

Évaluation du débit d'exploitation durable du forage 1177ZZ0181/CNF3 de Case Navire, commune de Schoelcher (Martinique)

Rapport final

BRGM/RP-63077-FR

Janvier 2014

Évaluation du débit d'exploitation durable du forage 1177ZZ0181/CNF3 de Case Navire, commune de Schœlcher (Martinique)

Rapport final

BRGM/RP-63077-FR
Janvier 2014

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2010 RSE 1301

B. Vittecoq, L. Arnaud

Vérificateur :

Nom : B. Dewandel

Date : 16/01/2014

Approbateur :

Nom : J.-C. Audru

Date : 16/01/2014

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

Mots clés : alimentation en eau potable, alluvions, andésite, aquifère volcanique, débit d'exploitation, eau souterraine, forage d'exploitation, milieu fissuré, pompage d'essai, laves, Schœlcher, Martinique, DOM.

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

Vittecoq B., Arnaud L. (2014) – Évaluation du débit d'exploitation durable du forage 1177ZZ0181/CNF3 de Case Navire, commune de Schœlcher (Martinique). Rapport BRGM/RP-63077-FR, 65 pp., 35 ill., 2 ann.

© BRGM, 2014, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

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 de l'interprétation des pompages d'essai conduits en avril 2009 sur le forage CNF3 de Case Navire à Schœlcher.

Ce travail d'interprétation n'avait pu être mené jusqu'alors, aussi, la CACEM a décidé de solliciter le BRGM dans le but d'évaluer le débit d'exploitation durable de l'ouvrage.

L'aquifère capté est de nature andésitique. L'interprétation du pompage d'essai de longue durée (72 heures) a permis de mettre en évidence le fonctionnement d'un aquifère bicouche, entre les andésites fracturées et les brèches, ponces et alluvions sus-jacentes.

Lorsque l'équilibre est atteint entre les venues d'eau de l'aquifère andésitique au droit des crépines et les venues d'eau par drainance, la transmissivité du système aquifère est de l'ordre de $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Par ailleurs, le suivi des niveaux de la rivière Case Navire pendant la durée de l'essai n'a pas révélé d'impact du pompage sur le débit du cours d'eau.

L'évaluation des débits exploitables a été faite pour trois géométries de l'aquifère (sans limite étanche, avec une puis deux limites étanches). Ainsi, l'exploitation envisageable du forage CNF3 pourrait être de l'ordre de $600 \text{ m}^3/\text{j}$ dans le cas d'une exploitation en continu en période de carême (100 jours par an) et comprise entre 460 et $600 \text{ m}^3/\text{j}$ dans le cas d'une exploitation en continu toute l'année (365 jours).

Il est rappelé 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 du forage. Une évaluation plus précise passe par le suivi en continu des débits et des niveaux piézométriques.

Enfin, le niveau piézométrique pouvant approcher la cote altimétrique de 0 m NGM en exploitation, il est important de prévenir tout phénomène d'upconing (remontée localisée d'eau salée) par le suivi régulier de la conductivité électrique de l'eau.

Sommaire

1. Cadre du projet et objectifs	11
1.1. CADRE DU PROJET	11
1.2. OBJECTIFS	13
2. Contextes géologique et hydrogéologique	15
3. Pompages d'essai par paliers de débit	17
3.1. ESSAIS DE PUIITS RÉALISÉS EN 2009 SUR CNF3	17
3.2. COMPARAISON AVEC LES ESSAIS DE PUIITS RÉALISÉS EN 1989 SUR LE FORAGE 1177ZZ0166/CNF2	20
3.3. COMPARAISON AVEC LES ESSAIS DE PUIITS RÉALISÉS EN 2008 SUR LE FORAGE 1177ZZ0178/FLF2	20
4. Pompage d'essai de longue durée	23
4.1. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PUIITS 1177ZZ0181/CNF3	24
4.1.1. Méthodologie	24
4.1.2. Analyse de la courbe des dérivées et élaboration d'un modèle conceptuel de l'aquifère pompé	26
4.1.3. Modélisation de l'essai : estimation des paramètres hydrodynamiques	28
4.2. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0165/CNS4	30
4.3. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0184/PZ2	32
4.4. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0183/PZ1	35
4.5. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0078/CNF1	37
4.6. INTERPRÉTATION DES FLUCTUATIONS DE NIVEAU D'EAU OBSERVÉES DANS LA RIVIÈRE	39
5. Évaluation des débits exploitables au forage CNF3	41

5.1. MÉTHODOLOGIE	41
5.1.1. Rabattement maximal admissible	41
5.1.2. Profondeur préconisée d'installation de la pompe et hauteur manométrique minimale.....	42
5.1.3. Débit d'exploitation durable.....	42
5.2. DÉBIT D'EXPLOITATION AU FORAGE CNF3.....	43
5.2.1. Conditions et hypothèses de calcul.....	43
5.2.2. Débits d'exploitation et éléments de dimensionnement de la pompe	45
5.2.3. Préconisations du BRGM.....	48
6. Conclusion.....	49
7. Bibliographie	51

Liste des illustrations

Illustration 1 : Emplacement des forages sur fond IGN au 1/25000 ^{ème}	12
Illustration 2 : Emplacement des forages : Zoom autour du 1177ZZ0181/CNF3. La rivière Case Navire est colorée en bleu et le chemin d'accès en rouge. Fond Orthophoto ©IGNgéoportail.	12
Illustration 3 : Coupe géologique schématique longitudinale de la vallée de Case Navire	16
Illustration 4 : Localisation des ouvrages et des coupes sur la carte géologique au 1/50000 ^{ème} (Westercamp et al., 1990).	16
Illustration 5 : Caractéristique de l'essai par paliers de débit réalisé sur le forage 1177ZZ0181/CNF3 le 17/04/2009	17
Illustration 6 : Évolution des débits(en rouge) et des rabattements (en bleu) lors de l'essai par paliers de débit sur le forage 1177ZZ0181/CNF3	18
Illustration 7 : Courbe caractéristique du forage 1177ZZ0181/CNF3	18
Illustration 8 : Droite débits spécifiques / rabattements	19
Illustration 9 : Droite débits / rabattements spécifiques	19
Illustration 10 : Pertes de charges b & c	19
Illustration 11 : Synthèse des résultats de l'essai par paliers de débit réalisé le 17/04/2009 au forage 1177ZZ0181/CNF3	20
Illustration 12 : Comparaison des pertes de charge des forages 1177ZZ0181/CNF3 et 1177ZZ0178/FLF2	21
Illustration 13 : Piézomètres suivis et distance entre les piézomètres et le puits de pompage (forage 1177ZZ0181/CNF3).....	23
Illustration 14 : Évolution du débit durant le pompage réalisé entre le 20 et le 23 avril 2009 au forage 1177ZZ0181/CNF3	23
Illustration 15 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des pompages d'essai	25
Illustration 16 : Dérivées des rabattements à la descente et à la remontée, en fonction du temps de pompage	26
Illustration 17 : Représentation schématique des écoulements	27
Illustration 18 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au forage 1177ZZ0181/CNF3	28
Illustration 19 : Interprétation du pompage d'essai de longue durée sur le forage 1177ZZ0181/CNF3, calage selon la solution analytique de Hantush & Jacob (temps courts)	29
Illustration 20 : Interprétation du pompage d'essai de longue durée sur le forage 1177ZZ0181/CNF3, calage selon la solution analytique de Theis (temps longs)	29
Illustration 21 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0165/CNS4 (Modèle Hantush & Jacob)	30
Illustration 22 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0165/CNS4	31

Illustration 23 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 (Modèle Hantush & Jacob et Theis).....	32
Illustration 24 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 (solution analytique de Hantush & Jacob).....	33
Illustration 25 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 (solution analytique de Theis).....	34
Illustration 26 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0183/PZ1 (Modèle Hantush & Jacob).....	35
Illustration 27 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0183/PZ1 (solution analytique de Hantush & Jacob).....	36
Illustration 28 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0078/CNF1.....	37
Illustration 29 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0078/CNF1 (solution analytique de Theis).....	38
Illustration 30 : Variation du niveau d'eau de la rivière Case Navire du 14 au 25 avril 2009.....	39
Illustration 31 : Variation du niveau d'eau de la rivière Case Navire, Zoom entre -9 et +1 cm. Les traits roses correspondent au début et à la fin du pompage sur le forage 1177ZZ0181/CNF3. Le point amont correspond à la courbe rouge et le point aval à la courbe bleu.....	40
Illustration 32 : Chronique piézométrique enregistrée au droit de l'ouvrage 1177ZZ0165/CNF2 (source : www.ades.eaufrance.fr).....	43
Illustration 33 : Solution analytique et paramètres hydrodynamiques utilisés pour les simulations à long terme.....	45
Illustration 34 : Simulation d'exploitation sur 100 jours, pompage 24h/24h au forage CNF3. Trois hypothèses testées : sans limite étanche (H1), avec 1 et 2 limites étanches (H2 et H3).....	46
Illustration 35 : Simulation d'exploitation sur 365 jours, pompage 24h/24h au forage CNF3. Trois hypothèses testées : sans limite étanche (H1), avec 1 et 2 limites étanches (H2 et H3).....	47

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes géologiques et techniques des forages et piézomètres	53
Annexe 2 Pompage par paliers réalisé en 1989 sur le forage 1177ZZ0165/CNF2	63

1. Cadre du projet et objectifs

1.1. CADRE DU PROJET

La ressource en eau potable disponible sur le territoire de la CACEM est globalement déficitaire en période de carême. Ainsi, dans le but de renforcer son réseau d'alimentation en eau potable, la CACEM a engagé plusieurs programmes de recherche d'eau souterraine sur les points clés de son territoire.

À ce titre, l'aquifère de Case Navire à Schoëlcher a fait l'objet de nombreuses recherches depuis les années 70, mais sans donner lieu pour l'instant à une mise en exploitation des ouvrages réalisés.

La CACEM avait confié en 2006 au BRGM l'évaluation du potentiel d'exploitation du forage 1177ZZ0078/CNF1. Des pompages d'essai avaient été réalisés et ont montré qu'un débit optimal d'exploitation à 35 m³/h était envisageable ; résultats ont été synthétisés dans le rapport BRGM/RP-55458-FR. Ce dernier rapport synthétise également l'ensemble des travaux et forages ayant été entrepris dans la vallée de Case Navire.

Afin de poursuivre la mise en exploitation de cet aquifère, la Régie communautaire de l'eau et de l'assainissement ODYSSI a souhaité engager la réhabilitation du second site de pompage : le forage 1177ZZ0165/CNF2 situé 400 m en amont. Cependant, compte tenu de sa vétusté, cet ouvrage a été rebouché et un nouvel ouvrage, le forage 1177ZZ0181/CNF3 a été réalisé à quelques mètres.

Trois piézomètres ont également été réalisés en février et mars 2009, à la demande de l'hydrogéologue agréé :

- un piézomètre 1177ZZ0183/PZ1 de 10.5 m de profondeur situé à 18 m au sud-ouest du forage 1177ZZ0181/CNF3, soit entre le forage CNF3 et la rivière Case Navire ;
- un piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 de 43 m de profondeur situé à 20 m au nord du forage 1177ZZ0181/CNF3 ;
- un piézomètre 1177ZZ0185/PZ3 de 13 m de profondeur situé à 10 m au nord du forage 1177ZZ0078/CNF1, soit entre le forage CNF1 et la rivière Case Navire.

Des pompages par paliers de débit et un pompage de 72 heures ont ensuite été réalisés en avril 2009 sur CNF3.

L'illustration 1 et l'illustration 2 permettent de localiser l'ensemble des forages et piézomètres implantés dans la basse vallée de la Case Navire.

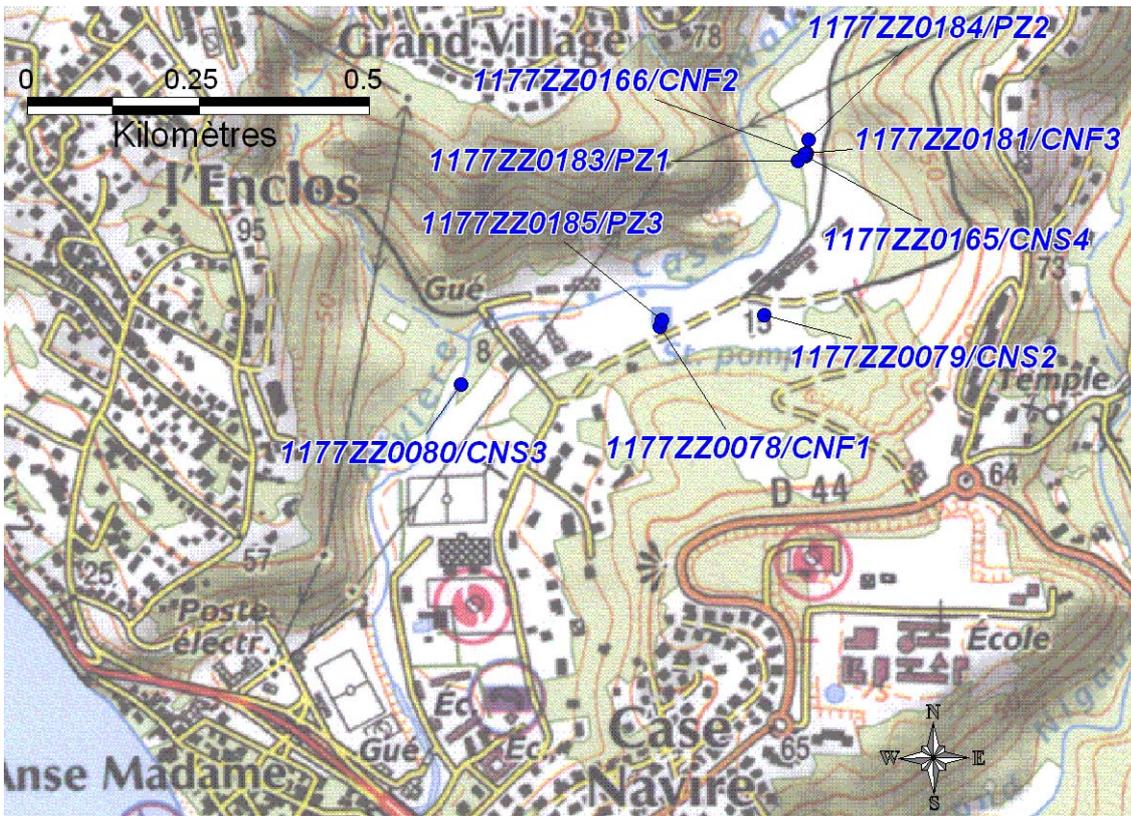


Illustration 1 : Emplacement des forages sur fond IGN au 1/25000^{ème}

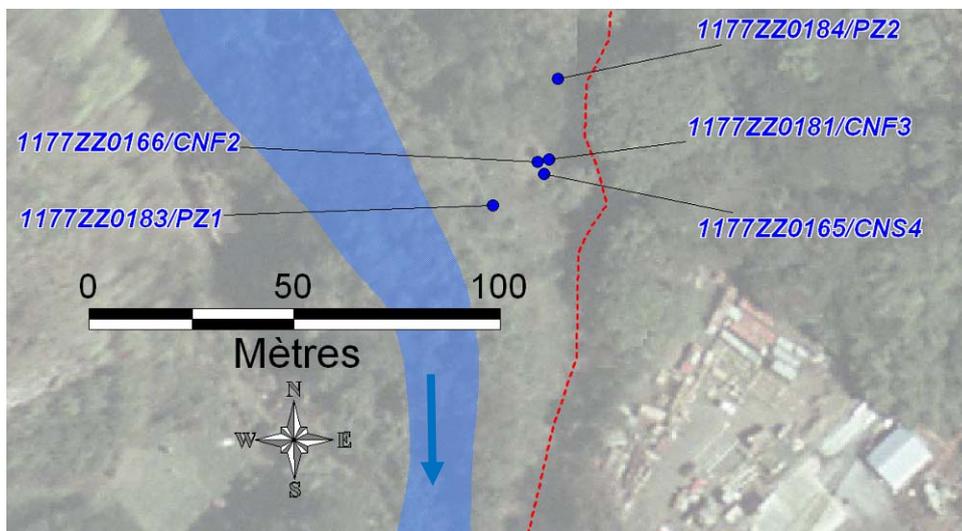


Illustration 2 : Emplacement des forages : Zoom autour du 1177ZZ0181/CNF3. La rivière Case Navire est colorée en bleu et le chemin d'accès en rouge. Fond Orthophoto ©IGNgéoportail.

1.2. OBJECTIFS

Les objectifs des pompages d'essai mis en œuvre sur le forage CNF3 sont les suivants :

- tester l'ouvrage *via* des pompages par paliers de débit et déterminer sa courbe caractéristique ;
- déterminer les caractéristiques hydrodynamiques et géométriques de l'aquifère *via* un pompage d'essai de longue durée (72h) ;
- améliorer les connaissances du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère, et notamment les relations entre les forages et la rivière Case Navire ;
- réaliser plusieurs scénarios d'exploitation sur la base des schémas d'exploitation prédéfinis par la CACEM (Cf. § 5).

L'interprétation des pompages d'essai n'ayant pu être réalisée jusqu'alors, la CACEM a sollicité le BRGM dans ce sens.

2. Contextes géologique et hydrogéologique

Une synthèse des données géologiques disponibles sur le secteur de Case Navire a été réalisée par Ollagnier et al. (2007) dans le rapport BRGM/RP-55458-FR. L'ensemble des logs géologiques disponibles dans le secteur est reporté en Annexe 1.

Afin de capitaliser les coupes géologiques levées suite à la réalisation du forage 1177ZZ0181/CNF3 et des 3 piézomètres 1177ZZ0183/PZ1, 1177ZZ0184/PZ2 et 1177ZZ0185/PZ3, la coupe géologique schématique longitudinale de la vallée de Case Navire a été mise à jour (Illustration 3), la localisation de cette coupe ainsi que celle des forages étant rappelé sur la carte géologique (Illustration 4).

Le secteur est ainsi caractérisé, de haut en bas, par :

- des alluvions hétérogènes avec des passées sableuses, quartzeuses, argileuses et des blocs de toutes tailles. Ces alluvions ont une épaisseur de 10 à 15 m dans la partie amont et d'environ 30 m dans la partie aval ;
- des ponces bréchiques beiges, à blocs d'andésite ;
- et des andésites fissurées et fracturées.

Un premier aquifère est constitué par les alluvions. Il est notamment capté par les piézomètres 1177ZZ0183/PZ1, 1177ZZ0185/PZ3 et par le forage 1177ZZ0078/CNF1. Les mesures de flux au micromoulinet réalisées sur ce forage en 2009 ont, en effet, montré que les arrivées d'eau au droit de CNF1 se situent principalement à 10 m de profondeur. Cet aquifère serait en relation hydraulique avec la rivière, celle-ci alimentant la nappe lors des pompages. (Cf. pompage d'essai au CNF1 ; Ollagnier et al., 2007).

Le second aquifère est constitué par les andésites fissurées et fracturées. Il est notamment capté par les piézomètres 1177ZZ0165/CNS4 et 1177ZZ0184/PZ2 et par le forage 1177ZZ0181/CNF3.

L'objectif du pompage d'essai de longue durée réalisé sur le forage 1177ZZ0181/CNF3 est d'améliorer la compréhension des écoulements au sein des andésites et les relations éventuelles entre les deux aquifères, et d'estimer l'éventuel impact des pompages sur la rivière Case Navire.

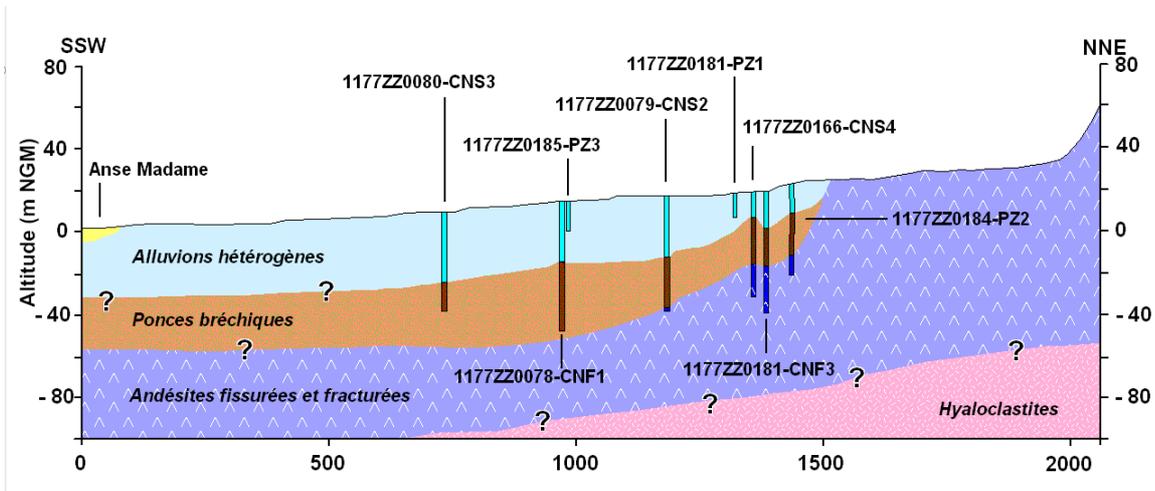


Illustration 3 : Coupe géologique schématique longitudinale de la vallée de Case Navire

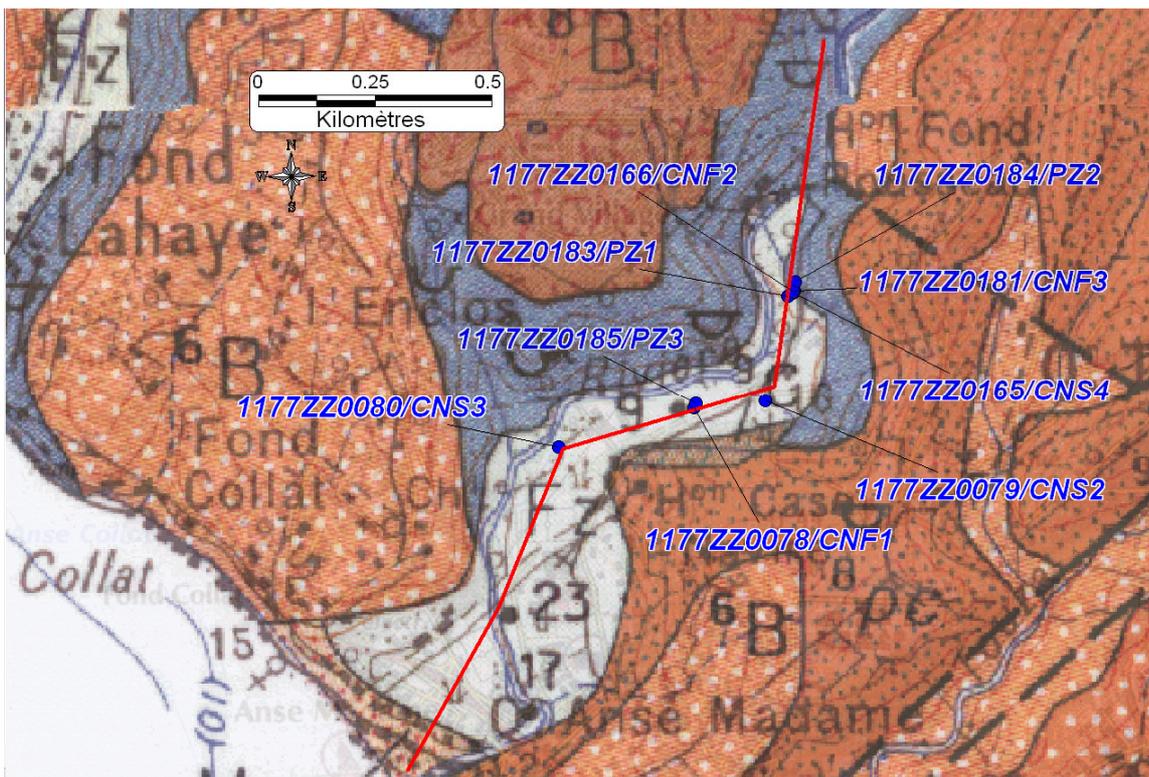


Illustration 4 : Localisation des ouvrages et des coupes sur la carte géologique au 1/50000^{ème} (Westercamp et al., 1990).

3. 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 (Q) 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 pertes de charge linéaires 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 charges quadratiques 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) et 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, et donc la réalisation d'autres essais par paliers, permet de juger du vieillissement d'un forage.

3.1. ESSAIS DE PUIITS RÉALISÉS EN 2009 SUR CNF3

Quatre paliers de débit ont été réalisés le 17/04/2009 sur le forage 1177ZZ0181/CNF3. Ils ont duré une heure chacun et ont été suivis d'un arrêt de pompage d'une heure (Illustration 5). Le niveau d'eau statique dans le forage avant le pompage était de 3.85 m NGM.

L'évolution des rabattements est présentée sur l'illustration 6.

Paliers de débit (m ³ /h)	Temps de pompage (minutes)	Temps de remontée (minutes)	Rabattement final (m)
10.0	60	60	2.64
25.0	60	60	7.90
40.0	60	60	13.49
52.0	60	90	18.90

Illustration 5 : Caractéristique de l'essai par paliers de débit réalisé sur le forage 1177ZZ0181/CNF3 le 17/04/2009

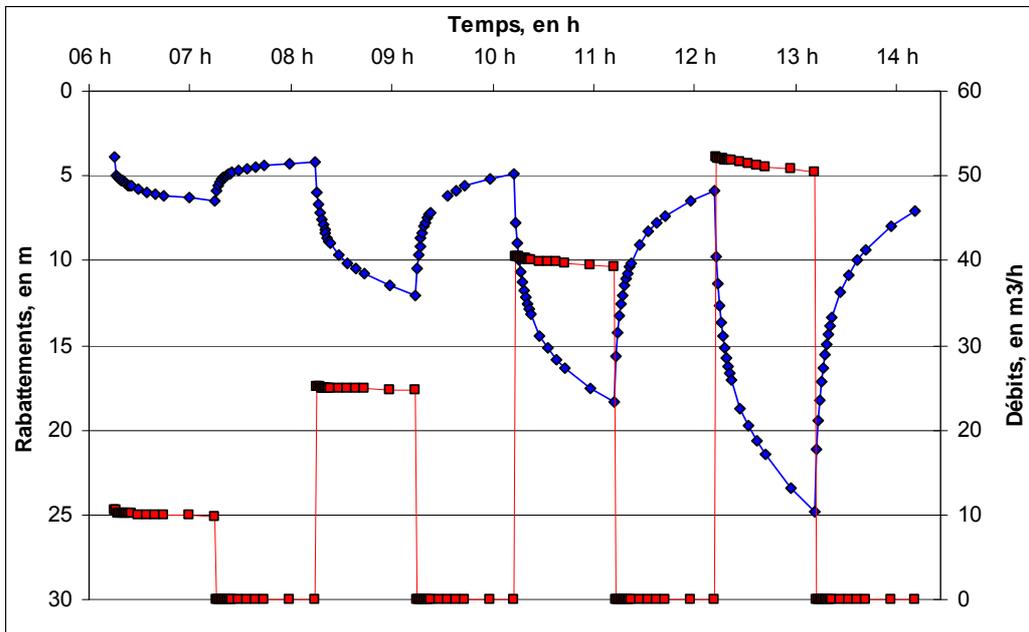


Illustration 6 : Évolution des débits(en rouge) et des rabattements (en bleu) lors de l'essai par paliers de débit sur le forage 1177ZZ0181/CNF3

L'illustration 7 représente la courbe caractéristique de l'essai par paliers de débit. Cette courbe est à considérer comme une véritable fiche d'identification de l'ouvrage. Elle sera utilisée ultérieurement pour suivre l'état de l'ouvrage (notamment développement et colmatage) en fonction de l'exploitation de l'ouvrage (vieillesse).

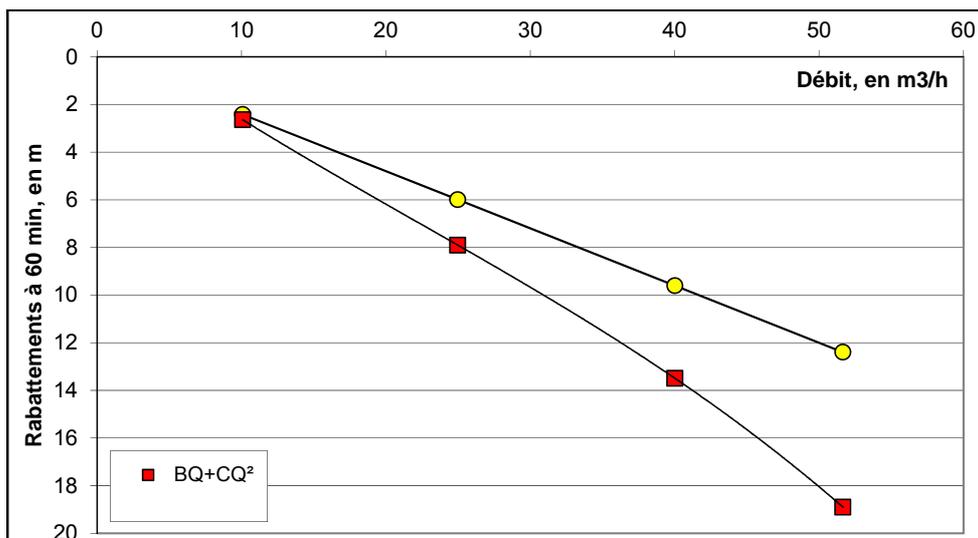


Illustration 7 : Courbe caractéristique du forage 1177ZZ0181/CNF3

La relation débits spécifiques/rabattements, représentée par une droite inclinée (cf. Illustration 8) permet de calculer le débit spécifique relatif (ou débit constant pompé déterminant un rabattement unitaire à la fin d'un palier de débit) de 3.9 m³/h.m.

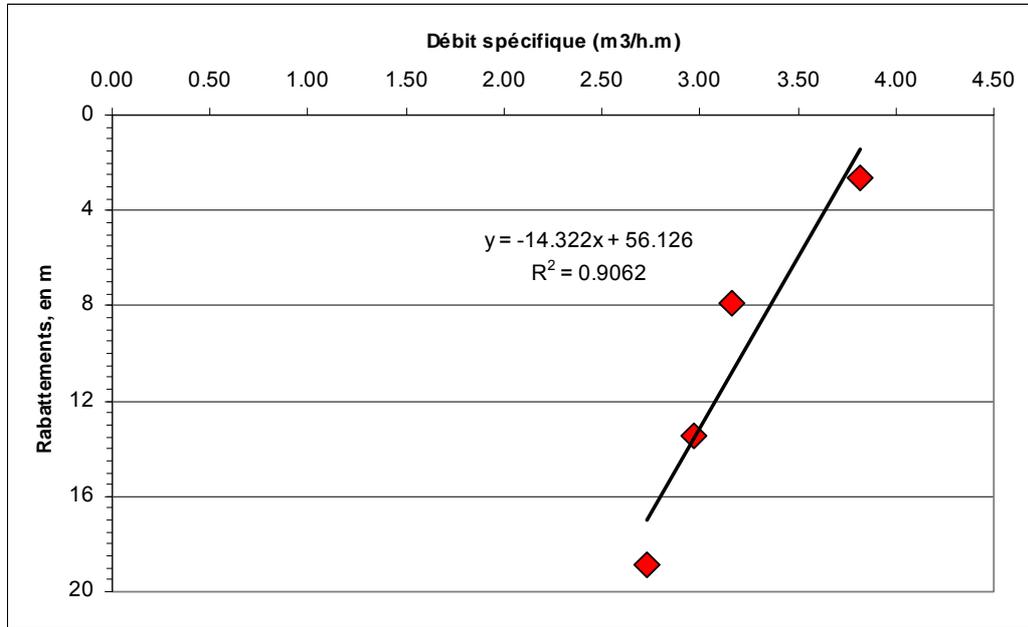


Illustration 8 : Droite débits spécifiques / rabattements

La droite débits/rabattements spécifiques (cf. Illustration 9) permet de déterminer les pertes de charges (coefficients B & C, cf. Illustration 10).

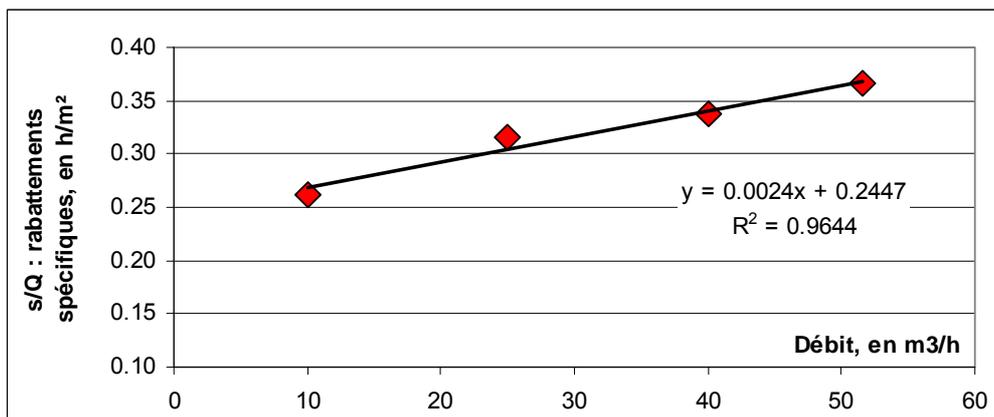


Illustration 9 : Droite débits / rabattements spécifiques

B	0.24 h/m²	880 m/(m³/s)
C	2.4 10⁻³ m/(m³/h)²	31 000 m/(m³/s)²

Illustration 10 : Pertes de charges b & c

L'illustration 11 ci-dessous synthétise les résultats de ces essais par paliers de débits. Les coefficients de pertes de charges B & C ont été ajustés à l'aide du logiciel Winsape développé par le BRGM.

Débits (m ³ /h)	Rabattement final (m)	Débit spécifique (m ³ /h.m)	Rabattement spécifique s/Q (h/m ²)	"B" linéaires (s/m ²)	"C" quadratiques (s ² /m ⁵)
10	2.64	3.82	0.26	880	31 000
25	7.9	3.16	0.32		
40	13.49	2.97	0.34		
52	18.9	2.73	0.37		

Illustration 11 : Synthèse des résultats de l'essai par paliers de débit réalisé le 17/04/2009 au forage 1177ZZ0181/CNF3

3.2. COMPARAISON AVEC LES ESSAIS DE PUIITS RÉALISÉS EN 1989 SUR LE FORAGE 1177ZZ0166/CNF2

D'après les données disponibles (Rapport R34434 ANT 4S 92), un essai de puits (4 paliers) aurait été réalisé le 30 octobre 1989. Les durées des paliers seraient comprises entre 120 et 2880 minutes et les débits entre 33.3 et 39.3 m³/h ; le rabattement final serait de 18.68 m. Le détail de ces essais est présenté en Annexe 2.

Cet ancien essai n'est pas comparable avec celui réalisé le 17/04/2009 sur le forage 1177ZZ0181/CNF3. En effet, l'essai de 1989 sur le 1177ZZ0165/CNF2 n'a pas été réalisé dans les règles de l'art, les paliers n'ayant pas la même durée, et les données de rabattements intermédiaires n'ayant pas été archivées. La faible gamme de débit investiguée ne permet également pas de bien appréhender la courbe caractéristique de l'ouvrage.

3.3. COMPARAISON AVEC LES ESSAIS DE PUIITS RÉALISÉS EN 2008 SUR LE FORAGE 1177ZZ0178/FLF2

Des pompages par paliers de débit ont été réalisés en 2008 sur le forage 1177ZZ0178/FLF2 (Rapport BRGM/RP-55728-FR, Vittecoq et al, 2008). Ce forage est situé sur la commune de Schœlcher à Fond Lahaye, à 2.5 km du forage 1177ZZ0181/CNF3. Ces deux forages captent les mêmes andésites 2 α , ont été réalisés dans les mêmes conditions et possèdent des diamètres et des équipements similaires.

La principale différence est que l'espace annulaire du forage 1177ZZ0178/FLF2 est comblé par un massif de gravier tandis que celui du forage 1177ZZ0181/CNF3 a été laissé en trou nu. Il a été décidé de ne pas mettre de massif gravier car le trou se tenait

suffisamment dans les andésites. Ceci a notamment permis de minimiser les pertes de charges.

L'illustration 12 compare les rabattements observés lors des pompages par paliers de débit sur ces deux ouvrages. Les pertes de charges linéaires sont identiques, tandis que les pertes de charges quadratiques sont deux fois plus faibles dans le forage 1177ZZ0181/CNF3. L'absence de massif filtrant a permis, semble-t-il, de réduire les pertes de charges quadratiques.

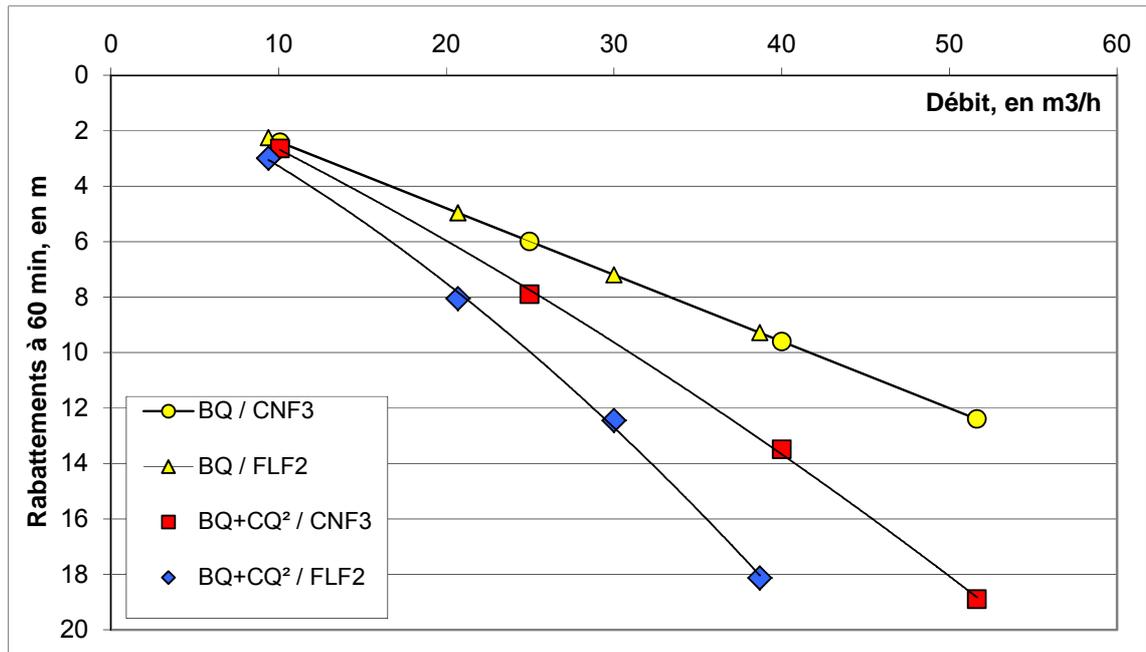


Illustration 12 : Comparaison des pertes de charge des forages 1177ZZ0181/CNF3 et 1177ZZ0178/FLF2

4. Pompage d'essai de longue durée

Un pompage d'essai de 72 heures a été réalisé entre le 20 avril 2009 (11h30) et le 23 avril 2009 (11h30). Les niveaux d'eau ont été suivis dans le puits de pompage ainsi que dans quatre piézomètres (Illustration 13) et en deux points de la rivière Case Navire (amont et aval du forage).

Code BSS	Désignation	Distance au forage CNF3 (m)	Aquifère capté
1177ZZ0078	CNF1	350	Ponces
1177ZZ0183	PZ1	18	Alluvions
1177ZZ0184	PZ2	20	Andésite
1177ZZ0166	CNS4	4	Alluvions + ponces

Illustration 13 : Piézomètres suivis et distance entre les piézomètres et le puits de pompage (forage 1177ZZ0181/CNF3)

L'essai de 72 h a été conduit à un débit moyen de 24.7 m³/h. Le débit a été réglé initialement à 25.7 m³/h, et s'est progressivement stabilisé à 24.7 m³/h.

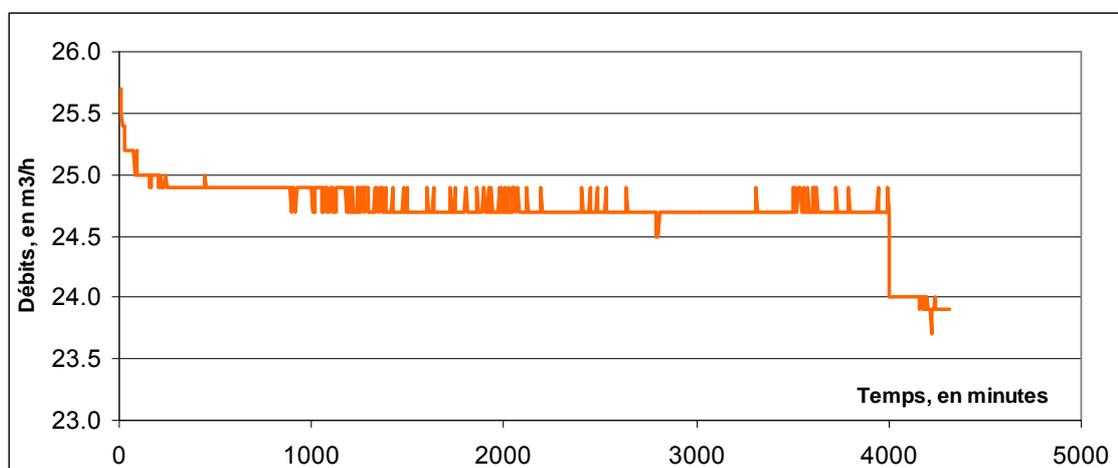


Illustration 14 : Évolution du débit durant le pompage réalisé entre le 20 et le 23 avril 2009 au forage 1177ZZ0181/CNF3

4.1. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PUIITS 1177ZZ0181/CNF3

4.1.1. Méthodologie

La méthodologie d'interprétation mise en œuvre pour interpréter le pompage d'essai réalisé sur le forage CNF3 à Case Navire est décrite dans l'illustration 15.

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 de lave, 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 pompages d'essai 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 Wurstner, 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 ISAPE, développé par le BRGM. Ce dernier 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).

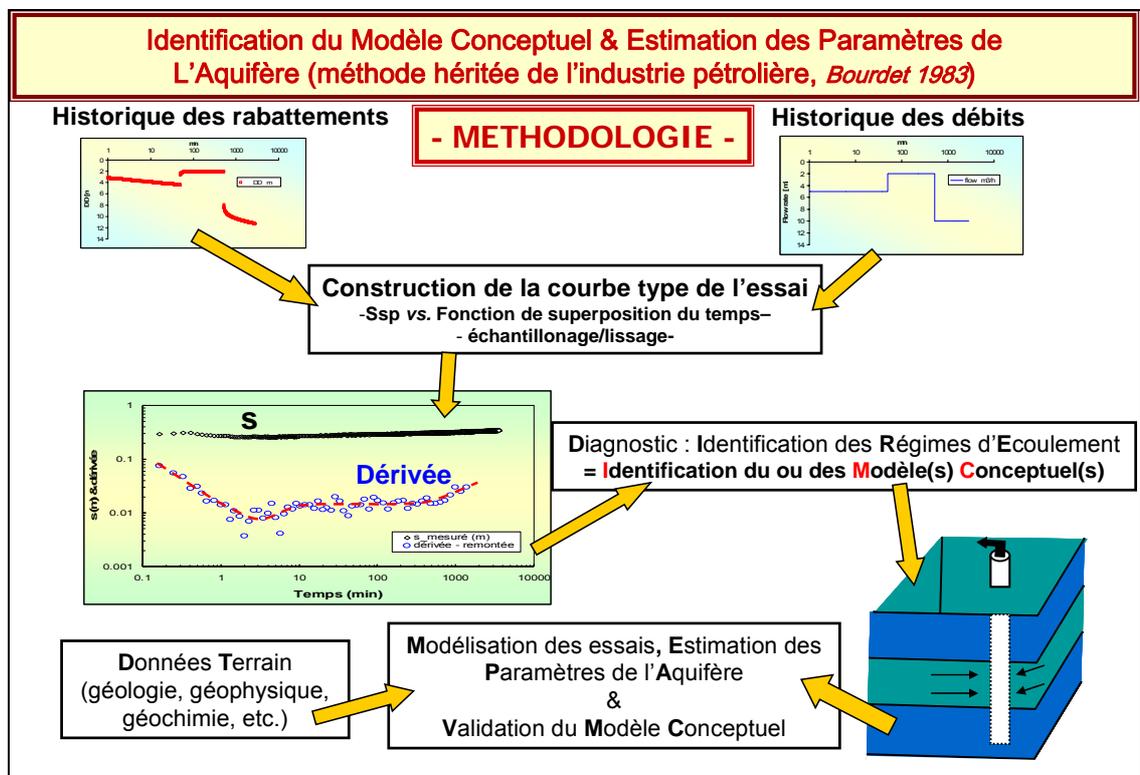


Illustration 15 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des pompages d'essai

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

La succession des régimes d'écoulements au forage 1177ZZ0181/CNF3 (cf. Illustration 16), calculée à la descente et à la remontée montre :

- 1- de 2 à 100 minutes : un plateau de la dérivée indiquant un écoulement pseudo-permanent (écoulement radial autour du puits). La valeur du plateau permet d'estimer la transmissivité du milieu à $2.73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$;
- 2- de 100 à 1000 minutes (soit environ 17 heures) : une chute de la dérivée avec une pente négative (≈ -1), caractéristique d'un effet de drainance ;
- 3- au-delà de 1000 minutes : un plateau de la dérivée indiquant à nouveau un état pseudo-permanent (écoulement radial ou pseudo-radial autour du puits) et un équilibre entre les venues d'eau de l'aquifère et les venues d'eau par drainance. La valeur du plateau permet d'estimer la transmissivité du milieu à $1.36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

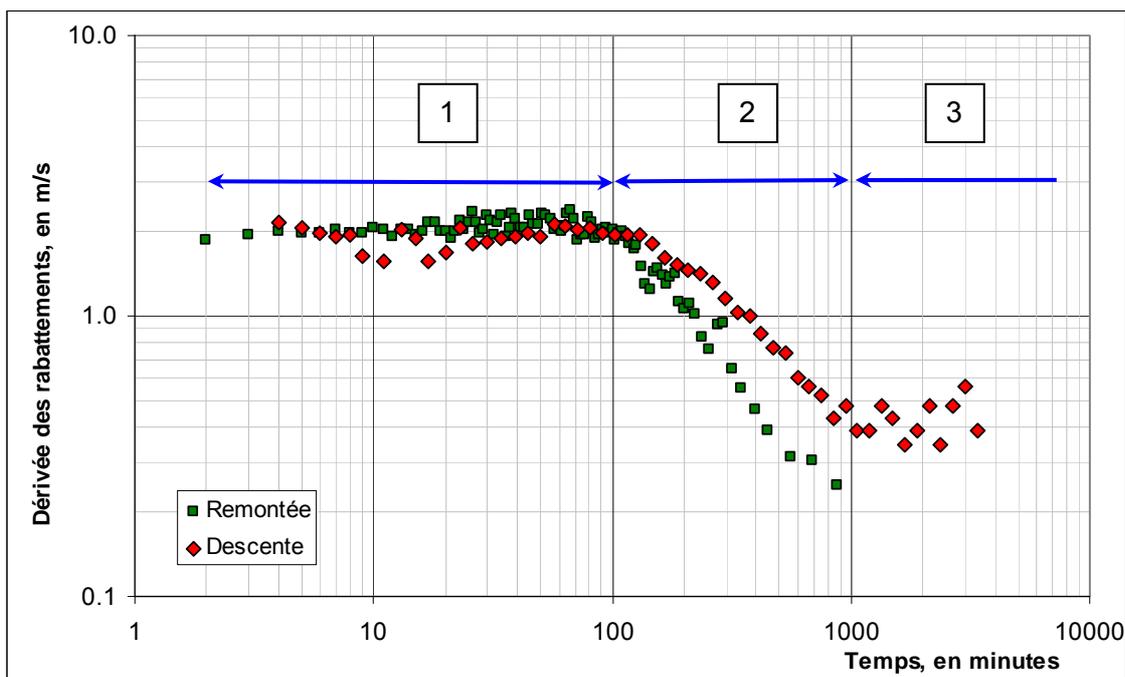


Illustration 16 : Dérivées des rabattements à la descente et à la remontée, en fonction du temps de pompage

Le comportement hydraulique du pompage au forage 1177ZZ0181/CNF3 est donc caractéristique d'un puits situé dans un aquifère bicouche où les deux aquifères sont séparés par un niveau semi-perméable provoquant des effets de drainance et le puits ne capte que la partie inférieure du système (Illustration 17).

L'illustration 17 permet de schématiser la succession des écoulements mis en évidence : écoulement radial (A) de 2 à 100 minutes, drainance (B) de 100 à 1000 minutes et écoulement pseudo-radial (C) au delà de 1000 minutes.

La formation bleue correspondrait aux différentes venues d'eau observées au sein des andésites fissurées et fracturées 2α et la formation orange aux brèches, ponces et alluvions sus-jacentes. Selon le schéma hydraulique préalablement défini, la transmissivité des andésites est estimée à $2.73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, et celle des formations sus-jacentes à environ $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le système réagit ainsi comme un aquifère multicouches interconnectées.

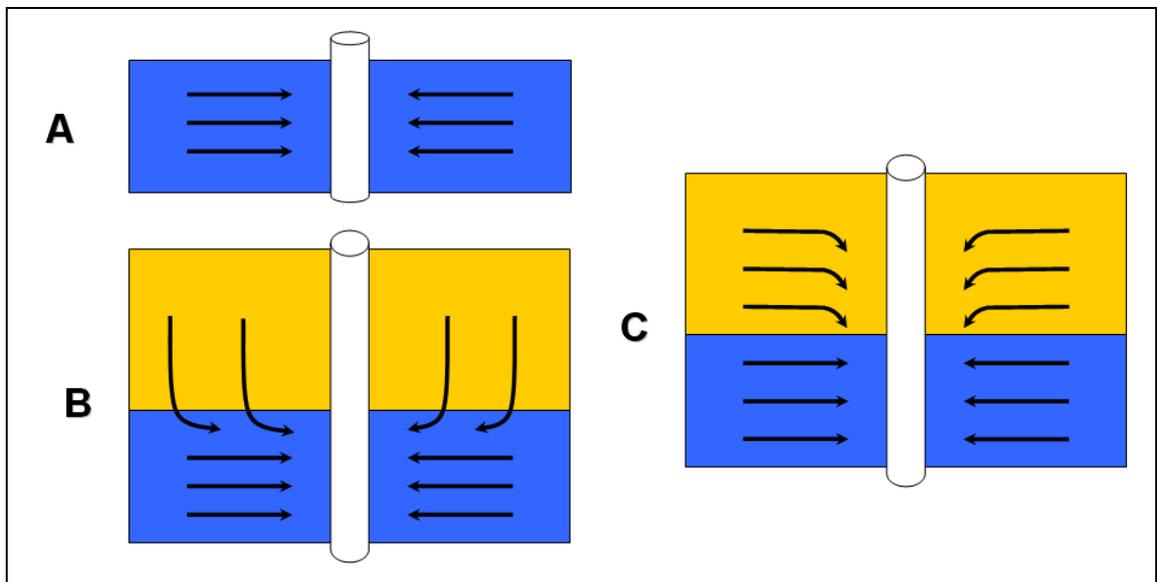


Illustration 17 : Représentation schématique des écoulements

4.1.3. Modélisation de l'essai : estimation des paramètres hydrodynamiques

Au regard des informations apportées par l'analyse de la courbe des dérivées, la modélisation de l'essai a été réalisée en deux étapes successives.

La solution analytique de Hantush & Jacob (puits complet dans un aquifère homogène et isotrope avec effet de drainance) a été utilisée pour l'interprétation du pompage d'essai pour les temps courts (inférieurs à 1000 minutes).

Ensuite, la solution analytique de Theis (écoulement pseudo-radial) a été utilisée pour l'interprétation du pompage d'essai pour les temps longs (au delà de 1000 minutes), en utilisant la valeur de transmissivité du second plateau déterminée à partir de l'analyse de la courbe des dérivées ($T = 1.36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$).

Les modélisations sont de bonne qualité (Cf. Illustration 19) et ont permis d'estimer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, synthétisés dans l'illustration 18 (les valeurs d'emmagasinement calculées ici au puits n'étant que des valeurs de calage) :

	Solution analytique de Hantush & Jacob pour les temps courts	Solution analytique de Theis pour les temps longs
T, en m²/s	$3,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
S (valeur de calage)	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-8}$
Effet de capacité	300 mm	300 mm
r	0,15 m	0,15 m
Pertes de charges quadratiques	$30\,000 \text{ s}^2/\text{m}^5$	$30\,000 \text{ s}^2/\text{m}^5$
Skin	-2,00 <i>r.eq = 1,108 m</i>	0
E (éponge)	1 m	-
K (éponge)	$7 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	-

Illustration 18 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au forage 1177ZZ0181/CNF3

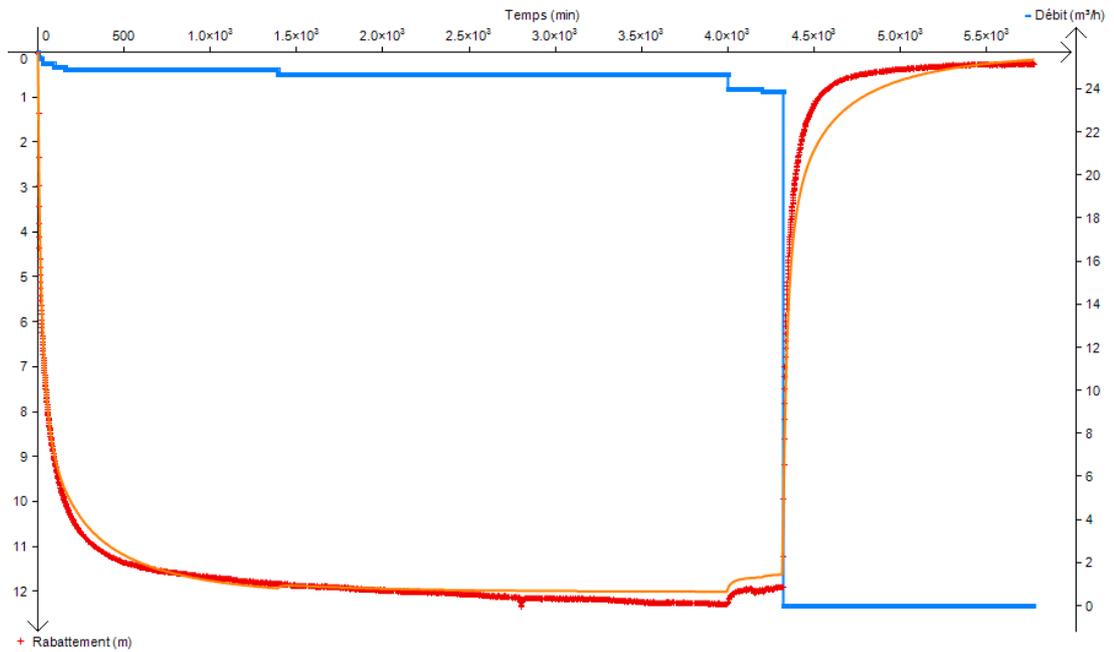


Illustration 19 : Interprétation du pompage d'essai de longue durée sur le forage 1177ZZ0181/CNF3, calage selon la solution analytique de Hantush & Jacob (temps courts)

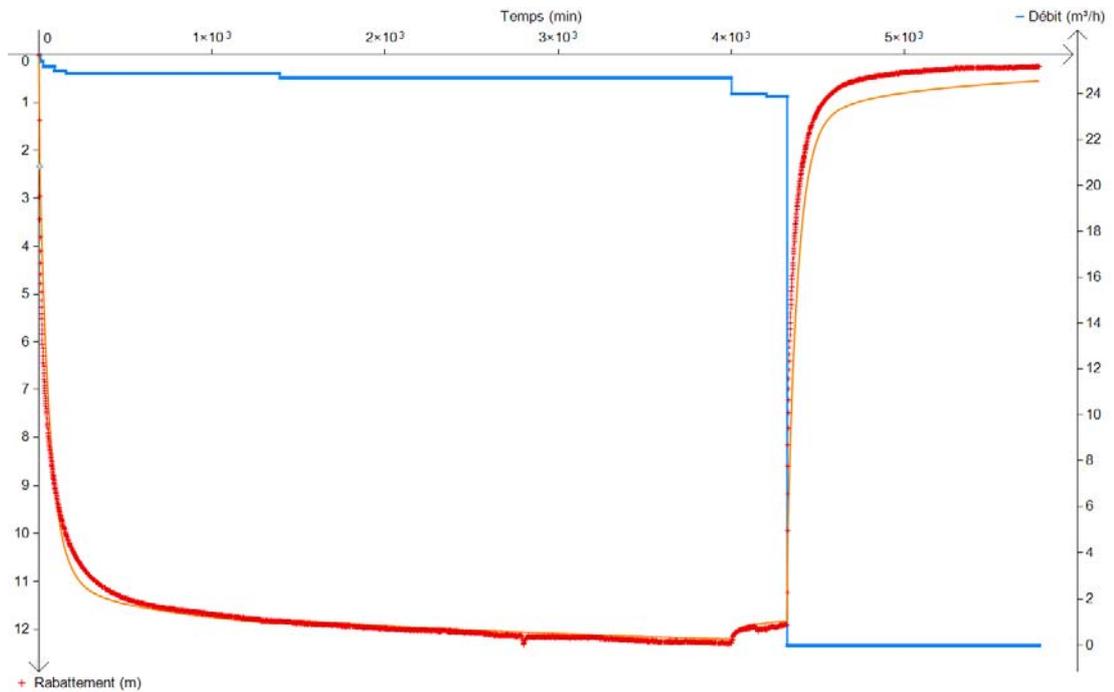


Illustration 20 : Interprétation du pompage d'essai de longue durée sur le forage 1177ZZ0181/CNF3, calage selon la solution analytique de Theis (temps longs)

4.2. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0165/CNS4

Le piézomètre 1177ZZ0165/CNS4 est celui situé le plus proche (4m) et est celui qui a vu ses niveaux diminuer le plus pendant le pompage. Le niveau statique avant le pompage était de 15.53 m NGM et le niveau atteint en fin de pompage était de 3.59 m NGM (le 23/04/09 à 6h00). Son rabattement en fin de pompage est donc de 11.94 m.

Les rabattements observés au piézomètre 1177ZZ0165/CNS4 sont présentés dans l'illustration 22. La méthodologie utilisée pour l'interprétation des rabattements est la même que celle présentée au paragraphe 4.1.1.

À noter que ce piézomètre a été suivi par le BRGM.

Au regard de la solution utilisée au puits de pompage, la solution analytique de Hantush et Jacob (puits complet dans un aquifère homogène et isotrope avec effet de drainance) a été utilisée pour interpréter l'essai au piézomètre.

La modélisation est de bonne qualité (Illustration 22) et a permis d'estimer les paramètres synthétisés dans le tableau ci-dessous :

	Solution analytique de Hantush & Jacob
T, en m²/s	2.46 10 ⁻⁴ m ² /s
S	2.4 10 ⁻³
Effet de capacité	100 mm
r	4 m
E (éponte)	1 m
K (éponte)	9 10 ⁻⁸ m/s

Illustration 21 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0165/CNS4 (Modèle Hantush & Jacob)

À noter que des modélisations ont été réalisées en utilisant la solution de Theis afin de tester l'hypothèse d'un aquifère avec une limite alimentée située au niveau de la rivière, mais le calage n'a pas été concluant.

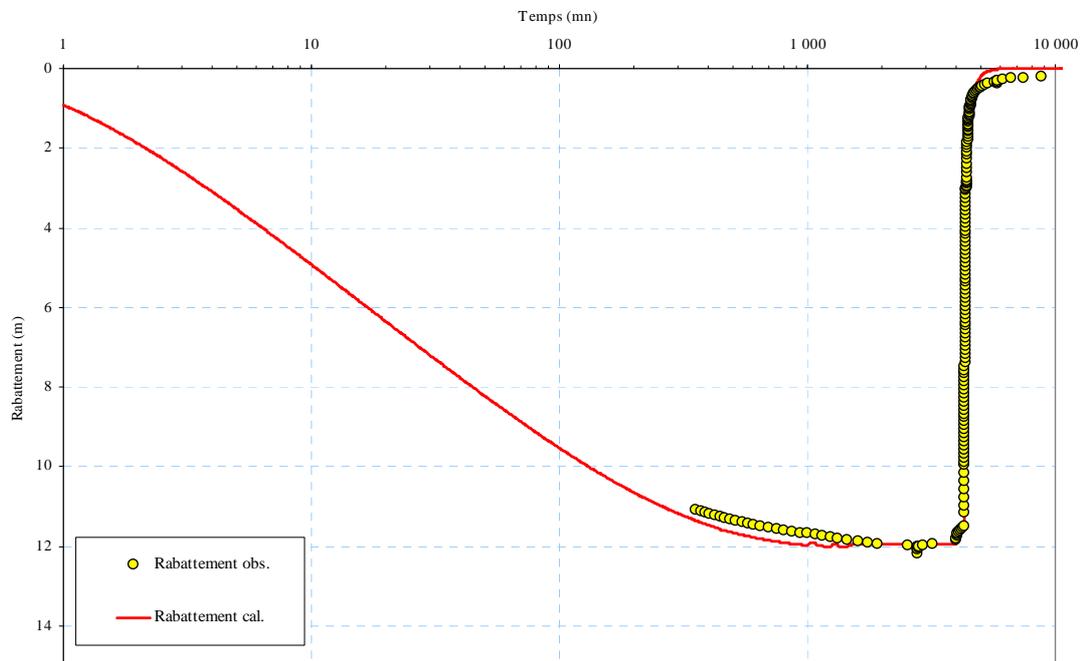
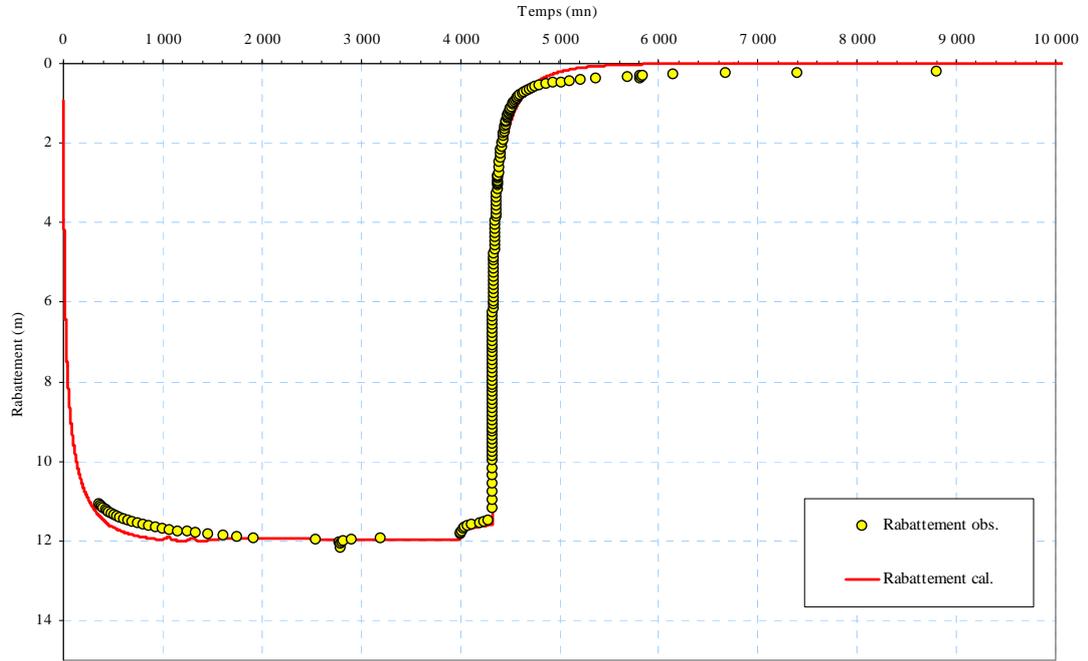


Illustration 22 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0165/CNS4

4.3. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0184/PZ2

Le piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 est situé à 20 m au nord (amont hydraulique) du forage 1177ZZ0181/CNF3.

Son niveau statique avant le pompage était de 17.44 m NGM et le niveau atteint en fin de pompage de 15.90 m NGM (le 23/04/09 à 6h00). Son rabattement en fin de pompage est donc de 1.55 m. Le niveau a commencé à diminuer 7 minutes après le lancement du pompage sur le forage 1177ZZ0181/CNF3.

Les rabattements observés au piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 sont présentés dans l'illustration 24. La méthodologie utilisée pour l'interprétation des rabattements est la même que celle présentée au paragraphe 4.1.1.

Au regard de la solution utilisée au puits de pompage, la solution analytique de Hantush et Jacob (puits complet dans un aquifère homogène et isotrope avec effet de drainance) a été utilisée pour interpréter la donnée au piézomètre.

La modélisation est de très bonne qualité (Illustration 24) et a permis d'estimer les paramètres synthétisés dans le tableau ci-dessous :

	Solution analytique de Hantush & Jacob	Solution analytique de Theis
T, en m²/s	1.25 10 ⁻³ m ² /s	1.65 10 ⁻³ m ² /s
S	2.74 10 ⁻²	2 10 ⁻²
r	20 m	20 m
E (éponge)	1 m	# NA #
K (éponge)	9 10 ⁻⁸ m/s	# NA #

Illustration 23 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 (Modèle Hantush & Jacob et Theis)

Le calage avec la solution analytique de Theis dérive légèrement de la courbe des rabattements pour les temps courts (moins de 1000 minutes).

Les paramètres hydrodynamiques déterminés au 1177ZZ0184/PZ2 confirment l'hétérogénéité de l'aquifère multicouche, certains horizons étant plus perméables que les autres. L'aquifère doit néanmoins être considéré dans son ensemble, tous les horizons étant visiblement interconnectés.

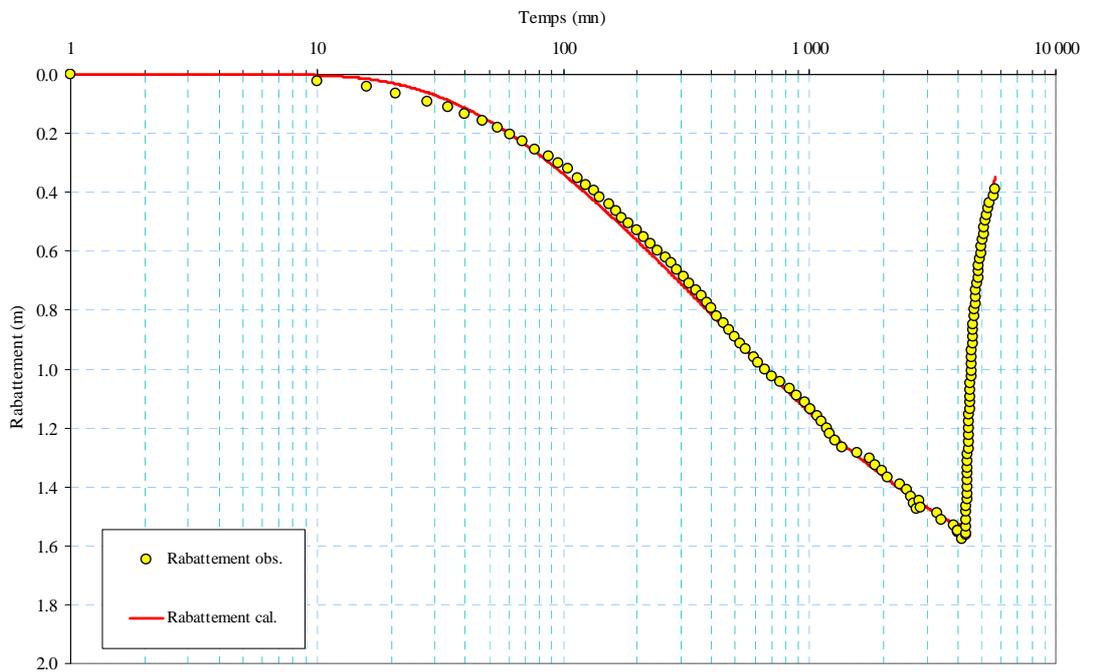
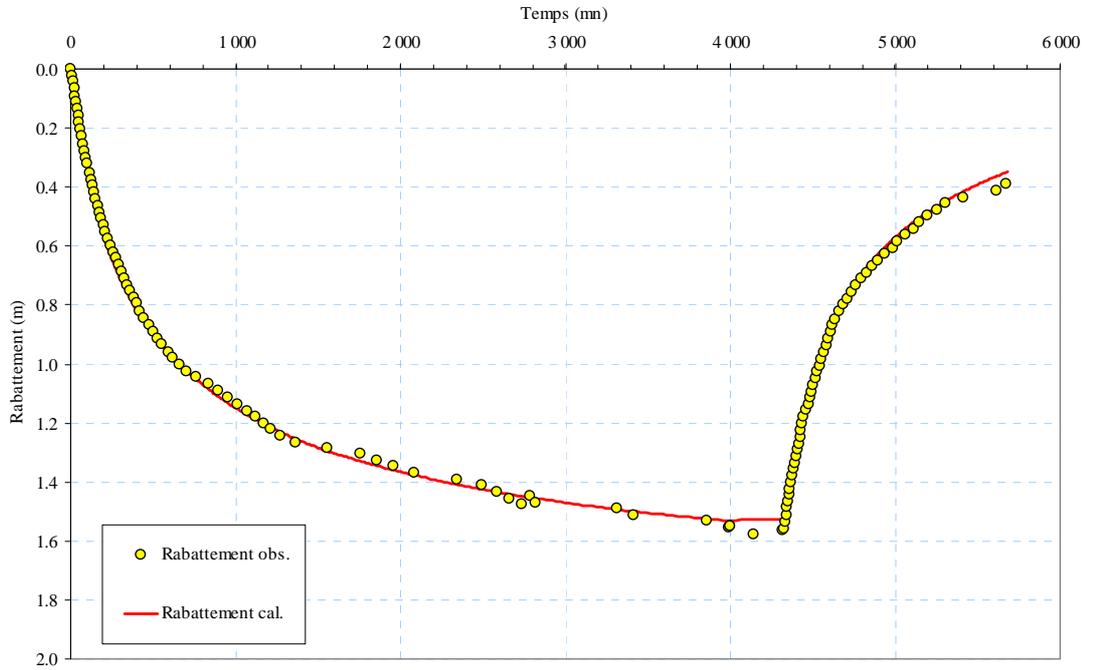


Illustration 24 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 (solution analytique de Hantush & Jacob)

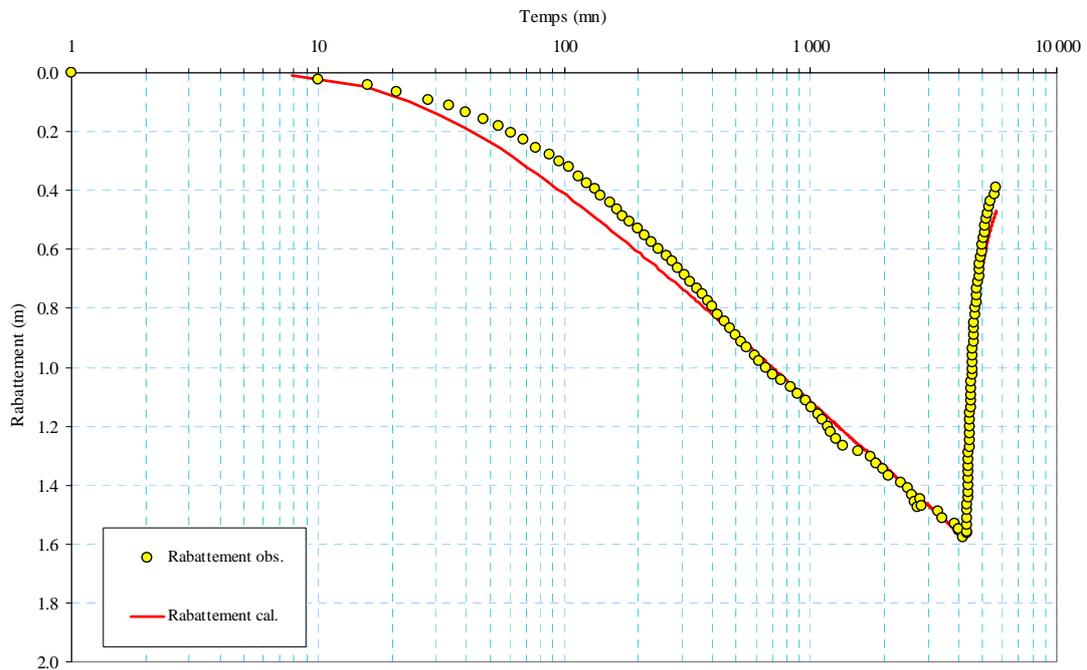
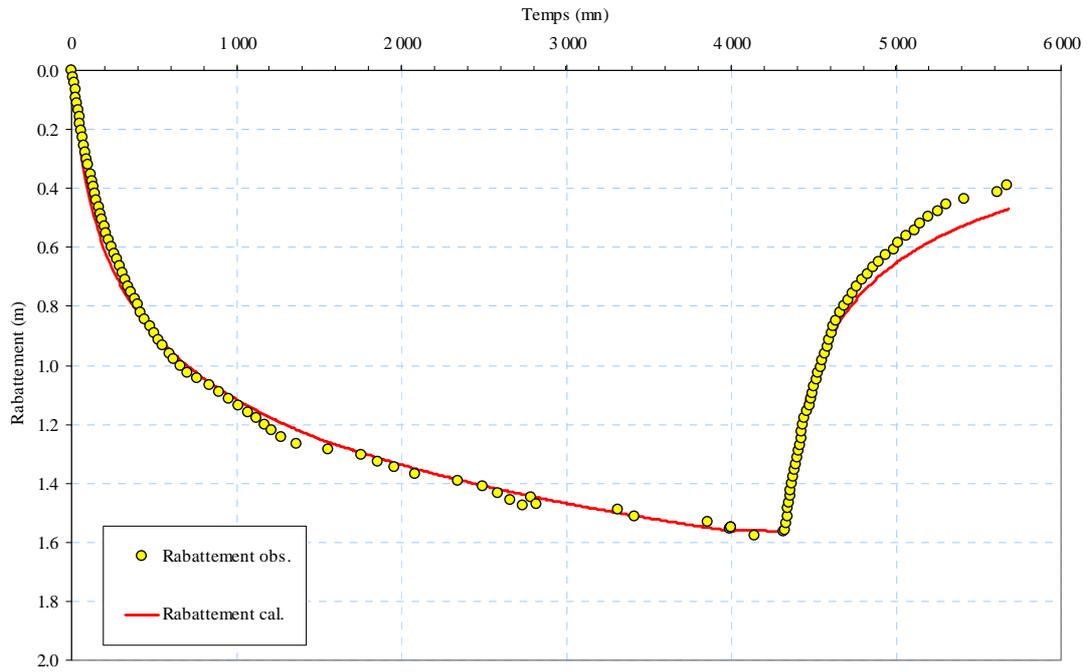


Illustration 25 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0184/PZ2 (solution analytique de Theis)

4.4. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0183/PZ1

Le piézomètre 1177ZZ0183/PZ1 est situé à 18 m au sud ouest (aval hydraulique) du forage 1177ZZ0181/CNF3 dans les alluvions.

Son niveau statique avant le pompage était de 15.35 m NGM et le niveau atteint en fin de pompage de 14.24 m NGM (le 23/04/09 à 6h00). Son rabattement en fin de pompage est donc de 1.11 m. Le niveau a commencé à diminuer 1 minute après le lancement du pompage sur le forage 1177ZZ0181/CNF3.

Les rabattements observés au piézomètre 1177ZZ0183/PZ1 sont présentés dans l'illustration 26. La méthodologie utilisée pour l'interprétation des rabattements est la même que celle présentée au paragraphe 4.1.1.

À noter qu'au-delà de 1000 minutes, les rabattements remontent d'une dizaine de cm, sans relation directe avec les niveaux suivis dans la rivière. Il pourrait ainsi s'agir d'un débouffrage des berges permettant ainsi une meilleure circulation de l'eau de la rivière vers la nappe, entraînant ainsi une amélioration des paramètres hydrodynamiques de la nappe entre le piézomètre et la rivière.

Au regard de la solution utilisée au puits de pompage, la solution analytique de Hantush et Jacob (puits complet dans un aquifère homogène et isotrope avec effet de drainance) a été utilisée pour l'extrapolation des résultats du pompage d'essai.

La simulation est de qualité moyenne du fait de la remontée du niveau (Illustration 27) mais a permis d'estimer les paramètres synthétisés dans l'illustration 26. Néanmoins, ces paramètres doivent être considérés comme indicatif, car ce piézomètre ne pénètre que la partie supérieure de l'aquifère multicouche capté par le forage 1177ZZ0181/CNF3. Les alluvions plus perméables présentent une transmissivité plus élevée.

	Solution analytique de Hantush & Jacob
T, en m²/s	1.85 10 ⁻³ m ² /s
S	6.68 10 ⁻³
r	18 m
E (éponge)	1 m
K (éponge)	9 10 ⁻⁸ m/s

Illustration 26 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0183/PZ1 (Modèle Hantush & Jacob)

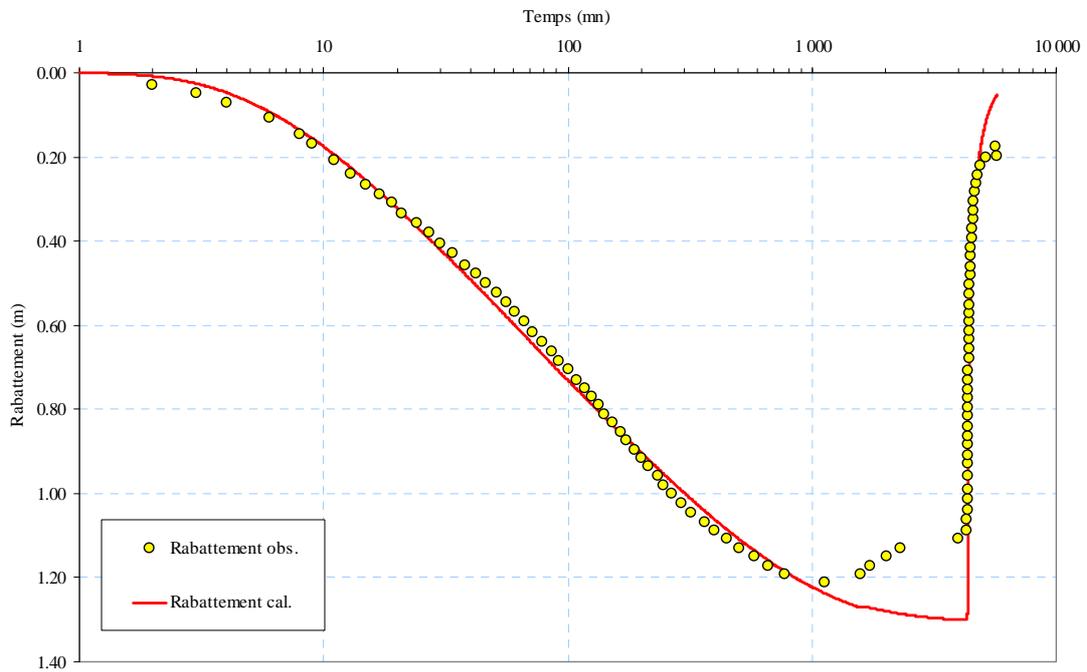
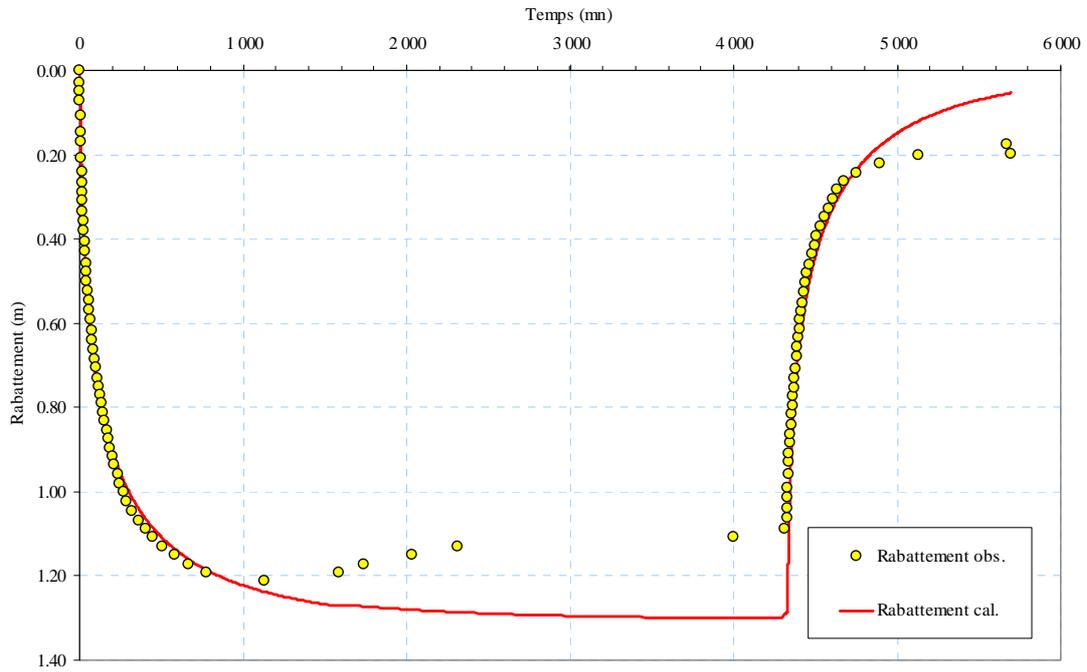


Illustration 27 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0183/PZ1 (solution analytique de Hantush & Jacob)

4.5. INTERPRÉTATION DES RABATTEMENTS OBSERVÉS AU PIÉZOMÈTRE 1177ZZ0078/CNF1

Le forage 1177ZZ0078/CNF1 est situé à 350 m au sud ouest (aval hydraulique) du forage 1177ZZ0181/CNF3. Il a été utilisé comme piézomètre dans le cadre du pompage d'essai.

Son niveau statique avant le pompage était de 10.66 m NGM et le niveau atteint en fin de pompage de 10.57 m NGM (le 23/04/09 à 6h00). Son rabattement en fin de pompage est donc de 0.09 m. Le niveau a commencé à diminuer 1 minute après le lancement du pompage sur le forage 1177ZZ0181/CNF3.

Les rabattements observés au piézomètre 1177ZZ0078/CNF1 sont présentés dans l'illustration 29. La méthodologie utilisée pour l'interprétation des rabattements est la même que celle présentée au paragraphe 4.1.1.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la solution analytique de Theis.

La simulation est de bonne qualité (Illustration 29) proportionnellement aux fluctuations observées sur les données, et a permis d'estimer les paramètres synthétisés dans l'illustration 28. Ces paramètres doivent néanmoins être considérés pour ce point comme indicatifs, car ce piézomètre ne pénètre que partiellement l'aquifère multicouche capté par le forage 1177ZZ0181/CNF3 :

	Solution analytique de Theis
T, en m²/s	1.45 10 ⁻² m ² /s
S	1.8 10 ⁻³
r	350 m
E (éponge)	# NA #
K (éponge)	# NA #

Illustration 28 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés au piézomètre 1177ZZ0078/CNF1

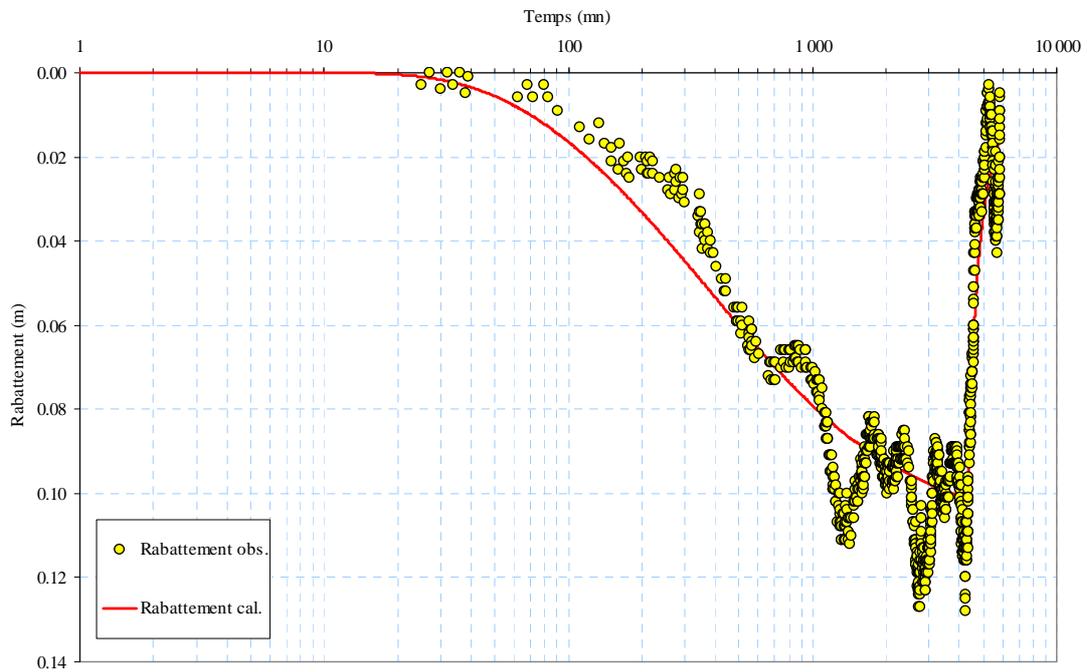
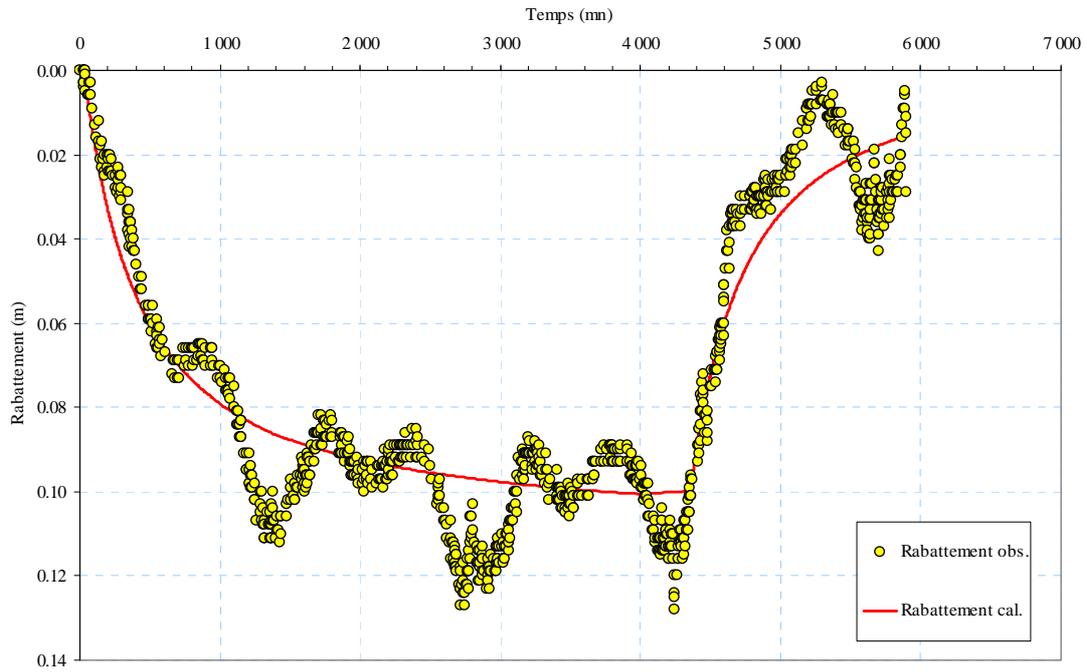


Illustration 29 : Rabattements observés et simulés au piézomètre 1177ZZ0078/CNF1 (solution analytique de Theis)

4.6. INTERPRÉTATION DES FLUCTUATIONS DE NIVEAU D'EAU OBSERVÉES DANS LA RIVIÈRE

Le niveau d'eau de la rivière Case Navire a été suivi en continu (pas de temps de mesure : 1 minute) du 14/04/2009 à 19h03 jusqu'au 24/04/2009 à 13h07.

L'illustration 30 représente les variations de niveau d'eau enregistrées dans la rivière en amont et en aval du pompage.

Le niveau d'eau dans la rivière au point amont est stable sur la période d'observation, mis à part le pic de crue enregistré le 19 avril 2009 dans la soirée. Un cycle de fluctuation journalier est observé : le niveau d'eau diminue généralement de 1 à 2 cm dans la journée (entre 6h et 18h) et revient à son niveau initial dans la soirée.

Le niveau d'eau dans la rivière au point aval présente également un pic de crue le 19 avril 2009 dans la soirée. Par contre, il présente des variations journalières plus marquées avec des pics hauts tous les soirs entre 17 et 20h et des niveaux bas entre 8 et 12 h (amplitude de l'ordre de 5 cm).

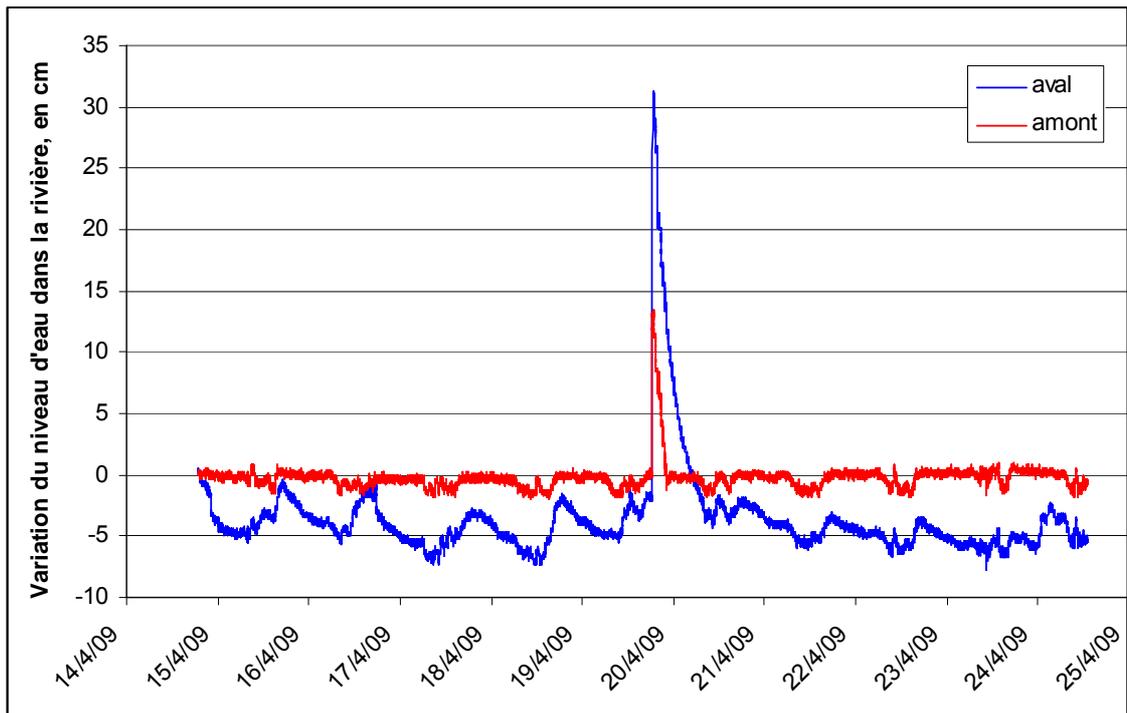


Illustration 30 : Variation du niveau d'eau de la rivière Case Navire du 14 au 25 avril 2009

L'illustration 31 est un zoom de l'illustration 30 sur la plage de variation -9 / +1 cm. Elle montre que les variations du point aval ne sont pas plus importantes pendant le pompage qu'avant ou après le pompage sur le forage 1177ZZ0181/CNF3.

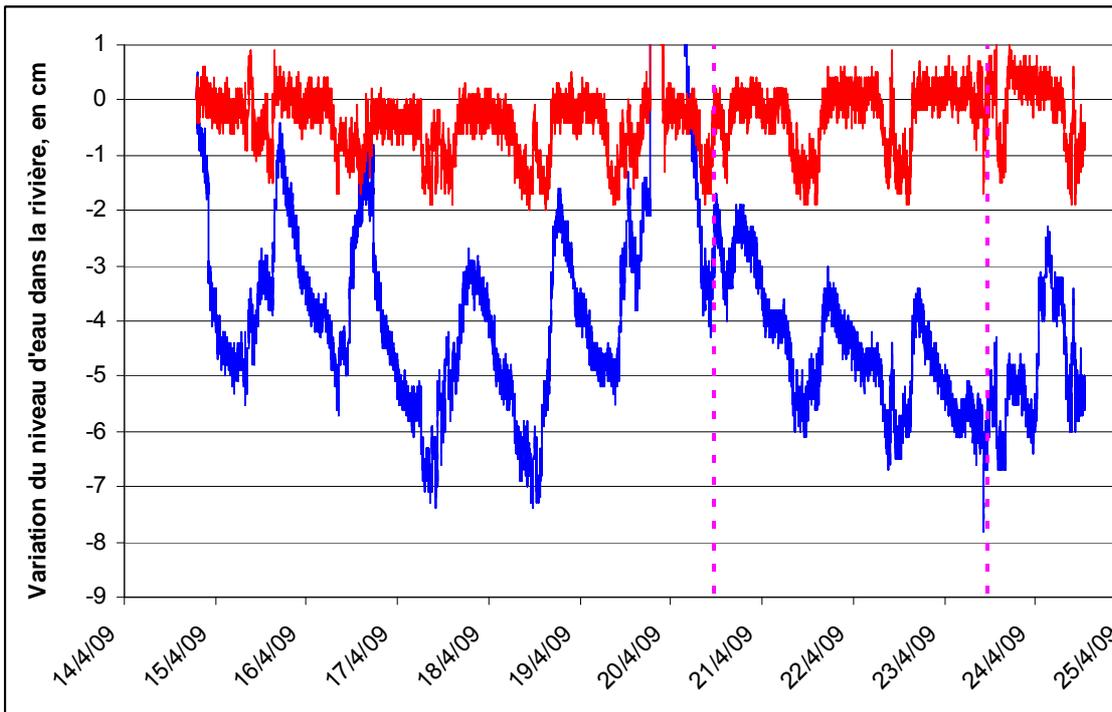


Illustration 31 : Variation du niveau d'eau de la rivière Case Navire, Zoom entre -9 et +1 cm. Les traits roses correspondent au début et à la fin du pompage sur le forage 1177ZZ0181/CNF3. Le point amont correspond à la courbe rouge et le point aval à la courbe bleu.

Les données acquises ne permettent donc pas de mettre en évidence une baisse de niveau de la rivière Case Navire lors du pompage sur le forage 1177ZZ0181/CNF3.

5. Évaluation des débits exploitables au forage CNF3

5.1. 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 sur la nappe de Case Navire.

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 du débit d'exploitation durable ;
- recommander des modalités de mise en exploitation de l'ouvrage et de gestion de l'aquifère.

5.1.1. 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 surtout 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 peut entraîner la précipitation d'éléments dissous tels que le fer et le 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 charge (et donc des rabattements) et une amplification du phénomène avec le temps.

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

Le positionnement de la pompe doit prendre en compte la position des crépines et des zones productrices (non identifiées avec précision dans le cas présent) 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'exhaure 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.

5.1.3. 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 trois 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.

Le rabattement maximal est défini en sommant d'une part les pertes de charge quadratiques, qui s'établissent au sein de la partie captante du forage et dans son environnement immédiat, telles que déterminées à partir des paramètres calculés lors de l'interprétation de l'essai de puits, et d'autre part, les pertes de charge linéaires liées

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.

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 du forage.

En effet, les règles de l'art préconisent de ne pas dépasser, lors d'une extrapolation à partir des résultats d'un pompage d'essai, une durée supérieure à 10 fois celle de l'essai, ce qui correspondrait approximativement à 30 jours dans le cas du forage de Case Navire. 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.

5.2. DÉBIT D'EXPLOITATION AU FORAGE CNF3

5.2.1. Conditions et hypothèses de calcul

Niveaux piézométriques d'étiage

Le piézomètre 1177ZZ0165/CNF2, implanté à proximité immédiate du forage CNF3, appartient au réseau de surveillance quantitative des eaux souterraines de la Martinique. À ce titre, son niveau est enregistré au pas de temps journalier depuis début 2005 (Illustration 32).

Au regard de la chronique piézométrique, le niveau le plus bas connu à l'étiage est de l'ordre de 4.5 mètres de profondeur (atteint en 2005 et 2007), soit une cote piézométrique minimale de 15.2 m NGM.

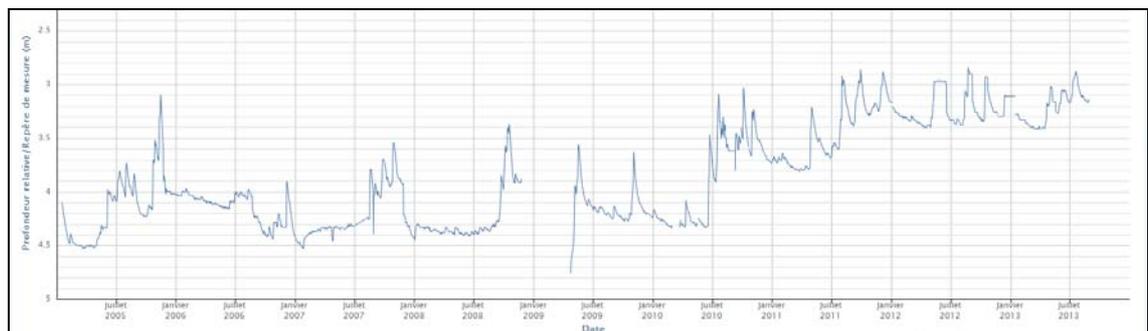


Illustration 32 : Chronique piézométrique enregistrée au droit de l'ouvrage 1177ZZ0165/CNF2
(source : www.ades.eaufrance.fr)

Rabattement maximal admissible

Le critère le plus contraignant est de limiter le rabattement du niveau d'eau à 0 m NGM.

Ainsi, étant donné le niveau piézométrique d'étiage, le rabattement maximal admissible est de 15 m au forage CNF3.

Structure de l'aquifère

Concernant la structure de l'aquifère et vu qu'aucune limite de l'aquifère n'a été mise en évidence durant les essais, trois hypothèses concernant cette géométrie, optimiste, moyennement optimiste et pessimiste, ont été considérées :

- H1 : aquifère infini tel que modélisé précédemment, c'est-à-dire absence de limite étanche (hypothèse la plus optimiste) ;
- H2 : présence d'une limite étanche (temps d'influence de 4 320 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 72h 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 4 320 min). C'est l'hypothèse est la plus pessimiste des trois.

Le fait de prendre ces scénarios géométriques a pour but d'avoir une estimation plus raisonnable du débit d'exploitation sur le long terme, plus réaliste que celle définie par les modélisation de l'essai qui considère aucune limite de l'aquifère. Or, on sait, d'après les cartes géologiques, que ces aquifères sont d'extension limitée. Suite aux suivis de l'exploitation de l'ouvrage, il est rappelé que les débits d'exploitations pourront être ajustés.

Scénarios de pompage

Le débit maximal de pompage sur CNF3 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 au 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.

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

La solution analytique utilisée pour l'extrapolation des résultats du pompage d'essai est la solution analytique de Theis avec les paramètres indiqués dans l'illustration 33. Ces paramètres correspondent à ceux qui ont permis le meilleur calage pour les temps longs du pompage de 72h.

	Solution analytique de Theis
T, en m²/s	1,36 10 ⁻³ m ² /s
S (valeur de calage)	7 10 ⁻⁸
Effet de capacité	300 mm
Rayon	0.15 m

Illustration 33 : Solution analytique et paramètres hydrodynamiques utilisés pour les simulations à long terme

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

Les Illustration 34 et Illustration 35 présentent les représentations graphiques des simulations d'exploitation effectuées pour l'ouvrage CNF3 respectivement pour les deux scénarios de pompages (A et B) et à chaque fois pour les trois hypothèses de géométrie (H1, H2 et H3). Les débits ont été optimisés afin de ne pas dépasser le rabattement maximal en fin de scénario, soit 15 m.

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

- **dans le cas d'une exploitation limitée à la période de carême (100 jours par an), le débit d'exploitation envisageable serait de l'ordre de 25 m³/h** (de 23 à 26 m³/h selon les hypothèses de géométrie) (Illustration 34). Le prélèvement journalier envisageable serait alors de l'ordre de 600 m³ ;
- **dans le cas d'une exploitation continue (365j/365j)**, l'impact des limites étanches sur le débit d'exploitation apparaît plus marqué. En effet, ce dernier chuterait de 24 à 19 m³/h avec l'apparition d'une deuxième limite étanche (Illustration 35). **Le prélèvement journalier envisageable serait donc**

compris entre 460 m³ (deux limites étanches ; 19 m³/h) et 600 m³ (absence de limite étanche ; 24 m³/h).

Il est donc conseillé l'utilisation d'une pompe capable de produire dans une gamme de débit de 15 à 30 m³/h, pour une hauteur manométrique de 20 m (jusqu'au sol). De la même façon que précédemment, 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.

La pompe pourra être mise en place au-dessus des crépines, à une profondeur de l'ordre de 30 mètres.

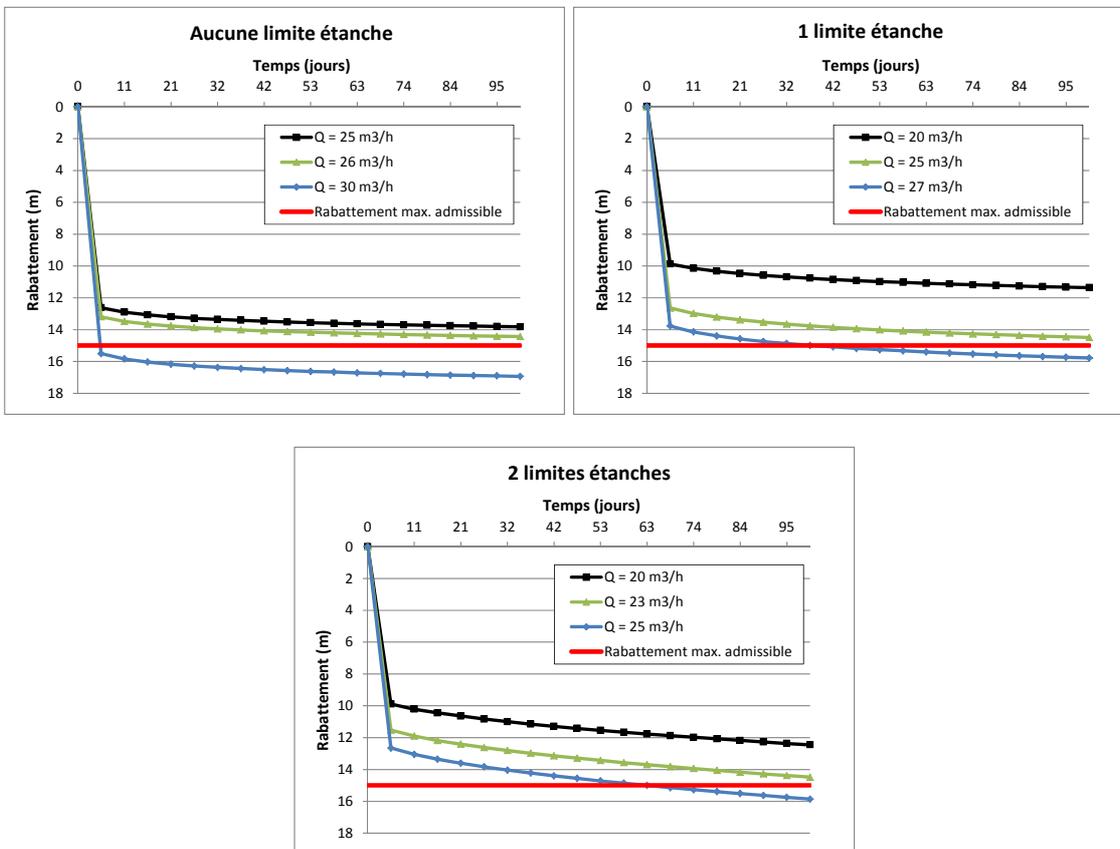


Illustration 34 : Simulation d'exploitation sur 100 jours, pompage 24h/24h au forage CNF3. Trois hypothèses testées : sans limite étanche (H1), avec 1 et 2 limites étanches (H2 et H3)

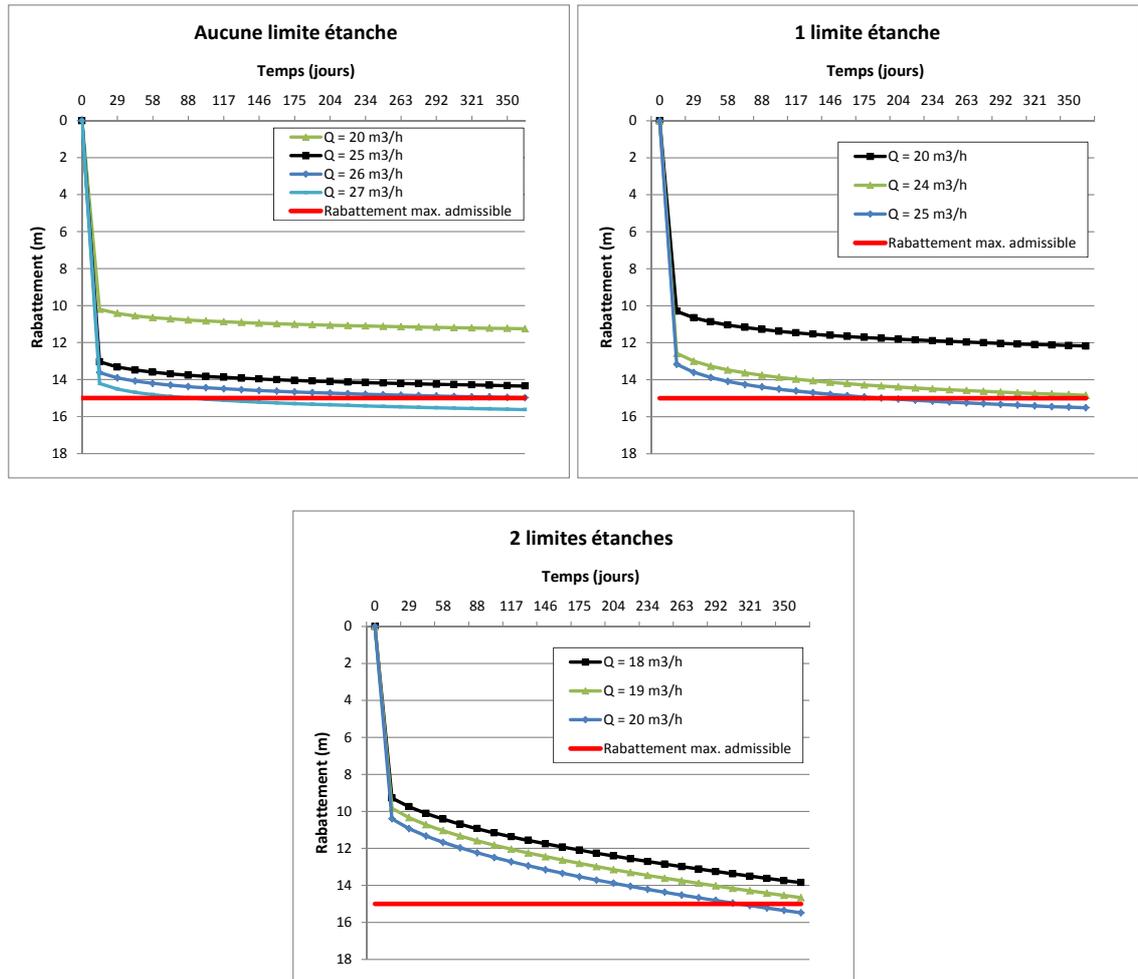


Illustration 35 : Simulation d'exploitation sur 365 jours, pompage 24h/24h au forage CNF3. Trois hypothèses testées : sans limite étanche (H1), avec 1 et 2 limites étanches (H2 et H3)

5.2.3. Préconisations du BRGM

Au regard des travaux réalisés sur le site de Case Navire et des premiers résultats obtenus, le BRGM recommande à la CACEM de suivre la démarche suivante pour gérer le plus finement possible la future exploitation des ouvrages :

À court et moyen termes :

- 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 global des forages passe par le suivi régulier des débits et des niveaux piézométriques du forage. Tout comme le forage d'exploitation CNF1 plus en aval, l'ouvrage devra, par conséquent, être équipé d'un système d'acquisition automatique des débits et des niveaux ;
- Le niveau piézométrique approchant la cote altimétrique de 0 m NGM en exploitation, il est important de prévenir tout phénomène d'upconing par le suivi de la conductivité électrique de l'eau. Pour ce faire, il est préconisé une acquisition automatique de ce paramètre (enregistrement en continu) ;
- Il est souhaitable d'équiper les pompes d'un variateur automatique au démarrage pour limiter les risques d'entraînement de matières en suspension ;
- 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 pourront être réalisés pour diagnostiquer d'éventuelles baisses de productivité.

6. Conclusion

L'interprétation du pompage d'essai de longue durée mené sur le forage CNF3 en avril 2009 a permis de mettre en évidence le fonctionnement d'un aquifère bicouche constitué, dans sa partie basse par l'aquifère andésitique, et dans sa partie haute par les brèches, ponces et alluvions. Les deux niveaux aquifères étant séparés par une éponte semi-perméable (altération des andésites, brèches ?).

Le suivi de différents piézomètres semblent indiquer une interférence limitée entre les forages d'exploitation CNF3 et CNF1, implanté 350 m en aval : le rabattement du niveau piézométrique au droit de ce dernier était de 9 cm après 72 heures de pompage. Ce premier suivi ne présage cependant pas de l'interférence effective après plusieurs mois de pompage, ce point devra donc être surveillé.

Lorsque l'équilibre est atteint entre les venues d'eau de l'aquifère andésitique au droit des crépines et les venues d'eau par drainance, la transmissivité du système aquifère est de l'ordre de $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Par ailleurs, le suivi des niveaux de la rivière Case Navire pendant la durée de l'essai (72h) n'a pas montré d'impact direct du pompage sur le débit du cours d'eau.

L'évaluation des débits exploitables a été faite pour trois géométries de l'aquifère plus ou moins pessimiste (sans limite étanche, avec une puis deux limites étanches).

Ainsi, l'exploitation envisageable du forage CNF3 pourrait être de l'ordre de 600 m³/j dans le cas d'une exploitation en continu en période de carême (100 jours par an) et comprise entre 460 et 600 m³/j dans le cas d'une exploitation en continu toute l'année (365 jours).

Il est rappelé 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 du forage. Une évaluation plus précise passe par le suivi en continu des débits et des niveaux piézométriques.

Enfin, le niveau piézométrique approchant la cote altimétrique de 0 m NGM en exploitation, il est important de prévenir tout phénomène d'upconing (remontée localisée d'eau salée) par le suivi régulier de la conductivité électrique de l'eau.

7. Bibliographie

Bourdet, Whittle T.M., Douglas, A.A., Pirard V.M., 1983. A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil.

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

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

Collet Th., Petit V. (1988) – Evaluation des ressources en eau souterraine sur la commune de Schoelcher, Etat d'avancement des travaux au 01/02/88. Note BRGM, février 1988.

Collet T., Paulin C., et Petit V. (1989) – Recherche d'eau souterraine dans la vallée de Case -Navire, résultats de la campagne de prospection du radon dans les gaz des sols et implantation du piézomètre de reconnaissance – Rapport BRGM n°89 MTQ 003, Mars 1989

Cottez S., Allard J.F., (1974) – Etude hydrogéologique de la vallée de Case Navire. Rapport BRGM 74 ANT 01, Ministère de l'équipement, D.D.E., ville de Schoelcher, janvier 1974.

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

Lachassagne P., Belz H., Collet th., Paulin ch., Petit V., Pointet Th. (1992) – Evaluation du potentiel en eau souterraine de la commune de Schoelcher – Martinique – Rapport de synthèse des travaux de recherche d'eau souterraine et d'évaluation de la ressource menés dans les vallées de Case Navire et Fond Lahaye. Rapport BRGM R34434 ANT 4S 92. 49p., 10 ann.

Lachassagne P. (1992) – Demande d'autorisation de mise en exploitation des forages d'eau de la vallée de Case-Navire, commune de Schoelcher, Martinique. Rapport BRGM R34340 ANT 4S 92. 11p., 2 ann.

Mobeche J.P., Jubenot A. (1987) – Compte rendu d'installation d'un dispositif de mesures hydro-pluviométriques sur le bassin inférieur de la rivière Case-Navire. ORSTOM, centre de Fort de France ; département de la Martinique, ville de Schoelcher, juin 1987.

Ollagnier S., Brugeron A., Vittecoq B., Petit V. (2007) – Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique et analyse qualitative de la nappe d'eau souterraine de Schoelcher-Case Navire. BRGM/RP-55458-FR, 87 p., 30 ill., 5 ann.

Rasmussen H., Rouleau A., Chevalier S. (2006) – Outils de détermination d'aires d'alimentation et de protection de captages d'eau souterraine. 311p. Document diffusé par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/alim-protec/index.htm>

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

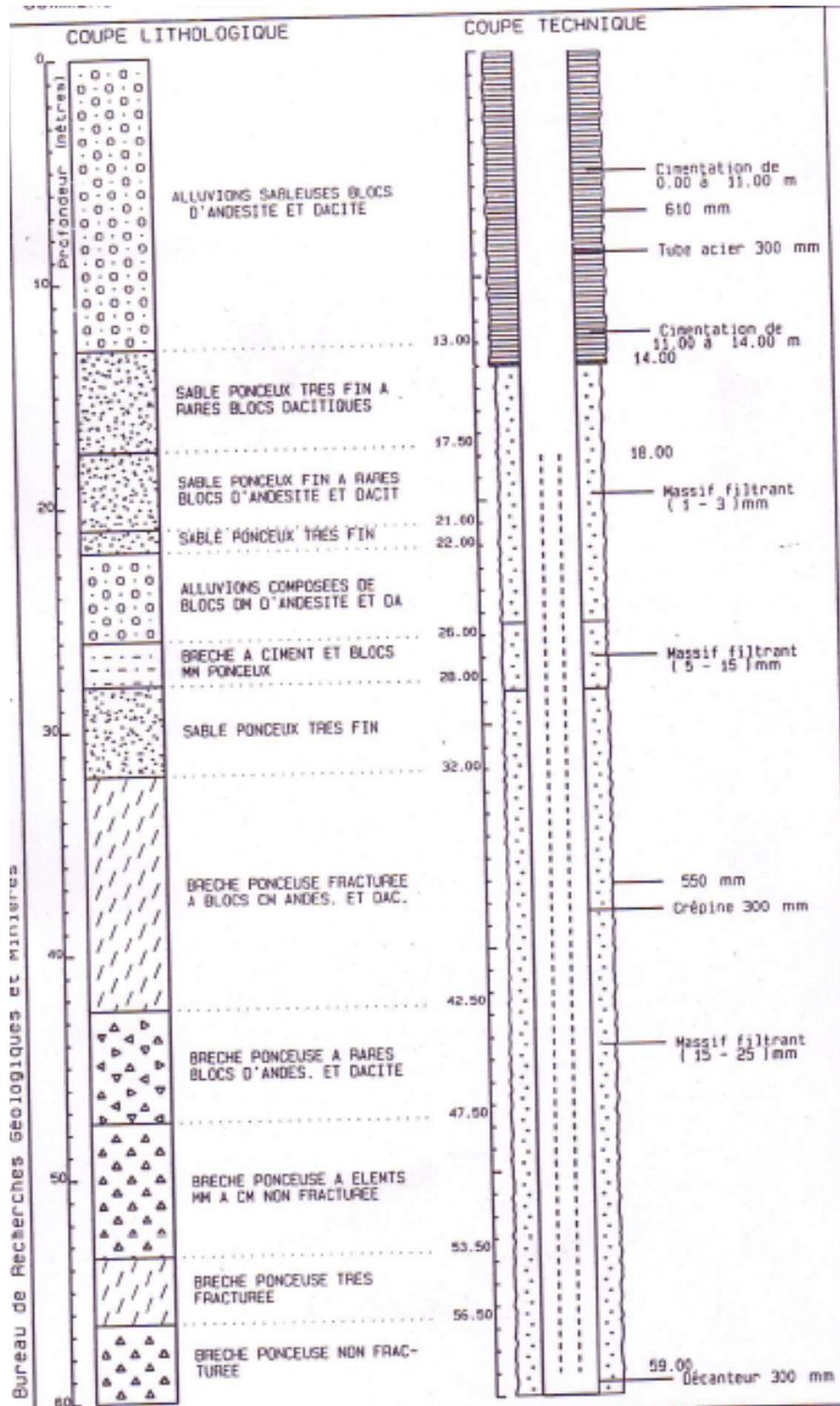
Shlumberger. 2002. Well test interpretation. SCHLUMBERGER. Rap., 122 p.

Spane F.A. and Wurstner S.K., 1993. DERIV: a computer program for calculating pressures derivatives for use in hydraulic test analysis.

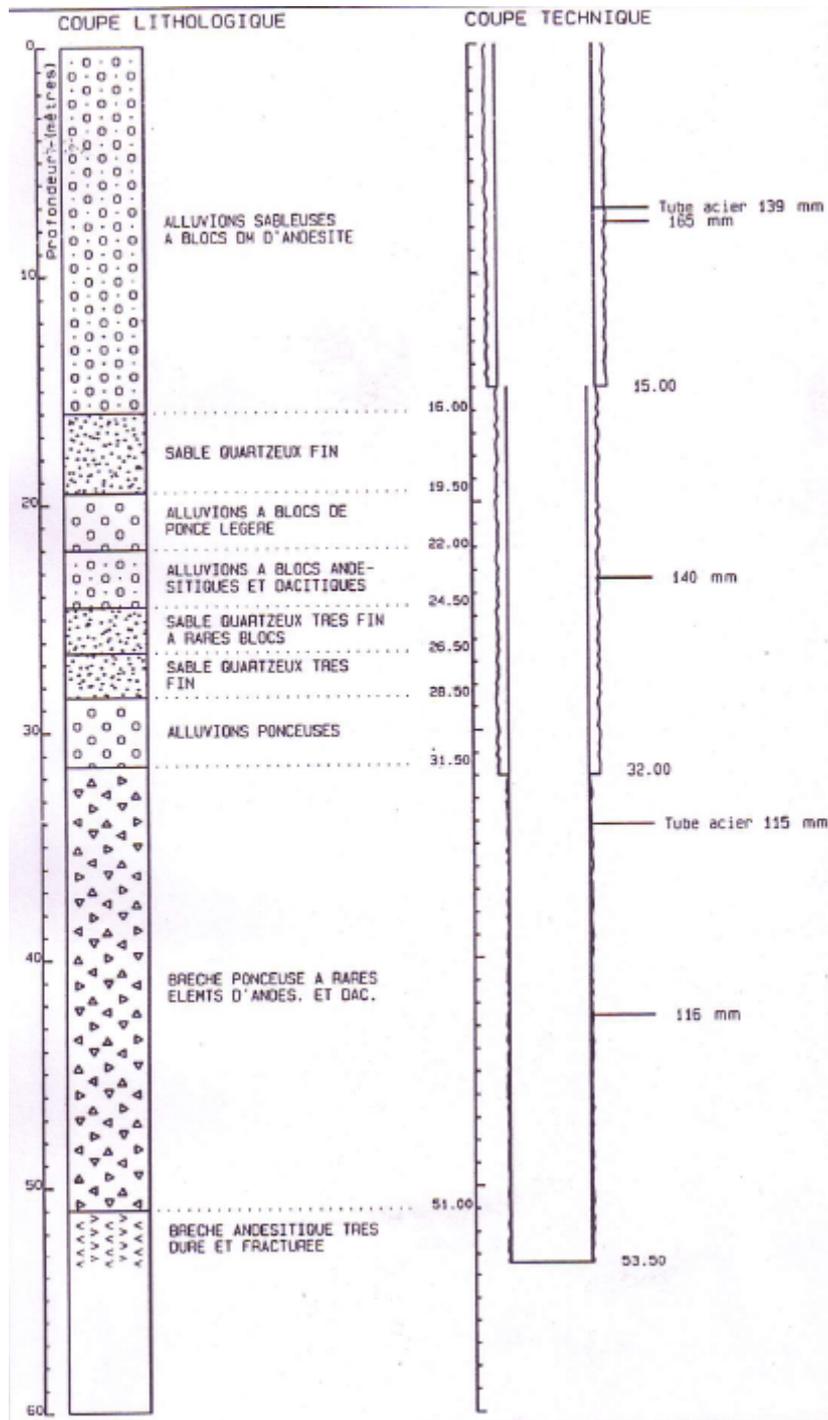
Westercamp D., Pelletier B., Thibaut P.M., Traineau H. (1990) – Carte géologique de la France (1/50.000), feuille Martinique – Notice explicative par Westercamp D., Andreieff. P, Bouisse P., Cottez S., Batistini R. (BRGM, 1989), 246p.

Annexe 1

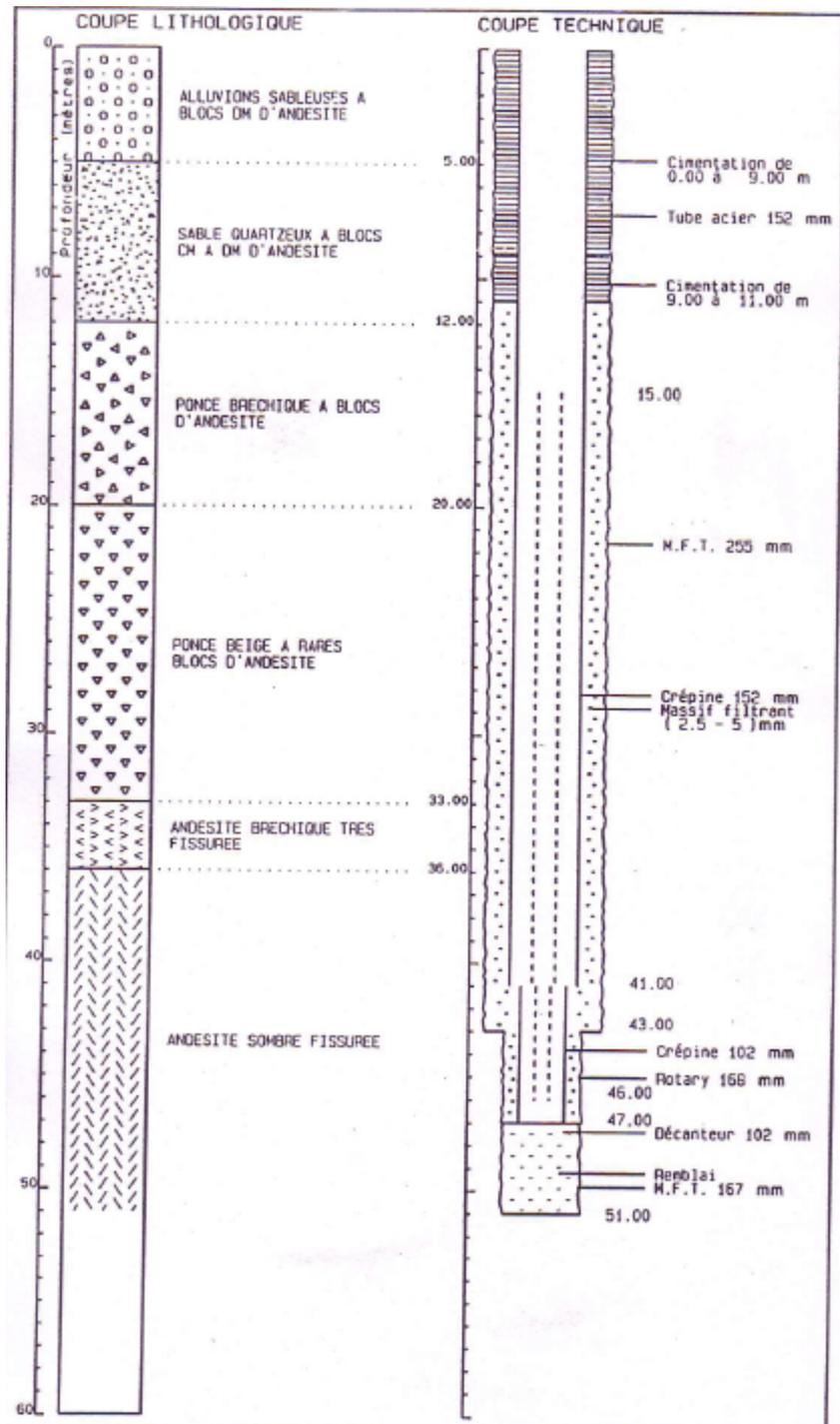
Coupes géologiques et techniques des forages et piézomètres



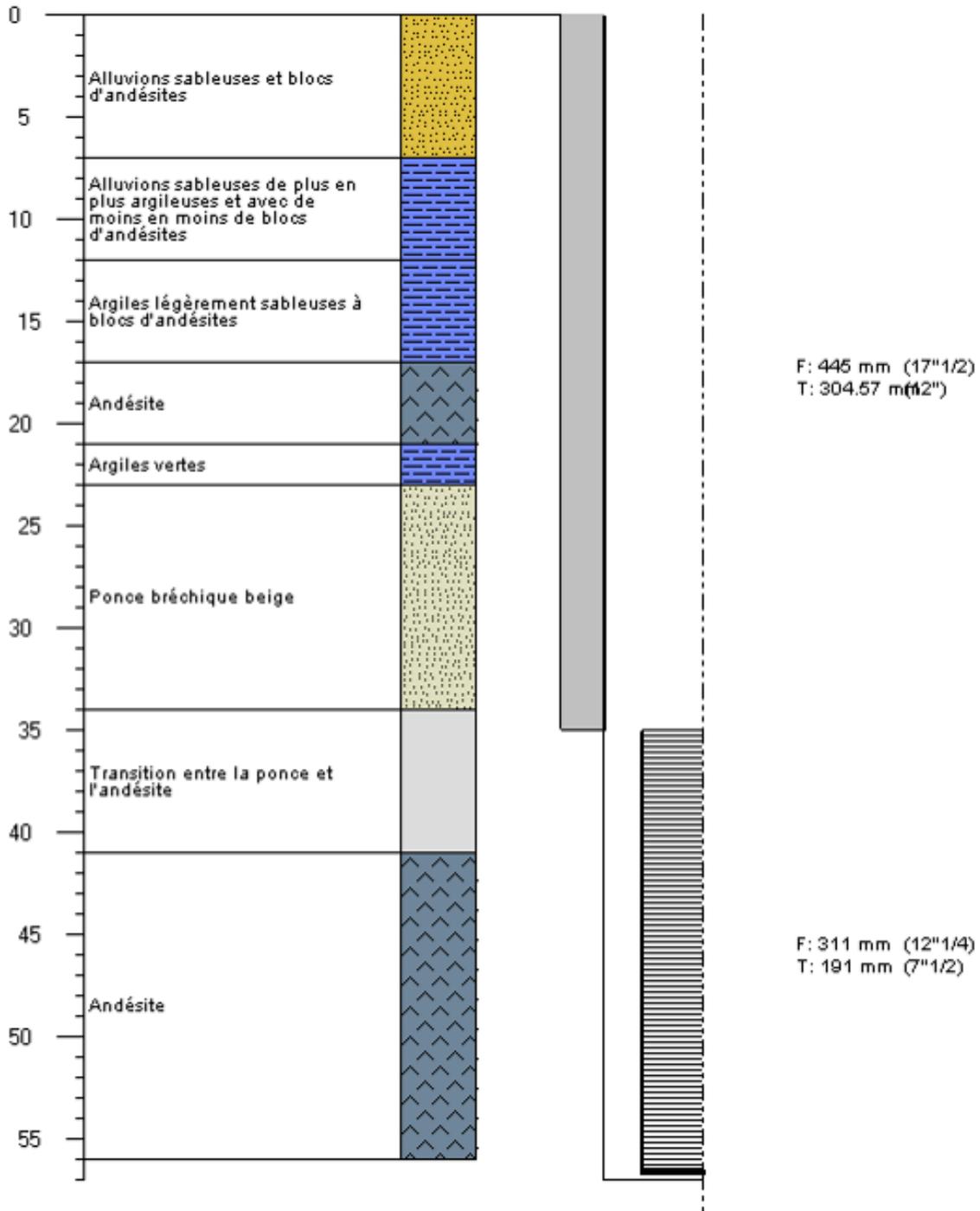
Coupe géologique et technique du forage 1177ZZ0078/CNF1



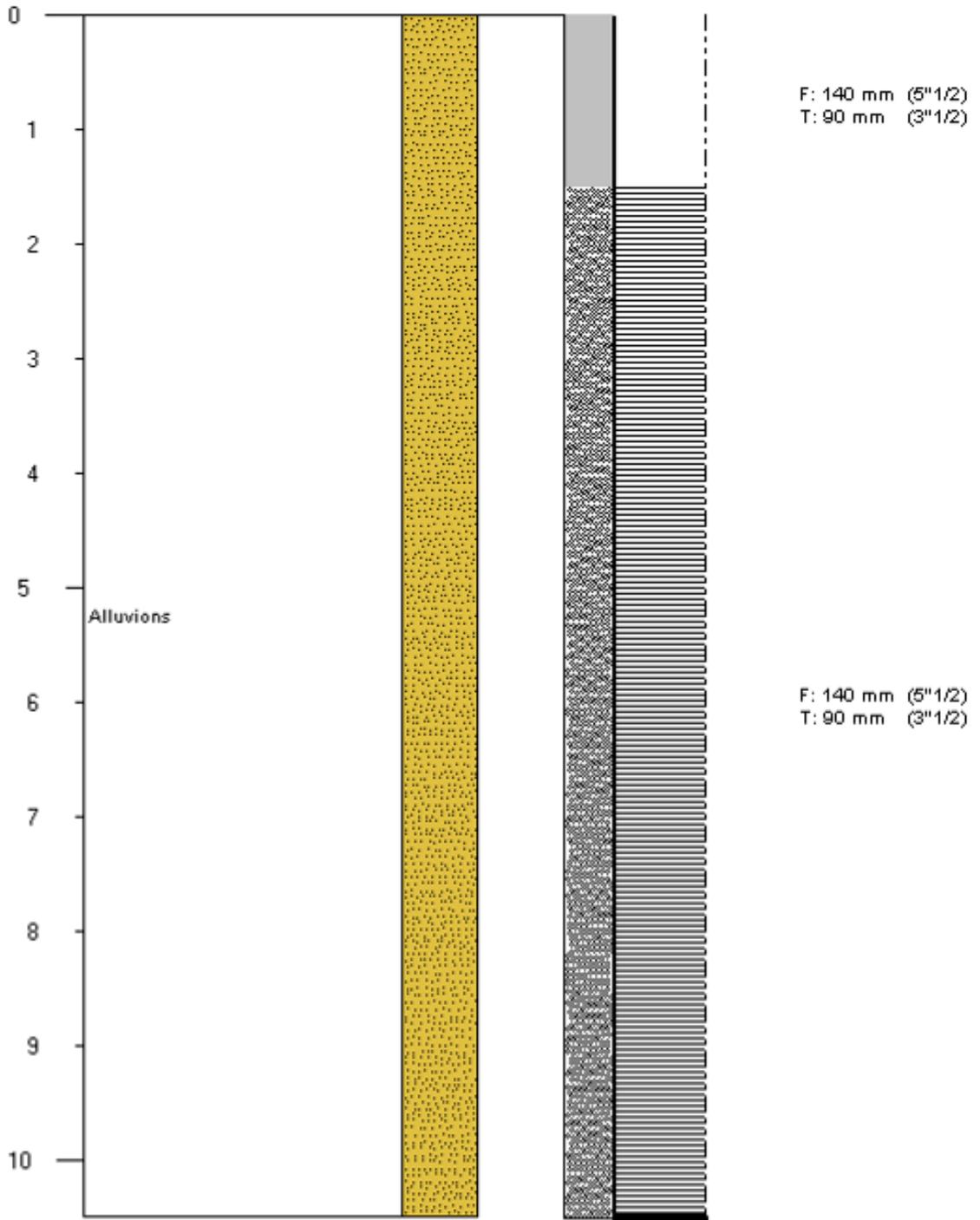
Coupe géologique et technique du forage 1177ZZ0079/CNS2



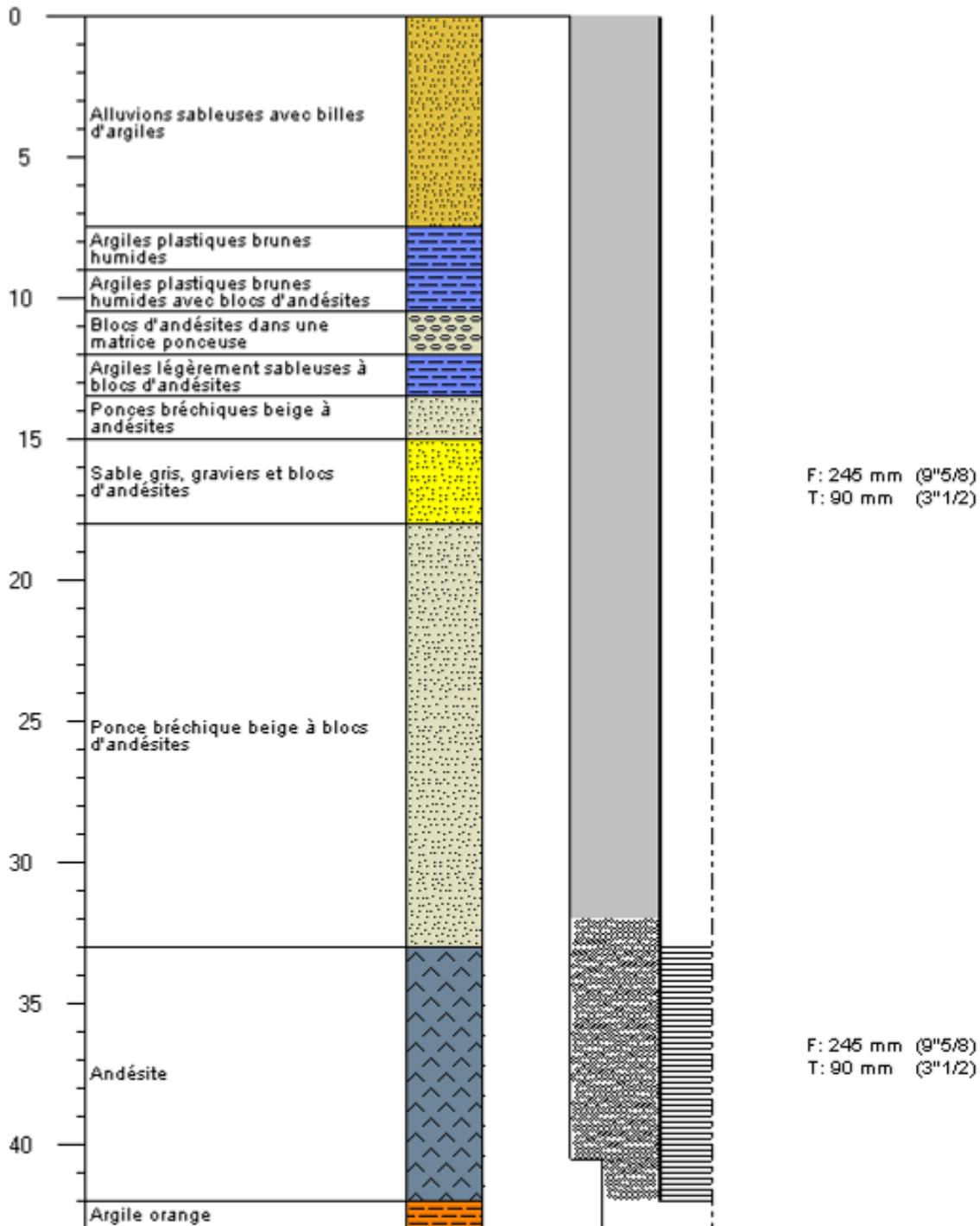
Coupe géologique et technique du forage 1177ZZ0165/CNF2



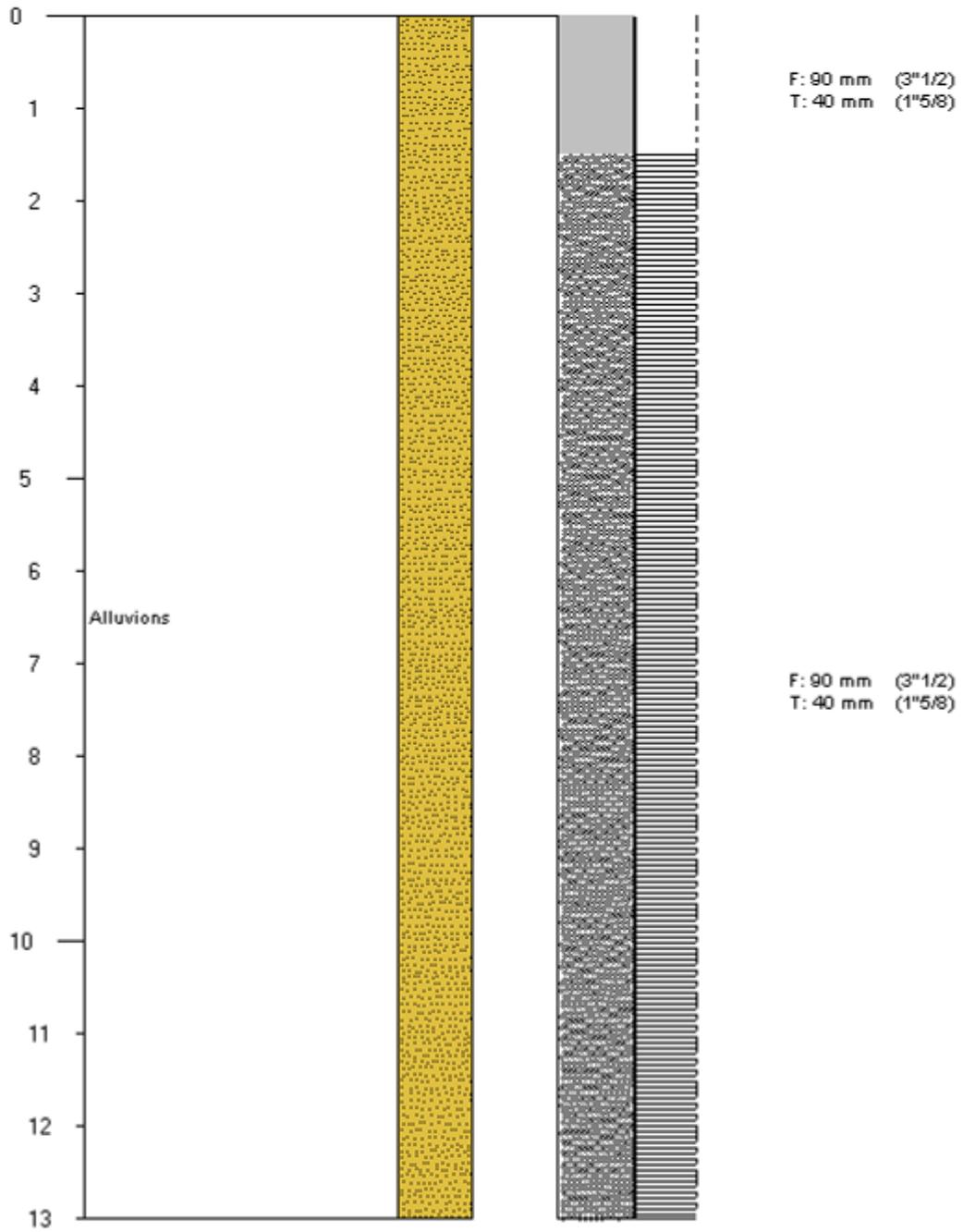
Coupe géologique et technique du forage 1177ZZ0181/CNF3



Coupe géologique et technique du forage 1177ZZ0183/PZ1



Coupe géologique et technique du forage 1177ZZ0184/PZ2



Coupe géologique et technique du forage 1177ZZ0185/PZ3

Annexe 2

Pompage par paliers réalisé en 1989 sur le forage 1177ZZ0165/CNF2

POMPAGE PAR PALIERS

IDENTIFICATION DU POMPAGE

Département : MARTINIQUE	N° classement : 1179ZZ0202
Commune : LAMENTIN	
Date du pompage : 08/12/87	Niveau initial: 8.18 m/sol

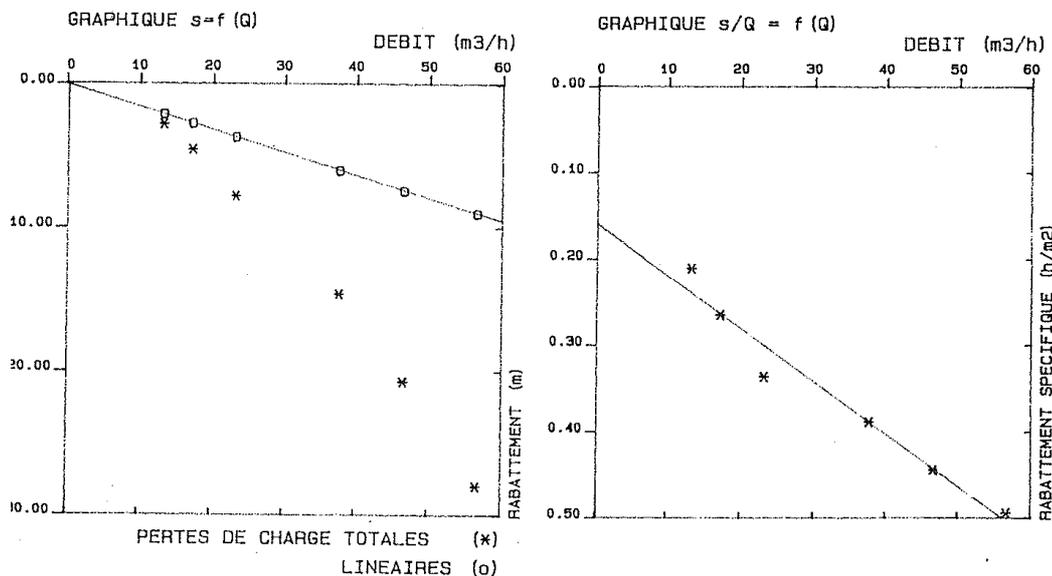
DESCRIPTION DU POMPAGE

PALIER	DUREE DU POMPAGE (minutes)	DEBIT MOYEN (m3/h)	RABATTEMENT FINAL (m)	RABATTEMENT SPECIFIQUE
n° 1	20	13.2	2.77	0.210
n° 2	65	17.2	4.55	0.265
n° 3	85	23.2	7.79	0.336
n° 4	110	37.7	14.62	0.388
n° 5	90	46.6	20.68	0.444
n° 6	110	56.6	27.95	0.494

CALCUL DES PERTES DE CHARGE

Courbe caractéristique $s = bQ + cQ^2$

- perte de charge linéaires : $b = 1.59 \cdot 10^{-1} \text{ h/m}^2 = 5.71 \cdot 10^2 \text{ s/m}^2$
- pertes de charge quadratiques : $c = 6.09 \cdot 10^{-3} \text{ h}^2/\text{m}^5 = 7.89 \cdot 10^4 \text{ s}^2/\text{m}^5$





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

Direction régionale de Martinique
4, Lot Miramar
Route Pointe des Nègres
97200 – Fort de France
Tél. : 05 96 71 17 70