiles, appareil électroménager... Il est entendu que ces zones ne seront propres que lorsqu'un changement se sera opéré dans les pratiques concernant la gestion des déchets (aussi bien au niveau individuel que collectif) ;
- au niveau du forage Kawéni F2 : à protéger particulièrement cet ouvrage qui se situe en contrebas de la petite route circulant Nord-Sud. Une pollution accidentelle (déversement d'huiles usagées, ou d'essence) pourrait en effet venir s'écouler jusque dans la zone grillagée ;
- au niveau du forage Kawéni 3 10 pouces : à protéger cet ouvrage des menaces directes sur les eaux souterraines identifiées à son voisinage, notamment le champ de tir situé juste au-dessus, ainsi que les zones de décharge avoisinantes. Leur nettoyage et la surveillance des pratiques sont indispensables ;
- à identifier, tracer et reboucher les puits de la dépression de Kawéni qui ne sont pas en service et dûment protégés.

Ces aspects mettent en évidence la nécessité d'une surveillance régulière des environs proches des différents forages. Il paraît nécessaire de mettre en place un dispositif, avec des acteurs et des responsabilités bien identifiés, permettant d'assurer cette surveillance. Cette démarche est à conduire en parallèle d'une sensibilisation de la population au respect de l'environnement.

La finalité de cette étude est de proposer un support de travail et d'informations à l'échelle du bassin versant et des BAC afin de procéder dans des délais raisonnables aux études hydrogéologiques complémentaires - captage par captage – qui initieront l'instauration des périmètres de protection. Ces travaux devraient aboutir à des recommandations plus complètes et plus spécifiques.

8. Conclusion

Dans le cadre de la convention de recherche et développement partagés SIEAM/BRGM du 24 avril 2009, les délimitations des bassins d'alimentation des captages du bassin versant de la dépression de Kawéni, à savoir les trois forages Kawéni F1, Kawéni F2 et Kawéni 3 10 pouces (respectivement de code BSS 12307X0013, 12307X0014 et 12307X0021) ont été établies sur la base des principes méthodologiques du rapport BRGM/RP-57299-FR (Malard *et al.*, 2009).

Les bassins d'alimentation des forages englobent l'intégralité du bassin versant délimité par ces forages auquel s'ajoute la zone d'appel de chacun des forages dans leur voisinage immédiat. Ces zones d'appel sont initiées par un pompage sur ces forages. Compte tenu de leur proximité et de l'interaction constatée sur ces deux ouvrages, les forages Kawéni F1 et Kawéni F2 ont un BAC commun. Un BAC unique a été identifié pour le forage Kawéni 3 10 pouces. Il existe donc à l'heure actuelle deux bassins d'alimentation de captages inscrits dans le bassin versant de la dépression de Kawéni.

Les résultats de la combinaison de l'IDPR avec l'indice de rugosité montrent que le bassin versant de la dépression de Kawéni présente, au même titre que les autres bassins versants du massif du M'tsapéré, un caractère plutôt infiltrant par rapport aux autres bassins versants de l'île. Cela est probablement conséquent à la relative jeunesse des formations lithologiques en amont (mise en place du massif de M'tsapéré), à la jeunesse des sols et à l'absence de mise en équilibre des réseaux hydrographiques. Néanmoins, la vulnérabilité des captages souterrains de ce bassin versant est moindre que celle observée dans les bassins versants du Mro Oua Kwalé ou du Mro Oua Gouloué.

En ce qui concerne l'inventaire et la caractérisation des pressions s'exerçant sur les captages, les pressions identifiées comme les plus importantes sont concentrées dans la partie aval des BAC. En premier lieu, on doit citer les puits, puisards et fosses d'évacuation des eaux usées qui constituent des fenêtres directes pour le déversement de polluants dans la nappe. Ces ouvrages constituent le point noir vis-à-vis de la protection des eaux souterraines. Au second plan arrivent les décharges et les casses automobiles situées au voisinage des forages, ainsi que les lessives manuelles avec l'utilisation de produits détergents directement dans le cours d'eau. De façon moindre, on peut citer la mobilisation des sols conséquemment aux aménagements et pratiques agricoles (responsables des fortes turbidités des eaux). Ces dernières pressions ne sont néanmoins pas à négliger, notamment en cas d'évolution des pratiques culturelles à Mayotte.

En termes de qualité des eaux captées, les analyses effectuées montrent d'ores et déjà un impact des activités anthropiques sur les eaux souterraines : des hydrocarbures aromatiques polycycliques ont par exemple été observés sur les forages Kawéni F1 et Kawéni F2, et ce, malgré la bonne protection naturelle dont ils

bénéficient (couverture épaisse de matériaux peu perméables). Par ailleurs, l'absence d'identification de produits phytosanitaires n'est qu'un résultat partiel, la liste des molécules recherchées dans les eaux ne coïncidant pas avec celle des molécules utilisées.

En terme d'aléa naturel, le risque est relativement faible, les ouvrages n'étant pas par exemple en zone d'aléa fort vis-à-vis des mouvements de terrain. L'aléa le plus présent concerne le risque sismique lié aux effets de site, ainsi que l'aléa inondation pour le forage Kawéni F2. Au niveau du forage Kawéni 3 10 pouces, l'ouvrage se situe au débouché d'une petite ravine issue du champ de tir. Des chutes de blocs ou de déchets volumineux sont possibles.

Finalement, le risque de pollution des eaux souterraines s'exerçant sur les bassins d'alimentation des forages est suffisamment élevé pour ne pas garantir la sécurité de la ressource vis-à-vis des pressions extérieures existantes. Le développement de l'urbanisation, des aménagements (puits et puisards), les rejets de déchets directement dans l'environnement et l'absence d'application de la réglementation en matière de lessives en rivière sont les facteurs essentiels pouvant conduire à court ou moyen terme à la dégradation de la ressource captée par les forages.

Indépendamment des pressions anthropiques, le risque de salinisation de l'eau par remontée du biseau salé ne peut être écarté. La forte sollicitation exercée par exemple sur la ressource par le forage Kawéni F2 (par rapport à la pluie efficace moyenne sur ce bassin versant) induit un risque vis-à-vis de l'extension de sa zone d'appel vers l'aval (soit en direction de la mangrove).

De façon générale, la maîtrise de l'urbanisation au voisinage des forages Kawéni F1, Kawéni F2 et Kawéni 3 10 pouces constitue un enjeu majeur dans l'objectif de préservation de la qualité des eaux captées au niveau des forages.

Les recommandations portent à la fois (i) sur la surveillance de la ressource, à commencer en premier lieu par une surveillance de l'avancée du biseau salé, à exercer à l'aval des forages afin de pouvoir alerter de cette progression. Le renforcement du suivi de la qualité des eaux (notamment des substances phytosanitaires comme l'AMPA et de façon générale en faisant coïncider la liste des molécules recherchées avec celle des molécules utilisées) et de la quantité des prélèvements (mesure des prélèvements) sont aussi deux thématiques à promouvoir, (ii) sur la surveillance et la réglementation des pratiques en vigueur sur les BAC (contrôle du creusement des puits et puisards, rejets d'eaux usées, gestion des déchets, lessives, contrôle des activités de garage et de casse automobile, pratiques agricoles, etc.) et la résorption des sites les plus susceptibles d'engendrer une pollution de la nappe (sites de déchets, puits et puisards au voisinage des forages) et (iii) sur la mise en place de plans d'actions portant sur la sensibilisation des riverains à propos de la protection de la ressource en eau, le développement de mesures alternatives à la lessive en rivière et de mesures agro-environnementales. Ces recommandations doivent être observées sur l'ensemble des BAC et en particulier dans leur partie aval où les pressions sont les plus importantes.

La suite de cette étude conduit logiquement à la réalisation d'études hydrogéologiques complémentaires captage par captage en vue de l'instauration des périmètres de protection, à savoir un programme envisagé sur les années 2010/2011.

9. Bibliographie

Audru J-C., A. Bitri A., Desprats J-F., Mathon C., Maurillon N., Nédellec J.L., Jossot O., Rançon J-P, Sabourault P., Sedan O., Terrier-Sedan M. et Zornette N., coll. Stollsteiner P. (Antéa), Guillobez S. (CIRAD), Daniel P. et Haie B. (Météo-France) (2004) – Atlas des aléas naturels à Mayotte, Communes de Mamoudzou, Koungou, Dzaoudzi et Pamandzi. Rapport BRGM/RP-53037-FR, 135 p., 65 figures ou photos, 4 tableaux, 72 cartes et 8 annexes.

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

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

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

DAF de Mayotte (1993 à 2008) – Annuaire

Eberschweiller C. (1986) – Etude hydrologique, hydrochimique et géochimie isotopique d'une île volcanique sous climat tropical humide – Mayotte. Thèse de 3^e cycle, Université de Paris 6.

Eucher G., Miehe J-M., Mouron R. (2005) – Modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni (commune de Mamoudzou, Mayotte) – Année 2 – BRGM-RP-54082-FR, 70 p., 20 ill., 4 ann.

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

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

Jourdain T., Mourillon N. et Mouron R. (2002) – Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre (Ile de Mayotte) – BRGM/RP-52193-FR, 80 p., 17 fig., 8 tab., 5 ann.

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

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

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

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

Malard A. (2008) – Définition du réseau DCE de surveillance qualitative des eaux souterraines de Mayotte - BRGM/RP-56772-FR. 92 p., 22 Ill, 5 ann.

Malard A., Vaudour K., Winckel A. (2008) – Modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni, année 3 – BRGM/RP-56773-FR, 116 p., 33 Ill., 7 ann.

Malard A., avec la collaboration de A. Bourhane (2009) – Modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni – Année 4 – BRGM/RP-57385-FR (Rapport à paraître).

Malard A., Winckel A. (2008) – Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des eaux souterraines, de surface et côtières de Mayotte – BRGM/RP-56774-FR, 218 p., 48 Ill., 9 ann.

Mauroux B. (1992) – Programme de reconnaissance des eaux souterraines à Mayotte. Rapport BRGM R35165 REU 4S 92, 92 p., 6 ann.

Parfenoff A., Pomerol C., Tourenq J. (1970) – Les minéraux en grains, méthodes d'étude et détermination. Editions Masson & Cie.

Salesse E., Mauroux B., Weber O. (1991) – Alimentation en eau potable de Mamoudzou. Réalisation des forages F1 (1230-7X-0013) et F2 (1230-7X-0014) – Z.I. de Kaweni. Rapport BRGM RR-33200-FR, REU 4S 91, 37 pages, 2 annexes

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

Stollsteiner P., avec la collaboration de C. Cluzet (2008) – Actualisation des propositions pour une méthodologie relative aux études hydrauliques et hydrologiques à Mayotte. Rapport BRGM/RP-56881-FR, 98 p., 32 ill., 4 ann.

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

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2008) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses.

Application du guide méthodologique sur des bassins test, rapport BRGM/RP-55875-FR, 172 pages, 113 illustrations, 7 annexes.

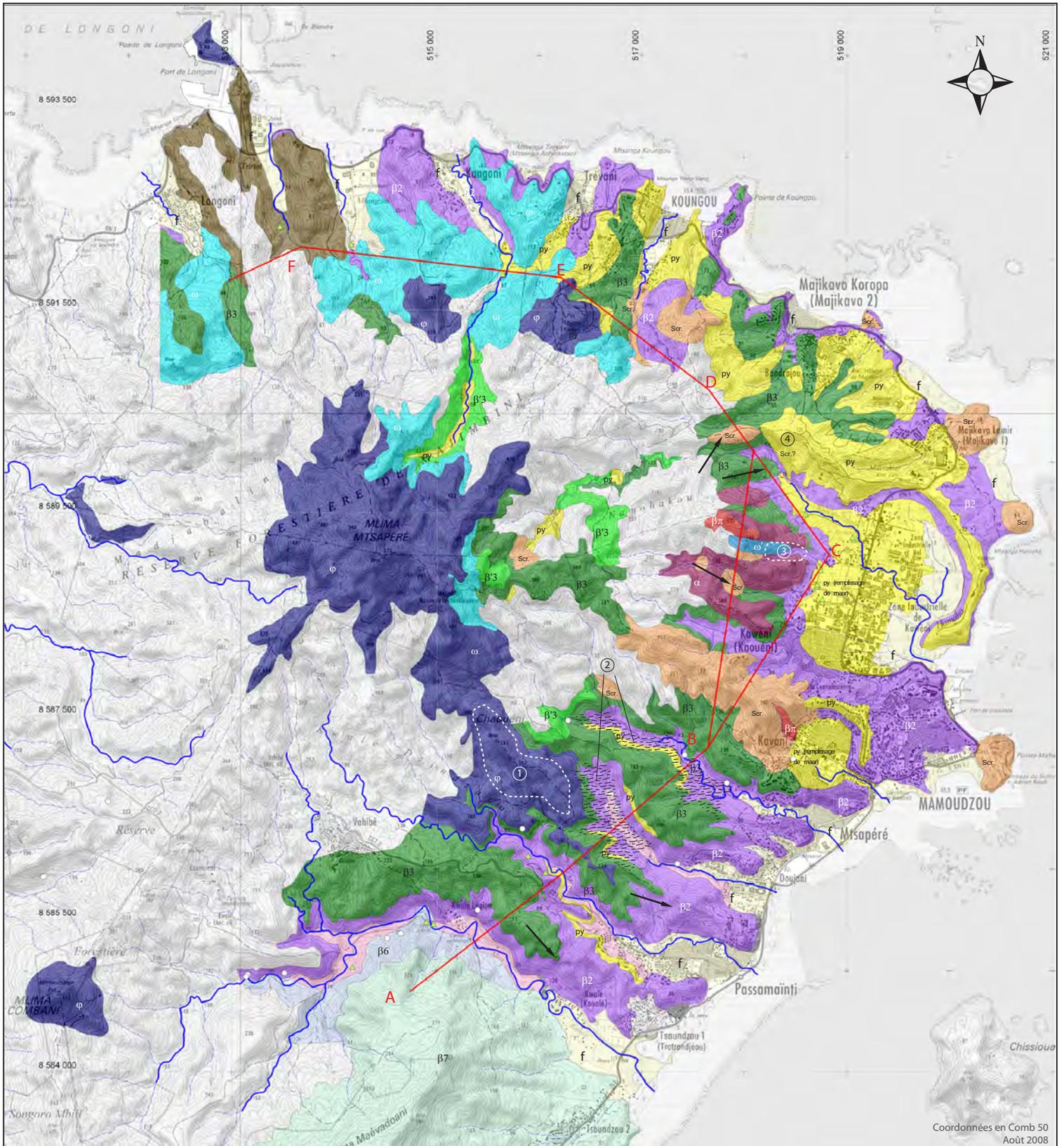
Vernoux J.F., Wuilleumier A., Seguin J.J, Dörfliger N. (2007) – Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Rapport intermédiaire : synthèse bibliographique et analyse des études réalisées sur le bassin Sine-Normandie,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

Wuilleumier A., Mathieu F., Jossot O., Eucher G. (2004) – Modalités d'exploitation et de protection de l'aquifère de Kawéni – Année 1 – BRGM-RP-53161-FR, 168 p., 19 ill., 6 tab., 4 ann.

Annexe 1

Carte lithologique du massif du M'tsapéré (source : Rapport BRGM RP-56660-FR, Gilbert M. et al. – 2008)

Carte lithologique interprétative du massif du M'Tsapéré



LEGENDE

<ul style="list-style-type: none"> ○ Sources — Traits de coupe ▲ Forages ↘ Sens des coulées f Formations alluvionnaires, plages et mangroves actuelles 	<p>Formations présentes au sein des différentes unités géologiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Brèches ■ Pyroclastites interstratifiées, localement mélangées à des cendres, des ponces et des brèches - remplissage volcano sédimentaire tardif (maar de Kawéni, etc) ■ Cendres et ponces ■ Cônes et projections scoriacées 	<p>Edifice volcanique du M'Tsapéré</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ $\beta\pi$ basaltes récents (faciès Ankaramite) ■ ϕ Phonolite ■ ω Téphrite (faciès Mugéarite) ■ ω Téphrite phonolitique à néphéline ■ α Trachyandésite du M'Tsapéré ■ $\beta'3$ Basalte à pyroxène $\beta'3$ ■ $\beta3$ Basalte mésocrate à olivine, pyroxène et amphibole du M'Tsapéré ($\beta3$) ■ $\beta2$ Basalte à phénocristaux de pyroxène du M'Tsapéré ($\beta2$) 	<p>Edifice volcanique du Maévadoani</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ $\beta7$ Trachybasalte du Maévadoani ■ $\beta6$ Basalte mésocrate à olivine, pyroxène et amphibole du Maévadoani ($\beta6$) ■ Substratum altéré (probablement commun à l'édifice volcanique du M'Tsapéré et du Maévadoani) 	<ol style="list-style-type: none"> ① Mise en place de la phonolite par intrusion dans les unités volcaniques sous-jacentes. Ces intrusions favorisent l'altération des formations par hydrothermalisation ② Les formations de fond de vallée sont très altérées (le substratum en particulier mais aussi les unités de $\beta2$ à l'affleurement, altération météorique) ③ Altération du fond de vallée par hydrothermalisation ④ les formations de pyroclastites sont mélangées à des scories
---	---	--	---	---

Coordonnées en Comb 50
Août 2008

Annexe 2

Résultats des analyses réalisées sur les eaux brutes de septembre 2008 à juillet 2009 sur les forages exploités de la dépression de Kawéni (F1, F2 et 3 10’’)

Origine	Forage Kawéni F1							
Date du prélèvement	22/01/2009	12/02/2009	24/03/2009	22/04/2009	14/05/2009	19/06/2009	28/07/2009	04/08/2009
index en sortie	49 283	56 873	68 449	77 482	86 120	100 519	113 663	
Code	KAME220109F1	KAME120209F1	KAME240309F1	KAME220409F1	KAME140509F1	KAME190609F1	KAME280709F1	Analyse DDASS

Paramètres organoleptiques

Odeur	Aucune							
Couleur	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Température (°C)								27.3
Turbidité en NTU	0.38	0.25	0.23	0.24	0.16	0.26	0.17	< 0.25

Paramètres physico-chimiques

pH	7.5	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.4	7.35
Conductivité en µS/cm	491	483	427	427	447	450	450	462
TAC en °f	21.2	20.0	37.2	15.6	19.6	17.3	16.8	17.7
THCa en °f	7.9	7.0	6.3	6.3	6.5	6.5	5.8	
THtotal en °f	12.0	11.5	11.1	11.1	11.4	11.1	11.0	
Calcium en mg/l	31.6	28.0	25.2	25.2	26.0	26.0	23.2	25.0
Magnésium en mg/l	10.0	11.0	11.8	11.8	12.0	11.3	12.7	13.0
Chlorures en mg/l			56.8			40		34.3
Fluorures en mg/l								0.37
Sulfates en mg/l								5.5
MeS en g/l	0.000	0.000		0.000		0.000		

Substances indésirables

Ammonium en mg/l	0.13	0.11	0.10	0.12	0.09	0.116	0.06	<0,05
Nitrites (mg/l de NO2-)								<0,025
Nitrates (mg/l de NO3-)								5.2
Orthophosphates (mg/l PO4)								0.99
Aluminium en mg/l								0
Fer en mg/l	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,07	0,08	0,02
Manganèse en mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,08	< 0,01	< 0,01	
Cuivre en mg/l	< 0,02		0,26		0,2		0,21	
COT (mg/l de C)								< 0,30

Analyse Bactériologique:

Escherichia Coli (Col/100ml)								<15
Entérocoques (Col/100ml)								<15

Origine	Forage Kawéni F2	Forage Kawéni F2	Forage Kawéni F2	Forage Kawéni F2
Date du prélèvement	28/10/2008	26/11/2008	19/06/2009	28/07/2009
Code	KAWE281008F2	KAWE261108F2	KAWE190609F2	KAWE280709F2

Paramètres organoleptiques

Odeur	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
Couleur	< 15	< 15	<15	< 15
Turbidité en NFU	0.34	0.32	0.53	0.22

Paramètres physico-chimiques

pH	7.4	7.1	7.51	7.43
Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	445	492	450.00	453
TAC en °f	17.8	20.4	18.60	18.0
THCa en °f	7.8	7.9	6.30	5.5
THtotal en °f	12.2	14.3	11.30	11.3
Calcium en mg/l	31.2	31.6	25.30	22.0
Magnésium en mg/l	10.8	15.7	12.24	14.2
Chlorures en mg/l			40.00	
MeS en g/l	0.000	0.001	0.00	

Substances indésirables

Ammonium en mg/l	0.13	0.09	0.129	0.09
Fer en mg/l	0.01	0.01	<0,02	0.06
Manganèse en mg/l		< 0,05	<0,01	< 0,01
Zinc en mg/l		< 0,02		< 0,02
Cuivre en mg/l		< 0,02		0.25

Origine	Kawéni_Amont						
Date du prélèvement	22/01/2009	12/02/2009	24/03/2009	22/04/2009	14/05/2009	19/06/2009	28/07/2009
index en sortie	694 778	700 062	716 349	726 846	732 618	743 436	759 417
Code	KAWE220109Am	KAWE120209Am	KAWE240309AM	KAWE220409AM	KAWE140509AM	KAWE190609Am	KAWE280709Am

Paramètres organoleptiques

Odeur	Aucune						
Couleur	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Turbidité en NFU	0.86	0.25	0.33	0.25	0.51	0.27	0.09

Paramètres physico-chimiques

pH	7.30	7.5	7.5	7.6	7.5	7.6	7.6
Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	486	484	422	418	443	425	442
TAC en °f	23.2	20.8	19.6	17.2	22	18.3	18.4
THCa en °f	11.5	7.6	6.7	6.2	7.0	6.4	6.0
THtotal en °f	12.6	12.4	12.1	11.9	12.6	12.2	12.0
Calcium en mg/l	46.0	30.4	26.8	24.8	28.0	25.4	24.0
Magnésium en mg/l	2.7	11.8	13.2	14.0	13.7	14.3	14.7
Chlorures en mg/l			42.6	42.6		43	
MeS en g/l		0.000		0.000		0.000	

Substances indésirables

Ammonium en mg/l	0.10	0.12	0.08	0.10	0.13	0.09	0.10
Fer en mg/l	< 0.02	0.13	< 0.02	< 0.02	< 0.002	0.07	0.13
Manganèse en mg/l	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.03	< 0.01	0.01	0.01
Cuivre en mg/l	< 0.02		0.08		0.22		0.20

Annexe 3

Coupes techniques et lithologiques des forages de Kawéni F1 (12307X0013), Kawéni F2 (12307X0014) et Kawéni 3 (12307X0021)

Département : C. T. DE MAYOTTE

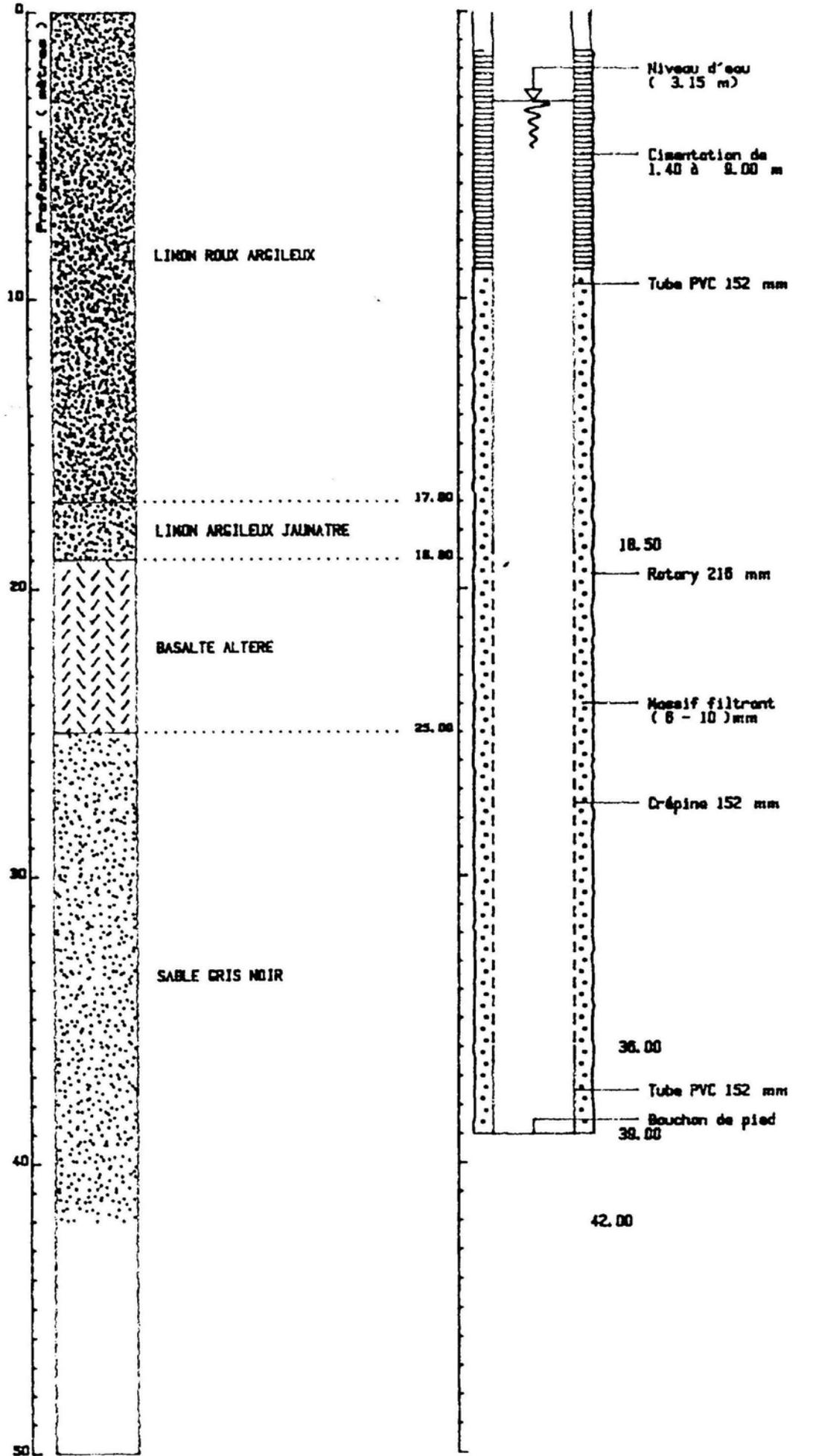
N° classement : 1230-7X-0013

Commune : MAMOUDZOU

Désignation : F1

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE (S) D'EXECUTION

Début : 24/02/91

Fin : 02/03/91

LOCALISATION

Z sol : 13.00 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 3.15 m

Rep/sol : 0.00 m

Z rep. : 13.00 m

Cote : 9.85 m piézo

POMPAGE D'ESSAI

Durée : 1.0 h

Débit : 13.7 m³/h

Rabat. : 2.68 m

PARAMETRE (S)
HYDRODYNAMIQUE (S)

T : 2.6 10⁻³ m²/s

S : 1.0 10⁻⁵

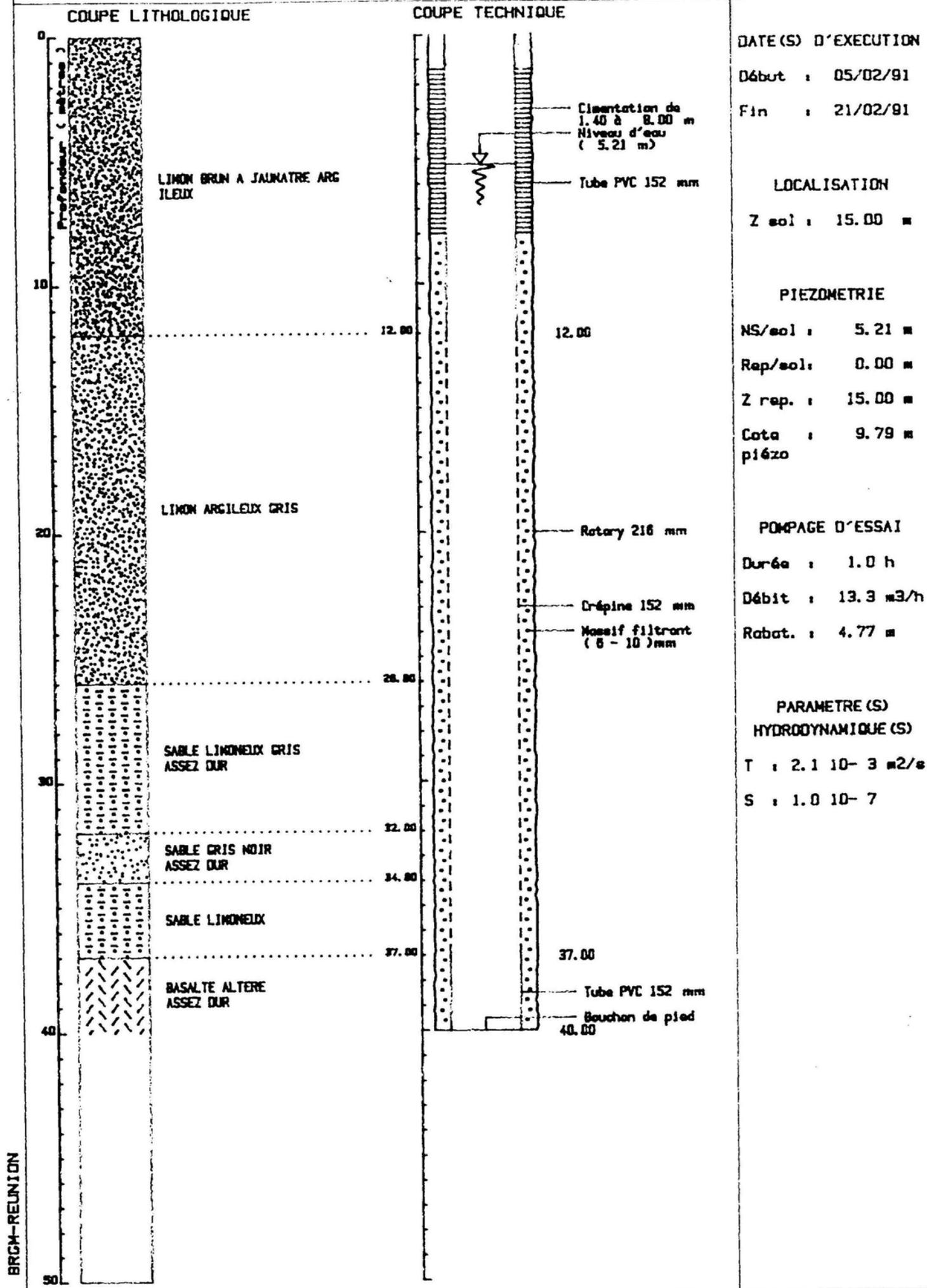
ENTRÉE TELETYPE

Département : C. T. DE MAYOTTE

N° classement : 1230-7X-0014

Commune : MAMOUDZOU

Désignation : F2



Département : C. T. DE MAYOTTE

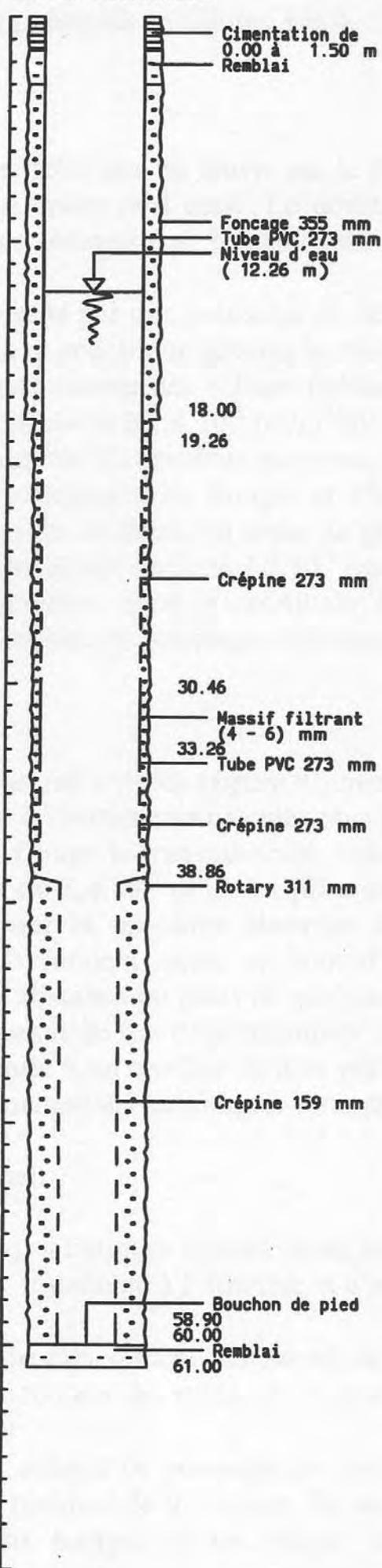
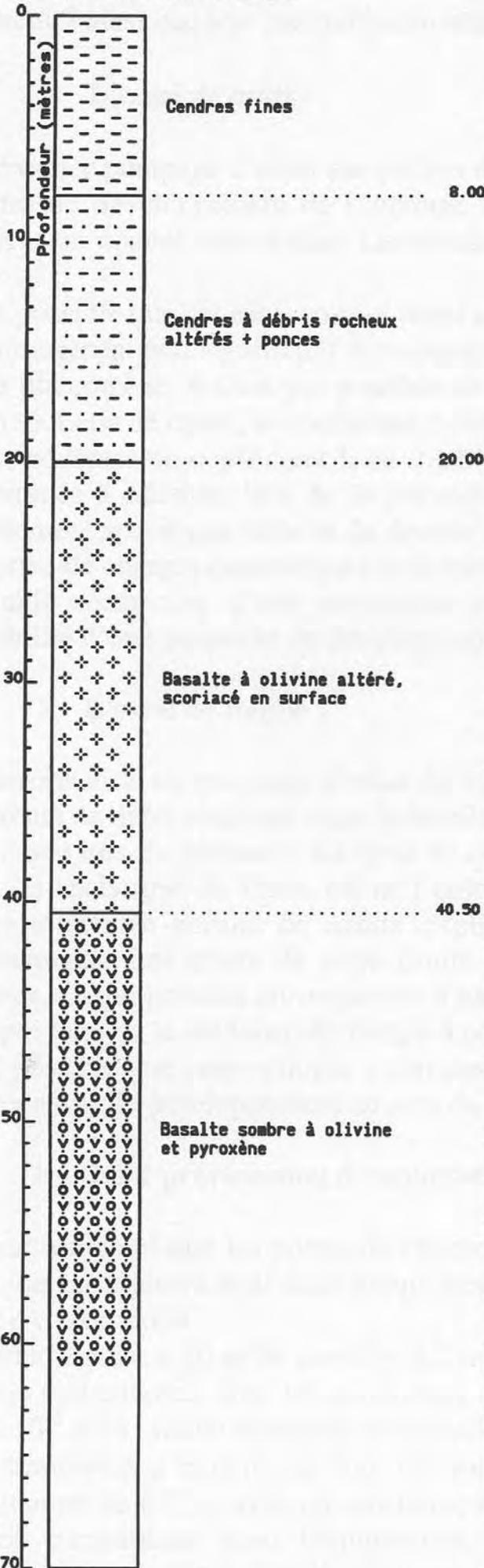
Commune : MAMOUDZOU

N° classement : 1230-7X-0021

Désignation : Kaoué3

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 10/01/00

Fin : 25/01/00

LOCALISATION

X : 523.604 km

Y : 8589.212 km

Z sol : 21.00 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 12.26 m

Rep/sol : 0.00 m

Z rep. : 21.00 m

Cote : 8.74 m piézo

POMPAGE D'ESSAI

Date : 22/01/00

Durée : 6.0 h

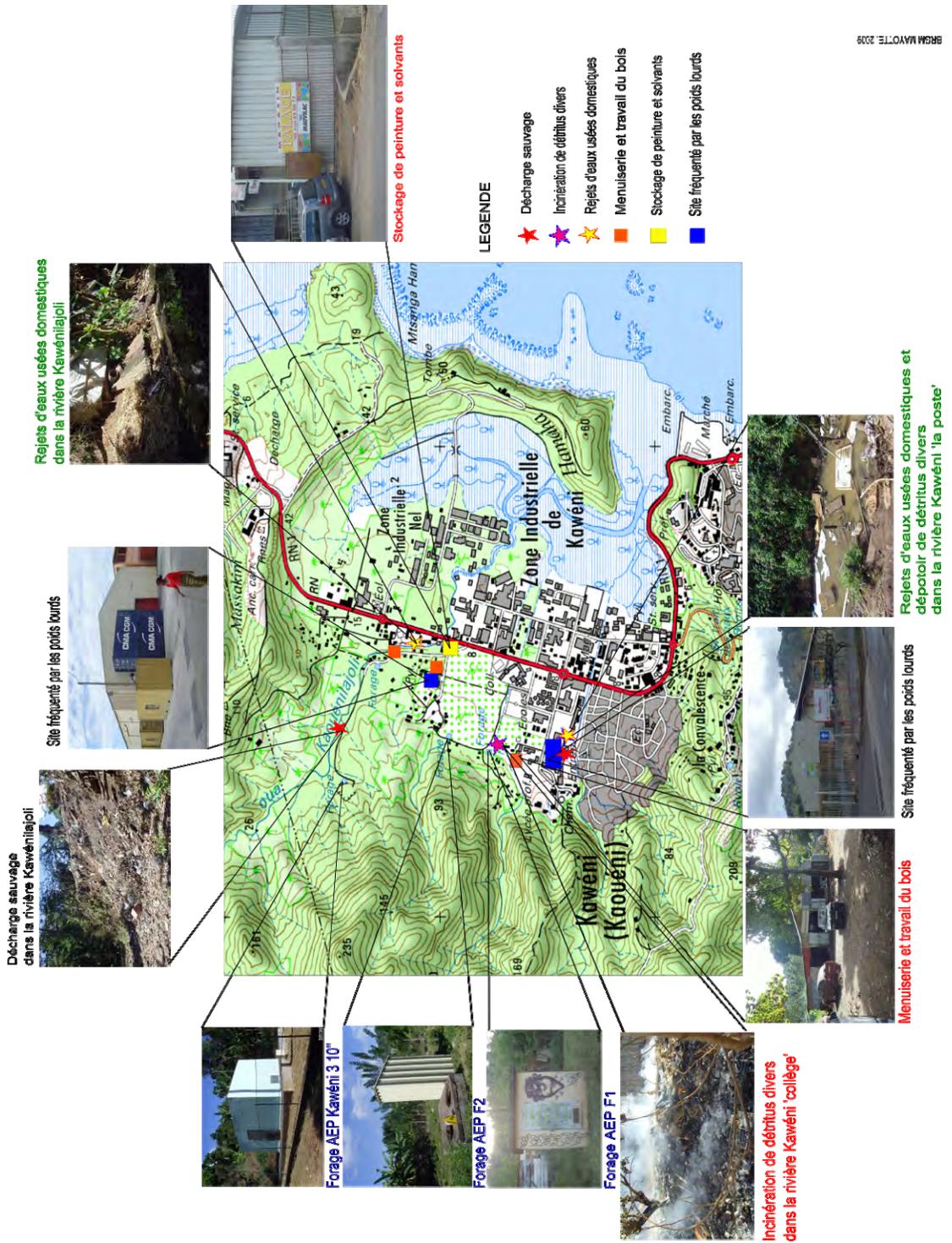
Débit : 45.0 m³/h

Rabat. : 6.94 m

BRGM

Annexe 4

Localisation des activités anthropiques potentiellement polluantes dans la dépression volcano-sédimentaire de Kawéni (© BRGM, 2009) : inventaire réalisé dans le cadre de l'année 4 de l'étude de l'aquifère de Kawéni



Annexe 5

Activités potentiellement polluantes identifiées dans la dépression de Kawéni dans le cadre de l'inventaire réalisé à l'échelle de Mayotte (cf. Frissant et al. 2004)

nouveau n° fiche	Id	Commune	Adresse	Localisation	Nom de l'entreprise	Type d'industrie	Code naf	Groupe	Encore en activité	Propriétaire	Date de première activité	latitude	longitude	Remarques et commentaires
28	5149	Mamoudzou	Touroudzou 1	Etraie Passadani et Touroudzou 1		industries extractives	CB14	3				-12.806	45.2091	Carrière (ancienne carrière à front de taille très instable, réaménagée avec la technique du pseudo)
29	6407	Mamoudzou		Sortie nord de Mamoudzou, avant CORA - RN1		industries extractives	CB14	3	oui	SIM 7		-12.7583	45.2241	Carrière de Hamaha de terre à briques - site d'emport
30	6408	Mamoudzou		En face de CORA et de la carrière de Hamaha - RN1	STAR	Décharges et dépôts divers	O90.0	1	oui	Commune de Mamoudzou		-12.759	45.2312	Décharge de Hamaha - gestion prévue depuis 5 ans, avant sauvetage ? - incendies criminels connus
31	6423	Mamoudzou	Louis de la Musacé	Impasse de Kawéni	AMC	Travail du bois	DD20.1a	3	oui		1995.01.01	-12.7682	45.2267	Menuiserie
32	6411	Mamoudzou	n°41, ZI NEL		Mayotte fournitures	Fabrication ou stockage de peintures, vernis ou solvants	D624.3	1	oui		2092.01.01	-12.7683	45.2266	Commerce (vente de peintures, résines, ...)
33	6412	Mamoudzou	Zone NEL		le Tot Vegetal	Fabrication de briques (cuites et non cuites)	D26.4	3	oui			-12.7672	45.229	Fabrication de briques en terre compressée (BTC)
34	6413	Mamoudzou	Zone NEL		Savonnerie de Mayotte	Fabrication de savons, détergents et produits d'entretien	D624.5	1	oui		1988.01.01	-12.7681	45.2302	A partir de produits d'importation
35	6414	Mamoudzou	Zone NEL		Bibi-services	Travail du bois	DD20.1a	3	oui			-12.7683	45.2287	Menuiserie
36	6415	Mamoudzou	Zone NEL		Serrisamp	Travail du bois	DD20.1a	3	oui			-12.7686	45.2289	Menuiserie
37	6416	Mamoudzou	Nord Kawéni	A côté de PIM	Laungas	Fabrication ou stockage de peintures, vernis ou solvants	D624.3	1	non			-12.7636	45.2248	Bâtiment servait aujourd'hui d'habitations
38	6417	Mamoudzou	Nord Kawéni		Roussau Charpente	Travail du bois	DD20.1a	3	oui		2001.01.01	-12.7634	45.225	Menuiserie
39	6418	Mamoudzou	Parc DE de Kawéni		DE	Dépot de liquides inflammables	Z3	1	oui	Direction de l'Équipement		-12.7673	45.2248	Parc véhicules de l'équipement (essence, gasoil, huile de vidange)
40	6419	Mamoudzou	BP 87 Kawéni		SOMVA (concessionnaire Renault)	Garage automobiles	G60.2	2	oui	Société SOMVA	1992.31.01	-12.767	45.2249	
41	6420	Mamoudzou	Kawéni		COLAS	Dépot de liquides inflammables	Z3	1	oui	COLAS		-12.7667	45.2249	Parc véhicules (essence, gasoil, huile de vidange) - entreprise BTP
42	6421	Mamoudzou	Kawéni	impasse derrière COLAS	Le Tot Vegetal	Travail du bois	DD20.1a	3	oui			-12.769	45.2285	Menuiserie
43	6422	Mamoudzou	Kawéni		SOMAG	Travail du bois	DD20.1a	3	oui			-12.7692	45.2267	Menuiserie
44	6424	Mamoudzou	BP22 Kawéni		SOGEA	Dépot de liquides inflammables	Z3	1	oui			-12.7706	45.2262	Parc véhicules (essence, gasoil, huile de vidange) - entreprise BTP
45	6425	Mamoudzou	BP 169 Kawéni		AUMCM	Travail du bois	DD20.1a	3	oui		1986.01.01	-12.7702	45.2247	Menuiserie
46	6426	Mamoudzou	Kawéni	A côté du centre Anitoulou	Tetrana	Dépot de liquides inflammables	Z3	1	oui		1983.01.01	-12.7712	45.2248	BTP

nouveau n° fiche	Id	Commune	Adresse	Localisation	Nom de l'entreprise	Type d'industrie	Code naf	Groupes	Encore en activité	Propriétaire	Date de première activité	latitude	longitude	Remarques et commentaires
47	6427	Mamoudzou	Kawéni	A côté de Teliana	ZOOM	Dépôt de liquides inflammables	Z3	1	oui			-12.7715	45.2245	Vente d'huile
48	6428	Mamoudzou	Kawéni	A côté de SODEFRAM	Mayotte Plastiques	Fabrication transformation et dépôt de matières plastiques	D85.2	1	oui			-12.7715	45.2265	
49	6429	Mamoudzou	Kawéni	RNI	Toyota	Garage automobiles	G50.2	2	oui			-12.7712	45.2227	
50	6430	Mamoudzou	Kawéni	RNI	Plugind/Citéfin	Garage automobiles	G50.2	2	oui	SINCI		-12.7705	45.2239	Accident = voiture en feu
51	6431	Mamoudzou	Kawéni	RNI après Mayotte Minime		Fabrication de briques (cotes et non cotes)	D26.4	3	non			-12.7688	45.2242	Fabrication de briques en terre compressée (BTC)
52	6432	Mamoudzou	Kawéni		DASS	Dépôt de liquides inflammables	Z3	2	oui	DASS Mayotte	1994-01-01	-12.7736	45.2257	Accident = voiture en feu
53	6433	Mamoudzou	Kawéni		Station de Kawéni	Station Service	G50.5	1	oui	Total Mayotte				
54	6434	Mamoudzou	Kawéni	A côté de la station service	Caseme des pompiers	Dépôt de liquides inflammables	Z3	1	oui	Collectivité Départementale de Mayotte	1987-01-01	-12.7751	45.2238	Atelier mécanique de la caserne des pompiers
55	6435	Mamoudzou	BP 223 Kawéni	A côté de la station service	GMM et SMA	Garage automobiles	Z3	2	oui		1987-01-01	-12.7746	45.2234	Huile de vidange
56	6436	Mamoudzou	BP 600 Kawéni	A côté de la station service	CMDS	Transports urbains et routiers	R80.2	2	oui	CMDS	1995-10-10	-12.7747	45.2241	Gere et atelier mécanique de bus de transport scolaire
57	6437	Mamoudzou	Kawéni	A côté de la station service	Garage Galaxy	Garage automobiles	G50.2	2	oui			-12.7745	45.2242	
58	6438	Mamoudzou	Kawéni		Multi-aido	Garage automobiles	G50.2	2	oui			-12.7748	45.2245	Réparation et location de véhicules
59	6439	Mamoudzou		Dans la ravine en face de la décharge de Hamalia		Décharge et déchets divers	G90.0	1				-12.7576	45.2319	Décharge clandestine de pneus
60	6440	Mamoudzou	Kawéni	Dans Bismoux		Sucreries	D415.8	3	non			-12.7711	45.2189	Ruine d'une ancienne sucrerie
61	6441	Mamoudzou	BP 513 Kawéni		Lauragais	Fabrication ou stockage de peintures, vernis ou solvants	D24.3	1	oui		2001-11-01	-12.7739	45.2247	Peintures et carbonates (= adjuvant béton)
62		Mamoudzou	BP 499 - Z1 Kawéni		Joseph Payet	Fabrication d'ouvrage en béton	D26.6	3	oui	Joseph Payet	2003-01-01	-12.763	45.226	Fabrication de parpaings
63	6410	Mamoudzou	BP 1075 - Z1 Kawéni	En face de l'entree de la Z1 NEL	PIJM	Fabrication d'ouvrage en béton	D26.6	3	oui	M Dolens et Navarro	2002-07-01	-12.7626	45.2283	Pré-fabrication d'éléments en béton



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

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