

Recherche d'eau souterraine à Schoelcher – Fond Lahaye

Rapport final

BRGM/RP-55728-FR
Avril 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 - 2007

B. Vittecoq, A. Brugeron
Avec la collaboration de
P. Lachassagne, B. Dewandel, F. Mathieu

Vérificateur :

Nom : A. Brugeron

Date : 18 mars 2008

Signature :

Approbateur :

Nom : JP. Comte

Date : 26 mars 2008

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 : Martinique, DOM, nappe de Fond Lahaye, eaux souterraines, géophysique, forage, pompage d'essai, micromoulinet, aquifère captif, carte piézométrique, analyse qualité, datation CFC & tritium, géochimie, simulation d'exploitation

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

Vittecoq B., Brugeron A. Lachassagne P, Dewandel B, Mathieu F (2008) – Recherche d'eau souterraine à Schœlcher-Fond Lahaye – Rapport BRGM/RP-55728-FR, 243 pages, 16 annexes.

Synthèse

Dans le but de renforcer le réseau d'alimentation en eau potable de la commune de Schœlcher, soumis régulièrement à des périodes de crises, principalement en période de carême, la CACEM a souhaité poursuivre les investigations menées dans les années 90 sur le secteur de Fond Lahaye. A l'époque, le fort potentiel de ce secteur avait été souligné, avec la possibilité d'implanter plusieurs forages donnant des débits de 50 m³/h chacun.

En 2006, la CACEM a donc chargé le BRGM de mettre en œuvre une méthodologie adaptée afin d'améliorer la connaissance géologique et hydrogéologique de ce secteur et, à terme, d'exploiter au mieux les potentialités de la nappe pour l'AEP. Cette méthodologie a consisté en une campagne de prospection géophysique, la réalisation de forages de reconnaissance et l'évaluation des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère à travers des pompages. Tous les travaux dont le présent rapport rend compte ont été réalisés entre avril 2006 et février 2008.

Les investigations de terrain, couplées avec l'interprétation des coupes géo-électriques établies à la suite d'une campagne de mesures géophysiques effectuée en 2006, ont permis de bien cerner le contexte géologique et hydrogéologique du secteur. La vallée de Fond Lahaye est caractérisée par de nombreuses discontinuités verticales pouvant être assimilées, soit à des failles, soit à des limites de paléovallées. La nappe aquifère est associée à une formation de type coulée de lave (andésites 2α) et semble présenter une **épaisseur supérieure à 20-30 m pour une extension latérale supérieure à 100 m.**

Sur cette base, **deux forages de reconnaissance (1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2)** ont été réalisés pendant les mois de juin et juillet 2007 à des profondeurs respectives de 84 m et 62 m. **Ils ont tous deux montré des résultats positifs** et ont permis de tester l'aquifère (à des degrés divers) à la fois quantitativement et qualitativement.

Dans un premier temps, les **mesures de vitesse à l'avancement** et de **débits au soufflage**, réalisées durant le creusement, couplées à un passage au micromoulinet réalisé plus tard, ont permis de bien caractériser et localiser les venues d'eau au droit de l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1. Dès lors, compte tenu des résultats obtenus, il a été convenu que l'implantation d'un forage AEP à proximité **ne nécessiterait pas un forage supérieur à 60 m**, les venues d'eau ne dépassant pas cette profondeur. **De plus, les crépines devraient être placées entre 25 et 60 m de profondeur.**

Dans un second temps, des pompages d'essai par paliers de débits ont été réalisés sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2 et ont confirmé **les bonnes propriétés hydrodynamiques intrinsèques de l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1** (avec des pertes de charges faibles) au contraire de 1177ZZ0177/PZ2.

Un pompage d'essai longue durée a ensuite été réalisé sur 1177ZZ0176/PZ1 et suivi sur 1177ZZ0177/PZ2. Il a tout d'abord permis d'identifier les régimes d'écoulement vers ces deux ouvrages. Ceux-ci sont **implantés dans une formation à double porosité (laves fissurées avec porosité de matrice)**. De plus, les paramètres hydrodynamiques de cette **nappe captive** ont été estimés, la transmissivité serait de l'ordre de **$5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** . Enfin, vers 1177ZZ0176/PZ1, l'aquifère est surmontée **par une formation (éponte) peu perméable mais capacitive**.

A partir de ces forages de reconnaissance, le forage **1177ZZ0178/FLF2** destiné à l'AEP a été implanté et réalisé **à 2m environ de 1177ZZ0176/PZ1**. Plusieurs tests ont ensuite été réalisés sur l'ouvrage. Un pompage d'essai par paliers de débit a montré des caractéristiques intrinsèques moyennes pour l'ouvrage, principalement dues au caractère juvénile de celui-ci et qui vont s'améliorer en pompant régulièrement. Puis un pompage d'essai longue durée a permis de caractériser le milieu dans lequel se trouve 1177ZZ0178/FLF2 comme étant une **formation à double porosité surmontée d'une éponte peu perméable mais capacitive**. La transmissivité a été estimée à **$6.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** et la nappe serait captive (**$S = 4 \cdot 10^{-3}$**) et sans limite détectée.

Une autre phase du programme consistait à réhabiliter puis évaluer les potentialités de l'ouvrage 1177ZZ0161/FLF1 réalisé dans le secteur en 1988. Dans un premier temps, un débouchage et un nettoyage de l'ouvrage ont été réalisés. S'en sont suivis un pompage d'essai par paliers de débit puis un pompage d'essai longue durée.

Le premier a montré que le nettoyage de l'ouvrage avait été efficace dans la mesure où **les propriétés hydrodynamiques intrinsèques du 1177ZZ0161/FLF1 ont été grandement améliorées par rapport à 1988**. 2 pompages d'essai longue durée ont permis de caractériser au mieux les régimes d'écoulement complexes au droit de l'ouvrage et d'estimer la transmissivité de l'aquifère **captif** à environ **$4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** (même ordre de grandeur que pour les forages de reconnaissance). De plus, **aucune connexion n'a été décelée avec la rivière Fond Lahaye**.

D'un point de vue de l'exploitation du secteur, **le débit recommandé au 1177ZZ0161/FLF1 est de $480 \text{ m}^3/\text{j}$** . A priori, il sera nécessaire de pomper en continu pour éviter de pomper de l'eau chargée durant une vingtaine de minutes à chaque redémarrage de la pompe. Concernant l'ouvrage **1177ZZ0178/FLF2, son débit d'exploitation recommandé est de $600 \text{ m}^3/\text{j}$** ce qui correspondrait dès lors, pour le secteur, à **un total de $1080 \text{ m}^3/\text{j}$** .

Le gradient hydraulique moyen de la nappe est, d'après la carte piézométrique, de 3%. Le débit de la nappe a été estimé, d'après calculs, entre 650 et 1300 m^3/j . En confrontant ces valeurs avec les 1080 m^3/j prélevés, il est donc recommandé que le débit d'exploitation de la nappe **ne dépasse pas $1000 \text{ m}^3/\text{j}$** et qu'un **suivi des forages 1177ZZ0161/FLF1 et 1177ZZ0178/FLF2** pendant quelques années soit assuré pour mieux appréhender le renouvellement des eaux de la nappe.

La vitesse d'écoulement de la nappe a également été estimée. Elle serait comprise **entre 100 et 150 m/an** (temps de séjour correspondant à 6-10 an/km). De plus, **l'infiltration efficace, source d'alimentation de la nappe, serait au maximum de 1800**

m³/j. Enfin, **la largeur de l'aquifère semble supérieure à 500 m**, d'après le calcul du rayon d'action de l'ouvrage 1177ZZ0161/FLF1.

Concernant la qualité de l'eau, celle-ci est **potable selon les normes AEP**, mis à part la présence d'**arsenic** (14 µg/l max mesuré) au 1177ZZ0161/FLF1 qu'il sera possible de diluer avec les eaux du forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2 en amont.

Les datations par les CFC et le Tritium ont montré que cette eau est **d'âge ancien** (< 1960) et que la « Vitesse maximale apparente » d'écoulement au sein de l'aquifère se situe entre **60 et 120 m/an** (confirmant l'estimation de 100 à 150 m/an effectuée d'après la carte piézométrique). Cet âge ancien, confirmé par les études géochimiques (concentration en lithium et bore montrant un **temps de résidence de l'eau élevé**) est généralement le signe d'une bonne qualité de l'eau et d'une faible vulnérabilité aux pollutions récentes (phytosanitaires, nitrates, assainissement récent, etc...).

Sommaire

1. Introduction.....	21
1.1. INVESTIGATIONS MISES EN OEUVRE	21
1.2. HISTORIQUE DES RECHERCHES EN EAU.....	22
3.3 CHRONOLOGIE DES OPERATIONS.....	22
2. Contexte géologique et hydrogéologique	25
2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE	25
2.2. COUPE GEOLOGIQUE DU FORAGE 1177ZZ0161/FLF1.....	26
2.3. PROPRIETES HYDROGEOLOGIQUES DES LAVES	28
2.4. STRUCTURE DES AQUIFERES VOLCANIQUES.....	29
2.4.1. Types de perméabilités	30
2.4.2. Altération des formations géologiques	31
3 Prospections géologiques et géophysiques.....	33
3.1 INVESTIGATIONS GEOLOGIQUES.....	33
3.2 MESURES GEOPHYSIQUE.....	36
3.2.1 Objectifs de la campagne géophysique	36
3.2.2 Définition de la zone d'investigation	36
3.2.3 Implantation des profils géophysiques	37
3.2.4 Traitement des mesures.....	38
3.2.5 Etalonnage des profils.....	38

3.2.6 Informations structurales	39
3.2.7 Identification de l'horizon aquifère	41
3.2.8 Implantation de forages de reconnaissance	42
3.3 FORAGES.....	45
3.3.1 Forage de reconnaissance 1177ZZ0176/PZ1	45
3.3.2 Forage de reconnaissance 1177ZZ0177/PZ2	52
3.3.3 Forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2.....	55
4 Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.....	61
4.1 FORAGE DE RECONNAISSANCE 1177ZZ0177/PZ2	61
4.1.1 Pompages par paliers de débits	61
4.1.2 Conclusion	62
4.2 FORAGE DE RECONNAISSANCE 1177ZZ0176/PZ1	63
4.2.1 Pompages par paliers de débits	63
4.2.2 Pompage d'essai de longue durée	64
4.3 FORAGE 1177ZZ0161/FLF1	71
4.3.1 Réinterprétation du pompage d'essai réalisé en 1988	71
4.3.2 Micromoulinet	74
4.3.3 Pompage d'essai par paliers de débit.....	76
4.3.4 Pompage d'essai de longue durée sur le forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé du 26/07/2007 au 28/08/2007	80
4.3.5 Pompage d'essai longue durée sur le forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé du 12/12/2007 au 18/01/2008.....	85
4.4 FORAGE 1177ZZ0178/FLF2	87
4.4.1 Pompage d'essai par paliers de débit.....	87

4.4.2	Pompage d'essai de longue durée.....	88
4.5	SYNTHESE DES DONNEES ISSUES DES POMPAGES D'ESSAI	96
5	Gestion de la ressource	99
5.1	EVALUATION DES DEBITS EXPLOITABLES AU FORAGE 1177ZZ0161/FLF199	
5.1.1	Méthodologie.....	99
5.1.2	Débit d'exploitation extrapolé à partir du pompage d'essai réalisé du 06 au 10/07/2008	101
5.1.3	Débit d'exploitation extrapolé à partir du pompage d'essai de décembre 2007 – janvier 2008.....	103
5.2	EVALUATION DES DEBITS EXPLOITABLES AU FORAGE 1177ZZ0178/FLF2104	
5.3	CARACTERISTIQUES DE LA NAPPE.....	106
5.3.1	Carte piézométrique en régime permanent.....	106
5.3.2	Estimation du débit de nappe.....	108
5.3.3	Calcul de la vitesse effective d'écoulement.....	109
5.3.4	Estimation du rayon d'action du forage 1177ZZ0161/FLF1	110
5.3.5	Estimation de l'infiltration efficace en fonction de l'aire de l'aquifère ...	112
5.4	QUALITE DES EAUX ET HYDROGEOCHIMIE	114
5.4.1	Présentation des données.....	114
5.4.2	Approche hydrogéochimique.....	116
5.4.3	Origine des faibles concentrations en fer et manganèse	117
5.4.4	Datation des eaux par les CFC et le tritium.....	120
5.4.5	Conclusion	120
6	Conclusion	121
7	Bibliographie.....	123

Liste des illustrations

Illustration 1 : Extrait de la carte géologique au 1/50000 ^{ème} (BRGM, 1989)	25
Illustration 2 : Coupe lithologique du forage 1177ZZ0161/FLF1	27
Illustration 3 : Coupe d'une coulée de lave.....	28
Illustration 4 : Schéma type d'une coulée andésitique, d'après Westercamp, 1972.....	29
Illustration 5 : Andésite présentant des figures de fissuration (photo de gauche) et de prismation (photo de droite).....	30
Illustration 6 : Andésites altérées au niveau des travaux de terrassement du nouveau lotissement réalisés 350 m au Sud du 1177ZZ0161/FLF1.....	31
Illustration 7: Carte géologique améliorée grâce aux investigations sur le terrain.....	35
Illustration 8 : Localisation des profils géophysiques réalisés	37
Illustration 9 : Caractéristiques des profils réalisés	38
Illustration 10 : Localisation des cibles de forages de reconnaissances proposés.....	44
Illustration 11: Localisation des ouvrages 1177ZZ0176/PZ1, 1177ZZ0177/PZ2 et 1177ZZ0178/FLF2.....	45
Illustration 12 : Coupe lithologique du forage 1177ZZ0176/PZ1.....	46
Illustration 13:Débits au soufflage, vitesses et temps à l'avancement en fonction de la profondeur, durant le creusement de 1177ZZ0176/PZ1	47
Illustration 14:Débits interprétés et localisation des venues d'eau pour le forage 1177ZZ0176/PZ1, à l'issue du passage au micromoulinet	49
Illustration 15 :Comparaison des mesures enregistrées par le micromoulinet avec le débit à l'avancement durant le creusement de 1177ZZ0176/PZ1	51
Illustration 16 : Coupe lithologique du forage 1177ZZ0177/PZ2.....	53
Illustration 17 : Débits au soufflage, vitesses et temps à l'avancement en fonction de la profondeur, durant le creusement de 1177ZZ0177/PZ2	54
Illustration 18: Coupe lithologique du forage 1177ZZ0178 / 1177ZZ0178/FLF2.....	56
Illustration 19: Débits au soufflage, vitesse et temps à l'avancement en fonction de la profondeur, durant le creusement de l'ouvrage 1177ZZ0178/FLF2.....	57
Illustration 20: Comparaison des débits à l'avancement avec les débits interprétés et localisation des venues d'eau pour le forage 1177ZZ0178/FLF2, à l'issue du passage au micromoulinet	60
Illustration 21 : Caractéristiques des essais par paliers de débits	61
Illustration 22 : Pompage par paliers de débits, évolution des rabattements en fonction du temps au 1177ZZ0177/PZ2 (paliers à 3.3, 6, 9 et 12 m ³ /h)	62
Illustration 23 : Synthèse des résultats des pompages d'essai par paliers de débit pour 1177ZZ0176/PZ1 & 1177ZZ0177/PZ2	62
Illustration 24 : Caractéristiques des essais par paliers de débits	63
Illustration 25 : Pompage par paliers de débits, évolution des rabattements en fonction du temps au 1177ZZ0176/PZ1 (paliers à 5, 10, 14.5 et 17.5 m ³ /h)	63

Illustration 26 : Synthèse des résultats des pompages d'essai par paliers de débit pour 1177ZZ0176/PZ1	64
Illustration 27 : Calculs hydrauliques pour le 1177ZZ0176/PZ1	64
Illustration 28 : Identifications des régimes de l'écoulement ; dérivées à la descente et à la remontée.	65
Illustration 29 : Récapitulatif des paramètres de simulation au puits de pompage 1177ZZ0176/PZ1 ; diamètre de l'ouvrage 115 mm.	67
Illustration 30 : Rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0176/PZ1 au cours du pompage d'essai longue durée.....	67
Illustration 31 : Rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0176/PZ1 et leurs dérivées correspondantes, issus du pompage d'essai longue durée.....	68
Illustration 32 : Rabattement et dérivées collectés sur 1177ZZ0177/PZ2 (dérivées à la descente et à la remontée).	69
Illustration 33 : Rabattements observés et simulés sur 1177ZZ0177/PZ2, en échelle arithmétique et log-log.....	70
Illustration 34 : Paramètres hydrodynamiques de la nappe aquifère estimés au moyen du logiciel WTFM	71
Illustration 35 : Données brutes des rabattements et débits mesurés en fonction du temps, $s=f(t)$, $Q=f(t)$	72
Illustration 36 : Dérivées de rabattements en phase de pompage (croix : valeurs non filtrées, ronds bleu ciel : valeurs filtrées) et en phase de récupération (losanges bleu, remontée des s, valeurs non filtrées).....	72
Illustration 37 : Passage au micromoulinet au forage 1177ZZ0161/FLF1 (les flèches bleues correspondent aux zones productives)	75
Illustration 38 : Pompage d'essai par paliers de débits au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé en juillet 2007	76
Illustration 39 : Caractéristiques des pompages d'essai par paliers de débit au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisés en juillet 2007.....	77
Illustration 40 : Interprétation de l'essai par paliers de débit, forage 1177ZZ0161/FLF1	77
Illustration 41 : Pompage d'essai par paliers de débits au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé en janvier 2008	79
Illustration 42: Caractéristiques des pompages d'essai par paliers de débit au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisés en janvier 2008	79
Illustration 43 : Interprétation de l'essai par paliers de débit, forage 1177ZZ0161/FLF1	80
Illustration 44: Pompages longues durées réalisés au forage 1177ZZ0161/FLF1 et suivis sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2	81
Illustration 45 : Diagnostic de l'essai, identification des régimes d'écoulement. Représentation Log-Log des rabattements spécifiques en fonction du temps de superposition (calculés en fonction des débits et de leur durée).....	82
Illustration 46 : Représentation semi-log des rabattements mesurés et simulés et du débit du pompage réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1 du 06 au 19/08/2007.....	84

Illustration 47 : Représentation Log-Log des rabattements mesurés et simulés et de leurs dérivées, engendrés par le pompage réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1 du 06 au 19/08/2007	84
Illustration 48 : Pompage longue durée réalisé au forage 1177ZZ0161/FLF1 en décembre 2007-janvier 2008 et suivi sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2	85
Illustration 49 : Représentation semi-log des rabattements mesurés et simulés et du débit du pompage réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1 du 12/12/2007 au 18/01/2008	86
Illustration 50: Caractéristiques des pompages d'essai par paliers de débit au forage 1177ZZ0178/FLF2	87
Illustration 51: Pompage par paliers de débits, évolution des rabattements en fonction du temps au 1177ZZ0178/FLF2 (paliers à 9.4, 20.7, 38.7 et 30 m ³ /h)	87
Illustration 52 : Interprétation de l'essai par paliers de débit, forage 1177ZZ0178/FLF2	88
Illustration 53 : Pompage longue durée réalisé au forage 1177ZZ0178/FLF2 et suivi sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2	89
Illustration 54 : Courbe schématique présentant le niveau de la nappe en régime non influencé (permanent) et en régime influencé par le pompage sur 1177ZZ0178/FLF2	90
Illustration 55 : Représentations orthonormée et semi-log des rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0178/FLF2 et du débit lors du pompage réalisé sur le 1177ZZ0178/FLF2 en février 2008	91
Illustration 56 : Tableau récapitulatif des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (à l'issue du pompage sur 1177ZZ0178/FLF2)	92
Illustration 57 : Représentations orthonormée et semi-log des rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0176/PZ1 et du débit lors du pompage réalisé sur le 1177ZZ0178/FLF2 en février 2008	93
Illustration 58 : Comparaison des rabattement et dérivées collectés sur 1177ZZ0177/PZ2 (dérivées à la descente et à la remontée) lors des pompages d'essai réalisés sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0178/FLF2	94
Illustration 59 : Rabattements observés et simulés sur 1177ZZ0177/PZ2, en échelle arithmétique et log-log (pompage réalisé sur 1177ZZ0178/FLF2)	95
Illustration 60 : Paramètres hydrodynamiques de la nappe aquifère estimés au moyen du logiciel WTFM	95
Illustration 61 : Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques de la nappe de Fond Lahaye évalués d'après les pompages d'essai	97
Illustration 62 : Résultat synthétique des simulations selon diverses hypothèses concernant la géométrie de l'aquifère (H1, H2 ou H3) et divers scénario d'exploitation (A, B ou C)	102
Illustration 63 : Courbes de simulation de pompages sur 1177ZZ0178/FLF2 aux débits respectifs de 25, 28, 29 et 30 m ³ /h	105
Illustration 64: Esquisse de carte piézométrique pour la nappe de Fond Lahaye	106
Illustration 65: Schéma conceptuel rappelant le principe du calcul du gradient hydraulique entre 2 piézomètres	107
Illustration 66: Estimation des débits de la nappe de Fond Lahaye en fonction des différents paramètres	108

Illustration 67: Vitesse effective d'écoulement de la nappe de Fond Lahaye en fonction de la porosité efficace du milieu.....	109
Illustration 68 : Coupe longitudinale présentant le schéma structural global en profondeur et localisant les venues d'eau pour chaque ouvrage	111
Illustration 69: Infiltration efficace approchée au niveau de la vallée de Fond Lahaye	112
Illustration 70: Délimitation des superficies de l'aquifère de la vallée de Fond Lahaye.....	113
Illustration 71: Tableau récapitulatif des paramètres physico-chimiques mesurés sur les forages 1177ZZ0161/FLF1, 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2.....	114
Illustration 72: Tableau récapitulatif des concentrations en éléments minéraux mesurées sur le forage 1177ZZ0161/FLF1 et les piézomètres 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2 (<LQ = inférieur aux limites de quantification)	115
Illustration 73 : Diagrammes comparant les résultats des analyses effectuées avec la droite de dilution théorique de l'eau de mer.....	117
Illustration 74 : Diagrammes de comparaison des teneurs en Fe/Mn pour les forages 1177ZZ0161/FLF1, 1177ZZ0176/PZ1, 1177ZZ0177/PZ2 et le forage CNF2 situé à Case Navire	119
Illustration 75 : Schéma de la procédure d'acquisition d'un panneau électrique dipôle-dipôle et de présentation sur une pseudo-coupe : les points sont les lieux de représentation des mesures.....	137
Illustration 76 : Repère d'implantation des profils géophysiques.....	142
Illustration 77 : Scénario A- Simulation sur une année complète	199
Illustration 78 : Scénario B- Simulation sur une année complète	200
Illustration 79 : Scénario C- Simulation sur 3 mois	201
Illustration 80: Comparaison des volumes extraits (la deuxième figure ne présente que les prélèvements durant les trois mois de Carême).	202

Liste des photos

Photo 1 : Falaise d'andésite 2 α , photo prise vers l'Est, du bord de la route, entre le futur lotissement et le gué, au sud du profil 2	127
Photo 2: Figures de flux des andésites 2 α	127
Photo 3 : Alluvions de la rivière Fond Lahaye (au niveau du V de rivière sur la carte IGN).....	128
Photo 4 : Affleurement de la coulée de débris 6B, approximativement au niveau de la courbe de niveau 100 m au sein de la ravine de Terreville	129
Photo 5: Affleurement d'andésite altérée du nouveau lotissement	130
Photo 6 : Détails des andésites montrant une altération bordeaux	131
Photo 7 : Côté Nord de l'affleurement du nouveau lotissement	131
Photo 8 : Affleurement de 6B sur le littoral en rive droite de la vallée de Fond Lahaye (photo de gauche); Affleurement d'andésite en rive gauche (photo de droite).....	132
Photo 9 :Pyroxène (loupe binoculaire, grossissement x20).....	157

Photo 10 :Pyroxène (loupe binoculaire, grossissement x20)	157
Photo 11 : Plagioclases (loupe binoculaire, grossissement x20)	158
Photo 12 : Minéral indéterminé, plagioclase altéré ? (loupe binoculaire, grossissement x20).....	158
Photo 13 : Plagioclases (loupe binoculaire, grossissement x20)	159
Photo 14 : Agrégat blanc à jaunâtre, plagioclases altérés ou hyperstène ? (loupe binoculaire, grossissement x20)	159
Photo 15 : Amphiboles très altérées (loupe binoculaire, grossissement x20).....	159
Photo 16 : Minéraux opaques à aspect métallique (loupe binoculaire, grossissement x20).....	159
Photo 17 : Scories (loupe binoculaire, grossissement x20)	160
Photo 18 : Surface oxydée (loupe binoculaire, grossissement x20)	160
Photo 19 : Dépôt de soufre natif (loupe binoculaire, grossissement x20).....	160
Photo 20 : Dépôts blanc à jaunâtres en surface, soufre ? (loupe binoculaire, grossissement x20).....	161
Photo 21 : Couche d'oxydation (loupe binoculaire, grossissement x20).....	161
Photo 22 : Soufre natif (loupe binoculaire, grossissement x20).....	161
Photo 23 : Mésostase très altérée (loupe binoculaire, grossissement x20).....	161
Photo 24 : Dacite avec amphiboles abondantes (loupe binoculaire, grossissement x20).....	162
Photo 25 : Andésite avec plagioclases abondants (loupe binoculaire, grossissement x20).....	162
Photo 26 : Mésostase oxydée avec amphiboles et plagioclase ?.....	162

Liste des annexes

Annexe 1 Investigations géologiques sur le site	125
Annexe 2 Méthode des panneaux électriques	133
Annexe 3 Coupes géophysiques réalisées	139
Annexe 4 Compte rendu du chantier du forage de reconnaissance 1177ZZ0176/PZ1	151
Annexe 5 Observations macro- et microscopiques des échantillons prélevés lors du forage de 1177ZZ0176/PZ1	155
Annexe 6 Données brutes des vitesses à l'avancement et débits de soufflage lors du 1 ^{er} creusement de 1177ZZ0176/PZ1.....	165
Annexe 7 Compte rendu du chantier du forage de reconnaissance 1177ZZ0177/PZ2.....	169
Annexe 8 Observations macro- et microscopiques des échantillons prélevés lors du forage de 1177ZZ0177/PZ2	173
Annexe 9 Données brutes des vitesses à l'avancement et débits de soufflage lors du creusement de 1177ZZ0177/PZ2.....	177

Annexe 10	Compte rendu du chantier du forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2.....	181
Annexe 11	Données brutes des vitesses à l'avancement et débits de soufflage lors du creusement de 1177ZZ0178/FLF2	185
Annexe 12	Données brutes du pompage d'essai longue durée de 1988 réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1	189
Annexe 13	Compte rendu du débouchage du forage 1177ZZ0161/FLF1 (1 ^{er} et 2 juin 2007)	193
Annexe 14	Représentation graphique des scénarios A, B & C au forage 1177ZZ0161/FLF1	197
Annexe 15	Représentation graphique des différents scénarios au forage 1177ZZ0161/FLF1	203

1. Introduction

Entre 1987 et 1992, le secteur de Fond Lahaye de la commune de Schœlcher a fait l'objet d'investigations hydrogéologiques. Ces études et travaux avaient été réalisés à la demande de la municipalité par le BRGM. Le fort potentiel de ce secteur avait alors été souligné (40 à 50 m³/h sur le forage réalisé à l'époque et un potentiel d'au moins 115 m³/h).

En 2006, la CACEM a souhaité poursuivre les investigations sur ce secteur avec le BRGM, afin de renforcer à terme les ressources en eau potable du réseau de Schœlcher.

Pour se faire, la CACEM a demandé au BRGM d'établir une méthodologie permettant une amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique de ce secteur, l'objectif final étant de définir de nouvelles zones de captage dans lesquelles pourront être réalisés des forages d'exploitation. Deux forages de reconnaissances ont été implantés et réalisés afin de caractériser au mieux ces futures zones de captage et de pouvoir dimensionner les futurs forages d'exploitations.

1.1. INVESTIGATIONS MISES EN OEUVRE

Le présent rapport synthétise les données et les interprétations géologiques et hydrogéologiques acquises après une recherche documentaire sur les aquifères volcaniques et une synthèse des études réalisées sur le secteur de Fond Lahaye et sur des secteurs similaires en Martinique. Il présente également les investigations de terrain menées afin de lever une carte géologique au 1/5000^{ème}.

A la suite de ces investigations, une campagne de prospection géophysique par panneaux électriques a été implantée et réalisée afin de préciser la structure des différentes formations géologiques en profondeur. L'interprétation des coupes géophysiques, couplée avec les données acquises au préalable, permettra de proposer plusieurs sites pour la réalisation de forages de reconnaissance.

1.2. HISTORIQUE DES RECHERCHES EN EAU

La vallée de Fond Lahaye a fait l'objet de :

- Une campagne de prospection géophysique (5 sondages électriques réalisés en décembre 1987 par le BRGM) qui a permis d'implanter :
- Un forage de reconnaissance (1177ZZ0161/FLF1) de 51 m de profondeur (équipé sur 46 m seulement à la suite d'un éboulement). Il rencontre entre 23 et 25 m de profondeur environ une zone identifiée à l'époque comme fracturée siège d'une importante venue d'eau. Cette zone semble constituer l'unique niveau à forte perméabilité du forage. Il a été équipé en piézomètre pour le suivi des variations naturelles du niveau de la nappe en 1988.
- Le périmètre de protection du forage 1177ZZ0161/FLF1 a été défini en décembre 1988 par l'hydrogéologue agréé.

L'ensemble de ces données est disponible dans les rapports BRGM R34434 ANT 4S 92, et BRGM 88 MTQ 227.

3.3 CHRONOLOGIE DES OPERATIONS

Toutes les opérations relatées dans ce rapport ont été effectuées entre avril 2006 et février 2008.

La première étape a consisté en une série de prospections géologiques de terrain, effectuées en avril et mai 2006. Ces investigations ont permis de définir les tracés de panneaux géophysiques qui ont été réalisés du 5 au 24 juin 2006.

Dès lors, une partie de l'étude a consisté en un diagnostic et une caractérisation du potentiel du forage 1177ZZ0161/FLF1. Une autre partie fut plus axée sur la prospection et aboutit à la réalisation des forages de reconnaissance 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2 puis du forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2.

Concernant le forage 1177ZZ0161/FLF1, la chronologie des opérations a été la suivante:

- ✓ Passage caméra : début 2006
- ✓ Débouchage à l'air lift : 01 et 02/06/2007
- ✓ Pompages d'essai par paliers : le 20/07/2007
- ✓ Pompages d'essai longue durée : du 26/07 au 28/08/2007
- ✓ Micromoulinet : le 29/09/2007

Concernant la partie « prospection », la chronologie des opérations a été la suivante :

- ✓ Creusement et équipement du forage de reconnaissance 1177ZZ0176/PZ1 et réalisation de sa coupe lithologique : du 02 au 13/06/2007
- ✓ Creusement et équipement du forage de reconnaissance 1177ZZ0177/PZ2 et réalisation de sa coupe lithologique : du 05 au 08/06/2007
- ✓ Pompages d'essai par paliers sur 1177ZZ0177/PZ2 : le 14/07/2007
- ✓ 1^{er} passage au micromoulinet sur 1177ZZ0176/PZ1 : le 18/07/2007
- ✓ Pompages d'essai par paliers sur 1177ZZ0176/PZ1 : le 18/07/2007
- ✓ Pompage d'essai longue durée sur 1177ZZ0176/PZ1 : du 20 au 23/07/2007
- ✓ 2nd passage au micromoulinet sur 1177ZZ0176/PZ1 : le 29/09/2007

Le nouveau forage d'exploitation « 1177ZZ0178/FLF2 » a été réalisé du 15/01/2008 jusqu'au 30/01/2008. Plusieurs tests ont ensuite été effectués sur cet ouvrage :

- ✓ Pompages d'essai par paliers : le 01/02/2008
- ✓ Pompage d'essai longue durée et suivi de la remontée : du 04 au 11/02/2008
- ✓ Passage au micromoulinet : le 11/02/2008
- ✓ Passage caméra : le 06/03/2008

2. Contexte géologique et hydrogéologique

2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La vallée de Fond Lahaye est établie au sein des andésites du Morne Jacob (2 α), recouvertes en fond de vallée d'un complexe formé par des alluvions torrentielles récentes de la rivière et des éboulis issus des falaises d'andésites bordant la vallée.

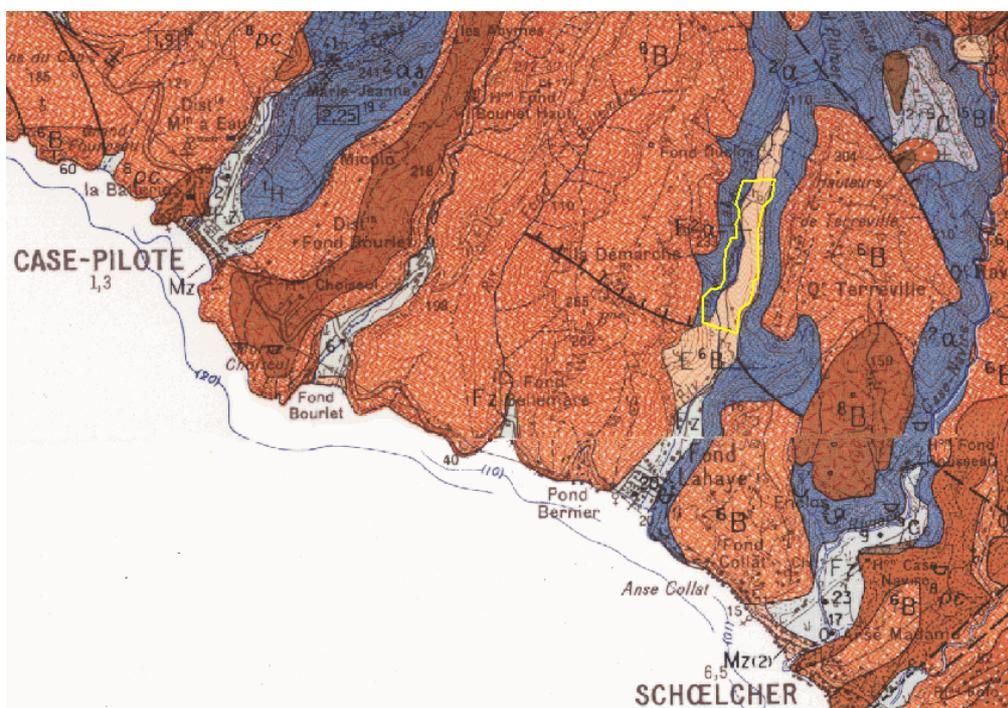


Illustration 1 : Extrait de la carte géologique au 1/50000^{ème} (BRGM, 1989)

Ces formations 2 α sont des **coulées massives d'andésite** porphyrique plus ou moins sombre à hypersthène et augite. Les principaux reliefs situés à l'est des pitons du Carbet montrent des coulées massives d'épaisseur pluridécamétrique sur au moins 100 ou 200 m d'épaisseur. On peut ainsi noter que ces formations, issues d'une importante phase d'activité effusive, sont généralement présentes sur une grande épaisseur.

En dessous de ces andésites se trouve une formation correspondant aux premières manifestations (activité sous-marine) de la mise en place de l'édifice du Morne Jacob : les **hyaloclastites 1H**. Ces hyaloclastites sont généralement remaniées sous forme de microconglomérats lités riches en blocs. Cette formation sert de **substratum** à toute la moitié occidentale du centre de l'île.

D'autre part, on trouve, au dessus des andésites 2 α , **les coulées de débris et de lahars** ⁶**B**₂. Ces formations sont omniprésentes le long de la route côtière nord-caraïbes entre Schœlcher et Bellefontaine et constituent une large part du flanc occidental du massif des carbeta. Ce sont des brèches non litées constituées de blocs plus ou moins arrondis, parfois plurimétriques, d'andésite (sombre et claire selon son origine) emballés dans une matrice cendro-argileuse abondante.

2.2. COUPE GEOLOGIQUE DU FORAGE 1177ZZ0161/FLF1

Un forage de reconnaissance (1177ZZ0161/FLF1) de 51 m de profondeur (équipé sur 46 m seulement à la suite d'un éboulement, diamètre 220 mm) a été réalisé en avril-mai 1988, au marteau fond de trou. Il a été équipé de la façon suivante : cimentation et tubage PVC plein 160 mm de 0 à 26 m, remblai de 24 à 26 m, puis crépine de 26 à 44 m (PVC 160 mm), avec massif filtrant 5-10 mm.

Ce forage a rencontré de 0 à 14 m des alluvions et éboulis à blocs d'andésite puis, de 14 à 46 m des blocs d'andésite dans une matrice brune altérée. Cette description ressemble fortement aux formations observées au niveau du lotissement.

Une « zone fracturée avec d'importantes venues d'eau » a été rencontrée entre 23 et 25m.

Cette zone fracturée semble à moitié masquée par la cimentation, et les crépines commencent un mètre sous cette zone siège d'importantes venues d'eau (contraintes liées aux tubages disponibles à l'époque ?). Des circulations via l'annulaire doivent néanmoins assurer la productivité du forage.

La foration a été effectuée au Marteau Fond de Trou, ce qui laisse supposer que la venue d'eau mise en évidence constitue la principale et unique zone de forte perméabilité recoupée par le forage.

L'illustration 2 ci-dessous représente la coupe lithologique du forage 1177ZZ0161/FLF1.

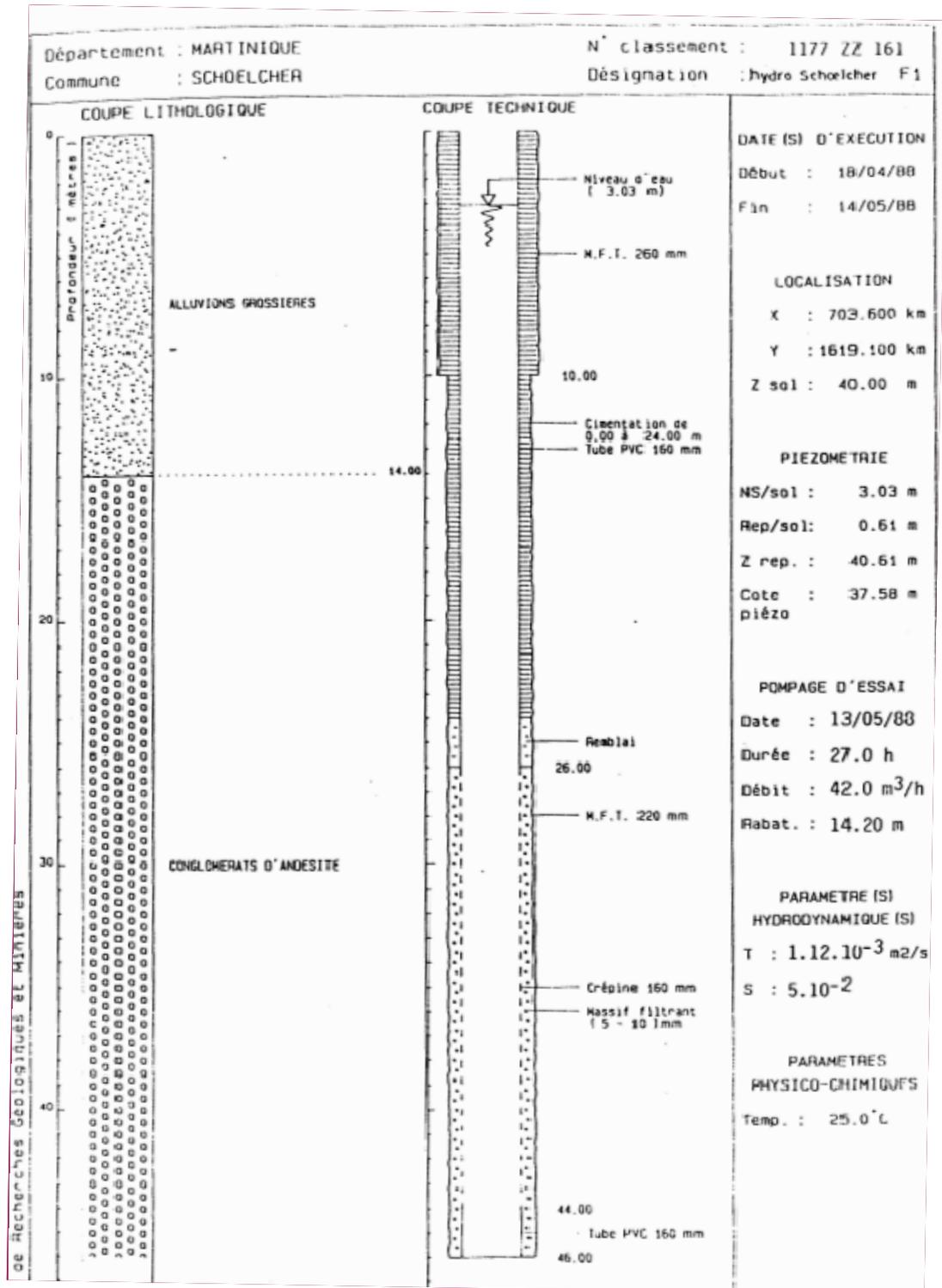


Illustration 2 : Coupe lithologique du forage 1177ZZ0161/FLF1

2.3. PROPRIETES HYDROGEOLOGIQUES DES LAVES

L'andésite est une formation volcanique de type lave qui présente, en règle générale, une très faible perméabilité matricielle. La perméabilité de ces laves est plutôt conditionnée essentiellement par leur mise en place, leur fissuration, leur fracturation et également par leur degré d'altération.

Au sein d'une même coulée, les laves peuvent donc présenter des fortes variabilités de leurs propriétés hydrogéologiques. Ces variabilités s'expliquent essentiellement par la structure interne des coulées qui est liée à leur mode de mise en place. Une coulée de lave se structure de la manière indiquée sur l'illustration 3 ci-dessous.

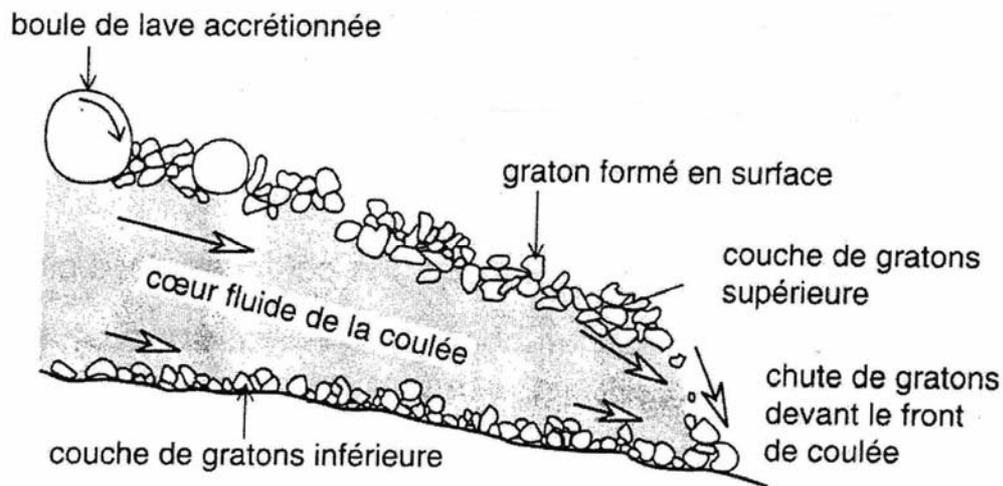


Illustration 3 : Coupe d'une coulée de lave

On distingue trois parties au sein d'une coulée :

- une surface scoriacée montrant soit des gratons, soit un niveau scoriacé ;
- un cœur de coulée plus massif souvent diaclasé (fissures de refroidissement) ;
- une brèche de base de coulée présentant des éléments scoriacés, en gratons, et reprenant fréquemment des blocs de la coulée sous-jacente.

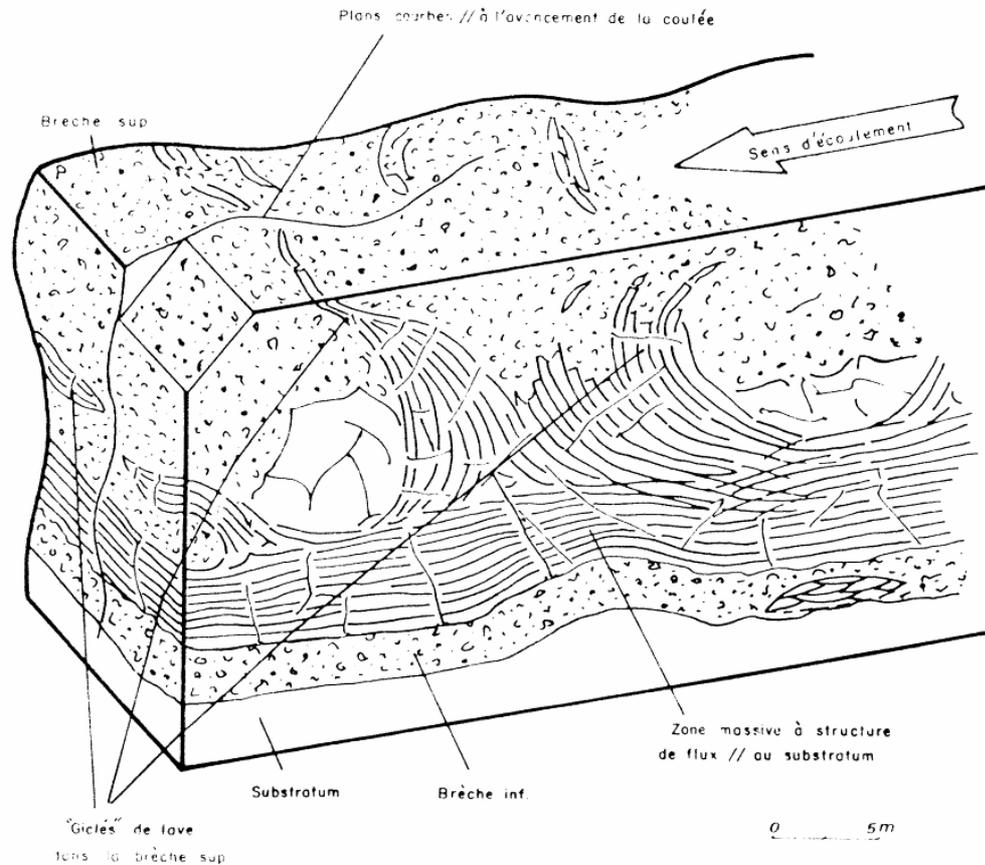


Illustration 4 : Schéma type d'une coulée andésitique, d'après Westercamp, 1972

2.4. STRUCTURE DES AQUIFERES VOLCANIQUES

Les formations volcaniques présentent une structure géologique fréquemment complexe, liée à des hétérogénéités à toutes les échelles.

A l'échelle cartographique, la dynamique active de mise en place de ces formations (le plus souvent en contexte aérien, avec des phases de création de relief et les forts processus d'érosion associés, la constitution de paléovallées emboîtées, de structures d'effondrement, etc.) concourt à une forte variabilité spatiale (latérale et verticale) des formations géologiques volcaniques, quelles soient volcaniques au sens strict, remaniées ou sédimentaires (conglomérats, alluvions, etc.). Des formations perméables et imperméables peuvent ainsi coexister à cette échelle.

Cette variabilité lithologique se retrouve à l'échelle d'une formation donnée, compte tenu de la faible épaisseur unitaire des unités volcaniques homogènes. A titre d'exemple, la mise en place de laves au sein d'une paléovallée est très fréquemment polyphasée. Les différentes coulées peuvent ainsi être séparées par des paléosols, isolant (de manière variable selon les contextes) à différents niveaux de perméabilités.

Au sein d'une même paléovallée, les laves sont fréquemment associées à des formations alluviales ou de démantèlement. A titre d'exemple, les lahars, composés d'une importante matrice argileuse, sont, en général, très peu perméables,

Au sein d'un même ensemble lithologique considéré globalement comme perméable coexistent des niveaux très perméables et d'autres quasi imperméables. Ainsi, au sein de coulées basaltiques, les faciès en gratons, scoriacés et fissurés donnent de très forts débits instantanés tandis que les parties massives sont « sèches » ; ces niveaux ou formations peu perméables, ainsi que les pendages originels parfois forts des coulées, peuvent générer une structure en « tuiles ».

Par ailleurs, la présence, au sein de hyaloclastites considérées globalement comme peu perméables, de petites coulées de lave, peut augmenter significativement la productivité globale de ces formations. La présence d'intrusions (dykes en particulier) peut contribuer à un compartimentage des aquifères.

2.4.1. Types de perméabilités

L'écoulement de la lave est à l'origine de figures de flux qui se traduisent fréquemment par une **fissuration** de la roche avec un débit en plaquettes, souvent parallèles au substratum. Le refroidissement de la lave génère lui aussi une fissuration en forme de prisme (**prismation** avec des fissures en général perpendiculaires à la surface de refroidissement, cf. Illustration 5).

Des **fracturations** d'origine tectonique peuvent également être présentes, augmentant ainsi la perméabilité de la roche.



Illustration 5 : Andésite présentant des figures de fissuration (photo de gauche) et de prismation (photo de droite)

2.4.2. Altération des formations géologiques

Les processus d'altération sont principalement de deux types, et se traduisent par une argilisation partielle ou totale de ses minéraux constitutifs qui diminue, en partie ou complètement, sa perméabilité:

- altération météorique d'une part, dont l'action est importante, tout particulièrement sous les climats (actuels ou anciens) de type tropical humide, compte tenu de la mise en place de ces formations majoritairement en contexte aérien et de manière polyphasée,
- altération hydrothermale d'autre part, exacerbant ces hétérogénéités.

Ainsi, des formations qui, saines, apparaissent comme très perméables (faciès perméables de coulées, scories, etc.) peuvent s'avérer très peu perméables lorsqu'elles sont altérées.

On rappelle qu'à ces hétérogénéités dépendant de la lithologie des formations volcaniques, est fréquemment associée une variabilité de leurs propriétés hydrodynamiques liée à leur fracturation.



Illustration 6 : Andésites altérées au niveau des travaux de terrassement du nouveau lotissement réalisés 350 m au Sud du 1177ZZ0161/FLF1

3 Prospections géologiques et géophysiques

3.1 INVESTIGATIONS GEOLOGIQUES

Des investigations ont été menées sur le terrain afin de préciser et d'affiner les observations issues de la carte géologique. Un récapitulatif de ces observations se trouve en Annexe 1.

La vallée de Fond Lahaye est bordée à l'Est et à l'Ouest par des falaises d'andésites 2 α massives et présentant des figures de flux caractéristiques des coulées de laves (ces falaises sont également observables au niveau de la ravine au-dessus de chez Albert). Ces falaises sont la résultante soit d'une même coulée, d'épaisseur pluri-décamétrique (environ 40m), entaillée par l'érosion, soit de deux coulées distinctes de chaque côté de la vallée.

La remontée de la rivière Fond Lahaye, entre la station d'épuration et les dernières maisons (au dessus de la cote 77m), a permis d'identifier clairement les alluvions torrentielles déposées par cette rivière, et de les dissocier des éboulis. Ces formations (alluvions et/ou éboulis) présentent une épaisseur importante puisque leur substratum n'a été observé nulle part dans le lit vif du cours d'eau.

De plus, des affleurements de conglomérats constitués de blocs d'andésites polygéniques, rattachés à la formation des conglomérats 6B, ont été observés de part et d'autre de la ravine venant de Terreville.

Les travaux de terrassement réalisés pour le futur lotissement se trouvant à environ 50 m NGM en rive gauche de la rivière Fond Lahaye ont permis de mettre à jour un affleurement de grande taille. D'un point de vue stratigraphique, cet affleurement est situé en-dessous des falaises. Les observations de terrain révèlent plusieurs structures avec, de haut en bas :

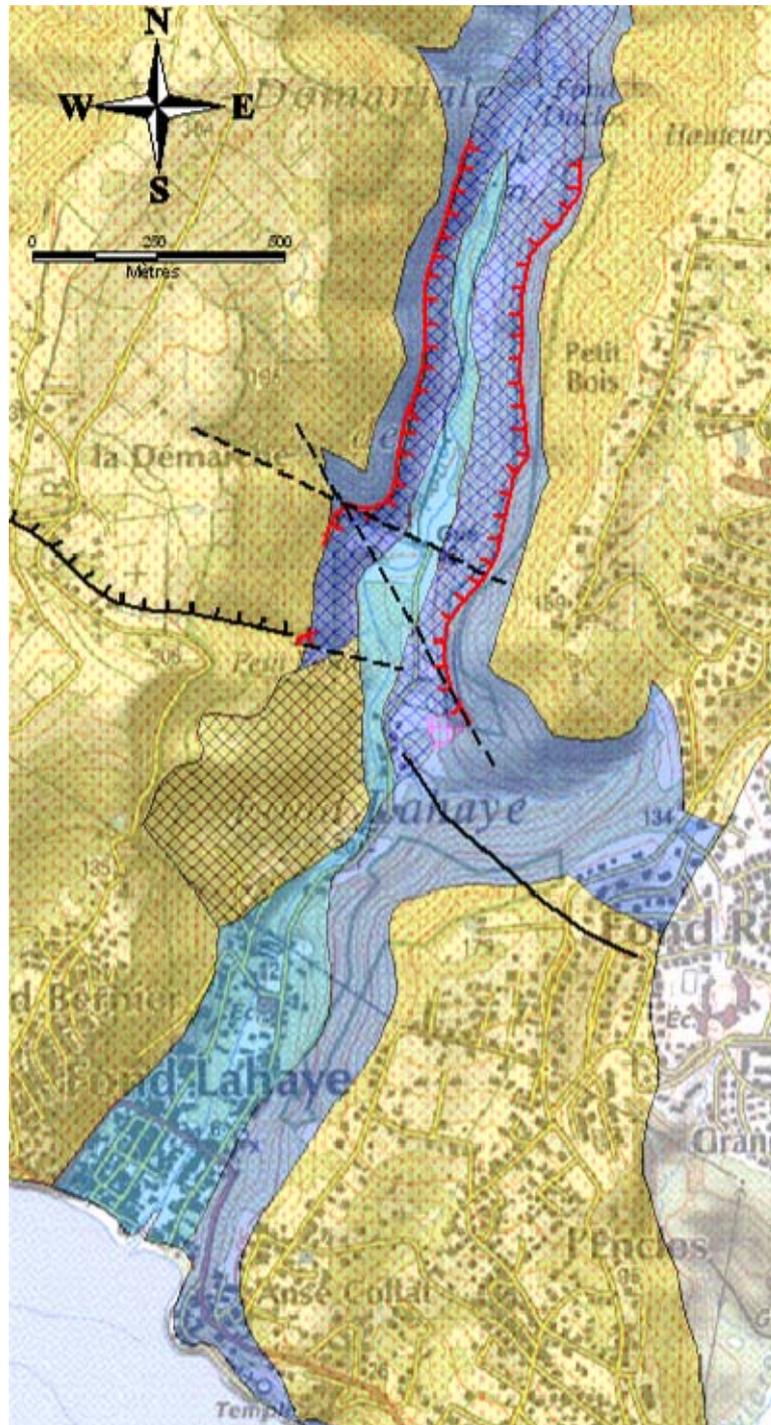
- ✓ des éboulis
- ✓ une 1^{ère} formation d'andésite bordeaux comparable à celle retrouvée sur la plage de Fond Lahaye (andésites 2 α ?).
- ✓ un ensemble assimilable à un paléosol ou à une surface d'altération de son substratum, présentant des signes laissant penser à un ravinement avant la mise en place des andésites sus-jacentes.
- ✓ une 2^{nde} formation de blocs d'andésite sombre, semblant monogénique, qui pourrait correspondre à une fraction bréchifiée des coulées d'andésite 2 α .
- ✓ une 3^{ème} formation monogénique similaire (andésites) qui présente toutefois un degré d'altération encore plus poussé (blocs broyés, fractures, forte proportion de matrice argileuse).

En rive droite de la plage de Fond Lahaye, les coulées de débris (conglomérat 6B) sont visibles à l'affleurement. En rive gauche, on peut de nouveau observer les andésites 2 α , présentant une altération de surface de couleur bordeaux (similaire à celle de l'affleurement du nouveau lotissement).

Enfin, en bordure de la route nationale en aval, on retrouve des andésites à débit en plaquettes saines (petite carrière) ressemblant à celles observées sur les flancs de la vallée. Malgré cette similitude, il est cependant difficile de dire s'il s'agit de la même coulée depuis le haut de la vallée jusqu'à la mer qui surmonterait un substratum plus altéré/bréchifié ou alors s'il s'agit de plusieurs coulées successives présentant une lithologie très semblable.

Grâce à ces investigations sur le terrain, une carte géologique plus précise a ainsi pu être élaborée (Cf. Illustration 7).

Les mesures géophysiques présentées dans le chapitre suivant permettront d'améliorer la compréhension de la structure des andésites 2 α , et plus particulièrement la localisation de l'aquifère.



Légende :

- | | | | |
|--|--|--|--|
|  Faillles observées |  Alluvions Fz |  Ebouils 2alpha |  Andésite 2alpha |
|  Faillles normales avec compartiment effondré côté barbelures |  Ebouils 6B |  Brèches 6B |  Affleurement andésite 2alpha altérée |
|  Faillles supposées | | | |
|  Falaises | | | |

Illustration 7: Carte géologique améliorée grâce aux investigations sur le terrain

3.2 MESURES GEOPHYSIQUE

3.2.1 Objectifs de la campagne géophysique

Suite aux investigations géologiques et hydrogéologiques de surface, une campagne géophysique par panneaux électriques a été réalisée.

Les objectifs de l'étude géophysique comprenaient plusieurs volets :

- Améliorer les connaissances en profondeur sur la géologie des terrains
- Caractériser les extensions des formations en présence et plus particulièrement des andésites qui constituent l'aquifère cible recoupé par le forage 1177ZZ0161/FLF1
- Localiser les discontinuités pouvant correspondre à des failles, des zones fracturées, des bordures de paléovallées...

Plusieurs profils géophysiques ont donc été réalisés afin de répondre à ces objectifs. Chaque profil a été réalisé à l'aide de 96 électrodes avec un espacement inter-électrode de 5 m pour assurer la meilleure résolution possible des anomalies superficielles et un espacement maximal suffisant pour pouvoir atteindre la profondeur de 80 m. Sur chacun de ces profils, deux dispositifs électriques ont été mis en œuvre : soit le dipôle-dipôle et le Wenner-Schlumberger, soit le dipôle-dipôle et le gradient généralisé (cf. Annexes 2 et 3).

3.2.2 Définition de la zone d'investigation

Les investigations de terrain, ont montré que la vallée est « limitée » à l'Est et à l'Ouest par deux falaises d'orientation NNE-SSW, sur chacun des versants, en rives droite et gauche de la rivière Fond Lahaye.

Ces deux falaises correspondent approximativement aux limites des forêts domaniales et correspondront ainsi aux limites Est et Ouest de la zone d'étude (D'autre part, d'un point de vue pratique, les profils géophysiques ne peuvent se prolonger au-delà de falaise de plus de quelques mètres de hauteur).

La limite Sud de la zone d'étude correspond aux dernières habitations de Fond Lahaye, et permet ainsi de s'affranchir d'éventuels problèmes de pollution des eaux. Il n'y a ainsi que quelques maisons éparses sur la zone prospectée. Il est à noter que, outre les divers problèmes éventuels liés aux accès et autorisations des propriétaires, la réalisation de panneaux électriques est perturbée par les divers réseaux conducteurs enterrés (câbles électriques, tuyaux en fonte, canalisations métalliques...). Le fait de s'éloigner le plus possible des zones urbanisées permet de s'affranchir de ces problèmes créant des artefacts indésirables sur les panneaux électriques.

La limite Nord correspond à la fin de la route communale (D'un point de vue pratique, les engins de forages ne pourront pas accéder plus haut que cette limite, et les profils géophysiques ne pourront pas être réalisés sans un débroussaillage conséquent et la réalisation au préalable d'un chemin d'accès).

3.2.3 Implantation des profils géophysiques

Les implantations des profils géophysiques et leurs caractéristiques sont présentées dans les illustrations ci-dessous.

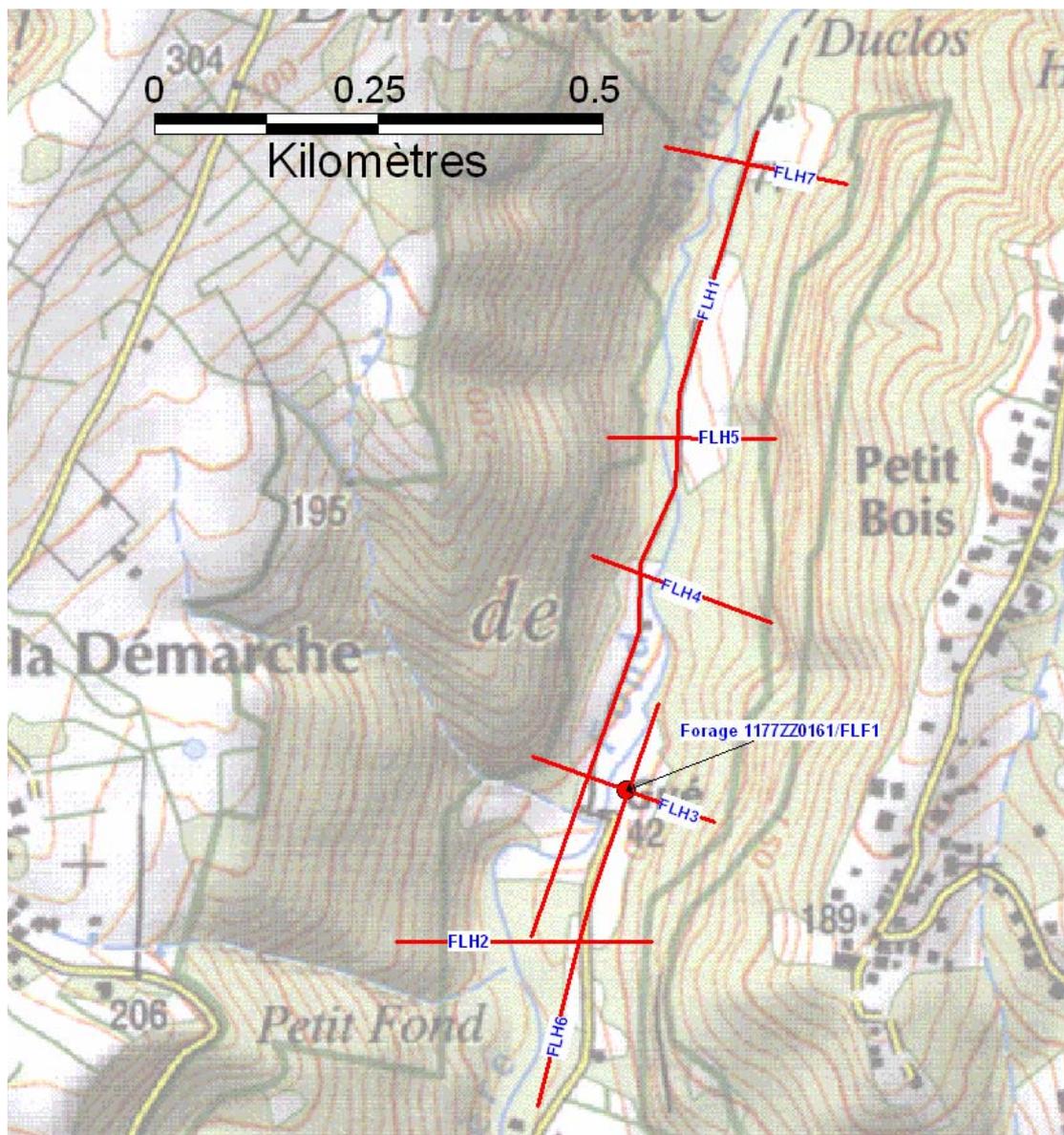


Illustration 8 : Localisation des profils géophysiques réalisés

Zone d'étude	Profil	Longueur (m)	Dispositif dipôle-dipôle			Dispositif gradient généralisé			Dispositif Wenner-Schlumberger		
			spacing (a)	rang (n)	nombre de mesures	spacing (a)	rang (n)	nombre de mesures	spacing (a)	rang (n)	nombre de mesures
Fond Lahaye	FLH1	955	5,10,20m	4,7,5	3780	5,10	20,32	24855			
	FLH2	345	5,10,20m	5,8,6	999				5,10,20m	5,8,6	803
	FLH3	235	5,10,20m	5,7,5	553				5,10,20m	6,8,7	476
	FLH4	235	5,10,20m	5,7,5	553				5,10,20m	6,8,7	476
	FLH5	225	5,10,20m	5,7,5	519				5,10,20m	6,8,7	440
	FLH6	475	5,10,20m	4,7,5	1260	5,10	20,32	8285			
	FLH7	235	5,10,20m	5,7,5	553				5,10,20m	6,8,7	476
Total	7	2705			8217			33140			2671

Illustration 9 : Caractéristiques des profils réalisés

3.2.4 Traitement des mesures

Le compte rendu de la campagne de prospection géophysique ainsi que les principes généraux de la méthode sont présentés en Annexe 2.

Sur chacun des profils, l'acquisition a été réalisée successivement selon deux configurations différentes : soit dipôle-dipôle et Wenner Schlumberger, soit dipôle-dipôle et gradient généralisé. Le dispositif dipôle-dipôle favorise la mise en évidence et la visualisation des structures à dominante verticale, tandis que les dispositifs Wenner Schlumberger et gradient généralisé favorisent les structures à dominante horizontale.

Les inversions ont été réalisées, d'une part en inversant séparément les données acquises au moyen de ces trois types de dispositifs et d'autre part en inversant les données concaténées dans le cas d'une acquisition avec les dispositifs dipôle-dipôle et Wenner Schlumberger. Dans le cas d'une acquisition dipôle-dipôle et gradient généralisé, la concaténation n'a pas été effectuée car le fichier résultant était trop volumineux.

L'analyse des résultats a montré que dans un contexte géologique aussi perturbé que celui de Fond Lahaye (présence de nombreuses discontinuités, recouvrements très hétérogènes constitués d'alluvions grossières et d'éboulis), l'interprétation géoélectrique émanant des dispositifs dipôle-dipôle était la plus cohérente.

3.2.5 Etalonnage des profils

Les panneaux électriques FLH3 et FLH6, dont l'intersection se situe approximativement à l'aplomb du forage 1177ZZ0161/FLF1, servent d'étalons pour l'interprétation de cette campagne géophysique. Les corrélations entre les résultats de ces deux panneaux et les informations fournies par le forage sont les suivantes :

- Les formations de surface recouvrant l'aquifère andésitique seraient composées d'alluvions et d'éboulis (d'après la coupe de forage). Les panneaux électriques FLH3 et FLH6 ont permis d'individualiser, au sein de ce recouvrement, deux horizons géoélectriques :

- ❖ En surface, une formation résistante (40 à 100 ohm.m) sur les premiers mètres assimilable soit à un mélange d'alluvions grossières et d'éboulis, soit à la tranche superficielle non saturée du niveau décrit ci-dessous.
 - ❖ En dessous, un niveau conducteur (< 20 ohm.m), sur une dizaine de mètres d'épaisseur, qui pourrait correspondre à des alluvions fines et à des produits d'altération (fraction argileuse importante) de la formation andésitique sous-jacente.
- On observe, sous ces alluvions/éboulis, un niveau plus résistant, très probablement une coulée d'andésite plus ou moins altérée (il est possible qu'il s'agisse de celles observées à l'affleurement du futur lotissement). La résistivité de cet horizon serait comprise entre 30 et 100 ohm.m. D'après la coupe du forage 1179ZZ0161, cet horizon serait aquifère et les venues d'eau se situeraient au toit de cette coulée andésitique (iso-contour de résistivité 30 ohm.m).

Sur le panneau FLH6, la résistivité de cette coulée andésitique apparaît plus faible (22.5 à 35 ohm.m). Ceci peut s'expliquer par le fait que ce profil est situé pratiquement à l'aplomb de la discontinuité F2 (faille ou bordure de paléovallée) qui met en contact une structure résistante à l'ouest (coulée andésitique) et une structure conductrice à l'est (origine indéterminée). La baisse de résistivité serait due à l'influence latérale de cette structure conductrice.

- En dessous, les coupes géoélectriques FLH3 et FLH6 entre autres, mettent en évidence la présence d'une formation beaucoup plus conductrice (< 20 ohm.m) en dessous de cette coulée andésitique. Le forage 1177ZZ0161/FLF1, qui a atteint une profondeur de 46 m, n'aurait pas recoupé le mur de la coulée andésitique qui constitue l'aquifère, et n'aurait donc pas atteint ce substratum. Ce niveau plus conducteur pourrait correspondre à la fraction superficielle, argileuse et altérée d'une coulée antérieure à la coulée « aquifère » qui nous intéresse.

3.2.6 Informations structurales

Les cinq panneaux électriques, effectués perpendiculairement à l'axe de la vallée et présentés en annexe 3, mettent en évidence trois discontinuités géoélectriques F1, F2 et F3. Ces discontinuités sont sub-parallèles entre elles ainsi qu'à l'axe de la vallée. Elles ont une direction NNE-SSW et délimitent deux compartiments dont la largeur est relativement faible (50 à 60 m). Les discontinuités F1 et F2 sont situées dans le fond de la vallée alors que F3 se positionne sur le flanc Est de la vallée.

Deux hypothèses peuvent être émises quant à l'origine de ces discontinuités : il s'agirait de failles (hypothèse 1) ou de bordures de paléovallées (hypothèse 2).

Plusieurs arguments confirment l'hypothèse 1 :

- la linéarité de leur tracé,

- le décrochement dextre des discontinuités F1, F2 et F3 provoqué par la faille F9,
- la présence des falaises F4 et F11 qui n'ont pas été mises en évidence par la géophysique mais qui sont parfaitement visibles sur le terrain et qui pourraient être assimilées à des plans de failles. Les discontinuités F1, F2 et F3 feraient partie du même faisceau.

Le couloir délimité par les discontinuités F2 et F3 semble être affaissé par rapport au compartiment F1-F2, mais le rejet serait peu important (de l'ordre de 5 m). Globalement on pourrait estimer que la vallée de Fond Lahaye emprunte un couloir d'effondrement provoqué par le faisceau de failles F4, F11 et de façon plus incertaine F1, F2 et F3

Les panneaux électriques implantés dans l'axe de la vallée FLH1 et FLH6 et présentés en annexe 3, ont également mis en évidence un certain nombre de discontinuités qui peuvent être assimilables à des failles, notamment F10 (faille mentionnée sur la carte géologique) et F9 (argument topographique). Les discontinuités F5, F6, F7 et F8 ont été tracées avec une direction NW-SE en s'appuyant non pas sur des arguments géophysiques (seul le profil FLH1 met en évidence ces failles) mais sur des arguments de géologie régionale (direction de fracturation régionale).

Compte tenu de la complexité structurale et de la topographie accidentée de la zone d'étude, l'information fournie par les panneaux électriques perpendiculaires à l'axe de la vallée ne permet pas d'appréhender avec certitude la géométrie de la coulée andésitique sur les flancs Est et Ouest de la vallée.

Le principal argument qui permet d'attribuer ces discontinuités à des bordures de paléovallées (hypothèse 2) est le fait que celles-ci affectent les horizons composés d'alluvions et d'éboulis qui recouvrent la coulée andésitique. Cet argument est d'autant plus valable que la zone de Fond Lahaye n'est pas connue pour être soumise à une activité tectonique importante.

Une troisième hypothèse proposant des structures de types paléovallées affectées par certaines failles (et notamment la faille F10 mentionnée sur la carte géologique) semble être un bon compromis. Concernant la discontinuité F9, aucun argument ne permet de trancher entre faille et limite d'érosion ravinante.

Dans tous les cas, on distingue, en surface et sub-surface, une voire deux coulées saines à figures de flux pluridécamétriques qui affleurent des deux côtés de la vallée (falaises).

3.2.7 Identification de l'horizon aquifère

L'étalonnage effectué au niveau du forage 1177ZZ0161/FLF1 a permis d'identifier la signature électrique de l'horizon aquifère.

Sur les profils perpendiculaires à l'axe de la vallée (FLH2, FLH3, FLH4, FLH5 et FLH7) l'horizon aquifère a été relativement bien caractérisé dans les deux compartiments délimités par les discontinuités F1, F2 et F3. Par contre, les extensions latérales de cet horizon sur les flancs Est et Ouest de la vallée ne sont pas clairement mises en évidence (incertitude due à la complexité structurale et à une topographie très accidentée).

Sur ces cinq profils, les caractéristiques de l'horizon aquifère associé à une coulée andésitique, sont les suivantes :

- une épaisseur de l'ordre de 10 à 20 m,
- une résistivité comprise entre 30 et 100 ohm.m,
- une extension Est-Ouest comprise entre 100 et 120 m entre les discontinuités F1 et F3. La caractérisation de cet horizon aquifère à l'Ouest de F1 et à l'Est de F3 n'a pas été possible.
- Une profondeur de toit qui varie entre 5 et 25 m. La topographie de ce toit présente une remontée au niveau du profil FLH3. Cette remontée est également mise en évidence sur le profil FLH1.
- Dans le compartiment F2-F3, le toit de l'horizon aquifère est à une profondeur plus importante (de l'ordre de 25 à 30 m).

Les profils Nord-Sud (FLH1 et FLH6) confirment les caractéristiques de cet horizon aquifère. Sur le profil FLH1, la coulée andésitique présente une surépaisseur de 30 m sur une centaine de mètres juste en aval de F5 (abscisse 100 à 200).

Sur le profil FLH6, dans la zone située en aval de la faille F9, les résultats ne permettent pas de localiser avec certitude l'horizon aquifère (grosses disparités entre les réponses en dispositif dipôle-dipôle et en dispositif gradient généralisé).

Presque tous les panneaux électriques mettent en évidence la présence d'une formation conductrice (< 20 ohm.m) constituant le substratum de l'horizon aquifère (suivant les secteurs, entre 20 et 50 m NGM). Les informations géologiques et hydrogéologiques disponibles ne permettent pas de dire si cette formation est aquifère ou non.

Les résultats de l'étude géophysique ne permettent pas de caractériser le rôle des discontinuités F1 et F2 (colmatées ou drainantes). Dans le doute, les implantations de forages devront être situées à une certaine distance de ces discontinuités.

3.2.8 Implantation de forages de reconnaissance

La reconnaissance géophysique par panneaux électriques réalisée dans la vallée de Fond Lahaye a permis de caractériser (géométrie, schéma structural) l'horizon aquifère (coulée andésitique) capté par le forage 1177ZZ0161/FLF1.

En couplant les informations issues de cette étude géophysique avec nos connaissances géologiques et hydrogéologiques, la sélection des sites pour l'implantation de forages de reconnaissances serait la suivante :

- Secteur 1 : ce premier secteur est délimité par les discontinuités F1, F2, F5 et le profil FLH5. Dans cette zone, l'horizon aquifère présenterait la plus forte épaisseur (30m) et une extension amont/aval relativement continue. 3 cibles sont possibles :
 - ❖ **Cible 1a** : abscisse 175 sur le profil FLH1, avec une profondeur d'environ 70 m
 - ❖ **Cible 1b** : abscisse 300 sur le profil FLH1, avec une profondeur comprise entre 50 et 60 m
 - ❖ **Cible 1c** : abscisse 70 sur le profil FLH5, avec une profondeur d'environ 50 m
- Secteur 2 : ce second secteur est délimité par les discontinuités F1, F2, F7 et F8. Dans ce secteur l'horizon aquifère présente aussi une épaisseur importante (de l'ordre de 20m) :
 - ❖ **Cible 2a** : abscisse 550 du profil FLH1, avec une profondeur comprise entre 50 et 60 m
 - ❖ **Cible 2b** : abscisse 635 du profil FLH1, avec une profondeur comprise entre 50 et 60 m
 - ❖ **Cible 2c** : abscisse 125 du profil FLH4, avec une profondeur comprise entre 50 et 60 m
- Secteur 3 : les forages dans ce secteur permettront de recouper les formations résistantes qui prolongent, vers le sud, la zone perméable recoupée au forage 1177ZZ0161/FLF1.
 - ❖ **Cible 3a** : abscisse 175, avec l'avantage de recouper deux ensembles conducteurs superposés séparés par un horizon plus résistant, profondeur d'investigation à prévoir d'au moins 70 m.
 - ❖ **Cible 3b** : abscisse 260 du profil FLH1, décalé de 10 à 20 m vers l'ouest car cet ensemble semble se situer, sur le profil FLH2, plutôt à l'ouest par

rapport au profil FLH6. La profondeur d'investigation serait d'au moins 85 m.

- **Cible 4** : ce secteur est le plus éloigné, et par le fait sera potentiellement le moins influencé par des interférences avec les autres forages. Il présente une épaisseur importante de formations résistantes, avec donc une plus grande probabilité de recouper des formations perméables.
- **Cible 5** : ce secteur correspond aux environs immédiats du forage actuel. Les profils géophysiques montrent une continuité de structure vers l'ouest (entre le forage et 10 m à l'ouest de la rivière). Vers le Nord et le Sud, les structures paraissent continu et homogène au moins 20 m de par et d'autre. Ce secteur sera choisi si le premier forage de reconnaissance réalisé sur un des autres sites serait négatif. L'avantage de ce site est que la zone aquifère subhorizontale est bien définie, avec une épaisseur de la formation aquifère d'environ 20 m, et une profondeur d'investigation d'environ 60 m.
- **Cible 6** : un forage réalisé dans ce secteur permettrait de recouper les formations résistantes qui prolongent, vers le sud, la zone perméable recoupée au forage 1177ZZ0161/FLF1. Les profils géophysiques montrent vers 25 m de profondeur la présence de ces formations résistantes avec une relative extension latérale.

Toutes ces cibles sont localisées dans l'illustration 10.

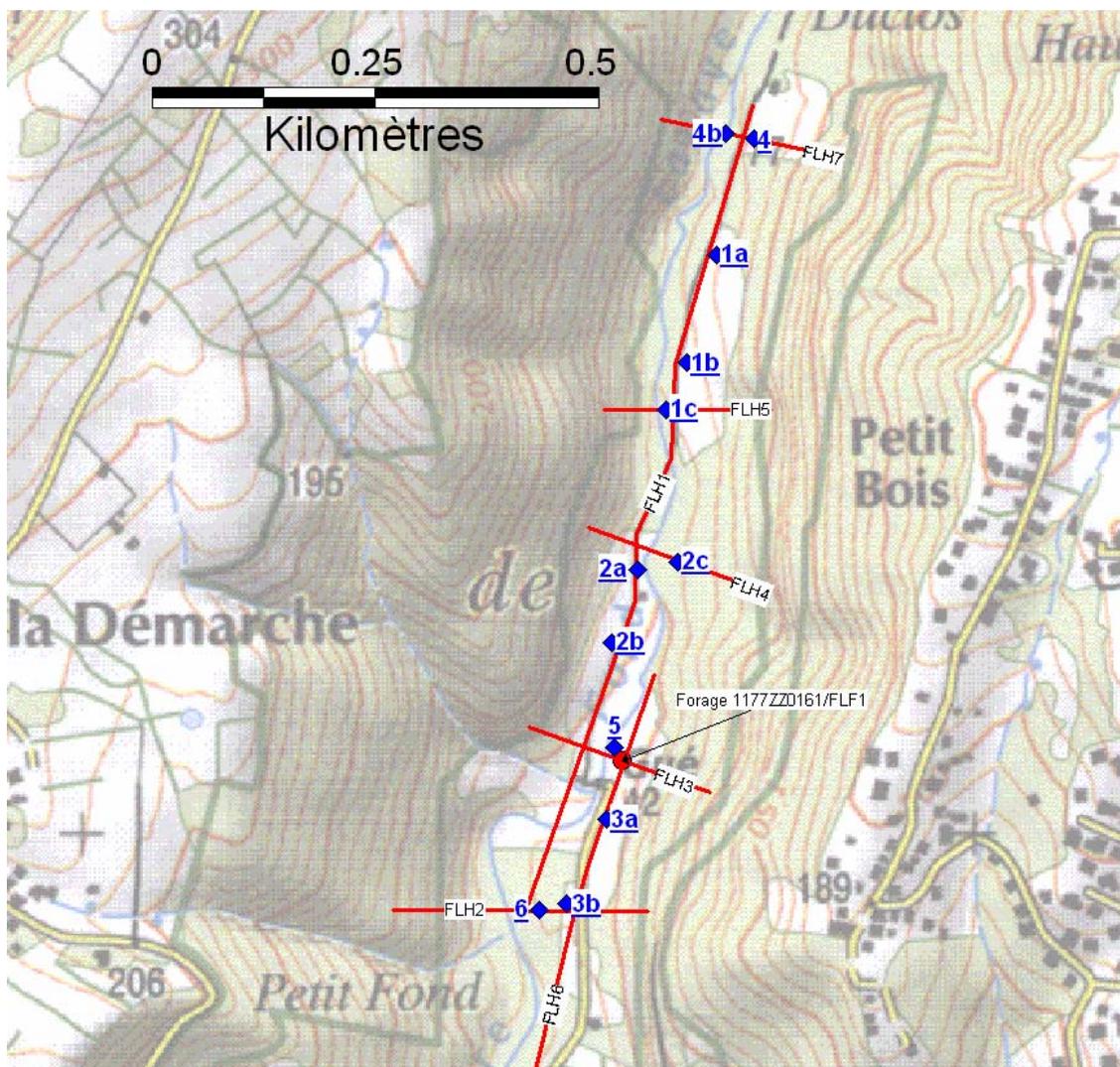


Illustration 10 : Localisation des cibles de forages de reconnaissances proposés

3.3 FORAGES

Deux forages de reconnaissances ont été réalisés pendant les mois de juin et juillet 2007. Les sites ont été choisis par la CACEM sur la base des cibles présentées dans le chapitre précédent, principalement en fonction des possibilités d'accès sur les parcelles concernées.

Le premier forage de reconnaissance (1177ZZ0176/PZ1) a été réalisé sur le site 4B, le second sur le site 1a (1177ZZ0177/PZ2). Un forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2 a ensuite été implanté en janvier 2008 à proximité (3 m en amont) du forage 1177ZZ0176/PZ1 qui avait donné les meilleurs résultats. La situation précise de ces ouvrages est donnée sur l'illustration 11 ci-dessous.

Dénomination		1177ZZ0176/PZ1	1177ZZ0177/PZ2	1177ZZ0178/FLF2
Localisation (en coordonnées Martinique - Fort Desaix)	X	703 728	703 687	703 730
	Y	1 619 794	1 619 619	1 619 796
Altitude d'après IGN (en m NGM)		80	76,3	80,4
Distance du forage 1177ZZ0161/FLF1 (en m)		709	529	712

Illustration 11: Localisation des ouvrages 1177ZZ0176/PZ1, 1177ZZ0177/PZ2 et 1177ZZ0178/FLF2

3.3.1 Forage de reconnaissance 1177ZZ0176/PZ1

Le compte-rendu du chantier de réalisation de 1177ZZ0176/PZ1 est présenté en Annexe 4.

➤ Coupe lithologique

Durant la 1ère foration, des échantillons ont été prélevés tous les mètres jusqu'à la côte -26 m environ puis tous les trois mètres jusqu'au fond de l'ouvrage. Concernant le second forage, réalisé à un mètre du précédent, les prélèvements ont été réalisés tous les trois mètres ; ces derniers font office de calage avec les premiers échantillons car il est très improbable de rencontrer d'importantes variations dans la nature des formations recoupées entre ces deux ouvrages.

L'ensemble de ces échantillons ont été observés à l'œil nu, dans leur état brut (boue et fragments caillouteux mélangés), puis lavés et tamisés (pour une détermination précise de la nature des fragments à la loupe binoculaire). Ceci a permis d'établir une coupe lithologique précise du forage. L'ensemble des observations effectuées à partir des cuttings de forage prélevés est présenté en Annexe 5. L'illustration 12 ci-dessous représente la coupe lithologique du forage faisant suite à ces observations.

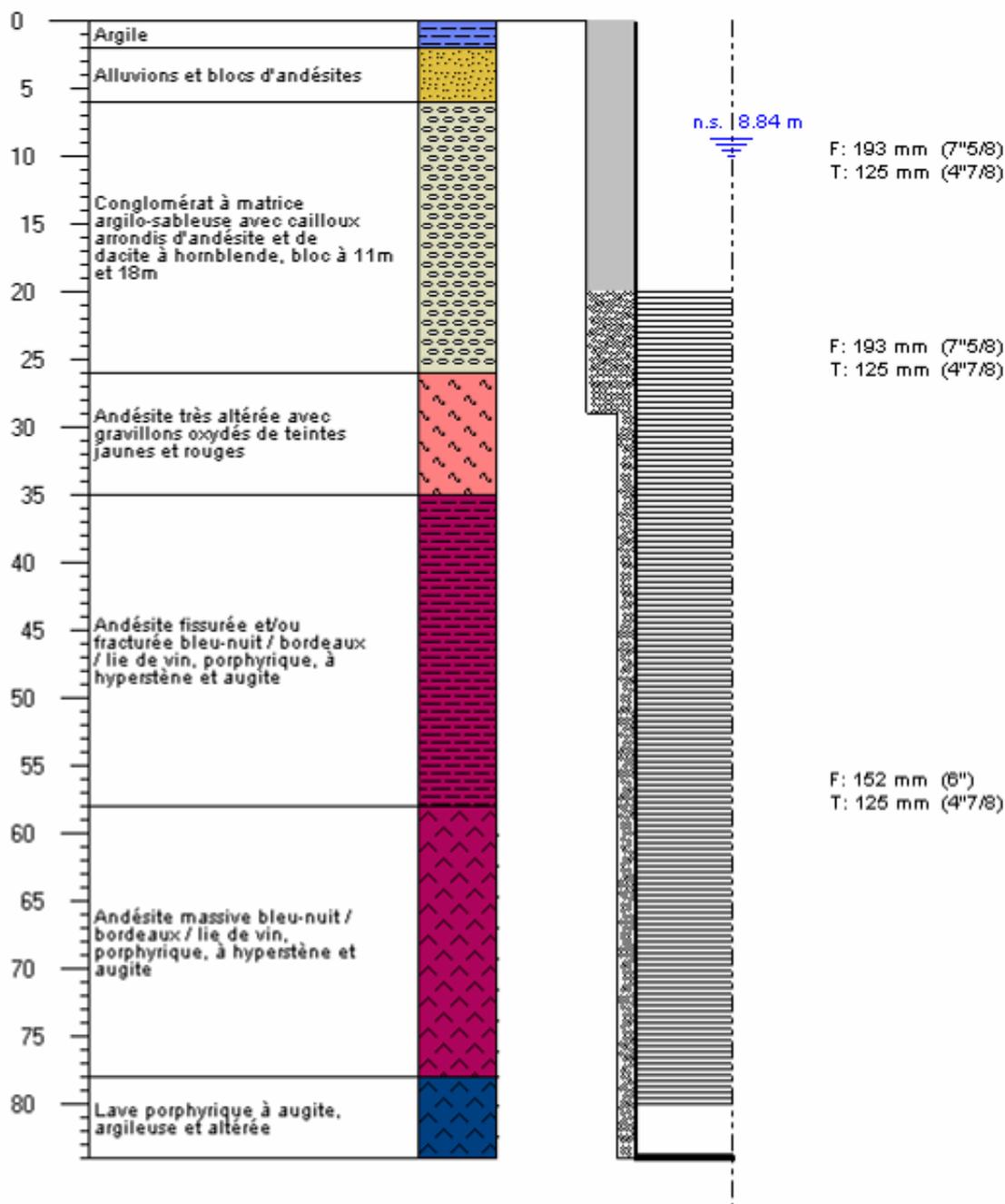


Illustration 12 : Coupe lithologique du forage 1177ZZ0176/PZ1

➤ Mesures effectuées durant le creusement

Durant les deux creusements du 1177ZZ0176/PZ1, des mesures de vitesse à l'avancement ont été réalisées. Quand la nappe a été atteinte, des débits au soufflage ont été également mesurés sur place et un suivi de la conductivité de l'eau a été réalisé. L'ensemble des valeurs est présenté dans l'illustration 13. Les valeurs brutes sont présentées dans un tableau en Annexe 6.

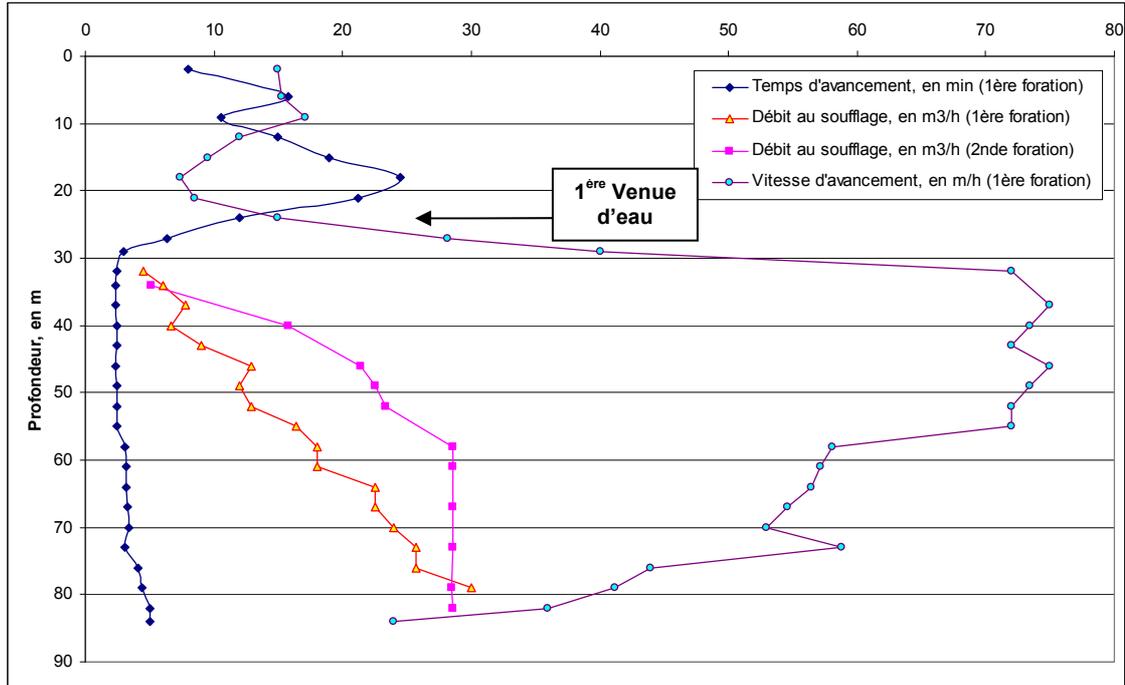


Illustration 13: Débits au soufflage, vitesses et temps à l'avancement en fonction de la profondeur, durant le creusement de 1177ZZ0176/PZ1

La courbe des vitesses à l'avancement couplée à celle des débits au soufflage, révèle trois phases bien distinctes.

- Une première phase, présentant des vitesses faibles allant de 7,5 à 15 m/h, entre 0 et -24 m environ (niveau correspondant aux premières venues d'eau), illustre la difficulté à forer dans des éboulis constitués à la fois de nombreux blocs et d'argile.
- Dès les premières venues d'eau, le taux d'argilisation de la formation rencontrée semble progressivement diminuer. Le passage à une 2^{ème} phase est montré par l'augmentation de la vitesse d'avancement jusqu'à dépasser 70 m/h (plus d'un mètre foré à la minute). Cette phase se terminerai vers -55 à -57 m. Ceci marque bien un changement, rencontré également dans l'étude des échantillons collectés, vers un faciès de roches volcaniques moins altérées pour lequel le marteau fond-de-trou est bien adapté. La présence de nombreux

phénomènes de recristallisation et d'oxydation, observés sur les échantillons récupérés lors de la foration, confirme les circulations d'eau importantes.

Pour cette phase, les courbes des débits au soufflage au cours des deux creusements sont relativement similaires. Elles révèlent une augmentation plus ou moins linéaire de la valeur du débit. En milieu fracturée, ceci peut s'observer lorsque la fracturation est accompagnée d'une désagrégation de la roche (Plote H., 1986), ce qui semble être le cas à Fond Lahaye (argilisation et altération entre -35 et -26 m. Cette augmentation est plus forte au cours de la 2^{nde} foration, ceci pouvant s'expliquer par le fait que la 1^{ère} foration, rebouchée par la suite, a pu développer le milieu, facilitant ainsi les arrivées d'eau.

- Une 3^{ème} phase s'observe à partir de -57 m. La vitesse d'avancement diminue sensiblement puis reste autour des 55 m/h jusqu'à -75 m de profondeur environ. L'étude des échantillons n'a pas révélé de changement majeur dans les faciès et la minéralogie rencontrée. On peut toutefois noter une baisse sensible des indices de circulation d'eau (oxydation, recristallisation) dans les fragments observés.

Les courbes des débits au soufflage, au cours des 2 creusements, ne sont plus similaires pour ce niveau. Lors de la 1^{ère} foration, les débits continuaient à augmenter à la même vitesse que celle observée lors de la 2^{nde} phase ce qui corroborait l'hypothèse selon laquelle la formation ne changeait pas et les venues d'eau étaient constantes sur toute son épaisseur. Cependant, la 2^{nde} foration a révélé à ce niveau une stagnation dans les valeurs du débit de soufflage, autour de 28 m³/h. Cette état de fait, que l'on peut associer au fait qu'il y ait un appauvrissement à ce niveau en indices de circulation d'eau sur les fragments observés, pourrait rendre compte de l'apparition d'une tranche de terrain plus stérile. Le passage au micromoulinet réalisé par la suite (Cf. § 0) confirmera la disparition des venues d'eau un peu avant 60m de profondeur.

Par la suite, on note une diminution sensible, autour de -80 m, de la vitesse à l'avancement, pouvant s'expliquer par un changement faciès, le forage ayant recoupé sur 4 m une nouvelle formation.

➤ **Micromoulinet**

Des micromoulinets ont été réalisés sur l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1. Le premier passage, effectué le 18/07/2007 au débit de 17 m³/h, a donné des résultats très surprenants (impulsions mesurées trop élevées par rapport à la gamme de mesure acceptée par le micromoulinet, aucune venue d'eau détectée en-dessous de 35 m de profondeur). Compte tenu de ces incertitudes, un 2nd passage a été réalisé le 29/09/2007 au débit de 20 m³/h.

Les valeurs de débit calculées et corrigées dans le forage (Cf. Illustration 14), en particulier les premières mesures réalisées sous la pompe, sont bien supérieures aux valeurs de débits appliquées durant les essais.

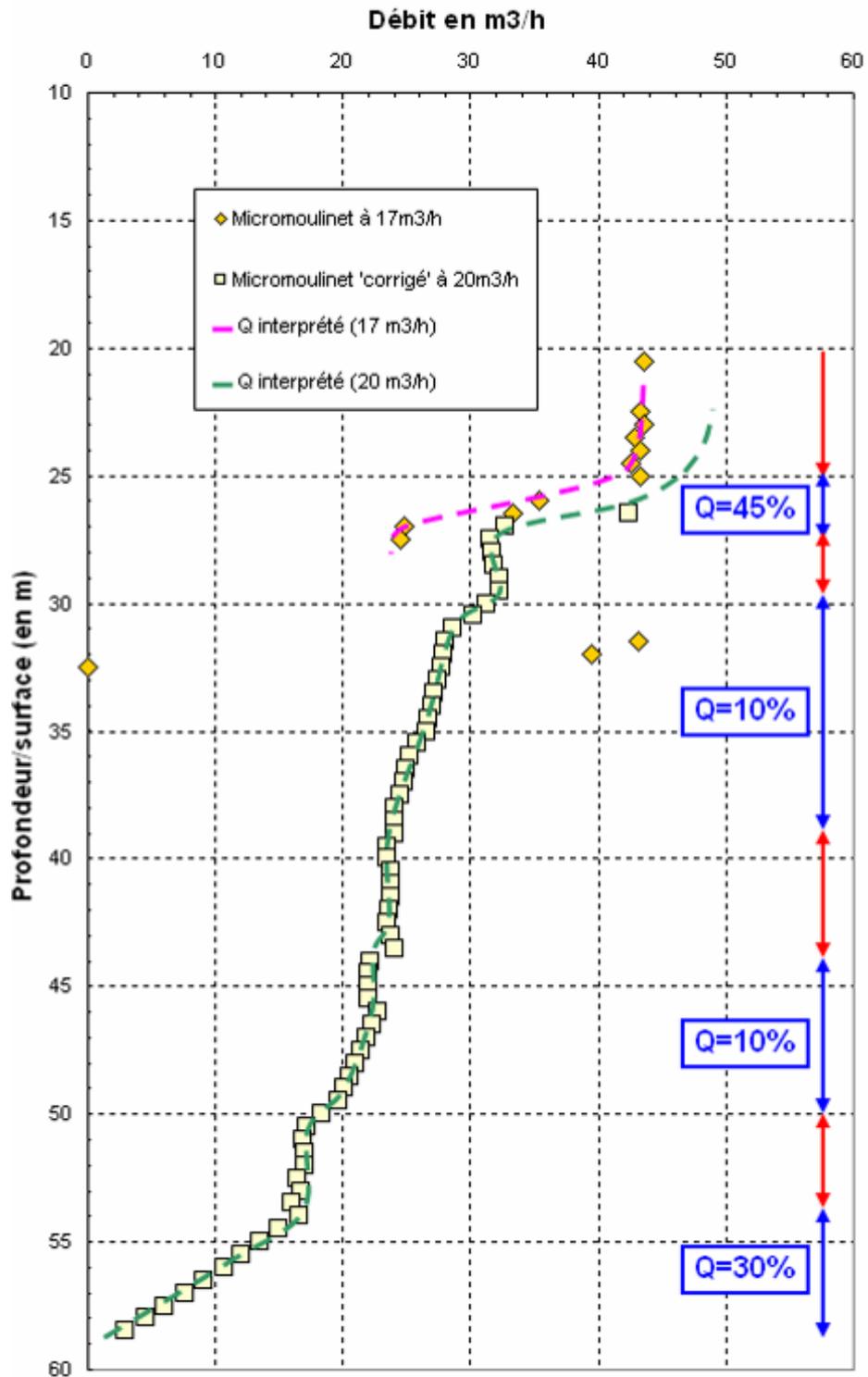


Illustration 14: Débits interprétés et localisation des venues d'eau pour le forage 1177ZZ0176/PZ1, à l'issue du passage au micromoulinet

La comparaison des deux micromoulinets met en avant une certaine similitude des enregistrements entre 20 et 27,5 m de profondeur. Les courbes des débits « interprétés » sont en effet identiques, le décalage s'expliquant par les valeurs différentes de débit de pompage.

Pour le 1^{er} passage, l'arrêt de la rotation du micromoulinet à 35 m de profondeur est difficile à expliquer. L'hypothèse d'un appareil défaillant est fortement envisageable. La réponse plus cohérente du 2nd passage, pour un débit de pompage légèrement supérieure, semble confirmer cette hypothèse.

Ce 2nd passage à 20 m³/h permet en effet de distinguer les zones sèches (en rouge sur l'illustration 14) des zones productives (en bleu). Les quatre zones productives sont les suivantes :

- de 25 à 27,5 m de profondeur, représentant approximativement 45% du débit
- de 29 à 38 m de profondeur, 10 % du débit
- de 44 à 50 m de profondeur, 10 % du débit
- de 54 à 58 m de profondeur, 35 % du débit

En-dessous de 60 m, aucune venue d'eau n'a été identifiée. Cet état de fait est parfaitement en corrélation avec les mesures des débits à l'avancement, lors du creusement de 1177ZZ0176/PZ1 (Cf. Illustration 15). En effet, à partir de 60 m de profondeur, les débits mesurés stagnent ce qui signifie qu'aucune venue d'eau supplémentaire n'est présente.

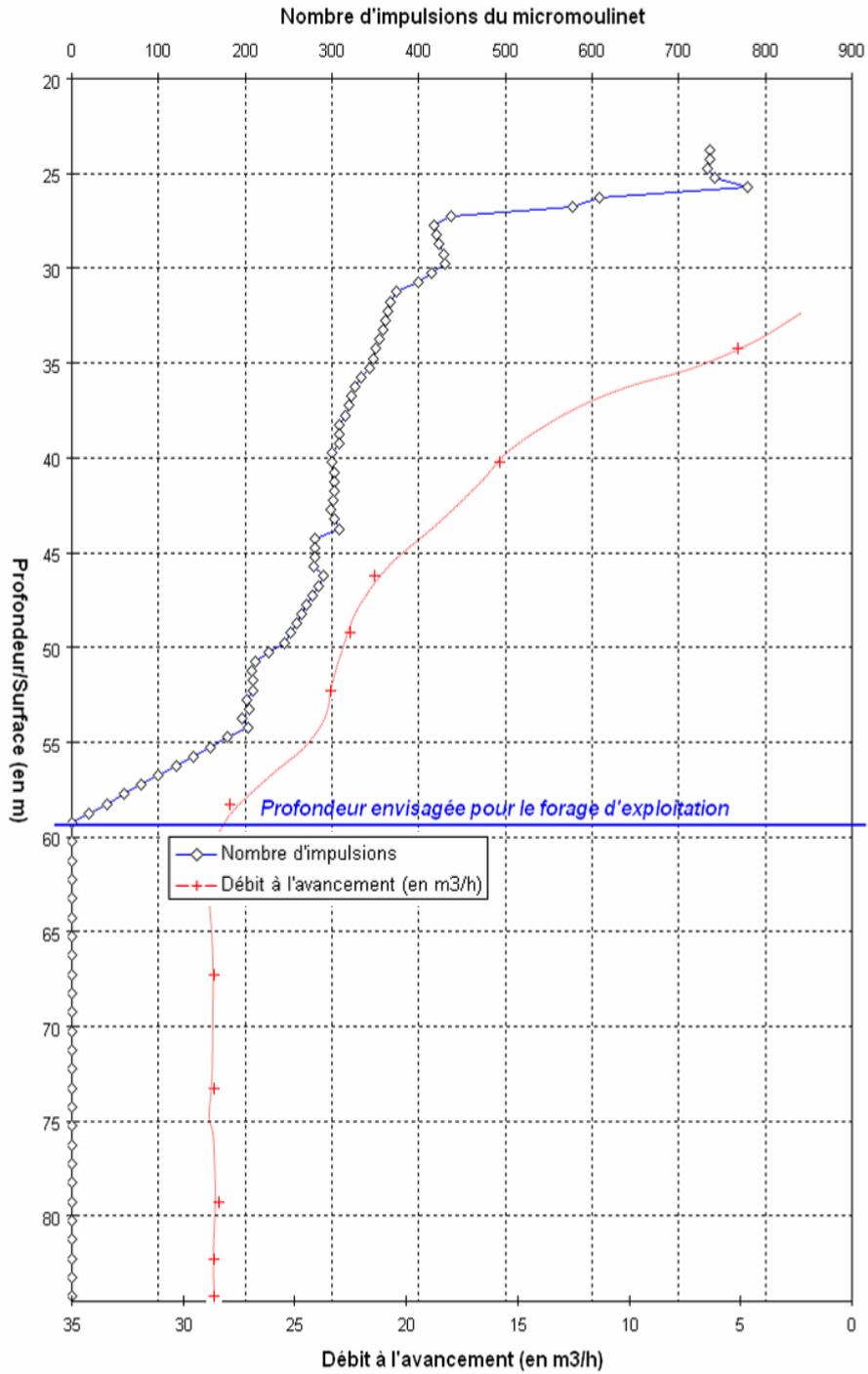


Illustration 15 : Comparaison des mesures enregistrées par le micromoulinet avec le débit à l'avancement durant le creusement de 117ZZ0176/PZ1

3.3.2 Forage de reconnaissance 1177ZZ0177/PZ2

Le compte-rendu du chantier de réalisation de 1177ZZ0177/PZ2 est présenté en Annexe 7.

➤ Coupe lithologique

L'illustration 16 ci-après est issue de l'interprétation des observations macro et microscopiques des cuttings du forage.

Les échantillons ont été prélevés tous les mètres jusqu'à la côte -47 m environ puis tous les trois mètres jusqu'au fond de l'ouvrage. Tous les échantillons ont été observés à l'œil nu, dans leur état brut (boue et fragments caillouteux mélangés), puis lavés et tamisés. Ceci a permis d'établir une coupe lithologique précise du forage. L'ensemble des observations effectuées à partir des cuttings de forage prélevés sont présentés en Annexe 8.

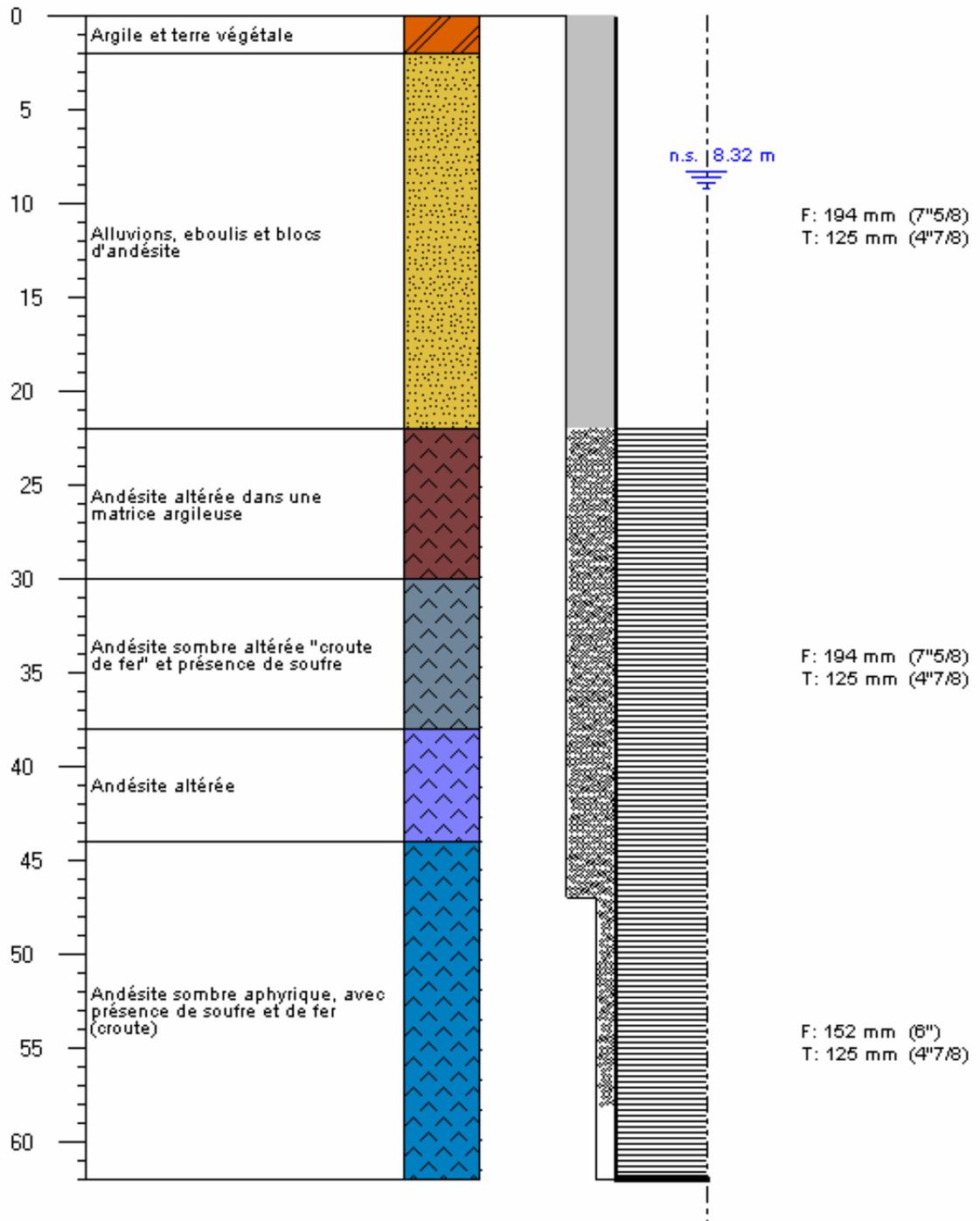


Illustration 16 : Coupe lithologique du forage 1177ZZ0177/PZ2

➤ **Mesures effectuées durant le creusement**

Au cours du creusement du forage 1177ZZ0177/PZ2, des mesures de vitesse à l'avancement ont été réalisées. Des débits au soufflage ont également été mesurés une fois les premières venues d'eau rencontrées. L'ensemble des valeurs est présenté dans l'illustration 17. Les valeurs brutes sont présentées dans un tableau en Annexe 9.

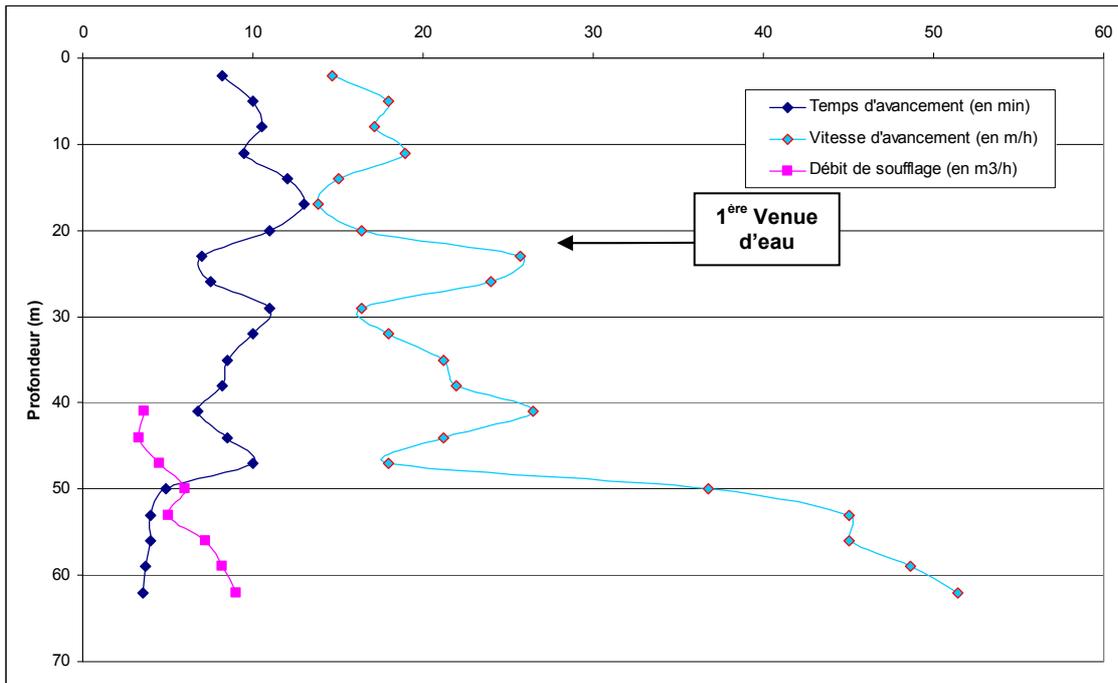


Illustration 17 : Débits au soufflage, vitesses et temps à l'avancement en fonction de la profondeur, durant le creusement de 1177ZZ0177/PZ2

Les difficultés liées au déroulement du chantier ont rendu incomplète la collecte des mesures et imprécises les valeurs obtenues (notamment lorsqu'à une même profondeur, la foration s'est effectuée en Tubage à l'Avancement et ensuite également en marteau taillant direct).

Les débits au soufflage obtenus sont bien inférieurs à ceux sur 1177ZZ0176/PZ1. La 1^{ère} venue d'eau apparaît à 24m de profondeur mais les valeurs des débits ne deviennent significatives (> 5 m³/h) qu'à partir de 41 m de profondeur. Entre 41 m et 62 m de profondeur, les valeurs de débit augmentent de manière régulière jusqu'à atteindre 9 m³/h en fin de chantier.

Les vitesses à l'avancement comprises entre 15 et 25 m/h entre 0 et 47 m de profondeur, illustrent bien la tenue médiocre des terrains de type argiles, éboulis et andésites altérées. A partir de 47 m de profondeur, les vitesses augmentent fortement, la nature du terrain s'améliorant sensiblement (andésites sombres relativement saines).

3.3.3 Forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2

Le compte-rendu du chantier de réalisation du forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2 est présenté en Annexe 10.

➤ Coupe lithologique

L'illustration 18 présente la coupe lithologique issue de l'interprétation des observations macro et microscopiques des cuttings du forage.

Le creusement au rotary a permis de prélever les cuttings tous les mètres jusqu'à la profondeur de 24 mètres environ. Par la suite, les prélèvements ont été effectués tous les trois mètres, jusqu'au fond de l'ouvrage. L'ensemble de ces échantillons a été observés à l'œil nu, dans leur état brut (boue et fragments caillouteux mélangés), puis après lavage et tamisage. Ceci a permis d'établir une coupe lithologique précise du forage. Celui-ci recoupe les mêmes andésites bleu nuit que celles observées au piézomètre 1177ZZ0176/PZ1.

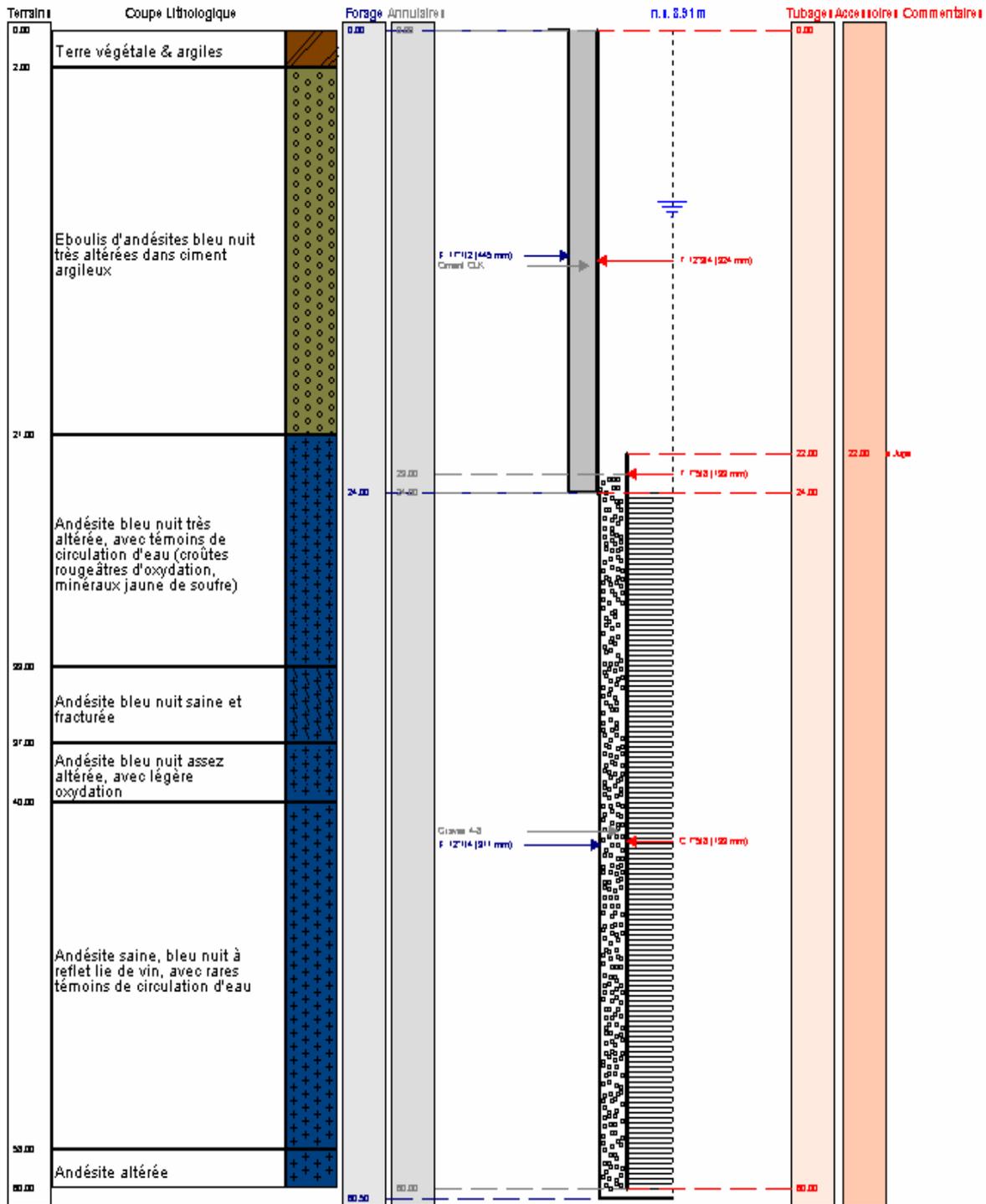


Illustration 18: Coupe lithologique du forage 1177ZZ0178 / 1177ZZ0178/FLF2

➤ **Mesures effectuées durant le creusement**

Tout au long du creusement de l'ouvrage 1177ZZ0178/FLF2, des mesures de vitesse à l'avancement ont été réalisées. Des mesures de débits au soufflage ont également été réalisées une fois les premières venues d'eau rencontrées. L'ensemble des valeurs est présenté dans l'illustration 19. Les valeurs brutes sont présentées en Annexe 11.

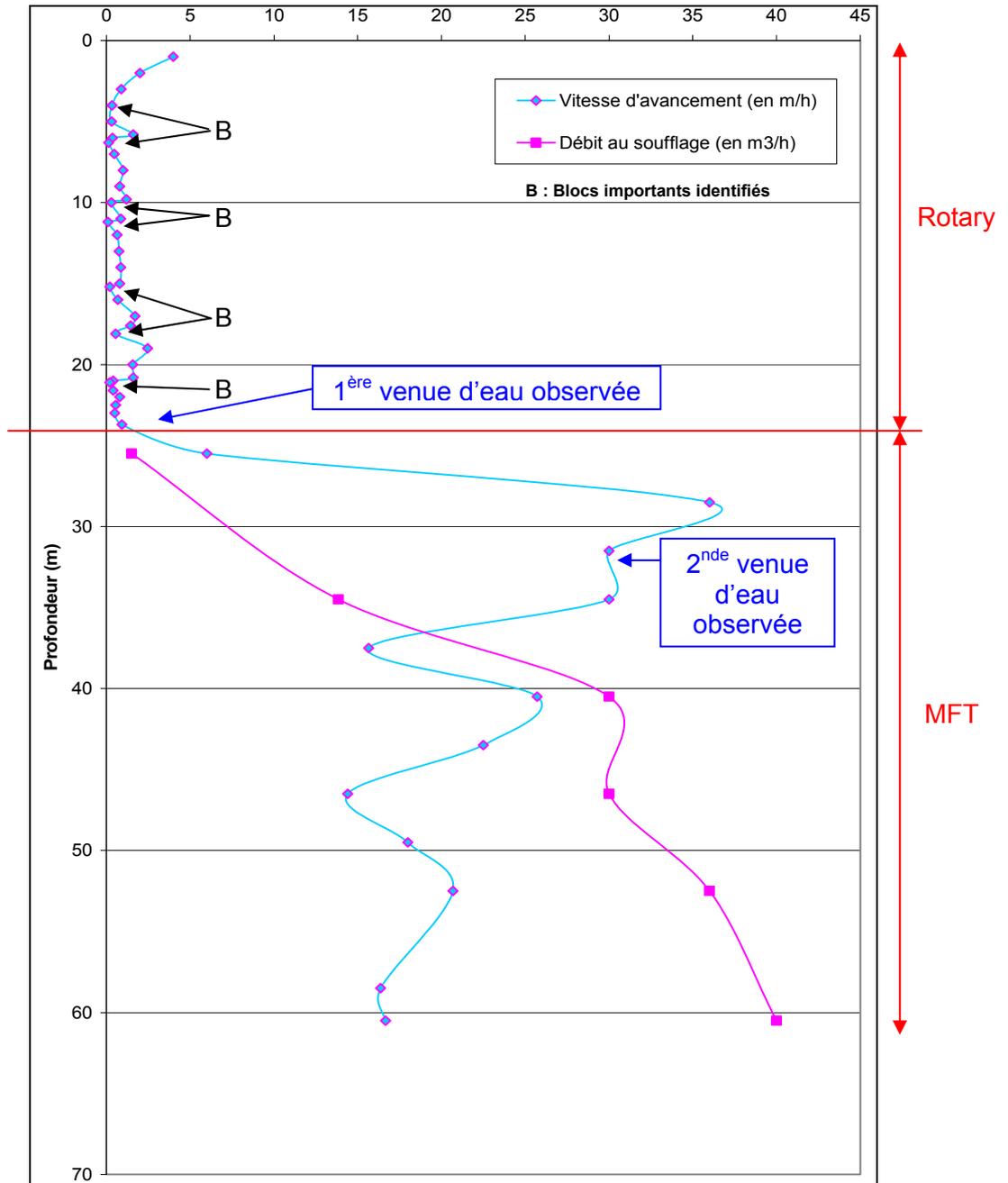


Illustration 19: Débits au soufflage, vitesse et temps à l'avancement en fonction de la profondeur, durant le creusement de l'ouvrage 1177ZZ0178/FLF2

Les vitesses d'avancement mesurées lors du creusement au rotary à la boue bentonitique, jusqu'à 24 mètres environ, sont particulièrement faibles du fait notamment de la présence de nombreux blocs résistants. Ce procédé de creusement présente en effet l'avantage de pouvoir maintenir efficacement le trou, ses parois étant retenues par la boue, mais il présente également l'inconvénient d'avoir de très faibles vitesses d'avancement dans les terrains très résistants, ou plus particulièrement pour passer de gros blocs.

Cette faible vitesse d'avancement a toutefois permis de localiser facilement des blocs résistants (vitesse $\leq 0,3\text{m/h}$) à 5m80, 6m30, 10m, 11m, 15m20, 18m10 et 21m. Ces blocs sont entrecoupés de passées argileuses/altérées qui ont présentées des vitesses d'avancement supérieures ($0,3 < \text{vitesses} \leq 2,5\text{m/h}$). Cet ensemble très hétérogène peut raisonnablement être associé à la formation des éboulis 2 α .

A partir de 24 mètres, le creusement s'est effectué au Marteau Fond de Trou (MFT) dont la vitesse d'avancement sur un terrain assez résistant est bien supérieure à celle du rotary (vitesse $\geq 10 \text{ m/h}$).

Une première venue d'eau a été observée vers 25 mètres mais pour un débit de soufflage non significatif. Une seconde venue d'eau, plus importante, a été identifiée vers 33 mètres de profondeur avec un débit au soufflage mesuré à $14 \text{ m}^3/\text{h}$. Au fur et à mesure de l'avancement, le débit au soufflage a progressivement augmenté jusqu'à atteindre la valeur de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ à la fin du creusement.

On note cependant une baisse progressive de la vitesse d'avancement de 24 à 60 mètres de profondeur. Il est possible que la fissuration/fracturation (facilitant le creusement) soit plus importante vers 30-40 mètres de profondeur et moins significative en fond de trou.

Les conductivités ont également été mesurées. Des valeurs comprises entre 800 et 900 μS ont été mesurées ; elles correspondent à celles généralement mesurées dans les eaux souterraines en Martinique.

➤ **Micromoulinet**

Un passage au micromoulinet a été réalisé sur l'ouvrage 1177ZZ0178/FLF2 le 11/02/2008 au débit de $20 \text{ m}^3/\text{h}$. La pompe a été placée à 22 mètres de profondeur, au-dessus des crépines. Ce micromoulinet a permis de localiser précisément les venues d'eau au droit du forage. Comme présenté sur l'illustration 20, les trois zones productives sont situées :

- entre 25 et 27 mètres, représentant environ 33 % du débit pompé
- entre 31 et 33 mètres, représentant environ 23 % du débit pompé
- entre 39 et 41,5 mètres, représentant environ 44 % du débit pompé

En dessous de 41,5 mètres, aucune venue d'eau n'a été identifiée.

En comparant avec les venues d'eau au droit de l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1, situé à 3 mètres de 1177ZZ0178/FLF2, on constate une certaine différence entre les deux ouvrages. Deux hypothèses permettent d'expliquer cette variabilité :

- Les fissures/fractures de la formation aquifère captée sont caractérisées par une telle hétérogénéité qu'il est possible d'avoir traversé des fractures dans le 1177ZZ0176/PZ1 sans qu'on puisse les retrouver dans le 1177ZZ0178/FLF2.
- Le passage au micromoulinet a été effectué à 20 m³/h, débit qui pourrait s'avérer être insuffisant pour mobiliser d'éventuelles venues d'eau situées en-dessous de 40 mètres, (notamment les venues d'eau localisées sur le forage 1177ZZ0176/PZ1 à 44-50 et 54-58 mètres de profondeur).

Pour étayer cette dernière hypothèse, l'illustration 20 compare les impulsions enregistrées par le micromoulinet et les débits au soufflage mesurés durant le creusement. En théorie, lorsque la foreuse atteint une nouvelle venue d'eau, cet apport supplémentaire d'eau devrait accroître le débit au soufflage. On constate une certaine similitude dans les allures des 2 courbes, excepté à partir de 46,5 mètres de profondeur. La légère augmentation du débit enregistrée par la suite, pouvant être associée à d'éventuelles nouvelles venues d'eau, pourrait donc confirmer cette 2nde hypothèse.

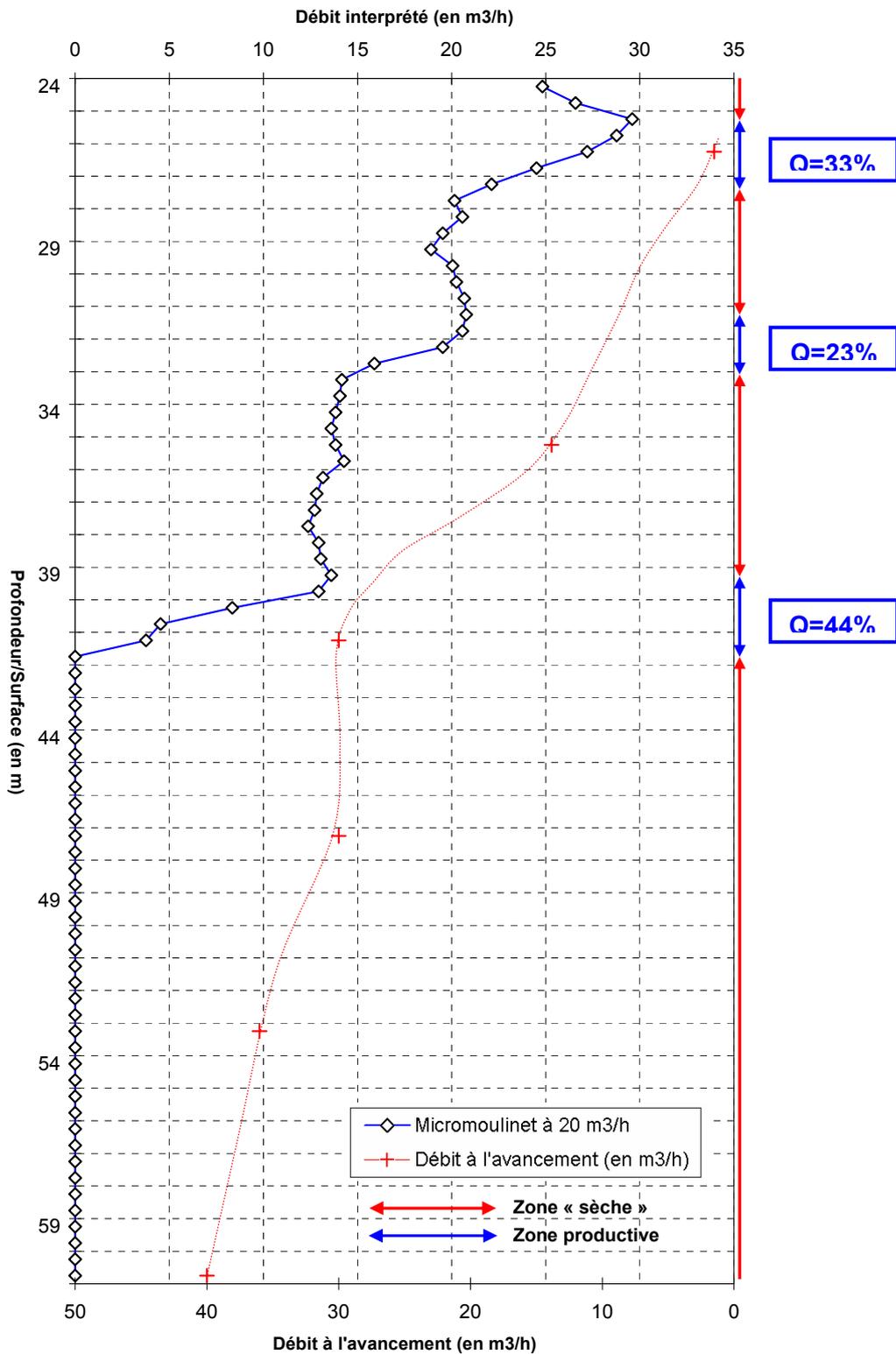


Illustration 20: Comparaison des débits à l'avancement avec les débits interprétés et localisation des venues d'eau pour le forage 1177ZZ0178/FLF2, à l'issue du passage au micromoulinet

4 Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

Suite à la réalisation des 2 forages de reconnaissance, des pompages d'essais ont été mis en œuvre afin de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

Un pompage par paliers de débit et un pompage de 72 heures ont été réalisés sur le 1177ZZ0176/PZ1. Le 1177ZZ0177/PZ2, quant à lui, n'a fait l'objet que d'un pompage par paliers de débits.

Les mêmes tests ont ensuite été réalisés sur le forage 1177ZZ0178/FLF2.

4.1 FORAGE DE RECONNAISSANCE 1177ZZ0177/PZ2

4.1.1 Pompages par paliers de débits

Les pompages par paliers de débit ont été réalisés le 14 juillet 2007. Ils permettent de tester l'ouvrage à différents débits pour ensuite caractériser son comportement hydrodynamique, grâce au calcul de deux paramètres : le coefficient de pertes de charge linéaires (b), correspondant à l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits et le coefficient de pertes de charge quadratiques (c), correspondant à l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, crépine et tubage.

Quatre paliers de débits ont été réalisés, qui ont duré une heure chacun et ont été suivis d'un arrêt de pompage d'une heure :

	Paliers de Débits (m³/h)	Temps de pompage (minutes)	Temps de remontée (minutes)	Rabattement final (m)
PZ 2	3.3	60	60	5.94
	6	60	60	11.66
	9	60	60	20.18
	12	60	60	27.46

Illustration 21 : Caractéristiques des essais par paliers de débits

L'évolution des rabattements est présentée sur Illustration 22 ci-dessous.

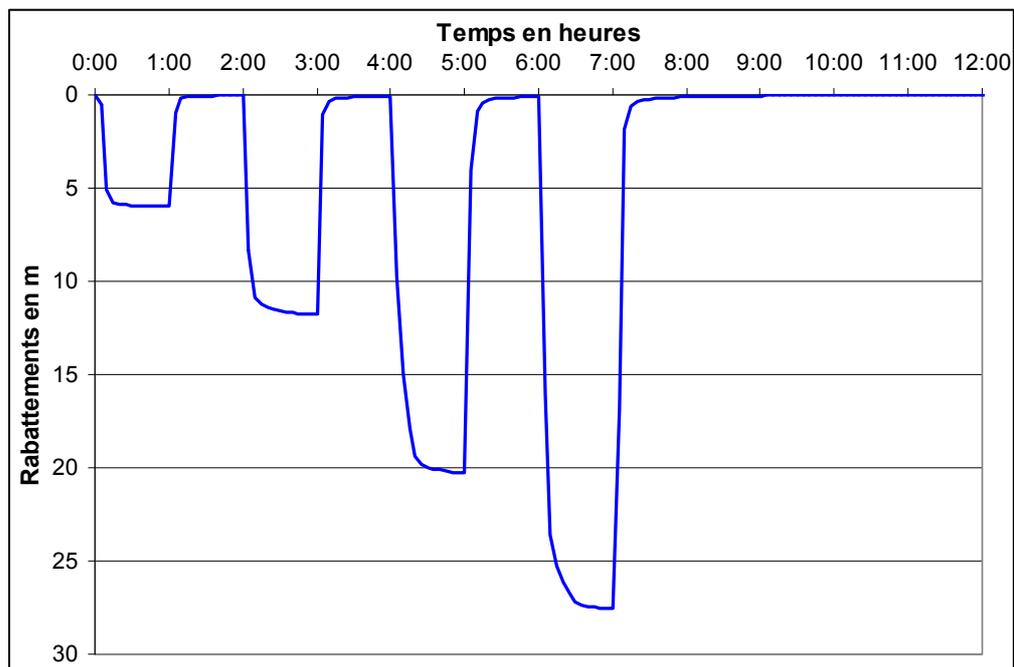


Illustration 22 : Pompage par paliers de débits, évolution des rabattements en fonction du temps au 1177ZZ0177/PZ2 (paliers à 3.3, 6, 9 et 12 m³/h)

L'illustration 23 ci-dessous synthétise les résultats de ces essais par paliers de débits. Les coefficients de pertes de charges ont été ajustés à l'aide du logiciel ISAPE développé par le BRGM.

	Débits (m ³ /h)	Rabattement final (m)	Débit spécifique (m ³ /h.m)	Rabattement spécifique s/Q (h/m ²)	"b" linéaires (s/m ²)	"c" quadratiques (s ² /m ⁵)
PZ 2	3.3	5.94	0.56	1.8	5795	727164
	6	11.66	0.51	1.94		
	9	20.18	0.45	2.24		
	12	27.46	0.44	2.28		

Illustration 23 : Synthèse des résultats des pompages d'essai par paliers de débit pour 1177ZZ0176/PZ1 & 1177ZZ0177/PZ2

4.1.2 Conclusion

La productivité de ce forage est faible et ne devrait pas dépasser les 5 m³/h, sous réserve de validation par un pompage d'essai de longue durée. Compte tenu de cette première estimation, le pompage de longue durée n'a pas été réalisé. Ce forage de reconnaissance constitue néanmoins un très bon piézomètre qui permettra de calculer notamment le coefficient d'emmagasinement de la nappe, lors des pompages sur le forage 1177ZZ0176/PZ1.

4.2 FORAGE DE RECONNAISSANCE 1177ZZ0176/PZ1

4.2.1 Pompages par paliers de débits

Les pompages par paliers de débit ont été réalisés le 18 juillet 2007, ils permettent de tester l'ouvrage à différents débits pour ensuite caractériser le comportement hydrodynamique de l'ouvrage, grâce au calcul de deux paramètres : le coefficient de pertes de charge linéaires (b), correspondant à l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits et le coefficient de pertes de charge quadratiques (c), correspondant à l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, crépine et tubage.

Quatre paliers de débit ont été réalisés, ont duré une heure chacun et ont été suivi d'un arrêt de pompage d'une heure entre chaque palier :

	Paliers de Débits (m ³ /h)	Temps de pompage (minutes)	Temps de remontée (minutes)	Rabattement final (m)
PZ 1	5	60	60	1,7
	10	60	60	3.39
	14.5	60	60	5.07
	17.5	60	60	6.53

Illustration 24 : Caractéristiques des essais par paliers de débits

L'évolution des rabattements est présentée sur les Illustration 25 ci-dessous :

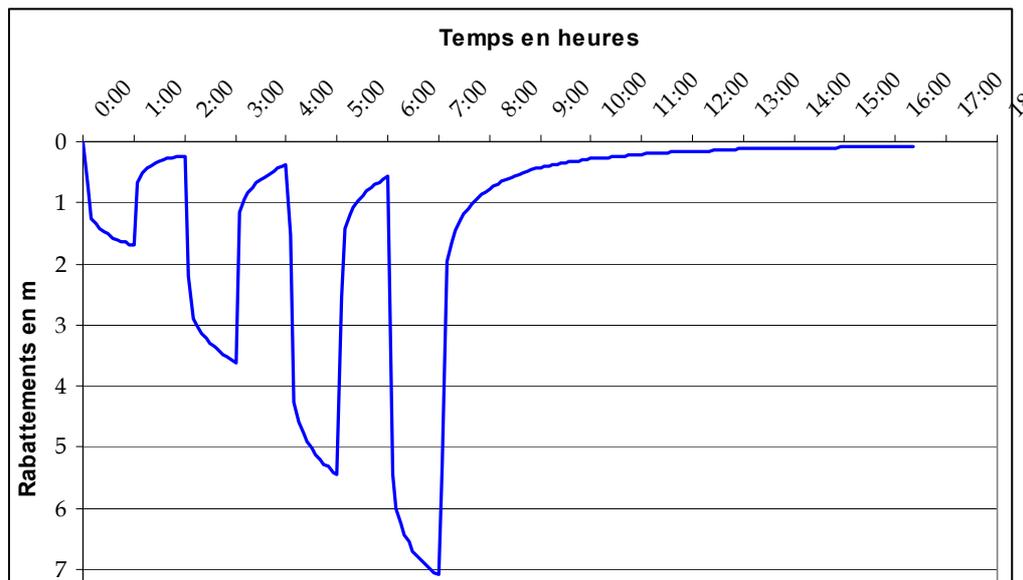


Illustration 25 : Pompage par paliers de débits, évolution des rabattements en fonction du temps au 1177ZZ0176/PZ1 (paliers à 5, 10, 14.5 et 17.5 m³/h)

Les Illustration 26 et Illustration 27 ci-dessous synthétisent les résultats de ces essais par paliers de débits. Les coefficients de pertes de charges ont été ajustés à l'aide du logiciel ISAPE développé par le BRGM.

	Débits (m ³ /h)	Rabattement final (m)	Débit spécifique (m ³ /h.m)	Rabattement spécifique s/Q (h/m ²)	"b" linéaires (s/m ²)	"c" quadratiques (s ² /m ⁵)
PZ 1	5	1,7	2.94	0.34	1158	29452
	10	3.39	2.95	0.339		
	14.5	5.07	2.86	0.350		
	17.5	6.53	2.68	0.373		

Illustration 26 : Synthèse des résultats des pompages d'essai par paliers de débit pour 1177ZZ0176/PZ1

Débit de pompage (m ³ /h)	Pertes de charge linéaires B (m)	Pertes de charge quadratique C (m)	Rabattement total (m)	Niveau dynamique en basses eaux (avec Ns = 9m)
20	6.43	0.91	7.34	16.34
30	9.65	2.05	11.69	20.69
40	12.87	3.64	16.50	25.50

Illustration 27 : Calculs hydrauliques pour le 1177ZZ0176/PZ1

4.2.2 Pompage d'essai de longue durée

➤ Interprétation des mesures réalisées au 1177ZZ0176/PZ1

Un pompage d'essai de longue durée a été effectué sur le forage 1177ZZ0176/PZ1 entre le 20 juillet 2007 - 17h02 et le 23 juillet 2007 - 17h12 (soit 72 heures et 10 minutes), à un débit moyen stabilisé de 17.2 m³/h (capacité maximale de la pompe).

Les niveaux ont été suivis sur le 1177ZZ0161/FLF1 et sur le 1177ZZ0177/PZ2 afin de suivre les rabattements induits par ce pompage. Seul le 1177ZZ0177/PZ2 situé à 180 m en aval, a été influencé par ce pompage. Le 1177ZZ0161/FLF1, situé à 709 m en amont du 1177ZZ0176/PZ1 n'a pas été influencé.

Durant la période de pompage on observe de 960 à 1340 min et de 2320 à 2750 min (depuis le début du pompage) de brusques augmentations du rabattement (jusqu'à 0.4 m). Durant la période de remontée, entre 5280 à 5780 min et 6700 à 7000 min on observe là aussi de brusques augmentations du rabattement. Ces augmentations ne sont pas en phase des variations de débit. Par contre, elles sont quasi cycliques (env. 1000-1500 min) et laisse envisager la présence d'un puits exploité à proximité. Pour infirmer ou non cette hypothèse il faudrait voir si un tel forage existe et pouvoir disposer d'enregistrement piézométrique sur plusieurs jours. Après recherche dans les archives et sur le terrain, aucun puits n'est déclaré dans le secteur.

- **Analyse de la courbe des dérivées et élaboration d'un modèle conceptuel de l'aquifère pompé**

L'analyse porte sur les premières 900 min de pompage, le signal étant ensuite trop perturbé pour en déduire un comportement de l'aquifère (valable aussi en remontée qu'en descente).

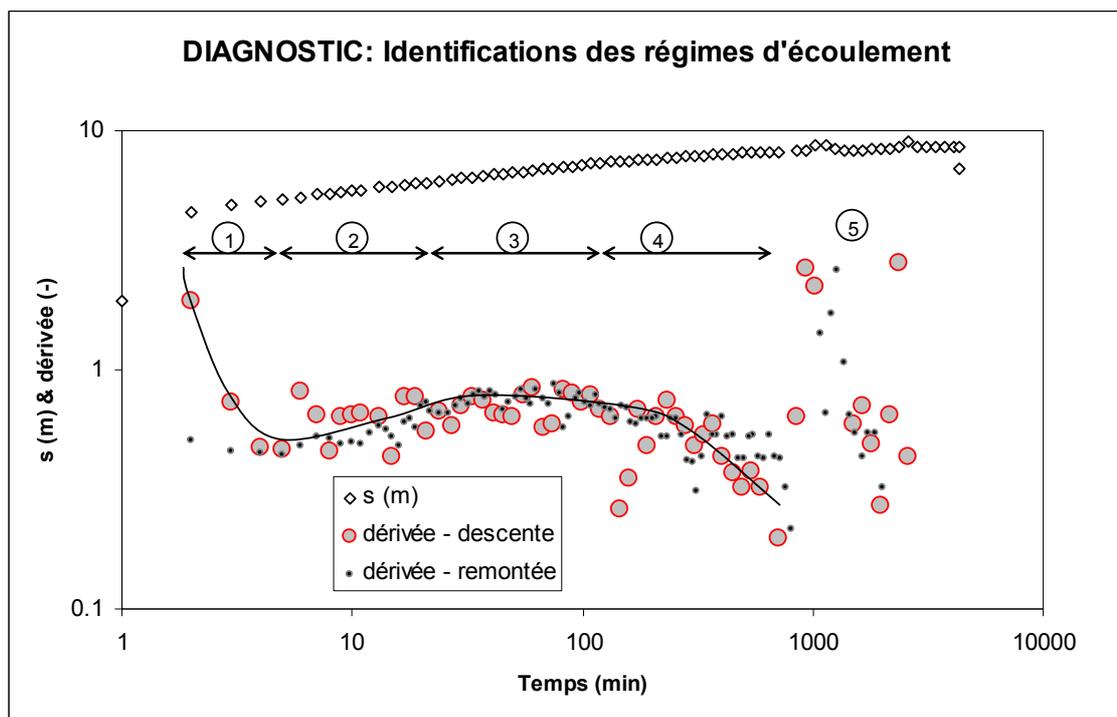


Illustration 28 : Identifications des régimes de l'écoulement ; dérivées à la descente et à la remontée.

Les écoulements présentés par l'illustration 28 peuvent être décrits ainsi :

- 1- Effets de capacité de puits prépondérants, jusqu'à 4-5 min,
- 2- De 4-5 à 25-30 min. Pente de 0.45, caractéristique d'un écoulement bilinéaire : écoulement dans une discontinuité subverticale à verticale (faille), ou bien léger effet double porosité (phase transitoire où la matrice contribue à l'écoulement mais le régime pseudo-permanent entre le réseau de fissures et la matrice n'est pas encore atteint). Type d'écoulement plutôt faible et de courte durée. L'hypothèse de la double porosité reste la plus probable (Cf. interprétation au forage 1177ZZ0177/PZ2).
- 3- Plateau de la dérivée indiquant un écoulement pseudo-permanent (écoulement radial autour du puits) ; de 25-30 à 120 min environ. Ce régime décrit un écoulement pseudo-radial autour du puits. Il provient soit d'un état pseudo-permanent atteint entre les fissures et la matrice dans le cas du modèle double porosité, soit de la réponse homogène du système dans le cas du « modèle discontinuité verticale très perméable ».

La valeur du plateau permet d'estimer la **transmissivité** du milieu à **$5.3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** .

- 4- De 120 à 960 min : chute de la dérivée, écoulement caractéristique d'un effet de drainance
- 5- Après 960 min : ininterprétable par la méthode des dérivées

Le comportement hydraulique du pompage au forage 1177ZZ0176/PZ1 est caractéristique d'un **puits situé dans un milieu fissuré au comportement double porosité. L'aquifère est surmonté d'une éponte semi-perméable qui provoque des effets de drainance.**

La solution analytique choisie pour l'interprétation du test est celle de Hantush & Jacob : puits complet dans un aquifère homogène et isotrope avec effet de drainance.

- **Modélisation de l'essai : estimation des paramètres hydrodynamiques**

Les essais ont été interprétés à l'aide du logiciel ISAPE (Interprétation Semi Automatique des Pompages d'Essai), développé par le BRGM. Celui-ci propose plusieurs solutions analytiques d'interprétation en fonction du contexte hydrogéologique de la zone d'étude et du type d'ouvrage étudié. Le logiciel reconstitue l'évolution théorique des niveaux piézométriques calculés à partir des paramètres hydrodynamiques définis par l'opérateur. Le calage permet de déterminer les valeurs de transmissivité (T) et d'emmagasinement (S), paramètres caractéristiques de la nappe étudiée. Les pertes de charges et l'effet de capacité du puits ont aussi été pris en compte (cf. Illustration 29).

La simulation est de bonne qualité aussi bien pour les rabattements que pour les dérivées (cf. Illustration 30 et Illustration 31). Elle a permis d'estimer la transmissivité

de l'aquifère et de l'éponte semi-perméable, la valeur de l'emmagasinement utilisée ici (donc au puits) n'étant qu'une valeur de calage.

Interprétation	Hantush et Jacob	
Pertes de charge:	101919	s^2/m^5
Capacité	115	mm
S	2.2	(indicatif)
T	$5.3 \cdot 10^{-4}$	m^2/s
Eponte		
e	1.0	m
K	$3 \cdot 10^{-5}$	m/s

Illustration 29 : Récapitulatif des paramètres de simulation au puits de pompage 1177ZZ0176/PZ1 ; diamètre de l'ouvrage 115 mm.

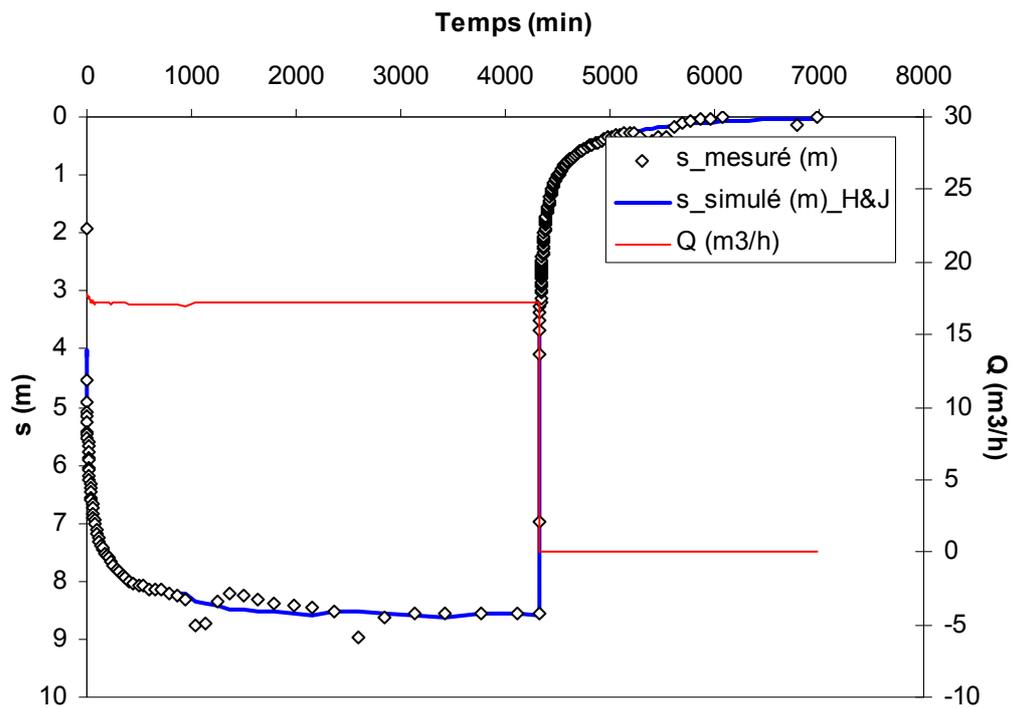


Illustration 30 : Rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0176/PZ1 au cours du pompage d'essai longue durée.

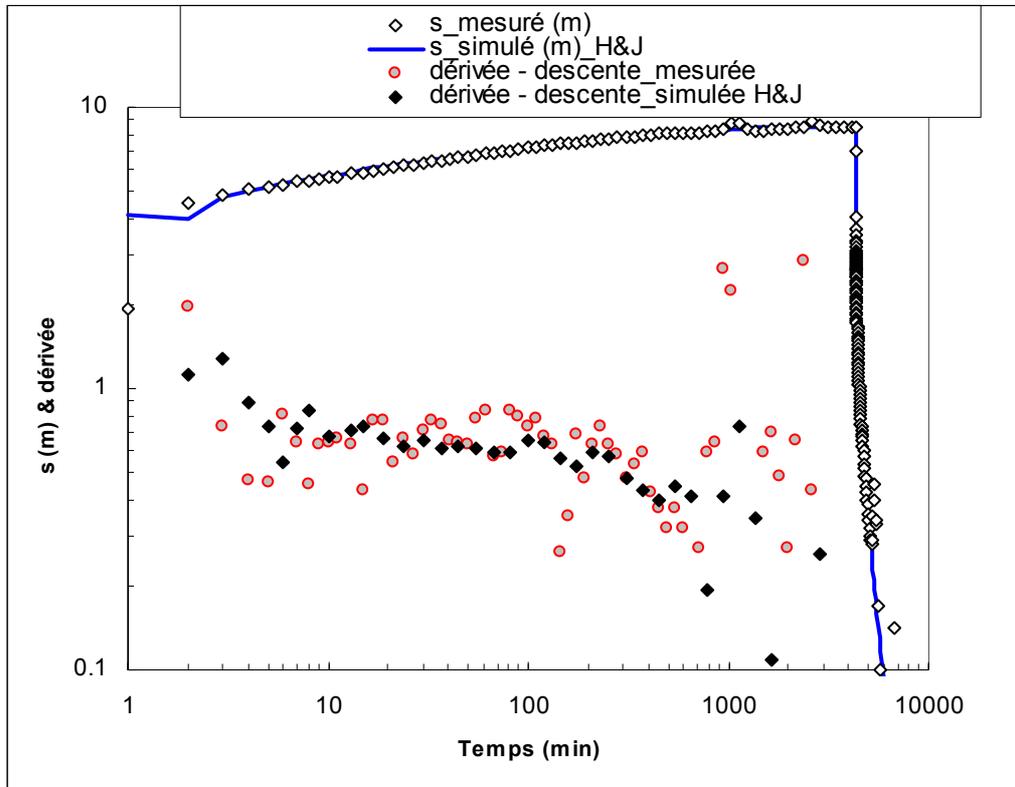


Illustration 31 : Rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0176/PZ1 et leurs dérivées correspondantes, issus du pompage d'essai longue durée

➤ **Interprétation des rabattements observés au 1177ZZ0177/PZ2**

Les perturbations observées au puits de pompage (1177ZZ0176/PZ1) ne sont pas observées dans les mesures réalisées sur le 1177ZZ0177/PZ2. Par contre, et en particulier sur la remontée, on observe des effets de marées barométriques. L'observation des rabattements a été réalisée durant toute la phase de pompage et jusqu'à 6200 min après l'arrêt de celui-ci.

- **Analyse de la courbe des dérivées et élaboration d'un modèle conceptuel de l'aquifère pompé**

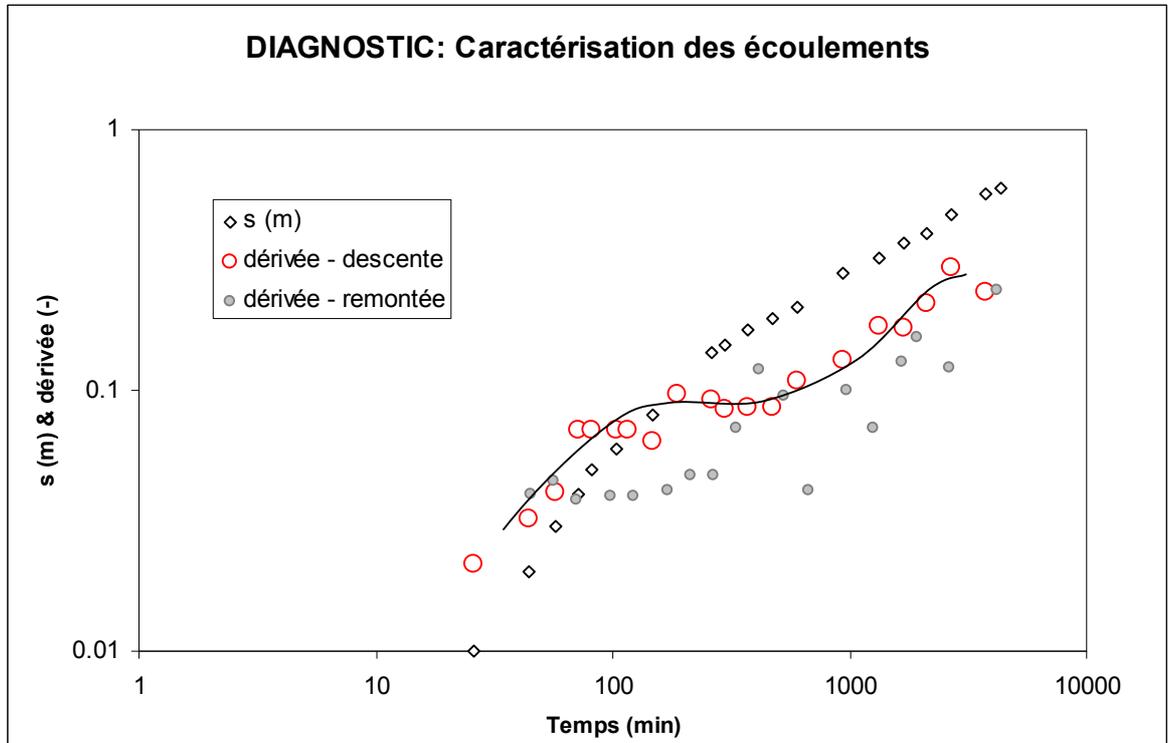


Illustration 32 : Rabattement et dérivées collectés sur 1177ZZ0177/PZ2 (dérivées à la descente et à la remontée).

Un léger 'U' de la dérivée lors de la descente laisse entrevoir un comportement en double porosité et a permis de choisir le modèle pour interpréter le test.

- **Modélisation de l'essai : estimation des paramètres hydrodynamiques**

La simulation a été réalisée au moyen du logiciel WTFM (Well Test in Fractured Media, Lods et al., 2004). Le modèle choisi prend en compte une double porosité et des flux transitoires dans la matrice. Les résultats sont présentés dans l'illustration 33 ci-dessous.

La simulation est de bonne qualité aussi bien pour les rabattements que pour les dérivées. Elle a permis d'estimer la transmissivité de l'aquifère (quasi identique à celle du puits), les paramètres de la seconde porosité (matrice) ainsi que le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère. Ces résultats sont présentés dans l'illustration 34.

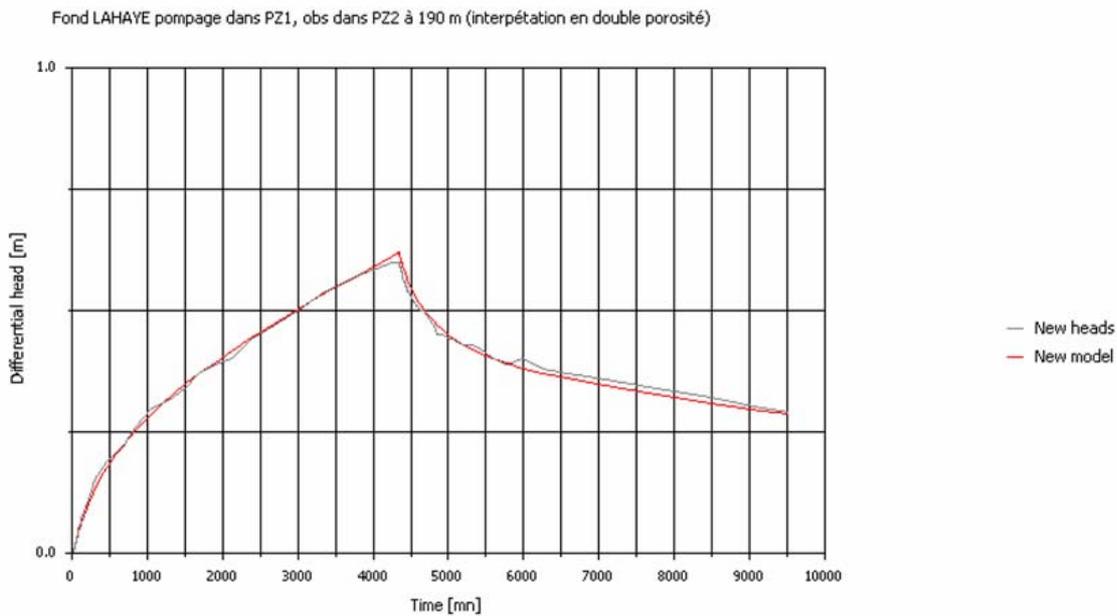
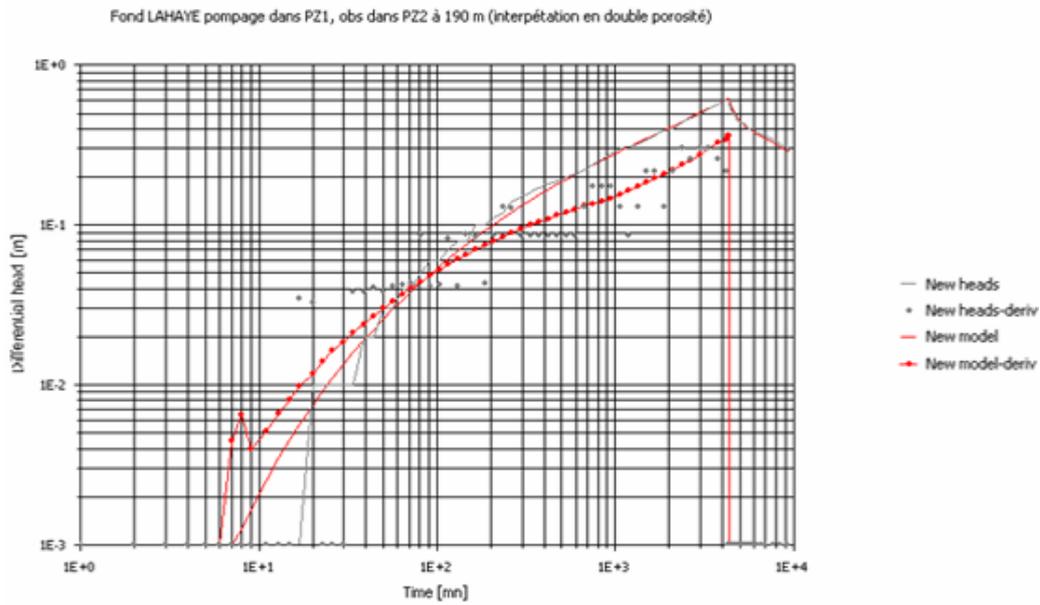


Illustration 33 : Rabattements observés et simulés sur 1177ZZ0177/PZ2, en échelle arithmétique et log-log

Paramètre aquifère dans WTFM	Pour le réseau de fissures	Pour la matrice
T	$5.3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$2.9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
S	1.10^{-6}	6.10^{-3}

Illustration 34 : Paramètres hydrodynamiques de la nappe aquifère estimés au moyen du logiciel WTFM

Les deux puits sont a priori implantés dans une formation au comportement de double porosité. Dans une partie de cet aquifère, vers 1177ZZ0176/PZ1, l'aquifère semble surmonté par une formation peu perméable mais capacitive (éponte). Cette dernière n'a pas été détecté au niveau de 1177ZZ0177/PZ2 mais l'hypothèse de son existence à ce niveau est envisageable (la durée du pompage sur 1177ZZ0176/PZ1 n'aurait pas été suffisante pour solliciter l'éponte, l'effet de double porosité aurait donc été prépondérant).

4.3 FORAGE 1177ZZ0161/FLF1

4.3.1 Réinterprétation du pompage d'essai réalisé en 1988

Le forage 1177ZZ0161/FLF1 a fait l'objet d'un pompage d'essai de 27 heures (1615 minutes) à un débit de $42 \text{ m}^3/\text{h}$ en 1988. Les données acquises à l'époque ont été réinterprétées afin de caractériser au mieux le comportement hydrodynamique de l'aquifère. Les valeurs brutes sont présentées en Annexe 12.

L'illustration 35 représente le rabattement mesuré dans le forage en fonction du temps (en minutes) représenté sur une échelle logarithmique. Les deux droites résultantes en semi-log sont remarquables. Elles présentent toutes deux la même pente et donnent donc la même transmissivité :

- De 7 à 116 minutes : $T = 5.57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
- Après 577 minutes : $T = 5.57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

L'illustration 36 représente les rabattements normalisés, corrigés grâce à une fonction de superposition afin de tenir compte des changements de débits, et donc de s'en affranchir, aussi bien en phase de descente qu'en phase de remontée. Cette illustration montre que les dérivées en pompage et en remontée sont quasi symétriques.

Ces résultats prouvent que l'ouvrage et les tests ont été réalisés correctement et que l'ouvrage n'a a priori pas souffert durant le pompage (pas de débouillage significatif, pas de problème d'infiltration des eaux pompées...) et que l'aquifère réagit de façon similaire durant les deux phases (pompage et remontée).

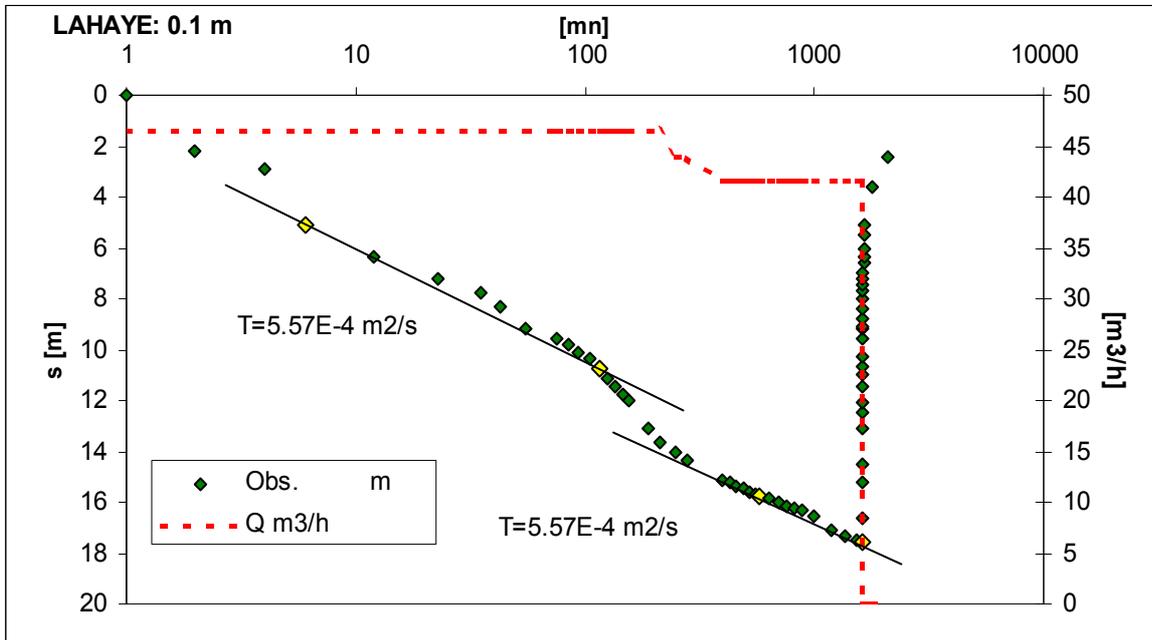


Illustration 35 : Données brutes des rabattements et débits mesurés en fonction du temps, $s=f(t)$, $Q=f(t)$

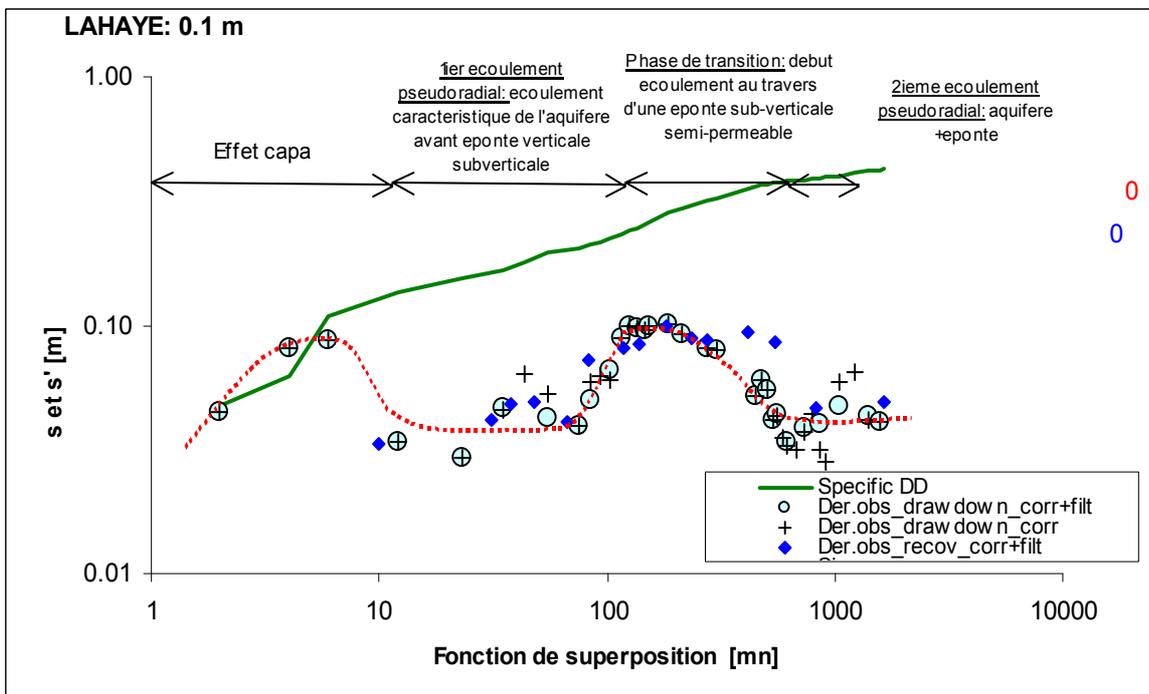


Illustration 36 : Dérivées de rabattements en phase de pompage (croix : valeurs non filtrées, ronds bleu ciel : valeurs filtrées) et en phase de récupération (losanges bleu, remontée des s , valeurs non filtrées)

L'illustration 36 permet de distinguer 4 phases successives :

1. la première phase est marquée par les effets de capacité du forage (L'effet de capacité est l'écart entre l'évolution du rabattement déterminé par pompage dans un forage idéal dont le diamètre serait négligeable, et le rabattement observé dans un forage réel dont le diamètre – et par conséquent le volume d'eau contenu dans l'ouvrage – n'est pas négligeable : c'est un effet de retard des rabattements dont la durée dépend des dimensions du puits et des paramètres de l'aquifère).
2. La seconde phase correspond à un premier écoulement de type pseudo-radial : la pente nulle de la droite en log-log implique que l'écoulement est pseudo-radial. En milieu fracturé, ceci implique qu'une ou des structures orthogonales au puits soient responsables de l'écoulement, c'est à dire qu'**une ou des discontinuités subhorizontales soient responsables de l'écoulement.**
3. La troisième phase est marquée par une montée brusque de la dérivée (comme si on atteignait une limite étanche sub-verticale) puis une descente correspondant à une phase de transition avec la prochaine phase (comme si cette limite donnait de l'eau). **Cette limite sub-verticale serait donc semi-étanche.**
4. La quatrième phase correspond à un deuxième écoulement pseudo-radial, dont la valeur de l'intercept est quasi identique au premier. L'écoulement serait provoqué principalement par les discontinuités subhorizontales et peut être aussi par l'éponte semi-perméable.

Ainsi le forage serait implanté à proximité d'une discontinuité subverticale partiellement perméable (par exemple une faille argilisée), et recouperait des structures perméables subhorizontales assurant son débit de pompage.

Le forage étant resté non fermé pendant une vingtaine d'années, un passage caméra a été réalisé début 2006 afin de connaître l'état du puits. La caméra a permis de montrer que le forage était bouché vers 20 m de profondeur. Un débouchage et nettoyage du forage ont alors été programmés, ils ont été réalisés début juin 2006. Le compte rendu de ce débouchage est présenté en Annexe 13.

4.3.2 Micromoulinet

Deux micromoulinets ont été réalisés le 29/09/2007, au débit de 10 m³/h puis au débit de 20 m³/h et sont présentés sur l'illustration 37.

Les valeurs de débit calculées, en particulier les premières mesures réalisées sous la pompe, sont cohérentes avec les valeurs de débits appliqués durant les essais. Les différences de nombre de mesure entre les deux essais sont fonction du débit de pompage : la zone d'observation plus étendue au débit le plus fort (3 m de plus) provient de la sensibilité du micro-moulinet utilisé ; celui-ci ne génère une impulsion que lorsqu'un débit minimal est atteint dans le puits (débit minimal atteint plus rapidement dans le cas 10 m³/h).

Plusieurs zones ont été mises en évidence sur l'illustration 37:

- de 18 à 20 m : zone sèche
- de 20 à 25 m : zone productive représentant approximativement 31% du débit
- de 25 à 30 m : zone sèche
- de 30 à 41 m : zone productive représentant approximativement 69% du débit
- de 41 à 46 m (fin du forage) : zone sèche

On remarque donc que le forage a recoupé deux zones productives, une située de 20 à 25 m de profondeur et l'autre de 30 à 41 m de profondeur.

Un artefact est observé au début de l'essai à 10 m³/h. Il peut provenir d'un blocage de l'hélice, d'un écoulement turbulent, d'un niveau piézométrique non-stabilisé ou d'une variation du débit (non constant) pendant les mesures (en l'occurrence une augmentation du débit).

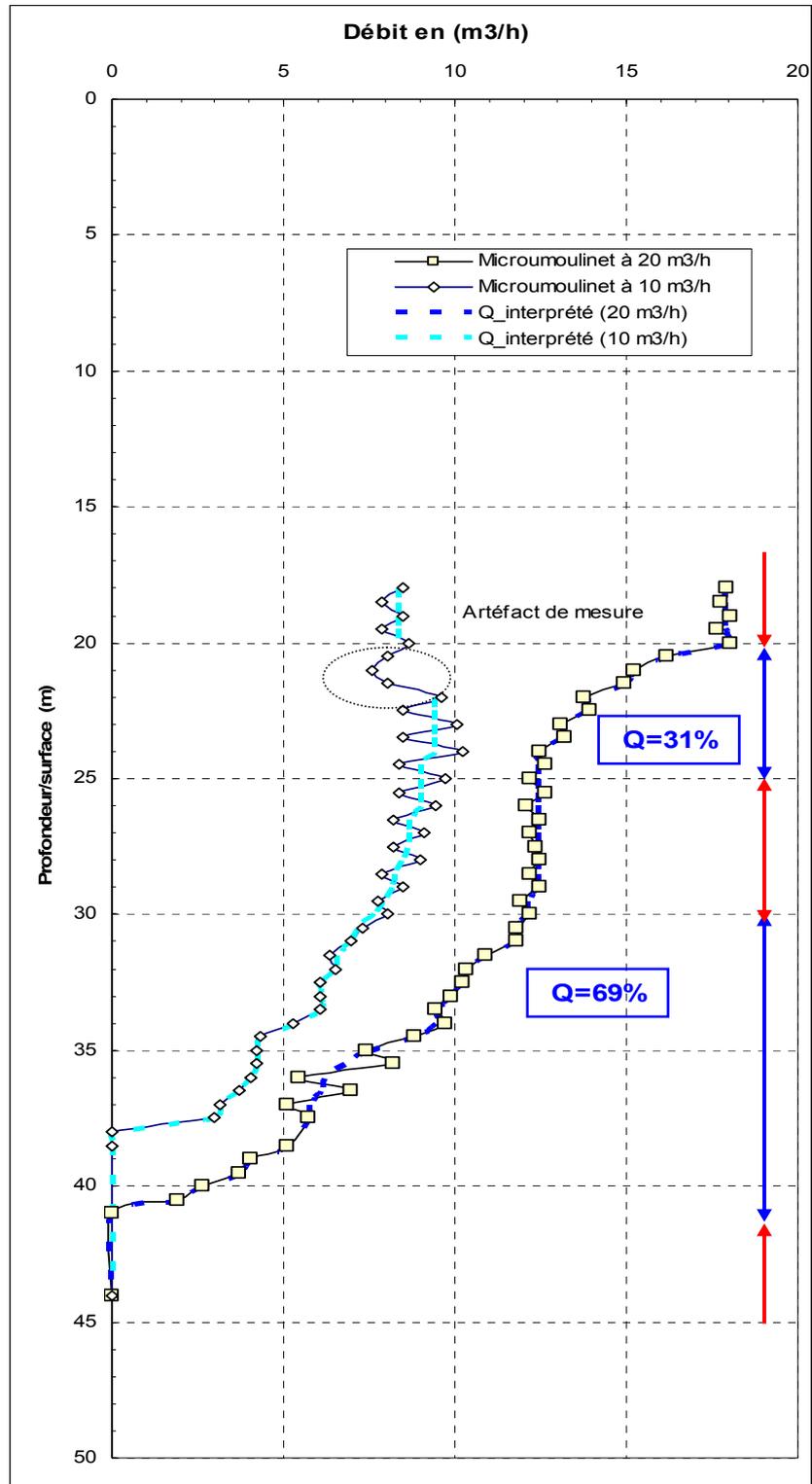


Illustration 37 : Passage au micromoulinet au forage 1177ZZ0161/FLF1 (les flèches bleues correspondent aux zones productives)

4.3.3 Pompage d'essai par paliers de débit

➤ Essai de puits du 20/07/2007

Un 1^{er} pompage d'essai par paliers de débit a été réalisé le 20/07/2007 au forage 1177ZZ0161/FLF1.

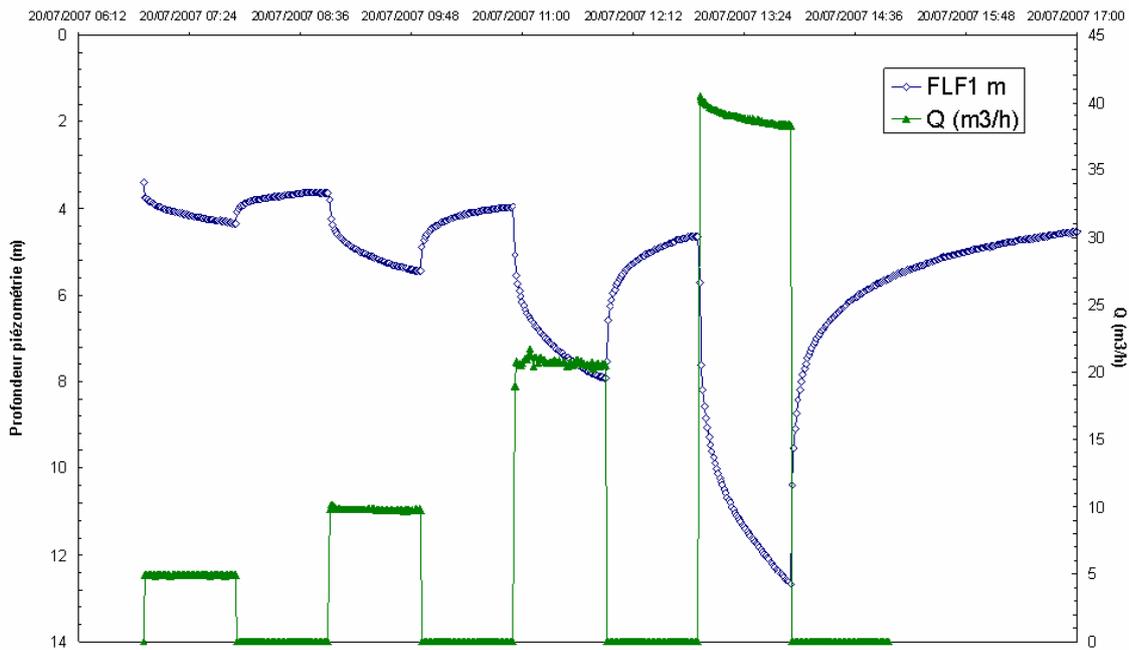


Illustration 38 : Pompage d'essai par paliers de débits au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé en juillet 2007

Le niveau piézométrique initial avant l'essai est de 3.37 m. Les mesures de profondeur du niveau piézométrique et du débit ont été réalisées automatiquement (pas de temps de mesure : 1 min). L'essai a consisté en 4 paliers d'une heure à 4.9, 9.8, 20.7 et 38.9 m³/h. Le test a été réalisé de la façon suivante :

1) Pompage de 1 heure

2) Arrêt d'une heure entre chaque phase de pompage (donc remontée des rabattements). Le niveau piézométrique initial n'a pas été complètement retrouvé entre chaque phase de pompage; ceci peut laisser présager une légère surestimation des pertes de charges au puits (pertes de charges quadratiques).

	Paliers de débits (m ³ /h)	Temps de pompage (minutes)	Temps de remontée (minutes)	Rabattement final (m)
FLF1	4,9	60	60	0.98
	9,8	60	60	2.08
	20,7	60	60	4.54
	38,9	60	60	9.29

Illustration 39 : Caractéristiques des pompages d'essai par paliers de débit au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisés en juillet 2007

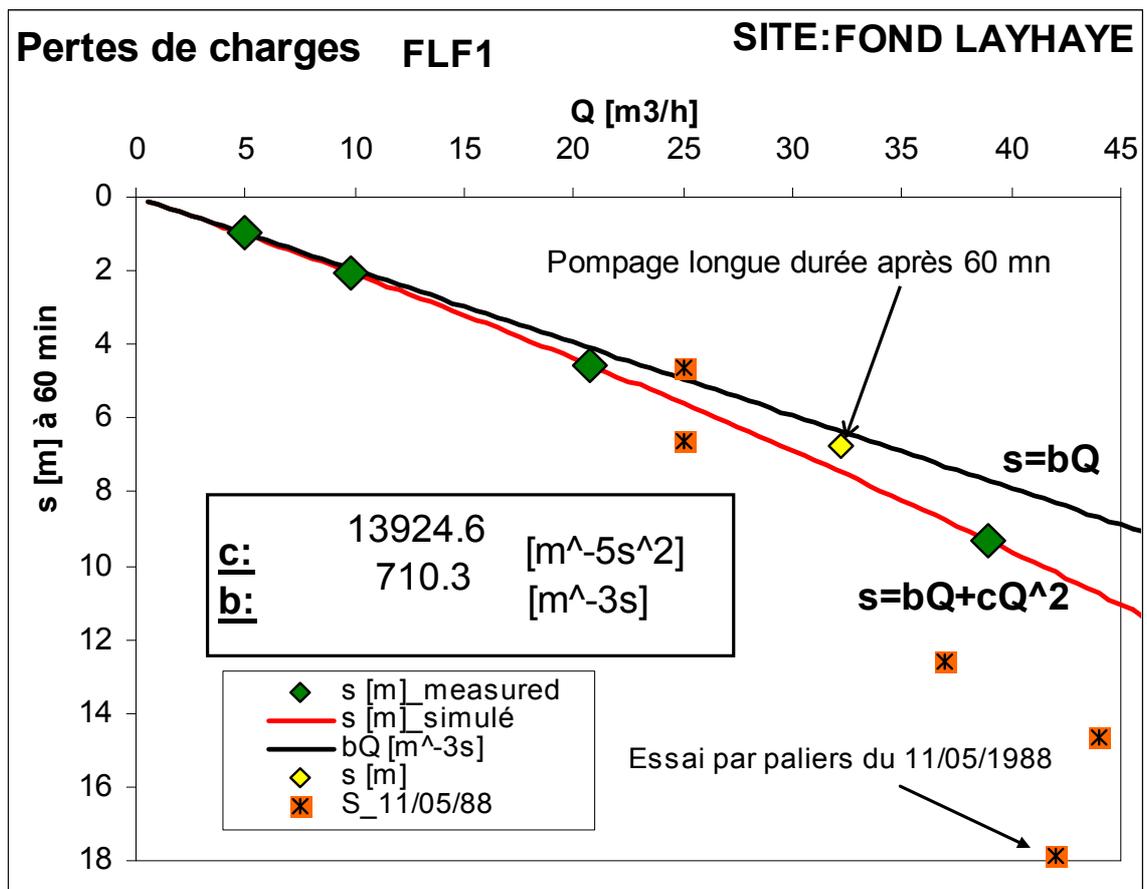


Illustration 40 : Interprétation de l'essai par paliers de débit, forage 1177ZZ0161/FLF1

Les pertes de charges ont été estimées suivant la méthode de Jacob : $s=BQ+CQ^2$ (B coefficient de pertes de charges linéaires (liées à l'aquifère), C coefficient de pertes de charges quadratiques (liées au puits), s le rabattement et Q le débit).

L'interprétation de cet essai (cf. Illustration 40) permet d'estimer les coefficients B & C :

- ✓ $B=710 \text{ m}^{-3}\text{s}$
- ✓ $C=13925 \text{ m}^{-5}\text{s}^2$

Aux données de cet essai a été rajoutée la valeur du rabattement à 60 min durant le pompage de longue durée ($Q=32.2 \text{ m}^3/\text{h}$, $s=6.73 \text{ m}$). Le point est situé légèrement au-dessus de la courbe $s=BQ+CQ^2$, probablement dû au fait que le niveau piézométrique initial n'a pas été ré-atteint entre chaque phase de pompage. Aucun débouillage ou colmatage n'a été observé durant cet essai.

A titre indicatif, sont représentés sur l'illustration 40 les données de l'essai par paliers réalisé en 1988. Les coefficients avaient été estimés à $B=446 \text{ m}^{-3}\text{s}$ et $C=76000 \text{ m}^{-5}\text{s}^2$. Cet essai a été réalisé de façon enchaînée, c.-à-d. sans phase d'arrêt de pompage, ce qui a probablement conduit à une surestimation des pertes de charges quadratiques (C).

Néanmoins, la forte différence du coefficient C entre 1988 et 2007, d'un facteur 5.5 en faveur de l'essai réalisé en 1988 ($C_{1988}=5.5 \times C_{2007}$), ne peut pas être expliquée par la seule différence de mise en œuvre de l'essai. Ce sont donc, a priori, **les essais au soufflage et les travaux de nettoyage réalisés lors de la réhabilitation de l'ouvrage qui ont développé l'ouvrage**, ce qui a produit une forte diminution du coefficient C.

Le débit critique de l'ouvrage ne semble pas avoir été atteint. La conception de l'ouvrage permettrait ainsi de pomper au moins à $45 \text{ m}^3/\text{h}$ sous réserve de la capacité de la nappe à fournir un tel débit, et sous réserve que les rabattements induits par un pompage de longue durée ne descendent pas en dessous des crépines.

➤ **Essai de puits du 28 au 30/01/2008**

Un 2nd pompage d'essai par paliers de débit a été réalisé, en plusieurs étapes, entre le 28 et le 30/01/2008 (Cf. Illustration 41). Sa chronologie est la suivante :

- un palier d'une heure, le 28/01/2008, à un débit de $4,9 \text{ m}^3/\text{h}$
- une phase de remontée dans la nuit du 28 au 29/01/2008
- un palier d'une heure, le 29/01/2008, à un débit de $10 \text{ m}^3/\text{h}$
- une phase de remontée dans la nuit du 29 au 30/01/2008
- un palier d'une heure, le 30/01/2008, à un débit de $34,6 \text{ m}^3/\text{h}$

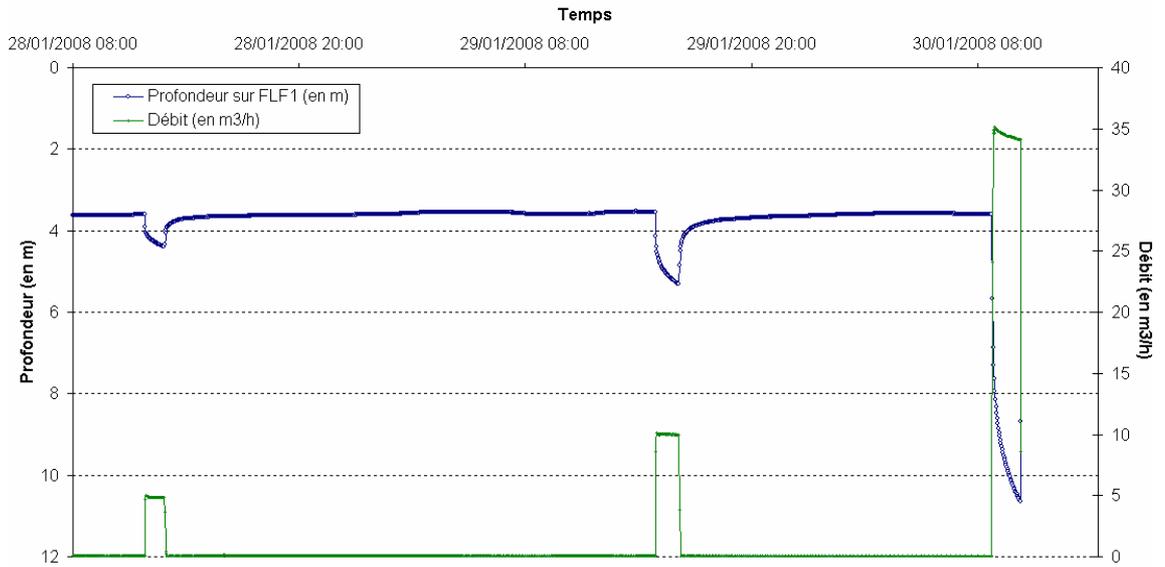


Illustration 41 : Pompage d'essai par paliers de débits au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé en janvier 2008

Ces phases de remontée prononcées ont ainsi permis à la nappe de se retrouver, au début de chaque palier, à son niveau statique de 3,62 mètres de profondeur. Les pertes de charge sont alors estimées avec une meilleure précision. La dernière remontée n'a pas pu être suivie car la pompe devait être démontée du forage 1177ZZ0161/FLF1 pour être installée sur le forage 1177ZZ0178/FLF2.

Le niveau dynamique enregistré durant la 1^{ère} heure du pompage d'essai longue durée de décembre 2007/janvier 2008, à un débit de 20,1 m³/h, a également été utilisé, la profondeur d'eau de départ étant également de 3,62 mètres.

Les mesures sont synthétisées dans l'illustration ci-dessous.

	Paliers de débits (m ³ /h)	Temps de pompage (minutes)	Temps de remontée (heures)	Rabattement final (m)
FLF1	4,9	60	26	0,76
	10	60	17	1,68
	20,1	60		3,42
	34,6	60		6,51

Illustration 42: Caractéristiques des pompages d'essai par paliers de débit au forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisés en janvier 2008

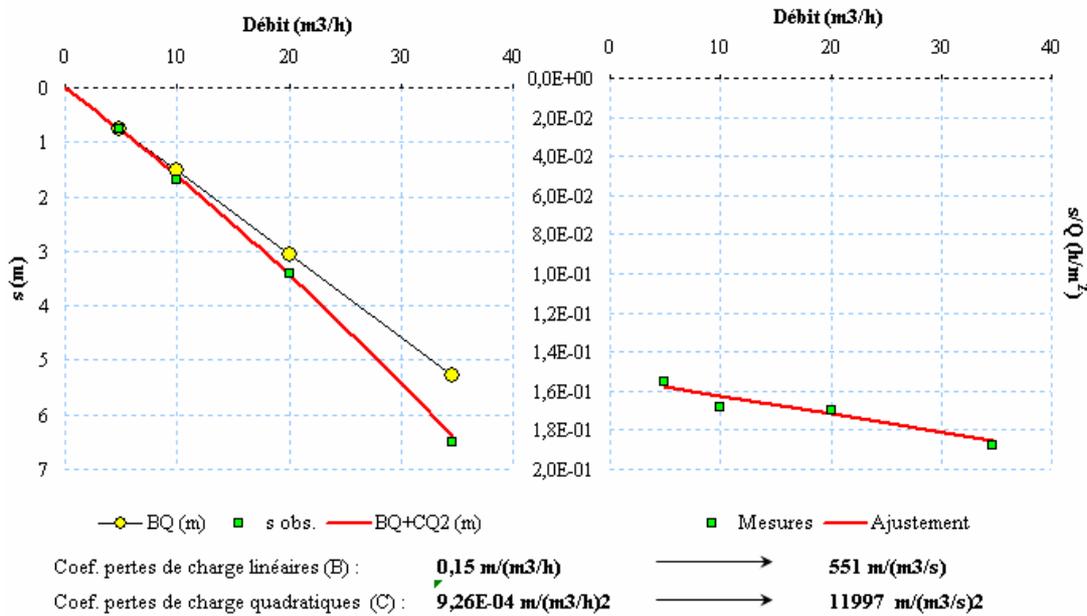


Illustration 43 : Interprétation de l'essai par paliers de débit, forage 1177ZZ0161/FLF1

On constate une légère amélioration des caractéristiques de l'ouvrage, d'après ce 2nd essai de puits. Certes, les pertes de charge quadratiques, caractérisant la qualité intrinsèque de l'ouvrage, n'ont guère évolué. Cependant, les pertes de charges linéaires, correspondant à l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits, ont sensiblement diminué. L'écoulement de l'eau vers le puits semble donc s'être amélioré et les différents pompages aurait donc permis de développer légèrement l'ouvrage.

4.3.4 Pompage d'essai de longue durée sur le forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé du 26/07/2007 au 28/08/2007

Du 26/07/07 au 28/08/07, plusieurs pompages d'essai de durées variables ont été réalisés. La profondeur piézométrique initiale avant cette série d'essais est de 3.82 m. Les mesures de profondeur et de débit ont été réalisées automatiquement (pas de temps de mesure: 2 min). L'illustration 44 ci-dessous présente les données recueillies. On remarque une légère hausse du niveau piézométrique due à la recharge par les pluies.

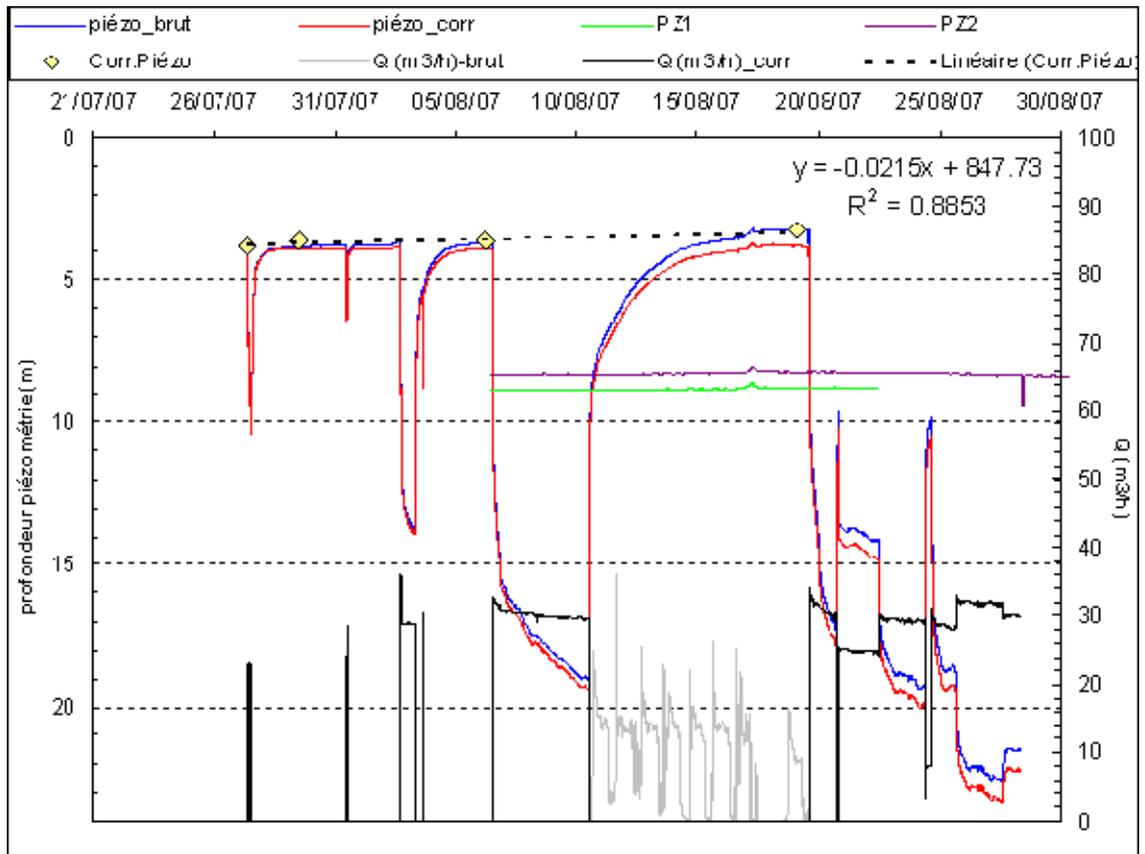


Illustration 44: Pompages longues durées réalisés au forage 1177ZZ0161/FLF1 et suivis sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2

➤ Analyse sommaire et correction des données

Cette série d'essais a été réalisée en début de saison des pluies, donc lors d'un état non-stationnaire de la nappe du point de vue niveau piézométrique ; en effet, ce niveau est monté durant la série d'essais. Ce phénomène est aussi visible sur les puits d'observation 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2; ceux-ci n'ont d'ailleurs pas été influencés par l'essai au 1177ZZ0161/FLF1. Afin de s'abstenir de cette évolution naturelle de la piézométrie, les données ont donc été corrigées de cet effet (cf. droite pointillée et courbe rouge sur l'illustration 44).

Durant cette période, 3 essais majeurs ont été réalisés :

→ Deux à débit quasi constant : du 02 au 03/08/07 (28.5 m³/h environ, arrêté suite à une coupure EDF) et du 06 au 10/08/07 (31 m³/h environ)

→ Un à débit variable : du 19 au 28/08/07 (30, 25, 29 et 32 m³/h) celui-ci a été lancé par la commune suite au passage du cyclone.

Lors de ce dernier essai et durant la phase à 32 m³/h, on note une augmentation rapide des rabattements a priori due au dénoyage partiel de la zone productive située entre 20 et 25 m de profondeur.

Dans le reste de l'étude il ne sera considéré que l'essai à débit quasi constant le plus long, c'est-à-dire celui du 06 au 19/08/07 (pompage à environ 31 m³/h, du 06 au 10/08/07 [4 jours] et observation de la remontée jusqu'au 19/08/07 [8.3 jours]). Seules les données piézométriques corrigées de l'influence de la remontée due à la recharge par les pluies seront considérées pour l'interprétation de l'essai.

Par ailleurs, les données de débit ont parfois dues être corrigées en raison d'un dysfonctionnement de l'appareil (par exemple période du 10 au 19/08/07).

➤ **Diagnostic de l'essai longue durée réalisé du 06 au 10/08/08 sur 1177ZZ0161/FLF1**

DIAGNOSTIC: Identifications des régimes d'écoulement

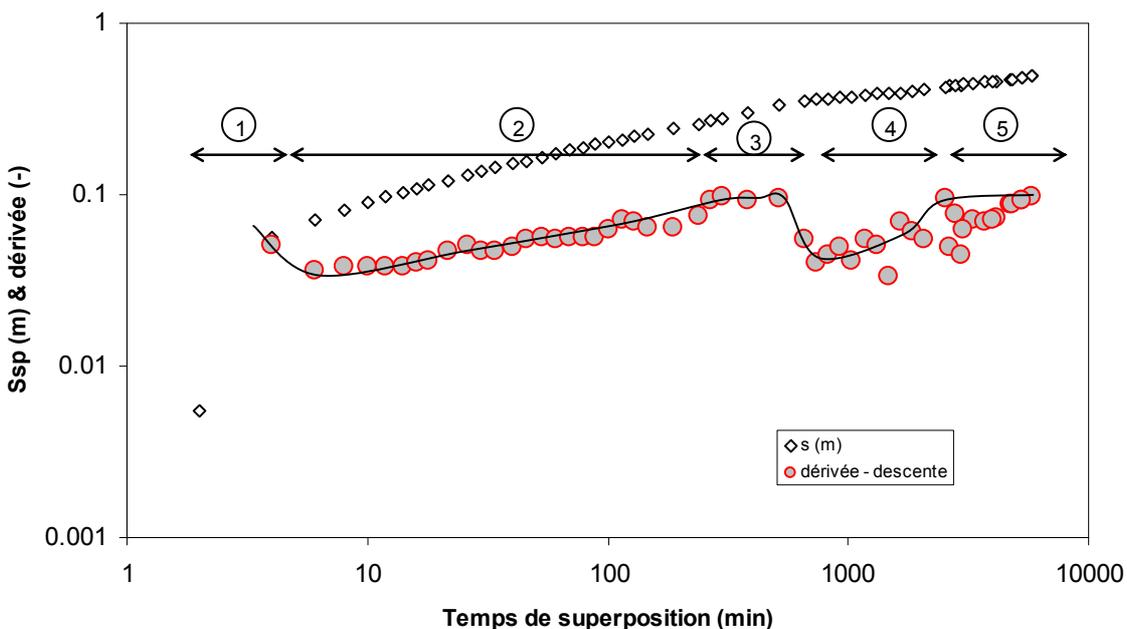


Illustration 45 : Diagnostic de l'essai, identification des régimes d'écoulement. Représentation Log-Log des rabattements spécifiques en fonction du temps de superposition (calculés en fonction des débits et de leur durée).

La courbe type de l'essai (Cf. Illustration 45) permet d'identifier les régimes d'écoulement :

- 1- Des 5 aux 6 premières minutes : effet de capacité du puits

- 2- De 6 à 200 min : faible pente de 0.2, qui peut être due à une anisotropie de la fracturation (pas d'écoulement cylindrique pur, équipotentielle légèrement ovale). ou bien, et le plus probable, au fait que le forage recoupe deux discontinuités perméables (entre 20 à 25 m et 30 à 41 m) aux propriétés sensiblement différentes,
- 3- De 200 à 580 min : plateau de la dérivée indiquant un écoulement pseudo-permanent (écoulement radial autour du puits), il correspond probablement à une 'homogénéisation' de l'écoulement des deux zones productives.

La valeur de ce plateau permet d'estimer la transmissivité du milieu à **$2,5.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** .

- 4- De 580 à 1500 min : chute puis légère augmentation de la dérivée. La chute (de 580 à 650 min) est probablement due à un problème de mesure du débit ou de la piézométrie (diminution du débit suivie d'une augmentation du rabattement). Par contre, l'augmentation légère des dérivées (de 650 à 1500 min) est probablement due à une interférence avec la recharge de la nappe (la correction préalablement réalisée n'ayant surement pas tout corrigé de cet effet).
- 5- De 1500 à 5840 min (fin de l'essai), ré-atteinte du plateau de dérivées initial (valeur identique au premier).

Le diagnostic montre que **l'aquifère est de type homogène, isotrope et infini**, il sera interprété à l'aide de la solution de Theis. Il est à noter qu'aucune limite, étanche ou alimentée, n'a été détectée lors de l'essai.

➤ **Interprétation de l'essai longue durée réalisé du 06 au 10/07/08 sur 1177ZZ0161/FLF1**

L'ensemble de l'essai a été interprété et modélisé à l'aide du Logiciel WinISAPE (BRGM) en tenant compte des variations du débit de pompage, des pertes de charges quadratiques, et de l'effet de capacité de puits. La solution analytique répondant le mieux aux données est celle de Theis (aquifère homogène, isotrope et infini ; cf. §□).

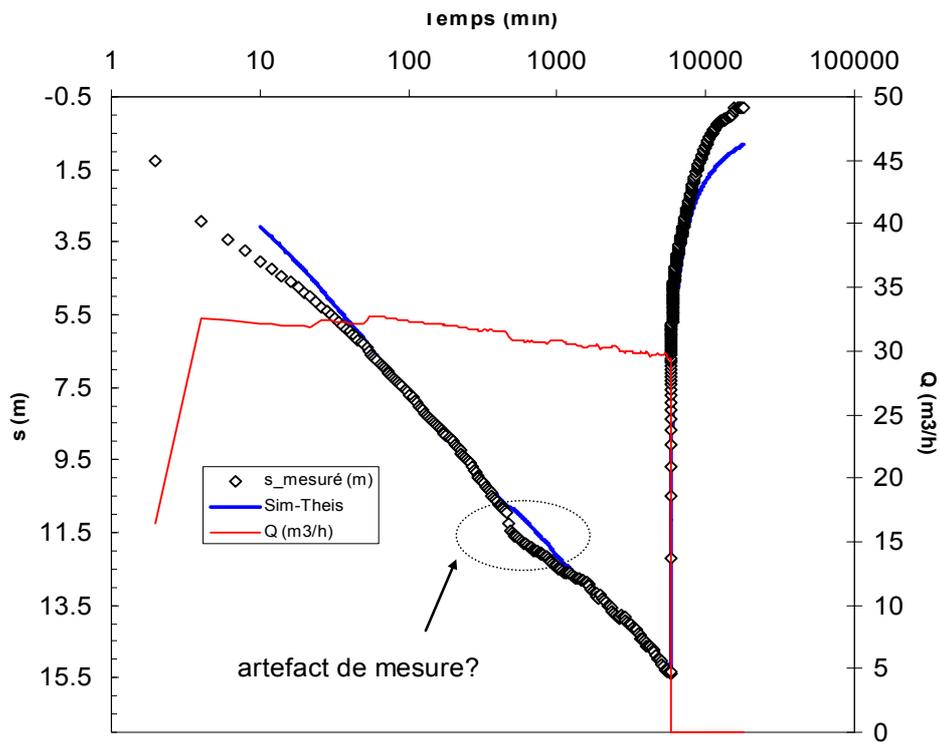


Illustration 46 : Représentation semi-log des rabattements mesurés et simulés et du débit du pompage réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1 du 06 au 19/08/2007

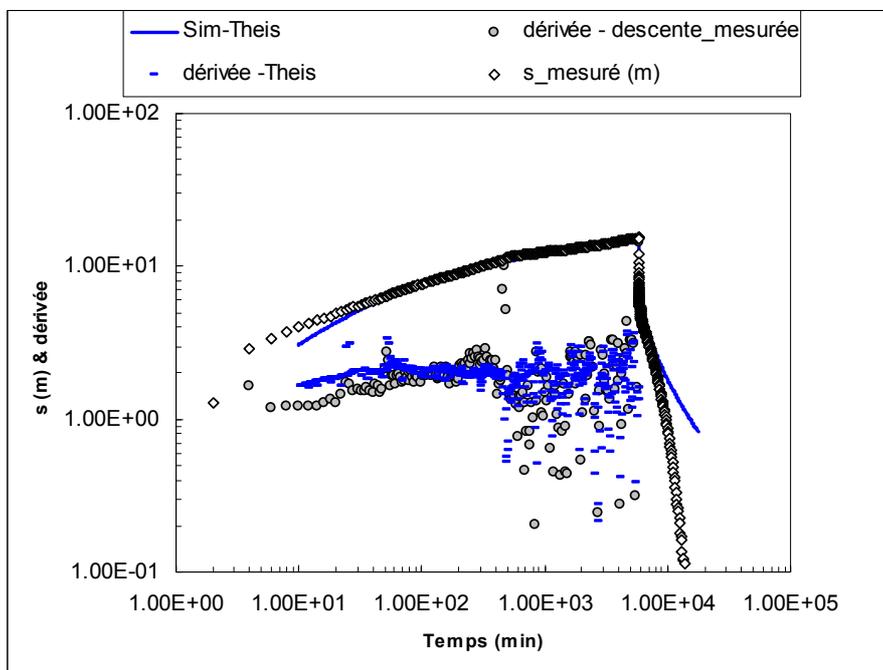


Illustration 47 : Représentation Log-Log des rabattements mesurés et simulés et de leurs dérivées, engendrés par le pompage réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1 du 06 au 19/08/2007

L'interprétation est d'assez bonne qualité et permet d'estimer la transmissivité de l'aquifère, à $T= 3,21.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Le coefficient d'emmagasinement ($S=21$) n'est ici qu'une valeur de calage car déterminée au puits.

Il est à noter que la correction réalisée pour rendre compte de l'augmentation du niveau piézométrique durant l'essai n'a pas permis de tout corriger, et que malgré ces corrections, il y a toujours l'influence de cette remontée. Cela se traduit par exemple par des rabattements négatifs en fin d'observation de la remontée et donc des rabattements simulés inférieurs aux rabattements réels (écart de 1 m environ).

L'ensemble des données acquises grâce à l'interprétation des pompages d'essai va nous permettre d'évaluer les débits exploitables au forage.

4.3.5 Pompage d'essai longue durée sur le forage 1177ZZ0161/FLF1, réalisé du 12/12/2007 au 18/01/2008

Afin de tester les différentes hypothèses présentées dans le chapitre 5.1.2, un second pompage d'essai de longue durée a été réalisé du 12/12/2007 au 18/01/2008. La profondeur piézométrique initiale avant cet essai est de 3.71 m. Les mesures de profondeur et de débit ont été réalisées automatiquement (pas de temps de mesure : 2 min). Deux coupures de courant se sont produites le 25/12/2007 (avec un redémarrage de la pompe à un débit légèrement supérieur) et le 13/01/2008. L'illustration 48 ci-dessous présente les données recueillies.

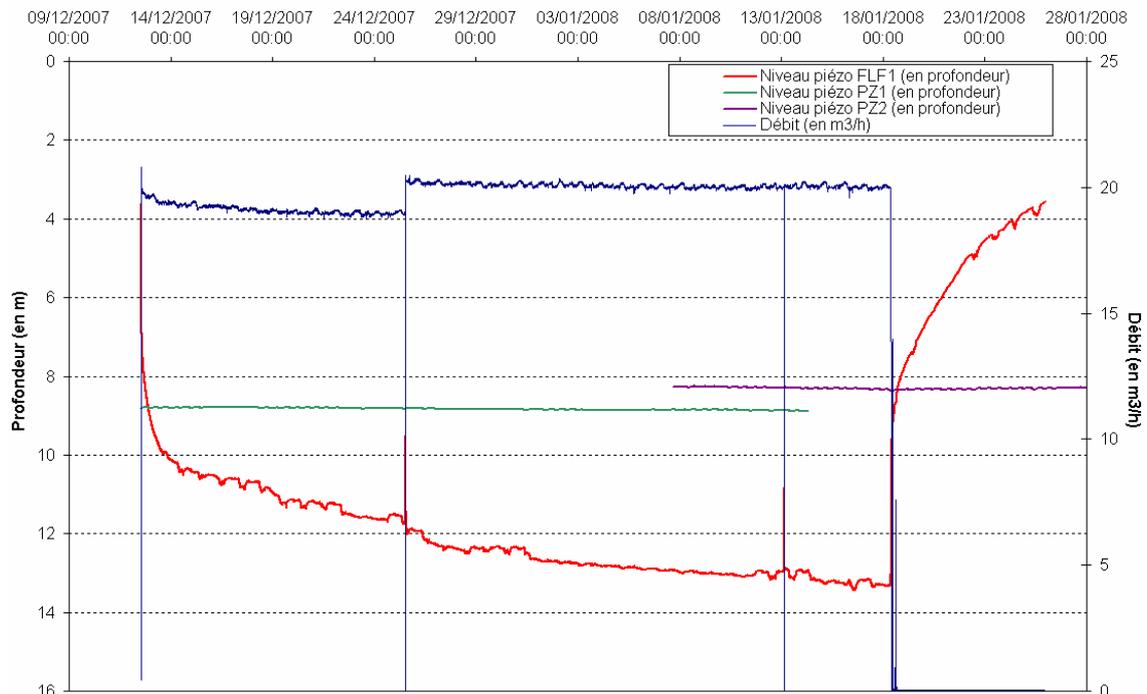


Illustration 48 : Pompage longue durée réalisé au forage 1177ZZ0161/FLF1 en décembre 2007-janvier 2008 et suivi sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2

Cet essai a été réalisé en pleine saison des pluies, donc lors d'un état non-stationnaire de la nappe du point de vue du niveau piézométrique. Le retour, à la fin de la remontée, à un niveau piézométrique supérieur à celui mesuré avant le début du pompage, en est l'illustration.

Le pompage a été suivi au niveau du forage 1177ZZ0176/PZ1 jusqu'au 14/01/2008, date à laquelle son appareil de mesure fut désinstallé à cause du chantier du forage 1177ZZ0178/FLF2. Il a également été suivi sur le forage 1177ZZ0177/PZ2 à partir du 07/01/2008. Comme pour le pompage d'essai réalisé en juillet-août 2007, **aucune influence du pompage d'essai sur le 1177ZZ0161/FLF1 n'a été enregistrée au niveau des deux piézomètres.**

L'ensemble de l'essai a été interprété et modélisé à l'aide du Logiciel WinISAPE (BRGM) en tenant compte des variations du débit de pompage, des pertes de charges quadratiques, et de l'effet de capacité de puits. La solution analytique répondant le mieux aux données est celle de Theis (aquifère homogène, isotrope et infini).

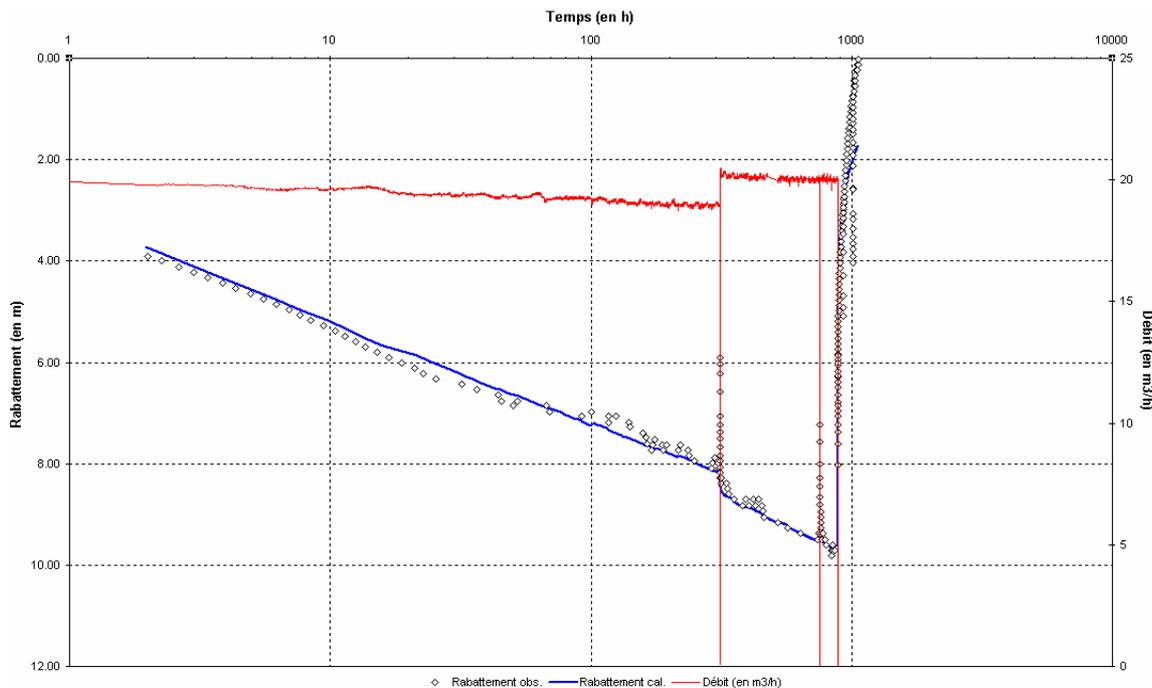


Illustration 49 : Représentation semi-log des rabattements mesurés et simulés et du débit du pompage réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1 du 12/12/2007 au 18/01/2008

L'interprétation, d'assez bonne qualité, permet une nouvelle estimation de la transmissivité de l'aquifère, à $T = 4,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, du même ordre de grandeur que celle estimée suite au pompage d'essai de juillet-août 2007. Là encore, le coefficient d'emmagasinement ($S=25$) n'est qu'une valeur de calage car déterminée au puits.

Comme pour le pompage d'essai précédent, aucune limite (étanche ou alimentée) n'a été détectée.

4.4 FORAGE 1177ZZ0178/FLF2

4.4.1 Pompage d'essai par paliers de débit

Les pompages par paliers de débit ont été réalisés le 1^{er} février 2008. Ils permettent de tester l'ouvrage à différents débits pour ensuite caractériser le comportement hydrodynamique de l'ouvrage, grâce au calcul de deux paramètres : le coefficient de pertes de charge linéaires (b), correspondant à l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits et le coefficient de pertes de charge quadratiques (c), correspondant à l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, crépine et tubage.

Quatre paliers de débit ont été réalisés. Ils ont duré une heure chacun et ont été suivi d'un arrêt de pompage d'une heure :

	Paliers de débits (m ³ /h)	Temps de pompage (minutes)	Temps de remontée (minutes)	Rabattement final (m)
1177ZZ0178/FLF2	9,4	60	60	2,99
	20,7	60	60	8,06
	38,7	60	60	18,13
	30	60	60	12,45

Illustration 50: Caractéristiques des pompages d'essai par paliers de débit au forage 1177ZZ0178/FLF2

L'évolution des rabattements est présentée sur l'illustration 51 ci-dessous.

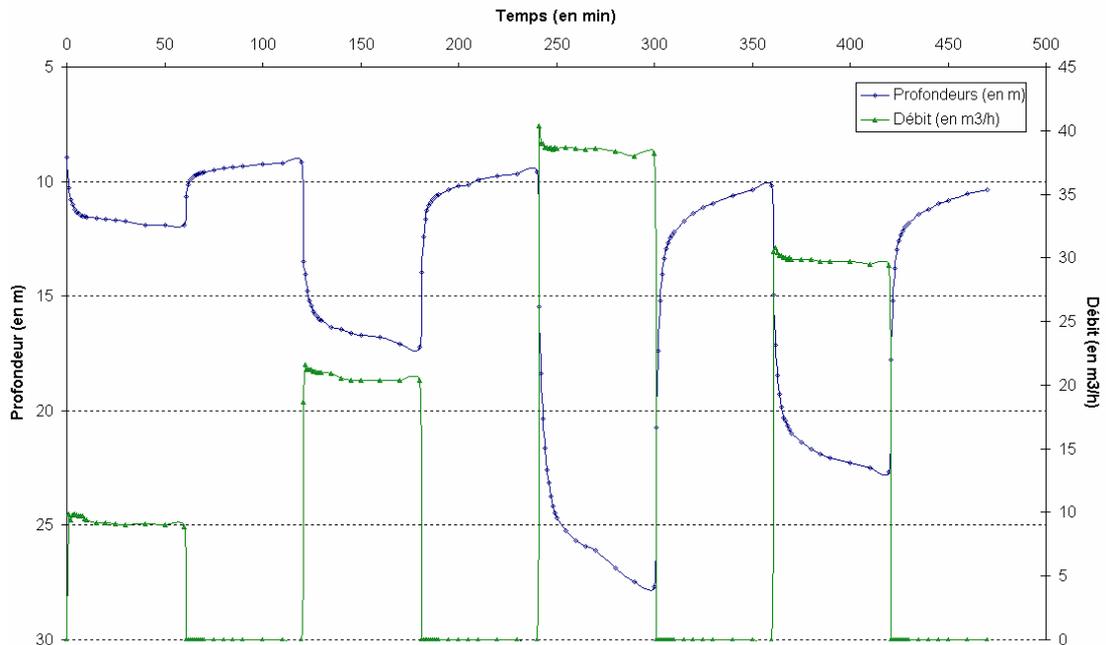


Illustration 51: Pompage par paliers de débits, évolution des rabattements en fonction du temps au 1177ZZ0178/FLF2 (paliers à 9.4, 20.7, 38.7 et 30 m³/h)

Les résultats de ces essais par paliers de débit sont synthétisés dans l'illustration 52 ci-dessous. Les coefficients de pertes de charge ont été ajustés à l'aide du logiciel ISAPE développé par le BRGM.

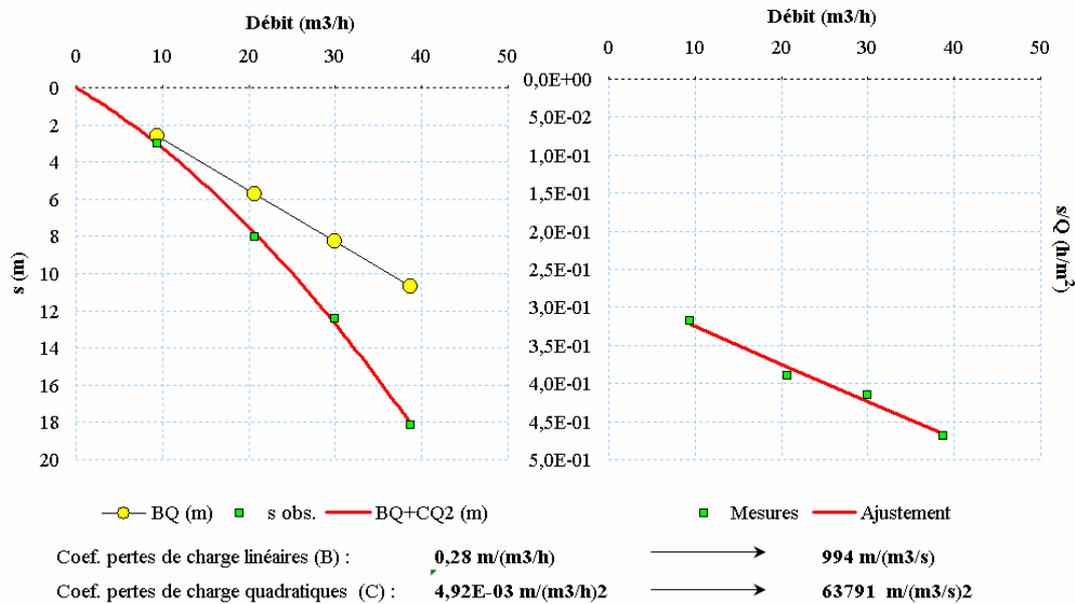


Illustration 52 : Interprétation de l'essai par paliers de débit, forage 1177ZZ0178/FLF2

Les pertes de charges quadratiques importantes peuvent s'expliquer par le caractère juvénile de l'ouvrage. Le pompage d'essai de longue durée de 72 heures correspond au pompage le plus long jamais réalisé sur cet ouvrage. Ses performances devraient s'améliorer avec un pompage constant sur une plus grande période.

Pour mémoire, les pertes de charge quadratique mesurées sur le 1177ZZ0161/FLF1, juste après sa réalisation, était de 76000 s²/m⁵. Elles sont aujourd'hui évaluées à 12000 s²/m⁵, soit 6 fois moins, après un développement et plusieurs pompages d'au moins un mois.

4.4.2 Pompage d'essai de longue durée

Le pompage d'essai longue durée (72h initialement prévue) a été lancé le lundi 4 février à 11h, à un débit moyen de 25 m³/h et a été arrêté le jeudi 7 février à 11h30, juste après les prélèvements réalisés par la DSDS pour les analyses de première adduction (vers 11h). La remontée a ensuite été suivie pendant 72 h.

Les mesures de profondeur et de débit au niveau du 1177ZZ0178/FLF2 ont été réalisées automatiquement (pas de temps de mesure : 1 min). La profondeur de la nappe a également été suivie au niveau du forage 1177ZZ0176/PZ1 (situé à 2 m en aval du 1177ZZ0178/FLF2) au pas de temps de mesure d'une minute et au niveau du forage 1177ZZ0177/PZ2 (situé à 180 m en aval du 1177ZZ0178/FLF2) au pas de temps horaire. **Ces deux forages ont réagi au pompage.**

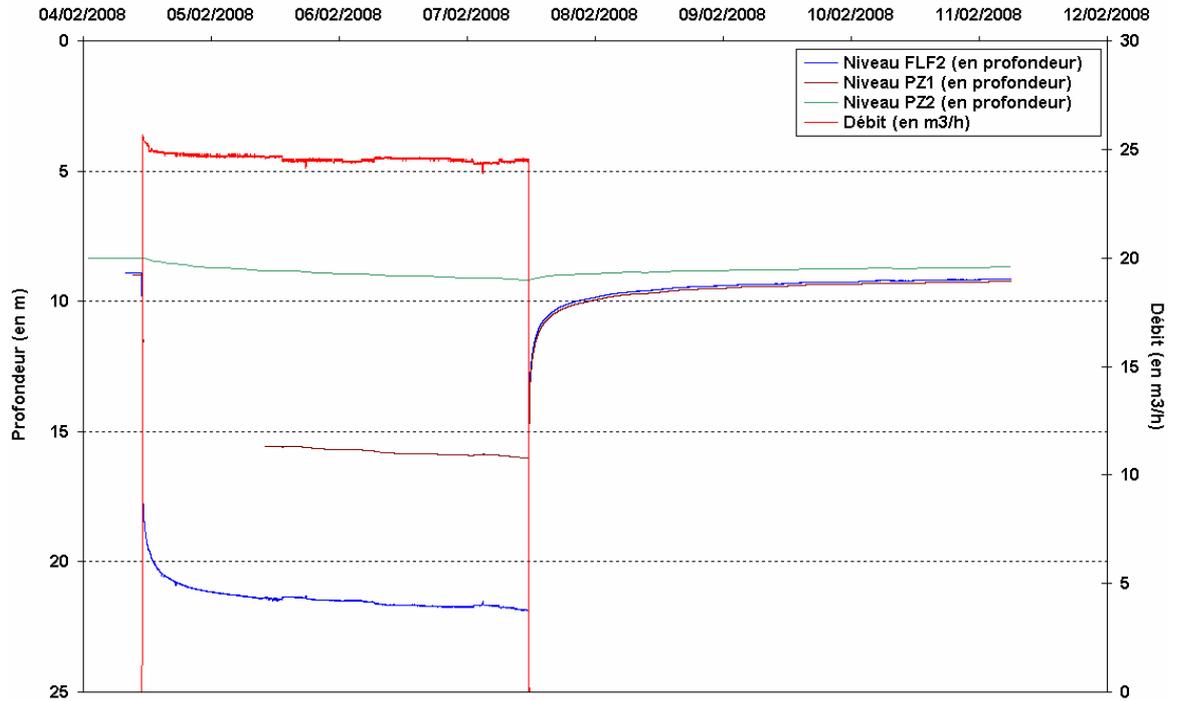


Illustration 53 : Pompage longue durée réalisé au forage 1177ZZ0178/FLF2 et suivi sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2

L'enregistrement au niveau du forage 1177ZZ0176/PZ1 présente des lacunes au début de l'essai, le flotteur de l'appareil de mesure s'étant bloqué, probablement à cause des brusques rabattements initiés par le pompage dès les premières heures.

En toute logique, l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1 a fortement réagi au pompage. Sa courbe de niveau dynamique est parallèle à celle de 1177ZZ0178/FLF2, avec un niveau pour 1177ZZ0176/PZ1 situé en moyenne à 5,8 m au-dessus de celui de 1177ZZ0178/FLF2. Le rabattement maximal atteint au niveau de 1177ZZ0176/PZ1 a été de 7 m environ. A noter que la 1^{ère} réaction de 1177ZZ0176/PZ1 a eu lieu 3 minutes après le début du pompage.

L'ouvrage 1177ZZ0177/PZ2 a également réagi au pompage mais dans une moindre mesure, ce qui est logique du fait de son éloignement du site de pompage (environ 180m). Le rabattement maximal atteint à son niveau a été de 83 cm.

L'illustration 54 ci-dessous présente la courbe schématique de dépression à l'issue de 72 h de pompage sur 1177ZZ0178/FLF2.

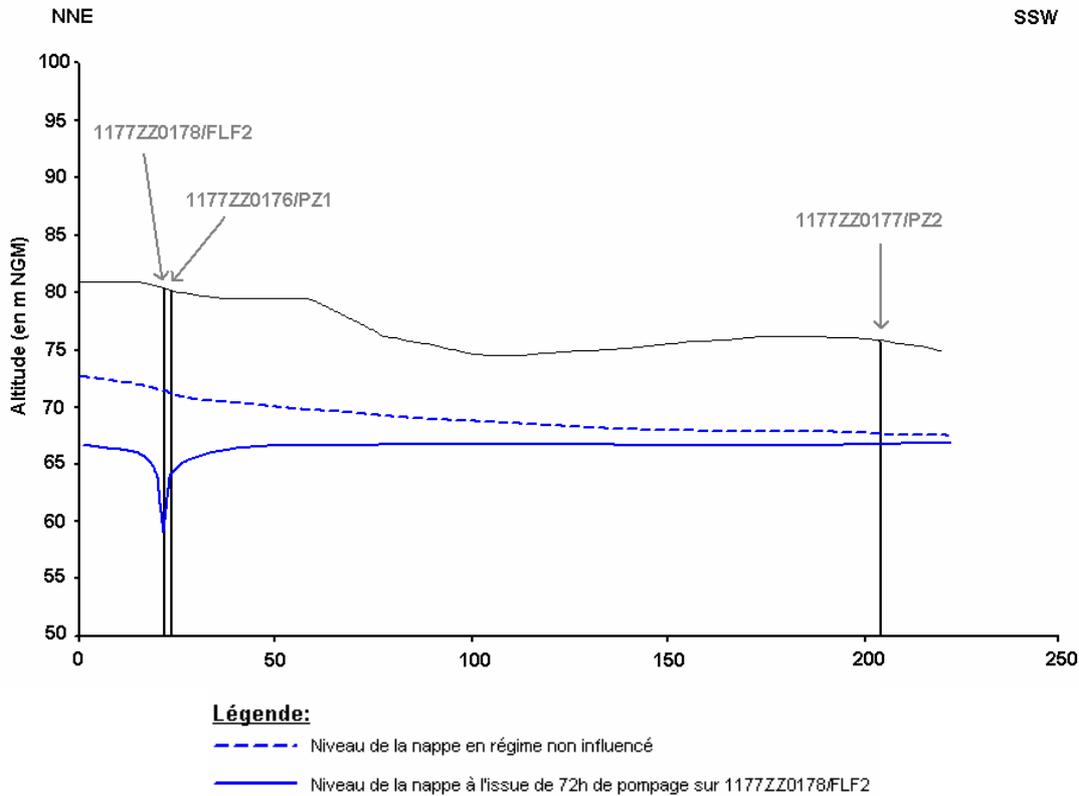


Illustration 54 : Courbe schématique présentant le niveau de la nappe en régime non influencé (permanent) et en régime influencé par le pompage sur 1177ZZ0178/FLF2

L'ensemble de l'essai a été interprété et modélisé à l'aide du Logiciel WinISAPE (BRGM) en tenant compte des variations du débit de pompage, des pertes de charges quadratiques, et de l'effet de capacité de puits.

Comme pour 1177ZZ0176/PZ1, la solution analytique répondant le mieux aux données de pompage est celle de Hantush & Jacob (puits complet dans un aquifère homogène et isotrope avec effet de drainance). Le comportement hydraulique de 1177ZZ0178/FLF2 est similaire à celui de 1177ZZ0176/PZ1 et serait celui d'un **puits situé dans un milieu fissuré au niveau duquel l'aquifère concerné serait surmonté d'une éponte semi-perméable provoquant des effets de drainance.**

- **Modélisation de l'essai : Estimation des paramètres hydrodynamiques au niveau de 1177ZZ0178/FLF2**

Les illustrations ci-dessous présentent les courbes et résultats obtenus, à l'issue du traitement des données, par le logiciel WinISAPE (BRGM), du pompage réalisé sur 1177ZZ0178/FLF2.

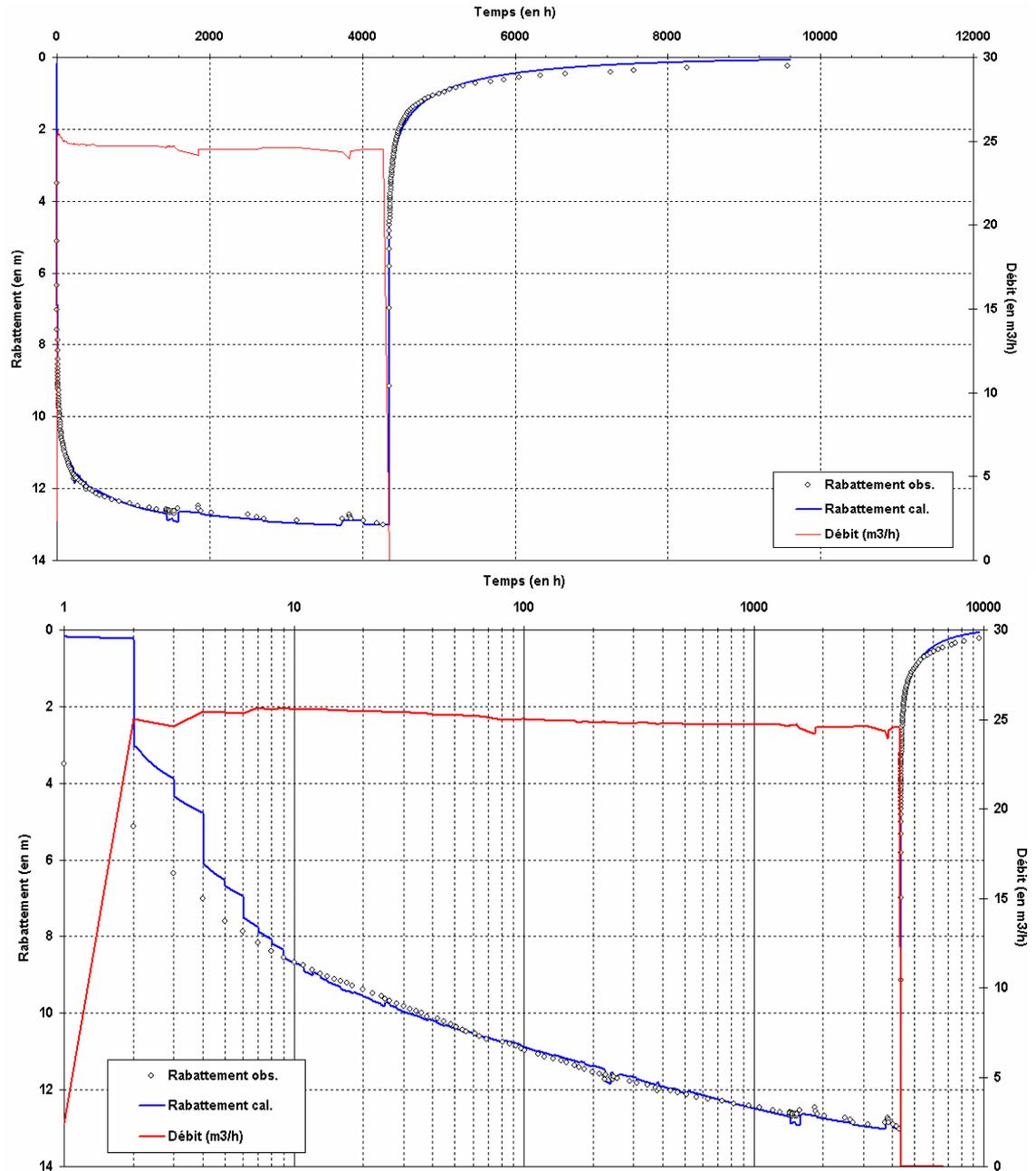


Illustration 55 : Représentations orthonormée et semi-log des rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0178/FLF2 et du débit lors du pompage réalisé sur le 1177ZZ078/FLF2 en février 2008

Interprétation	Hantush et Jacob	
Pertes de charge:	120000	s ² /m ⁵
Capacité	311	mm
S	2.2	(indicatif)
T	6.5 10⁻⁴	m²/s
Eponte		
e	1.0	m
K	10 ⁻⁵	m/s

Illustration 56 : Tableau récapitulatif des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (à l'issue du pompage sur 1177ZZ0178/FLF2)

La simulation, de bonne qualité, a permis d'estimer la transmissivité de l'aquifère et de l'éponte semi-perméable. La valeur de l'emmagasinement utilisée ici (donc au puits) n'a pas de valeur réelle et ne constitue ici qu'une valeur de calage.

- **Interprétation des données enregistrées au niveau de 1177ZZ0176/PZ1**

L'enregistrement des niveaux dynamiques sur l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1, situé à environ 2m de 1177ZZ0178/FLF2, a permis d'estimer à nouveau la transmissivité du milieu et son coefficient d'emmagasinement avec une assez bonne précision.

Là encore, le modèle d'Hantush & Jacob a été utilisé, comme pour l'interprétation du pompage réalisé en juillet 2007 sur 1177ZZ0176/PZ1, et la simulation est d'assez bonne qualité. A noter cependant, la difficulté à caler la courbe de rabattement simulée avec les mesures enregistrées en phase de remontée.

La transmissivité a été estimée à **7.5 10⁻⁴ m²/s** (valeur proche de celle estimée dans le paragraphe précédent) et **le coefficient d'emmagasinement** à **4 10⁻³**, caractéristique d'une **nappe captive**.

La très faible perméabilité de l'éponte, estimée à 10⁻⁷ m/s, valeur 100 fois inférieure à celle déduite des pompages d'essai réalisés sur 1177ZZ0176/PZ1 et sur 1177ZZ0178/FLF2, est à prendre avec réserve.

Enfin, aucune limite à proximité (étanche ou alimentée) n'a été observée durant ce pompage d'essai.

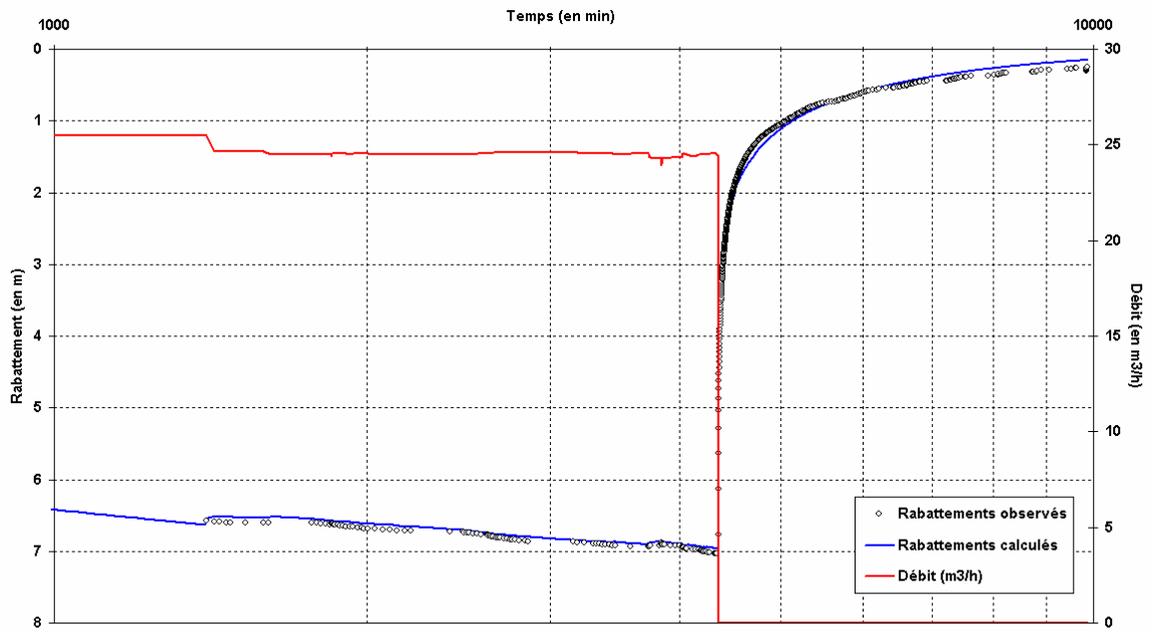
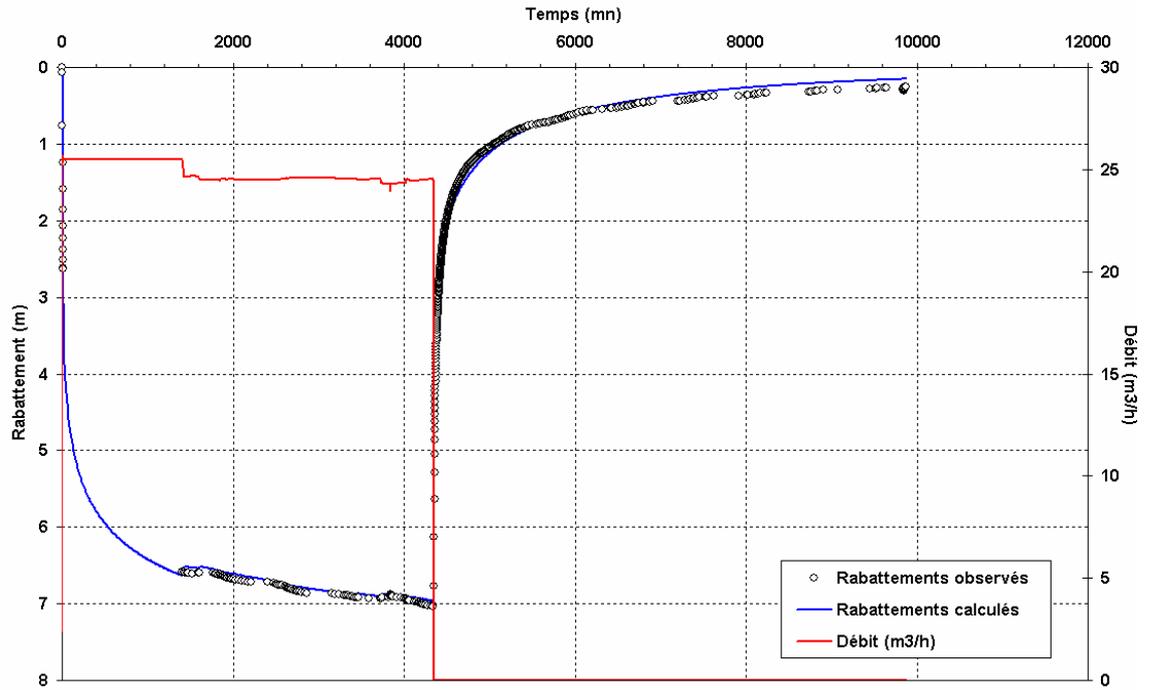


Illustration 57 : Représentations orthonormée et semi-log des rabattements mesurés et simulés sur 1177ZZ0176/PZ1 et du débit lors du pompage réalisé sur le 1177ZZ078/FLF2 en février 2008

- **Interprétation des données enregistrées au niveau de 1177ZZ0177/PZ2**

Tout comme lors du pompage d'essai réalisé sur 1177ZZ0176/PZ1, l'analyse de la courbe des dérivées des rabattement de 1177ZZ0177/PZ2 a permis l'élaboration d'un modèle conceptuel de l'aquifère pompé. L'illustration 58 ci-dessous compare la courbe à l'issue du pompage d'essai réalisé sur 1177ZZ0178/FLF2 (2008) avec celle, présentée précédemment, résultant du pompage d'essai sur 1177ZZ0176/PZ1 (2007). On retrouve encore les effets de marées barométriques, en particulier sur la remontée.

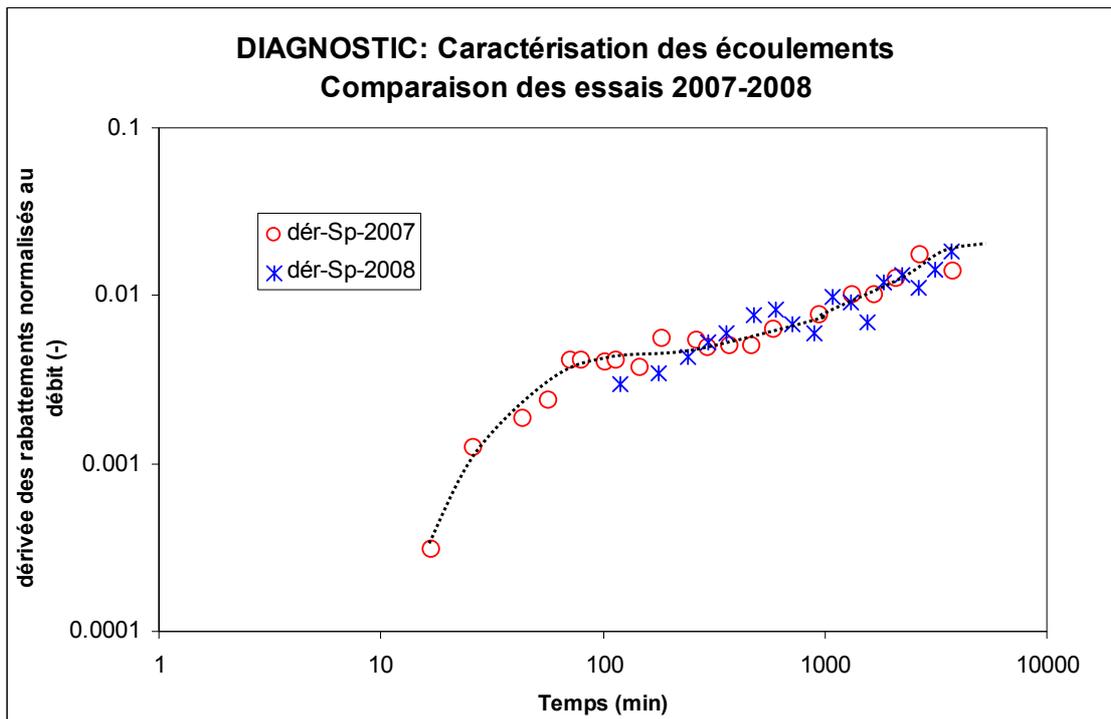


Illustration 58 : Comparaison des rabattement et dérivées collectés sur 1177ZZ0177/PZ2 (dérivées à la descente et à la remontée) lors des pompages d'essai réalisés sur 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0178/FLF2.

Les courbes de dérivées 2007 et 2008 sont superposées. Le même aquifère est bien testé et le test est bien réalisé. Le léger 'U' dans la dérivée est toujours visible. Il confirme l'hypothèse du comportement en double porosité et a donc permis de choisir le modèle pour interpréter le test.

Comme précédemment, l'interprétation au puits d'observation 1177ZZ0177/PZ2 a été réalisée avec le logiciel WTFM, avec des paramètres quasi identiques à ceux utilisés pour le pompage d'essai réalisé sur 1177ZZ0176/PZ1. Seuls T et S sont sensiblement supérieurs : $T_{2007}=5.3^E-4$ m²/s, $T_{2008}=5.8^E-4$ m²/s, $S_{2007}=6^E-3$ et $S_{2008}=7.8^E-3$; les autres paramètres sont restés identiques. Les résultats sont présentés dans les Illustration 59 Illustration 60 ci-dessous.

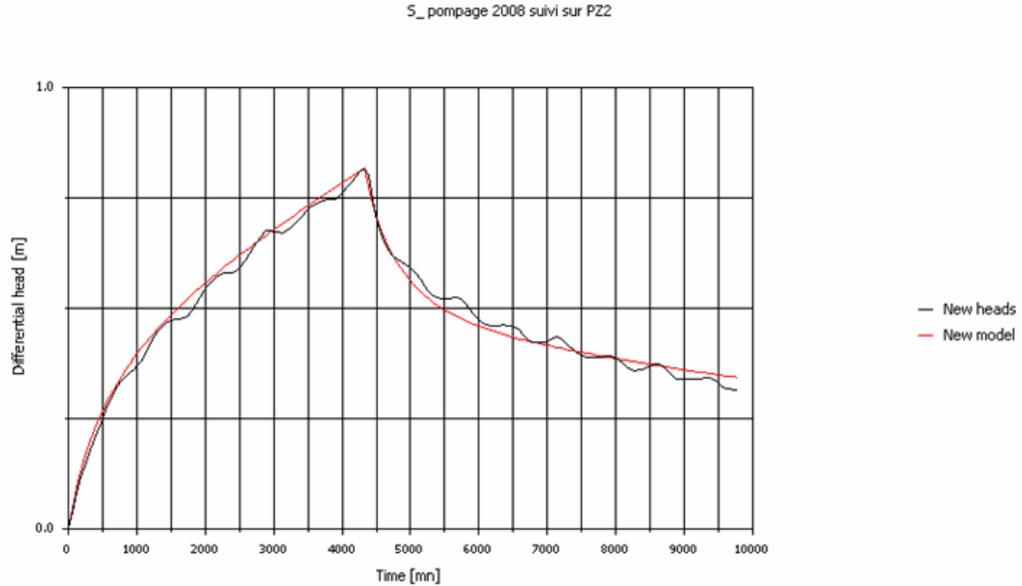


Illustration 59 : Rabattements observés et simulés sur 1177ZZ0177/PZ2, en échelle arithmétique et log-log (pompage réalisé sur 1177ZZ0178/FLF2)

Paramètre aquifère dans WTFM	Pour le réseau de fissures	Pour la matrice
T	$5.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$2.9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
S	10^{-6}	$7.8 \cdot 10^{-3}$

Illustration 60 : Paramètres hydrodynamiques de la nappe aquifère estimés au moyen du logiciel WTFM

La légère différence observée avec les résultats issus du pompage réalisé sur 1177ZZ0176/PZ1 pourrait résulter d'une légère anisotropie de perméabilités dans l'aquifère (les directions PZ1-PZ2 et FLF2-PZ2 sont d'ailleurs légèrement différentes). En général, une anisotropie spatiale de perméabilité peut expliquer les différences d'emmagasinement entre un puits d'observation et un autre.

Là encore, l'éponte identifiée au niveau de 1177ZZ0176/PZ1 n'a pas été décelée. Ceci ne veut pas dire qu'elle n'est pas présente au niveau de 1177ZZ0177/PZ2. Il se pourrait que l'effet de double porosité ait été prépondérant par rapport à l'éponte du fait de la courte durée du pompage et/ou de l'éloignement de 1177ZZ0177/PZ2 par rapport au puits de pompage 1177ZZ0178/FLF2. Pour vérifier cette hypothèse, il aurait fallu réaliser un pompage d'essai longue durée sur 1177ZZ0177/PZ2.

4.5 SYNTHÈSE DES DONNÉES ISSUES DES POMPAGES D'ESSAI

Le tableau récapitulatif ci-dessous présente l'ensemble des paramètres hydrodynamiques (transmissivité, coefficient d'emmagasinement et perméabilité de l'éventuelle éponte) issus de l'interprétation des pompages d'essai réalisés sur Fond Lahaye.

L'évaluation de la **transmissivité** semble précise, les valeurs interprétées variant de **3 à $7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** .

Le coefficient d'emmagasinement serait de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3}$, valeur caractéristique d'une nappe aquifère captive.

L'éponte, mise en évidence au niveau des ouvrages 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0178/FLF2, **semble avoir une perméabilité comprise entre $1 \cdot 10^{-5}$ et $3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$** .

Ouvrage	Date du pompage d'essai	Transmissivité (T, en m ² /s)	Coefficient d'emmagasinement (S)	Perméabilité de l'éponte (K, en m/s)
1177ZZ0161/FLF1	1988	$5,57 \cdot 10^{-4}$		
	06/07/2007 --> 10/07/2007	$3,21 \cdot 10^{-4}$		
	12/12/2007 --> 18/01/2008	$4,55 \cdot 10^{-4}$		
1177ZZ0176/PZ1	20/07/2007 --> 23/07/2007	$5,3 \cdot 10^{-4}$		$3 \cdot 10^{-5}$
	04/02/2008 --> 11/02/2008	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$	(10^{-7})
1177ZZ0177/PZ2	20/07/2007 --> 23/07/2007	$5,3 \cdot 10^{-4}$ ($2,9 \cdot 10^{-9}$ pour la matrice)	$6 \cdot 10^{-3}$ (10^{-6} pour les fissures)	
	04/02/2008 --> 11/02/2008	$5,8 \cdot 10^{-4}$ ($2,9 \cdot 10^{-9}$ pour la matrice)	$7,3 \cdot 10^{-3}$ (10^{-6} pour les fissures)	
1177ZZ0178/FLF2	04/02/2008 --> 11/02/2008	$6,5 \cdot 10^{-4}$		10^{-5}

Illustration 61 : Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques de la nappe de Fond Lahaye évalués d'après les pompages d'essai

5 Gestion de la ressource

5.1 EVALUATION DES DEBITS EXPLOITABLES AU FORAGE 1177ZZ0161/FLF1

5.1.1 Méthodologie

Une première évaluation des débits exploitables au forage 1177ZZ0161/FLF1 est proposée sur la base suivante :

- positionnement de la pompe permettant de maximiser le rabattement. Il a été choisi de proposer la mise en place de la pompe en regard de zones non productives des laves (la structure géologique est ainsi peu propice à l'entraînement de matières en suspension). Par contre, il n'a pas été préconisé de positionner la pompe au droit des formations volcaniques productives. L'objectif est de donner les moyens à l'exploitant, en cas de nécessité (période d'étiage marqué, besoin ponctuel important, etc.) de disposer d'une productivité maximale au forage, tant en terme de débit instantané que sur le long terme. **Il est donc proposé de positionner la pompe dans la zone non productive située entre 20 et 25 m de profondeur.**
- rabattement ne dénoyant pas les venues d'eau les plus significatives (notamment celles situées entre 20 et 25 m de profondeur). Le dénoiement de celles-ci entraînerait, en théorie, une réponse non linéaire de cette partie de l'aquifère et le débit produit ne serait alors plus proportionnel aux pertes de charge générées par le pompage. D'un point de vue pratique, le dénoiement d'une venue d'eau importante se traduit en général par une forte augmentation des rabattements, donc de l'énergie nécessaire au pompage (et des coûts de fonctionnement associés), pour un gain en terme de débit très faible voire nul ;

Et ce à partir :

- des résultats des pompages d'essai (par paliers et de longue durée). Des contraintes plus pessimistes quant à la structure de l'aquifère (introduction de limites étanches), allant dans le sens de la sécurité, sont également prises en compte. Elles sont généralement choisies en fonction du contexte hydrogéologique local ;
- des niveaux piézométriques d'étiage basés sur le suivi des fluctuations piézométriques naturelles inter-annuelles connues à Fond Lahaye (de l'ordre de 1 m en général).

Cette évaluation fournit des éléments sur :

- la profondeur préconisée d'installation de la pompe ;

- la hauteur manométrique, le débit maximal de pompage et un débit minimum, dans une gamme de variation de 60% pour un dimensionnement de la pompe ;
- le débit maximal admissible au sein du forage ;
- ainsi que des recommandations quant aux modalités de mise en exploitation de l'ouvrage et de gestion de l'aquifère.

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

- au bout d'un an de pompage ininterrompu (24h/24, 365j par an). Le choix d'une échéance à un an permet en effet de dimensionner l'équipement de pompage dans l'optique de la mise en œuvre d'une simulation d'exploitation du puits sur un cycle hydrologique;
- en considérant que le niveau d'eau dans le forage ne doit pas s'abaisser en dessous de la profondeur de la pompe + 5 m (longueur estimée de la pompe + marge de sécurité) ;

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

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

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

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

En effet, les règles de l'art préconisent de ne pas dépasser, lors d'une extrapolation à partir des résultats d'un pompage d'essai, une durée supérieure à 10 fois celle de l'essai, ce qui correspondrait à 40 jours dans le cas du présent forage. Le suivi de ces prescriptions, s'il peut éventuellement être assoupli pour des milieux poreux homogènes, au sein desquels il est assez aisé de déterminer la présence d'éventuelles limites géologiques, est tout particulièrement important dans des milieux hétérogènes et compartimentés tels que les aquifères reconnus en Martinique.

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

5.1.2 Débit d'exploitation extrapolé à partir du pompage d'essai réalisé du 06 au 10/07/2008

- Solution analytique - Paramètres hydrodynamiques

La solution analytique utilisée pour l'extrapolation des résultats du pompage d'essai est la solution analytique de Theis, avec une transmissivité $T = 3.21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, $S = 21$, **pertes de charges = $13924 \text{ m}^{-5}\text{s}^2$, capacité = 220 mm.**

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

H1 : absence de limite ;

H2 : présence d'une limite étanche (temps d'influence de 5840 min), apparition d'une limite étanche au bout de 97 h 30 de pompage, qui n'aurait pas pu être mise en évidence lors du pompage d'essai, celui-ci ayant duré 97 h 15 ;

H3 : présence de deux limites étanches (temps d'influence de 5840 min) ;

Pour ces 3 simulations les paramètres suivants ont été utilisés :

- Niveau piézométrique d'étiage

Dans la région, les fluctuations piézométriques naturelles sont connues pour être de l'ordre du mètre, soit pour 1177ZZ0161/FLF1 **un niveau d'étiage situé à une côte estimée à 4.5 m sous la surface** le 20/07/07.

- Profondeur d'installation de la pompe

Compte tenu des venues d'eau et de la présence d'une zone peu productive entre 25 et 30 m de profondeur (cf. § 4.3.2), il est proposé de **placer la pompe** (base de la pompe ou bouche d'aspiration) **à 28 m de profondeur par rapport au sol**, afin que la crépine de la pompe ne soit pas directement au dessus de la seconde zone productive.

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

- Rabattement maximal admissible

Avec l'objectif de ne pas dénoyer les premières venues d'eau situées à 20 m de profondeur, le **rabattement maximal admissible** au forage 1177ZZ0161/FLF1 **est de 15.5 m** ($20 - 4.5 = 15.5 \text{ m}$, soit environ 15 m).

- Débits d'exploitation et éléments de dimensionnement de la pompe

Les débits exploitables ont été calculés en considérant les hypothèses de géométrie de l'aquifère (H1 à H3) et trois scénarios de pompage :

- ✓ A : pompage toute l'année 24/24h à débit constant

- ✓ B : pompage toute l'année 24/24h avec un débit 2.5 fois plus élevé en période de 'Carême' (Avril à juin ; 3 mois)
- ✓ C : pompage 24/24h à débit constant uniquement durant la période de Carême (3 mois).

	Scénario A		Scénario B		Scénario C	
	Rabattement calculé (m)	Débit (m3/h)	Rabattement calculé (m)	Débit (m3/h)	Rabattement calculé (m)	Débit (m3/h)
H1	15.1	18.6	15.17	20.3 ¹ ; 8.1 ²	15.04	20.8
H2	15.3	15.0	15.25	17.0 ; 6.8	15.08	17.8
H3	15.3	8.2	15.00	11.3 ; 4.5	15.36	13.4

Illustration 62 : Résultat synthétique des simulations selon diverses hypothèses concernant la géométrie de l'aquifère (H1, H2 ou H3) et divers scénario d'exploitation (A, B ou C)

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

- ✓ pompe capable de produire **dans une gamme de débit de 12 à 30 m3/h** (12 est calculé pour un pompage 9h/24 (équivalent à 4.5 m3/h 24/24h) et 30 pour un pompage 17h/24h (équivalent à 20.8 m³/24/24h), pour une hauteur manométrique maximale de 28 m (jusqu'au sol). Il conviendra d'ajouter à cette valeur le dénivelé jusqu'au point de rejet, ainsi que les pertes de charge singulières au sein du dispositif d'exhaure et d'adduction) ;
- ✓ il serait souhaitable d'équiper la pompe d'un **variateur automatique au démarrage pour limiter les risques d'entraînement de matières en suspension**. Néanmoins, compte tenu des formations captées ce risque est faible ;
- ✓ il serait souhaitable que les tuyaux d'exhaure situés entre la pompe et la surface soient en inox.

Des illustrations des résultats des différents scénarios sont présentées en Annexe 14.

¹ : Débit maximum durant la période de Carême (Avril-Juin ; 3 mois)

² : Débit 2.5 fois moins important le reste de l'année soit de janvier à mars (3 mois) et de juillet à décembre (6 mois)

5.1.3 Débit d'exploitation extrapolé à partir du pompage d'essai de décembre 2007 – janvier 2008

Compte tenu des hypothèses présentées dans le chapitre précédent, un pompage d'essai d'un mois a été réalisé à un débit de 20 m³/h, afin de mettre en évidence la présence ou l'absence de limites étanches (hypothèses 2 & 3, cf. ci-dessus). Le pompage dont les résultats sont présentés dans le chapitre 4.3.5 a permis de montrer qu'il n'y avait pas de limites étanches (ni alimentée) pendant au moins 885 heures.

La solution analytique utilisée pour l'extrapolation des résultats du pompage d'essai est la solution analytique de Theis, avec une transmissivité $T = 4.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, $S = 25$, pertes de charges = 11997 m⁻⁵s², capacité = 220 mm.

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

H1 : absence de limite ;

H2 : apparition d'une limite étanche au bout de 885 h de pompage, qui n'aurait pas pu être mise en évidence lors du pompage d'essai, celui-ci ayant duré 885 h ;

H3 : présence de deux limites étanches (temps d'influence de 885 h) ;

Pour ces 3 hypothèses, le niveau piézométrique d'étiage, la profondeur d'installation de la pompe et le rabattement maximal admissible sont les mêmes que ceux utilisés au chapitre précédent. Le débit d'exploitation a été calculé en considérant un pompage toute l'année 24/24h à débit constant.

Le débit maximal de pompage a été estimé à 24 m³/h pour un rabattement à long terme de 15 m.

Le débit d'exploitation recommandé a été estimé à 20 m³/h pour un rabattement à long terme compris entre 12 et 15 m.

Les résultats des différents scénarios sont présentés en Annexe 15.

5.2 EVALUATION DES DEBITS EXPLOITABLES AU FORAGE 1177ZZ0178/FLF2

La méthodologie utilisée pour évaluer les débits exploitables au forage 1177ZZ0178/FLF2 est identique à celle décrite précédemment.

La solution analytique utilisée pour l'extrapolation des résultats du pompage d'essai est celle de Hantush & Jacob, avec une transmissivité $T = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, $S = 21$, **pertes de charges = 120 000 m^{-5}s^2 , capacité = 311 mm.**

Le débit d'exploitation a été calculé en considérant un pompage toute l'année 24/24h à débit constant.

Pour cette simulation les paramètres suivants ont été utilisés :

- Niveau piézométrique d'étiage

Dans la région, les fluctuations piézométriques naturelles sont connues pour être de l'ordre du mètre, soit pour 1177ZZ0178/FLF2 **un niveau d'étiage situé à une côte estimée à 9 m sous la surface.**

- Profondeur d'installation de la pompe

Compte tenu des venues d'eau et de la présence d'une zone peu productive en dessous de 42 m de profondeur, il est proposé de **placer la pompe** (base de la pompe ou bouche d'aspiration) **entre 50 et 55 m de profondeur par rapport au sol** pour :

- capter toutes les venues d'eau déterminées par le micromoulinet (entre 25 et 27 mètres, entre 31 et 33 mètres et entre 39 et 41,5 mètres)

- capter d'éventuelles venues d'eau plus profondes, qui n'ont pas été mises en évidence par le micromoulinet

- mobiliser l'eau en profondeur et ainsi éviter la prolifération bactérienne due à la stagnation de l'eau.

La pompe se situe ainsi dans une zone où n'ont pas été identifiées des venues d'eau, ni sur le 1177ZZ0176/PZ1, ni sur le 1177ZZ0178/FLF2.

- Rabattement maximal admissible

Avec l'objectif de ne pas dénoyer les premières venues d'eau situées à 25 m de profondeur et de ne pas rabattre plus bas que les crépines situées à 24 m de profondeur, le **rabattement maximal admissible** au forage 1177ZZ0178/FLF2 **est de 15 m** (24-9 = 15 m).

Le débit maximal de pompage a été estimé à 28 m³/h pour un rabattement à long terme de 15 m.

Le débit d'exploitation recommandé a été estimé à 25 m³/h pour un rabattement à long terme compris entre 13 et 15 m.

Les résultats des différents scénarios concernant les débits de pompage sont présentés dans l'illustration 63 ci-dessous.

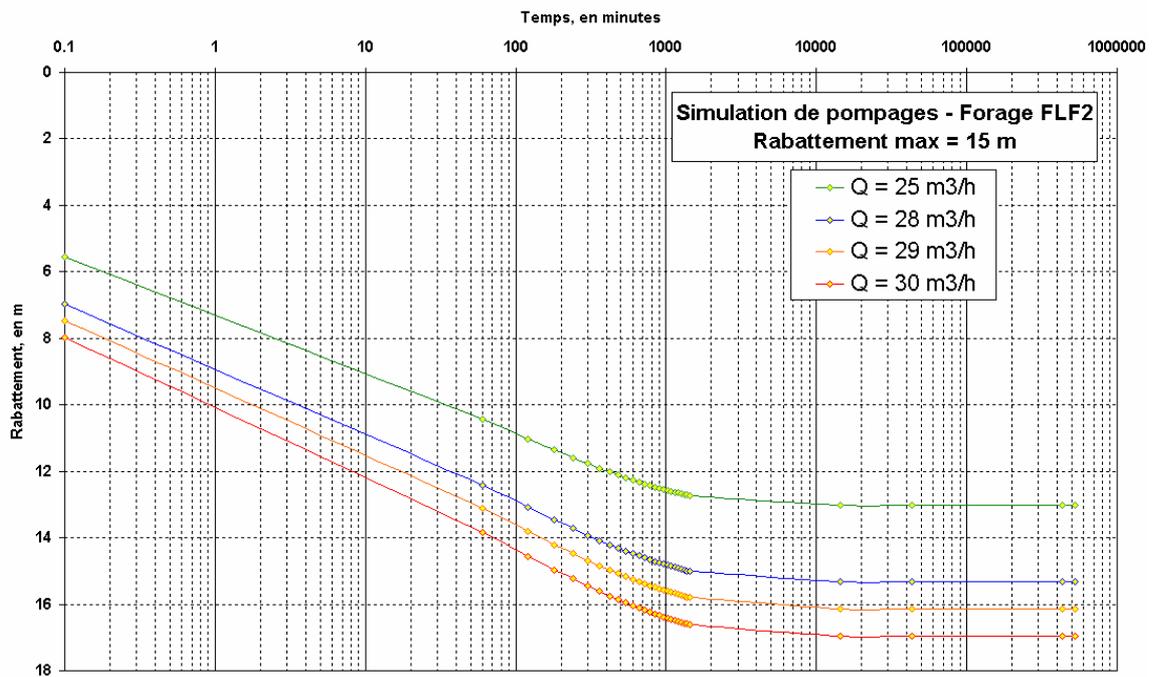


Illustration 63 : Courbes de simulation de pompes sur 1177ZZ0178/FLF2 aux débits respectifs de 25, 28, 29 et 30 m³/h

5.3 CARACTERISTIQUES DE LA NAPPE

5.3.1 Carte piézométrique en régime permanent

Une carte piézométrique a été réalisée en régime permanent (état d'équilibre naturel sans l'influence de pompages) afin d'évaluer le gradient hydraulique moyen de la nappe. Cette donnée est en effet indispensable pour estimer le débit de la nappe. Cette carte piézométrique est présentée sur l'illustration 64 ci-dessous.

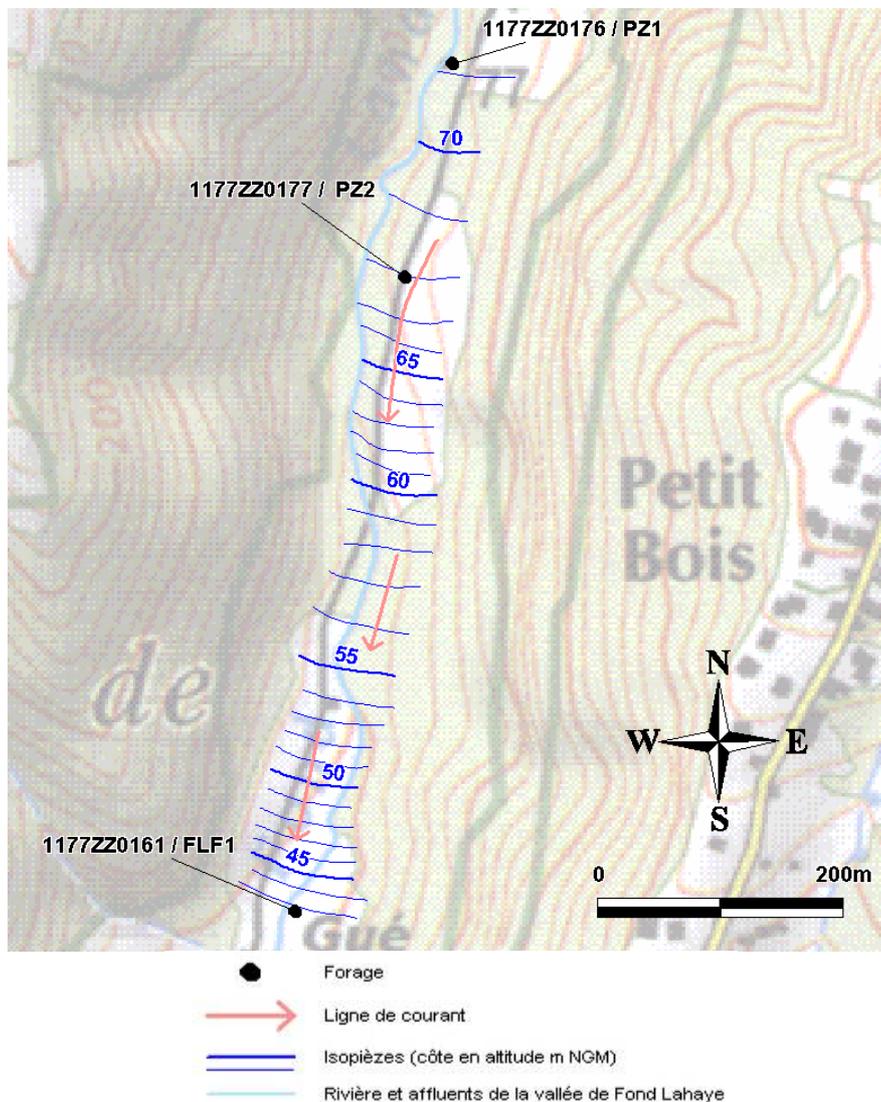


Illustration 64: Esquisse de carte piézométrique pour la nappe de Fond Lahaye

Compte tenu du nombre restreint de points de mesures des niveaux d'eau souterraine, le tracé des isopièzes n'a pas pu être effectué sur une superficie plus étendue. D'autre part, on considère que les trois ouvrages (1177ZZ0176/PZ1, 1177ZZ0177/PZ2 et 1177ZZ0161/FLF1) atteignent la même nappe captive. Ainsi, selon cette hypothèse :

- les écoulements de la nappe s'effectuent globalement de l'amont de la vallée vers l'aval (du nord-est au sud-ouest), a priori dans l'axe de la vallée,
- l'estimation du gradient hydraulique (dont l'illustration 65 rappelle le mode de calcul) de cette nappe a mis en évidence trois tendances :
 - En amont, la valeur de ce gradient entre 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2 (séparés de 180m) est de 1,8%.
 - Puis, entre 1177ZZ0177/PZ2 et 1177ZZ0161/FLF1 (séparés de 530m), il est de 4,8%.
 - Si on considère que l'isopièze 0 se situe au niveau de la mer, on peut également estimer les gradients suivants :
 - Entre le 1177ZZ0161/FLF1 et la mer : 2.7 %
 - Entre le 1177ZZ0176/PZ1 et la mer : 2.9 %

Le gradient hydraulique moyen peut donc être estimé à 3%.

L'incertitude des côtes altimétriques de la rivière et le faible nombre de données piézométriques ne permettent pas de caractériser de manière univoque les échanges nappe/rivières en régime permanent non influencé.

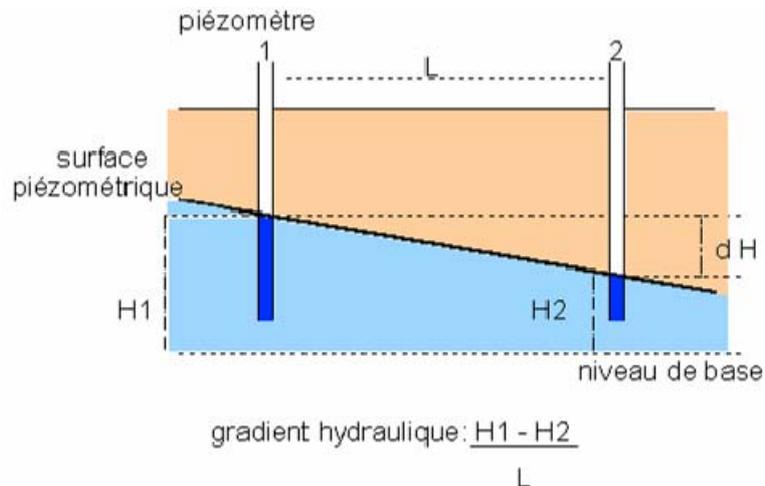


Illustration 65: Schéma conceptuel rappelant le principe du calcul du gradient hydraulique entre 2 piézomètres

5.3.2 Estimation du débit de nappe

Il est possible d'estimer le débit de la nappe à partir de la carte piézométrique. Cette méthode suppose que les trois ouvrages atteignent la même nappe. Le débit est calculé par application des expressions de la loi de Darcy.

Pour une nappe aquifère captive, la formule utilisée est la suivante : $Q = T \cdot L \cdot i$

Avec Q : le débit de la nappe (en m³/s), T : la transmissivité de la nappe (en m²/s), L : la largeur moyenne de la nappe (en m) et i : le gradient hydraulique.

Les valeurs de transmissivité utilisées pour le calcul sont celles issues de l'interprétation des différents pompages d'essai réalisés à Fond Lahaye. La valeur du gradient hydraulique (3%) est celle obtenue d'après la carte piézométrique.

L'illustration 66 ci-dessous présente les débits calculés suivant les différents paramètres précédemment cités.

L (en m)	T (en m ² /s)	i (en %)	Q (en m ³ /s)	Q (en m ³ /h)	Q (en m ³ /j)
2000	3.E-04	3	1.8E-02	64.8	1555
	5.E-04		3.E-02	108	2592
	7.E-04		4.2E-02	151.2	3629

L	T	i	Q en m ³ /s	Q en m ³ /h	Q en m ³ /j
1000	3.E-04	3	9.E-03	32.4	778
	5.E-04		1.5E-02	54	1296
	7.E-04		2.1E-02	75.6	1814

L	T	i	Q en m ³ /s	Q en m ³ /h	Q en m ³ /j
500	3.E-04	3	4.5E-03	16.2	389
	5.E-04		7.5E-03	27	648
	7.E-04		1.1E-02	37.8	907

L	T	i	Q en m ³ /s	Q en m ³ /h	Q en m ³ /j
200	3.E-04	3	1.8E-03	6.5	156
	5.E-04		3.E-03	10.8	259
	7.E-04		4.2E-03	15.1	363

Illustration 66: Estimation des débits de la nappe de Fond Lahaye en fonction des différents paramètres

Les éléments disponibles sur la structure de l'aquifère ne permettent pas de déterminer avec précision la largeur de la nappe, il semblerait néanmoins que celle-ci soit comprise entre 500 m et 1000 m. **Ainsi, pour une transmissivité de $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s et une largeur de nappe comprise entre 500 m et 1000 m, le débit de la nappe serait compris entre 650 et 1300 m³/j.**

L'exploitation de la nappe, telle qu'elle a été calculée dans les chapitres précédents, serait prévue à un débit de 1000 m³/j.

La confrontation de ces deux valeurs, même si le débit de la nappe doit être considéré comme un ordre de grandeur calculé à partir d'une méthode simplifiée, bien évidemment non représentative de la complexité des écoulements dans un milieu fissuré et fracturé, permet néanmoins de voir que, dans l'état actuel des connaissances, le débit d'exploitation de la nappe ne doit pas être augmenté au delà de 1000 m³/j.

Le suivi de l'exploitation des forages FLF1 et FLF2 pendant quelques années permettra sûrement de mieux appréhender le renouvellement des eaux de la nappe.

5.3.3 Calcul de la vitesse effective d'écoulement

L'écoulement des eaux souterraines peut être considéré comme le déplacement de particules d'eau, dans l'espace et dans le temps, le long de trajectoires appelées lignes de courant (perpendiculaires aux isopièzes). Le calcul de la vitesse effective V_e est basé sur la loi de Darcy. La formule utilisée est donc la suivante :

$$V_e = V_{Darcy} / n_e = Q / (A \cdot n_e)$$

Avec Q : le débit de la nappe (en m³/s), n_e : la porosité efficace du milieu (en %) et A : la section de l'aquifère (en m²).

La vitesse efficace se rapproche de la vitesse réelle d'écoulement qui est la vitesse de déplacement, mesurable in-situ par diverses méthodes de traçage. La porosité efficace du milieu est un paramètre généralement mal connu, et très difficile à caractériser. La formation aquifère étant une coulée de lave saine fissurée/fracturée, les ordres de grandeurs de porosité efficace pour ce type de formation géologique varient généralement entre 1 et 10 %, le degré de fracturation pouvant accroître cette valeur jusqu'à 20 %. L'illustration 67 ci-dessous présente les vitesses effectives en fonction de la porosité efficace.

n_e (porosité efficace, en %)	10	15	20
V_e (vitesse efficace, en m/s)	5,3E-06	3,5E-06	2,7E-06
V_e (en m/an)	168	112	84

Illustration 67: Vitesse effective d'écoulement de la nappe de Fond Lahaye en fonction de la porosité efficace du milieu

La **vitesse effective globale** de la nappe de Fond Lahaye est estimée **entre 100 et 150 m/an** ce qui donne un temps de séjour de l'eau (ou temps écoulé pour parcourir un kilomètre) compris entre 6 et 10 an/km.

5.3.4 Estimation du rayon d'action du forage 1177ZZ0161/FLF1

Il est possible d'estimer le rayon « fictif » d'action de l'ouvrage, qui correspond à la distance théorique à laquelle le rabattement calculé est nul. Ce rayon est fonction de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement. Il nous permet ainsi d'avoir une estimation de la distance à laquelle l'influence du pompage sur l'ouvrage se fait toujours sentir. Sa formule est :

$$R_f = 1.5 * (T*t/S)^{1/2}$$

Avec T : la transmissivité de la nappe (en m²/s), t : le temps écoulé depuis le début du pompage (en s) et S : le coefficient d'emmagasinement (sans dimension).

Il faut noter que ce rayon fictif grandit avec la durée du pompage.

Les valeurs des paramètres T et S utilisés sont celles issues de l'interprétation des pompages d'essai, d'où T vaut 5.10⁻⁴ m²/s et S vaut 5.10⁻³.

Le pompage d'essai le plus long réalisé sans interruption sur 1177ZZ0161/FLF1 est celui réalisé du 12/12/2007 au 18/01/2008. Il aura donc duré 37 jours (soit 3 196 800 secondes). Comme aucune limite, étanche ou alimentée, n'est apparue au cours de l'essai, il est probable que cette valeur décrivant « l'influence spatiale » du pompage soit proche de la réalité.

Ce rayon d'action serait donc, d'environ 850 m au bout de 37 jours de pompage.

Les ouvrages 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2 sont tous deux situés à l'intérieur de ce rayon d'action ce qui voudrait dire qu'ils auraient dû être influencés par le pompage. En théorie, au bout de 37 jours de pompage sur 1177ZZ0161/FLF1, l'ouvrage 11770177/PZ2 aurait dû rabattre de 84 cm tandis que l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1 aurait dû rabattre de 32 cm. Cependant, aucun rabattement aussi significatif n'a été enregistré pour ces deux ouvrages.

Ainsi, même s'il semble avéré que l'ensemble de ces ouvrages captent la même nappe, la présence d'une éponte au niveau de 1177ZZ0176/PZ1 et d'un milieu à double porosité pour l'ouvrage 1177ZZ0177/PZ2, tandis que les écoulements au 1177ZZ0161/FLF1 seraient marqués par la présence d'une structure verticale, montrent bien l'hétérogénéité des écoulements dans les aquifères fissurés et fracturés. La répartition des transmissivités n'est donc bien évidemment pas homogène. L'illustration 68 ci-dessous propose une coupe schématique réalisée à partir des coupes de forage, des interprétations des passages au micromoulinet et des conclusions précédemment établies.

Malgré cela, cette estimation du rayon d'action permet d'avoir un premier ordre de grandeur et confirme l'hypothèse précédemment établie d'une largeur d'aquifère supérieure à 500 m.

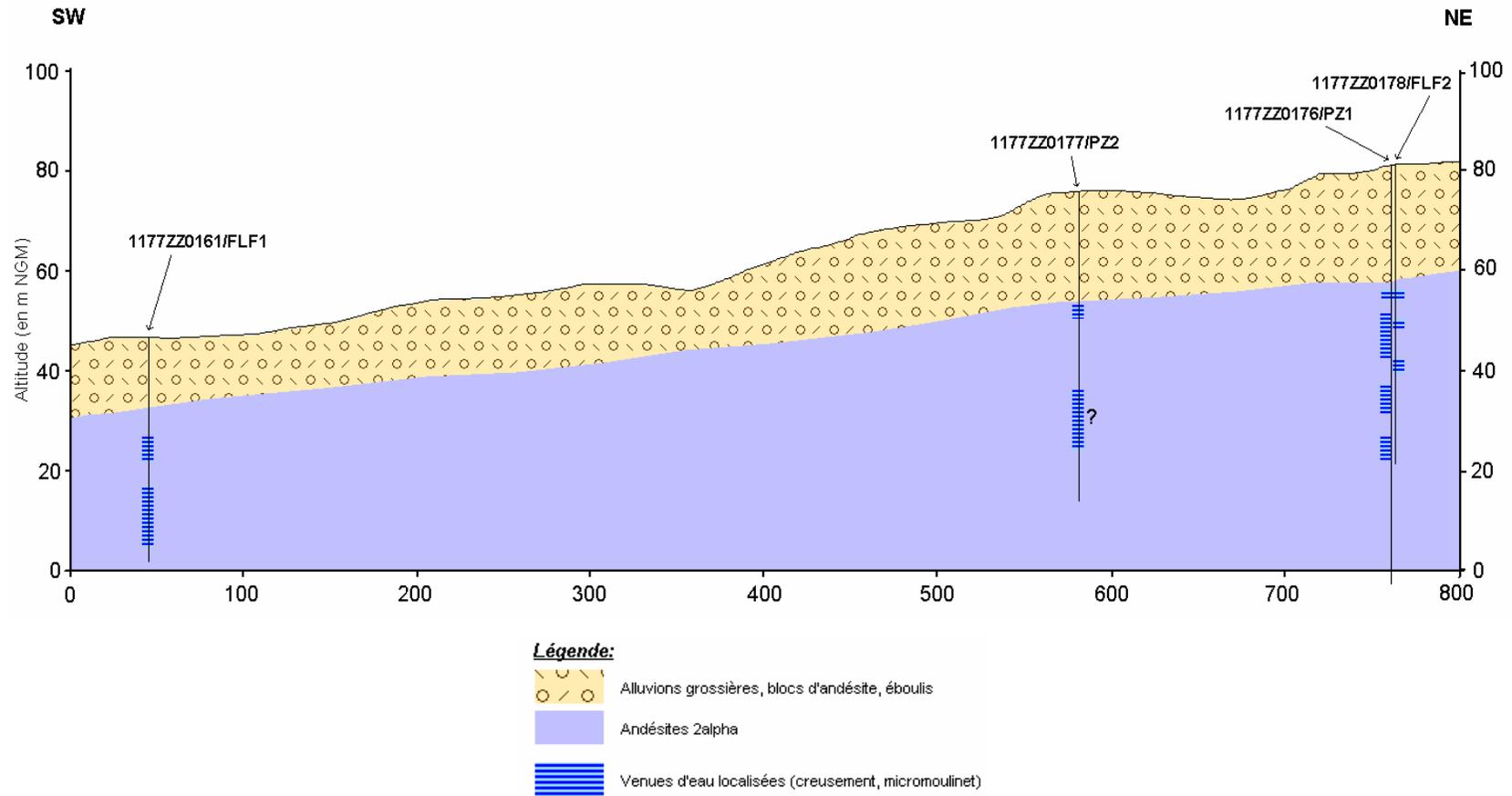


Illustration 68 : Coupe longitudinale présentant le schéma structural global en profondeur et localisant les venues d'eau pour chaque ouvrage

5.3.5 Estimation de l'infiltration efficace en fonction de l'aire de l'aquifère

La réserve en eau souterraine d'un aquifère est renouvelée par les apports par infiltration efficace (IE). En régime naturel, au cours d'une durée moyenne, cette alimentation compense les sorties.

La valeur utilisée pour l'infiltration efficace (200 mm/an) est issue du rapport BRGM/RP-55099-FR (Vittecoq B., Lachassagne P. *et al.*, 2007). Elle correspond à environ 20 % de la pluie efficace.

Le tableau ci-dessous représente différents calculs selon trois aires d'infiltration efficace (cf. Illustration 69).

Il est raisonnable de penser que cette aire est comprise entre l'aire estimée de l'aquifère et le bassin hydrographique de la vallée de Fond Lahaye. En partant du principe que le bassin versant hydrogéologique est au maximum équivalent au bassin topographique (hypothèse de base des modélisations réalisées dans le cadre du rapport BRGM/RP-55099-FR Vittecoq B., Lachassagne P. *et al.*, 2007, cf. notamment chapitre 4.4.2) alors **l'infiltration efficace serait au maximum de 1800 m³/j**. Quoiqu'il en soit, l'infiltration efficace jouerait donc un rôle majeur dans le renouvellement de l'eau contenue dans l'aquifère.

Aire (en m²)	311 500	1 045 000	3 390 000
Infiltration efficace (en m/an)	0,2	0,2	0,2
Infiltration efficace (en m³/an)	62 300	215 200	678 000
Infiltration efficace (en m³/h)	7	23	77
Infiltration efficace (en m³/j)	168	552	1848

Illustration 69: Infiltration efficace approchée au niveau de la vallée de Fond Lahaye

L'illustration 70 représente sur une carte les extensions respectives de ces trois hypothèses d'aire de l'aquifère.

Il est également possible que le bassin versant hydrogéologique soit plus étendu que le bassin versant topographique mais, en l'état actuel des connaissances, aucune donnée ne nous permet de valider cette hypothèse.

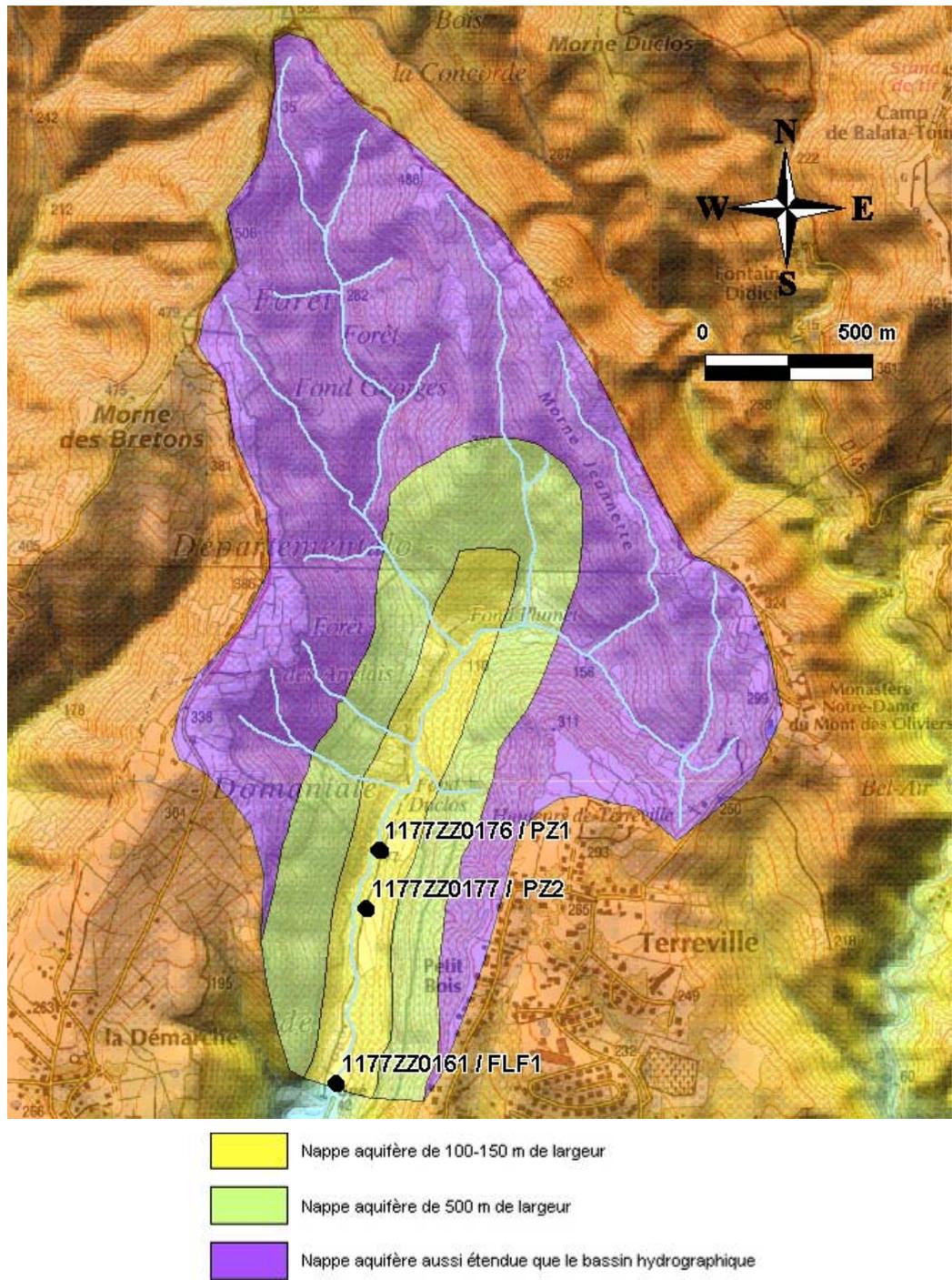


Illustration 70: Délimitation des superficies de l'aquifère de la vallée de Fond Lahaye

5.4 QUALITE DES EAUX ET HYDROGEOCHIMIE

5.4.1 Présentation des données

10 prélèvements ont été réalisés sur les forages et piézomètres (6 sur le 1177ZZ0161/FLF1, 2 sur le 1177ZZ0176/PZ1 et 2 sur le 1177ZZ0177/PZ2). Les résultats sont synthétisés dans les tableaux des Illustration 71 et Illustration 72 ainsi qu'en annexe 16 pour les analyses ayant été réalisée dans le cadre de ce programme.

Pour les éléments analysés, l'eau est **potable selon les normes AEP**, mis à part la présence d'arsenic au 1177ZZ0161/FLF1 (avec des concentrations comprises entre 5 et 14 µg/l pour une norme AEP de 10 µg/l). La conductivité moyenne de l'eau de la nappe est de **1000 µS/cm**, conductivité relativement élevée par rapport aux autres eaux de Martinique, mais restent dans la gamme des eaux « moyennement minéralisées ». D'autre part, comparativement aux autres eaux souterraines échantillonnées en Martinique, cette eau est relativement chargée en Ca, Mg, Na et Cl. Son **faciès** est **bicarbonaté calcique et magnésien**. On constate également l'absence (ou la présence à de faibles concentrations) de Fer et de Manganèse.

n° BSS	Nom	Date du prélèvement	Conductivité (µS/cm)	T (°C)	pH	O2 (%)	O2 (mg/l)
1177ZZ0161	FLF1	25/10/04	955		7,2		
		24/11/05	1097	29,4	6,56	37	2,7
		18/04/06	1095	28,3	6,71	58,3	4,46
		21/11/06	984	28,7	6,01	43,2	3,29
		16/04/07	1077	28,1		51,1	4,02
		28/08/07	1152	29,8	6,95	41	3,1
1177ZZ0176	PZ1	23/07/07	1008	29,1	6,31	13,2	0,99
		28/08/07	820	28,4	6,26	15	1,16
1177ZZ0177	PZ2	03/08/07	1136	29,6	6,49	17,2	1,3
		28/08/07	1115	30,8	6,35	13,5	1

Illustration 71: Tableau récapitulatif des paramètres physico-chimiques mesurés sur les forages 1177ZZ0161/FLF1, 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2

n° BSS	Nom	Date du prélèvement	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	SiO2	B	Mn	Fe	Li	Sr	As
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1177ZZ0161	FLF1	25/10/04	47,1	34,7	90,8	7,9	146	13,9	309	2,9	96,2	129	7	<LQ			<LQ
		24/11/05	56,2	40,1	99	8	163,3	16,4	349	1,6	112,4	147	<LQ	60	21	246	<LQ
		18/04/06	56,6	38,7	105,2	9	174,8	15	341	1,7	109,5	149	8	20	21	245	14
		21/11/06	54,1	37,9	100,5	9	159,7	14,2	328	2,6	105,9	140	8	<LQ	20	259	5
		16/04/07	57,1	40	104,5	8,5	191	17,1	339	2	112,3	137	8	<LQ	26	263	11
		28/08/07	54,7	40,3	109,5	8,1	186,5	17,2	360	1,9	113,6	158	<LQ	70	28	259	7
		18/01/08	51,2	36,6	103,7	8,2	165,1	17,3	349	1,7	115,2	162	<LQ	<LQ	23	226	8
1177ZZ0176	PZ1	23/07/07	64,2	43,2	87	8,4	79,5	13,8	500	0,9	113,2	122	147	<LQ	19	255	<LQ
		28/08/07	43,9	30,1	75,4	6,1	80,1	12,1	362	1,2	116,3	126	7	50	17	188	<LQ
		18/01/08	43,1	29,1	75,1	6,6	80,3	12,5	354	1,1	114,7	134	9	<LQ	14	169	<LQ
1177ZZ0177	PZ2	03/08/07	76,9	53,7	95,6	9,8	77,1	13,9	607	0	114,7	140	339	<LQ	21	276	<LQ
		28/08/07	69,4	50,4	88	8,7	78,5	13,5	594	0,6	117,1	155	326	110	22	284	<LQ

Illustration 72: Tableau récapitulatif des concentrations en éléments minéraux mesurées sur le forage 1177ZZ0161/FLF1 et les piézomètres 1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2 (<LQ = inférieur aux limites de quantification)

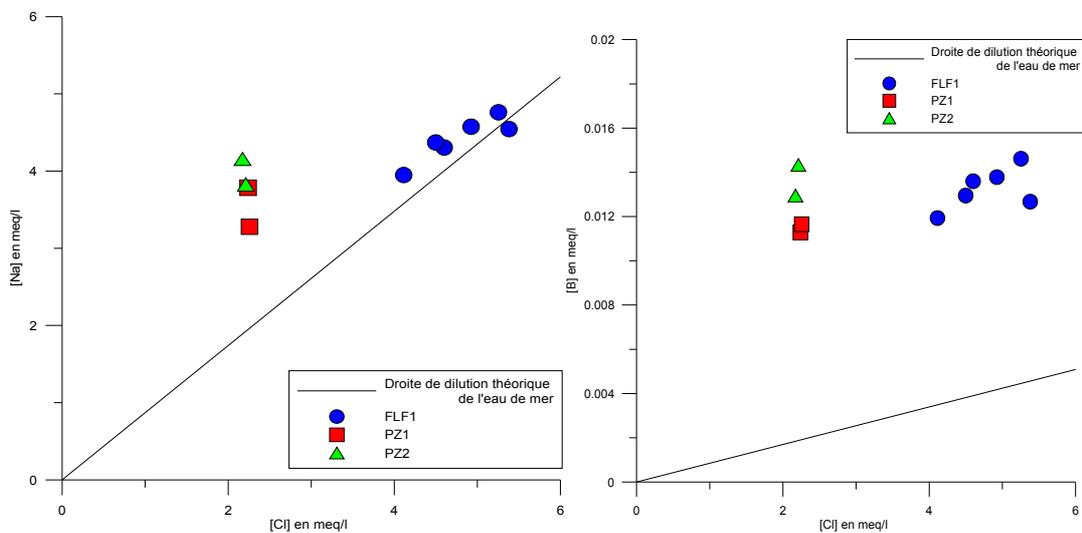
5.4.2 Approche hydrogéochimique

Les diagrammes ci-dessous (Illustration 73) situent les eaux échantillonnées par rapport à la droite de dilution théorique de l'eau de mer. On constate :

- Un enrichissement en calcium, magnésium, bore et hydrogencarbonate. Ces éléments viennent donc des roches au travers desquelles ont circulé les eaux : les andésites contiennent des pyroxènes constitués des éléments Mg + Fe + Ca. La relation Ca+Mg versus HCO₃ confirme l'origine de l'enrichissement.
- **Un net enrichissement en Cl de l'amont (PZ1 & PZ2) vers l'aval (FLF1), d'origine indéterminée mais a priori naturelle.**

L'eau circulant au sein des aquifères andésitiques se charge au contact des minéraux constitutifs de « l'encaissant ». Ainsi les roches volcaniques sont notamment riches en plagioclases : **anorthite** (CaAl₂Si₂O₈) ; **clinopyroxènes ferromagnésiens et calciques** de type augite (Ca,Na)(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)O₃]₂ ; et **olivine** (Mg, Fe)₂[SiO₄].

Le lithium et le bore sont des indicateurs des interactions eau/roches ; les concentrations mesurées nous indiquent que les eaux ont un **temps de résidence élevé**.



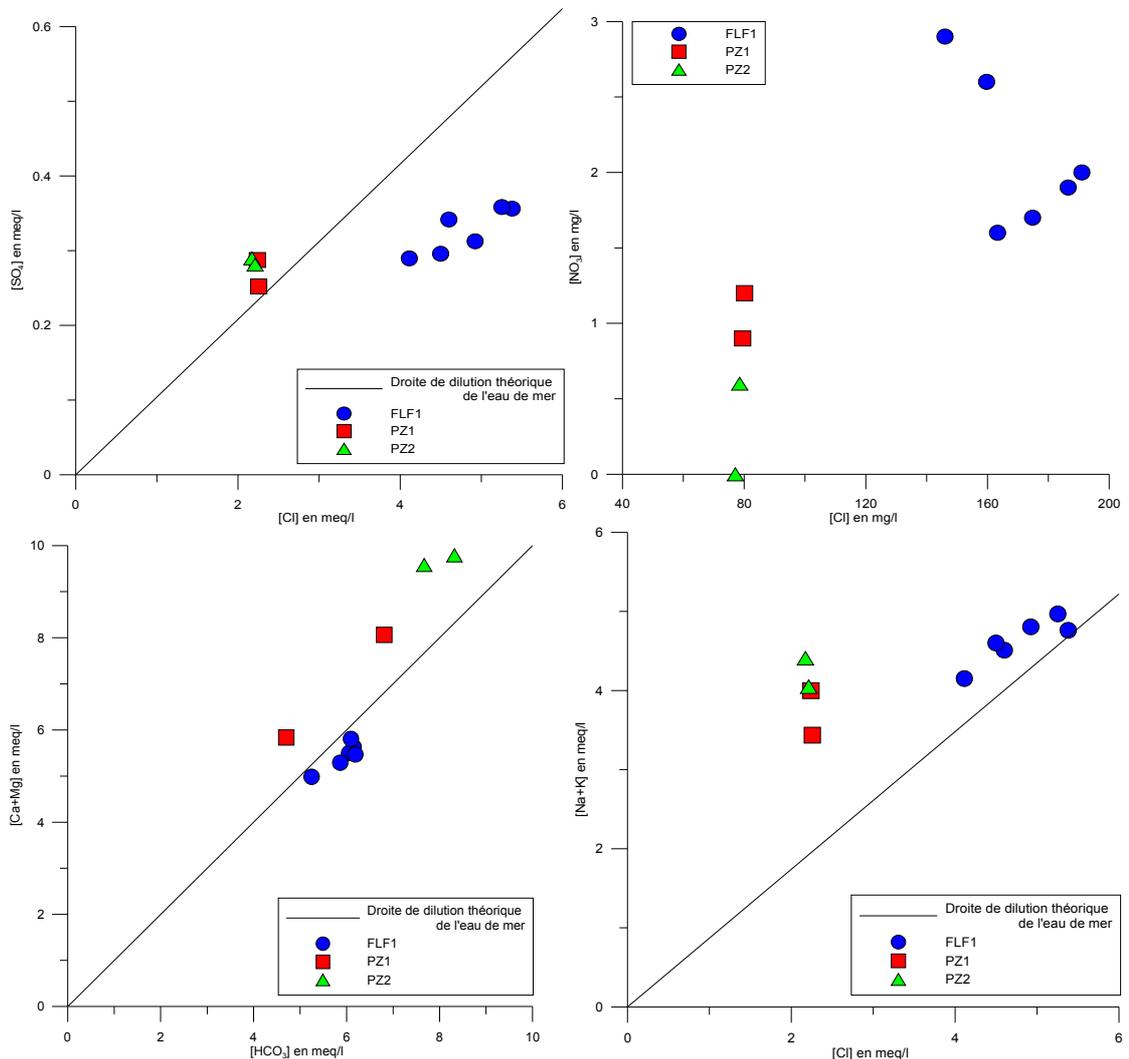


Illustration 73 : Diagrammes comparant les résultats des analyses effectuées avec la droite de dilution théorique de l'eau de mer

5.4.3 Origine des faibles concentrations en fer et manganèse

Dans les roches volcaniques, le fer est présent dans les pyroxènes, les amphiboles, la biotite, la magnétite et surtout dans l'olivine dont le pole ferreux est la fayalite (Fe_2SiO_4). Après hydrolyse de ces minéraux, le fer libéré peut précipiter sous des formes sédimentaires. En condition réductrice et en présence de soufre, peuvent ainsi naître la pyrite et la marcassite (FeS_2). Sans une quantité suffisante de sulfates, la sidérite ($FeCO_3$) peut se former. Enfin, en conditions oxydantes, les espèces minérales qui précipitent sont des oxydes ferriques ou des oxyhydroxydes comme l'hématite (Fe_2O_3) et sa forme hydratée, la goethite ($FeOOH$).

La moindre variation de Eh ou de pH modifie beaucoup la solubilité du fer. Par exemple, lorsque la pyrite est soumise à une eau oxygénée, ou que l'hydroxyde

ferrique rencontre un milieu réducteur, il y a mise en solution du fer. L'existence d'une forte concentration en fer ferreux implique le maintien d'un potentiel d'oxydo-réduction relativement bas (moins de 200 mV).

La concentration en fer dans les eaux souterraines est principalement contrôlée par le pH et le Eh du milieu, ainsi que par la matière organique. En l'absence de matière organique, le diagramme Eh-pH est une méthode simple pour évaluer la teneur en fer dissous d'une eau.

De manière générale, on distingue deux cas :

- Dans des eaux bien oxygénées (quelques mg.l⁻¹ d'oxygène dissous), la concentration en fer ferrique dissous (Fe³⁺) n'excède pas quelques dizaines de µg.L⁻¹ : elle est en effet limitée par la précipitation de l'hydroxyde ferrique Fe(OH)₃.
- Dans des eaux plus réductrices, la forme réduite Fe²⁺ prédomine et peut atteindre des concentrations de quelques mg.L⁻¹, surtout si le pH est acide.

En présence de sulfures, le fer tend à précipiter et même si les conditions sont réductrices, sa concentration reste basse.

Les diagrammes présentés dans l'illustration 74 comparent les eaux des forages 1177ZZ0161/FLF1, 1177ZZ0176/PZ1, 1177ZZ0177/PZ2 avec les eaux du forage CNF2 de Case Navire, caractéristiques pour leurs fortes concentrations en fer et manganèse. Ainsi, le premier graphique nous montre que :

- les eaux oxygénées ont des concentrations faibles en Fer et Mn
- les eaux réductrices ont des concentrations plus fortes en Fer et Mn.

Les graphiques 2 et 3 montrent que les sulfates contrôlent également les phénomènes de précipitation. En effet, on constate qu'en présence de sulfate, le Fer et le Manganèse ont tendance à précipiter.

La combinaison de ces deux facteurs permet d'expliquer la faible concentration en Fer dans les eaux de Fond Lahaye.

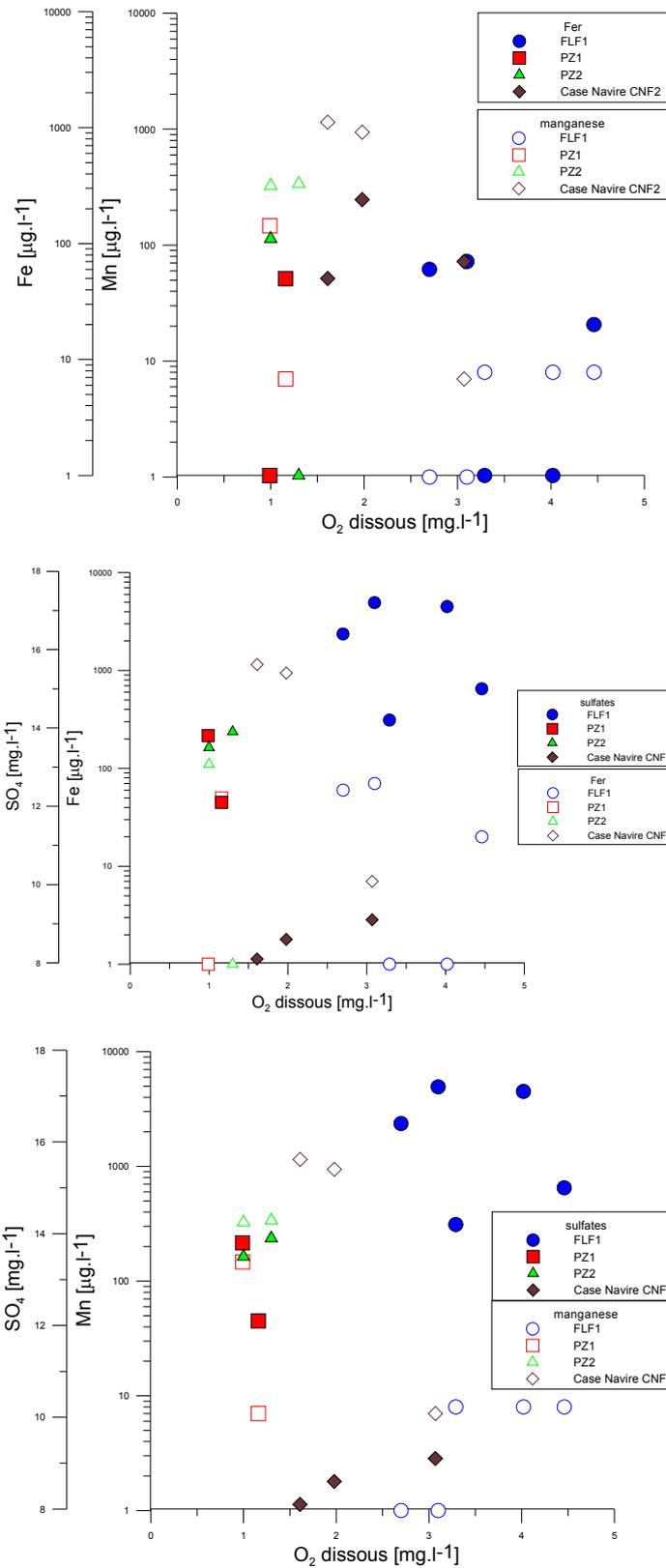


Illustration 74 : Diagrammes de comparaison des teneurs en Fe/Mn pour les forages 1177ZZ0161/FLF1, 1177ZZ0176/PZ1, 1177ZZ0177/PZ2 et le forage CNF2 situé à Case Navire

5.4.4 Datation des eaux par les CFC et le tritium

Des prélèvements pour datation de l'eau ont été réalisés en avril 2007 dans le forage 1177ZZ0161/FLF1 et sont présentés dans le rapport BRGM/RP55844-FR.

Les résultats montrent que cette eau serait plus ancienne que 1960 (le modèle utilisé pour calculer cet âge est le Piston Flow Model - PFM). Il est ainsi possible de calculer une « vitesse apparente d'écoulement » au sein de l'aquifère : si on considère que la zone de recharge est à environ 3 km du forage, **la vitesse maximale apparente de circulation au sein de l'aquifère serait d'environ 60 m par an.**

5.4.5 Conclusion

Les caractéristiques de la nappe de Fond Lahaye, selon les différentes hypothèses énoncées dans les chapitres ci-dessus, seraient les suivantes :

- un gradient hydraulique « moyen » de 3%,
- un débit de la nappe compris entre 650 et 1300 m³/j,
- une vitesse effective globale estimée entre 100 et 150 m/an,
- une infiltration efficace comprise entre 215 000 et 600 000 m³/an,
- une conductivité de l'eau d'environ 1000 µS/cm, avec un faciès bicarbonaté calcique et magnésien (à noter la présence d'arsenic au forage 1177ZZ0161/FLF1).

Ces résultats, et notamment ceux obtenus en utilisant les formules dérivées de la loi de Darcy, doivent être relativisés. En effet, la loi de Darcy s'applique tout particulièrement aux milieux homogènes isotropes et elle présente des limites pour des milieux complexes, hétérogènes avec des porosités de fissures et fractures. Ces résultats constituent néanmoins des ordres de grandeur.

L'exploitation de 2 forages sur la nappe correspondrait à un volume prélevé de 900 m³/j (40 m³/h répartis sur les 2 forages) soit environ 320 000 m³/an. Ce volume est du même ordre de grandeur (voire inférieur selon l'hypothèse retenue) que l'infiltration efficace sur le secteur. Ainsi, les prélèvements envisagés n'auraient qu'un impact limité sur la ressource.

Un suivi fin des prélèvements (compteur de débit et sondes de pressions dans les forages exploités ainsi que dans les piézomètres) devrait permettre une bonne gestion de la nappe.

6 Conclusion

Les investigations de terrains, couplées avec l'interprétation des coupes géoélectriques ont permis de bien cerner le contexte géologique et hydrogéologique du secteur de la vallée de Fond Lahaye. Sur cette base, plusieurs sites ont été proposés pour la réalisation de forages de reconnaissance. Les forages réalisés (1177ZZ0176/PZ1 et 1177ZZ0177/PZ2 à des profondeurs de 84 et 62 m), qui ont montré tous deux des résultats positifs, ont permis de valider les hypothèses émises, de reconnaître en direct la géologie profonde du secteur, et de tester l'aquifère à la fois quantitativement et qualitativement pour, in fine, implanter le forage destiné à l'exploitation 1177ZZ0178/FLF2 qui a également montré des résultats positifs.

- Une 1^{ère} phase consistait donc à étudier ces forages. Le passage de l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1 au micromoulinet a permis de bien caractériser et localiser les venues d'eau en son sein. Ces venues d'eau ne dépassant 60 m de profondeur, il a été convenu que l'implantation du forage AEP à proximité (1177ZZ0178/FLF2) **ne nécessiterait pas un forage supérieur à 60 m de profondeur** et que **les crépines devraient être placées entre 25 et 60 m de profondeur**. En outre, les pompages d'essai par paliers de débit ont montré que l'ouvrage 1177ZZ0176/PZ1 présentait de **bonnes propriétés hydrodynamiques intrinsèques**. Le pompage d'essai longue durée réalisé sur le 1177ZZ0176/PZ1 et suivi sur le 1177ZZ0177/PZ2 a révélé que ces deux ouvrages sont **implantés dans une formation à double porosité (laves fissurées avec porosité de matrice)**. A noter que, vers 1177ZZ0176/PZ1, l'aquifère est **surmontée par une formation (éponte) peu perméable mais capacitive** qui n'a toutefois pas été décelée sur 1177ZZ0177/PZ2. Enfin, les paramètres hydrodynamiques de la nappe ont été estimés et la transmissivité serait de l'ordre de **$5.3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** .

- A partir de ces forages de reconnaissances, le forage **1177ZZ0178/FLF2** destiné à l'AEP a été implanté et réalisé **à 2m environ de 1177ZZ0176/PZ1**. Un pompage d'essai par paliers de débit a montré des caractéristiques intrinsèques moyennes pour l'ouvrage, principalement dues au caractère juvénile de celui-ci et qui vont s'améliorer en pompant régulièrement. De plus, et tout comme 1177ZZ0176/PZ1, le milieu dans lequel se trouve 1177ZZ0178/FLF2 serait une **formation à double porosité surmontée d'une éponte peu perméable mais capacitive**. La **transmissivité** a été également estimée à **$6.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** et la **nappe serait captive ($S = 4 \cdot 10^{-3}$) et sans limite détectée**.

- Une 2^{nde} phase consistait à réhabiliter puis évaluer les potentialités de l'ouvrage 1177ZZ0161/FLF1 implanté dans le secteur depuis 1988. Son nettoyage a permis **d'améliorer grandement les propriétés hydrodynamiques intrinsèques de l'ouvrage par rapport à 1988**. L'interprétation du pompage d'essai longue durée réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1 a montré que cet **aquifère captif** a une transmissivité estimée à **$3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** et qu'**aucune connexion n'a été décelée avec la rivière Fond Lahaye**.

- Concernant l'exploitation éventuelle du secteur, **le débit recommandé au 1177ZZ0161/FLF1 est de 480 m³/j**. La seule condition serait de pomper en continu pour éviter de pomper de l'eau chargée durant une vingtaine de minutes à chaque redémarrage de la pompe. Concernant l'ouvrage **1177ZZ0178/FLF2, son débit d'exploitation recommandé est de 600 m³/j** ce qui correspondrait dès lors, pour le secteur, à un total de **1080 m³/j**.

- En confrontant l'estimation réalisée par la suite du **débit de la nappe, entre 600 et 1300 m³/j**, avec ce débit de pompage de 1080 m³/j, il est recommandé que le débit d'exploitation de la nappe **ne dépasse pas 1080 m³/j** et qu'**un suivi des forage 1177ZZ0161/FLF1 et 1177ZZ0178/FLF2 soit assuré** pour parfaire la compréhension du mode de renouvellement des eaux de la nappe. **L'infiltration efficace**, source d'alimentation de la nappe et évaluée **au maximum à 1800 m³/j**, amène également à cette prudence, par souci de ne pas ponctionner l'eau de la réserve permanente de la nappe.

- L'eau est **potable selon les normes AEP**, mis à part la présence d'**arsenic** (14 µg/l max mesuré) au 1177ZZ0161/FLF1 qu'il sera possible de diluer avec les eaux du forage 1177ZZ0178/FLF2 situé en amont. Les datations par les CFC et le Tritium ont montré que cette eau est **d'âge ancien** (< 1960) et que la « Vitesse maximale apparente » d'écoulement au sein de l'aquifère se situe entre **60 et 120 m/an** (confirmant l'estimation de 100 à 150 m/an effectuée d'après la carte piézométrique). Cet âge ancien, confirmé par les études géochimiques (concentration en lithium et bore montrant un **temps de résidence de l'eau élevé**), est généralement le signe d'une bonne qualité de l'eau et d'une faible vulnérabilité aux pollutions récentes (phytosanitaires, nitrates, assainissement récent, etc...).

7 Bibliographie

Castany G. (1998) – Hydrogéologie, Principes et méthodes – Editions Dunod.

Collet Th., Paulin Ch. (1988) – Détermination des périmètres de protection des captages de Schoelcher (Vallées de Case Navire et de Fond Lahaye) – Rapport BRGM 88 MTQ 227, Mairie de Schoelcher, décembre 1988.

Collet Th., Paulin Ch. (1988) – Evaluation des ressources en eau souterraine sur la commune de Schoelcher, Réalisation d'un forage dans la vallée de la rivière Fond Lahaye – Note BRGM, octobre 1988.

Genetier B. (1997) – La pratique des pompages d'essai en hydrogéologie – Manuels & Méthodes BRGM N°9

Lachassagne P. et al (1992) – Evaluation du potentiel en eau souterraine de la commune de Schoelcher – Rapport de synthèse des travaux de recherche d'eau souterraine et d'évaluation de la ressource menés dans les vallées de Case Navire et Fond Lahaye – Rapport R34434 ANT 4S 92.

Lods G., Guze Ph. in press. WTFM, software for Well Test analysis in Fractured Media combining fractional flow with double porosity and leakance approaches. Computer & Geosciences Journal.

Plote Hermann (1986) – Sondage de reconnaissance hydrogéologique, Méthode du marteau Fond-de-trou (Exécution et surveillance) – Manuels & Méthodes BRGM N°12

Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini S., Ladouche B., Marechal J.C., Petit V. (2007) – Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : identification et caractérisations quantitatives – Rapport BRGM/RP-55099-FR.

Westercamp D., Pelletier B., Thibault P.M., Traineau H. (1990) – Carte géologique de la Martinique au 1/50000^{ème} – Editions BRGM

Annexe 1

Investigations géologiques sur le site

A) Les falaises d'andésite 2 α bordant la vallée



Photo 1 : Falaise d'andésite 2 α , photo prise vers l'Est, du bord de la route, entre le futur lotissement et le gué, au sud du profil 2

A l'affleurement, ces andésites forment une roche massive, peu ou pas altérée en général, qui sonne clair au marteau, et présentant des figures de flux (Photo 2) : les coulées de lave forment des empilements pluridécimétriques voire décamétriques, comme le montrent les photos suivantes.



Photo 2: Figures de flux des andésites 2 α

Sur le terrain, en rive gauche de la rivière, on observe la falaise à partir de l'extrémité Est du profil P7 jusqu'au dessus de l'affleurement du nouveau lotissement. En rive droite, on l'observe de l'extrémité Ouest du profil P7 jusqu'à l'extrémité Ouest du profil P3. La falaise n'a pas été observée au niveau du profil P2.

B) Ravine au dessus de chez Albert

La remontée de la ravine « au dessus de chez Albert » (partant approximativement du gué à proximité du forage existant et remontant vers la Démarche) a permis d'observer la présence de cette falaise, décalée par rapport à son alignement en amont. La falaise continue ensuite en direction du Sud, mais « disparaît » approximativement en amont du coude de la rivière Fond Lahaye.

C) Ravine « Petit Fond »

La remontée de la ravine « Petit Fond » en direction de la Démarche a, là aussi, permis de « retrouver » un affleurement d'andésite (qui se marque par une cascade) permettant de conclure que, même si la falaise n'est pas visible à l'affleurement au niveau du profil P2, elle est néanmoins présente sous recouvrement.

D) Remontée de la rivière Fond Lahaye

La remontée de la rivière Fond Lahaye entre la station d'épuration et les dernières maisons (au dessus de la cote 77m) a permis d'identifier clairement les alluvions torrentielles déposées par cette rivière, et de les dissocier des éboulis (Photo 3).

Ces formations (alluvions et/ou éboulis) présentent une épaisseur importante puisque leur substratum n'a été observé nulle part dans le lit vif du cours d'eau.



Photo 3 : Alluvions de la rivière Fond Lahaye (au niveau du V de rivière sur la carte IGN)

E) Remontée de la ravine venant de Terreville

La remontée de cette rivière a permis d'observer des affleurements de type conglomérats, constitués de blocs d'andésites (polygéniques) de taille variée (taille centimétrique à pluri-métrique) la plupart arrondis (mais quelques éléments semblent anguleux). Une falaise d'environ 10 m de hauteur présentant ces conglomérats a été observée d'abord en rive gauche, puis une centaine de mètres plus haut en rive droite de cette ravine). Ces affleurements seraient à rattacher aux formations 6B.



Photo 4 : Affleurement de la coulée de débris 6B, approximativement au niveau de la courbe de niveau 100 m au sein de la ravine de Terreville

F) Affleurement du futur lotissement

Cet affleurement se situe à environ 100 m (distance à vol d'oiseau) de la falaise visible sur la photo 1. Cette falaise d'andésite se trouve au dessus des formations décrites ci-dessous :

Sur la photo 5, on peut déjà distinguer plusieurs structures différentes avec, de haut en bas :

- des éboulis dans une matrice terro-argileuse, sous la limite de la forêt,

- une formation constituée d'andésites légèrement altérée en surface, avec une couleur d'altération bordeaux (Photo 6), mais globalement saine une fois cassée au marteau. Cette formation semble présenter des reliques de figures de flux, de directions différentes (N165, 45° W) de celles de la falaise au dessus ainsi qu'un certain nombre de fractures ayant entraîné un broyage des matériaux (Photo 6). Ces « fractures » ne décalent pas l'interface entre ces andésites bordeaux et leur substratum. *Il est a noté que ce sont ces andésites présentant une altération de couleur bordeaux qui seront retrouvées en rive gauche de la plage de Fond Lahaye ;*
- sous cette formation on observe un ensemble assimilable à un paléosol ou à une surface d'altération de son substratum. L'épaisseur altérée augmente sensiblement du NW vers le SE (de moins de 1 m à 4 m environ) ce qui suggère un ravinement de cet horizon altéré avant la mise en place des andésites sus-jacentes ;
- enfin, la base de cet affleurement est constituée d'une formation composée de blocs d'andésite sombre dans une matrice argileuse, les blocs eux mêmes, de lithologie homogène, sont de plusieurs types : certains d'entre eux sont arrondis et présentent une altération blanchâtre, les autres sont anguleux et sains (très durs).

On observe juste en dessous de la falaise, un affleurement d'andésite altérée. L'affleurement comporte deux parties distinctes :

- au sommet, une andésite altérée de couleur bordeaux, présentant des figures de flux et des fractures, ayant entraîné un broyage des matériaux, similaire à celles de l'affleurement décrit ci-dessus,
- en dessous, une autre formation beaucoup plus altérée constituée d'une andésite sombre dans une matrice argileuse, aucune organisation ne semble structurer cet ensemble (Photo 7).



Photo 5: Affleurement d'andésite altérée du nouveau lotissement



Photo 6 : Détails des andésites montrant une altération bordeaux



Photo 7 : Côté Nord de l'affleurement du nouveau lotissement

G) Affleurements au niveau de la plage de Fond Lahaye

En rive droite de la plage de Fond Lahaye, les Coulées de débris 6B sont visibles à l'affleurement. En rive gauche on peut observer les andésites 2 alpha présentant une altération de surface de couleur bordeaux (similaire à celle de l'affleurement du nouveau lotissement).



Photo 8 : Affleurement de 6B sur le littoral en rive droite de la vallée de Fond Lahaye (photo de gauche); Affleurement d'andésite en rive gauche (photo de droite)

Annexe 2

Méthode des panneaux électriques

Introduction

La méthode de prospection par panneaux électriques est une méthode géophysique dont le but est de décrire les variations de résistivité en profondeur et le long d'un profil. Elle réalise à la fois une investigation en profondeur comme un sondage électrique et une investigation en profil comme un traîné électrique. Des procédures d'acquisition et des équipements spécifiques commandés par microprocesseur ont été mises au point pour réduire les difficultés et les coûts de mise en œuvre. L'interprétation des résultats, qui est réellement une interprétation 2D, fait appel à des algorithmes spécifiques de calcul tenant compte, notamment, des variations d'altitude le long du profil.

Principes généraux des méthodes électriques par courant continu

Comme pour les autres méthodes électriques par courant continu, un courant I est injecté entre deux électrodes (ou pôles) A et B et une tension V est mesurée entre deux électrodes M et N. Un tel dispositif d'émission et de réception est appelé quadripôle. La résistivité apparente du sol, ρ_a est définie comme la résistivité d'un sol homogène et isotrope, qui, alors que le courant I est injecté entre les électrodes A et B, donnerait entre les électrodes M et N la différence de potentiel V , telle que : $\rho_a = K \cdot V / I$, où K (appelé coefficient géométrique) est fonction des distances entre les différentes électrodes A, B, M et N.

La profondeur d'investigation augmente avec les dimensions du dispositif d'électrodes, mais diminue avec la résistivité des terrains. La résolution décroît avec la profondeur. Un terrain superficiel conducteur est généralement un inconvénient qui limite la profondeur d'investigation et la résolution ; il oblige à fortement augmenter la longueur de dispositif pour obtenir un résultat comparable à celui obtenu sur un terrain superficiel résistant.

Les résistivités apparentes mesurées pour différents dispositifs d'électrodes sont ensuite interprétées pour approcher la répartition des résistivités vraies dans le sol.

Procédures d'acquisition des mesures de panneau électrique

Un ensemble d'électrodes est régulièrement disposé le long d'un profil rectiligne. Différentes configurations d'électrodes émettrices (ou d'injection) et réceptrices (ou de mesure) peuvent être utilisées. Les plus courantes sont les suivantes :

- configuration pôle-pôle : le pôle d'injection B et le pôle de mesure N sont implantés à grande distance du profil de mesure et sont considérés comme « à l'infini ». Le pôle d'injection A et le pôle de mesure M prennent successivement les différentes positions d'électrodes du profil lors de la réalisation du panneau ;
- configuration pôle-dipôle : le pôle d'injection B est implanté « à l'infini ». Le pôle d'injection A et le dipôle de mesure MN prennent successivement les différentes positions d'électrodes du profil lors de la réalisation du panneau ;

- configuration dipôle-dipôle : le dipôle d'injection AB et le dipôle de mesure MN prennent successivement les différentes positions d'électrodes du profil lors de la réalisation du panneau ;
- configuration Wenner-Schlumberger : comme pour le dipôle-dipôle il n'y a pas de pôle à l'infini mais le dipôle de mesure MN est inclus dans le dipôle d'injection AB avec la distance AB étant égale à trois fois la distance MN. Le dispositif inverse avec le dipôle AB inclus dans le dipôle MN est équivalent selon le principe de superposition des pôles électriques.
- configuration gradient généralisé : le dipôle de mesure MN est inclus dans le dipôle d'injection AB qui est très grand par rapport à MN ($20 \times MN$). Les mesures consistent à scanner l'intervalle entre A et B.

Les grandeurs caractéristiques de ces configurations sont :

- l'espacement, a qui correspond à la distance entre les électrodes du profil,
- et le rang, n grandeur entière qui indique la distance (n fois l'espacement a) entre les parties émettrice et réceptrice du dispositif.

Un panneau électrique est établi en mesurant la tension pour différentes combinaisons d'émetteur et de récepteur (fig. 1). Les mesures effectuées avec un écartement entre émetteur-récepteur de 1 espacement sont dites de rang 1, celles effectuées avec un écartement de 2 espacements sont de rang 2, etc. Les mesures sont présentées sous forme de coupes ou panneaux isovaleur dont l'axe des abscisses correspond à la position le long du profil, et l'axe des ordonnées correspond au rang qui est une fonction de la profondeur (pseudo-profondeur). Ces coupes sont appelées pseudo-coupes de résistivité apparente. La mesure est généralement représentée au milieu du segment émetteur-récepteur. La profondeur d'investigation augmente avec le rang n .

L'interprétation de la pseudo-coupe prend en compte l'ensemble des mesures et aboutit à une coupe, distribution continue des résistivités dites « inversées » le long du profil et en fonction de la profondeur.

À espacements et rangs égaux, la configuration **dipôle-dipôle** a la **plus faible profondeur d'investigation, mais le meilleur pouvoir de résolution**, alors que la configuration **Wenner-Schlumberger** a la **plus grande profondeur d'investigation, mais le moins bon pouvoir de résolution**.

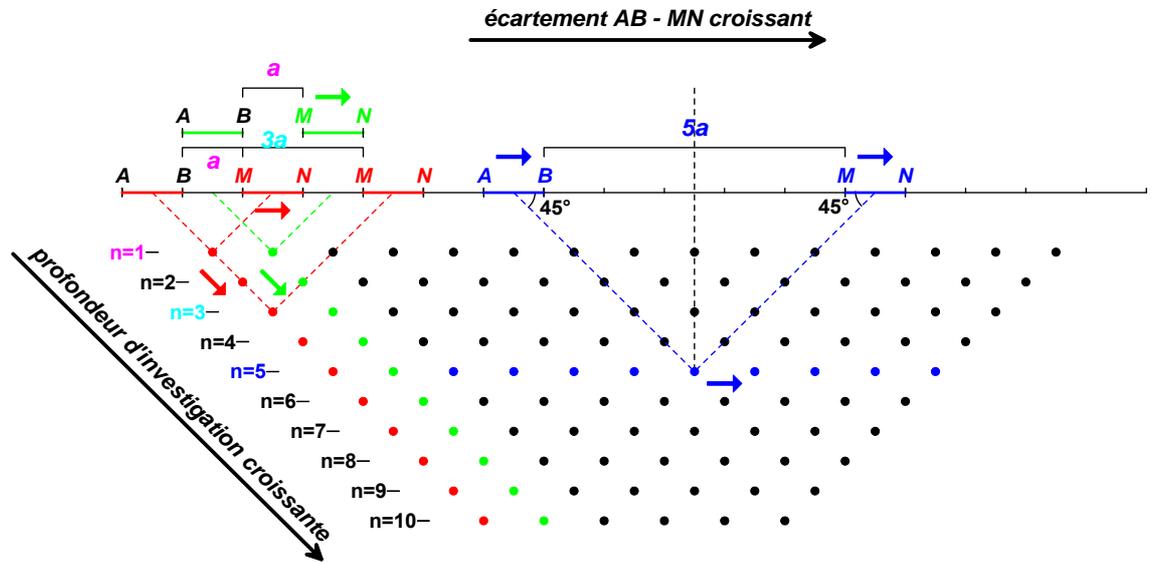


Illustration 75 : Schéma de la procédure d'acquisition d'un panneau électrique dipôle-dipôle et de présentation sur une pseudo-coupe : les points sont les lieux de représentation des mesures

Inversion des pseudo-coupes

Les pseudo-coupes sont interprétées par inversion de la résistivité apparente avec le logiciel RES2DINV (Loke & Barker 1996). En configuration par éléments finis, la topographie le long des profils est prise en compte et modélisée. Les résultats de l'inversion sont présentés sous forme de coupe-profondeur de résistivité calculée.

Cette interprétation par inversion fournit des informations quantitatives permettant de caractériser l'origine des différentes anomalies mises en évidence : résistivité, géométrie et profondeur, pendage.

Quelles que soient les performances des algorithmes de convergence, en l'absence d'étalonnage (résistivité étalonnée, profondeur des interfaces géoélectriques) les paramètres fournis par l'inversion ne sont pas définis de manière univoque (il y a plusieurs solutions satisfaisant au même jeu de données). Cette indétermination ne peut être évaluée qu'en testant différentes solutions ou en contraignant l'inversion au moyen de paramètres (résistivités, épaisseurs, profondeurs) obtenus par d'autres moyens (diagraphies, forages, connaissances du contexte géologique régional et local...).

Annexe 3

Coupes géophysiques réalisées

Introduction

La campagne de mesures s'est déroulée du 5 juin au 24 juin 2006 (amené et repli compris). Elle a été réalisée par F. Mathieu, géophysicien confirmé de l'unité ARN/RSC du BRGM, aidés de 8 brigadiers de l'environnement de la CACEM (par équipe de 2).

Le layonnage, qui ne concernait que les cinq profils est-ouest du secteur de Fond Lahaye, a été en partie réalisé par une équipe de la CACEM et en partie par F. Mathieu.

Les levés altimétriques ont été effectués sur chaque profil avec un télémètre (Trupulse 2000). La précision sur les altitudes est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres. Pour Fond Lahaye, le point de référence altimétrique est le socle en béton du forage 1177ZZ0161 (Z = 43.6m).

La compilation des données géophysiques a été effectuée par F. Mathieu.

L'équipement utilisé est le suivant :

- 1 émetteur récepteur SYSCAL Pro équipé d'un convertisseur 250W
- câbles électriques et électrodes inox (96 électrodes).
- 3 talkies walkies
- 1 télémètre Trupulse 2000
- 1 ordinateur portable
- 1 véhicule 4x4

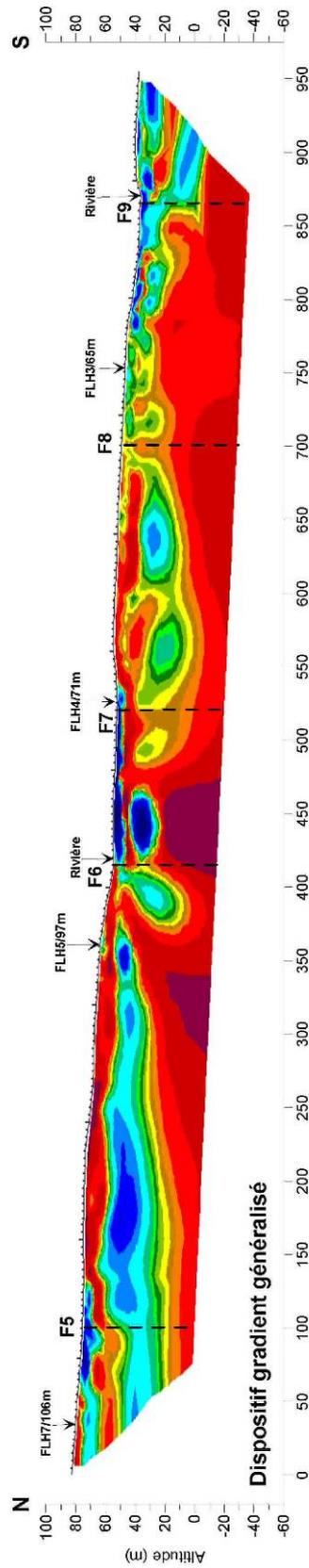
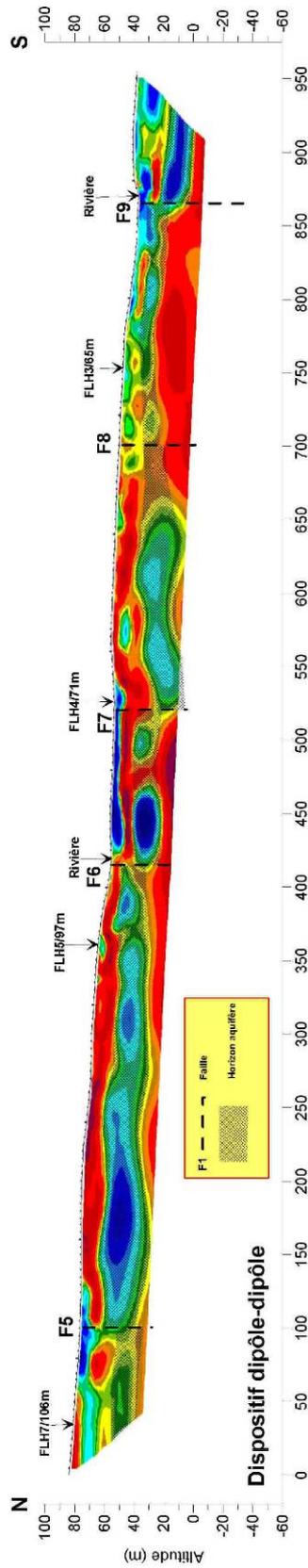
Problèmes rencontrés :

Sur le secteur de Fond Lahaye, les mesures de résistivité sont très bruitées du fait de la présence en surface d'une formation très hétérogène constituée d'éboulis (présence de blocs de plusieurs mètres cube) et d'alluvions grossières. Ce bruit géologique ajouté à la complexité structurale de la zone a rendu l'interprétation géophysique délicate.

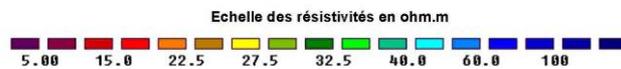
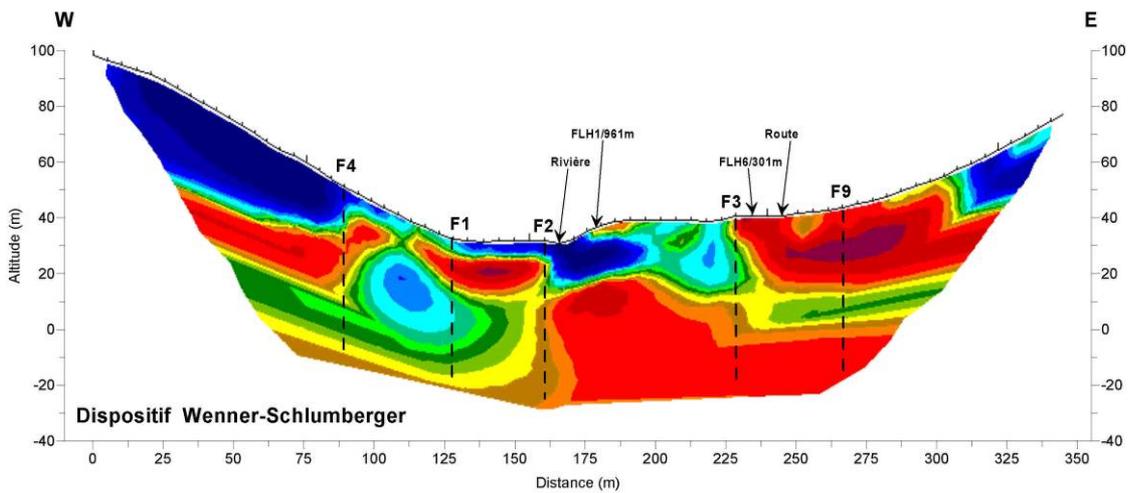
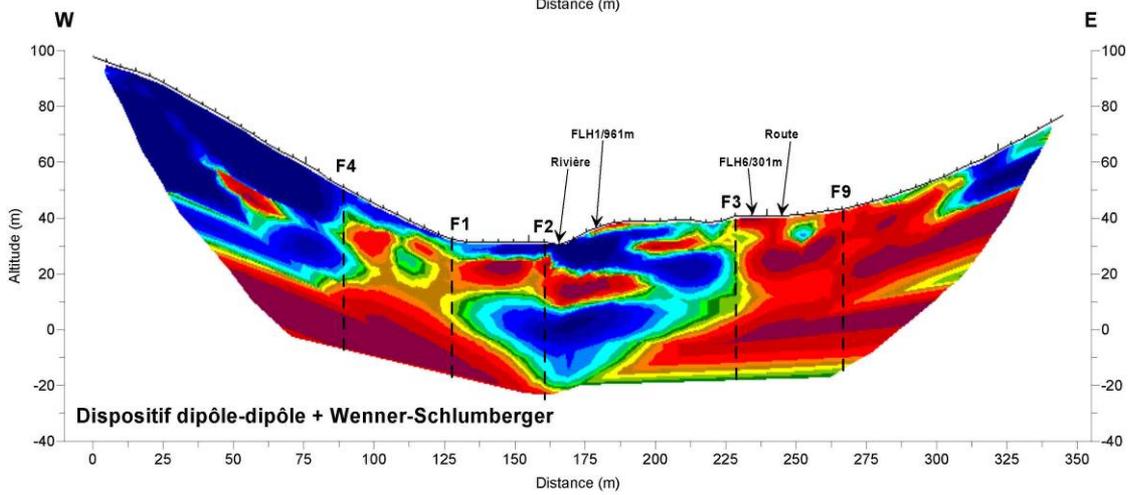
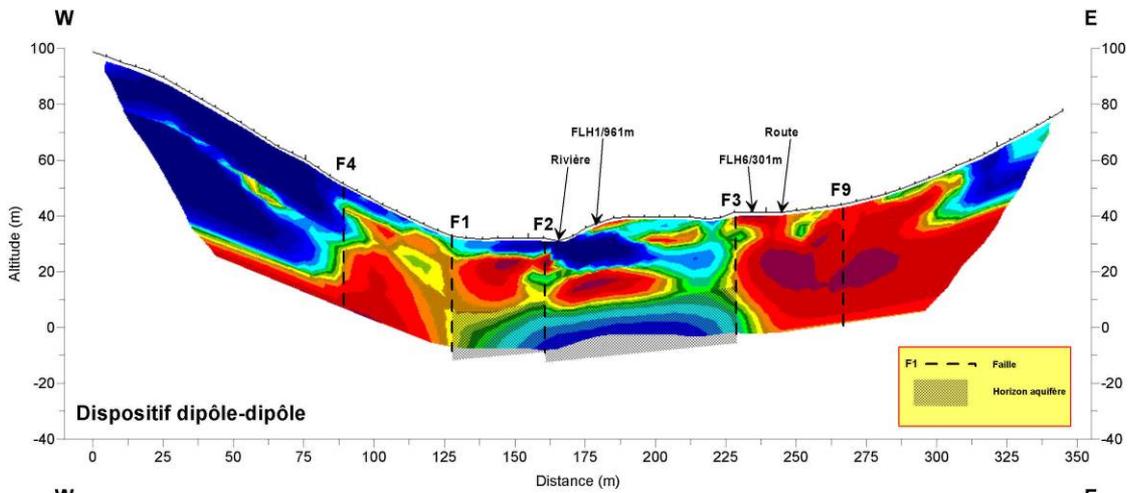
Profil	Longueur (m)	Abscisse (m)	Repère
FLH1	955	0	NE , épave camion frigorifique
		35	intersection FLH7/106m
		362	intersection FLH5/97m
		420	axe rivière (gué)
		526	intersection FLH4/71m
		580	maison de l'autre côté de la route
		753	intersection FLH3/65m
		800	maison
		815	intersection ravine sèche
		870	axe rivière
FLH2	345	0	W
		170	axe rivière
		182	intersection FLH1/961m (extension)
		225-242	remblais
		234	intersection FLH6/301m
		245	axe route
		345	ped de la falaise
FLH3	235	0	W , pied de la falaise
		65	intersection FLH1/753m
		67	axe route
		100	axe rivière
		114	piézomètre BRGM
		119	intersection FLH6/113m
FLH4	235	0	W , pied de la falaise
		71	intersection FLH1/526m
		73	axe route
		90	axe rivière
FLH5	225	0	W , pied de la falaise
		67	axe rivière
		95	axe route
		97	intersection FLH1/362m
		225	ped de la falaise
FLH6	475	0	NE , cloture
		113	piézomètre BRGM, intersection FLH3/119
		150	axe du gué
		252	axe route
		260-315	remblais
		301	intersection FLH2/234m
FLH7	235	0	W , pied de la falaise
		75	axe rivière
		105	axe route
		106	intersection FLH1/35m

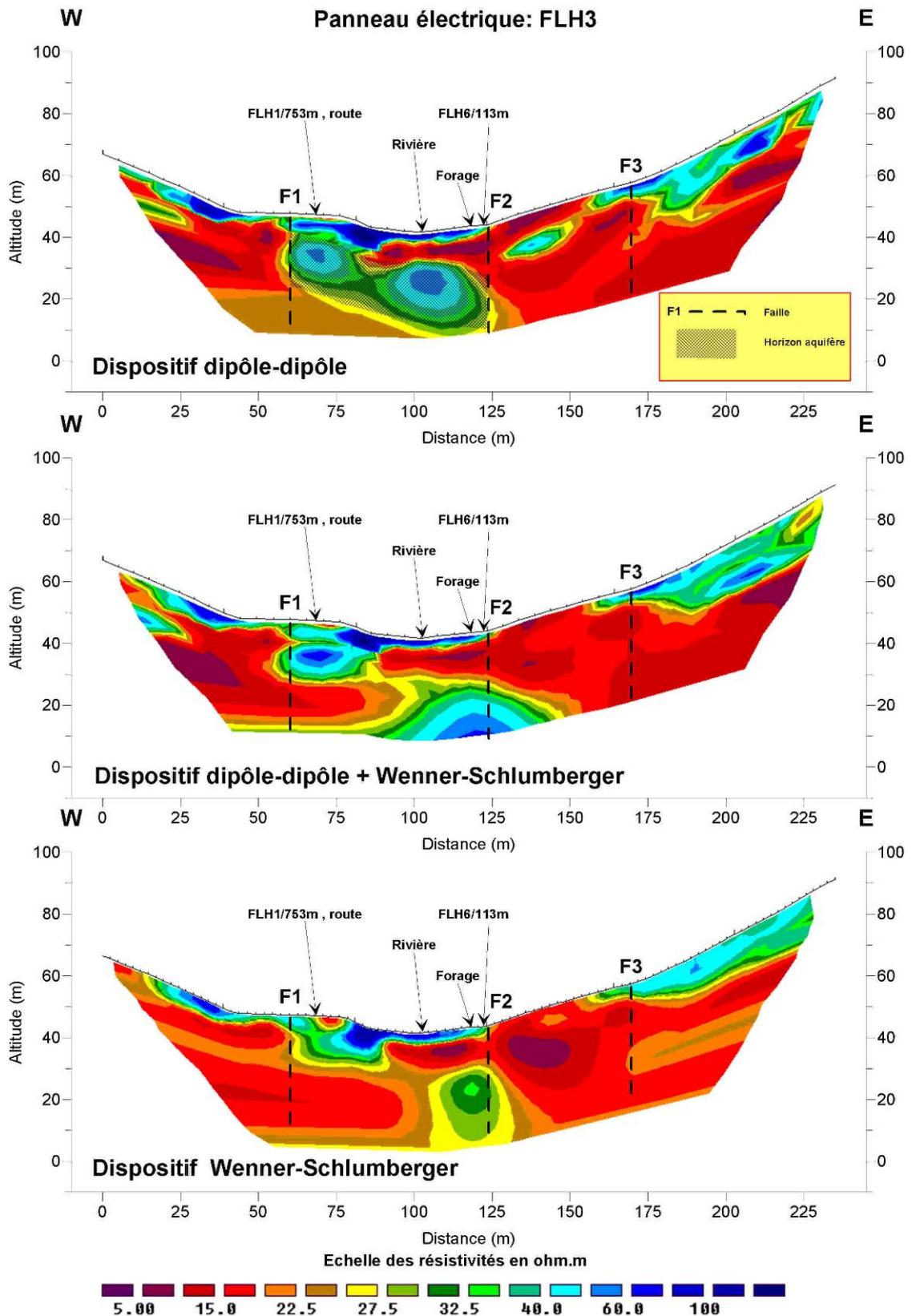
Illustration 76 : Repère d'implantation des profils géophysiques

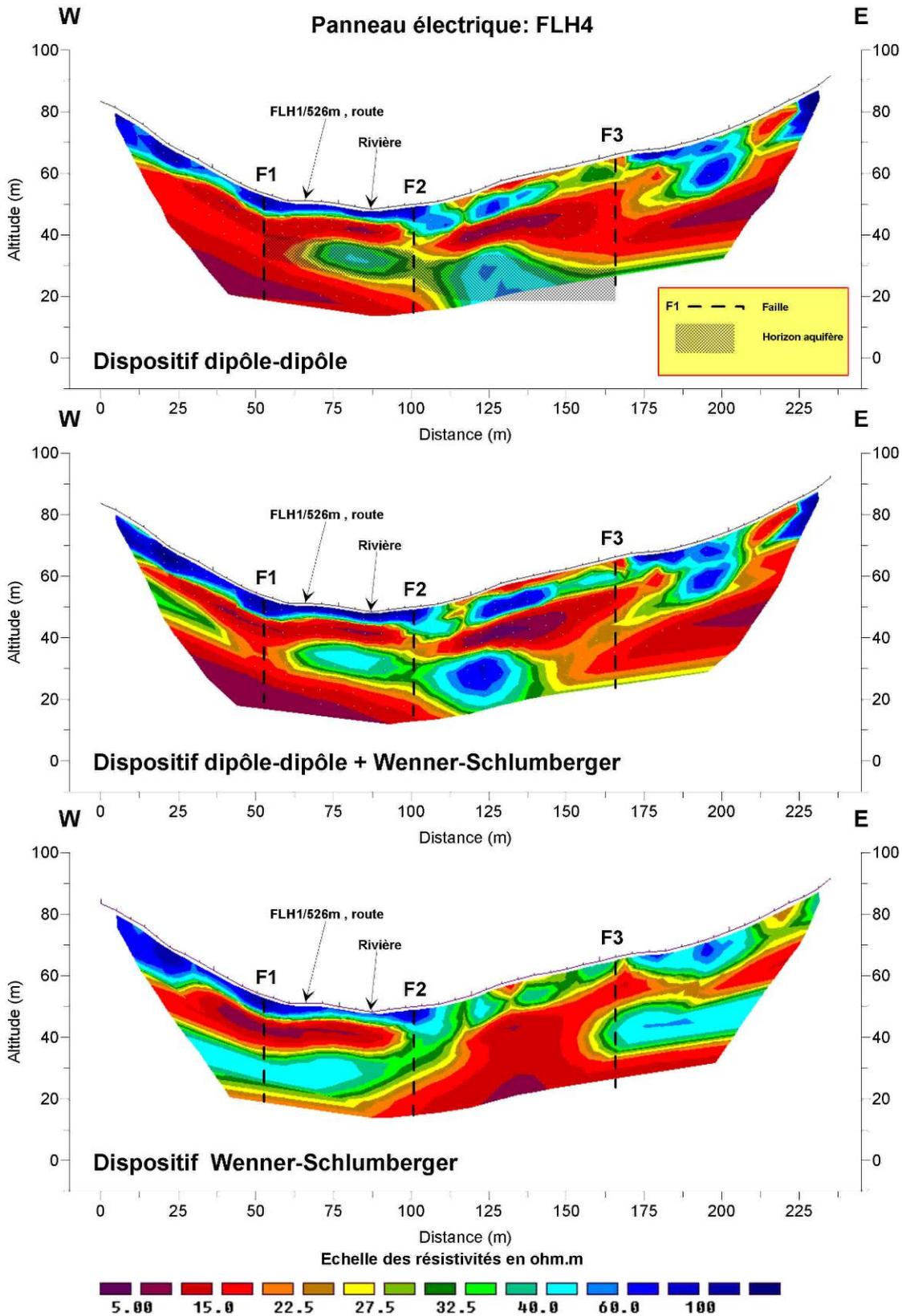
Panneau électrique: FLH1

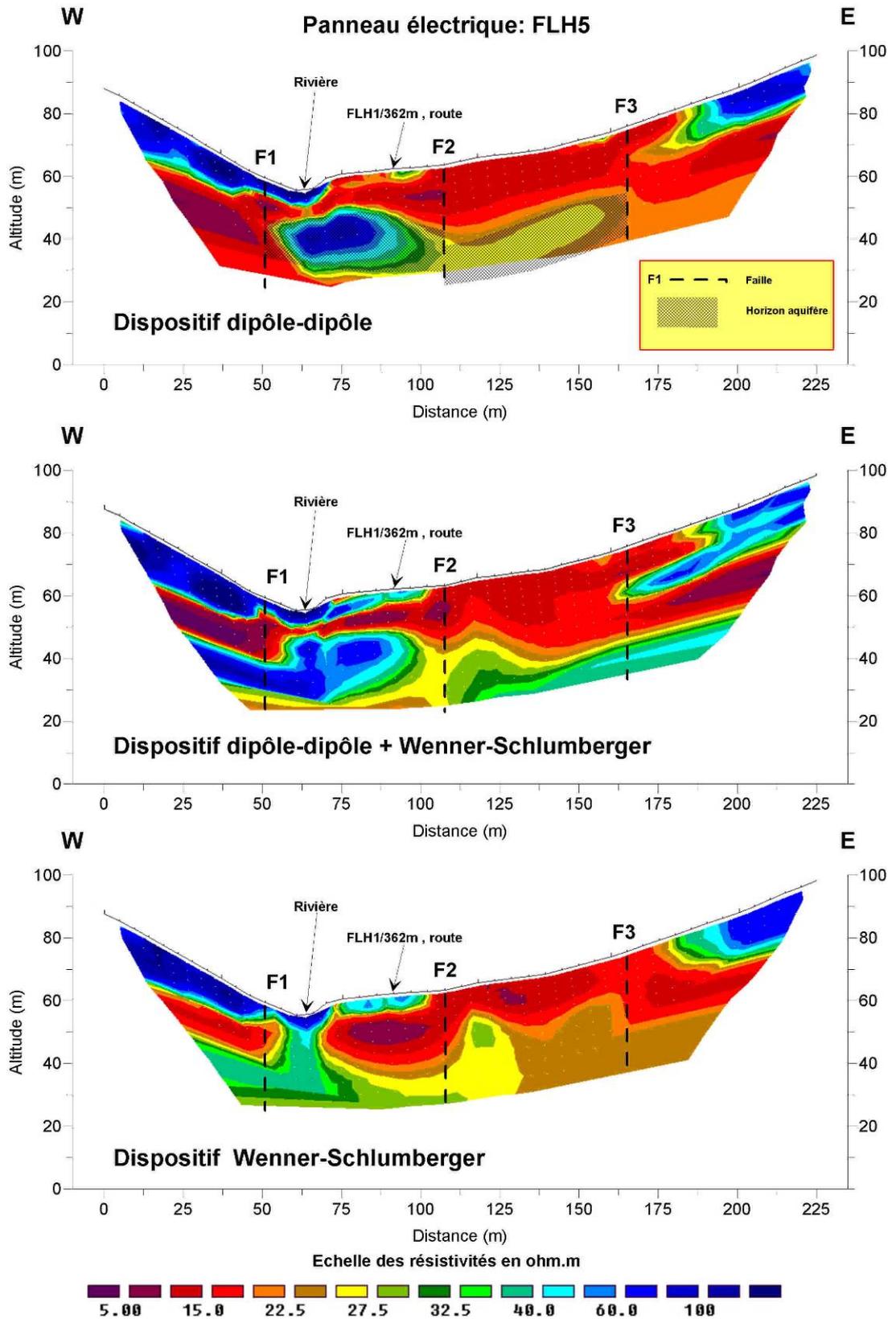


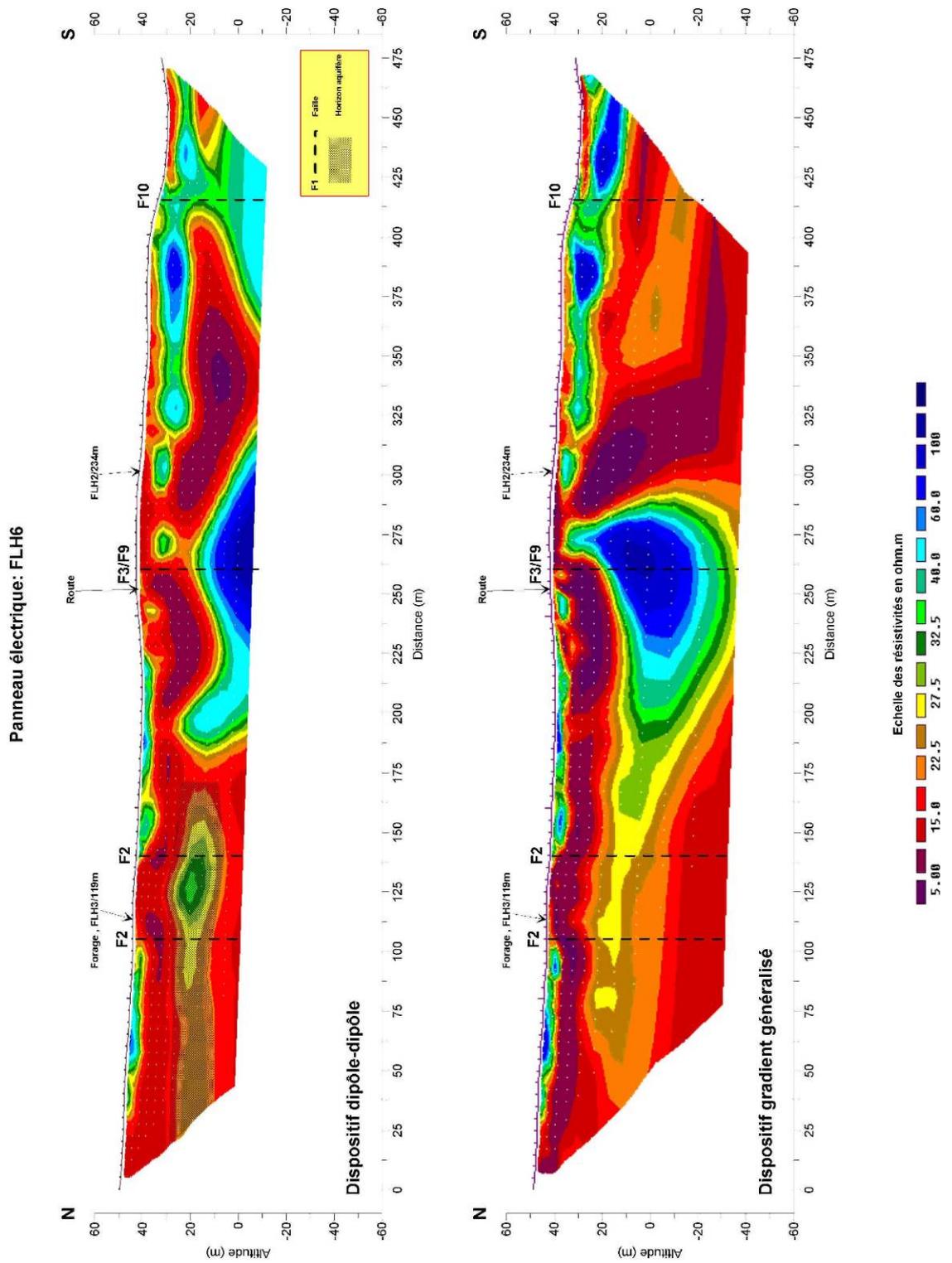
Panneau électrique: FLH2

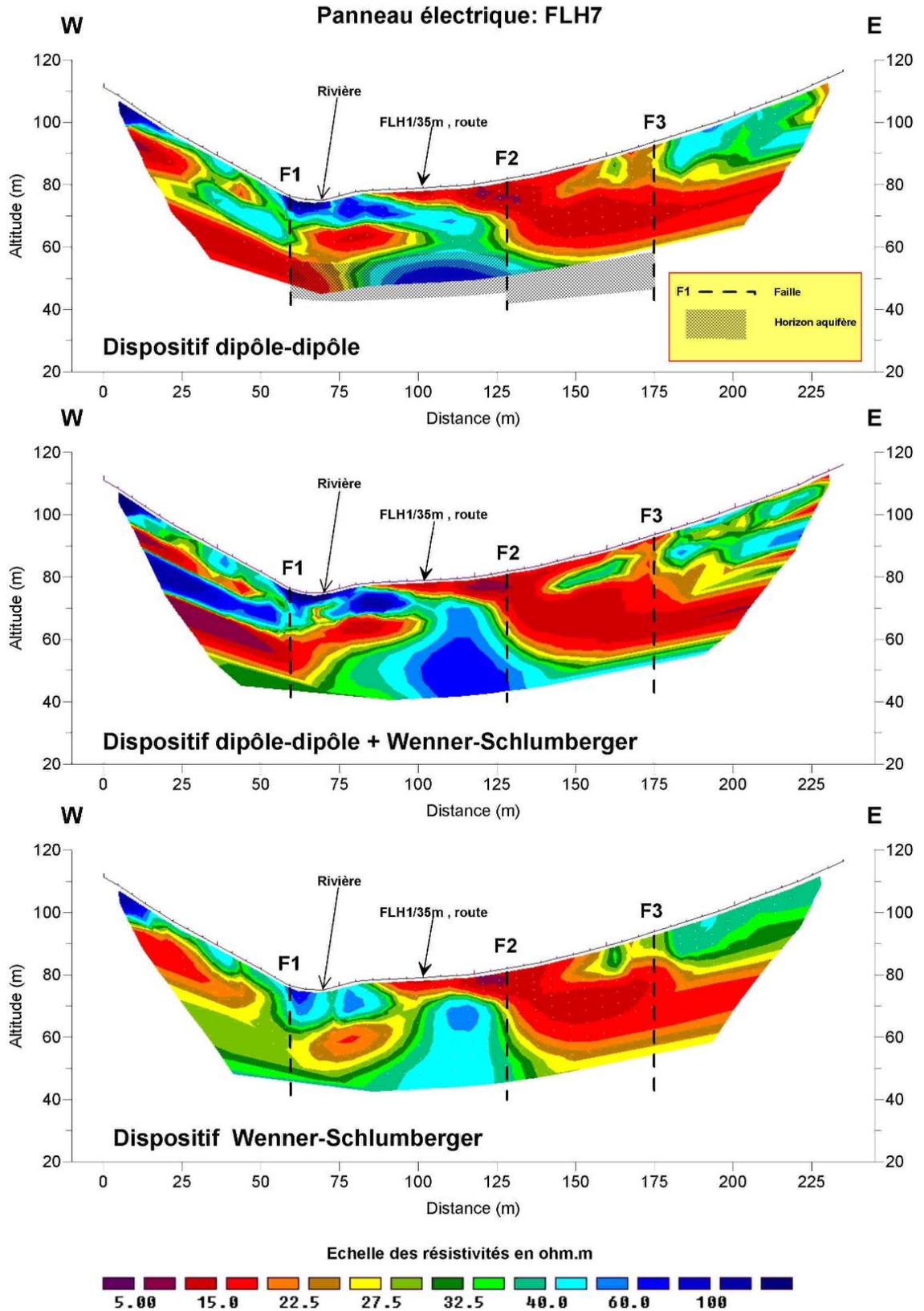












Annexe 4

Compte rendu du chantier du forage de reconnaissance 1177ZZ0176/PZ1

La foreuse a été amenée sur site le samedi 2 juin dans l'après-midi et le creusement a débuté le lundi 4 juin vers 8h00.

Le forage a été réalisé jusqu'à 23 m en tubage à l'avancement (TAV). Une tentative de passage au marteau taillant direct a été réalisée entre 23 et 26 m, mais le terrain s'est révélé difficile à traverser (éboulements, argiles et gros blocs), et une perte d'air a été observée entre 24 et 26 m. Compte tenu de la faible tenue du terrain, il a été décidé de prolonger en TAV.

L'outil du TAV s'est bloqué entre 24 et 25 m, et de nombreuses tentatives n'ont pas permis de le débloquent le jour même.

L'outil a été débloquent avec des vérins hydrauliques le jeudi 7 juin au matin. Après remontée du train de tiges et du TAV, il s'est avéré que le sabot du TAV était cassé. Le sabot a été changé le vendredi 8 juin, et le creusement a pu reprendre dans l'après-midi.

Le forage a été réalisé jusqu'à 29 m au TAV, ensuite le creusement s'est poursuivi au marteau taillant direct jusqu'à 53 m. Le 9 juin, le creusement a été poursuivi jusqu'à 84 m. De nombreuses venues d'eau sont apparues entre 24 et 80 m, avec un débit au soufflage estimé à 30 m³/h.

Le forage a été équipé ainsi :

- PVC plein de 84 à 80 m
- PVC crépiné de 80 à 20 m
- PVC plein de 20 à 0 m

Il était prévu de placer du gravier de -84 à -20 m et de cimenter entre -20 et 0 m.

Le forage a été gravillonné jusqu'à -25m le samedi 9 juin. Néanmoins, compte tenu du défaut d'approvisionnement du chantier en graviers conformes au cahier des charges et à la dimension des crépines, cette opération n'a pu être prolongée.

Le lundi 11 juin, du gravier local a été ajouté. Cependant, cette opération a rencontré des difficultés, a priori compte tenu de la forte granulométrie du gravier employé. Le niveau de gravier a été mesuré par le foreur à -10 m puis à -5 m après soufflage. (Pour rappel le BRGM n'a été tenu informé du gravillonnage et de la granulométrie de ce gravier qu'une fois bloqué à -10m).

Après concertation, la CACEM et le BRGM ont demandé au foreur de faire le nécessaire pour pouvoir cimenter à la cote prévue de -20m. Il était également prévu, en dernier recours, de retirer le tubage et de recommencer l'équipement dans le trou existant (après soufflage/recreusement si nécessaire).

Malgré diverses tentatives, le tubage PVC s'est a priori déboîté vers -18 m. Le foreur a ensuite pris la décision de reboucher le forage. Le BRGM et la CACEM n'ont été prévenus qu'une fois cette opération réalisée (le BRGM a alors demandé au foreur que le rebouchage soit réalisé avec cimentation sur la zone non encore bouchée au moment de l'appel téléphonique : -9 m à la surface, cette opération n'a pas pu être vérifiée in-situ).

Le foreur a ensuite décidé de se déplacer d'un mètre afin de reprendre le forage depuis le début. Ce nouveau creusement a débuté le 11 juin vers 14h30. Ce jour là, elle a été réalisée au TAV jusqu'aux premières venues d'eau autour de 24 m. Le 12 juin, le creusement a été poursuivi au TAV jusqu'à 28,5 m, puis au marteau taillant direct jusqu'à 85,5 m. De nombreuses venues d'eau sont apparues entre 24 et 85,5 m, avec un débit au soufflage maximal estimé à 30 m³/h.

Au cours de la vérification de la profondeur du forage, réalisée en fin d'après midi, il a été observé une obstruction du trou à 51 m de profondeur. Le mercredi 13 juin, le foreur, après concertation avec le BRGM et la CACEM, a poussé ces éléments qui bouchaient l'ouvrage au fond du puits et a commencé l'équipement du puits en tubage PVC. Un problème sur un vérin de la mâchoire de la foreuse, permettant le maintien des tubages, a provoqué l'arrêt momentané du chantier durant la journée.

Le forage a été équipé ainsi :

- PVC plein de 85,5 à 81,5 m
- PVC crépiné de 81,5 à 21,5 m
- PVC plein de 21,5 à 0 m

Des graviers ont été mis entre 85,5 et 21 m environ puis l'ouvrage a été cimenté de 21 à 0m.

Annexe 5

Observations macro- et microscopiques des échantillons prélevés lors du forage de 1177ZZ0176/PZ1

A) Entre -84 et -78 m (incertitude de 2 m environ) :

L'observation des échantillons bruts montre une boue argileuse comportant des fragments plurimillimétriques de couleur noire à bleu nuit très majoritaires (90%), à légers reflets verdâtres par endroits, ainsi que quelques éléments brun-rouille, contenant parfois des minéraux porphyriques blancs. A la loupe binoculaire, les fragments présentent une texture microlithique à verre peu abondant, d'aspect non bulleux et à teinte sombre pouvant s'apparenter à un basalte. Certains constituants de la roche sont reconnaissables :

- Des minéraux noirs, prismatiques, relativement opaques, à cassure conchoïdale et à éclat vitreux : pyroxènes de type augite (photo 9),
- Des minéraux verts, laiteux, souvent altérés, à éclat mat : indéterminés (photo 10),
- Des minéraux blancs, souvent en agrégats massifs, translucides, plurimillimétriques : plagioclase (photo 11),
- Des minéraux jaune-orangé à rouge vif (quand semblant très altérés), translucides, parfois en agrégats, plurimillimétriques : indéterminés (photo 12).



Photo 9 :Pyroxène (loupe binoculaire, grossissement x20)

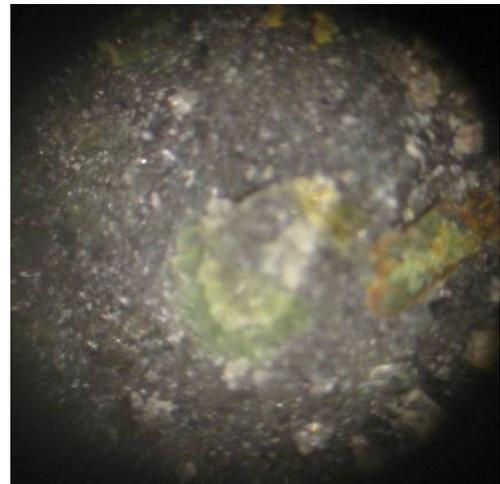


Photo 10 :Pyroxène (loupe binoculaire, grossissement x20)



Photo 11 : Plagioclases (loupe binoculaire, grossissement x20)

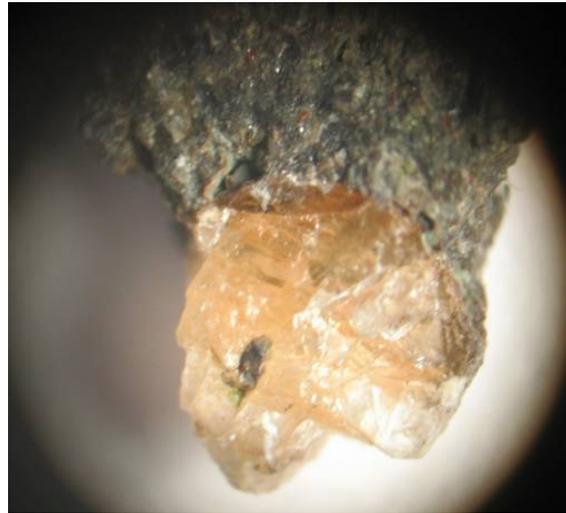


Photo 12 : Minéral indéterminé, plagioclase altéré ? (loupe binoculaire, grossissement x20)

La détermination de ces minéraux, couplée à l'étude de la notice de la carte géologique (Westercamp et al., 1989) permet d'associer ces fragments soit à la formation 1βol des Basaltes porphyriques à augite et olivine qui auraient été fortement altérés et argilisés, soit à la formation 2α des Andésites porphyriques sombres à hyperstène et à augite.

B) Entre -78 et -35 m :

L'observation des échantillons bruts montre une boue argileuse à couleur lie de vin / bordeaux comportant des fragments de tailles variables et de couleur bleu nuit à bordeaux, à nombreux phénocristaux. Quelques galettes d'argile jaune-verdâtre à brune ont été observées (entre -79 m et -74 m, entre -50 et -41 m notamment). La loupe binoculaire révèle des fragments à texture microlithique à verre peu abondant, souvent bulleuse, à teinte bordeaux et présentant les minéraux suivants :

- Des minéraux translucides, blanc à gris : plagioclases (photo 13)
- Des minéraux translucides, blanc à gris, à reflets beige-orangé parfois jaune, souvent en agrégats massifs : indéterminés (hyperstène ??) (photo 14)
- Quelques minéraux noirs, prismatiques, relativement opaques, à cassure conchoïdale et à éclat vitreux, présentant parfois une altération bleutée : amphiboles de type hornblende (photo 15)
- Des petits minéraux noirs opaques, à éclat métalliques (photo 16)

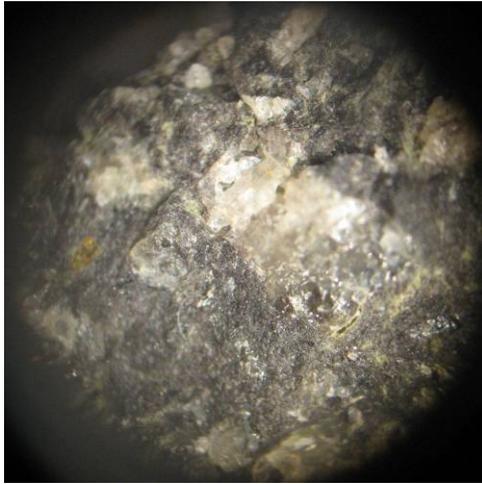


Photo 13 : Plagioclases (loupe binoculaire, grossissement x20)



Photo 14 : Agrégat blanc à jaunâtre, plagioclases altérés ou hyperstène ? (loupe binoculaire, grossissement x20)

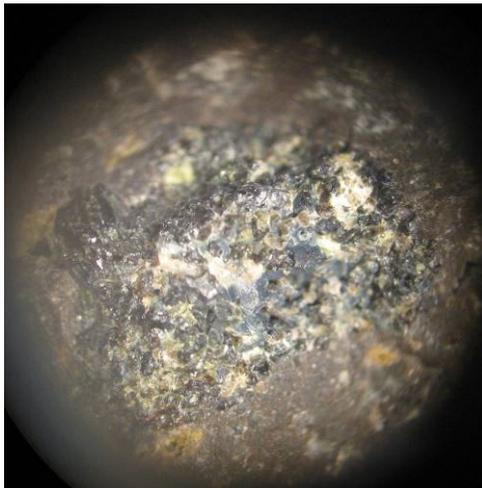


Photo 15 : Amphiboles très altérées (loupe binoculaire, grossissement x20)

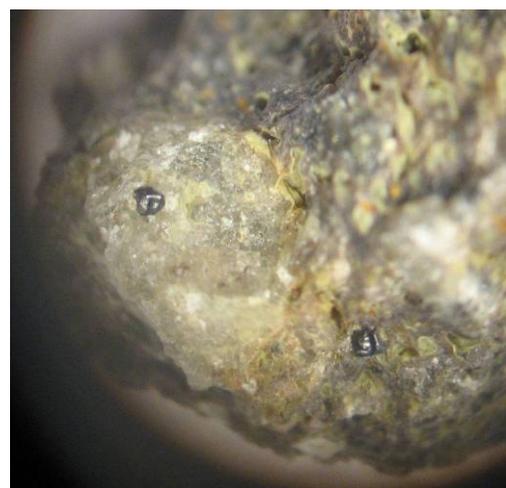


Photo 16 : Minéraux opaques à aspect métallique (loupe binoculaire, grossissement x20)

Des scories sont observables, principalement à la base de la formation (entre -65 m et -78 m). Leur nombre diminue progressivement jusqu'à -35 m.

A contrario, des traces d'oxydation, pouvant témoigner de circulation d'eau, sont de plus en plus présentes en remontant cette formation. En effet, des fragments présentant des agrégats à l'aspect fibreux rouge vif, s'apparentant à des croûtes recouvrant la mésostase, sont de plus en plus présents dans les échantillons en remontant vers -35 m.

Enfin, un jaunissement global des échantillons s'observe également en remontant vers -35 m. A la loupe binoculaire, ce phénomène s'explique par un nombre grandissant de fragments jaune vif à orange, couleur induite par une cristallisation secondaire de minéraux de soufre natif.

Ces phénomènes sont montrés sur les photos suivantes.

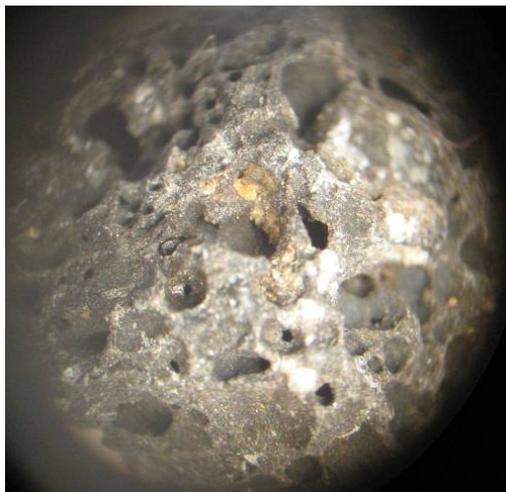


Photo 17 : Scories (loupe binoculaire, grossissement x20)

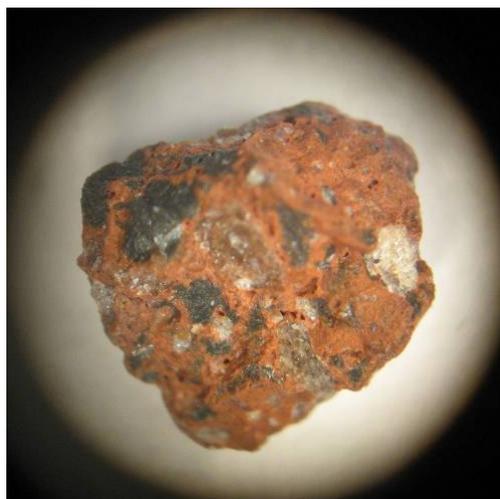


Photo 18 : Surface oxydée (loupe binoculaire, grossissement x20)



Photo 19 : Dépôt de soufre natif (loupe binoculaire, grossissement x20)

La détermination des minéraux présents dans ces échantillons, couplée à l'étude de la notice de la carte géologique (Westercamp et al., 1989) permet d'associer ces fragments à la formation 2 α des Andésites porphyriques sombres à hyperstène et à augite.

C) Entre -35 et -26 m :

L'observation des échantillons bruts montre une boue argileuse à couleur d'ensemble lie de vin / bordeaux, présentant une forte proportion de fragments à reflets jaunes et rouges (au moins 25 %).

La loupe binoculaire révèle les mêmes types de minéraux que dans l'étage sous-jacent ; la différence notable reste la proportion d'éléments oxydés ou ayant subi une cristallisation secondaire (soufre), en forte augmentation.



Photo 20 : Dépôts blanc à jaunâtres en surface, soufre ? (loupe binoculaire, grossissement x20)



Photo 21 : Couche d'oxydation (loupe binoculaire, grossissement x20)

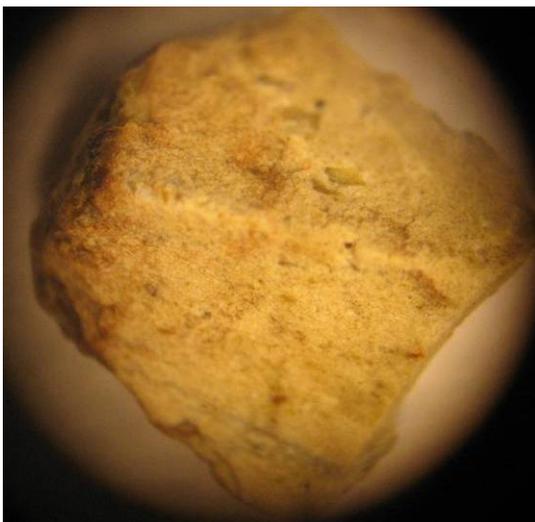


Photo 22 : Soufre natif (loupe binoculaire, grossissement x20)

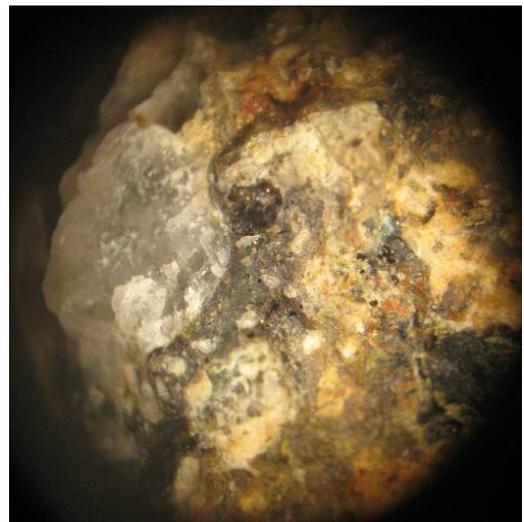


Photo 23 : Mésostase très altérée (loupe binoculaire, grossissement x20)

Cet étage correspondrait à la frange très altérée des andésites 2α sous-jacentes.

D) Entre -26 et -6 m :

L'observation des échantillons bruts montre des fragments souvent pluricentimétriques, de couleur variable et souvent arrondis. L'ensemble est marqué par sa grande hétérogénéité. A la loupe binoculaire, certains fragments présentent une texture microlithique à verre peu abondant, d'aspect non bulleux et à teinte sombre comportant de nombreux phénocristaux blancs. Pour d'autres, la texture semble microlithique à verre abondant, de couleur blanche, à éclat mat à résineux, avec des phénocristaux noirs prismatiques à éclat vitreux s'apparentant à des hornblendes. Ces deux types de roches rencontrés pourraient correspondre à des fragments d'andésites et de dacite à hornblende.

L'oxydation y est très marquée, beaucoup d'éléments sont partiellement ou totalement oxydés.

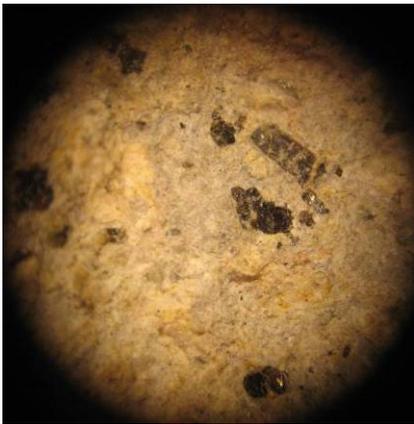


Photo 24 : Dacite avec amphiboles abondantes (loupe binoculaire, grossissement x20)

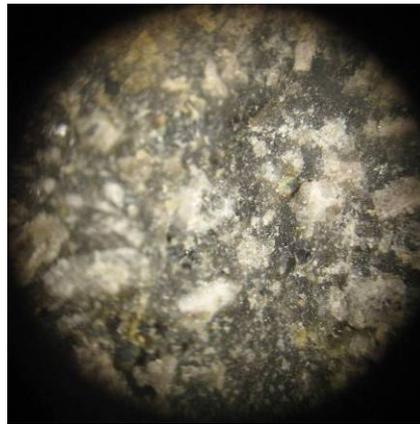


Photo 25 : Andésite avec plagioclases abondants (loupe binoculaire, grossissement x20)

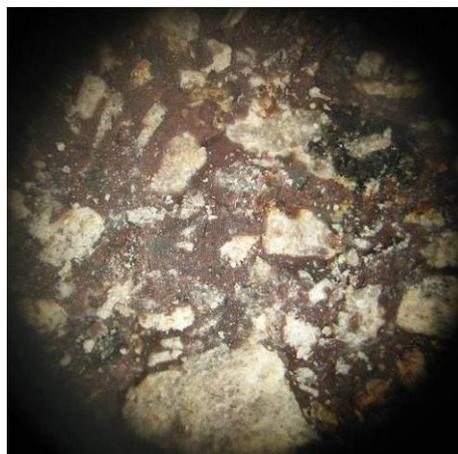


Photo 26 : Mésostase oxydée avec amphiboles et plagioclase ?

La détermination des minéraux présents dans ces échantillons, couplée à l'étude de la notice de la carte géologique (Westercamp et al., 1989) permet d'émettre des hypothèses concernant l'origine de ces fragments. Il pourrait s'agir d'un conglomérat polygénique comportant des éléments issus de la 1^{ère} phase du volcanisme du Carbet (8C ?).

Entre -6 et -2 m : Terre alluviale argileuse de couleur marron-ocre à verte, avec quelques cailloux noirs aphyriques présentant des traces d'oxydation.

Entre -2 et 0 m : Argile sèche.

Annexe 6

Données brutes des vitesses à l'avancement et débits de soufflage lors du 1^{er} creusement de 1177ZZ0176/PZ1

Profondeur atteinte (en m)	Vitesse d'avancement (en min)	1 ^{er} creusement		2 nd creusement	
		Débit de soufflage mesuré sur place (temps de remplissage d'un bac de 50L, en s)	Débit de soufflage (en m ³ /h)	Débit de soufflage mesuré sur place (temps de remplissage d'un bac de 50L, en s)	Débit de soufflage (en m ³ /h)
2	8				
6	15,75				
9	10,5				
12	15				
15	18,9				
18	24,5				
21	21,2				
24	12				
27	6,4				
29	3				
32	2,5	40	4,5		
34	2,4	30	6,0	35,2	5,1
37	2,4	23	7,8		
40	2,5	27	6,7	11,4	15,8
43	2,5	20	9,0		
46	2,4	14	12,9	8,4	21,4
49	2,5	15	12,0	8,0	22,5
52	2,5	14	12,9	7,7	23,4
55	2,5	11	16,4		
58	3,1	10	18,0	6,3	28,6
61	3,2	10	18,0	6,3	28,6
64	3,2	8	22,5		
67	3,3	8	22,5	6,3	28,6
70	3,4	7,5	24,0		
73	3,1	7	25,7	6,3	28,6
76	4,1	7	25,7		
79	4,4	6	30,0	6,3	28,4
82	5,0			6,3	28,6
84	5,0			6,3	28,6

Annexe 7

Compte rendu du chantier du forage de reconnaissance 1177ZZ0177/PZ2

La foreuse a été amenée du site du forage 1177ZZ0176/PZ1 vers le site du forage 1177ZZ0177/PZ2 le lundi 25 juin 2007 et le chantier a débuté dans la matinée. Le forage a été jusqu'à 12 m en tubage à l'avancement (TAV) mais le train de tige s'est bloqué à cette profondeur ; Couplé à ceci, des problèmes mécaniques (sur le moteur du rotor et la tête d'injection) a nécessité le report du chantier de 1177ZZ0177/PZ2.

Le forage a repris le jeudi 5 juillet et a été jusqu'à 29 m en TAV. Une tentative de passage au marteau taillant direct a été réalisée entre 29 et 35 m, mais le terrain s'est révélé difficile à traverser (éboulements, argiles et gros blocs). Compte tenu de la faible tenue du terrain, il a été décidé de prolonger en TAV.

L'outil du TAV s'est bloqué à 35 m et de nombreuses tentatives n'ont pas permis de le débloquent le jour même.

L'outil a été débloquent le vendredi 6 juillet. Le train de tiges et le TAV ont été remontés. Le creusement a repris en marteau taillant direct ce même jour, à 7h30, à partir de 35m de profondeur et ce, jusqu'à 44m. Cependant, la tenue du terrain n'étant pas suffisante, il a été décidé de reprendre en TAV à partir de 35m. Le creusement en TAV s'est poursuivi jusqu'à 47m de profondeur.

Le foreur ayant besoin de son dernier tube au cas où le train de tiges soit bloqué de telle façon qu'il nécessite une intervention de vérins hydrauliques pour le ressortir, il a été décidé de repasser en marteau taillant direct à partir de 47 m, d'autant plus que la tenue du terrain paraissait s'être améliorée.

Le creusement s'est donc poursuivi jusqu'à 62 m. L'arrêt a été décidé à cette profondeur pour des raisons de respect du budget alloué à ce chantier. En effet, le creusement a nécessité plus de tubages que prévu (jusqu'à 47 m au lieu de 20 m) et le coût en TAV est supérieur au coût en marteau taillant direct.

Des venues d'eau sont apparues entre 24 et 62 m, avec un débit au soufflage inférieur à 5 m³/h.

Le forage a été équipé ainsi :

- PVC plein de 62 à 58 m
- PVC crépiné de 58 à 22 m
- PVC plein de 22 à 0 m

Le samedi 7 juillet, le train de tiges a été retiré, le forage équipé et gravillonné jusqu'à - 20m avec du gravier 4/6. L'ouvrage a ensuite été développé à l'Air-Lift pendant 4h.

La cimentation a ensuite été réalisée de 20m à 0m le lundi 9 juillet.

Annexe 8

Observations macro- et microscopiques des échantillons prélevés lors du forage de 1177ZZ0177/PZ2

Les faciès rencontrés étant similaire à ceux rencontrés lors des observations des échantillons du 1177ZZ0176/PZ1, la description de ceux de 1177ZZ0177/PZ2 sera plus succincte.

A) Entre -62m et -44 m :

L'observation des échantillons bruts montre une boue argileuse fine comportant des fragments pluri-millimétriques de couleur noire à bleu nuit très majoritaires (90%), ainsi que quelques éléments brun-rouille. A la loupe binoculaire, les fragments présentent une texture microlithique à verre peu abondant, d'aspect non bulleux et à teinte sombre: Il semble que l'on retrouve la formation situé entre 78 et 84 m de profondeur au niveau de 1177ZZ0176/PZ1.

Des signes d'oxydation (encroûtement d'oxyde ferreux) et d'hydrothermalisme léger (présence de soufre) laissent présager d'une circulation d'eau à ce niveau.

La détermination de ces minéraux, couplée à l'étude de la notice de la carte géologique (Westercamp et al., 1989) permet d'associer ces fragments soit à la formation 1βol des Basaltes porphyriques à augite et olivine qui auraient été fortement altérés et argilisés, soit à la formation 2α des Andésites porphyriques sombres à hyperstène et à augite.

B) Entre -44 et -38 m :

L'observation macroscopique révèle un faciès similaire à celui de la formation sous-jacente mais présente une hétérométrie importante des blocs (millimétriques à pluri-centimétriques).

Les blocs présentent là encore des traces d'oxydation de degré variable.

La minéralogie reste similaire à celle de la formation sous-jacente (pyroxènes et plagioclases dominant dans mésostase à verre peu abondant)

C) Entre -38 et -30 m :

La formation observée est de même nature que celles des étages inférieurs. La seule différence notable est la proportion de la gangue argileuse entourant les blocs d'andésite qui semble légèrement supérieure.

Les traces d'oxydation et d'écoulement d'eau sont nombreuses.

Il s'agirait dès lors d'une fraction supérieure argilisée des andésites 2α présentant des signes de circulation d'eau souterraine.

D) Entre -30 et -22 m :

La formation observée est de même nature que celles des étages inférieurs. La seule différence notable est la proportion de la gangue argileuse entourant les blocs d'andésite qui semble très supérieure comparé aux couches sous-jacentes.

Les traces de circulation sont plus occasionnelles. Il s'agirait dès lors d'une fraction supérieure encore plus altérée et argilisée des andésites 2 α .

E) Entre -22 et -2 m :

La nature des constituants de cette formation est très hétérogène. L'ensemble est composé de blocs d'andésite 2 α relativement sains dans une gangue très argileuse, de fragments pluri-centimétriques anguleux typique d'éboulis consolidés, et de formations alluvionnaires.

F) Entre -2 et 0 m :

Il s'agit d'une terre végétale très argileuse.

Annexe 9

Données brutes des vitesses à l'avancement et débits de soufflage lors du creusement de 1177ZZ0177/PZ2

Profondeur atteinte (en m)	Temps d'avancement (en min)	Vitesse d'avancement (en m/h)	Débit de soufflage mesuré sur place (temps de remplissage d'un bac de 50L, en s)	Débit de soufflage (en m3/h)
2	8,2	14,6		
5	10	18,0		
8				
11				
14				
17	13	13,8		
20	11	16,4		
23	7	25,7		
26	7,5	24,0		
29	11	16,4		< 1
32	10	18,0		< 1
35	8,5	21,2		< 1
38	8,2	22,0		< 1
41	6,8	26,5	50	3,6
44	8,5	21,2	55	3,3
47	10,0	18,0	40	4,5
50	4,9	36,7	30	6,0
53	4,0	45,0	36	5,0
56	4,0	45,0	25	7,2
59	3,7	48,6	22	8,2
62	3,5	51,4	20	9,0

Annexe 10

Compte rendu du chantier du forage d'exploitation 1177ZZ0178/FLF2

Le chantier a débuté le mardi 15 janvier 2008 à 13h15. Les 3 premiers mètres ont été forés au rotary (\varnothing 445 mm), à l'eau, le jour même. Puis, du 16 au 23 janvier, le creusement de 3 à 24,50 mètres de profondeur s'est effectué au rotary, à la boue bentonitique (\varnothing 445 mm).

La mise en place du tubage de tête en acier inox (\varnothing 324 mm) avec les centreurs s'est déroulée le jeudi 24 janvier.

La cimentation annulaire a ensuite été réalisée jusqu'à 24 m, par la méthode Stinger et Inner-String le vendredi 25 janvier. Après un séchage qui aura nécessité le week-end et le perçage du bouchon de ciment à 24 mètres à l'aide du rotary (\varnothing 324 mm), le creusement s'est poursuivi au marteau fond de trou (MFT), en \varnothing 311 mm, le lundi 28 janvier à 10h30 pour finir en fin d'après midi à 60,4 mètres environ.

Les premières venues d'eau ont été observées vers 25-26 mètres (très faible quantité). Une autre venue d'eau, plus importante, a ensuite été observée vers 33 mètres, profondeur à laquelle les cuttings semblent de plus montrer un changement de faciès. Le débit au soufflage maximal estimé est de 41 m³/h.

Le mardi 29 janvier, le trou se tenant mal et quelques éboulis ayant été constatés, un repassage en MFT a été nécessaire pour recréuser les 2 derniers mètres. La profondeur du trou a ensuite été mesurée à 60,6 mètres. Il a donc été décidé de gravillonner dans le fond, sur les 60 cm en trop.

La mise en place de la colonne captante en acier inox (\varnothing 193 mm) a débuté le même jour, vers 11h (36 mètres de crépines puis 2 mètres de tube lisse en tête, avec les centreurs). Puis le gravillonnage (4,8 tonnes soit environ 3,2 m³ de graviers 4/8 mm) a été réalisé en fin d'après-midi, de 60 à 23 mètres de profondeur.

L'air lift a été réalisé en 2 étapes: 1 heure le mercredi 30 janvier puis 3 heures le jeudi 31 janvier au matin. La pompe a ensuite été installée à 30 mètres de profondeur, dans l'après midi. La profondeur de l'ouvrage a une seconde fois été mesurée à 59,95 mètres.

Le pompage d'essai par paliers a été réalisé le vendredi 1^{er} février. 4 paliers d'une heure de pompage, respectivement à 9, 20, 30 et 40 m³/h, séparés entre eux par 1 heure de remontée, ont montré des rabattements respectifs de 3, 8, 12.5 et 18.2 mètres.

Le pompage d'essai longue durée (72h prévue) a été lancé le lundi 4 février à 11h, à un débit de 25 m³/h et a été arrêté le jeudi 7 février à 11h30, juste après les prélèvements réalisés par la DSDS pour les analyses de première adduction (vers 11h). La remontée a ensuite été suivie pendant 72 h.

Le lundi 11 février, la pompe a été remontée à 22 mètres pour permettre le passage au micromoulinet. Les venues d'eau majeures ont été décelées entre 25 et 41 mètres de profondeur.

Annexe 11

Données brutes des vitesses à l'avancement et débits de soufflage lors du creusement de 1177ZZ0178/FLF2

Profondeur atteinte (en m)	Temps d'avancement (en min)	Vitesse d'avancement (en m/h)	Débit de soufflage mesuré sur place (temps de remplissage d'un bac de 50L, en s)	Débit de soufflage (en m ³ /h)
1	15	4		
2	30	2		
3	68	0.9		
4	180	0.3		
5	194	0.3		
5.8	30	1.6		
6	33	0.4		
6.3	133	0.1		
7	90	0.5		
8	60	1		
9	75	0.8		
9.8	40	1.2		
10	40	0.3		
11	70	0.9		
11.2	120	0.1		
12	75	0.6		
13	80	0.8		
14	70	0.9		
15	75	0.8		
15.2	60	0.2		
16	70	0.7		
17	35	1.7		
17.6	25	1.4		
18.1	55	0.5		
19	22	2.5		
20	38	1.6		
20.8	30	1.6		
21	30	0.4		
21.1	30	0.2		
21.6	75	0.4		
22	30	0.8		
22.5	55	0.5		
23	60	0.5		
23.7	45	0.9		
25.5	18	6	120	1.5
28.5	5	36		
31.5	6	30		
34.5	6	30	13	13.8
37.5	11.5	15.7		
40.5	7	25.7	6	30.0
43.5	8	22.5		
46.5	12.5	14.4	6	30.0
49.5	10	18		
52.5	8.7	20.7	5	36.0
58.5	22	16.4		
60.5	7.2	16.7	4.5	40.0

Annexe 12

Données brutes du pompage d'essai longue durée de 1988 réalisé sur le 1177ZZ0161/FLF1

Min	Niveau piézo (m)	Débit (m3/h)
0		46.5
1		46.5
2	2.21	46.5
4	2.9	46.5
6	5.1	46.5
12	6.33	46.5
23	7.23	46.5
35	7.79	46.5
43	8.31	46.5
55	9.15	46.5
75	9.54	46.5
84	9.77	46.5
93	10.11	46.5
104	10.38	46.5
116	10.73	46.5
126	11.13	46.5
135	11.44	46.5
146	11.8	46.5
154	12.03	46.5
187	13.11	46.5
214	13.66	46.5
248	14.05	44
277	14.32	44
399	15.12	41.5
426	15.22	41.5
457	15.41	41.5
488	15.49	41.5
519	15.6	41.5
549	15.68	41.5
577	15.74	41.5
638	15.87	41.5
697	15.97	41.5
759	16.12	41.5
820	16.25	41.5
880	16.31	41.5
1001	16.52	41.5
1181	17.06	41.5
1362	17.35	41.5
1542	17.52	41.5
1614	17.6	41.5

Min	Niveau piézo (m)	Débit (m3/h)
1615	16.66	0
1616	15.24	0
1617	14.49	0
1618	13.13	0
1619	12.45	0
1620	12.05	0
1621	11.44	0
1622	11	0
1623	10.63	0
1624	10.29	0
1625	9.56	0
1626	9.17	0
1627	9.12	0
1628	8.77	0
1629	8.42	0
1630	8	0
1631	7.71	0
1632	7.45	0
1633	7.2	0
1634	6.97	0
1639	6.6	0
1644	6.33	0
1649	6.03	0
1659	5.47	0
1669	5.12	0
1799	3.57	0
2104	2.44	0

Annexe 13

Compte rendu du débouchage du forage 1177ZZ0161/FLF1 (1^{er} et 2 juin 2007)

La foreuse a été amenée sur site le vendredi 1er juin 2007 au matin. Entre 13 et 14h, 15 tiges ont été descendues sans rencontrer d'importante résistance. La profondeur a été vérifiée à 43m à l'aide d'une sonde piézométrique. Il est fort probable que le « bouchon » observé par TPMG lors du passage caméra ait été poussé au fond du forage.

Le compresseur est arrivé sur site dans l'après midi, et le soufflage a débuté à 17h. Au démarrage et pendant environ 30 minutes, l'eau d'exhaure était très chargée en terre et petits blocs. L'outil (tricône) tournait régulièrement afin de déboucher et de nettoyer le fond de l'ouvrage, l'eau s'éclaircissant au fur et à mesure.

Après 35 minutes le PVC s'est cassé au fond (des bouts de tube PVC plein sont remontés, casse estimée à 30-40 cm de tubage, et des éléments constitutif du massif de gravier sont également remontés (l'équivalent de 10 à 20 L de graviers). L'outil a donc été remonté de quelques mètres afin de ne plus souffler directement sur le massif de gravier et de ne plus le déstabiliser. Vers 45 minutes l'eau pouvait être qualifiée de claire.

L'air lift a été arrêté à 18h le vendredi soir, il a été relancé le samedi matin vers 5h45 et ce jusqu'à 13 heures. L'eau était claire dès le lancement le matin. Les tiges ont été retirées au fur et à mesure de la matinée, avec soufflage et « aller et retour » du soufflage en face des crépines afin de les nettoyer, plusieurs arrivées d'eau chargées ont été observées, mais l'eau est vite redevenue claire au fur et à mesure du soufflage.

Ce soufflage en remontant a permis d'observer une diminution des débits d'exhaure entre 30 et 33 m, ce qui sous-entend qu'il y aurait une venue d'eau à ce niveau, une seconde diminution des débits s'est observée entre 21 et 24 m (où des venues d'eau avaient déjà été identifiées). Le passage d'un micro-moulinet en parallèle aux pompes prévues permettra de localiser et de quantifier avec précision ces venues.

Vers 13h, la foreuse a été déposée, le fond a été remesuré à 43m, et le niveau piézométrique était de 7.92 m. Des bruits d'eau s'écoulant dans le forage pouvaient être entendus, et une cassure ou trou dans le tubage semble avoir été observée entre 6 et 7 m de profondeur (à l'œil nu depuis la surface).

Des mesures de la qualité de l'eau ont été réalisées :

T°C	29.1
pH	7.56
Conductivité (µS/cm)	1144
Oxygène dissous	3.83 mg/l
	49.6 %

Chlorures (mg/l)	200 ± 20
------------------	----------

Annexe 14

Représentation graphique des scénarios A, B & C au forage 1177ZZ0161/FLF1

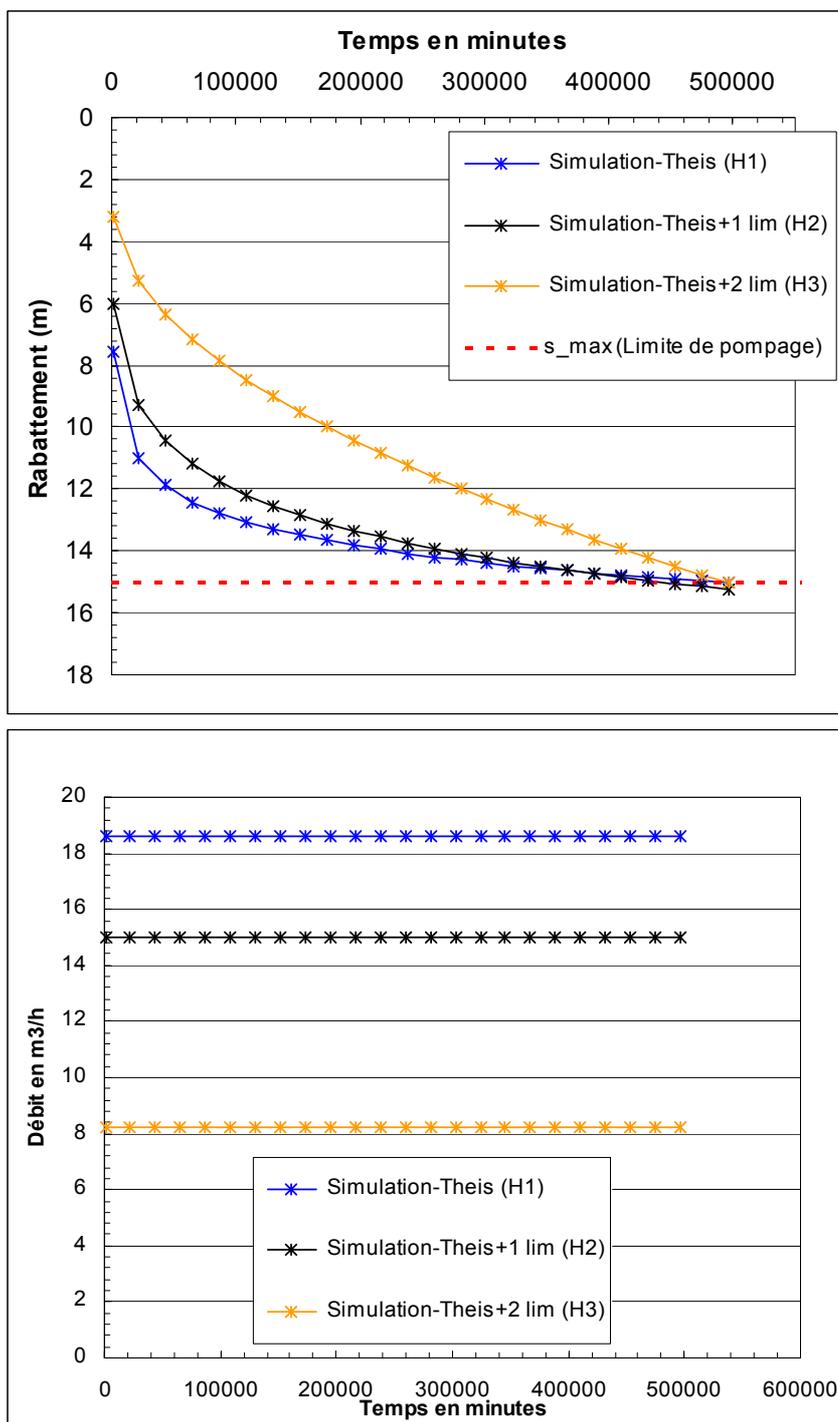


Illustration 77 : Scénario A- Simulation sur une année complète

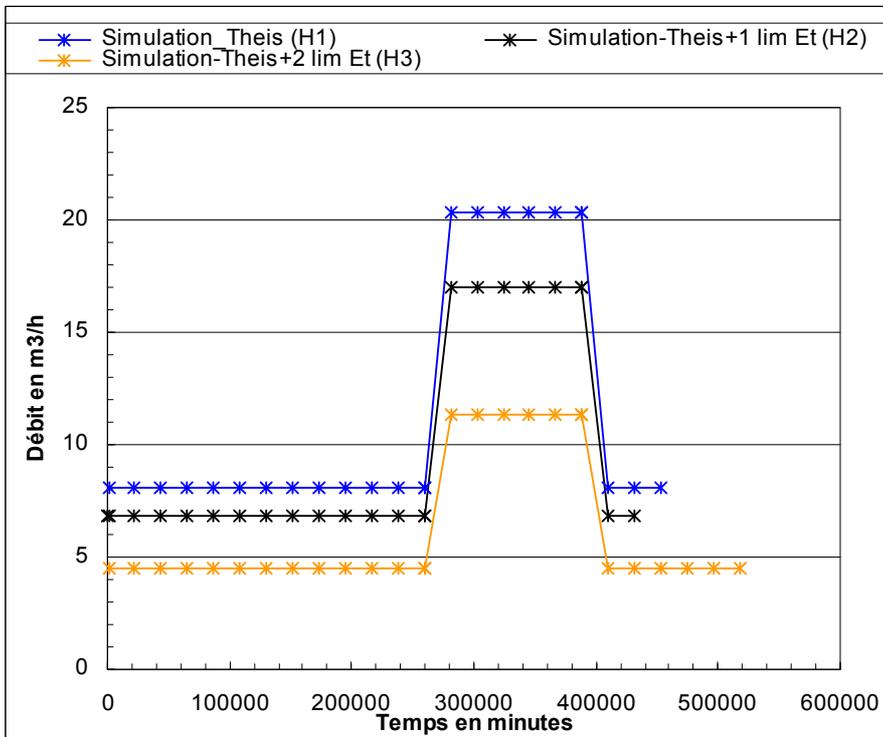
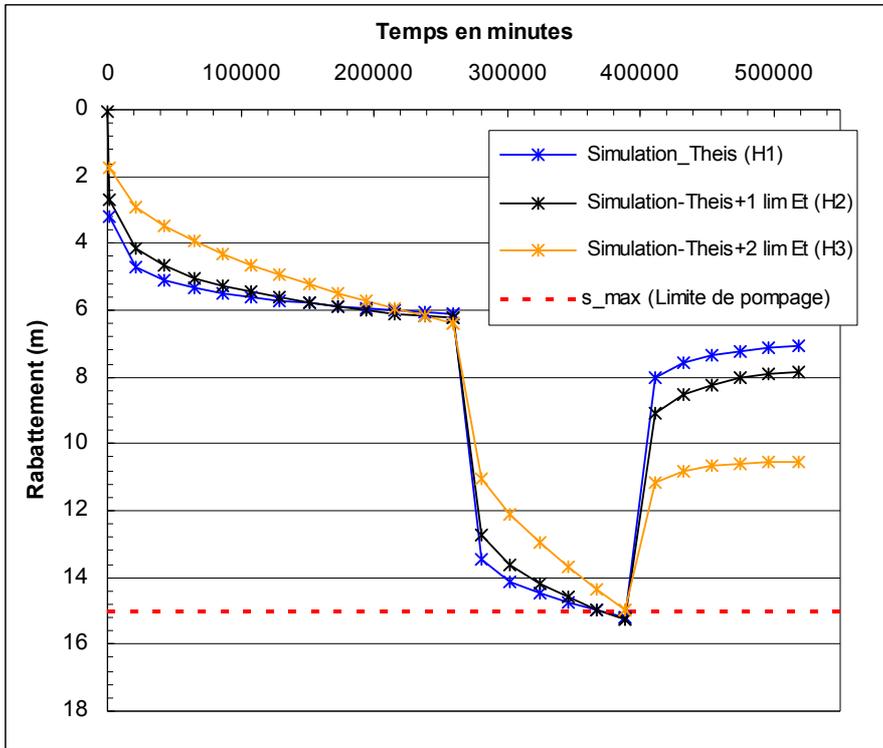


Illustration 78 : Scénario B- Simulation sur une année complète

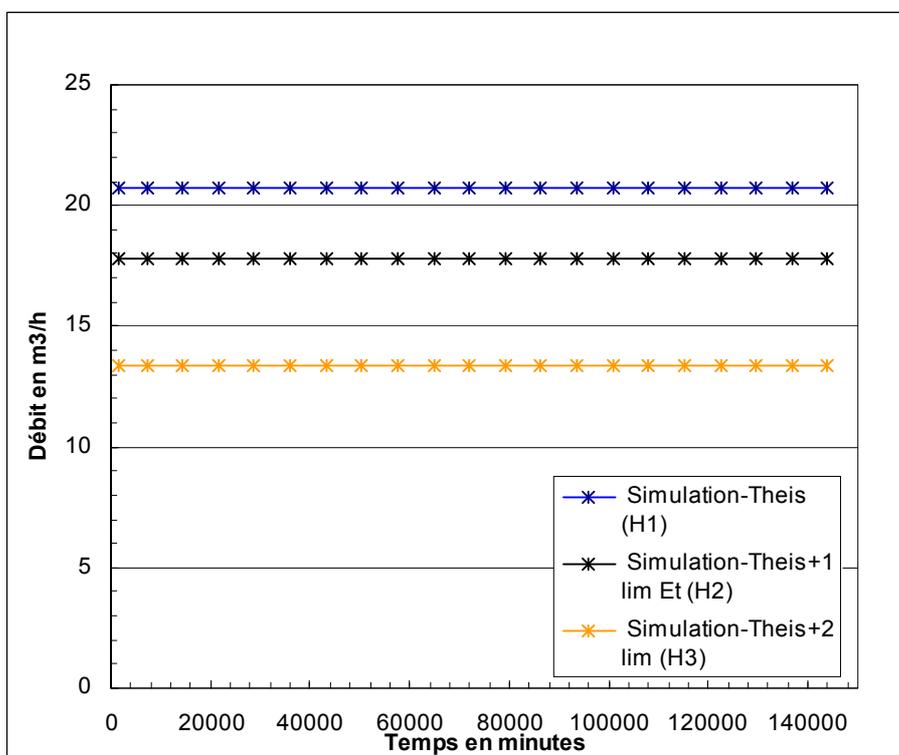
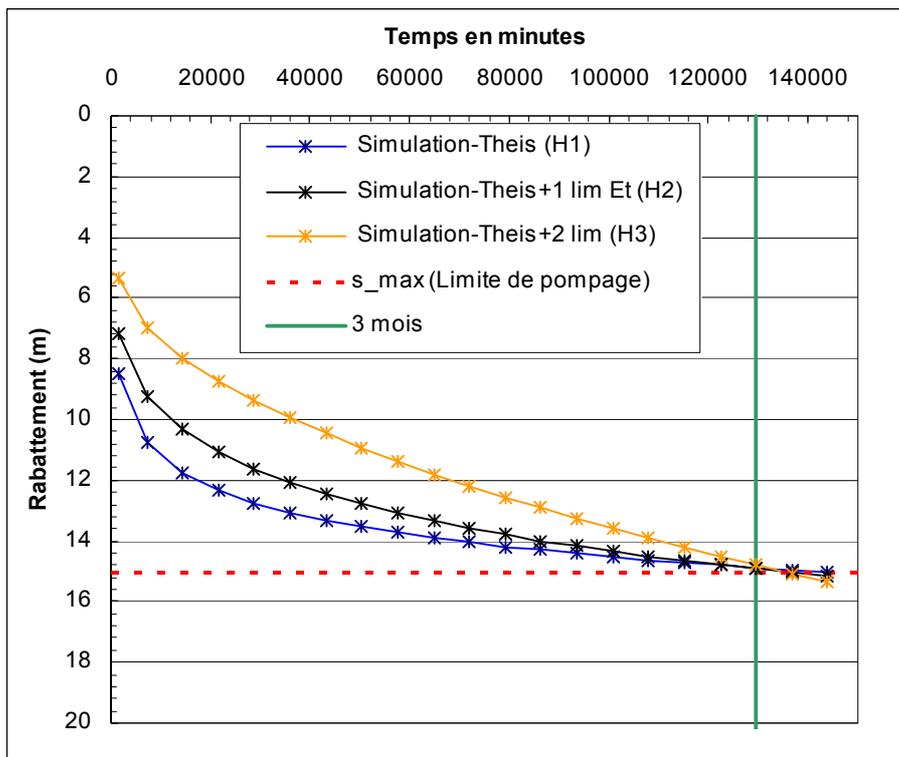


Illustration 79 : Scénario C- Simulation sur 3 mois

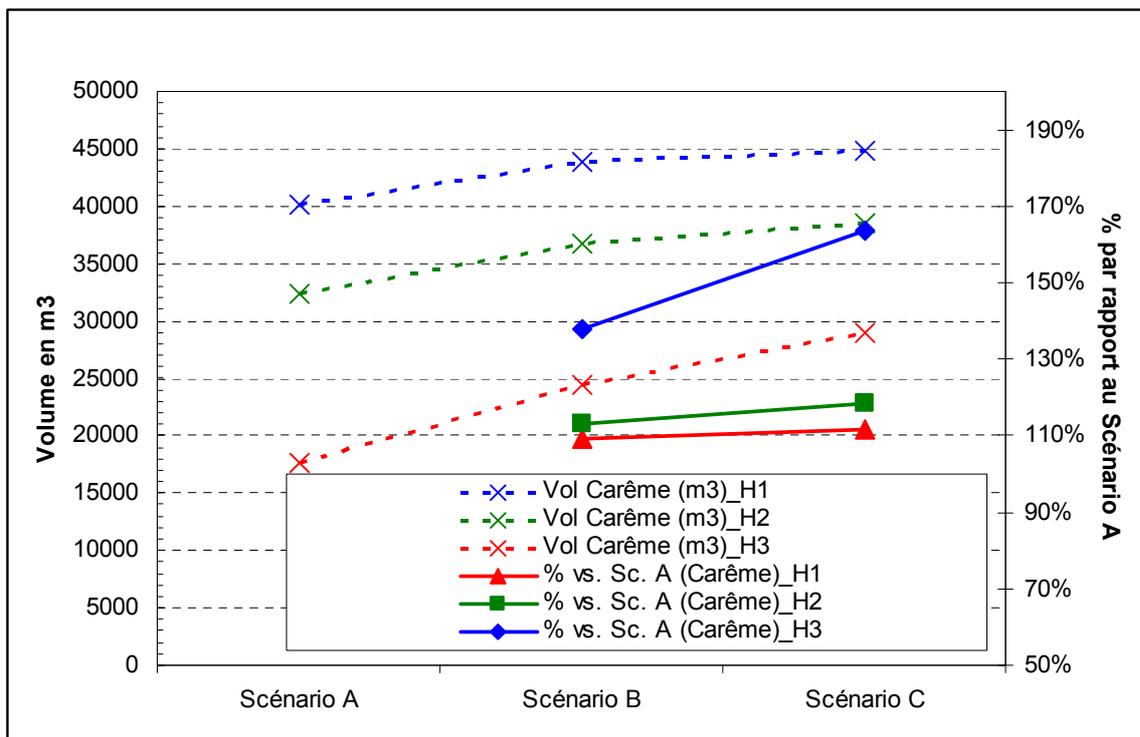
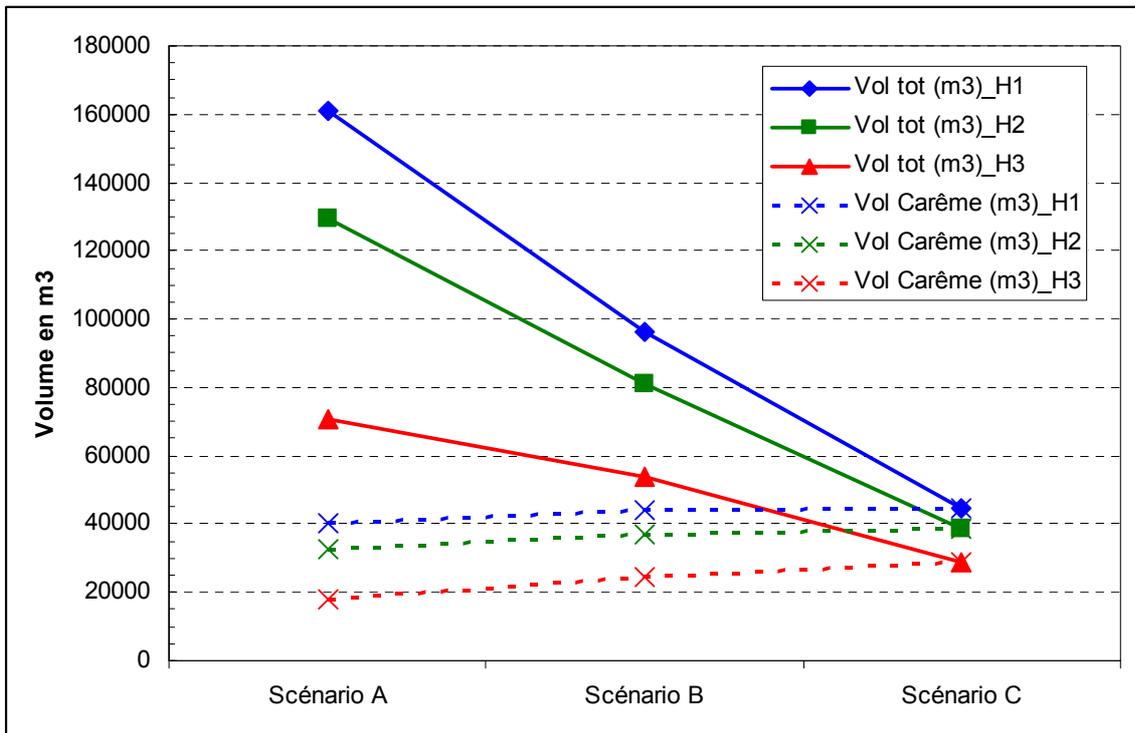
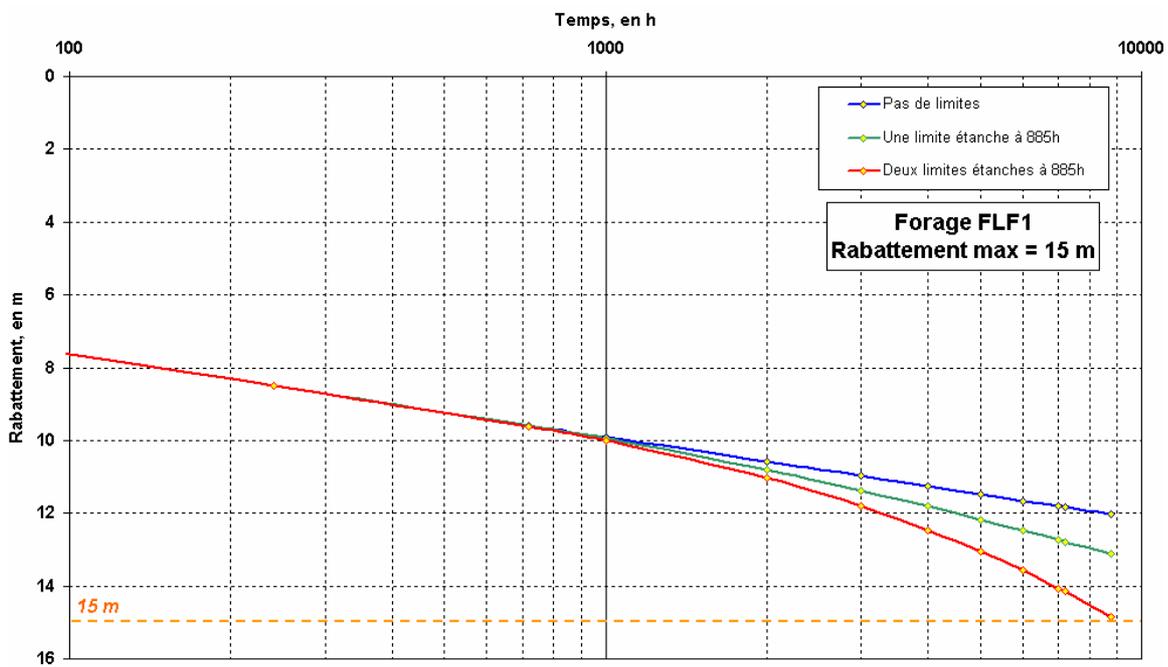
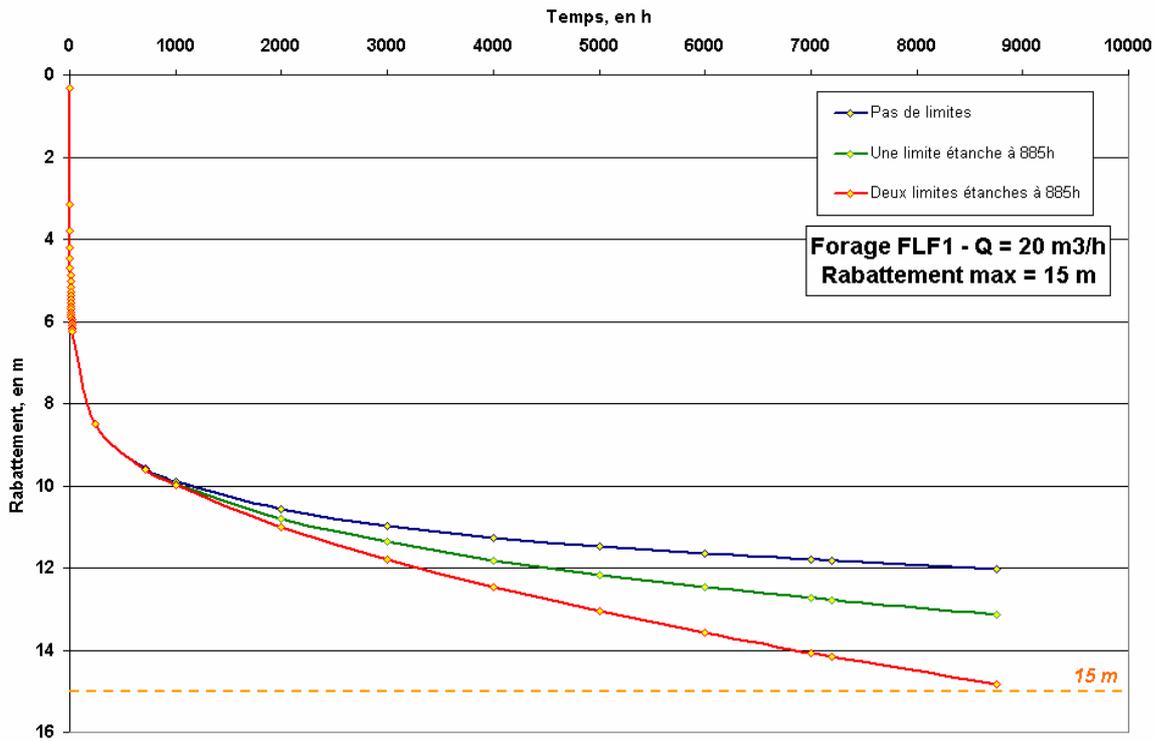
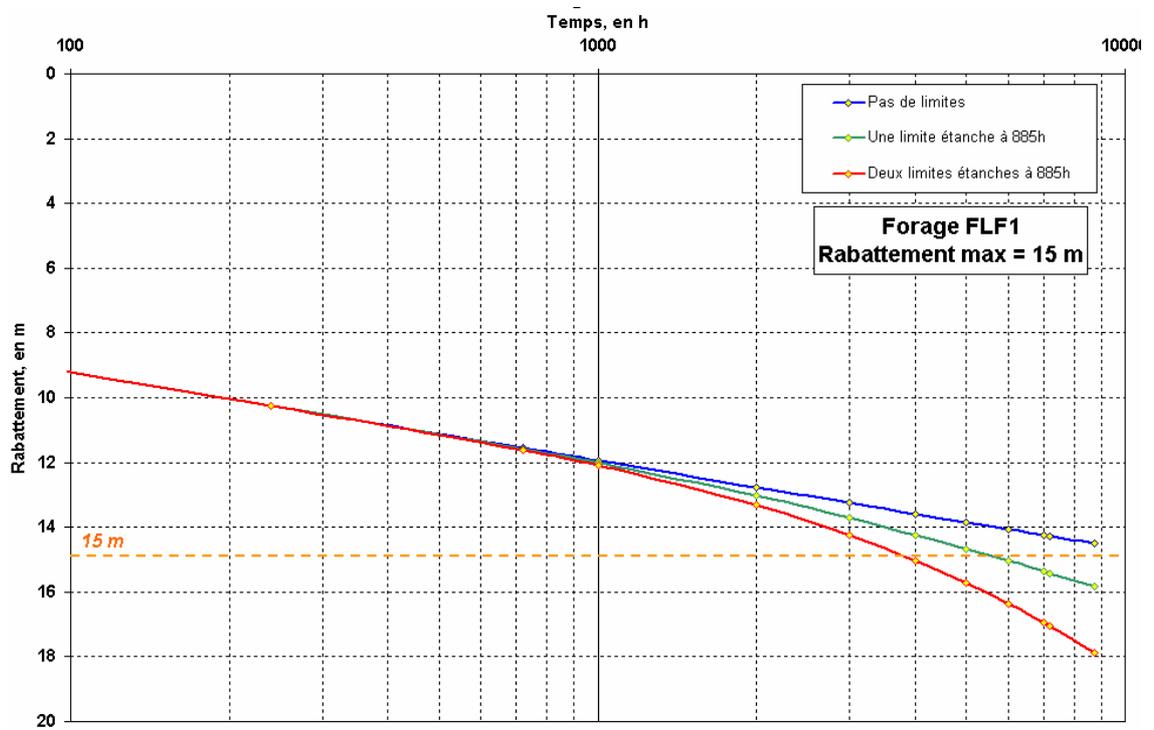
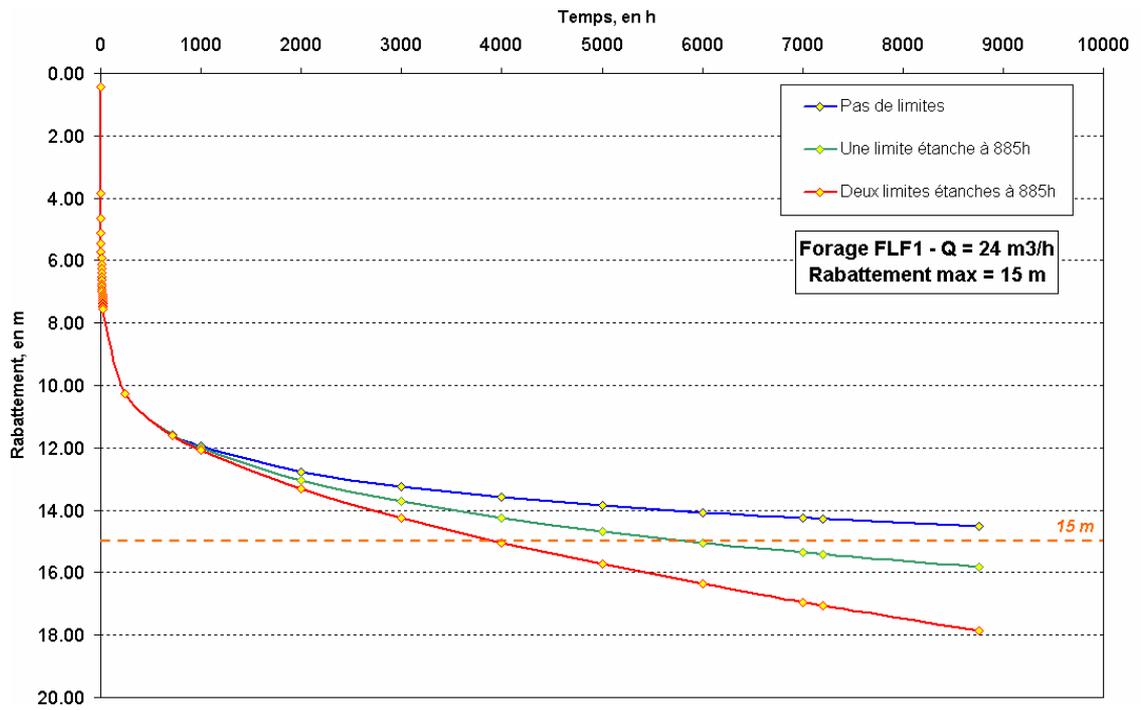


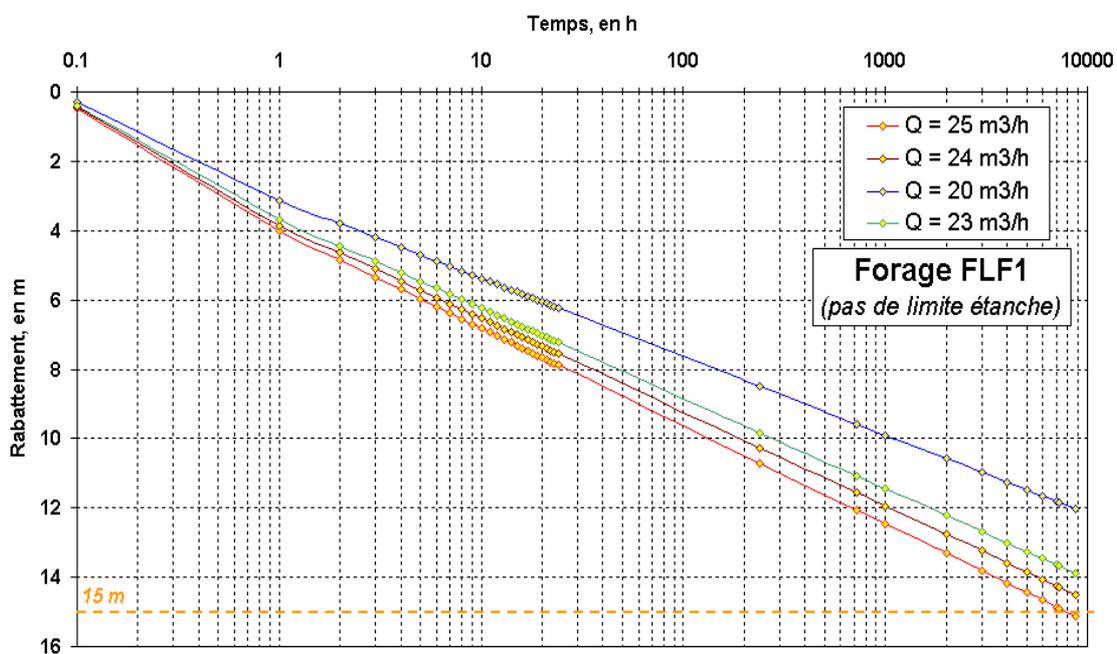
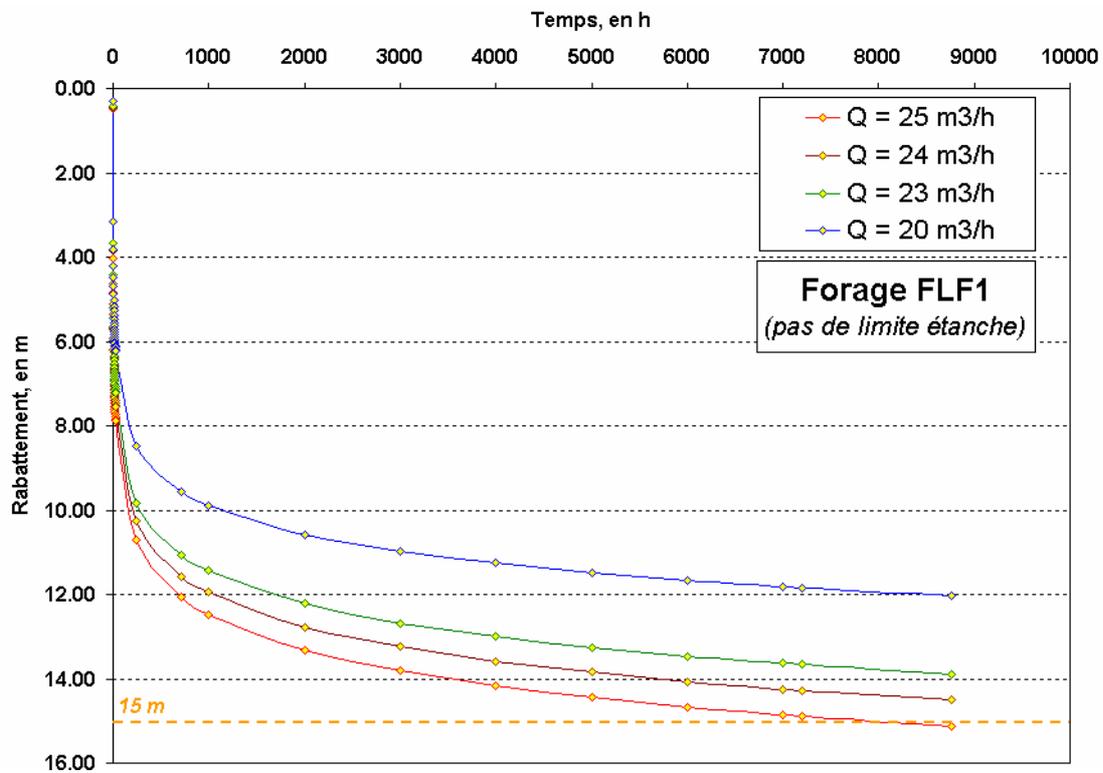
Illustration 80: Comparaison des volumes extraits (la deuxième figure ne présente que les prélèvements durant les trois mois de Carême).

Annexe 15

Représentation graphique des différents scénarios au forage 1177ZZ0161/FLF1







Annexe 16

Rapports d'essais



Géosciences pour une Terre durable

brgm



RAPPORT D'ESSAIS 07-6-026-D

Provenance : MARTINIQUE Nature échantillon : EAU SOUTERRAINE Nombre: 1 Echantillons réceptionnés le : 26/07/2007 Analyses commencées le : 06/08/07 Référence commande : PSP07MAR18 1	Demandeur : VITTECOQ Benoît Adresse: SAR/GGR AT/SGR MAR Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE France
--	--

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des eaux	T.CONTE

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses
Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 11-SEP-2007

Nombre de pages: 5

PZ 1

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole *. Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement - se reporter à la liste des laboratoires sur le site du ministère.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013067

Rapport d'essais : 07-6-026-D

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux

Le mode opératoire	Méthode BRGM	Méthode BRGM
est utilisé pour doser :		
I (Iodures)		
Le mode opératoire	MO108	Analyse d'éléments traces par ICP/MS.
Code Sandre :	422	
est utilisé pour doser :		
*Al (Aluminium)		*As (Arsenic)
*B (Bore)		*Ba (Baryum)
*Li (Lithium)		*Mn (Manganèse)
*Ni (Nickel)		*Sr (Strontium)
Le mode opératoire	NF EN ISO 10304	Méthode par chromatographie ionique(DIONEX)selon NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 pour les eaux usées (Sept 1996). Evaluation des aires des pics.
Code Sandre :	266	
est utilisé pour doser :		
*Br- (Bromures)		*Cl (Chlorures)
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)		*SO4 (Sulfates)
Le mode opératoire	NF EN ISO 11732	Détermination de l'azote ammoniacal dans les eaux par analyse en flux(FFA et FIA) et détection spectrométrique.
Code Sandre :	324	
est utilisé pour doser :		
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)		
Le mode opératoire	NF EN ISO 11885	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
Code Sandre :	306	
est utilisé pour doser :		
*Ca (Calcium)		*Fe (Fer)
*K (Potassium)		*Mg (Magnésium)
*Na (Sodium)		*SiO2 (Silice)
Le mode opératoire	NF EN ISO 6878	Analyse des orthophosphates selon §4 et du phosphore total selon §7 de la norme : méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium
Code Sandre :	470	
est utilisé pour doser :		
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)		

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013067

Rapport d'essais : 07-6-026-D

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Le mode opératoire	NF EN ISO 9963-1	Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1, CO3/HCO3 calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO3, HCO3)
Code Sandre :	234	
est utilisé pour doser :		
CO3 (Carbonates)		HCO3 (Bicarbonates)
Le mode opératoire	NF EN 26777	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
Code Sandre :	229	
est utilisé pour doser :		
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)		
Le mode opératoire	NF T 90-004	Méthode par potentiométrie (electrode combinée).
Code Sandre :	10	
est utilisé pour doser :		
*F (Fluorures)		

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.

Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.

RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons

Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.

UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments

g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)

% (pourcentage massique)

mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)

µg=microgramme, ng=nanogramme

Id soumission : 100013067

Rapport d'essais : 07-6-026-D

Elément	Unité	LQ**	CS ***	200087108 1 PZ 1 (23/07/2007)
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	1374	64.2
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	1372	43.2
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	1375	87.0
*K (Potassium)	mg/l	0.5	1367	8.4
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	1335	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	1328	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	1327	500
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	1337	79.5
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	1340	0.9
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	1338	13.8
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	1433	0.4
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	1339	< 0.01
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	1391	< 0.1
*Br- (Bromures)	mg/l	0.1		0.2
*Al (Aluminium)	µg/l	10	1370	16
*As (Arsenic)	µg/l	5	1369	< 5
*B (Bore)	µg/l	10	1362	122
*Ba (Baryum)	µg/l	5	1396	< 5
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	1393	< 0.02
*Li (Lithium)	µg/l	10	1364	19

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100013067

Rapport d'essais : 07-6-026-D

Elément	Unité	LQ**	CS ***	Lims Labo Client
				200087108 1 PZ 1 (23/07/2007)
*Mn (Manganèse)	µg/l	5	1394	147
*Ni (Nickel)	µg/l	5	1386	< 5
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5	1348	113.2
*Sr (Strontium)	µg/l	10	1363	255
I (Iodures)	µg/l	5		17

** LQ : Limite de quantification

*** CS : Code Sandre

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS



Géosciences pour une Terre durable

brgm



RAPPORT D'ESSAIS 07-6-026-E

Provenance : Martinique	Demandeur : VITTECOQ Benoît
Nature échantillon : EAU SOUTERRAINE	Adresse: SAR/GGR AT/SGR MAR
Nombre: 1	Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route
Echantillons réceptionnés le : 08/08/2007	Pointe des Nègres
Analyses commencées le : 09/08/07	97200 FORT DE FRANCE France
Référence commande : PSP07MAR18 1	

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des eaux	T.CONTE

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses
Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 11-SEP-2007

Nombre de pages: 5

P22

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole *. Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement - se reporter à la liste des laboratoires sur le site du ministère.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemain, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013115

Rapport d'essais : 07-6-026-E

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux

Le mode opératoire	Méthode BRGM	Méthode BRGM
est utilisé pour doser :		
I (Iodures)		
Le mode opératoire	MO108	Analyse d'éléments traces par ICP/MS.
Code Sandre :	422	
est utilisé pour doser :		
*Al (Aluminium)		*As (Arsenic)
*B (Bore)		*Ba (Baryum)
*Li (Lithium)		*Mn (Manganèse)
*Ni (Nickel)		*Sr (Strontium)
Le mode opératoire	NF EN ISO 10304	Méthode par chromatographie ionique(DIONEX)selon NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 pour les eaux usées (Sept 1996). Evaluation des aires des pics.
Code Sandre :	266	
est utilisé pour doser :		
*Br- (Bromures)		*Cl (Chlorures)
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)		*SO4 (Sulfates)
Le mode opératoire	NF EN ISO 11732	Détermination de l'azote ammoniacal dans les eaux par analyse en flux(FFA et FIA) et détection spectrométrique.
Code Sandre :	324	
est utilisé pour doser :		
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)		
Le mode opératoire	NF EN ISO 11885	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
Code Sandre :	306	
est utilisé pour doser :		
*Ca (Calcium)		*Fe (Fer)
*K (Potassium)		*Mg (Magnésium)
*Na (Sodium)		*SiO2 (Silice)
Le mode opératoire	NF EN ISO 6878	Analyse des orthophosphates selon §4 et du phosphore total selon §7 de la norme : méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium
Code Sandre :	470	
est utilisé pour doser :		
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)		

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013115

Rapport d'essais : 07-6-026-E

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Le mode opératoire	NF EN ISO 9963-1	Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1, CO3/HCO3 calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO3, HCO3)
Code Sandre :	234	
est utilisé pour doser :		
CO3 (Carbonates)		HCO3 (Bicarbonates)
Le mode opératoire	NF EN 26777	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
Code Sandre :	229	
est utilisé pour doser :		
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)		
Le mode opératoire	NF T 90-004	Méthode par potentiométrie (electrode combinée).
Code Sandre :	10	
est utilisé pour doser :		
*F (Fluorures)		

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.

Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.

RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons

Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.

UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments

g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)

% (pourcentage massique)

mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)

µg=microgramme, ng=nanogramme

Id soumission : 100013115

Rapport d'essais : 07-6-026-E

				200087401 1 PZ2 03/08/07
Elément	Unité	LQ**	CS ***	
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	1374	76.9
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	1372	53.7
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	1375	95.6
*K (Potassium)	mg/l	0.5	1367	9.8
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	1335	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	1328	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	1327	607
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	1337	77.1
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	1340	< 0.5
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	1338	13.9
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	1433	0.2
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	1339	< 0.01
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	1391	< 0.1
*Br- (Bromures)	mg/l	0.1		0.2
*Al (Aluminium)	µg/l	10	1370	< 10
*As (Arsenic)	µg/l	5	1369	< 5
*B (Bore)	µg/l	10	1362	140
*Ba (Baryum)	µg/l	5	1396	12
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	1393	< 0.02
*Li (Lithium)	µg/l	10	1364	21

Id soumission : 100013115

Rapport d'essais : 07-6-026-E

Elément	Unité	LQ**	CS ***	Lims
				Labo
				200087401
				1
				PZ2 03/08/07
*Mn (Manganèse)	µg/l	5	1394	339
*Ni (Nickel)	µg/l	5	1386	< 5
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5	1348	114.7
*Sr (Strontium)	µg/l	10	1363	276
I (Iodures)	µg/l	5		46

** LQ : Limite de quantification

*** CS : Code Sandre

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS



Géosciences pour une Terre durable

brgm

BRGM/SGR/ANT
Martinique
ARRIVEE à Fort de France
Le 15/10/2007
N° 103



RAPPORT D'ESSAIS 07-6-026-G

Provenance : CACEM 2007 - FOND LAHAYE Nature échantillon : EAU SOUTERRAINE Nombre: 3 Echantillons réceptionnés le : 03/09/2007 Analyses commencées le : 03/09/07 Référence commande : PSP07MAR18 1	Demandeur : VITTECOQ Benoît Adresse: SAR/GGR AT/SGR MAR Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE France
---	--

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des eaux	T.CONTE

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses
Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 11-OCT-2007

Nombre de pages: 5

PZ1 / PZ2 / FLF1

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole *. Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement - se reporter à la liste des laboratoires sur le site du ministère.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013252

Rapport d'essais : 07-6-026-G

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux

Le mode opératoire	Méthode BRGM		Méthode BRGM
est utilisé pour doser :			
I (Iodures)			
Le mode opératoire	MO108		Analyse d'éléments traces par ICP/MS.
Code Sandre :	422		
est utilisé pour doser :			
*Al (Aluminium)			*As (Arsenic)
*B (Bore)			*Ba (Baryum)
*Li (Lithium)			*Mn (Manganèse)
*Ni (Nickel)			*Sr (Strontium)
Le mode opératoire	NF EN ISO 10304		Méthode par chromatographie ionique(DIONEX)selon NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 pour les eaux usées (Sept 1996). Evaluation des aires des pics.
Code Sandre :	266		
est utilisé pour doser :			
*Br- (Bromures)			*Cl (Chlorures)
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)			*SO4 (Sulfates)
Le mode opératoire	NF EN ISO 11732	AOU-05	Détermination de l'azote ammoniacal dans les eaux par analyse en flux(FFA et FIA) et détection spectrométrique.
Code Sandre :	324		
est utilisé pour doser :			
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)			
Le mode opératoire	NF EN ISO 11885	MAR-98	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
Code Sandre :	306		
est utilisé pour doser :			
*Ca (Calcium)			*Fe (Fer)
*K (Potassium)			*Mg (Magnésium)
*Na (Sodium)			*SiO2 (Silice)
Le mode opératoire	NF EN ISO 6878	AVR-05	Analyse des orthophosphates selon §4 et du phosphore total selon §7 de la norme : méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium
Code Sandre :	470		
est utilisé pour doser :			
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)			

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013252

Rapport d'essais : 07-6-026-G

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Le mode opératoire	NF EN ISO 9963-1	FEV-96	Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1, CO3/HCO3 calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO3, HCO3)
Code Sandre :	234		
est utilisé pour doser :			
CO3 (Carbonates)		HCO3 (Bicarbonates)	
Le mode opératoire	NF EN 26777	MAI-93	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
Code Sandre :	229		
est utilisé pour doser :			
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)			
Le mode opératoire	NF T 90-004	AOU-02	Méthode par potentiométrie (electrode combinée).
Code Sandre :	10		
est utilisé pour doser :			
*F (Fluorures)			

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.

Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.

RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons

Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.

UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments

g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)

% (pourcentage massique)

mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)

µg=microgramme, ng=nanogramme

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100013252

Rapport d'essais : 07-6-026-G

Elément	Unité	LQ**	CS ***	200088247	200088248	200088249
				1 FLF1 28/08/07	2 PZ1 28/08/07	3 PZ2 28/08/07
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	1374	54.7	43.9	69.4
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	1372	40.3	30.1	50.4
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	1375	109.5	75.4	88.0
*K (Potassium)	mg/l	0.5	1367	8.1	6.1	8.7
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	1335	< 0.1	< 0.1	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	1328	< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	1327	360	362	594
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	1337	186.5	80.1	78.5
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	1340	1.9	1.2	0.6
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	1338	17.2	12.1	13.5
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	1433	0.4	0.4	0.3
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	1339	< 0.01	< 0.01	0.02
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	1391	< 0.1	0.1	< 0.1
*Br- (Bromures)	mg/l	0.1		0.5	0.3	0.3
*Al (Aluminium)	µg/l	10	1370	19	27	27
*As (Arsenic)	µg/l	5	1369	7	< 5	< 5
*B (Bore)	µg/l	10	1362	158	126	155
*Ba (Baryum)	µg/l	2	1396	6	< 2	10
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	1393	0.07	0.05	0.11
*Li (Lithium)	µg/l	2	1364	28	17	22

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100013252

Rapport d'essais : 07-6-026-G

Elément	Unité	LQ**	CS ***	200088247	200088248	200088249
				1 FLF1 28/08/07	2 PZ1 28/08/07	3 PZ2 28/08/07
*Mn (Manganèse)	µg/l	5	1394	< 5	7	326
*Ni (Nickel)	µg/l	5	1386	< 5	< 5	< 5
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5	1348	113.6	116.3	117.1
*Sr (Strontium)	µg/l	2	1363	259	188	284
I (Iodures)	µg/l	5		< 5	18	36

** LQ : Limite de quantification

*** CS : Code Sandre

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS



Géosciences pour une Terre durable

brgm

RAPPORT D'ESSAIS

07-6-026-F

Provenance : CACEM 2007 - FOND LAHAYE	Demandeur : VITTECOQ Benoît
Nature échantillon : EAU SOUTERRAINE	Adresse: SAR/GGR AT/SGR MAR Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE France
Nombre: 1	
Echantillons réceptionnés le : 03/09/2007	
Analyses commencées le : 06/09/07	
Référence commande : PSP07MAR18 1	

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse des composés organiques	A.BERREHOUC

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 07-SEP-2007

Nombre de pages: **3**

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013251

Rapport d'essais : 07-6-026-F

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse des composés organiques

Le mode opératoire	MO302	Dosage du glyphosate et de son métabolite AMPA dans des échantillons d'eau - Méthode par HPLC/fluorimétrie
est utilisé pour doser :		
AMPA		Glyphosate

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyse ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.

Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.

RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons.

Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.

UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments

g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)

% (pourcentage massique)

mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)

µg=microgramme, ng=nanogramme

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100013251

Rapport d'essais : 07-6-026-F

Elément	Unité	LQ**	CS ***	Lims
				Client
				200088246 1 FLF1 28/08/07
AMPA	µg/l	0.05	1907	< 0.05
Glyphosate	µg/l	0.05		< 0.05

** LQ : Limite de quantification

*** CS : Code Sandre

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

RAPPORT D'ESSAIS 07-6-026-H

<p>V/Réf. :</p> <p>Informations sur le(s) échantillon(s) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Date début d'analyse : 13/08/07 - Date de réception : 30/07/2007 - Nombre: 1 - Nature : EAU - Auteur prélèvement: 	<p>A l'attention de : VITTECOQ Benoît</p> <p>SAR/GGR AT/SGR MAR</p> <p>Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE France</p> <p>Télécopie n° .</p>
--	---

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoire thermoionisation et comptage alpha	C.GUERROT

Validé le 05-SEP-2007 par Catherine GUERROT



Approuvé par Françoise AUGUSTIN, Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses



Nbr pages : 2

BRGM/SGR/ANT
 Martinique
 ARRIVEE à Fort de France
 Le 07/09/2007
 N° 075

Note importante :

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.
Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.

RESULTATS D'ANALYSES

Objet : Analyse isotopique du Sr sur échantillon d'eau de la Martinique.
Demandeur : B. VITTECOQ SAR/GGR AT/SGR MAR

Demande du : 03/08/2007
Fait le : 05/09/2007

Détermination des rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Analyse sur mono filament W

n°Labo	n°Client	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2 σ (m)
674	PZ1 23/07/07	0.705379	0.000007

La valeur obtenue sur 10 déterminations du standard NBS987 analysé durant cette période est de 0.710222 ± 28 (2 σ)
La valeur certifiée du standard est de 0.710240. Les rapports mesurés sont normalisés à cette valeur.

RAPPORT D'ESSAIS 07-6-026-I

V/Réf. :

A l'attention de : VITTECOQ Benoît

Informations sur le(s) échantillon(s) :

SAR/GGR AT/SGR MAR

- Date début d'analyse : 13/08/07
- Date de réception : 08/08/2007
- Nombre: 1
- Nature : EAU
- Auteur prélèvement:

Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres
97200 FORT DE FRANCE France

Télécopie n°

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoire thermoionisation et comptage alpha	C.GUERROT

Validé le 05-SEP-2007 par Catherine GUERROT



Approuvé par Françoise AUGUSTIN, Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses



Nbr pages : 2

BRGM/SGR/ANT
Martinique
ARRIVEE à Fort de France
Le 07/09/2007
N° 076

Note importante :

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.

RESULTATS D'ANALYSES

Objet : Analyse isotopique du Sr sur échantillon d'eau de la Martinique.

Demandeur : B. VITTECOQ SAR/GGR AT/SGR MAR

Demande du : 08/08/2007

Fait le : 05/09/2007

Détermination des rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Analyse sur mono filament W

n°Labo	n°Client	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma(m)$
675	PZ2 03/08/07	0.705297	0.000009

La valeur obtenue sur 10 déterminations du standard NBS987 analysé durant cette période est de $0.710222 \pm 28 (2\sigma)$
La valeur certifiée du standard est de 0.710240. Les rapports mesurés sont normalisés à cette valeur.

RAPPORT D'ESSAIS 07-6-026-K

<p>V/Réf. :</p> <p>Informations sur le(s) échantillon(s) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Date début d'analyse : 07/09/07 - Date de réception : 09/08/2007 - Nombre: 2 - Nature : EAU - Auteur prélèvement: B. VITTECOQ 	<p>A l'attention de : VITTECOQ Benoît</p> <p>SAR/GGR AT/SGR MAR</p> <p>Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE France</p> <p>Télécopie n°</p>
---	---

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoires isotopes stables et faible radioactivité	D. WIDORY, C. FLEHOC

Validé le 22-OCT-2007 par Christine FLEHOC

C. Flehoc

Approuvé par Françoise AUGUSTIN, Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

F. Augustin

Nbr pages : **3**

Copie à : L. GOURCY

Note importante :

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Orléans, le 22/10/2007

**SERVICE METROLOGIE, MONITORING, ANALYSE
Laboratoire Isotopes stables et faible radioactivité**

Rapport d'essais 07-6-026-K

Demandeur : B. VITTECOQ

Projet : PSP07MAR18

tache : 1

Réf. labo : 07E 361 à 362

RESULTATS D'ANALYSES ISOTOPIQUES

Eaux

Destinataire(s) : B. VITTECOQ SAR / GGR AT/SGR MAR
L. GOURCY

Archivage : MMA / ISO (07E361-362DO.doc)

**BRGM
MMA / ISO
B.P. 36009 - 45060 Orléans cedex 2 - France**

MARTINIQUE**Isotopes - eau****Echantillons**

Nature : eaux

Date de réception : 09/08/2007

Analyses

Opérateur(s): M. BOURGEOIS, C. FLEHOC

Date de réalisation : sept.-oct.. 2007

Mode d'analyse

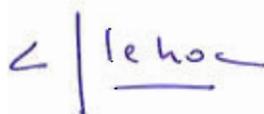
Mesure des rapports isotopiques de l'hydrogène et de l'oxygène par spectrométrie de masse en phase gazeuse, par la méthode d'équilibration avec un gaz (H₂ pour l'hydrogène, CO₂ pour l'oxygène).

Résultats

Nb	Réf. Labo	ECHANTILLON	DATE de Prélèvement	δD ‰ vs SMOW (± 0.8 ‰)	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMOW (± 0.1 ‰)
1	07E 361	PZ 1	23/07/2007	-10.3	-3.0
2	07E 362	PZ 2	03/08/2007	-10.4	-3.1

Conservation des échantillons après analyse

Les échantillons (non consommés lors des analyses) sont conservés six mois à compter de la date d'envoi des résultats. Leur destruction est ensuite systématique, sauf avis contraire de la part du demandeur.


C. FLEHOC



Géosciences pour une Terre durable

brgm



RAPPORT D'ESSAIS 07-6-026-L

Provenance : CACEM/FOND LAHAYE Nature échantillon : EAU SUPERFICIELLE Nombre: 2 Echantillons réceptionnés le : 19/10/2007 Analyses commencées le : 22/10/07 Référence commande : PSP07MAR18 1	Demandeur : VITTECOQ Benoît Adresse: SAR/GGR AT/SGR MAR Villa Bel Azur, 4 lot. Miramar Route Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE France
---	--

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des eaux	T.CONTE

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses
Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 13-NOV-2007

Nombre de pages: 5

BRGM/SGR/ANT
Martinique
ARRIVEE à Fort de France
LE 16/11/2007
N 120

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole *. Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement - se reporter à la liste des laboratoires sur le site du ministère.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, qual André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013737

Rapport d'essais : 07-6-026-L

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux

Le mode opératoire	MO108		Analyse d'éléments traces par ICP/MS.
est utilisé pour doser :			
*Al (Aluminium)			*As (Arsenic)
*B (Bore)			*Mn (Manganèse)
*Ni (Nickel)			
Le mode opératoire	NF EN ISO 10304		Méthode par chromatographie ionique(DIONEX)selon NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 pour les eaux usées (Sept 1996). Evaluation des aires des pics.
Code Sandre :	266		
est utilisé pour doser :			
*Cl (Chlorures)			*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)
*SO4 (Sulfates)			
Le mode opératoire	NF EN ISO 11732	AOU-05	Détermination de l'azote ammoniacal dans les eaux par analyse en flux(FFA et FIA) et détection spectrométrique.
Code Sandre :	611		
est utilisé pour doser :			
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)			
Le mode opératoire	NF EN ISO 11885	MAR-98	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
Code Sandre :	306		
est utilisé pour doser :			
*Ca (Calcium)			*Fe (Fer)
*K (Potassium)			*Mg (Magnésium)
*Na (Sodium)			*SiO2 (Silice)
Le mode opératoire	NF EN ISO 6878	AVR-05	Analyse des orthophosphates selon §4 et du phosphore total selon §7 de la norme : méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium
Code Sandre :	470		
est utilisé pour doser :			
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)			
Le mode opératoire	NF EN ISO 9963-1	FEV-96	Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1, CO3/HCO3 calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO3, HCO3)
Code Sandre :	234		
est utilisé pour doser :			
CO3 (Carbonates)			HCO3 (Bicarbonates)

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100013737

Rapport d'essais : 07-6-026-L

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Le mode opératoire	NF EN 26777	MAI-93	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
Code Sandre :	229		
est utilisé pour doser :			
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)			
Le mode opératoire	NF T 90-004	AOU-02	Méthode par potentiométrie (electrode combinée).
Code Sandre :	606		
est utilisé pour doser :			
*F (Fluorures)			

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.

Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.

RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons

Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.

UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments

g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)

% (pourcentage massique)

mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)

µg=microgramme, ng=nanogramme

Id soumission : 100013737

Rapport d'essais : 07-6-026-L

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client CS ***	200091122	200091123
				1 AMONT 15/10/07	2 AVAL 15/10/07
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	1374	9.4	13.9
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	1372	5.1	8.0
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	1375	20.5	27.8
*K (Potassium)	mg/l	0.5	1367	2.1	2.7
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	1335	< 0.1	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	1328	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	1327	59	86
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	1337	28.7	40.5
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	1340	1.3	1.3
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	1338	4.3	5.4
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	1433	< 0.1	< 0.1
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	1339	< 0.01	< 0.01
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	1391	< 0.1	< 0.1
*Al (Aluminium)	µg/l	10	1370	451	468
*As (Arsenic)	µg/l	2	1369	< 2	< 2
*B (Bore)	µg/l	10	1362	48	53
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	1393	0.89	0.54
*Mn (Manganèse)	µg/l	2	1394	5	7
*Ni (Nickel)	µg/l	2	1386	< 2	< 2
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5	1348	56.2	57.3

*AVAL = rivière
Fond labouré au
qui en face de
chez Albert*

*ASTENT = rivière
Fond labouré au
qui au dessus
des maisons en
amont du FLFZ*

Id soumission : 100013737

Rapport d'essais : 07-6-026-L

~~***LCS: Code de Certification~~

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS



Géosciences pour une Terre durable

brgm



RAPPORT D'ESSAIS

08-6-005-A / 2

Provenance : cacem 2007		Demandeur : VITTECOQ Benoit	
Nature échantillon : EAU SOUTERRAINE	Nombre: 2	Adresse: SAR/GGR AT/SGR MAR Villa Bel Azur 4 lot Miramar Route Pointe des Nègres 97200 FORT DE FRANCE France	
Echantillons réceptionnés le : 25/01/2008			
Analyses commencées le : 25/01/08			
Référence commande : PSP07MAR18 1			

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des eaux	T.CONTE

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses
Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 14-MAR-2008

Nombre de pages: 5

>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole *. Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement - se reporter à la liste des laboratoires sur le site du ministère.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemain, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100014655

Rapport d'essais : 08-6-005-A / 2

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux

Le mode opératoire	MO002		Analyse des métaux en infratracés par ICP-MS.
Code Sandre :	422		
est utilisé pour doser :			
lode			
Le mode opératoire	MO108		Analyse d'éléments traces par ICP/MS.
est utilisé pour doser :			
*Al (Aluminium)		*As (Arsenic)	
*B (Bore)		*Ba (Baryum)	
*Be (Béryllium)		*Cd (Cadmium)	
*Cu (Cuivre)		*Li (Lithium)	
*Mn (Manganèse)		*Ni (Nickel)	
*Pb (Plomb)		*Sr (Strontium)	
*Zn (Zinc)			
Le mode opératoire	NF EN ISO 10304		Méthode par chromatographie ionique(DIONEX)selon NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 pour les eaux usées (Sept 1996). Evaluation des aires des pics.
Code Sandre :	266		
est utilisé pour doser :			
*Br- (Bromures)		*Cl (Chlorures)	
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)		*SO4 (Sulfates)	
Le mode opératoire	NF EN ISO 11732	AOU-05	Détermination de l'azote ammoniacal dans les eaux par analyse en flux(FFA et FIA) et détection spectrométrique.
Code Sandre :	611		
est utilisé pour doser :			
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)			
Le mode opératoire	NF EN ISO 11885	MAR-98	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
Code Sandre :	306		
est utilisé pour doser :			
*Ca (Calcium)		*Fe (Fer)	
*K (Potassium)		*Mg (Magnésium)	
*Na (Sodium)		*SiO2 (Silice)	

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100014655

Rapport d'essais : 08-6-005-A / 2

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Le mode opératoire	NF EN ISO 9963-1	FEV-96	Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1, CO3/HCO3 calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO3, HCO3)
Code Sandre :	234		
est utilisé pour doser :			
CO3 (Carbonates)		HCO3 (Bicarbonates)	
Le mode opératoire	NF EN 26777	MAI-93	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
Code Sandre :	229		
est utilisé pour doser :			
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)			
Le mode opératoire	NF T 90-004	AOU-02	Méthode par potentiométrie (electrode combinée).
Code Sandre :	606		
est utilisé pour doser :			
*F (Fluorures)			

Commentaire du laboratoire :
Bromures analysés hors accréditation.

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.

Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.

RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons

Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.

UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments

g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)

% (pourcentage massique)

mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)

µg=microgramme, ng=nanogramme

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100014655

Rapport d'essais : 08-6-005-A / 2

Elément	Unité	LQ**	CS ***	200097560	200097561
				1 FLF1 18/01/08	2 PZ1 18/01/08
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	1374	51.2	43.1
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	1372	36.6	29.1
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	1375	103.7	75.1
*K (Potassium)	mg/l	0.5	1367	8.2	6.6
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	1335	< 0.1	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	1328	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	1327	349	354
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	1337	165.1	80.3
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	1340	1.7	1.1
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	1338	17.3	12.5
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	1339	< 0.01	0.02
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	1391	0.1	0.1
*Br- (Bromures)	mg/l	0.2		0.4	0.2
*Al (Aluminium)	µg/l	10	1370	< 10	21
*As (Arsenic)	µg/l	5	1369	8	< 5
*B (Bore)	µg/l	10	1362	162	134
*Ba (Baryum)	µg/l	2	1396	5	< 2
*Be (Béryllium)	µg/l	2	1377	< 2	< 2
*Cd (Cadmium)	µg/l	2	1388	< 2	< 2
*Cu (Cuivre)	µg/l	2	1392	4	< 2

brgm TABLEAU DE RESULTATS

Id soumission : 100014655

Rapport d'essais : 08-6-005-A / 2

Elément	Unité	LQ**	CS ***	Lims	200097560	200097561
				Labo	1	2
				Client	FLF1 18/01/08	PZ1 18/01/08
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	1393		< 0.02	< 0.02
*Li (Lithium)	µg/l	2	1364		23	14
*Mn (Manganèse)	µg/l	5	1394		< 5	9
*Ni (Nickel)	µg/l	5	1386		< 5	< 5
*Pb (Plomb)	µg/l	2	1382		< 2	< 2
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5	1348		115.2	114.7
*Sr (Strontium)	µg/l	2	1363		226	169
*Zn (Zinc)	µg/l	5	1383		19	< 5
lode	µg/l	0.5	1381		38.2	27.7

** LQ : Limite de quantification

*** CS : Code Sandre

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Martinique
4 lot. Miramar
Route Pointe des Nègres
97200 – Fort de France - France
Tél. : 05 96 71 17 70