



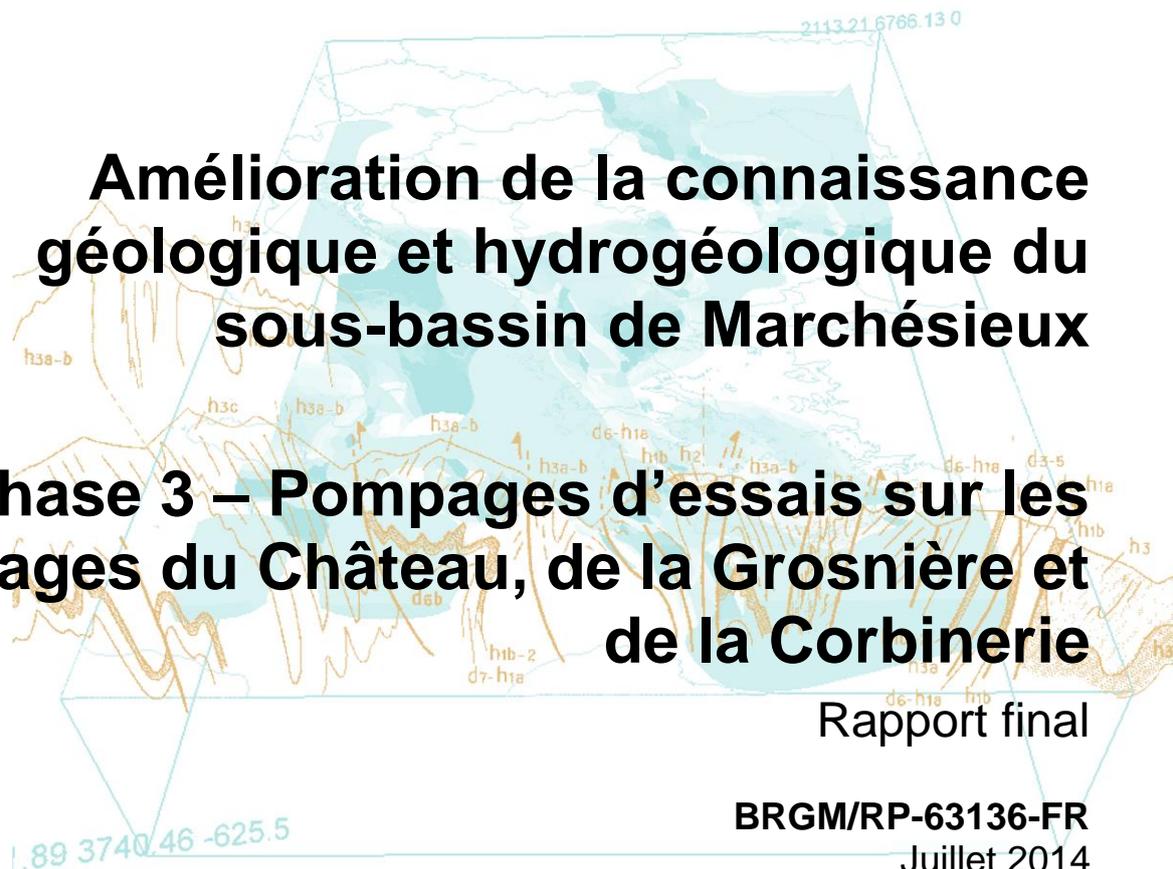
Amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux

Phase 3 – Pompages d’essais sur les forages du Château, de la Grosnière et de la Corbinerie

Rapport final

BRGM/RP-63136-FR

Juillet 2014



Amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux

Phase 3 – Pompages d’essais sur les forages du Château, de la Grosnière et de la Corbinerie

Rapport final

BRGM/RP-63136-FR

Juillet 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2013-2014

A. Laurent, B. Vittecoq, T. Klinka

Vérificateur :

Nom : Olivier DOUEZ

Date : 23/07/2014

Signature :



Approbateur :

Nom : Eric GOMEZ

Date : 02/09/2013

Signature :



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



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Sous-bassin de Marchésieux – Hydrogéologie - Pompages d'essai

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

A. Laurent, B. Vittecoq T. Klinka, (2014) – Amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux. Phase 3 – Pompages d'essais sur les forages du Château, de la Grosnière et de la Corbinerie. Rapport final. BRGM/RP-63136-FR, 63p.

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

Synthèse

Le bassin de Sainteny-Marchésieux représente une réserve aquifère particulièrement intéressante à l'échelle du département de la Manche puisqu'il alimente en eau potable un quart de la population du département. Le sous-bassin de Sainteny au nord-ouest (environ 35 km²) est exploité à raison de 4 millions de m³/an, tandis que le sous-bassin de Marchésieux, plus vaste (environ 100 km²) est actuellement très peu exploité. Les connaissances disponibles ne permettent pas d'évaluer précisément les potentialités des aquifères le constituant, les estimations variant de quelques millions de m³/an à quelques dizaines de millions de m³/an.

L'Agence de l'Eau Seine-Normandie, le conseil général de la Manche et le BRGM ont initié en 2012 un projet visant à améliorer la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux, et en particulier, sur la ressource en eau souterraine potentiellement exploitable et ses relations avec les zones humides, celles-ci représentant environ 30% de la superficie du sous-bassin de Marchésieux.

Ce projet est réalisé en concertation avec la DREAL Basse-Normandie, la DDTM de la Manche, les universités de Caen et Rennes, le Parc naturel régional des marais du Bessin et du Cotentin (PNRMCB), le Syndicat Mixte de Production d'Eau du Centre-Manche (SYMPEC) et le syndicat départemental des eaux de la Manche (SDeau50).

Le présent rapport s'inscrit dans la suite de la première phase du projet. Dans le rapport de phase 1 (Rapport BRGM/RP-62855-FR), une synthèse des données existantes a été réalisée. Le sous-bassin de Marchésieux est drainé par la Taute, marqué par la présence de nombreux aménagements hydrauliques (portes à flots, vannes,...) contrôlant les niveaux des rivières et marais et rendant très délicate toute approche de caractérisation hydrologique des écoulements de surface. Le sous-bassin de Marchésieux est également caractérisé par une paléomorphologie particulière ayant permis un remplissage d'environ 160 m de séries néogènes et pléistocènes (au moins six formations distinctes reconnues).

Le fonctionnement hydrogéologique est contraint par la structure et la nature des formations géologiques. Ainsi, il est probable que plusieurs aquifères soient présents, avec des horizons semi-perméables ou imperméables plus ou moins intercalés. Les tourbes sont également à considérer comme un aquifère qui, situé à l'aval et dans les points bas, constitue très probablement l'exutoire de l'ensemble des nappes du sous-bassin.

Le présent rapport présente les résultats de trois essais de puits et essais de nappes réalisés en juillet et août 2013 sur les forages du Château à Auxais, de la Grosnière à Saint-André-de-Bohon et de la Corbinerie à Saint-Georges-de-Bohon, ainsi que les résultats d'une réinterprétation d'un essai de nappe réalisé au début des années 1980 sur le forage d'Orgueil à Marchésieux. Ces essais ont été précédés de pompages de nettoyage ; pour le forage du Château d'Auxais, un nettoyage à l'air lift avec brossage a également été réalisé.

Les principaux résultats obtenus sont récapitulés dans l'illustration 1 et permettent notamment d'améliorer la caractérisation hydrodynamique des aquifères captés sur le bassin de Marchésieux, et de les comparer avec celles du bassin de Sainteny.

N°BSS	01176X0046/S1	01176X0061/F	01172X0121/S15	01176X0037/S4
Nom	Le Château	La Grosnière	La Corbinerie	Orgueil
Commune	Auxais	St-André-de-Bohon	St-Georges-de-Bohon	Marchésieux
Profondeur (m)	80	112	90	70
Formations captées	Marnes du Bosq d'Aubigny	Marnes du Bosq d'Aubigny & grès de Marchésieux	Faluns de Bohon	Marnes du Bosq d'Aubigny & grès de Marchésieux
Date - Essai de puits	16/07/2013	25/07/2013	05/08/2013	Pas d'information
Perte de charge quadratique (s^2/m^5)	33 000	5 200	16 800	Pas d'information
Date de début-Essai de nappe	16/7/13 14:30	29/7/13 13:00	6/8/13 9:00	Entre 1984 et 1986
Durée	72h	72h	72h	3h30
Profondeur début crépines (m)	38	27	18	20
Epaisseur crépinée (m)	40	100	70	45
Transmissivité (m^2/s)	3.8E-02	7.7E-02	1.3E-02	1.E-03

Illustration 1 : Récapitulatif des résultats des pompages d'essai par paliers de débit et de longue durée

Afin d'évaluer l'impact potentiel du pompage d'essai au forage de la Grosnière sur la zone humide et le ruisseau situé à proximité (La Bucaille), un dispositif, initialement non prévu, a été mis en place. Deux piézomètres P13 et P14 ont ainsi été installés au voisinage du forage de la Grosnière et suivis en continu lors du pompage d'essai. Le niveau du cours d'eau La Bucaille a également été suivi en continu.

La nappe de la tourbe n'a pas été impactée par le pompage d'essai de 72h réalisé sur le forage de la Grosnière. De plus le dispositif mis en place a permis de mieux comprendre le fonctionnement de la tourbière et ainsi d'émettre plusieurs hypothèses. La nappe de la tourbe serait en lien direct avec les eaux de surface via les fossés drainants, créant une interface de contact entre la tourbe et les eaux de surface. Sur le site de la Grosnière, les deux nappes (la nappe des tourbes et la nappe captée par le forage) semblent déconnectées, probablement en raison de la présence d'une couche d'argiles d'environ 30 m d'épaisseur entre les deux nappes. Par contre la nappe sous-jacente serait en connexion avec la nappe des tourbes plus en aval, ce qui expliquerait les fluctuations diurnes observés sur le suivi piézométrique de la nappe profonde et inapparent sur la nappe des tourbes au droit du site de la Grosnière.

Une des particularités de ces essais est l'observation de cycles diurnes (variations de niveau d'environ 5 à 10 cm) sur les rabattements mesurés pendant les pompages d'essai longue durée aux forages du Château d'Auxais et de la Grosnière. Ces cycles seraient vraisemblablement dus à l'évapotranspiration de la zone humide, dont le couvert végétal est d'autant plus développé en été. L'observation de ces cycles suppose un transfert de pression entre les nappes captées par ces forages et des zones humides, renforçant ainsi l'hypothèse que les zones humides constituent l'exutoire de l'ensemble des aquifères situés en amont hydraulique (même si, comme détaillé ci-dessus, des déconnexions locales peuvent être observées, ces fluctuations n'étant pas observées dans les deux piézomètres situés dans les tourbes sur le site de la Grosnière).

Sommaire

1. Contexte et objectifs	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. OBJECTIFS	10
1.3. SUIVI PIEZOMETRIQUE	11
2. Forage du château d'Auxais 01176X0046/S1.....	14
2.1. NETTOYAGE DU FORAGE.....	14
2.2. POMPAGES D'ESSAI PAR PALIERS DE DÉBIT	16
2.3. POMPAGE D'ESSAI LONGUE DUREE.....	18
3. Forage de la Grosnière 01176X0061/F	23
3.1. POMPAGES D'ESSAI PAR PALIERS DE DEBIT	23
3.2. POMPAGE D'ESSAI LONGUE DUREE.....	24
3.2.1. Points de mesure.....	24
3.2.2. Résultats.....	25
4. Forage de la Corbinerie 01172X0121/S15	31
4.1. POMPAGES D'ESSAI PAR PALIERS DE DEBIT	31
4.2. POMPAGE D'ESSAI LONGUE DUREE.....	33
5. Réinterprétation du pompage au forage Orgueil – 01176X0037/S4	37
6. Cycles diurnes.....	39
6.1. INFLUENCE DE LA MAREE.....	40
6.2. VARIATION DES TEMPERATURES ET DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE	
42	
7. Comparaison des résultats.....	45
8. Conclusion.....	51
9. Bibliographie	53

Liste des illustrations

Illustration 1 : Récapitulatif des résultats des pompages d'essai par paliers de débit et de longue durée	4
Illustration 2 : Localisation de la zone d'étude, du sous-bassin hydrogéologique de Marchésieux et représentation des cours d'eau pérennes (BDTOPO).....	9
Illustration 3 : Localisation des pompages d'essai réalisés en 2013 et des données de transmissivités disponibles en bibliographie.....	10
Illustration 4 : Chroniques piézométriques des trois forages Le Château – La Grosnière – La Corbinerie.....	12
Illustration 5 : Photo prise au début du nettoyage au forage d'Auxais 01176X0046/S1	15
Illustration 6 : Photo prise à la fin du nettoyage au forage d'Auxais 01176X0046/S1	15
Illustration 7 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage 01176X0046.....	16
Illustration 8 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage du Château d'Auxais – 01176X0046/S1 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.	17
Illustration 9 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage du château d'Auxais - 01176X0046/S1.....	18
Illustration 10 : Rabattements observés (courbe rouge) et calculés (courbe noire) lors du pompage de 72h du 16 au 19 juillet 2013 au forage du Château d'Auxais.....	19
Illustration 11 : Différents calages des rabattements calculés sur les rabattements observés ...	20
Illustration 12 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage le Château d'Auxais.....	21
Illustration 13 : Rabattements observés au puits (courbe marron) à proximité du forage du Château d'Auxais (courbe bleue)	21
Illustration 14 : Rabattements observés au puits (courbe marron) à proximité du forage du Château d'Auxais (courbe bleue), zoom sur la période de pompage d'essai	22
Illustration 15 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage 01176X0061/F 23	
Illustration 16 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage de la Grosnière – 01176X0061/F (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.	23
Illustration 17 : Localisation des points de mesure sur le site de la Grosnière sur fond de carte SCAN25 au 1/25000 ^{ème} (source IGN).....	24
Illustration 18 : Photo vu sur l'amont de la Bucaille, au niveau du pont de la D101, sur le site de la Grosnière	25
Illustration 19 : Photo du seuil au droit du pont de la D101, obstacle sur la Bucaille, sur le site de la Grosnière	25
Illustration 20 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage de la Grosnière – 01176X0061/F.....	25
Illustration 21 : Rabattements observés (courbe rouge) et calculés (courbe noire) lors du pompage de 72h du 29 juillet au 1 ^{er} août 2013.....	26
Illustration 22 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage la Grosnière	27
Illustration 23 : Schéma en coupe du site de la Grosnière entre le forage de la Grosnière et le cours d'eau La Bucaille.....	27
Illustration 24 : Suivis des niveaux d'eau sur le site de la Grosnière	28

Illustration 25 : Suivi des niveaux d'eau sur le site de la Grosnière – zoom sur la période de pompage	29
Illustration 26 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage 01172X0121/S1531	
Illustration 27 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage de la Corbinerie – 01172X0121/S15 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.	32
Illustration 28 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage de la Corbinerie 01172X0121/S15	33
Illustration 29 : Rabattements observés (courbe rouge) et calculés (courbe noire) lors du pompage de 72h du 06 au 09 août 2013.....	34
Illustration 30 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage de la Corbinerie	35
Illustration 31 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage Orgueil 01176X0037/S4	37
<i>Illustration 32 : Rabattements observés (points rouges) et calculés (courbe pleine noire et courbe pointillée violette) lors du pompage et paramètres de calages (Avec, T : Transmissivité (m^2/s), S : Coefficient d'emmagasinement (sans unité), r : rayon de l'ouvrage (m), C : pertes de charge quadratique (s^2/m^5), E : coefficient d'ajustement de Nash)</i>	<i>38</i>
Illustration 33 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage Orgueil ...	38
Illustration 34 : Comparaison des cycles de la Taute aux cycles des marées.....	41
Illustration 35 : Evolution des rabattements observés au forage d'Auxais et du niveau de la Taute pendant les pompages d'essai	41
Illustration 36 : Suivi de la température de l'air et de la pression atmosphérique sur le site de référence de Tribehou pendant la période des pompages d'essai en juillet et août 2013	42
Illustration 37 : Comparaison du niveau piézométrique au forage du château d'Auxais avec la température de l'air pendant le pompage d'essai longue durée	43
Illustration 38 : Comparaison du niveau piézométrique au forage de la Grosnière avec la température de l'air pendant le pompage d'essai longue durée	44
Illustration 39 : Liste des forages avec essai de puits retrouvés en bibliographie	45
Illustration 40 : Comparaison des pertes de charge quadratique et linéaire	46
Illustration 41 : Comparaison des pertes de charge linéaire des forages	47
Illustration 42 : Localisation des pompages d'essai réalisés en 2013 et des transmissivités collectées en bibliographie.....	48
Illustration 43 : Comparaison des pertes de charge linéaire aux transmissivités	49

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes géologiques et techniques des forages	55
Annexe 2 Données brutes des essais de puits	61
Annexe 3 Données brutes AQUASSYS des pompages d'essai longue durée – Relevés manuels	65
Annexe 4 Données des essais de puits relevés en bibliographie	71
Annexe 5 Données de transmissivités relevées en bibliographie (cf. Rapport BRGM/RP-62855-FR phase I)	77

1.2. OBJECTIFS

L'objectif était la réalisation du nettoyage, des essais de puits par paliers et des pompages d'essais de 72h à un débit d'environ 20 m³/h de trois forages existants.

Les forages La Corbinerie, Le Château et la Grosnière sont localisés en vert sur l'illustration 3. Ils se situent sur les communes d'Auxais, de Saint-André-de-Bohon et de Saint-Georges-de-Bohon, à moins de 10 km au sud-ouest de Carentan. La distance entre ces forages est comprise entre 1 et 5 km.

Les valeurs de transmissivité disponibles en bibliographie (Laurent A. et N'Gom M., 2013), sont présentées en rouge sur l'illustration 3 et sont discutées au chapitre 7.

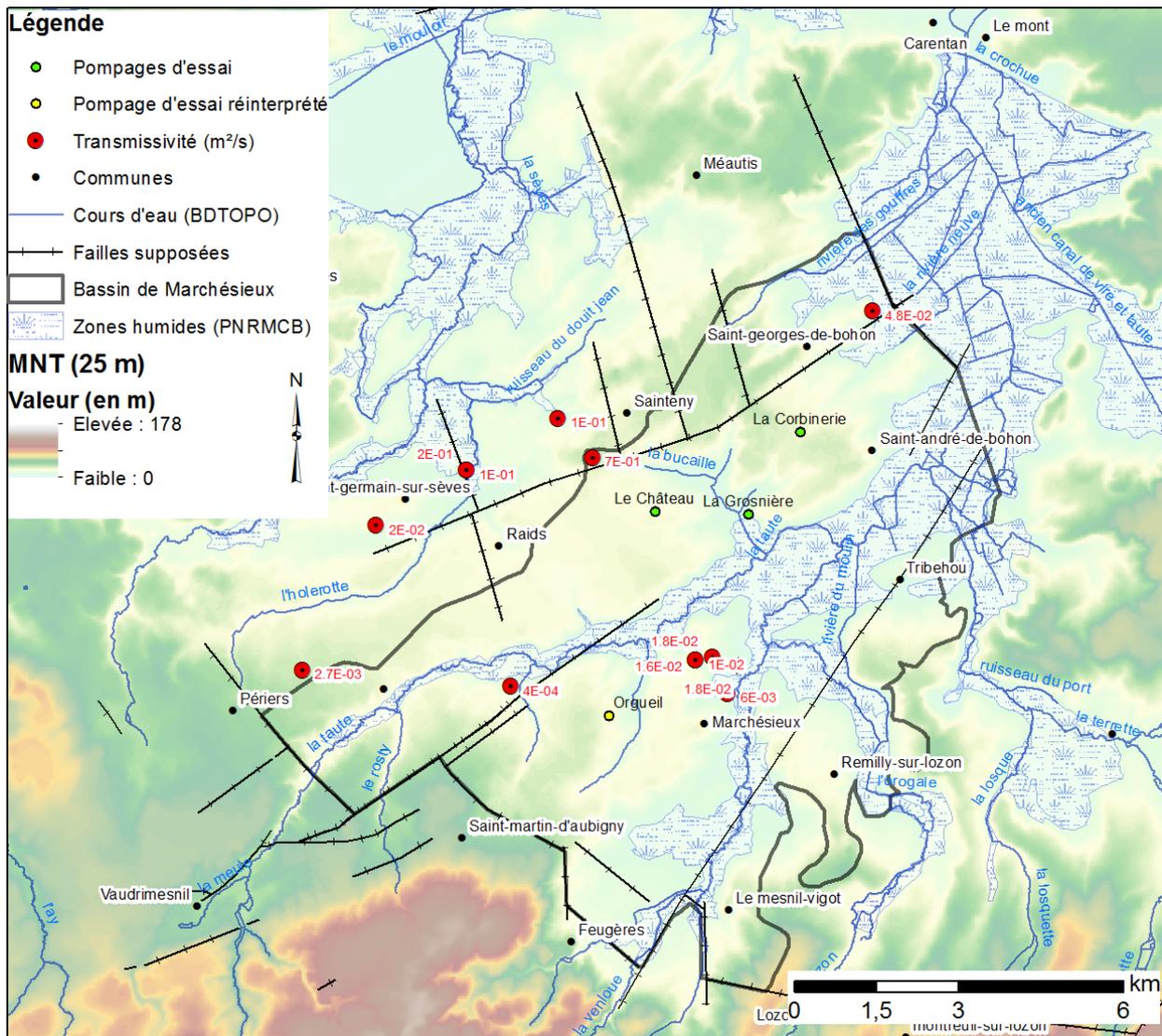


Illustration 3 : Localisation des pompages d'essai réalisés en 2013 et des données de transmissivités disponibles en bibliographie

Ces forages sont équipés de tubages PVC de diamètre 110/125 mm. Les travaux réalisés sont les suivants :

- L'installation sur chaque site (3 sites).
- Le nettoyage du forage par pompages à débits progressifs pendant 8 heures.
- La réalisation d'essais par paliers de débits : 4 paliers d'une heure non enchainés.
- La réalisation de pompage d'essai de 72h à un débit constant d'environ 20 m³/h avec suivi des niveaux et des débits en continu, et suivi de la remontée.

Les spécifications des pompages étaient les suivantes :

- ✓ Réalisation d'essais par paliers à 4 débits différents et progressifs. Chaque palier a duré au minimum une heure, avec entre chaque palier un arrêt d'une heure. Les niveaux d'eau et les débits pompés ont été suivis pendant ces essais. Des mesures automatiques et manuelles ont été effectuées.
- ✓ Réalisation d'un essai de nappe par pompage à un débit constant et continu défini à la suite des essais par paliers pendant 72 heures en continu, avec suivi des niveaux d'eau, de la conductivité électrique et de la température de l'eau ainsi que des débits pompés (mesures automatiques et manuelles).
- ✓ Suivi de la remontée de la nappe après l'arrêt du pompage jusqu'à retrouver son niveau initial (mesures automatiques et manuelles).

1.3. SUIVI PIEZOMETRIQUE

Les trois forages sur lesquels des essais de puits et de nappe ont été réalisés appartiennent à des réseaux de suivi piézométrique (SYMPEC et ONEMA/BRGM). Leurs chroniques sont représentées sur l'illustration 4. Le forage de la Grosnière est suivi depuis 2001 par la DREAL puis par le BRGM depuis 2009 et les deux autres sont suivis par le SYMPEC depuis 1999.

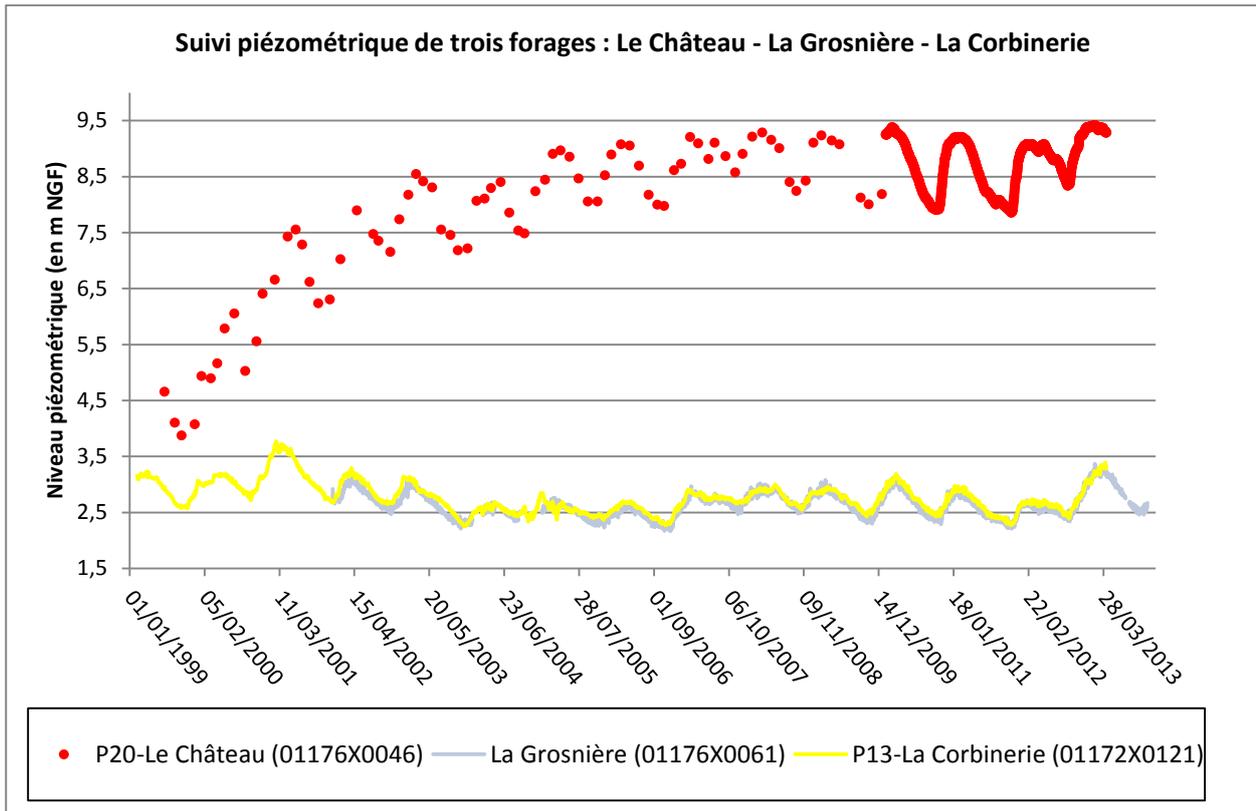


Illustration 4 : Chroniques piézométriques des trois forages Le Château – La Grosnière – La Corbinerie

Les forages de la Corbinerie et de la Grosnière captent une nappe à cycles annuels et montrent des évolutions piézométriques très similaires.

Le forage du Château d’Auxais montre également des variations annuelles de niveaux mais avec un niveau moyen qui a augmenté progressivement de 1999 à 2007 (passant d’environ +4 m NGF à +8,5 m NGF) et semblant se stabiliser à partir de cette dernière date, ce dernier phénomène est vraisemblablement lié au colmatage progressif de l’ouvrage et à la mise en communication de deux nappes (cf. paragraphe 2.1).

2. Forage du château d'Auxais 01176X0046/S1

2.1. NETTOYAGE DU FORAGE

Un nettoyage à l'air lift avec brossage a été réalisé le 5 juillet 2013. Ce nettoyage a permis un bon dé-colmatage du forage, avec environ 1 m³ de sable coquillier gris très fin extrait du forage.

La profondeur du niveau d'eau mesurée avant le nettoyage était de 8.75 m, soit une cote piézométrique de 8.84 m NGF. Après le nettoyage, la profondeur du niveau d'eau mesurée était de 14.60 m, soit une cote piézométrique de 2.99 m NGF. Cette cote correspond à un niveau stabilisé, la même profondeur a été mesurée 10 jours plus tard, le 15 juillet, avant le démarrage des essais de pompages par paliers de débits.

Deux hypothèses sont envisagées pour expliquer cette différence de cote piézométrique de 5,85 m. La première est que le forage était partiellement colmaté par des particules fines, le nettoyage a donc permis de retrouver la profondeur « réelle » de l'eau dans ce forage. La profondeur mesurée est cohérente avec celle indiquée dans les archives, réalisée quelques mois après la réalisation du forage (14,40 m le 12/02/1992, soit une cote piézométrique de 3,19 m NGF).

La seconde hypothèse, est que ce forage met en communication deux nappes. La première nappe circulerait dans les limons argileux recoupés entre 6 et 16 m de profondeur, nappe également recoupée à proximité par le puits du Château d'Auxais (dont la profondeur est de 13.5 m, et la profondeur du niveau d'eau par rapport au sol de 3,2 m). La seconde nappe circulerait dans les limons argilo-sableux coquilliers recoupés entre 48 et 80 m de profondeur. Ces deux nappes seraient séparées par une trentaine de mètres d'argiles grises. Le forage est crépiné de 38 à 78 m ; néanmoins, n'étant cimenté que sur les 5 premiers mètres, il met en communication les deux nappes via le massif filtrant. Le niveau d'eau mesuré correspondrait donc à un équilibre de pression entre les deux nappes. L'évolution du niveau piézométrique dans ce forage présenté sur l'illustration 4 renforce cette hypothèse. A noter que ces deux hypothèses ne sont pas incompatibles et peuvent se cumuler.

Un pompage de nettoyage a ensuite été réalisé le 12 juillet pendant 8 heures. La photo présentée dans l'illustration 6 montre une eau claire après quelques heures de pompage.



Illustration 5 : Photo prise au début du nettoyage au forage d'Auxais 01176X0046/S1



Illustration 6 : Photo prise à la fin du nettoyage au forage d'Auxais 01176X0046/S1

Les pompages d'essai ont été mis en œuvre par l'entreprise AQUASSYS du 15 au 19 juillet 2013, les données brutes sont présentées en Annexe 3.

2.2. 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 linéaire 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 quadratique (non linéaire) 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 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 OUAIP](#) développé par le BRGM (évaluation des coefficients b et c). Les données brutes sont présentées en Annexe 2 et synthétisées dans l'illustration 7.

Débit (m3/h)	Rabattement à 60 min (m)	Durée total de la descente (min)	Durée de la remontée (min)	Débit spécifique (m3/h.m)	Rabattement spécifique (h/m ²)
6.00	0.18	52	10	33.33	0.0300
10.00	0.37	85	10	27.03	0.0370
15.00	0.79	105	20	18.99	0.0527
21.00	1.41	70	20	14.89	0.0671

Illustration 7 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage 01176X0046

L'illustration 8 représente à gauche la courbe caractéristique de l'essai de puits du forage du Château d'Auxais et à droite la droite débits/rabattements spécifiques. Ainsi, pour un débit de 21 m³/h, le rabattement de la nappe au droit du forage se décompose de la façon suivante : 0,27 m lié aux pertes de charge linéaire (écoulement laminaire dans l'aquifère) et 1,14 m lié aux pertes de charge quadratique (équipement du forage). Ainsi pour ce débit, les pertes de charge linéaires sont assez faibles par rapport aux pertes de charge quadratique, plus importantes. Le débit critique est estimé à 5 m³/h, correspondant au débit pour lequel les pertes de charges quadratiques sont égales aux pertes de charges linéaire.

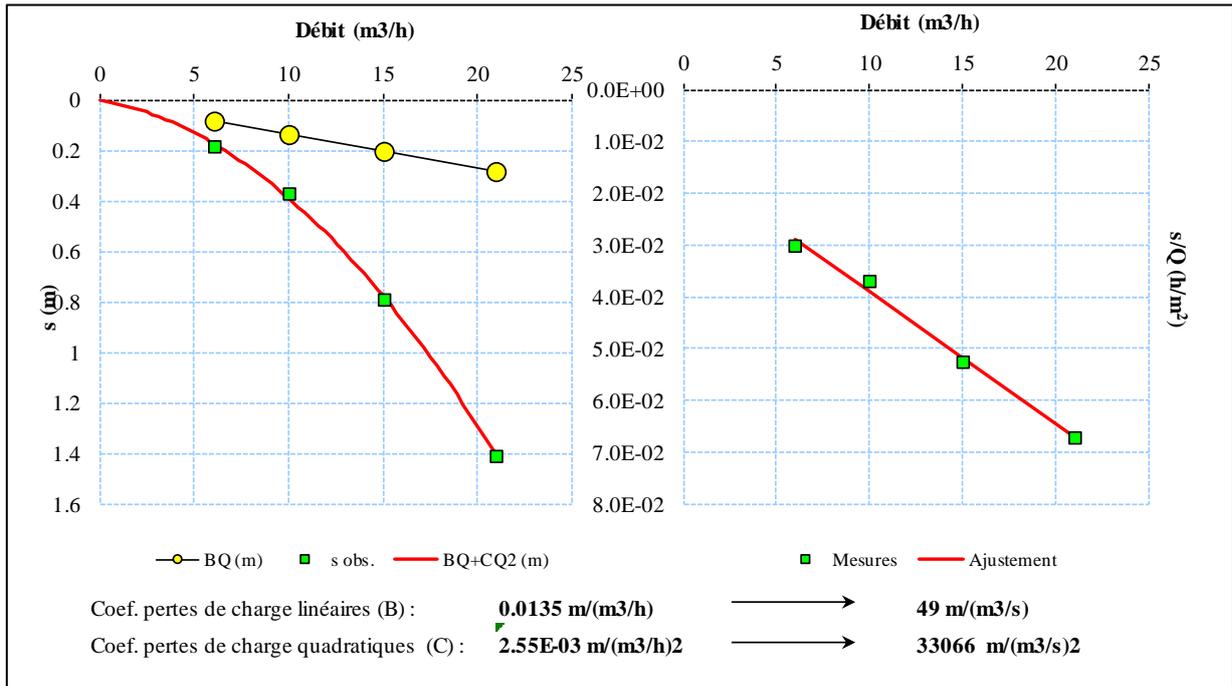


Illustration 8 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage du Château d'Auxais – 01176X0046/S1 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.

2.3. POMPAGE D'ESSAI LONGUE DUREE

Le pompage a commencé le 16/07/2013 à 14h30, les principales caractéristiques du pompage d'essai sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Débit de pompage	21,2 m ³ /h
Durée pompage	72 h
Profondeur du niveau d'eau avant le pompage	14,60 m
Cote piézométrique avant le pompage	2,99 m NGF
Rabattement maximal	1,5 m
Cote piézométrique équivalente au rabattement max	1,49 m NGF
Débit spécifique	14,1 m ³ /h/m

Illustration 9 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage du château d'Auxais - 01176X0046/S1

Les rabattements observés au puits de pompage sont présentés sur l'illustration 10. Les données brutes AQUASSYS sont présentées en Annexe 3. La profondeur du niveau d'eau par rapport au sol était de 14,60 m avant le début du pompage, et la profondeur par rapport au sol atteinte en fin de pompage de 16,07 m. Le rabattement en fin de pompage est donc de **1,5 m**. La remontée a été suivie pendant 2h30.

La profondeur de l'ouvrage est de 80 m par rapport au sol. Il recoupe des formations argileuses et sableuses, sur l'ensemble de l'ouvrage. Le forage est crépiné sur 40 m d'épaisseur, captant la formation du complexe du Bosq d'Aubigny.

La représentation des rabattements sur l'illustration 11 permet de mettre en évidence des cycles diurnes. L'amplitude des variations du rabattement piézométrique est de l'ordre de 5 cm. Afin de quantifier l'impact de ces variations sur le calcul des paramètres hydrodynamiques, à l'aide du logiciel OUAIP, développé par le BRGM, deux « courbes enveloppes » ont été calées sur la courbe des rabattements mesurées, l'une calée sur les rabattements maximums et l'autre sur les rabattements minimums. Le paramètre de calage, qui est la transmissivité, varie entre $3,4.10^{-2}$ et $4,2.10^{-2}$ m²/s.

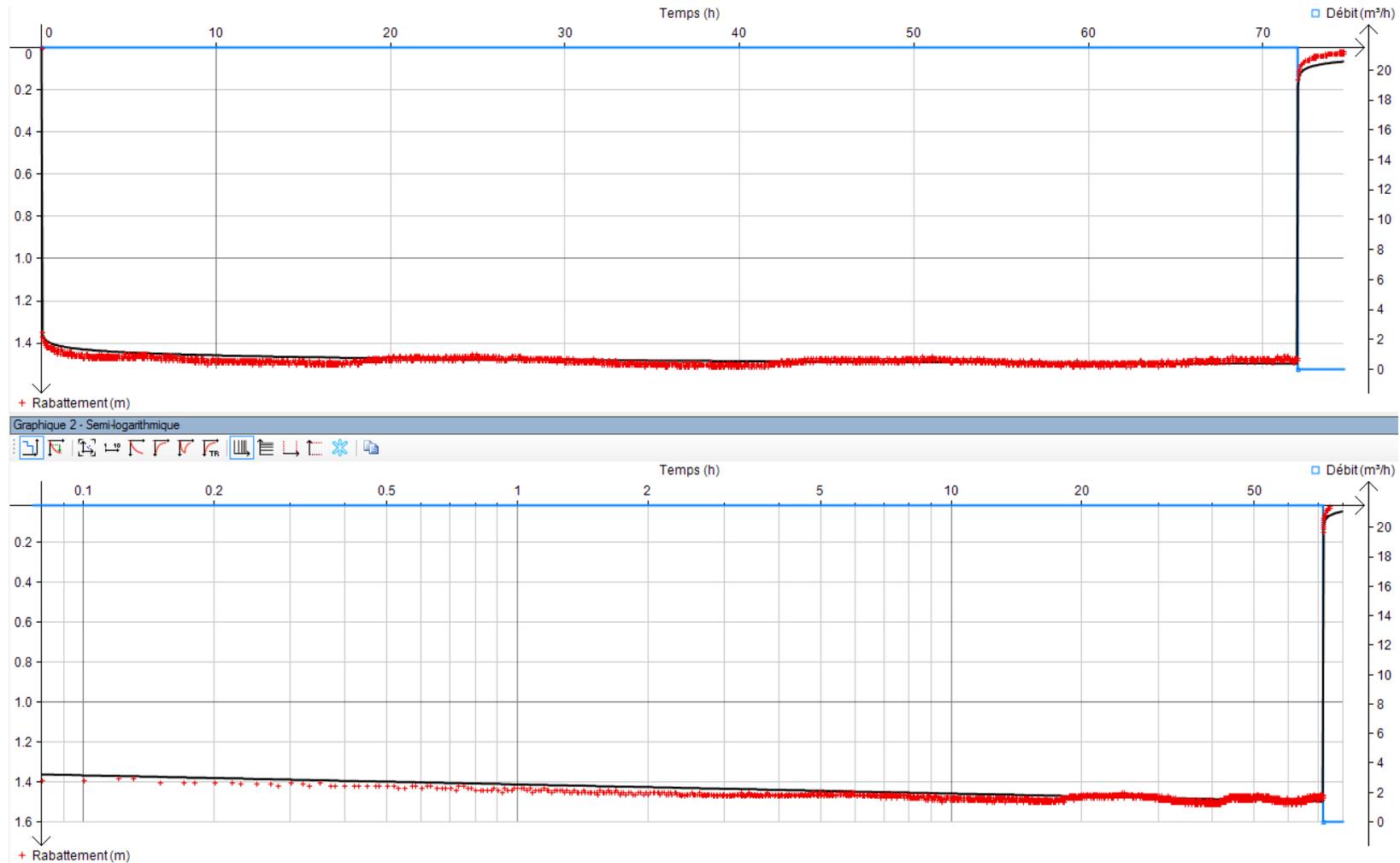
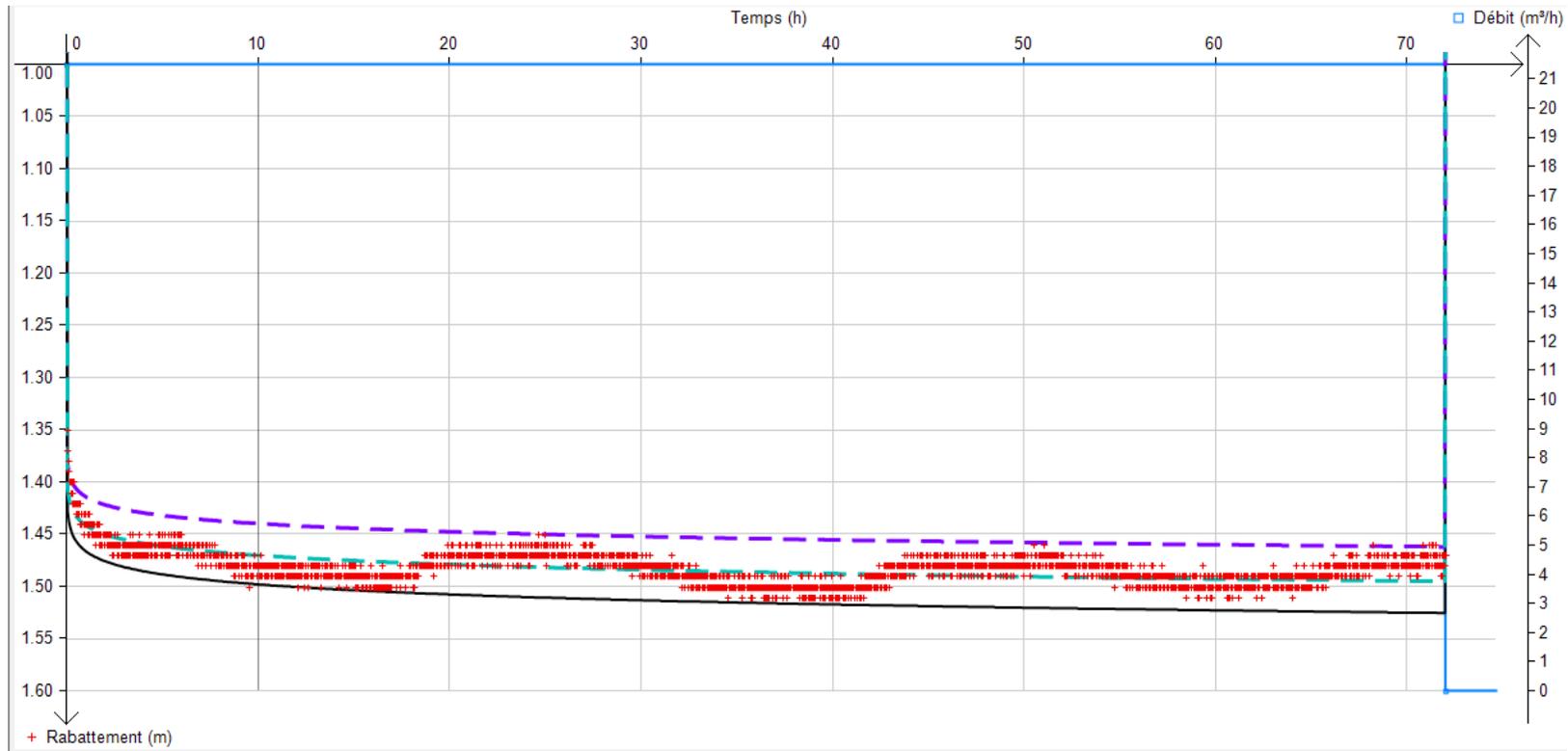


Illustration 10 : Rabatements observés (courbe rouge) et calculés (courbe noire) lors du pompage de 72h du 16 au 19 juillet 2013 au forage du Château d'Auxais



Courbe	E		Formule	T	S	r	C
	0.980	<input checked="" type="checkbox"/>	Nappe captive	3.424E-2	1E-4	5E-2	33 000
	0.980	<input checked="" type="checkbox"/>	Nappe captive	4.22E-2	1E-4	5E-2	33 000
	0.992	<input checked="" type="checkbox"/>	Nappe captive	3.764E-2	1E-4	5E-2	33 000

Avec,

T : Transmissivité (m^2/s)

S : Coefficient d'emmagasinement (sans unité)

r : rayon de l'ouvrage (m)

C : pertes de charge quadratique (s^2/m^5)

E : coefficient d'ajustement de Nash

Illustration 11 : Différents calages des rabattements calculés sur les rabattements observés

Les paramètres hydrodynamiques retenus sont présentés dans l'illustration 12, la transmissivité moyenne est de $3,8.10^{-2}$ m²/s avec un coefficient de Nash de 0,992, proche de 1 ce qui est très satisfaisant. Les variations diurnes du rabattement ont peu d'impact dans le calcul de la transmissivité.

	Solution analytique de Theis
Transmissivité (m ² /s)	$3,8.10^{-2}$
Coefficient d'emmagasinement (S), valeur de calage	1.10^{-4}
r (m)	0,05
Pertes de charges quadratiques (s ² /m ⁵)	33 000

Illustration 12 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage le Château d'Auxais

Les rabattements de la nappe ont également été observés dans un puits à proximité du forage du Château d'Auxais et présentés sur l'illustration 13. Le puits atteint une profondeur de 13,5 m.

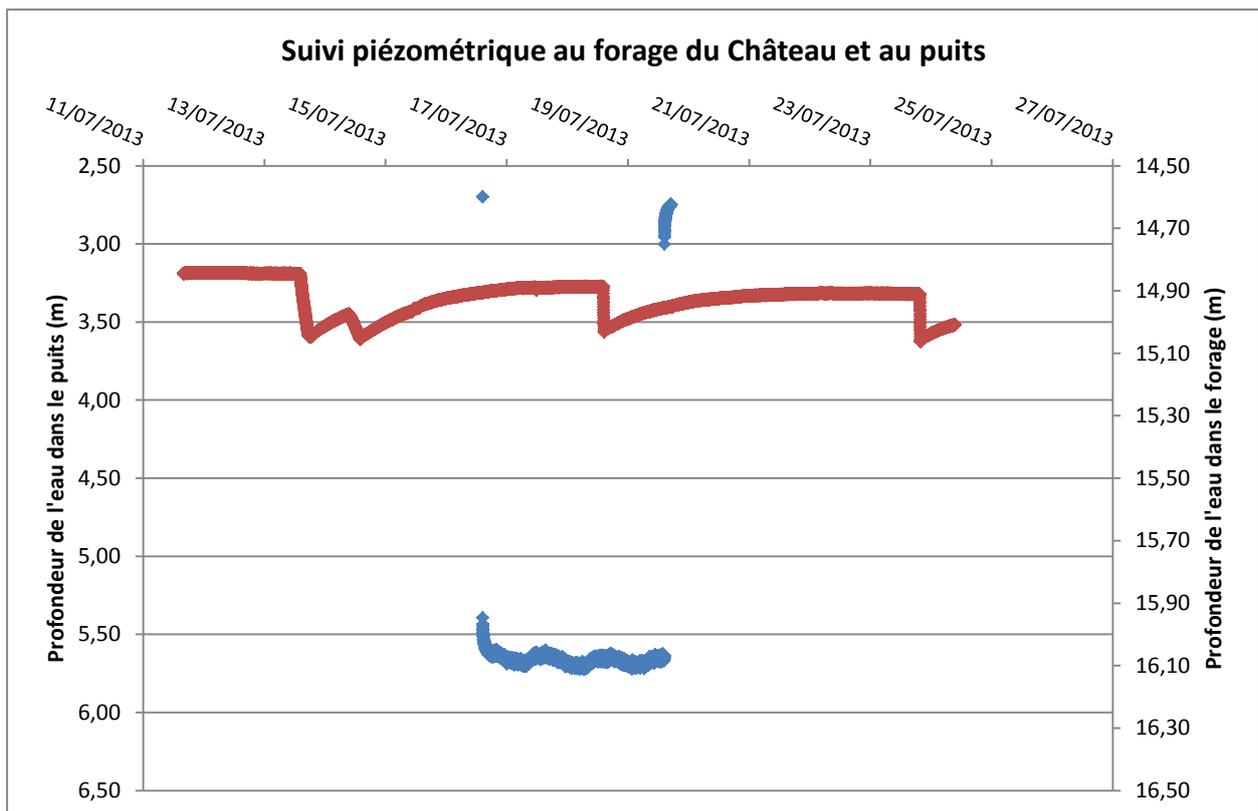


Illustration 13 : Rabattements observés au puits (courbe marron) à proximité du forage du Château d'Auxais (courbe bleue)

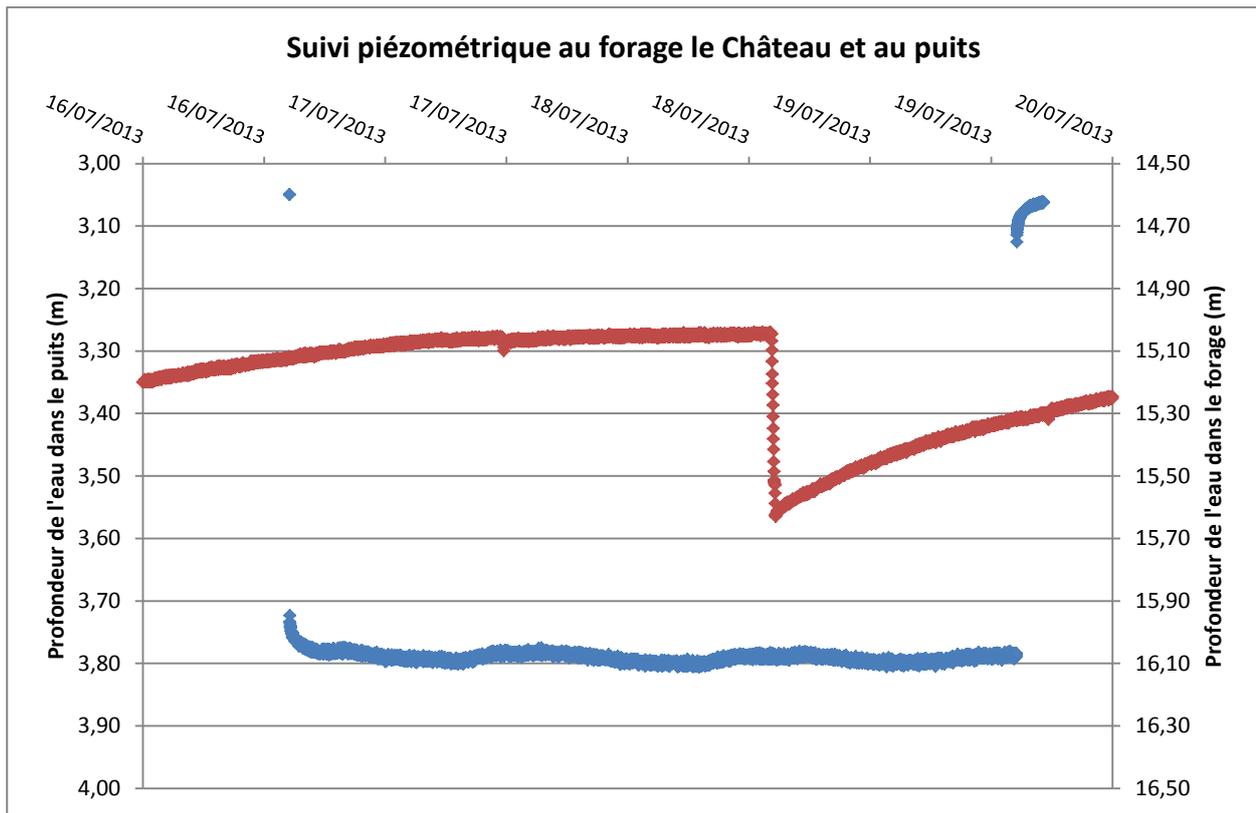


Illustration 14 : Rabattements observés au puits (courbe marron) à proximité du forage du Château d'Auxais (courbe bleue), zoom sur la période de pompage d'essai

Le suivi piézométrique au droit du puits d'observation (Illustration 13) montre l'influence des prélèvements d'eau réalisés par le propriétaire. Il pomperait en moyenne quelques m^3/h quelques heures par jour plusieurs fois par semaine. En revanche, pendant la période de pompage d'essai (Illustration 14), le niveau piézométrique au puits d'observation ne semble pas influencé, ce qui signifie que le pompage réalisé au forage du château situé à environ 100 m du puits d'observation, n'influence pas ce dernier.

D'après la coupe technique du forage du château, celui-ci (Annexe 1) capte l'aquifère des sables coquillers entre environ 45 et 80 m de profondeur, par contre le puits, profond de 13,5 m, capte une nappe superficielle. Un horizon argileux est intercalé entre les deux réservoirs aquifères d'une épaisseur d'environ 30 m, ce qui pourrait expliquer la non-influence du pompage de la nappe profonde sur la nappe superficielle.

3. Forage de la Grosnière 01176X0061/F

3.1. POMPAGES D'ESSAI PAR PALIERS DE DEBIT

Comme pour le précédent ouvrage, le logiciel OUAIP a été utilisé et les données brutes sont présentées en Annexe 2.

Débit (m3/h)	Rabattement à 60 min (m)	Durée total de la descente (min)	Durée de la remontée (min)	Débit spécifique (m3/h.m)	Rabattement spécifique (h/m ²)
5.00	0.04	80	10	125.00	0.0080
10.00	0.09	60	10	111.11	0.0090
15.00	0.18	75	10	83.33	0.0120
22.00	0.32	30	10	68.75	0.0145

Illustration 15 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage 01176X0061/F

L'illustration 16 représente à gauche la courbe caractéristique de l'essai de puits du forage du Château d'Auxais et à droite la droite débits/rabattements spécifiques. On peut ainsi calculer que pour un débit de 21 m³/h, le rabattement de la nappe au droit du forage se décompose en 0,12 m lié aux pertes de charge linéaire (écoulement laminaire dans l'aquifère) et 0,20 m lié aux pertes de charge quadratique (équipement du forage). Le débit critique est estimé à 14 m³/h, correspondant au débit pour lequel les pertes de charges quadratiques sont égales aux pertes de charges linéaire.

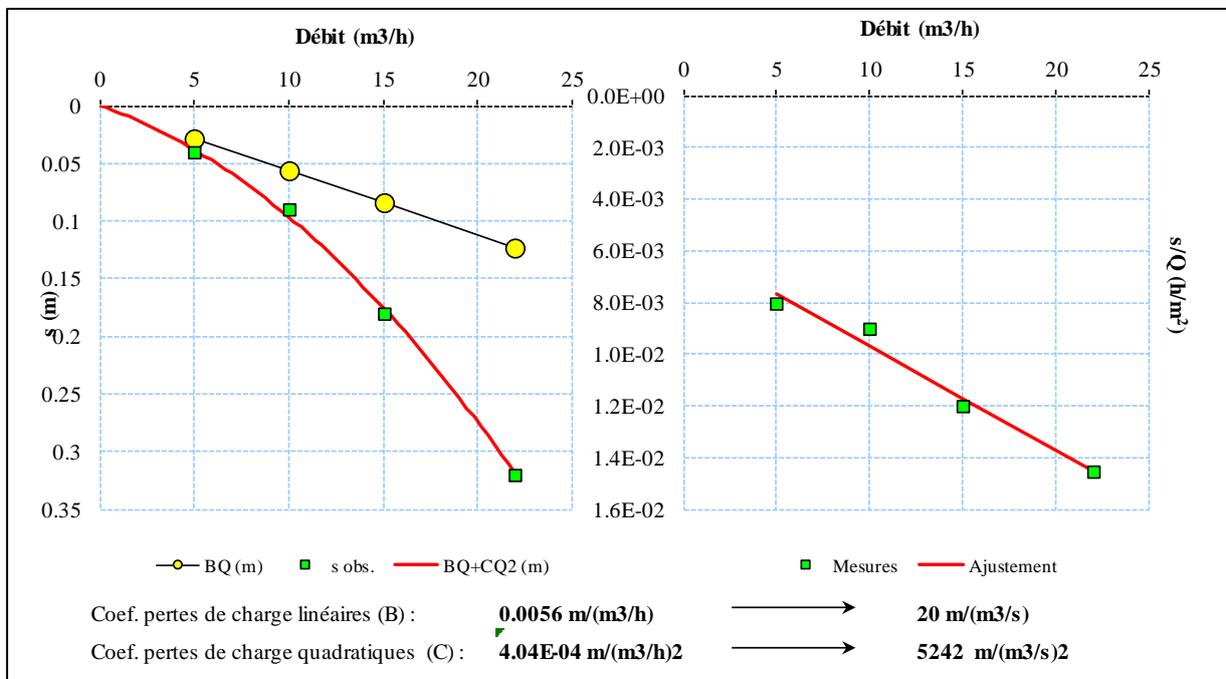


Illustration 16 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage de la Grosnière – 01176X0061/F (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.

3.2. POMPAGE D'ESSAI LONGUE DUREE

3.2.1. Points de mesure

Afin d'évaluer l'impact potentiel du pompage sur la zone humide et le ruisseau La Bucaille, un dispositif, initialement non prévu, a été mis en place. Deux piézomètres P13 (01176X0076/PZ13) et P14 (01176X0075/PZ14) ont ainsi été installés à proximité du forage de la Grosnière et suivis en continu lors du pompage d'essai. Le niveau du cours d'eau La Bucaille a également été suivi en continu, un appareil ayant été installé au fond du ruisseau à proximité du point nivelé « 6B » (Illustration 17).

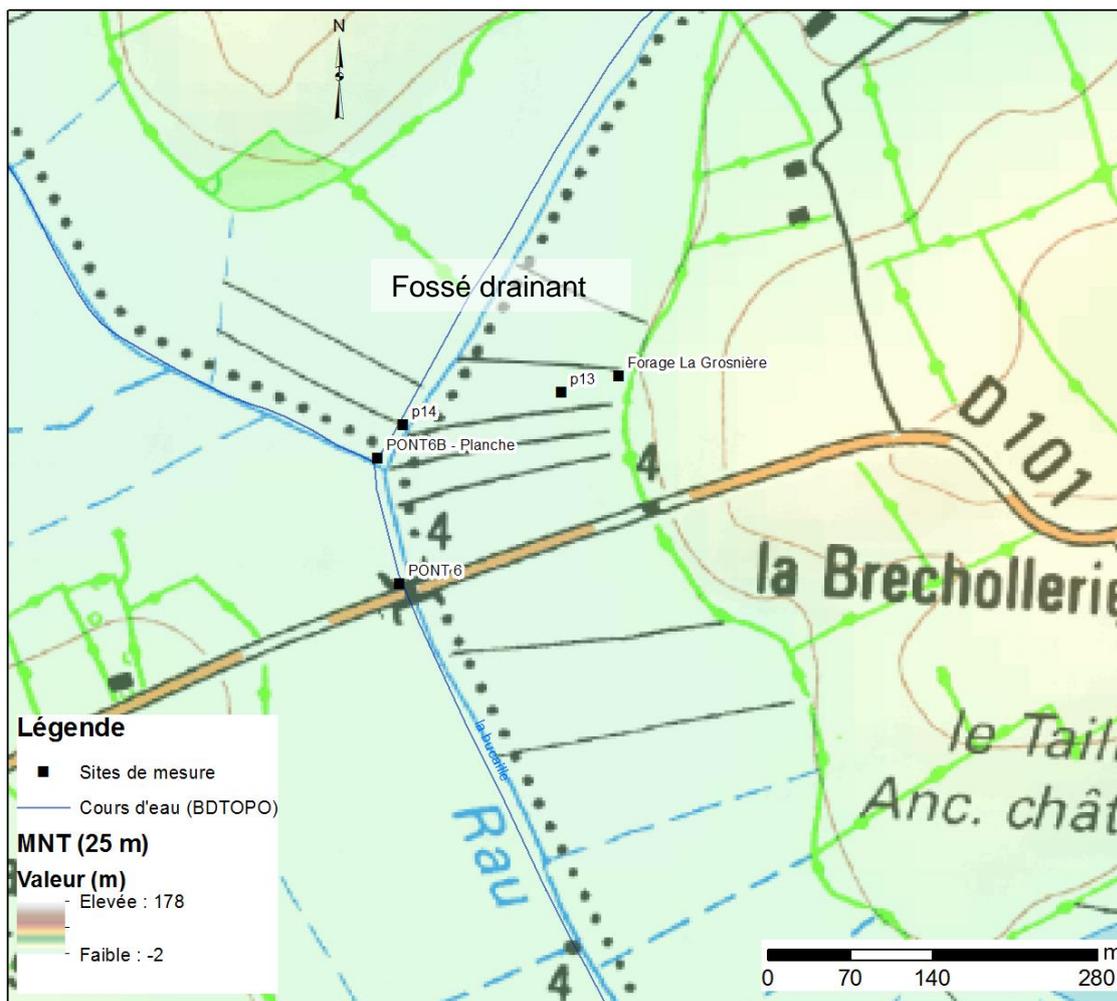


Illustration 17 : Localisation des points de mesure sur le site de la Grosnière sur fond de carte SCAN25 au 1/25000^{ème} (source IGN)

Sur l'illustration 17, les piézomètres sont positionnés par rapport au cours d'eau de la BDTOPO. Le décalage de position du cours entre la BDTOPO et le fond de carte SCAN25 est probablement dû à un léger décalage entre les systèmes de projection (Lambert 93 et WGS 84). Les piézomètres (P13 (01176X0076/PZ13) et P14 (01176X0075/PZ14)) installés permettent de mesurer le niveau piézométrique de la nappe des tourbes, leurs coupes techniques, ainsi que celles du forage sont présentées en Annexe 1.

Le cours d'eau la Bucaille semblerait être temporairement un bras mort. En effet, aucun écoulement n'était observable en aval du site au niveau du seuil du pont de la D101 (point PONT6, Illustration 17) fin juillet 2013. Lorsque le niveau du cours d'eau repasse au-dessus du niveau du seuil, le cours d'eau reprend alors un écoulement vers l'aval.



Illustration 18 : Photo vue sur l'amont de la Bucaille, au niveau du pont de la D101, sur le site de la Grosnière



Illustration 19 : Photo du seuil au droit du pont de la D101, obstacle sur la Bucaille, sur le site de la Grosnière

3.2.2. Résultats

Le pompage a commencé le 29/07/2013 à 13h00, les principales caractéristiques du pompage d'essai sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Débit de pompage	22,2 m ³ /h
Durée pompage	72 h
Profondeur du niveau d'eau avant le pompage	2,55 m
Cote piézométrique avant le pompage	2,8 m NGF
Rabatement maximal	0,39 m
Cote piézométrique équivalente au rabatement max	2,4 m NGF
Débit spécifique	56,9 m ³ /h/m

Illustration 20 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage de la Grosnière – 01176X0061/F

La profondeur du niveau d'eau par rapport au sol était de 2,6 m avant le début du pompage, la nappe est captive. Le rabattement en fin de pompage est de 0,27 m. Les précipitations du 29 et 30 juillet ont engendré une augmentation du niveau de la nappe, c'est pourquoi le rabattement maximal est différent du rabattement final.

L'ouvrage est profond de 112 m par rapport au sol. Il atteint les formations du Permien et recoupe des argiles et sables coquillers, qui correspondraient aux formations des marnes du Bosq d'Aubigny et des Grès de Marchésieux.

Les rabattements observés au puits de pompage sont présentés sur l'illustration 21. Les données brutes AQUASSYS sont présentées en Annexe 3.

La courbe des rabattements présentée sur l'illustration ci-dessus met en évidence une augmentation du niveau de la nappe (diminution des rabattements) après environ deux jours de pompages. Cette augmentation est due à des précipitations qui ont eu lieu dans les journées du 29 et du 30 juillet (cf. Illustration 24). Le calage de la courbe de rabattement se fera donc sur la première partie de la courbe (100 à 2500 minutes).

D'autre part, la courbe des rabattements semble montrer un cycle diurne, comme celui observé au forage du château d'Auxais, ce point est discuté au chapitre 6.

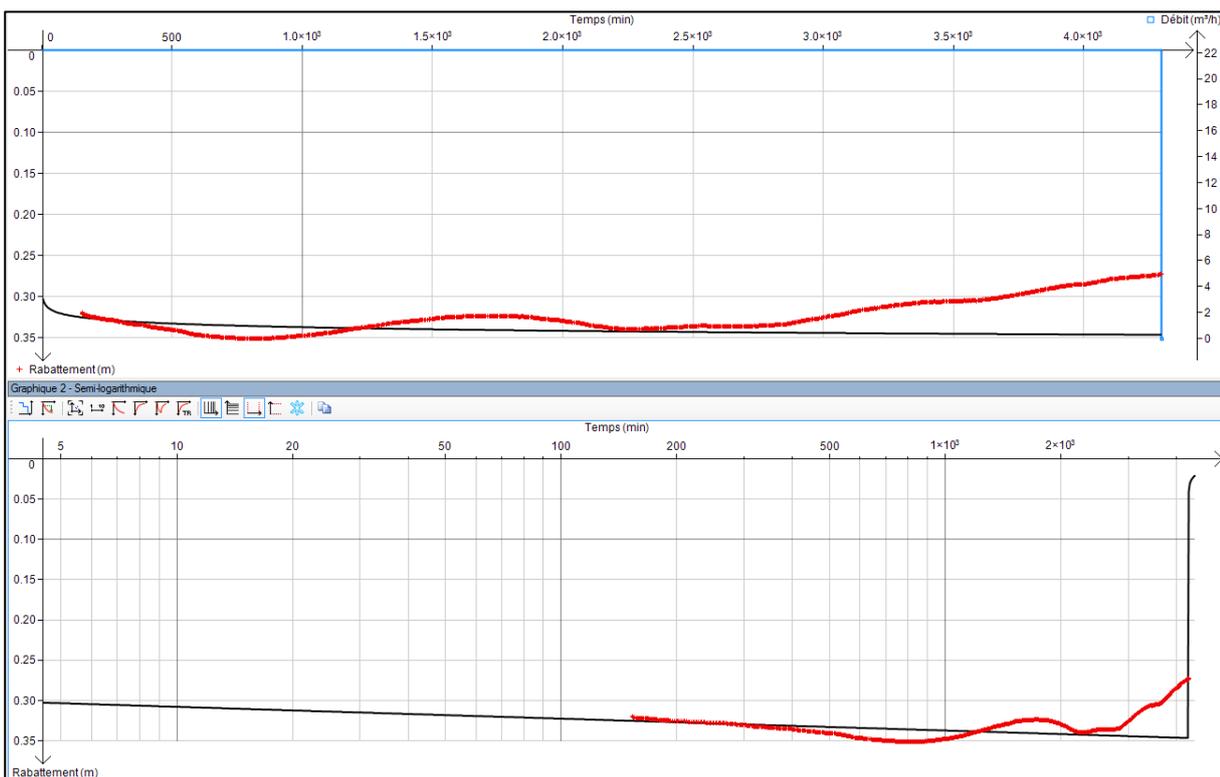


Illustration 21 : Rabattements observés (courbe rouge) et calculés (courbe noire) lors du pompage de 72h du 29 juillet au 1^{er} août 2013

Les paramètres hydrodynamiques calculés sont présentés sur l'illustration 22.

	Solution analytique de Theis
Transmissivité (m ² /s)	$7,7 \cdot 10^{-2}$
Coefficient d'emmagasinement (S), valeur de calage	$6 \cdot 10^{-4}$
r (m)	0,05
Pertes de charges quadratiques (s ² /m ⁵)	5 300

Illustration 22 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage la Grosnière

L'illustration 23 représente une coupe schématique du site de la Grosnière. La nappe circulant dans les sables coquillers est séparée de la nappe des tourbes par une couche d'argiles de 15 à 20 m d'épaisseurs.

Le calcul de l'extension supposée du cône de rabattement lié à ce pompage, à l'aide de la formule de Jacob (avec $T = 7,7 \cdot 10^{-2}$ m²/s, $S = 6 \cdot 10^{-4}$, $Q = 22,2$ m³/h), montre que le pompage influencerait la nappe captée dans les sables coquillers avec un rabattement de 6 cm à 100 m du forage et 5 cm à 200 m du forage (Illustration 23).

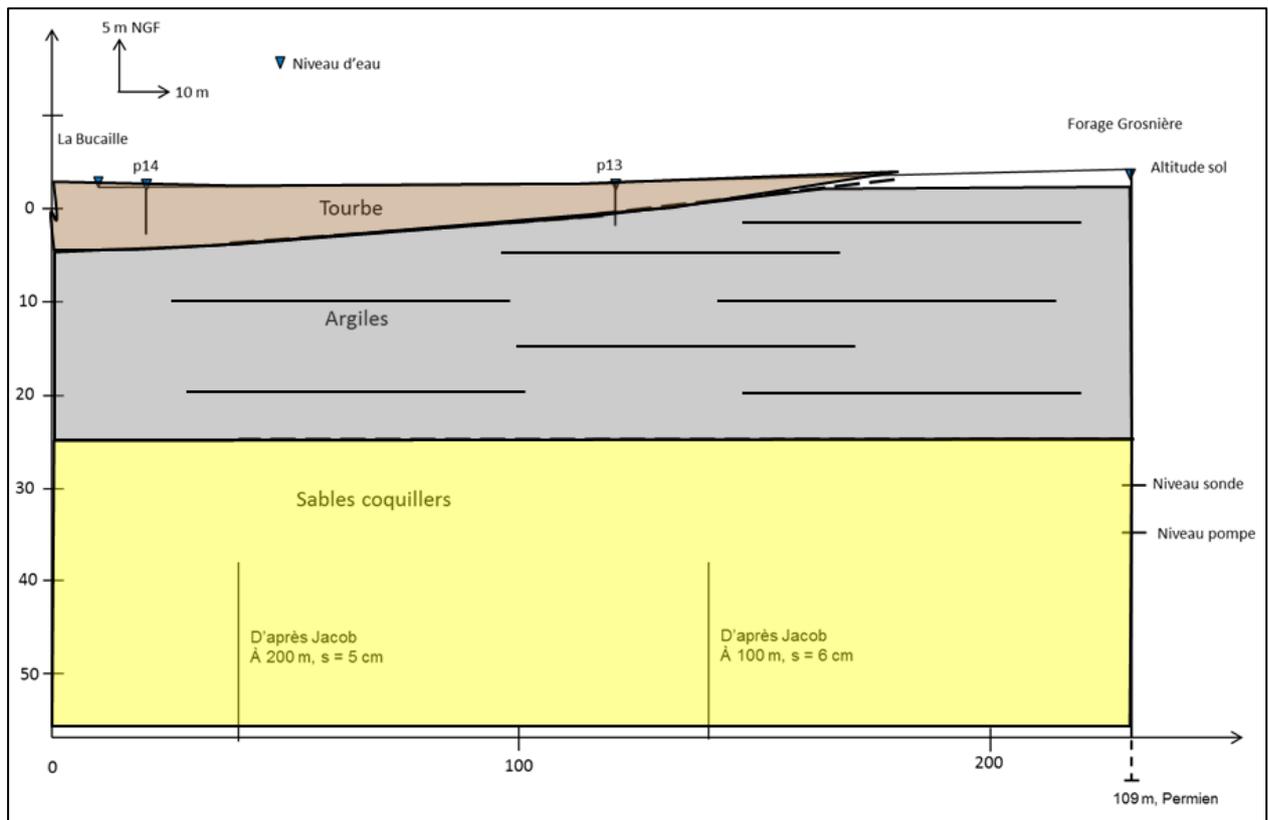


Illustration 23 : Schéma en coupe du site de la Grosnière entre le forage de la Grosnière et le cours d'eau La Bucaille

Les piézomètres P13 (01176X0076/PZ13) et P14 (01176X0075/PZ14), situés respectivement à 50 m et 190 m du forage de la Grosnière ont été suivis pendant la durée du pompage d'essai, ainsi que le niveau de la Bucaille situé à environ 200 m du forage. Les chroniques des niveaux d'eau sont présentées sur l'illustration 24, et comparées avec les données de précipitations de la station de Méautis et le niveau piézométrique des tourbes suivi sur le site du Marais du Fresnay à Tribehou à la même période (P5 – Tribehou).

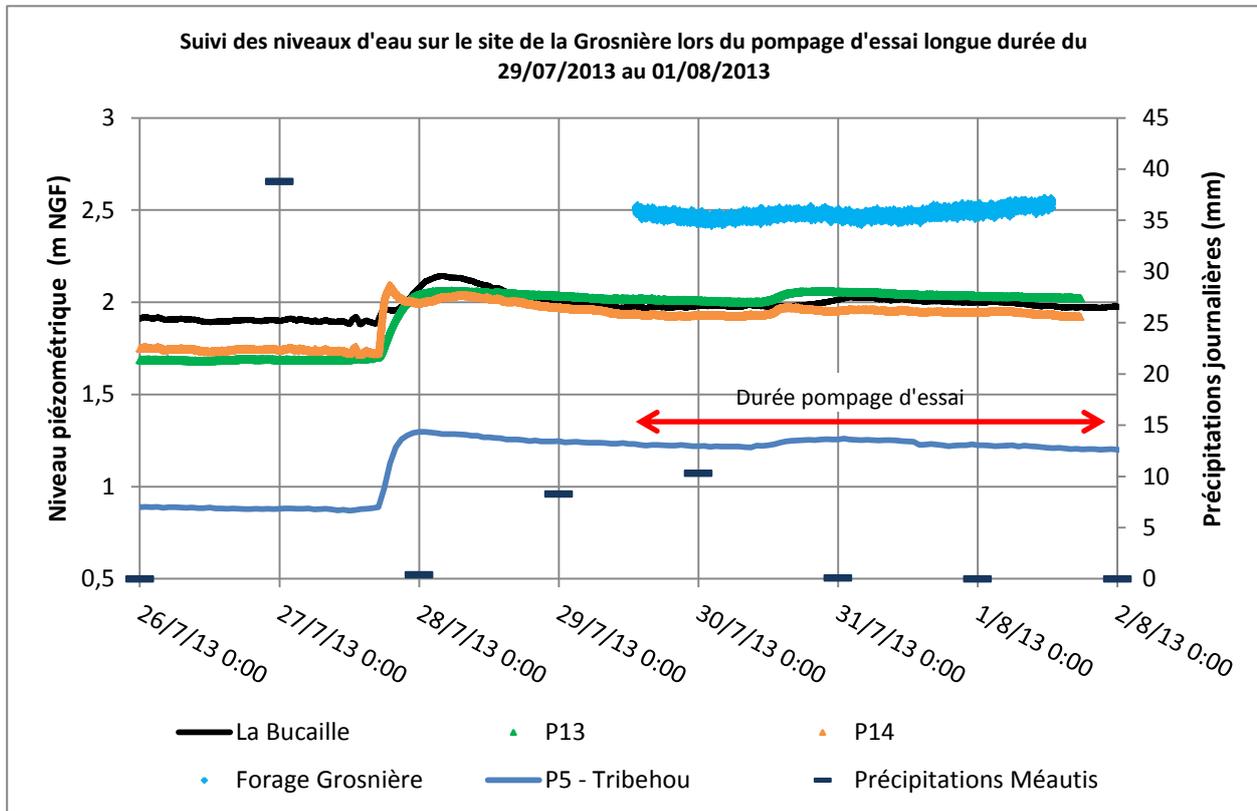


Illustration 24 : Suivis des niveaux d'eau sur le site de la Grosnière

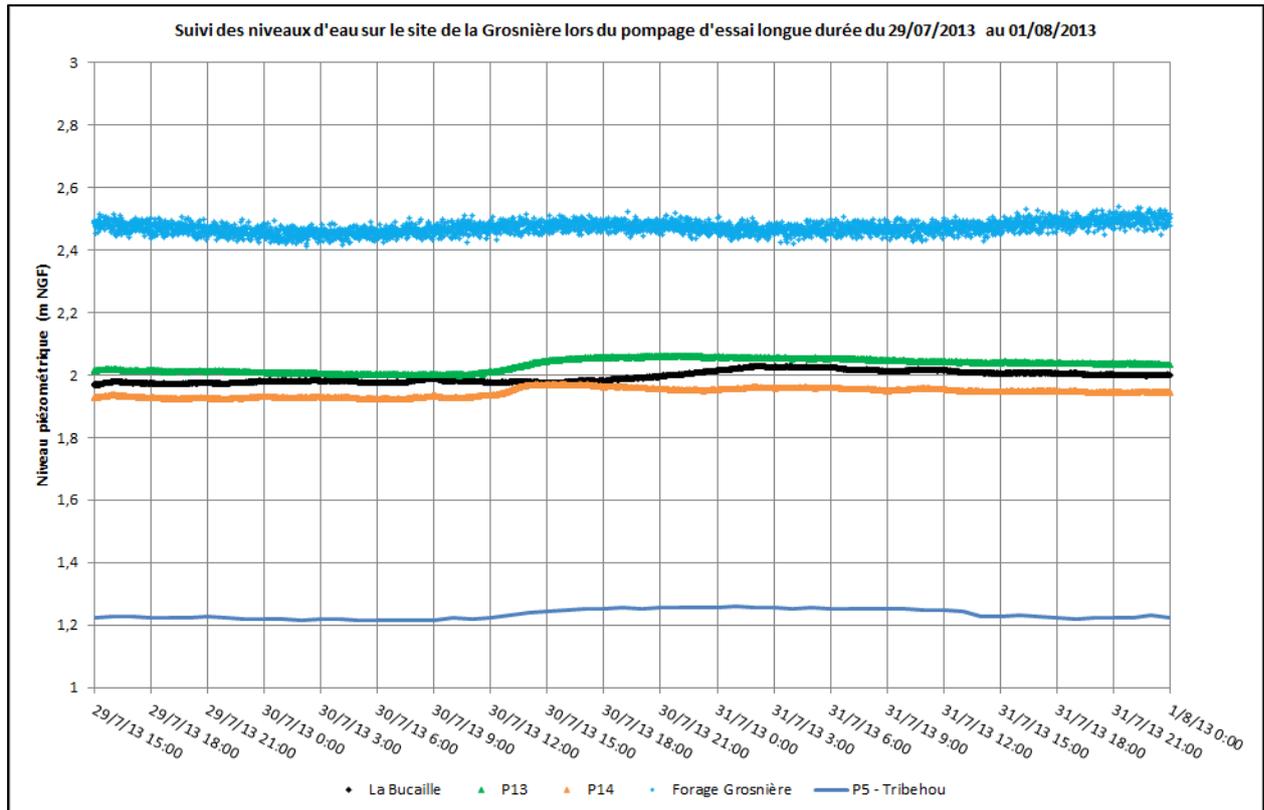


Illustration 25 : Suivi des niveaux d'eau sur le site de la Grosnière – zoom sur la période de pompage

L'illustration 24 et l'illustration 25 permettent de montrer que le pompage dans le forage n'a pas impacté les niveaux des deux piézomètres P13 (01176X0076/PZ13) et P14 (01176X0075/PZ14), et du ruisseau de la bucaille (situés respectivement à environ 50 m, 190 m et 200 m du forage). La couche d'argile (située entre environ 3 et 25 m de profondeur et séparant la nappe des tourbes de la nappe captée au forage, cf. Annexe 1) pourrait ainsi marquer l'absence de continuité hydraulique en jouant le rôle « d'écran imperméable ».

Pendant la période de suivi des niveaux, deux perturbations pluvieuses sont à noter sur la zone d'étude : le 27/07/2013 avec 38,8 mm de précipitations et les 29-30/07/2013 avec 18,6 mm de précipitations cumulées.

Avant la perturbation pluvieuse, le ruisseau de la Bucaille ne s'écoule pas (Illustration 19), car le niveau est au-dessus du seuil au pont de la D101. Il atteint un niveau d'eau de 1,9 m NGF. Par contre, le niveau du cours d'eau est supérieur à celui de la nappe des tourbes, d'environ 20 cm.

Suite à la perturbation pluvieuse du 27/07/2013 :

- Le cours d'eau subit une crue. Le niveau d'eau repasse au-dessus du seuil au pont de la D101. Pendant 6h, la Bucaille draine le P14, mais le niveau du cours d'eau reste au-dessus du P13. Le niveau de la Bucaille atteint un maximum à 2,14 m NGF le 28/07 à 4h, ce qui correspond à une montée du cours d'eau de 26 cm.

- Le niveau au piézomètre P14 est de 1,73 m NGF avant les précipitations. Il atteint un maximum le 27/07 à 19h à 2,09 m NGF, puis un deuxième pic le 28/07 à 07h30 à 2,04 m NGF. Le premier pic montre qu'il réagit vite aux pluies, en effet il est situé à proximité immédiate d'un fossé drainant (Illustration 17), lequel constitue un lien direct entre les eaux de surface et la tourbe (les 20-40 cm de terre argileuse recouvrant généralement la tourbe n'étant pas présent), favorisant ainsi une réalimentation très rapide. Le deuxième pic atteint montre une atténuation plus lente comme pour le P13, ce qui correspond à la réponse d'une infiltration de l'eau à travers les 30-40 cm de terre argileuse sus-jacente.
- Le niveau au piézomètre P13 est 1,7 m NGF avant les précipitations, ce niveau est inférieur à celui de la Bucaille et du piézomètre P14. Après les précipitations, le niveau d'eau augmente jusqu'à un maximum de 2,06 m NGF le 28/07 à 05h30. Le temps de montée est plus court que celui de la Bucaille mais plus long que le P14.

Le colmatage des berges peut limiter les échanges avec la nappe de la tourbe, ce qui explique un temps de montée plus long du niveau du cours d'eau. De plus les eaux de ruissellement du bassin versant alimentent le cours d'eau avec un effet retard, ce qui correspond au temps de réponse du bassin versant suite à une impulsion de pluie.

Suite à cette crue, le niveau de la bucaille est à nouveau au-dessus du seuil et l'écoulement reprend, le ruisseau drainant P13 et étant en équilibre avec P14.

Suite à la deuxième perturbation pluvieuse du 29/07 et 30/07/2013,

- Le niveau du cours d'eau atteint un maximum à 2,02 m NGF le 31/07 à 01h30
- Les niveaux piézométriques aux piézomètres P13 (01176X0076/PZ13) et P14 (01176X0075/PZ14) s'élèvent jusqu'à respectivement 1,97 m NGF le 30/07 à 15h30 et 2,06 m NGF le 30/07 à 22h, soit un décalage d'environ 6-7h.
- Dans le forage, le niveau d'eau augmente à partir du 31/07/2013 14h. Le décalage avec les deux piézomètres est d'au moins 1 jour.

Le temps de montée différent entre les piézomètres et le forage est la conséquence d'un temps d'infiltration plus long et d'une zone de recharge plus en amont pour la nappe plus profonde. L'épaisseur de la zone non saturée peut également jouer un rôle important dans le temps de réponse du niveau d'eau dans un ouvrage à une impulsion de pluie.

Le suivi de niveau dans les piézomètres permet également de montrer les différences de dynamique entre la nappe captée au forage et la nappe des tourbes.

La nappe de la tourbe n'a pas été impactée par le pompage d'essai de 72h réalisé sur le forage de la Grosnière. De plus le dispositif mis en place a permis de mieux comprendre le fonctionnement de la tourbière et ainsi d'émettre plusieurs hypothèses. La nappe de la tourbe serait en lien direct avec les eaux de surface via les fossés drainants, créant, en cas de pluie, une alimentation directe vers la tourbe. La nappe sous-jacente serait en connexion avec la nappe des tourbes mais plus en aval, ce qui expliquerait les fluctuations diurnes observés sur le suivi piézométrique de la nappe profonde et inapparent sur la nappe des tourbes au droit du site de la Grosnière (discuté au chapitre 6). Par contre sur le site de Grosnière, les deux nappes semblent déconnectées, probablement due à la présence d'une couche d'argile d'environ 30 m d'épaisseur.

4. Forage de la Corbinerie 01172X0121/S15

Les pompages dans ce forage étaient initialement prévus avec la même pompe 4 pouces que les pompages précédents. Néanmoins, lors de sa mise en place, le diamètre du forage s'est révélé trop étroit, à partir de 5 m de profondeur. Un passage caméra a ainsi été réalisé afin de diagnostiquer l'ouvrage. Celui-ci a permis de mettre en évidence un léger décalage dans l'alignement des tubages et un surplus de colle durcie, empêchant la pompe de descendre.

Ce passage caméra a également permis de mettre en évidence des imprécisions dans la coupe technique du forage :

- le début des crépines se situe à 9 m par rapport au sol (comparativement aux 18 m indiqués sur la coupe technique du forage (Annexe 1),
- les premières arrivées d'eau se situent à 10.7 m par rapport au sol,
- le niveau de la nappe au 24/07/2013 est à 13.8 m par rapport au sol.

Afin de réaliser les pompages, une pompe 3 pouces, permettant des pompages à 9 m³/h a été mise en place.

4.1. POMPAGES D'ESSAI PAR PALIERS DE DEBIT

Comme pour l'essai de puits précédent, les caractéristiques hydrodynamiques du forage ont été ajustées à l'aide du logiciel OUAIP, les données brutes sont présentées en Annexe 2 et synthétisées dans Illustration 26.

Débit (m ³ /h)	Rabattement à 60 min (m)	Durée total de la descente (min)	Durée de la remontée (min)	Débit spécifique (m ³ /h.m)	Rabattement spécifique (h/m ²)
2.00	0.05	80	10	40.00	0.0250
4.00	0.11	60	10	36.36	0.0275
6.00	0.17	75	10	35.29	0.0283
9.00	0.31	30	10	29.03	0.0344

Illustration 26 : Synthèse des résultats de l'essai de puits réalisé sur le forage 01172X0121/S15

Quatre paliers de débit ont été testé de 2 à 9 m³/h, les rabattements pour chaque palier varient de 0,05 à 0,31 m. Les résultats sont reportés sur un graphique sur l'illustration 27.

L'illustration 27 représente à gauche la courbe caractéristique de l'essai de puits du forage du Château d'Auxais et à droite la droite débits/rabattements spécifiques. On peut ainsi calculer que pour un débit de 9 m³/h, le rabattement de la nappe au droit du forage se décompose en 0,20 m lié aux pertes de charge linéaire (écoulement laminaire dans l'aquifère) et 0,10 m lié aux pertes de charge quadratique (équipement du forage). Le débit critique est estimé à 17 m³/h, correspondant au débit pour lequel les pertes de charges quadratiques sont égales aux pertes de charges linéaire.

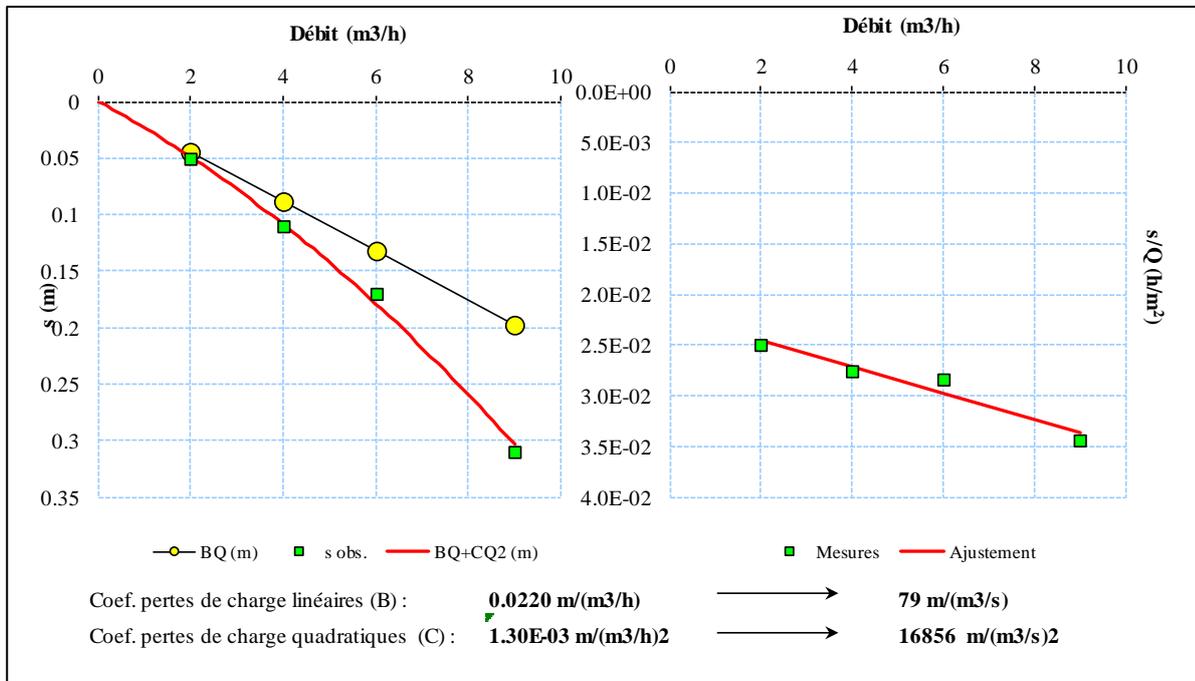


Illustration 27 : Courbe caractéristique de l'essai de puits réalisé sur le forage de la Corbinerie – 01172X0121/S15 (à gauche) et droite débit / rabattements spécifiques (à droite), en fonction des rabattements au bout d'une heure de pompage.

4.2. POMPAGE D'ESSAI LONGUE DUREE

Le pompage d'essai a commencé le 06/08/2013, les principales caractéristiques du pompage d'essai sont présentées dans le tableau ci-dessous

Débit de pompage	9 m ³ /h
Durée pompage	72 h
Profondeur du niveau d'eau avant le pompage	14,63 m
Cote piézométrique avant le pompage	2,85 m NGF
Rabattement maximal	0,4 m
Cote piézométrique équivalente au rabattement max	2,45 m NGF
Débit spécifique	18 m ³ /h/m

Illustration 28 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage de la Corbinerie 01172X0121/S15

La profondeur de l'ouvrage est de 90 m par rapport au sol. Le forage recoupe des argiles sur quelques mètres d'épaisseur et des faluns roux sur environ 70 m d'épaisseur, qui correspondraient respectivement aux marnes de Saint-Nicolas-de-Pierrepont et aux faluns de Bohon.

Trois périodes distinctes sont marquées sur la courbe des rabattements (Illustration 29). La première période, du début des pompages à 25 h de pompage, montre une augmentation des rabattements. A partir de 25h de pompage et jusqu'à environ 47 h de pompage, la pente des rabattements croît, pour reprendre une pente dans sa troisième période et jusqu'à la fin des pompages.

D'après le passage caméra réalisé avant le pompage, l'ouvrage capte deux venues d'eau, une nappe superficielle et une nappe légèrement plus profonde, séparées par des argiles. Au vu de la courbe des rabattements observés, deux courbes ont été calées (courbe noire et courbe violette sur l'illustration 29).

Le début des crépines se situe à environ 9 m de profondeur par rapport au sol, légèrement au-dessus des premières arrivées d'eau, et la pompe a été placée à environ 20 m de profondeur.

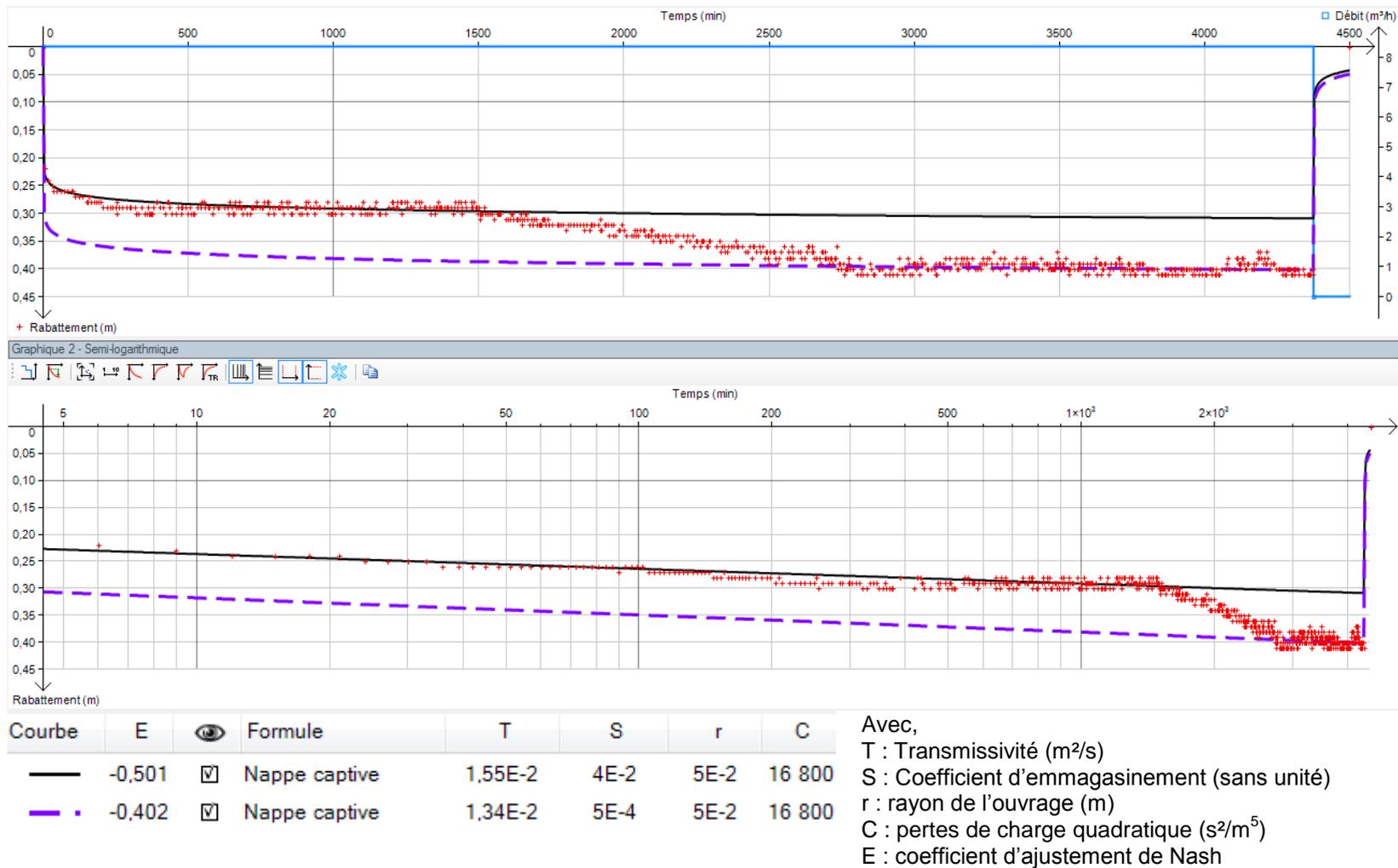


Illustration 29 : Rabattements observés (courbe rouge) et calculés (courbe noire) lors du pompage de 72h du 06 au 09 août 2013

Les résultats de l'interprétation de la courbe des rabattements (Illustration 29) sont présentés dans Illustration 30.

	Solution de Theis De 0 à 25 h de pompage	Solution de Theis De 47 h à 76 h de pompage
Transmissivité (m ² /s)	1,5.10 ⁻²	1,3.10 ⁻²
Coefficient d'emmagasinement (S), valeur de calage	0,04	5.10 ⁻⁴
r (m)	0,05	0,05
Pertes de charges quadratiques (s ² /m ⁵)	16 800	16 800

Illustration 30 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage de la Corbinerie

Pendant la première période du pompage, les rabattements pourraient être représentatifs des deux aquifères captés, avec une transmissivité de 1,5.10⁻² m²/s. Il est possible que la période de transition entre 25h et 47h de pompage (ou 1500 et 2800 min) marque le tarissement progressif de la nappe superficielle et la troisième période du pompage serait spécifique à l'aquifère sous-jacent.

L'aquifère superficielle correspondrait à la formation des marnes de Saint Nicolas de Pierrepont. Les rabattements mesurés lors du pompage d'essai étant faible, plusieurs calages ont été réalisés afin de calculer l'incertitude de la valeur de transmissivité. En faisant varier les paramètres de calage (transmissivité et emmagasinement), une plage de valeurs de la transmissivité est ainsi estimée et comprise entre **1.10⁻² et 2.10⁻² m²/s**, pour l'ensemble de la période de pompage.

D'après la formule de Jacob, le pompage influencerait la nappe avec un rabattement de 5 cm à 100 m du forage et 4 cm à 200 m du forage.

5. Réinterprétation du pompage au forage Orgueil – 01176X0037/S4

Un pompage d'essai a eu lieu entre 1984 et 1986 au forage d'Orgueil, situé sur la commune de Marchésieux (Illustration 3). Aucun rapport ne fait état des résultats d'interprétation du pompage d'essai. Il a donc été décidé de réinterpréter ce pompage. Les principales caractéristiques du pompage d'essai sont présentées dans le tableau ci-dessous

Débit de pompage	11.5 m ³ /h
Durée pompage	3h30
Profondeur du niveau d'eau avant le pompage	11.93 m
Cote piézométrique avant le pompage	4.07 m NGF
Rabattement maximal	3.6 m
Cote piézométrique équivalente au rabattement max	0.47 m NGF
Débit spécifique	3,5 m ³ /h/m

Illustration 31 : Principales caractéristiques du pompage d'essai de longue durée au forage Orgueil 01176X0037/S4

La profondeur de l'ouvrage est de 66 m par rapport au sol, il recoupe les formations des Marnes du Boscq d'Aubigny et des Grès de Marchésieux (Annexe 1), probablement des Faluns de Bohon également. Les rabattements observés et calculés sont représentés sur l'

Illustration 32.

Le suivi des rabattements de la nappe montre une première pente jusqu'à 125 min de pompage et ensuite une pente plus forte jusqu'à la fin du pompage. Cette deuxième partie de la courbe peut marquer la présence d'une limite étanche. Deux calages ont été testés sur les rabattements. La courbe pointillée violette s'aligne avec les rabattements observés lors de la descente, cette interprétation met en évidence une limite étanche à environ 24 min de pompage (soit 60 m). La courbe noire s'aligne avec les rabattements observés à la remontée et ne met pas en évidence de limite étanche.

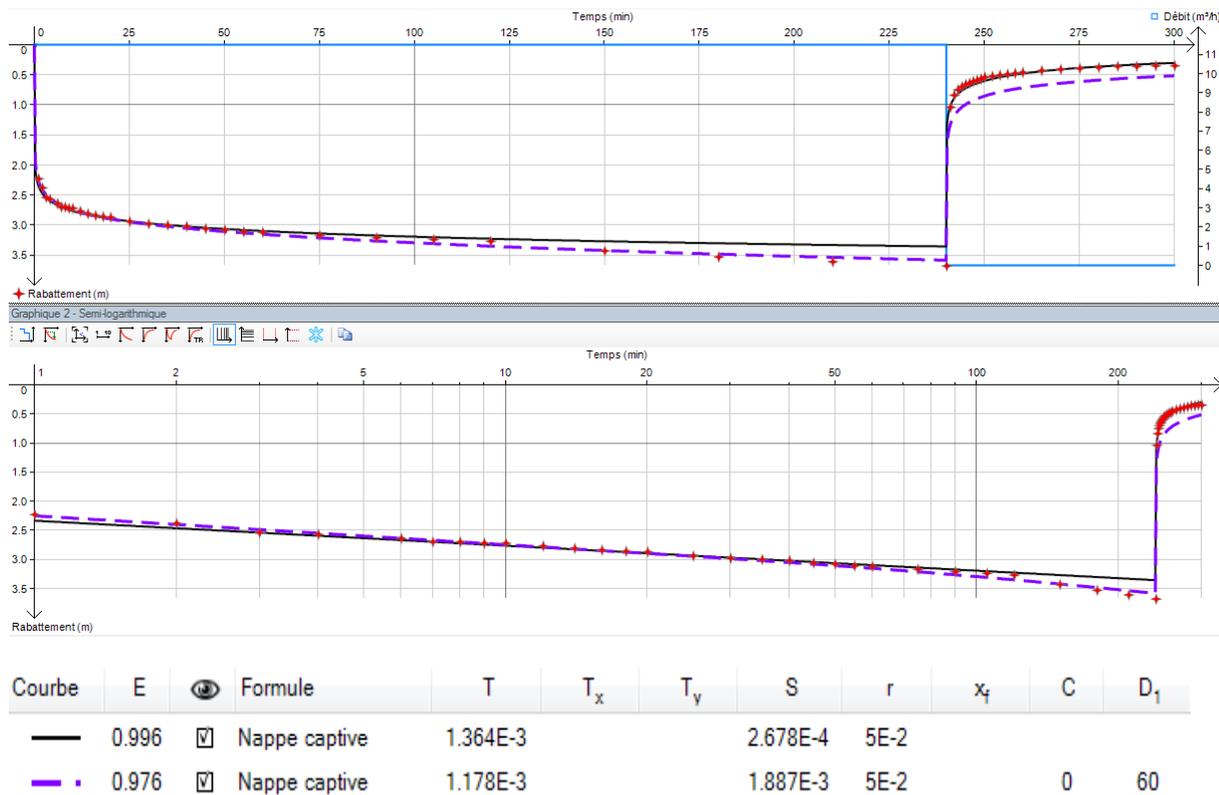


Illustration 32 : Rabattements observés (points rouges) et calculés (courbe pleine noire et courbe pointillée violette) lors du pompage et paramètres de calages (Avec, T : Transmissivité (m^2/s), S : Coefficient d'emmagasinement (sans unité), r : rayon de l'ouvrage (m), C : pertes de charge quadratique (s^2/m^5), E : coefficient d'ajustement de Nash)

Les résultats obtenus sont présentés sur l' Illustration 32 et l' Illustration 33.

	Solution analytique de Theis
Transmissivité (m^2/s)	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Coefficient d'emmagasinement (S), valeur de calage	$2 \cdot 10^{-4}$
r (m)	0,05

Illustration 33 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère capté au droit du forage Orgueil

Les deux interprétations de la courbe des rabattements de la nappe permettent d'estimer la transmissivité à $1,2 \cdot 10^{-3} m^2/s$. La limite étanche ainsi détectée peut correspondre à une variation latérale de faciès et à une diminution associée de la perméabilité.

6. Cycles diurnes

Il est parfois possible de corriger le rabattement des influences extérieures, indépendantes de celles du pompage d'essai. En revanche, ce type de correction nécessite une période d'observation suffisamment longue, avant le pompage d'essai et après la remontée. D'après Kruseman et *al.*, 1974, « les fluctuations périodiques peuvent être dues à l'influence de la marée ou des variations de niveau des rivières, à la différence d'évapotranspiration entre le jour et la nuit, ou encore aux pulsations régulières de la pression atmosphérique. »

L'influence de la marée océanique est avérée lorsque l'oscillation du niveau d'eau considéré est de même période que celle de la marée (Callède, 1977). D'après Callède, 1978, « la marée barométrique peut, dans certains cas, jouer un rôle sur les nappes captives, à l'occasion d'une perturbation entraînant une variation de pression de plusieurs dizaines de millibars. » Enfin d'après l'étude de Callède, 1977, la variation diurne du rayonnement solaire, ou plus précisément de l'évapotranspiration, est la cause de l'oscillation journalière de la nappe (lié au cycle thermique journalier).

Dans la thèse de Weng, 2000, il est précisé que les variations diurnes du niveau de la nappe témoignent de l'importance de l'évapotranspiration de la zone humide. Durant la journée, le niveau de la nappe baisse sous l'effet de l'évaporation et de la transpiration. La nuit, lorsque la demande évaporatoire cesse, le niveau se stabilise et peut même remonter s'il y a réalimentation de la zone humide.

« L'eau qui s'écoule de la nappe vers la zone humide peut être interceptée et reprise par la végétation entourant la zone humide. Si l'évapotranspiration est plus importante, il peut y avoir formation de zones de dépression piézométrique sous la frange végétale et inversion des circulations d'eau. Ces inversions de circulations permettent le développement d'un sol particulier qui peut servir à la délimitation des zones humides. » (Weng, 2000)

Pendant les pompages d'essai réalisés en 2013 (d'une durée de 3 jours chacun), des variations diurnes du niveau d'eau, de l'ordre de quelques centimètres, sont observées aux forages d'Auxais (Illustration 11) et de la Grosnière (Illustration 21). Par contre, aucun cycle apparent n'est observé sur le niveau du petit cours d'eau La Bucaille (Illustration 24), situé sur le site de la Grosnière.

Sur le site de la Corbinerie, l'identification de cycles diurnes est moins évidente (Illustration 29) et des fluctuations d'amplitude d'environ 3 cm sont suspectées. L'ouvrage captant deux niveaux aquifères, le « signal » observé dans la nappe profonde est potentiellement partiellement masqué.

Afin de comprendre l'origine de ces cycles, les rabattements observés à la Grosnière et au château d'Auxais seront comparés aux variations du niveau de la Taute, marqueurs des fluctuations tidales, mais aussi aux pulsations de la pression atmosphérique. Les fluctuations diurnes seront également comparées aux températures de l'air, marqueurs des variations jour/nuit de l'évapotranspiration.

Afin de mettre en évidence des cycles, il serait nécessaire d'effectuer une analyse spectrale. Néanmoins, les chroniques relatives aux pompages d'essai sont trop courtes et ne permettent pas une telle analyse. Il n'y a pas ainsi assez de cycles observés¹.

6.1. INFLUENCE DE LA MAREE

Dans le cadre du projet, un site a été sélectionné pour suivre le niveau de la Taute et le niveau piézométrique de la nappe de la tourbe. Les niveaux d'eau sont suivis depuis début 2013. Ce site de référence est localisé dans le marais de Fresnay, situé à 1 km au nord de Tribehou (Illustration 3). Les niveaux sont suivis au pas de temps horaire, et toutes les 10 min pour le niveau de la Taute.

Afin de mettre en évidence le lien entre le cycle de la marée et celui observé sur le niveau de la Taute, les hauteurs du niveau de la mer ont été superposées à celle du niveau de la Taute.

Les données du marégraphe situé à Cherbourg ont été collectées auprès du Réseaux de référence des observations marégraphiques (REFMAR) géré par le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM). Le niveau de référence des marégraphes correspond au zéro hydrographique, voisin du niveau des plus basses mers à la station concernée. Ce niveau de référence n'est pas comparable au niveau général de la France (NGF), qui est un repère terrestre. Les hauteurs du niveau de la mer donnent seulement ici une indication sur le marnage et sur les oscillations.

Les hauteurs d'eau du niveau de la mer mesurées dans le port de Cherbourg ont été corrigées et décalés de +1h (Illustration 34), afin de s'accorder avec le niveau de la mer au port de Grandcamp, situé à proximité immédiate de la baie des Veys, estuaire de la Taute.

L'Illustration 34 met en évidence des variations biquotidiennes du niveau d'eau de la Taute, de l'ordre de quelques centimètres, variations observées sur le site de référence de Tribehou (courbe rouge). Les hauteurs de niveau de la mer fluctuent selon des cycles de période d'environ 12h. Lorsque le niveau de la mer est au plus haut, le niveau de la Taute est au plus bas.

Ces fluctuations sont liées au fonctionnement des portes-à-flots installés en aval de la Taute à Saint-Hilaire-Petitville. Ces portes se ferment automatiquement sous la pression de l'eau de mer à chaque marée montante et, à chaque marée descendante, s'ouvrent sous la pression de l'eau douce. Un système de vannage, géré par l'association syndical de la Taute, régule également le niveau de la Taute en fonction des saisons et des usagers (agriculteurs, pêcheurs, touristes,...).

D'après l'association syndicale (AS), les portes-à-flot se ferment 1h avant le niveau de la mer le plus haut à Cherbourg. Le niveau de la mer maximal est observé à Carentan 1h après le niveau le plus haut à Cherbourg. Donc les portes se ferment 2h avant le niveau le plus haut à Carentan et elles s'ouvrent dès que la charge hydraulique de la Taute est plus élevée que la charge de la mer.

¹ Le pas d'échantillonnage doit aussi être adapté en fonction de la périodicité des phénomènes observés. Pour mettre en évidence un phénomène de période T, il faut utiliser un pas de temps inférieur ou égal à T/2 (théorème d'échantillonnage de Shannon). En pratique, une fréquence horaire est bien adaptée à l'étude des phénomènes journaliers. Pendant les pompages d'essai, le pas de temps des mesures est la minute sur l'ensemble du suivi des niveaux, ce qui est nettement suffisant, par contre la période d'observation sur 3 jours est trop courte pour une éventuelle approche statistique.

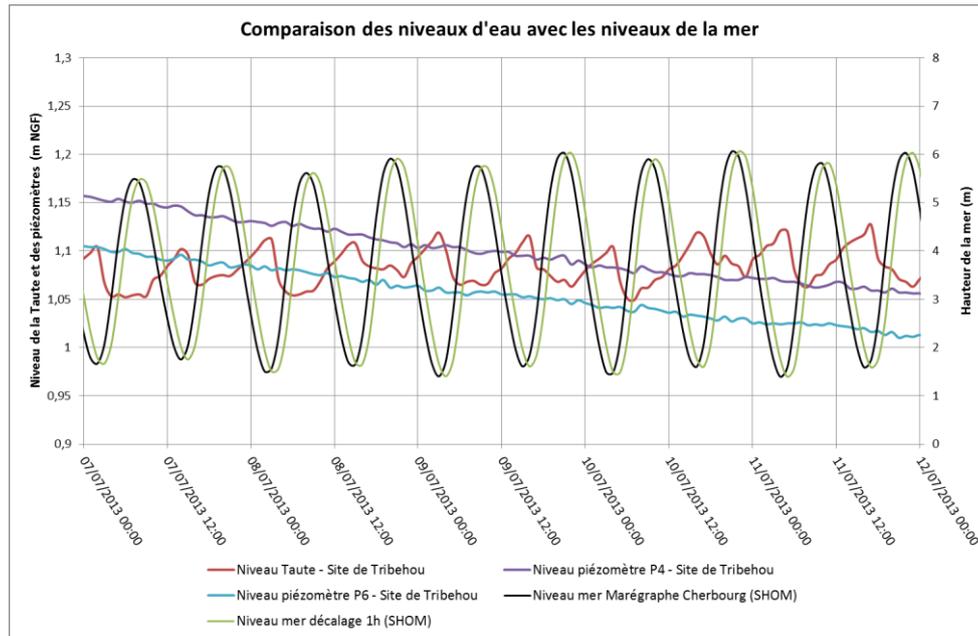


Illustration 34 : Comparaison des cycles de la Taute aux cycles des marées

Les observations de variations des niveaux de la mer et de la Taute confirment ce fonctionnement: dès que les portes se ferment, le niveau de la Taute augmente jusqu'à atteindre son maximum, quand le niveau de la mer est au plus bas. Les niveaux maximums du cycle de la Taute et celui de la hauteur de la mer sont atteints avec un déphasage de 6h.

Bien que le fonctionnement impacte fortement les niveaux de la Taute, principal cours d'eau drainant les zones humides, l'illustration 35 montre qu'il n'y a pas de corrélation entre les cycles diurnes observés pendant les pompages d'essais et les cycles biquotidiens liés à la marée et au fonctionnement des portes à flots observés sur la Taute.

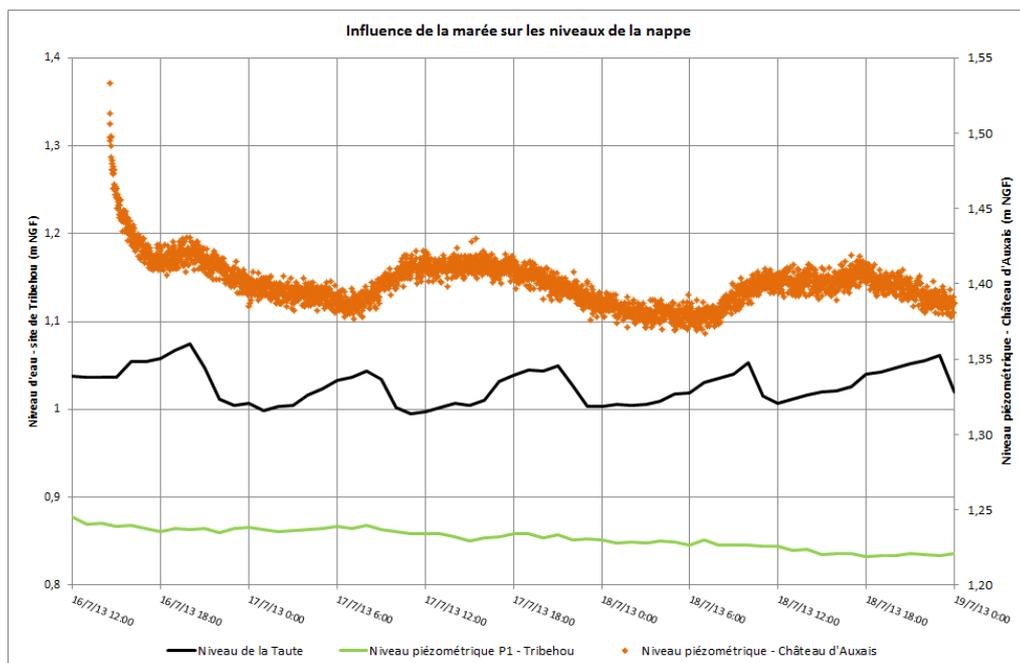


Illustration 35 : Evolution des rabattements observés au forage d'Auxais et du niveau de la Taute pendant les pompages d'essai

6.2. VARIATION DES TEMPERATURES ET DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

Un baromètre, situé sur le site de référence du marais du Fresnay à Tribehou, mesure la pression atmosphérique et la température de l'air (Illustration 36).

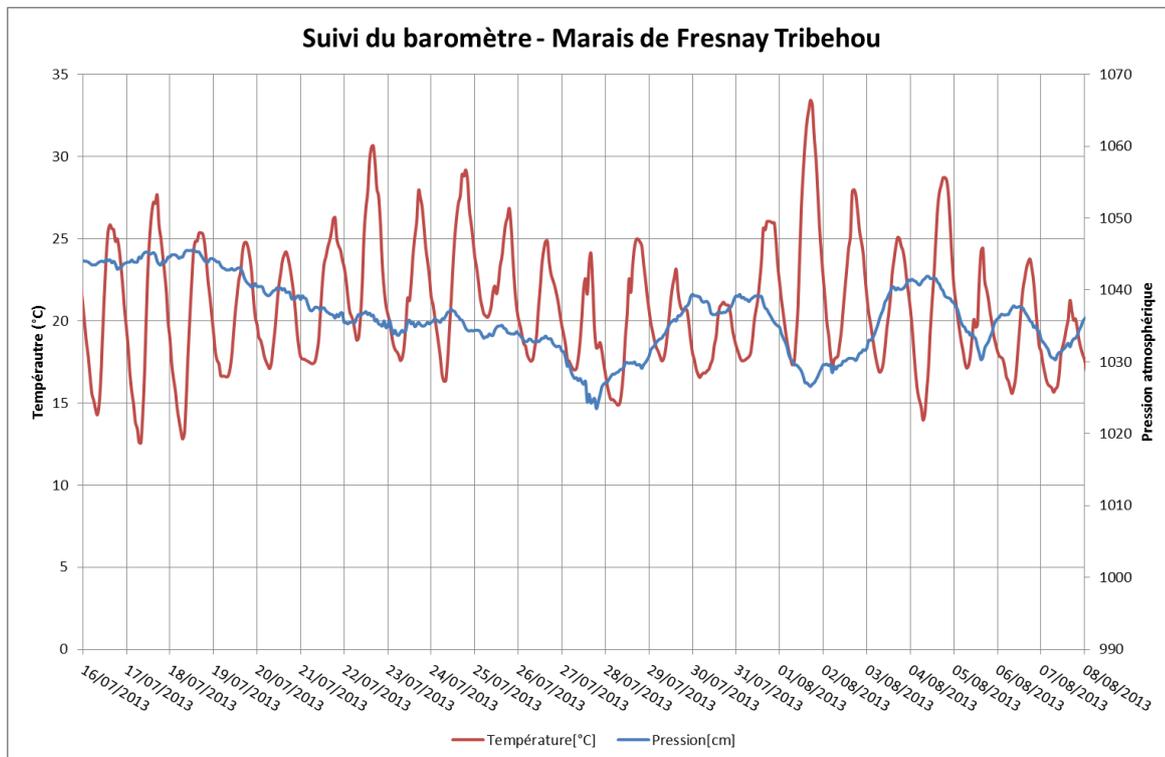


Illustration 36 : Suivi de la température de l'air et de la pression atmosphérique sur le site de référence de Tribehou pendant la période des pompages d'essai en juillet et août 2013

Les variations de la température de l'air sont marquées par des cycles quotidiens (jour et nuit), avec des amplitudes pouvant atteindre 15°C. L'évapotranspiration étant fonction de la température, ces cycles montrent les importantes variations possibles entre le jour et la nuit. La chronique de pression atmosphérique est quant à elle marquée par des pulsations irrégulières. La faible amplitude des fluctuations de pression atmosphérique ne permet pas d'expliquer des variations de niveau piézométrique de quelques centimètres (Callède, 1977).

Ainsi, l'hypothèse la plus probable pour expliquer l'origine des oscillations cycliques journalières observées lors des pompages serait une influence des variations journalières de l'évapotranspiration, observable grâce au suivi des températures.

La comparaison des niveaux d'eau avec la température de l'air est présentée sur l'illustration 37 et l'illustration 38, respectivement pour le site du Château d'Auxais et le site de la Grosnière.

Pendant le pompage d'essai réalisé au château d'Auxais, deux cycles de période 24h sont observés sur les rabattements du niveau piézométrique, avec une amplitude de 3 cm. La nappe est à son niveau le plus haut entre 15h et 17h, et le plus bas vers 06h. Les oscillations de la nappe sont bien corrélées avec le cycle thermique journalier.

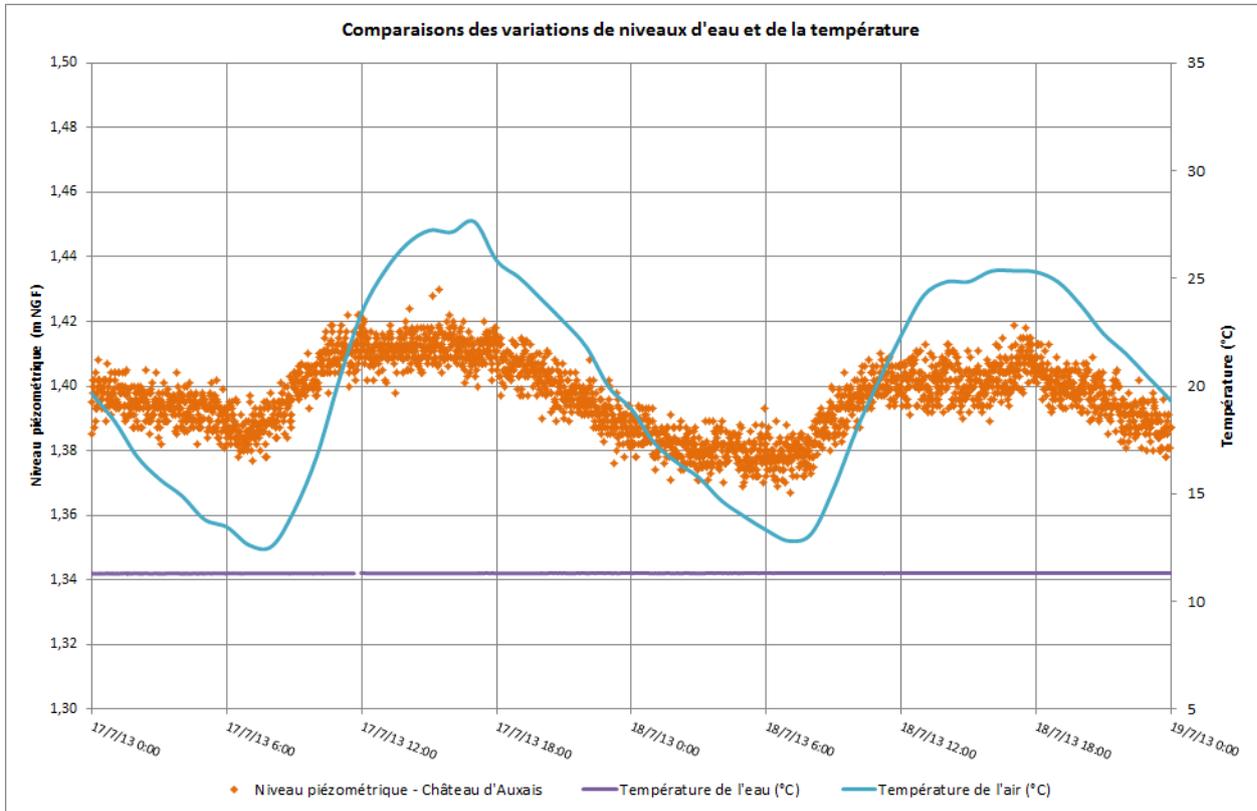


Illustration 37 : Comparaison du niveau piézométrique au forage du château d'Auxais avec la température de l'air pendant le pompage d'essai longue durée

De la même façon, les niveaux piézométriques suivis sur le site de la Grosnière, pendant le pompage d'essai de juillet 2013 ont été comparés à la température suivie sur le site du marais de Fresnay à Tribehou (Illustration 24). Là aussi, les oscillations de la nappe sont bien corrélées avec le cycle thermique journalier.

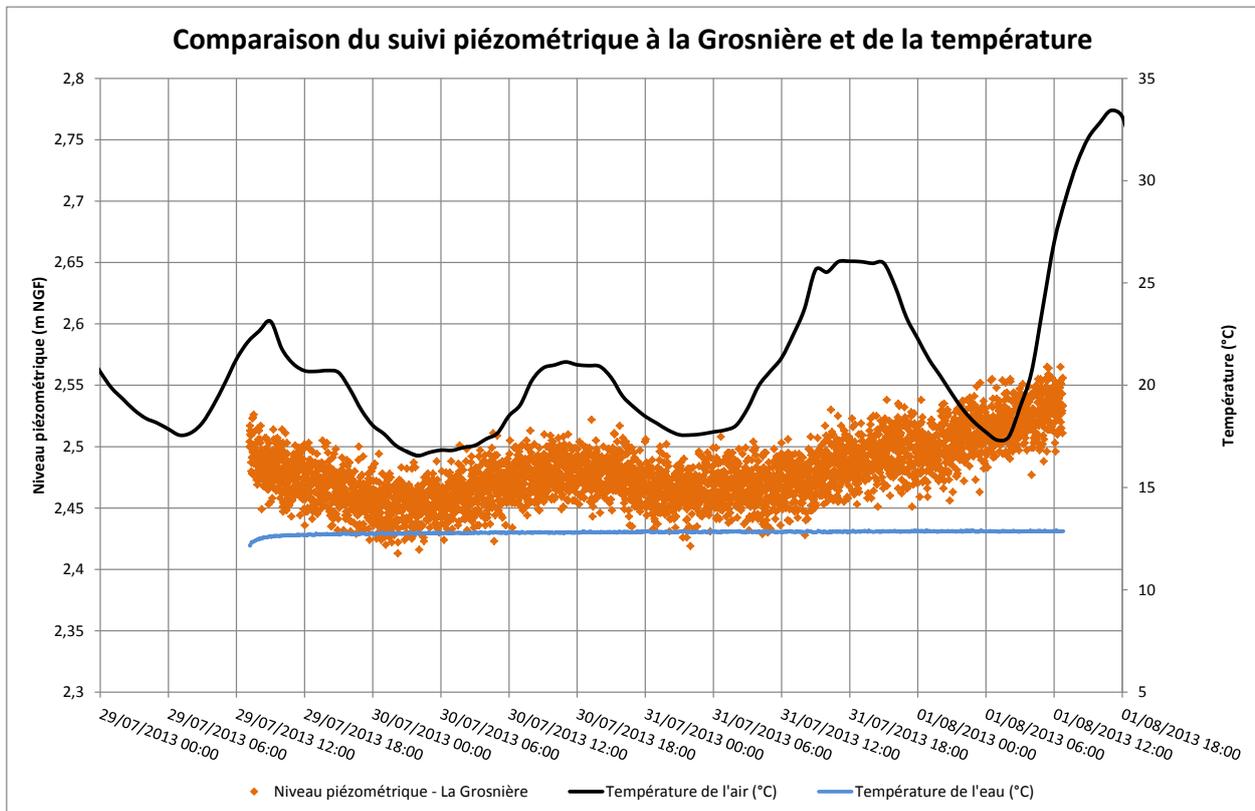


Illustration 38 : Comparaison du niveau piézométrique au forage de la Grosnière avec la température de l'air pendant le pompage d'essai longue durée

Ces graphiques confirment l'hypothèse de l'influence des variations journalières de l'évapotranspiration, observable grâce au suivi des températures pour expliquer l'origine des oscillations cycliques journalières observées lors des pompages.

7. Comparaison des résultats

Un travail de collecte des données a été réalisé lors de la 1^{ère} phase du projet (Rapport BRGM/RP-62855-FR). Les résultats des essais de puits réalisés en 2013 dans le cadre du projet ont été comparés aux données disponibles en bibliographie, présentées en Annexe 4.

Indice BSS	Nom	Commune	Source bibliographique
01176X0041	Champeaux	Marchésieux	Fiche infoterre 01176X0041
01176X0038	La Ventinière	Marchésieux	Fiche infoterre 01176X0041
01172X0066	Beaumarais - FP2	Sainteny	Sogreah, 2001
01175X0036	Marais	Sainteny	Fiche infoterre 01172X0062
01172X0065	La renarderie (anciennement FP7)	Sainteny	DDAF, 2000
01173X0005	L'Abbaye	St-George de Bohon	Dassibat, 1981

Illustration 39 : Liste des forages avec essai de puits retrouvés en bibliographie

Comme écrit précédemment, l'essai de puits permet d'évaluer les caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage. Le rabattement (s) mesuré dans l'ouvrage est la somme de deux composantes, *les pertes de charge linéaire (BQ)* provoquée par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits et *les pertes de charge quadratique (CQ²)*, non linéaire, provoquée par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, crépine et tubage.

Les données d'interprétation des essais de puits anciens sont présentées en Annexe 4. Les pertes de charge calculées pour chaque ouvrage sont comparés (Illustration 40 et Illustration 41) pour des débits équivalents. Les pertes de charge calculés dans le cadre des essais de puits réalisés en juillet/août 2013 aux forages du Château d'Auxais, la Grosnière et la Corbinerie sont également comparés (Illustration 40 et Illustration 41) pour des débits équivalents.

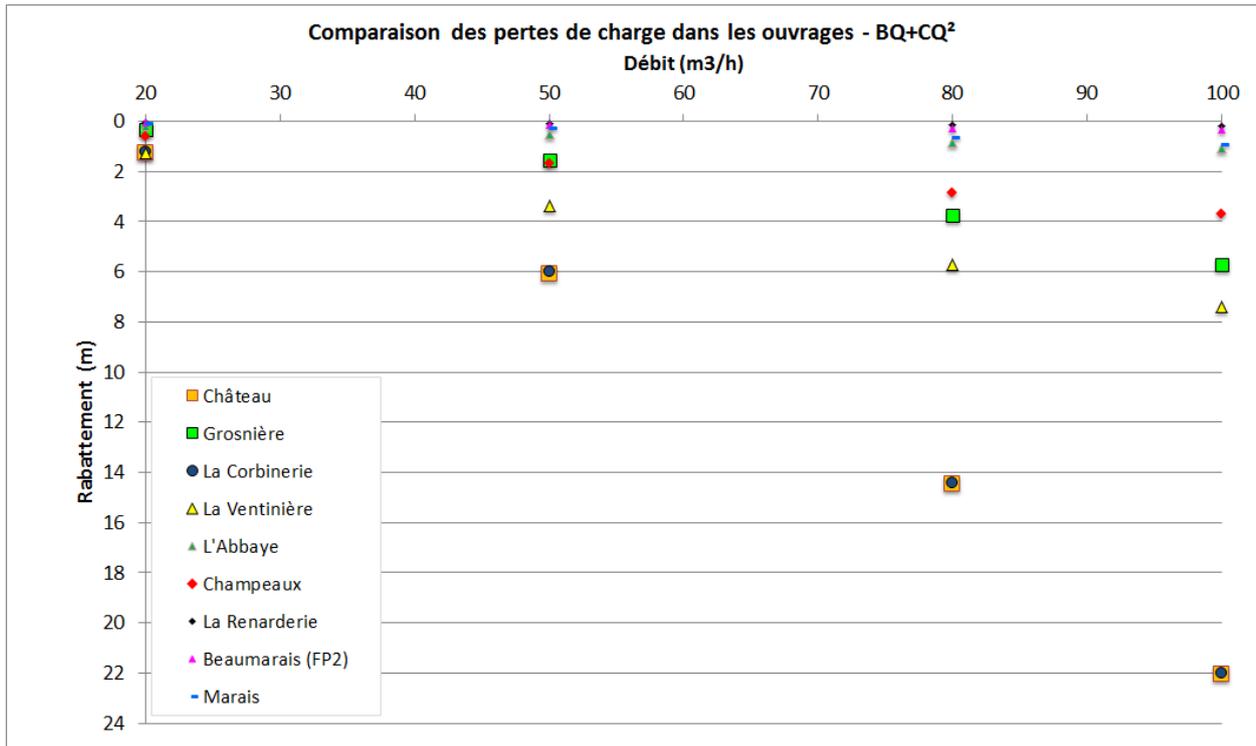


Illustration 40 : Comparaison des pertes de charge quadratique et linéaire

L'illustration 40 permet de mettre en évidence trois groupes de forages.

- Le premier groupe correspond aux forages ayant les pertes de charge les plus faibles : la Renarderie (01172X0065), Beaumarais FP2 (01172X0066), Marais (01175X0036) et l'Abbaye (01173X0005). Ce sont également les forages les plus productifs. Les ouvrages de La Renarderie, du Marais et de Beaumarais FP2 se situent sur le bassin de Sainteny, à proximité immédiate du bassin de Marchésieux et captent les faluns de Bléhou. Les ouvrages de La Renarderie et du Marais sont exploités par le S.Y.M.P.E.C. Le forage de l'Abbaye est quant à lui situé à l'est du bassin de Marchésieux et capte une formation de sables du plio-quatenaire.
- Le deuxième groupe de forages rassemblent les ouvrages de Champeaux (01176X0041), la Grosnière (01176X0061) et la Ventinière (01176X0038), qui montrent des pertes de charges intermédiaires. Les forages de la Ventinière et Champeaux recourent et captent les faluns de Bohon et les marnes du Bosq d'Aubigny, alors que l'ouvrage de la Grosnière recouperait les Grès de Marchésieux.
- Enfin, le troisième se constitue des forages du Château d'Auxais et de la Corbinerie, mettant en évidence des ouvrages moins performants que les autres, l'écart étant d'autant plus significatif que le palier de débit est grand et les pertes de charges associées élevées.

Afin de pouvoir s'affranchir des pertes de charge quadratique (liées aux écoulements turbulents dans les ouvrages et dépendantes de l'équipement des ouvrages), les pertes de charge linéaire des différents ouvrages ont été comparées (Illustration 41).

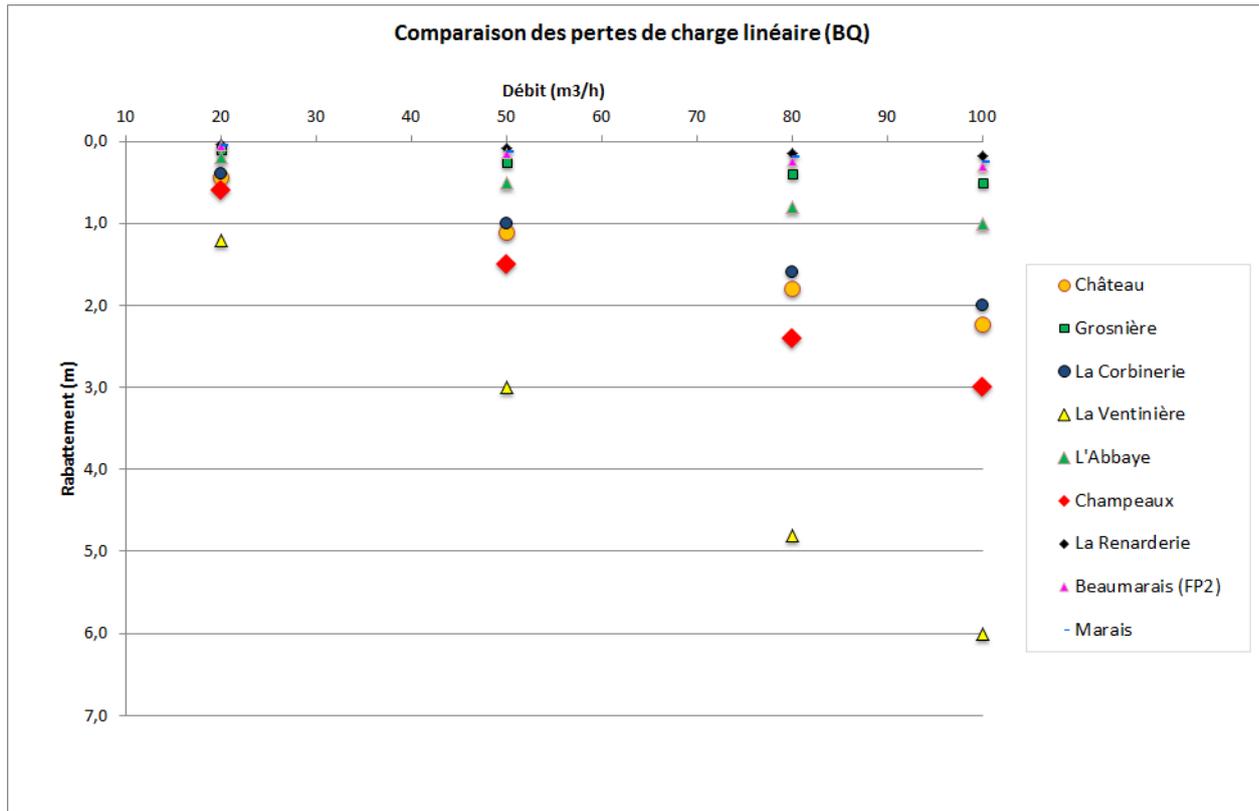


Illustration 41 : Comparaison des pertes de charge linéaire des forages

Comme précédemment, l'illustration 41 permet de mettre en évidence différents groupes de forages en fonction de leurs pertes de charge linéaire :

- Le premier ensemble regroupe les ouvrages de la Renarderie (01172X0065), de Beaumarais FP2 (01172X0066), du Marais (01175X0036), de l'Abbaye (01173X0005), les 3 premiers recoupant les formations du miocène, les faluns de Bléhou et sont situés sur le bassin de Sainteny. Le forage de l'Abbaye montre des rabattements légèrement supérieurs par rapport aux autres ouvrages de ce premier groupe. Il est situé plus au nord-est des autres ouvrages.
Le forage de la Grosnière (01176X0061) rejoint ce premier groupe, ses pertes de charge linéaires étant faibles (cela signifie également, en comparaison avec l'illustration 40, qu'un forage de plus gros diamètre et mieux équipé aurait une productivité intéressante). Ainsi, il semblerait que la formation qu'il capte ait des caractéristiques qui se rapprochent des faluns de Bléhou captés sur le bassin de Sainteny, même si sa coupe géologique indique qu'il aurait recoupé les Grès de Marchésieux.
- Le deuxième groupe reprend les ouvrages de la Corbinerie (01172X0121), du château d'Auxais (01176X0046) et de Champeaux (01176X0041), avec des rabattements compris entre 3 et 2 m pour un débit de 100 m³/h. Ces pertes de charge sont représentatives des formations suivantes :
 - des faluns de Bohon surélevés par les marnes de st-nicolas de pierrepont à la Corbinerie,
 - du complexe du Bosq d'Aubigny au château d'Auxais
 - du complexe du Bosq d'Aubigny sous-jacent aux faluns de Bohon à Champeaux

Les ouvrages de la Corbinerie et du château d'Auxais semblent être plus productifs que ce qu'ils y paraissent sur l'illustration 40, là encore la réalisation d'ouvrages dimensionnés pour l'exploitation devraient avoir une bonne productivité, les formations captées ayant a priori des caractéristiques aquifères intéressantes.

- Enfin le forage ayant les pertes de charges linéaires les plus élevées est le forage de la Ventinière. Le forage recoupe une formation d'argile d'une épaisseur de 12 m (marnes du Bosq d'Aubigny) intercalée entre deux épaisseurs de faluns (8 et 14 m). L'ouvrage est crépiné sur toute sa longueur. Au voisinage de la formation d'argiles, les caractéristiques aquifères diminuent, ce qui pourrait expliquer en partie les pertes de charge élevées.

Les valeurs de transmissivité récupérées dans la bibliographie (Annexe 5) sont localisées et comparées aux valeurs calculées lors des pompages d'essai réalisés en juillet 2013 (Illustration 42).

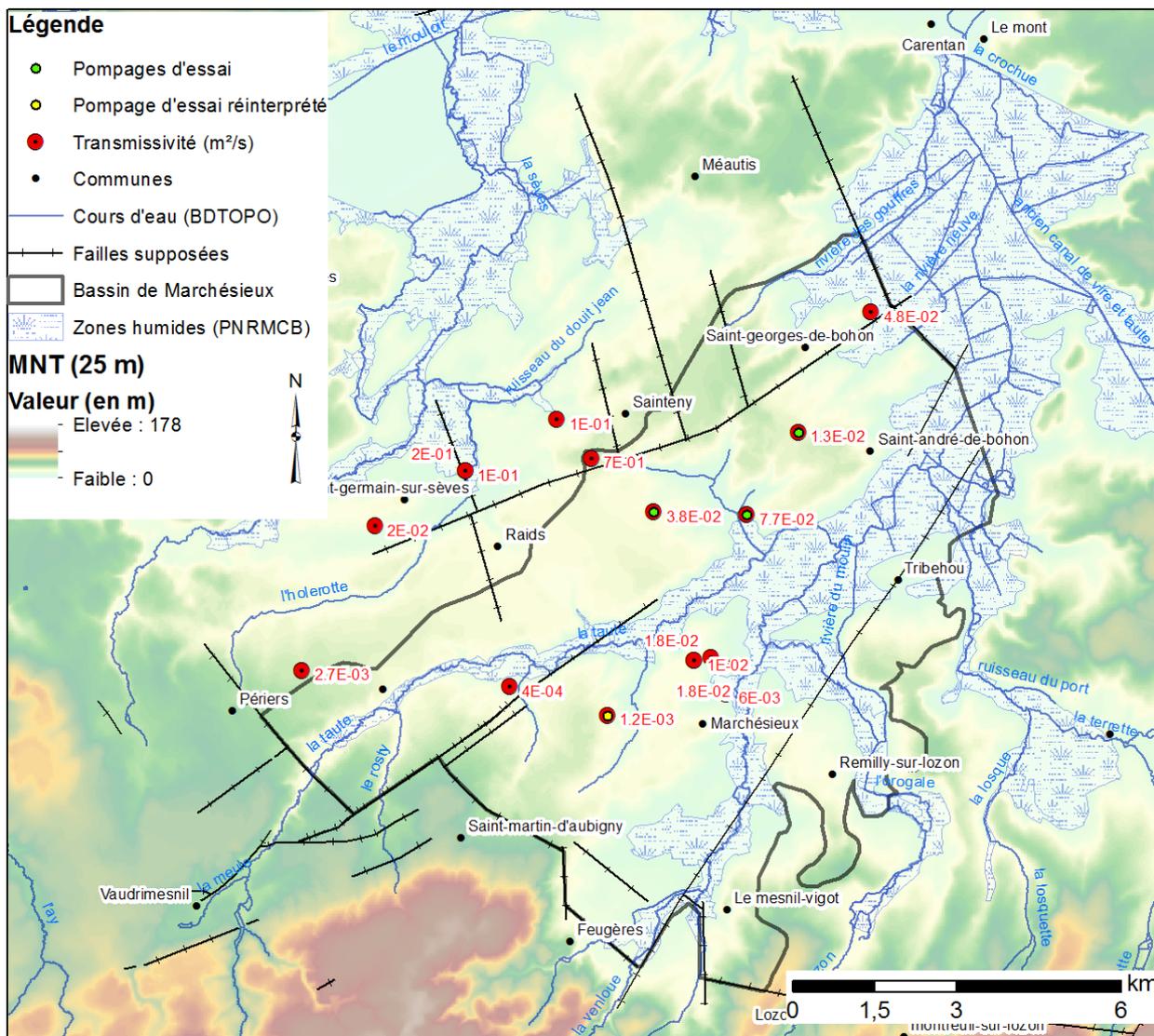


Illustration 42 : Localisation des pompages d'essai réalisés en 2013 et des transmissivités collectées en bibliographie

Les transmissivités des formations Miocène (faluns de Bléhou), situées dans le bassin de Sainteny, sont comprises entre 10^{-1} et 10^{-2} $m^2.s^{-1}$. Tandis que les valeurs de transmissivité du bassin de Marchésieux varient entre 10^{-2} et 10^{-4} $m^2.s^{-1}$. La transmissivité la plus faible (4.10^{-4} $m^2.s^{-1}$) a été calculée à la Bézarderie (01176X0059). La profondeur de cet ouvrage est de 126 m, crépiné sur 32 m de hauteur entre 90 et 122 m de profondeur. Il recoupe les formations du complexe du Bosq d'Aubigny les Grès de Marchésieux.

Il paraît difficile d'attribuer ces valeurs de transmissivité à une formation captée, puisque la plupart des forages sont crépinés sur toute leur longueur, et capent plusieurs formations.

Les pertes de charge linéaire, liées aux caractéristiques de l'aquifère ont été comparés aux valeurs de transmissivité sur l'illustration 43. Cette illustration permet de mettre en évidence une très bonne corrélation entre pertes de charge linéaire et transmissivité : plus les rabattements et donc les pertes de charge linéaire sont élevées, moins les formations captées sont transmissives. Le forage de la Corbinerie ($s=1$, pour $Q=50$ m^3/h et $T=1,4.10^{-2}$ m^2/s) a une transmissivité plus faible pour des rabattements peu élevés, comparativement au forage du château d'Auxais ($s=1,12$, pour $Q=50$ m^3/h , $3,8.10^{-2}$ m^2/s).

Ainsi, pour une prochaine campagne de forages de reconnaissances, les essais de puits permettront, en première approche, de bien évaluer la productivité des formations captées, et de pouvoir hiérarchiser les ouvrages dans lesquels mener des pompages de longue durée.

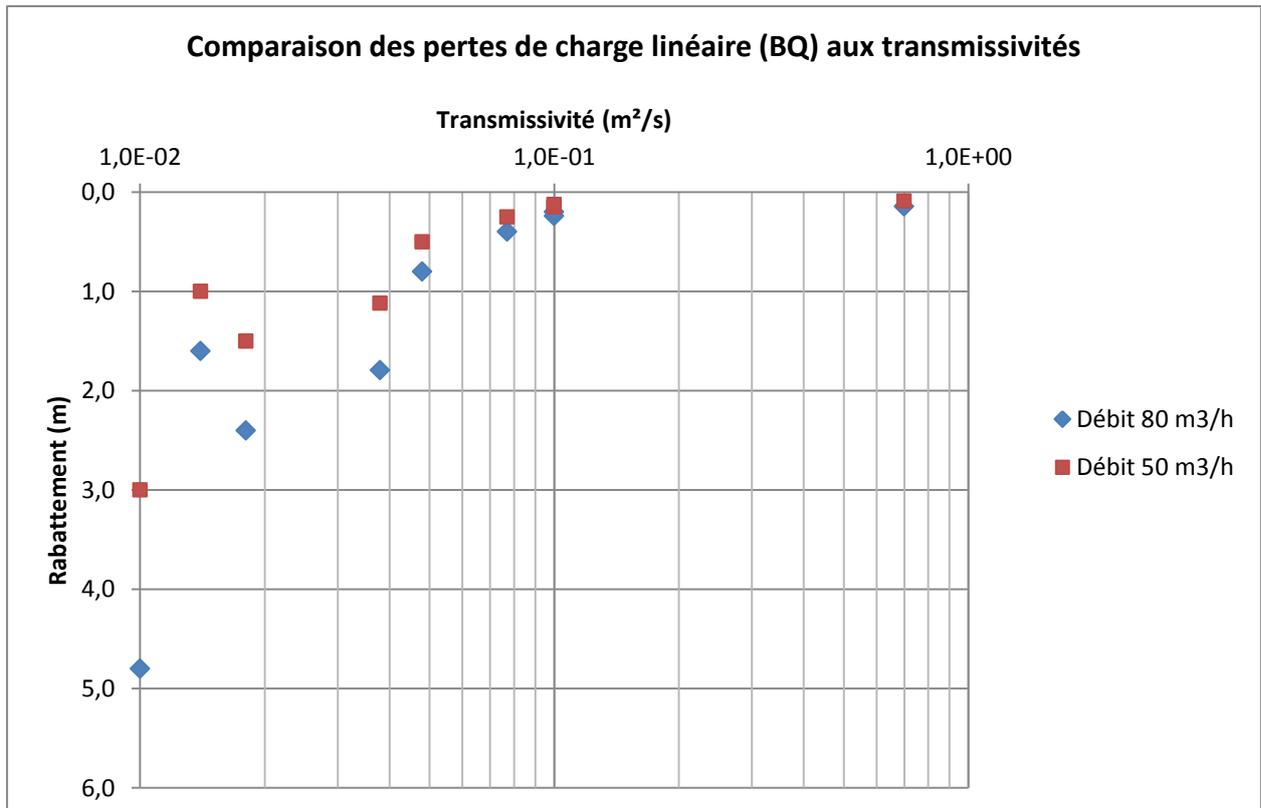


Illustration 43 : Comparaison des pertes de charge linéaire aux transmissivités

8. Conclusion

Les principaux résultats des trois essais de puits et essais de nappes réalisés en juillet et août 2013, et les résultats d'une réinterprétation d'un essai de nappe réalisé au début des années 1980, sont récapitulés dans l'illustration 1 (cf. Synthèse). Ces essais ont permis d'améliorer la caractérisation des formations aquifères captées sur le bassin de Marchésieux, et de les comparer avec celles du bassin de Sainteny.

Afin d'évaluer l'impact potentiel du pompage d'essai au forage de la Grosnière sur la zone humide et le ruisseau situé à proximité (La Bucaille), un dispositif, initialement non prévu, a été mis en place. Deux piézomètres P13 et P14 ont ainsi été installés au voisinage du forage de la Grosnière et suivis en continu lors du pompage d'essai. Le niveau du cours d'eau La Bucaille a également été suivi en continu.

La nappe de la tourbe n'a pas été impactée par le pompage d'essai de 72h réalisé sur le forage de la Grosnière. De plus le dispositif mis en place a permis de mieux comprendre le fonctionnement de la tourbière et ainsi d'émettre plusieurs hypothèses. La nappe de la tourbe serait en lien direct avec les eaux de surface via les fossés drainants, créant une interface de contact entre la tourbe et les eaux de surface. Sur le site de la Grosnière, les deux nappes (la nappe des tourbes et la nappe captée par le forage) semblent déconnectées, probablement en raison de la présence d'une couche d'argiles d'environ 30 m d'épaisseur entre les deux nappes. Par contre la nappe sous-jacente serait en connexion avec la nappe des tourbes plus en aval, ce qui expliquerait les fluctuations diurnes observés sur le suivi piézométrique de la nappe profonde et inapparent sur la nappe des tourbes au droit du site de la Grosnière.

Une des particularités de ces essais est l'observation de cycles diurnes (variations de niveau d'environ 5 à 10 cm) sur les rabattements mesurés pendant les pompages d'essai longue durée aux forages du Château d'Auxais et de la Grosnière. Ces cycles seraient vraisemblablement dus à l'évapotranspiration de la zone humide, dont le couvert végétal est d'autant plus développé en été. L'observation de ces cycles suppose un transfert de pression entre les nappes captées par ces forages et des zones humides, renforçant ainsi l'hypothèse que les zones humides constituent l'exutoire de l'ensemble des aquifères situés en amont hydraulique (même si, comme détaillé ci-dessus, des déconnexions locales peuvent être observées, ces fluctuations n'étant pas observées dans les deux piézomètres situés dans les tourbes sur le site de la Grosnière).

Afin de poursuivre la caractérisation géologique et hydrogéologique du sous-bassin versant de Marchésieux, les opérations suivantes seront réalisées et présentées dans les prochains rapports :

- suivi du niveau des nappes dans six forages « profonds », de deux sites de références pour la caractérisation des zones humides, équipés chacun avec six piézomètres captant la nappe des tourbes et suivi du niveau des rivières sur une dizaine de ponts
- prospections géophysiques (gravimétrie, sismique, profils électriques)

A l'issue de ces prospections géophysiques, plusieurs forages seront implantés et des pompages d'essai seront réalisés avec un suivi adapté dans les zones humides potentiellement situées à proximité. Enfin, deux campagnes piézométriques (hautes eaux et basses eaux) sont prévues pour établir des cartes piézométriques et une campagne d'analyses chimiques est prévue en fin de programme.

9. Bibliographie

Dassibat C., Pascaud P. (1981), Etude hydrogéologique dans le bassin de Carentan. Rapport BRGM 81 SGN 574 BNO. Service géologique régional Normandie.

D.D.A.F. (2000), La réhabilitation du forage de La Renarderie (Commune de Sainteny) – Suivi des travaux sur le forage définitif FP7 du SYMPEC, non exploité. Rapport 2000/DDAF/4/HYD. 40 p.

Callède J. (1977), Oscillations journalières du débit des rivières en l'absence de précipitations. Cah. ORSTOM, série Hydrol., vol. XIV, n°3. p. 219-283.

Callède J., Hallaire M., Daudet F.A. (1978), Oscillations journalières de la profondeur des nappes en l'absence de précipitations. Extrait de la thèse de J.Callède, 1977, Université Paris VI. Ann. Agro. 29 (2), p111-122.

Kruseman G.P., De Ridder N.A. (1974), Interprétation et discussion des pompages d'essai. Netherlands. International Institute for land reclamation ad improvement. 208 p.

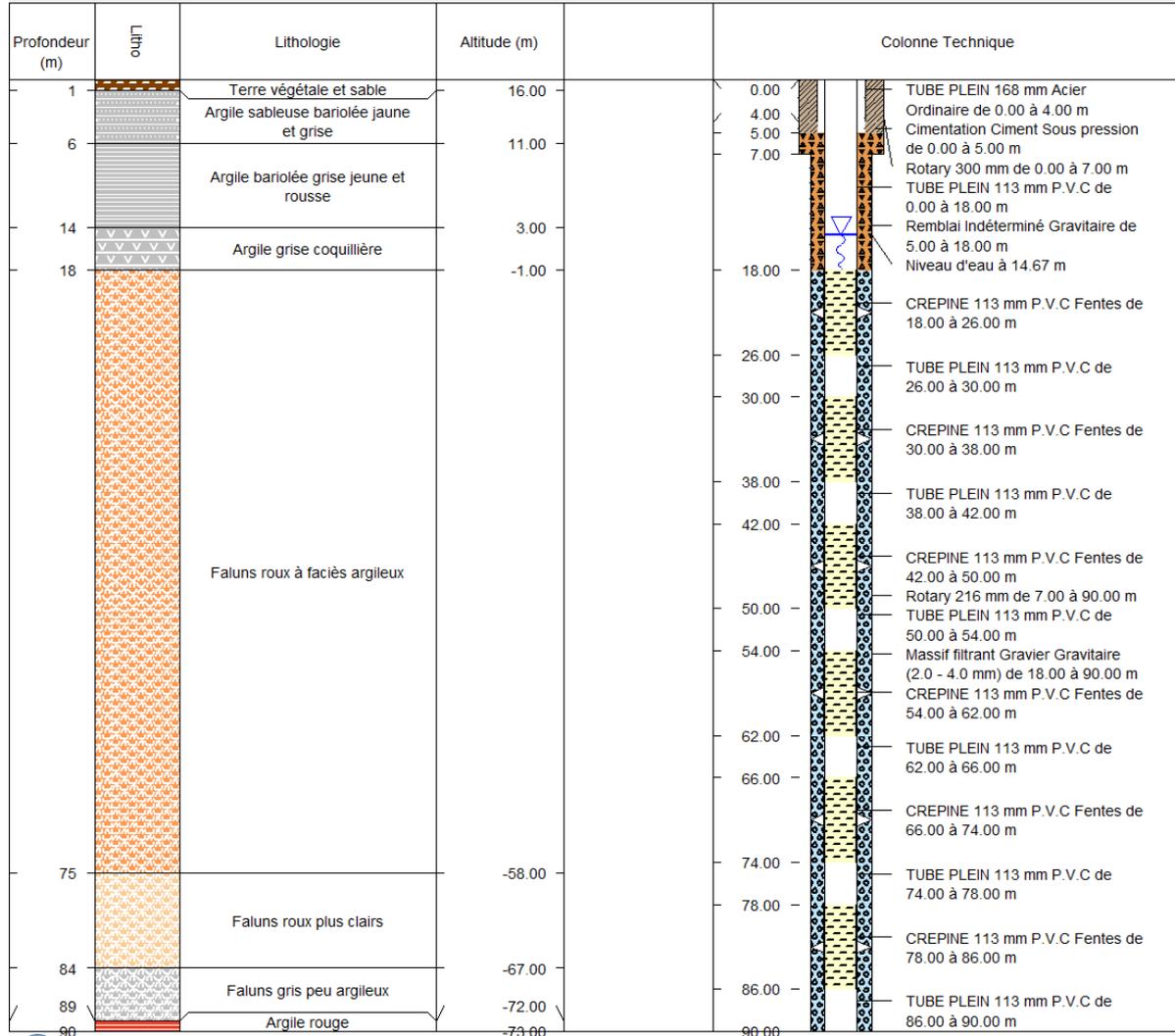
Laurent A., N'Gom M. (2013), Amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux – Phase 1 Exploitation des données existantes. Rapport final. BRGM/RP-62855-FR, 77 p.

Weng P. (2000), Fonctionnement hydrologique d'une zone humide alluviale, relations avec l'aquifère sous-jacent et les rivières. Exemple de la Seine moyenne. Thèse : Université Paris VI. 202 p.

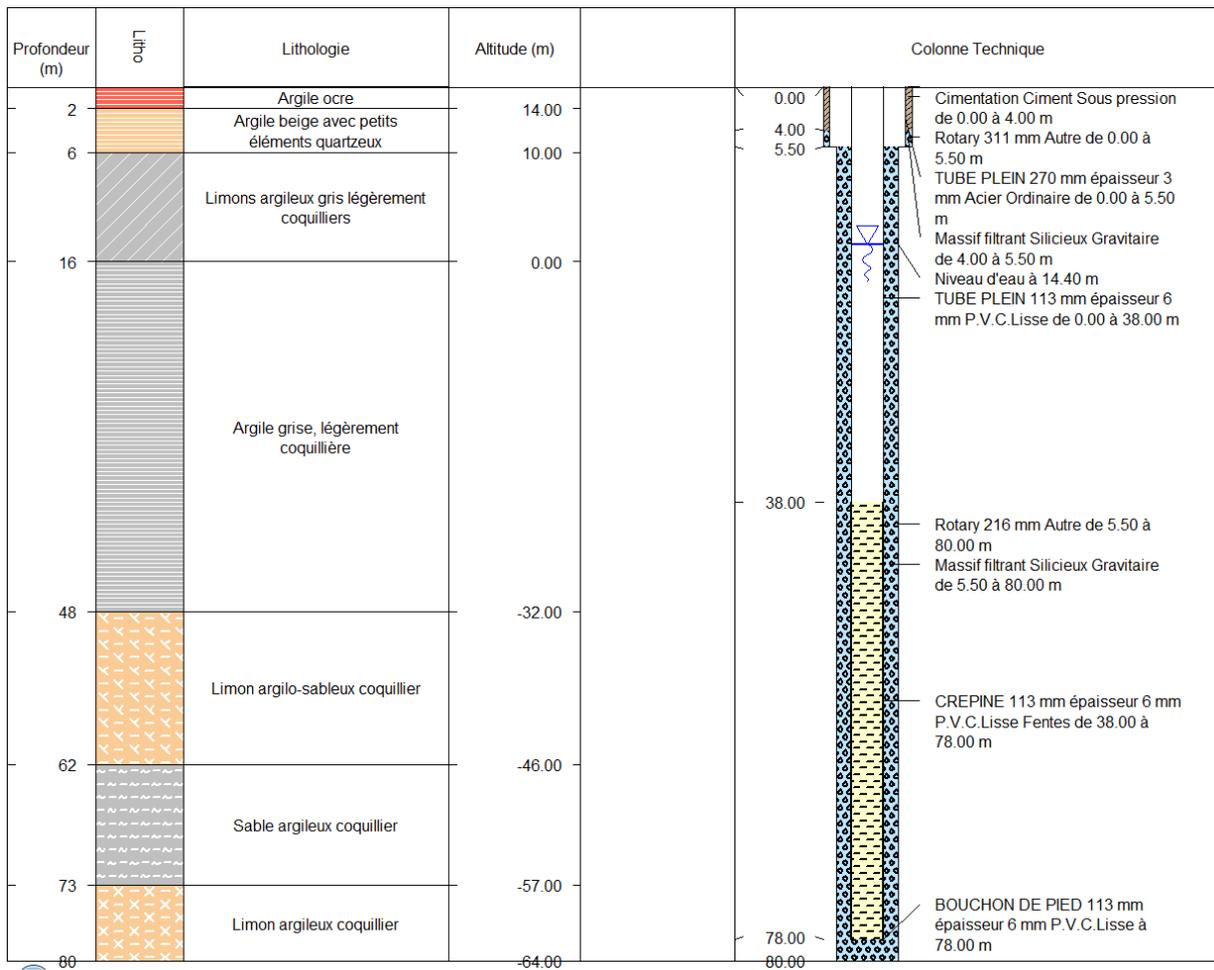
Annexe 1

Coupes géologiques et techniques des forages

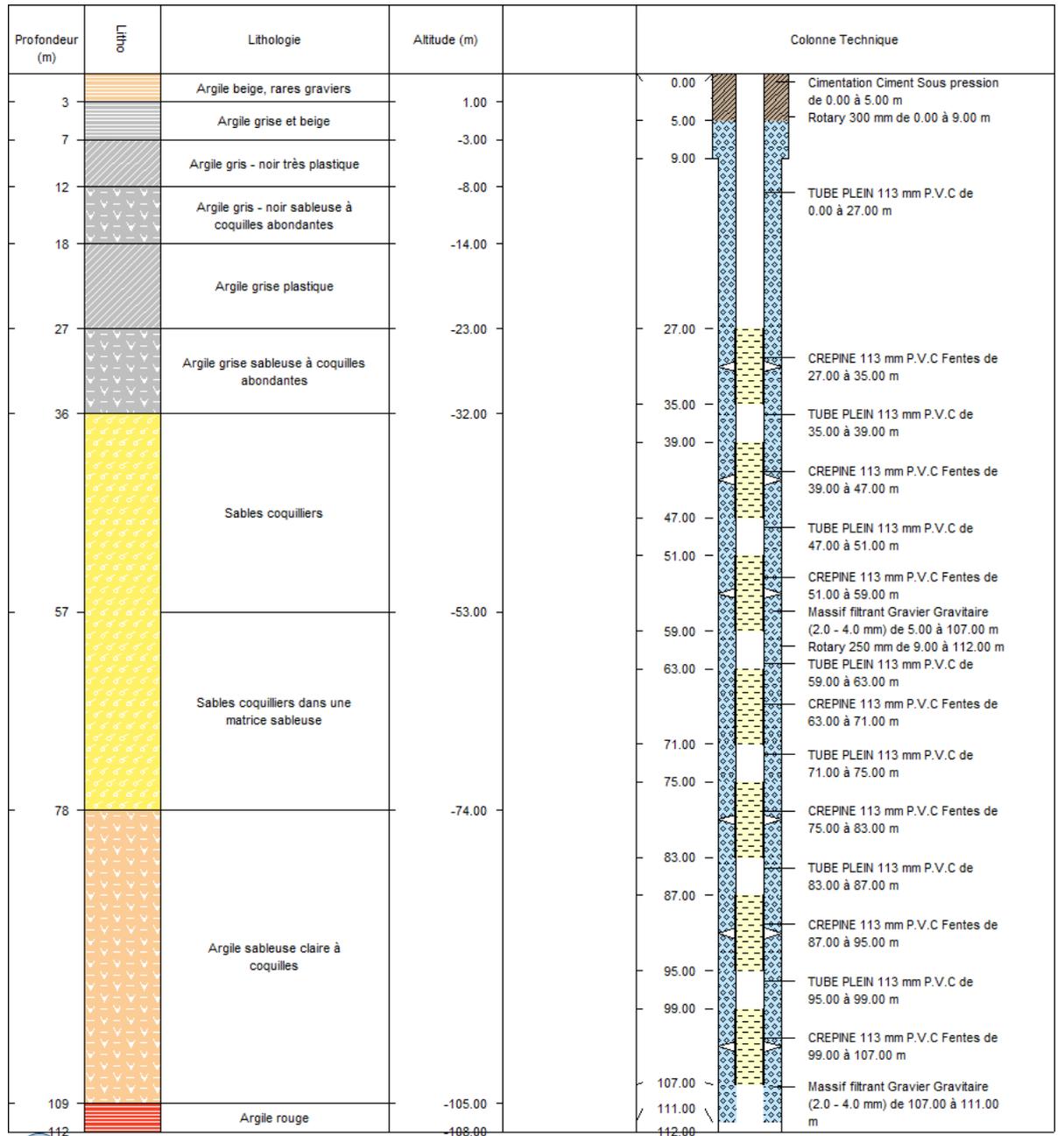
Coupes géologique et technique du forage de la Corbinerie – 01172X0121/S15



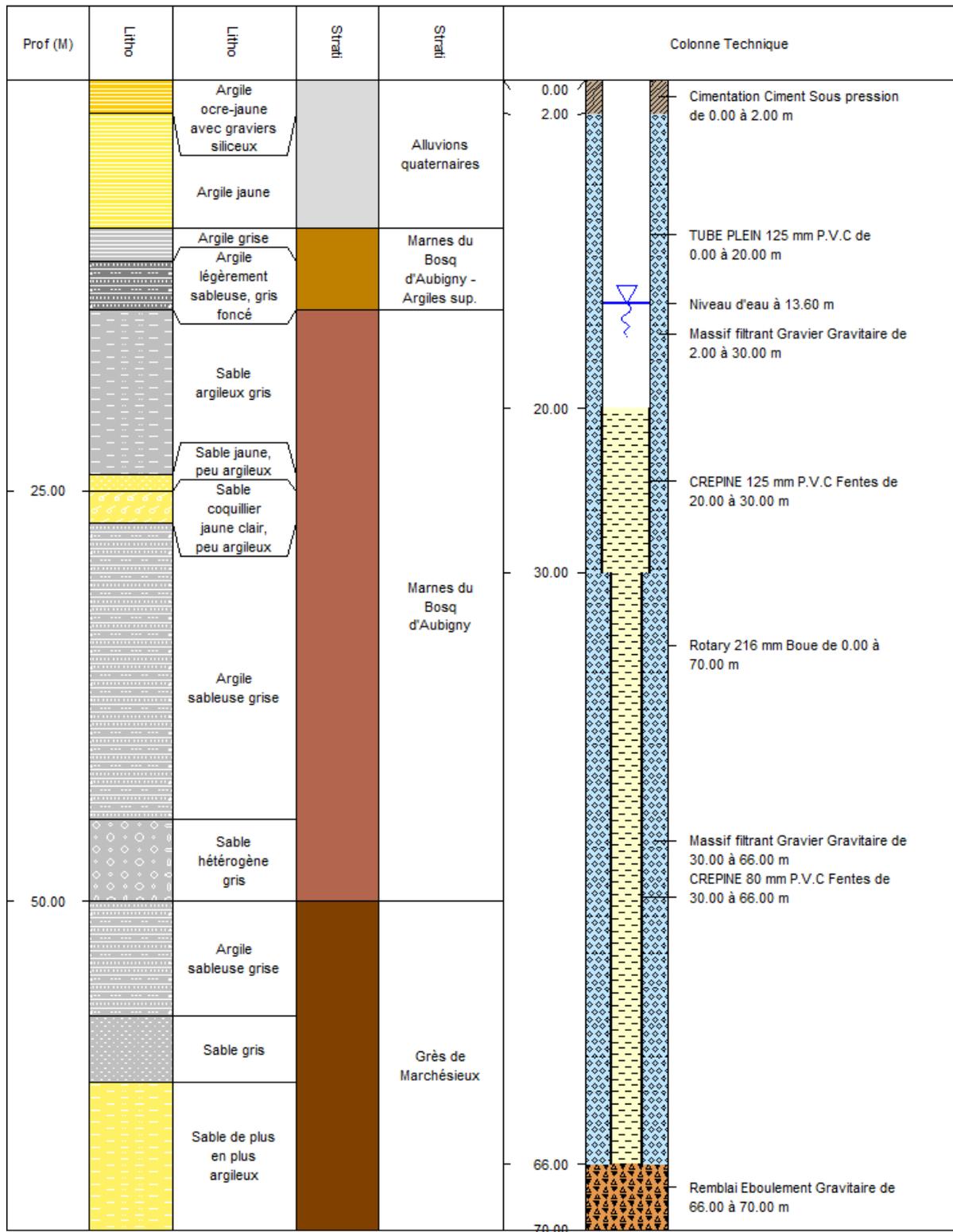
Coupes géologique et technique du forage du Château d'Auxais – 01176X0046/S1



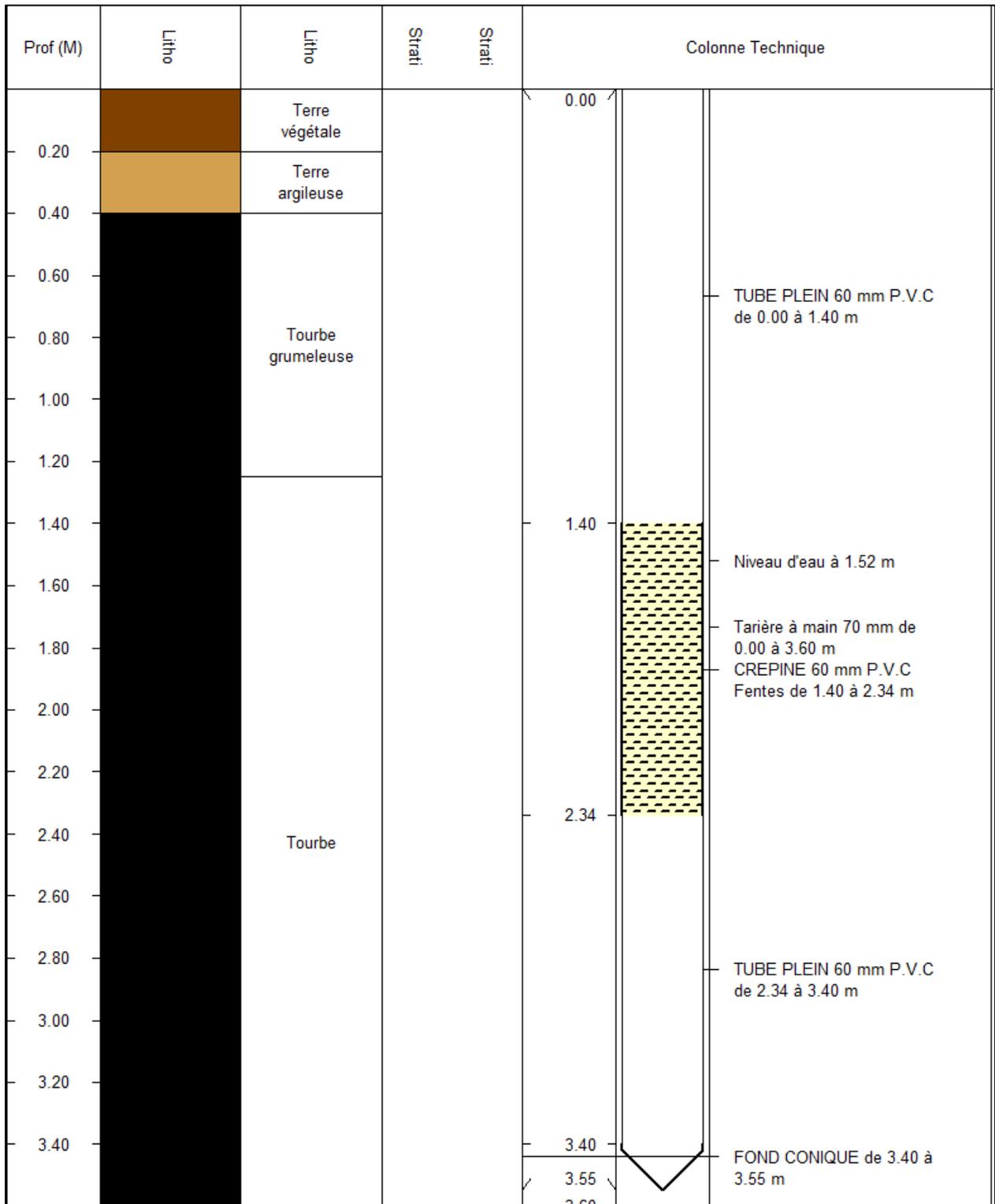
Coupes géologique et technique du forage de la Grosnière – 01176X0061/F



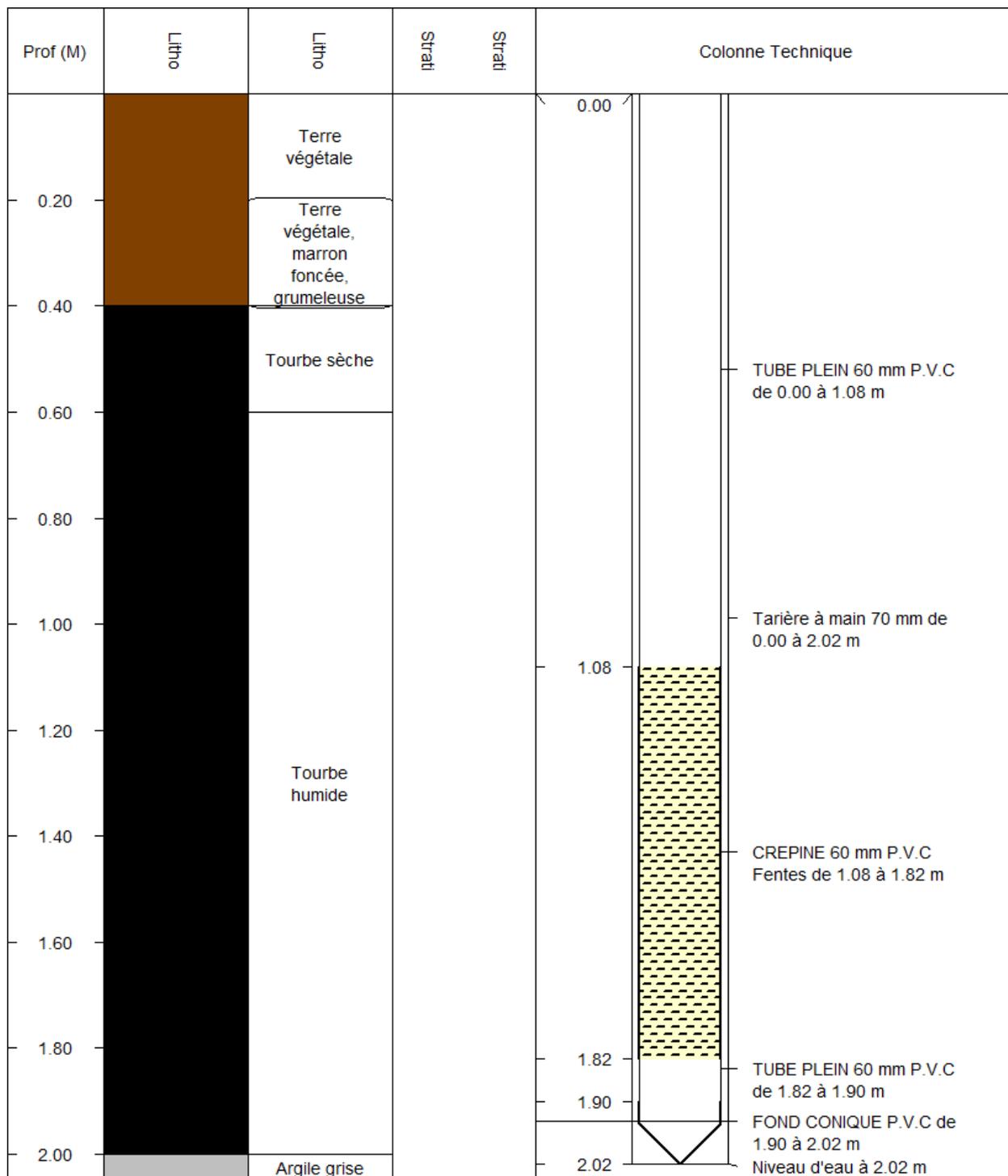
Coupes géologique et technique du forage d'Orgueil – 01176X0037/S4



Coupes géologique et technique du piézomètre de la Grosnière p14



Coupes géologique et technique du piézomètre de la Grosnière p13



Annexe 2**Données brutes des essais de puits****Données brutes de l'essai de puits au forage du Château d'Auxais – 01176X0046/S1**

Débit (m3/h)	Temps (h)	Date	Prof. du niveau d'eau par rapport au repère (m)	Volume (m3)	Débit (m3/h)	Rabattement (m)
5		15/07/2013 15:13	14.60	161652		
	0.53	15/07/2013 15:45	14.78			0.18
	0.87	15/07/2013 16:05	14.76	161657	5.77	0.16
	1.02	15/07/2013 16:14	14.62			0.02
10		15/07/2013 16:40	14.62	161657		
	0.10	15/07/2013 16:46	14.99			0.37
	0.50	15/07/2013 17:10	14.99			0.37
	0.73	15/07/2013 17:24	14.99	161665	10.91	0.37
	1.42	15/07/2013 18:05	14.99	161671	8.78	0.37
	1.58	15/07/2013 18:15	14.62	161672		0.00
		16/07/2013 09:11	14.60	161672		
15	0.65	16/07/2013 09:50	15.38	161674	3.08	0.78
	0.87	16/07/2013 10:03	15.38			0.78
	1.05	16/07/2013 10:14	15.39			0.79
	1.22	16/07/2013 10:24	15.39			0.79
	1.38	16/07/2013 10:34	15.40			0.80
	1.55	16/07/2013 10:44	15.40			0.80
	1.70	16/07/2013 10:53	15.40			0.80
	1.75	16/07/2013 10:56	15.40			0.80
	1.78	16/07/2013 10:58	14.66			0.06
	1.88	16/07/2013 11:04	14.64			0.04
	2.02	16/07/2013 11:12	14.63			0.03
	2.10	16/07/2013 11:17	14.62	161690	11.03	0.02
	21		16/07/2013 11:20	14.62	161690	
0.05		16/07/2013 11:23	14.62			0.00
0.08		16/07/2013 11:25	15.98	161691	12.00	1.36
0.18		16/07/2013 11:31	16.00	161694	30.00	1.38
0.35		16/07/2013 11:41	16.02	161697	18.00	1.40
0.52		16/07/2013 11:51	16.02	161701	24.00	1.40
0.70		16/07/2013 12:02	16.03	161705	21.82	1.41
0.88		16/07/2013 12:13	16.03	161709	21.82	1.41

1.07	16/07/2013 12:24	16.03	161713	21.82	1.41
1.15	16/07/2013 12:29	16.03			1.41
1.17	16/07/2013 12:30	14.70			0.08
1.20	16/07/2013 12:32	14.67			0.05
1.27	16/07/2013 12:36	14.66			0.04
1.32	16/07/2013 12:39	14.65			0.03
1.55	16/07/2013 12:53	14.63			0.01

Données brutes de l'essai de puits au forage de la Grosnière – 01176X0061/F

Débit (m3/h)	Temps (h)	Date	Prof. du niveau d'eau par rapport au repère (m)	Volume (m3)	Débit (m3/h)	Rabattement (m)
5		25/7/13 14:42	2.55	163370		
	0.45	25/7/13 15:09	2.59			0.04
	0.80	25/7/13 15:30	2.59			0.04
	1.30	25/7/13 16:00	2.59	163376	4.62	0.04
		25/7/13 16:04	2.55			0.00
10		25/7/13 16:15	2.55	163376		
	0.13	25/7/13 16:23	2.64	163378	15.00	0.09
	0.47	25/7/13 16:43	2.65			0.10
	0.75	25/7/13 17:00	2.65			0.10
	1.03	25/7/13 17:17	2.64	163387	10.00	0.09
	1.25	25/7/13 17:30	2.55			0.00
15		25/7/13 17:30	2.55	163387		
	0.25	25/7/13 17:45	2.73			0.18
	0.50	25/7/13 18:00	2.73			0.18
	0.75	25/7/13 18:15	2.73			0.18
	1.25	25/7/13 18:45	2.73	163409	17.60	0.18
	1.33	25/7/13 18:50	2.56			0.01
21		26/7/13 10:20	2.54	163409		
	0.22	26/7/13 10:33	2.84			0.30
	0.57	26/7/13 10:54	2.86	163421	21.18	0.32
	0.82	26/7/13 11:09	2.86	163427	24.00	0.32
	1.05	26/7/13 11:23	2.86	163432	21.43	0.32
	1.22	26/7/13 11:33	2.56	163435		0.02
	1.50	26/7/13 11:50	2.56			0.02

Données brutes de l'essai de puits au forage de la Corbinerie – 01172X0121/S15

Débit (m3/h)	Temps (h)	Date	Prof. du niveau d'eau par rapport au repère (m)	Volume (m3)	Débit (m3/h)	Rabatement (m)
2		5/8/13 14:25	14.60	165086		
	0.25	5/8/13 14:40	14.65	165087	4.00	0.05
	0.50	5/8/13 14:55	14.65			0.05
	0.75	5/8/13 15:10	14.65	165088	2.00	0.05
	1.08	5/8/13 15:30	14.65			0.05
	1.17	5/8/13 15:35	14.60			0.00
	4		5/8/13 15:45	14.60	165089	
0.25		5/8/13 16:00	14.72	165089		0.12
0.50		5/8/13 16:15	14.71	165090	4.00	0.11
0.75		5/8/13 16:30	14.71	165091	4.00	0.11
1.00		5/8/13 16:45	14.71			0.11
1.17		5/8/13 16:55	14.62			0.02
		5/8/13 17:00	14.61			0.01
6		5/8/13 17:05	14.61	165093		
	0.17	5/8/13 17:15		165093		
	0.42	5/8/13 17:30	14.78	165094	4.00	0.17
	0.67	5/8/13 17:45	14.78	165096	8.00	0.17
	0.92	5/8/13 18:00	14.78	165097	4.00	0.17
	1.08	5/8/13 18:10	14.62			0.01
8		5/8/13 18:25	14.62			
	0.17	5/8/13 18:35	14.90	165099		0.28
	0.42	5/8/13 18:50	14.92	165102	12.00	0.30
	0.67	5/8/13 19:05	14.93	165104	8.00	0.31
	0.92	5/8/13 19:20	14.93	165106	8.00	0.31
	1.08	5/8/13 19:30	14.63	163435		0.01

Annexe 3

Données brutes AQUASSYS des pompages d'essai longue durée – Relevés manuels

Données brutes de l'essai de nappe au forage du Château d'Auxais – 01176X0046/S1



Site : Le Château

Profondeur sonde : 33m Profondeur pompe : 35m
 Compteur début : 161714 Compteur fin :
 Niveau début : 14.6 Niveau fin :
 Hauteur du repère par rapport au sol : 1.30 Unité utilisée pour la conductivité : mS.cm⁻¹ µS.cm⁻¹

Date/Heure	Niveau forage (m)	Débit (m ³ /h)	Compteur	T °C	Conductivité (µS/cm)
16/7/13 14:47	15.98	21.0	161715	12.5	551
16/7/13 14:57	16.01	21.2	161719	12.5	554
16/7/13 15:08	16.03	21.2	161723	12.5	554
16/7/13 15:19	16.03	21.2	161727	12.4	554
16/7/13 15:50	16.05	21.3	161738	12.5	554
16/7/13 16:20	16.05	21.2	161749	12.5	555
16/7/13 16:50	16.06	21.2	161759	12.5	555
16/7/13 17:20	16.07	21.3	161770	12.4	554
16/7/13 17:50	16.07	21.4	161781	12.4	554
16/7/13 18:20	16.07	21.4	161791	12.4	555
17/7/13 9:08	16.09	21.5	162107	12.6	540
17/7/13 9:40	16.09	21.5	162118	12.7	540
17/7/13 10:10	16.08	21.4	162129	12.7	540
17/7/13 10:40	16.08	21.4	162140	12.9	540
17/7/13 10:10	16.08	21.4	162150	13	540
17/7/13 11:40	16.08	21.3	162161	13.1	540
17/7/13 12:10	16.08	21.3	162172	13.1	539
17/7/13 14:25	16.07	21.2	162220	13	533
17/7/13 15:00	16.07	21.1	162232	13	532
17/7/13 15:30	16.07	21.1	162242	13	531
17/7/13 16:00	16.07	21.1	162253	13	530
17/7/13 16:30	16.07	21.2	162264	12.9	530
17/7/13 17:00	16.07	21.2	162275	13	529
17/7/13 17:30	16.08	21.3	162285	12.9	529
17/7/13 18:00	16.07	21.3	162295	12.9	528
17/7/13 18:34	16.08	21.3	162308	12.9	528
18/7/13 9:00	16.10	21.0	162615	12.9	524

18/7/13 9:30	16.10	21.0	162626	12.9	524
18/7/13 10:00	16.09	21.1	162637	13	525
18/7/13 10:30	16.09	21.1	162647	13	526
18/7/13 11:00	16.09	21.1	162657	13.1	528
18/7/13 11:30	16.08	21.1	162668	13.2	529
18/7/13 12:00	16.08	21.2	162679	13.2	529
18/7/13 14:05	16.08	21.2	162723	13.2	527
18/7/13 14:30	16.08	21.2	162732	13.1	527
18/7/13 15:00	16.09	21.3	162742	13.1	526
18/7/13 15:30	16.09	21.3	162753	13.1	527
18/7/13 16:00	16.09	21.4	162763	13.1	526
18/7/13 16:30	16.09	21.5	162774	13.1	526
18/7/13 17:00	16.08	21.5	162785	13.1	525
18/7/13 17:35	16.08	21.5	162797	13.1	525
18/7/13 18:00	16.08	21.4	162806	13	525
18/7/13 18:30	16.08	21.4	162816	13	525
19/7/13 9:22	16.09	21.3	163131	12.9	520
19/7/13 9:30	16.09	21.3	163134	12.9	521
19/7/13 10:00	16.09	21.2	163144	13	522
19/7/13 10:30	16.09	21.2	163155	13	522
19/7/13 11:00	16.09	21.2	163166	13.1	522
19/7/13 11:30	16.09	21.1	163176	13.2	524
19/7/13 12:00	16.09	21.1	163187	13.2	525
19/7/13 14:00	16.08	21.0	163229	13.2	524
19/7/13 14:30	16.08	21.0	163240	13.2	523
19/7/13 14:43	14.74				
19/7/13 14:45	14.72				
19/7/13 14:50	14.69				
19/7/13 15:00	14.67				
19/7/13 15:15	14.66				
19/7/13 15:34	14.65				
19/7/13 14:46	14.64				
19/7/13 16:23	14.63				
19/7/13 16:49	14.63				
19/7/13 17:15	14.63				

Données brutes de l'essai de nappe au forage de la Grosnière – 01176X0061/F



Site : La Grosnière

Profondeur sonde : Profondeur pompe :

Compteur début : 163437 Compteur fin :

Niveau début : 2.55 Niveau fin :

Hauteur du repère par rapport au sol : 1.30 Unité utilisée pour la conductivité : mS.cm⁻¹ µS.cm⁻¹

Date/Heure	Niveau forage (m)	Débit (m ³ /h)	Compteur	T °C	Conductivité (µS/cm)
29/7/13 11:45	2.90	22.5	163440		
29/7/13 11:50	2.90	22.3	163440		
29/7/13 12:20	2.90	22.1	163446		
29/7/13 13:32	2.90	22.0	163454	14	480
29/7/13 15:20	2.91	22.3	163494	13.6	484
29/7/13 15:50	2.92	22.2	163505	13.5	484
29/7/13 16:20	2.92	21.9	163516	13.4	484
29/7/13 16:50	2.92	22.1	163527	13.9	484
29/7/13 17:20	2.93	22.3	163588	13.8	482
29/7/13 17:50	2.92	22.0	163549	13.6	484
29/7/13 18:20	2.92	22.0	163560	13.7	484
29/7/13 18:50	2.92	22.2	163571	13.8	484
29/7/13 19:10	2.93	22.2	163579	13.7	482
30/7/13 8:55	2.93	22.4	163885	13.5	482
30/7/13 9:20	2.94	22.3	163893	13.5	484
30/7/13 9:50	2.94	22.2	163904	13.5	482
30/7/13 10:20	2.92	22.3	163914	13.5	481
30/7/13 10:50	2.92	22.2	163926	13.6	483
30/7/13 11:20	2.91	22.1	163936	13.6	482
30/7/13 11:50	2.91	22.3	163948	13.6	483
30/7/13 12:15	2.92	22.1	163957	13.7	482
30/7/13 14:25	2.92	22.2	164006	13.8	481
30/7/13 15:00	2.92	22.2	164018	13.8	482
30/7/13 15:30	2.91	22.2	164029	13.7	482
30/7/13 16:00	2.91	22.2	164040	13.7	482
30/7/13 16:30	2.90	22.2	164052	13.8	482
30/7/13 17:00	2.92	22.0	164063	13.8	480
30/7/13 17:30	2.91	22.4	164074	13.8	482
30/7/13 18:00	2.92	22.1	164086	13.8	480
30/7/13 18:30	2.92	22.3	164096	13.8	480
30/7/13 18:55	2.91	22.4	164105	13.9	481
31/7/13 9:00	2.93	22.1	164418	13.7	482
31/7/13 9:30	2.93	22.3	164429	13.8	480
31/7/13 10:00	2.92	22.1	164441	13.8	479
31/7/13 10:30	2.92	22.0	164451	13.8	480
31/7/13 11:00	2.93	22.2	164463	13.8	479
31/7/13 11:30	2.93	22.1	164474	13.9	479
31/7/13 12:00	2.92	22.3	164484	13.9	479
31/7/13 12:20	2.93	22.0	164492	13.9	479
31/7/13 14:00	2.93	22.3	164529	14	480
31/7/13 14:30	2.92	22.1	164540	14	479
31/7/13 15:00	2.92	22.1	164552	14	480
31/7/13 15:30	2.92	22.0	164563	14.1	481
31/7/13 16:00	2.92	22.1	164574	14	478
31/7/13 16:30	2.92	22.2	164585	14	478
31/7/13 17:00	2.91	22.1	164596	14	480

Données brutes de l'essai de nappe au forage de la Corbinerie – 01172X0121/S15



Site : La Corbinerie

Profondeur sonde : 20 m Profondeur pompe : 19 m
 Compteur début : 165109 Compteur fin :
 Niveau début : 14.68 m Niveau fin :
 Hauteur du repère par rapport au sol : 1.30 m Unité utilisée pour la conductivité : mS.cm⁻¹ µS.cm⁻¹

Date/Heure	Niveau forage (m)	Débit (m ³ /h)	Compteur	T °C	Conductivité (µS/cm)	Observations
6/8/13 9:40	14.94	8.4	165109	12.3	743	
6/8/13 10:00	14.95	8.3	165112	12.2	747	
6/8/13 10:20	14.96	8.5	165115	12.3	749	
6/8/13 10:40	14.96	8.4	165118	12.4	748	
6/8/13 11:00	14.96	8.3	165121	12.4	750	
6/8/13 11:20	14.97	8.4	165123	12.4	753	
6/8/13 11:40	14.97	8.5	165126	12.4	750	
6/8/13 12:00	14.97	8.4	165129	12.5	751	
6/8/13 12:15	14.98	8.4	165131	12.5	751	
6/8/13 13:35	14.98	8.4	165142	12.7	749	
6/8/13 14:00	14.98	8.3	165146	12.5	747	
6/8/13 14:30	14.98	8.5	165150	12.5	749	
6/8/13 15:00	14.98	8.3	165154	12.5	752	
6/8/13 15:30	14.98	8.3	165158	12.5	749	
6/8/13 16:00	14.98	8.4	165163	12.7	747	
6/8/13 16:30	14.98	8.3	165166	12.6	751	
6/8/13 17:00	14.98	8.3	165171	12.6	747	
6/8/13 17:30	14.98	8.3	165175	12.5	739	
6/8/13 18:00	14.98	8.4	165179			Erreur appareil mesure
6/8/13 19:00	14.99	8.4	165188	12.5	747	
7/8/13 8:55	14.99	8.2	165304	12.1	742	
7/8/13 9:30	14.99	8.4	165308	12.3	747	
7/8/13 10:00	14.99	8.3	165313	12.3	748	
7/8/13 10:30	14.99	8.3	165317	12.3	750	
7/8/13 11:00	15.00	8.4	165322	12.3	745	
7/8/13 11:30	15.00	8.3	165325	12.3	745	
7/8/13 12:00	15.00	8.2	165330	12.3	748	
7/8/13 12:15	15.00	8.2	165332	12.4	748	
7/8/13 13:45	15.01	8.3	165344	12.5	748	
7/8/13 14:00	15.01	8.2	165346	12.4	745	
7/8/13 14:30	15.01	8.3	165350	12.4	748	
7/8/13 15:00	15.01	8.4	165354	12.5	746	
7/8/13 15:30	15.01	8.3	165358	12.5	748	
7/8/13 16:00	15.02	8.2	165363	12.5	746	
7/8/13 16:30	15.02	8.3	165367	12.3	748	
7/8/13 17:00	15.02	8.3	165371	12.4	746	
7/8/13 17:30	15.02	8.2	165375	12.3	745	

Pompages d'essais sur les forages du Château, de la Grosnière, de la Corbinerie

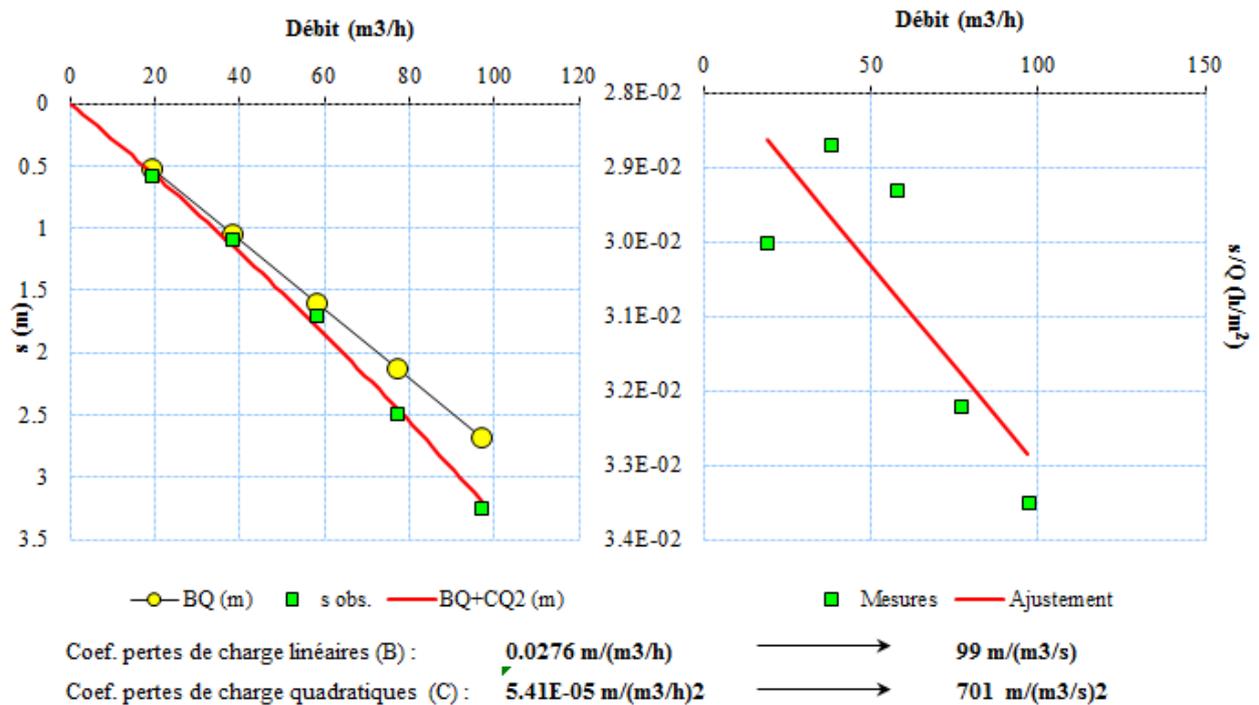
7/8/13 18:00	15.02	8.2	165379	12.3	743
7/8/13 18:30	15.02	8.2	165383	12.4	745
7/8/13 19:00	15.03	8.3	165388	12.4	745
8/8/13 9:00	15.08	8.2	165504	12.2	745
8/8/13 9:30	15.08	8.3	165507	12.3	745
8/8/13 10:00	15.09	8.4	165512	12.4	746
8/8/13 10:30	15.09	8.4	165516	12.4	743
8/8/13 11:00	15.09	8.3	165520	12.4	746
8/8/13 11:30	15.09	8.4	165524	12.5	746
8/8/13 12:00	15.09	8.2	165528	12.5	743
8/8/13 12:15	15.09	8.4	165530	12.5	744
8/8/13 15:45	15.09	8.3	165560	12.6	744
8/8/13 16:15	15.09	8.2	165563	12.7	742
8/8/13 16:45	15.09	8.4	165567	12.6	742
8/8/13 17:15	15.09	8.3	165572	12.5	743
8/8/13 17:45	15.09	8.3	165576	12.4	739
8/8/13 18:15	15.09	8.2	165580	12.6	742
8/8/13 18:45	15.09	8.2	165585	12.4	740
8/8/13 19:15	15.09	8.3	165588	12.3	743
9/8/13 8:45	15.08	8.4	165700	12.3	743
9/8/13 9:00	15.08	8.2	165703	12.3	741
9/8/13 9:30	15.08	8.2	165706	12.4	740
9/8/13 10:00	15.08	8.3	165711	12.4	741
9/8/13 10:10	14.69				
9/8/13 10:20	14.69				
9/8/13 10:50	14.68				
9/8/13 11:10	14.68				
9/8/13 11:35	14.68				
9/8/13 11:42	14.68				
9/8/13 12:00	14.69				
9/8/13 12:10	14.69				
9/8/13 14:05	14.69				
9/8/13 14:30	14.69				
9/8/13 14:51	14.69				

Annexe 4

Données des essais de puits relevés en bibliographie

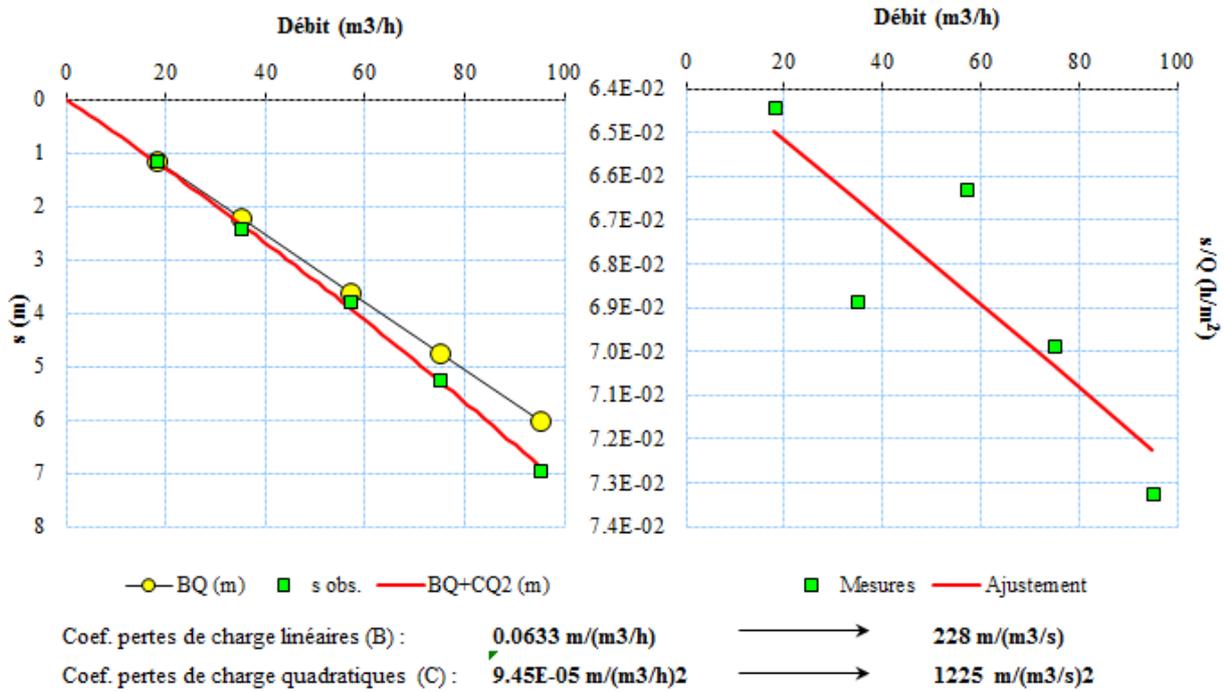
Essai de puits à Champeaux

Pompage par paliers	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4	Palier 5
Débit (m ³ /h)	19.00	38.00	58.00	77.00	97.00
Temps de pompage (min)	60	60	60	60	60
Temps de remontée (min)	5	5	5	5	5
Rabatement observé (m)	0.57	1.09	1.70	2.48	3.25



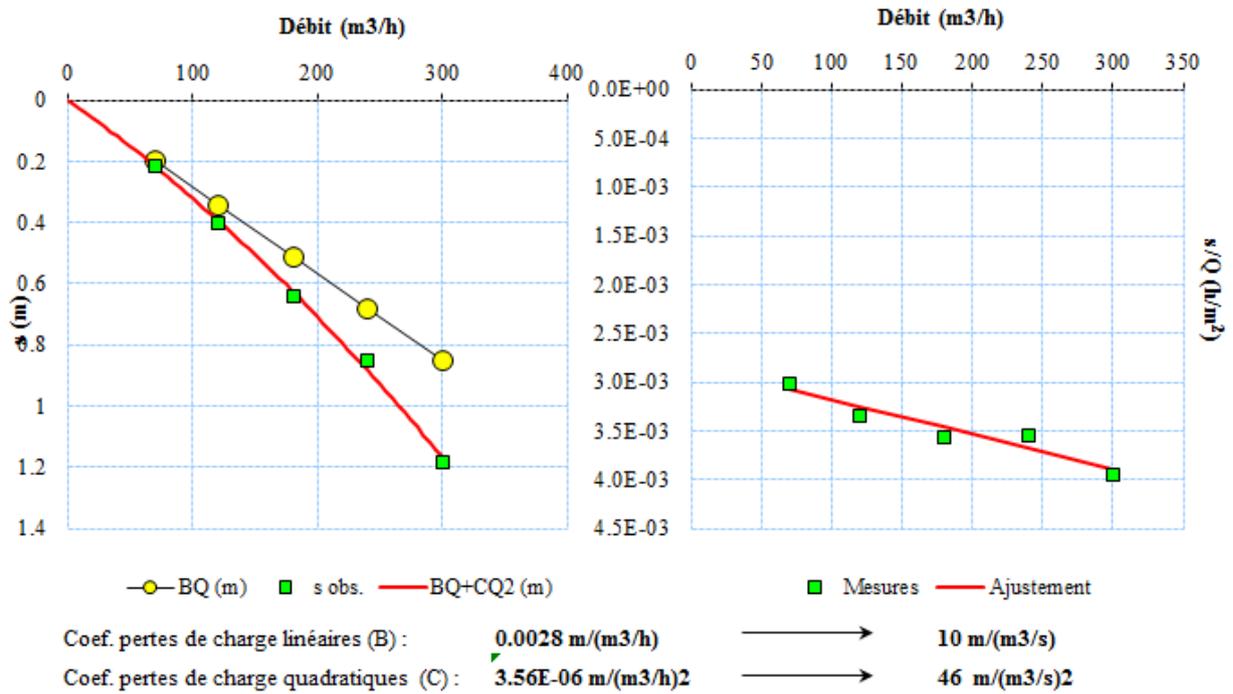
Essai de puits La Ventinière

Pompage par paliers	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4	Palier 5
Débit (m ³ /h)	18.00	35.00	57.00	75.00	95.00
Temps de pompage (min)	60	60	60	60	60
Temps de remontée (min)	5	5	5	5	5
Rabatement observé (m)	1.16	2.41	3.78	5.24	6.96



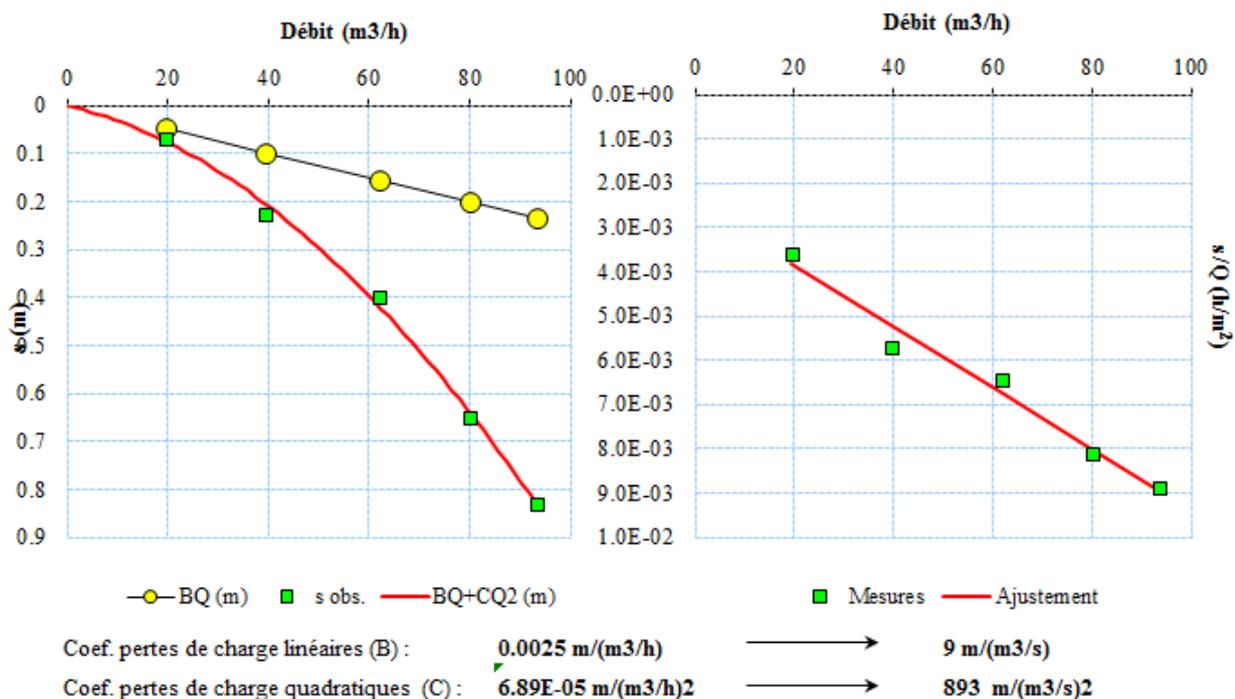
Essai de puits Beaumarais – FP2

Pompage par paliers	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4	Palier 5
Débit (m3/h)	70.00	120.00	180.00	240.00	300.00
Temps de pompage (min)	60	60	60	60	60
Temps de remontée (min)	5	5	5	5	5
Rabatement observé (m)	0.21	0.40	0.64	0.85	1.18



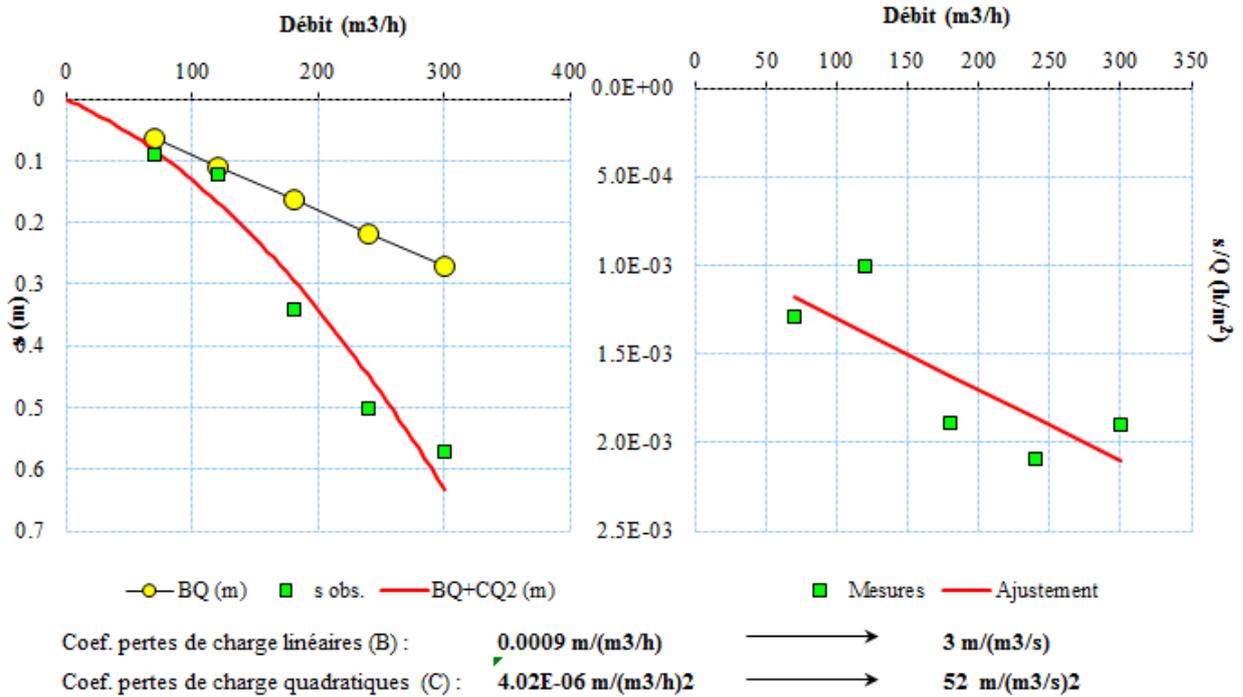
Essai de puits – Le Marais

Pompage par paliers	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4	Palier 5
Débit (m ³ /h)	19.50	39.50	62.00	80.00	93.50
Temps de pompage (min)	60	60	60	60	60
Temps de remontée (min)	5	5	5	5	5
Rabatement observé (m)	0.07	0.23	0.40	0.65	0.83



Essai de puits – La Renarderie

Pompage par paliers	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4	Palier 5	Palier 6
<i>Débit (m3/h)</i>	70.00	120.00	180.00	240.00	300.00	400
<i>Temps de pompage (min)</i>	60	60	60	60	60	60
<i>Temps de remontée (min)</i>	5	5	5	5	5	5
<i>Rabatement observé (m)</i>	0.09	0.12	0.34	0.50	0.57	0.82



Annexe 5

Données de transmissivités relevées en bibliographie (cf. Rapport BRGM/RP-62855-FR phase I)

Indice BSS	Nom de l'ouvrage	Niveau testé	Tmin (m ² /s)	Tmax (m ² /s)	S	Commentaires
01173X0005	L'Abbaye	Plio-IV	4.80E-02	1.40E-01	2.50E-03	Crépiné sur toute la longueur
01175X0026	Gruchy, Clos pongeade	Plio-IV	2.70E-03			Crépiné sur toute la longueur
01176X0038	La Ventinière	Plio-IV	1.00E-02		5.30E-04	Crépiné sur toute la longueur
01176X0039	La Ventinière piézo	Plio-IV	1.60E-02		5.30E-04	Crépiné sur toute la longueur
01176X0040	La Bertinière	Plio-IV	1.80E-02		5.30E-04	Crépiné sur toute la longueur
01176X0041	Champeaux	Plio-IV	1.80E-02		5.30E-04	Crépiné sur toute la longueur
01176X0042	Le Port	Plio-IV	6.00E-03		5.30E-04	Crépiné sur toute la longueur
01176X0059	La bézarderie	Plio-IV	4.00E-04	1.30E-03	1.00E-06	
01175X0035	Marais (F1)	Miocène	2.00E-01	3.00E-01		
01175X0036	Marais FP1	Miocène	1.00E-01			
01172X0062	Beaumarais (F2)	Miocène	1.00E-01	3.00E-01		
01172X0065	La Renarderie	Miocène	7.00E-01		5.00E-03	
01175X0029	La Dominerie (S1) (ou bertinière)	Miocène	2.00E-02			



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Direction régionale de Basse-Normandie
CITIS « Odysée », Batiment C
4, Avenue de Cambridge
14200 – Hérouville-Saint-Clair – France
Tél. : 02 31 06 66 40