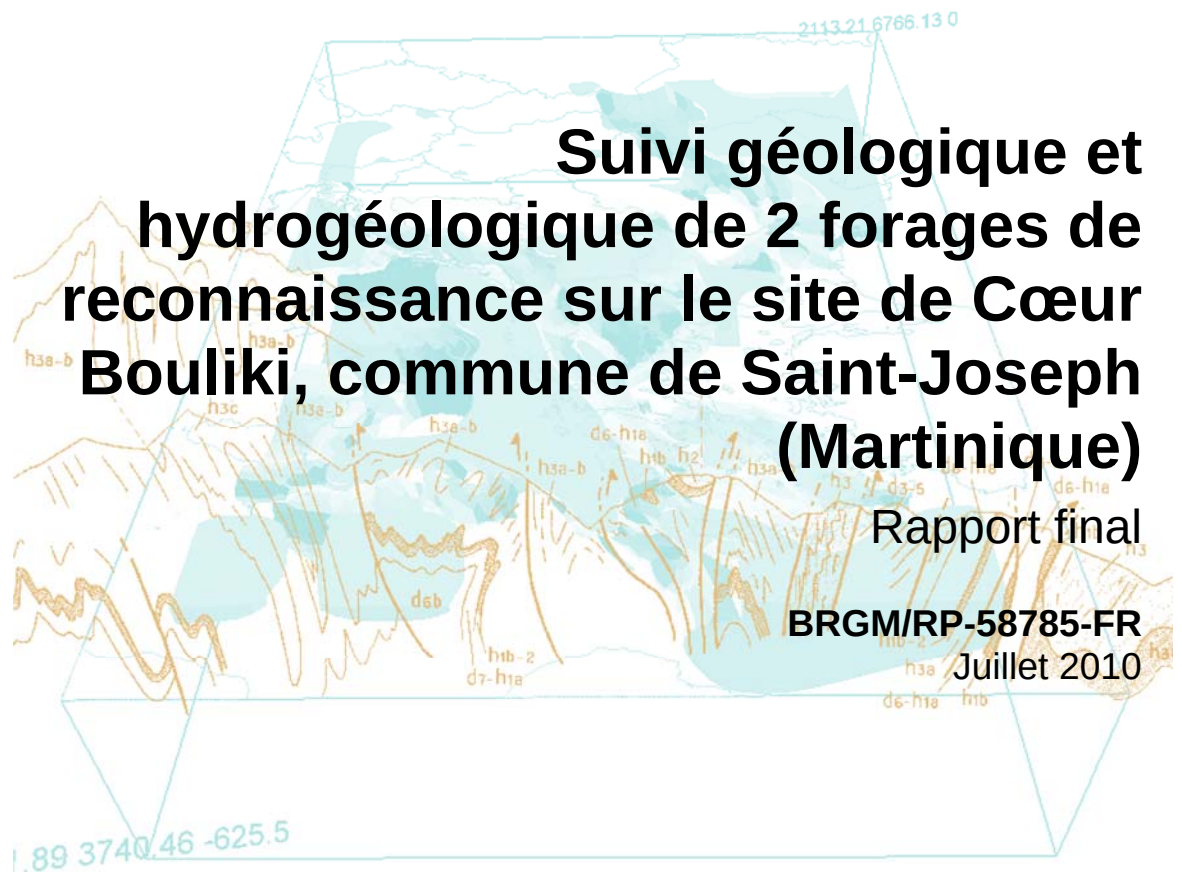




Suivi géologique et hydrogéologique de 2 forages de reconnaissance sur le site de Cœur Bouliki, commune de Saint-Joseph

Rapport final

BRGM/RP ou RC-58785-FR
Juillet 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2009 EAU53

L. Arnaud, B. Dewandel, B. Leclerc, C. Chevrier, N. Wiat

Vérificateur :

Nom : B. Vittecoq

Date : 26/07/2010

Signature :

Approbateur :

Nom : J.-C. Audru

Date : 26/07/2010

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 9001:2008.

Mots clés : alimentation en eau potable, alluvions, altérites, andésite, aquifère bicouche, aquifère volcanique, débit d'exploitation, diagraphie, eau souterraine, forage de reconnaissance, gestion active, marteau fond de trou, milieu fissuré, pompage d'essai, laves, Saint-Joseph, Martinique, DOM.

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

Arnaud L., Dewandel B., Leclerc B., Chevrier C. (2010) – Suivi géologique et hydrogéologique de deux forages de reconnaissance sur le site de Cœur Bouliki, commune de Saint-Joseph (Martinique), Rapport BRGM/RP-58785-FR, 140 pp., 42 ill., 6 ann.

Synthèse

La CACEM (Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique) a confié au BRGM, depuis 2006, une mission scientifique et technique d'expertise géologique et hydrogéologique liée à son programme de recherche en eau souterraine sur l'ensemble de son territoire.

Le présent rapport rend compte du suivi géologique et hydrogéologique de deux forages de reconnaissance réalisés à Cœur Bouliki, sur la commune de Saint-Joseph, entre décembre 2009 et janvier 2010. Ces derniers ont été implantés suite à des reconnaissances géologiques et hydrogéologiques de terrain (Vittecoq, 2008) et à des investigations géophysiques (Coppo et Vittecoq, 2009).

L'interprétation des pompages d'essai menés sur les forages CBF1 et CBF2 de janvier à avril 2010 a permis de mettre en évidence :

- **un système aquifère de type bicouche.** L'aquifère capté au droit des crépines (laves fissurées) est caractérisé par une transmissivité de l'ordre de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Après quelques centaines de minutes, le pompage sollicite un autre aquifère, probablement les alluvions sus-jacentes, présentes sur 10 à 15 m au niveau des deux forages (effet de drainance) ;
- **l'absence d'interférence visible entre les deux forages** à l'échelle des tests effectués (temps de pompage maximum de 5,4 jours).

La transmissivité du système aquifère complet (laves + alluvions) varie en fonction de la période testée : de $1,3$ à $3,6.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (facteur de 2,8) pour CBF1 et de $0,9$ à $3,9.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (facteur de 4,5) pour CBF2. Ces variations de transmissivité, très significatives, semblent s'expliquer par une variation de l'épaisseur saturée des alluvions au droit des ouvrages.

L'évaluation des débits exploitables a été faite sur la base des transmissivités les plus pessimistes (alluvions désaturées) et pour trois géométries de l'aquifère (sans limite étanche, avec une puis deux limites étanches). Ainsi, **l'exploitation combinée envisageable des deux ouvrages serait de l'ordre de $2\,300 \text{ m}^3/\text{j}$ dans le cas d'une exploitation en continu en saison sèche (carême, 100 jours) et de l'ordre de $2\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ dans le cas d'une exploitation en continu toute l'année (365 jours).**

Sur le site de Cœur Bouliki, tout laisse à croire que les alluvions seront rapidement rechargées après un épisode de crue du cours d'eau et donc qu'elles devraient à leur tour recharger rapidement l'aquifère sous-jacent. **Un tel comportement hydrodynamique doit pouvoir permettre d'appliquer un concept de gestion active de l'aquifère en optimisant les prélèvements en fonction des épisodes de crue du cours d'eau.** Ceci pourrait permettre d'envisager la réalisation d'un champ captant basé sur plusieurs forages d'exploitation.

Sommaire

1. Éléments de contexte.....	9
1.1. CADRE DE L'ÉTUDE	9
1.2. LOCALISATION DES FORAGES.....	9
1.3. CONTEXTES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM RP-56716-FR)	12
2. Suivi géologique et hydrogéologique des forages.....	15
2.1. FORATION	15
2.2. FORMATIONS GÉOLOGIQUES TRAVERSÉES	15
2.2.1. Échantillons du forage 1174ZZ0133/CBF1	16
2.2.2. Échantillons du forage 1174ZZ0134/CBF2	21
2.2.3. Vitesses à l'avancement.....	24
2.2.4. Coupes géologiques des forages	25
2.3. INFORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES.....	29
2.3.1. Débit au soufflage et conductivité électrique	29
2.3.2. Diagraphies de flux.....	30
2.4. ÉQUIPEMENTS DES FORAGES.....	32
3. Suivi et interprétation des pompages d'essai	33
3.1. POMPAGES D'ESSAI PAR PALIERS DE DÉBIT	33
3.1.1. Essai de puits réalisé sur le forage 1174ZZ0133/CBF1	34
3.1.2. Essais de puits réalisés sur le forage 1174ZZ0134/CBF2	35
3.2. POMPAGES D'ESSAI DE LONGUE DURÉE.....	38
3.2.1. Méthodologie	38
3.2.2. Récapitulatif des pompages d'essai réalisés.....	40
3.2.3. Diagnostic des pompages d'essai de longue durée	42
3.2.4. Interprétation des pompages d'essai.....	45
3.2.5. Synthèse.....	52
4. Évaluation des débits d'exploitation durables	53
4.1. MÉTHODOLOGIE.....	53

4.1.1. Rabattement maximal admissible	53
4.1.2. Profondeur préconisée d'installation de la pompe et hauteur manométrique	54
4.1.3. Débit d'exploitation durable.....	54
4.2. DÉBIT D'EXPLOITATION AUX FORAGES CBF1 ET CBF2	55
4.2.1. Conditions et hypothèses de calcul.....	55
4.2.2. Débits d'exploitation et éléments de dimensionnement de la pompe	57
4.3. PRÉCONISATIONS DU BRGM	62
4.3.1. Recommandations courantes	62
4.3.2. Gestion active de l'aquifère capté	62
5. Conclusion.....	65
6. Références bibliographiques	67

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation du site de Cœur Bouliki sur la carte IGN au 1/100 000 ^{ème} (2004) (polygone bleu).....	10
Illustration 2 : Localisation des deux forages de reconnaissance sur la carte IGN au 1/25 000 ^{ème} (2007) (cercles bleu)	11
Illustration 3 : Coordonnées des forages (mesures GPS, précision horizontale de +/- 5 m).....	11
Illustration 4 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 ^{ème} (BRGM, 1989)	13
Illustration 5 : Modèle hydrogéologique conceptuel (Vittecoq, 2008).....	13
Illustration 6 : Vue d'ensemble des échantillons prélevés sur le forage CBF1	16
Illustration 7 : Cuttings récupérés dans les 10 premiers mètres (graduations en cm)	17
Illustration 8 : Cuttings de roche altérée (de 10 à 30m)	18
Illustration 9 : Cuttings hétérogènes de 21,5 à 23 m.....	18
Illustration 10 : Cuttings de roche saine de 44 à 47 m	19
Illustration 11 : Fragments de carotte à 71 m (la matrice est cendreuse)	20
Illustration 12 : Vue d'ensemble des échantillons prélevés sur le forage CBF2	21
Illustration 13 : Alluvions (cuttings de 13,5 à 15,5 m).....	22
Illustration 14 : Mélange de fragments laviques sains et altérés (cuttings de 25,5 à 30 m).....	22

Illustration 15 : Fragments sains entre 48 et 51 m de profondeur (NB : cuttings humides d'où la couleur plus foncée)	23
Illustration 16 : Fragments clairs et friables entre 85 et 88 m de profondeur	23
Illustration 17 : Vitesses à l'avancement observées pendant la foration de CBF1.....	25
Illustration 18 : Coupe géologique et technique du forage 1174ZZ0133/CBF1.....	27
Illustration 19 : Coupe géologique et technique du forage 1174ZZ0134/CBF2.....	28
Illustration 20 : Conductivité électrique et débit au soufflage en fonction de l'avancement du forage CBF1.....	29
Illustration 21 : Identification des venues d'eau au micromoulinet – CBF1	31
Illustration 22 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF1	34
Illustration 23 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF1 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.....	34
Illustration 24 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 le 18 janvier 2010.....	35
Illustration 25 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.....	36
Illustration 26 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 le 1er avril 2010	36
Illustration 27 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.....	37
Illustration 28 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des pompages d'essai.....	39
Illustration 29 : Récapitulatif des différents pompages d'essai réalisés sur le site de Cœur Bouliki	40
Illustration 30 : Suivis des niveaux piézométriques et des débits sur CBF1 et CBF2 pendant les pompages d'essai du mois d'avril et report de la pluviométrie quotidienne.....	41
Illustration 31 : Courbes de dérivée issues des pompages du 02-04, 13, 19-25 et 26-29 avril 2010 au puits CBF1.....	43
Illustration 32 : Courbes de dérivée issues des pompages du 19-22 janvier, 19-25 et 26-29 avril 2010 au puits CBF2	45
Illustration 33 : Modèle d'un «aquifère bicouche» (Hunt et Scott, 2007)	46
Illustration 34 : Résultats de l'interprétation des pompages d'essai de longue durée sur CBF1 et CBF2 (modèle «bicouche» à gauche, modèle «Theis» à droite)	47
Illustration 35 : Modélisation de l'essai réalisé sur l'ouvrage CBF1 du 2 au 4 avril 2010. Modèles «bicouche» (2 aquiferlayers) et «Theis» (échelles arithmétique et logarithmique)	49
Illustration 36 : Modélisation de l'essai réalisé sur l'ouvrage CBF2 du 19 au 22 janvier 2010. Modèles «bicouche» (2 aquiferlayers) et «Theis» (échelles arithmétique et logarithmique)	50

Illustration 37 : Evolution du débit du cours d'eau comparées à l'évolution des niveaux statiques sur CBF1 et CBF2 (graphe du haut) et à l'évolution des transmissivités totales T et des transmissivités de l'aquifère superficiel To (graphe du bas)	51
Illustration 38 : Paramètres hydrodynamiques des ouvrages et des aquifères retenus dans les scénarios d'exploitation des ouvrages CBF1 et CBF2 (* rabattement maximum admissible = crépines non dénoyées / S* = paramètre de calage)	57
Illustration 39 : Simulation d'exploitation sur CBF1 pour les scénarios A (100 j de pompage en période de carême) et B (365 j de pompage).....	58
Illustration 40 : Simulation d'exploitation sur CBF2 pour les scénarios A (100 j de pompage en période de carême) et B (365 j de pompage).....	59
Illustration 41 : Résultats synthétiques des simulations sur l'ouvrage CBF1 selon diverses hypothèses concernant la géométrie de l'aquifère (H1, H2 ou H3) et divers scénarios d'exploitation (A ou B)	61
Illustration 42 : Résultats synthétiques des simulations sur l'ouvrage CBF2 selon diverses hypothèses concernant la géométrie de l'aquifère (H1, H2 ou H3) et divers scénarios d'exploitation (A ou B)	61

Liste des annexes

Annexe 1 Compte-rendu du chantier de forage CBF1	69
Annexe 2 Compte-rendu du chantier de forage CBF2	79
Annexe 3 Réception du forage CBF1 (rapport Hydro Assistance).....	89
Annexe 4 Réception du forage CBF2 (rapport Hydro Assistance).....	107
Annexe 5 Données brutes relatives au pompage d'essai de longue durée sur CBF2 (suivi manuel)	131
Annexe 6 Modélisations des différents pompages d'essai de longue durée	135

1. Éléments de contexte

1.1. CADRE DE L'ÉTUDE

En cohérence avec son Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable, la CACEM (Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique) souhaite diversifier et augmenter les ressources en eau potable disponibles sur son territoire, et notamment par l'exploitation des eaux souterraines.

Dans cette perspective, la CACEM a confié au BRGM, depuis 2006, une mission scientifique et technique d'expertise géologique et hydrogéologique liée à son programme de recherche en eau souterraine sur l'ensemble de son territoire.

Dans un premier temps, le BRGM a identifié les zones favorables à l'exploitation des eaux souterraines sur la base d'une analyse cartographique multicritères (Vittecoq, 2008) : 25 sites ont ainsi été proposés et hiérarchisés.

À l'issue de cette première étude, la CACEM a décidé de poursuivre son programme de recherche sur le site de Cœur Bouliki à Saint-Joseph. Ce dernier présentait, en effet, un potentiel aquifère très intéressant aussi bien du point de vue quantitatif que qualitatif, intérêt renforcé par la proximité d'infrastructures de la CACEM.

Le présent rapport rend compte du suivi géologique et hydrogéologique de 2 forages de reconnaissance sur la commune de Saint-Joseph.

Il est rappelé que ces derniers ont été implantés suite à des reconnaissances géologique et hydrogéologique de terrain (Vittecoq, 2008) et à des investigations géophysiques réalisées en janvier 2009 (Coppo et Vittecoq, 2009).

L'objectif de cette étape de reconnaissance est de réaliser des forages afin de vérifier la présence de nappes d'eaux souterraines puis d'évaluer les débits d'exploitation durables de la nappe captée.

1.2. LOCALISATION DES FORAGES

Le site de Cœur Bouliki (Illustration 1) est situé sur les hauteurs de Saint-Joseph, au nord de Fort-de-France.

L'accessibilité du site est bonne, le site étant traversé du nord au sud par la route forestière de la Rivière Blanche.

Les forages se situent dans le Parc Naturel Régional de la Martinique. Il s'agit d'un espace boisé classé (zone naturelle ND) pour lequel l'urbanisation est interdite et qui fait partie de la forêt départementalo-domaniale des Pitons du Carbet. La bordure Sud

du secteur est d'ailleurs classée en Site Naturel Inscrit. À l'aval immédiat des forages, il faut noter un aménagement léger pour le loisir (NDa).

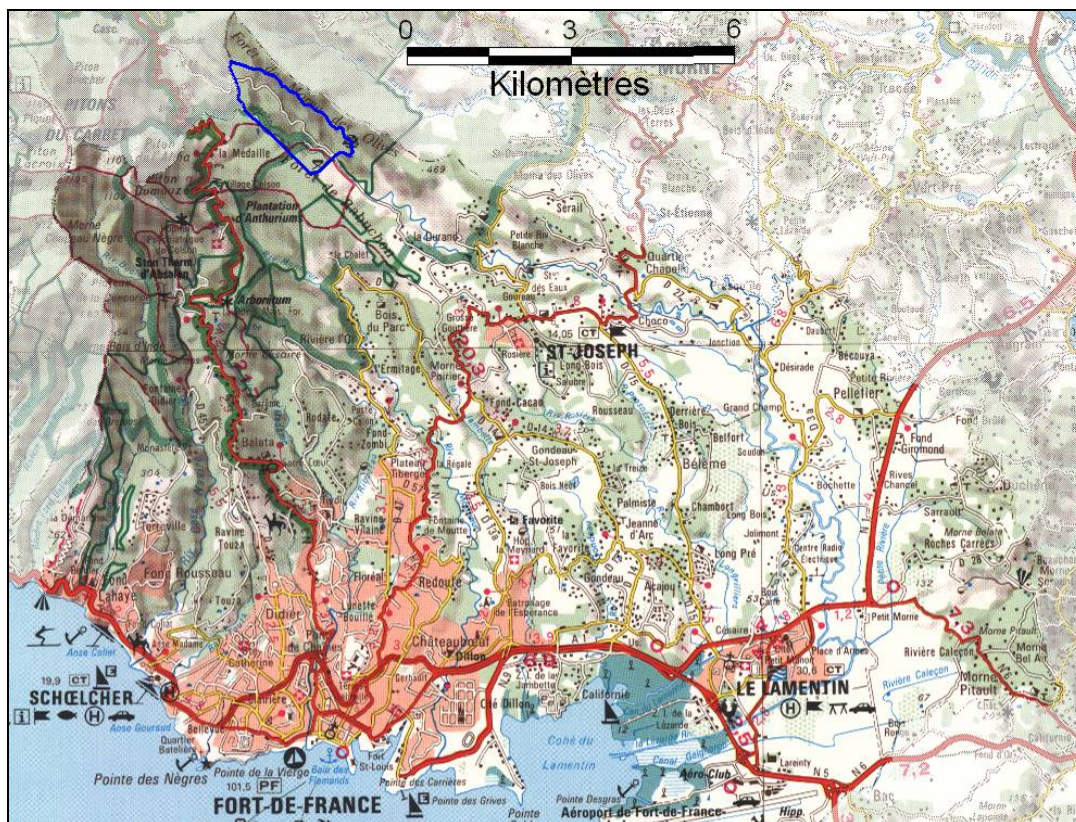


Illustration 1 : Localisation du site de Cœur Bouliki sur la carte IGN au 1/100 000^{ème} (2004) (polygone bleu)

Les reconnaissances géophysiques avaient, dans un premier temps, amené à proposer neuf sites pour les forages de reconnaissance. Suite à une visite de terrain effectuée avec la CACEM et l'ONF, trois sites prioritaires ont été retenus en prenant notamment en compte les critères d'accessibilité et les critères environnementaux. Finalement, deux forages de reconnaissance ont été réalisés, 1174ZZ0133/CBF1 et 1174ZZ0134/CBF2.

Les ouvrages sont implantés en rive gauche de la Rivière Blanche (entre le cours d'eau et le chemin forestier), à l'aval de la prise d'eau d'ODYSSI et à l'amont de l'aire d'accueil du public. Ils sont alignés parallèlement à la rivière et distants de 160 m (Illustration 2).

Les coordonnées géographiques des deux forages sont précisées dans le tableau de l'illustration 3.

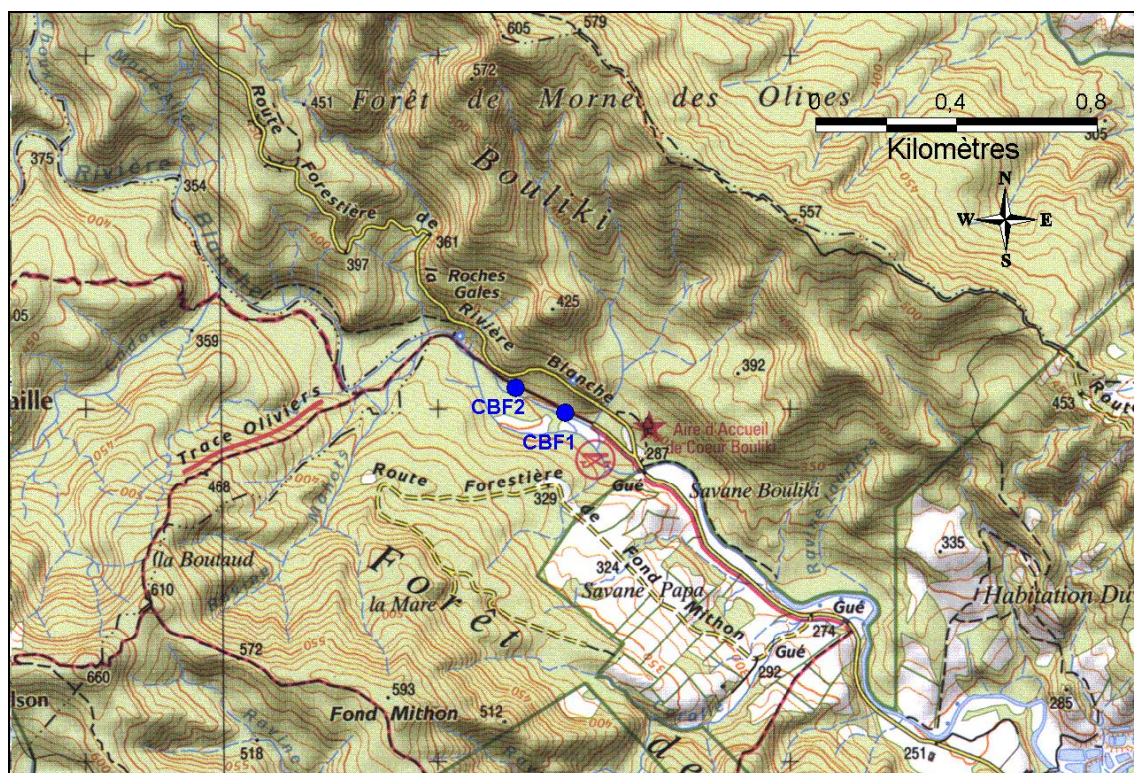


Illustration 2 : Localisation des deux forages de reconnaissance sur la carte IGN au 1/25 000^{ème} (2007) (cercles bleu)

Forages	Indice BSS	X FD (m)	Y FD (m)	Z (m NGM)
CBF1	1174ZZ0133	707 311	1 625 984	298
CBF2	1174ZZ0134	707 165	1 626 052	303

Illustration 3 : Coordonnées des forages (mesures GPS, précision horizontale de +/- 5 m)

1.3. CONTEXTES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM RP-56716-FR)

Le modèle conceptuel du site de Cœur Bouliki a été établi à la suite de l'interprétation de la carte géologique et des informations acquises lors des investigations de terrain (Illustration 5). Les hypothèses ayant permis de caractériser sa structure et son fonctionnement sont présentées ci-dessous.

Une structure caractérisée par de bas en haut :

- un substratum *a priori* constitué par les hyaloclastites 1H, non observées à l'affleurement ;
- des basaltes 1βol (Illustration 4) *a priori* fissurés et présentant un profil d'altération (altération en pelure d'oignon puis argiles d'altération) ;
- une mise en place de ces basaltes par coulées successives superposées, avec une durée variable entre chaque épisode, avec des processus d'altérations variables en conséquence ;
- une hétérogénéité verticale du degré de fissuration/fracturation de ces basaltes, probablement due à la superposition de nombreuses coulées plus ou moins altérées et plus ou moins fissurées/fracturées.

Un fonctionnement caractérisé par :

- un substratum présentant *a priori* une perméabilité beaucoup plus faible que les formations de laves fissurées et fracturées le recouvrant ;
- un bassin d'alimentation qui pourrait correspondre *a priori* au bassin versant topographique (en rive gauche de la rivière Blanche, le bassin versant hydrogéologique en rive droite étant limité par la faille d'orientation NO-SE) ;
- la présence de « nappes perchées » au sein de certaines coulées situées dans des positions topographiques favorables (érosion par les rivières ou ravines jusqu'au niveau sain), pouvant alimenter localement des sources ;
- une nappe supposée au sein des basaltes fissurés 1βol sous-jacents, cet aquifère constituant l'horizon aquifère cible (déjà rencontré par un forage réalisé en 1973) ;
- un écoulement suivant *a priori* l'axe des paléovallées (NO-SE à l'échelle du site).

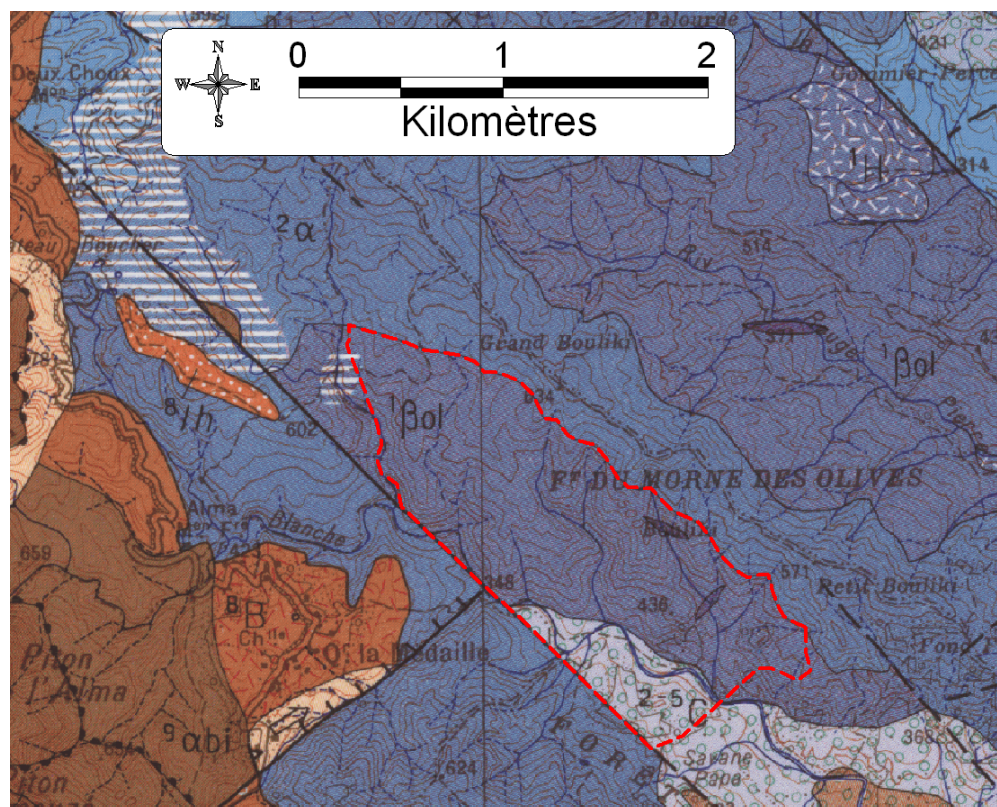


Illustration 4 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000^{ème} (BRGM, 1989)

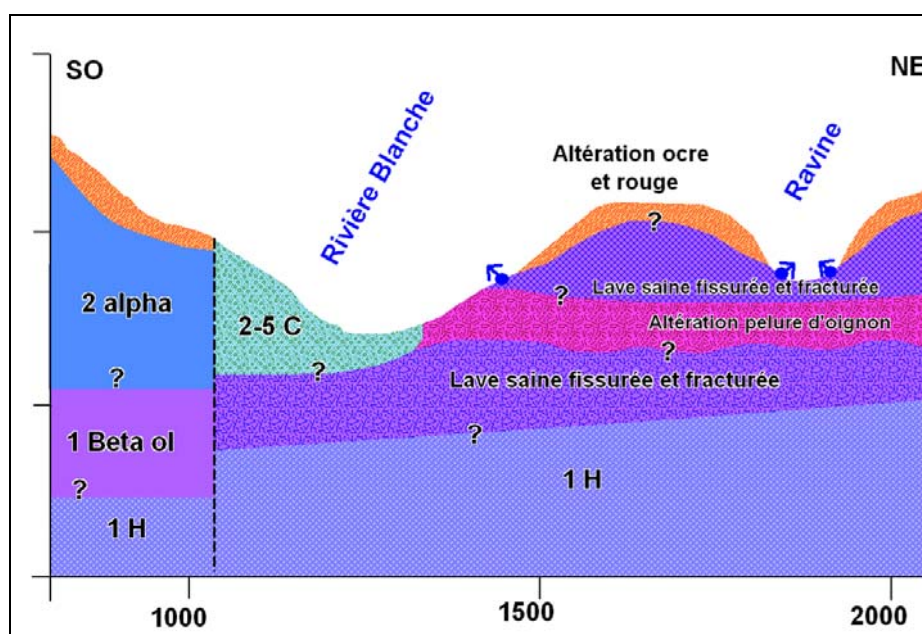


Illustration 5 : Modèle hydrogéologique conceptuel (Vittecoq, 2008)

2. Suivi géologique et hydrogéologique des forages

Les forages 1174ZZ0133/CBF1 et 1174ZZ0134/CBF2 ont été réalisés par la société SAFOR d'octobre 2009 à janvier 2010.

Les travaux ont été supervisés par le BRGM. Les comptes-rendus de chantier, traduisant l'avancement des travaux et transmis régulièrement à la CACEM, sont rappelés en Annexe 1 et Annexe 2. Ces derniers comportent quelques photographies des chantiers.

La réception des ouvrages a été assurée par le bureau d'études Hydro Assistance en mai 2010. Les rapports associés sont reportés en Annexe 3 et Annexe 4.

2.1. FORATION

La foration a été effectuée principalement au marteau fond de trou (MFT) D245mm avec tubage à l'avancement (TAV) D220mm, à l'air. Cette méthode présente l'avantage de la rapidité dans les terrains durs (MFT) et de la stabilité du trou par maintien des parois (TAV). Un tricône a également été utilisé dans les premiers mètres du forage CBF1, et un marteau fond de trou simple D190mm pour CBF2.

Le forage CBF1 est profond de 71,6 m et le forage CBF2 de 88 m. Les cuttings ont été récupérés régulièrement lors de la foration tous les 1,5 mètres.

2.2. FORMATIONS GÉOLOGIQUES TRAVERSÉES

Lors de la foration, plusieurs informations relatives aux formations traversées peuvent être récoltées.

Tout d'abord, **les cuttings** (bris de roche résultant de l'action du Marteau Fond de Trou, remontés par l'air sous pression) peuvent aider à identifier la roche traversée par le forage, ainsi que les éventuels changements de lithologie. L'information qu'ils fournissent est cependant limitée, la structure de la roche (cohésion, état de fracturation...) n'étant pas conservée.

Pour compléter ces informations, **des carottes** ont été prélevées à différentes profondeurs : 1 carotte de 1,6 m a été prélevée en fond de forage CBF1 (à 70 m), et 3 carottes d'environ 1,5 m ont été prélevées à 32 m, 51 m et 75 m dans le forage CBF2.

Les vitesses à l'avancement donnent également des informations sur la dureté de la roche. Selon la dureté du terrain traversé lors de la foration, l'avancée de l'outil y sera plus ou moins rapide.

2.2.1. Échantillons du forage 1174ZZ0133/CBF1

L’Illustration 6 présente les échantillons récupérés à la foration de CBF1.

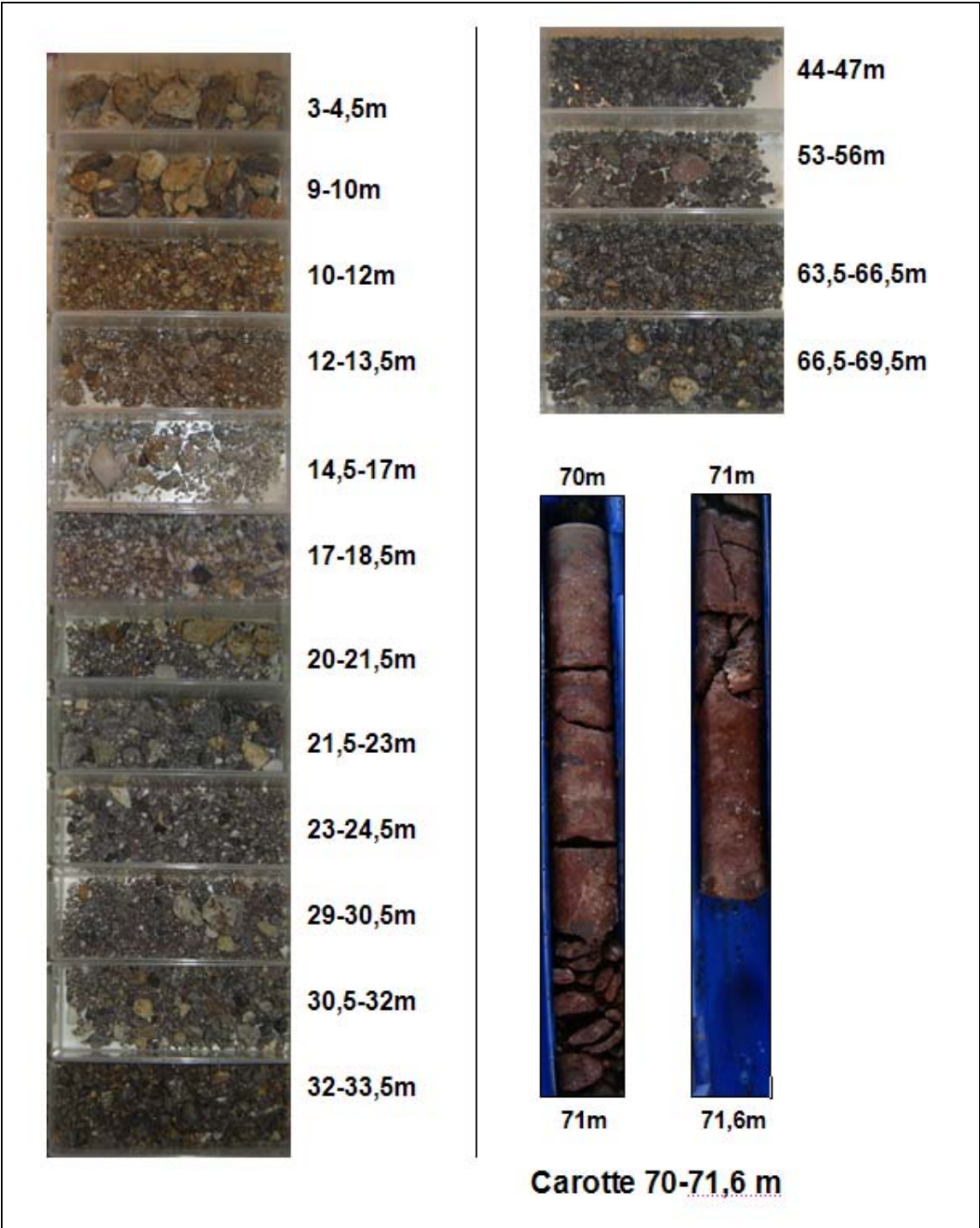


Illustration 6 : Vue d'ensemble des échantillons prélevés sur le forage CBF1

Cuttings CBF1

➤ de 0 à 10 m :

Les cuttings récupérés dans les premiers mètres sont constitués de fragments centimétriques hétérogènes, majoritairement arrondis à sub-anguleux (Illustration 7). Ils sont de couleur gris clair, beige ou gris foncé. Une fraction argileuse ocre est présente. On trouve également des traces d'oxydation (couleur rouille) ainsi que quelques fragments de lave altérée et parfois de ponce claire.

Les 10 premiers mètres traversés sont attribués à des alluvions.



Illustration 7 : Cuttings récupérés dans les 10 premiers mètres (graduations en cm)

➤ de 10 à 30 m :

Les cuttings montrent des fragments de plus petite taille (infracentimétriques le plus souvent). Ils présentent des phénocristaux blancs millimétriques de plagioclases (roche porphyrique), et la matrice est de couleur gris clair ou ocre ou lie de vin. L'altération est prononcée et les fragments sont friables. Ils ont subi une transformation partielle en argile.



Illustration 8 : Cuttings de roche altérée (de 10 à 30m)

On observe cependant des passées moins altérées et plus hétérogènes, comme de 21 à 23,5 m. Les fragments sont blancs à gris foncé ; arrondis à anguleux, souvent de plus grosse taille et ils ne sont pas tous porphyriques (Illustration 9).

Le forage traverserait une **formation lavique** porphyrique, **partiellement altérée**.



Illustration 9 : Cuttings hétérogènes de 21,5 à 23 m

➤ à partir de 30 m :

La proportion de fragments altérés (friables, teinte lie de vin) diminue. La roche devient plus saine. Les fragments sont gris clair à foncé, anguleux (Illustration 10).

Le passage de la roche altérée à la roche plus saine est progressif. Il a été fixé à 30 m. Il s'agit toujours de la **formation lavique porphyrique**, mais dans un **état sain** (non altéré).



Illustration 10 : Cuttings de roche saine de 44 à 47 m

Carotte – CBF1

La carotte prélevée à 71 m montre une roche bréchique constituée d'éléments de lave emballés dans une matrice grossière riche en cristaux libres et fragments de laves (cendres grossières). La matrice semble plus importante en volume que les fragments de lave. La roche est légèrement vacuolaire. À l'une des extrémités de l'échantillon, des stratifications suggèrent des structures de sédimentation. On note également la présence de plans de structures obliques faisant penser à des plans de fractures ouvertes (Illustration 6).

Il pourrait s'agir d'une formation volcanique bréchique issue de la fragmentation de la lave lors de sa mise en place (hyaloclastite par exemple) ou issue du remaniement de formations volcaniques (lahar fin ou conglomérat par exemple).

L'échantillon révèle un phénomène de rubéfaction hétérogène, sans doute lié à la mise en place de la roche.

***Rq :** Rubéfaction : « Coloration en rouge des sols, ou de la surface de certaines roches, due à la cristallisation d'oxydes de fer (hématite surtout) libérés par l'altération. » (Dictionnaire de géologie, 5^{ème} édition, Dunod 2001).*

L'échantillon comporte également des fissures millimétriques qui sont colmatées par des dépôts hydrothermaux de teinte claire, que l'on retrouve également en remplissage des vacuoles au sein de la roche. Il s'agit de carbonates (test réalisé à l'acide chlorhydrique).

Ceci traduit un épisode d'altération hydrothermale d'intensité faible, contemporain ou postérieur à la mise en place de la roche.



Illustration 11 : Fragments de carotte à 71 m (la matrice est cendreuse)

2.2.2. Échantillons du forage 1174ZZ0134/CBF2

L'illustration 12 présente les échantillons récupérés à la foration de CBF2.

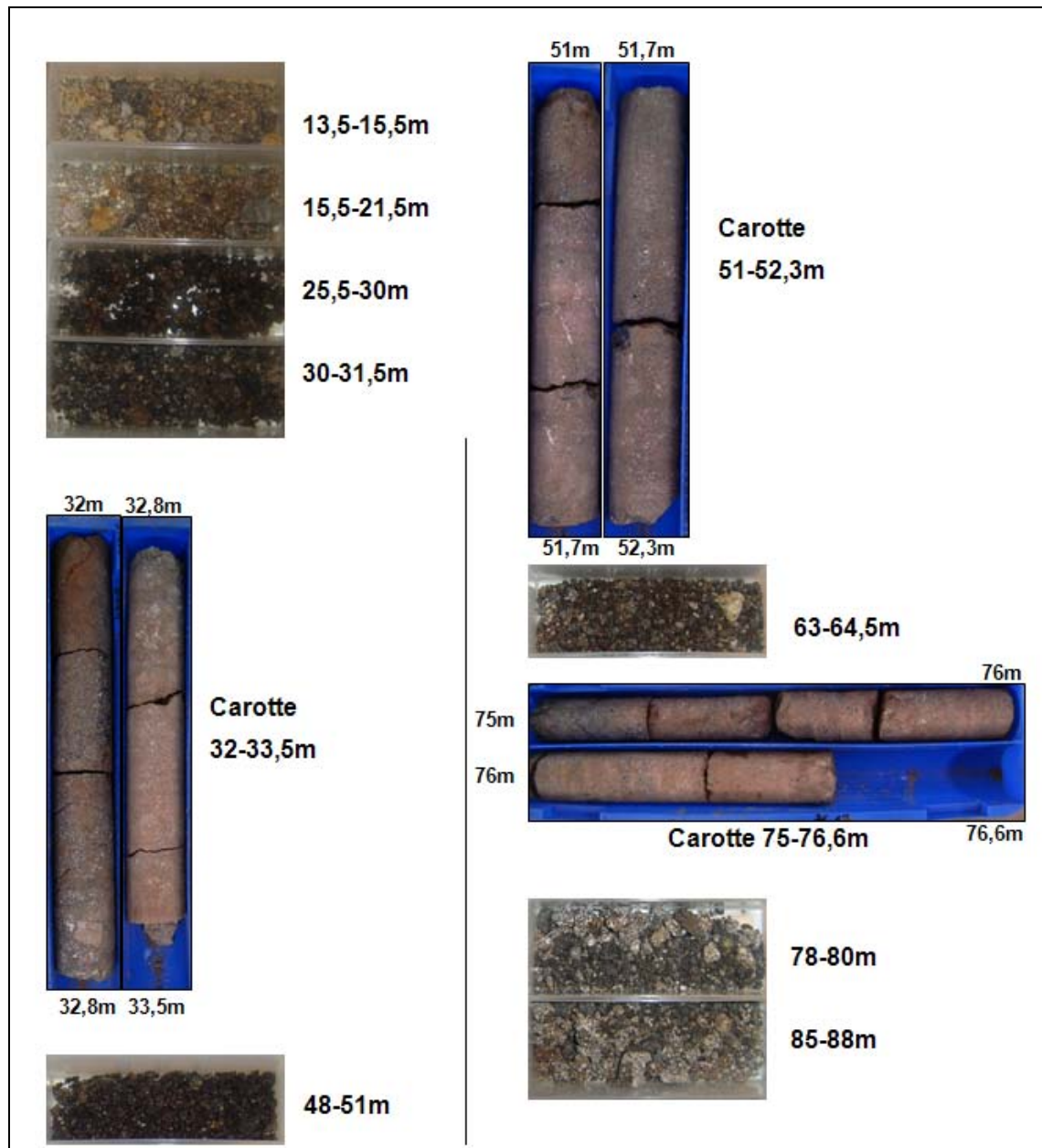


Illustration 12 : Vue d'ensemble des échantillons prélevés sur le forage CBF2

Cuttings CBF2

➤ de 0 à 15 m :

On retrouve les alluvions de la Rivière Blanche (Illustration 13). Leur épaisseur semble plus importante qu'au droit de CBF1.



Illustration 13 : Alluvions (cuttings de 13,5 à 15,5 m)

➤ de 15 à 30 m :

Les cuttings montrent un mélange de fragments de lave sains et altérés (Illustration 14). Il pourrait s'agir de la partie altérée d'une formation de lave massive. L'altération est moins prononcée que pour CBF1 à la même profondeur.



Illustration 14 : Mélange de fragments laviques sains et altérés (cuttings de 25,5 à 30 m)

➤ de 30 à 55 m :

Les fragments récupérés sont moins friables, gris foncé. La roche est plus saine que précédemment (Illustration 15).



Illustration 15 : Fragments sains entre 48 et 51 m de profondeur (NB : cuttings humides d'où la couleur plus foncée)

➤ de 55 à 88 m :

Les fragments sont plus clairs et plus friables (Illustration 16). La roche serait légèrement plus altérée que de 30 à 55 m.



Illustration 16 : Fragments clairs et friables entre 85 et 88 m de profondeur

Carottes – CBF2

➤ carotte 32-33,5 m :

Il s'agit d'un échantillon de lave massive porphyrique à nombreux phénocristaux millimétriques de plagioclase, coexistant avec des phénocristaux de pyroxènes (souvent en agrégats) et de rares phénocristaux d'olivine iddingstisés.

La lave est légèrement vacuolaire avec présence de minéraux hydrothermaux (argiles, zéolites ?). Elle est également fissurée avec un placage identique à celui rencontré dans les vacuoles.

On note quelques enclaves centimétriques de lave rubéfiée (processus synchrone de la mise en place).

Le degré d'altération est faible à très faible. Cela est cohérent avec les observations faites sur les cuttings à la même profondeur.

➤ carottes à 51 m et 75 m :

Les carottes prélevées à 51 m et 75 m sont homogènes d'un point de vue lithologique avec celle prélevée à 32 m. La roche est une lave, plutôt saine (altération présente autour de fissures notamment).

Les 3 carottes présentent des discontinuités faiblement pentées pouvant jouer le rôle de drains perméables (favorables à la circulation d'eau).

2.2.3. Vitesses à l'avancement

Les vitesses à l'avancement calculées lors de la foration de CBF1 sont reportées dans l'illustration 17. Elles sont déterminées à partir du temps mis pour forer 1,5 m (longueur des tiges de forage).

La foration est plus lente dans les 10 premiers mètres (autour de 5 m/h), puis après un passage très rapide vers 12 m, elle reste dans la gamme 10-20 m/h.

On peut corrélérer la foration lente du début à la traversée des alluvions, constitués en partie de gros blocs durs. La suite de la courbe ne permet pas d'identifier clairement de changement de dureté.

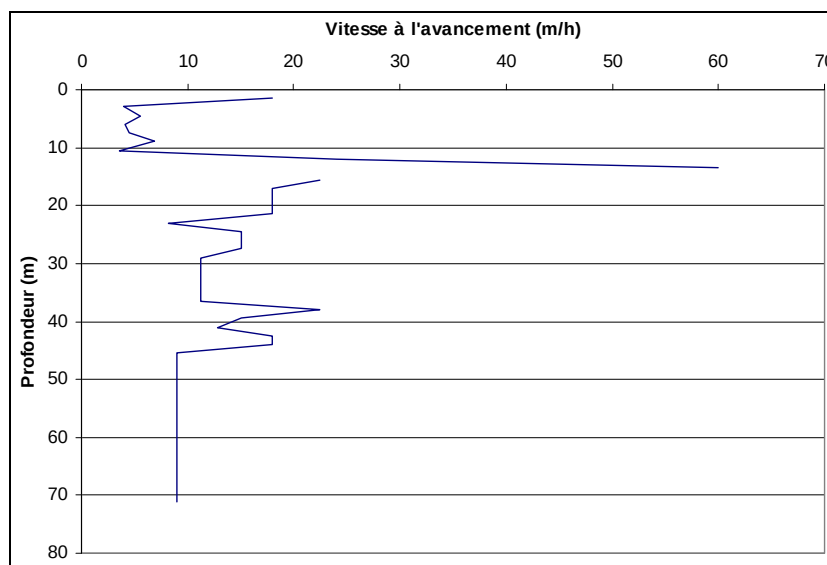


Illustration 17 : Vitesses à l'avancement observées pendant la foration de CBF1

2.2.4. Coupes géologiques des forages

Le recoupement des différentes informations collectées permet d'établir les coupes géologiques des forages CBF1 et CBF2.

Les premiers mètres traversés sont attribués aux alluvions de la Rivière Blanche. Cela est cohérent avec les informations apportées par les profils géophysiques réalisés en janvier 2009 (Coppo et Vittecoq, 2009). Les forages CBF1 et CBF2 se situent tous deux sur le profil CB1, qui montrait en surface un horizon résistant d'une dizaine de mètres alors interprété comme des alluvions. L'épaisseur de cet horizon était effectivement plus importante au droit de CBF1.

Puis la géophysique indiquait un horizon plus conducteur C1, *a priori* argilisé, d'une vingtaine de mètres au droit de CBF1 à une dizaine de mètres voire quasi-inexistant au droit de CBF2. Cela correspond aux observations faites sur les cuttings de CBF1 (frange altérée de 10 à 30 m) et CBF2 (roche partiellement altérée de 15 à 30 m – altération plus faible que sur CBF1). Cela pourrait correspondre également aux formations de lave altérée observées dans le secteur, l'altération présentant différents degrés : d'une structure en « pelures d'oignon » à un état complètement argilisé.

Après 30 m de profondeur, la roche saine traversée par CBF1 et CBF2 pourrait correspondre à l'horizon résistant R2. Au droit de CBF2, ce dernier est épais d'une vingtaine de mètres. L'horizon conducteur C2 rencontré ensuite pourrait s'expliquer par une légère altération de la roche. Au droit de CBF1, l'épaisseur de l'horizon R2 n'est pas déterminée (limite inférieure non-atteinte).

La formation bréchique rencontrée en fond de forage CBF1 pourrait être rattachée soit aux hyaloclastites 1H, soit aux conglomérats ²⁻⁵C (Illustration 4). En raison de sa position sous-jacente à une formation lavique (cf. cuttings), qui serait alors elle rattachée aux basaltes 1βol, ainsi que de la présence de structures de sédimentation, nous ferons le choix pour la coupe de la première hypothèse (hyaloclastites). Mais l'hypothèse d'un conglomérat n'est pas à exclure.

Les coupes géologiques des forages sont présentées avec les coupes techniques (équipements) dans l'illustration 18 et l'illustration 19.

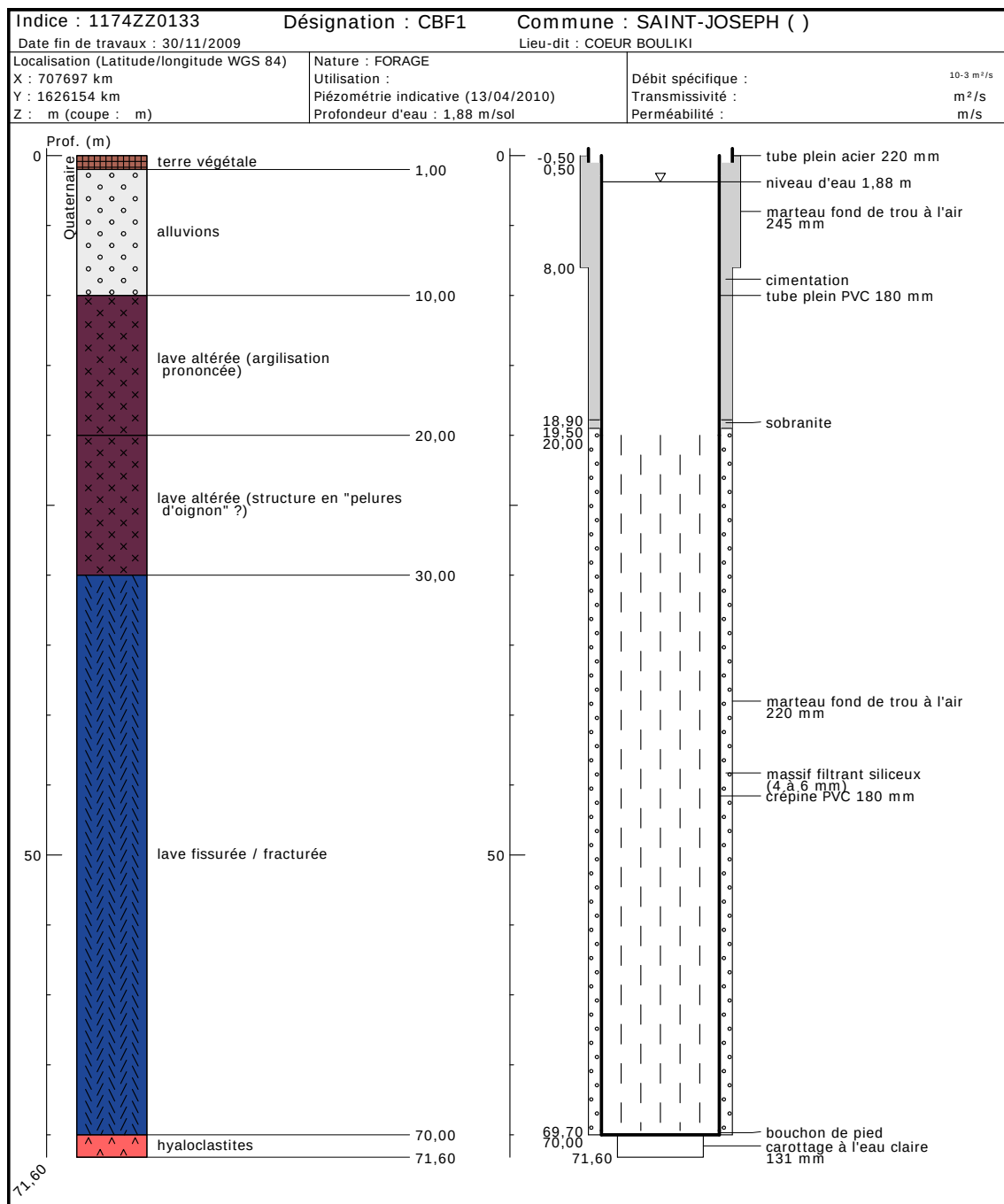
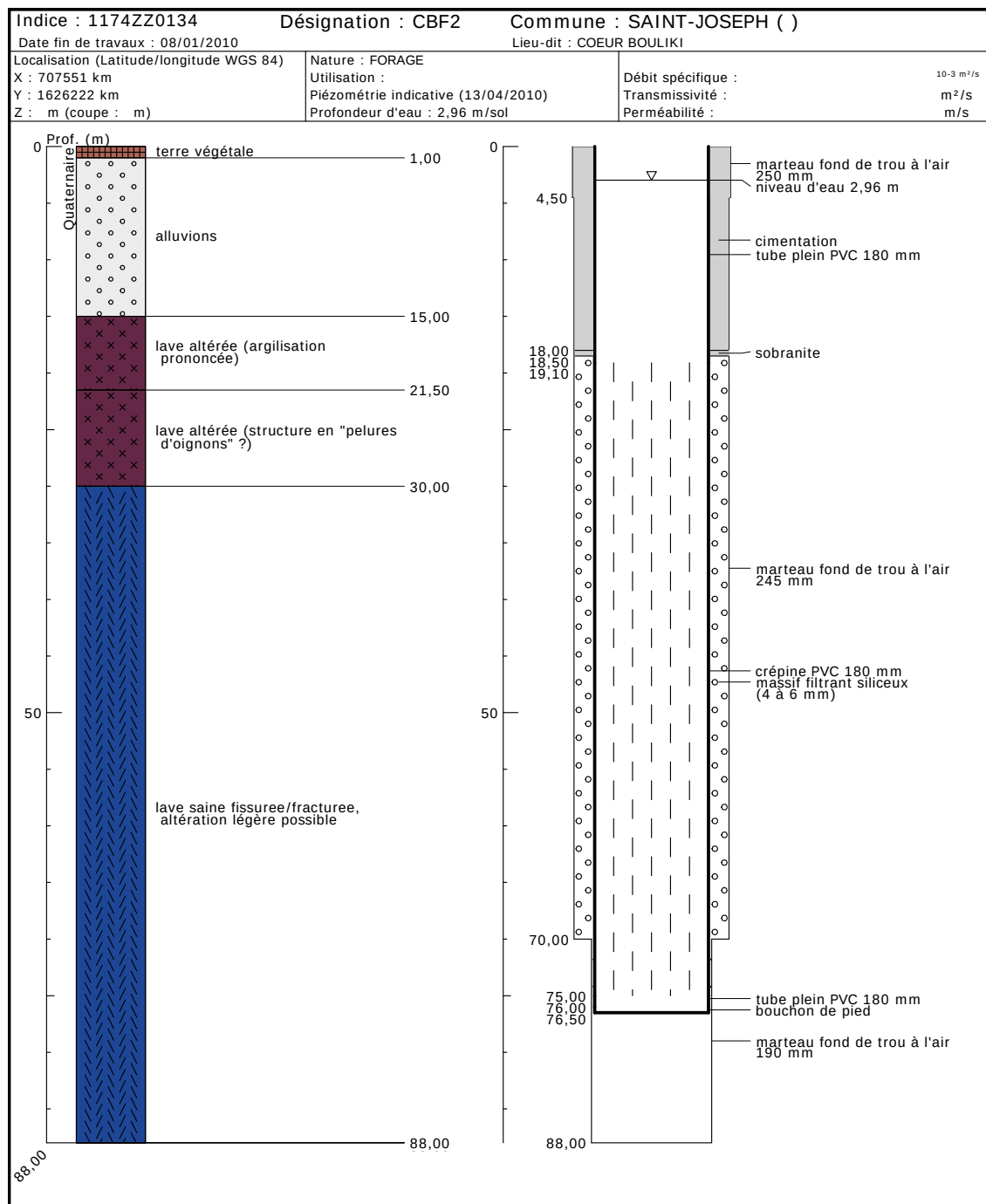


Illustration 18 : Coupe géologique et technique du forage 1174ZZ0133/CBF1



2.3. INFORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES

2.3.1. Débit au soufflage et conductivité électrique

Sur le chantier du forage CBF1, un dispositif a été mis en place pour suivre le débit de l'eau remontant au soufflage lors de la foration. Le site du forage CBF2 ne permettait pas la mise en place d'un tel dispositif.

En complément du débit, la conductivité électrique de l'eau a également été suivie. Celle de la rivière est mesurée à 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 06/11/2009, caractéristique d'une eau de surface.

L'illustration 20 présente les résultats obtenus. La profondeur correspond à la profondeur à laquelle était effectué le soufflage (l'eau récupérée ne provient pas exclusivement de cette profondeur, mais potentiellement de toutes les venues d'eau situées au-dessus de cette profondeur).

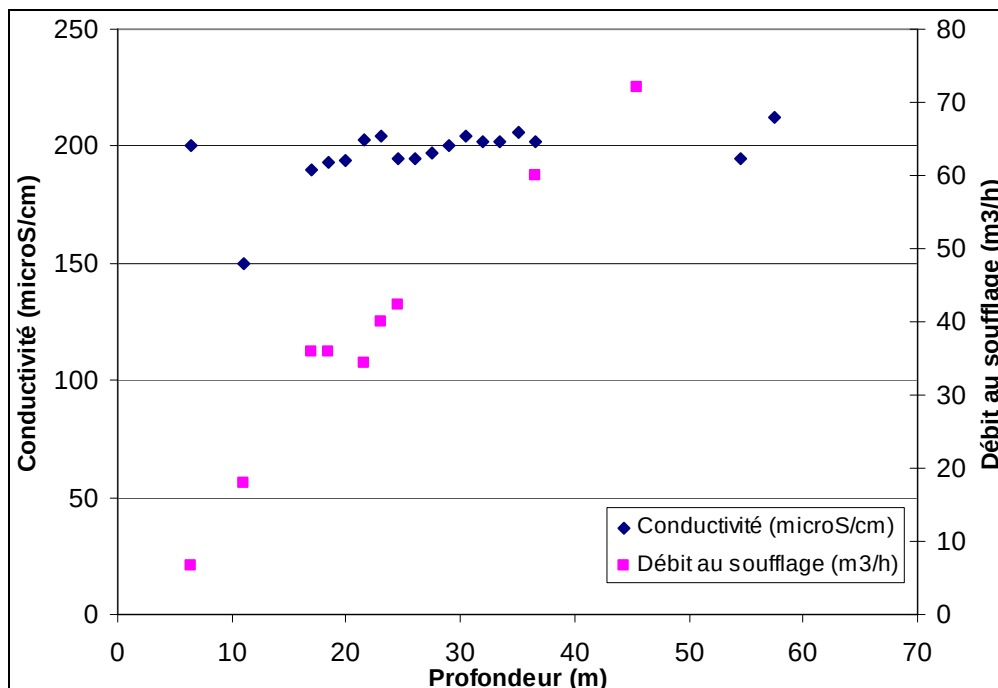


Illustration 20 : Conductivité électrique et débit au soufflage en fonction de l'avancement du forage CBF1

On note des arrivées d'eau dès les premiers mètres (au sein des alluvions). Puis le débit au soufflage augmente assez régulièrement. Il semble y avoir des arrivées d'eau à toutes les profondeurs. Il convient cependant de confronter ces informations approximatives au passage, plus rigoureux, du micromoulinet dans le forage.

La conductivité électrique reste globalement constante et proche de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (minéralisation des eaux souterraines plus importante).

2.3.2. Diagraphies de flux

CBF1

Pour le premier forage, le passage au micromoulinet a été mis en œuvre par SAFOR le 02/12/2009. Il a été effectué en pompage (60 m³/h) pour que les venues d'eau soient sollicitées et puissent ainsi être mieux identifiées. La pompe était placée en haut de colonne d'eau (à 14 m) et le micromoulinet est monté du bas du forage vers le haut. Le passage du micromoulinet a été effectué après équipement du forage ; les venues d'eau sont donc identifiées à partir du début des crépines (19,5 m de profondeur pour CBF1).

Les principales venues d'eau se répartissent de la façon suivante (Illustration 21) :

- 39 % du débit est produit entre 19 et 21 m, soit sur les 2 premiers mètres de crépines ;
- 15 % du débit entre 25 et 26 m ;
- 8 % entre 30 et 35 m ;
- 6 % entre 38 et 39 m ;
- 5 % entre 46 et 49 m ;
- 17 % entre 52 et 53 m.

Après 55 m de profondeur, soit les venues d'eau sont négligeables ou inexistantes, soit le débit pompé était suffisamment alimenté par les venues d'eau au-dessus de 55 m et ne sollicitait donc pas d'éventuelles venues d'eau plus profondes.

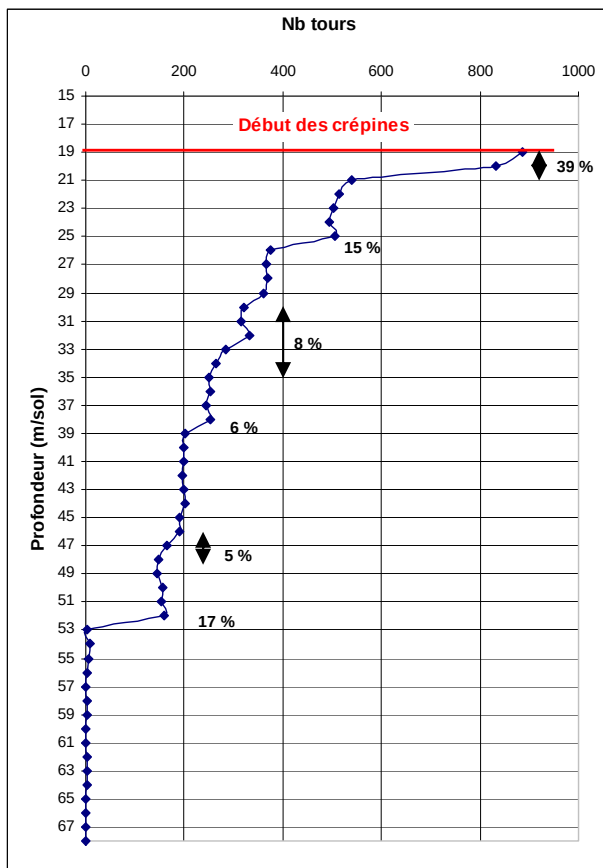


Illustration 21 : Identification des venues d'eau au micromoulinet – CBF1

CBF2

Pour CBF2, le passage au micromoulinet a été mis en œuvre par Hydro Assistance le 18 mai 2010 lors de la réception de l'ouvrage (Annexe 4). Cette mesure de flux a été menée au débit de 35 m³/h et a débuté après 20 minutes de pompage. À ce débit, les venues d'eau se répartissent de la façon suivante :

- 76 % du débit est produit entre 19,3 et 19,7 m, soit sur les 40 premiers centimètres de crépines ;
- 4,8 % du débit entre 19,7 et 33,0m (répartition régulière) ;
- 11,4 % entre 33 et 34 m ;
- 5,2 % entre 34 et 43 m (répartition régulière) ;
- 2,6 % au-delà de 43 de profondeur.

Il est délicat de comparer les diagraphies réalisées sur CBF1 et CBF2, car elles ont été réalisées avec des débits différents et dans des conditions hydrologiques différentes.

2.4. ÉQUIPEMENTS DES FORAGES

Les coupes techniques des forages sont présentées sur les Illustration 18 et Illustration 19. Les cotes indiquées ont été validées par les inspections caméras effectuées par Hydro Assistance (Annexe 3 et Annexe 4).

Les forages de reconnaissance CBF1 et CBF2 ont été équipés avec des tubes PVC de diamètre 180 mm. Le tubage est crépiné à partir de respectivement 19,4 et 19,1 m de profondeur, et jusqu'à la base des ouvrages.

L'espace annulaire des ouvrages a été cimenté sur les 19 premiers mètres dans le but de masquer les venues d'eau au sein des alluvions et de protéger la ressource en eau d'éventuelles pollutions de surface.

Au droit des crépines, l'espace annulaire a été gravillonné avec un massif filtrant siliceux (diamètre 4-6 mm).

3. Suivi et interprétation des pompages d'essai

Les pompages d'essai ont été mis en œuvre par l'entreprise SAFOR (cf. données brutes du pompage de longue durée sur CBF2 en Annexe 5) en décembre 2009 et janvier 2010 et par le bureau d'études Hydro Assistance en avril 2010 (cf. rapports de réception en Annexe 3 et Annexe 4).

3.1. POMPAGES D'ESSAI PAR PALIERS DE DÉBIT

Les pompages d'essai par paliers (ou essais de puits) permettent de tester un forage à différents débits pour ensuite caractériser son comportement hydrodynamique.

Le rabattement mesuré dans l'ouvrage à un instant (t) est la somme de deux composantes nommées pertes de charges :

- les pertes de charge linéaires correspondant à l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits ; le coefficient de perte de charge linéaire est noté (b) ;
- les pertes de charge quadratiques (non linéaires) correspondant à l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, crépine et tubage ; le coefficient de perte de charge quadratique est noté (c) ;

Le rabattement total (noté s), à un instant (t), est ainsi donné par l'expression $s = bQ + cQ^2$.

L'essai de puits permet d'établir la courbe caractéristique d'un forage (débit vs rabattement) qui constitue sa «carte d'identité». Ce pompage d'essai est indispensable d'une part pour fixer le débit du pompage de longue durée et d'autre part pour assurer la bonne interprétation de ce dernier. Par ailleurs, le suivi de l'évolution des pertes de charge dans le temps permet de juger du vieillissement d'un forage.

Les essais de puits ont débuté après un court développement des ouvrages (par pompage).

Les mesures de niveau d'eau ont été réalisées à l'aide de capteurs de pression reliés à une centrale d'acquisition. Les débits ont été mesurés à l'aide d'un débitmètre électromagnétique, également relié à une centrale d'acquisition.

Les caractéristiques hydrodynamiques du forage ont été ajustées à l'aide du logiciel WinIsape développé par le BRGM (évaluation des coefficients b et c).

3.1.1. Essai de puits réalisé sur le forage 1174ZZ0133/CBF1

Quatre paliers de débits ont été réalisés entre le 1^{er} et le 3 décembre 2009. Les résultats sont synthétisés dans l'illustration 22. Le niveau statique initial dans le forage était de 1,84 m par rapport au repère de mesure (haut du tubage provisoire). Les paliers ont duré 90 minutes chacun et ont été suivis d'un arrêt de pompage d'au moins 90 minutes. Les crépines, situées à partir de 19,4 m de profondeur, n'ont pas été dénoyées.

Paliers de Débits (m ³ /h)	Temps de pompage (min)	Temps de remontée (min)	Rabatement final à 60 min (m)	Rabatement final à 90 min (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)
19.4	90	> 90	1.50	1.51	12.93
28.9	90	90	3.56	3.70	8.01
44.8	90	> 90	7.37	7.55	6.02
58.8	90	> 90	8.85	9.10	6.64

Illustration 22 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF1

L'illustration 23 représente à gauche la courbe caractéristique de l'essai de puits du forage CBF1 et à droite la droite débits/rabatements spécifiques. On peut, par exemple, y lire que pour un débit de 40 m³/h, le rabattement de la nappe au droit de CBF1 se décompose en 2,4 m liés aux pertes de charge linéaires (écoulement laminaire dans l'aquifère) et 2,8 m liés aux pertes de charge quadratiques (équipement du forage).

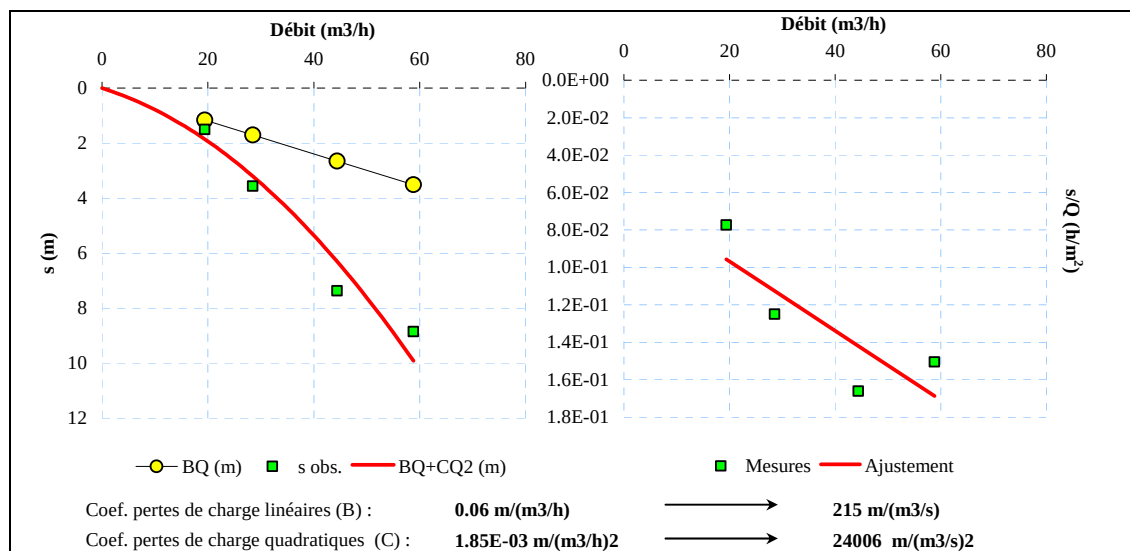


Illustration 23 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF1 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.

Les coefficients de pertes de charges ont été ajustés à l'aide du logiciel WinIsape développé par le BRGM. Les valeurs calculées sont conformes à celles attendues pour ce type d'aquifère : pertes de charge linéaires de 215 s/m^2 et pertes de charge quadratique de $24\,000 \text{ s}^2/\text{m}^5$.

D'après ces premiers résultats, le dernier palier à $59 \text{ m}^3/\text{h}$ aurait développé le forage (rabattement attendu plus fort), améliorant ainsi ses caractéristiques intrinsèques. Il est ainsi recommandé de réaliser de nouveaux essais par paliers après le pompage de longue durée, afin de s'assurer des caractéristiques de ce forage.

3.1.2. Essais de puits réalisés sur le forage 1174ZZ0134/CBF2

Deux pompages d'essai par paliers ont été menés sur CBF2 :

- 5 paliers de débits non enchainés le 18 janvier 2010 sur trou nu (SAFOR) ;
- 4 paliers de débits non enchainés le 1^{er} avril 2010 sur trou équipé (Hydro Assistance).

Essai du 18 janvier 2010

Les résultats sont synthétisés dans l'illustration 24. Le niveau statique initial dans le forage était de 2,5 m par rapport au repère de mesure (dalle béton). Les paliers ont duré 90 minutes chacun et ont été suivis d'un arrêt de pompage d'au moins 90 minutes.

Ce pompage a été réalisé dans le trou nu, avec un tubage provisoire acier mis en place entre 0 et 12 m de profondeur. Le dernier palier a ainsi été réalisé à un débit trop important, le rabattement dépassant le tubage et dénoyant ainsi les premières venues d'eau.

Paliers de Débits (m^3/h)	Temps de pompage (min)	Temps de remontée (min)	Rabattement final à 60 min (m)	Rabattement final à 90 min (m)	Débit spécifique ($\text{m}^3/\text{h/m}$)
21	90	90	2.2	2.37	9.55
30	90	90	3.65	3.78	8.22
45	90	90	7.3	7.27	6.16
60	90	90	10.31	10.5	5.82
67	90	90	15.61	15.22	4.29

Illustration 24 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 le 18 janvier 2010

L'illustration 25 représente à gauche la courbe caractéristique de l'essai de puits du forage CBF2 et à droite la droite débits/rabattements spécifiques, pour les 4 premiers

paliers. Les pertes de charge linéaires sont de 250 s/m^2 et les pertes de charge quadratiques de $23\,530 \text{ s}^2/\text{m}^5$. Les rabattements sont un peu plus importants que sur CBF1 pour un même débit, en raison de pertes de charge linéaires plus importantes donc d'un aquifère *a priori* moins perméable au voisinage du forage.

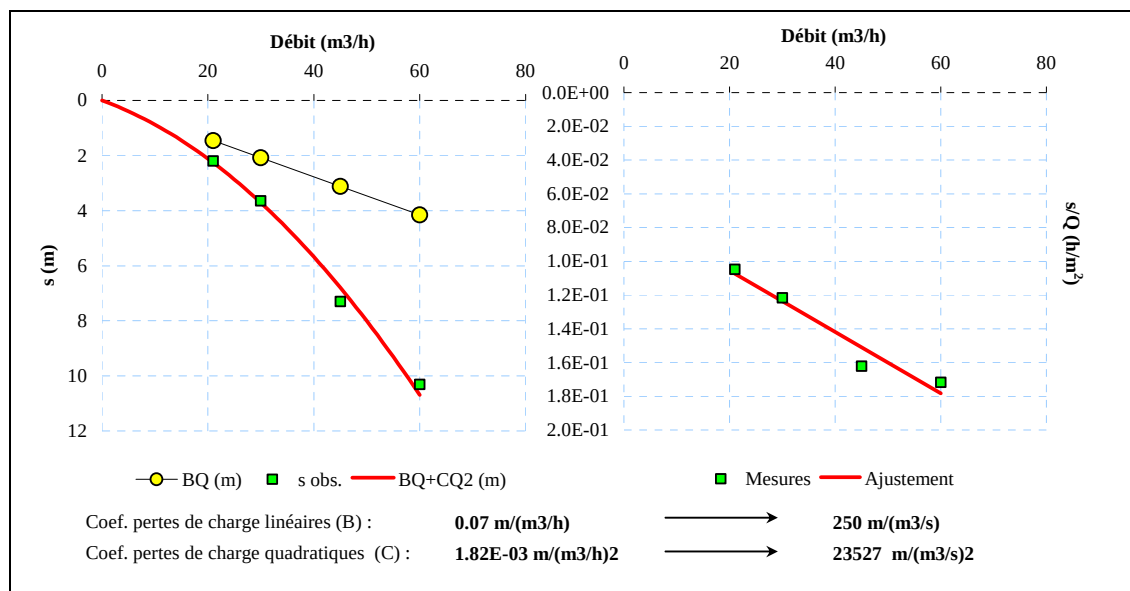


Illustration 25 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.

Essai du 1^{er} avril 2010

Le dernier palier de débit a entraîné le dénoiement du capteur de pression dans les dernières minutes de pompage. Les résultats sont synthétisés par les Illustration 26 et Illustration 27.

Paliers de Débits (m ³ /h)	Temps de pompage (min)	Temps de remontée (min)	Rabattement final à 60 min (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)
14.3	60	60	1.16	12.3
28	60	60	3.01	9.3
47	60	60	7.16	6.6
61	60	60	11.14	5.5

Illustration 26 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 le 1er avril 2010

Comparativement à l'essai du 18 janvier, le fait de mettre en équipement l'ouvrage - pose d'un massif de gravier et d'un tubage crépiné - a conduit à sensiblement augmenter les pertes de charges au puits : de 23 530 à 28 515 m^2/s^2 . Ce phénomène est attendu car l'équipement réduit la qualité des échanges puits/aquifère.

En revanche, entre les deux essais, la perméabilité de l'aquifère au voisinage du forage semble s'être améliorée, très probablement en raison du développement généré par le pompage de 72 heures effectué fin janvier.

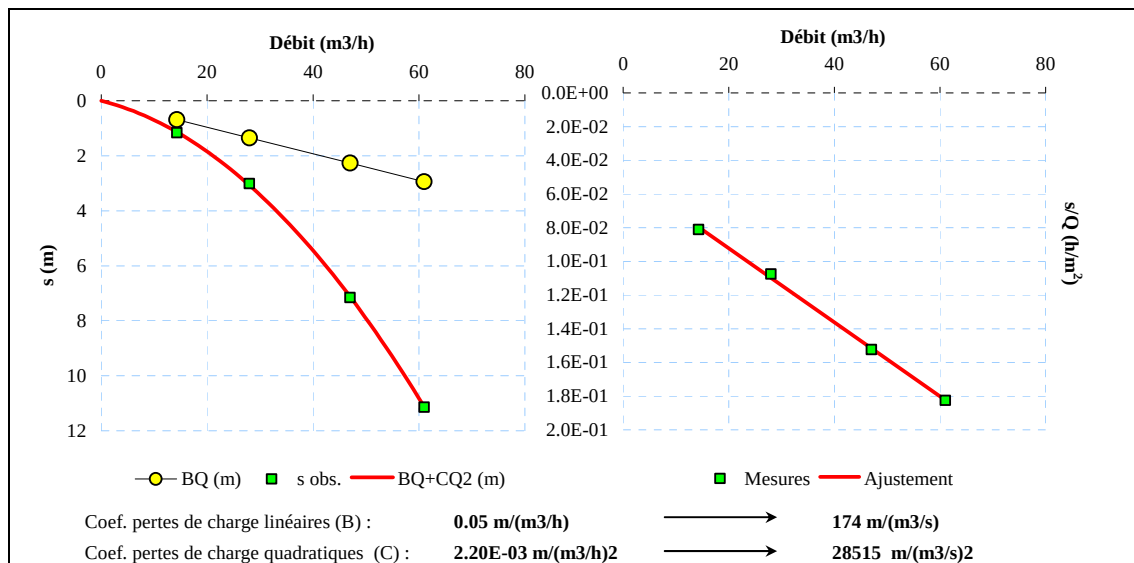


Illustration 27 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage CBF2 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.

3.2. POMPAGES D'ESSAI DE LONGUE DURÉE

3.2.1. Méthodologie

La méthodologie d'interprétation mise en œuvre pour interpréter les différents pompages d'essai réalisés sur le site de Cœur Boulik est décrite dans l'illustration 28.

L'interprétation des pompages d'essai dans les formations volcaniques est complexe. Les principales raisons de cette complexité sont l'empilement de séries à perméabilités différentes, voire de milieux perméables et de milieux semi-perméables, la géométrie hétérogène des coulées basaltiques, ou encore la présence de dépôts d'alluvions inter-coulées ou les surmontant.

Ainsi, afin de déterminer les différentes composantes d'écoulement associées aux propriétés hydrauliques de tels aquifères, il est nécessaire de porter une attention particulière aux essais de pompage et de poser un diagnostic aussi fin que possible sur les essais avant toute modélisation. Le diagnostic repose sur l'interprétation de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements ($ds/d\ln t$; à la descente ou à la récupération), qui a l'avantage de représenter tous les régimes d'écoulement sur un seul et même graphique bi-logarithmique (Bourdet et al., 1983, 1989 ; Spane et Wurster, 1993). L'avantage de cette méthode est que pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère (et type de configuration forage-aquifère), il correspond un certain régime ou une succession de certains régimes d'écoulement qu'il est en général possible d'identifier sur la courbe de dérivée (Deruyck; et al., 1992 ; Schlumberger, 2002 ; Renard et al., 2009).

Le calcul de la dérivée nécessite souvent un traitement par lissage afin d'augmenter le rapport signal sur bruit, bruit engendré soit par des micro-variations du débit et/ou par la sensibilité de l'outil de mesure des niveaux d'eau (sonde manuelle, sonde automatique). Ce traitement n'altère en rien la qualité des données originelles. Par contre, lorsque le débit varie de façon significative durant l'essai il est nécessaire de prendre en compte ces variations dans le calcul. Le calcul de la dérivée sera donc réalisé à partir des rabattements spécifiques (normalisation par rapport aux variations de débit) et du temps de superposition (fonction aussi des variations de débits) ; on obtient ainsi une courbe type de l'essai qui est dérivée et interprétée suivant la méthode précédemment décrite.

Une fois la courbe des dérivées construite, la phase de diagnostic consiste à identifier les différents régimes d'écoulement et d'en déduire les propriétés du forage (effet de capacité, effet de skin, ...), de l'aquifère (isotrope, anisotrope, fracture verticale, double porosité, etc.), de sa géométrie (effets de limites), des éventuelles relations entre l'aquifère capté et les aquifères de sub-surface (effet de drainance par exemple).

Enfin, une fois le diagnostic posé, l'estimation des paramètres de l'aquifère est réalisée à partir du modèle mathématique le plus approprié. Puis, le modèle conceptuel de l'aquifère est validé en jugeant de la pertinence de la modélisation et des informations géologiques disponibles sur la formation testée.

À partir de la courbe des dérivées il est déjà possible d'estimer les paramètres hydrodynamiques, en particulier la transmissivité et la perméabilité de la formation captée lorsqu'un écoulement radial cylindrique est atteint.

L'interprétation des tests a été menée à partir du logiciel WinISAPE, développé par le BRGM. WinISAPE propose une dizaine de solutions analytiques pour modéliser les données de pompages d'essai : milieu homogène isotrope, anisotrope, double porosité, fracture verticale, effet de drainance verticale, limites étanches ou alimentées, etc. Par ailleurs le logiciel prend aussi en compte les effets de puits (capacité de puits, pertes de charges, skin).

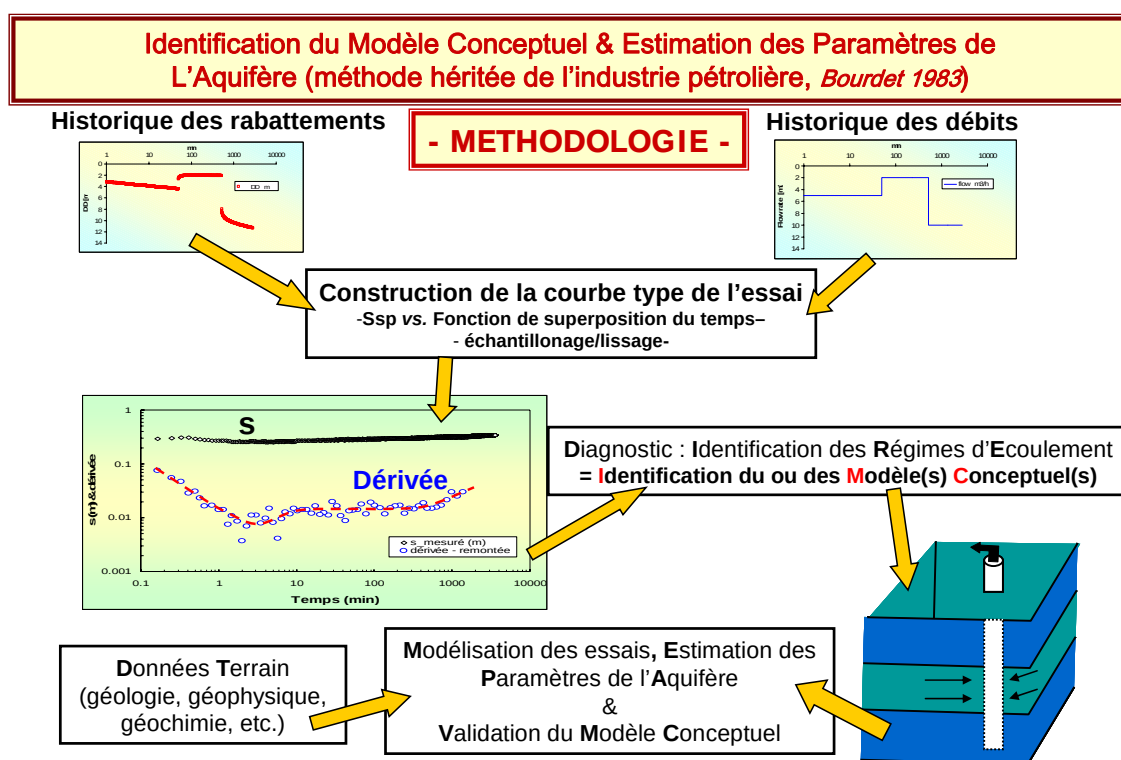


Illustration 28 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des pompages d'essai

3.2.2. Récapitulatif des pompages d'essai réalisés

Suite à un premier pompage d'essai de longue durée sur CBF2 en janvier, la CACEM a décidé de mettre en production les 2 forages pendant le mois d'avril dans le but de renforcer la production de la prise d'eau de la Rivière Blanche en cette fin de saison sèche 2010 (carême), très sévère (Météo France). Le BRGM a alors recommandé un scénario de pompage permettant de tester au mieux la nappe captée (alternance de pompages fractionnés et simultanés). Les objectifs poursuivis étaient d'évaluer les interférences éventuelles entre les 2 forages et de définir le débit exploitable par un pompage simultané sur les 2 ouvrages. Les nombreuses pannes du groupe électrogène n'ont pas permis de respecter les recommandations faites et ont provoqué plusieurs pertes de données (en particulier à la remontée des niveaux).

Le tableau de l'Illustration 29 récapitule et décrit les différents pompages effectués.

Dates	Forages sollicités	Débits (m3/h)	Durée (h)	Commentaires
19 au 22 janvier	CBF2	36	72	- trou nu
2 au 4 avril	CBF1	38	61	- panne du groupe, remontée suivie pendant seulement 30 min
13 avril	CBF1	38	8.5	- CBF1 démarré 30 min plus tard - panne du groupe, remontée suivie pendant seulement 30 min
	CBF2	40		
19 au 25 avril	CBF1	37	130	- démarrage simultané - dénoyage du capteur de pression sur CBF2 à 54 m3/h (perte de données) - panne du groupe, remontée suivie pendant seulement 30 min
	CBF2	39 puis 54		
26 au 29 avril	CBF1	37	48	- CBF1 démarré 30 min plus tard et arrêté 1h30 plus tôt - dénoyage du capteur de pression sur CBF2 à 50 m3/h (perte de données) - panne du groupe, remontée enregistrée pendant 10h
	CBF2	50		

Illustration 29 : Récapitulatif des différents pompages d'essai réalisés sur le site de Cœur Bouliki

Les niveaux d'eau ont été suivis à l'aide de capteurs de pression reliés à une centrale d'acquisition, à la fois dans le puits de pompage et dans le puits d'observation. Les débits ont été mesurés à l'aide d'un débitmètre électromagnétique, également relié à une centrale d'acquisition.

Contrairement à l'essai mené en janvier, il n'était pas prévu une présence sur le terrain du prestataire pendant le mois d'avril. Or, les nombreux incidents qui ont entachés les essais (panne de groupe électrogène, capteur de pression bloqué à 15 m de profondeur, etc.) ont rappelé que des contrôles réguliers étaient indispensables.

Le graphique de l'Illustration 30 répertorie l'ensemble des suivis automatiques et manuels.

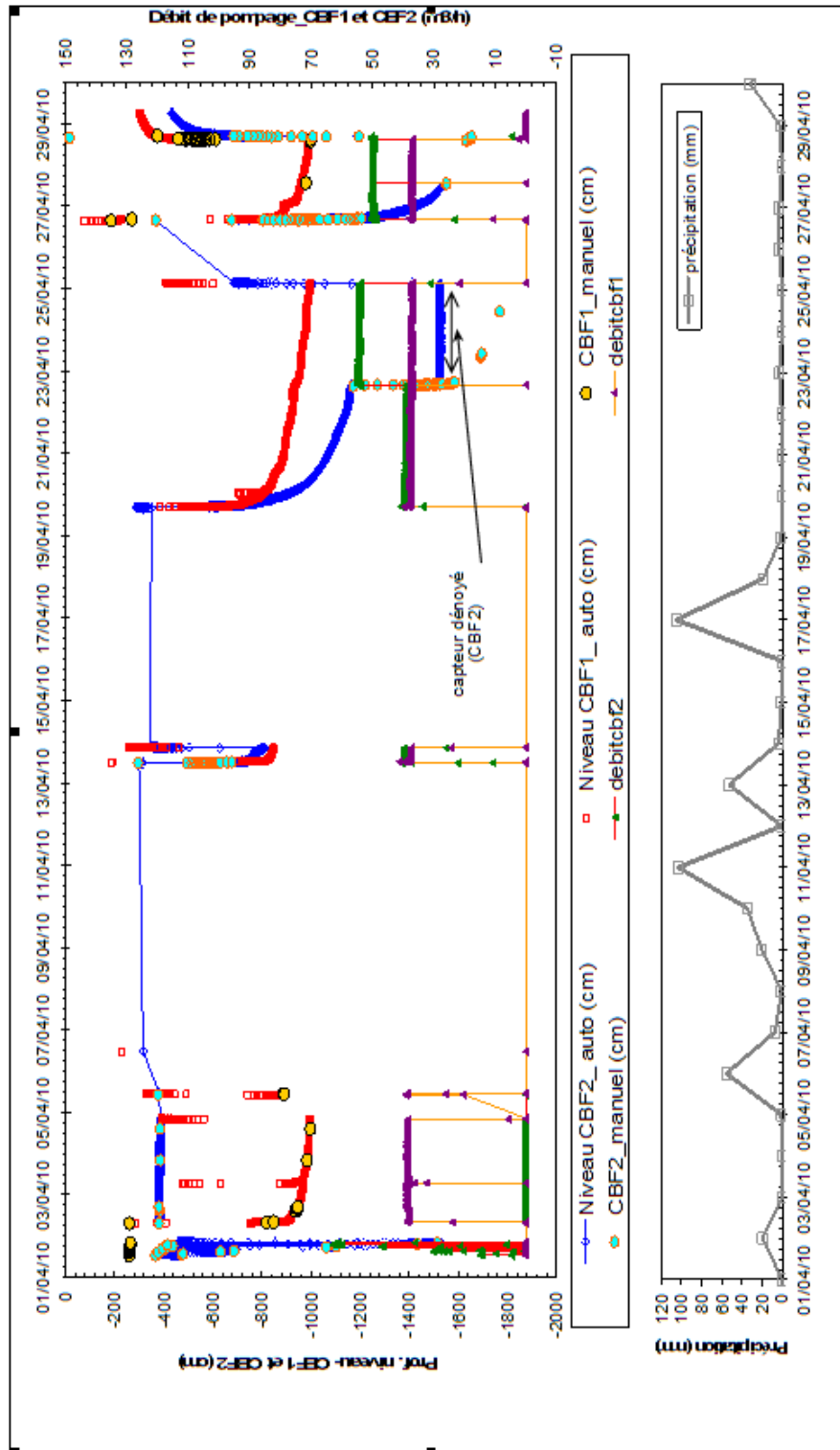


Illustration 30 : Suivis des niveaux piézométriques et des débits sur CBF1 et CBF2 pendant les pompages d'essai du mois d'avril et report de la pluviométrie quotidienne

3.2.3. Diagnostic des pompages d'essai de longue durée

Comme le débit a varié durant certains essais et qu'il n'est pas le même d'un essai à l'autre (Illustration 29), les variations de ce dernier ont été prises en compte afin de pouvoir diagnostiquer les essais et de pouvoir les comparer entre eux (comparaison des réponses hydrauliques). C'est pourquoi les graphes suivants représentent la dérivée des rabattements spécifiques (Ssp') en fonction du temps de superposition (Tsp). Si les essais sont réalisés dans le même aquifère, c'est-à-dire que les propriétés hydrodynamiques sont les mêmes, les courbes de dérivées doivent se superposer.

Diagnostic des essais réalisés au puits CBF1

L'Illustration 31 présente les courbes de dérivée des rabattements spécifiques (normalisation par rapport au débit de pompage) des essais réalisés les 02-04, 13, 19-25 et 26-29 avril 2010 au puits CBF1. Les courbes ne sont pas superposées et présentent des décalages très significatifs, notamment en Ssp', ce qui signifie que le comportement hydrodynamique du système aquifère testé évolue au cours du temps. Néanmoins, d'une manière générale, les courbes de dérivée sont caractérisées par une forme voisine qui se décrit en trois périodes :

1. de 0 à env. 60 min. : la dérivée forme un « A », caractéristique de la combinaison d'un effet de capacité du puits et d'un écoulement radial correspondant à la réponse de l'aquifère jouxtant les crépines ;
2. de 60 à environ 600 min. : la dérivée forme un « U », plus ou moins prononcé suivant l'essai analysé. Cet écoulement est un écoulement de transition correspondant *a priori* à la sollicitation d'un autre niveau aquifère via un milieu semi-perméable (aquitard) ;
3. de 600 min. à la fin des essais : la dérivée décrit un plateau (deuxième écoulement radial), ce qui correspond à la réaction complète du système. La transmissivité totale du système varie de $1,3$ à $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ suivant les essais, soit d'un facteur de 2,7.

Ainsi, on en déduit que l'ouvrage CBF1 est implanté dans un aquifère de type multicouche où la transmissivité totale du système varie en fonction de la période à laquelle l'essai a été réalisé. Le niveau pompé (zone crépinée) correspond à des laves fissurées et constitue un des niveaux aquifères. Le second correspond très probablement aux 10 m d'alluvions présents en surface, formation s'étant montrée productive à l'air lift. L'ouvrage étant cimenté sur les 19,5 premiers mètres, c'est donc au travers des laves altérées situées entre 10 et 30 m de profondeur que transiteraient les écoulements issus des alluvions.

Par ailleurs, le fait que l'ouvrage soit situé à quelques dizaines de mètres du cours d'eau suggère que ces alluvions sont très probablement en connexion hydraulique avec ce dernier et donc que leur épaisseur saturée est susceptible de varier au cours du temps. Cette variation d'épaisseur saturée peut être rapide en fonction du débit du cours d'eau et a une incidence directe sur la transmissivité totale du système laves-

alluvions ce qui en expliquerait les fortes variations constatées (facteur de 2,7). Cependant, aucune mesure de niveau d'eau dans les alluvions n'est disponible. Par contre et d'après cette analyse, on montre qu'il n'y a pas de connexion hydraulique directe entre l'aquifère capté et le cours d'eau ; la connexion pouvant éventuellement se faire via les alluvions.

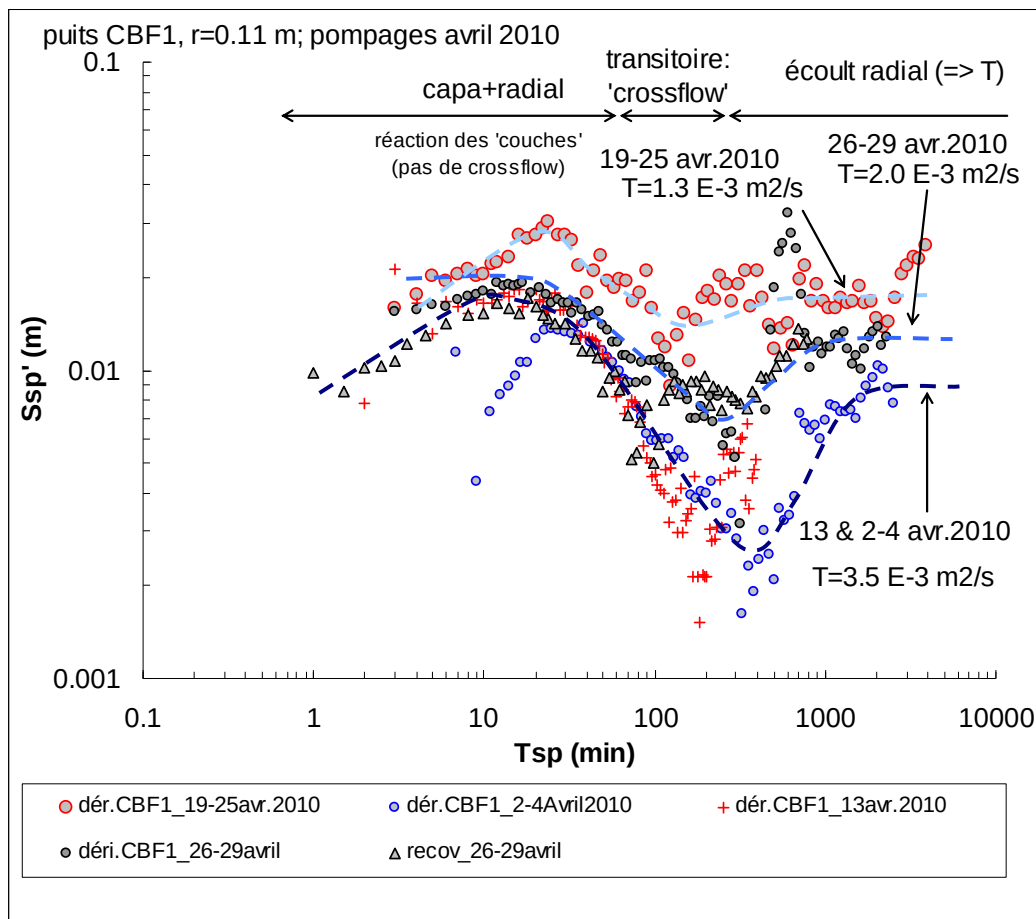


Illustration 31 : Courbes de dérivée issues des pompages du 02-04, 13, 19-25 et 26-29 avril 2010 au puits CBF1

Diagnostic des essais réalisés au puits CBF2

L'illustration 32 présente les courbes de dérivée des rabattements spécifiques (normalisation par rapport au débit de pompage) des essais réalisés du 19 au 22 janvier 2010, du 19 au 25 et du 26 au 29 avril 2010 au puits CBF2. Il n'a pas été représenté la courbe de dérivée de l'essai réalisé le 13 avril 2010 en raison d'une augmentation des niveaux pendant le pompage (effet d'une recharge, problème d'enregistreur ?). Les courbes ne sont pas superposées et présentent des comportements hydrodynamiques très différents d'un essai à l'autre, indiquant comme dans le cas précédent une non-stationnarité des propriétés hydrodynamiques de

l'aquifère testé. Par ailleurs, il est représenté sur ce graphique l'évolution de la conductivité électrique des eaux pompées lors de l'essai réalisé en janvier. Ce paramètre témoigne d'une légère augmentation de la minéralisation pendant le pompage.

Pour l'essai de janvier, on retrouve un comportement hydrodynamique similaire à celui d'un multicouche avec flux entre les niveaux aquifères, comme dans le cas de CBF1. La transmissivité globale du système pour cet essai est évaluée à $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

L'essai du 19 au 25 avril montre un comportement tout autre où le comportement « aquifère multicouche » a totalement disparu :

1. de 0 à environ 30 min. : période fortement influencée par l'effet de capacité du puits ;
2. de 30 à environ 150 min. : la dérivée forme un plateau (écoulement radial) à partir duquel la transmissivité T est évaluée à environ $9,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$;
3. de 150 min. à la fin de l'essai : la dérivée décrit un deuxième plateau à une valeur quasi double de celle du plateau précédent ce qui est caractéristique de l'effet d'une limite étanche.

Ainsi, pour cet essai, on en déduit que l'ouvrage CBF2 a le comportement d'un ouvrage implanté dans un aquifère de transmissivité de l'ordre de $9,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ situé à proximité d'une limite étanche (limite d'une coulée de lave ?).

L'essai du 26 au 29 avril, montre un léger comportement de type multicouche. La transmissivité totale du système est évaluée à environ $9,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, par contre on ne retrouve pas l'effet de type 'limite étanche'.

Le système aquifère en CBF2 est ainsi encore plus complexe qu'en CBF1. Comme dans le cas précédent, le système est composé de plusieurs niveaux aquifères : des laves fracturées et, *a priori*, des alluvions ce que nous considérons comme l'hypothèse la plus probable malgré le peu d'information disponible sur ces derniers. Ces deux niveaux aquifères sont probablement mis en connexion hydraulique par les laves altérées situées entre 15,5 et 30,0 de profondeur qui créent un effet de drainance. Comme pour CBF1, il semble que le niveau de saturation des alluvions joue un rôle primordial sur le comportement hydrodynamique du système. Lorsque ceux-ci sont saturés les écoulements issus de cette formation soutiennent le pompage (effet de drainance). *A contrario*, lorsqu'ils se désaturent, le rabattement de la nappe peut se propager plus loin et comme dans le cas de l'essai du 19 au 25 avril peut laisser apparaître l'effet d'une limite étanche signalant très probablement une des limites de la coulée volcanique capté par l'ouvrage.

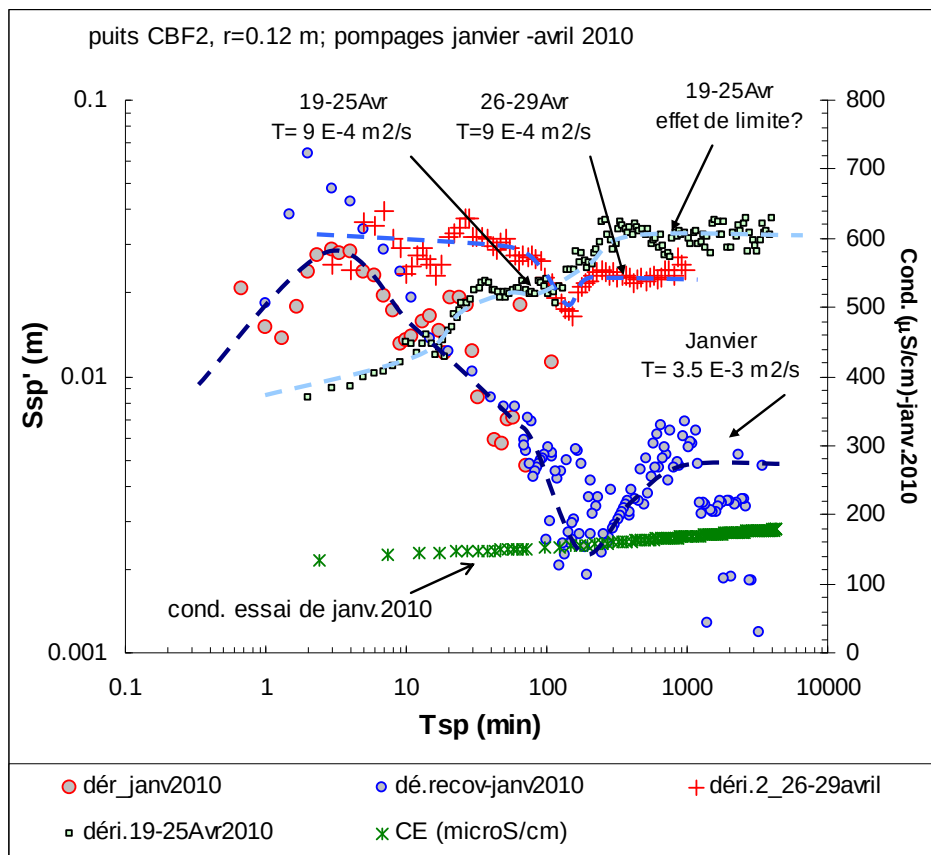
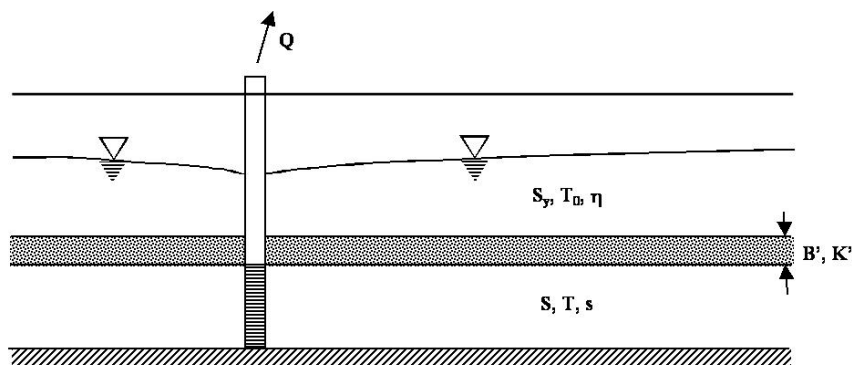


Illustration 32 : Courbes de dérivée issues des pompages du 19-22 janvier, 19-25 et 26-29 avril 2010 au puits CBF2

3.2.4. Interprétation des pompages d'essai

Pour des raisons de temps de calcul numérique, seuls les essais du 19 au 22 janvier (CBF2), du 2 au 4 avril (CBF1 et CBF2) et du 26 au 29 avril (CBF1 et CBF2) ont été interprétés avec un modèle considérant deux niveaux aquifères séparés par un milieu plus ou moins semi-perméable (Illustration 33 ; Hunt et Scott, 2007). Pour le reste, les essais ont été interprétés avec la solution analytique de Theis (aquifère homogène isotrope) en calant sur les temps longs, c'est-à-dire sur la réponse totale du système ($t > 600$ min), et avec ajout d'une limite étanche pour l'essai sur CBF2 du 19 au 25 avril 2010.



T et S : transmissivité et emmagasinement de l'aquifère pompé, s : rabattement de l'aquifère pompé, T_0 et S_y : transmissivité et emmagasinement de l'aquifère de surface, η : rabattement de l'aquifère de surface

Illustration 33 : Modèle d'un «aquifère bicouche» (Hunt et Scott, 2007)

Les tableaux de l'illustration 34 présentent les paramètres hydrodynamiques calculés à partir des différentes modélisations réalisées sur les ouvrages CBF1 et CBF2 de janvier à avril 2010.

À titre d'exemple, les Illustration 35 et Illustration 36 présentent les calages obtenus selon les deux modèles pour les essais réalisés respectivement sur CBF1 du 2 au 4 avril 2010 et sur CBF2 du 19 au 22 janvier 2010. Les représentations des autres modélisations réalisées sont reportées en Annexe 6.

Les modélisations avec Theis tiennent compte des effets de capacité liés au puits et des pertes de charges quadratiques telles qu'évaluées précédemment (§ 3.1). Les modélisations avec le modèle bicouche ne tiennent pas compte des effets de capacité de puits (effet affectant les premières minutes de pompage), par contre elles prennent en compte les pertes de charge quadratiques. Les modélisations sont en général de bonne qualité, et celles réalisées avec le modèle bicouche décrivent mieux les écoulements aux temps courts, notamment la sollicitation de l'aquifère capté au droit des crépines et les effets de drainance.

Les transmissivités totales (temps longs) déduites sont en accord d'un modèle à l'autre pour les essais ayant fait l'objet d'une double modélisation (bicouche et Theis). Elles sont également cohérentes avec les transmissivités estimées à partir des diagnostics (§ 3.2.3).

Forage	type	date pompage	Méthode	r (m)	T	S*	K'	B'	K'/B'	T ₀	T+T ₀	Sy*	pdc (m-5s2)	T-Theis
CBF1	puits	02-04/04/2010	twoAquifers	0.11	8.00E-04	5.00E+00	2.00E-03	1.0	2.00E-03	3.40E-03	4.20E-03	8	22000	3.33E-03
CBF1	puits	26-29/04/2010	twoAquifers	0.11	1.20E-03	1.90E+00	3.00E-04	1.0	3.00E-04	4.20E-04	1.62E-03	3.5	22000	1.83E-03
			Moyenne		9.80E-04		7.75E-04	1.0	7.75E-04	1.19E-03	2.61E-03		2.20E+04	
CBF2	puits	19-25/01/2010	twoAquifers	0.12	9.10E-04	3.50E+00	6.50E-04	1.0	6.50E-04	3.00E-03	3.91E-03	0.1	23000	3.41E-03
CBF2	puits	26-29/04/2010	twoAquifers	0.12	8.00E-04	6.00E+01	6.50E-04	1.0	6.50E-04	5.00E-04	1.30E-03	0.1	28000	9.20E-04
			Moyenne		8.53E-04		6.50E-04	1.0	6.50E-04	1.22E-03	2.25E-03		2.54E+04	

r : distance au puits de pompage

T et S : transmissivité et emmagasinement de l'aquifère pompé. * Les emmagasinsments déduits au puits de pompage sont des valeurs de calage

To et Sy : transmissivité et emmagasinement de l'aquifère de surface

T+To : transmissivité totale

pdc : pertes de charge quadratiques

Forage	type	date pompage	type pompage	Méthode	r (m)	T (m2/s)	K (m/s)	S* (-)	Lim.étanche (min : m)	pdc (m-5s2)	capa (mm)
CBF1	puits	02-04/04/2010	LD	Theis	0.11	3.33E-03	4.83E-05	1.22E-03	-	23000	220
CBF1	puits	13/04/2010	LD	Theis	0.11	3.62E-03	5.19E-05	2.99E-04	-	23000	400
CBF1	puits	19-25/04/2010	LD	Theis	0.11	1.28E-03	1.83E-05	2.60E+02	-	22500	220
CBF1	puits	26-29/04/2010	LD	Theis	0.11	1.83E-03	2.57E-05	4.98E-01	-	24000	220
CBF2	puits	19-25/01/2010	LD	Theis	0.12	3.41E-03	4.00E-05	3.62E-05	-	23000	220
CBF2	puits	01/04/2010	paliers	Theis	0.12	1.91E-03	2.26E-05	2.76E+01	-	30000	300
CBF2	puits	13/04/2010	LD	Theis	0.12	3.88E-03	4.56E-05	3.81E+01	-	30000	400
CBF2	puits	19-25/04/2010	LD	Theis+lim.ét.	0.12	9.14E-04	1.07E-05	2.67E+02	250' ; 0.1* m	27000	250
CBF2	puits	26-29/04/2010	LD	Theis	0.12	9.20E-04	1.03E-05	6.83E+01	-	30000	250
						T (m2/s)	K (m/s)	S* (-)	Lim.étanche (min : m)	pdc (m-5s2)**	capa (mm)
CBF1					Moyenne	2.29E-03	3.29E-05	-	-	23125	265
					e.t.	1.15E-03	1.66E-05	-	-	629	90
CBF2					Moyenne	1.82E-03	2.15E-05	-	-	29250	284
					e.t.	1.40E-03	1.64E-05	-	-	1500	71

r : distance au puits de pompage pdc : pertes de charge quadratiques capa : effet de capacité de puits

e.t. : écart-type

* l'emmagasinement et la distance à la limite déduits au puits de pompage sont des valeurs de calage

** moyenne des pdc des ouvrages équipés

Illustration 34 : Résultats de l'interprétation des pompages d'essai de longue durée sur CBF1 et CBF2 (modèle «bicouche» à gauche, modèle «Theis» à droite)

D'une manière générale, les modélisations sur CBF1 sont de meilleure qualité que sur CBF2, en particulier lors des essais du 19 au 25 et du 26 au 29 avril où la remontée des niveaux simulés est inférieure à la réalité de 0,9 à 1,2 mètres en fin de remontée (Annexe 6). Cet écart peut être la conséquence de la géométrie des alluvions, probablement limitée dans l'espace à la périphérie du cours d'eau, alors que dans les modèles utilisés ceux-ci sont considérées comme d'extension infinie.

L'aquifère capté, c'est-à-dire au droit des crépines (laves fissurées) a une transmissivité de $8,5.10^{-4}$ à $1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

La transmissivité de l'aquifère de surface (alluvions) est elle comprise entre $5. 10^{-4}$ et $3,4. 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les valeurs moyennes de transmissivités du système aquifère complet (alluvions + laves) sont assez élevées, aux environs de $2.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, soulignant un relativement bon potentiel aquifère (Illustration 34).

Néanmoins, comme vu précédemment, l'épaisseur d'alluvions saturées située en tête des ouvrages joue un rôle important sur la variabilité de la transmissivité.

En effet, la comparaison de l'évolution du débit de la Rivière Blanche passant à proximité des ouvrages avec les niveaux statiques avant pompage et la transmissivité totale de l'aquifère (Illustration 37) montre d'une part que la profondeur du niveau statique diminue lorsque le débit augmente, et vice-versa, et, d'autre part, que lorsque le débit augmente la transmissivité totale de l'aquifère (ensemble du multicouche) ainsi que celle de l'aquifère de surface, T_0 , tendent à augmenter, et vice-versa. Ceci suggère donc comme pressenti dans les analyses précédentes que les alluvions, et surtout leur hauteur saturée, voire éventuellement leur géométrie, joue un rôle très important sur les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère.

L'emmagasinement de l'aquifère n'a pas été estimé faute d'essai en interférence.

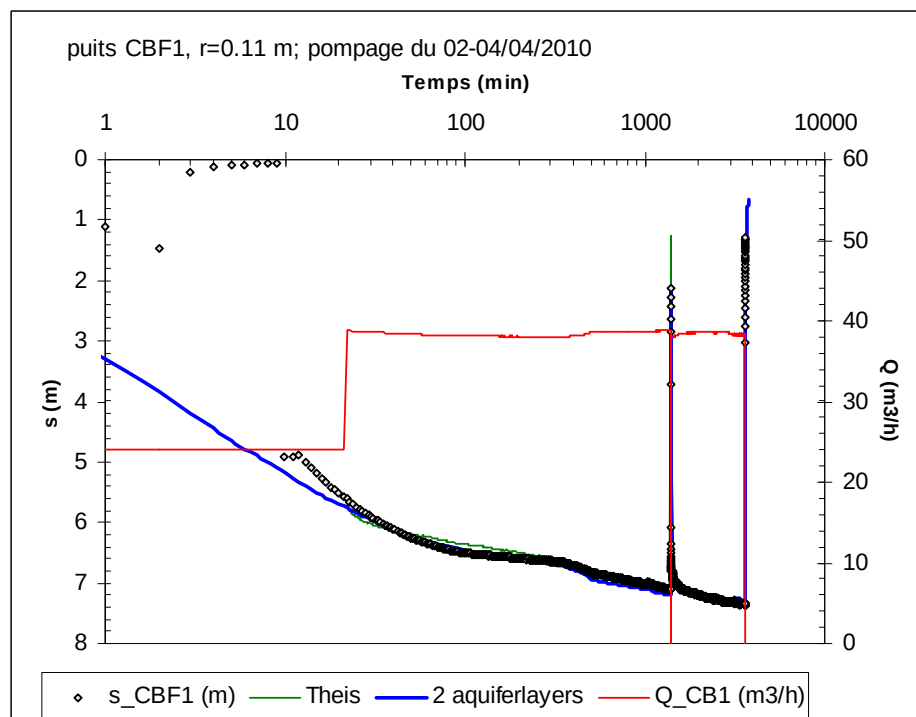
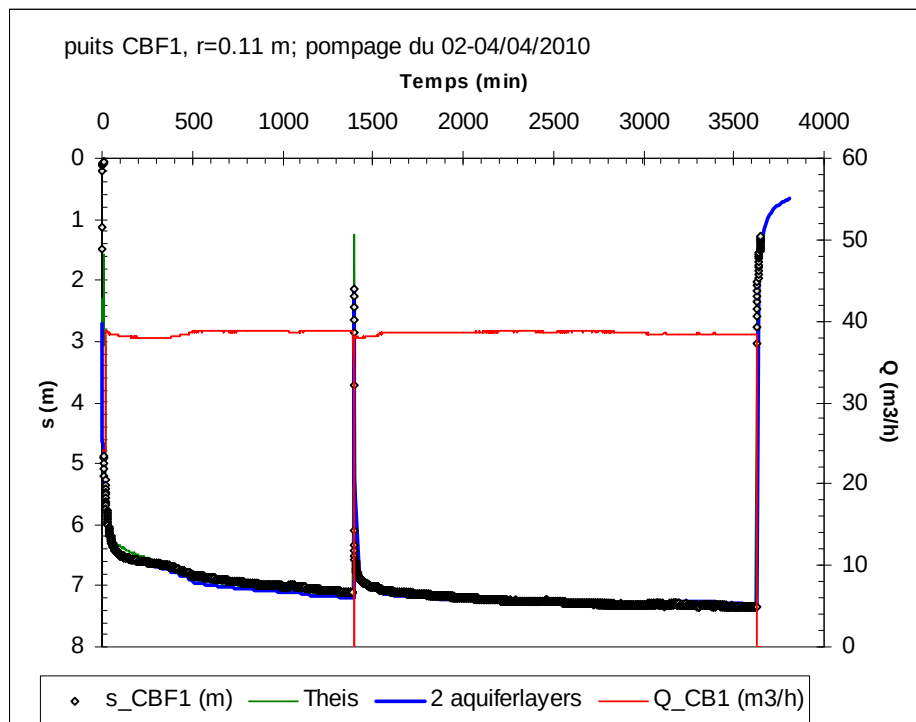


Illustration 35 : Modélisation de l'essai réalisé sur l'ouvrage CBF1 du 2 au 4 avril 2010. Modèles «bicouche» (2 aquiferlayers) et «Theis» (échelles arithmétique et logarithmique)

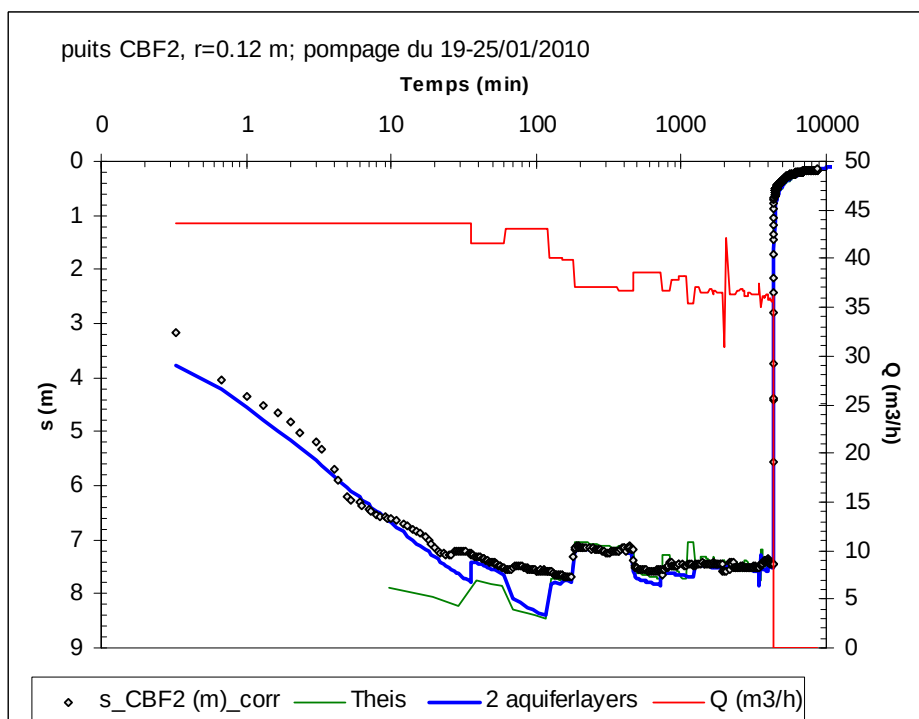
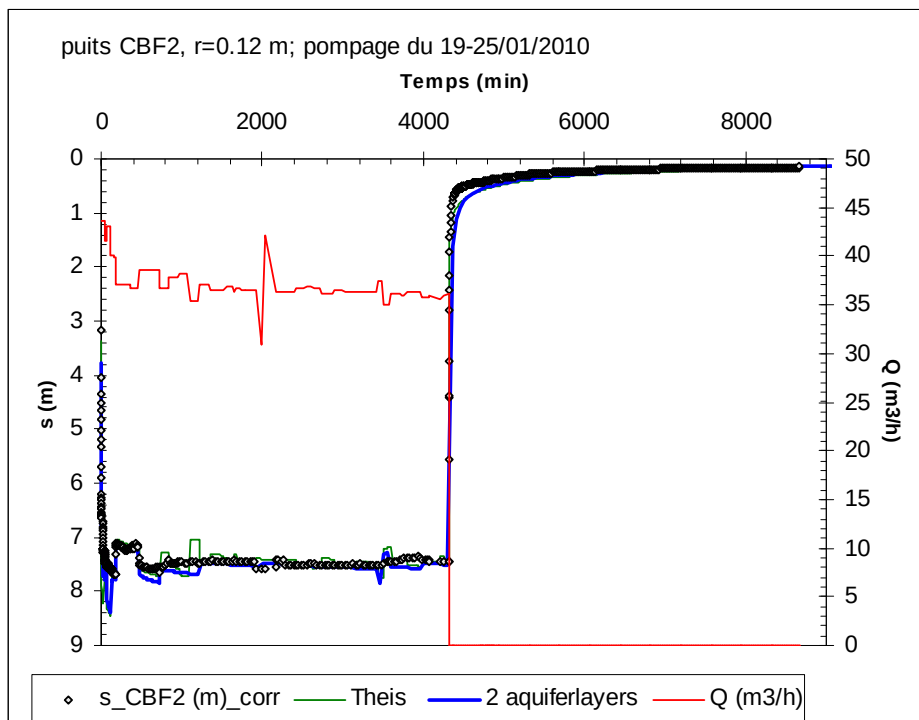


Illustration 36 : Modélisation de l'essai réalisé sur l'ouvrage CBF2 du 19 au 22 janvier 2010. Modèles «bicouche» (2 aquiferlayers) et «Theis» (échelles arithmétique et logarithmique)

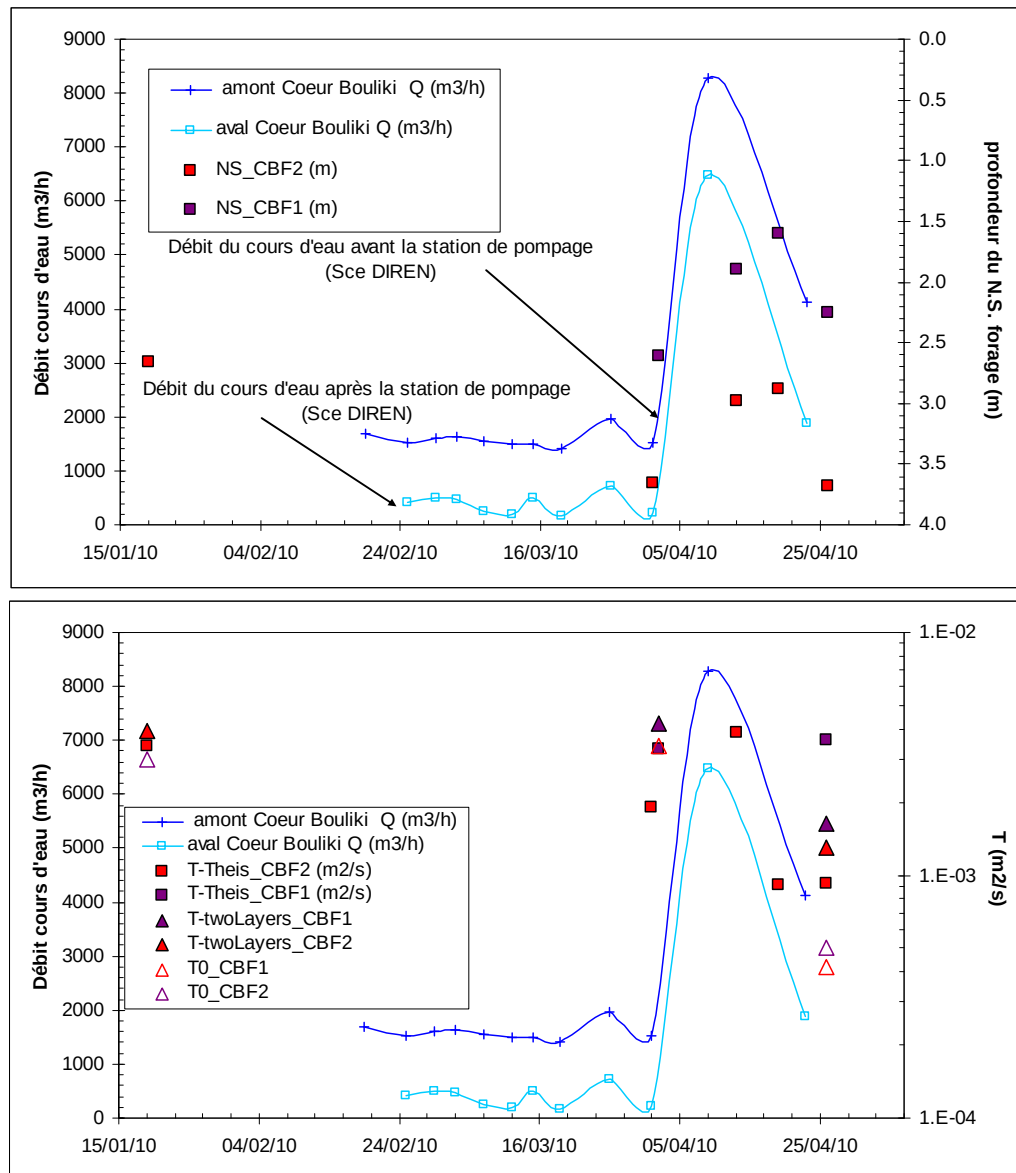


Illustration 37 : Evolution du débit du cours d'eau comparées à l'évolution des niveaux statiques sur CBF1 et CBF2 (graphe du haut) et à l'évolution des transmissivités totales T et des transmissivités de l'aquifère superficiel To (graphe du bas)

3.2.5. Synthèse

Les ouvrages CBF1 et CBF2 captent des zones de fractures situées au sein de laves plus ou moins altérées. L'étude du comportement hydrodynamique, à partir des différents tests réalisés sur ces ouvrages de janvier à avril 2010 (9 essais par pompage de longue durée au total), permet de faire ressortir les conclusions suivantes :

- **il n'y a pas d'interférence visible entre les deux forages** distants de 160 m, à l'échelle de ces tests (temps de pompage maximum de 5,4 jours) ;
- un comportement atypique de l'aquifère testé a été mis en évidence : **aquifère de type bicouche**. L'aquifère des laves fissurées, capté au droit des crépines, est caractérisé par une transmissivité de l'ordre de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Cependant, après quelques centaines de minutes, le pompage sollicite un autre aquifère que celui dans lequel sont implantés les ouvrages. Cet autre aquifère, de surface, semble correspondre aux alluvions présentes sur 10 à 15 m au niveau des deux forages ;
- **la transmissivité du système aquifère complet – laves + alluvions – varie en fonction de la période testée : de $1,3$ à $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (facteur de 2,8) pour CBF1 et de $0,9$ à $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (facteur de 4,5) pour CBF2**. Ces variations de transmissivité, très significatives, semblent s'expliquer par une variation de l'épaisseur saturée des alluvions au droit des ouvrages. Cela a pu être vérifié indirectement par des modélisations d'aquifère «bicouche». Aucune information relative à la fluctuation des niveaux piézométriques dans l'aquifère alluvial n'est cependant disponible pour valider l'hypothèse avancée.

4. Évaluation des débits d'exploitation durables

4.1. MÉTHODOLOGIE

L'évaluation des débits exploitables est réalisée à partir des résultats des pompages d'essai (par paliers et de longue durée) et des niveaux piézométriques d'étiage basés sur le suivi des fluctuations piézométriques naturelles interannuelles connues en Martinique dans ce type d'aquifère.

La méthodologie suivie vise ainsi à :

- déterminer le rabattement maximal admissible ;
- définir la profondeur préconisée d'installation de la pompe et la hauteur manométrique minimale ;
- faire une première estimation des débits d'exploitation durables ;
- recommander des modalités de mise en exploitation des ouvrages et de gestion de l'aquifère.

4.1.1. Rabattement maximal admissible

L'évaluation des débits exploitables est tout d'abord conditionnée par le positionnement des crépines et des venues d'eau qui ne doivent pas être dénoyées.

Le dénoisement des venues d'eau 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 charges générées par le pompage.

D'un point de vue pratique, le dénoisement d'une venue d'eau importante se traduit en général par une forte augmentation des rabattements, donc de l'énergie supplémentaire nécessaire au pompage (et des coûts de fonctionnement associés), pour un gain, en terme de débit très faible, voire nul et un fort risque de dénoisement de la pompe.

Par ailleurs, le dénoisement des crépines peut entraîner une modification des équilibres physico-chimiques et menacer rapidement la pérennité de l'équipement du forage : l'oxygénation de l'eau d'un milieu réducteur entraîne la précipitation d'éléments dissous et notamment du fer et manganèse, abondant en Martinique (Brenot et al., 2008 ; Lions et al., 2008). En outre, un développement bactérien dans la zone aérée n'est pas à exclure, ainsi qu'une éventuelle corrosion anticipée des crépines. D'un point de vue pratique, tous ces phénomènes aboutissent à une diminution de l'ouverture des crépines (parfois en quelques mois) et donc à une augmentation des pertes de charges (et donc des rabattements) et une amplification du phénomène avec le temps.

4.1.2. Profondeur préconisée d'installation de la pompe et hauteur manométrique

Le positionnement de la pompe doit prendre en compte la position des crépines et des zones productrices et doit être optimisé afin de se rapprocher du rabattement maximal admissible.

La hauteur manométrique totale (HMT) est la pression que la pompe doit fournir pour faire sortir l'eau du forage. Elle correspond à la différence d'altitude entre la profondeur de l'eau et le point de rejet de celle-ci, augmentée des éventuelles pertes de charge dans le dispositif d'exhaure. Elle est généralement calculée par l'exploitant afin de tenir compte des spécificités des installations d'exhaures et des réseaux.

Au maximum et pour simplifier¹, la profondeur de l'eau ne peut dépasser celle de la pompe. Toutefois, comme nous le verrons par la suite, d'autres contraintes limitent le rabattement maximal admissible et réduisent la HMT.

4.1.3. Débit d'exploitation durable

Le débit d'exploitation durable est le débit que peut fournir le forage en accord avec la recharge naturelle de l'aquifère. Le débit d'exploitation doit ainsi satisfaire les points suivants :

1. **le rabattement maximal admissible ne doit pas être dépassé** (il prend notamment en compte la position des crépines, et donc des venues d'eau, ainsi que la position de la pompe) ;
2. **l'aquifère ne doit pas être rabattu de plus de la hauteur de la recharge observée dans l'aquifère.** Cette hauteur de recharge n'est pas connue car aucun ouvrage exploité n'a été suivi dans ce type de milieu en Martinique. Ce paramètre devra être acquis en réalisant un suivi en continu des niveaux et des débits lors des premières années d'exploitation de ce forage. Ce paramètre ne sera pas pris en compte pour le calcul du débit d'exploitation durable ;
3. **l'aquifère ne doit pas être rabattu en dessous de l'altitude 0 m NGM**, ceci afin d'éviter les upconings². Compte tenu de l'altitude des forages du site (autour de 300 m NGM) et des niveaux prévisionnels en étiage, cette condition sera satisfaite pour tous les scénarios établis.

Le rabattement maximal est défini en sommant d'une part 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

¹ On considère pour simplifier que la hauteur de sécurité qu'il conviendrait de retrancher à la profondeur de l'eau pour la préservation de la pompe se compense avec celle qu'il faut ajouter pour tenir compte des pertes de charge dans les conduites d'exhaure.

² Upconing : remontée localisée d'eau salée, sous l'effet d'un pompage, à la verticale du forage, habituellement représentée par un bombement ou une convexité locale de l'interface eau douce / eau salée.

de l'interprétation de l'essai de puits, et d'autre part, 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 des forages. Il convient néanmoins de conserver à l'esprit qu'il s'agit d'une évaluation préliminaire qui ne pourra être confirmée ou réajustée qu'à la suite d'une première année de suivi après mise en exploitation des forages.

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 approximativement à 50 jours dans le cas des forages de Cœur Bouliki. 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 de l'aquifère sur la base d'informations géologiques, est tout particulièrement important dans des milieux hétérogènes et compartimentés tels que dans les aquifères volcaniques reconnus en Martinique.

4.2. DÉBIT D'EXPLOITATION AUX FORAGES CBF1 ET CBF2

4.2.1. Conditions et hypothèses de calcul

Niveaux piézométriques d'étiage

Dans la région, les fluctuations piézométriques naturelles sont connues pour être de l'ordre du mètre. Lors des tests ayant été réalisés en fin de période d'étiage (avril 2010), il est considéré que les niveaux piézométriques statiques mesurés au sein des aquifères testés (hors influence des pompages) étaient déjà à des niveaux relativement bas, voire aux niveaux les plus bas de l'étiage. Pour CBF1, le niveau d'étiage est situé à une cote estimée à 2,6 m sous la surface (mesure du 02/04/2010), et pour CBF2, il est estimé à 3,7 m sous la surface (mesure du 26/04/2010).

Les valeurs proposées devront être vérifiées par la mise en place d'un suivi continu du niveau piézométrique des forages.

Profondeur d'installation de la pompe

Afin 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 (structure géologique peu propice à l'entraînement de matières en suspension). L'objectif est de donner les moyens à l'exploitant, en cas de nécessité (période d'étiage marquée, besoin ponctuel important, etc.) de disposer d'une productivité maximale au forage, tant en terme de débit instantané que sur le long terme.

Il est donc proposé de positionner la pompe vers 55 m de profondeur pour CBF1 et vers 45 m pour CBF2.

Rabattement maximal admissible

Comme rappelé précédemment, l'objectif est de ne dénoyer ni les crépines, ni les premières venues d'eau, ni les bouches d'aspiration des pompes.

Ainsi, le rabattement maximal admissible est de l'ordre de 17 m au forage CBF1 (19,5-2,6) et de l'ordre de 15,5 m au forage CBF2 (19,0-3,7).

Structure de l'aquifère

Concernant la structure de l'aquifère, trois hypothèses ont été considérées :

- H1 : absence de limite étanche (hypothèse la plus optimiste) ;
- H2 : présence d'une limite étanche (temps d'influence de 3 000 min). Il s'agit de l'apparition d'une limite étanche à la fin des essais du 26-29 avril c'est-à-dire au bout d'environ 50h de pompage, qui n'aurait pas pu être mise en évidence lors des pompages d'essai. Cette hypothèse géométrique est qualifiée de moyennement optimiste ;
- H3 : présence de deux limites étanches (temps d'influence de 3 000 min). C'est l'hypothèse est la plus pessimiste des trois.

Scénarios de pompage

Le débit maximal de pompage aux ouvrages CBF1 et CBF2 a été déterminé sur la base du rabattement maximal admissible :

- au bout de 100 jours de pompage ininterrompu (24h/24) ; scénario A. Le choix de cette échéance permet de dimensionner un équipement de pompage dans l'optique de la mise en œuvre d'une exploitation aux puits sur la période de carême (février-avril) ;
- au bout d'un an de pompage ininterrompu (24h/24) ; scénario B. Le choix d'une échéance à un an permet de dimensionner l'équipement de pompage dans l'optique de la mise en œuvre d'une exploitation aux puits sur un cycle hydrologique ;

Ces scénarios doivent prendre en compte le fait que le niveau d'eau dans le forage ne doit pas atteindre les zones crépinées, soit une profondeur de 19.5 m pour CBF1 et 19.0 m pour CBF2. Les pompes seront sécurisées puisque positionnées à des profondeurs nettement plus importantes.

Le principe de dimensionnement proposé repose sur une exploitation en continu des forages (24/24h). Si les besoins en eau sont moins importants, les forages peuvent, bien entendu, être exploités de manière discontinue.

Solution analytique - Paramètres hydrodynamiques retenus

Afin de se situer dans des conditions aussi réalistes que possible et en privilégiant le fait que ces ouvrages seront surtout exploités en période de basses eaux, donc avec des alluvions *a priori* peu ou pas saturés, nous avons choisi de considérer les paramètres hydrodynamiques issus des tests réalisés du 26 au 29 avril 2010. Ces tests, caractérisés par les gammes de transmissivité les plus faibles, correspondraient au moment où les alluvions étaient les moins ou peu saturées.

La solution analytique utilisée pour l'extrapolation des résultats des pompages d'essai est celle de Theis dont les paramètres hydrodynamiques sont présentés dans le tableau suivant. Toutefois, ces modélisations sont comparées avec celles du modèle «aquifère bicouche» pour le cas d'une structure de l'aquifère sans limite étanche (hypothèse H1).

Forage	type	pompage de référence	N.S. /surf. (m)	Crépines / surf. (m)	s_max*	r (m)	T (m ² /s)	S* (-)	pdc (m-5s ²)	capa (mm)
CBF1	puits	26-29/04/2010	2.61	19.50	16.89	0.11	1.83E-03	4.98E-01	24000	220
CBF2	puits	26-29/04/2010	3.68	19.00	15.32	0.12	9.20E-04	6.83E+01	30000	250

Illustration 38 : Paramètres hydrodynamiques des ouvrages et des aquifères retenus dans les scénarios d'exploitation des ouvrages CBF1 et CBF2 (rabattement maximum admissible = crépines non dénoyées / S* = paramètre de calage)*

4.2.2. Débits d'exploitation et éléments de dimensionnement de la pompe

Les forages CBF1 et CBF2 ayant respectivement été développés à des débits de 58.8 m³/h et 61.0 m³/h, en aucun cas ils ne devront être soumis à un débit instantané de pompage supérieur à ces valeurs, afin d'éviter tout risque de venues de matières en suspension et/ou de déstabilisation du massif de gravier et/ou de colmatage de l'ouvrage. Une exploitation à un débit plus élevé nécessiterait un développement complémentaire.

Les Illustration 39 et Illustration 40 présentent les représentations graphiques des simulations d'exploitation effectuées pour les ouvrages CBF1 et CBF2 pour les deux scénarios de pompages (A et B) et pour les trois hypothèses de géométrie (H1, H2 et H3). Les débits ont été optimisés afin d'atteindre le rabattement maximal (s_max) en fin de scénario.

Pour les simulations avec l'hypothèse H1 (absence de limite étanche), la confrontation des deux modèles (Theis et aquifère bicouche) montrent des résultats comparables avec des différences de rabattement de 0,2 à 1,2 m pour le scénario A (100 j), et de 0,3 à 1,5 m pour le scénario B (365 j). Cela démontre la relative robustesse du modèle analytique choisi en considérant la transmissivité globale de l'aquifère (Theis).

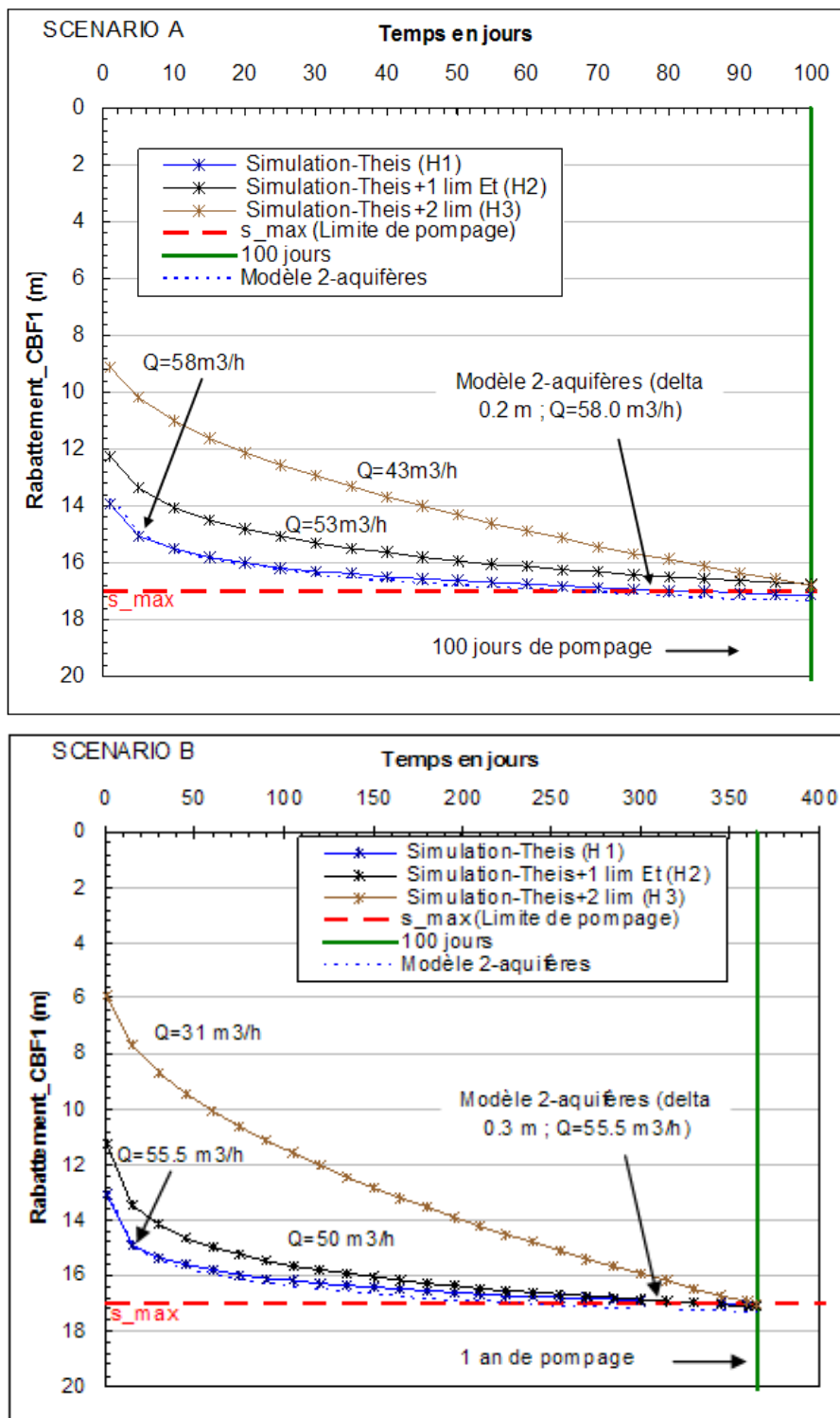


Illustration 39 : Simulation d'exploitation sur CBF1 pour les scénarios A (100 j de pompage en période de carême) et B (365 j de pompage)

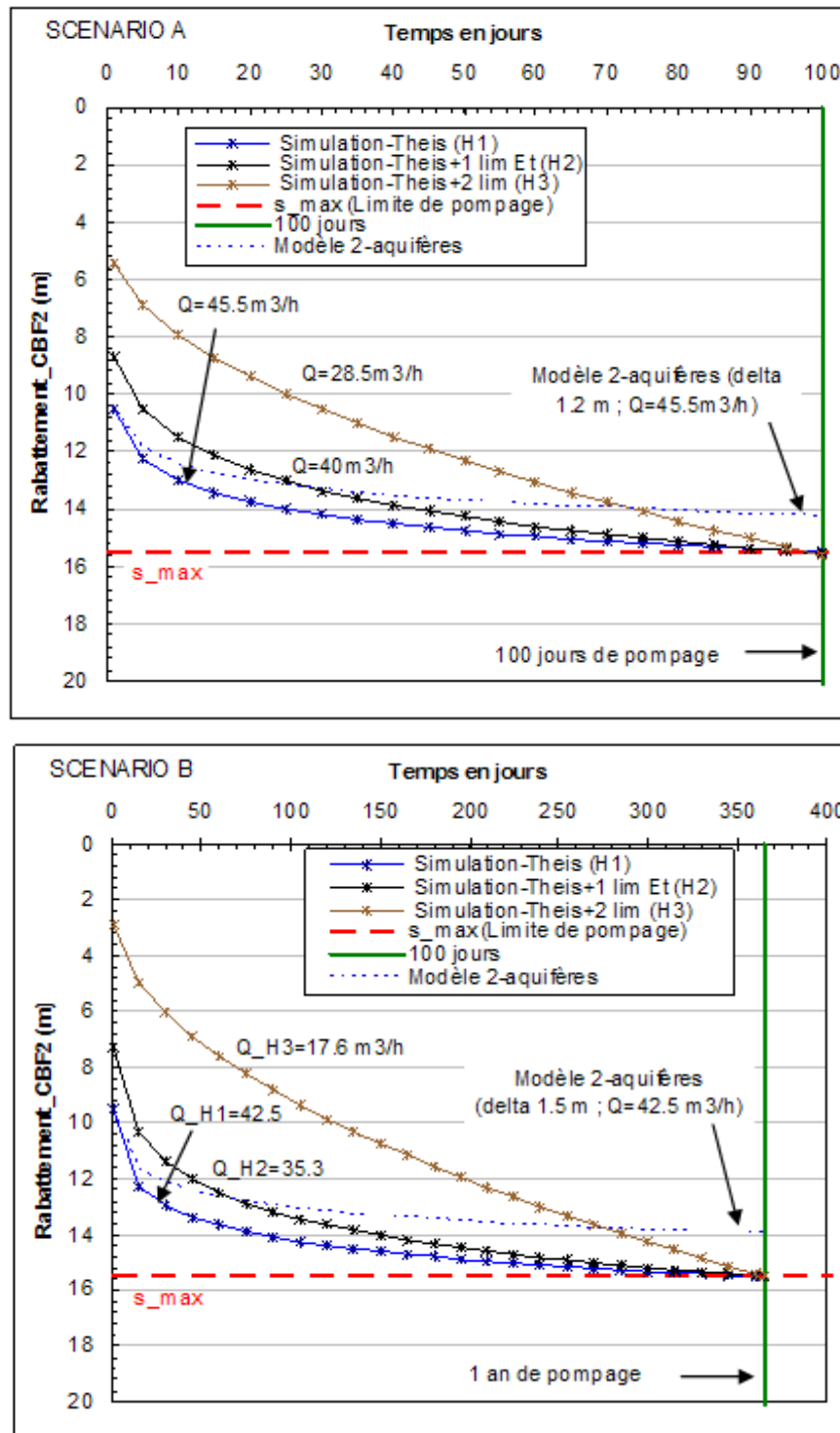


Illustration 40 : Simulation d'exploitation sur CBF2 pour les scénarios A (100 j de pompage en période de carême) et B (365 j de pompage)

Sur ces bases et considérant que la géométrie de l'aquifère se situe entre les hypothèses H1 et H3, les conclusions suivantes peuvent être avancées :

- ouvrage CBF1 : le débit d'exploitation envisageable serait de l'ordre de 55 m³/h pour le scénario A (100 j) et de l'ordre de 50 m³/h dans le cas du scénario B (365 j). **Le prélèvement journalier envisageable est donc de l'ordre de 1320 m³ dans le cas du scénario A (période de carême) et de l'ordre de 1200 m³ dans le cas du scénario B (365/365j).** Il est donc conseillé l'utilisation d'une pompe capable de produire dans une gamme de débit de 40 à 60 m³/h (60 est calculé pour un pompage à 60 m³/h 20h/24 ce qui est équivalent à 50 m³/h 24/24h), pour une hauteur manométrique maximale de 20 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 ;
- ouvrage CBF2 : le débit d'exploitation envisageable est de l'ordre de 40 m³/h pour le scénario A (100 j) et de l'ordre de 35 m³/h dans le cas du scénario B (365 j). **Le prélèvement journalier envisageable est donc de l'ordre de 960 m³ dans le cas du scénario A (période de carême) et de l'ordre de 840 m³ dans le cas du scénario B (365/365j).** Il est donc conseillé l'utilisation d'une pompe capable de produire dans une gamme de débit de 30 à 60 m³/h (60 est calculé pour un pompage à 60 m³/h 16h/24 ce qui est équivalent à 40 m³/h 24/24h), pour une hauteur manométrique maximale de 20 m (jusqu'au sol). Il conviendra également 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) ;

Ainsi, **l'exploitation combinée envisageable des deux ouvrages est de l'ordre de 2300 m³/j dans le cas d'une exploitation en continu en période de carême (100 jours) et de l'ordre de 2000 m³/j dans le cas d'une exploitation en continu toute l'année (365 jours).**

Les tableaux de l'illustration 41 et de l'illustration 42 synthétisent les résultats des simulations respectivement pour CBF1 et CBF2.

CBF1	Scénario A (100 j- 24/24h)			Scénario B (365 j- 24/24h)			
Géométrie de l'aquifère	Rabatement calculé (m)	Débit max. (m ³ /h)	Prélèvement sur 100 j (m ³)	Rabatement calculé (m)	Débit max. (m ³ /h)	Prélèvement sur 365 j (m ³)	Prélèvement sur 100 j (m ³)
H1	17.11	58.0	139 200	17.02	55.5	486180	133 200
H2	16.78	53.0	127 200	17.12	50	438 000	120 000
H3	16.8	43.0	103 200	17.02	31	271 560	74 400

Illustration 41 : Résultats synthétiques des simulations sur l'ouvrage CBF1 selon diverses hypothèses concernant la géométrie de l'aquifère (H1, H2 ou H3) et divers scénarios d'exploitation (A ou B)

CBF2	Scénario A (100 j- 24/24h)			Scénario B (365 j- 24/24h)			
Géométrie de l'aquifère	Rabatement calculé (m)	Débit max. (m ³ /h)	Prélèvement sur 100 j (m ³)	Rabatement calculé (m)	Débit max. (m ³ /h)	Prélèvement sur 365 j (m ³)	Prélèvement sur 100 j (m ³)
H1	15.52	45.5	109 200	15.52	42.5	372 300	102 000
H2	15.56	40.0	96 000	15.52	35.3	309 228	84 720
H3	15.6	28.5	68 400	15.49	17.6	154 176	42 240

Illustration 42 : Résultats synthétiques des simulations sur l'ouvrage CBF2 selon diverses hypothèses concernant la géométrie de l'aquifère (H1, H2 ou H3) et divers scénarios d'exploitation (A ou B)

Par ailleurs, il est à noter l'incertitude sur l'épaisseur saturée des alluvions ainsi que sur leur géométrie au droit des ouvrages. Les essais hydrauliques ont montré leur rôle dans l'hydrodynamisme du système (variation de la transmissivité totale du système d'un facteur 3 à 5 pour un même ouvrage). **Il est ainsi très probable, en particulier pour une exploitation en continu toute l'année (scénario B), que le prélèvement annuel soit sous-estimé.** En se référant aux tests où les alluvions apparaissent les plus saturés (test du 2 au 4 avril pour CBF1 et de janvier 2010 pour CBF2), les prélèvements journaliers ponctuels peuvent s'élever à environ 1 700 m³/j pour CBF1 (soit 70 m³/h sur 24 h) et à 1 400 m³/j pour CBF2 (soit 58 m³/h sur 24 h). Concernant l'ouvrage CBF1, ceci nécessiterait un test complémentaire par paliers de débit en période humide (3 à 4 paliers croissants de 50 à 100 m³/h par exemple) afin de vérifier que l'ouvrage peut effectivement ou non supporter des débits instantanés plus importants que ceux définis préalablement.

4.3. PRÉCONISATIONS DU BRGM

4.3.1. Recommandations courantes

Au regard des travaux réalisés sur le site de Cœur Bouliki et des premiers résultats obtenus, le BRGM recommande à la CACEM de suivre la démarche suivante pour gérer le plus finement possible de futurs pompages :

A court et moyen terme :

- Il est impératif de procéder au nivellement des différents forages pour comparer de façon rigoureuse les évolutions piézométriques entre elles ;
- L'évaluation précise du débit d'exploitation globale des forages passe par le suivi régulier des débits et des niveaux piézométriques sur chaque forage. Chacun des ouvrages devra, par conséquent, être équipé d'un système d'acquisition automatique des débits et des niveaux ;
- L'impact des pompages sur le cours d'eau devra également être approché par le suivi des débits de la rivière Blanche à l'amont et à l'aval des forages (suivi DIREN Martinique à compléter), en particulier en période de basses eaux. Le cas échéant, l'impact du pompage sur le débit du cours d'eau devra être pris en compte dans l'évaluation définitive du débit exploitable des forages. Il est, en effet, rappelé que les pompages d'essai ont débuté après le retour des pluies ;
- Il est souhaitable d'équiper les pompes 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.
- Sur les premiers mois de mise en exploitation, différentes configurations de pompage pourront être testées afin d'aboutir à une évaluation fine du débit d'exploitation optimal.

À plus long terme :

Plusieurs contrôles devront être menés sur les forages dans le but de suivre leur vieillissement. La profondeur des ouvrages devra être mesurée au moins une fois par an, et une inspection par passage d'une caméra devra être réalisée tous les cinq ans. Enfin, le cas échéant, des pompages d'essai par paliers peuvent également permettre de diagnostiquer des baisses de productivité.

4.3.2. Gestion active de l'aquifère capté

L'importance des alluvions sur l'hydrodynamique du système ayant été faite, ceux-ci peuvent présenter certains avantages. D'ordinaire, à la mise en exploitation d'un forage, il n'est jamais sûr que les niveaux d'eau soient recouverts à la prochaine saison des pluies (augmentation des niveaux due à la recharge par les pluies), et ce même

après avoir réalisé des simulations niveaux d'eau – débit d'exploitation aussi précises que possible.

Dans le cas présent, tout laisse à croire que les alluvions seront rapidement rechargées après un épisode de crue du cours d'eau et donc qu'ils devraient à leur tour recharger rapidement l'aquifère sous-jacent.

Si cette hypothèse de drainance des alluvions s'avère vérifiée, il serait envisageable d'appliquer un concept de gestion active de l'aquifère. C'est-à-dire que l'on compterait sur quelques épisodes de crue du cours d'eau pour complètement recharger les aquifères captés. Ceci pourrait permettre, dans le meilleur des cas (celui d'une recharge rapide), d'envisager la réalisation d'un champ captant basé sur plusieurs forages d'exploitation.

Ainsi, en complément des suivis préconisés précédemment, il apparaîtrait indispensable de valider l'hypothèse de la drainance des alluvions par la mise en place d'un suivi conjoint des niveaux d'eau dans les alluvions et des débits de la rivière Blanche. Au moins un piézomètre (10 m de profondeur) devra ainsi être réalisé (entre les 2 forages par exemple) pour suivre le niveau d'eau dans les alluvions.

La gestion active d'un aquifère vient renforcer la nécessité de mettre en place un suivi rigoureux des forages et de la rivière Blanche, comme évoqué précédemment.

5. Conclusion

L'interprétation des nombreux pompages d'essai menés sur les forages CBF1 et CBF2 de Cœur Bouliki de janvier à avril 2010 a permis de mettre en évidence :

- **un système aquifère testé de type bicouche.** L'aquifère capté au droit des crépines (laves fissurées), est caractérisé par une transmissivité de l'ordre de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Après quelques centaines de minutes, le pompage sollicite un autre aquifère, probablement les alluvions sus-jacentes, présentes sur 10 à 15 m au niveau des deux forages ;
- **l'absence d'interférence visible entre les deux forages** à l'échelle des tests effectués (temps de pompage maximum de 5,4 jours).

La transmissivité du système aquifère complet (laves + alluvions) varie en fonction de la période testée : de $1,3$ à $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (facteur de 2,8) pour CBF1 et de $0,9$ à $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (facteur de 4,5) pour CBF2. Ces variations de transmissivité, très significatives, semblent s'expliquer par une variation de l'épaisseur saturée des alluvions au droit des ouvrages.

L'évaluation des débits exploitables a été faite sur la base des transmissivités les plus pessimistes (alluvions désaturées) et pour trois géométries de l'aquifère (sans limite étanche, avec une puis deux limites étanches).

Ainsi, l'exploitation combinée envisageable des deux ouvrages pourrait être de l'ordre de **$2\,300 \text{ m}^3/\text{j}$ dans le cas d'une exploitation en continu en période de carême (100 jours) et de l'ordre de $2\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ dans le cas d'une exploitation en continu toute l'année (365 jours).**

Sur le site de Cœur Bouliki, tout laisse à croire que les alluvions seront rapidement rechargées après un épisode de crue du cours d'eau et donc qu'ils devraient à leur tour recharger rapidement l'aquifère sous-jacent (drainance mise en évidence). **Un tel comportement hydrodynamique doit pouvoir permettre d'appliquer un concept de gestion active de l'aquifère** en optimisant les prélèvements en fonction des épisodes de crue du cours d'eau. Ceci pourrait permettre d'envisager la réalisation d'un champ captant basé sur plusieurs forages d'exploitation.

Une gestion active de l'aquifère exige la mise en place d'un suivi rigoureux : suivi en continu des niveaux d'eau et des débits sur les forages d'exploitation, suivi du débit du cours d'eau, suivi des niveaux d'eau au sein des alluvions avec la création d'un piézomètre dédié. Ce dernier permettrait de valider l'hypothèse de la drainance des alluvions avancée dans le présent rapport.

6. Références bibliographiques

Bourdet D., Whittle TM, Douglas AA and Pirard YM (1983). A new set of type curves simplifies well test analysis, *World oil* 196, n° 6 : 95-106.

Bourdet D., Ayoud J.A. and Prirard Y.M. (1989). Use of pressure derivative in well-test interpretation. *SPE*, 293-302.

Brenot A., Vittecoq B., Négrel P., Mardhel V. (2008). Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Caractérisation physico-chimique naturelle des eaux souterraines. Rapport BRGM/RP-56266-FR.

Deruyck B., Ehlig-Economides C. and Joseph J. (1992). Testing design and analysis. *Oilfield and analysis*. 28-45.

Hunt, B. and D. Scott (2007). Flow to well in a two-aquifer system. *J. of Hydrologic Engineering*, 146-155.

Jacob, C.E. (1947). Drawdown test to determine effective radius of an artesian well, *ASCE Trans.*, 112(232), 1047-1064.

Lions J., Allier D., Pinson S., Vittecoq B. (2008). Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Martinique. Rapport BRGM/RP-56748-FR.

Renard Ph., Glenz D. and M. Mejias. (2009). Understanding diagnostic plots for well-test interpretation. *Hydrogeology Journal*. 17: 589–600.

Schlumberger (2002) – Well Test Interpretation. SCHLUMBERGER. Rap., 122 p.

Spane F.A. and Wurstner S.K. (1993). A computer program for calculating pressure derivatives for use in hydraulic test analysis, *Ground Water*, vol. 31, no. 5, pp. 814-822.

Theis C.V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Trans. Am. Geoph. Union*, 16, 519-524.

Vittecoq B. (2008) – Reconnaissances géologiques et hydrogéologiques sur le site de Cœur Bouliki. Rapport BRGM/RP-56716-FR.

Vittecoq B., Coppo N. (2009). Reconnaissances géophysiques sur le site de Cœur Bouliki – Commune de Saint-Joseph. BRGM/RP-57098-FR.

Annexe 1

Compte-rendu du chantier de forage CBF1



COMPTE RENDU DE CHANTIER	
Rédacteur : Clément Chevrier & Benoit Leclerc	Entité : SGR/MAR
Projet : CACEM	Numéro : PSP09MAR08
Objet : Compte-rendu de chantier	
Date : 07/12/2009	Lieu : Cœur Bouliki
Participants :	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
1 – Compte-rendu de la journée du jeudi 29 octobre 2009 Temps : pluvieux La mise en place du chantier a été effectuée le 28 octobre 2009. La foration débute, au MFT* 245mm et tubage à l'avancement ODEX** DN220 mm. Elle est réalisée de 0 à 14 m. Des échantillons sont récupérés. Les vitesses à l'avancement sont mesurées à chaque tube ODEX. Une estimation du débit au soufflage a été réalisée à 9m, 12m et 13,5m. 0 à 10m : alluvions avec blocs importants 10 à 14m : Roche altérée Une casse survient sur le matériel. Il faudra remonter l'outil afin d'identifier le problème.   Marteau Fond de Trou (MFT) D245 mm
2- Compte-rendu de la journée du vendredi 30 octobre 2009 Une dalle de béton est coulée autour du départ du trou pour stabiliser l'emplacement.
3- Compte-rendu de la journée du mardi 3 novembre 2009 Le train de tiges est sorti grâce au marteau pneumatique de retrait. Le problème était une casse au niveau d'un filetage de tige.

La chaîne de levage subit également une casse.

Un autre problème s'avère plus gênant : les premiers mètres de terrain sous la surface (les alluvions) se montrent très instables, avec des éboulements fréquents. La dalle de béton coulée le 30/10 bouge. Il s'avère nécessaire de stabiliser ces premiers mètres avant de pouvoir poursuivre la foration. L'idée est de réalésier le trou dans un diamètre supérieur à 245 mm, de cimenter les premiers mètres puis de reforer dans le ciment de nouveau avec le MFT (TAV**) 245 mm.



Cavité formée suite aux éboulements dans le trou

4- Compte-rendu de la journée du mercredi 4 novembre 2009

Du ciment est coulé dans le trou. Son diamètre était déjà supérieur à 245 mm sur une bonne partie (80 cm par endroits, à cause d'éboulements). La chaîne de levage est réparée.

5- Compte-rendu de la journée du jeudi 5 novembre 2009

La foration reprend dans le ciment. Jusqu'à 3 m elle ne rencontre pas de problème. A partir de 3 m les instabilités posent de nouveau problème. Des éboulements de blocs et de sable gênent la progression de la foration malgré plusieurs changements d'outil (tricône, MFT).

6- Compte-rendu de la journée du vendredi 6 novembre 2009

Temps légèrement pluvieux en début de journée.

La reforation progresse au MFT TAV D245mm jusqu'à 9 m. A partir de 9 m, elle se poursuit au tricône D170 mm, jusqu'à 11,5 m.

Tout au long de la progression, de l'eau remonte au soufflage.

On observe la variation de plusieurs paramètres entre l'eau récupérée avant 10 m de profondeur et après :

Profondeur du soufflage	6 m	11,5 m
Aspect de l'eau	trouble (marron)	claire
Conductivité (microS/cm)	200-260	150
Débit (m3/h)	7	18

La conductivité reste dans la même gamme tant qu'on est en vis-à-vis des alluvions (0-10m). La conductivité de la rivière est mesurée à 88 microSiemens/cm.

La cimentation s'effectue lorsque la profondeur de 11,5 m est atteinte. Au fur-et-à mesure que le coulis est injecté, les tiges et les tubages ODEX sont retirés.

800 L de coulis sont injectés. Malgré ce volume injecté la cimentation n'atteint pas la surface. Les « vides » autour du trou consomment le ciment.

Il est prévu de reprendre la foration lundi en TAV dans le trou partiellement cimenté.

A 9h a lieu une réunion de chantier. Maurice VEILLEUR (PNRM), Jean-François FONT (ONF), Jean-Michel ALMONT (CACEM) et Benoît LECLERC (BRGM) sont présents, outre le personnel de SAFOR.

Les points suivants sont à retenir :

- remarque de M. Veilleur relative à la régularisation de l'autorisation au titre du site inscrit : la CACEM doit envoyer un courrier au PNRM pour solliciter son avis officiellement ;
- remarque de M. Font et M. Veilleur : nécessité de mettre en place un panneau de chantier pour annoncer le site de forage aux visiteurs ;
- remarque de M. Font relative à la protection des visiteurs : mettre du rubalise pour empêcher l'accès au chantier en l'absence du personnel de SAFOR, le sentier n°7 « Rabuchon » en bordure de chantier est en effet fréquenté ;
- remarque de M. Font : les clôtures du bassin de décantation d'ODYSSI doivent être refaites, le site est régulièrement visité et il est fréquent que le bassin soit utilisé comme piscine ;
- Il serait intéressant d'estimer dès à présent les coûts d'amenée de l'électricité, ou de la restauration de l'ouvrage de franchissement qui amène à l'ancien forage (pas encore retrouvé) qui permettrait d'élargir la zone de recherche pour la CACEM et la zone exploitable pour l'ONF.



6- Compte-rendu de la journée du lundi 9 novembre 2009

Il s'avère que le ciment injecté a été en grande partie absorbé dans les « vides » autour du trou. La reformation en MFT TAV n'est pas directement possible.

Il est alors décidé de descendre un tubage métallique provisoire D230mm pour assurer la stabilité au niveau des alluvions ; ce tubage est suffisamment large pour permettre à l'ensemble MFT TAV de passer par la suite.

Le tubage D230mm est mis en place par rotation, jusqu'à 6 m.

7- Compte-rendu de la journée du mardi 10 novembre 2009

La mise en place du tubage D230mm se poursuit, jusqu'à 7,5 m.

Après 8 m la foration continue, au MFT D220 mm, jusqu'à 14 m.

8- Compte-rendu de la journée du jeudi 12 novembre 2009

La foration s'effectue de 14 m à 36,5 m en MFT D220mm.



Echantillons récupérés



Vers 21-22 m l'air sous pression injecté ne remonte plus ; le train de tiges doit être remonté pour dégager des sédiments qui bouchaient la circulation d'air dans l'outil. Puis la foration reprend.

Tous les 1,5 m (longueur d'une tige) les échantillons sont prélevés, la conductivité mesurée ainsi que la vitesse d'avancement.

La conductivité est stable de 14 m à 36,5 m, dans la fourchette 190 – 210 microS/cm.

Les échantillons sont récupérés tout le long sous forme de sable principalement, avec des fragments, laviques le plus souvent. La roche est altérée la plupart du temps ; quelques passages montrent un état moins altéré.

Le débit d'eau remontée au soufflage est également estimé. Il est d'environ 36 m³/h à 17 m, et augmente jusqu'à atteindre 48 m³/h à 36,5 m.

La foration se poursuivra le lendemain en MFT D220mm.

9- Compte-rendu de la journée du vendredi 13 novembre 2009

Le niveau piézométrique est mesuré en début de journée à 1,78 m de profondeur par rapport au niveau du sol.

La foration s'effectue en MFT D220mm de 36,5 m à 57,5 m.

Les échantillons sont récupérés et la vitesse d'avancement calculée.

Le débit au soufflage continue d'augmenter. Le dispositif de collecte d'eau pour la mesure du débit doit être adapté. Le débit est mesuré à 57,5 m à 72 m³/h.

La conductivité est toujours dans la même gamme 190-210 microS/cm.

A 11h a lieu une réunion de chantier en présence de Jean-Michel ALMONT (CACEM), Philippe JANNEL (SAFOR) et Benoît LECLERC (BRGM).

Il est discuté de la marche à suivre pour la suite, soit de continuer la foration (selon ce qui était prévu) soit arrêter le trou avant d'avoir atteint les profondeurs visées pour profiter de l'eau disponible.

Il est décidé que la foration se poursuivra le lundi 16/11 jusqu'à 71 m, et qu'entre-temps une décision sera prise.



10- Compte-rendu de la journée du lundi 16 novembre 2009

La foration continue de 57,5 m à 70 m.

Les échantillons sont récupérés et la vitesse d'avancement mesurée.

Le débit au soufflage atteint les 100 m³/h.

Les différents échanges entre JM ALMONT, P JANNEL et B LECLERC (en concertation avec d'autres hydrogéologues du BRGM) aboutissent aux décisions suivantes :

- le forage est arrêté à cette profondeur ;
- une carotte sera prélevée dans le fond du forage par SAFOR le lendemain, pour mieux observer la lithologie rencontrée, ainsi que son état d'altération et de fissuration/fracturation ;
- dans un ordre à définir selon l'état de stabilité du trou ainsi que le type de crépine choisi (INOX ou PVC), il sera réalisé un passage au micromoulinet (identification des venues d'eau) et l'équipement du forage ;
- avant de réaliser l'essai de nappe sur le F1, le F2 pourra être commencé pour servir de piézomètre (nécessité d'un piézomètre lors de l'essai de nappe pour pouvoir déterminer l'emménagement de l'aquifère) ; F2 pourra être foré au site proposé initialement, en amont au bord de la route qui mène au dessableur ODISSY ;
- après l'essai de nappe sur le F1, la foration du F2 pourra reprendre, plus profond que le F1 ;
- à déterminer : passage caméra ou non dans le trou nu ;
- choix du type de crépine.

11- Compte-rendu de la journée du mercredi 18 novembre 2009 Une carotte est prélevée de 70 m à 71,6 m.
12- Compte-rendu de la journée du lundi 23 novembre 2009 Une visite du chantier a lieu en présence des personnes suivantes : CACEM : M. SAMOT (président), M. GONIER (président de la commission Eau/Assainissement), M. JEANNE-ROSE (vice-président de la CACEM, maire de St Joseph), M. BRITHMER (directeur général adjoint en charge des infrastructures et de l'eau), Mme RENARD Nade (directrice de l'environnement), Mme RENARD Nadine (responsable service Eau/Assainissement), M. ORTOLE (chargé de communication CACEM), M. SOLBIAC (chargé de communication ville de St Joseph), M. ALMONT (technicien Eau/Assainissement) ; SAFOR : M. JANNEL (foreur/chef de chantier), M. POSTDAM, M. SETHAM ; BRGM : M. COMTE (directeur du service régional du BRGM), M. LECLERC (Hydrogéologue) ; France ANTILLES : 1 journaliste Un article dans le France Antilles fait suite à cette visite le lendemain.
13- Compte-rendu de la journée du mercredi 25 novembre 2009 Un passage caméra est effectué dans le trou nu, afin d'observer dans la mesure du possible la nature des terrains et leur état de fracturation.
14- Compte-rendu de la journée du vendredi 27 novembre 2009 Le forage est équipé en PVC D163/180 mm. Un bouchon de ciment est posé de 70 à 69,7 m, puis le tubage est crépiné de 69,7 à 20 m, puis plein de 20 à 0 m.
15- Compte-rendu de la journée du lundi 30 novembre 2009 Le gravier est mis en place dans l'espace annulaire, de 70 à 19,5 m, puis un mélange de sable et peltonite de 19,5 à 18,9 m (le niveau de gravier est volontairement choisi légèrement au-dessus de la limite tubage plein/tubage crépiné pour prendre en compte le tassement qui s'effectue notamment lors des essais de pompage consécutifs, et qui achèvent sa mise en place).
16- Compte-rendu de la journée du mardi 1^{er} décembre 2009 Le 1^{er} palier de débit de l'essai de puits est réalisé à 20 m³/h avec une pompe 4 pouces. La descente de la nappe est suivie 1h30 et sa remontée 1h30.

17- Compte-rendu de la journée du mercredi 2 décembre 2009

Un palier de débit à 60 m³/h est réalisé (1h30 de descente et 1h30 de remontée).

Un passage de micromoulinet est effectué à ce même débit (avec mesure du nombre de tours tous les mètres). Le passage d'un micromoulinet tout le long de la colonne d'eau permet de localiser les venues d'eau et leurs importances relatives. Il est effectué en pompage pour que les venues d'eau soient sollicitées.

18- Compte-rendu de la journée du jeudi 3 décembre 2009

Deux paliers de débit sont effectués (toujours 1h30 de descente et 1h30 de remontée), à 30 et 45 m³/h.

La cimentation de l'espace annulaire au-dessus du gravier commence. Elle s'effectuera en plusieurs étapes. Lors de la première le ciment est mis en place de 18,9 à 14 m.

19- Compte-rendu de la journée du vendredi 4 décembre 2009

La cimentation continue. Quelques mètres de plus sont cimentés, de 14 à 9 m.

20- Compte-rendu de la journée du lundi 7 décembre 2009

La cimentation continue de 9 à 7,5 m. Le tube métallique provisoire qui retenait les terrains superficiels est retiré (il était en place de 0 à 7,5 m). Puis la cimentation continue.

Le déplacement du matériel vers le site du forage suivant commence. Il se situera un peu plus en amont sur la même route (à environ 150 m), au niveau du virage avant la station ODYSSI, à 20 m de la route.

*MFT : Marteau fond de trou

**TAV (ODEX) : tubage à l'avancement

Annexe 2

Compte-rendu du chantier de forage CBF2



COMPTE RENDU DE CHANTIER	
Rédacteur : Benoit Leclerc	Entité : SGR/MAR
Projet : CACEM	Numéro : PSP09MAR08
Objet : Compte-rendu de chantier du forage CBF2	
Date : 05/02/2010	Lieu : Cœur Bouliki
Participants :	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
1 – Compte-rendu de la journée du mercredi 9 décembre 2009 Le matériel est transféré du site du forage CBF1 au site du forage CBF2.
2- Compte-rendu de la journée du jeudi 10 décembre 2009 La foration commence et atteint 6,5 m, au MFT D220mm.
3- Compte-rendu de la journée du vendredi 11 décembre 2009 Pour permettre la mise en place d'un tubage provisoire de maintien des terrains (instables), la foration reprend au MFT D250mm, jusqu'à 3 m. La rupture d'un flexible hydraulique interrompt la foration le temps de la réparation. La foration reprend au MFT D250mm jusqu'à 4,5 m. Le tubage métallique provisoire D230/250mm est mis en place au fur-et-à mesure, jusqu'à 3 m.
4- Compte-rendu de la journée du lundi 14 décembre 2009 La foration se poursuit jusqu'à 5,5 m au MFT D220mm. Le tubage D230/250mm est mis en place jusqu'à 4,5 m.
5- Compte-rendu de la journée du mardi 15 décembre 2009 Le tubage D230/250mm avec le MFT D220mm restent bloqués en raison de la présence de blocs de taille importante. Le tubage est enlevé. La foration recommence à 4,5 m avec l'ODEX D245mm. Passage de l'ONF sur le chantier.

Mesures de conductivité :

- A 6 m : 96 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- A 7,5 m : 94 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Les vitesses à l'avancement sont faibles.

6- Compte-rendu de la journée du mercredi 16 décembre 2009



La foration continue à l'ODEX, jusqu'à 9 m. Les terrains se tenant mieux à partir de 9 m, la foration continue ensuite au MFT D190mm, jusqu'à 31,5 m.



7- Compte-rendu de la journée du jeudi 17 décembre 2009

Il est prévu de prélever une carotte au fond du trou.

Le carottier est descendu ; il bute sur un bloc, éboulé depuis la veille. Le carottier est remonté, l'ODEX D245mm redescendu pour forer le bloc et descendre le tubage à l'avancement jusqu'à 12 m.

Puis l'ODEX est remonté et le MFT D190mm redescendu pour nettoyer le trou et atteindre de nouveau les 31,5 m.

La carotte devrait être faite le lendemain.

8 – Compte-rendu de la journée du vendredi 18 décembre 2009	
	Le carottage reprend ; 40 cm sont carottés (31,5 à 31,9 m), puis s'interrompt suite à un problème au niveau de la tête de rotation de la foreuse.
Un mécanicien SAFOR devrait intervenir pour la réparer en début de semaine suivante.	
9- Compte-rendu de la journée du lundi 21 décembre 2009	
La tête de rotation de la foreuse est démontée.	
10- Compte-rendu de la journée du mardi 22 décembre 2009	
La tête de rotation est réparée par le mécanicien SAFOR.	
11- Compte-rendu de la journée du mercredi 23 décembre 2009	
Le niveau piézométrique est mesuré en début de journée à 2,40 m.	
Le carottage reprend, de 31,9 à 32,5 m.	
La foration reprend au MFT D190mm jusqu'à 51 m.	
En fin de journée l'outil est remonté jusqu'à 12 m pour le protéger de tout risque d'éboulement ou autre qui pourrait le coincer dans le trou.	
Le chantier sera en arrêt durant la période 24/12/09 – 03/01/10. Il reprendra le 4 janvier 2010.	
12- Compte-rendu de la journée du lundi 4 janvier 2010	
L'outil est redescendu pour nettoyer le trou jusqu'à 51 m, car il bute sur des sédiments vers les 40 m.	
Puis le carottier est descendu (D131mm, marque T6, CD (couronne diamant)). Une carotte est prélevée de 51 à 52,5 m.	
La foration reprendra le lendemain au MFT D190mm.	
3/7	

13- Compte-rendu de la journée du mardi 5 janvier 2010

Le niveau piézométrique est mesuré en début de journée à 2,39 m.

La foration reprend au MFT D190mm. Elle s'effectue de 52,5 m à 64,5 m. Elle s'interrompt à 64,5 m suite à la rupture d'un flexible.

Le flexible est réparé.

Eau jaillissant au soufflage



14- Compte-rendu de la journée du mercredi 6 janvier 2010

La foration continue au MFT D190mm jusqu'à 75m.

Le MFT D190mm est ensuite remonté, puis le carottier descendu, et le carottage s'effectue de 75 m à 76 m.

Carottier D131mm, Couronne de Diamant



15- Compte-rendu de la journée du jeudi 7 janvier 2010

Le carottage continue de 76 m à 76,6 m.

La foration au MFT D190mm reprend ensuite, de 75 à 88 m.

Le débit d'eau au soufflage continue d'augmenter avec la profondeur. Le débit obtenu au soufflage est plus important que pour le 1^{er} forage (CBF1).

16- Compte-rendu de la journée du vendredi 8 janvier 2010

Le carottier est remonté.

La pompe 6" est descendue pour effectuer les essais par paliers de débits. Elle est descendue à 21 m de profondeur.

Les paliers commenceront lundi 11/01/10.

17- Compte-rendu de la journée du lundi 11 janvier 2010

Un palier de débit à 30 m ³ /h est réalisé. La descente et la remontée sont chacune suivie pendant 1h30. Les niveaux sont suivis manuellement.
18- Compte-rendu de la journée du mardi 12 janvier 2010 Les paliers à 45 m ³ /h et 60 m ³ /h sont réalisés. Les niveaux sont suivis manuellement et automatiquement (sondes).
19- Compte-rendu de la journée du mercredi 13 janvier 2010 Un palier est commencé à 74 m ³ /h ; il est interrompu suite à la descente du niveau d'eau à une cote trop proche de la pompe (risque de dénoyage). La remontée est cependant suivie. La pompe 6" est retirée ; la pompe 4" est mise en place, à 13 m. Elle permet la réalisation du palier à 20 m ³ /h (débit trop faible pour la pompe 6"). Les niveaux sont suivis manuellement et automatiquement durant les paliers. La conductivité de l'eau d'exhaure est également mesurée en continu. Un passage du micromoulinet est effectué durant le palier de 20 m ³ /h.
20- Compte-rendu de la journée du jeudi 14 janvier 2010 La pompe 4" est retirée, et la pompe 6" mise en place à 26 m. Un palier à 67 m ³ /h est réalisé. Le niveau est suivi manuellement et automatiquement. La conductivité est mesurée en continu. Un prélèvement est effectué par la DSDS pour analyse de l'eau.
21- Compte-rendu de la journée du lundi 18 janvier 2010 Un développement du forage est effectué en 2x3 tests à 2 débits différents (65 et 74 m ³ /h). Des pompages de 15 min alternent avec des remontées de 10 min. Le niveau est suivi manuellement et automatiquement durant le développement. Le pompage longue durée n'est pas lancé le jour même, le niveau n'étant pas encore revenu à sa cote initiale.
22- Compte-rendu de la journée du mardi 19 janvier 2010 Le pompage longue durée (72h) est lancé, à 7h30 (il prendra fin vendredi 22/01 à 7h30). Le niveau est suivi manuellement et automatiquement.
23- Compte-rendu de la journée du mercredi 20 janvier 2010 Poursuite du pompage longue durée. Les sondes automatiques sont relevées.
24- Compte-rendu de la journée du jeudi 21 janvier 2010

Poursuite du pompage longue durée.
24- Compte-rendu de la journée du vendredi 22 janvier 2010 Le pompage est arrêté à 7h30 (au bout de 72h). La remontée du niveau piézométrique est suivie, manuellement et automatiquement. Les sondes sont relevées sur CBF1 et CBF2.
25- Compte-rendu de la journée du lundi 25 janvier 2010 Le matériel de pompage ainsi que la sonde sont retirés dans CBF2. La sonde de CBF2 est relevée avec la suite de la remontée du niveau durant le WE. La sonde dans CBF1 est laissée sur place, et continue d'enregistrer.
26- Compte-rendu de la journée du mardi 26 janvier 2010 La mise en place du tubage PVC commence. Elle se déroule bien jusqu'à 42 m. A 42 m le tubage bute sur quelque chose. Ce peut être un bloc qui dépasse de la paroi (qui aurait pu se déplacer légèrement durant le pompage). Le tubage est alors remonté et le MFT D190mm descendu pour casser l'éventuel bloc. Puis le tubage est redescendu pour poursuivre sa mise en place. Il bute cette fois-ci à 44 m. Il ne s'agit alors peut-être pas simplement d'un bloc qui dépasse. Le réalésage du trou est envisagé, et devrait commencer le lendemain.
27- Compte-rendu de la journée du mercredi 27 janvier 2010 Le réalésage commence. Il est effectué au MFT D245mm de 12 à 58 m.
28- Compte-rendu de la journée du jeudi 28 janvier 2010 Le réalésage se poursuit au MFT D245mm de 58 m jusqu'à 70 m. Le train de tiges et l'outil sont ensuite remontés ; le MFT D190mm est installé puis descendu, pour nettoyer le trou jusqu'à 88 m (le réalésage faisant tomber des sédiments dans le fond du trou). Le train de tiges est remonté jusqu'à 56 m.
29- Compte-rendu de la journée du vendredi 29 janvier 2010 Le train de tiges est remonté complètement. La mise en place des crépines PVC D163/180mm reprend. Elle est effectuée à l'aide d'un bouchon conique, pour faciliter la pénétration du tubage. Elle s'effectue jusqu'à 76,5 m ; elles ne descendent pas plus bas.

Le gravillonnage commence : 24 sacs de graviers 4/6 siliceux sont mis en place (environ 1 sac pour 1m de hauteur gravillonnée).
30- Compte-rendu de la journée du mardi 2 février 2010 Suite du gravillonnage jusqu'à 18 m (60 sacs) + 1 sac de peltonite pour constituer le bouchon qui isole le massif de graviers du coulis de ciment de la partie annulaire supérieure.
31- Compte-rendu de la journée du mercredi 3 février 2010 Début de la cimentation avec remontée du tubage métallique provisoire D220/245mm (en place de 0 à 12 m) en contre-frappe.
32- Compte-rendu de la journée du jeudi 4 février 2010 Fin de la cimentation + coffrage de la dalle béton en surface (1,65 x 1,65 m) + bétonnage de la dalle + mise en place tube métallique (tête de forage) + couvercle + cadenas.

*MFT : Marteau fond de trou

**TAV (ODEX) : tubage à l'avancement

Annexe 3

Réception du forage CBF1 (rapport Hydro Assistance)

HYDRO ASSISTANCE CARAIBES

Référence rapport : HA_07-2010/09



**COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION
DU CENTRE DE LA MARTINIQUE**

Forage CBF1

972 12 SAINT JOSEPH



RECEPTION D'OUVRAGE

Examen endoscopique – Test de pompage



Département de la Martinique

Rapport d'intervention
Mars à Mai 2010

HYDRO ASSISTANCE CARAIBES - 41 Rue de la Concorde - 97200 PORT DE FRANCE - Tél : 05 96 53 57 09 - Fax : 05 96 61 57 85
<http://www.hydro-assistance.fr>
SARL au capital de 7 500 € - R.C.S. Port de France - SIRET 509 208 385 - Code APE 7112 B

HYDRO ASSISTANCE CARAÏBES

Localisation de l'ouvrage



Département : Martinique (972)

Coordonnées Martinique (en mètres) :

Commune : Saint Joseph

$X = 707\,311$ $Y = 1625\,984$ $Z = 298\text{ m}$

Forage : CBF1



Carte IGN : Balata (1/25000)



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF1

CLIENT :	COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE
DATES D'INTERVENTION :	du 30 mars 2010 au 17 mai 2010
MOTIF D'INTERVENTION :	réception de l'ouvrage
MESURES REALISEES :	▪ examen endoscopique ▪ test de pompage
OBJECTIFS :	▪ contrôle des équipements mis en place ▪ rendement de l'ouvrage

FORAGE

Département :	Martinique (972)
Commune :	Saint Joseph
Localisation :	lieu-dit "Cœur Bouliki"
Référence cadastrale :	section H - parcelle 19b
Identification :	forage CBF1
Indice BRGM :	1174ZZ0133/CBF1
Date de création :	2010
Profondeur théorique :	70 mètres
Aquifère capté :	lave fissurée/fracturée
Utilisation :	AEP
Coordonnées Martinique (Fort-Desaix) (en mètres) :	
	X = 707 311 Y = 1625 984 Z = + 298 m
Carte IGN :	Balata (1/25000)



SOMMAIRE

1) SITUATION DU FORAGE	4
2) MOYENS MIS EN ŒUVRE.....	4
3) COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE.....	4
3.1) D'APRES LES DOCUMENTS EXISTANTS.....	4
3.1.1) La foration.....	4
3.1.2) Les équipements.....	4
3.2) D'APRES LES TRAVAUX D'INSPECTION.....	4
4) COUPE GEOLOGIQUE.....	5
5) JOURNAL DES TRAVAUX.....	5
6) EXAMEN ENDOSCOPIQUE.....	5
6.1) LES TUBES PLEINS.....	5
6.2) LES TUBES CREPINES	6
7) POMPAGE DE LONGUE DUREE.....	6
8) BILAN.....	7
ANNEXES	



1) SITUATION DU FORAGE

Repères des mesures :	tube en acier - diamètre 210 mm (pour le pompage)
Positions des repères :	tube en PVC - diamètre 180 mm (pour la vidéo)
Niveaux piézométriques :	tube en acier = + 0.47 m/sol tube en PVC = + 0.19 m/sol - 2.55 m/repère (le 30/03/2010) - 2.61 m/repère (le 02/04/2010)

2) MOYENS MIS EN ŒUVRE

♦ Examen endoscopique

Caméra numérique couleur à visées axiale et radiale

Réalisé sans pompage : de 0 à 68.70 mètres

♦ Pompage

Pompage longue durée (du 02 au 28 avril 2010)

Pompe immergée : diamètre 6"

Installée à : 24 m/sol

Débit moyen pompé : 37.5 m³/h

3) COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

3.1) D'APRES LES DOCUMENTS EXISTANTS

3.1.1) La foration

o de 0 à 70 m : diamètre 245 mm (9^{n^{ds}})

3.1.2) Les équipements

o de 0 à 20 m : tube de nature non précisée, diamètre 180 mm (7^{n^{ds}}), espace annulaire cimenté jusqu'à 19 mètres

o de 20 à 70 m : tube crépiné de nature non précisée, diamètre 180 mm (7^{n^{ds}}), espace annulaire gravillonné

3.2) D'APRES LES TRAVAUX D'INSPECTION

o de 0 à 19.60 m : tube en PVC, diamètre 180 mm

o de 19.60 à 68.70 m : tube crépiné en PVC, diamètre 180 mm



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF1

4) COUPE GEOLOGIQUE

- o de 0 à 10 m : alluvions
- o de 10 à 30.50 m : lave altérée
- o de 30.50 à 70 m : lave fissurée/fracturée

5) JOURNAL DES TRAVAUX

Dates	Heures	Opérations
30/03/2010	-	Installation et préparation du matériel Descente de la pompe de test 6" à 24 mètres pour la réalisation des pompages
31/03/2010	-	Mise en place de la sonde de niveau et programmation de la centrale Mise en place de l'alimentation électrique de la pompe de test
01/04/2010	-	Fin des paramétrages des matériels d'acquisition de données
02/04/2010	07h58	Début du pompage de longue durée
03/04/2010	20h15	Visite de contrôle
04/04/2010	14h30	Visite de contrôle
28/04/2010	14h57	Fin du pompage de longue durée
17/05/2010	-	Opération de réception de l'ouvrage
	11h00	Arrivée sur site et mise en place du matériel - Remontée de la pompe de test
	14h10	Réalisation de l'examen endoscopique sans pompage
	14h30	Repli du matériel
	14h50	Départ du site

6) EXAMEN ENDOSCOPIQUE**6.1) LES TUBES PLEINS**

- de 0 à 1.80 m : la partie émergée des équipements - tubes en PVC de diamètre 180 mm - est dans un excellent état mécanique visuel.
- de 1.80 à 19.60 m : la colonne d'eau relativement turbide n'a pas permis d'inspecter dans le détail les parois des équipements.
On note cependant l'état mécanique visuel général satisfaisant malgré la présence d'une fine pellicule de dépôts blanchâtres qui ternit les parois. Ces dépôts semblent s'épaissir avec la profondeur.
Les parois présentent un aspect annelé.
Des traces de frottements des travaux d'extraction de la pompe de test sont visibles.
La présence de deux coulures de ciment est visible au droit du raccord situé à la profondeur de 13.80 mètres



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF1

6.2) LES TUBES CREPINES

- à 19.50 m : le raccord tube plein/tube crépiné est atteint.
 - à 19.80 m : les premières ouvertures des tubes crépinés sont atteintes. De fins dépôts grisâtres sont présents au droit des ouvertures.
 - de 19.80 à 68.70 m : on observe la présence de dépôts floconneux disposés de façon éparse, notamment sur les premiers mètres des tubes crépinés.
Les équipements en PVC sont dans un état mécanique visuel globalement satisfaisant et ne présentent aucune d'anomalie.
- On observe quelques zones où les dépôts sont plus marqués, comme celle située à 25.50 mètres sous le repère notamment.
- à 68.70 m : la base de l'ouvrage, remplie de sédiments meubles, est atteinte.

7) POMPAGE DE LONGUE DUREE

Un pompage de longue durée a été effectué sur cet ouvrage, sur la période du 2 au 28 avril 2010. Cet essai a cependant été réalisé de manière discontinue. Le tableau présent ci-dessous résume les phases de pompage effectives.

Dates et heures	débîts moyens (m ³ /h)	Niveaux dynamiques en fin de pompage (m/repère)
du 02/04/2010 à 07h58 au 03/04/2010 à 06h49	38.5	9.71
du 03/04/2010 à 06h55 au 04/04/2010 à 20h01	38.5	9.96
du 05/04/2010 à 10h17 au 05/04/2010 à 10h37	38.8	8.85
du 13/04/2010 à 12h11 au 13/04/2010 à 20h18	37.6	8.48
du 19/04/2010 à 16h43 au 25/04/2010 à 02h52	37.3	9.98
du 26/04/2010 à 16h26 au 28/04/2010 à 14h56	37.0	9.92

Ce pompage a donné les résultats suivants :

Débîts (m ³ /h)	Temps (heures)	Niveaux dynamiques (m/repère)	Rabattements (m)	Débîts spécifiques (m ³ /h/m)
38.4	1	9.06	6.45	5.95
38.3	2	9.16	6.55	5.85
38.2	3	9.20	6.59	5.80
38.3	12	9.54	6.93	5.53
38.5	22	9.71	7.10	5.42



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF1

8) BILAN

Le niveau piézométrique mesuré le 30 mars 2010, lors de la mise en pace du matériel pour la réalisation du pompage, était situé à 2.55 mètres sous le repère pris au sommet du tube en acier de diamètre 210 mm.

Le forage a été contrôlé conforme à la coupe technique annoncée.

Malgré la turbidité de la colonne d'eau, les équipements en PVC de l'ouvrage - tubes pleins et tubes crépinés de diamètre 180 mm - présentent un état mécanique visuel globalement très satisfaisant.

Quelques dépôts ont cependant été observés au droit des tubes pleins de la chambre de pompage ainsi qu'au droit des ouvertures des tubes crépinés.

La base de l'ouvrage a été observée à 68.70 mètres sous le repère contre 70 mètres annoncés en théorie dans la coupe technique d'origine.

Fait à Talence, le 15 juillet 2010

Karine EUZENAT
Ingénieur ENVIRONNEMENT

Alain CHAPITEAU
Ingénieur HYDROGEOLOGUE

Sébastien DANGOUMAU

ANNEXES

PRESENTATION DU SITE

HYDRO ASSISTANCE CARAÏBES

Présentation du site



Commune : Saint Joseph (972)

Forage : CBF1

Adresse : lieu-dit "Cœur Bouliki"

Réf. cadastrale : section H - parcelle 19b

Vue aérienne



Photographie du site



SUIVI DE POMPAGE

HYDRA ASSISTANCE CARAÏBES
Suivi du pompage longue durée du 02 au 28 avril 2010

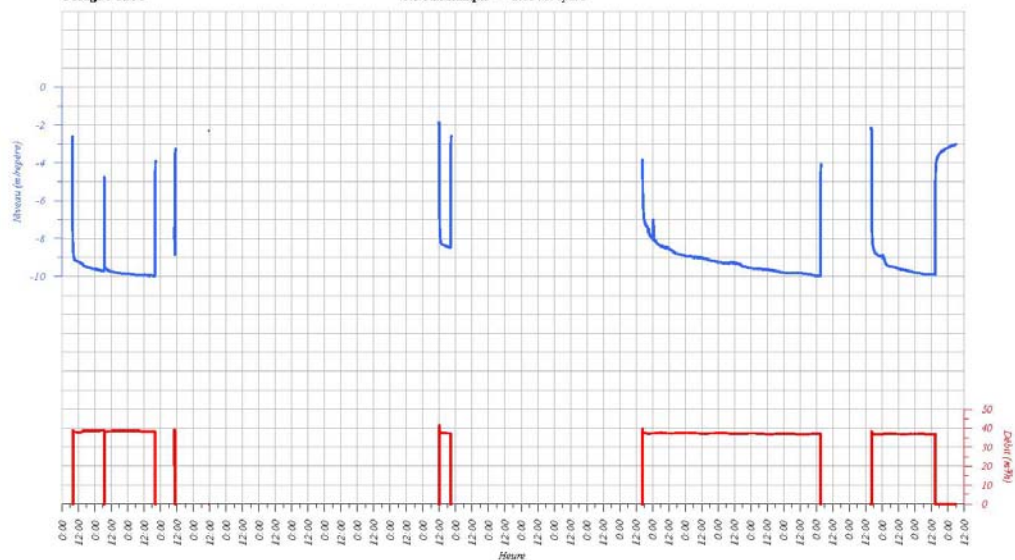


Commune : Saint Joseph (972)

Repère des mesures = sommet du tube en acier - diamètre 210 mm = + 0.47 m/soi

Forage : CBF1

Niveau statique = - 2.61 m/repère



Hydra Assistance Caraïbes

HSA_07-2010/09

EXAMEN ENDOSCOPIQUE



Commune : Saint Joseph (972)

Forage : CBF1

Date d'intervention : 17/03/2010

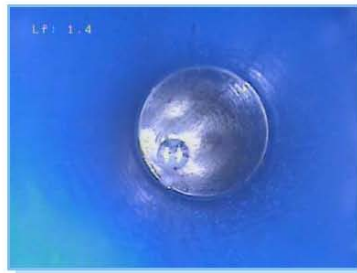
Examen endoscopique - Les tubes pleins



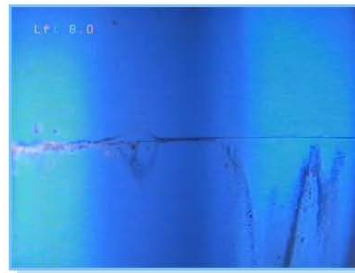
Sommet de l'ouvrage



*Sommet du tube plein en PVC
diamètre 180 mm*



*Tube en PVC - diamètre 180 mm
position du niveau statique*



Raccord entre tubes pleins en PVC



*Tube en PVC - diamètre 180 mm
aspect annelé des parois*



*Tube en PVC - diamètre 180 mm
coulures de ciment au droit d'un raccord*

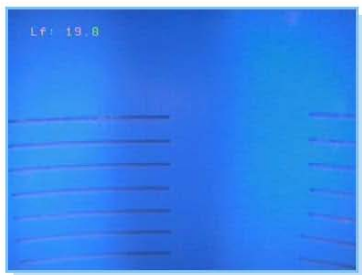


Commune : Saint Joseph (972)

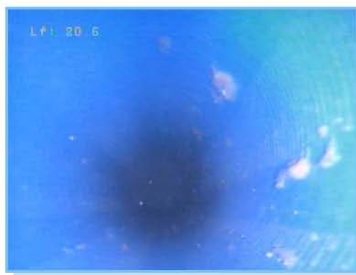
Forage : CBF1

Date d'intervention : 17/05/2010

Examen endoscopique - Les tubes crépinés



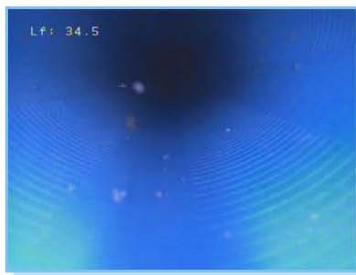
*Tubes crépinés en PVC - diamètre 180 mm
premières ouvertures*



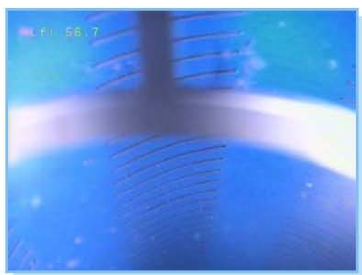
*Tubes crépinés en PVC
présence de dépôts floconneux*



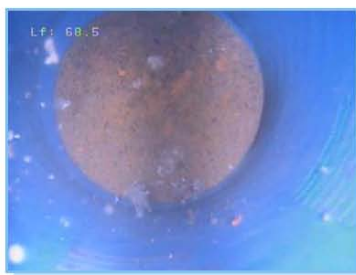
*Tubes crépinés en PVC
diamètre 180 mm*



*Tubes crépinés en PVC
diamètre 180 mm*



*Tubes crépinés en PVC
diamètre 180 mm*



*Base de l'ouvrage
remplie de sédiments meubles*

Annexe 4

Réception du forage CBF2 (rapport Hydro Assistance)

HYDRO ASSISTANCE CARAIBES

Référence rapport : HA_07-2010/10



**COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION
DU CENTRE DE LA MARTINIQUE**

Forage CBF2

972 12 SAINT JOSEPH



RECEPTION D'OUVRAGE

**Examen endoscopique - Diagraphies de production
Test de pompage**



Département de la Martinique

Rapport d'intervention
Mars à Mai 2010

HYDRO ASSISTANCE CARAIBES - 41 Rue de la Concorde - 97200 PORT DE FRANCE - Tél : 05 96 53 57 09 - Fax : 05 96 61 57 85
<http://www.hydro-assistance.fr>
SARL au capital de 7 500 € - R.C.S. Port de France - SIRET 509 208 385 - Code APE 7112 B

HYDRO ASSISTANCE CARAÏBES

Localisation de l'ouvrage



Département : Martinique (972)

Coordonnées Martinique (en mètres) :

Commune : Saint Joseph

$X = 707\,165$ $Y = 1626\,052$ $Z = 353\,m$

Forage : CBF2



Carte IGN : Balata (1/25000)



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF2

CLIENT :	COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE
DATES D'INTERVENTION :	30 mars 2010 au 18 mai 2010
MOTIF D'INTERVENTION :	réception de l'ouvrage
MESURES REALISEES :	▪ examen endoscopique ▪ test de pompage ▪ diagraphies physico-chimiques (température, conductivité) ▪ mesure de flux (micromoulinet)
OBJECTIFS :	▪ contrôle des équipements mis en place ▪ caractérisation du fonctionnement hydrodynamique de l'ouvrage ▪ rendement de l'ouvrage

FORAGE

Département :	Martinique (972)
Commune :	Saint Joseph
Localisation :	lieu-dit "Cœur Bouliki"
Référence cadastrale :	section H - parcelle 19b
Identification :	forage CBF2
Indice BRGM :	1174ZZ0134/CBF2
Date de création :	2010
Profondeur théorique :	76 mètres
Aquifère capté :	lave fissurée/fracturée
Utilisation :	AEP
Coordonnées Martinique (Fort-Desaix) (en mètres) :	
	X = 707 165 Y = 1626 052 Z = + 353 m
Carte IGN :	Balata (1/25000)



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF2

SOMMAIRE

1) SITUATION DU FORAGE	4
2) MOYENS MIS EN ŒUVRE.....	4
3) COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE.....	4
3.1) D'APRES LES DOCUMENTS EXISTANTS.....	4
3.1.1) La foration.....	4
3.1.2) Les équipements.....	5
3.2) D'APRES LES TRAVAUX D'INSPECTION.....	5
4) COUPE GEOLOGIQUE.....	5
5) JOURNAL DES TRAVAUX.....	5
6) EXAMEN ENDOSCOPIQUE.....	6
6.1) LES TUBES PLEINS.....	6
6.2) LES TUBES CREPINES.....	6
7) MESURES.....	7
7.1) LE TEST DE POMPAGE.....	7
7.1.1) Le pompage par paliers.....	7
7.1.2) Le pompage de longue durée.....	7
7.2) LES DIAGRAPHIES PHYSICO-CHIMIQUES EN POMPAGE.....	8
7.2.1) Les profils de température et de conductivité.....	8
7.2.2) La mesure de flux.....	8
8) BILAN.....	9
ANNEXES	



1) SITUATION DU FORAGE

Repère des mesures :	tube en acier - diamètre 210 mm (pour le pompage)
	tube en PVC - diamètre 180 mm (pour la vidéo)
Position des repères :	tube en acier = + 0.81 m/sol
	tube en PVC = + 0.10 m/sol
Niveaux piézométriques :	- 3.65 m/repère (le 01/04/2010)
	- 2.35 m/repère (le 18/05/2010)

2) MOYENS MIS EN ŒUVRE

♦ Examen endoscopique

Caméra numérique couleur à visées axiale et radiale

Réalisé sans pompage : de 0 à 74.60 mètres

♦ Pompages

Pompage par paliers (le 02/04/2010)

Pompe immergée : diamètre 6"

Installée à : 24 m/sol

Débites pompés : 14.4, 28.7, 46.7 et 61.2 m³/h

Pompage longue durée (du 13 au 28 avril 2010)

Pompe immergée : diamètre 6"

Installée à : 24 m/sol

Débites moyens pompés : 39.1 et 52.2 m³/h

♦ Diagraphies de production en pompage ($Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$)

Pompe immergée : diamètre 6"

Installée à : 14 m/sol

Température, conductivité, flux : de 16.90 à 71 mètres

3) COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

3.1) D'APRES LES DOCUMENTS EXISTANTS

3.1.1) La foration

- o de 0 à 70 m : diamètre 245 mm ($9^{n5/3}$)
- o de 70 à 88 m : diamètre 190 mm ($7^{n1/2}$)

3.1.2) Les équipements

- o de 0 à 19 m : tube de nature non précisée, diamètre 180 mm (7^ul/8), espace annulaire cimenté jusqu'à 18 mètres
- o de 19 à 75 m : tube crépiné de nature non précisée, diamètre 180 mm (7^ul/8), espace annulaire gravillonné
- o de 75 à 76 m : tube plein de nature non précisée, diamètre 180 mm (7^ul/8), espace annulaire gravillonné

3.2) D'APRES LES TRAVAUX D'INSPECTION

- o de 0 à 19.10 m : tube en PVC, diamètre 180 mm
- o de 19.10 à 74.60 m : tube crépiné en PVC, diamètre 180 mm

4) COUPE GEOLOGIQUE

- o de 0 à 14 m : alluvions
- o de 14 à 31 m : lave altérée
- o de 31 à 88 m : lave fissurée/fracturée

5) JOURNAL DES TRAVAUX

Dates	Heures	Opérations
30/03/2010	-	Descente de la pompe de test 6" à 24 mètres pour la réalisation des tests de pompage
31/03/2010	-	Mise en place de la sonde de niveau et de la centrale d'acquisition Mise en place de l'alimentation électrique de la pompe de test
01/04/2010	-	Paramétrage du matériel d'acquisition
	12h42	Début du pompage au débit moyen de 14.4 m ³ /h (1 ^{er} palier)
	13h41	Arrêt du pompage - Enregistrement de la remontée du niveau
	14h40	Reprise du pompage au débit moyen de 28.7 m ³ /h (2 ^{ème} palier)
	15h54	Arrêt du pompage - Enregistrement de la remontée du niveau
	16h55	Reprise du pompage au débit moyen de 46.7 m ³ /h (3 ^{ème} palier)
	17h55	Arrêt du pompage - Enregistrement de la remontée du niveau
	18h55	Reprise du pompage au débit moyen de 61.2 m ³ /h (4 ^{ème} palier)
13/04/2010	11h41	Début du pompage de longue durée au débit moyen de 39.1 m ³ /h
	20h18	Arrêt du pompage
19/04/2010	16h46	Reprise du pompage de longue durée au débit moyen de 39.1 m ³ /h
22/04/2010	15h52	Augmentation du débit moyen à 52.2 m ³ /h
25/04/2010	02h52	Arrêt du pompage



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF2

Dates	Heures	Opérations
26/04/2010	15h56	Reprise du pompage au débit moyen de 49.8 m ³ /h
28/04/2010	16h31	Fin du pompage de longue durée
17/05/2010	15h00	Arrivée sur site et mise en place du matériel - Remontée de la pompe de test
	16h30	Départ du site
	-	Réception de l'ouvrage
18/05/2010	08h00	Arrivée sur site
	08h10	Réalisation de l'examen endoscopique sans pompage
	09h00	Descente de la pompe de test 6" à 14 mètres
	10h30	Pompage au débit moyen de 35 m ³ /h
	10h50	Réalisation des diagaphies de production en régime dynamique (température, conductivité et flux) - Pompage au débit moyen de 35 m ³ /h
	11h50	Arrêt du pompage - Remontée de la pompe de test
	13h00	Repli du matériel Départ du site

6) EXAMEN ENDOSCOPIQUE

6.1) LES TUBES PLEINS

Cette partie des équipements a été constatée dans un état mécanique visuel très satisfaisant, présentant absolument aucune trace de désordres ou de vieillissement prématuré.

- de 0 à 1.00 m : le premier mètre de tube plein est marqué de fines traces de dépôts blanchâtres très superficiels.
- de 4.50 à 7.80 m : les parois des tubes présentent un aspect légèrement annelé, vraisemblablement induit par les opérations de cimentation de cette partie de l'espace annulaire des équipements. Cette partie des équipements est totalement exempte de dépôts

6.2) LES TUBES CREPINES

Le sommet de cette seconde partie est atteint à la profondeur de 19.10 mètres avec la position du raccord tube plein/crépine.

- à 19.30 m : le sommet de la zone crépinée proprement-dite est atteint. Il s'agit de crépines à fentes usinées présentant 6 rangées d'ouvertures.
- de 24 à 27 m : des dépôts fins et floconneux, présents en positions éparées, apparaissent au sein des ouvertures des crépines.
- à 74.60 m : la base de l'ouvrage est atteinte au droit d'une section de tube plein. Elle est occupée par des sédiments pulvérulents de couleur rouille.



7) MESURES

7.1) LE TEST DE POMPAGE

7.1.1) Le pompage par paliers

Un test de pompage, constitué de 4 paliers non enchaînés de 1 heure, aux débits moyens respectifs de 14.4, 28.7, 46.7 et 61.2 m³/h, a été effectué le 1^{er} avril 2010.

Ce pompage a permis de calculer la productivité du forage.

Le niveau statique de référence retenu pour calculer les rabattements correspond au niveau piézométrique mesuré au début du test de pompage du 1^{er} avril 2010, soit 3.65 mètres sous le repère (pris à 0.81 mètre au-dessus du sol).

Le pompage (à 1 heure) donne les résultats suivants :

Débits (m ³ /h)	Niveaux dynamiques (m/repère)	Rabattements (m)	Débits spécifiques (m ³ /h/m)
14.4	4.81	1.16	12.41
28.7	6.89	3.24	8.86
46.7	11.10	7.45	6.27
61.2	15.19	11.54	5.30

7.1.2) Le pompage de longue durée

Un pompage de longue durée a été effectué sur cet ouvrage du 13 au 28 avril 2010, mais de manière discontinue. Le tableau présent ci-dessous résume les phases de pompage effectives.

Dates et heures	débits moyens (m ³ /h)	Niveaux dynamiques en fin de pompage (m/repère)
du 13/04/2010 à 11h41 au 13/04/2010 à 20h18	39.6	8.11
du 19/04/2010 à 16h46 au 22/04/2010 à 15h51	38.5	11.69
du 22/04/2010 à 15h52 au 25/04/2010 à 02h52	54.3	15.26 (capteur dénoyé)
du 26/04/2010 à 15h56 au 28/04/2010 à 16h31	49.8	15.26 (capteur dénoyé)



7.2) LES DIAGNOSTICS PHYSICO-CHIMIQUES EN POMPAGE

Cette série de mesure a été réalisée au débit de 35 m³/h, à partir d'un ensemble de sondes accouplées entre elles et disposées sous la pompe de test immergée à la profondeur de 14 mètres au moment de ces mesures.

7.2.1) Les profils de température et de conductivité

Ils traduisent la présence d'une colonne d'eau dynamique qui est affectée par des entrées d'eaux dont les caractéristiques témoignent d'une augmentation de la température et de la minéralisation globale avec la profondeur.

En effet, la thermographie comme le profil de conductivité présentent des allures en escalier décroissant avec des points d'inflexion qui positionnent les profondeurs des principales entrées d'eau à l'intérieur des crépines et approximativement leur origine au sein de la formation.

On notera que la conductivité moyenne des eaux d'exhaure qui est singulièrement faible (126 µS/cm), peut être mise en relation avec un temps de séjour des eaux produites dans la formation relativement court.

Les caractéristiques moyennes de la colonne d'eau sont les suivantes :

- o au début des mesures, à 17 mètres :
 - température : 23.6°C
 - conductivité : 126 µS/cm (corrigée à 25°C)
- o à la base des mesures, à 69.60 mètres :
 - température : 24.6°C
 - conductivité : 258 µS/cm (corrigée à 25°C)

7.2.2) La mesure de flux

Elle a été réalisée au débit moyen de 35 m³/h.

La dépression produite par 20 minutes de pompage (au début de la diagraphie) a permis de répartir la distribution des arrivées d'eau de la manière suivante :

- o 76% du débit sont produits entre 19.30 et 19.70 mètres,
- o 4.8% du débit sont produits entre 19.70 et 33 mètres,
- o 16.6% du débit sont produits entre 33 et 43.10 mètres,
- o 2.6% de débit résiduel sont produits en dessous de la profondeur de 43.10 mètres et très probablement par la zone de production située autour de la profondeur de 63.80 mètres sous le repère.



COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU CENTRE DE LA MARTINIQUE

Saint Joseph (972) - Forage CBF2

8) BILAN

Le niveau piézométrique mesuré le 2 avril 2010, lors de la réalisation du test de pompage par paliers, était situé à 3,65 mètres sous le repère pris au sommet du tube en acier de diamètre 210 mm.

Cet ouvrage est de très bonne facture et le contrôle visuel de ses équipements a mis en évidence la conformité de la coupe technique annoncée et l'absence de désordre visuel.

Seules quelques rares traces de dépôts visibles au droit des ouvertures des crépines ont été observées, principalement entre les profondeurs de 24 et 27 mètres sous le repère.

La base de l'ouvrage a été observée à 74,60 mètres sous le repère.

Le test de pompage réalisé sous la forme de 4 paliers non enchaînés a permis de calculer le débit spécifique du forage et constater la productivité satisfaisante de cet ouvrage avec 5,3 m³/h/m de rabattement au débit de 61,2 m³/h après 1h00 de pompage.

Les diagraphies de production réalisées en pompage au débit de 35 m³/h ont permis de caractériser la colonne d'eau dynamique et de constater notamment une distribution de la production dans l'ouvrage très hétérogène avec 76% des entrées d'eau assurées par 0,40 mètre de hauteur de crépines.

Fait à Talence, le 16 juillet 2010

Karine EUZENAT
Ingénieur ENVIRONNEMENT

Alain CHAPITEAU
Ingénieur HYDROGEOLOGUE

Sébastien DANGOUMAU

ANNEXES

PRESENTATION DU SITE

HYDRO ASSISTANCE CARAÏBES

Présentation du site



Commune : Saint Joseph (972)

Forage : CBF2

Adresse : lieu-dit "Cœur Bouliki"

Réf. cadastrale : section II - parcelle 19b

Vue aérienne



Photographie du site



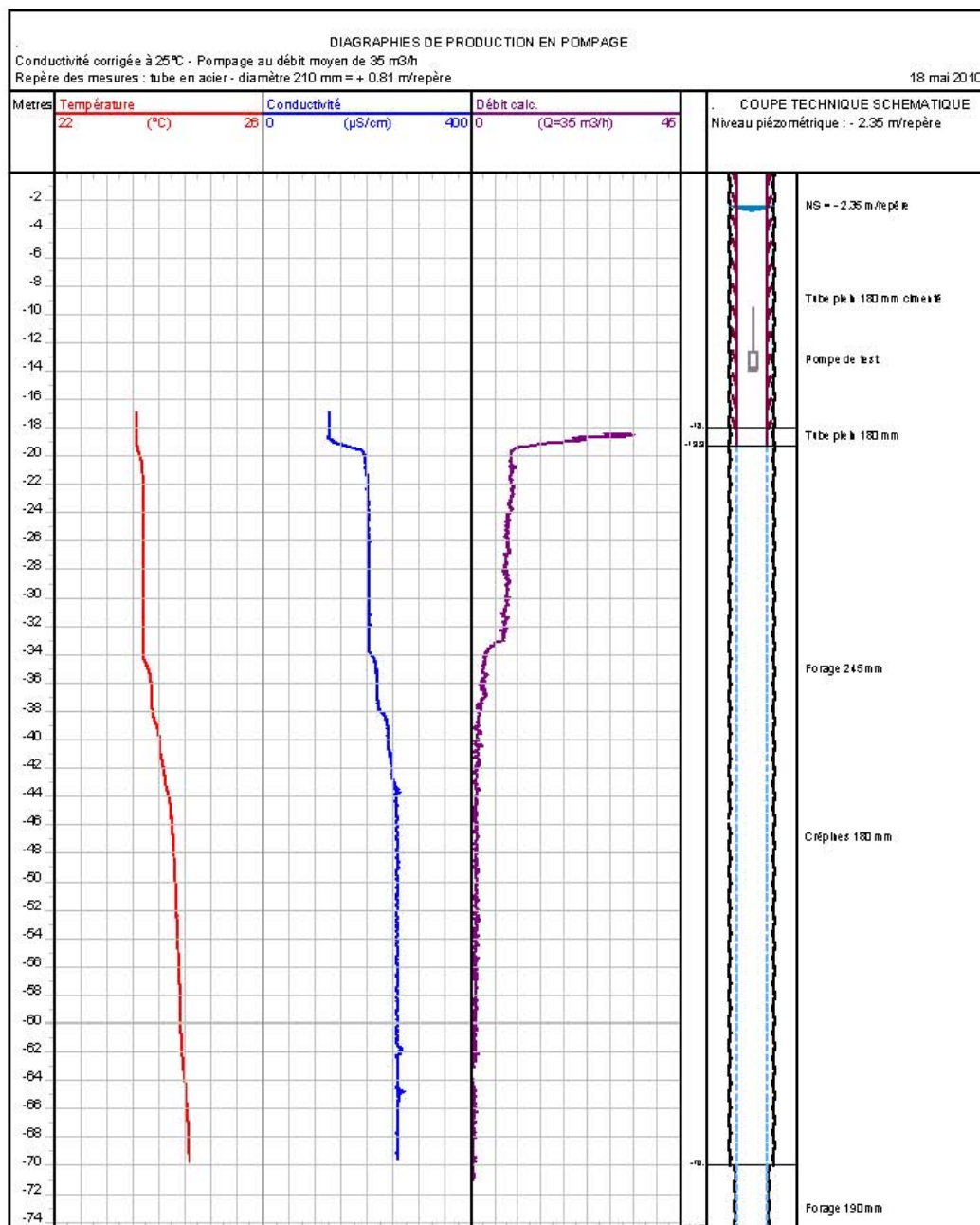
DIAGRAPHIES DE PRODUCTION
COUPE TECHNIQUE

HYDRO ASSISTANCE CARAÏBES



Commune : Saint Joseph (972)

Forage : CBF2



SUIVI DU POMPAGE PAR PALIERS

HYDRO ASSISTANCE CARAÏBES
Suivi du test de pompage par paliers du 1^{er} avril 2010

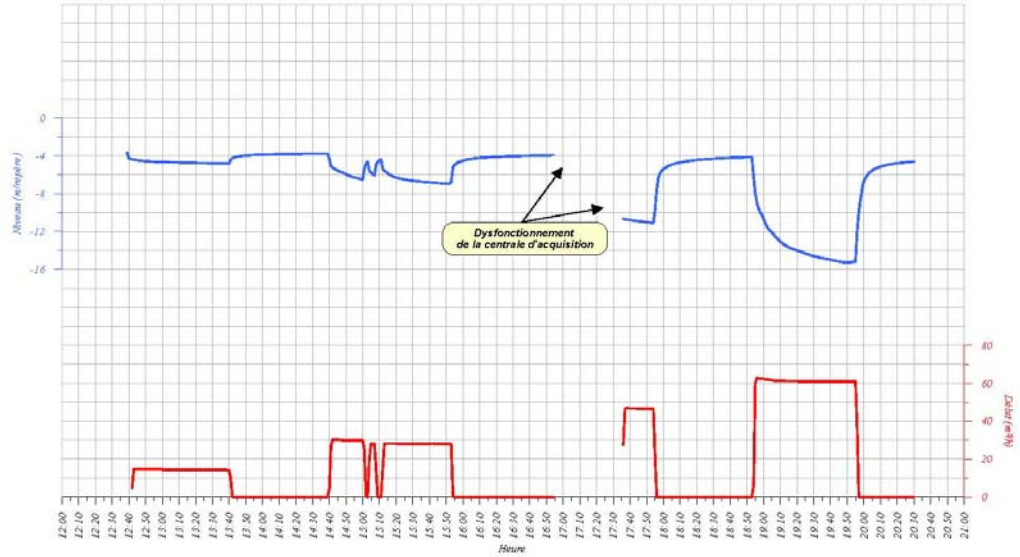


Commune : Saint Joseph (972)

Repère des mesures = sommet du tube en acier - diamètre 210 mm = + 0.81 m/sol

Forage : CBF2

Niveau statique = - 3.63 m/repère



Hydro Assistance Caraïbes

HSA_07-2010/10

SUIVI DU POMPAGE DE LONGUE DUREE

HYDRA ASSISTANCE CARAÏBES
Suivi du pompage de longue durée du 13 au 28 avril 2010

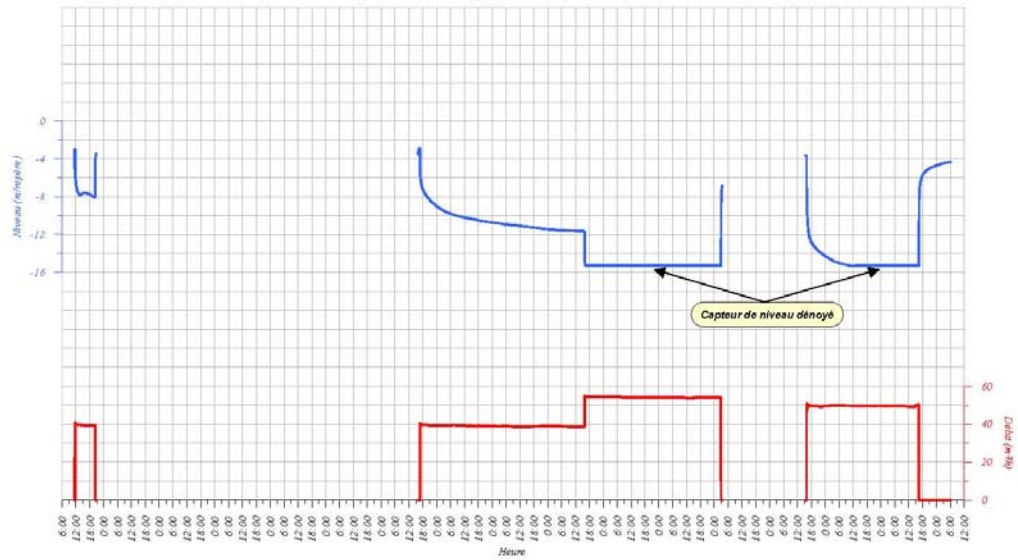


Commune : Saint Joseph (972)

Repère des mesures = sommet du tube en acier - diamètre 210 mm = + 0.81 m/soi

Forage : CBF2

Niveau statique = - 3.63 m/repère



Hydra Assistance Caraïbes

HA_07-201010

EXAMEN ENDOSCOPIQUE



Commune : Saint Joseph (972)

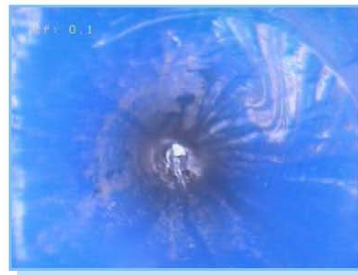
Forage : CBF2

Date d'intervention : 18/05/2010

Examen endoscopique - Les tubes pleins



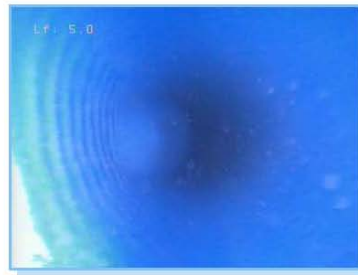
Sommet de l'ouvrage



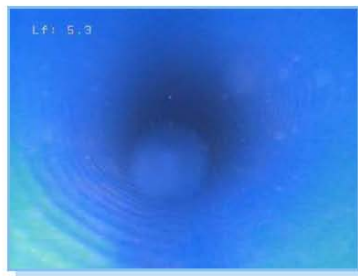
*Tube en PVC - diamètre 180 mm
dépôts superficiels blanchâtres*



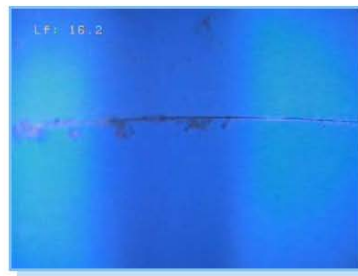
*Tube en PVC - diamètre 180 mm
position du niveau statique*



*Tube en PVC - diamètre 180 mm
aspect annelé des parois*



*Tube en PVC - diamètre 180 mm
aspect annelé des parois*



*Tube en PVC - diamètre 180 mm
raccord entre tubes*



Commune : Saint Joseph (972)

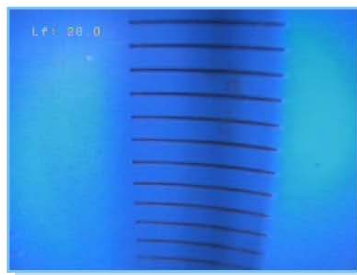
Forage : CBF2

Date d'intervention : 18/05/2010

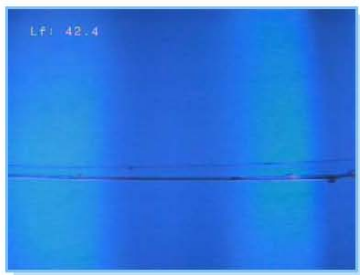
Examen endoscopique - Les tubes crépinés



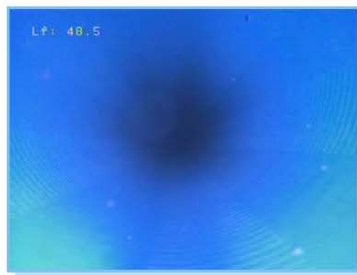
*Tubes crépinés en PVC
diamètre 180 mm*



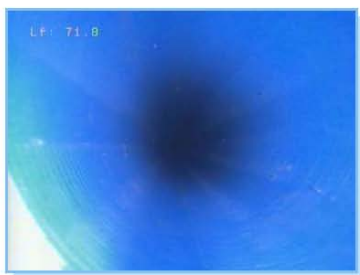
*Tubes crépinés en PVC
diamètre 180 mm*



*Tubes crépinés en PVC
raccord entre tubes*



*Tubes crépinés en PVC
diamètre 180 mm*



*Tubes crépinés en PVC
diamètre 181 mm*



*Base de l'ouvrage
recouverte de sédiments meubles*

Annexe 5

Données brutes relatives au pompage d'essai de longue durée sur CBF2 (suivi manuel)

	TIME	Niveau piézo (prof/rep)	BGL	M3	Delta Volume	Delta t	Q
DESCENTE	19/01/2010 07:30:00	2.53	-2.53	16479.670			
	19/01/2010 07:30:30	6.74	-6.74				
	19/01/2010 07:31:00	6.94	-6.94				
	19/01/2010 07:31:30	7.18	-7.18				
	19/01/2010 07:32:00	7.48	-7.48				
	19/01/2010 07:33:00	7.75	-7.75				
	19/01/2010 07:34:00	8.37	-8.37				
	19/01/2010 07:35:00	8.82	-8.82				
	19/01/2010 07:37:00	9.02	-9.02				
	19/01/2010 07:39:00	9.09	-9.09				
	19/01/2010 07:41:00	9.21	-9.21				
	19/01/2010 07:45:00	9.42	-9.42	16496.530	16.86	0.25	67.44
	19/01/2010 07:50:00	9.72	-9.72				
	19/01/2010 08:00:00	9.74	-9.74	16507.440	10.91	0.25	43.64
	19/01/2010 08:10:00	9.86	-9.86				
	19/01/2010 08:20:00	9.96	-9.96				
	19/01/2010 08:30:00	10.07	-10.07	16528.220	20.78	0.5	41.56
	19/01/2010 09:00:00	10.1	-10.1	16549.770	21.55	0.5	43.1
	19/01/2010 09:30:00	10.21	-10.21	16569.840	20.07	0.5	40.14
	19/01/2010 10:00:00	10.28	-10.28				
	19/01/2010 10:30:00	9.81	-9.81	16609.670	39.83	1	39.83
	19/01/2010 11:30:00	9.7	-9.7	16646.710	37.04	1	37.04
	19/01/2010 13:30:00	9.8	-9.8	16720.280	73.57	2	36.785
	19/01/2010 15:30:00	10.04	-10.04	16793.540	73.26	2	36.63
	19/01/2010 17:30:00	10.1	-10.1	16870.810	77.27	2	38.635
	19/01/2010 19:30:00	10.09	-10.09	16944.270	73.46	2	36.73
	19/01/2010 21:30:00	9.94	-9.94	17019.890	75.62	2	37.81
	19/01/2010 23:30:00	10.21	-10.21	17096.460	76.57	2	38.285
	20/01/2010 01:30:00	9.99	-9.99	17167.276	70.816	2	35.408
	20/01/2010 03:30:00	10	-10	17241.420	74.144	2	37.072
	20/01/2010 05:30:00	9.99	-9.99	17314.330	72.91	2	36.455
	20/01/2010 07:30:00	9.96	-9.96	17387.490	73.16	2	36.58
	20/01/2010 08:30:00	9.96	-9.96				
	20/01/2010 09:30:00	9.96	-9.96	17461.330	73.84	2	36.92
	20/01/2010 10:30:00	9.96	-9.96	17497.580	36.25	1	36.25
	20/01/2010 11:30:00	9.96	-9.96	17534.210	36.63	1	36.63
	20/01/2010 12:30:00	9.96	-9.96	17570.820	36.61	1	36.61
	20/01/2010 13:30:00	9.97	-9.97	17607.400	36.58	1	36.58
	20/01/2010 14:30:00	9.99	-9.99	17643.935	36.535	1	36.535
	20/01/2010 15:30:00	9.99	-9.99	17680.425	36.49	1	36.49
	20/01/2010 16:30:00	9.98	-9.98	17711.237	30.812	1	30.812
	20/01/2010 17:30:00	9.99	-9.99	17753.410	42.173	1	42.173
	20/01/2010 19:30:00	9.95	-9.95	17826.110	72.7	2	36.35
	20/01/2010 21:30:00	9.95	-9.95	17898.725	72.615	2	36.3075
	20/01/2010 23:30:00	10	-10	17972.120	73.395	2	36.6975
	21/01/2010 01:30:00	10.03	-10.03	18045.912	73.792	2	36.896
	21/01/2010 03:30:00	10.02	-10.02	18119.325	73.413	2	36.7065
	21/01/2010 05:30:00	10.04	-10.04	18191.470	72.145	2	36.0725
	21/01/2010 06:30:00	10.04	-10.04	18227.700	36.23	1	36.23
	21/01/2010 07:30:00	10.04	-10.04	18264.160	36.46	1	36.46
	21/01/2010 08:30:00	10.03	-10.03	18300.615	36.455	1	36.455
	21/01/2010 09:30:00	10.01	-10.01	18336.975	36.36	1	36.36
	21/01/2010 10:30:00	9.99	-9.99	18373.325	36.35	1	36.35
	21/01/2010 11:30:00	9.99	-9.99	18409.595	36.27	1	36.27
	21/01/2010 12:30:00	10	-10	18445.890	36.295	1	36.295
	21/01/2010 13:30:00	10.02	-10.02	18482.170	36.28	1	36.28
	21/01/2010 14:30:00	10.04	-10.04	18518.490	36.32	1	36.32
	21/01/2010 15:30:00	10.04	-10.04	18554.772	36.282	1	36.282
	21/01/2010 16:30:00	10.04	-10.04	18592.189	37.417	1	37.417
	21/01/2010 17:30:00	10.02	-10.02	18627.250	35.061	1	35.061
	21/01/2010 19:30:00	9.98	-9.98	18699.430	72.18	2	36.09
	21/01/2010 21:30:00	9.95	-9.95	18771.410	71.98	2	35.99
	21/01/2010 23:30:00	9.92	-9.92	18844.220	72.81	2	36.405
	22/01/2010 01:30:00	9.9	-9.9	18915.785	71.565	2	35.7825
	22/01/2010 03:30:00	9.97	-9.97	18987.722	71.937	2	35.9685
	22/01/2010 05:30:00	9.99	-9.99	19058.990	71.268	2	35.634
	22/01/2010 06:30:00	9.98	-9.98	19094.880	35.89	1	35.89
	22/01/2010 07:30:00	9.98	-9.98	19131.054	36.174	1	36.174
REMONTÉE	22/01/2010 07:30:00	9.98	-9.98				
	22/01/2010 07:30:30	8.08	-8.08				
	22/01/2010 07:31:00	6.96	-6.96				
	22/01/2010 07:31:30	6.92	-6.92				
	22/01/2010 07:32:00	6.26	-6.26				
	22/01/2010 07:33:00	5.33	-5.33				
	22/01/2010 07:34:00	4.96	-4.96				
	22/01/2010 07:35:00	4.7	-4.7				
	22/01/2010 07:37:00	4.26	-4.26				
	22/01/2010 07:39:00	3.99	-3.99				
	22/01/2010 07:41:00	3.88	-3.88				
	22/01/2010 07:45:00	3.71	-3.71				
	22/01/2010 07:50:00	3.59	-3.59				
	22/01/2010 08:00:00	3.42	-3.42				
	22/01/2010 08:10:00	3.32	-3.32				
	22/01/2010 08:20:00	3.25	-3.25				
	22/01/2010 08:30:00	3.22	-3.22				
	22/01/2010 09:00:00	3.12	-3.12				
	22/01/2010 09:30:00	3.08	-3.08				
	22/01/2010 10:00:00	3.03	-3.03				
	22/01/2010 10:30:00	3.02	-3.02				
	22/01/2010 11:00:00	3.01	-3.01				
	22/01/2010 12:00:00	3	-3				
	22/01/2010 13:00:00	2.98	-2.98				
	22/01/2010 14:00:00	2.96	-2.96				
	22/01/2010 15:00:00	2.94	-2.94				
	22/01/2010 16:00:00	2.92	-2.92				
	23/01/2010 14:00:00	2.76	-2.76				
	24/01/2010 07:00:00	2.53	-2.53				
	24/01/2010 13:00:00	2.53	-2.53				

Annexe 6

Modélisations des différents pompages d'essai de longue durée

**CBF1. Modélisation de l'essai réalisé sur l'ouvrage CBF1 du 26 au 29 avril 2010.
Modèles : 'bicouche' et Theis.**

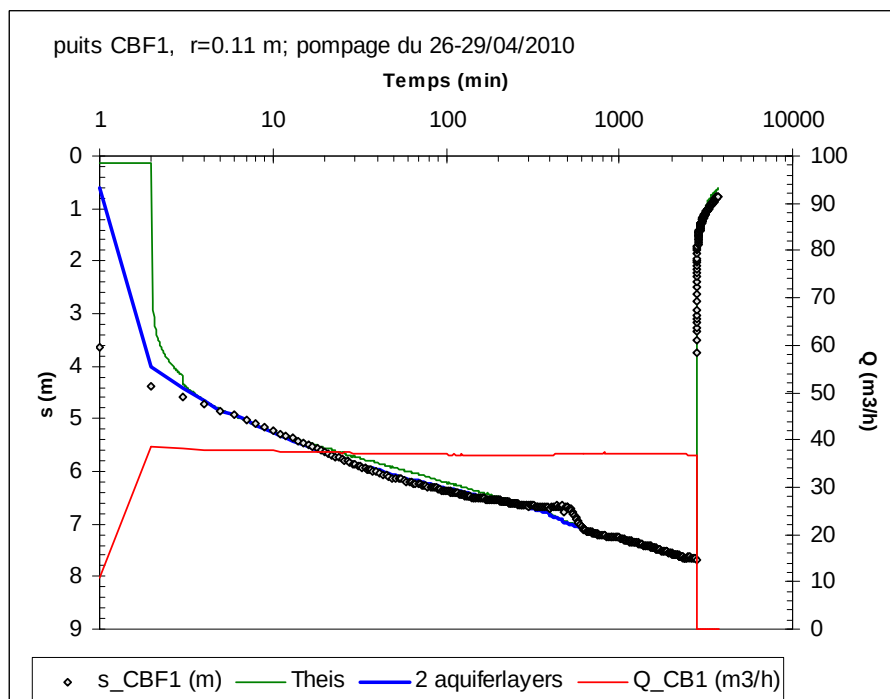
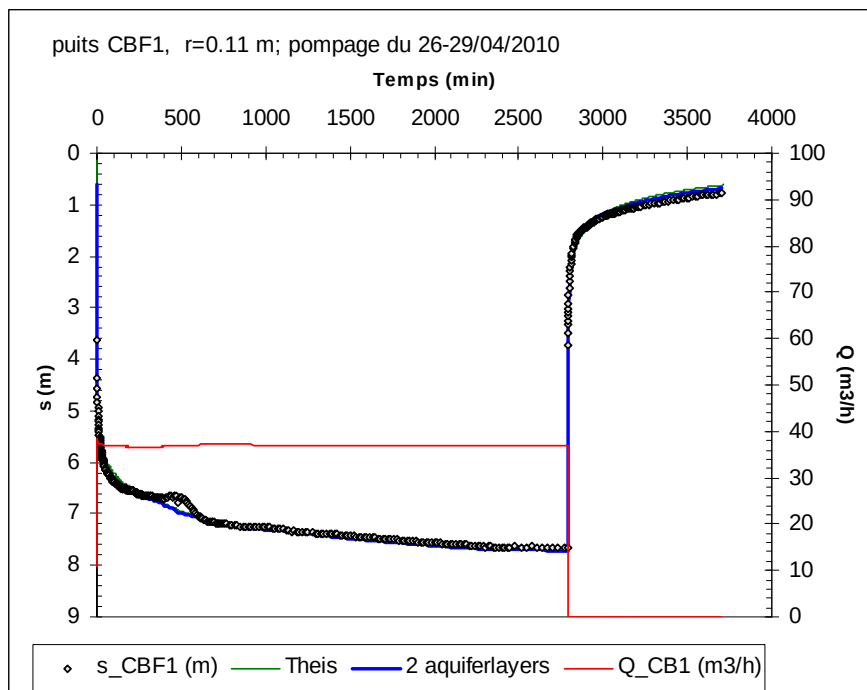
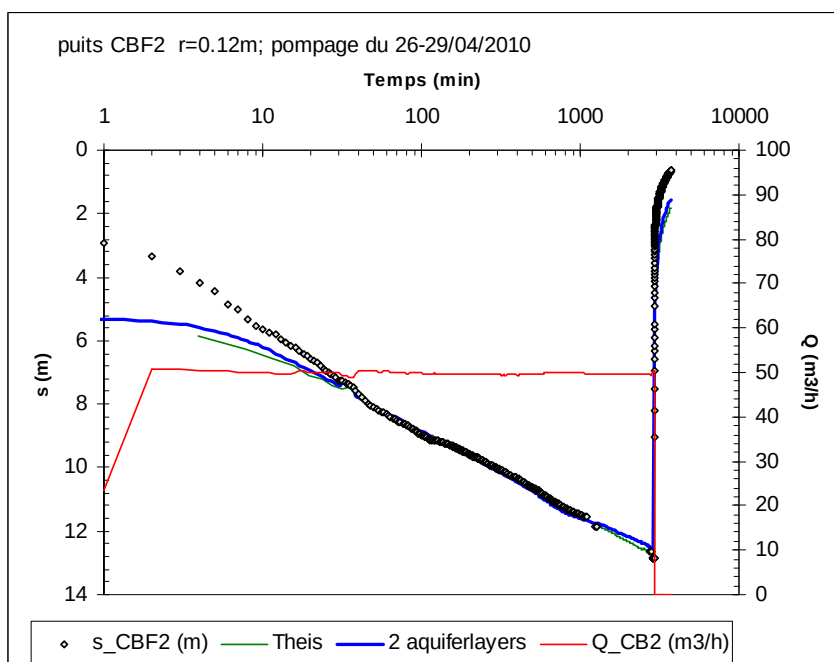
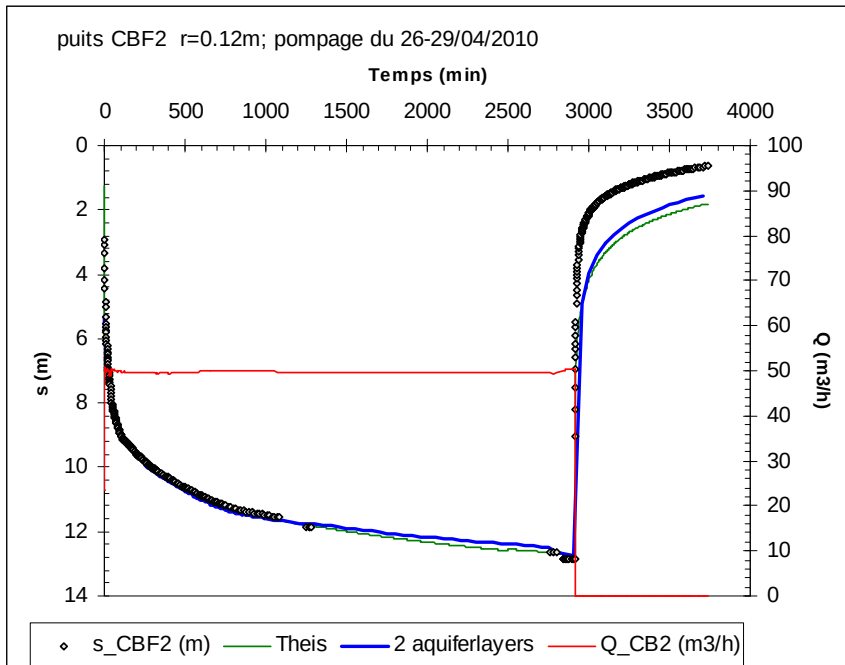
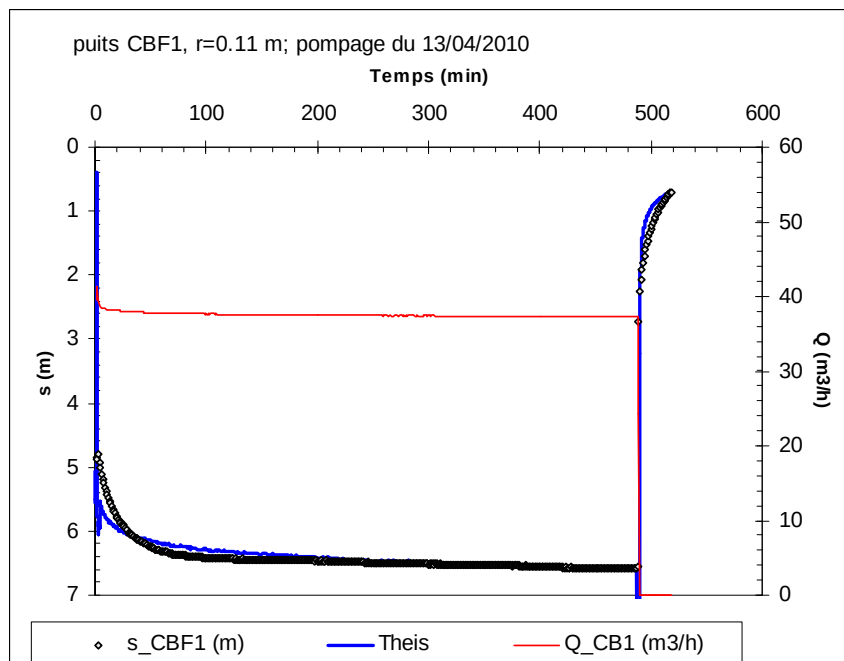


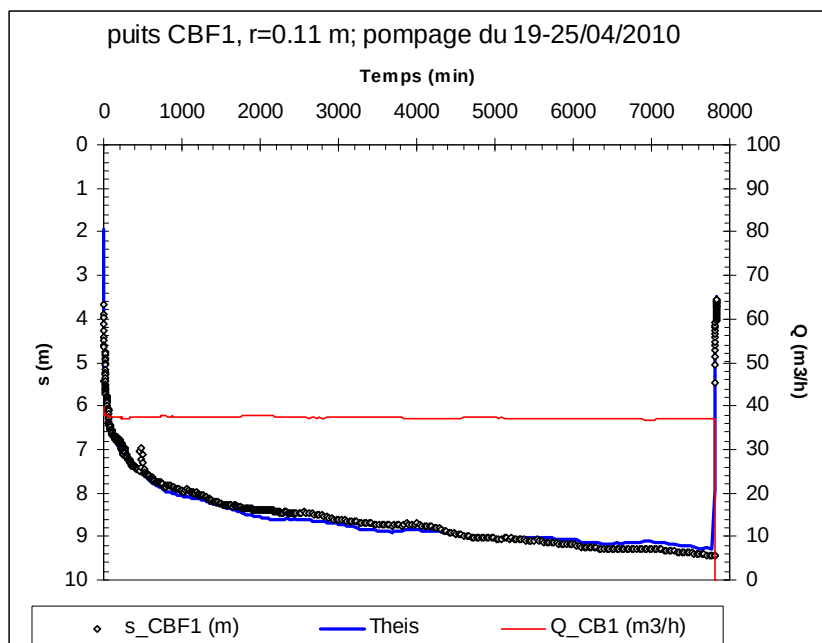
Figure 1 : CBF2. Modélisation de l'essai réalisé sur l'ouvrage CBF2 du 26 au 29 avril 2010. Modèles : 'bicouche' et Theis.



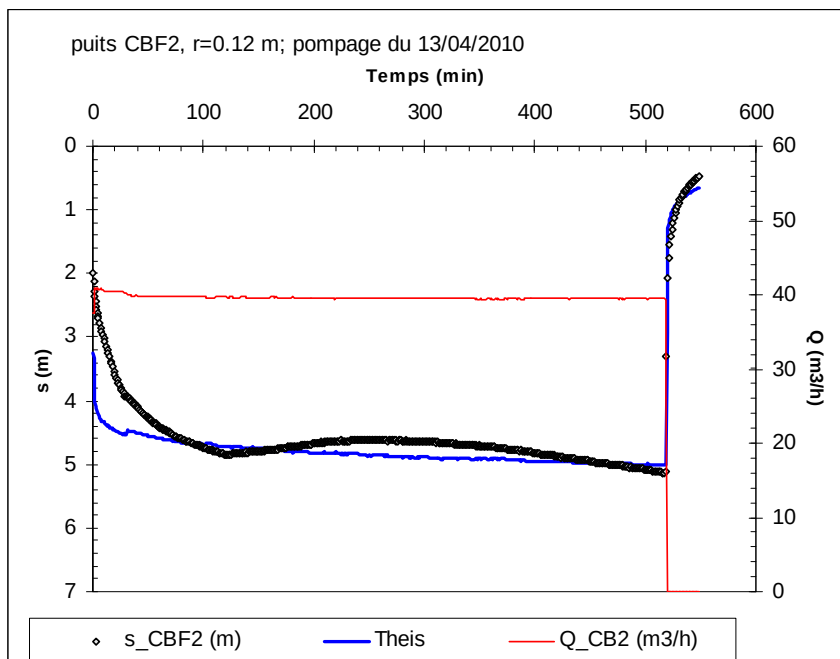
CBF1. Modélisation de l'essai réalisé le 13 avril 2010. Solution : Theis.



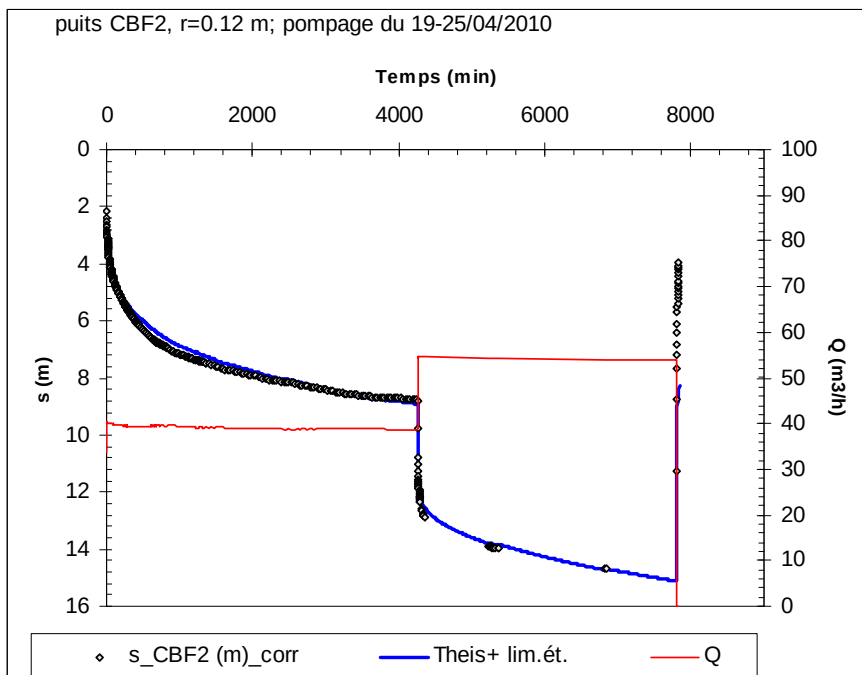
CBF1. Modélisation de l'essai réalisé du 19 au 25 avril 2010. Solution : Theis.



CBF2. Modélisation de l'essai réalisé le 13 avril 2010. Solution : Theis.



**CBF2. Modélisation de l'essai par paliers de débit réalisé du 19 au 25 avril 2010.
Solution : Theis + une limite étanche.**





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

Service géologique régional de Martinique
4 Lot. Miramar
Route Pointe des Nègres
97 200 – Fort-de-France - Martinique
Tél. : 05 96 71 17 70