

BDC2_ICPE_2910A

ANNEXE N°A5
ETUDE HYDROGEOLOGIQUE



BDC2

122, avenue des Champs-Élysées
75 008 PARIS

**Construction d'un DATA CENTER sur un niveau de sous-sol,
2, rue de la Libération
Bruyères-le-Châtel (91)**



Etude hydrogéologique

Septembre 2019

Réf. devis : GED190141	Réf. rapport : GEA190081
Indice : A	Date : 11/09/2019
Rédacteur : L. FLEURENT	
Vérificateur : G. HESTERS M. PRIGENT	

SOMMAIRE

	Pages
1.....INTRODUCTION.....	4
2.....CONTEXTE NATUREL	5
2.1CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.....	5
2.2CONTEXTE GEOLOGIQUE AU DROIT DU SITE	5
2.3CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL	6
2.4CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE AU DROIT DU SITE	6
2.5RAPPEL DES NIVEAUX DES PLUS HAUTES EAUX ESTIMEES	8
3.....CALCUL DES DEBITS DE FOND DE FOUILLE	10
3.1PERMEABILITE DE LA NAPPE DES SABLES DE FONTAINEBLEAU	10
3.2GEOMETRIE DU PROJET ET OBJECTIF DE RABATTEMENT	12
3.3CALCUL DES DEBITS A POMPER EN PHASE TRAVAUX SELON LA METHODE DE DUPUIT	13
3.4VOLUMES PRELEVES AU COURS DU RABATTEMENT DE NAPPE	15
4.....PRECONISATION DE DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE RABATTEMENT DE NAPPE	16
5.....PRECONISATION EN PHASE DEFINITIVE.....	16
6.....CONCLUSION	17

TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques techniques des ouvrages au droit du site	7
Tableau 2 : Mesures piézométriques réalisées au droit du site (mesures réalisées par GEOTHER).....	8
Tableau 3 : Estimation de la cote prévisionnelle des Niveaux des Plus Hautes Eaux au droit du site	9
Tableau 4 : Résultat de l'essai de pompage au droit de F1, Pz1 et Pz3	11
Tableau 5 : Résultat de l'essai d'eau au droit des piézomètres Pz2 et Pz6	11
Tableau 6 : Hauteur de rabattement nécessaire pour une situation piézométrique normale (équivalente à juillet 2019) et pour une situation piézométrique défavorable (crue de chantier avec un battement de nappe de 0,5 m)	13
Tableau 7 : Débits de fond de fouille calculés par la méthode de DUPUIT pour un niveau actuel	14
Tableau 8 : Débits de fond de fouille calculés par la méthode de DUPUIT pour un niveau de crue de chantier	14
Tableau 9 : Débit global calculé avec la méthode de DUPUIT et volume prélevé à la nappe selon la situation piézométrique considérée, pour un niveau de sous-sol	15

ANNEXES

Annexe 1 : Localisation géographique du site
Annexe 2 : Plans et coupes du projet
Annexe 3 : Plan d'implantation des ouvrages réalisés par ACCOTEC et PAR GEOTHER
Annexe 4 : Coupes des sondage pressiométrique (S1 et S6) –
Annexe 5 : estimation des niveaux des plus hautes eaux au droit du site
Annexe 6 : Carte piézométrique au droit du site
Annexe 7: Résultat de l'essai de pompage
Annexe 8 :Résultat des essais LEFRANC
Annexe 9 : Evolution des volume prélevés à la nappe
Annexe 10 : Schéma des pointes filtrantes
Annexe 11 : Zones impactées par une remontée de nappe

Mots clefs			Département		Commune
Aménagement	Nappe	Sables de Fontainebleau	Essonne	91	Bruyères-le-Châtel

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de la construction d'un centre d'hébergement de supercalculateurs et d'équipements informatiques de très haute puissance, reposant sur un niveau de sous-sol, à Bruyères-le-Châtel (91), BDC2 a mandaté GEOTHER afin de :

- déterminer le sens d'écoulement de la nappe au droit du site ;
- évaluer, à partir d'essais de pompage et Lefranc, les débits à pomper en phase travaux ainsi que les volumes prélevés à la nappe et ;
- définir les préconisations constructives vis-à-vis des remontées de nappe.

Le projet situé au bas d'une butte constituée de sables de Fontainebleau, prévoit la construction d'un bâtiment type RDC à R+1 (jusqu'à 12 m de hauteur au maximum) reposant sur un niveau de sous-sol. Le sous-sol sera constitué de trois zones distinctes, avec deux zones en périphérie du bâtiment descendues à une cote de +99,15 m NGF et une zone centrale servant de galerie technique descendue vers +99,3 m NGF soit 2 m sous le terrain naturel dans la partie aval du site et 5,7 m sous le terrain naturel dans la partie amont. A noter que dans la galerie technique (zone centrale) il est prévu un terrassement supplémentaire jusqu'à 97,8 m NGF afin de réaliser un monte-charge.

Cette étude permettra à la Maîtrise d'Ouvrage et à son équipe de maîtrise d'œuvre de prévoir d'éventuelles dispositions constructives de lutte contre les phénomènes de remontée de nappe en phase d'exploitation.

2 CONTEXTE NATUREL

2.1 Contexte géographique

Le projet est situé au 2, rue de la Libération à Bruyères-le-Châtel (91) dans une zone boisée, dans l'enceinte du parc du château de Bruyères-le-Châtel sur la parcelle cadastrale A710P. Il est localisé dans une commune rurale, à 100 m du CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) et à 1,6 km de la Rémarde. Il s'inscrit dans le cadre du développement du campus TERATEC situé en face du projet.

La localisation du projet est donnée en **Annexe 1**.

L'emprise au sol totale du projet est de l'ordre de 12 180 m². Le terrain présente une pente vers le Sud-Est avec des cotes variant de +105 à +100 m NGF.

Les plans et coupes du projet sont présentés en **Annexe 2**.

2.2 Contexte géologique au droit du site

Dans le cadre de la mission géotechnique de type G2 AVP réalisée par la société ACCOTEC (17/06/2019 référence : 19/8023/R1G), 6 sondages pressiométriques ont été réalisés, entre 7 et 15 m de profondeur ainsi que 6 fouilles jusqu'à 2 m de profondeur.

Les résultats de ces sondages donnent la succession lithologique suivante :

- **Sables de Fontainebleau** (*g2b - Stampien*) jusqu'à 9-10 m de profondeur soit vers +93 m NGF ; constitués de sables fins argileux marrons, beiges jaunâtres, orangés et grisâtres ;
- **Argiles vertes** (*g1a - Sannoisien*) jusqu'à 12 m de profondeur soit 91 m NGF, constituées d'argiles verdâtres ;
- **Marnes supragypseuses** (*e7b – Sannoisien*) au-delà (fin des sondages).

Ces sondages illustrent l'absence de formations de Brie au droit du projet. Les ouvrages réalisés dans le cadre de cette étude confirment la succession géologique observée avec cependant une épaisseur de sable de Fontainebleau légèrement plus importante.

Le futur sous-sol ne recoupera que les sables de Fontainebleau.

La localisation des sondages est précisée en **Annexe 3**. Les coupes géologiques et techniques du sondage destructif et du sondage carotté sont illustrées en **Annexe 4**.

2.3 Contexte hydrogéologique général

Seule une formation aquifère va être concernée par le projet : la nappe libre constituée des **sables de Fontainebleau** reposant a priori directement sur le niveau imperméable des argiles Vertes. Dans le cas où elle repose sur les calcaires de Brie, les deux nappes sont en continuité hydraulique.

La nappe des Sables de Fontainebleau a une extension régionale importante. Elle est rechargée par les précipitations utiles au niveau des plateaux et est très sensible à cette recharge montrant des variations instantanées de niveau en réponse à ces pluies, s'inscrivant dans des cycles de variations plus importants.

L'exutoire naturel de cette nappe s'effectue par l'intermédiaire de source en flanc de plateau au contact avec les argiles vertes.

2.4 Contexte hydrogéologique au droit du site

Lors de l'étude G2 AVP réalisée par la société ACCOTEC citée précédemment, deux piézomètres ont été mis en place au droit des sondages SP1 et SP6 (cf. **Annexe 3 et 4**). Ces piézomètres sont crépinés de la surface jusqu'au fond soit jusqu'à 7,23 et 7,11 m respectivement pour S1Pz et S6Pz captant ainsi les sables de Fontainebleau. A noter qu'un autre piézomètre PZ_{route} a été retrouvé sur le site dont nous ne connaissons pas l'origine et pour lequel nous avons pu mesurer une profondeur de 4,88 m/TN. Ces piézomètres ont été nivelés par ACCOTEC (S1Pz et S6Pz) et par GEOTHER (PZ_{route}).

Afin de déterminer avec précision le sens d'écoulement de la nappe des sables de Fontainebleau et ses paramètres hydrodynamiques, en juillet 2019, six piézomètres ainsi qu'un forage ont été réalisés par la société PERSOL dans le cadre de cette étude. Ces ouvrages sont profonds de 10,5 à 9 m et captent exclusivement la nappe des sables de Fontainebleau. Les caractéristiques techniques sont décrites dans le tableau ci-dessous. Et les coupes techniques et géologiques des ouvrages sont présentées en **Annexe 4**. Ces piézomètres ont été nivelés par GEOTHER.

Tableau 1 : Caractéristiques techniques des ouvrages au droit du site

Ouvrages	X (RGF93/CC49)	Y (RGF93/CC49)	Z (m NGF)	Diam. de foration	Diam. du tubage	Diam. du tube PVC	Hauteur crépine	Profondeur	Espace annulaire
F1	1 640 721,972	8 155 597,695	+104,3	170 mm	168 mm	80/90 mm	4-10 m	10,15 m/sol	Gravier jusqu'à 1 m au-dessus des crépines joint de bentonite d'1 m et cimentation en tête. Tube hors sol
PZ1	1 640 726,119	8 155 593,802	+104,3	150 mm	148 mm	52/60 mm	4-10 m	10,42 m/sol	
PZ2	1 640 865,925	8 155 632,798	+101,9				4-9 m	8,90 m/sol	
PZ3	1 640 713,511	8 155 605,098	+104,7				4-10 m	10,10 m/sol	
PZ4	1 640 821,735	8 155 731,422	+103,03				4-9 m	9,50 m/sol	
PZ5	1 640 787,417	8 155 554,935	+102,3				4-10 m	10,41 m/sol	
PZ6	1 640 782,995	8 155 611,490	+103,3				4-9 m	9,40 m/sol	
S1Pz	1 640 700,771	8 155 590,364	+104,6	63 mm	-	32/40 mm	0-7 m	7,23 m/sol	-
S6Pz	1 640 896,798	8 155 617,458	+101,1	63 mm	-		0-7 m	7,11 m/sol	
Pz route	1 640 048,46	8 155 513,88	+102,2	-	-	52/60 mm	-	4,88 m/sol	-

Les caractéristiques de ces piézomètres sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 2 : Mesures piézométriques réalisées au droit du site (mesures réalisées par GEOTHER)

		10/07/2019		12/07/2019		08/08/2019	
	Z (m NGF)	Niveau d'eau (m/sol)	Niveau d'eau (m NGF)	Niveau d'eau (m/sol)	Niveau d'eau (m NGF)	Niveau d'eau (m/sol)	Niveau d'eau (m NGF)
F1	+104,3					5,81	+98,5
PZ1	+104,3					5,85	+98,4
PZ2	+101,9					5,45	+96,5
PZ3	+104,7					5,92	+98,8
PZ4	+103,0					5,81	+97,2
PZ5	+102,3					5,79	+96,6
PZ6	+103,3					5,74	+97,5
S1 PZ	+104,6	5,7	+98,9	5,7	+98,9	5,83	+98,7
S6 PZ	+101,1	4,88	+96,22	4,89	+96,21	5,07	+96,0
Pz route	+102,2	3,56	+98,64	3,58	+98,62	3,81	+98,4

Le niveau actuel mesuré par GEOTHER en août 2019 est un niveau de basses eaux sans correspondre toutefois à un niveau d'été qui est en général mesuré à la fin de l'été ou en automne. Les nouveaux piézomètres mis en place montrent des niveaux cohérents avec les piézomètres mis en place par ACCOTEC. Cependant, en moins d'un mois (entre le 12 juillet et le 8 août), du fait du manque de pluie, le niveau d'eau mesuré au sein des piézomètres a diminué de 13 cm sur S1Pz, 18 cm sur S6Pz et 23 cm sur Pz route.

Ces niveaux d'eaux mesurés permettent de réaliser une carte piézométrique précise à la date du 08/08/2019 (cf. **Annexe 7**) et d'en déduire un sens d'écoulement orienté vers le Sud-Est avec un gradient assez important de 3% en amont et 1,2% en aval.

Le niveau mesuré en amont est affleurant au niveau du sous-sol projeté. En période de hautes eaux la nappe interagira avec le sous-sol.

2.5 Rappel des niveaux des plus hautes eaux estimées

Le niveau actuel de la nappe phréatique peut remonter en raison des phénomènes suivants :

- ↳ les battements saisonniers de la nappe (BS),
- ↳ la propagation de l'onde de crue d'un cours d'eau proche du projet (CS),

- ↳ l'arrêt éventuel des pompages (industriels, parking souterrains, épuisements de fouilles dans le cadre de travaux de génie civil, etc...) dans les environs (ou à distance) du site étudié (AP).

Le niveau maximum (N_{max}) de la nappe prévisible à terme est donc donné par la relation suivante :

$$N_{max} = N_{actuel} + BS + CS + AP$$

Au vue de la configuration du site nous avons considéré un niveau amont et un niveau aval pour une mesure en juillet 2019.

Ainsi selon la formule précitée, les cotes prévisionnelles des plus hautes eaux (NPHE) est donnée dans le **Tableau 3** ci-après et illustrée en **Annexe 5**.

Tableau 3 : Estimation de la cote prévisionnelle des Niveaux des Plus Hautes Eaux au droit du site

Paramètres	Valeurs		
Niveau fini du rez-de-chaussée	+103 m NGF		
Niveau fini du R-1	+99,15 m NGF		
Fond de fouille en phase travaux	+98,7 m NGF		
Niveau actuel de la nappe en amont	$N_{actuel\ amont} = + 98,9\ m\ NGF$		
Niveau actuel de la nappe en aval	$N_{actuel\ aval} = + 96,2\ m\ NGF$		
AP Arrêt de pompage (m)	0		
BS battements saisonniers (m)	Décennale	Cinquantennale	Centennale
	0,97	1,43	1,63
NPHE AMONT (m NGF)	+99,87	+100,33	+100,53
NPHE AVAL (m NGF)	+97,17	+97,63	+97,83

⁽¹⁾ NPHE = $N_{actuel} + AP + CR + BS$

Sur la base des valeurs de ce tableau, nous retiendrons les niveaux des plus hautes eaux suivants au droit du projet :

$$EH_{amont} \text{ (décennal amont)} = +99,87\ m\ NGF$$

$$EH_{aval} \text{ (décennal aval)} = +97,17\ m\ NGF$$

$$EE_{amont} \text{ (centennal amont)} = +100,53\ m\ NGF$$

$$EE_{aval} \text{ (centennal aval)} = +97,83\ m\ NGF$$

Pour rappel, la Maîtrise d’Ouvrage devra tenir compte des incertitudes émises sur l’estimation des niveaux de référence de la nappe.

Ainsi, pour rappel, le dimensionnement et la mise en œuvre d’un système de rabattement de la nappe permettant la réalisation des travaux de terrassement à sec est nécessaire en amont du site.

Quel que soit le dispositif de rabattement retenu par la maîtrise d’ouvrage, un soin particulier devra être pris lors de la réalisation de ces ouvrages et lors du rebouchage de ces ouvrages provisoires (reprise d’étanchéité du radier par exemple).

Un dispositif garantissant l’étanchéité (cuvelage, drainage, ...) du futur niveau enterré devra être dimensionné et mis en place par la maîtrise d’ouvrage. Ces points seront décrits dans les paragraphes suivants.

3 CALCUL DES DEBITS DE FOND DE FOUILLE

Les calculs de débit de fond de fouille ont été réalisés avec deux niveaux de nappe : un niveau équivalent à celui de juillet 2019 : « **Niveau normal** » et un niveau EC ou niveau de crue de chantier égal au niveau normal augmenté de 50% du battement saisonnier (BS) décennal soit **+99,4 m NGF. Cette cote concerne uniquement la phase chantier pour une période de janvier 2020 à juillet 2020. Cette cote est la plus réaliste pour cette période.**

A noter qu’un suivi piézométrique est actuellement en cours et durera jusqu’au début des travaux ce qui permettra de confirmer la cote de nappe à prendre en compte pour le dimensionnement du rabattement de nappe.

Les calculs ont été réalisés seulement avec un niveau de nappe obtenu en amont du site (S1Pz), car en aval le projet n’est pas concerné par les eaux souterraines.

3.1 Perméabilité de la nappe des Sables de Fontainebleau

Afin d’estimer le débit d’exhaure en phase travaux, il a été nécessaire d’estimer la perméabilité des terrains au droit du site.

Pour cela, nous avons réalisés un essai de pompage et un essai LEFRANC type vidange sur le forage F1 ainsi que deux essais LEFRANC : sur PZ2 et PZ6.

A noter que lors de l’essai de pompage réalisé sur F1, le débit étant très faible, le niveau d’eau mesuré au cours de l’essai est très sensible aux moindres variations de débit entraînant des variations de niveau d’eau importantes et rendant impossible l’interprétation sur le puits.

L’essai de pompage a été réalisé durant 5 h, à l’aide d’une pompe immergée et à un débit de 0,09 m³/h. Le niveau d’eau dans le puits a atteint un rabattement de 1,8 m pour ensuite

remonter progressivement jusqu'à 90 cm de rabattement. Le suivi de la baisse du niveau d'eau a été réalisé dans le puits et dans les piézomètres PZ1 et PZ3 à l'aide de sondes de mesure manuelle et de sondes automatiques enregistrant un niveau toutes les minutes. Un rabattement a été observé dans les piézomètres avec, en fin d'essai 8 cm de rabattement pour PZ1 et 3 cm pour PZ3.

La remontée a par la suite été suivie durant une heure et demi jusqu'à atteindre la cote initiale. La remontée et la descente ont été interprétées suivant la méthode de JACOB. Les résultats de cet essai sont présentés en **Annexe 8** et récapitulés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Résultat de l'essai de pompage au droit de F1, Pz1 et Pz3

Date de l'essai	08/07/2019		
Ouvrage	F1	PZ1	PZ3
Durée du pompage	5 heures		
Transmissivité T (m ² /s) pompage	9,3.10⁻⁶ m²/s	6,4.10⁻⁵ m²/s	1,3.10⁻⁴ m²/s
Transmissivité T (m ² /s) remontée	2,9.10⁻⁵ m²/s	6,2.10⁻⁵ m²/s	Données non interprétables
Coefficient d'emménagement	-	0,3%	0,5%

Les données obtenues ne sont pas cohérentes entre les résultats sur le puits et ceux sur les piézomètres avec un écart de plus d'un ordre de grandeur, sans doute à cause des variations de débit de la pompe. En revanche les coefficients d'emménagement semblent être cohérents entre eux et représentatifs de la formation des sables de Fontainebleau.

Tableau 5 : Résultat de l'essai d'eau au droit des piézomètres Pz2 et Pz6

Ouvrage	Pz2		Pz6	
Niveau d'eau initial	m/TN	m NGF	m/TN	m NGF
	5,45	96,45	5,73	97,57
Niveau d'eau après la remontée	5,55	96,35	5,99	97,31
Durée de la remontée du niveau d'eau	80 minutes		80 minutes	
Perméabilité K (m/s)	2,3.10⁻⁶ m/s		1,4.10⁻⁶ m/s	
Hauteur mouillée (m)	3,45		3,66	
Transmissivité T m ² /s	7,9.10⁻⁶ m/s		5,1.10⁻⁶ m/s	

La perméabilité des terrains a aussi été estimée par un essai de vidange type LEFRANC, dans les ouvrages PZ2, PZ6 pour la partie centrale. Les essais ont consisté en un pompage des ouvrages à l'aide d'une pompe adaptée afin de les vider instantanément et de suivre la

remontée du niveau piézométrique pendant 1h20. Le suivi du niveau a été réalisé à l'aide d'une sonde piézométrique manuelle et d'une sonde automatique. Les résultats de cet essai sont présentés en **Annexe 9** et récapitulés dans le **Tableau 5**.

Les transmissivité obtenues par les essais Lefranc varient d'un ordre de grandeur et sont proches de celles obtenues par essai de pompage lors de la remontée.

Sur la base des résultats des différents essais, nous retiendrons une transmissivité moyenne obtenue sur l'ensemble des résultats des essais de pompage et l'essai LEFRANC sur PZ6, qui est dans la zone de rabattement de nappe, soit une transmissivité de: $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Cette moyenne nous permet de tenir compte de l'hétérogénéité des terrains.

Concernant le coefficient d'emménagement nous retiendrons une valeur de 0,5%.

Ces données obtenues sont cohérentes avec les essais réalisés à proximité du site (tirés de nos archives) pour lesquels, une transmissivité moyenne obtenue de $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emménagement moyen de 0,15%.

3.2 Géométrie du projet et objectif de rabattement

Afin de calculer les débits à pomper, nous nous sommes basés sur la carte piézométrique réalisées à l'aide des niveaux mesurés dans les ouvrages mis en place sur l'ensemble du site. Cette carte nous permet de déterminer à partir de quelle distance au point amont, le terrassement ne sera plus concerné par les eaux souterraines.

Dans le cas d'un niveau actuel, et d'un niveau crue de chantier seule la partie du sous-sol la plus à l'ouest est concernée.

Pour un niveau actuel, nous avons considéré un rayon équivalent de 25 m et pour un niveau de crue de chantier, un rayon équivalent de 40 m.

Afin de déterminer l'objectif de rabattement, nous avons considéré le fond de fouille déterminé par le bureau d'étude structure PROJEX +98,7 m NGF (avec 20 à 25 cm de plancher porté). Afin de garantir la mise hors d'eau de la fouille, l'objectif de rabattement est considéré 50 cm sous le fond de fouille soit **98,2 m NGF**.

Remarque : l'objectif de rabattement défini à 50 cm sous le fond de fouille afin d'éviter qu'une pression d'eau trop importante s'exerce sur les terrains sus-jacents et pour s'assurer de la mise hors d'eau de la fouille.

Et, toujours d'après le bureau d'étude structure PROJEX les fondations seront mises en place 75 cm sous la dalle du RDC soit à **+98,45 m NGF**. Ainsi, l'objectif de rabattement considéré garantit la mise en place des fondations hors d'eau.

Il nous a par ailleurs été communiqué qu'un monte-charge allait être mis en place dans la galerie technique (zone centrale du sous-sol) entraînant un terrassement jusqu'à 97,8 m NGF. Au vue de la localisation de ce monte-charge, en période normal, le niveau d'eau devrait être

à 96,8 m NGF pour une période équivalente à juillet 2019 et de 97,3 m NGF pour une crue de chantier. Ainsi le monte-charge ne sera pas concerné par les eaux souterraines

Tableau 6 : Hauteur de rabattement nécessaire pour une situation piézométrique normale (équivalente à juillet 2019) et pour une situation piézométrique défavorable (crue de chantier avec un battement de nappe de 0,5 m)

Situation piézométrique	Niveau de nappe (m NGF)	Objectif de rabattement (m NGF)	Hauteur de rabattement de nappe nécessaire (m)
Equivalente à juillet 2019	+98,9	+98,2	0,7
Crue de chantier	+99,4		1,2

A noter que les travaux de terrassement débuteraient en février 2020 et que le rabattement sera nécessaire au maximum durant 6 mois (hypothèse majorée).

3.3 Calcul des débits à pomper en phase travaux selon la méthode de DUPUIT

Le débit de fond de fouille calculé par la formule de DUPUIT est le suivant :

$$Q = \frac{2 * \pi * T * s}{\ln\left(\frac{R+r_e}{r_e}\right)}$$

Avec :

T : transmissivité (m²/s)

s : rabattement souhaité (m)

R : rayon d'action ($= 1,5 * \sqrt{\frac{T * t}{S}}$) avec t le temps de pompage et S le coefficient d'emmagasinement

r_e : rayon équivalent de la fouille ($= P/2\pi$) avec P le périmètre de la fouille

Aussi, d'après la formule de DUPUIT, les débits de fond de fouille calculés en fonction des paramètres de calculs sont donnés dans le **Tableau 7** ci-après. Le débit global moyen prélevé à la nappe au droit de la fouille est estimé au centre de la fouille.

Tableau 7 : Débits de fond de fouille calculés par la méthode de DUPUIT pour un niveau actuel

Situation piézométrique	Résultat pour un niveau de juillet 2019
Transmissivité T (m ² /s)	5.10 ⁻⁵ m ² /s
Temps t (s) <u>considéré à 1 jour</u>	86 400
Temps t (s) <u>considéré à 6 mois</u>	15 552 000
Coefficient d'emménagement S (-)	0,5 %
Rayon équivalent re (m)	25 m
Rabatement s (m)	0,7
Débit global moyen Q (m³/h)	De 1 m³/h (t = 1j) à 0,5 m³/h (t = 6 mois)

Tableau 8 : Débits de fond de fouille calculés par la méthode de DUPUIT pour un niveau de crue de chantier

Situation piézométrique	Résultats pour une « crue de chantier »
Transmissivité T (m ² /s)	5.10 ⁻⁵ m ² /s
Temps t (s) <u>considéré à 1 jour</u>	86 400
Temps t (s) <u>considéré à 6 mois</u>	15 552 000
Coefficient d'emménagement S (-)	0,5 %
Rayon équivalent re (m)	40 m
Rabatement s (m)	1,2
Débit global moyen Q (m³/h)	De 2 m³/h (t = 1j) à 0,5 m³/h (t = 6 mois)

Pour un niveau équivalent à celui de juillet 2019, les débits déterminés sont très faibles variant de 1 m³/h en début de pompage à 0,5 m³/h au bout 6 mois de pompage (période maximale de rabattement).

Pour une crue de chantier, les débits sont un peu plus importants variant de 2 m³/h à 0,5 m³/h. Ainsi le dispositif de rabattement devra être dimensionné pour gérer 2 m³/h, **soit le cas le plus défavorable pour une période de hautes eaux soit un démarrage de chantier entre janvier et mars 2020.**

Ce débit peut être majoré, mais resterons de faible ordre de grandeur en cas de :

- Perméabilité plus élevée des terrains
- Fortes précipitations (nos calculs n'intègrent pas les eaux météoriques dues aux précipitations sur la fouille).

3.4 Volumes prélevés au cours du rabattement de nappe

Le volume d'eau à prélever à la nappe lors de la phase travaux a été estimé à partir de la formule de DUPUIT détaillée précédemment. Les **Tableau 9 et 10** présentent des valeurs de débit global et de volume prélevé à la nappe au droit de la fouille à t = 1 jour, t = 1 mois, t = 3 mois et t = 6 mois (**période maximale de rabattement**) selon la situation piézométrique considérée (actuel ou de hautes eaux).

Tableau 9 : Débit global calculé avec la méthode de DUPUIT et volume prélevé à la nappe selon la situation piézométrique considérée, pour un niveau de sous-sol

Situation piézométrique	Niveau statique actuel (juillet 2019)		Niveau de crue de chantier	
	Débit global moyen au droit de la fouille (m ³ /h)	Volume moyen prélevé à la nappe (m ³)	Débit global moyen au droit de la fouille (m ³ /h)	Volume moyen prélevé à la nappe (m ³)
1 jour	1	20	2	45
1 mois	0,5	310	1	670
3 mois	0,5	750	0,6	1 600
6 mois	0,5	1 300	0,5	2 700

Les volumes prélevés sont très faibles et varient au bout de six mois de 1 300 m³ à 2 700 m³ en fonction de la situation piézométrique considérée (cf. **Annexe 9**).

4 PRECONISATION DE DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

DE RABATTEMENT DE NAPPE

D'après l'article R214-1 du Code de l'Environnement, le prélèvement sera soumis à déclaration d'un Dossier Loi sur l'Eau au titre de la rubrique 1.1.1.0 pour la réalisation des ouvrages de rabattement de nappe.

Au regard des résultats de la présente étude, le projet ne serait pas soumis à déclaration au titre de la rubrique 1.1.2.0 du Code de l'Environnement puisque le volume de prélèvement de la nappe des sables de Fontainebleau serait inférieur à 10 000 m³

Concernant la gestion des eaux d'exhaure, au vue de la faible perméabilité des sables de Fontainebleau, il est préconisé de les rejeter vers le réseau moyennant la mise en œuvre d'une convention temporaire de rejet avec le gestionnaire. Des analyses sont actuellement en cours afin de vérifier la conformité des paramètres de rejet. Ainsi, le rejet des eaux d'exhaures ne sera soumis à aucune rubrique du Code de l'Environnement.

Afin de rabattre la nappe au droit du projet, des pointes filtrantes pourront être mises en place au droit du projet, en périphérie de la zone à rabattre (schéma en **Annexe 10**)

Cette technique est adaptée aux terrains rencontrés au droit du site. Une pointe filtrante est un tube métallique ou plastique percé de très fines fentes de crépine. Elles peuvent aller jusqu'à 6-7 m de profondeur. La pointe est prolongée jusqu'au sol par un tube plein. En règle générale, sur un rideau, les pointes sont espacées de 1 à 2 mètres environ (pour des matériaux fins). Souvent, les pointes filtrantes sont mises en place par lançage ou par forage. Les pointes sont branchées sur un collecteur, lui-même relié à une pompe à vide.

Les eaux pompées devront être dirigées vers un bac de décantation afin de réduire les quantités de matière en suspension avant le rejet au réseau.

5 PRECONISATION EN PHASE DEFINITIVE

Au vue de la position du bâtiment par rapport au sens d'écoulement, de la sensibilité des installations mises en place dans le sous-sol et de la faible perméabilité des terrains, il semble impossible de réaliser une forme drainante permettant de récupérer l'eau en amont du site et de la rejeter en aval.

En effet, pour un tapis drainant nous considérons un fil d'eau à +98,65 m NGF (50 cm sous le niveau bas du sous-sol), dans le cas d'une crue centennale, plus des deux tiers de la surface du sous-sol serait sous l'eau et cette quantité d'eau serait impossible à réinfiltrer en aval (cf. **Annexe 11**).

De plus, les essais LEFRANC réalisés sur PZ6 et PZ2, montrent une perméabilité plus faible en aval du site, ce qui entraine un différentiel trop important en termes de quantité d'eau provenant vers l'aval à infiltrer en amont.

Nous préconisons donc le choix d'un cuvelage. Dans ce cas, il ne sera pas nécessaire de cuveler l'ensemble du sous-sol. En effet, seul l'aile ouest pourrait être cuvelée. L'aile est ne devrait pas être impactée même en cas de niveau d'eau centennal. En raison de la sensibilité des installations, nous conseillons la mise en place d'un cuvelage permettant de protéger le sous-sol d'une remontée de nappe centennale en amont du site. En **Annexe 11** est présentée la zone qui pourrait être impactée dans le cas d'une pluie cinquantennale et centennale.

6 CONCLUSION

Dans le cadre de la construction d'un DATA CENTER situé 2, rue de la Libération dans le parc du Château, à Bruyères-le-Châtel (91), BDC2 a mandaté GEOTHER afin de déterminer les débits à pomper en phase travaux à partir d'essais réalisés in-situ, au droit du projet et de définir les préconisations constructives vis-à-vis des remontées de nappe.

Le projet prévoit la construction d'un DATA CENTER en R+1 reposant sur un niveau de sous-sol à usage de local technique. Les cotes des niveaux bas qui nous ont été communiqués sont les suivantes :

- Cote du niveau fini du rez-de-chaussée : +103 m NGF ;
- Cote du niveau fini du sous-sol R-1 : +99,15 m NGF ;
- Cote du fond de fouille FF : +98,7 m NGF.

La nappe contenue dans les sables de Fontainebleau est la seule concernée par le projet. Lors d'un premier rapport et à partir des piézomètres mis en place par ACCOTEC nous avons pu déterminer les niveaux des plus hautes eaux. Ainsi, les niveaux des plus hautes eaux calculés au droit du site, sont les suivants :

$$EH_{\text{amont}} (\text{décennal amont}) = +99,87 \text{ m NGF}$$

$$EH_{\text{aval}} (\text{décennal aval}) = +97,17 \text{ m NGF}$$

$$EE_{\text{amont}} (\text{centennal amont}) = +100,53 \text{ m NGF}$$

$$EE_{\text{aval}} (\text{centennal aval}) = +97,83 \text{ m NGF}$$

Pour rappel, la Maîtrise d'Ouvrage devra tenir compte des incertitudes émises sur les battements saisonniers et donc des niveaux de référence de la nappe.

Les niveaux de crue de la nappe en cas de crue de nappe décennale et centennale sont donc au-dessus du niveau fini du R-1 pour la partie amont du site.

Afin de déterminer le sens d'écoulement de la nappe phréatique au droit du site et de réaliser des essais permettant d'obtenir les caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe. Des

ouvrages supplémentaires ont été réalisés : un forage (F1) et six piézomètres (Pz1 à Pz6), répartis sur l'ensemble du site.

En phase travaux, un rabattement de nappe sera nécessaire. Nous avons donc déterminé les débits à pomper en phase travaux à partir d'un essai de pompage réalisé sur le puits et trois essais Lefranc réalisés sur F1, Pz2 et Pz6.

Ces essais nous ont permis de déterminer une transmissivité de 5.10^{-5} m²/s et un coefficient d'emménagement de 0,5%.

A l'aide de ces données on obtient un débit de fond de fouille compris entre 2 et 1 m³/h en début de pompage selon la situation piézométrique (juillet 2019 ou crue de chantier) et les paramètres hydrodynamiques retenus. Le volume de prélèvement sera compris entre 1 300 et 2 700 m³ au bout de six mois.

Ces débits et volumes peuvent être majorés en cas de :

- Perméabilité plus élevée des terrains;
- Fortes précipitations (nos calculs n'intègrent pas les eaux météoriques dues aux précipitations sur la fouille).

A noter qu'un suivi piézométrique est actuellement en cours au droit de la zone impactée par la nappe sur Pz1 et Pz6. Ce suivi durera jusqu'au démarrage des travaux et permettra de confirmer les cotes à prendre en compte en phase travaux. Ce suivi se poursuivra durant les travaux et pendant deux ans de la phase d'exploitation au niveau de Pz4, afin de confirmer l'absence d'impact du projet sur la nappe des sables de Fontainebleau.

D'après l'article R214-1 du Code de l'Environnement, le prélèvement sera soumis à déclaration d'un Dossier Loi sur l'Eau au titre de la rubrique 1.1.1.0 concernant la réalisation de sondages non destiné à un usage domestique et exécutés en vue de la recherche ou de la surveillance ou du prélèvement temporaire d'eaux souterraines.

Au regard des résultats de la présente étude, le projet ne sera pas soumis à déclaration au titre de la rubrique 1.1.2.0 du Code de l'Environnement puisque le débit prélevé dans les sables de Fontainebleau sera inférieur à 10 000 m³.

Au regard de la nature sableuse des terrains, et des faibles débits de fond de fouille attendus, des pointes filtrantes pourront être mises en place uniquement au droit de la zone amont. Aucun rabattement de nappe ne serait nécessaire sur la partie aval. Les dispositifs envisagés pourront évoluer pendant l'avancée des travaux de terrassement et en fonction des observations faites sur le chantier. Pour rappel, la mise en œuvre de ces solutions devra se faire selon les règles de l'art pour s'assurer de leur efficacité et éviter l'entraînement de fines.

La compatibilité de la mise en œuvre du rabattement avec les mitoyens et les axes routiers voisins devra être vérifiée par un géotechnicien et en particulier le risque de tassement.

En phase définitive, un dispositif garantissant l'étanchéité du futur niveau enterré devra être dimensionné et mis en place par la maîtrise d'ouvrage.

Nous conseillons la réalisation d'un cuvelage au niveau de l'aile centrale et l'aile ouest du sous-sol. Ce cuvelage devra permettre une protection pour une remontée centennale au droit de la partie amont du sous-sol. Ce dernier devra être dimensionné à la sous-pressure en fonction des variations de la hauteur d'eau submergeant le futur R-1.

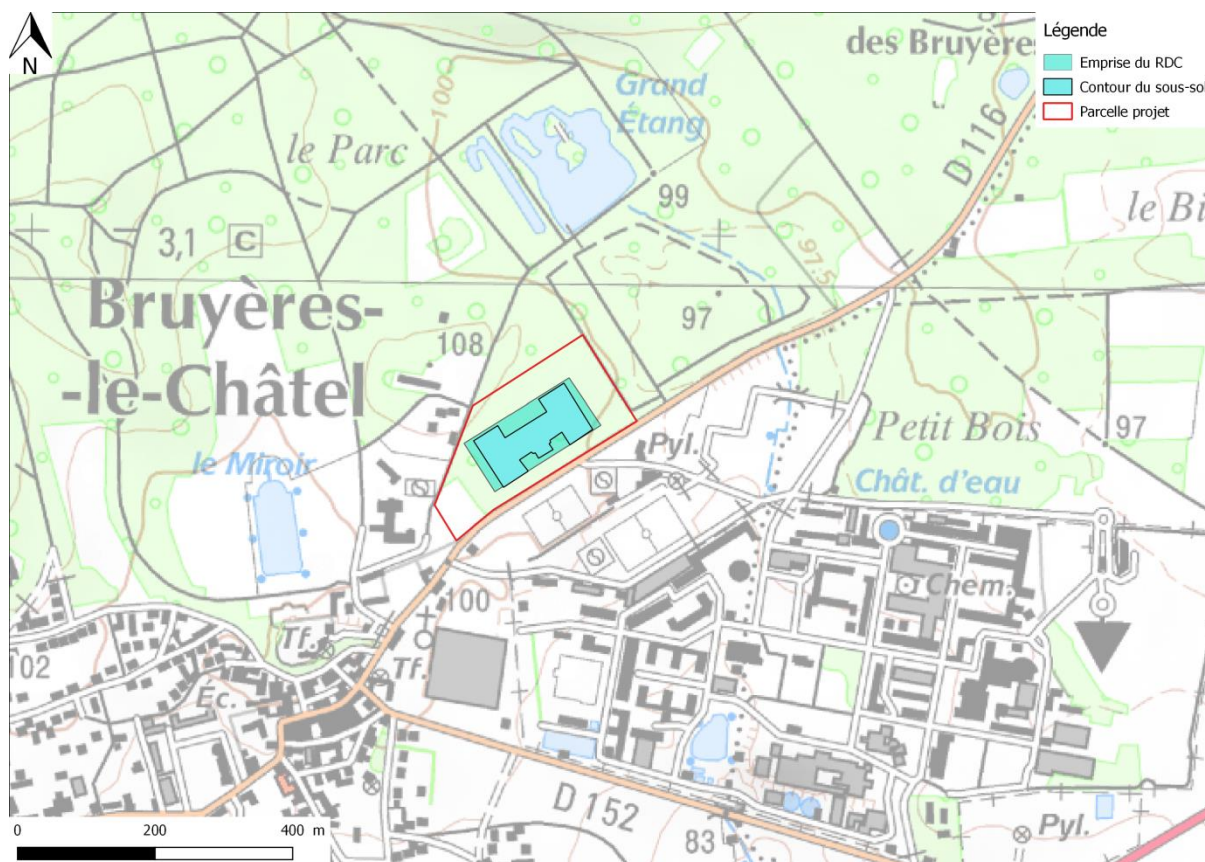
Restriction d'usage du rapport

Ces informations sont soumises à l'exhaustivité et la fiabilité des documents disponibles et consultables, l'existence d'une information cachée ou erronée est toujours possible. L'exhaustivité et la véracité absolue ne peut donc être garantie.

Tous les éléments de ce rapport (cartes, photos, pièces et documents divers, ...) constituent une seule et même entité indissociable. La responsabilité de GEOTHER ne saurait être engagée par une utilisation, une communication, ou une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes sans l'accord préalable de GEOTHER

ANNEXE 1 :
LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE

A1 : Localisation géographique du site



Source : Fond de Carte au 1/25000 ©IGN 2019



Source : Fond orthophotographique au 1/25000 ©IGN 2019

ANNEXE 2 : PLANS ET COUPES DU PROJET

North



A2-1 : Plan du sous-sol (extrait plan du sous-sol et RDC)



PERMIS DE CONSTRUIRE
PROJET DE BATIMENTS INDUSTRIELS A USAGE D'EXPLOITATION ET D'UNE
PLATEFORME QUI RECEVRA DES CELLULES IT CONSTITUANT A TERME UN DATA
CENTER - BDC2 MODULABLE DANS L'ESPACE ET LE TEMPS

BDC2
122, Champ-Elysées
75008 Paris
Tel : 01 44 13 63 63

Maîtrise d'ouvrage
REAHM développement
AMO

Art'Ur Architectes
architecte
31 rue Saint Omer
75 116 Paris
tel 01 47 27 53 90

Cosb
économiste
69 rue Chapal
22 000 Saint-Brieuc

Bethode Ingénierie
bureau d'étude technique
35-37 rue Jean le Galleu
94 200 Ix-sur-Seine

Projex Ingénierie
MOX / structure / SSI /
acoustique
30 place Salvador Allende
99 650 - Villeneuve d'Ascq

Cabinet MERLIN
bureau d'étude VRD /
environnemental
7 rue des Chéniers,
78 000 Versailles

SOCOTEC
bureau de contrôle SPS / HSE
bureau de contrôle construction
22 avenue des Nations
95 926 Roissy CDG
13 cours Valmy
92 977 Paris La Défense

TITRE DU DOCUMENT
PLAN SOUS-SOL ET RDC

PHASE
PC

TITRE
PC3.2 - PLAN RDC ET SOUS-SOL

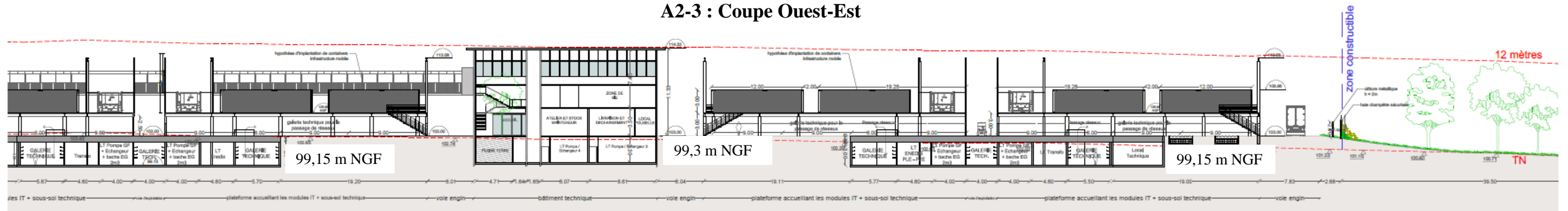
SCHEM
1:250

FORMAT
A0

DATE
05.07.2019

0 20 m

A2-3 : Coupe Ouest-Est



PERMIS DE CONSTRUIRE

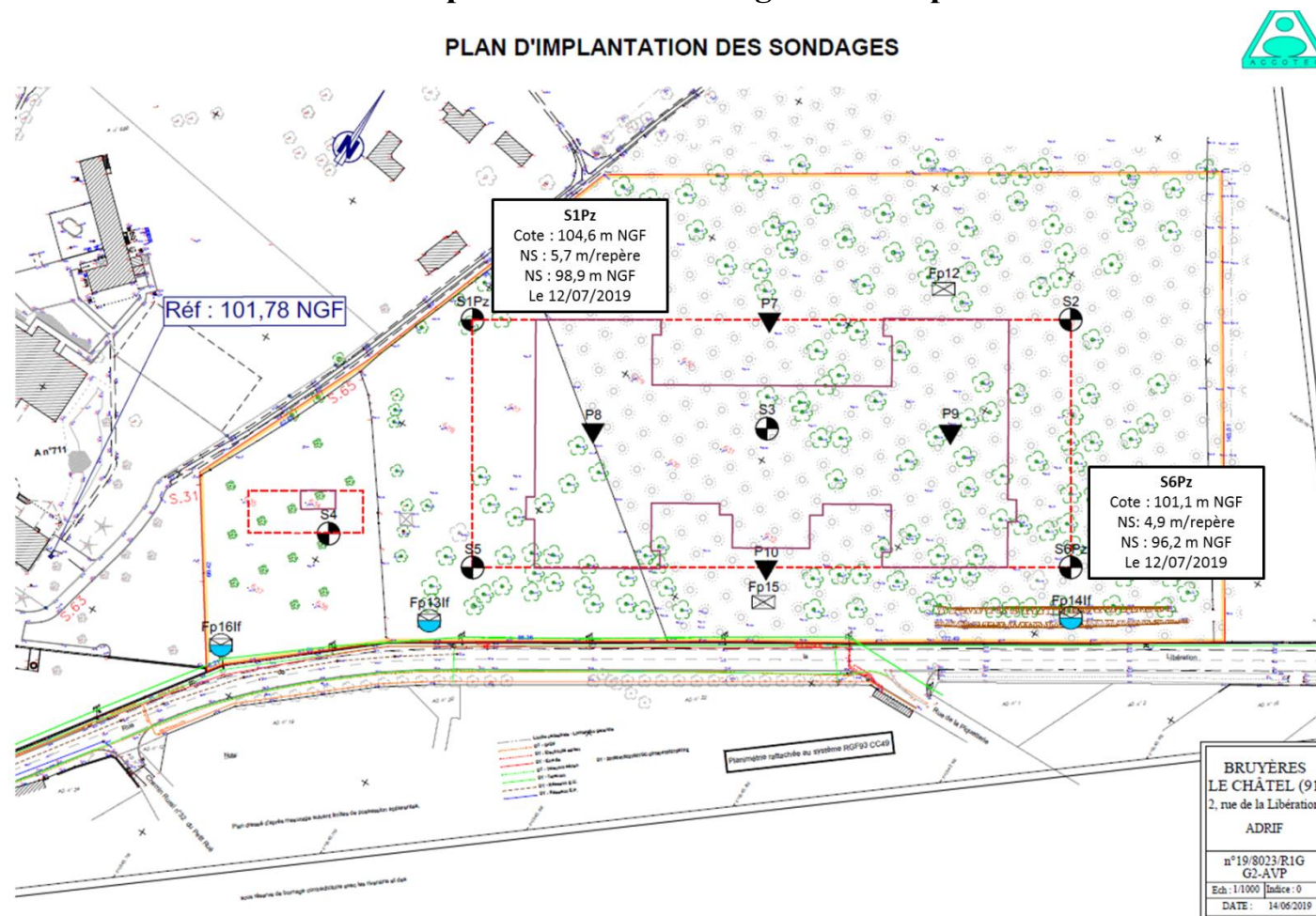
PROJET DE BATIMENTS INDUSTRIELS A USAGE D'EXPLOITATION ET D'UNE
PLATEFORME QUI RECEVRA DES CELLULES IT CONSTITUANT A TERME UN DATA
CENTER - BDC2 MODULABLE DANS L'ESPACE ET LE TEMPS

BDC2 Maîtrise d'ouvrage REAHM développement AMO	122, Champs-Élysées 75008 Paris Tel : 01 44 13 63 63 michel.caron@reahm.fr	Art'Ur Architectes architecte 31 rue Saint Odier 75 116 Paris tel: 01 47 27 53 90 paris@artur.archi
	4, rue de Longchamp 75 116 Paris Tel : 01 53 75 49 64	Cosb économiste 69 rue Chapal 22 000 Saint-Brieuc
TITRE DU DOCUMENT COUPES GÉNÉRALES DU PROJET		
PHASE PC	TITRE PC3.1 - PLAN EN COUPE	
ÉCHELLE 1:250	FORMAT A0	DATE 05.07.2019
Bethode Ingénierie bureau d'étude technique 35-37 rue Jean le Galleu 94 200 Ivry-sur-Seine		
Projex Ingénierie MOX / structure / SSI / acoustique 30 place Salvador Allende 59 650 - Villeneuve d'Ascq		
Cabinet MERLIN bureau d'étude VRD / environnemental 7 rue des Chantiers, 78 000 Versailles		
SOCOTEC bureau de contrôle SPS / HSE bureau de contrôle construction 22 avenue des Nations 95 926 Roissy CDG 13 cours Volmy 92 977 Paris La Défense		

ANNEXE 3 :

**PLAN D'IMPLANTATION DES OUVRAGES REALISES PAR
ACCOTEC ET PAR GEOTHER**

A4-1: Plan d'implantation des sondages réalisés par ACCOTEC



Source: Rapport G2AVP réalisé par ACCOTEC (19/8023/R1G, du 17/06/2019)

A4-2: Plan d'implantation des ouvrages réalisés par GEOTHER et par ACCOTEC



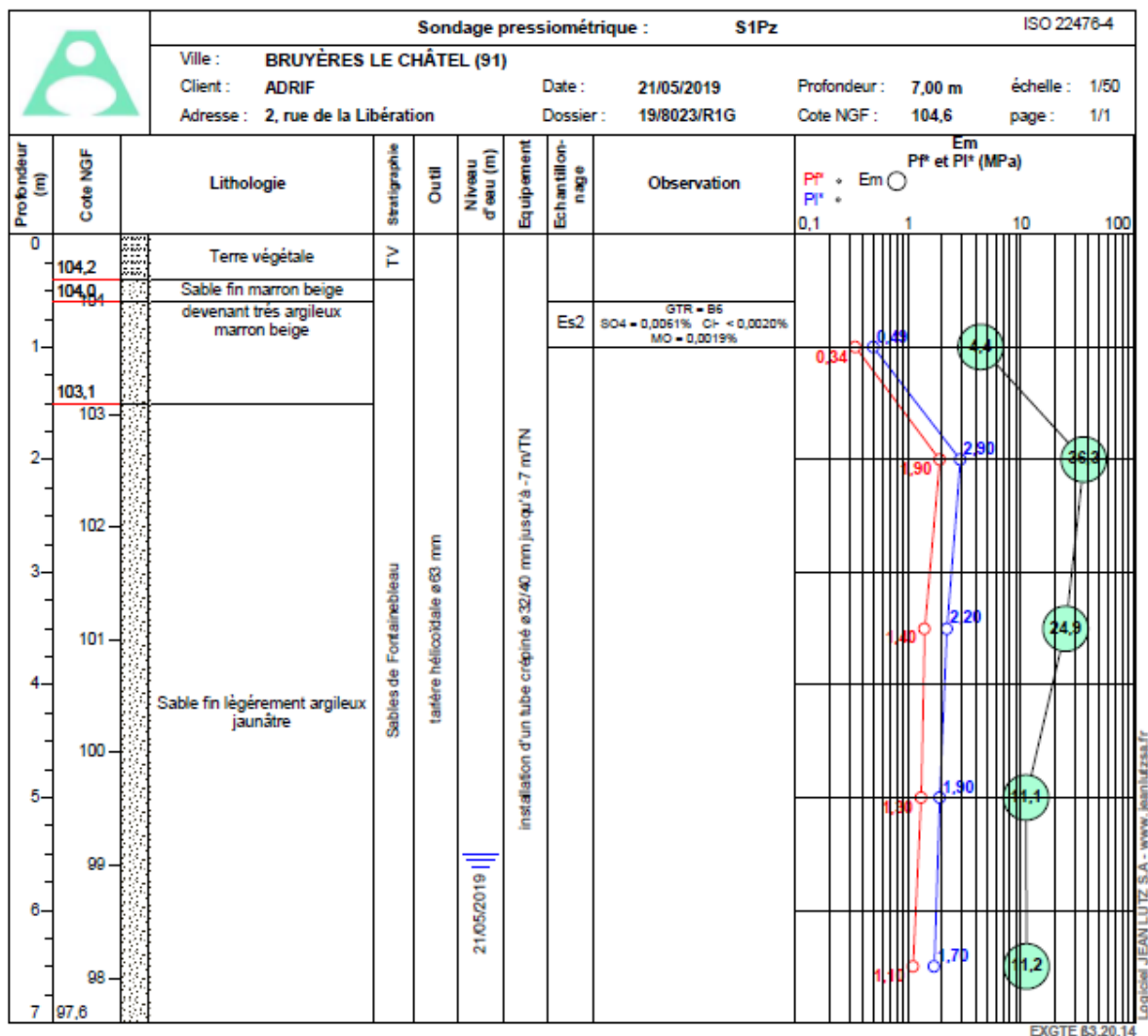
ANNEXE 4 :

COUPES DES SONDAGE PRESSIOMETRIQUE (S1 ET S6) –

ACCOTEC ET COUPE DES PIEZOMETRES PZ1 A PZ6 ET DU

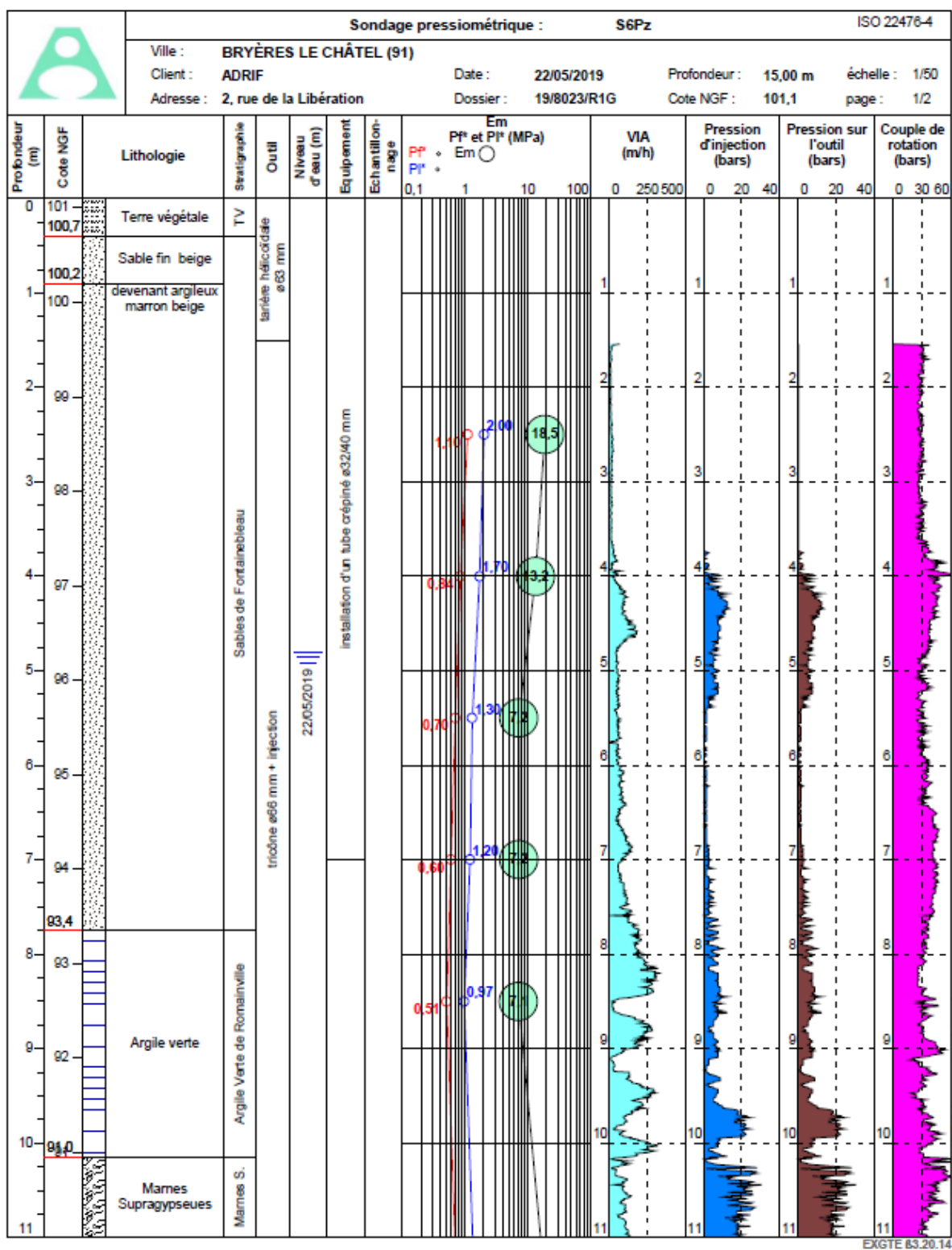
FORAGE F1

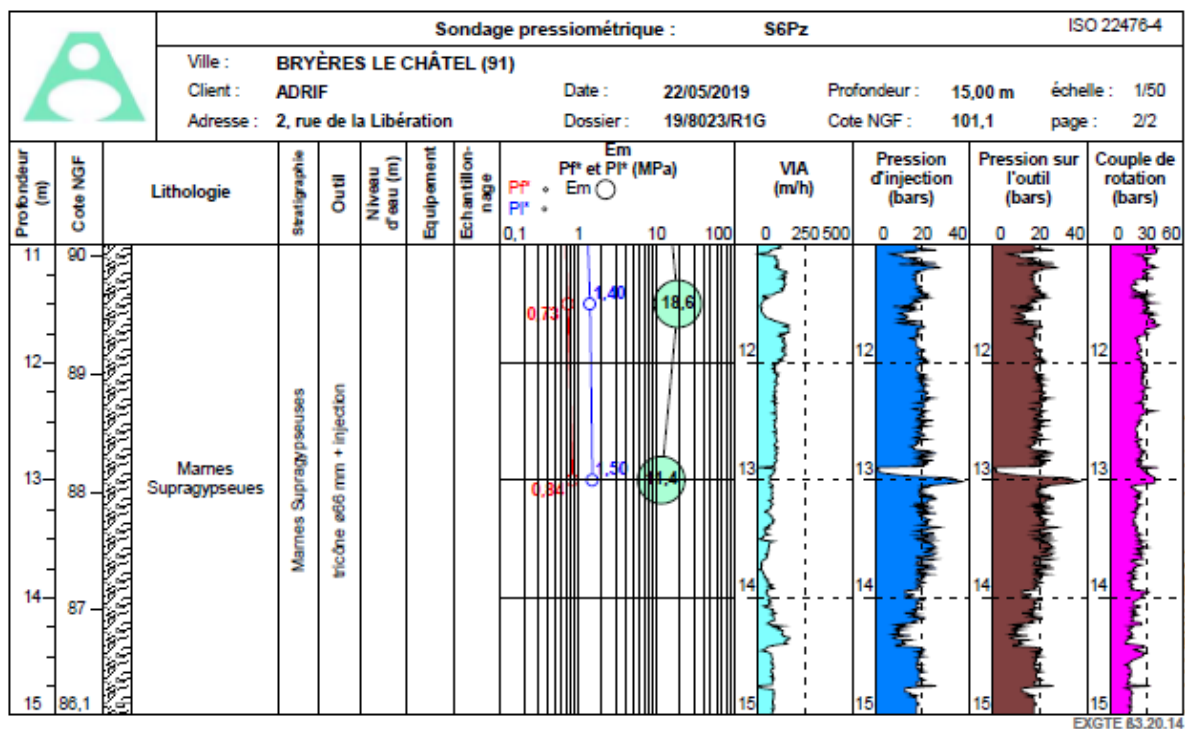
A4-1 : Coupe du sondage pressiométrique S1 réalisé par ACCOTEC



Source: Rapport G2AVP réalisé par ACCOTEC (19/8023/R1G, du 17/06/2019)

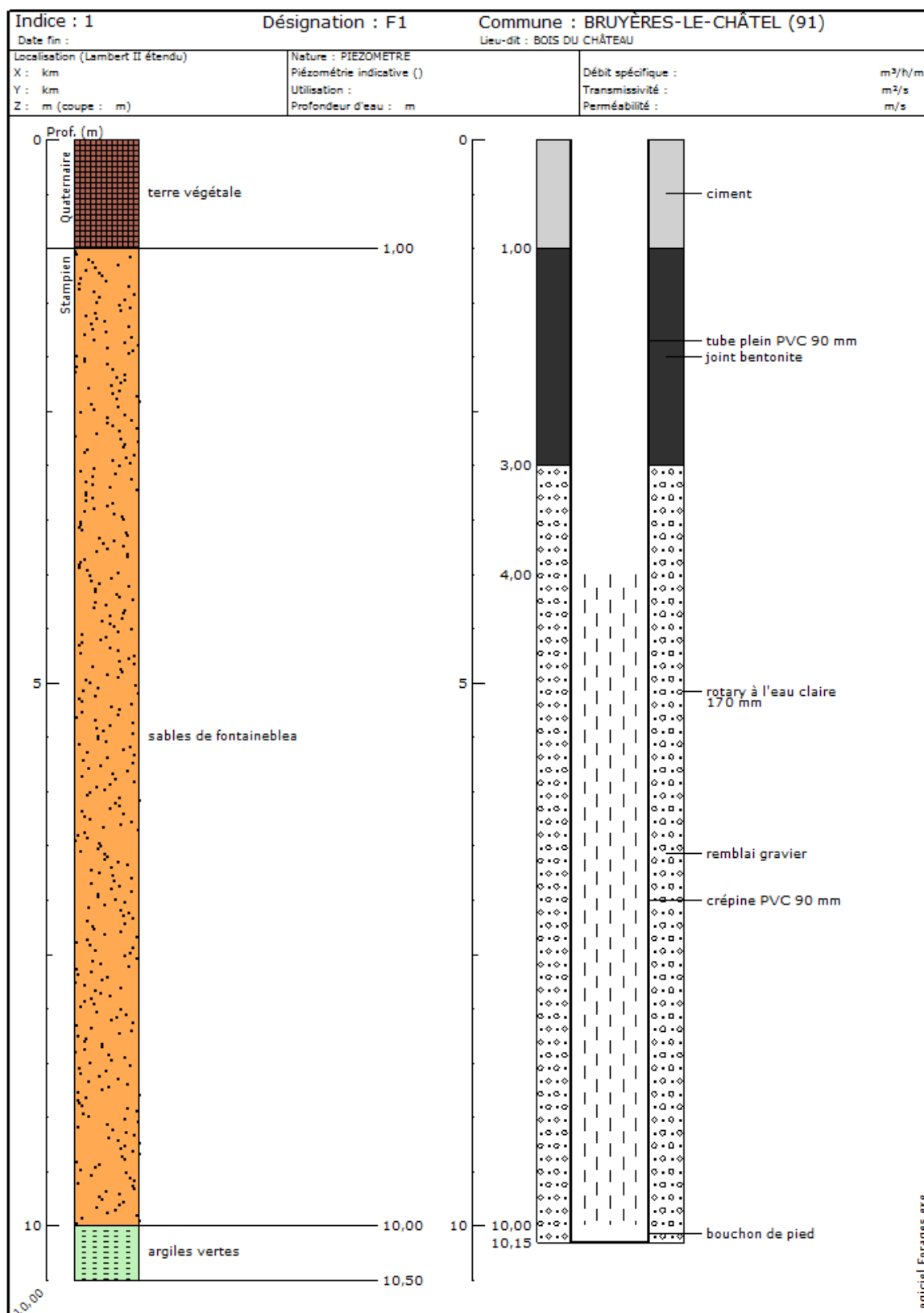
A4-2 : Coupe du sondage pressiométrique S6 réalisé par ACCOTEC

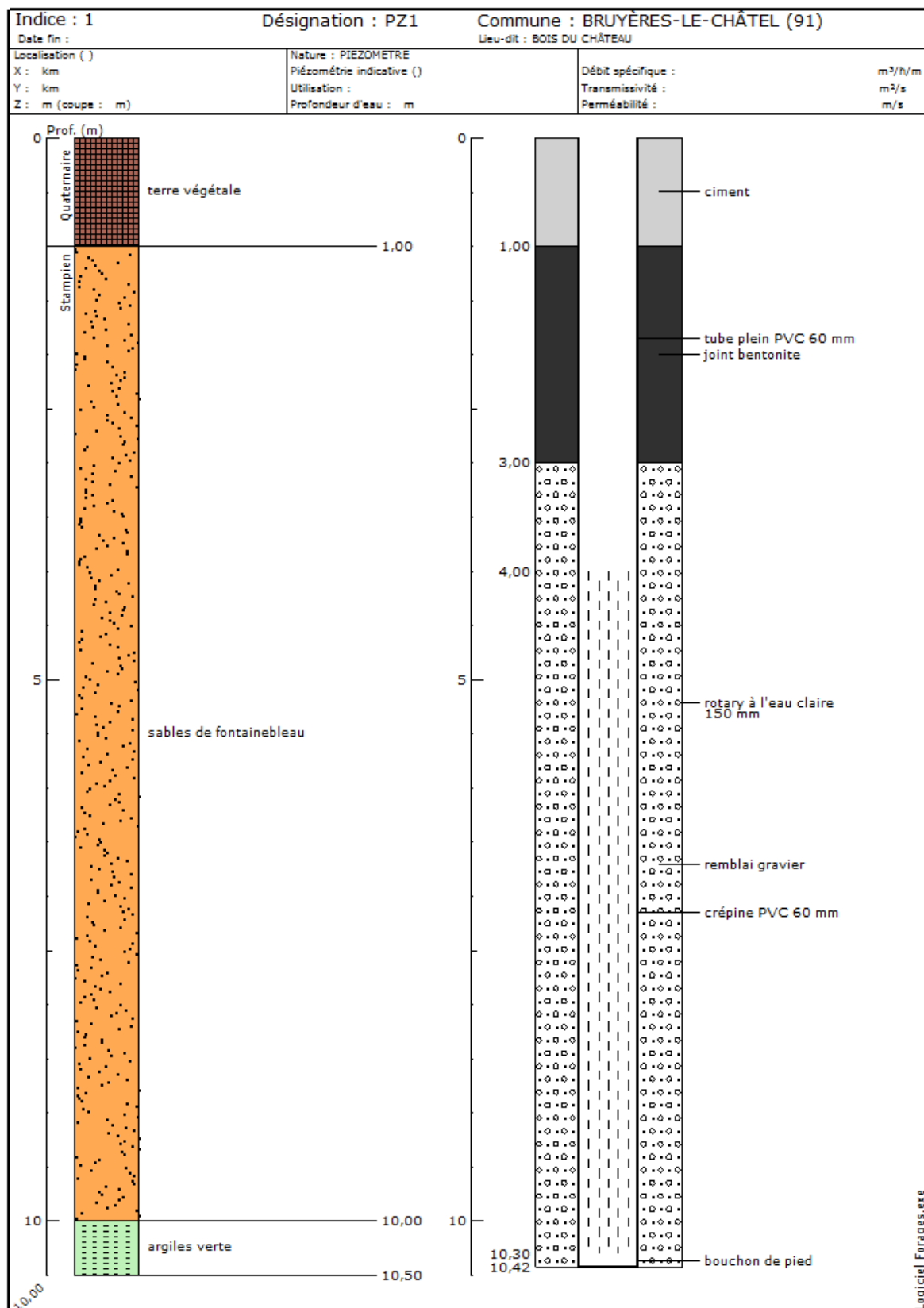


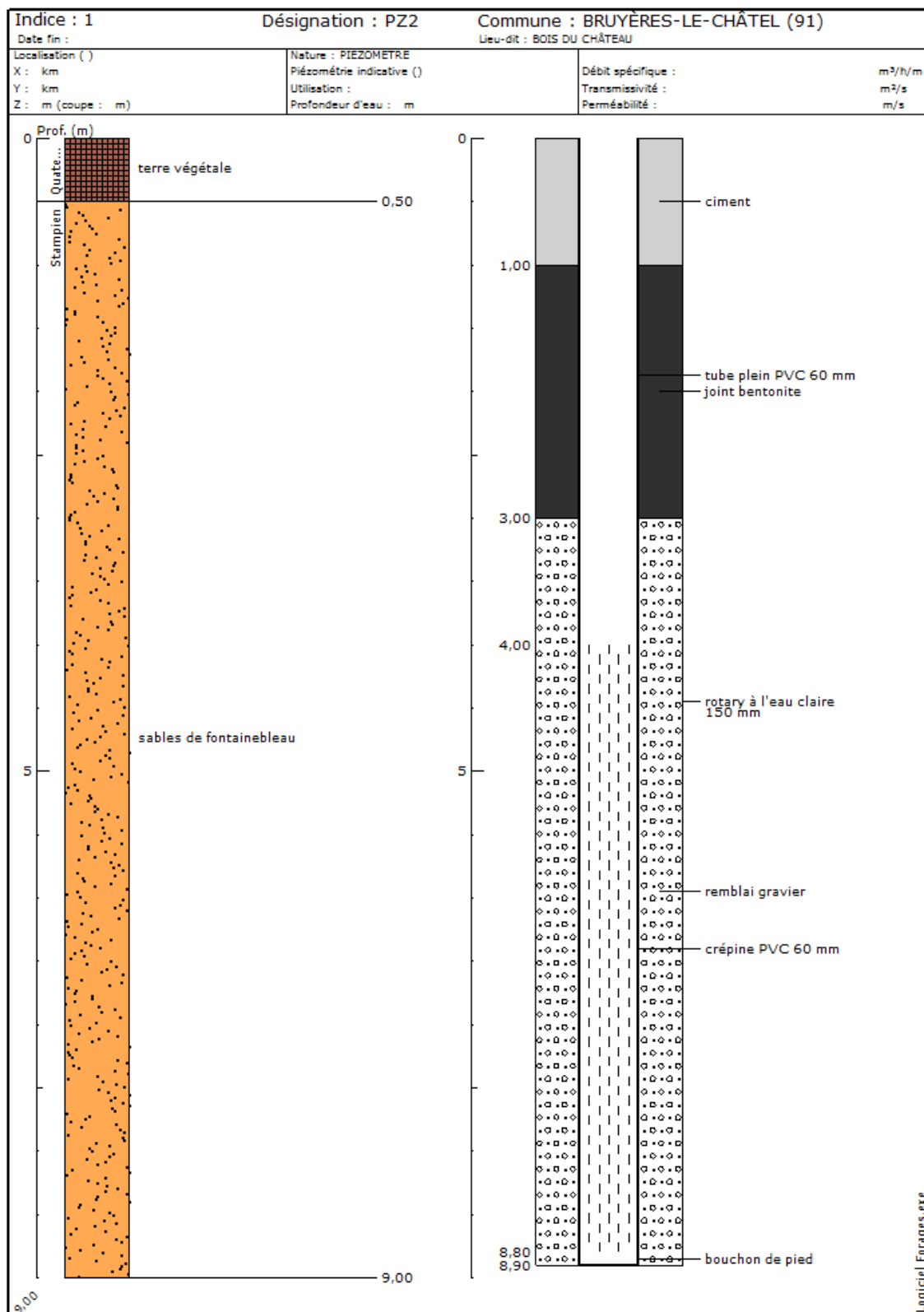


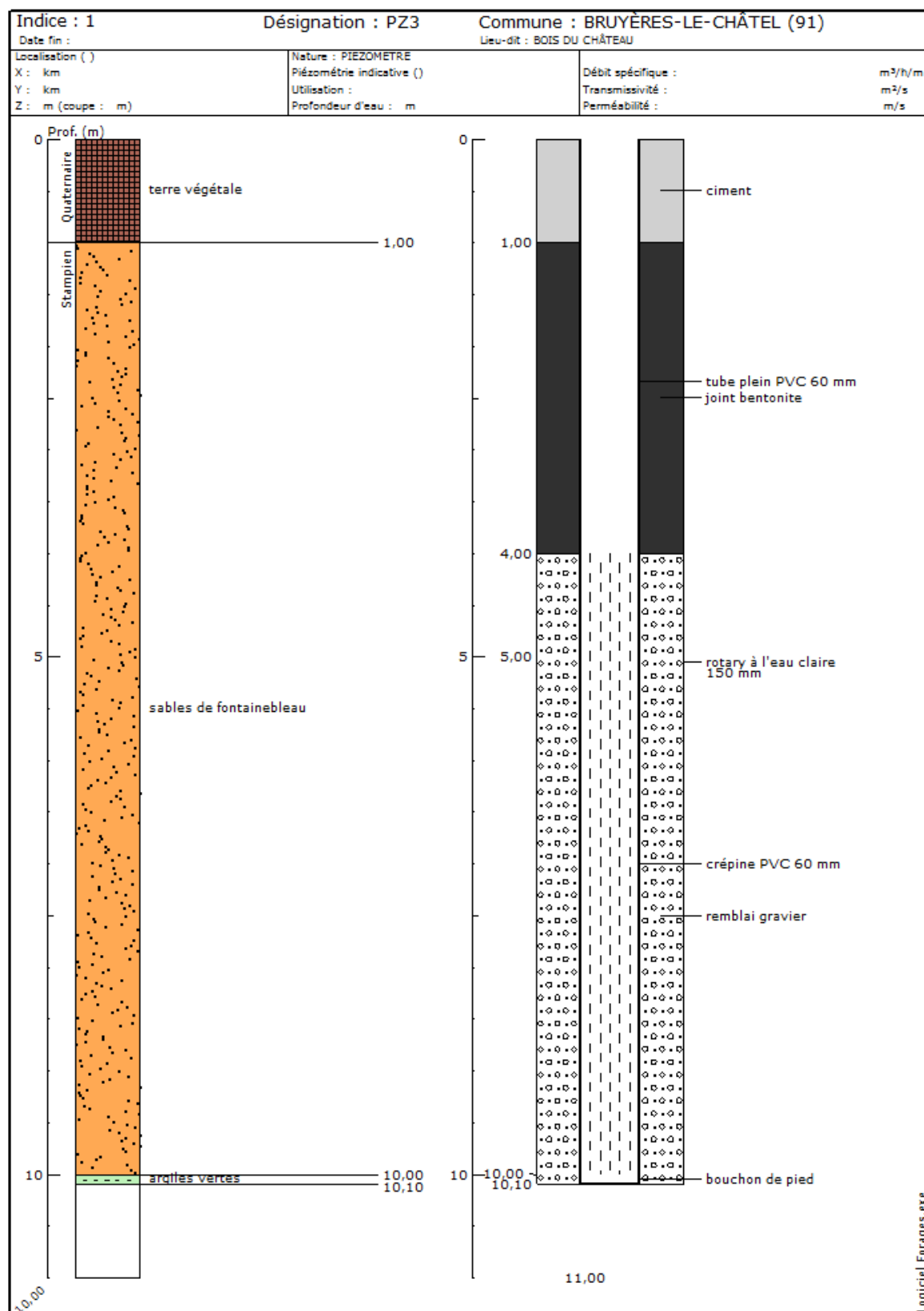
Source: Rapport G2AVP réalisé par ACCOTEC (19/8023/R1G, du 17/06/2019)

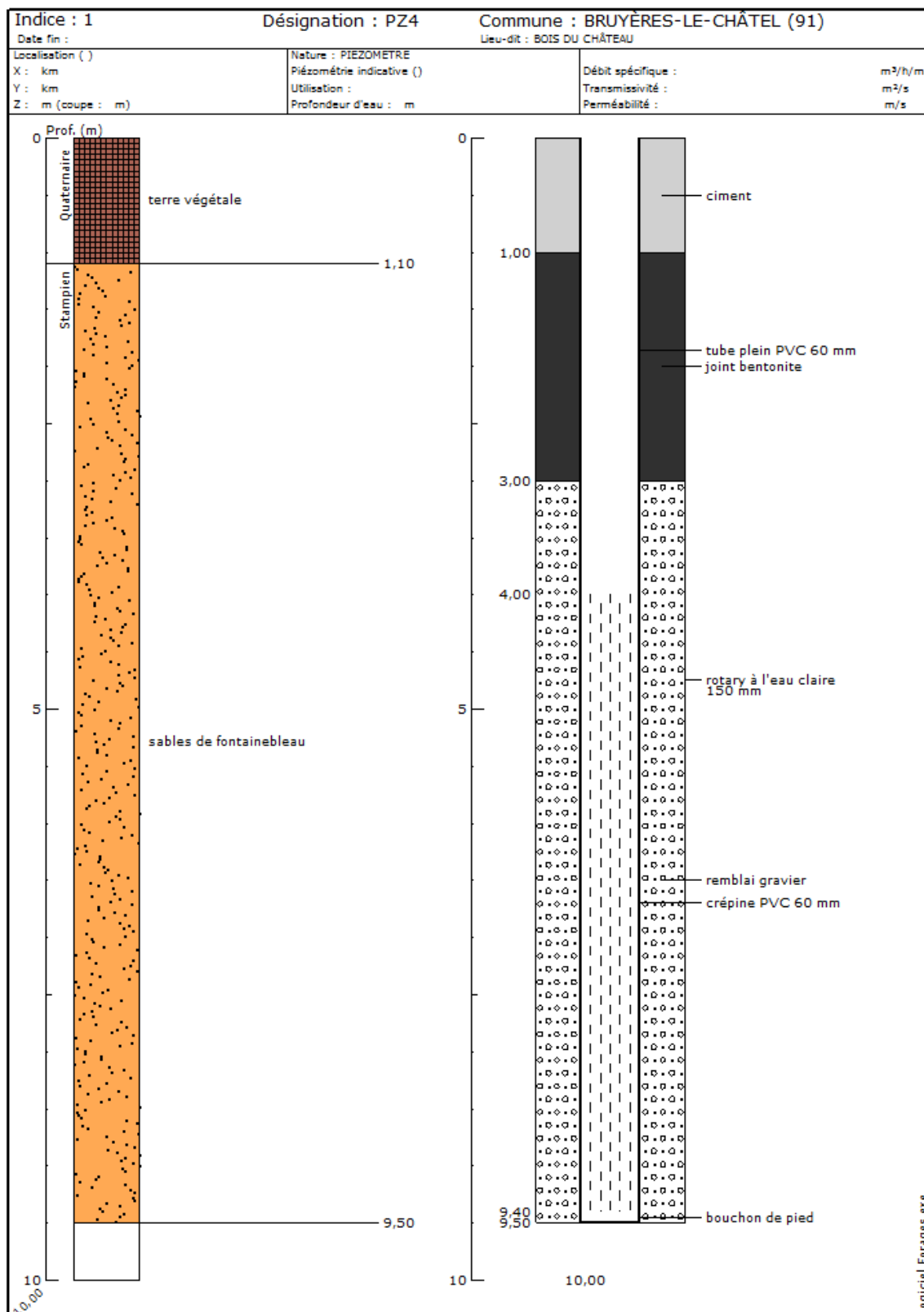
A4-3 : Coupe des ouvrages réalisés par GEOETHER

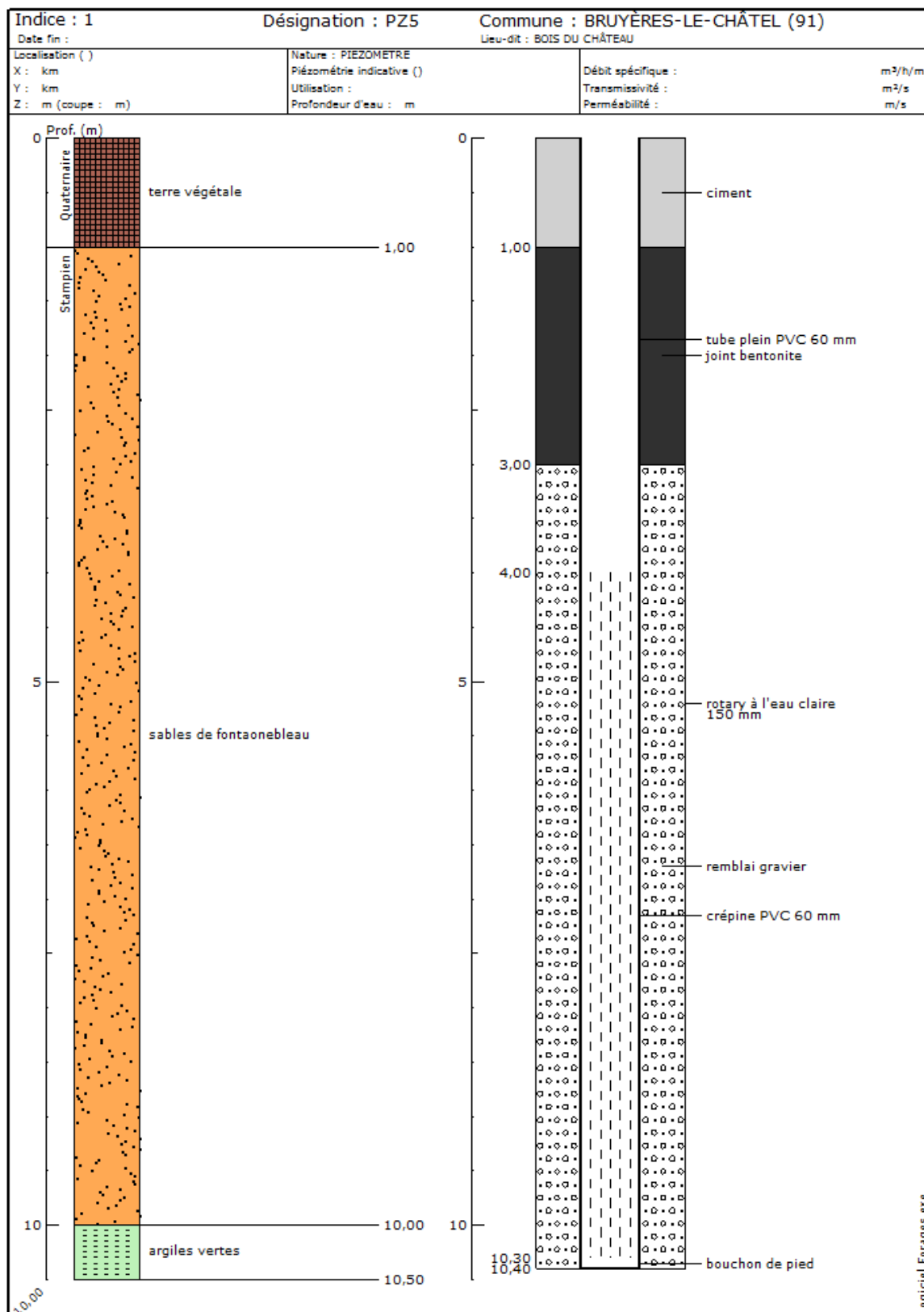


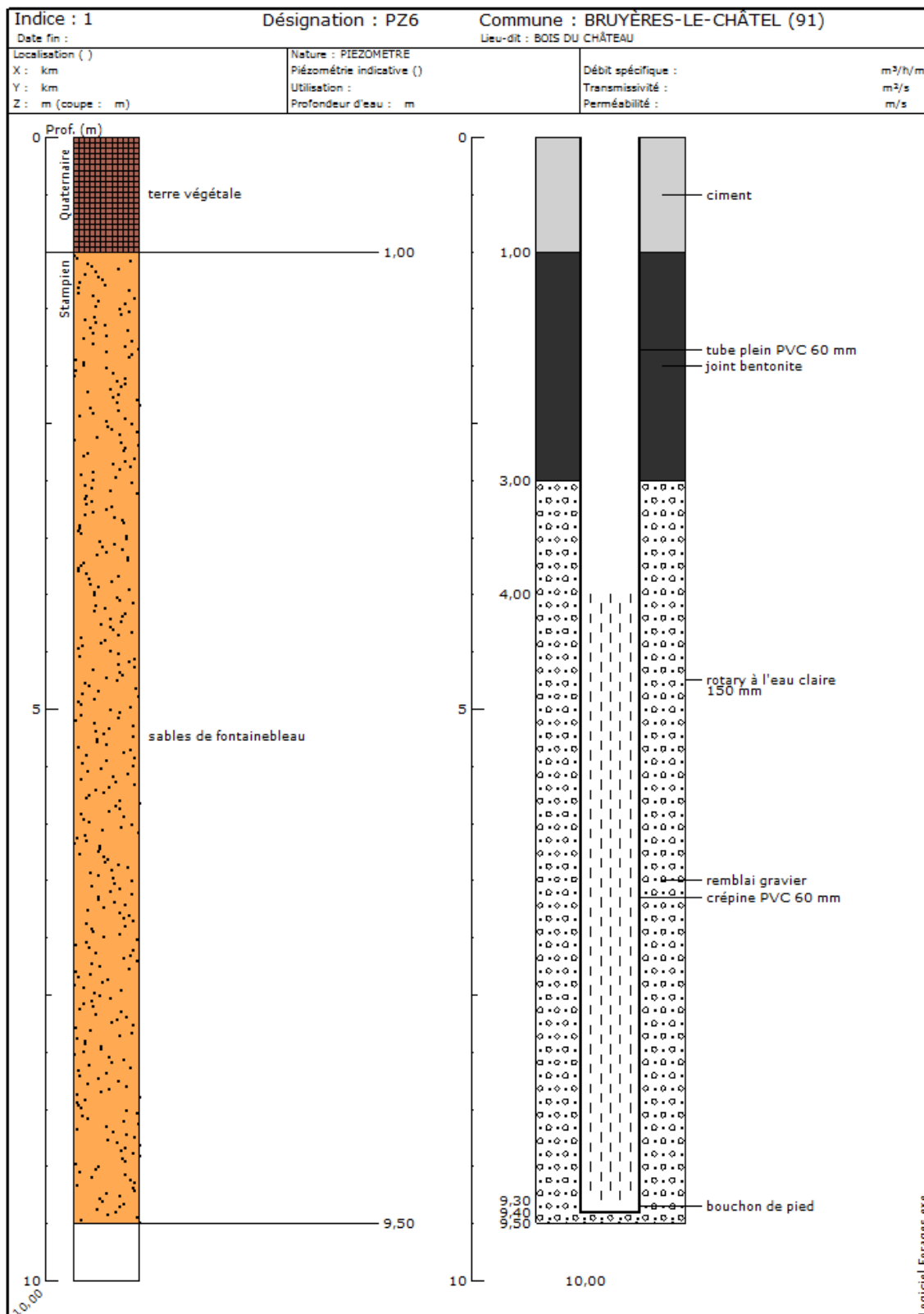






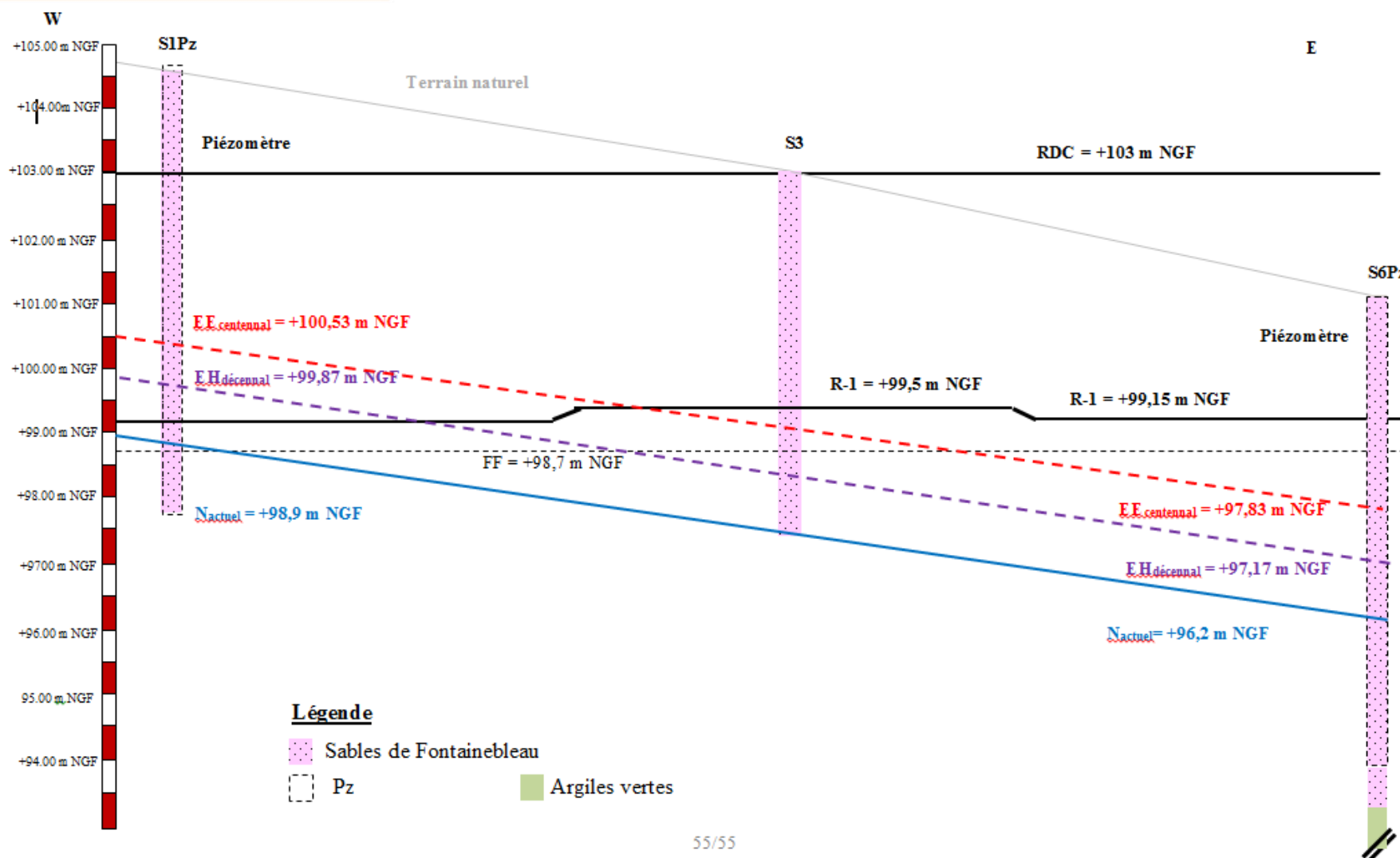






ANNEXE 5 :
ESTIMATION DES NIVEAUX DES PLUS HAUTES EAUX AU DROIT
DU SITE

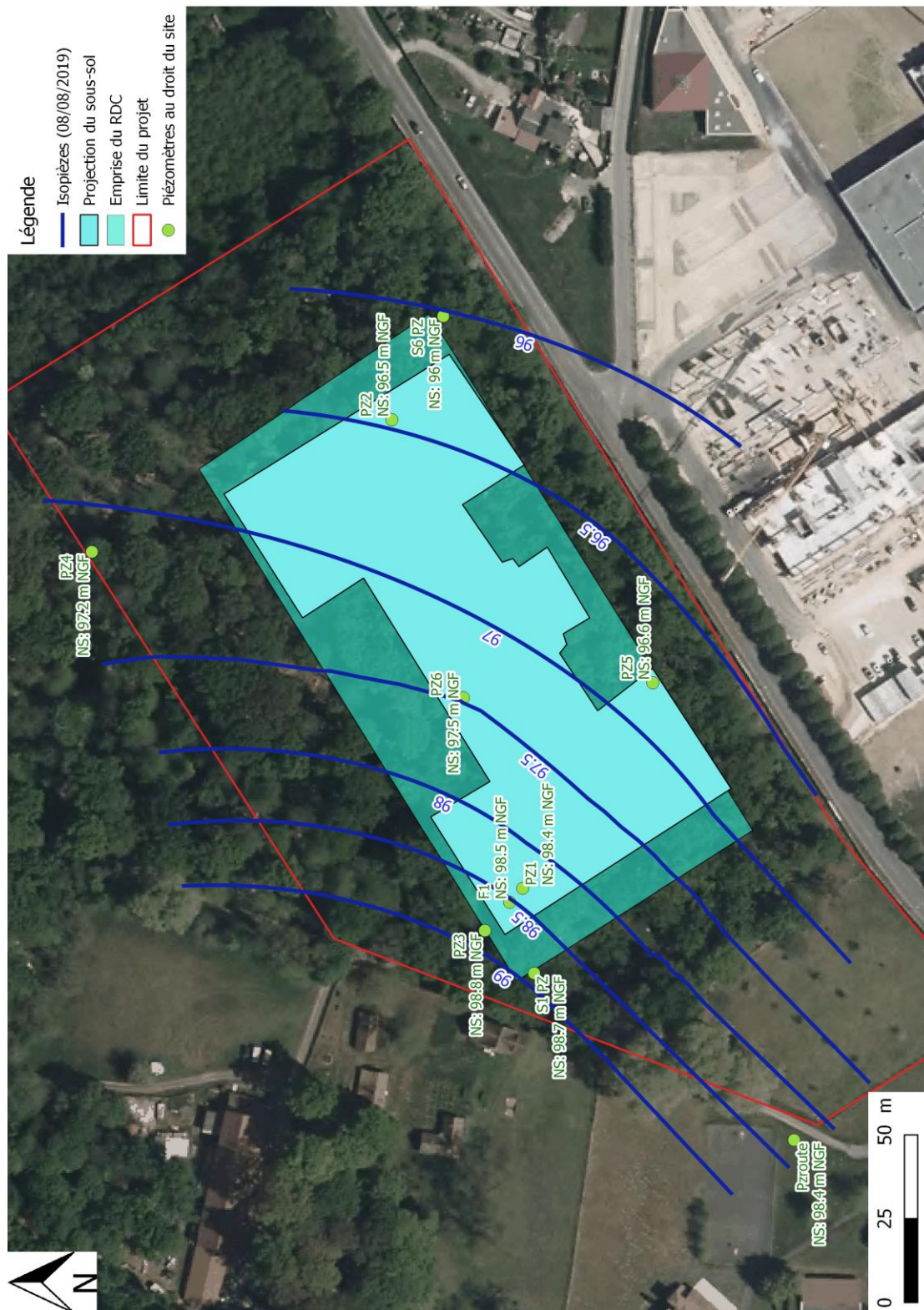
A5 : Schéma des Niveaux des Plus Hautes Eaux au droit du site



ANNEXE 6 :

CARTE PIEZOMETRIQUE AU DROIT DU SITE

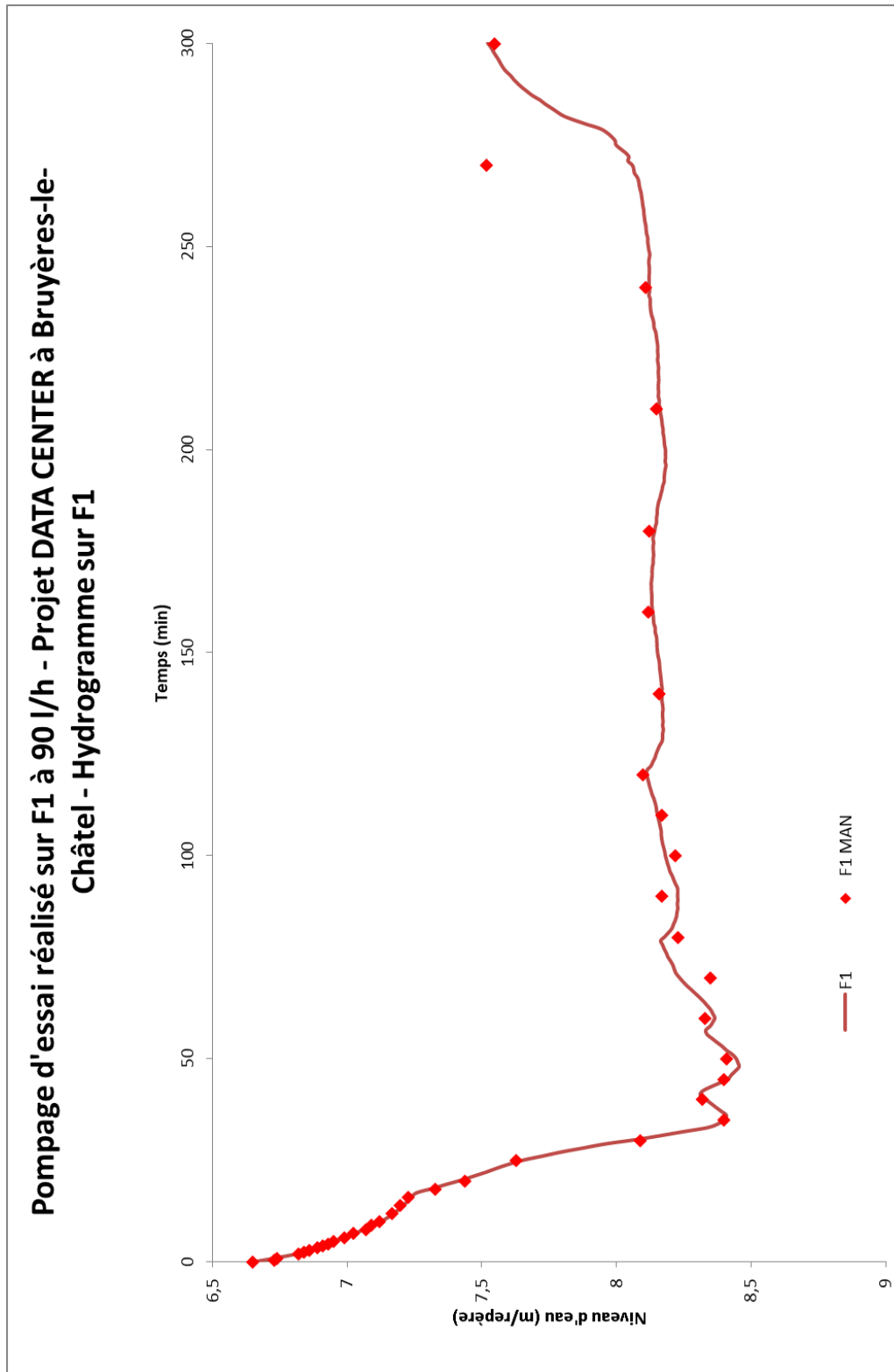
A6 : Carte piézométriques au droit du site



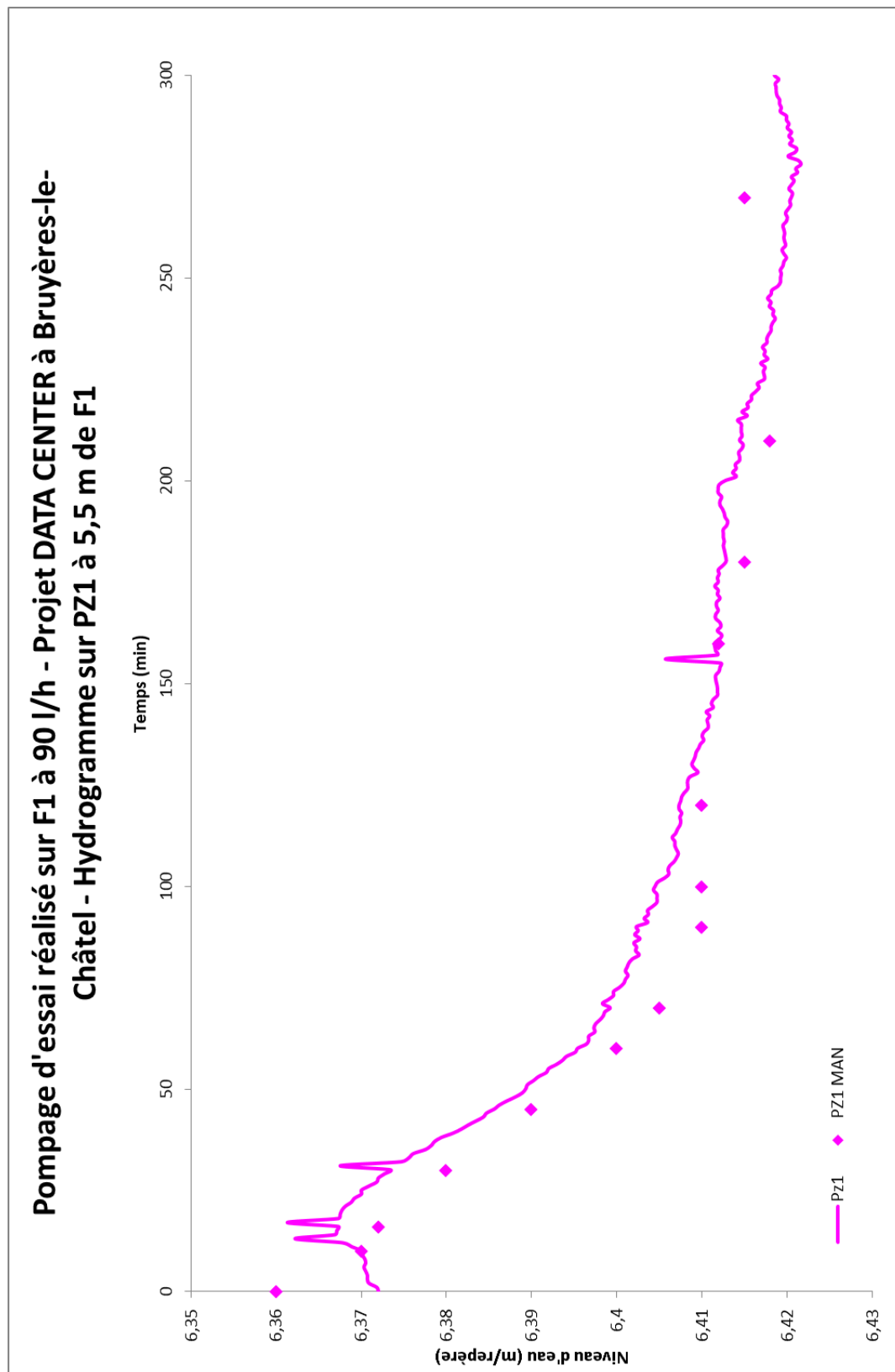
ANNEXE 7:

RESULTATS DE L'ESSAI DE POMPAGE

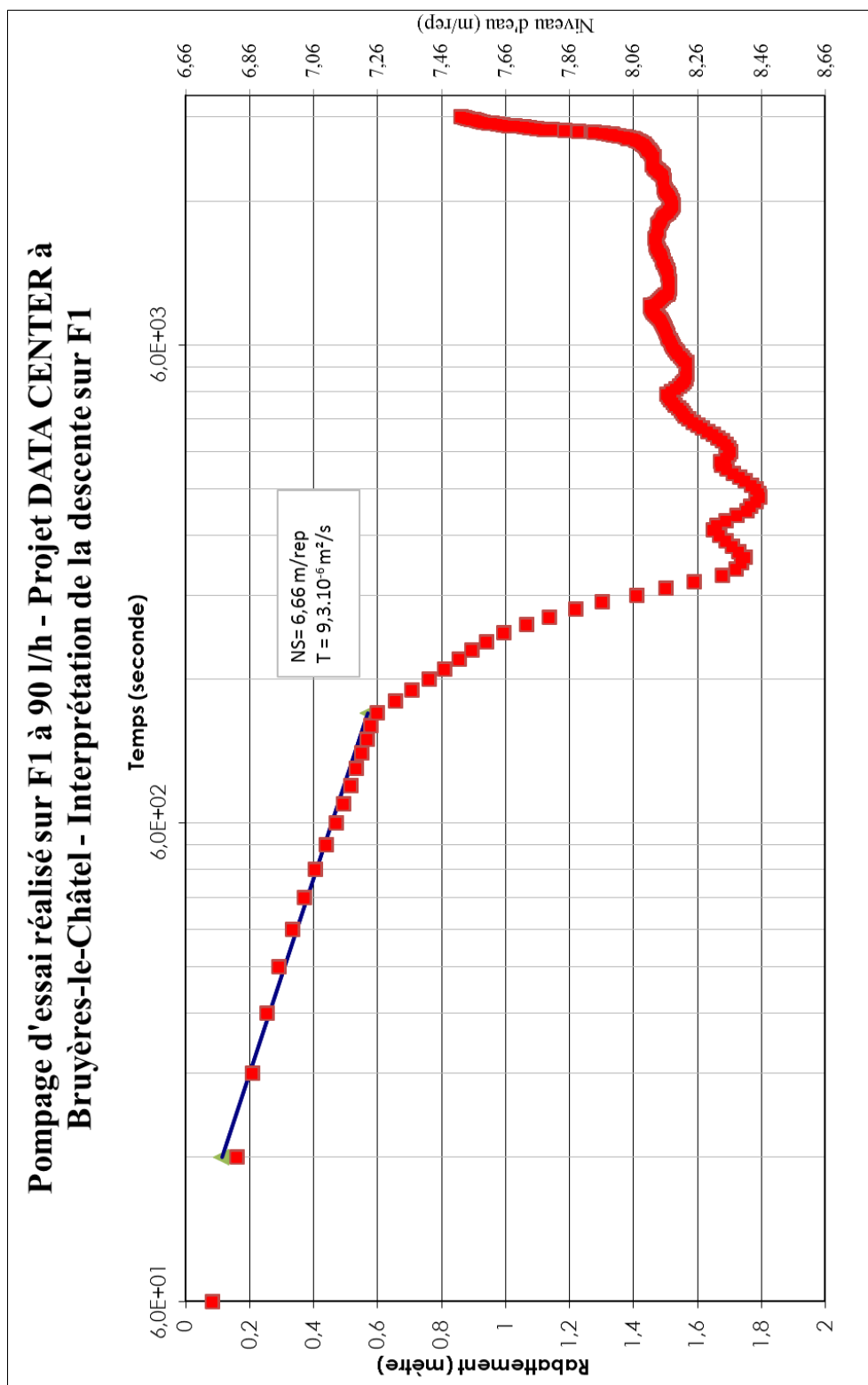
A7-1 : Hydrogramme sur F1



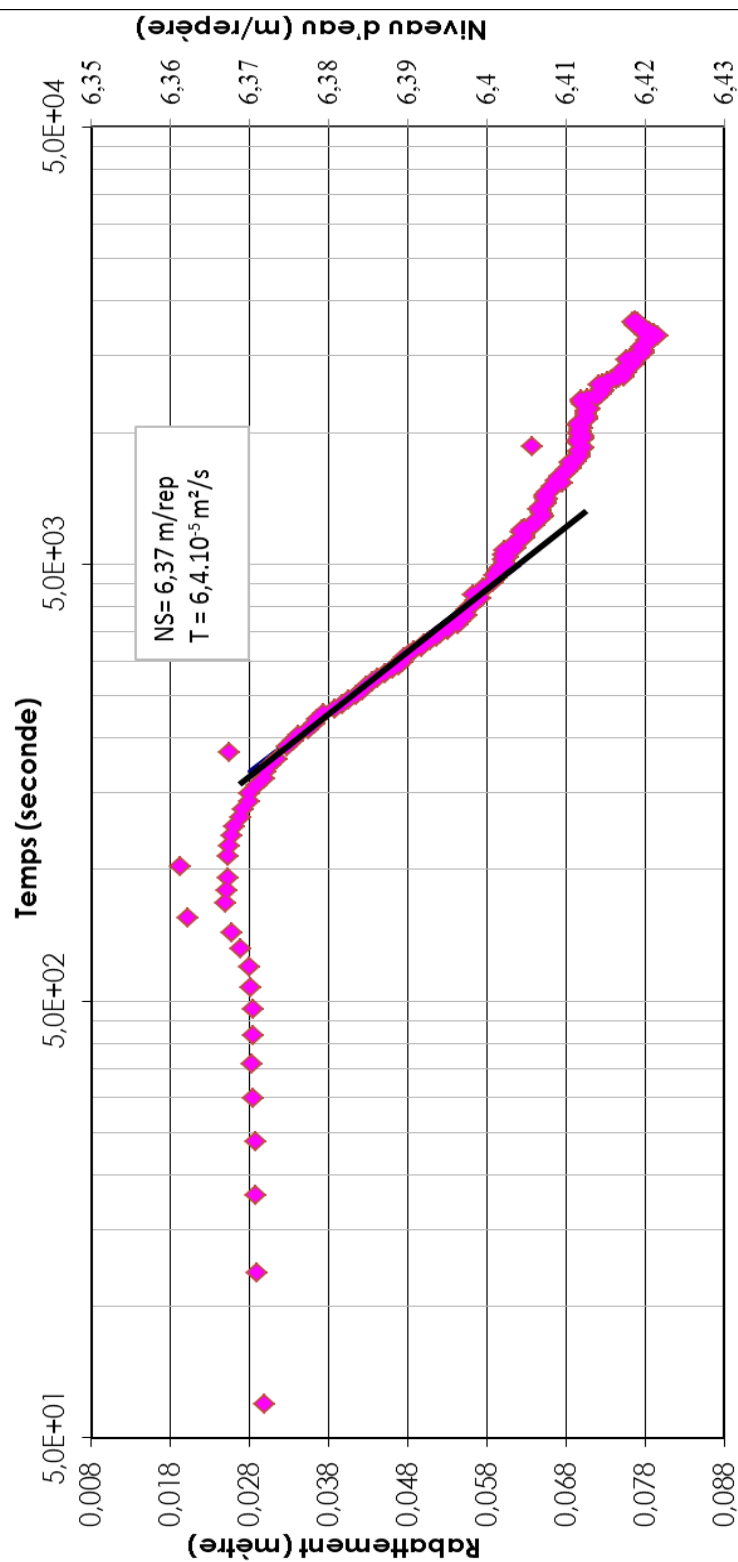
A7-2 : Hydrogramme sur PZ1



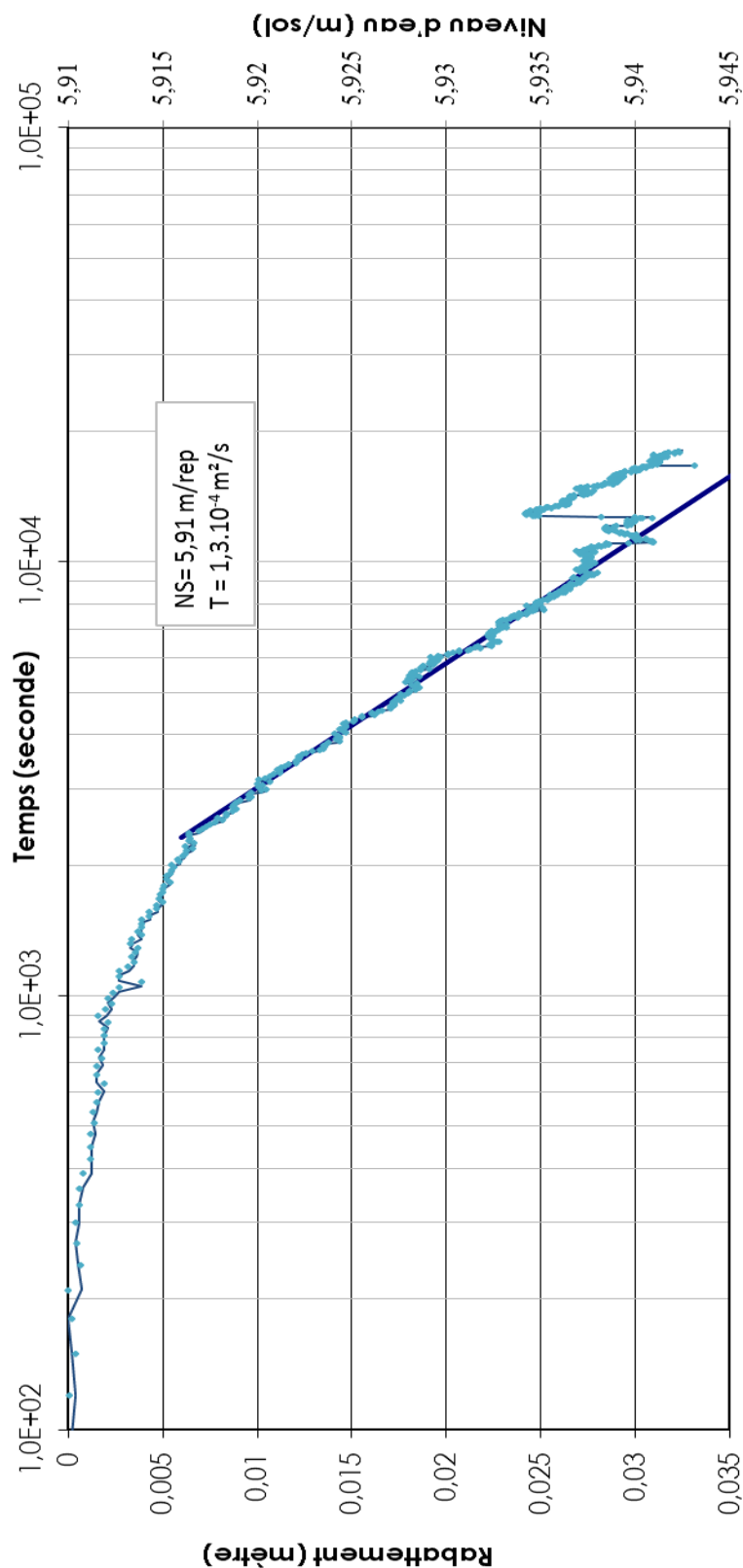
A7-3 : Courbes d'interprétations de l'essai de pompage sur F1



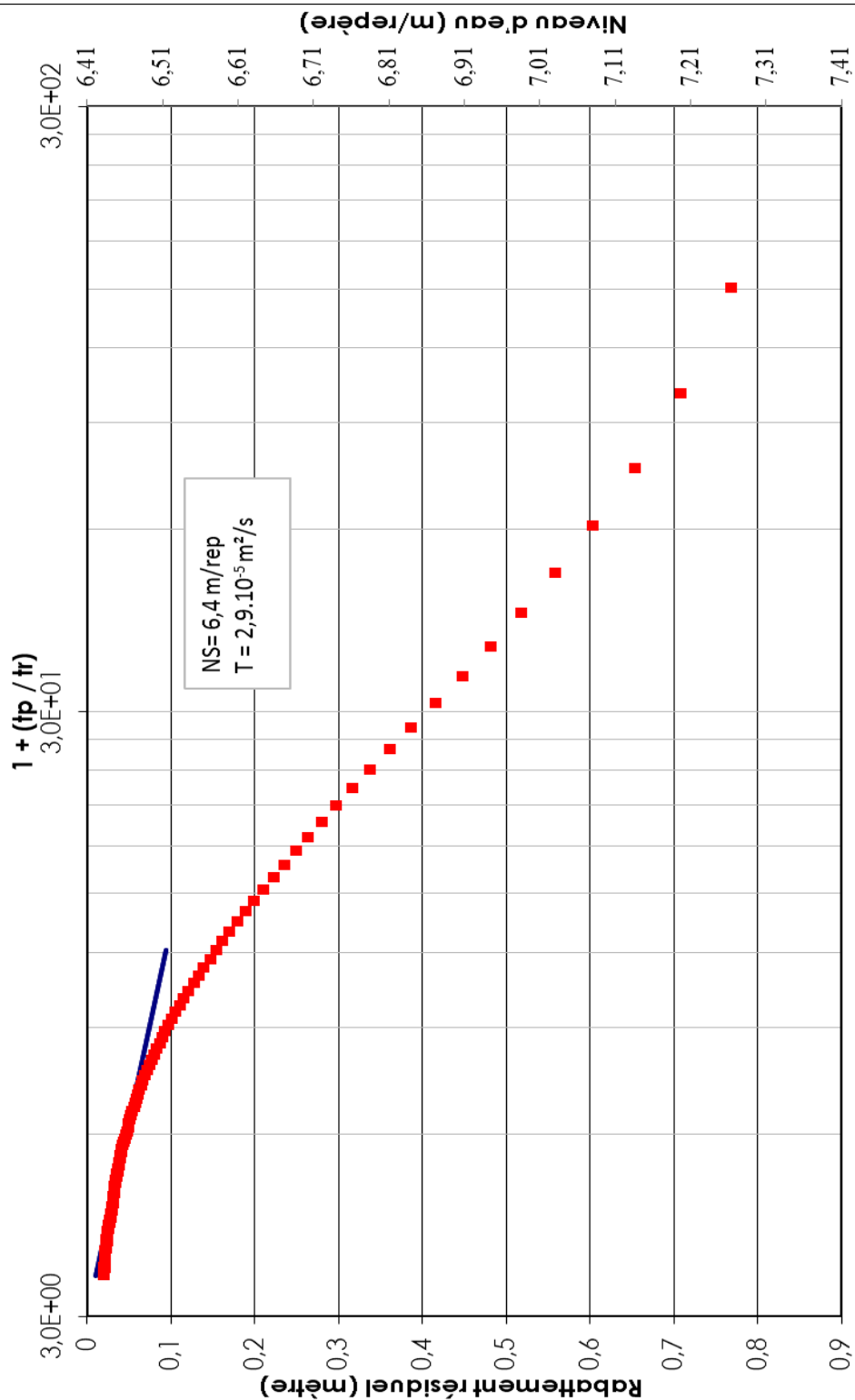
Pompage d'essai réalisé sur F1 à 90 l/h - Projet DATA CENTER à Bruyères-le-Châtel - Interprétation de la descente sur Pz1 à 5,5 m de F1

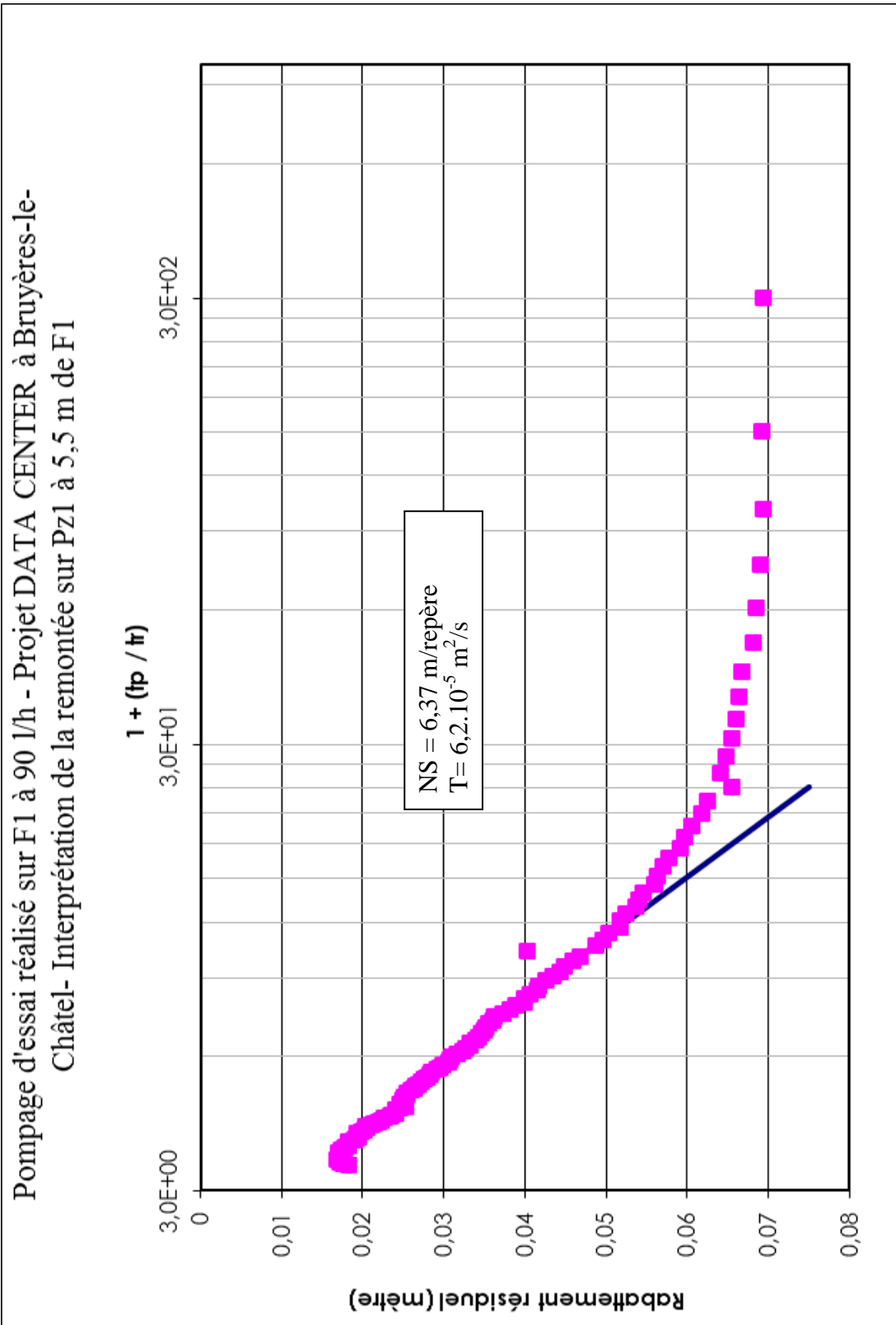


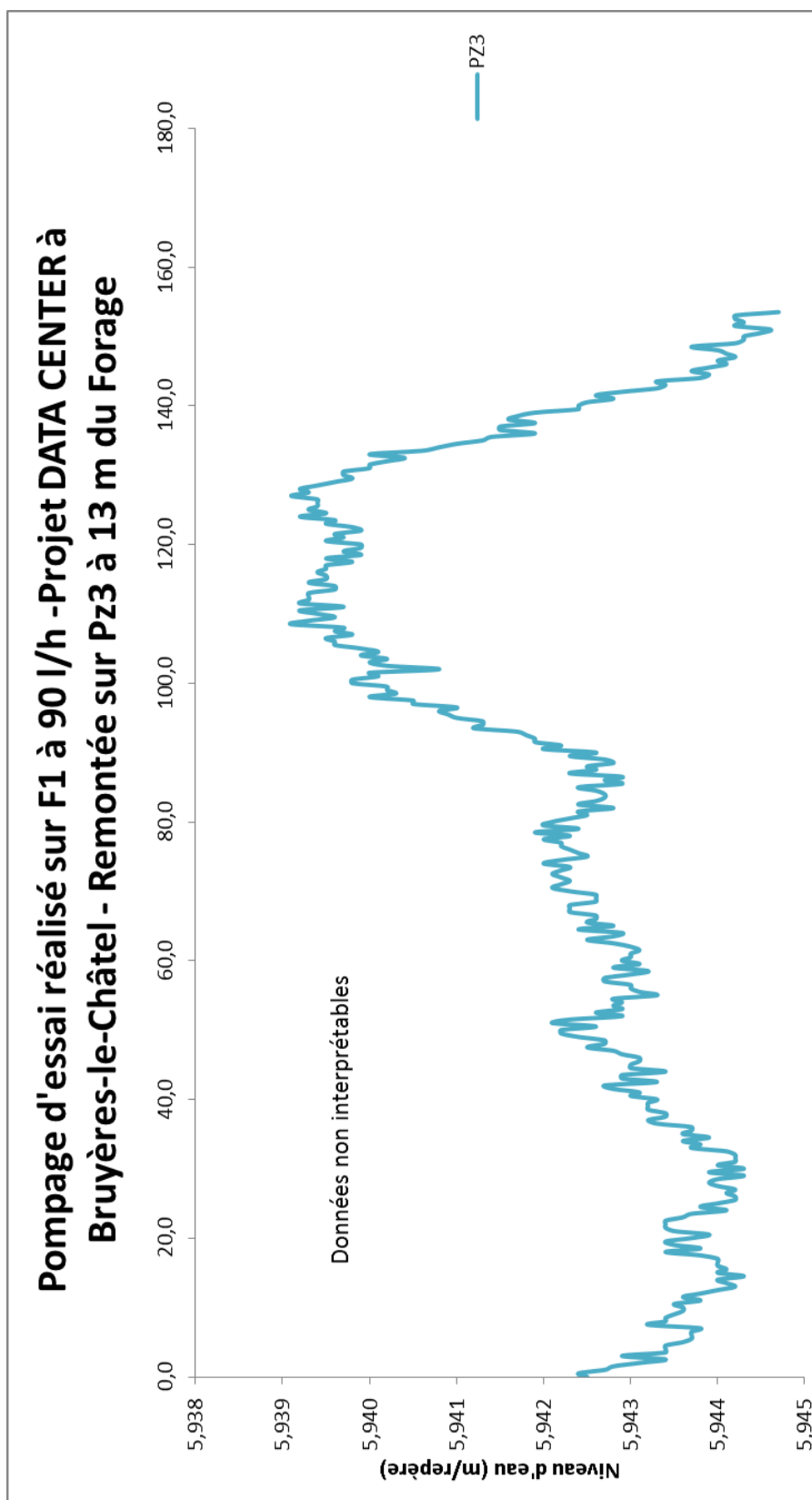
Pompage d'essai réalisé sur F1 à 90 l/h - Projet DATA CETER à Bruyères-le-Châtel - Interprétation du pompage sur Pz3 à 13 m du forage



Pompage d'essai réalisé sur F1 à 90 l/h - Projet DATA CENTER à Bruyères-le-Châtel - Interprétation de la remontée sur F1

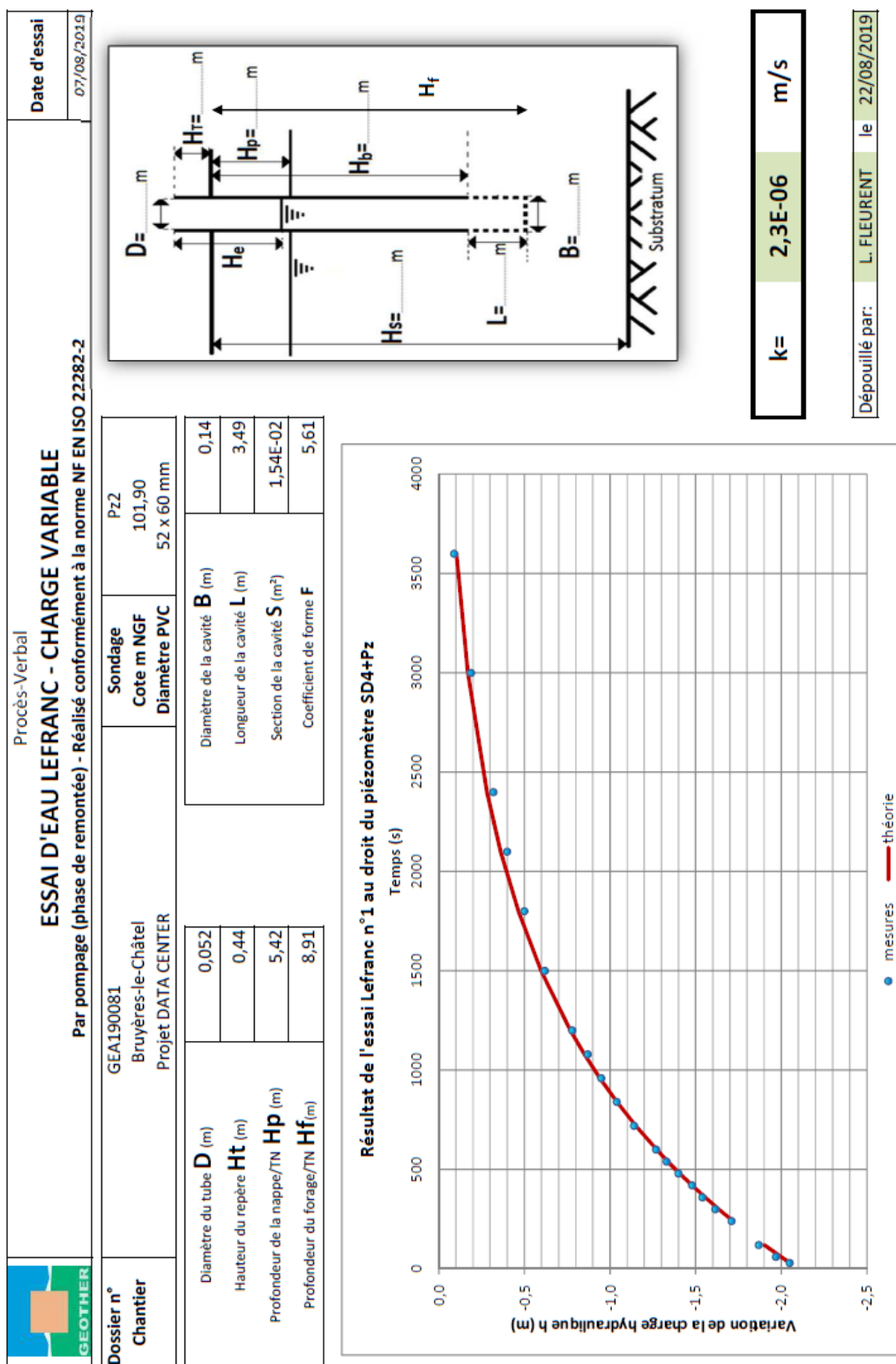




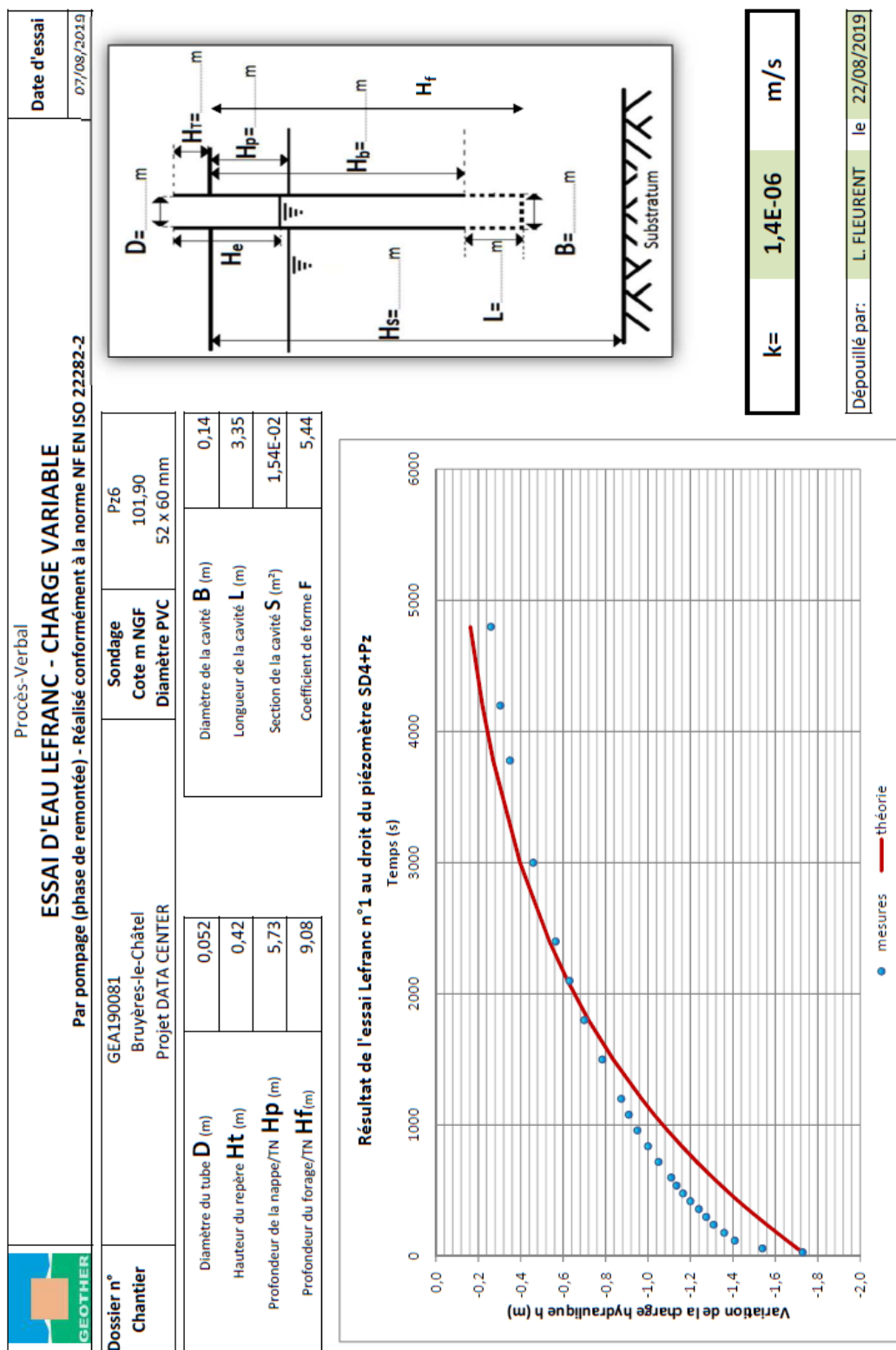


ANNEXE 8 : RESULTATS DES ESSAIS LEFRANC

A8-1 : Résultats des essais Lefranc sur Pz2

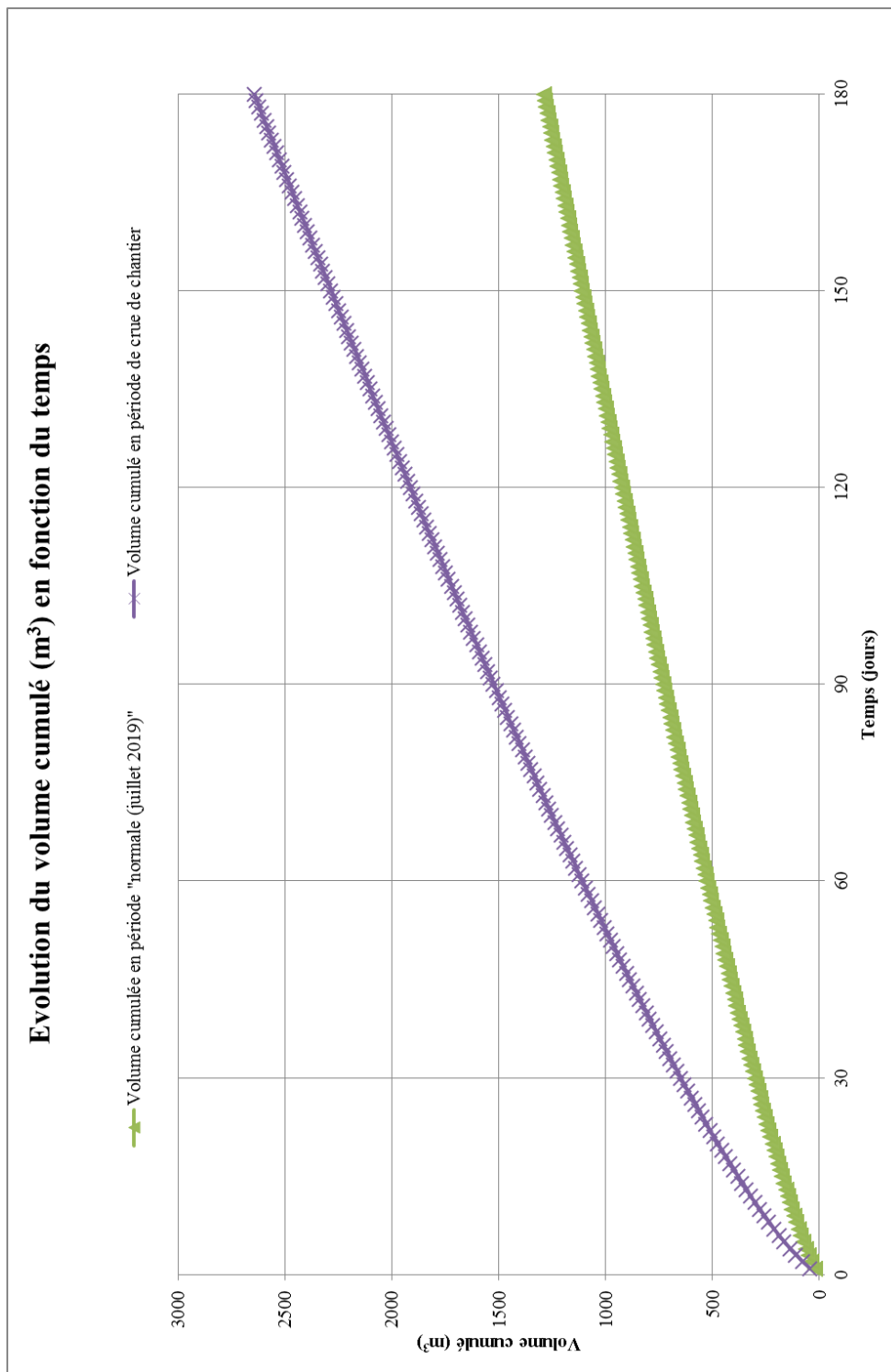


A8-1 : Résultats des essais Lefranc sur Pz6

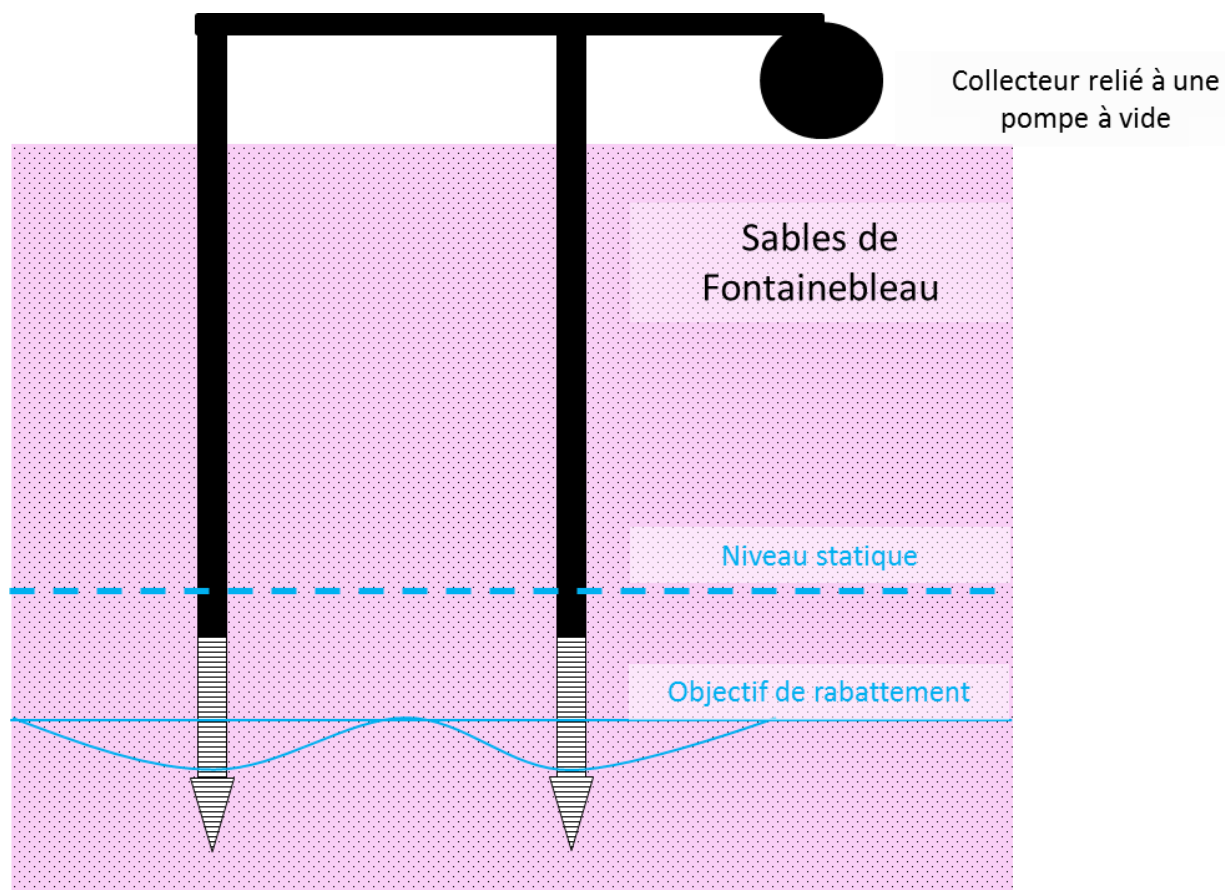


ANNEXE 9 :
EVOLUTION DES VOLUME PRELEVES A LA NAPPE

A9 : Graphique des volumes prélevés à la nappe en fonction du temps



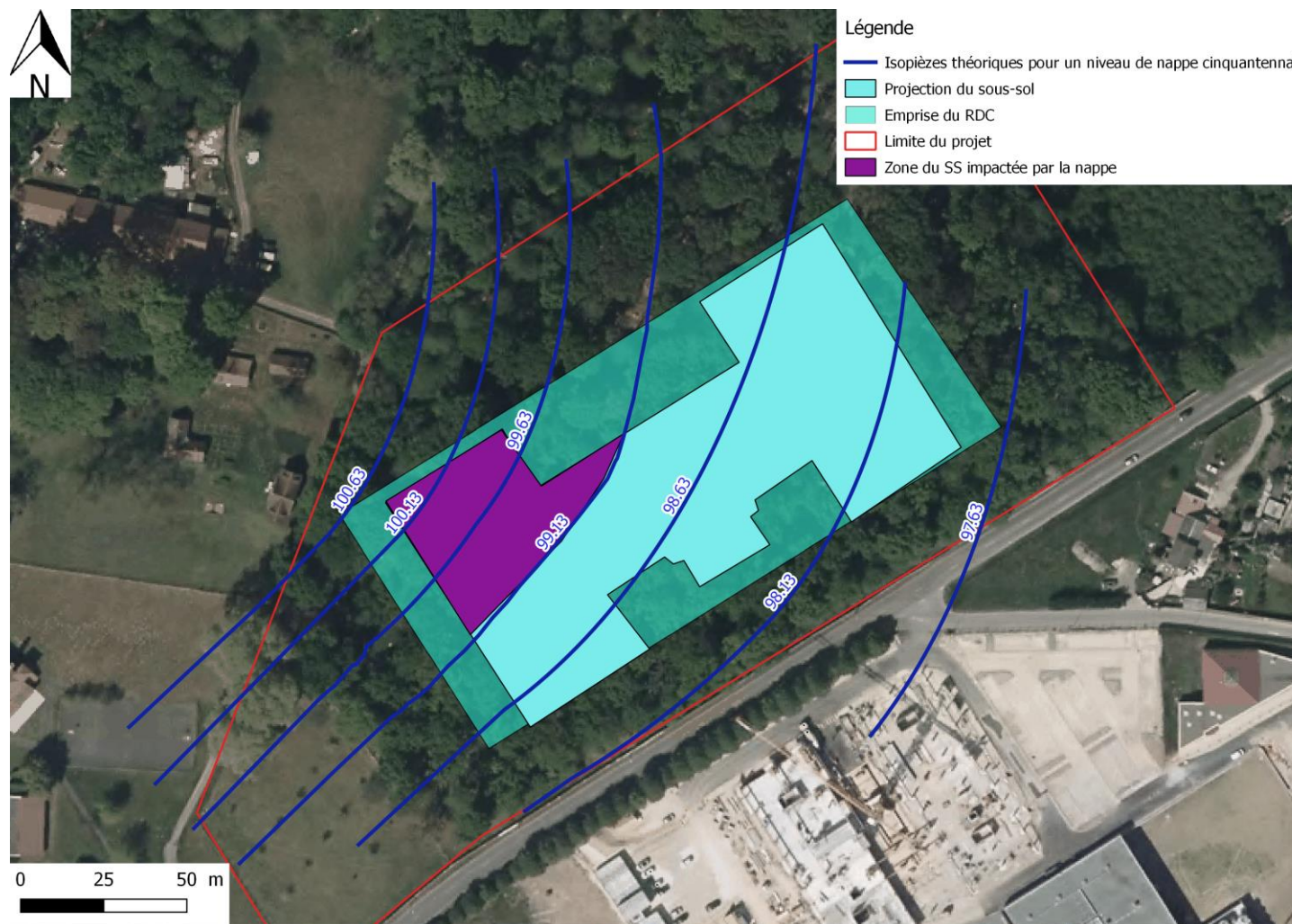
ANNEXE 10 : SCHEMA DES POINTES FILTRANTES



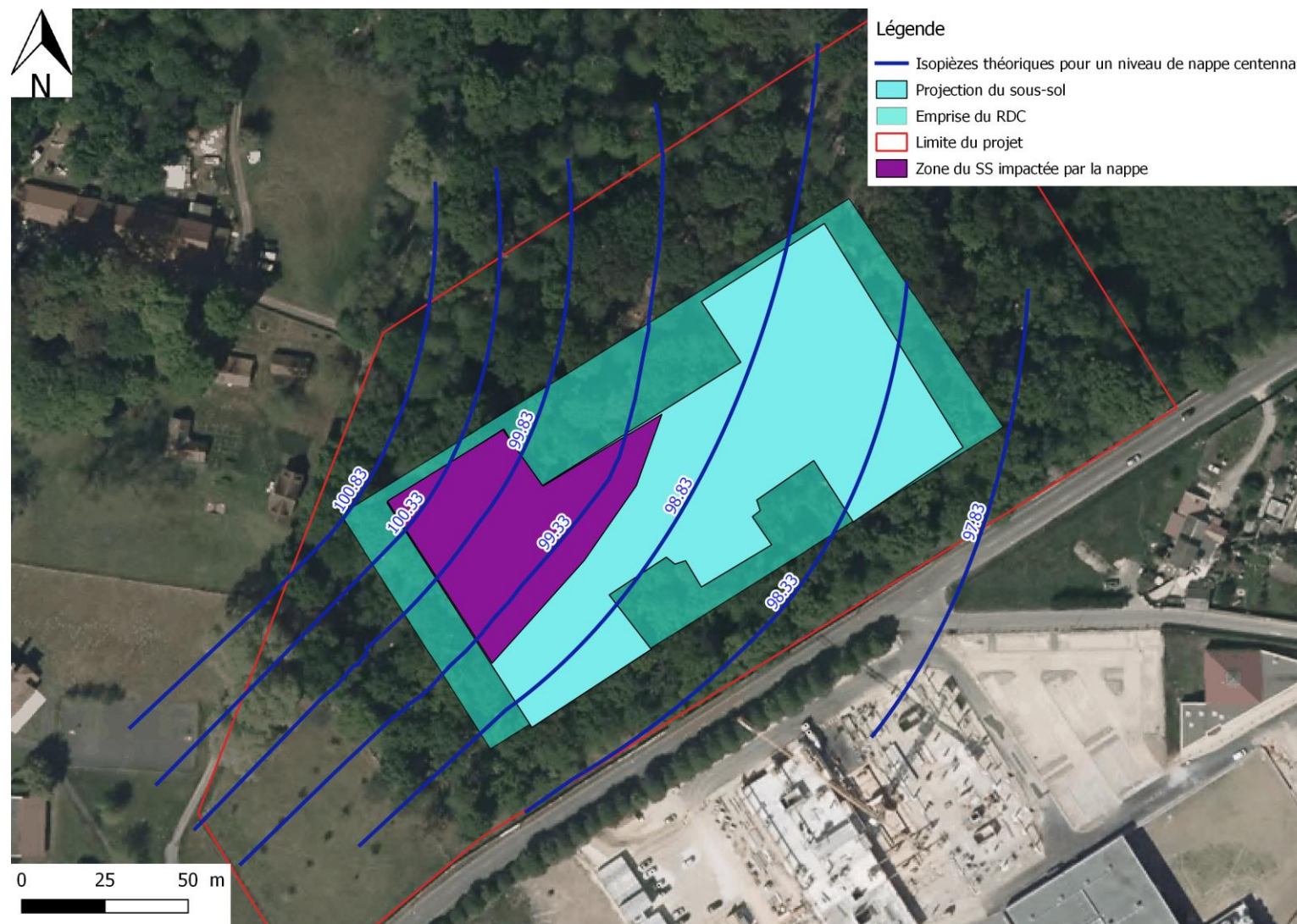
ANNEXE 11 :

ZONES IMPACTEES PAR UNE REMONTEE DE NAPPE

A10-1 : Zone impactée par une remontée de nappe pour une crue de nappe cinquantennale (carte théorique)



A10-2 : Zone impactée par une remontée de nappe pour une crue de nappe centennale (carte théorique)



A10-3 : Zone impactée par une remontée de nappe pour une crue de nappe centennale dans le cas de la mise en place d'un tapis drainant (carte théorique)

